

## SERAMİK KARO ATIKLARININ KALSİT YERİNE YAPI KİMYASALLARINDA KULLANIMI

Dilay ÖZUYAR<sup>a\*</sup>

Berkay SÖZÜDOĞRU<sup>b</sup>

Mustafa TOSUN<sup>c</sup>

Gökhan ÜNAL<sup>d</sup>

Burak ÖZKAL<sup>e</sup>

<sup>a\*</sup> *Yurtbay Seramik, R&D Center Eskişehir/Türkiye*  
\*dilay.ozuyar@yurtbay.com, ORCID ID: 0000-0002-9780-5723

<sup>b</sup> *Yurtbay Seramik, R&D Center Eskişehir/Türkiye*  
berkay.sozudogru@yurtbay.com, ORCID ID: 0009-0000-3581-2373

<sup>c</sup> *Yurtbay Seramik, Eskişehir/Türkiye*  
mustafa.tosun@yurtbay.com, ORCID ID: 0009-0009-0596-1752

<sup>d</sup> *Yurtbay Seramik, Eskişehir/Türkiye*  
gokhan.unal@yurtbay.com, ORCID ID: 0009-0006-7949-477X

<sup>e</sup> *Yurtbay Seramik, R&D Center Eskişehir/Türkiye*  
burak.ozkal@yurtbay.com, ORCID ID: 0000-0003-3431-2304

Received 20 September 2024; revised 27 November 2024; accepted 16 December 2024

### Özet

Bu çalışmada, atık seramik karolarının toz formda kalsit yerine kullanılma potansiyeli, farklı harç bileşimleri için incelenmiştir. Hem çevresel hem de ekonomik faydalar hedeflenerek, bu değişikliğin üç farklı harcın mekanik, termal ve fiziksel özellikleri üzerindeki etkisini görmek amacıyla bir dizi detaylı deney yapılmıştır: (i) seramik yapıştırıcı harcı, (ii) tuğla harcı ve (iii) ısı yalıtım yapıştırıcı harcı. Bu amaçla, atık seramik karoları toz formuna dönüştürülüp, farklı oranlarda kalsit yerine harç bileşimlerine eklenmiş ve standart üretim yolu izlenmiştir. Hazırlanan tüm numuneler, kontrol numuneleri de dahil olmak üzere, çekme yapıştırma dayanımı, basma dayanımı, su emme oranı (%) ve termal iletkenlik değeri gibi özellikler açısından test edilmiştir. Karakterizasyon sonuçlarına göre, değişiklik yapılan numunelerde, kontrol numunelerine kıyasla belirli iyileşmeler gözlemlenmiştir. Örneğin, %3 değişim yapılan seramik yapıştırıcı harcı, 0,57 N/mm<sup>2</sup> çekme yapıştırma dayanımına ulaşmış, %100 değişim yapılan tuğla harcı ise 185 N/mm<sup>2</sup> basma dayanımına ulaşmış ve su emme oranında %17 azalma sağlamıştır. %100 değişim yapılan ısı yalıtım yapıştırıcı harcı ise 185 N/mm<sup>2</sup> basma dayanımı elde etmiş ve su emme oranını %13 azaltmıştır. Bu sonuçlar, toz formda atık seramik karolarının kalsit yerine kullanılmasının, harç malzemelerinin dayanıklılığını artırma, su geçirimsizliğini

azaltma ve enerji verimliliğini iyileştirme potansiyeline sahip olduğunu, diğer beklentilerle birlikte sanayi standartları çerçevesinde kaldığını göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Atık Seramik Karoları, Harçlar, Kalsit Değişimi, Sürdürülebilirlik, Geri Dönüşüm

## THE USE OF CERAMIC TILE WASTE AS A CALCITE SUBSTITUTE IN CONSTRUCTION CHEMICALS

### Abstract

In this study, potential use of waste ceramic tiles in powder form instead of calcite were studied for different mortar compositions. Aiming for both environmental and economic benefits a series of detailed experiments were conducted to see how this replacement affects the mechanical, thermal, and physical properties of three different mortars: (i) ceramic adhesive mortar, (ii) bricklaying mortar, and (iii) insulation adhesive mortar. For this purpose, waste ceramic tiles were converted to powder form and added to mortar compositions as calcite replacement in different amounts and standart production route was followed. After preparation all samples including control ones were tested in order to obtain tensile adhesion strength, compressive strength, water absorption %, and thermal conductivity value. According to characterization results certain improvements were observed compared to control samples having no replacement. For instance, ceramic adhesive mortar having 3% replacement achieved a tensile adhesion strength of 0.57 N/mm<sup>2</sup>, bricklaying mortar having 100% replacement reached to compressive strength of 185 N/mm<sup>2</sup>, along with a 17% reduction in water absorption. The insulation adhesive mortar, having 100% replacement gave a compressive strength of 185 N/mm<sup>2</sup> and decreased the water absorption by 13%. These results show that the replacement of calcite with waste ceramic tile in powder form has a potential to enhance the durability of mortar materials, reduce water permeability, and improve energy efficiency staying in the borders of industrial standarts from other expectations.

**Keywords:** Waste Ceramic Tiles, Mortars, Calcite Replacement, Sustainability, Recycling.

### 1. GİRİŞ

Yapı kimyasalları, inşaat sektöründe kritik bir rol oynayan ve çeşitli uygulamalarda kullanılan ürünleri kapsar. Harçlar, destek malzemeleri ve tamir çözümleri bu ürünler arasında yer alır. İnşaat sektöründeki büyüme ile birlikte, bu kimyasalların üretiminde kullanılan hammaddelerin temini daha büyük bir sorun haline gelmiştir. Özellikle kaliteli doğal hammaddelerin sınırlı olması, yapı kimyasalları endüstrisini alternatif malzeme kaynakları aramaya yönlendirmiştir [1-4].

Sürdürülebilirlik ve çevre dostu üretim yöntemleri günümüzde inşaat sektöründe giderek daha fazla önem kazanmaktadır. İnşaat sektörü, dünya genelindeki hammadde tüketiminin %40'ını, enerji tüketiminin ise %30'unu oluşturmaktadır [5]. Bu durum, hem atık yönetimiyle ilgili zorluklar yaratmakta hem de doğal kaynakların hızla tükenmesine yol açmaktadır. Geri dönüşüm, bu sorunların çözümü için bir yöntem olarak değerlendirilmektedir. Özellikle pişmiş seramik atıkları, alümina silikat bileşikleri sayesinde yapı kimyasallarında değerlendirilebilir. Kalsit gibi doğal hammaddeler yerine seramik atıklarının kullanılması, maliyetlerin azaltılmasına ve çevresel etkinin en aza indirilmesine yardımcı olabilir.

Bu yapısal değişiklik, yapı kimyasalları üretiminde sürdürülebilir alternatif hammaddelere geçişte önemli bir rol oynamaktadır. Son yıllarda yapılan araştırmalar, seramik atıklarının bu süreçlerde kullanımıyla sürdürülebilirliğin artmasının yanı sıra ekonomik faydalar sağladığını göstermektedir. Seramik üretimi ve inşaat yıkım faaliyetlerinden (C&DW) kaynaklanan seramik atıkları, dünya genelinde

inşaat atıklarının %10 ila %40'ını oluşturmaktadır [5]. Yüksek alümina ve silika içeriğine sahip bu atıklar, alkali aktivasyon ve diğer kimyasal süreçlerde etkili bir koruyucu malzeme olarak kullanılabilir. Yapılan çalışmalara göre, seramik atıkları %30 ila %100 oranında yapı kimyasallarında kullanıldığında, mekanik özelliklerde iyileşmeler ve mukavemet artışları sağlanabilmektedir [2-3]. Araştırmalar, seramik atıklarının geri dönüştürülmesinin mekanik özellikleri geliştirdiğini ve çevresel zararları azalttığını da ortaya koymaktadır [6-7-8].

Reig ve ekibinin (2021) yaptığı çalışmada, seramik atıklarıyla üretilen alkali aktivasyonlu malzemelerin, geleneksel çimentoya göre %50'ye kadar daha düşük CO<sub>2</sub> emisyonu sağladığı ve su emme oranlarının azalmasıyla daha dayanıklı hale geldiği tespit edilmiştir [6]. Bu atıkların geri dönüşümü, yalnızca çevresel sürdürülebilirliği desteklemekle kalmayıp, aynı zamanda ekonomik faydalar da sağlamaktadır. Pacheco-Torgal ve Jalali (2010) seramik atıklarının beton ve harçlarda kullanıldığını, atık miktarını %50 azalttığını ve mekanik dayanımlarında olumlu etkiler sağladığını belirtmişlerdir [1]. Medine ve diğerlerinin (2012) çalışmaları ise, geri dönüştürülmüş seramik atıklarının betonun basma ve eğilme dayanımlarını %15-20 oranında artırdığını göstermektedir [3]. Aynı zamanda, geri dönüşüm sayesinde atık bertaraf maliyetlerinin azaldığı da belirtilmiştir.

Seramik atıklarının yapı kimyasallarında kullanımı üzerine yapılan araştırmalar, bu malzemelerin mekanik özellikler üzerinde olumlu etkiler yaratabileceğini göstermektedir. Halicka ve diğerleri (2013) seramik atıklarının beton agregası olarak kullanılmasının basma ve eğilme dayanımı üzerinde olumlu etkiler sağladığını belirtmişlerdir. Özellikle %30 oranında seramik atık kullanımı, betonun çekme dayanımında %20'ye varan artışlar sağlamıştır [9]. Benzer şekilde, Senthamarai ve Manoharan (2005), seramik atıklarının su emme özelliklerini düşürdüğünü ve malzemeyi daha dayanıklı hale getirdiğini vurgulamaktadır [2]. Geri dönüştürülmüş seramik atıklarının alkali aktivasyon ile kullanılan yapı malzemelerinde, hidrasyon süreci geleneksel çimentoya kıyasla daha hızlı gerçekleşmektedir. Seramik atıklarının yapısal özellikleri, hidrasyon sürecini hızlandırarak malzemenin dayanıklılığını artırmaktadır.

Seramik atıklarının geri dönüşümü, sürdürülebilirlik açısından önemli faydalar sunmaktadır. Bu atıklar geri dönüştürülebilir ve hammadde kullanımını önemli ölçüde azaltmaktadır. Senthamarai ve Manoharan (2005), yapı kimyasalları üretiminde geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanılmasının, maliyet tasarrufu sağladığını ve sera gazı emisyonlarının da azalmasına katkı sağladığını vurgulamaktadır [2]. Ekonomik olarak geri dönüşüm, inşaat sektörü üzerinde olumlu etkiler yaratmaktadır. Geri dönüştürülmüş seramik malzemeler, doğal hammaddelere göre daha düşük maliyetlerle elde edilebilmektedir. Seramik atıklarının yapı kimyasalları sektöründe kullanımı üzerine yapılan incelemeler, bu malzemelerin yapı sektöründe sürdürülebilirlik anlamında kritik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır. Alkali aktivasyon teknolojilerinin gelişmesiyle seramik atıklarının kullanımı daha da artması beklenmektedir. Zito ve diğerleri (2023), seramik atıklarının alkali aktifleştirilmiş yapı kimyasallarında %80 ila %100 oranında kullanılabileceğini ve bu malzemelerin geleneksel çimentoya kıyasla çok daha çevre dostu olduğunu belirtmişlerdir [10]. Aynı zamanda, kimyasal bileşim açısından bu atıkların yüksek alümina ve silika içeriği (%65-70 SiO<sub>2</sub>, %10-20 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) onları bu süreçte kullanılabilecek potansiyele sahip kılmaktadır (Shah ve Huseien, 2020) [11].

Sonuç olarak, seramik atıklarının geri dönüşümü, inşaat sektörü ve yapı kimyasalları için büyük bir fırsat sunmaktadır. Dünya genelinde seramik üretimi ve inşaat faaliyetleri sırasında oluşan seramik atıkları, inşaat atıklarının %10 ila %40'ını oluşturmaktadır [12]. Bu durum, çevresel sürdürülebilirlik için geri dönüşüm süreçlerinin geliştirilmesini üzerinde rol oynamaktadır. Seramik atıkları, yüksek alümina ve silikat içeriği sayesinde alkali aktivasyon gibi kimyasal süreçlerde bağlayıcı malzeme olarak kullanılabilir. Bu araştırmalar ışığında sonuç olarak, seramik atıklarının geri dönüşümünün çevresel etkileri önemli ölçüde azalttığını, üretim maliyetlerini düşürdüğünü ve mekanik özellikler üzerinde olumlu etkiler sağladığını göstermektedir [13-14]. Alkali aktivasyon süreçleriyle seramik atıklarının

kullanımı, geleneksel çimentoya kıyasla %50'ye kadar daha düşük karbon emisyonu sağlamaktadır [6-11]. Ekonomik olarak, seramik atıklarının geri dönüştürülmesi, atık bertaraf maliyetlerini düşürmekte ve yapı malzemeleri üretiminde doğal hammaddelerin yerini alarak maliyet avantajı sunmaktadır. Bu nedenle seramik atıklarının yapı kimyasalları ve diğer inşaat alanlarında büyük bir kullanım potansiyeline sahip olduğu görülmektedir [15-16].

Bu çalışma kapsamında, Yurtbay Seramik bünyesinde ortaya çıkan pişmiş seramik karo atıkların farklı oranlarda kalsit yerine yapı kimyasallarına dahil edilmesi ve bu malzemelerin özelliklerine etkilerinin detaylı analiz edilmesi üzerine odaklanılmıştır.

## 2. YÖNTEM

### 2.1. Malzemeler

Pişmiş seramik atıkları, seramik üretim sürecinin sonunda ortaya çıkan ve ticari kullanıma uygun olmayan malzemelerden elde edilmiştir. Bu atıklar, sırlı granit üretiminden kaynaklanan pişmiş seramik kırıklarıdır. Atıklar önce fiziksel boyut küçültme işlemlerine tabi tutulmuş, ardından yapı kimyasalları formülasyonlarında kullanılacak uygun tane boyutlarına getirilmiştir.

Çalışmada kullanılan diğer malzemeler arasında çimento (CEM I 42.5R), kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ) ve yapıştırıcı formülasyonları için su gibi standart yapı kimyasal bileşenleri bulunmaktadır.

### 2.2. Deneysel Prosedür

#### 2.2.1. Seramik Atıklarının Hazırlanması

Seramik atıkları, önce kırıcılar yardımıyla 5-10 mm boyutlarına indirgenmiş ve ardından öğütme işlemi ile daha küçük fraksiyonlara ayrılmıştır. Öğütülen seramik atıkları, seramik yapıştırıcı harçlarında kullanılmak üzere 0-800  $\mu\text{m}$  arasında, tuğla örme harçları için ise 1500-2500  $\mu\text{m}$  arasında sınıflandırılmıştır.

#### 2.2.2. Yapı Kimyasalları Formülasyonları

Üç farklı yapı kimyasal ürünü üzerinde çalışmalar yapılmıştır: seramik yapıştırıcı harcı, tuğla örme harcı ve manto yapıştırma harcı. Seramik atıkları, bu formülasyonlarda %2 ile %100 arasında değişen oranlarda kalsit yerine kullanılmıştır. Örnek formülasyonlar şu şekildedir:

- Seramik Yapıştırıcı Harcı (S) : %35 çimento, %65 kalsit

İçeriğindeki kalsit oranı azaltılarak %2-5 arasında seramik atığı eklenmiştir.

- Tuğla Örme Harcı (T) : %30 çimento, %70 kalsit

İçeriğindeki kalsit oranı azaltılarak %60-100 arasında seramik atığı eklenmiştir.

- Manto Yapıştırma Harcı (M) : %30 çimento, %70 kalsit

İçeriğindeki kalsit oranı azaltılarak %60-100 arasında seramik atığı eklenmiştir.

Her formülasyon için seramik atığı oranı değiştirilerek denemeler yapılmış ve elde edilen ürünlerin mekanik, termal ve fiziksel özellikleri test edilmiştir.

## 2.3. Karakterizasyon

### 2.3.1. Mekanik Testler

Seramik atıkları içeren yapı kimyasallarının mekanik dayanımı, çeşitli koşullar altında test edilmiştir:

- ✓ Çekme Yapışma Mukavemeti: TS EN 12004-2 standardına göre, başlangıç, suya daldırıldıktan sonra, ısıya yaşlandırıldıktan sonra ve donma çözünme çevrimlerinden sonra test edilmiştir. Her bir formülasyondaki seramik atığı oranına bağlı olarak çekme yapışma mukavemeti ölçülmüştür.
- ✓ Basma Dayanımı: Basma dayanımı testleri TS EN 1015-11 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Seramik atığı içeren harç numuneleri, farklı kür koşullarında test edilerek basma dayanımları analiz edilmiştir.

### 2.3.2. Su Emme Oranı

TS EN 12808-5 standardına göre, numunelerin su emme testleri yapılmıştır. Seramik atıkları, su emme oranını azaltma potansiyeline sahip olup, özellikle seramik yapıştırıcı harçlarında su emme değerleri analiz edilmiştir. Testler, seramik atıklarının nem geçirgenliği ve suya karşı dayanıklılığını belirlemek için yapılmıştır.

### 2.3.3. Mikro Yapısal Analiz

Seramik atıkları içeren yapı kimyasalı numunelerinden mekanik testlerde olumlu sonuç vermiş olan numunelerin mikro yapısal özellikleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Bu analiz, seramik atıklarının malzeme içindeki dağılımını ve bağlayıcı malzemelerle olan etkileşimini değerlendirmek için yapılmıştır.

### 2.3.4. Termal İletkenlik

Seramik atıkları içeren yapı kimyasalı numunelerinin mekanik testlerde olumlu sonuç vermiş olanların termal iletkenliği, bu çalışmada termal performansın analiz edilmesi amacıyla test edilmiştir. Bu analizler, seramik atıklarının termal performans açısından uygunluğunu değerlendirmek ve yapı kimyasallarında enerji verimliliği sağlama potansiyelini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

## 3. BULGULAR

Bu bölümde, seramik atıklarının yapı kimyasalları formülasyonlarında kalsit yerine kullanımı durumunda mekanik, termal ve fiziksel özelliklerde meydana gelen değişiklikler karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır.

Yapılan testler sonucunda, seramik atıkları içeren yapı kimyasallarının çeşitli özellikleri detaylı olarak incelenmiş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Aşağıda, farklı yapı kimyasalı ürün grupları için çekme yapışma mukavemeti, basma dayanımı, su emme oranı ve termal iletkenlik testlerinin sonuçları sunulmaktadır.

### 3.1. Seramik Yapıştırıcı Harcı Test Sonuçları

Seramik yapıştırıcı harçları için standart beklentiler ve seramik atıkları içeren seramik yapıştırıcı harçlarının deneysel sonuçları Şekil 3.1.1’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 3.1.1. Seramik yapıştırıcı harçları için standart beklentiler (TS EN 12004-2) ve deneysel sonuçlar.

<b>TS EN 12004-1 DENEYLERİ</b>	<b>STANDART DEĞER</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>	<b>S4</b>	<b>S5</b>
TS EN 12004-2 Başlangıç Çekme Yapışma Mukavemeti	0,5 N/mm <sup>2</sup>	0,6	0,57	0,55	0,52
TS EN 12004-2 Suya Daldırıldıktan Sonra Çekme Yapışma Mukavemeti	0,5 N/mm <sup>2</sup>	0,54	0,52	0,48	0,45
TS EN 12004-2 Isıyla Yaşlandırıldıktan Sonra Çekme Yapışma Mukavemeti	0,5 N/mm <sup>2</sup>	0,52	0,5	0,45	0,43
TS EN 12004-2 Donma Çözünme Çevrimlerinden Sonra Çekme Yapışma Mukavemeti	0,5 N/mm <sup>2</sup>	0,55	0,52	0,47	0,42
TS EN 12004-2 Açık Bekletme Süresi (20 Dk) Çekme Yapışma Mukavemeti	0,5 N/mm <sup>2</sup>	0,5	0,5	0,42	0,35
TS EN 12004-2 Kayma Tayini	<0,50 mm	0,2	0,2	0,1	0,1

Deneysel sonuçlara göre, seramik atıklarının %3 oranında kullanıldığı seramik yapıştırıcı harcı numunelerinin, TS EN 12004-2 standardına uygun çekme yapışma mukavemeti değerlerine ulaştığı tespit edilmiştir. Özellikle başlangıç çekme yapışma mukavemetinde, seramik atığı içeren numunelerde 0,57 N/mm<sup>2</sup>lik bir değer elde edilmiştir. Suya daldırma ve donma-çözünme çevrimleri sonrasında da mukavemet değerleri standartlara uygun bulunmuş ve dayanıklılıkta herhangi bir azalma gözlemlenmemiştir.

### 3.2. Tuğla Örme Harcı Test Sonuçları

Tuğla örme harçları için standart beklentiler ve seramik atıkları içeren tuğla örme harçlarının deneysel sonuçları Şekil 3.2.1’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Tablo 3.2.1. Tuğla örme harçları için standart beklentiler (TS EN 1015-11) ve deneysel sonuçlar.

<b>TS EN 998-2 DENEYLERİ</b>	<b>STANDART DEĞER</b>	<b>T60</b>	<b>T70</b>	<b>T80</b>	<b>T90</b>	<b>T100</b>
TS EN 1015-3 Taze Harç Kıvamının Tayini	≥ 120 dakika (beyan değeri)	145	145	145	150	150
TS EN 1015-9 Taze Harcın İşlenebilme Süresi	180 mm	185	185	185	185	180
TS EN 1015-9 Taze Harcın Düzeltilebilme Süresi	4 dk	6	6	6	5	5

TS EN 1015-18 Sertleşmiş Harcın Kapiler Etkilerde Su Emme Katsayısı	$\leq 0,5$ gr	0,229	0,212	0,208	0,199	0,192
TS EN 1015-10 Sertleşmiş Harcın Boşluklu Birim Hacim Kütle	$(1500 \pm 150)$ kg/m <sup>3</sup>	1600	1610	1620	1640	1650
TS EN 1015-11 Basınç Dayanımı	$\geq 10$ N/mm <sup>2</sup> (M10) (beyan değeri)	17,3	17,6	17,6	17,8	18,2

Deney sonuçlarına göre, %100 seramik atığı içeren tuğla örme harcı numunelerinde basma dayanımı 18,5 N/mm<sup>2</sup> olarak belirlenmiştir. Bu değer, standart beklenti olan 10 N/mm<sup>2</sup>'nin oldukça üzerindedir. Ayrıca, kapiler etkilerde su emme katsayısında %17'lik bir azalma gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, seramik atıklarının su geçirgenliği performansı üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu göstermektedir.

### 3.3. Manto Yapıştırma Harcı Test Sonuçları

Manto yapıştırma harçları için standart beklentiler ve seramik atıkları içeren manto yapıştırma harçlarının deneysel sonuçları Şekil 3.3.1'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

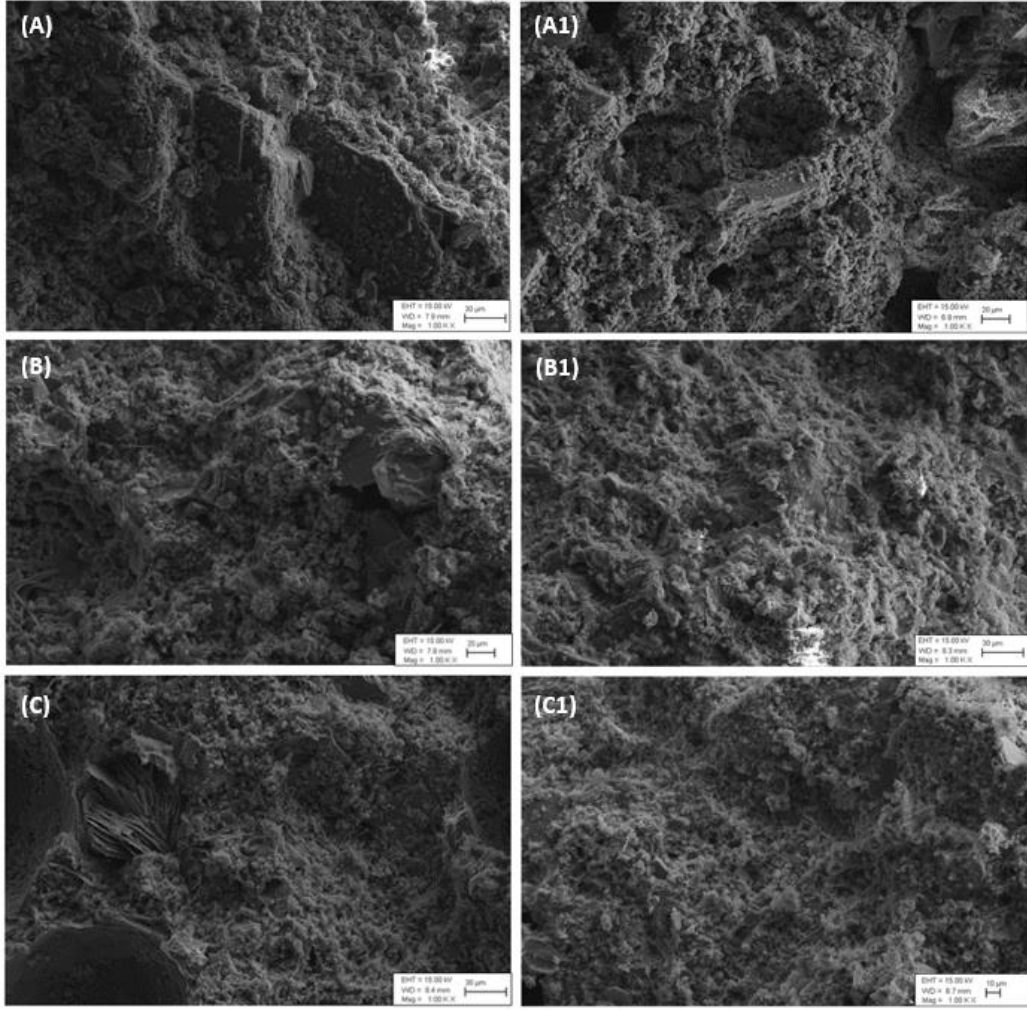
Tablo 3.3.1. Manto yapıştırma harcı için standart beklentiler (TS EN 1015-11) ve deneysel sonuçlar.

TS EN 12004-1 DENEYLERİ	STANDART DEĞER	M60	M70	M80	M90	M100
TS EN 1015-11 Eğilme Dayanımı	$\geq 2$ N/mm <sup>2</sup>	4,55	4,65	4,7	4,8	4,95
TS EN 1015-11 Basınç Dayanımı	$\geq 6$ N/mm <sup>2</sup>	17,6	17,7	18	18,2	18,5
TS EN 1015-12 Alt Tabakaya Yapışma Mukavemeti	$\geq 0,5$ N/mm <sup>2</sup>	0,6	0,6	0,6	0,59	0,58
TS EN 13494 Isı Yalıtım Levhasına Yapışma Mukavemeti	$\geq 0,08$ N/mm <sup>2</sup>	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
TS EN 12808-5 Su Emme (30 dk)	5 gr	3,72	3,61	3,58	3,44	3,29
TS EN 12808-5 Su Emme (240 dk)	10 gr	7,7	7,5	7,4	7,4	7,1

Manto yapıştırma harcı formülasyonunda %100 seramik atığı kullanıldığında, basınç dayanımı 18,5 N/mm<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür ve bu, standart beklenti olan 6 N/mm<sup>2</sup>'nin oldukça üzerindedir. Su emme değerlerinde ise %13'lük bir düşüş gözlenmiş olup, seramik atıklarının su geçirmezlik özellikleri üzerinde de olumlu bir etkisi olduğu tespit edilmiştir.

### 3.4. Mikro Yapısal Analiz Sonuçları

Seramik atıkları içeren yapı kimyasalları numunelerinde yapılan mekanik testler sonucu standarda göre en iyi sonuç veren numunelerin mikro yapıları Şekil 3.4.1'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Yapıya kalsit eklenmesi neticesinde incelenen mikro yapılarda, yapılan ilavelerin homojen bir şekilde katılabildiği ve başlangıç durumuna göre gözenek ya da çatlak oluşumuna yol açan bir farklılık olmadığı gözlemlenmiştir.

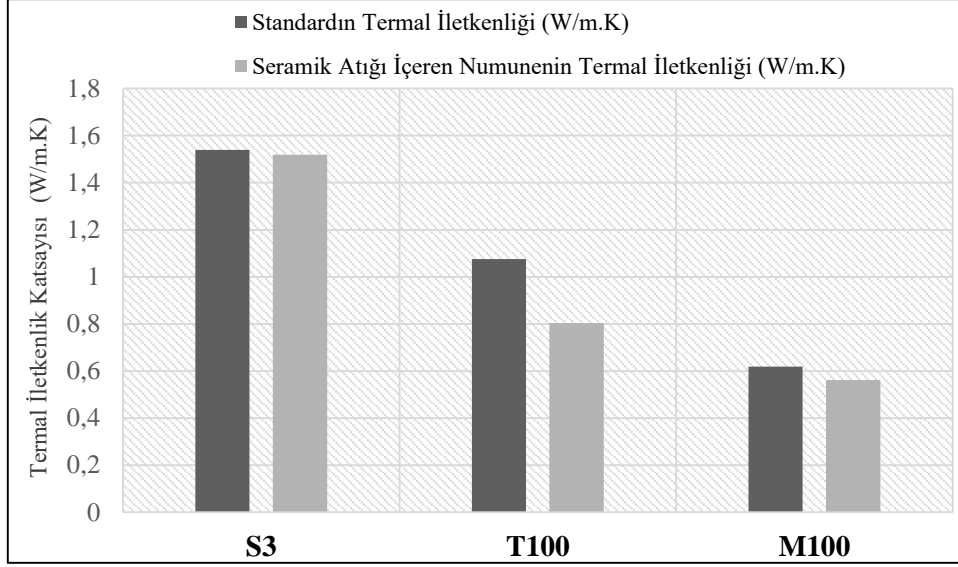


Şekil 3.4.1. Seramik Yapıştırıcı Harcı Standart Numunesi (A), S3 Numunesi (A1), Tuğla Örne Harcı Standart Numunesi (B), T100 Numunesi (B1), Manto Yapıştırma Harcı Standart Numunesi (C), M100 Numunesi (C1) SEM görüntüleri.

### 3.5. Termal İletkenlik Sonuçları

Seramik atıkları içeren yapı kimyasalları numunelerinde yapılan mekanik testler sonucu standarda göre en iyi sonuç veren numunelerin termal iletim katsayıları Şekil 3.5.1'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.





Şekil 3.5.1. Manto yapıştırma harcı için standart beklentiler (TS EN 1015-11) ve deneysel sonuçlar.

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, seramik atıklarının yapı kimyasalları formülasyonlarında kalsit yerine kullanılmasının çeşitli performans parametrelerine etkisi ayrıntılı olarak incelenmiştir. Deneysel sonuçlar literatürü destekleyecek şekilde olup, seramik atıklarının çekme yapışma mukavemeti, basma dayanımı, su emme oranı ve termal iletkenlik gibi özelliklere olumlu katkılar sunduğunu göstermektedir.

İlk olarak yapılan öğütme ardından yapılan sınıflandırmada; seramik yapıştırıcı harçlarında kullanılmak üzere 0-800  $\mu\text{m}$  arasında, tuğla örme harçları için ise 1500-2500  $\mu\text{m}$  arasında sınıflandırılmıştır, yapı kimyasallarında kullanılacak malzemelerin tane boyutuna göre ayrıştırılmasının, malzeme performansını etkileyen en önemli faktörlerden biri olduğu da literatürde bilinmektedir [7-12].

Seramik atıklarının yapı kimyasallarında kullanımı, çekme yapışma mukavemeti açısından standart değerlerle uyumludur. Örneğin, seramik yapıştırıcı harcında %3 oranında seramik atığı kullanıldığında elde edilen 0,57  $\text{N/mm}^2$ lik çekme yapışma mukavemeti, literatürde bildirilen sonuçlarla paralellik göstermektedir. Halicka ve diğerlerinin (2013) yaptığı çalışmalar, seramik atıklarının kullanıldığı beton numunelerinde çekme dayanımında %15-20 oranında artış sağlandığını belirtmiştir [1]. Bu bulgular, seramik atıklarının yapı kimyasallarında bağlayıcı özellikler göstererek mekanik performansı olumlu yönde etkilediğini doğrulamaktadır.

Deneylerde, %100 seramik atığı içeren tuğla örme harçlarında basma dayanımı 18,5  $\text{N/mm}^2$  olarak bulunmuştur. Bu değer, standart gereksinimlerin oldukça üzerindedir ve seramik atıklarının mekanik dayanıklılığı artırma potansiyelini açıkça ortaya koymaktadır. Elde edilen bu sonuçlar, Zegardlo ve diğerlerinin (2018) yaptığı çalışmayla da uyumludur; bu çalışmada, geri dönüştürülmüş seramik atıklarının beton agregalarında kullanılmasıyla basma dayanımında %25'e kadar artış sağlandığı rapor edilmiştir [8]. Ayrıca, bu çalışmada kalsit yerine %100 seramik atığı kullanılan tuğla örme harçlarının mekanik bütünlüğünü koruduğu ve hatta iyileştirdiği gözlemlenmiştir.

Su emme oranı konusunda da seramik atıkları önemli bir iyileşme sağlamıştır. %100 seramik atığı içeren tuğla örme harcı ve manto yapıştırma harcı numunelerinde su emme oranının sırasıyla %17 ve %13 oranında azaldığı görülmüştür. Bu sonuçlar, literatürdeki bulgularla da örtüşmektedir. Senthamarai ve Manoharan (2005), seramik atıklarının su geçirmezlik özellikleri üzerinde olumlu etkiler sağladığını ve su emme oranını düşürdüğünü belirtmiştir [2]. Su emme oranındaki bu azalma, yapı kimyasallarının dayanıklılığını ve ömrünü uzatma potansiyeline sahiptir.

Mikro yapısal analizler, seramik atıkları içeren yapı kimyasallarının mekanik performansını artıran temel mekanizmaları ortaya koymaktadır. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yapılan incelemeler, seramik atıklarının matris içinde homojen bir şekilde dağıldığını ve agregalar arasında güçlü bir bağ oluşumunu desteklediğini göstermiştir. Bu homojen dağılım, çekme ve basma dayanımı gibi performans parametrelerindeki iyileşmelerin temelini oluşturmuştur. Aynı zamanda, matrisin yoğunluğunun artması ve gözenekliliğin azalması, su emme oranlarında belirgin bir düşüşe katkıda bulunmuştur. Literatürde, seramik atıklarının yapıda kullanıldığında harçlardaki gözeneklerde belirgin bir azalma ve dayanıklılıkta artış tespit edilmiştir [6-8]. Bu bulgular, seramik atıklarının yapı kimyasallarında fiziksel performansı artıran etkili bir alternatif olarak kullanılabilceğini güçlü bir şekilde desteklemektedir.

Seramik atıklarının termal iletkenlik katsayısını standarda göre azalttığı gözlemlenmiştir. Yapılan termal iletkenlik testlerinde; S3 numunesinde %1, T100 numunesinde %25 ve M100 numunesinde %9'luk azalma ile değişen termal iletkenlik katsayıları elde edilmiştir. Bu değerler, seramik atıklarının enerji verimliliği sağlama potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Ogawa ve diğerleri (2020) tarafından yapılan araştırmalar da, seramik atıklarının çatı kaplamalarında kullanıldığında yapı elemanlarının ısı yalıtım performansını artırdığını ortaya koymaktadır [13]. Bu bulgular, seramik atıklarının yalnızca mekanik dayanımı artırmakla kalmayıp, aynı zamanda enerji verimliliği konusunda da avantaj sağladığını göstermektedir.

Deneysel bulgular, seramik atıklarının kullanımının hem çevresel hem de ekonomik açıdan önemli avantajlar sunduğunu göstermektedir. Seramik atıklarının geri dönüşümü, atık bertaraf maliyetlerini azaltmakta ve doğal hammaddelere duyulan ihtiyacı düşürmektedir. Bu durum, enerji tüketimi ve sera gazı emisyonlarının azalmasına da katkı sağlayabilir. Literatürde, geri dönüştürülmüş malzemelerin, maliyetlerin %20-30 oranında düşmesine ve sera gazı emisyonlarının %50'ye kadar azalmasına olanak tanıdığı belirtilmektedir [1].

Sonuç olarak, seramik atıklarının yapı kimyasalları formülasyonlarına başarıyla entegre edilebileceği ve bu malzemelerin mekanik, termal ve suya dayanıklılık özellikleri üzerinde olumlu etkiler yarattığı deneysel olarak kanıtlanmıştır. Bu bulgular, seramik atıklarının geri dönüştürülerek inşaat sektöründe kullanılmasyla çevresel ve ekonomik faydalar sağlayabileceğini göstermektedir. Yapılan çalışmada, seramik atıklarının, yapı malzemelerinin termal iletkenliğini olumlu yönde etkileyerek, enerji verimliliğini artırma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, seramik atıklarının entegrasyonu, sadece mekanik ve termal dayanıklılığı değil, aynı zamanda ısı yalıtım özelliklerini de geliştirmekte, böylece sürdürülebilir yapı malzemeleri üretimi açısından literatüre özgün katkılar sağlamaktadır.

Gelecekte yapılacak çalışmalar, bu malzemelerin farklı alanlardaki kullanım potansiyelini inceleyerek, sürdürülebilir yapı malzemeleri üretimine daha geniş bir uygulama alanı kazandırabilir. Aynı zamanda da bu malzemelerin termal iletkenlik özelliklerini daha derinlemesine inceleyerek, enerji tasarrufu sağlayan yapı uygulamalarında geniş bir yelpaze sunabilir.

## **Teşekkürler**

Bu proje Yurtbay Ar-Ge Merkezi tarafından, YTB0002 kapsamında desteklenmiştir.

## KAYNAKÇA

- [1] Pacheco-Torgal, F., & Jalali, S. (2010). Reusing ceramic wastes in concrete. *Construction and Building Materials*, **24**(5), 832–838. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.10.014>
- [2] Senthamarai, R. M., & Manoharan, P. D. (2005). Concrete with ceramic waste aggregate. *Cement and Concrete Composites*, **27**(9–10), 910–913. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2005.04.003>
- [3] Medina, C., Frías, M., & Rojas, M. I. S. (2012). Microstructure and properties of recycled concretes using ceramic sanitary ware industry waste as coarse aggregate. *Construction and Building Materials*, **31**, 112–118. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.067>
- [4] Ray, S., Haque, M., Soumic, S. A., & Rahman, M. M. (2021). Use of ceramic wastes as aggregates in concrete production: A review. *Journal of Building Engineering*, **43**, 102567. <https://doi.org/10.1016/j.job.2021.102567>
- [5] European Commission. Waste statistics. Eurostat. Retrieved November 15, 2024, from [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics)
- [6] Reig, L., Borrachero, M. V., & Monzó, J. (2021). Alkali-activated cements using ceramic waste: Physical and chemical properties. *Materials*, **14**(14), 4034. <https://doi.org/10.3390/ma14144034>
- [7] Bheel, N., Abbasi, R. A., Sohu, S., Abbasi, S. A., Abro, A. W., & Shaikh, Z. H. (2019). Effect of tile powder used as a cementitious material on the mechanical properties of concrete. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, **9**(5), 4596–4599. <https://doi.org/10.48084/etasr.3120>
- [8] Zegardło, B., Szelağ, M., & Ogrodnik, P. (2018). Concrete resistant to spalling made with recycled aggregate from sanitary ceramic wastes – The effect of moisture and porosity on destructive processes occurring in fire conditions. *Construction and Building Materials*, **173**, 58–68. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.04.040>
- [9] Halicka, A., Ogrodnik, P., & Bartosz, Z. (2013). Using ceramic sanitary ware waste as concrete aggregate. *Construction and Building Materials*, **48**, 295–305. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.06.025>
- [10] Zito, S. V., Irassar, E. F., & Rahhal, V. F. (2023). Recycled construction and demolition waste as supplementary cementing materials in eco-friendly concrete. *Recycling*, **8**(4), 54. <https://doi.org/10.3390/recycling8040054>
- [11] Shah, K. W., & Huseien, G. F. (2020). Bond strength performance of ceramic, fly ash and GBFS ternary wastes combined alkali-activated mortars exposed to aggressive environments. *Construction and Building Materials*, **251**, 119088. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119088>
- [12] Fu, S., & Lee, J. (2024). Recycling of ceramic tile waste into construction materials. *Developments in the Built Environment*, **18**, 100431. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100431>
- [13] Ogawa, Y., Bui, P. T., Kawai, K., & Sato, R. (2020). Effects of porous ceramic roof tile waste aggregate on strength development and carbonation resistance of steam-cured fly ash concrete. *Construction and Building Materials*, **236**, 117462. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117462>
- [14] Tanash, A. O., Muthusamy, K., Budiea, A. M. A., Fauzi, M. A., Jokhio, G., & Jose, R. (2023). A review on the utilization of ceramic tile waste as cement and aggregates replacement in cement-based composite and a bibliometric assessment. *Cleaner Engineering and Technology*, **17**, 100699. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2023.100699>
- [15] Bommisetty, J., Keertan, T. S., Ravitheja, A., & Mahendra, K. (2019). Effect of waste ceramic tiles as a partial replacement of aggregates in concrete. *Materials Today: Proceedings*, **19**(2), 875–877. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.596>
- [16] Alsaif, A. (2021). Utilization of ceramic waste as partially cement substitute – A review. *Construction and Building Materials*, **300**, 124009. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124009>