



Alınış tarihi (Received): 02.12.2022

Kabul tarihi (Accepted): 22.12.2022

İnşaat Yıkıntı Atıklarından Elde Edilen Atık Tuğlaların Geopolimer Harçlarda Kullanımının İncelenmesi

Erdinç Halis ALAKARA^{1,*}

¹Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Tokat, Türkiye

*Sorumlu yazar: erdinchalis.alakara@gop.edu.tr

ÖZET: Çimento endüstrisindeki yüksek enerji tüketimi, çevre kirliliği ve doğal kaynakların tüketilmesi araştırmacıları çimentoya alternatif bağlayıcı malzemelerin incelenmesine teşvik etmiştir. Bu konuda son yıllarda alkali-aktive malzemeler ve geopolimerler dikkat çekmiştir. Bu çalışmada, inşaat yıkıntı atıklarından elde edilen atık tuğla tozunun (TT) geopolimer harçlara etkisi incelenmiştir. Geopolimer harçlarda yüksek fırın çürufu (YFC) ve TT bağlayıcı olarak kullanılmıştır. Hazırlanan harç karışımlarında TT, YFC'nin ağırlıkça %10, %20, %30, %40 ve %50'si oranlarında ikame edilmiştir. Sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi aktivatör olarak kullanılmıştır. 100 °C etüvde, 24 saat kür edilen harçların eğilme dayanımı (f_e), basınç dayanımı (f_b) ve ultrases geçiş hızları (UPV) ölçülmüştür. Sonuçlar incelendiğinde; TT ikame oranı arttıkça f_e , f_b ve UPV parametrelerinde düşüşler görülmüştür. TT ikameli harçların f_e , f_b ve UPV parametreleri için en iyi sonuçlar, %10 TT ikameli harçlardan elde edilmiştir. Ancak atık tuğlaların çevreye verdiği zararlar göz önüne alındığında; %20, %30, %40 ve %50 TT ikameli harçlardan elde edilen sonuçların da kabul edilebilir düzeyde olduğu ve birçok yapı uygulaması için yeterli düzeyde olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler – Geopolimer harç, yıkıntı atığı, tuğla tozu, geri dönüşüm

Investigation of the Use of Waste Bricks Obtained from Construction Demolition Wastes in Geopolymer Mortars

ABSTRACT: The high energy consumption, environmental pollution, and depletion of natural resources in the cement industry have encouraged researchers to examine alternative binding materials to cement. In this regard, alkali-activated materials and geopolymers have attracted attention in recent years. In this study, the effect of waste brick dust (BD) obtained from construction demolition wastes on geopolymer mortars was investigated. Blast furnace slag (BFS) and BD were used as binders in geopolymer mortars. In the prepared mortar mixtures, BD was substituted at the rates of 10%, 20%, 30%, 40% and 50% by weight of BFS. Sodium hydroxide (NaOH) solution was used as activator. The flexural strength (f_f), compressive strength (f_c) and ultrasonic pulse velocity (UPV) of the mortars cured for 24 hours in an oven at 100 °C were measured. When the results are examined; f_f , f_c and UPV parameters decreased as the BD substitution ratio increased. The best results for f_f , f_c and UPV parameters of BD substituted mortars were obtained from 10% BD substituted mortars. However, considering the damage caused by waste bricks to the environment; It has been determined that the results obtained from the 20%, 30%, 40% and 50% BD substituted mortars are at an acceptable level and sufficient for many construction applications.

Keywords – Geopolymer mortar, demolition waste, brick dust, recycling

1. Giriş

Dünyada sudan sonra en çok kullanılan malzeme olan beton, yıllık 20 milyon tondan fazla üretilmektedir (Kaya ve ark. 2022). Betonlu oluşturan en önemli bileşenlerden birisi ise Portland çimentosudur (PC). PC'nin üretimi sırasında yılda yaklaşık olarak 1.5 milyar ton

CO₂ emisyonu oluşmaktadır (Çelikten ve ark. 2019). Bu değer dünya genelinde atmosfere salınan CO₂'nin yaklaşık olarak %5-7'sine tekabül etmektedir (Juenger ve ark. 2011). PC'nin üretimi sırasında çok yüksek miktarda enerji harcanmaktadır. Madlool ve ark. (2011) tarafından PC üretiminin, toplam endüstriyel enerjinin yaklaşık %12-15'ini tükettiği bildirilmiştir. PC'nin hammaddesinin kalker ve kil olduğu düşünüldüğünde, yüksek miktarlarda doğal kaynaklar da PC üretimi sırasında tüketilmektedir. Çevre kirliliği, enerji sarfiyatı ve doğal kaynak tüketimindeki bu artışlar araştırmacıları çimento esaslı tamamlayıcı malzemelerin çimentoya ikame edilerek kullanılmasıyla ilgili araştırmalara yöneltmiştir (Alakara ve ark. 2022a; Şimşek ve ark. 2022; Sevim ve Demir, 2019a; Sevim ve Demir, 2019b; Demir ve ark. 2011; Sevim ve Şengül, 2011; Sevim ve ark. 2021). Ancak yapılan araştırmalar neticesinde, katkılı çimento kullanımının PC'ye olan talebi tamamen ortadan kaldırmadığı fakat PC'nin kullanımını azaltabildiği görülmüştür. Bu durum, araştırmacıları çimentoya alternatif olabilecek farklı bağlayıcıların geliştirilmesine teşvik etmiştir. Bu bağlamda son yıllarda oldukça popüler hale gelen geopolimer bağlayıcılar geliştirilmiştir.

Geopolimer silis ve alümin kökenli yüksek fırın cürufu (YFC), uçucu kül (UK), silis dumanı (SD) ve metakaolin (MK) gibi endüstriyel yan ürünlerin alkali aktivatörlerle reaksiyonu sonucunda oluşan, geleneksel betona alternatif olan çevre dostu, ekonomik ve sürdürülebilir yapı malzemesidir (Shobeiri ve ark. 2021). Geopolimer üretiminde YFC, UK, MK gibi mineral katkıların yanı sıra kimyasal bileşimi bu malzemelere benzeyen belirli reaktiviteye sahip malzemeler de kullanılmaktadır (Bayer ve ark. 2020; Bingöl ve ark. 2020; Bingöl, 2022). Bunlardan bazıları inşaat yıkıntı atıklarından (İYA) elde edilen tuğla, fayans, beton, cam gibi atık malzemelerdir.

İnşaat sektöründeki teknolojik gelişmeler ve bu alandaki faaliyetlerin artması yüksek miktarlarda İYA'nın oluşmasına sebep olmaktadır. İYA, yapıların ve binaların inşası, bakımı, yenilenmesi ve yıkılmasından kaynaklanan tüm malzemeleri içerir. Küresel inşaat sektörü tek başına yılda 10 milyar tondan fazla İYA üretmektedir (Wu ve ark. 2019, a). Bu da toplam kentsel atığın %40'ına tekabül etmektedir (Wu ve ark. 2019, b). Avrupa Birliği ülkelerinde ise yıllık 450 milyon ton civarında atık ortaya çıkmaktadır. Bu miktarın yaklaşık olarak 180 milyon tonunun İYA kaynaklı olduğu bildirilmektedir (Bayer ve ark. 2020). İYA atıklarının önemli bir kısmını tuğla atıkları oluşturmaktadır. Araştırmacılar tuğla atıklarını bertaraf etmek bunları farklı şekillerde değerlendirme yoluna gitmişlerdir. Bunlardan birisi de geopolimer üretiminde kullanmaktır (Robayo ve ark. 2016; Robayo-Salazar ve ark. 2017; Reig ve ark. 2013).

Rovnanik ve ark. (2018) tuğla tozu (TT) ile MK'yi farklı oranlarda (%0, 25, 50, 75 ve 100) karıştırarak geopolimer numuneler hazırlamıştır. En yüksek basınç ve eğilme dayanımları %75 MK ve %25 tuğla tozu içeren karışımlardan, en düşük eğilme ve basınç dayanımları ise %100 tuğla tozu içeren karışımlardan elde edilmiştir. Bayer ve ark. (2020) harman tuğlası, delikli tuğla ve çatı kiremitlerinden oluşan atıklar ile farklı oranlarda (%25 veya %75) ikili geopolimer karışımlar hazırlamışlardır. Çalışma kapsamında optimum aktivatör, kür koşulları ve karışım oranlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Sonuç olarak en yüksek basınç dayanımı 83.1 MPa olarak 15 M ile hazırlanan, 115 °C'de 72 saat kür edilen, %75 delikli tuğla ve %25 harman tuğlası karışımından elde edilmiştir. Mahmoodi ve ark. (2021) fayans ve tuğla atıkları ile farklı oranlarda (%20, 40, 60 ve 80) ikili karışımlar hazırlamışlardır. Ayrıca fayans ve tuğla atıklarını MK, YFC, F sınıfı UK ve C sınıfı UK ile farklı oranlarda (%15, 30 ve 45) karıştırarak üçlü karışımlar hazırlamışlardır. İkili karışımlarda ortam küründe en yüksek basınç dayanımını %20 tuğla ve %80 fayans karışımından elde edilmiştir.

Üçlü karışımlarda ise en yüksek basınç dayanımı %10 tuğla, %45 fayans ve %45 C sınıfı UK karışımından elde edilmiştir. Mahmoodi ve ark. (2022) tuğla, fayans ve beton atıkları ile üçlü karışımlar şeklinde geopolimer üretmişlerdir. Ayrıca bu atık malzemeler ile F sınıfı UK, C sınıfı UK, MK ve YFC'yi farklı oranlarda (%12, 30 ve 45) kullanarak dörtlü karışımlar hazırlamışlardır. Tuğla, fayans ve beton atıkları ile oluşturulan üçlü karışımlarda hem ortam küründe hem de sıcaklık küründe en yüksek basınç dayanımı sırasıyla %20, %40 ve %40 karışım oranlarına sahip numunelerden sağlanmıştır. Dörtlü karışımlarda ise ortam küründe tuğla, fayans, beton ve YFC için sırasıyla %7, %24, %24 ve %45 karışım oranına sahip karışım en yüksek basınç dayanımını vermiştir.

Bu çalışmada, İYA'nın önemli bir kısmını oluşturan atık tuğlalar öğütülerek toz hale getirilmiş ve YFC yerine farklı oranlarda (%0, 10, 20, 30, 40 ve 50) ikame edilerek geopolimer harçlar üretilmiştir. Hazırlanan harçlar 24 saat boyunca 100 °C'de kür edilmiştir. Kür işleminden sonra ultrases geçiş hızı, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı deneylerine tabi tutulmuştur.

2. Materyal ve Yöntem

Harç karışımlarının hazırlanmasında standart kum kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak kullanılan YFC, Bolu Çimento'dan temin edilmiştir. TT ise Tokat'ta bulunan bir inşaat yıkım alanından temin edilmiştir. TT ilk önce laboratuvar tipi kırıcı ile küçük parçalara ayrıştırılmıştır. Daha sonra laboratuvar tipi öğütücü ile toz hale getirilmiştir. Son olarak harç karışımlarında kullanılmak üzere 75 µm'lik elekten elenmiştir. Şekil 1'de TT'nin üretim aşamaları gösterilmiştir. Harçların hazırlanmasında alkali aktivatör olarak %99 saflığına sahip NaOH kullanılmıştır.



Şekil 1. Tuğla tozunun hazırlanması işlemi.

Figure 1. The process of preparation brick powder.

Harçlar TS EN 196-1 standardına göre hazırlanmıştır. 40×40×160 mm ölçülerindeki kalıplara iki aşamada sıkıştırılarak doldurulan harçlar, 24 saat boyunca 100 °C etüv sıcaklığında kür edilmiştir. Tablo 1’de harçların karışım kodları ve oranları verilmiştir. UPV deneyi ASTM C 597-16 standardına, f_e ve f_b deneyleri ise TS EN 196-1 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 2’de deney düzenekleri gösterilmiştir.

Tablo 1. Harçların karışım oranları.

Table 1. Mixing ratios of mortars.

Karışım Kodu	YFC (g)	TT (g)	YFC Oranı (%)	TT Oranı (%)	Su (g)	Kum (g)	NaOH (g)	Molarite (M)
Ref	450	0	100	0				
Y90T10	405	45	90	10				
Y80T20	360	90	80	20	200.7	1350	108	12
Y70T30	315	135	70	30				
Y60T40	270	180	60	40				
Y50T50	225	225	50	50				



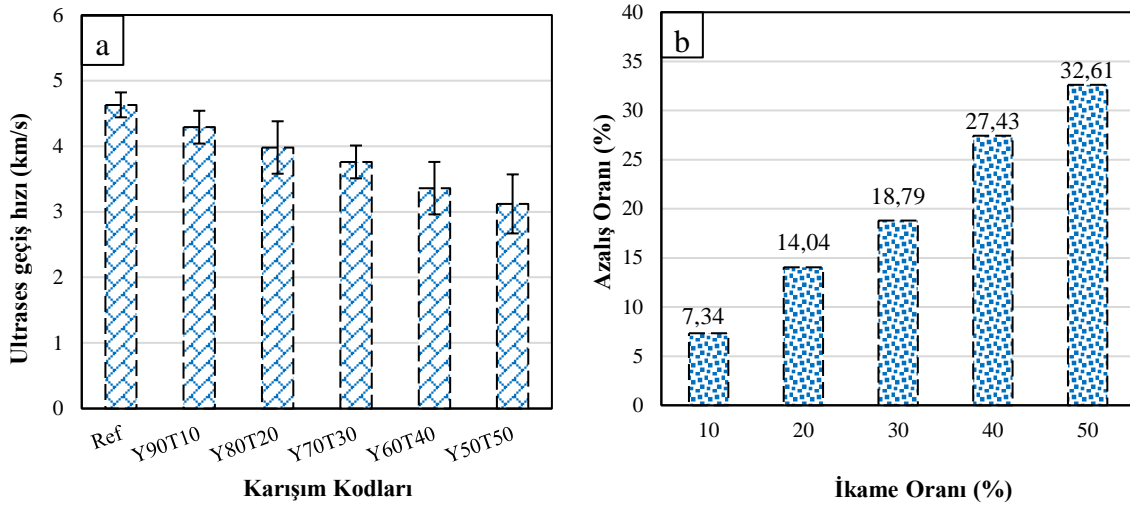
Şekil 2. Ultrases geçiş hızı, eğilme ve basınç dayanımı deney düzenekleri.

Figure 2. Ultrasound pulse velocity, flexural and compressive strength test setups.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Ultrases geçiş hızı (UPV) sonuçları

Şekil 3 (a)’da UPV deney sonuçları verilmiştir. Her bir karışım grubu için 3 adet numuneden alınan ölçümün ortalaması UPV değeri olarak kabul edilmiştir. Şekil 3 (a)’da verilen grafikte numunelere ait standart hata çubukları gösterilmiştir. Şekil 3 (b)’de ise TT ikameli harçların, referans harçlara kıyasla UPV değerlerindeki yüzdesel düşüş oranları verilmiştir.



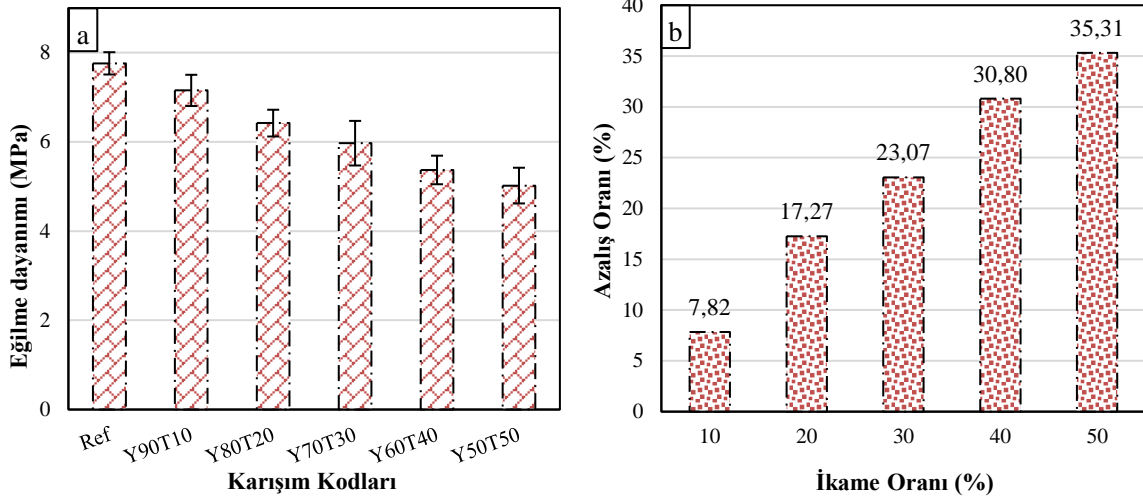
Şekil 3. (a) UPV bulguları, (b) UPV değerlerindeki düşüş oranı.

Figure 3. (a) UPV findings, (b) decrease rate in UPV values.

Şekil 3 (a)'da sunulan UPV sonuçları incelendiğinde 4.63–3.12 km/s arasında değerler elde edildiği görülmüştür. TT ikame oranı arttıkça UPV değerlerinde düşüşler görülmüştür. Ref, Y90T10, Y80T20, Y70T30, Y60T40 ve Y50T50 kodlu harçların UPV değerleri sırasıyla 4.63, 4.29, 3.98, 3.76, 3.36 ve 3.12 km/s olarak ölçülmüştür. Şekil 3 (b)'de ise TT ikameli harçların UPV değerlerinin, Ref kodlu harçlara kıyasla yüzdesel düşüş oranı gösterilmiştir. Buna göre %10, %20, %30, %40 ve %50 TT ikameli harçların UPV değerleri, referans harçlara kıyasla sırasıyla %7.34, %14.04, %18.79, %27.43 ve %32.61 oranlarında düşüş göstermiştir. Whitehurst (1951) sınıflandırmasına göre Ref kodlu harçların “mükemmel”; Y90T10, Y80T20 ve Y70T30 kodlu harçların “iyi”; Y60T40 ve Y50T50 kodlu harçların ise “şüpheli” sınıfında yer aldığı görülmüştür. YFC'nin geopolimer harçlarda gözenekleri ve boşlukları doldurduğu bildirilmiştir (Song ve ark. 2019). Dolayısıyla TT ikame oranı arttıkça YFC'nin geopolimer matris içerisindeki yoğunluğu azalmaktadır. Bu durum ise gözenekliliğin artmasına ve UPV değerlerinin düşmesine sebep olmaktadır (Alakara ve ark. 2022b).

3.2. Eğilme dayanımı (f_e) sonuçları

f_e deney sonuçları Şekil 4 (a)'da sunulmuştur. 3 adet numuneden elde edilen ölçümlerin ortalaması f_e değeri olarak kabul edilmiştir. Şekil 4 (b)'de TT ikameli harçların f_e değerlerindeki yüzdesel düşüş oranı gösterilmiştir.

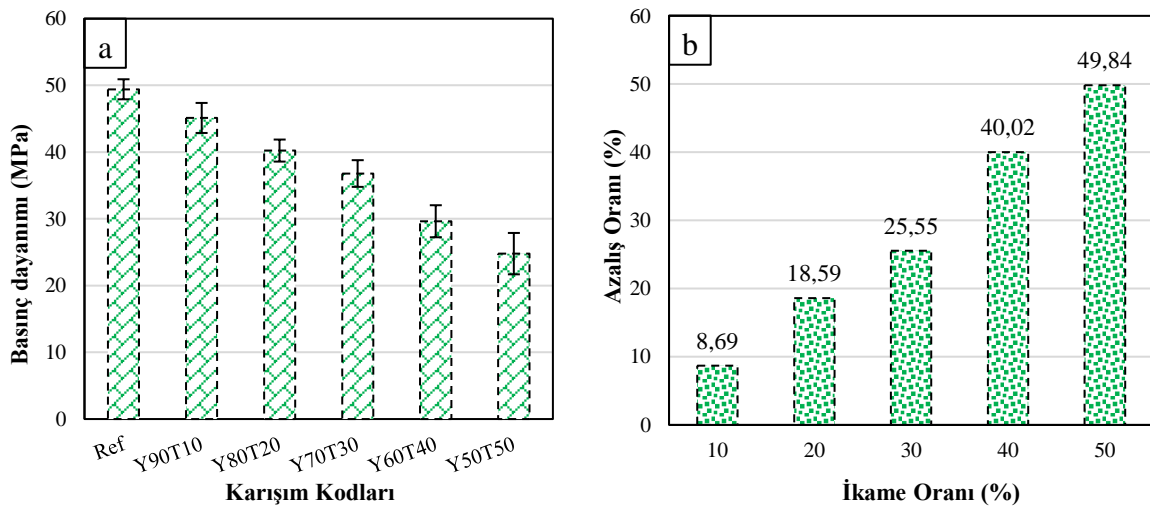


Şekil 4. (a) f_e bulguları, (b) f_e değerlerindeki düşüş oranı.
Figure 4. (a) f_e findings, (b) rate of decrease in f_e values.

f_e sonuçları, UPV sonuçları ile benzerlik göstermiş olup TT ikame oranı arttıkça f_e sonuçları da düşmüştür. Düşüş oranı özellikle %20 ikame oranından sonra önemli ölçüde artmıştır. Şekil 4 (a)'da görüldüğü üzere Ref, Y90T10, Y80T20, Y70T30, Y60T40 ve Y50T50 kodlu harçların f_e değerleri sırasıyla 7.76, 7.15, 6.42, 5.97, 5.37 ve 5.02 MPa olarak ölçülmüştür. Şekil 4 (b)'deki yüzdesel düşüş oranları incelendiğinde; Referans harçlara kıyasla %10, %20, %30, %40 ve %50 TT ikameli harçların f_e değerleri sırasıyla %7.82, %17.27, %23.07, %30.80 ve %35.31 oranlarında düşüş göstermiştir. TT ikame oranının artmasıyla geopolimer matriste yer alan YFC taneciklerinin yoğunluğu azalmaktadır. Bu durum sonucunda ise matris içerisindeki hidrate eleman yoğunluğu azalmaktadır. f_e sonuçlarındaki düşüşün sebebi bu duruma bağlanmıştır (Alakara ve ark. 2022b).

3.3. Basınç dayanımı (f_b) sonuçları

Şekil 5 (a)'da f_b deney sonuçları sunulmuştur. f_b deneyi, f_e deneyi sonucunda elde edilen 6 adet numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 5 (b)'de TT ikameli harçların f_b değerlerindeki yüzdesel düşüş oranları gösterilmiştir.



Şekil 5. (a) f_b bulguları, (b) f_b değerlerindeki düşüş oranı.
Figure 5. (a) f_b findings, (b) rate of decrease in f_b values.

Şekil 5 (a) incelendiğinde f_b sonuçlarının 49.42–24.79 MPa arasında değiştiği görülmüştür. UPV ve f_e değerlerinde olduğu gibi TT ikame oranı arttıkça f_b değerlerinde de düşüşler görülmüştür. Şekil 5 (a)'da görüldüğü üzere Ref, Y90T10, Y80T20, Y70T30, Y60T40 ve Y50T50 kodlu harçların f_b değerleri sırasıyla 49.42, 45.12, 40.23, 36.79, 29.64 ve 24.79 MPa olarak ölçülmüştür. Şekil 5 (b)'deki yüzdesel düşüş oranları incelendiğinde; %10, %20, %30, %40 ve %50 TT ikameli harçların f_b değerleri, referans harçlara kıyasla sırasıyla %8.69, %18.59, %25.55, %40.02 ve %49.84 oranlarında düşüş göstermiştir. f_e sonuçlarında olduğu gibi %20 TT ikame oranından sonra düşüş oranları önemli ölçüde artış göstermiştir. f_b değerleri, UPV ve f_e sonuçları ile benzerlik göstermiştir. Dolayısıyla f_b değerlerindeki azalışın sebebi UPV ve f_e sonuçlarının sunulduğu kısımda bahsedilen durumlara bağlanmıştır. Ayrıca %10 TT ikameli harçların f_b değeri (45.12 MPa), 28 gün küre tabi tutulan CEM I 42.5 tip çimentodan beklenen minimum basınç dayanımından (42.5 MPa) %6.16 daha yüksektir. Ayrıca %50 ikame oranına kadar elde edilen f_b sonuçları da incelendiğinde, elde edilen değerlerin birçok yapı uygulaması için yeterli düzeyde olduğu görülmektedir.

4. Sonuç

Sunulan çalışmada, atık tuğla tozunun (TT) geopolimer harçlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Hazırlanan harç karışımlarında bağlayıcı olarak TT ve yüksek fırın cürufu (YFC) kullanılmıştır. Karışımlarda TT, YFC'nin ağırlıkça %10, 20, 30, 40 ve 50'si oranında ikame edilmiştir. Çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Ultrases geçiş hızı (UPV) değerleri TT ikame oranı arttıkça azalmıştır. Referans harçlara kıyasla UPV değerlerinde %7.34–%32.61 arasında düşüşler tespit edilmiştir.
- TT ikame oranı arttıkça eğilme dayanımı (f_e) değerleri %7.82–%35.31 arasında düşüş görülmüştür. En yüksek dayanım kaybı %35.31 olarak %50 TT ikameli harçlarda tespit edilmiştir.
- UPV ve f_e değerlerinde olduğu gibi basınç dayanımı (f_b) değerlerinde de TT ikame oranının artmasıyla düşüşler görülmüştür. Düşüş oranları %8.69–%49.84 arasında değişmektedir. f_b sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde; elde edilen değerlerin birçok yapı uygulaması için yeterli düzeyde olduğu görülmektedir.
- TT ikame oranı arttıkça UPV değerlerinde düşüşler görülürken f_e ve f_b değerlerinde de benzer düşüşler görülmüştür. UPV değerindeki düşüşler numunedeki boşluğun arttığını göstermekte olup bu durum sonucunda da numunelerin mekanik özelliklerinde düşüşler görülmüştür.
- %10 TT ikameli harçların f_b değeri 45.12 MPa olarak tespit edilmiştir. Bu değer CEM I 42.5 çimento ile üretilen ve 28 gün küre tabi tutulan harçlardan beklenen minimum dayanım (42.5 MPa) değerinden %6.16 oranında daha yüksektir.

Sonuç olarak atık tuğlaların öğütülmesiyle elde edilen TT'nin %10 ikame oranında kullanılması durumunda dayanım değerlerinde çok fazla bir düşüş görülmediği tespit edilmiştir. Ayrıca TT ikame oranının %20'yi aşması durumunda dayanımda önemli ölçüde

düşüşler olabileceği görülmüştür. Ancak TT ikame oranının artmasıyla dayanımlardaki düşüş oranları artsa da elde edilen sonuçlar, %50 ikame oranı ile üretilen harçların bile birçok yapı uygulamasında kullanılabilmesini göstermektedir. TT'lerin bu şekilde geopolimer harçlarda kullanılarak bertaraf edilmesiyle hem depolama maliyetleri azaltılabilir hem de büyük bir çevre kirliliği ortadan kaldırılabilir. İleriki çalışmalarda TT ikameli geopolimer harçlara kür süresi, kür sıcaklığı ve molarite parametrelerinin etkisi incelenebilir.

5. Kaynaklar

- Alakara, E. H., Sevim, O., Demir, I., Şimşek, O., 2022,a. Experimental study on firebrick powder-based cementitious composites under the effect of elevated temperature. *Journal of Building Engineering*, 61, 105277.
- Alakara, E. H., Sevim, Ö., Demir, İ., Günel, G., 2022,b. Effect of waste concrete powder on slag-based sustainable geopolymer composite mortars. *Challenge Journal of Concrete Research Letters*, 13(3), 101-106.
- Bayer, R., Ulugöl, H., Demir, İ., Yıldırım, G., Şahmaran, M., 2020. Tasnif edilmiş inşaat yıkıntı atıklarından elde edilen harman tuğlası, delikli tuğla ve çatı kiremitinden oluşan ikili karışımların geopolimer hamur üretiminde değerlendirilmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(1), 79-90.
- Bingöl, Ş., 2022. Farklı Cüruh Türlerinden Geopolimer Harç Üretimi. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 4(2), 173-178.
- Bingöl, Ş., Bilim, C., Atiş, C. D., Durak, U., 2020. Durability properties of geopolymer mortars containing slag. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 44(1), 561-569.
- Çelikten, S., Sarıdemir, M., Deneme, İ. Ö., 2019. Mechanical and microstructural properties of alkali-activated slag and slag+ fly ash mortars exposed to high temperature. *Construction and Building Materials*, 217, 50-61.
- Demir, I., Yaprak, H., Simsek, O., 2011. Performance of cement mortars replaced by ground waste brick in different aggressive conditions. *Ceramics-Silikaty*, 55(3), 268-275.
- Juenger, M. C. G., Winnefeld, F., Provis, J. L., Ideker, J. H., 2011. Advances in alternative cementitious binders. *Cement and concrete research*, 41(12), 1232-1243.
- Kaya, M., Koksall, F., Gencil, O., Munir, M. J., Kazmi, S. M. S., 2022. Influence of micro Fe₂O₃ and MgO on the physical and mechanical properties of the zeolite and kaolin based geopolymer mortar. *Journal of Building Engineering*, 52, 104443.
- Madloul, N. A., Saidur, R., Hossain, M. S., Rahim, N. A., 2011. A critical review on energy use and savings in the cement industries. *Renewable and sustainable energy reviews*, 15(4), 2042-2060.
- Mahmoodi, O., Siad, H., Lachemi, M., Dadsetan, S., Sahmaran, M., 2021. Development and characterization of binary recycled ceramic tile and brick wastes-based geopolymers at ambient and high temperatures. *Construction and Building Materials*, 301, 124138.
- Reig, L., Tashima, M. M., Borrachero, M. V., Monzó, J., Cheeseman, C. R., Payá, J., 2013. Properties and microstructure of alkali-activated red clay brick waste. *Construction and Building Materials*, 43, 98-106.
- Robayo, R. A., Mulford, A., Munera, J., de Gutiérrez, R. M., 2016. Alternative cements based on alkali-activated red clay brick waste. *Construction and Building Materials*, 128, 163-169.
- Robayo-Salazar, R. A., Mejía-Arcila, J. M., de Gutiérrez, R. M., 2017. Eco-efficient alkali-activated cement based on red clay brick wastes suitable for the manufacturing of building materials. *Journal of cleaner production*, 166, 242-252.
- Rovnaník, P., Rovnanikova, P., Vyšvařil, M., Grzeszczyk, S., Janowska-Renkas, E., 2018. Rheological properties and microstructure of binary waste red brick powder/metakaolin geopolymer. *Construction and Building Materials*, 188, 924-933.
- Sevim, O., Sengul, C. G., 2021. Comparison of the Influence of Silica-rich Supplementary Cementitious Materials on Cement Mortar Composites: Mechanical and Microstructural Assessment. *Silicon*, 13(5), 1675-1690.
- Sevim, O., Baran, M., Demir, Ş., 2021. Mechanical and physical properties of cementitious composites containing fly ash or slag classified with help of particle size distribution. *Revista Romana de Materiale*, 51(1), 67-77.
- Sevim, Ö., Demir, İ., 2019. Optimization of fly ash particle size distribution for cementitious systems with high compactness. *Construction and Building Materials*, 195, 104-114.

- Sevim, Ö., Demir, İ., 2019. Physical and permeability properties of cementitious mortars having fly ash with optimized particle size distribution. *Cement and Concrete Composites*, 96, 266-273.
- Shobeiri, V., Bennett, B., Xie, T., Visintin, P., 2021. A comprehensive assessment of the global warming potential of geopolymers. *Journal of Cleaner Production*, 297, 126669.
- Song, W., Yi, J., Wu, H., He, X., Song, Q., Yin, J., 2019. Effect of carbon fiber on mechanical properties and dimensional stability of concrete incorporated with granulated-blast furnace slag. *Journal of Cleaner Production*, 238, 117819.
- Şimşek, O., Aruntaş, H. Y., Demir, İ., Yaprak, H., Yazıcıoğlu, S., 2022. Investigation of the Effect of Seawater and Sulfate on the Properties of Cementitious Composites Containing Silica Fume. *Silicon*, 14(2), 663-675.
- Whitehurst, E., 1951. Soniscope tests concrete structures, *J Am Concr Inst Feb.*, 47, 433-444.
- Wu, H., Zuo, J., Yuan, H., Zillante, G., Wang, J., 2019b. A review of performance assessment methods for construction and demolition waste management. *Resources, Conservation and Recycling*, 150, 104407.
- Wu, H., Zuo, J., Zillante, G., Wang, J., Yuan, H., 2019a. Construction and demolition waste research: a bibliometric analysis. *Architectural Science Review*, 62(4), 354-365.