

Araştırma Makalesi

Farklı Tipte Uçucu Kül Kullanılarak Üretilen Alkaliyle Aktive Edilmiş Harçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Veysel Akyüncü^{1, a, *}, Yunus Emre Avcı^{1, b}

¹ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 59860

^a vakyuncu@nku.edu.tr, ^b yeavsar@nku.edu.tr

Geliş: 02.06.2022

Kabul: 09.06.2022

DOI: 10.55581/ejeas.1125144

Öz: Çimento üretimi sırasında atmosfere salınan karbondioksit (CO₂), küresel ısınmaya neden olan önemli faktörlerden biridir. Bu nedenle, çimento tüketimini azaltmak amacıyla farklı malzemelerin kullanımı önem kazanmıştır. Bu amaçla alkalilerle aktive edilmiş malzemelerin (AAM) kullanımı oldukça yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada; yüksek fırın cürufu (YFC) ve 2 farklı tipte uçucu kül (UK) ile üretilen alkaliyle aktive edilmiş harçların fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Harçlar; Tunçbilek Termik Santrali'nden temin edilen F sınıfı UK ile Çayırhan Termik Santrali'nden elde edilen C sınıfı UK, CEN referans kumu, YFC, sodyum hidroksit (NaOH), distile su ve kimyasal katkı maddesi kullanılarak üretilmiştir. Su/bağlayıcı ve kum/bağlayıcı oranı sırasıyla 0.5 ve 3 olarak alınmıştır. UK; YFC ile ağırlıkça %0, %10, %20, %30 ve %40 oranlarında yer değiştirilerek kullanılmıştır. Alkaliyle aktive edilmiş harç numunelerinin 1. serisine; 28 gün boyunca 21±1°C'de sızdırmazlık kürü, 2. serisine ise 2 gün boyunca 105±5°C'de ısıl kür ve 26 gün boyunca 21±1°C'de sızdırmazlık kürü uygulanmıştır. Alkaliyle aktive edilmiş harç numunelerinin yayılma değeri, ağırlıkça su emme oranı, boşluk oranı, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı belirlenmiştir. Çalışma sonucunda 1. ve 2. seride YFC100'e en yakın basınç dayanımı UKF10'da elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Alkalilerle aktive edilmiş malzeme, Yüksek fırın cürufu, Uçucu kül, Fiziksel ve mekanik özellikler.

Physical and Mechanical Properties of Alkali Activated Mortars Produced Using Different Types of Fly Ash

Abstract: Carbon dioxide (CO₂) released into the atmosphere during cement production is one of the important factors causing global warming. Therefore, the use of different materials has gained importance to reduce cement consumption. For this purpose, the use of alkali-activated materials (AAM) is becoming widespread. The physical and mechanical properties of alkali-activated mortars produced with blast furnace slag (BFS) and 2 different types of fly ash (FA) were investigated in this study. Mortars were produced by using F class FA from Tunçbilek Thermal Power Plant and C class FA from Çayırhan Thermal Power Plant, CEN reference sand, BFS, sodium hydroxide (NaOH), distilled water, and chemical additives. The water/binder and sand/binder ratios were taken as 0.5 and 3, respectively. FA was used by replacing 0%, 10%, 20%, 30%, and 40% by weight of BFS. For 1st series of alkali-activated mortar samples sealing cure was applied at 21±1°C for 28 days. For 2nd series of alkali-activated mortar samples the thermal cure was applied at 105±5°C for 2 days, and the sealing cure was applied at 21±1°C for 26 days. The workability, water absorption ratio by weight, void ratio, flexural strength, and compressive strength of the alkali-activated mortar samples were determined. As a result of the study, the closest compressive strength to YFC100 was obtained for UKF10 in the 1st and 2nd series.

Keywords: Alkali-activated materials, Blast furnace slag, Fly ash, Physical and mechanical properties

* Sorumlu yazar

E-mail adresi: vakyuncu@nku.edu.tr (V. Akyüncü)

1. Giriş

Beton, günümüzün en önemli yapı malzemesi olup dünya genelinde her yıl 10 milyar tondan fazla üretilmektedir [1]. Beton; basınç dayanımının yüksek olması, yangına ve paslanmaya karşı dayanıklı olması, hammadde temini için az enerji gerektirmesi, rijit yapıya sahip olması, bakımının kolay olması, bileşenlerinin kolay temin edilebilmesi ve ucuz olması gibi birçok avantaja sahiptir [2]. Ancak bunların yanında bünyesinde birtakım dezavantajlar da bulundurmaktadır. En büyük dezavantajı, betonda bağlayıcı olarak kullanılan Portland çimentosunun (PÇ) üretimi aşamasında açığa çıkan karbondioksit (CO₂) miktarıdır. Yaklaşık 1 ton PÇ üretimi, atmosfere yaklaşık 1 ton CO₂ salınmasına neden olmaktadır. Bu da 1 m³ beton üretiminde yaklaşık 400 kg PÇ kullanıldığı için havaya yaklaşık 400 kg CO₂ salındığı anlamına gelmektedir. Çimento endüstrisinin, Dünya çapında açığa çıkan CO₂ miktarının yaklaşık %6-7'sinden sorumlu olduğu tahmin edilmektedir [1, 3].

Günümüzde yoğun enerji tüketimi ve olumsuz çevresel etkilerinden dolayı mümkün olduğunca az çimento tüketimi amacıyla farklı malzeme kullanımı önem kazanmıştır. Bu amaçla alkalilerle aktive edilmiş materyallerin (AAM) kullanımı oldukça yaygınlaşmaktadır. AAM; alüminosilikat içerikli katı materyaller (yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı, metakaolin vb.) ile alkali çözeltilerin (Na₂SiO₃, NaOH vb.) reaksiyona girmesi sonucu meydana gelmekte [4] ve çimentoya alternatif, çevre dostu bir malzeme olma özelliği taşımaktadır [5]. Cüruf, çeşitli metal endüstrilerinde yan ürün olarak elde edilen atık maddelerdir [6]. Yüksek fırın cürufunun (YFC) yüksek miktarda kalsiyum oksit (CaO) içeriğinden ötürü kendi kendine hidrolik bağlayıcılık özelliği oldukça fazladır. Bu özelliği ile PÇ'ye en yakın yapay puzolandır [7]. Uçucu kül (UK); pulvarize kömürle çalışan termik santrallerde yanma neticesinde elde edilen bir yan ürün olan çok ince kalıntılardır [8].

Literatür incelendiğinde, geopolimer harç/beton üretiminde en çok kullanılan malzemelerin YFC ve UK olduğu görülmektedir [9-17]. Yazdı ve ark. [9], oda koşullarında kür edilmiş UK ve YFC bazlı AAM'nin içyapı ve mekanik özelliklerini incelemiştir. UK'nin ileri yaşlardaki puzolanik aktivitesinden ötürü 28 günlük dayanımının daha fazla olduğu, ağırlıkça eşit oranlarda UK ile YFC bazlı karışımların YFC bazlı karışımlardan daha yoğun bir içyapıya sahip olmasından dolayı UK'nin dayanım artışında daha etkin rol oynadığı ve YFC bazlı karışımlarda bazı kristal yapıların görüldüğü tespit edilmiştir. Hu ve ark. [10], alkaliyle aktive edilmiş UK bazlı harçların basınç dayanımı ve gözenek yapısı üzerinde alkali dozajı, UK içeriği ve buhar kürünün etkisini araştırmıştır. Buhar kürünün, basınç dayanımı üzerinde çok az etki gösterdiği görülmüştür. Ayrıca alkali dozajının ve UK içeriğinin artmasıyla basınç dayanımlarının azaldığı tespit edilmiştir. Hadi ve ark. [11], YFC yerine çeşitli yapay puzolan ikame edilmiş geopolimer betonun özelliklerini incelemiştir. UK oranındaki artışın priz başlangıç-bitiş süresi ile yayılma değerini artırırken basınç dayanımını azalttığı ve söz konusu özellikler bazında YFC ile birlikte kullanılabilecek en uygun yapay puzolanın UK olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca UK ikameli YFC'nin ortam kürleme koşulları altında prekast yapıya ek olarak yerinde inşaat için uygun bir geopolimer

beton bağlayıcısı olduğu ve ısıl kür gerekliliğini ortadan kaldırdığı görülmüştür.

Nath ve Sarker [12], UK bazlı geopolimer harcın priz süresi, işlenebilirlik ve erken basınç dayanımı özellikleri üzerinde YFC'nin etkisini incelemiştir. UK oranındaki artışın işlenebilirlik ile priz başlangıç-bitiş süresini artırırken basınç dayanımını azalttığı ve ısıl kür işleminin 28 günlük basınç dayanımını yaklaşık 20 MP'a artırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca iç yapı incelemelerinde UK oranındaki artışın jel kompaktlığını azalttığı görülmüştür. Kürklü [13], ısıl kür süresinin (5, 24, 48, 168 saat) YFC/UK bazlı geopolimer harcın özelliklerine etkisini incelemiştir. Genel olarak ısıl kür süresindeki artış, su emme oranını azaltmıştır. 5 saatlik ısıl kür sonrası su emme oranında kaydadeğer farklılık gözlenmezken, 24 saat ve üzeri ısıl kür sonrasında UK artışı su emme oranını artırmıştır. UK artışı yoğunluğu ve basınç dayanımını azaltmıştır. Ayrıca, 168 saatten fazla ısıl kürün basınç dayanımını düşürdüğü görülmüştür. Mohammed ve ark. [14], YFC ve UK bazlı geopolimerin özellikleri üzerinde UK oranı ve Na₂SiO₃/bağlayıcı oranının etkisini incelemiştir. Basınç dayanımı, tüm UK oranlarında Na₂SiO₃ miktarındaki artış ile belli bir değere kadar arttıktan sonra sabit kalmakta olup tüm Na₂SiO₃ miktarlarında UK oranındaki artış ile azalmaktadır. Su emme oranında ise basınç dayanımındaki değişimin tam tersi gözlenmiştir. Jang ve ark. [15], süper akışkanlaştırıcı alkaliyle aktive edilmiş UK/YFC macunlarının özelliklerini incelemiştir. UK oranındaki artışın basınç dayanımını azalttığı, %0-%30 UK oranının otojen büzülme nedeniyle hızlı priz ve çatlamaya sebep olduğu, polikarboksilat bazlı süperakışkanlaştırıcının priz geciktirici etki gösterdiği ve işlenebilirliği naftalin bazlı süper akışkanlaştırıcıdan daha iyi geliştirdiği tespit edilmiştir. Ayrıca düşük UK içeriğinin daha yoğun hidrasyon ürünleri matrisi oluşumuna yol açtığı gözlemlenmiştir. Shang ve ark. [16], UK oranının UK/YFC bazlı geopolimer harcın özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. UK oranındaki düşüşün priz süresini hızlandırdığı ve erken dayanımı artırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca akışkanlık, priz süresi, mukavemet gelişimi, hacim kararlılığı ve klorür geçirimsizliği açısından optimum UK oranının %80 olduğu görülmüştür. Chi ve Huang [17], alkaliyle aktive edilmiş UK/YFC bazlı harçların bağlanma mekanizması ve özelliklerini incelemiştir. UK/YFC oranının harçların bağlanma mekanizması ile özelliklerini etkileyen önemli bir faktör olduğu ve optimum UK/YFC oranının %50/%50 olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca kuruma büzülmesi dışında AAM harçlarının basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve su emme gibi özelliklerinin referans harca göre geliştiği görülmüştür.

Bu çalışmada enerji tasarrufu ve sıfır karbon salınımı ile beton endüstrisinde çevre dostu sürdürülebilir üretime katkı sağlanması amaçlanmıştır. AAM üretiminde UK kullanımı, endüstriyel atıkların bertarafı açısından oldukça önemlidir. Bu durum inşaat sektöründe sürdürülebilir üretime yönelimi artıracak ve başta hava kirliliği olmak üzere çevresel sorunların en aza indirilmesine katkı sağlayacaktır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada F ve C tipi UK'nin alkaliyle aktive edilmiş harçlar üzerindeki etkileri fiziksel ve mekanik özellikler

bakımından karşılaştırılarak incelenmiştir. UK; YFC ile ağırlıkça %0, %10, %20, %30 ve %40 oranlarında yer değiştirilerek kullanılmıştır.

2.1. Materyal

Çalışmada kullanılan YFC, İSDEMİR çelik fabrikasından temin edilmiştir. Kullanılan YFC'nin özgül ağırlığı 2.91 olarak belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan F sınıfı UK; Tunçbilek Termik Santrali'nden (Kütahya), C sınıfı UK ise Çayırhan Termik Santrali'nden (Ankara) tedarik edilmiştir. UK'nin kimyasal ve fiziksel özellikleri sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1 UK'nin kimyasal özellikleri

Bileşim(%)	Tunçbilek	Çayırhan	TS639	ASTM C 618	
				F	C
SiO ₂	58.59	49.13	-	-	-
Al ₂ O ₃	21.89	15.04	-	-	-
Fe ₂ O ₃	9.31	8.25	-	-	-
S+A+F	89.79	72.42	>70	>70	>50
CaO	4.43	13.2	-	-	-
MgO	1.41	4.76	<5	<5	<5
Na ₂ O	0.24	2.2	-	<1.5	<1.5
K ₂ O	1.81	1.76	-	-	-
SO ₃	0.41	3.84	<5	<5	<5
KK*	1.39	0.72	<10	<12	<6

*KK; Kızdırma kaybı

Tablo 2 UK'nin fiziksel özellikleri

Özellik	F	C
Özgül ağırlık	2.26	2.36
90 mikron elek bakiyesi (%)	5.15	6.7
45 mikron elek bakiyesi (%)	24.2	24.5

Harç üretiminde TS EN 196-1 [18] standardına uygun CEN referans kumu kullanılmıştır. CEN referans kumu; yüksek miktarda SiO₂ barındıran (en az %98 oranında) doğal bir kum olup izometrik ve yuvarlak taneciklere sahiptir [18]. CEN referans kumu elek analizi Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3 CEN referans kumu elek analizi

Kare Göz Açıklığı (mm)	Kümülatif Elekte Kalan (%)
2	0
1.6	7±5
1	33±5
0.5	67±5
0.16	87±5
0.08	99±5
2	0

DeneySEL çalışmada kullanılan 10M sodyum hidroksitin (NaOH) kimyasal kompozisyonu Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4 NaOH'in kimyasal kompozisyonu

Kimyasal Adı	Sodyum Hidroksit (Kostik)
Kimyasal Formülü	NaOH
Molekül Ağırlığı	40 gr/mol
Asidimetrik	≥97
Na ₂ CO ₃	≤1
Cl	<0.01
SO ₄	≤0.01
Ağır Metal	≤0.002
Al	≤0.002
Fe	≤0.002

2.2. Metot

Hazırlanan karışım, 40×40×160 mm boyutlarındaki yüzeyleri yağlanmış kalıplara aktarılmıştır. Taze harç numuneleri, sarsma tablası yardımı ile sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma işleminin ardından kalıplar streç filmle sarılmıştır. Toplam 9 harç serisi üretilmiş olup her harç serisinin 1. serisi; 28 gün boyunca 21±1°C'de sızdırmazlık kürü işlemine (Şekil 1), 2. serisi ise 2 gün boyunca 105±5°C'de ısıl kür ve 26 gün boyunca 21±1°C'de sızdırmazlık kürü işlemine tabi tutulmuştur. 28 günün ardından streç filmden çıkarılan numuneler üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Sızdırmazlık kürü işlemi

Harç serilerinin üretiminde 900 gr bağlayıcı kullanılmış olup kum/bağlayıcı oranı; 3, su/bağlayıcı oranı; 0.5, solüsyon/bağlayıcı oranı; 0.4 ve bağlayıcı ağırlığına akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanım oranı; %2'dir.

Numunelerin kodlanması ve malzemelerin kullanım oranı Tablo 5'de verilmiştir. UKC30; %30 oranında (270 gr) C sınıfı UK, %70 oranında (630 gr) YFC kullanıldığı anlamına gelmektedir.

Tablo 5 Numunelerin kodlanması ve malzemelerin kullanım oranı

Harç Serisi	UK	YFC
	%	%
YFC100	0	100
UKC10	10	90
UKC20	20	80
UKC30	30	70
UKC40	40	60
UKF10	10	90
UKF20	20	80
UKF30	30	70
UKF40	40	60

Harç serilerine ait malzeme miktarları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6 Harç serilerine ait malzeme miktarları

Harç Serisi	UK	YFC	Kum	Su	Sol.*	KK**
	gr	gr	gr	gr	gr	gr
YFC100	0	900				
UKC10	90	810				
UKC20	180	720				
UKC30	270	630				
UKC40	360	540	2700	450	360	18
UKF10	90	810				
UKF20	180	720				
UKF30	270	630				
UKF40	360	540				

*Sol.; Solüsyon, **KK; Kimyasal katkı

Çalışma kapsamında üretilen numuneler üzerinde TS EN 1015-3 standardı uyarınca yayılma tablası deneyi [19], ağırlıkça su emme ve boşluk oranı tayini (Denklem 1 ve Denklem 2), TS EN 196-1 standardı uyarınca eğilme deneyi [18] ve TS EN 196-1 standardı uyarınca basınç deneyi [18] gerçekleştirilmiştir. Denklem 1 ve Denklem 2'de ASEO; ağırlıkça su emme oranı (%), BO; boşluk oranı (%), FKA; fırın kurusu ağırlık (gr), DYKA; doymun yüzey kuru ağırlık (gr), SA; su içindeki ağırlık (gr) ve d; suyun yoğunluğudur (gr/cm³).

$$ASEO = \frac{(DYKA - FKA)}{FKA} \times 100 \quad (1)$$

$$BO = \frac{(DYKA - FKA)}{(DYKA - SA)/d} \times 100 \quad (2)$$

3. Deneysel Sonuçlar

Çalışma kapsamında üretilen taze harçların yayılma değeri 10.1-11.7 cm arasında değişmektedir. Çalışma kapsamında üretilen harç serilerinin 1. ve 2. serilerinden elde edilen fiziksel ve mekanik deney sonuçları sırasıyla Tablo 7 ve Tablo 8'de verilmiştir.

Tüm serilerde ağırlıkça su emme oranı ve boşluk oranı

sonuçları benzerlik göstermiştir. Harç serilerine ait ağırlıkça su emme oranı tayini sonuçları Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 7 1. Serinin fiziksel ve mekanik deney sonuçları

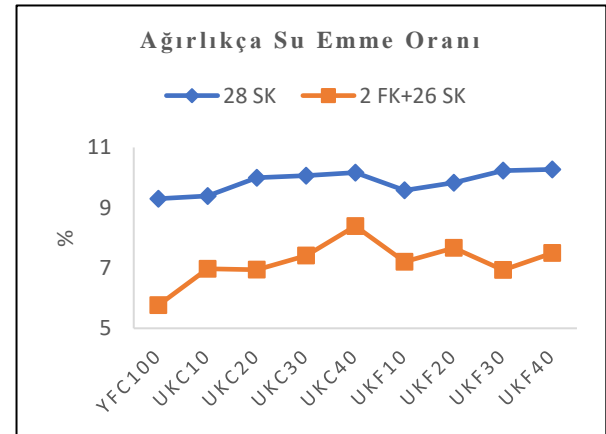
Kür Koşulu	Harç Serisi	ASEO	BO	ED*	BD**
		%	%	MPa	MPa
28 SK	YFC100	9.29	17.79	6.2	22.5
	UKC10	9.39	17.77	5.3	24.5
	UKC20	9.99	18.65	4.9	26.5
	UKC30	10.06	18.77	5.0	21
	UKC40	10.16	19.08	4.6	20
	UKF10	9.57	18.15	6.1	34
	UKF20	9.82	18.01	5.6	26.2
	UKF30	10.23	18.5	4.7	19.8
	UKF40	10.27	18.34	4.0	11.9

*ED; eğilme dayanımı, **BD; basınç dayanımı

Tablo 8 2. Serinin fiziksel ve mekanik deney sonuçları

Kür Koşulu	Harç Serisi	ASEO	BO	ED*	BD**
		%	%	MPa	MPa
2 FK+26SK	YFC100	5.76	11.22	6.4	42.1
	UKC10	6.97	13.29	4.3	27.3
	UKC20	6.94	13.27	4.4	26.9
	UKC30	7.41	14.2	4.8	27.9
	UKC40	8.39	15.53	3.8	22.5
	UKF10	7.2	13.65	3.9	29.3
	UKF20	7.66	14.1	3.8	24.4
	UKF30	6.93	12.61	3.2	18.2
	UKF40	7.49	13.42	3.7	18.7

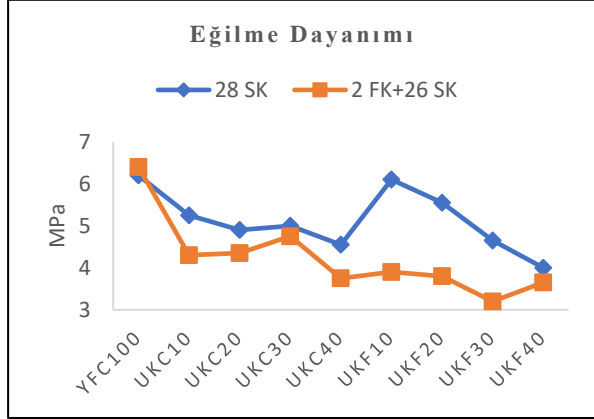
*ED; eğilme dayanımı, **BD; basınç dayanımı

**Şekil 2.** Ağırlıkça su emme oranı tayini sonuçları

Şekil 2 incelendiğinde; 1. seri için C ve F sınıfı UK oranındaki artış ile birlikte su emme oranı artmıştır. 2. seri için C sınıfı UK oranındaki artış, ağırlıkça su emme oranını artırmıştır. En düşük su emme oranı YFC100, en yüksek su emme oranı ise UKC40 harç serisine aittir. Isıl kür uygulanan tüm harç

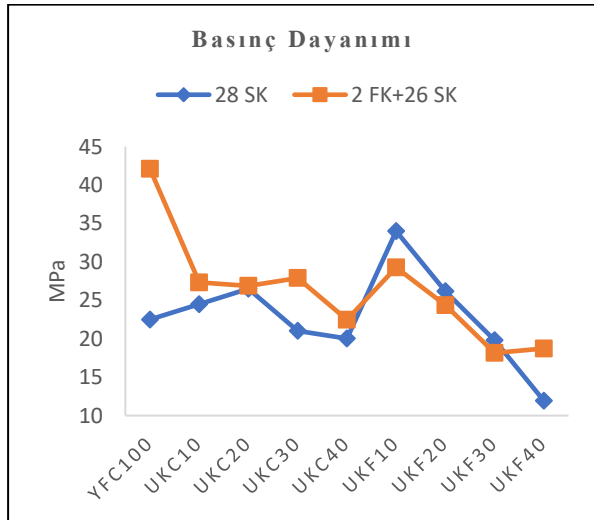
serilerinin ağırlıkça su emme oranı, ısıl kür uygulanmayan serilere göre azalmıştır.

Harç serilerine ait eğilme dayanımı deneyi sonuçları Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Eğilme dayanımı deneyi sonuçları

Şekil 3 incelendiğinde; 1. seri için C ve F sınıfı UK oranındaki artış, eğilme dayanımını azaltmıştır. En yüksek eğilme dayanımı 6.1 MPa olup UKF10 harç serisinden elde edilmiştir. YFC100 ve UKF10 harç serilerinin eğilme dayanımı birbirine yakın değere sahiptir. 2. seri için en yüksek eğilme dayanımı 4.8 MPa olup UKC30 harç serisinden elde edilmiştir. Bu değer, YFC100 harç serisine ait eğilme dayanımından %25 düşüktür. Isıl kür işlemi, YFC100 harç serisi hariç eğilme dayanımında azalmaya sebep olmuştur. En düşük azalma miktarı UKC30 harç serisine aittir. Ayrıca F sınıfındaki düşüşün C sınıfına kıyasla daha fazla olduğu görülmektedir. Harç serilerine ait basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Basınç dayanımı deneyi sonuçları

Şekil 4 incelendiğinde; 1. seri için C sınıfı UK oranındaki artış basınç dayanımını (UKC20)'ye kadar artırmıştır. 1. seride en yüksek basınç dayanımı 34 MPa olup UKF10 harç serisinden elde edilmiştir. Bu değer, YFC100 harç serisinin basınç dayanımından %51 fazladır.

2. seri için UK oranındaki artış, basınç dayanımını azaltmıştır. En yüksek basınç dayanımı 29.3 MPa olup UKF10 harç serisinden elde edilmiştir. Bu değer, YFC100 harç serisinin

basınç dayanımından %30 azdır. Isıl kür işlemi, YFC100 harç serisinde %87 oranında basınç dayanım artışı sağlamıştır.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- 28 gün sızdırmazlık kürü işlemi uygulanan numunelerde C ve F sınıfı UK oranındaki artış ile birlikte su emme oranı artmıştır. Isıl kür uygulanan tüm harç serilerinin ağırlıkça su emme oranı, ısıl kür uygulanmayan serilere göre azalmıştır. 2 gün ısıl kür ve 26 gün sızdırmazlık kürü işlemi uygulanan numunelerde C sınıfı UK oranındaki artış ağırlıkça su emme ve boşluk oranını artırmıştır. En düşük su emme ve boşluk oranı YFC100'e, en yüksek su emme ve boşluk oranı ise UKC40'a aittir.
- 28 gün sızdırmazlık kürü işlemi uygulanan numunelerde C ve F sınıfı UK oranındaki artış, eğilme dayanımını azaltmıştır. En yüksek eğilme dayanımı UKF10'dan elde edilmiş olup (6.1 MPa) YFC100'ün eğilme dayanımına yakın değere sahiptir.
- 2 gün ısıl kür ve 26 gün sızdırmazlık kürü işlemi uygulanan numunelerde C ve F sınıfı UK oranındaki artış eğilme ve basınç dayanımını azaltmıştır. F sınıfının eğilme ve basınç dayanımı, C sınıfına göre daha düşüktür. En yüksek eğilme dayanımı YFC100'den sonra UKC30'a (4.8 MPa), en yüksek basınç dayanımı ise UKF10'a aittir (29.3 MPa).
- 28 gün sızdırmazlık kürü işlemi uygulanan numunelerde basınç dayanımı bakımından YFC100'e göre UKC10 ve UKC20'de sırasıyla %9 ve %18 oranında artış meydana gelirken UKC30 ve UKC40'ta sırasıyla %7 ve %11 oranında azalış meydana gelmiştir. En yüksek basınç dayanımı 34 MPa (UKF10), en düşük basınç dayanımı ise 12 MPa'dır (UKF40).
- YFC100'e ısıl kür uygulanması, basınç dayanımında %87 oranında artış sağlamıştır.
- 2 gün ısıl kür ve 26 gün sızdırmazlık kürü işlemi uygulanan numunelerde en yüksek eğilme ve basınç dayanımı C sınıfından elde edilmiştir. Bu durum; CaO oranının C tipi UK'de daha yüksek olması, ısıl kür işleminin alkalinasyonu hızlandırması ve CaO'nun ısıl kür işleminde daha yüksek aktiviteye sahip olması ile açıklanabilir.

Yazar Katkısı

Veri iyileştirme - Veysel Akyüncü (VA), Yunus Emre Avşar (YEA), Biçimsel analiz - VA, YEA; Araştırma - VA, YEA; Deneysel performans - VA, YEA; Veri toplama - VA, YEA; Veri işleme - VA, YEA; Literatür taraması - VA, YEA; Yazan - VA, YEA; İnceleme ve düzenleme - VA, YEA.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve/veya yayınlanması ile ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemiştir.

Kaynaklar

- [1] Meyer, C. (2009). The greening of the concrete industry. *Cement and Concrete Composites*, 31, 601-605.
- [2] Erdoğan, T. Y. (2015). Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., 6-8.
- [3] Provis, J. L., & Deventer, J. S. J. (2014). Alkali activated materials: state of the art report.
- [4] Rodrigue, A., Duchesne, J., Fournier, B., & Bissonnette, B. (2018). Influence of added water and fly ash content on the characteristics, properties and early-age cracking sensitivity of alkali-activated slag/fly ash concrete cured at ambient temperature. *Construction and Building Materials*, 171, 929-941.
- [5] Alanazi, H., Hu, J., & Kim, Y. R. (2019). Effect of slag, silica fume, and metakaolin on properties and performance of alkali-activated fly ash cured at ambient temperature. *Construction and Building Materials*, 197, 747-756.
- [6] Tokyay M., & Erdoğan, K. (2009). Cürüfler ve Cürüflü Çimentolar. TÇMB.
- [7] Erdoğan, T. Y. (2015). Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., 205-212.
- [8] Baradan, B. (2015). Beton. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, 34-42.
- [9] Yazdi, M. A., Liebscher, M., Hempel, S., Yang, J., & Mechtcherine, V. (2018). Correlation of microstructural and mechanical properties of geopolymers produced from fly ash and slag at room temperature. *Construction and Building Materials*, 191, 330-341.
- [10] Hu, X., Shi, C., Shi, Z., & Zhang, L. (2019). Compressive strength, pore structure and chloride transport properties of alkali-activated slag/fly ash mortars. *Cement and Concrete Composites*, 104.
- [11] Hadi, M. N. S., Farhan, N. A., & Sheikh, M. N. (2017). Design of geopolymer concrete with GGBFS at ambient curing condition using Taguchi method. *Construction and Building Materials*, 140, 424-431.
- [12] Nath, P., & Sarker, P. K. (2014). Effect of GGBFS on setting, workability and early strength properties of fly ash geopolymer concrete cured in ambient condition. *Construction and Building Materials*, 66, 163-171.
- [13] Kürklü, G. (2016). The effect of high temperature on the design of blast furnace slag and coarse fly ash-based geopolymer mortar. *Composites Part B: Engineering*, 92, 9-18.
- [14] Mohammed, B. S., Haruna, S., Mubarak bn Abdul Wahab, M., & Liew, M. S. (2019). Optimization and characterization of cast in-situ alkali-activated pastes by response surface methodology. *Construction and Building Materials*, 225, 776-787.
- [15] Jang, J. G., Lee, N. K., & Lee, H. K. (2014). Fresh and hardened properties of alkali-activated fly ash/slag pastes with superplasticizers. *Construction and Building Materials*, 50, 169-176.
- [16] Shang, J., Dai, J. G., Zhao, T.J., Guo, S. Y., Zhang, P., & Mu, B. (2018). Alternation of traditional cement mortars using fly ash-based geopolymer mortars modified by slag. *Journal of Cleaner Production*, 203, 746-756.
- [17] Chi, M., & Huang, R. (2013). Binding mechanism and properties of alkali-activated fly ash/slag mortars. *Construction and Building Materials*, 40, 291-298.
- [18] TS EN 196-1. (2016). Çimento deney yöntemleri-Bölüm 1: Dayanım tayini.
- [19] TS EN 1015-3. (2000). Kagir harcı-Deney metotları-Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini (yayılma tablası ile).