

## Alternatif Hammadde Olarak Kâğıt Sanayi Üretim Atığı Kullanılarak Hafif Refrakter İzolasyon Tuğlası Geliştirilmesi

Mücahit SÜTÇÜ<sup>1</sup>, Sedat AKKURT<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Müh. ve Mim. Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, 35620 İzmir.

<sup>2</sup> İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 35430 İzmir.

e-posta: mucahit.sutcu@ikc.edu.tr, sedatakkurt@iyte.edu.tr

Geliş Tarihi: 26.10.2012; Kabul Tarihi: 11.11.2013

### Özet

Bu çalışmada, geri-dönüşüm kağıt üretim atığının, pişmiş kil (şamot) ve ilave gözenek yapıcı olarak odun talaşı karışımlarında birlikte kullanılmasıyla gözenekli ve hafif anortit esaslı ısı yalıtım refrakter tuğlaların üretilmesi ve özelliklerinin geliştirilmesi incelenmiştir. Geri-dönüşüm kağıt üretim atığı, organik (selüloz fiber) ve inorganik (kalsiyum karbonat, kil) içeriğinden dolayı gözenekli anortit kompozisyonuna ( $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) sahip seramik malzemeleri üretmek için alternatif bir hammadde olarak kullanılmıştır. Hazırlanan karışımlar çamur döküm yöntemiyle şekillendirilmiş, uygun şartlarda kurularak pişirilmiştir. %30'a kadar talaş ilaveli karışımlardan yüksek gözenek oranına sahip anortit refrakter tuğlalar başarıyla üretilmiştir. Kağıt atığının organik kısmı olan selüloz lif içeriği, pişmiş örneklerde mikro-gözenek oluşumunu, inorganik içeriği (kalsiyum karbonat ve kil mineralleri) ise pişmiş örneklerde anortit kompozisyonunun oluşmasını sağlamıştır. Pişmiş örneklerin ısı iletim katsayıları, mekanik dayanımları, yoğunluk, porozite, boyut değişimleri incelenmiştir. Örneklerin ısı iletkenlikleri yoğunluk azalmasına bağlı olarak 0.25 W/mK ( $1.12 \text{ g/cm}^3$ )'den 0.13 W/mK ( $0.64 \text{ g/cm}^3$ )'e kadar düşmüştür. Örnekler 1100°C'e kadar olan sıcaklıklarda oldukça kararlıdır ve mekanik dayanımlarının yeterli olduğu ölçülmüştür. Çalışma sonuçlarına göre, üretilen gözenekli ve hafif anortit refrakter tuğlaların 1100°C'ye kadar olan yüksek sıcaklık uygulamalarında ısı yalıtım amaçlı kullanılabilme potansiyeli olduğu görülmüştür.

### Anahtar kelimeler

Gözenek; Isıl iletkenlik; Anortit; Refrakter izolasyon tuğlası; Geri-dönüşüm kağıt atığı.

## Development of Lightweight Refractory Insulating Brick Using Recycled Paper Processing Waste As Alternative Raw Material

### Abstract

Production of porous anorthite heat-insulating ceramics from mixtures of fireclay (chamotte), recycled paper processing waste sludge and pore-making sawdust addition are investigated. Recycled paper processing waste was used as a suitable alternative raw material source to produce porous anorthite refractories due to their organic (cellulose fibers) and inorganic (calcium carbonate, clay minerals) content. Prepared slurry mixtures were shaped, dried and fired. Highly porous anorthite ceramics from the mixtures with up to 30% sawdust addition was successfully produced. The cellulose fibers and inorganic content of the waste provided to form micro-porosity and anorthite composition ( $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) of the fired samples, respectively. Physical properties such as bulk density, apparent porosity, percent linear change were investigated as well as the mechanical strengths and thermal conductivity values of the samples. Thermal conductivities of the samples decreased from 0.25 W/mK ( $1.12 \text{ g/cm}^3$ ) to 0.13 W/mK ( $0.64 \text{ g/cm}^3$ ) with decreasing their density. Samples were stable at high temperatures up to 1100°C, and their cold strength was sufficiently high. Produced highly porous anorthite ceramics could be used for insulation in high temperature applications.

### Key words

Porosity; Thermal conductivity; Anorthite; Insulating firebrick; Recycled paper waste.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

### 1. Giriş

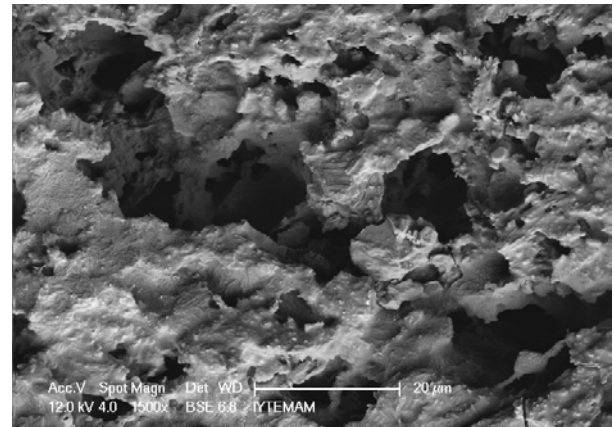
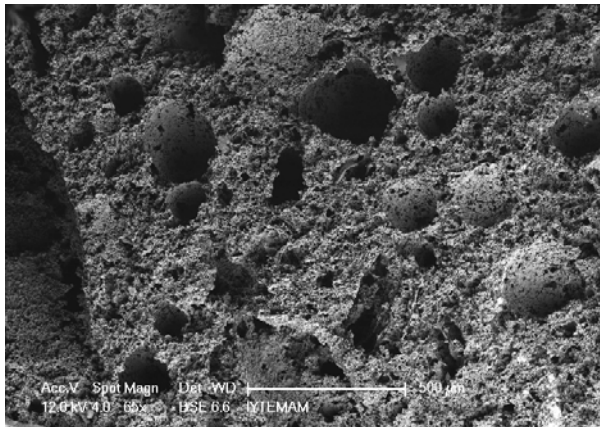
Günümüzde endüstriyel malzeme üretiminin yoğun olarak artmasıyla birlikte doğal hammadde kaynakları hızla tükenmekte, üretim ve tüketim sonrasında önemli miktarlarda atıklar ortaya çıkarak çevresel sorunlara neden olmaktadır. Doğal hammadde kaynaklarının azalması endüstriyel katı

atıkların yeniden değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Geri kazanılabilir katı atıkların başında gelen hurda kâğıt ve üretim atıklarından, selüloz hammadde olarak yararlanılmaktadır. Kâğıt fabrikalarında geri dönüşümlü atık kâğıttan temizlik kâğıdı üretimi aşamasında, selüloz fiber ve mineral katkıların bir kısmı filtrelerden geçerek yeniden üretimde değerlendirilemeden atık havuzlarında

toplanmakta ve atık çamur olarak nitelendirilmektedir. Kâğıt atıkları kimyasal ve mineralojik içeriklerinden dolayı çoğu seramik bünyelerde alternatif hammadde kaynağı ve gözenek yapıcı olarak değerlendirmek için uygundur [1-13]. Son zamanlarda, kâğıt atık çamurunun organik ve inorganik içeriğinden yararlanarak yeniden değerlendirilmesine ve seramik malzemelerin geliştirilmesine yönelik bilimsel çalışmalar önem kazanmıştır [4-13]. Kağıt üretim atıklarından yararlanarak geniş uygulama alanlarında (filtre, ısı izolasyonu vd.) kullanılacak düşük yoğunluklu, gözenekli seramiklerin üretilmesi mümkündür [6,7,11]. Yapılan çalışmalarda, farklı tür kâğıt atıkları ve atık küllerinin farklı kil mineralleri ile belirli oranlarda karıştırılmasıyla oluşan kompozisyonların yüksek sıcaklıklarda pişirilmesiyle kordiyerit, mullit, anortit ve gehlenit gibi kristal fazları içeren, yüksek mekanik dayanıma sahip gözenekli seramikler üretilmiştir [9-12].

Bu çalışmanın amacı, geri dönüşümlü kağıt üretim atıklarının şamot kili ve ilave gözenek yapıcı olarak odun talaşı ile beraber kullanılmasıyla üretilen,

yüksek sıcaklığa maruz kalan ortamlarda ısı yalıtımı sağlamak amacıyla kullanılan gözenekli ve hafif refrakter izolasyon malzemelerinin geliştirilmesidir. Yüksek sıcaklık izolasyon tuğlalarının bir türü de kalsiyum alumina-silikat esaslı olup, anortit ve mullit gibi kristal fazları içeren yüksek gözenek oranlı malzemelerdir [14-15]. Günümüzde kalsiyum alumina silikat esaslı yüksek sıcaklık izolasyon refrakter malzemeleri endüstriyel uygulamalarda ısı yalıtımı için en sık kullanılan refrakter gruplarından biridir [14-16]. İzolasyon refrakter malzemeleri diğer refrakter gruplarına göre çok düşük ısı iletkenlik ve ısı kapasitesi değerlerine sahiptir. Dolayısıyla ısı kayıplarını azaltmak için yüksek sıcaklık ortamlarında arka plan ısı yalıtım malzemesi olarak kullanılan en uygun malzemelerdir [14-16]. Bu malzemeler maksimum servis sıcaklığına ve yoğunluklarına göre sınıflandırılırlar [16]. Buna göre, ASTM 20 ve 23 grubu izole refrakter malzemeler anortit ( $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$ ) kompozisyonlu, maksimum 1093-1260°C sıcaklığa kadar hizmet verebilen, düşük yoğunluk ( $0.5\text{-}0.7\text{ g/cm}^3$ ) ve ısı iletkenlik değerlerine ( $0.1\text{-}0.16\text{ W/mK}$ ) sahip gözenekli malzemelerdir (Şekil 1) [15-17].



**Şekil 1.** (a) Makro ve mikro boyutlu gözeneklere sahip ASTM 23 grubu yüksek sıcaklık izolasyon refrakter tuğlasının mikroyapısı, (b) bünyedeki ince kristaller ve mikro gözenekler [17].

Yüksek sıcaklık ısı yalıtım malzemelerinin farklı türleri diatomit, genleştirilmiş perlit ve vermikülit, kalsiyum silikat, şamot kil, kaolin, kuvars ve alumina gibi hammaddeler kullanılarak üretilmektedir [18-24]. Bu malzemeler %45-90 arasında yüksek gözenek oranına sahip olup gözenek çapları 1 mm'den küçüktür [15]. İzolasyon refrakterlerinde gözenek oluşturmak veya yoğunluğu düşürmek için

odun talaşı, köpük polistiren, kok tozu, organik gözenek yapıcılar ve içi boş mikro kürecikler yaygın olarak kullanılır [18-24]. Ayrıca 1100–1260°C sıcaklık aralığında kullanılacak  $0.4\text{-}0.65\text{ g/cm}^3$  yoğunluğa sahip anortit esaslı hafif izolasyon refrakter tuğlalar genellikle kaolin kili, odun talaşı ve alçı bağlayıcı ( $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) kullanılarak üretilmektedir [15,21-23].

Bu çalışmada, geri-dönüşüm kağıt üretim atığının, pişmiş kil (şamot) ve ilave gözenek yapıcı olarak odun talaşı karışımları ile birlikte kullanılmasıyla gözenekli ve hafif anortit esaslı ısı yalıtım refrakter tuğlaların üretilmesi ve özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan atık madde, içerik olarak bu malzemelerin geliştirilmesi için uygun alternatif bir hammadde kaynağı olarak, kalsiyum karbonat, kil ve selüloz lifleri içermektedir. Atığın mineral kısmı karışımın pişirilmesi sonucu refrakter bünyede kristal fazlarının oluşmasına, organik kısmı olan selüloz lifler ise mikro-gözenek oluşmasına katkı sağlamaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, anortit kompozisyonlu gözenekli seramik malzemeler şamot kili, kâğıt atığı ve odun talaşı karışımlarından üretilmiştir (Şekil 2). Anortit ( $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) kompozisyonu için  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{SiO}_2$  içeriği şamot kilinden (Eczacıbaşı-Esan), CaO içeriği ise kağıt atığından (Levent Kağıt A.Ş., İzmir) sağlanmıştır. Kâğıt atığının mineral içeriğinin yanısıra diğer önemli bir özelliği de selüloz fiber ve karbonat içeriğinden dolayı pişme sırasında gözenek yapıcı etkisidir. Çalışmaya hammaddelerin mineralojik (XRD), kimyasal (XRF), ısı (TG-DTA) ve mikroyapısal (SEM) analizleri yapılarak başlanmıştır.



Şekil 2. Alternatif bir hammadde kaynağı olarak kağıt üretim atığı kullanılmasıyla anortit ( $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ) refrakter izolasyon tuğlasının üretimi

Numunelerin üretimi için çamur döküm yöntemi kullanılmıştır. Anortit kompozisyonu sağlanacak oranda kâğıt atık çamuru (kuru halde ağırlıkça %30 oranında) ve şamot kili karışımları çamur formunda mekanik karıştırıcı ile 30 dakika süreyle karıştırılarak hazırlanmıştır. Numunelerin gözenek miktarını arttırmak için çamur karışımlarına ince boyutlu (<2mm) ağırlıkça % 10, %20 ve %30'a kadar odun talaşı ilavesi yapılmıştır. Çamur karışımlarına su ilave edilerek viskoziteleri ayarlanmış ve ölçülmüştür (Brookfield Viscometer DV II + Pro). Hazırlanan karışımlar alçı kalıp üzerine yerleştirilmiş kalıplara dökülerek (20mm×60mm×150mm) boyutlarında şekillendirilmiş ve 24 saat ortam şartlarında kurumaya bırakılmıştır. Kalıptan çıkarılan numuneler kurutma fırınında önce 50°C'de sonra 100°C'de 12'şer saat kurutulmuştur. Kuru numuneler laboratuvar tipi fırında (Protherm PLF14/15) 1300°C sıcaklıkta 1 saat süreyle pişirilmiştir. Pişirme şartları 600°C'ye kadar önce yavaş (2.5°C/dakika), sonra 1300°C'ye hızlı (10°C/dakika) olacak şekilde iki kademede gerçekleştirilmiştir.

Üretilen numunelerin kristal faz analizi (XRD) ve mikroyapı analizi (SEM-EDS) yapılarak karakterize

edilmiştir. Numunelerin yoğunluk ölçümleri [25], gözenek oranı ölçümleri [26] yapılmış ve ısı genleşme katsayıları (CTE) yatay dilatometre kullanılarak ölçülmüştür. Numunelerin ortam şartlarındaki (~30°C) ısı iletim katsayıları sıcak tel metoduyla hızlı ısı iletkenlik ölçer ile (QTM500, Kyoto Electronics) ölçülmüştür. Numunelere ayrıca oda sıcaklığında üç nokta eğme testi [27] ile ısı şok testleri [28] uygulanarak mekanik dayanımı test edilmiştir.

## 3. Bulgular

### 3.1. Hammadde karakterizasyonu

Kâğıt atık çamuru yaklaşık %65 oranında su içermektedir. Kâğıt endüstrisinden sağlanan atık çamurun katı kısmının yaklaşık %40'ı organik madde (selüloz) ve %60'ı kalsiyum karbonat ve az miktarda kil bileşenlerinden oluştuğu XRD analizi ile tespit edilmiştir. Şamot kili yüksek refrakterlik davranışına sahip olup, kuvars, mullit ve kristobalit fazlarını içermektedir. Hammaddelerin XRF ile yapılan kimyasal analizi Tablo-1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Hammaddelerin kimyasal analizi (%)

Hammaddeler	Kağıt atığı	Şamot kili
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.14	38.5
SiO <sub>2</sub>	6.42	59.0
CaO	32.9	0.1
MgO	1.54	0.1
K <sub>2</sub> O	0.12	0.4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.28	0.5
TiO <sub>2</sub>	0.09	1.1
Na <sub>2</sub> O	0.05	0.05

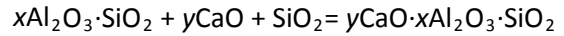
Geri dönüşüm kağıt üretim atığının, şamot kilinin ve odun talaşının SEM görüntüsü Şekil 3’de verilmiştir. Resimde görüldüğü gibi kağıt atığında mikro-boyutlu kalsiyum karbonat ve kil mineralleri (<5 µm) ve selüloz lifleri (<20 µm çaplı) bulunmaktadır. Şamot kilinin tane boyutu 100 µm’dan küçük, talaş boyutları ise 0.5-1mm arasındadır.

Kağıt atığının ısıl davranışı incelenmiş ve 1000°C’ye ısıtılması sonucunda toplam %54’lük bir ağırlık kaybı gözlenmiştir. Kağıt atığının TGA analizine göre, 150°C’ye kadar fiziksel suyun buharlaşması, 550°C’ye kadar organik maddelerin (selüloz lifi, lignin) yanması, 600°C’den itibaren kalsiyum karbonatın parçalanması olayı gerçekleşmiştir. Odun talaşının ısıl analizi ise, 150°C’ye kadar nem kaybı (~%5), 350°C’ye kadar selülozun hızlı bozunması (~%65) ve 350°C’nin üzerinde lignin’in nispeten yavaş bozunması (~%30) şeklinde gerçekleşmiştir [17].

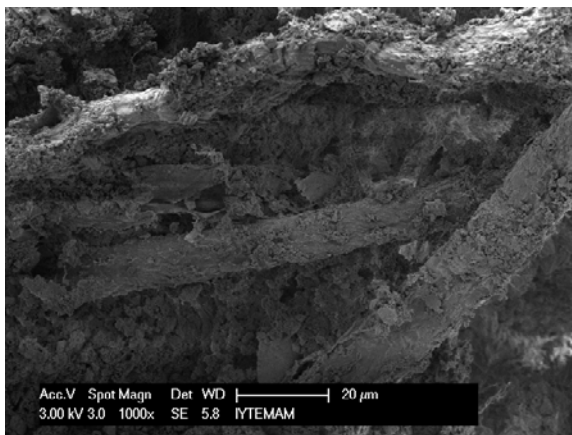
Hazırlanan çamur karışımlarının ilave edilen talaş oranına bağlı olarak viskozite değişimleri ölçülmüştür. İlave edilen talaş miktarının artmasıyla karışımın viskozitesi artmıştır. Karıştırma hızının 10rpm’den 100rpm’e arttırılmasıyla kayma incelmeye davranışı gözlenmiş ve viskozite değerleri %30 talaş katkılı karışım için 15Pa.s’dan 1Pa.s’a kadar azalmıştır [17].

### 3.2. Pişmiş numunelerin karakterizasyonu

Kağıt atığı içeriğinden dolayı, şamot kili ile kimyasal olarak uyumluluk göstermekte ve şamot kilinin kağıt atığının inorganik kısmını oluşturan kalsiyum karbonat ve kil mineralleriyle 1300°C’de reaksiyona girmesi sonucu;



tepkiyesi gereğince kompozisyona bağlı olarak özellikle anortit (CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>) ve gehlenit (2CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·SiO<sub>2</sub>), ayrıca wollastonit (CaO·SiO<sub>2</sub>) ve mullit (3Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>) gibi fazların oluşması muhtemeldir. Yazarların daha önce yaptıkları bir çalışmada [12], değişik oranlarda şamot kili ve kağıt atığı kompozisyonlarından hazırlanan peletlerin farklı sıcaklıklarda sinterlenme davranışları ve karakterizasyonu incelenmiş ve elde edilen bulgular ile anortit kompozisyonu için karışım oranları ve sinterleme sıcaklığı belirlenmiştir.

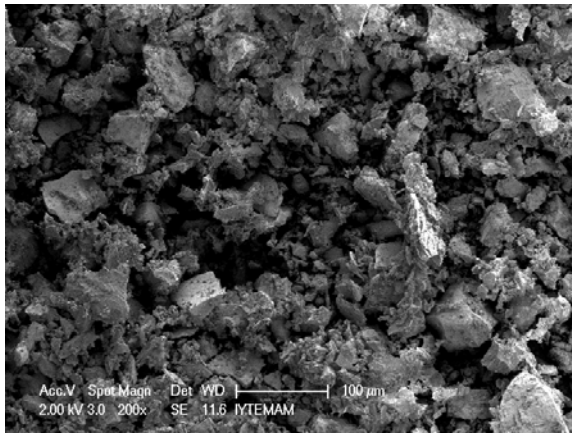


(a)

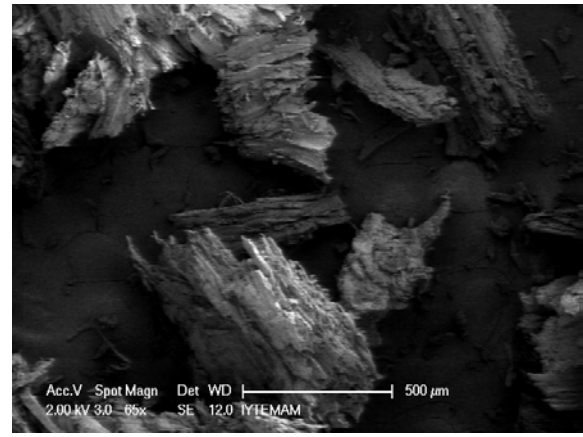


(b)





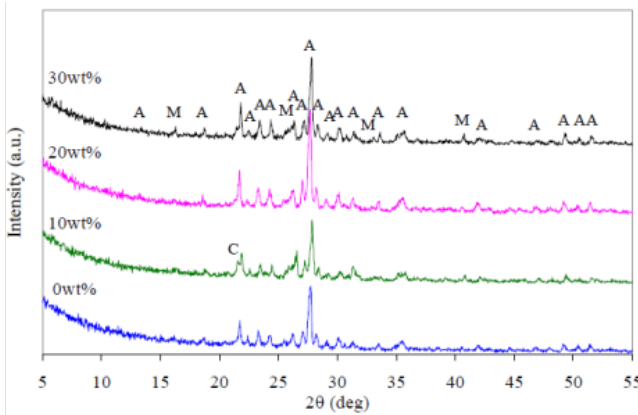
(c)



(d)

**Şekil 3.** (a) Selüloz lifleri ve (b) inorganik maddeleri (kalsiyum karbonat, kil mineralleri) içeren kağıt üretim atığının, (c) şamot kilinin ve (d) odun talaşının mikroyapı görüntüsü.

Üretilen numunelerin XRD analizlerine göre (Şekil 4) tüm numunelerde yüksek oranda anortit fazı ve az miktarda mullit fazı gözlenmiştir. Numunelerin mineral içeriği ASTM 20 ve 23 grubu izolasyon refrakter tuğlaları ile benzerlik göstermektedir [15-16]. Numunelerin mineral içeriği %20.1 CaO, %30.6 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %46.0 SiO<sub>2</sub>, %1.3 MgO, %1.1 K<sub>2</sub>O şeklindedir.

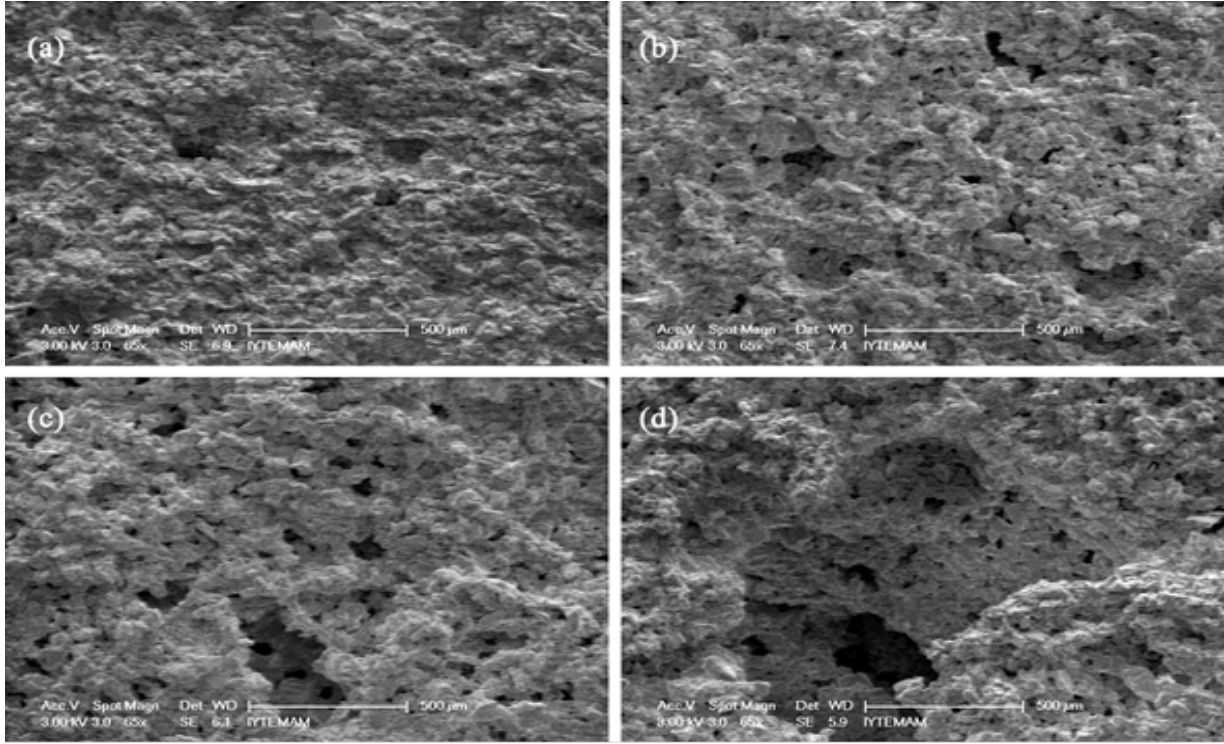


**Şekil 4.** Üretilen malzemelerin XRD grafikleri (A: anortit, M: mullit, C: kristobalit)

Pişmiş numunelerde kâğıt atığındaki selüloz liflerin ve talaşın yanması sonucu mikro ve makro boyutlu gözenekler oluşmuştur. Talaş ilavesiz numunenin civa porozimetre ile ölçülen gözenek boyut dağılımının, ortalama 17µm ve 100µm civarında iki farklı dağılıma sahip olduğu görülmüştür. Diğer talaş katkılı numunelerin analizleri ise gözenek boyutlarının büyük olmasından dolayı ölçülemediğinden gözenek boyutları SEM analizi ile incelenmiştir (Şekil 5). 200µm'dan büyük gözeneklerin talaş katkısıyla oluştuğu

görülmektedir.

Üretilen numunelerin yoğunluk, gözenek oranı, mekanik dayanımı, ısıl genişleme katsayısı, yeniden ısıtma sonrası büzülme, ısıl şok dayanımı ve ısı iletim katsayısı ölçümleri yapılmıştır. 1300°C'de pişmiş numunelerin fiziksel özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Numunelerin yoğunlukları gözenek yapıcı olarak kullanılan artan talaş miktarına bağlı olarak 1.12 g/cm<sup>3</sup>'den 0.64 g/cm<sup>3</sup>'e azalmış, görünür gözenek oranları ise %57'den %74'e artmıştır. Oda sıcaklığında ölçülen ısıl iletkenlik değerleri 0.25-0.13W/mK arasında ölçülmüştür. Numunelerin mekanik dayanımı gözenek miktarının artışına bağlı olarak 2.74MPa'dan 0.61MPa'a düşmüştür.



Şekil 5. İlave edilen talaş miktarına göre şamot kili ve kağıt atığı karışımlarının 1300°C'de pişirilmesiyle üretilen gözenekli malzemelerin SEM görüntüleri: (a) 0%, (b) 10%, (c) 20% and (d) 30%.

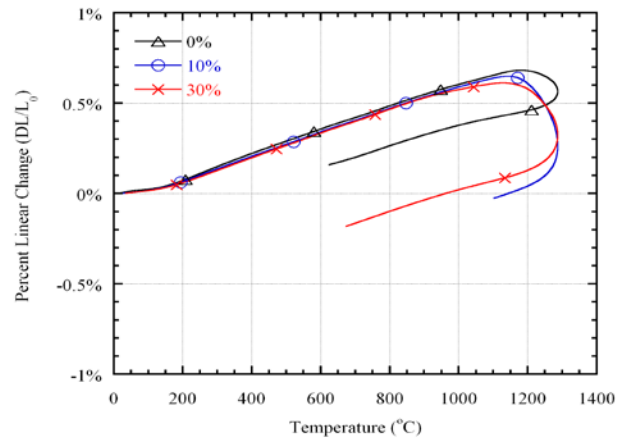
Tablo 2. 1300°C'de pişmiş numunelerin fiziksel özellikleri

Özellikler	Gözenek yapıcı olarak odun talaşı ilavesi			
	0%	10%	20%	30%
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	1.12±0.04	0.92±0.02	0.75±0.01	0.64±0.01
Görünür gözenek (%)	56.9±0.5	64.7±0.4	71.8±0.2	74.1±0.1
Isı iletim katsayısı (W/mK)	0.25±0.01	0.19±0.01	0.15±0.01	0.13±0.01
Eğme dayanımı (MPa)	2.74±0.23	1.84±0.11	1.1±0.1	0.61±0.1

Pişirilmiş gözenekli numunelere yapılan dilatometrik analize göre, numunelerin % liner boyut değişimleri Şekil 6'da gösterilmiştir. Talaş katkısız üretilen numune 1200°C'den sonra, talaş ilavesiyle üretilen numuneler ise 1150°C'den sonra büzölmeye başlamıştır. 1300°C'ye yeniden ısıtma sonrası liner boyut değişimi %0.2-0.6 arasında değişmiştir. Gözenekli refrakter numuneler 1100°C'ye kadar ısıl kararlılık özelliği göstermiştir. Isıl genleşme katsayıları (CTE) yaklaşık  $6.7 \times 10^{-6}$  (1/°C) olarak ölçülmüştür.

Ayrıca, tüm üretilen gözenekli numuneler 1200°C sıcaklığa kadar laboratuvar tipi fırında ısıtıldıktan sonra fırından çıkarılarak ortam sıcaklığında soğutulmuş ve bu ısıl şok test işlemi 5 kez tekrarlanmıştır. Test sonrası numunelerde

deformasyon gözlenmemiştir.



Şekil 6. Talaş ilavesine göre üretilmiş gözenekli numunelerin dilatometrik analizi.

Bu sonuçlara göre, şamot kili ve kağıt atığı karışımlarına %20 ve %30 talaş ilave edilerek

üretmiş gözenekli numunelerin fiziksel özelliklerinin ASTM 23 grubu yüksek sıcaklık ısı yalıtım refrakter tuğlalarının özellikleri ile benzer olduğu görülmüştür [15-16]. Üretilen gözenekli refrakter malzemelerin 1100-1150°C'a kadar servis sıcaklıklarında güvenilir olarak kullanılabileceği görülmektedir.

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, anortit kompozisyonlu gözenekli ve hafif yüksek sıcaklık izolasyon malzemesi üretiminde alternatif bir hammadde olarak kağıt üretim atığının kullanılabilirliği araştırılmıştır. Kağıt atığı içerdiği selüloz lif ve minerallerden dolayı hem mikro-gözenek yapıcı olarak, hem de kalsiyum oksit hammadde kaynağı olarak değerlendirilmiştir. Kağıt atığından gelen CaO ile şamot kilinden  $Al_2O_3$  ve  $SiO_2$ 'nin yüksek sıcaklıkta reaksiyonuyla anortit ( $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ) ve az miktarda mullit fazı oluşmuştur. Elde edilen sonuçlar kağıt atığının gözenekli anortit refrakter malzemelerin üretimi için çok uygun bir hammadde olduğunu göstermektedir.

Üretilen malzemelerin gözenek boyutu ve oranını arttırmak için ilaveten en ucuz gözenek yapıcı olarak odun talaşı kullanılmıştır.

Üretilen malzemelerin karakterizasyon sonuçları göstermiştir ki, ısı iletkenlik değerleri yoğunluk azalmasına ve gözenek miktarının artmasına bağlı olarak 0.25 W/mK ( $1.12 \text{ g/cm}^3$ )'den 0.13 W/mK ( $0.64 \text{ g/cm}^3$ )'e kadar düşmüştür. Gözenekli malzemeler 1100°C'e kadar olan sıcaklıklarda oldukça kararlıdır ve mekanik dayanımlarının yeterli olduğu ölçülmüştür. Çalışma sonuçlarına göre, üretilen gözenekli ve hafif anortit refrakter tuğlaların 1100°C'ye kadar olan yüksek sıcaklık uygulamalarında ısı yalıtım amaçlı kullanılabilme potansiyeli bulunmaktadır.

#### Teşekkür

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde sağladıkları hammaddelerden dolayı Levent Kağıt A.Ş. ve Eczacıbaşı Esan'a ve ayrıca, yapılan analizler için İYTE-MAM ve İYTE-JEOMER'e teşekkür ederiz.

#### Kaynaklar

- Dondi, M., Marsigli, M. and Fabbri, B., 1997, Recycling of industrial and urban wastes in brick production. *Tile and Brick International*. 13(3): p. 218–225.
- Ducman, V., Kopar, T., 2007, The influence of different waste additions to clay-product mixtures. *Materiali in Tehnologije*. 41(6): p. 289-293.
- Junge, K., 2000, Additives in the brick and tile industry. *Zi Brick and Tile Industry International* 53(12): p. 25-39.
- Ahmadi, B. and Al-Khaja, W., 2001, Utilization of paper waste sludge in the building construction industry. *Resources, Conservation and Recycling*. 32(2): p. 105-113.
- Demir, I., Baspınar, M.S., Orhan, M., 2005, Utilization of kraft pulp production residues in clay brick production. *Building and Environment*. 40(11):p. 1533-1537.
- Sutcu, M., Akkurt, S., 2009, The use of recycled paper processing residues in making porous brick with reduced thermal conductivity. *Ceramics International*. 35(7): p. 2625-2631.
- Brosnan, D. A., 2003, Low density ceramics produced from paper recycling residuals, US Patent 6,569,797 B1.
- Aloisi, M., Karamanov, A. and Pelino, M., 2004, Sintered glass-ceramic from municipal solid waste incinerator ashes. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 345: p. 192-196.
- Toya, T., Kameshima, Y., Nakajima, A., Okada, K., 2006, Preparation and properties of glass-ceramics from kaolin clay refining waste (Kira) and paper sludge ash", *Ceramics International*, 32, 789-796.
- Rawlings, R. D., Wu, J. P. and Boccaccini, A. R., 2006, Glass-ceramics: Their production from wastes-a review. *Journal of Materials Science*. 41(3): p. 733-761.
- Dasgupta, S. and Das, S. K., 2002, Paper pulp waste - A new source of raw material for the synthesis of a porous ceramic composite. *Bulletin of Materials Science*. 25(5): p. 381-385.
- Sutcu, M., Akkurt, S., 2010, Utilization of recycled paper processing residues and clay of different sources for the production of porous anorthite ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*. 30(8): p. 1785-1793.
- Sutcu, M., Akkurt, S., Bayram, A., Uluca, U., 2012, Production of anorthite refractory insulating firebrick from mixtures of clay and recycled paper waste with

- sawdust addition. *Ceramics International*, Vol.38, Issue:2 1033–1041.
- Harbison-Walker Refractories, 2005, *Handbook of Refractory Practice*, Harbison-Walker Refractories Company.
- Brosnan, D.A., 2004, Alumina-silica brick, *Refractories Handbook* ed. C. A. Schacht, 79-107, Marcel Dekker Inc.
- ASTM C155-97, 2002, *Standard Classification of Insulating Firebrick*, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Sutcu, M., 2010, The use of paper processing residues in the development of ceramics with improved thermal insulation properties. Doktora tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü.
- Yurkov, A. L. and Aksel'rod, L. M., 2005, Properties of heat-insulating materials (A review). *Refractories and Industrial Ceramics*. 46(3): p. 170-174.
- Dergaputskaya, L. A., Gaodu, A. N. and Litvin, L. G., 1980, Anorthite lightweight refractories for service in carbon-containing media. *Refractories and Industrial Ceramics*. 21(7): p. 366-368.
- Horie, E., Saeki, T., Oosawa, S., Hisaka, H., Tanetani, N., 1981, Process for making heat insulating firebricks, US Patent 4,307,199.
- Pirogov, A. A., Rakina, V. P., Mirak'yan, M. M. and Volkov, N. V., 1970, Anorthite insulating refractory. *Refractories and Industrial Ceramics*. 11(5): p. 303-307.
- Pirogov, A. A., Yutina, A. S., Rakina, V. P. and Drizheruk, M. E., 1972, Characteristics of heat-insulating refractories produced by some foreign companies. *Refractories and Industrial Ceramics*. 13(7): p. 545-547.
- Kryuchkov, Y. N., Mineev, V. P., Troyanskaya, S. V. and Tkach, V. V., 1999, A heat insulating lightweight material. *Glass and Ceramics*. 56(5-6): p. 158-159.
- Suvorov, S. A. and Skurikhin, V. V., 2003, Vermiculite - A promising material for high-temperature heat insulators. *Refractories and Industrial Ceramics*. 44(3): p.186-193.
- ASTM Standard C134-95, 2005, *Standard Test Methods for Size, Dimensional Measurements, and Bulk Density of Refractory Brick and Insulating Firebrick*, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM Standard C20, 2005, *Standard Test Methods for Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Specific Gravity, and Bulk Density of Burned Refractory Brick and Shapes by Boiling Water*, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C133-97, 2003, *Standard Test Methods for Cold Crushing Strength and Modulus of Rupture of Refractories*, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C1171-96, 2003, *Standard Test Method for Quantitatively Measuring the Effect of Thermal Shock and Thermal Cycling on Refractories*, ASTM International, West Conshohocken, PA.