

## Gazbeton Üretiminde Yüksek Fırın Cürufu(YFC) Kullanılabilirliğinin Araştırılması

Osman Ünal<sup>1</sup>, Kadir Güçlüer<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

<sup>2</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., İnşaat Mühendisliği A.B.D., Afyonkarahisar.

e-posta:kadirgucluer@gmail.com

### Özet

Gazbeton ince öğütülmüş silis kökenli agrega ve bağlayıcı olarak çimento ve kireç ile birlikte gözenek oluşturu kimyasal malzemeden oluşan hafif beton grubunda yer alan yapı malzemesidir. Yüksek fırın cürufu ham demir üretim tesislerinden elde edilen puzolanik özelliğe sahip endüstriyel atık malzemedir. Yapı malzemesi tasarımı ve üretiminde enerji ve hammadde korunumu günümüzde önem teşkil eden konulardır. Bu amaçla bu çalışmada gazbeton üretiminde agrega olarak kullanılan silis kumu yerine yüksek fırın cürufu kullanılarak 7x7x7 cm boyutunda küp gazbeton örnekleri üretilmiştir. Örnekler 165°C sıcaklıkta otoklav içerisinde basınçlı buhar kürüne tabi tutularak sertleştirilmiştir. Fiziksel ve mekanik özellikleri belirlemek amacıyla deney örnekleri üzerinde birim hacim ağırlık, ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Örneklerin birim hacim ağırlıklarının 0.8 gr/cm<sup>3</sup> aralığında ve basınç dayanımlarının 8 MPa seviyelerine ulaştığı gözlenmiş olup ticari gazbeton ile benzer fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir.

### Anahtar kelimeler

Gazbeton; Yüksek Fırın Cürufu; Fiziksel ve Mekanik Özellikler

## An Investigation of Usability of Blast Furnace Slag in Autoclaved Aerated Concrete Production

### Abstract

Aerated concrete is finely ground silica origin aggregate and cement and lime as binder with pore-forming chemicals group consisting of lightweight concrete building materials located. Blast furnaces laghaving a pozzolanic properties derived from iron production facility is an industrial waste material. Building material design and manufacture of today energy and raw materials conservation are importance issues. For this purpose in this study used blast furnace slag in the production of autoclaved aerated concrete rather than silica sand and 7x7x7 cm cube size aerated concrete samples were produced. Examples 165 °C in subjecting pressure steam curing in an autoclave cured. Bulk density and compressive strength test are performed on the test samples to determine the physical and mechanical properties. Bulk density values of samples 0.8 gr/cm<sup>3</sup> and compressive strength values of 8 MPa was observed to have reached the level was found to have similar physical and mechanical properties with commercial aerated concrete.

### Keywords

Autoclaved Aerated Concrete; Blast Furnace Slag; Physical and Mechanical Properties

### 1. Giriş

Yapı malzemesi üretiminde doğal hammaddelerin korunumu, ekonomiklik ve katma değer üretmek amacıyla puzolanik malzemelerin kullanımı önem teşkil etmektedir.

Gazbeton bağlayıcı olarak çimento ile birlikte yüksek içerikli silis kumu malzemesinin agrega olarak kullanıldığı hafif beton grubunda yer alan yapı malzemesidir. Gözenekli bu yapı malzemesinin yoğunluğu 300 ile 1000 kg/m<sup>3</sup> arasında olup basınç dayanımı 2.5 ile 10 MPa arasındadır. Yüksek makro

© Afyon Kocatepe Üniversitesi  
gözenek içeriğinden dolayı malzemenin ısı iletkenliği 0.15-0.20 W/mK arasındadır (Kosmatka et al. 2003).

Puzolanlar kendi başlarına bağlayıcılık değeri olmayan fakat ince taneli durumda olduklarında ve sulu ortamda kalsiyum hidroksit ile birleştiklerinde hidrolik bağlayıcılık özelliğine sahip olan silisli ve alüminli malzemelerdir (Erdoğan, 2003).

Ham demir üretiminde atık malzeme olarak elde edilen YFC yüksek fırınlarda, daha hafif olmasından dolayı, ham demirin üstünde yer alır. Demir filizi

gangi, kok ve kireçtaşının yanma sonrası artıkları YFC'yi meydana getirirler. YFC'nin oluşum sıcaklığı 1400-1600 °C'dir (Tokay ve Erdoğan, 2009).

YFC'nin bağlayıcı özeliği 1774 yılından beri bilinmektedir. Paris metrosu inşaatı sırasında, 1889 yılında, YFC kullanılmıştır. YFC'nin çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanılması ilk kez 1892'de Almanya'da, 1896 yılında ABD'de başlamıştır. Betona katkı maddesi olarak katılması ise 1950'li yıllardan sonra olmuştur (Canbaz, 2007).

Yapısında CaO, SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranları oldukça yüksektir. Çimento inceliğinde öğütüldüğü taktirde bağlayıcı özellik kazanmaktadır. Çimentonun su ile reaksiyonu sonucunda kalsiyum silika hidrat jelleri (CSH) ile kalsiyum hidroksit (CH) oluşmaktadır. CSH oldukça kuvvetli bağlayıcılık özelliğine sahipken CH zayıf yapıda ve suda çözünebilmektedir. YFC, çimento içindeki alkalilerin oluşturduğu alkali hidroksitlerle, CH ile ve yapısındaki CaO ile reaksiyona girerek sağlam yapıları oluşturmaktadır. YFC'nin kimyasal yapısı, inceliği, amorf olan miktarı, ortamdaki alkali oranı bağlayıcılığını etkileyen en önemli faktörlerdir. YFC ne kadar ince öğütülürse o kadar yüksek yüzey alanına sahip olacağından daha kolay reaksiyona girerek bağlayıcılığını arttırmaktadır. YFC üretimi sırasında hızlı soğutulması gerekir. Hızlı soğutulmadığı durumda kristal yapı oluşmakta ve bağlayıcılık özeliği kaybolmaktadır. YFC'nin % 90-95'i CaO, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> bileşiklerinden oluşmaktadır. YFC, yüksek CaO içeriği nedeni ile kendi başına da bir miktar bağlayıcılık özeliği göstermektedir (Boğa, 2010).

Bu çalışmada öğütülmüş yüksek fırın cürufunun gazbeton üretiminde ana hammadde olarak kullanılabilirliği araştırılacaktır.

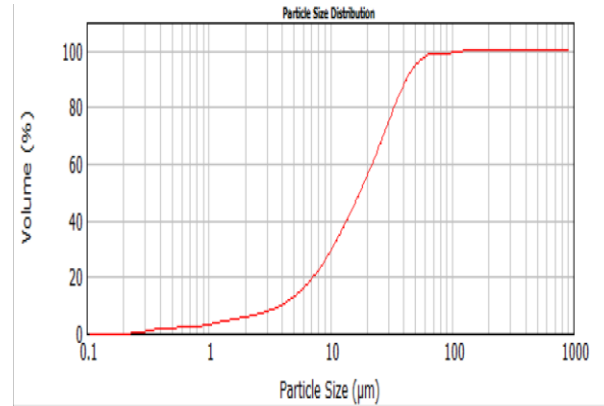
## 2. Materyal ve Metot

Çalışmada Adana OYAK çimento tesisinden temin edilen YFC, bağlayıcı olarak ise CEM I 42.5 R tipinde çimento kullanılmıştır. Çimento ve YFC'ye ait kimyasal özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. YFC ve çimentoaya ait kimyasal özellikler

Bileşen (%)	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
Çimento	19,2	62,8	3,8	4,2	3,4
YFC	40,1	39,6	7,8	0,9	4,2

YFC'nin özgül ağırlığı 2,80 gr/cm<sup>3</sup> olup özgül yüzey alanı 1,02 m<sup>2</sup>/gr'dır. Yapılan lazer tane boyut analizine göre malzemenin dane çapı dağılımı d<sub>10</sub>=3,985 µm, d<sub>50</sub>=17,635 µm ve d<sub>90</sub>=42,623 µm olarak belirlenmiş olup dağılım grafiği Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. YFC'ye ait lazer yane boyut dağılımı

Karışımlar (Tablo 2) üretilirken öncelikle kullanılan agrega, çimento ve alçı homojen biçimde kuru karışıma tabi tutulmuşlardır. Karışım homojen hale geldikten sonra su eklenerek mikser yardımıyla malzemeler tekrar karıştırılmıştır. Karışımın kıvamı hazır duruma geldikten sonra, kireç ve alüminyum tozu karışıma ilave edilerek 1-2 dakika arası mikser yardımıyla karıştırılmıştır. Daha sonra karışım, önceden hazır hale getirilmiş olan 7cm kenarlı küp kalıplar içerisine kalıp yüksekliğinin 2/3'ünü dolduracak seviyede yerleştirilmiştir. Kalıplara yerleştirilen numuneler, 75°C'ye ayarlanmış etüv içerisinde kabarmalarının (Şekil 2) ve sertleşmelerinin devam etmesi için 9 saat bekletildikten sonra kalıplardan çıkarılarak 172 °C sıcaklıktaki otoklav içerisinde 8 bar buhar basıncı altında 8 saat süreyle kür işlemine tabi tutularak fiziksel ve mekanik deneyler için hazır hale getirilmişlerdir.



Şekil 2. Numunelerin etüv içerisinde kabarması

Tablo 2. Karışım oranları

Malzemeler (gr)	Seri Adı		
	C1	C2	C3
YFC	1500	1500	1500
Çimento	800	700	600
Kireç	300	300	300
Alçı	300	300	300
Al. Tozu	1	1	1
Su	1500	1500	1500

### 3. Bulgular

#### 3.1. Birim Hacim Ağırlık Bulguları

Numunelerin birim hacim ağırlıkları (B.H.A) aşağıdaki formül (1) yardımı ile hesaplanmıştır.

$$\Delta = \frac{W}{V} \text{ (gr/cm}^3\text{)} \quad (1)$$

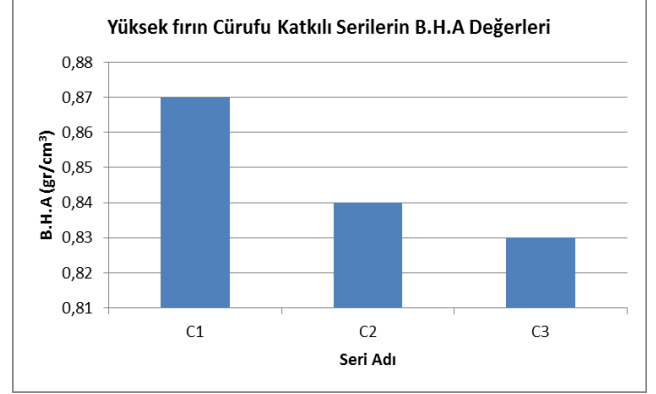
$\Delta$ : Birim Hacim Ağırlık (gr/cm<sup>3</sup>)

$W$ : Etüv Kuru ağırlığı (gr)

$V$ : Numunenin Hacmi (cm<sup>3</sup>)

YFC katkıli serilere ait birim hacim ağırlık değerleri Şekil 3'de verilmiştir. Serilerin birim hacim ağırlık değerleri 0.87 ile 0.83 gr/cm<sup>3</sup> aralığında olup karışımdaki çimento miktarının azalmasıyla birlikte

B.H.A. değerlerinde düşüş gözlenmiştir



Şekil 3. Serilere ait B.H.A değerleri

#### 3.2. Basınç Dayanımı Bulguları

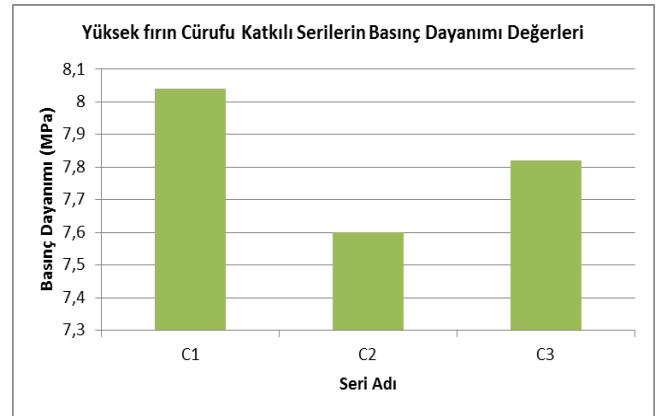
Numunelerin basınç dayanımları aşağıda belirtilen formül (2) yardımıyla belirlenmiştir.

$$f_b = \frac{P_k}{A_0} \quad (2)$$

$f_b$  = Basınç dayanımı (MPa)  $A_0$  = Yüzey alanı (mm<sup>2</sup>)

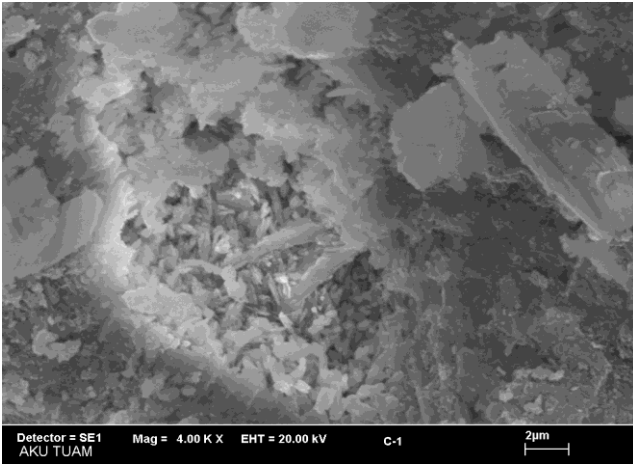
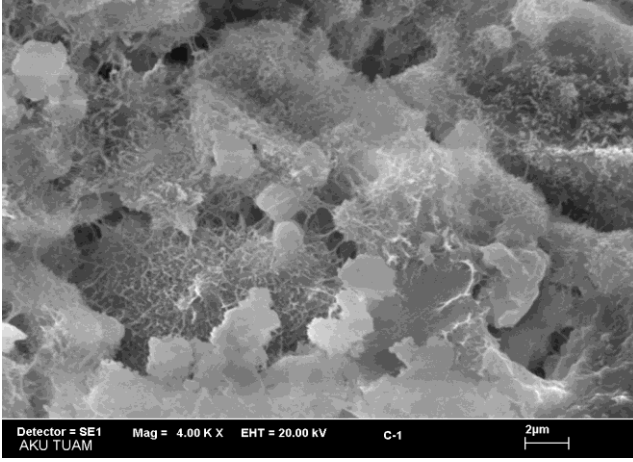
$P_k$  = Kırılma anındaki yük (N)

YFC katkıli serilerin basınç dayanım değerleri 8,04 ile 7,60 MPa aralığında değişmektedir (Şekil 4). Çimento miktarının azalmasıyla birlikte serilerin dayanım değerlerinde de düşüş gözlenmiştir. Ancak C3 serisinin dayanımı C2 serisinden daha fazla çıkmıştır. Karışımların belirli bir Ca/Si mol oranına göre hazırlandığı düşünüldüğünde C3 serisindeki çimento ve puzolan malzeme arasındaki reaksiyonun otoklav şartlarında ve yüksek sıcaklıkta daha fazla dayanım arttırıcı jel üretmiş olabileceği söylenebilir.



Şekil 4. Serilere ait basınç dayanımı değerleri

Deney örneklerinin mikro yapıları Afyon Kocatepe Üniversitesi TUAM laboratuvarında SEM tekniği ile incelenmiştir. Mikro yapılarda CSH jellerinin oluşumu gözlenmiş olup çimento reaksiyonu ortaya çıkan serbest kireç (portlandite) fazına da rastlanmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Örneklere ait SEM görüntüleri

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Serilerin fiziksel ve mekanik bulguları incelendiğinde, TS 453'e göre G6 sınıfına ait ticari gazbetonların B.H.A ve dayanım değerlerine benzer değerlere ulaşılmıştır.

Atık malzemelerin geri dönüşümü ve maliyetlerin düşürülerek katma değer üretilmesi anlamında puzolanik malzemelerin üretime doğrudan girdi olarak girebileceği sanayiciler tarafından düşünülebilir.

Yapı malzemeleri alanında, atık ve katma değeri olan malzemeler ile ilgili yapılacak çalışmalar ulusal

ve uluslararası düzeyde bilim dünyamız açısından faydalı olacaktır.

#### Teşekkür

Yazarlar çalışmaya destek olan OYAK Çimento Adana Üretim tesisi ve çalışmayı 15.FEN BİL.21 numaralı projeye destekleyen Afyon Kocatepe Üniversitesi BAPK birimine teşekkür eder.

#### Kaynaklar

Kosmatka H., S.,Kerkhoff B., Panarese W., C. 2003. Design and Control of Concrete Mixture.14th edition, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, USA.

Erdoğan, T., E., 2003. "Beton". METU Press, Ankara.

Toktay, M., Erdoğan, K., 2009. Cürüfler ve cürüflü çimentolar. TÇMB, Ar-Ge Raporu, 8. Baskı, Ankara.

Canbaz, M.,2007. Alkalilerle aktive edilmiş yüksek fırın cürüflü harçların özellikleri. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Eskişehir.

Boğa, A., R., 2010. Yüksek fırın cürufu ve korozyon inhibitörü kullanımının beton içerisindeki donatı korozyonuna ve beton özelliklerine etkileri. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Eskişehir.

TS 453, 1988. Gaz ve Köpük Beton Yapı Malzeme ve Elemanları, , Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.