

7131 Çeliğinin Hassas Dökümünden Elde Edilen Döküm Atık Kumu Katılarak Şamot Refrakter Üretimi

*Makale Bilgisi / Article Info

Alındı/Received: 14.04.2023

Kabul/Accepted: 11.01.2024

Yayımlandı/Published: 27.02.2024

The Production of Chamotte Refractories by Incorporation of Foundry Waste Sand Obtained From Investment Casting of 7131 Steel

Tuba BAHTLI^{1*}, Veysel Murat BOSTANCI²

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 42100, Konya, Türkiye

² Necmettin Erbakan Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 42100, Konya, Türkiye

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

Öz

Alüminasilikat esaslı kalıplar hassas döküm proseslerinde kullanıldıktan sonra atık haline gelerek, geri dönüşüm yapılmadan birikmesi çevreye zarar vermekte ve sorun haline gelmektedir. Bu çalışmada, 7131 çeliğinin hassas dökümünden sonra oluşan hassas döküm atık kumu (PCWS-A) kullanılarak şamot refrakter malzemeler üretilmiştir. Üretilen şamot refrakter malzemelerin fiziksel, mekanik ve termal şok özellikleri belirlenmiş, malzemelerinin XRD (X-ışını kırınım yöntemi) ve SEM (taramalı elektron mikroskopu) analizleri yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre termal şok testi öncesi ve sonrası PCWS-A kullanılarak üretilen şamot refrakter malzemelerin mekanik ve termal özelliklerinin iyileştirildiği ve dolayısıyla hassas döküm atık kumları ile şamot refrakter tuğla üretiminin performans, maliyet ve çevre açısından avantajlar sağlayacağı öngörülmüştür. Sağlanacak bu avantajlarda, kullanılan PCWS-A içerisinde refrakter malzemelerin mekanik özelliklerine katkı sağladığı bilinen zirkonun bulunmasının etkili olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Şamot; Hassas döküm; Refrakter; Atık.

Abstract

Alumina Silicate based molds become waste after being used in precision casting processes, and their accumulation without recycling harms the environment and becomes a problem. In this study, fireclay refractory materials were produced by using precision casting waste sand (PCWS-A) formed after precision casting of 7131 steel. The physical, mechanical and thermal shock properties of the produced chamotte refractory materials were determined, and XRD (X-ray diffraction method) and SEM (scanning electron microscope) analyzes of the materials were made. According to the results obtained, it was predicted that the mechanical and thermal properties of fireclay refractory materials produced using PCWS-A before and after the thermal shock test were improved, and therefore, the production of chamotte refractory bricks with investment casting waste sands would provide advantages in terms of performance, cost and environment. It is thought that the presence of zircon, which is known to contribute to the mechanical properties of refractory materials, in the PCWS-A used is effective in these advantages

Keywords: Chamotte; Investment casting; Refractory; Waste.

1. Giriş

Hassas döküm tekniği, doğruluk, çok yönlülük, bütünlük ve metalurjik sınırlamalar olmaksızın temel faydaları nedeniyle yüksek kaliteli ve karmaşık geometrilere sahip metalik parçaların üretiminde muazzam avantajlara sahiptir (Kanyo vd. 2020, Jones ve Yuan 2003, Körber vd. 2021). Seramik kabuğun mekanik ve fiziksel özelliklerini, döküm işleminde karmaşık mekanik harekete dayanacak ve ardından farklı döküm alaşımları için benzersiz gereksinimleri karşılayacak şekilde optimize etmek esastır (Pattnaik vd. 2012, Mishra ve Ranjana 2010). Örneğin, kabuğun yüksek ham mukavemeti, mum alma işlemi sırasında zarar görmeden kolayca işlemek için arzu edilir ve kabuğun yüksek sinterlenmiş mukavemeti, dökme eriyiğinin stresini taşımaya yardımcı olur, ayrıca

metalurjik kusurların oluşmasını önlemek adına iyi geçirgenlik ve ısı transferi faydalıdır (Kanyo vd. 2020). Genel olarak, kabuğun fazladan katlarının eklenmesi, kabuğun karmaşık strese dayanma ve dökümlerin aşırı deformasyonunu önleme yeteneğini geliştirmek için etkili bir yaklaşımdır (Yuan ve Jones 2003).

Hammaddede sürekli artan maliyet ve talep, kullanılmış seramik malzemelerin refrakter sektöründe alternatif bir hammadde olarak geri dönüşümünü zorunlu kılmaktadır (Hossain ve Roy 2020). Ateş kili, yüksek termal şok direnci, yüksek refrakterlik ve yüksek korozyon direnci özellikleri nedeniyle inşaat endüstrisinde en umut verici ve popüler olarak kullanılan yalıtım ve yapı malzemelerinden biridir (Javed vd. 2020). %50-60 silika ve %18-44 alümina içerir (Lingling vd. 2005).

Çoğu ülkede hükümet, madenlerin aşırı kazılması nedeniyle madenlerini sınırlama talimatı vermiştir. Maden sektörlerinde büyük talep yaratmaktadır (Reijnders 2007). Sanayiciler ve bilimsel uzmanlar, endüstriyel atıkların refrakter tuğla, beton, plastik, demir üretimi vb. gibi çeşitli endüstriyel uygulamalar için ikame malzeme olarak yeniden kullanılmasına yönelik birçok araştırma türünü ortaya koymuştur (Samadi vd. 2020). Bu ikame inşaat sektöründe hammadde maliyetini düşürür ve atık olarak kabul edilen malzemeyi yeniden kullanır (Sahu ve Singh 2017, Kazmi vd. 2018).

Türkiye’de çoğunlukla makina, havacılık, enerji, medikal, otomotiv ve gıda sektörlerine üretimler hassas döküm ile yapılmaktadır. Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği (TOBB) Döküm Sanayi Sektör Meclisi-2020 Hassas Döküm Raporu ile Türkiye Döküm Sanayicileri Derneği (TÜDÖKSAD)’nin 2021 yılı sektör raporunda, 2016’da dünyada 1,8 milyon ton hassas döküm üretimi yapıldığı ve 2023’te üretimin 2,43 milyon tona ulaşacağı belirtilmiştir (İnt. Kyn. 1).

Literatürde atık döküm kumları ile ilgili çalışmalar incelendiğinde; atık döküm kumlarının portland çimento betonunda %30’a kadar kullanımının, özellikleri olumsuz yönde etkilemediği tespit edilmiştir (Torres 2017, Siddique ve Singh 2011) atık döküm kumunun beton özelliklerine etkisini incelemiş ve elde ettikleri basınç ve kopma dayanımı, elastisite modülü, donma çözülme direnci ve büzülme değerleri sonuçlarına göre döküm kumunun beton yapımında kullanılabilirliğinin uygun olduğunu belirtmiştir.

Gedik tarafından yapılan çalışmada atık döküm kumlarının karayolu dolgu malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılarak klasik yol malzemeleriyle ekonomik olarak karşılaştırılmıştır (Gedik 2008). Vitrikiye

ve seramik sektöründe de kullanımı üzerine çalışmalar yapılmış olup olumlu sonuçlar elde edilmiştir (Bragança vd. 2006, Lin vd. 2017).

Xiang ve ark. tarafından yapılan çalışmada, zirkon çıkarımı sonrası elde edilen atık kum kullanılmış, mikro yapıyı ve fiziksel özellikleri incelemek için ağırlıkça %10 polivinilalkol (PVA) çözeltisi ile numuneler hazırlanmış; 1300-1550 °C’de ısıtılma tabii tutulan atık kum örneklerinin mikroyapısal gelişimi incelenmiştir. Çalışmada, atık kumun 1450 °C’nin altında uygun stabilite göstermesiyle refrakterde potansiyel kullanımı olabileceği, 1500 °C veya daha yüksek sıcaklıklarda işlem gördüğünde atık kumda dikkate değer değişikliklerin örneğin zirkon ayrışması ve 1550 °C üzerinde kristobalitin erimesi sonucu yoğunluk düşmesi gibi etkilerin oluşabileceği, bu sebeple atık kumun izolasyon malzemesinde kullanımı üzerinde odaklanılmasının uygun olacağı sonuçlarına ulaşılmıştır (Xiang vd. 2019).

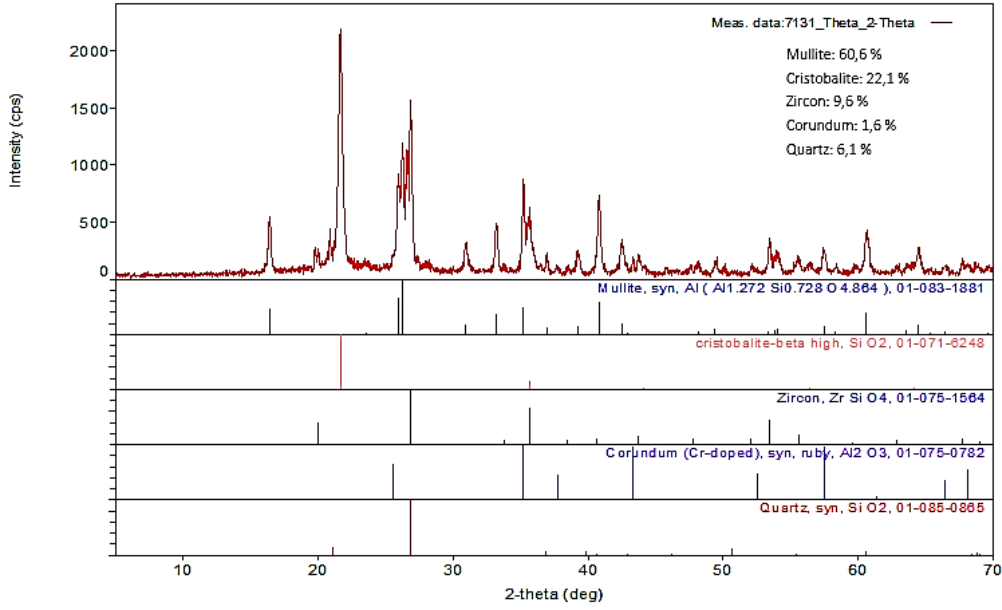
Literatürde hassas döküm atık kumlarının geri kazanımına yönelik çalışmalar sınırlı olup bu çalışmada atık bertarafı için hassas döküm atık kumlarının şamot refrakter üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Şamot, boksit ve 7131 çeliğinin hassas dökümünden sonra oluşan atık kumuna (PCWS-A) ait XRF (RİGAKU ZSX Primus) analiz sonuçları Çizelge 1’de verilmiştir. Ağırlıklı olarak Al₂O₃ ve SiO₂’den oluşan hammaddelerde safsızlıkların miktarı da maksimum %3 civarındadır. Atık malzeme içerisinde de %6 seviyesinde ZrO₂ varlığı görülmektedir.

Çizelge 1. Atık kumu ve hammaddelere ait XRF analiz sonuçları.

	7131	Şamot 1-3mm	Şamot 0-1mm	Şamot Toz	Boksit 1-3mm
Al ₂ O ₃	35,59	33,67	28,53	33,63	71,81
SiO ₂	53,29	61,48	66,82	59,96	22,99
Fe ₂ O ₃	1,52	1,66	1,54	2,46	2,09
TiO ₂	2,18	2,84	2,52	2,99	2,80
CaO	0,25	0,35	0,59	0,96	0,31
ZrO₂	6,14	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	0,39	0,00	0,00	0,00	0,00
Cr ₂ O ₃	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
P ₂ O ₅	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00
K ₂ O	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00
HfO ₂	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00



Şekil 1. Hassas döküm atık kumuna ait XRD analizi.

Çizelge 2. Şamot refrakter tuğla üretimi için kompozisyon reçeteleri.

	1-3 mm Şamot (%)	0-1 mm Şamot (%)	-63 µm Şamot (%)	1-3 mm Boksit (%)	-63 µm PCWS-A (%)	Bağlama Kili (%)	Totanin (%)
R	20	15	20	35	0	10	3
X5	20	15	15	35	5	10	3
X10	20	15	10	35	10	10	3
X20	20	15	0	35	20	10	3

XRD (Panalytical empyrean) analiz sonuçlarında (Şekil 1) atık malzeme içerisinde bulunan fazlar görülmektedir. Rietveld analizi sonrası mevcut fazların %60,6'sı müllit ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), %6,1'i kuvars (SiO_2), %22,1'i kristobalit (SiO_2), %9,6'sı zirkon ($ZrSiO_4$) ve %1,6'sının korundum (Al_2O_3) fazı olduğu tespit edilmiştir. Hassas döküm kumu içinde olan fazların Şamot (Alüminasilikat) yapısına uygun olacağı göz önüne alınarak hem atık geri kazanımı, hem zirkon ile refrakter özelliklerinin iyileştirilmesi, hem de şamot hammadde miktarının bir kısmının atık kumdan sağlanması ile üretim maliyetinin azaltılması amacıyla şamot refrakterler içerisinde farklı oranlarda hassas atık kumları kullanılmıştır (Çizelge 2). Çizelge 2'de belirtilen kompozisyonlar (X5: %5 katkı, X10: %10 katkı ve X20: %20 katkı) Necmettin Erbakan Üniversitesi Metalürji ve Malzeme Mühendisliği bölümü laboratuvarında karışımı gerçekleştirildikten sonra Hürsan marka preste 25 bar (40 MPa) basınç uygulanarak: i) 125 cm^3 kare prizma, ii) 35 bar (40 MPa) basınç uygulanarak 25 mm x 25 mm x 150 mm ebatlarında çubuk şeklinde refrakter malzemeler olarak şekillendirilmiştir.

Şekillendirilen malzemeler MSE Marka ATM_EL_V1700_12_(CH) model yüksek sıcaklık fırını içerisinde $5^\circ\text{C}/\text{dk}$ 'lık ısıtma hızı kullanılarak, 4 saat süre

ile 1250°C 'de sinterlenmiştir. Sinterleme işlemi sonrası malzemelerin yoğunluk ve açık gözenek testleri BS 7131 standardında Arşimet terazisi ile gerçekleştirilmiştir. Numuneler düzeneğe yerleştirilerek su içerisindeki ağırlıkları (W_b), sudan çıkarılan numunelerin yüzeyi kâğıt mendil ile silinerek yağ ağırlıkları (W_c), son aşama olarak numuneler etüvde kurutulduktan sonra kuru ağırlıkları hassas terazide tartılarak belirlenmiştir (W_a). Görünür porozite (%) ve yığınsal (bulk) yoğunluk değerleri görünür porozite ve yoğunluk denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır (British Standard, 1989). Formülde dsu suyun yoğunluğudur.

$$\text{Görünür Porozite (\%)} = [(W_c - W_a) / (W_c - W_b)] \times 100$$

$$\text{Yığınsal (Bulk) Yoğunluk} = [dsu \times W_a / (W_c - W_b)]$$

Mekanik testlerden soğuk basma mukavemeti testi ASTM C133 ve 3 nokta eğme testi ASTM C1161-90 standartlarında gerçekleştirilmiştir. Mekanik testlerle malzemelerin mukavemet, tokluk, elastik modül değerleri incelenmiştir. Daha sonra malzemelerin ısıl şoka dirençlerini belirlemek adına ısıl şok testi uygulanmıştır. Üretilen malzemelerin mikroyapı analizleri ve kırık yüzey incelemeleri taramalı elektron mikroskobu

(Hitachi – SU 1510) ile ve faz analizleri de XRD (Panalytical Empyrean) ile gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular

3.1. Fiziksel testlere ait sonuçlar

Arşimet düzeneği yapılarak fiziksel testleri gerçekleştirilen malzemelere ait %açık gözenek ve yoğunluk grafikleri Şekil 2'de gösterilmiştir. %5 ve %10 katkılı malzemelerin yoğunluk değerleri katkısız malzemeden yüksek olup, katkı miktarı %20 olduğunda, yoğunluk değeri katkısız malzemeye göre azalmaktadır. Zirkon varlığı yoğunlaşmayı artırmış ve böylece mekanik özelliklerin artmasında önemli bir faktör olarak kabul edilen gözenekliliği önemli ölçüde azaltmıştır (Aksel 2003).

Toz haline getirilen hassas döküm atık kumu ile gözeneklerin dolması ve içerisinde daha yoğun olan zirkon mineralinin ($4,7 \text{ g/cm}^3$) refraktere katılması ile % açık gözenek değerlerinin azaldığı ve yoğunluğun arttığı ancak hassas döküm atık kumunun artması ile mikroçatlak miktarının ve gözeneklerin artması, farklı sinterlenme davranışlarına bağlı olarak atık kum ile refrakter tanelerin ara yüzeylerinde oluşan zayıf bağlanmalar sebebi ile yoğunluğun azaldığı düşünülmüştür (Bahtlı ve Bostancı 2020).

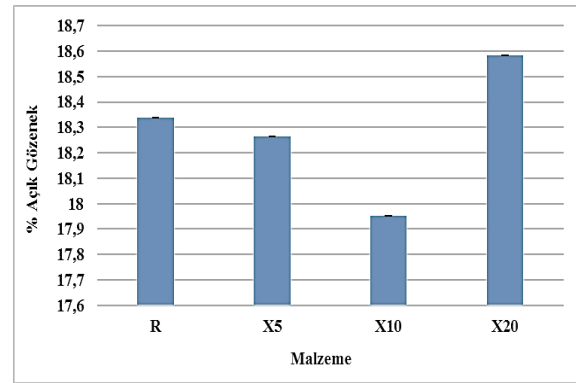
Refrakterlerde zirkon ilavesi ile ilgili çalışmalara bakıldığında, zirkon ilavesi ile hazırlanan numunelerin yoğunluk değerlerinin artan zirkon ilavesiyle, zirkonun ana yapıdan daha yoğun olması sebebiyle ($d_{\text{zirkon}}:4,7 \text{ g/cm}^3$) arttığı gözlemlenmiştir (Ceylantekin ve Aksel 2010, Meng vd. 2016). Şamot refraktere zirkon ilavesinin, zirkon mineralinin şamottan daha yoğun olmasından dolayı yoğunlukta artışa sebep olduğu belirlenmiştir (Xiang vd. 2016).

3.2. Mekanik testlere ait sonuçlar

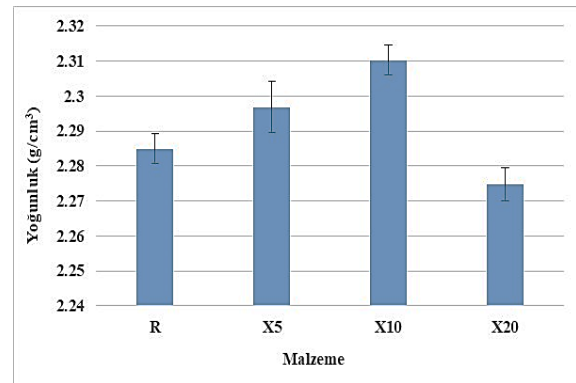
Üretimi gerçekleştirilen malzemelere ait soğuk basma mukavemeti (SBM) testine ait grafik Şekil 3'te gösterilmiştir. Soğuk basma mukavemeti sonuçlarına göre, ağırlıkça %5 ve %10 oranlarında PCWS-A içeren şamot malzemelerinin soğuk basma mukavemet değerleri katkısız malzemeden daha yüksek iken %20 PCWS-A ilavesi ile üretilen şamot refrakterlerin SBM değerinde bir miktar düşüş gözlemlenmiştir. Benzer sonuçlar yoğunluk tayininde de elde edilmiştir. Yoğunluk artışı ile SBM değerlerinin arttığı belirlenmiştir. Yoğunluk

değerinin SBM üzerine etkili olduğu belirlenmiştir.

Zirkon ilavesinin yoğunluğu artırdığı ve açık gözeneği düşürdüğü gözlemlenmiştir. Artan zirkon ilavesinin soğuk basma mukavemetini de artırdığı gözlemlenmiştir (Meng vd. 2016). Refrakterlerde bağlayıcı faz için kullanılacak hammaddelerde alkali, toprak alkali oksitlerin ve demir oksit içeren bileşiklerin (K_2O , Na_2O , CaO , Fe_2O_3) mümkün oldukça düşük seviyede olması arzu edilir. Bu tip oksitlerin miktarının yüksek olması yük altında refrakterlik, yüksek sıcaklıkta eğme mukavemeti (Hot-MOR) gibi yüksek sıcaklık refrakterlik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir (Başpınar 2005).

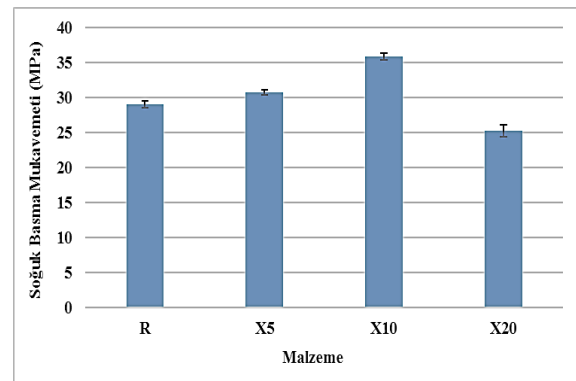


(a)



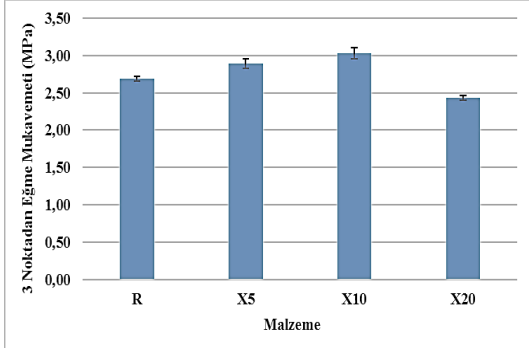
(b)

Şekil 2. Katkısız ve PCWS-A kullanılarak üretilen şamot refrakter kompozisyonlara ait a) % açık gözenek, b) yoğunluk grafiği.



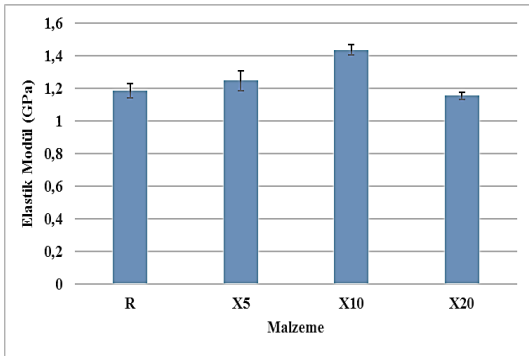
Şekil 3. Katkısız ve PCWS-A kullanılarak üretilen kompozisyonlara ait soğuk basma mukavemeti grafiği.

Şekil 4 ve Şekil 5'te üretilen malzemelerin 3 nokta eğme, elastik modül ve tokluk grafikleri verilmiştir. %5 ve %10 oranlarında PCWS-A ilavesi ile üretilen şamot refrakterler için zirkon ilavesi ile yoğunluk ve mukavemet artmıştır. Ayrıca zirkon tanelerinin varlığı ile tokluk ve elastik modülü değerleri de artmıştır.

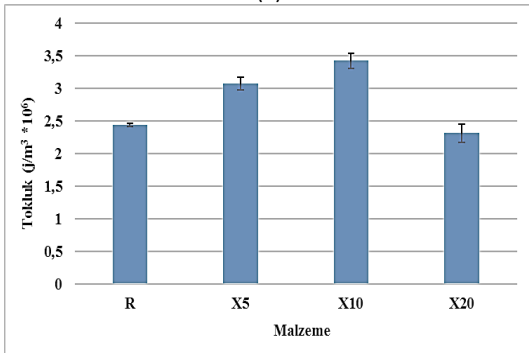


Şekil 4. Katkısız ve PCWS-A kullanılarak üretilen kompozisyonlara ait 3 nokta eğme mukavemeti grafiği.

Zirkonya-müllit kompozitlerinin müllite göre daha iyi korozyon direncine, mukavemete ve tokluğa sahip olduğunu ve bu kompozitlerin özellikle cam fırınlarında kullanılan önemli seramik malzemeler olduğu bildirilmiştir (Biswas ve Chaudhuri 1999). Malzemenin bağ mukavemetinin artmasının mekanik özellikler üzerine etkili olduğu; ancak daha yüksek oranda PCWS-A ilavesi ile gözenek miktarı ve mikroçatlakların artması ve bağ mukavemetinin de azalması ile mekanik özelliklerin azaldığı düşünülmüştür.



(a)

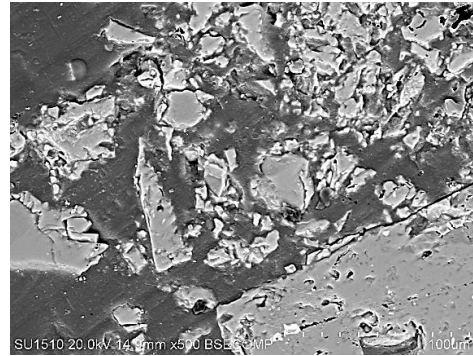


(b)

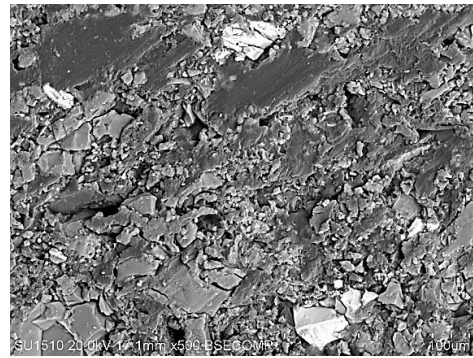
Şekil 5. Katkısız ve PCWS-A kullanılarak üretilen kompozisyonlara ait Elastik modül ve Tokluk grafiği.

3.3. İç yapı incelemeleri

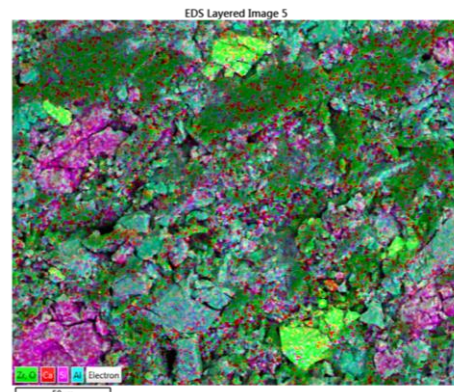
Şekil 6'da malzemelerin mikroyapı görüntüleri verilmiştir. Şekil 7.c'de yapı içerisindeki zirkon sarı renkle gösterilmiştir. PCWS-A katkılı refrakter malzemeye ait mikroyapı görüntüsü incelendiğinde referans malzemeye göre daha küçük tanelerden oluştuğu görülmektedir. Referans malzemeye göre düşük tane boyutu, zirkon varlığı ile toklaşmanın yanı sıra mikroçatlakların ve gözeneklerin varlığının toklukta artışa sebep olduğu ve bu sebepten referans malzemeye göre daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu düşünülmektedir. Ancak atık girdisi arttıkça bu durumun çatlak ilerlemesini engellemek yerine daha büyük çatlaklara sebep olduğu malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini olumsuz etkilediği düşünülmektedir.



(a)

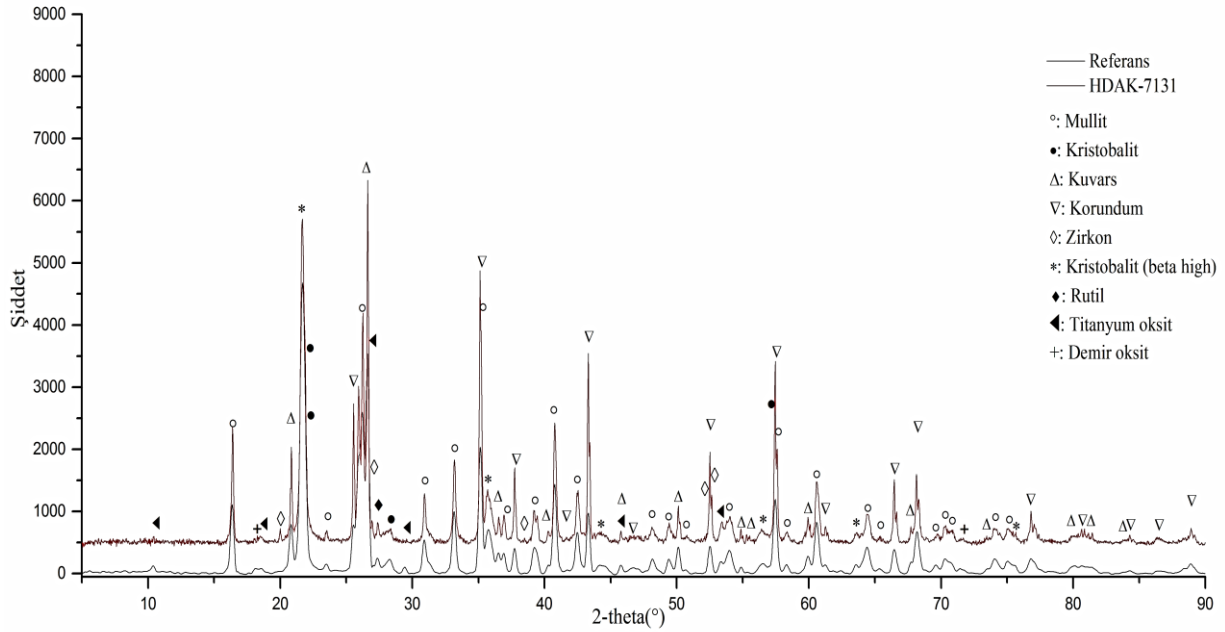


(b)



(c)

Şekil 6. a) Referans, b) %10 PCWS-A katkılı kompozisyonlara ait mikroyapı analizleri ve c) %10 PCWS-A kompozisyonuna ait mikroyapı haritalaması.



Şekil 7. Katkısız ve PCWS-A katkılı malzemeye ait XRD grafiği.

Şekil 7’de ki XRD analizleri incelendiğinde üretilen katkısız malzeme içeriğinde müllit ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), kristobalit (SiO_2), kuvars (SiO_2), korundum (Al_2O_3), titanyum dioksit (TiO_2) ve demir oksit (Fe_2O_3) fazlarının olduğu görülmüştür. Katkılı malzemeler incelendiğinde ise müllit ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), kristobalit (SiO_2), kuvars (SiO_2), korundum (Al_2O_3), zirkon ($ZrSiO_4$), beta kristobalit ($\beta-SiO_2$), demir oksit (Fe_2O_3) ve rutil (TiO_2) fazlarının olduğu görülmektedir. Hassas döküm kumu atıklarından kaynaklanan yeni bir faz oluşumuna rastlanmamıştır. Yapılan Rietveld analizi sonrası sonuçlar Çizelge 3’te gösterilmiştir.

Çizelge 3. XRD - Rietveld analizi sonuçları

Faz	Referans (%)	7131 (%)
Müllit	40,5	46,6
Kristobalit	4,4	4
Kuvars	10,7	10,3
Korundum	31,2	23
Zirkon	-	0,3
Kristobalit (β)	13	15,4
Rutil	-	0,3
Titanyum dioksit	-	0,1
Demir oksit	0,2	-

3.5. Isıl Şok Testine Ait Sonuçlar

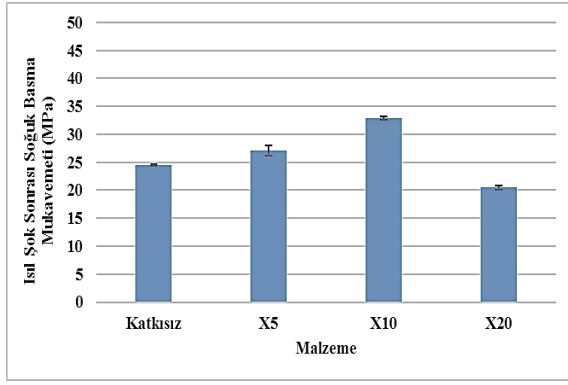
Isıl şok testi sonrası elde edilen grafikler Şekil 8’de gösterilmiştir. SBM ve 3 nokta eğme testlerinin sonuçları incelendiğinde genel olarak mukavemet düşüşü meydana gelmiştir. Bu duruma malzemenin içinde

bulunan çatlaklara ısıl şok sonrası meydana gelen yeni çatlakların meydana gelmesi sebep olarak gösterilebilir. Mukavemet oranı ısıl şok sonrası mukavemetin ne kadar korunduğunu göstermektedir. Mukavemet oranı; ısıl şok sonrası mukavemet değerlerinin, ısıl şok öncesi başlangıç değerlerine bölünmesiyle ifade edilmektedir. Soğuk basma testi mukavemet oranlarının genel olarak katkısız malzemenin değerine yakın olduğu görülmektedir. Şekil 9’da mukavemet oran grafikleri gösterilmiştir.

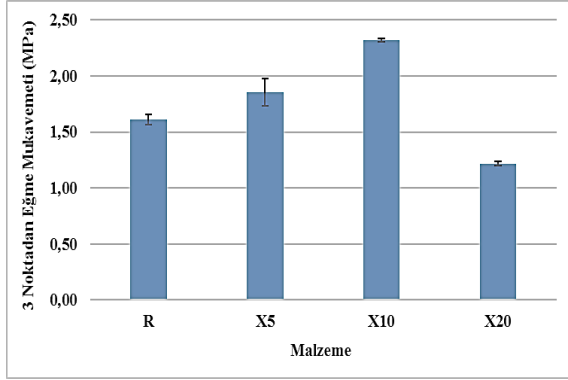
Zirkonun ısıl şoka direnci ve şok sonrası mikroçatlakların çatlak köprülenmesi ile enerjiyi absorbe etmesi mukavemet oranındaki artmaya sebep olarak açıklanabilir. 3 nokta eğme mukavemet oranı incelendiğinde ise %20 katkı kullanıldığında, katkısızdan düşük çıkarken genel olarak %5 ve %10 katkılı refrakterlerde katkısızdan yüksek çıkmaktadır. Zirkon içeriğinin hem tokluğa hem de ısıl şok direncinde etkin olduğu görülmüştür.

3.4. Kırık Yüzey SEM Analizine Ait Sonuçlar

Katkısız malzemeye ait kırık yüzey analizi görüntüsü Şekil 10’da gösterilmiştir. Isıl şok öncesi ve sonrası genel olarak küçük tanelerde taneler arası, büyük tanelerde ise tane içi kırılmalar gözlenmiştir. PCWS-A katkılı malzemeye ait kırık yüzey görüntüsü Şekil 11’de gösterilmiştir. Referans malzemeye göre daha küçük tane yapısına sahip olduğu görülmektedir. Şok öncesi küçük tanelerde taneler arası kırılmalar gözlenirken, ısıl şok sonrasında kırılmaların genel olarak tane içi kırılma tipinde olduğu gözlenmiştir.

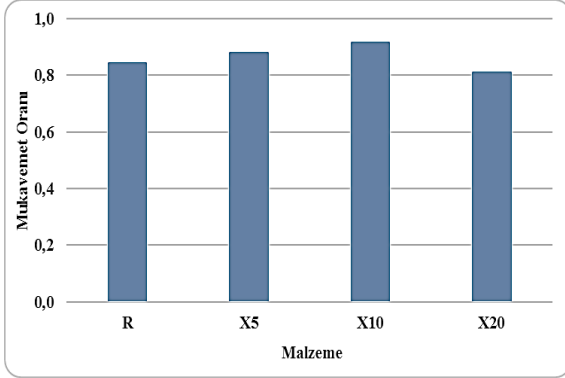


(a)

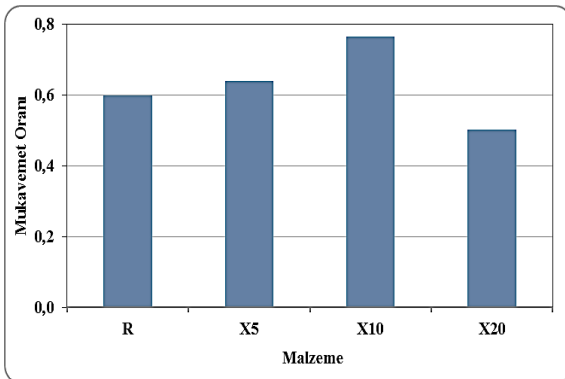


(b)

Şekil 8. Katkısız ve PCWS-A kullanılarak üretilen kompozisyonlara ait ısıl şok sonrası a) SBM ve b) 3 nokta eğme testleri sonucu elde edilen mukavemet grafikleri

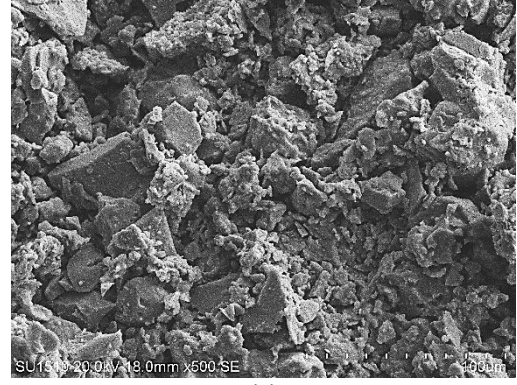


(a)

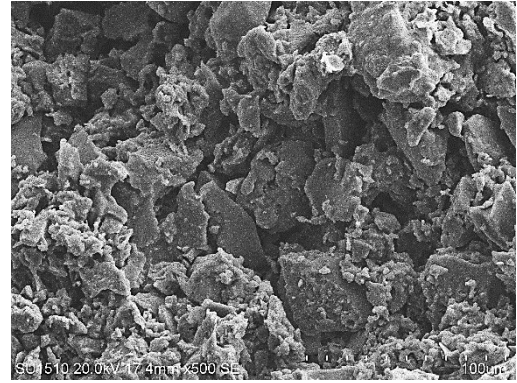


(b)

Şekil 9. Katkısız ve PCWS-A kullanılarak üretilen kompozisyonlara ait a) SBM ve b) 3 nokta eğme testleri sonucu elde edilen mukavemet oranı grafikleri

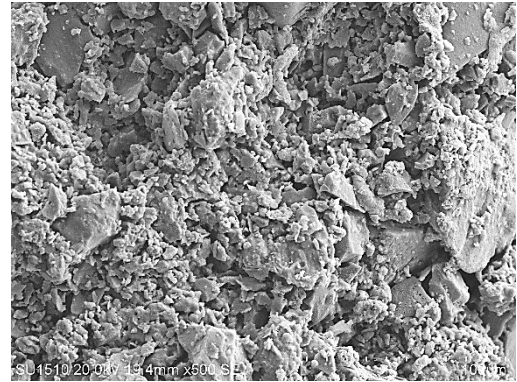


(a)

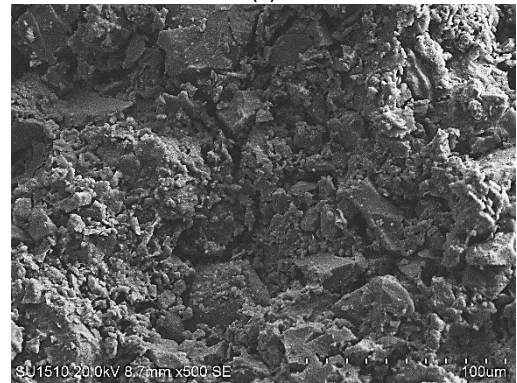


(b)

Şekil 10. Katkısız üretilen kompozisyonlara ait kırık yüzey analiz görüntüleri a) ısıl şok öncesi ve b) ısıl şok sonrası.



(a)



(b)

Şekil 11. %10 PCWS-A katkılı üretilen kompozisyonlara ait kırık yüzey analiz görüntüleri a) ısıl şok öncesi ve b) ısıl şok sonrası.

Tane içi ve taneler arası çatlakların bir arada bulunması, daha küçük tane boyutu, mikroçatlak oluşumu ve zirkon içeriği, termal şok testi sonrası mekanik özellikleri ve PCWS-A katkıları ile üretilen refrakterlerin termal şok dirençlerini etkileyen temel parametrelerdir (Bahtlı ve Bostancı 2019).

4. Tartışma ve Sonuç

Çevresel bir problem haline gelen ve depolama problemi yaşanan hassas döküm atık kumlarının tekrar kullanımına yönelik yapılan bu çalışma kapsamında hem şamot refrakter üretiminde hammadde girdisi olarak kullanımı için maliyet düşüşüne sebebiyet verecek hem de içerisinde barındırdığı zirkon mineralinin değerlendirilmesi ve bu mineralin mukavemette artışa sebebiyet vermesi bu atık malzemenin kullanımının tüm bu faktörlere faydalı olacağı söylenebilir.

Özellikle %10 katkılı malzemenin gösterdiği mukavemet artışı referansa göre SBM'de yaklaşık %23, 3 nokta eğmede ise yaklaşık %12 değerindedir. Tokluk değerleri incelendiğinde özellikle %10 katkılı malzemede yaklaşık %40 oranında artış meydana gelmiştir. Bu sonuçlar göz önüne alındığında atık malzemenin şamot refrakterlerde kullanımının olumlu sonuçlar verdiği söylenebilir.

Mikroyapı analizleri incelendiğinde zirkon varlığı ile toklaşmanın yanı sıra mikroçatlakların ve gözeneklerin varlığının da toklukta artışa sebep olduğu ve bu sebepten referans malzemeye göre daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu düşünülmektedir. Isıl şok analizi sonrası yapılan kırık yüzey analizinde atık içeren malzemenin referans malzemeye göre daha küçük tane boyutlu olduğu ve şok öncesi küçük tanelerde taneler arası kırılmalar gözlenirken, ısıl şok sonrasında kırılmaların genel olarak tane içi kırılma tipinde olduğu gözlenmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda; 7131 kodlu çelik dökümü sonrası atık haline gelen hassas döküm kumu %5 ve %10 oranında kullanıldığında, katkısız şamot refrakter tuğlasına göre daha yüksek yoğunluk, mukavemet değerleri, tokluk, ısıl şok sonrası mukavemet oranı ve dolayısı ile daha iyi ısıl şok direncine sahip refrakterlerin üretildiği belirlenmiştir.

Etik Standartlar Bildirgesi

Yazarlar tüm etik standartlara uyduklarını beyan ederler.

Yazarlık Katkı Beyanı

Yazar 1: Araştırma, Fikir Sahibi, Proje Yöneticisi, Kaynaklar, Yazma

Yazar 2: Kaynaklar, Araştırma, Deney tasarımı, Deneyleme, Karakterizasyon, Yazma

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarların bu makalenin içeriğiyle ilgili olarak beyan edecekleri hiçbir çıkar çatışması yoktur.

Verilerin Kullanılabilirliği

Bu çalışma sırasında oluşturulan veya analiz edilen tüm veriler, yayınlanan bu makaleye dahil edilmiştir.

5. Kaynaklar

Aksel, C., 2003. Mechanical properties and thermal shock behaviour of alumina-mullite-zirconia and alumina-mullite refractory materials by slip casting. *Ceramics International*, **29**, 311-316, [https://doi.org/10.1016/S0272-8842\(02\)00139-6](https://doi.org/10.1016/S0272-8842(02)00139-6).

In Annual Book of ASTM Standards 7 (2021) Standard Test Methods for Cold Crushing Strength and Modulus of Rupture of Refractories, Designation: ASTM C133-9, <https://doi.org/10.1520/C0133-97R21>.

In Annual Book of ASTM Standards (1991). Standard Test Methods for flexural strength of advanced ceramics at ambient temperature, Designation: C1161-90, <https://doi.org/10.1520/C1161-18R23>.

Bahtlı, T. and Bostancı, V.M., 2020. Effect of precision casting sand waste of 4140 steel on the sintering and densification behaviour of chamotte refractories. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, **142**, 2385–2390, <https://doi.org/10.1007/s10973-020-09956-6>.

Bahtlı, T. and Bostancı, V.M., 2019. Paslanmaz çeliklerin hassas döküm kumu atıklarının katılmasıyla üretilen beyaz ergimiş alümina refrakterlerinin mekanik özellikleri ve termal şok dayanımları. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **19** (Special issue), 440–446.

Başpınar, M.S., 2005. Müllit refrakterlerde bağlayıcı fazın optimizasyonu. Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 202.

Biswas, N. and Chaudhuri, S., 1999. Comparative study of zirconia-mullite and alumina-zirconia composites. *Bulletin of Materials Science*, **22**, 37-47, <https://doi.org/10.1007/BF02745674>.

Bragança, S.R., Vicenzi, J., Guerino, K., Bergmann, C.P., 2006. Recycling of iron foundry sand and glass waste as raw material for production of whiteware. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, **24**, 60–66, <https://doi.org/10.1177/0734242X06061155>.

- British Standard. (1989). British standard testing of engineering ceramics BS 7134 British Standards Institution.
- Ceylantekin, R. and Aksel, C., 2010. MgO-Spinel kompozit refrakterlere ZrSiO₄ ilavesinin korozyon davranışına etkisi. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi A- Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik*, **11**, 103-104.
- Gedik, A., 2008. Atık döküm kumlarının karayolu malzemesi olarak kullanımı, Yüksek lisans tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 147.
- Hossain, S.S. and Roy, P.K., 2020. Sustainable ceramics derived from solid wastes: a review. *Journal of Asian Ceramic Societies*, **8**, 984-1009, <https://doi.org/10.1080/21870764.2020.1815348>.
- Javed, U., Khushnood, R.A., Memon, S.A., Jalal, F.E. and Zafar, M.S., 2020. Sustainable incorporation of lime-bentonite clay composite for production of eco-friendly bricks. *Journal of Cleaner Production*, **263**, 121469, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121469>.
- Jones, S. and C. Yuan, 2003. Advances in shell moulding for investment casting. *Journal of Materials Processing Technology*, **135**, 258-265, [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(02\)00907-X](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(02)00907-X).
- Kanyo, J.E., Schafföner, S., Uwanyuze, R.S. and K.S. Leary, 2020. An overview of ceramic molds for investment casting of nickel superalloys. *Journal of the European Ceramic Society*, **40**, 4955-4973, <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2020.07.013>.
- Kazmi, S.M.S., Munir, M.J., Patnaikuni, I., Wu, Y.-F. and Fawad, U., 2018. Thermal performance enhancement of eco-friendly bricks incorporating agro-wastes. *Energy and Buildings*, **158**, 1117-1129, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.056>.
- Körber, S., Völkl, R. and Glatzel, U., 2021. 3D printed polymer positive models for the investment casting of extremely thin-walled single crystals. *Journal of Materials Processing Technology*, **293**, 117095, <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2021.117095>.
- Lin, D.-F., Luo, H.-L., Lin, K.-L., Liu, Z.-K., 2017. Effects of waste glass and waste foundry sand additions on reclaimed tiles containing sewage sludge ash. *Environmental Technology*, **38**, 1679-1688, <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1296891>.
- Lingling, X., Wei, G., Tao, W. and Nanru, Y., 2005. Study on fired bricks with replacing clay by fly ash in high volume ratio. *Construction and Building Materials*, **19**, 243-247, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.05.017>.
- Meng, W., Ma, C., Ge, T. and Zhong, X., 2016. Effect of zircon addition on the physical properties and coatability adherence of MgO-2CaO-SiO₂-3CaO-SiO₂ refractory materials. *Ceramics International*, **42**, 9032-9037, <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.02.140>.
- Mishra, S. and Ranjana, R., 2010. Reverse solidification path methodology for dewaxing ceramic shells in investment casting process. *Materials and Manufacturing Processes*, **25**, 1385-1388, <https://doi.org/10.1080/10426914.2010.496125>.
- Pattnaik, S., Karunakar, D.B. and Jha, P.K., 2012. Developments in investment casting process-a review. *Journal of Materials Processing Technology*, **212**, 2332-2348, <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2012.06.003>.
- Reijnders, L., (2007). Cleaner phosphogypsum, coal combustion ashes and waste incineration ashes for application in building materials: a review. *Building and Environment*, **42**, 1036-1042, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.09.016>.
- Sahu, M.K. and Singh, L., 2017. Critical review on types of bricks type 13: wood ash bricks. *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, **5**, 80-83.
- Samadi, M., Huseien, G.F. Mohammadhosseini, H., Lee, H.S., Abdul Shukor Lim, N.H., Tahir, M.M. and Alyousef, R., 2020. Waste ceramic as low cost and eco-friendly materials in the production of sustainable mortars. *Journal of Cleaner Production*, **266**, 121825, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121825>.
- Siddique, R., Singh, G., 2011. Utilization of waste foundry sand (WFS) in concrete manufacturing. *Resources, Conservation and Recycling*, **55**, 885-892, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.05.001>.
- Torres, A., Bartlett, L., Pilgrim, C., 2017. Effect of foundry waste on the mechanical properties of Portland Cement Concrete. *Construction and Building Materials*, **135**, 674-681, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.028>.
- Xiang, R.F., Li, Y.B., Li, S.J., Ma, X.Y., Li, Y.W. and Sang, S.B., 2016. Effect of zircon content on the microstructure and physical properties of chamotte refractories. *Key Engineering Materials*, **697**, 604-607, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.697.604>.

Xianga, R., Li, Y., Li, S., Xue, Z., He, Z., Ouyang, S., Xu, N., 2019. The potential usage of waste foundrys and from investment casting in refractory industry. *Journal of Cleaner Production*, **211**, 1322-1327, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.280>.

Yuan, C. and Jones, S., 2003. Investigation of fibre modified ceramic moulds for investment casting. *Journal of the European Ceramic Society*, **23**, 399-407, [https://doi.org/10.1016/S0955-2219\(02\)00153-X](https://doi.org/10.1016/S0955-2219(02)00153-X).

İnternet Kaynakları

1-<https://tudoksad.org.tr/turkiye-hassas-dokumde-avrupa-nin-yeni-adresi-oldu> (28.09.2023)