

## İkili fayans tozu, tuğla tozu ve cam tozu bazlı geopolimer kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi

Gazi GÜNEL<sup>1\*</sup>, Özer SEVİM<sup>1</sup>, İlhami DEMİR<sup>1</sup> ve Erdiñç Halis ALAKARA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İnşaat Mühendisliği / Kırıkkale Üniversitesi, Türkiye

<sup>2</sup>İnşaat Mühendisliği / Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Türkiye

\*gazigunel@kku.edu.tr

**Özet** – Dünya nüfusunun hızlı bir şekilde artmasıyla yapı ihtiyacına karşı duyulan talepler de artış göstermektedir. Beton, yapıda en çok kullanılan yapı malzemeleri arasında yer almaktadır. Betona bağlayıcılık özelliği kazandırmak için çimentoya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ihtiyacı karşılama doğrultusunda yüksek miktarda sera gazı salınımı ve doğal yaşam alanlarının tahribatı gerçekleşmektedir. Çimento üretimi sonucu doğaya verilen bu zararı bertaraf etmek amacıyla puzolanik malzemeler çimento yerine ikame edilerek kullanılmaktadır. Çimentonun diğer bir alternatifi olarak geopolimer beton karışımına çıkmaktadır. Geopolimer beton çimentodan tamamen bağımsız, puzolanik malzemelerin alkali çözeltilerle aktive edilmeleriyle elde edilmektedir. Geopolimerlerin çevreci olmasının yanı sıra mekanik ve fiziksel özellikleri bakımından geleneksel betondan daha üstündür. Bu bağlamda çalışmada bağlayıcı malzeme olarak inşaat yıkıntı atıklarından elde edilen Fayans Tozu (FT), Tuğla Tozu (TT), Cam Tozu (CT) ve alkali aktivatör olarak NaOH kullanılmıştır. Geopolimer harçlar bağlayıcı malzemelerin farklı oranlarda kullanılmasıyla ikili karışımlarla hazırlanmıştır. 100 °C etüvde, 24 saat kür edilen harçlara eğilme dayanımı ve basınç dayanımı testleri yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde; cam tozu ikameli ikili karışımlarda, cam tozu ikame oranının artmasıyla eğilme ve basınç dayanım değerleri de artış göstermiştir. Cam tozunun yalnız başına geopolimer harçlarda bağlayıcı olarak kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca servis ömrünün doldurmuş yapıların yıkım çalışmaları sonucunda meydana gelen atıkların geri dönüştürülerek kullanılması sürdürülebilir çevreye katkı sağlayacaktır.

**Anahtar Kelimeler** – Geopolimer Kompozitler, İnşaat Yıkıntı Atığı, Fayans Tozu, Tuğla Tozu, Cam Tozu.

### 1. GİRİŞ

Son yıllarda gelişmekte olan ülkelerde kentleşmenin de artmasıyla birlikte inşaat sektörü önem kazanmaktadır. Beton çimento, su, agrega ve ihtiyaçlar doğrultusunda kimyasal katkı malzemelerinin kullanılmasıyla oluşmaktadır. Çimento, doğal kalker taşları ve kil karışımının yüksek sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra öğütülmesiyle elde edilen betona bağlayıcılık özelliği sağlayan malzemedir [1].

Çimento üretiminde yüksek enerji ve hammaddeye ihtiyaç duyulmakla birlikte üretim prosesi boyunca CO<sub>2</sub> salınımı da oldukça yüksektir. Çimento üretiminde hammadde miktarının aşırı kullanılması doğal kaynak rezervlerini azaltmaktadır. Bir ton çimento üretimi için yaklaşık

olarak 2.8 ton hammaddeye ihtiyaç duyulmakta ve yaklaşık 1ton CO<sub>2</sub> emisyonu açığa çıkmaktadır. Ayrıca çimento üretimi prosesinde yıllık 2 milyar ton sera gazı salınımı gerçekleşmekte olup insan kaynaklı oluşan atmosferdeki sera gazlarının yaklaşık %7'sini oluşturmaktadır [2]. Çimento üretim sürecinde doğaya verilen zararları azaltmak için çimento yerine geçebilecek sürdürülebilir alternatif yöntemlerin araştırması önem kazanmaktadır. Bu bağlamda atık malzemelerin kullanılması ve çimentoya gereksinim olmadan üretilen geopolimer karışımına çıkmaktadır. Geopolimerler uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu ve metakoalin gibi alümina silikat esaslı malzemelerin sodyum hidroksit, sodyum silikat ve

potasyum hidroksit gibi alkali solüsyonlarının aktivasyonu ile oluşan bağlayıcı malzemelerdir [3].

Geopolimer beton geleneksel betona kıyasla CO<sub>2</sub> salınımını yaklaşık olarak %47 oranında azaltırken, maliyet yönünden de benzerlik göstermektedir. Geopolimerler sürdürülebilirlik açısından değerli olmasının yanı sıra mükemmel düzeyde dayanım ve dayanıklılık göstermektedir [4]. Kentleşmenin artışıyla birlikte yapı ihtiyaçlarının karşılanması için servis ömrünü tamamlamış yapıların yıkılarak yeniden inşası gereklidir. Avrupa’da inşaat yıkıntı atık üretim miktarı yaklaşık olarak yıllık 820 milyon tondur. Atık tuğla, fayans ve cam toplam inşaat yıkıntı atıklarının yaklaşık %45’ini oluşturmaktadır [5]. Araştırmacılar farklı türde atık malzemelerin bağlayıcı olarak geopolimerde kullanımı üzerinde çalışmalar yapmaktadır. Bu bağlamda atık malzemelerin geopolimer harçlarda değerlendirilmesi açısından alümina silikat esaslı malzeme olarak fayans tozu (FT), cam tozu (CT) ve tuğla tozunun (TT) kullanılması önem kazanmaktadır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Fayans Tozu

Atık fayans inşaat yıkıntı depolama alanlarından temin edildikten sonra laboratuvar tipi kırıcı ile küçük parçalara ayrıştırılmış ve 2 mm boyutundaki elekten elenmiştir. 2 mm elek altında kalan malzeme bilyeli değirmende tekrar öğütülerek toz haline getirilmiştir. Son olarak harç karışımlarında kullanılmak üzere 75 µm’lik elekten elenmiştir.

#### 2.1.2. Tuğla Tozu

Atık tuğla inşaat yıkıntı depolama alanlarından temin edildikten sonra laboratuvar tipi kırıcı ile küçük parçalara ayrıştırılmış ve 2 mm boyutundaki elekten elenmiştir. 2 mm elek altında kalan malzeme bilyeli değirmende tekrar öğütülerek toz haline getirilmiştir. Son olarak harç karışımlarında kullanılmak üzere 75 µm’lik elekten elenmiştir.

#### 2.1.3. Cam Tozu

Atık cam inşaat yıkıntı depolama alanlarından temin edildikten sonra laboratuvar tipi kırıcı ile küçük parçalara ayrıştırılmış ve 2 mm boyutundaki elekten elenmiştir. 2 mm elek altında kalan malzeme

bilyeli değirmende tekrar öğütülerek toz haline getirilmiştir. Son olarak harç karışımlarında kullanılmak üzere 75 µm’lik elekten elenmiştir.

#### 2.1.4. Sodyum Hidroksit

Çalışmada bir alkali çözelti üretmek için yaklaşık %99 saflıkta 40 g/mol moleküler ağırlığa sahip NaOH kullanılmıştır. Çalışmada aktivatör olarak su ve NaOH ile hazırlanan alkali çözelti kullanılmıştır. NaOH, alüminat ve silikatı çözmek için daha yüksek bir yetenek gösterdiği için ve aynı zamanda ekonomik olduğu için tercih edilmiştir.

#### 2.1.5. CEN Referans Kum

Çalışma kapsamında kullanılan CEN Referans Kum TS EN 196-1’de [6] verilen standart kum şartlarına uygun olarak Limak Ticaret A.Ş.’den temin edilmiştir.

#### 2.1.6. Karışım Suyu

Çalışma kapsamında musluk suyu olarak bilinen şehir şebeke suyu alkali solüsyonların hazırlanmasında kullanılmıştır.

### 2.2. Metod

Bu çalışmada geopolimer harçlarda FT, TT ve CT’nin bağlayıcı malzeme olarak kullanımı araştırılmıştır. Karışımlarda alkali aktivatör olarak NaOH kullanılmış ve aktivatör molaritesi 12 molar (M) olarak seçilmiştir. Farklı oranlarda ikili karışımlar yapılarak geopolimer harçlar üretilmiştir. Geopolimer harçların karışım oranları Tablo 1’de verilmiştir. TS EN 196-1’e göre hazırlanan taze geopolimer harçlar 40×40×160 mm boyutlardaki kalıplara iki aşamada doldurularak sarsma tablasında sıkıştırılmıştır. Daha sonra 100°C’de 24 saat kürlenmiştir. Kür süresini tamamlayan geopolimer harçların eğilme dayanımları TS EN 196-1’e göre belirlenmiştir. Daha sonra prizmatik numunelerin eğilme dayanımı testinden sonra kırılan kısımlara basınç dayanım testi yapılmıştır.

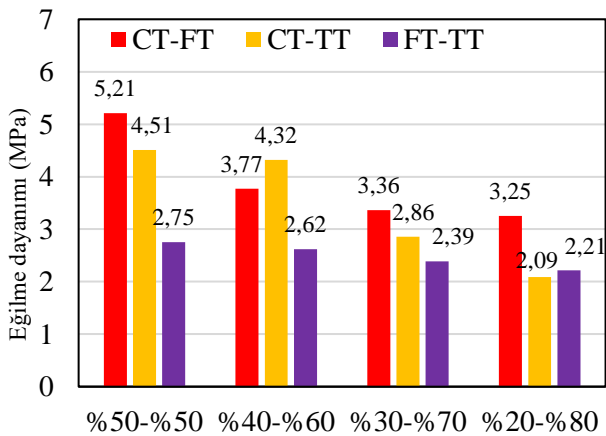
Tablo 1. Geopolimer harçların karışım oranları

Karışım Adı	FT (gr)	TT (gr)	CT (gr)	Su (gr)	Kum (gr)	NaOH (gr)	Molarite (M)	Kür Süresi (saat)	Kür Sıcaklığı (°C)
FT50-CT50	225	0	225						
FT60-CT40	270	0	180						
FT70-CT30	315	0	135						
FT80-CT20	360	0	90						
TT50-CT50	0	225	225						
TT60-CT40	0	270	180	200.7	1350	108	12	24	100
TT70-CT30	0	315	135						
TT80-CT20	0	360	90						
FT50-TT50	225	225	0						
FT40-TT60	180	270	0						
FT30-TT70	135	315	0						
FT20-TT80	90	360	0						

### 3. BULGULAR

#### 3.1. Eğilme Dayanımı Sonuçları

24 saat 100 °C kürlenme işleminin ardından numuneler oda sıcaklığına ulaştıktan sonra TS EN 196-1'e uygun olarak eğilme dayanım testi gerçekleştirilmiştir. Yapılan eğilme deneyi sonuçları Şekil 1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Geopolimer harçların eğilme dayanımı

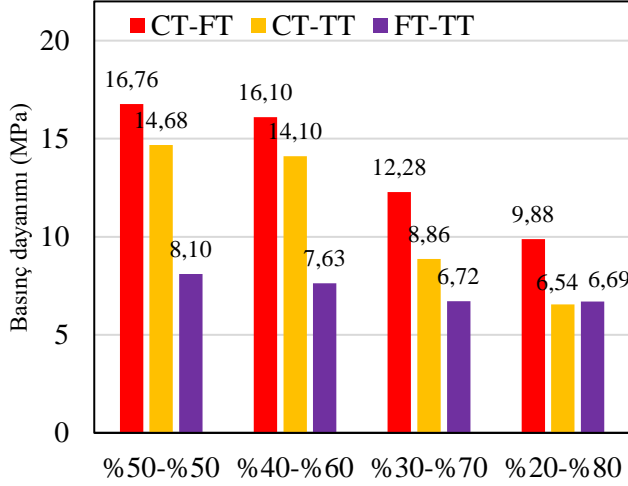
Numunelerin eğilme dayanımı sonuçları 2.09 ila 5.21 aralığında değişkenlik göstermiştir.

Eğilme dayanımı sonuçları incelendiğinde %50CT-%50FT karışımı 5.21 MPa değeri ile en yüksek eğilme dayanımına sahip olmuştur. En düşük eğilme dayanım değeri ise %20CT-%80TT karışımından elde edilmiştir. Genel olarak eğilme dayanım sonuçları incelendiğinde ikili karışımlarda CT ikame oranındaki azalma geopolimer harçların eğilme dayanımında düşüşe neden olmuştur.

#### 3.2. Basınç Dayanımı Sonuçları

Eğilme deneyi sonucunda elde edilen 6 adet numune üzerinde basınç dayanım testi gerçekleştirilmiştir. Geopolimer harçların basınç dayanım testi sonuçları Şekil 2.'de gösterilmiştir. Şekil 2. incelendiğinde geopolimer harçların basınç dayanım değerleri 16.76 ila 6.54 arasında değişkenlik göstermiştir. %50CT-%50FT karışımı 16.76 MPa değeri ile en yüksek basınç dayanımına sahip olmuştur. Basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde eğilme dayanımı sonuçlarına paralellik göstererek, karışımlarda CT ikame oranında ki azalma basınç dayanımında azalmaya neden olmuştur. Ayrıca FT ve TT ile hazırlanmış ikili karışımlarda TT ikame

oranındaki artışın basınç dayanım değerlerini artıracığı tespit edilmiştir.



Şekil 2. Geopolimer harçların basınç dayanımı

#### 4. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada inşaat yıkıntı atıklarından elde edilen FT, TT ve CT'nin geopolimer harçlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Hazırlanan karışımlarda farklı oranlarda atık malzemeler kullanılarak ikili karışımlar oluşturulmuştur. Çalışmadan şu sonuçlar elde edilmiştir;

- Eğilme ve basınç dayanım testleri sonucunda en yüksek değere sahip olan karışım %50CT-%50FT karışımı olmuştur.
- CT ile hazırlanmış ikili karışımlarda, basınç ve eğilme dayanım değerlerinde CT ikame oranındaki azalma değer kaybına neden olmuştur.
- FT ve TT ile hazırlanmış geopolimer harçların basınç ve eğilme dayanım değerleri TT ikame oranının artışıyla olumlu etkilenmiştir.

Sonuç olarak CT ile hazırlanmış ikili karışımlar dikkate alındığında, geopolimer harçlarda CT'nin bağlayıcı malzeme olarak kullanılabileceği görülmüştür.

#### KAYNAKLAR

- [1] Bilgin, Öykü, and K. O. Ç. Ercüment. "Çimento üretim teknolojisinde kullanılan ana ekipmanlar." *MT Bilimsel* 4 (2013): 31-40.
- [2] Shobeiri, Vahid, et al. "A comprehensive assessment of the global warming potential of geopolymer concrete." *Journal of Cleaner Production* 297 (2021): 126669.
- [3] Ahmed, Hemn Unis, et al. "Geopolymer concrete as a cleaner construction material: An overview on materials and structural performances." *Cleaner Materials* (2022): 100111.
- [4] Amran, Mugahed, Solomon Debbarma, and Togay Ozbakkaloglu. "Fly ash-based eco-friendly geopolymer concrete: A critical review of the long-term durability properties." *Construction and Building Materials* 270 (2021): 121857.
- [5] Hwang, Chao-Lung, et al. "Performance evaluation of alkali activated mortar containing high volume of waste brick powder blended with ground granulated blast furnace slag cured at ambient temperature." *Construction and Building Materials* 223 (2019): 657-667.
- [6] EN, TS. "196-1, Çimento deney metotları-Bölüm 1: Dayanım tayini." *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara* (2016).