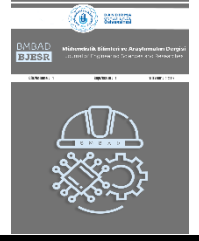




BMBAD  
BJESR

Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi  
Journal of Engineering Sciences and Researches



## Farklı Cüruf Türlerinden Geopolimer Harç Üretimi

### Production of Geopolymer Mortar from Different Slag Types

<sup>1</sup>Şinasi BİNGÖL 

<sup>1</sup>Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tokat, Türkiye

[sinasi.bingol@gop.edu.tr](mailto:sinasi.bingol@gop.edu.tr)

Araştırma Makalesi/Research Article

#### ARTICLE INFO

##### Article history

Received : 26 May 2022

Accepted : 4 July 2022

##### Keywords:

Blast Furnace Slag, Steel Slag, Geopolymer Mortar, Compressive Strength

#### ABSTRACT

In this study, it is tried to obtain a more environmentally friendly binder instead of cement by using two waste materials, Blast furnace slag (BFS) and Steel mill slag (SMS). For this purpose, geopolymer mortars were produced by using different ratios of BFS and SMS. The slags were used as 80% BFS+ 20% SMS and 60% BFS+ 40% SMS as a substitute for cement. For the activation of slag mortars, sodium silicate ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) was used, containing 3%, 5%, 7.5% and 9% sodium of the binder amount. In addition, control mortars were produced with Portland cement (CEM I 42.5 R). The produced samples were cured in water at  $21 \pm 2$  °C for 7 and 28 days and their ultrasonic pulse velocities, flexural and compressive strengths were determined. The test results of geopolymer mortars and control mortars were compared. With BFS and SMS, it is aimed to produce a more economical and environmentally friendly binder material compared to Normal Portland cement.

© 2022 Bandırma Onyedi Eylül University, Faculty of Engineering and Natural Science. Published by Dergi Park. All rights reserved.

#### MAKALE BİLGİSİ

##### Makale Tarihleri

Gönderim : 26 Mayıs 2022

Kabul : 4 Temmuz 2022

##### Anahtar Kelimeler:

Yüksek Fırın Cürufu, Çelikhane Cürufu, Geopolimer Harç, Basınç Dayanımı

#### ÖZET

Bu çalışmada, iki atık malzeme olan Yüksek fırın cürufu (YFC) ve Çelikhane cürufu (ÇC) kullanılarak çimento yerine daha çevre dostu bir bağlayıcı elde edilmeye çalışılmaktadır. Bu amaçla, YFC ve ÇC farklı oranlarda kullanılarak geopolimer harçlar üretilmiştir. Cürufular, %80 YFC+ %20 ÇC ve %60 YFC+ %40 ÇC olacak şekilde çimento yerine ikame edilerek kullanılmıştır. Cürufulu harçların aktivasyonu için, bağlayıcı miktarının %3, %5, %7.5 ve %9'u oranında sodyum içerecek şekilde sodyum silikat ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) kullanılmıştır. Ayrıca Portland çimentosuyla (CEM I 42.5 R) kontrol harçları üretilmiştir. Üretilen numuneler, 7 ve 28 gün  $21 \pm 2$  °C suda kür edilerek, ultrases geçiş hızları, eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Geopolimer harçların ve kontrol harçlarının deney sonuçları karşılaştırılmıştır. YFC ve ÇC ile Normal Portland çimentosuna göre daha ekonomik ve çevre dostu bir bağlayıcı malzeme üretilmesi amaçlanmaktadır.

© 2022 Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi. Dergi Park tarafından yayınlanmaktadır. Tüm Hakları Saklıdır.

## 1. GİRİŞ

Beton yıllık 20 milyon tondan fazla üretimi ile dünya üzerinde sudan sonra en çok kullanılan malzemedir [1]. Portland çimentosu betonun bağlayıcı yapısını oluşturan matristir. Çimentonun üretimi sırasında, dünya genelindeki enerji tüketiminin yaklaşık %3'ü harcanmaktadır [2]. Ayrıca üretim esnasında çok yüksek oranda CO<sub>2</sub> salınımı gerçekleşmektedir. Dünya genelindeki CO<sub>2</sub>'nin %5-7'si çimento üretiminden kaynaklanmaktadır [3]. Yüksek emisyonlar ve enerji tüketimi nedeniyle, Portland çimento endüstrisi iklim değişikliğinin ana nedenlerinden biri olarak kabul edilmektedir ve genel küresel ısınmanın yaklaşık %65'ine katkıda bulunmaktadır [4].

Çimentonun çevreye verdiği zarar ve maliyetinin çok yüksek olması yeni bağlayıcı malzeme arayışlarını zorunlu hale getirmektedir. Geopolimerler, çimento yerine üretilen ve araştırılan yeni nesil bağlayıcı malzemelerdir. Alümina silikat temelli yüksek fırın cürufu, uçucu kül, metakaolin ve silis dumanı gibi atık malzemeler alkali aktivatörlerle aktive edilerek bağlayıcı özellik kazandırılmaktadır. Atık malzemelerin kullanımıyla, biriken malzeme azaltılmakta ve ekonomiye kazandırılmaktadır. Ayrıca atmosfere salınan CO<sub>2</sub> %26-45 oranında azalmaktadır [5,6,7]. Ekonomiye ve çevreye sağladığı olumlu etkiler göz önüne alındığında, geopolimer harçlar ve betonlarla ilgili çalışmalar giderek yaygınlaşmaktadır. Farklı türden puzolanlar farklı aktivatörlerle denemekte ve çimento yerine kullanılacak malzemeler elde edilmektedir.

Açıkkapı vd., %4, %6, %8, %10 ve %12 oranlarında Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanarak çelikhane cürufuyla geopolimer harçlar üretmiştir. Üretilen harçları farklı kür koşullarında bekleterek dayanım gelişimlerini izlemişlerdir. %6 sodyum içeriğine sahip harçlarda 22 MPa basınç dayanımı elde etmişlerdir. Çelikhane cürufunun literatürde genel olarak agrega ve zemin stabilizasyon malzemesi olmasının yanında, geopolimer harçlarda bağlayıcı özellik de gösterebileceğini ifade etmektedirler [8]. Guo vd., çelikhane cürufunu ince agrega olarak %0, %10, %20, %30 ve %40 oranlarında betonda kullanmış, statik ve dinamik basınç dayanımına etkilerini araştırmışlardır. %20 oranında çelikhane cürufu katkısının optimum sonuçları verdiğini belirlemişlerdir [9].

Yüksek fırın cürufuyla yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre, cürufu geopolimer harçların çimentolu harçlara nazaran daha yüksek dayanım ve dayanıklılık gösterdiği belirlenmiştir. El-Didamony vd., Bilim vd. çalışmalarında çimento yerine yüksek fırın cürufu kullanarak geopolimer harçlar üretmişlerdir. Geopolimer harçların çimentolu ve çimento-cüruf karışımı harçlara kıyasla daha iyi dayanım gösterdiğini belirlemişlerdir [10,11].

Bu çalışma kapsamında, YFC ve ÇÇ farklı oranlarda çimento yerine ikame edilerek geopolimer harçlar üretilmiştir. Üretilen harçların 7 ve 28 günlük basınç dayanımları belirlenerek Portland çimentosunun 7 ve 28 günlük dayanımlarıyla mukayese edilmiştir. Ayrıca geopolimer harçlara ve Portland çimentolu harçlara ultrases geçiş hızı deneyi uygulanmıştır. Geçiş hızları m/s cinsinden belirlenerek dayanım değerleriyle ilişkisi incelenmiştir.

YFC geopolimer harç teknolojisinde uzun yıllardır kullanılmaktadır. Ancak ÇÇ geopolimer harçlar için henüz yeni bir malzemedir. Bu nedenle iki malzemenin birlikte kullanılarak yeni bir bağlayıcı ürün ortaya çıkarılması amaçlanmaktadır. ÇÇ'nun da atık malzeme olarak değerlendirilerek ekonomiye kazandırılması ve çevresel zararların azaltılması yönünde katkı sağlaması hedeflenmektedir. Yapılan deneysel çalışmalar bu amaçlarla yapılmış ve daha çevre dostu bir bağlayıcı malzeme ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Çimento

Bu çalışmada kullanılan çimento, EN 197-1'e [12] uygun normal Portland çimentosu (CEM I 42.5 R) olup, Tokat Adoçim Çimento Beton San. ve Tic. A.Ş tarafından üretilmiştir. Çimentoya ait kimyasal özellikler Tablo 1'de ve kullanılan çimento Şekil 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Portland çimentosunun kimyasal içeriği.

Oksit (%)	CEM I 42.5 R
SiO <sub>2</sub>	18.87
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.62
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.54
CaO	62.78
MgO	2.63
SO <sub>3</sub>	2.82
Na <sub>2</sub> O	0.4
K <sub>2</sub> O	0.9
Özgül yüzöl alanı	3900 cm <sup>2</sup> /g
Yoğunluk	3.16 g/cm <sup>3</sup>



**Şekil 1.** Portland çimentosu.

### 2.1.2. Yüksek Fırın Cürufu

Yüksek fırın cürufu, İskenderun Demir Çelik fabrikasının atığıdır. Cürufa ait özellikler ve içeriği Tablo 2’de, görseli Şekil 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Yüksek fırın cürufunun kimyasal içeriği.

Kimyasal İçerik	Analiz sonucu (%)
SiO <sub>2</sub>	38.89
CaO	28.94
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.48
MgO	5.53
SO <sub>3</sub>	1.51
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.36
MnO	1.16
K <sub>2</sub> O	0.78
TiO <sub>2</sub>	0.53
BaO	0.45
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.41
Na <sub>2</sub> O	0.36
SrO	0.10
Kızdırma Kaybı	6.50
Özgül yüzölçümü	5990 cm <sup>2</sup> /g
Yoğunluk	2,88 g/cm <sup>3</sup>



**Şekil 2.** Yüksek fırın cürufu.

### 2.1.3. Çelikhane Cürufu

Çalışmada kullanılan çelikhane cürufu, Kardemir demir-çelik fabrikasından temin edilmiştir. Cürufa ait kimyasal içerik Tablo 3’te ve görsel Şekil 3’te verilmektedir.

**Tablo 3.** Çelikhane cürufunun kimyasal içeriği.

Kimyasal İçerik	Analiz sonucu (%)
SiO <sub>2</sub>	13.53
CaO	52.83
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.16
MgO	5.49
SO <sub>3</sub>	0.99
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.74
MnO	1.73
K <sub>2</sub> O	0.16
TiO <sub>2</sub>	0.58
BaO	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.50
Na <sub>2</sub> O	0.02
SrO	0.03
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.77
Kızdırma Kaybı	7.24
Özgül yüzölçümü	6800 cm <sup>2</sup> /g
Yoğunluk	3.18 g/cm <sup>3</sup>



**Şekil 3.** Çelikhane cürufu.

### 2.1.4. Aktivatör

Çalışmada Tekkim Kimya Sanayi ve Tic. Ltd. Şti.’den temin edilen Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (Şekil 4) kullanılmıştır.



**Şekil 4.** Sodyum silikat.

### 2.1.5. Kum

Çalışmada öğütülmüş dere kumu kullanılmıştır. Maksimum tane çapı yaklaşık 3 mm, özgül ağırlığı 2.2 g/cm<sup>3</sup> tür.

### 2.1.6. Su

Harç karışımları için kullanılan su, EN 1008'e [13] uygun olarak içilebilir temiz şebeke suyudur.

### 2.2. Metot

Harç karışımları EN 197-7'ye [14] uygun olarak üretilerek 40\*40\*160 mm'lik prizma kalıplara dökülmüştür. Harç karışım oranları Tablo 4'te verilmektedir.

**Tablo 4.** Harç karışım oranları.

	YFC	ÇÇ	Çimento	Kum	Su	Aktivatör (%3, 5, 7.5, 9)
%80 YFC+%20 ÇÇ	360 g	90 g	0 g	1200 g	225 g	36 g, 60 g, 90 g, 108 g
%60 YFC+%40 ÇÇ	270 g	180 g	0 g	1200 g	225 g	36 g, 60 g, 90 g, 108 g
%100 Portland çimentosu	0 g	0 g	450 g	1200 g	225 g	0 g

YFC ve ÇÇ iki farklı oranda seçilerek 4 farklı aktivatör oranında harçlar hazırlanmıştır. Hazırlanan geopolimer harçlar ve Portland çimentolu kontrol harçları 24 saat laboratuvar ortamında bekletilmiştir. 24 saat sonunda prizini tamamlayan harçlar kür havuzuna 21±2 °C'de 7 ve 28 gün bekletilmiştir. Kür sürelerinin sonunda EN 196-1 'e [15] uygun olarak eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Ayrıca bütün numunelere ultrases geçiş hızı deneyi uygulanmıştır [16]. Deney düzenekleri Şekil 5'te verilmiştir. Ultrases geçiş hızı testi, beton içine gönderilen ses üstü dalgaların bir uçtan diğer uca geçme süresini ölçerek belirlenmektedir. Hızın yüksek olması beton içindeki boşluk miktarının az olduğunu, hızın düşük olması ise boşluk miktarının fazla olduğunu ifade etmektedir. Tahribatsız bir yöntem olan bu yöntem beton ve harçların dayanımlarının tahmini olarak belirlenmesinde kullanılmaktadır. Harçların ultrases geçiş hızları m/s cinsinden belirlenerek dayanım değerleri ile ilişkisi incelenmiştir.



**Şekil 5.** Eğilme-basınç dayanımı ve Ultrases geçiş hızı deneyi.

## 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### 3.1. Eğilme ve Basınç Dayanımı Sonuçları

Geopolimer harçların ve Portland çimentolu kontrol harçlarının 7 ve 28 günlük eğilme, basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı sonuçları Tablo 5'te verilmektedir. Ayrıca sonuçlar Şekil 6'da grafik olarak verilmektedir.

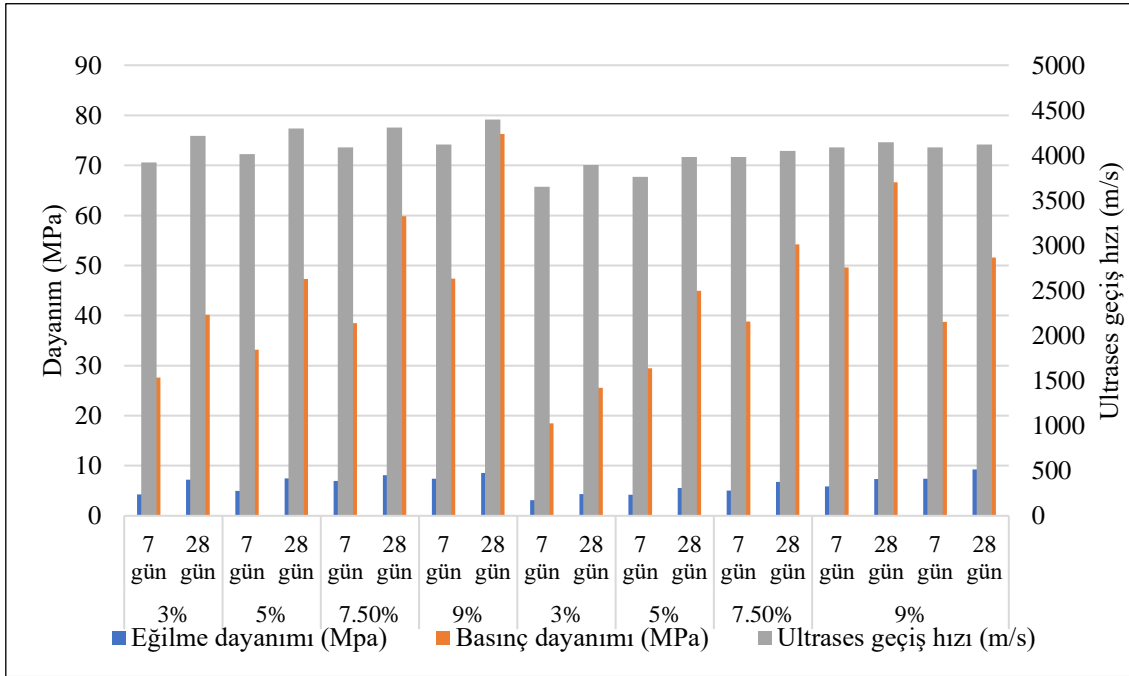
Portland çimentolu harçların 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri, 38.74 ve 51.58 MPa olarak ölçülmüştür. Ultrases geçiş hızı ise 4120 m/s olarak belirlenmiştir. Portland çimentolu harçların (CEM I 42.5) 28 günlük basınç dayanımlarının en az 42.5 MPa olması gerekmektedir. Benzer çalışmalarda da kontrol harcı olarak üretilen Portland çimentolu harçların 28 günde 49.87 MPa basınç dayanımına eriştiği gözlenmektedir [17].

%80 YFC+ %20 ÇÇ içeren harçların eğilme, basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı sonuçlarına bakıldığında, Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> oranı arttıkça dayanım değerlerinin ve geçiş hızı değerlerinin arttığı görülmektedir. 7 günlük eğilme dayanımları; 4.28, 4.97, 6.98 ve 7.38 MPa, basınç dayanımları; 27.42, 33.18, 38.46 ve 47.39 MPa'dır. 28 günlük eğilme dayanımları; 7.24, 7.45, 8.12 ve 8.56 MPa, basınç dayanımları; 40.14, 47.28, 59.87 ve 76.25 MPa'dır.

Özellikle %7.5 ve %9 sodyum oranlarında 28 günlük basınç dayanımları, 59.87 ve 76.25 MPa olarak belirlenmiştir. Bu da Portland çimentosuna (51.58 MPa) kıyasla %16 ve %47 oranında daha fazla dayanım anlamına gelmektedir. Geçiş hızı değerleri de genel itibariyle 4200- 4400 m/s aralığında yer almaktadır. Sodyum oranı arttıkça harçların daha yüksek sıkışma ve kompasiteye sahip olduğu, buna bağlı olarak da dayanım gelişiminin yüksek olduğu söylenebilir.

**Tablo 5.** Cürüflu harçlara ait deney sonuçları.

	Silikat oranı (%)	Kür süresi	Eğilme dayanımı (Mpa)	Basınç dayanımı (MPa)	Ultras ses geçiş hızı (m/s)
%80 YFC+ %20 ÇÇ	3%	7 gün	4.28	27.62	3920
		28 gün	7.24	40.14	4217
	5%	7 gün	4.97	33.18	4014
		28 gün	7.45	47.28	4298
	7.50%	7 gün	6.98	38.46	4090
		28 gün	8.12	59.87	4307
	9%	7 gün	7.38	47.39	4121
		28 gün	8.56	76.25	4397
%60 YFC+ %40 ÇÇ	3%	7 gün	3.14	18.47	3652
		28 gün	4.32	25.57	3893
	5%	7 gün	4.21	29.48	3762
		28 gün	5.58	44.92	3980
	7.50%	7 gün	5.02	38.78	3980
		28 gün	6.79	54.23	4051
	9%	7 gün	5.87	49.63	4089
		28 gün	7.32	66.65	4145
	Portland çimentosu	7 gün	7.41	38.74	4087
		28 gün	9.27	51.58	4120

**Şekil 6.** Harç numunelere ait deney sonuçları.

%60 YFC+ %40 ÇÇ içeren harçların eğilme, basınç dayanımı ve ultras ses geçiş hızı sonuçlarına bakıldığında,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  oranı arttıkça dayanım değerlerinin ve geçiş hızı değerlerinin arttığı görülmektedir. 7 günlük eğilme dayanımı değerleri sırasıyla; 3.14, 4.21, 5.02 ve 5.87 MPa, basınç dayanımları; 18.47, 29.48, 38.78 ve 49.63 MPa'dır. 28 günlük eğilme dayanımları sırasıyla; 4.32, 5.58, 6.79 ve 7.32 MPa, basınç dayanımları; 25.57, 44.92, 54.23 ve 66.65 MPa'dır.

%7.5 ve %9 sodyum oranlarında 28 günlük basınç dayanımları, 54.23 ve 66.65 MPa olarak belirlenmiştir. Portland çimentosu harçlara nazaran %5 ve %29 oranında daha yüksek basınç dayanımı elde edilmiştir. Ultras ses geçiş hızları da 3900-4150 m/s aralığında yer almaktadır. Portland çimentosu harçlara kıyasla iyi sonuçlar alınmaktadır. Ancak YFC oranının %80'den %60'a düştüğü göz önüne alındığında, dayanım ve geçiş hızı değerleri genel olarak azalmaktadır. Bu da YFC oranının yüksek olması halinde eğilme ve basınç dayanımlarının daha yüksek sonuçlar verdiğini göstermektedir.

#### 4. SONUÇ

Çalışma kapsamında, Portland çimentosuna kıyasla daha ekonomik, çevre dostu ve yüksek basınç dayanımına sahip geopolimer harçlar üretilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, YFC ve ÇÇ iki farklı oranda kullanılarak, harçlar üretilmiş ve ultras ses geçiş hızı, eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Ayrıca Normal Portland çimentosuyla kontrol harçları üretilerek sonuçlar kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; Portland çimentosu kontrol harçlarının 28 günlük basınç dayanımları 51.58 MPa olarak belirlenmiştir.

%80 YFC+ %20 ÇÇ kullanılarak üretilen geopolimer harçların, 28 günlük basınç dayanımları, %7.5 ve %9 sodyum oranlarında, Portland çimentosuna göre %16 ve %47 daha yüksek çıkmıştır. Bu sodyum oranlarında basınç dayanımları 59.87 ve 76.25 MPa olarak belirlenmiştir.

%60 YFC+%40 ÇÇ kullanılarak üretilen geopolimer harçların, 28 günlük basınç dayanımları. %7.5 ve %9 sodyum oranlarında kontrol harçlarına kıyasla %5 ve %29 oranında daha yüksek çıkmıştır. Bu sodyum oranlarında basınç dayanımları 54.23 ve 66.65 MPa olarak belirlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında üretilen geopolimer harçların %7.5 ve %9 Na oranlarında, Normal Portland çimentosunun 28 günlük basınç dayanımına kıyasla yüksek değerlere eriştiği belirlenmiştir. Ayrıca benzer çalışmalarda üretilen Portland çimentosu harçların 28 günlük basınç dayanımlarına kıyasla da yüksek değerler elde edildiği gözlenmektedir [17].

Geopolimer harç teknolojisinde yüksek fırın cürufu, uçucu kül gibi atık malzemelerin kullanımı yaygın hale geldiği göz önüne alınacak olursa, bu çalışma kapsamında çelikhane cürufu da ayrıca ekonomiye kazandırılmaya çalışılmıştır. Çelikhane cürufu çalışmalarda daha çok zemin stabilizasyon malzemesi veya beton agregası olarak kullanılmıştır [9]. YFC ile geopolimer harç üretimi güncel çalışmalarda yapılmakta, ancak ÇÇ geopolimer harçlarda bağlayıcı olarak yer almamaktadır. Bu çalışmada iki malzeme birlikte kullanılmış ve Portland çimentosuna göre dayanım özellikleri kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlar, YFC ve ÇÇ'nun birlikte kullanılması halinde Portland çimentosuna göre basınç dayanımı anlamında oldukça iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir. Böylece iki atık malzeme değerlendirilerek ekonomiye kazandırılmakta ve çevreye verilen zarar nispeten azaltılmaktadır. Portland çimentosunun üretimi esnasında açığa çıkan gazların ve harcanan enerjinin bir miktar da olsa azaltılmasına katkı sağlanması hedeflenmektedir.

## Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler

## KAYNAKÇA

- [1] M. Kaya, F. Koksall, O. Gencel, M. J. Munir, S. M. S. Kazmi, "Influence of micro Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and MgO on the physical and mechanical properties of the zeolite and kaolin based geopolymer mortar", *J Build Eng.*, vol. 52, p. 104443, 2022
- [2] J. S. Damtoft, J. Lukasik, D. Herfort, D. Sorrentino, E. M. Gartner, "Sustainable development and climate change initiatives", *Cem Concr Res.*, vol. 38, no. 2, pp. 115-127, 2008.
- [3] M. C. G. Juenger, F. Winnefeld, J. L. Provis, J. H. Ideker, "Advances in alternative cementitious binders", *Cem Concr Res.*, vol. 41, no. 12, pp. 1232-1243, 2011.
- [4] W. Zhou, C. Yan, P. Duan, et al., "A comparative study of high- and low-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fly ash based-geopolymers: The role of mix proportion factors and curing temperature", *Mater Des.*, vol. 95, pp. 63-74, 2016.
- [5] G. Habert, J. B. D'Espinose De Lacaillerie, N. Roussel, "An environmental evaluation of geopolymer based concrete production: Reviewing current research trends", *J Clean Prod.*, vol. 19, no. 11, pp. 1229-1238, 2011.
- [6] W. Lokuge, A. Wilson, C. Gunasekara, D. W. Law, S. Setunge, "Design of fly ash geopolymer concrete mix proportions using Multivariate Adaptive Regression Spline model", *Constr Build Mater*, vol. 166, pp. 472-481, 2018.
- [7] M. Kaya, "The effect of micro-SiO<sub>2</sub> and micro-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> additive on the strength properties of ceramic powder-based geopolymer pastes", *J Mater Cycles Waste Manag*, vol. 24, no. 1, pp. 333-350, 2022.
- [8] Y. H. Açikkapi, S. T. Yildirim, Ş. Bingöl, "Alkalilerle Aktive Edilen Çelikhane Cürufu Harçlarının Mekanik Özellikleri", *2nd Int Symp Sci Res Innov Stud.*, pp. 644-654, 2022.
- [9] Y. Guo, J. Xie, W. Zheng, J. Li, "Effects of steel slag as fine aggregate on static and impact behaviours of concrete", *Constr Build Mater*, vol. 192, pp. 194-201, 2018.
- [10] C. Bilim, C. D. Ati, "Alkali activation of mortars containing different replacement levels of ground granulated blast furnace slag", *Constr Build Mater*, vol. 28, no. 1, pp. 708-712, 2012.
- [11] H. El-Didamony, A. A. Amer, H. Abd Ela-Ziz, "Properties and durability of alkali-activated slag pastes immersed in sea water", *Ceram Int.*, vol. 38, no. 5, pp. 3773-3780, 2012.
- [12] TS EN 197-1, "Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri", TSE, Published online 2012.
- [13] TS EN 1008, "Mixing Water for Concrete - Specifications for Sampling, Testing and Assessing the Suitability of Water, Including Water Recovered from Processes in the Concrete Industry, as Mixing Water for Concrete", Turkish Standardization Institute, 2003.
- [14] TS EN 196-7, "Çimento Deney Yöntemleri - Bölüm 7: Çimentodan Numune Alma ve Numune Hazırlama Yöntemleri", TSE, 2010.
- [15] TS EN 196-1, "Methods of Testing Cement - Part 1: Determination of Strength", Turkish Standardization Institute, 2016.
- [16] ASTM C597-16, "Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete", Published online 2016.
- [17] N. Degirmenci, A. Yılmaz, "Use of diatomite as partial replacement for Portland cement in cement mortars", *Constr Build Mater*, vol. 23, no. 1, pp. 284-288, 2009.