

# Yüksek Fırın Cürufunun Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi

\*M. Emiroğlu<sup>1</sup>, Y. Koçak<sup>2</sup>, S. Subaşı<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Düzce Üniversitesi, Düzce/Türkiye, mehmetemiroglu@duzce.edu.tr

<sup>2</sup>Düzce Üniversitesi, Düzce/Türkiye, yilmazkocak@duzce.edu.tr

<sup>3</sup>Düzce Üniversitesi, Düzce/Türkiye, serkansubasi@duzce.edu.tr

## Effects of Blast Furnace Slag on Physical and Mechanical Properties of Concrete

**Abstract**—In this study, the effect of the blast furnace slag which is an industrial waste, on physical and mechanical properties of concrete were investigated. For this purpose, concrete mixes were prepared by substituting the Portland cement in the rates of 0, 10, 20 and 30% (by weight) with the blast furnace slag. For each mixture 3 number of 15x15x15 cm cubic specimens were casted. Unit weight, water absorption, capillarity, ultrasonic pulse velocity and compressive strength tests were performed on the specimens after the 90<sup>th</sup> day curing period. Based on the test results, an increase were observed on the water absorption and capillarity values although a decrease were observed on the unit weight, ultrasonic pulse velocity and compressive strength values of the concretes obtained by substituting the blast furnace slag.

**Keywords**—Concrete, Portland cement, blast furnace slag, compressive strength, capillarity.

### I. GİRİŞ

Çimento ve puzolanlar inşaat endüstrisinde yaygın bir biçimde kullanılan temel yapı malzemeleridir. Doğal (tras, zeolit, pomza gibi) ve yapay (uçucu kül, yüksek fırın cürufu, taban külü, silis dumanı gibi) puzolanik malzemeler, çimento ve beton teknolojisinde hem düşük maliyet hem de çevre dengesi için vazgeçilmez bir unsur olarak yerini almaktadır. Dayanım, dayanıklılık, düşük geçirimsizlik gibi betondan beklenen bazı özellikler sadece karışım oranlarından değil aynı zamanda çimento pastasının özelliklerinden de etkilenmektedir. Betondan beklenen bu özellikleri geliştirmek amacıyla uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu (YFC) ve pirinç kabuğu külü gibi bazı puzolanlar çimento teknolojisinde yaygın olarak kullanılmaktadır [1-7]

YFC; silis, kalsiyum alümina silis ve bazik esaslı bileşikler içeren ve fırınlarda demir üretimi sırasında ergimiş halde elde edilen bir atık üründür [8]. YFC'nin kimyasal bileşimi esas olarak  $CaO-SiO_2-Al_2O_3$ 'den oluşmaktadır. Ancak cürufun kimyasal bileşimi kadar kristal yapısı da önemlidir [9]. YFC'nin kalsiyum içeriklerine ilave olarak, tane boyutu ve karakteristikleri ile camsı madde bileşimi ve oranı, aktivitelerinde etkin olan temel faktörlerdir [8]. YFC'nin fırın çıkışında hızla soğutulması ve en az 2/3 oranında camsı faz içermesi gerekir. Ayrıca içindeki  $CaO$ ,  $MgO$  ve  $SiO_2$

miktarları toplamı yine en az 2/3 oranında ve  $(CaO + MgO)/SiO_2$  oranının ise 1'den fazla olması istenmektedir [3].

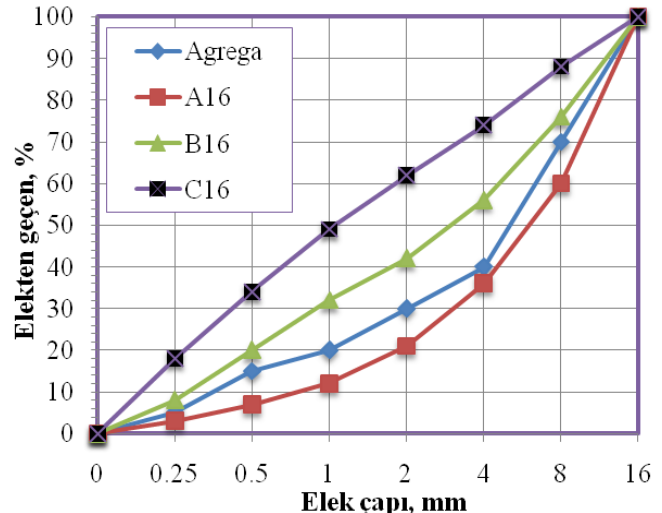
YFC'nin çimento ve beton sektöründe çok çeşitli kullanım olanakları bulunmaktadır. YFC inşaat endüstrisinde genel olarak çimento ile ikame etmek sureti ile değerlendirilmektedir. Literatürde YFC ikameli betonların, kullanılan YFC'nin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak erken yaş dayanımlarının düşük (7 ile 28 gün arası), ileri yaş dayanımlarının yüksek olduğu (28 günden sonra), betonda işlenebilmeyi artırdığı, priz süresini uzattığı, terlemeyi, hidrasyon ısısını ve su geçirimsizliğini azalttığı bildirilmektedir. Ayrıca YFC kullanımı ile betonun, klorür geçirimsizliğinin azaldığı, yüksek alkali silika direnci sağladığı, işlenebilirliğinin yüksek olduğu, düşük hidrasyon ısısına sahip olduğu ve donatı korozyonuna karşı direnci artırdığı bildirilmektedir [10-13].

Bu çalışmada, çimento ile ağırlıkça %0 (referans), %10, %20 ve %30 oranlarında YFC ikame edilerek hazırlanmış beton numunelerin çökme, birim ağırlık, su emme, kapiler su emme, ultrases hızı ölçümü ve basınç dayanımı deneyleri ile YFC ikamesinin beton üzerine etkileri belirlenmeye çalışılmıştır.

### II. MATERYAL VE METOT

#### A. Malzeme ve Numune Hazırlama

Tüm karışımlarda 16 mm maksimum dane çapına sahip Düzce yöresine ait kırma taş agregası kullanılmıştır. Agregaya ait granülometri eğrisi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1: Agregası granülometri eğrisi

Bağlayıcı olarak Nuh Çimento Fabrikasının ürettiği CEM I 42,5 R Portland çimentosu ve puzolan olarak ise Ereğli Demir Çelik Fabrikasından elde edilen YFC kullanılmıştır. Karışımlarda kullanılan çimento ve YFC'ye ait analiz sonuçları Tablo 1 ve 2'de verilmiştir.

Tablo 1: CEM I 42,5 R ve YFC'nin kimyasal analiz sonuçları

Malzeme	CEM I 42,5 R	YFC
Kimyasal kompozisyonlar		
SiO <sub>2</sub> (S)	20,52	42,09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,33	13,61
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,78	0,96
CaO (C)	64,77	34,66
MgO (M)	1,26	5,83
SO <sub>3</sub>	2,30	0,20
Cl <sup>-</sup>	0,0078	0,018
Na <sub>2</sub> O	0,23	0,66
K <sub>2</sub> O	0,54	0,84
Kızdırma kaybı	1,50	0,00
Serbest kireç	1,19	0,00
Çözünmeyen kalıntı (C+M)/S	-	0,96
Ana bileşenler		
C <sub>3</sub> S	61,83	-
C <sub>2</sub> S	12,19	-
C <sub>3</sub> A	5,08	-
C <sub>4</sub> AF	11,50	-

Ağırlıkça %0 (referans), %10, %20 ve %30 oranlarındaki YFC çimento ile yer değiştirilerek karışımlar hazırlanmış ve slump değerleri belirlendikten sonra 15x15x15 cm boyutlarındaki küp kalıplara dökülmüştür. Karışımlarda çimento dozajı 350 kg/m<sup>3</sup>, su/çimento oranı 0,55 olarak belirlenmiştir. Karışım oranları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 2: PÇ ve YFC'nin fiziksel ve mekanik özellikleri

Özellik	CEM I 42,5 R	YFC
Blaine inceliği, cm <sup>2</sup> /g	3444	1160
Özgül ağırlık, g/cm <sup>3</sup>	3,16	2,88
Kıvam (su/çimento, %)	27,1	-
90 µm elek bakiye, %	0,3	23,4
45 µm elek bakiye, %	12,7	60,8
Priz süresi, dakika	Başlangıç	185
	Bitiş	236
Basınç dayanımı (MPa)	2 gün	26,4
	7 gün	44,8
	28 gün	60,5



Şekil 2: Çökme deneyi ölçümleri

Tablo 3: Karışım oranları (1 m<sup>3</sup>)

	Malzeme	Referans (PÇ)	%10 YFC	%20 YFC	%30 YFC
Agrega	8-16 mm	535	535	535	535
	4-8 mm	542	542	542	542
	2-4 mm	178	178	178	178
	1-2 mm	178	178	178	178
	0,5-1 mm	86	86	86	86
	0,25-0,50 mm	175	175	175	175
	0-0,25 mm	93	93	93	93
	<b>Su</b>	195	195	195	195
	<b>PÇ</b>	350	315	280	245
	<b>YFC</b>	0	35	70	105

### B. Çökme Deneyi

Slump olarak da adlandırılan çökme deneyi taze betonun kıvamını belirlemek amacıyla yapılan ve yaygın olarak kullanılan basit bir deneydir. Burada amaç taban çapı 20 cm, üst çapı 10 cm ve yüksekliği 30 cm olan metalden bir huni içerisine 3 tabaka halinde ve sıkıştırılarak doldurulan betonun çökmesini belirleyerek kıvamı hakkında bilgi elde etmektir. Bu çalışmada çökme deneyi TS EN 12350-2'ye uygun olarak yapılmıştır [14].

### C. Birim Ağırlık

Sertleşmiş betonun birim ağırlığı numunelerin hacimleri su ile yer değiştirme metodu uygulanarak TS EN 12390-7'ye uygun olarak aşağıdaki formüldeki gibi hesaplanmıştır.

$$(1)$$

Burada,  $V$ , numunenin hacmi (m<sup>3</sup>),  $M_{hava}$ , numunenin havadaki kütlesi (kg),  $M_{su}$ , numunenin su içerisindeki görünür kütlesi (kg) ve  $\gamma_{su}$ , suyun 20 °C sıcaklıktaki yoğunluğudur [15].

### D. Su Emme

Hazırlanan YFC ikameli betonların su emme miktarlarındaki değişimi belirlemek amacıyla TS 3624 standardına uygun olarak deneyler gerçekleştirilmiştir [16].

### E. Kapiler Su Emme

90 gün kür periyodu sonrası değişmez ağırlığa getirilmiş

numunelerin yan yüzeyleri parafin ile kaplanarak sadece alt yüzeyinden su emmesi sağlanmıştır. Su seviyesi deney süresince beton alt yüzeyinden itibaren 5 mm olarak sabit tutularak numuneler 0, 30, 50, 90, 175, 255, 360, 1440 ve 7440 dakika sürelerinde tartılarak kapiler su emme katsayıları Eşitlik 2'ye göre hesaplanmıştır [17- 19].

$$Q = k \cdot A \cdot \frac{h}{t} \quad (2)$$

Burada, Q, absorbe su miktarı (cm<sup>3</sup>), A, su ile temas yüzeyi (cm<sup>2</sup>), k, kapilerite katsayısı (cm/s<sup>0,5</sup>), ve t, zamandır (sn).

#### F. Ultrases Geçiş Hızı Ölçümü

Ultrasonik cihazın kullanılmasıyla, betonun içerisine gönderilen sesüstü dalgaların betonun bir yüzeyinden diğerine geçme süresi ölçülmekte ve dalga hızı hesaplanmaktadır. Hesaplanan sesüstü dalga hızı ile betonun basınç dayanımı ve diğer özellikleri arasındaki ilişki yaklaşık olarak elde edilmektedir. Katı bir malzemenin içerisinden geçen sesüstü dalgalarının hızı (V), sesüstü dalganın içerisinden geçtiği malzemenin elastisite modülü (E) ve malzemenin yoğunluğu (D) ile ilgilidir. Beton bloğun bir yüzeyinden içeriye gönderilen sesüstü dalganın, bloktaki diğer bir yüzeye ne kadar zamanda geçtiği ölçüldükten sonra, dalga hızı aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır [20].

$$V = \frac{S}{t} \quad (3)$$

Burada, V, sesüstü dalga hızı (m/s), S, sesüstü dalga gönderilen yüzey ile dalganın alındığı yüzeyi arasındaki mesafe (m), t, sesüstü dalganın gönderildiği yüzeyinden, alındığı yüzeye kadar geçen zamandır (μs).

#### G. Basınç Dayanımı

Betonun taşıyıcılığının en belirgin ölçütü basınç dayanımıdır. Genellikle betonun kalitesi, basınç dayanımıyla temsil edilmektedir. Maksimum kırılma yüklerine göre değişik oranlarındaki YFC ikamesi ile hazırlanmış küp numunelerin basınç dayanımları aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır [21].

$$f_c = \frac{P}{A} \quad (4)$$

Burada, σ, basınç dayanımı (N/mm<sup>2</sup>), P, numunenin kırıldığı maksimum yük miktarı (N) ve A, numunenin kesit alanıdır (mm<sup>2</sup>).

### III. BULGULAR VE TARTIŞMA

YFC ikame oranlarına bağlı olarak betonun taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerindeki değişimi ifade etmek amacıyla sırasıyla beton dökümü esnasında çökme ve taze beton birim ağırlık ile 90 günlük kür periyodu sonunda sertleşmiş beton birim ağırlık, su emme oranı, kapiler su emme oranı, ultrases hızı ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylere ait veriler aşağıda

özetlenmiştir.

#### A. Kimyasal ve Fiziksel Analizler

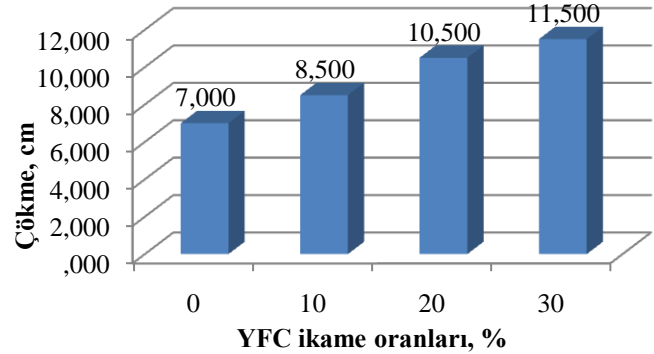
Yapılan kimyasal analizler sonucunda deneylerde kullanılan PÇ; yüksek oranda CaO içerirken, düşük oranda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve SO<sub>3</sub> bileşiklerinden oluşmaktadır. YFC'nin ana bileşeni CaO'dur ve ağırlıkça SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranı (S/A) 3,09'dur. Ayrıca YFC'nin, kimyasal analizi sonucunda (C+M)/S=0,96 olduğundan ((C+M)/S>1) puzolanik olarak istenilen özelliğe yakın olduğu tespit edilmiştir (Tablo 1) [22].

Fiziksel analizler sonucunda YFC'nin granüler camı yapısından (amorf yapısı) dolayı daha yüksek iş endeksine (15,7 kWh/t) sahip olması, bu malzemenin ince taneli olarak öğütülmesine engel olmaktadır [23]. Bu yüzden daha büyük boyutlu tane yapısı Blaine (1850 cm<sup>2</sup>/g) değerini PÇ'nin Blaine (3444 cm<sup>2</sup>/g) değerine göre düşürmektedir (Tablo 2).

Bu nedenle iri taneciklere sahip olan YFC'nin PÇ'ye katkısı ile oluşan YFC ikameli çimentolar, PÇ'ye göre daha iri tanecikli fiziksel yapıya sahip olarak elde edilmiştir. Fiziksel olarak düşük özgül ağırlığa sahip olan YFC (2,84 g/cm<sup>3</sup>), PÇ (3,16 g/cm<sup>3</sup>) ile ikame edildiği zaman elde edilen YFC ikameli çimentoların özgül ağırlığını düşürmektedir (Tablo 2).

#### B. Çökme Deneyi

Üretilen betonlara ait taze beton çökme deney sonuçları Şekil 3'de verilmiştir.



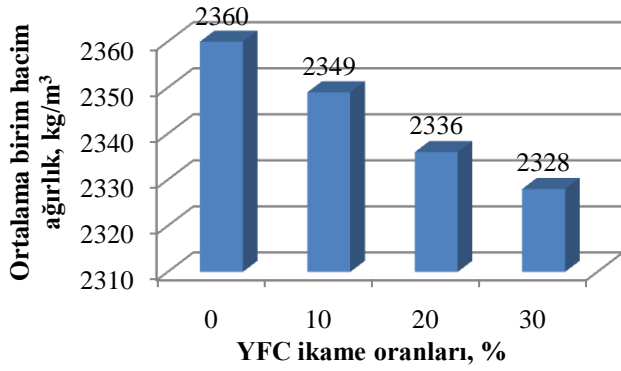
Şekil 3. Taze beton çökme miktarları

Üretilen betonlara ait çökme deney sonuçları incelendiğinde, Referans (PÇ) betona göre, %10, %20 ve %30 YFC ikameli betonların çökme değerleri sırasıyla 1,5, 3,5 ve 4,5 cm artmıştır (Şekil 3).

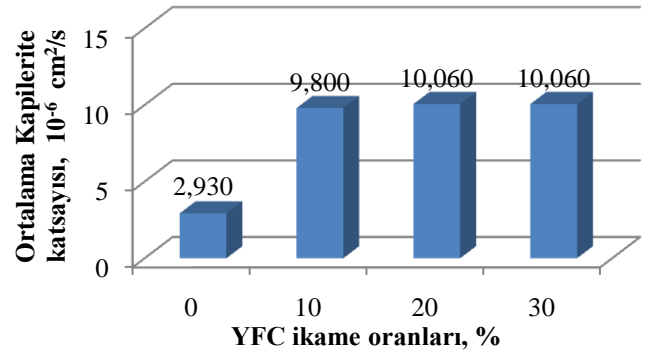
#### C. Sertleşmiş Beton Birim Ağırlığı

Üretilen betonlara ait sertleşmiş beton birim ağırlık deney sonuçları Şekil 4'de verilmiştir.

Referans betonla karşılaştırıldığında %10, %20 ve %30 YFC ikameli betonların birim hacim ağırlıklarında sırasıyla %0,47, %1,02 ve %1,36 oranlarında düşüş gözlenmiş ve en düşük birim hacim ağırlığına sahip betonun %30 ikameli beton olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4).



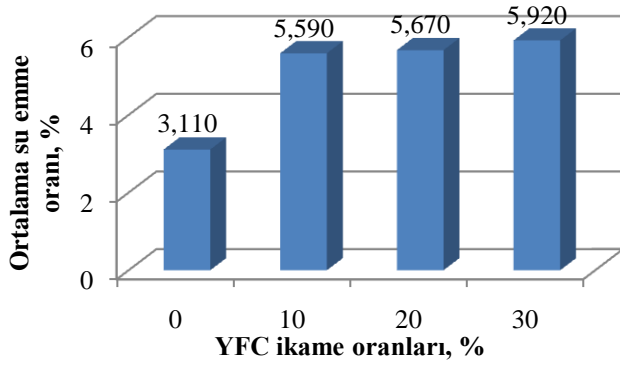
Şekil 4: Sertleşmiş beton birim hacim ağırlık değerleri



Şekil 6: Ortalama kapilerite katsayıları

#### D. Su Emme Oranı

Üretilen betonlara ait su emme deney sonuçları Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5: Sertleşmiş beton ortalama su emme değerleri

Şekil 5 incelendiğinde, beton içerisinde YFC ikamesi ile betonun su emme miktarının da attığı gözlemlenmiştir. Referans (PÇ) betonla karşılaştırıldığında %10, %20 ve %30 YFC ikameli betonların su emme miktarları sırasıyla %79,7, %82,3 ve %90,4 oranlarında arttığı belirlenmiştir.

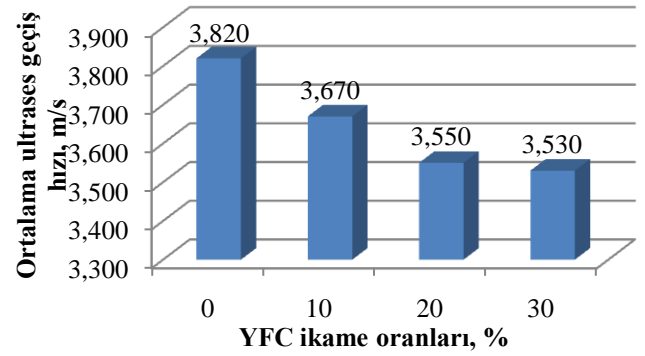
#### E. Kapiler Su Emme

Birim alanda emilen su miktarlarının (Q/A) kareleri ve kapiler su emme süreleri (t) arasında gerçekleştirilen regresyon analizi ile belirlenen regresyon katsayılarının regresyon grafiği çizilmiş ve eğimlerinden kapilerite katsayıları elde edilmiştir. Bu katsayıların ortalamaları alınarak her bir beton numunesinin kapilerite katsayıları belirlenmiş ve üretilen betonlara ait kapiler su emme deney sonuçlarına ait ortalama kapilerite katsayıları Şekil 6’de verilmiştir.

Kapilerite katsayıları referans beton, %10, %20 ve %30 YFC ikameli betonlar için sırasıyla  $2,93 \cdot 10^{-6}$ ,  $9,8 \cdot 10^{-6}$ ,  $10,06 \cdot 10^{-6}$  ve  $10,06 \cdot 10^{-6}$  cm<sup>2</sup>/s olarak hesaplanmıştır (Şekil 6). Bu sonuçlara göre en küçük kapilerite katsayısı referans betonda görülürken en yüksek kapilerite katsayısı ise %20 ve %30 YFC ikameli beton numunelerinde görülmüştür.

#### F. Ultrases Hızı Ölçümü

Üretilen betonlara ait ultrases hızı deney sonuçları Şekil 7’de verilmiştir.

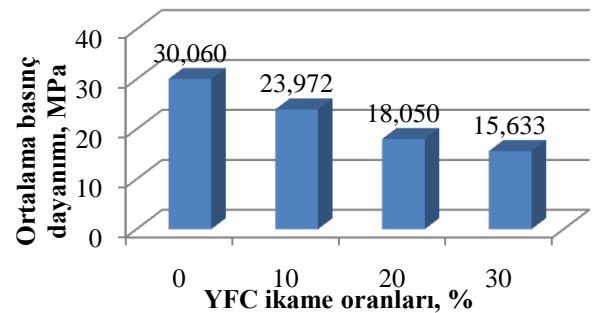


Şekil 7: Ultrases geçiş hızı değerleri

Şekil 7 incelendiğinde, beton içerisinde YFC ikame miktarı arttıkça beton numunelerin ultrases geçiş hızlarında bir azalma meydana geldiği görülmektedir. Referans betona göre %10, %20 ve %30 YFC ikameli betonların ortalama ultrases geçiş hızı sürelerinde sırasıyla %3,9, %7,1 ve %7,6 oranlarında azaldığı görülmüştür. Bu durumun Şekil 4’deki su emme miktarındaki artış da dikkate alınarak, YFC ikamesi ile beton içerisinde boşluk miktarının artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

#### G. Basınç Dayanımı

Üretilen betonlara ait basınç dayanımı deney sonuçları Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8: Basınç dayanımı değerleri

Şekil 8’de görüldüğü gibi, YFC ikame miktarına bağlı olarak beton numunelerin basınç dayanımı değerlerinde sistematik bir azalma meydana gelmektedir. Basınç dayanımındaki bu düşüşün referans betona kıyasla, %10, %20 ve %30 YFC ikameli betonlarda sırasıyla %20, %40 ve %48 oranlarında daha düşük çıktığı gözlenmiştir. Kullanılan YFC’nin elek analizi sonunda elde edilen incelik ve Blaine değeri CEM I 42,5 R çimentosuna göre daha azdır (Tablo 2). Ayrıca yapılan kimyasal analiz sonucunda kullanılan YFC’nin (C+M)/S oranının 1’den küçük olduğu tespit edilmiştir (Tablo 1). YFC ikameli betonların basınç dayanımında meydana gelen düşüşün bu nedenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

#### IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

- PÇ’nin kimyasal analizler sonucunda yüksek oranda CaO’dan, düşük oranda Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve SO<sub>3</sub> bileşiklerinden oluştuğu,

- YFC’nin kimyasal analizler sonucunda ana bileşeninin CaO’ olurken (C+M)/S oranının TS 197-1’de belirtilen sınıra değere yakın olduğu,

- Fiziksel analizler sonucunda YFC’nin granüler camı yapısından dolayı ince taneli olarak öğütülemedi için daha iri tane yapısına sahip olduğu,

- Üretilen taze betonlara ait çökme deney sonuçlarının, beton içerisindeki YFC ikame miktarı ile doğru orantılı olarak arttığı,

- Beton içerisindeki YFC ikame miktarı arttıkça sertleşmiş betonun birim ağırlığın düştüğü,

- Beton içerisinde YFC ikamesi ile doğru orantılı olarak betonun su emme miktarının arttığı,

- Kapilerite katsayısı sonuçlara göre referans betona oranla YFC ikamesi ile kapilerite katsayılarının arttığı, ancak YFC ikameli betonların kapilerite katsayılarının benzerlik gösterdiği,

- Beton numunelerin ultrases geçiş hızlarında referans betona göre YFC ikamesi ile doğru orantılı olarak bir azaldığı,

- YFC ikame miktarına bağlı olarak beton numunelerin basınç dayanımı değerlerinde düştüğü gözlenmiştir.

Sonuç olarak YFC ikamesi ile taze-sertleşmiş beton özelliklerinin değiştiği ve YFC ikamesindeki en uygun sonuçların %10 ikameli betonlarda elde edildiği gözlenmiştir.

#### KAYNAKLAR

- [1] A. M. Neville, Properties of Concrete, Pearson Education Limited, England, 2006.
- [2] K. P. Mehta, P. J. M. Monteiro, Concrete: Microstructure, Properties, and Materials (3rd Edition), McGraw-Hill, 2006.
- [3] S. Mindness, J. F. Young, Concrete, New Jersey: Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, 1981.
- [4] A. Dorum, B. Yılmaz, Y. Koçak, A. Uçar, Puzolan Yüzey Özelliklerinin Çimento Harçlarının Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi, E-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences, 5 (2): 448-462, 2010.

- [5] Y.Kocak, A Study on the Effect of Fly Ash and Silica Fume Substituted Cement Paste and Mortars, Scientific Research and Essays, 5(9): 990-998, 2010.
- [6] S.Subaşı, Y. Koçak, M. Emiroğlu, Uçucu Kül Tür ve Miktarının Çimento Mekanik Özelliklerine Etkisi, Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu (ISBS), 86-90, 2010.
- [7] S. Yıldız, İ. Balaydın, Z. Ç. Ulucan, Piriç Kabuğu Külünün Beton Dayanımına Etkisi, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, 19(1): 85-91, 2007.
- [8] Ş. Erdođdu, Ş. Kurbetçi, Betonun Performansına Sağladıkları Etkinlik Açısından Kimyasal ve Mineral Katkı Maddeleri, Türkiye Mühendislik Haberleri, 426 (4): 115-120, 2003.
- [9] H. Yalçın, M. Gürü, Çimento ve Beton, Palme Yayıncılık, Ankara, 2006.
- [10] D. N. Richardson, Strength and Durability Characteristics of a 70% Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) Concrete Mix., Missouri Department of Transportation Organizational Results, Project No. R199-035, MoDOT, University of Missouri-Rolla, Rolla, Missouri, 134. Available: <http://library.modot.mo.gov/RDT/reports/Ri99035/or06008.pdf>
- [11] S. Yazıcıoğlu, E. Arıcı, T. Gönen, Elazığ Ferrookrom Cürufunun Betonda Karbonatlaşmaya Etkisi, 5. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul İMO, 261-268, 2003.
- [12] C. E. Ekinci, Elazığ Ferrookrom Fabrikası cürufunun Çimentoda Puzolanik Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, Ankara İMO, 243-253, 1993.
- [13] S. Yazıcıoğlu, T. Gönen, Ö.C. Çobanođlu, Elazığ Ferrookrom Cürufunun Beton Basınç Dayanımı ve Çarpma Enerjisi Üzerine Etkisi, Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Der., 17(4): 681-685, 2005.
- [14] Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi, TS EN 12350-2, Ankara, 2003.
- [15] Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri, Bölüm 7: Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini, TS EN 12390-7, Ankara, 2003.
- [16] Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Sertleşmiş Betonda Özgül Ağırlık, Su Emme ve Boşluk Oranı Tayin Metodu, TS 3624, Ankara, 2006.
- [17] T. Gonen, S. Yazicioglu, The Influence of Mineral Admixtures on the Short and Long-Term Performance of Concrete, Build.Env.42: 3080–3085, 2007.
- [18] T. Gonen, S. Yazicioglu, The Influence of Compaction Pores on Sorptivity and Carbonation of Concrete, Const.Build.Mater.21: 1040–1045, 2007.
- [19] B. Demirel, O. Keleştemur, Effect of Elevated Temperature on the Mechanical Properties of Concrete Produced with Finely Ground Pumice and Silica Fume, Fire Safety Journal, 45: 385–391, 2010.
- [20] American Standards of Testing Materials (ASTM), Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete, ASTM C 597-97, Easton, MD, USA, 1998.
- [21] Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini, TS EN 12390-3, Ankara, 2003.
- [22] Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Çimento-Bölüm 1: Genel çimentolar-bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, TS EN 197-1, Ankara, 2002.
- [23] Norman L. Weiss (Editor in Chief), “Mineral Processing Handbook” 1, SME, New York, 1985.