YAPI MEKANİĞİ SEMİNERİ-2008 – 28 Kasım 2008-Eskişehir
Orta Doğu Teknik Üniversitesi-Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

ALKALİ AKTİVE EDİLMİŞ YÜKSEK FIRIN CÜRUFLU HARÇLARDA ALKALİ SİLİKA REAKSİYONU

Prof. Dr. İlker Bekir Topçu, Dr. Mehmet Canbaz
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

ÖZET

Demir-çelik üretimi sırasında demir çelik fabrikalarının atığı olarak açığa çıkan yüksek fırın cürufu (YFC) diğer mineral katkılardan farklı olarak alkalilerle kuvvetli reaksiyonlar yapabilmektedir. Bu çalışmada YFC, çimento yerine % 0, 25, 50, 75 ve 100 oranlarında kullanılmıştır. YFC'yi aktive etmek için sodyum hidroksit, sodyum karbonat, sodyum silikat kullanılmıştır. Üretilen 7x7x7 ve 25x25x285 mm boyutlarındaki numuneler hazırlanan 80 ^{o}C 1 M NaOH çözeltisi içinde bekletilmiştir. Kontrol numunelerine göre alkali silika reaksiyonu (ASR) etkisinde kalan numunelerin dayanım, elastisite modülü, birim ağırlık, ultrases geçiş hızı değerleri ile harç çubuklarındaki boy değişimleri belirlenmiştir. Alkali aktive edilmiş YFC'li harçların ASR için potansiyel tehlike sınırını aştığı, tehlike sınırını aşmadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: YFC, Harç, Alkali aktivatör, Alkali Silika Reaksiyonu

1. GİRİŞ

Dünya Demir Çelik Enstitüsünün yayımladığı rapora göre Türkiye 2007 yılı sonunda 25.8 milyon tonluk demir çelik üretimi ile dünya çelik üretiminde 11. sıradaki yerini korumuştur. 1344.2 milyon ton olarak hesaplanan dünya demir çelik üretiminin % 1.92'si Türkiye'de gerçekleşmektedir. Demir-çelik üretimi sırasında oldukça önemli miktarlarda atık olarak yüksek fırın cürufu (YFC) oluşmaktadır. Amorf yapıya sahip olan YFC yüksek miktarlarda SiO_2 ve Al_2O_3 içermesi nedeni ile puzolanik özelik göstermektedir. Oldukça yüksek sıcaklıktaki YFC su içerisine dökülme veya basınçlı su püskürtülmesi gibi çeşitli yöntemlerle çok hızlı soğutulursa amorf yapıda granüle halde ince bir malzeme haline gelmektedir. Bu hali ile betonda ince malzeme olarak kullanılabileceği gibi öğütülmesi durumunda çimento üretiminde ve beton katkı maddesi olarak kullanılabilmektedir [1-3]. YFC kullanımı betonun dayanıklılığını olumlu yönde etkilemektedir. Özellikle ince öğütüldükten sonra betonda kullanılması durumunda betonun porozitesi azalmakta, rötreyi azalttığı için oluşabilecek mikro çatlaklar azalmakta, bu da betonu geçirimsiz yapmaktadır. Betonda geçirimliliğin azalması beton dayanıklılığının arttırılmasında en önemli faktörlerden biridir. Alkali oksit içeren çimento ile aktif silis içeren agregaların yaptığı alkali silika reaksiyonu (ASR) ile oluşan jel betonda genleşme gösterir ve betonun çatlamasına yol açar. YFC ile ASR'den dolayı oluşan bu genleşme miktarı azalmaktadır [4,5]. YFC sodyum

hidroksit (NaOH), sodyum karbonat (Na_2CO_3), cam suyu (Na_2SiO_3) gibi alkalilerle aktive edilebilmektedir [6,7]. Beton dayanımı ve işlenebilirliği kullanılan alkali kombinasyonuna bağlı olarak değişim göstermektedir [8]. Alkalilerle aktive edilmiş YFC'li betonların alkali agrega reaksiyonuna karşı direncini belirlemek amacı ile yapılan deneylerde alkali aktive edilmiş yüksek fırın cüruflu betonlar alkali agrega reaksiyonundan daha fazla etkilendiği görülmüştür [9]. Yapılan çalışmalarda YFC'nin alkalilerle aktive edilmesi ile çimento yerine çok yüksek oranlarda kullanılabileceği görülmüştür. Bu çalışma ile Türkiye'de YFC kullanımı yaygınlaştırılması, böylece endüstriyel bir atık değerlendirildiği için hem Türkiye ekonomisine kazanç sağlanması hem de çevre kirliliğinin önlenmesi amaçlanmıştır [10].

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Malzemeler

Agrega: Set Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. Trakya Çimento Fabrikası tarafından hazırlanan TS EN 196-1'e uygun olan Rilem Cembureau Standart kumu kullanılmıştır.

Çimento: ÇİMSA Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. Eskişehir Çimento Fabrikası'nın üretimi olan CEM I 42.5 R çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentoya ait özelikler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan YFC ve çimento'nun kimyasal ve fiziksel özelikleri

	YFC	**CEM I 42.5 R**
SiO_2	34.09	19.23
Al_2O_3	12.19	5.44
Fe_2O_3	0.61	3.48
CaO	30.82	63.62
MGO	6.14	0.88
P_2O_5	0.03	0.09
K_2O	0.45	0.55
Na_2O	0.56	0.68
SO_3	1.57	2.17
Cl	0.001	0.011
Kızdırma Kaybı	0.10	3.20
İncelik cm^2/g	2230	2860
Özgül Ağırlık	2.84	3.11

YFC: Erdemir demir-çelik fabrikasından sağlanmıştır. YFC inceliği 60 μ küçük kalacak şekilde öğütülmüştür. Öğütme sırasında % 2 oranında alçı taşı katılmıştır. Bu YFC'ye ait özelikler Tablo 1'de verilmiştir.

Alkaliler: YFC'yi aktive etmek için sodyum hidroksit (NaOH), sodyum karbonat (Na_2CO_3), cam suyu (Na_2SiO_3) kullanılmıştır.

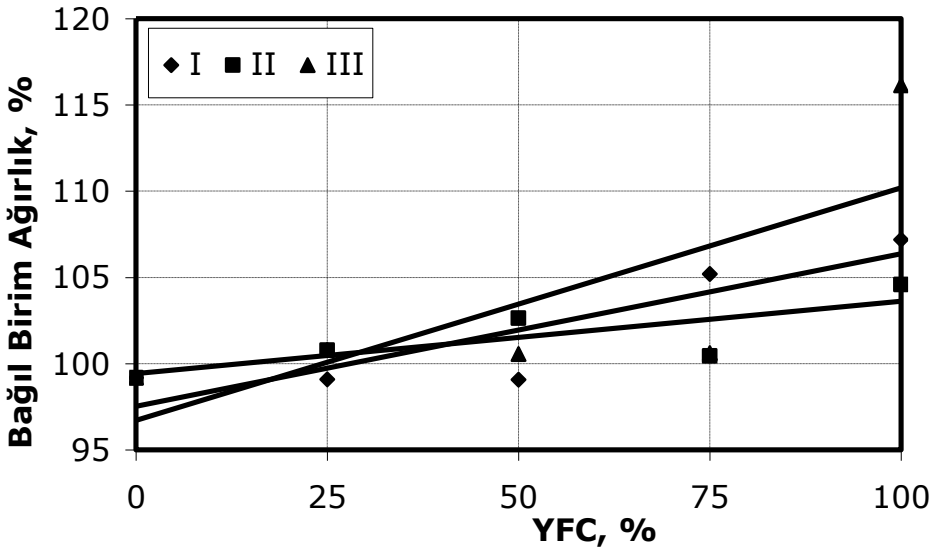
Su: Eskişehir şebeke suyu kullanılmıştır. Suyun sülfat içeriği 45 mg/lt, kalsiyum içeriği 57 mg/lt, magnezyum içeriği 83 mg/lt, klorür içeriği 49 mg/lt, buharlaşma bakiyesi 438 mg/lt ve pH 6.75'tür.

Yapılan Deneyler

ASR etkilerini belirlemek için üretilen harç numunelerinde YFC, çimento yerine % 0, 25, 50, 75 ve 100 oranlarında kullanılmıştır. YFC'yi aktive etmek için NaOH, $NaCO_3$ ve Na_2SiO_3 kullanılmıştır. Belirlenen karışım oranlarına göre harçlar hazırlanarak, 7x7x7 ve 25x25x285 mm boyutlarındaki kalıplara dökülmüştür. 25x25x285 mm boyutlarındaki harç numunelerinde boy değişimleri incelenmiştir. ASTM C 1260'a göre numunelerdeki su-çimento oranı 0.47, agrega-bağlayıcı oranı 2.25 olacak şekilde hazırlanmıştır. Numuneler dökümden 24 saat sonra kalıptan çıkarılıp ve ilk boy ölçümleri yapılarak 80 ^oC sıcaklıktaki saf suya yerleştirilmiştir. Saf suda 24 saat bekletildikten sonra numunelerin sıfır okumaları yapılmıştır ve daha sonra numuneler hazırlanan 80 ^oC 1 M NaOH çözeltisi içinde 14 gün bekletilmiştir. Harç çubukların genleşmeleri 14 gün boyunca aralıkla okunmuştur. Kodlamalar I, $NaOH+Na_2CO_3$; II, $NaOH+Na_2SiO_3$; III, Na_2SiO_3 aktivasyon için kullanılan alkali türlerini belirtmiştir.

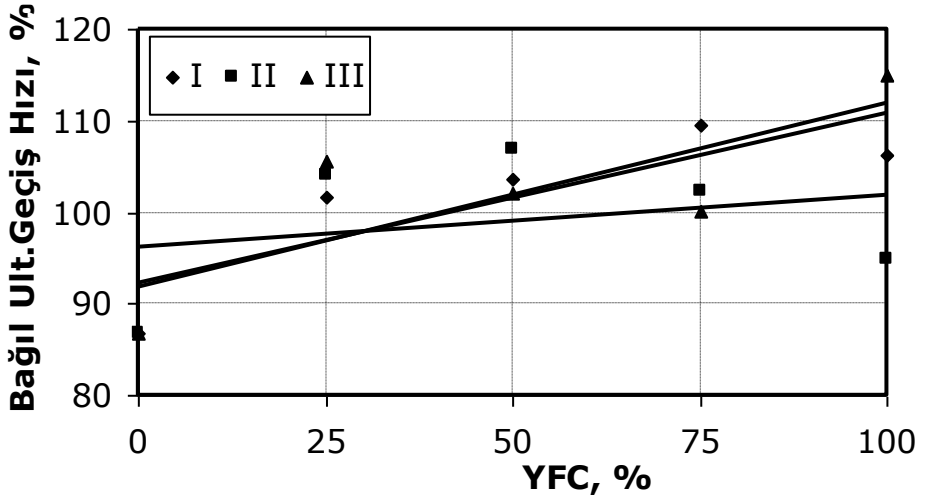
3. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE İRDELENMESİ

Kontrol numunelerine göre ASR etkisinde kalan numunelerin dayanım, elastisite modülü, birim ağırlık ve ultrases geçiş hızı değerleri bağıl olarak hesaplanmıştır. ASR etkisinde kalan harç çubuklarındaki boy değişimleri aralıklarla ölçülmüş ve zamana bağlı olarak grafik halinde gösterilmiştir.



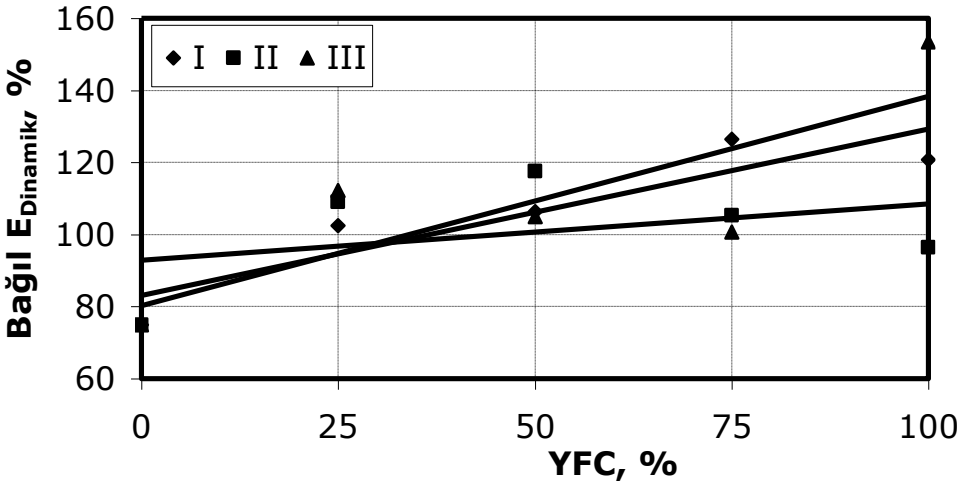
Şekil 1. Birim ağırlık deney sonuçları.

ASR etkisinde kalan harçların sertleşmiş birim ağırlıkları Şekil 1'de gösterilmiştir. Bağıl birim ağırlıklar % 120-95 arasında değişmektedir. Alkali aktive edilmiş YFC oranı arttıkça bağıl birim ağırlıklar genel olarak artmıştır. En büyük artma % 13.5 ile Na_2SiO_3 kullanılan harçlarda görülmüştür.



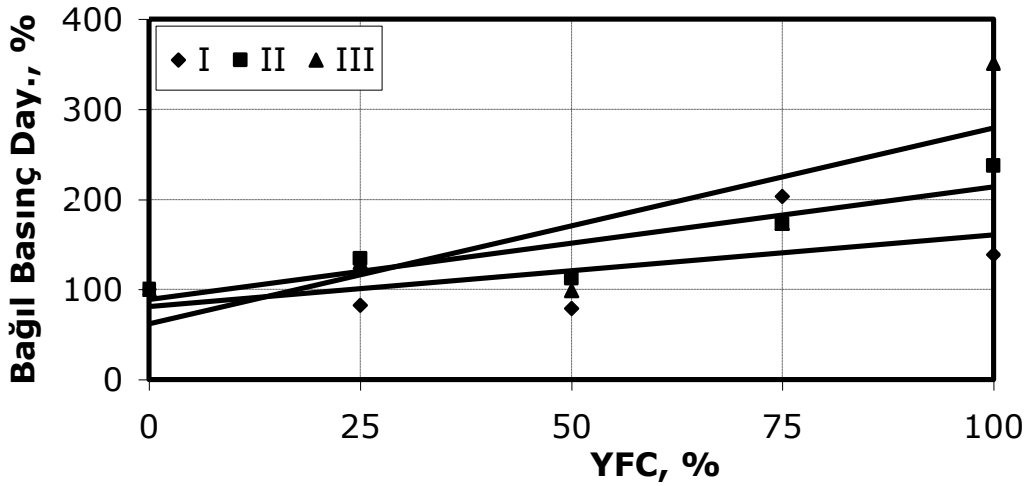
Şekil 2. Ultrases geçiş hızı deney sonuçları.

ASR etkisinde kalan harçların ultrases geçiş hızları Şekil 2'de gösterilmiştir. Bağıl ultrases geçiş hızları % 120-85 arasında değişmektedir. Alkali aktive edilmiş YFC oranı arttıkça harçların bağıl ultrases geçiş hızları genel olarak artmıştır. En büyük artma oranı % 20.2 ile aktivatör olarak Na_2SiO_3 alkali kombinasyonu kullanılan harçlarda görülmüştür.



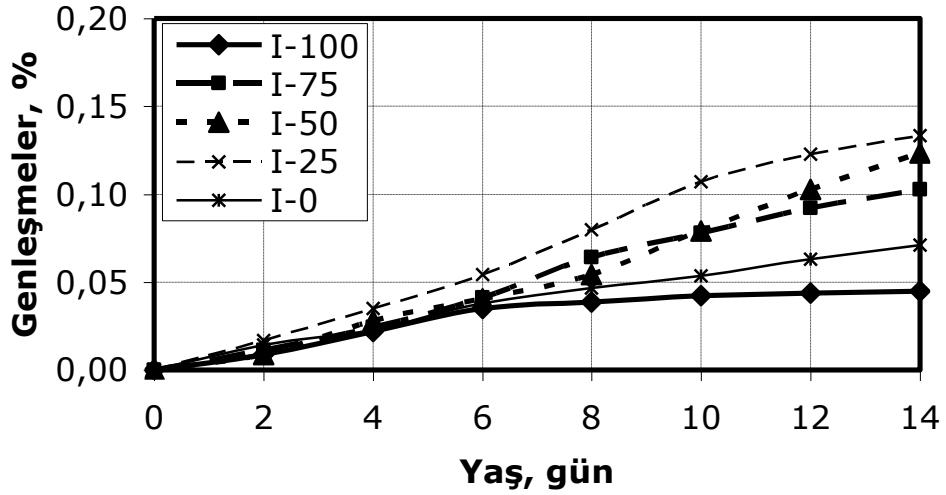
Şekil 3. Dinamik elastisite modülleri.

ASR etkisinde kalan harçların dinamik elastisite modülleri Şekil 3'te gösterilmiştir. Bağıl dinamik elastisite modülleri % 160-70 arasında değişmektedir. Alkali aktive edilmiş YFC oranı arttıkça harçların bağıl dinamik elastisite modülleri genel olarak artmıştır. En büyük artma oranı % 58.2 ile aktivatör olarak Na_2SiO_3 alkali kombinasyonlu harçlarda görülmüştür.



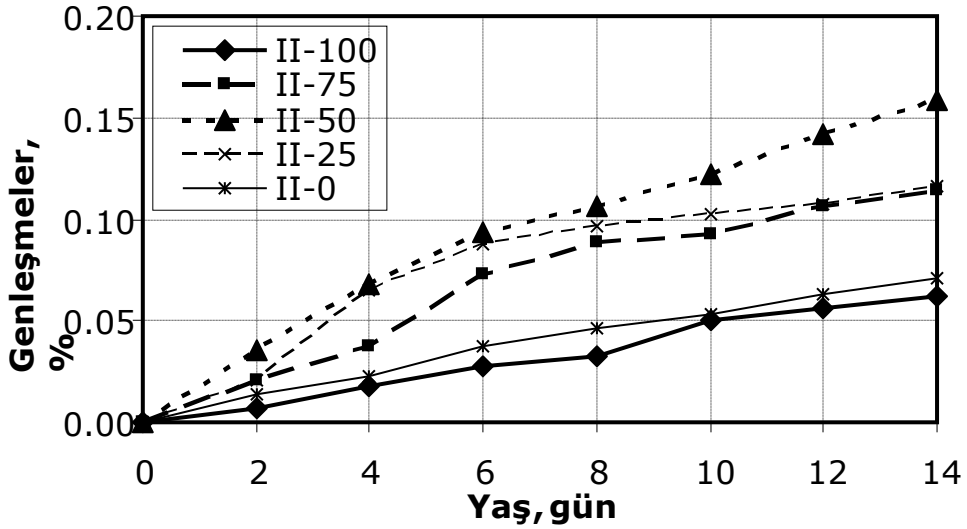
Şekil 4. Basınç dayanımı deney sonuçları.

ASR etkisinde kalan harçların basınç dayanımları Şekil 4'te gösterilmiştir. Bağıl basınç dayanımları % 350-50 arasında değişmektedir. Alkali aktive edilmiş YFC oranı arttıkça harçların bağıl basınç dayanımları genel olarak artmıştır. En büyük artma oranı % 217.6 ile aktivatör olarak Na_2SiO_3 alkali kombinasyonu kullanılan harçlarda görülmüştür.



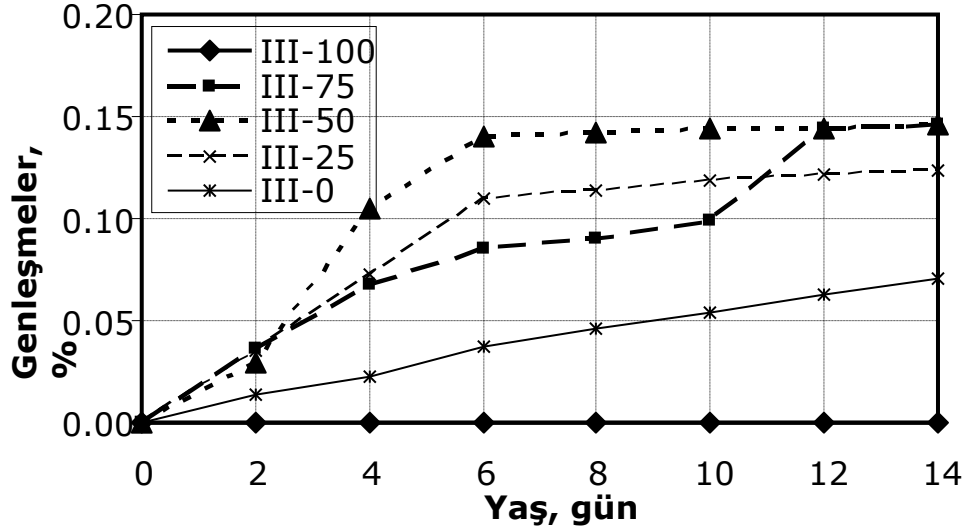
Şekil 5. $NaOH+Na_2CO_3$ ile aktive edilen harç çubuklarının boy değişimleri.

ASR etkisinde kalan, $NaOH+Na_2CO_3$ ile aktive edilen harç çubuklarının boy değişimleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Boy değişimleri potansiyel tehlike sınırı olan % 0.10'u % 25 alkali aktive edilmiş YFC'li numunelerde 9. günde, % 50 alkali aktive edilmiş YFC'li numunelerde 12. günde, % 75 alkali aktive edilmiş YFC'li numunelerde 13. günde aşmıştır. En az genleşme % 100 oranında alkali aktive edilmiş YFC kullanılan numunelerde görülmüştür. Buradan yüksek oranda alkali aktive edilmiş YFC'li harçların ASR'den etkilenmediği görülmüştür.



Şekil 6. $NaOH+Na_2SiO_3$ ile aktive edilen harç çubuklarının boy değişimleri.

ASR etkisinde kalan, $NaOH+Na_2SiO_3$ ile aktive edilen harç çubuklarının boy değişimleri Şekil 6'da gösterilmiştir. Boy değişimleri potansiyel tehlike sınırı olan % 0.10'u % 50 alkali aktive edilmiş YFC'li numunelerde 7. günde, % 25 alkali aktive edilmiş YFC'li numunelerde 9. günde, % 75 alkali aktive edilmiş YFC'li numunelerde 11. günde aşmıştır. En az genleşme % 100 oranında alkali aktive edilmiş YFC kullanılan numunelerde görülmüştür.



Şekil 7. Na_2SiO_3 ile aktive edilen harç çubuklarının boy değişimleri.

ASR etkisinde kalan, Na_2SiO_3 ile aktive edilen harç çubuklarının boy değişimleri Şekil 7'de gösterilmiştir. Boy değişimleri potansiyel tehlike sınırı olan % 0.10'u % 50 alkali aktive edilmiş YFC'li numunelerde 4. günde, % 25 alkali aktive edilmiş YFC'li numunelerde 5. günde, % 75 alkali aktive edilmiş YFC'li numunelerde 10. günde aşmıştır. % 100 oranında alkali aktive edilmiş YFC'li numuneler dağılmıştır.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

ASR deneyleri deney numunelerinde hızlı reaksiyon oluşması istendiğinden yüksek sıcaklıkta bekletme şeklinde yapılmaktadır. Yüksek sıcaklık ASR reaksiyonu dışında YFC'nin alkalilerle ve çimento reaksiyonu sonucunda oluşan kalsiyum hidroksitlerle reaksiyonlarını da hızlandırdığı için daha dolu bir mikroyapı elde edilmekte ve dayanım kazanma hızı artmaktadır. Dolayısı ile birim ağırlıklarda, ultrases geçiş hızlarında, dinamik elastisite modüllerinde ve basınç dayanımlarında daha yüksek değerler elde edilmektedir. ASR etkisinde kalan, alkali aktive edilmiş YFC'li harçların boy değişimleri potansiyel tehlike sınırı olan % 0.10'u aşarken, tehlike sınırı olan % 0.20'yi aşmamıştır. En az genleşme % 100 oranında sodyum hidroksit ve sodyum karbonat ile aktive edilmiş YFC kullanılan numunelerde görülmüştür. Bu sonuçlara göre aktivatör olarak kullanılan alkali türünün deney sonuçlarını önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. YFC'nin aktive edilmesinde sodyum hidroksit-sodyum karbonat kullanılması önerilebilir.

KAYNAKLAR

1. Erdoğan T.Y., Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, 741s., Ankara, Mayıs 2003.
2. Tokyay M., Erdoğdu K., Cüruflar ve Cüruflu Çimentolar, Araştırmaların Gözden Geçirilmesi Raporu, TÇMB Yayını, 48 s., Ankara, Ekim 2003.
3. Topçu İ.B., Beton, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Eskişehir Şubesi, Yayın No 2, 260 s., Eskişehir, 2006.
4. Arslan M., Beton (Dökümü, Kalıpları, Kusurları, Dayanıklılığı), Atlas Yayın Dağıtım Ltd. Şti., 237 s., İstanbul, Ağustos 2001.
5. Baradan B., Yazıcı H., Ün H., Betonarme Yapılarda Kalıcılık, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, 282 s., İzmir, Nisan 2002.
6. Zhou H., Wu X., Xu Z., Tang M., "Kinetic Study on Hydration of Alkali-Activated Slag", Cem. and Conc. Res., Vol. 23, pp. 1253-1258, 1993.
7. Jimenez A.F., Puertas F., Alkali-Activated Slag Cements: Kinetic Studies, Cem. and Conc. Res., Vol. 27, pp. 359-368, 1997.
8. Wang S.D., Scrivener K.L., Pratt P.L., "Factors Affecting the Strength of Alkali-Activated Slag", Cem. and Conc. Res., Vol. 24, pp. 1033-1043, 1994.
9. Gifford, P.M., Gillot J.E., "Alkali-silica reaction (ASR) and alkali-carbonate reaction (ACR) in alkali-activated blast furnace slag cement (ABFSC) concrete", Cem. and Con. Res., Vol. 26, pp. 21-26, 1996.
10. Canbaz M., "Alkali Aktive Edilmiş Yüksek Fırın Cüruflu Harçların Özelikleri", Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 244s., 2007.