

ARAŞTIRMA MAKALESİ /RESEARCH ARTICLE

**ALKALİLERLE AKTİVE EDİLMİŞ YÜKSEK FIRIN CÜRUFU HARÇLARIN
YÜKSEK SICAKLIKLARA MARUZ KALDIKTAN SONRAKİ MİKROYAPILARI**

İlker Bekir TOPÇU¹, Mehmet CANBAZ¹

ÖZ

Ham demir üretimi sırasında demir-çelik fabrikalarının atığı olarak açığa çıkan yüksek fırın cürufu (YFC) beton üretiminde ince agrega yerine veya öğütülmesi durumunda çimento yerine kullanılmaktadır. Yüksek sıcaklık etkisini belirlemek için TS 1363'den faydalanılmış ve YFC, çimento yerine % 0, % 25, % 50, % 75 ve % 100 oranlarında kullanılmıştır. YFC'yi aktive etmek için NaOH, NaCO₃, Na₂SiO₃ kullanılmıştır. Üretilen 7x7x7 cm boyutlarında harç numuneleri 56 günlük dayanımlarına ulaştıklarında kür havuzlarından çıkarılıp kurutulmuştur. Fırında 100, 400 ve 700 °C'de üçer saat bekletilen numuneler 1 gün soğumaya bırakılarak kontrol harçlarına göre dayanım kayıpları incelenmiştir. Mikroyapı incelemeleri için, yüksek sıcaklık etkisi altında kalmış numuneler kesilerek yaklaşık 1 cm boyutlarında küp numuneler elde edilmiştir. Taramalı elektron mikroskopunda (SEM) yüzeylerin fotoğrafları çekilmiş ve içerdiği elementler belirlenmiştir.* Yüksek sıcaklık etkisinde, özellikle sodyum silikat ile aktive edilmiş YFC'li harçların bağlayıcı fazında boşluklar daha da artmış ve çatlak oluşumları başlamıştır. CSH jellerinin bozularak iğne şeklinde kalsiyum oksitli yapılar dönüşüğü görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Yüksek sıcaklık, Aktive edilmiş cürufu çimento, Alkali, Mikroyapı.

**MICROSTRUCTURE OF ALKALI ACTIVATED SLAG MORTARS EXPOSED TO
HIGH TEMPERATURES**

ABSTRACT

Blast-furnace slag (BFS), which is an iron-steel factories waste occurred during the production of unrefined iron, is used as a fine aggregate or in case of being granulated, as a replacement of cement in concrete mixtures. TS 1363 was used to determine the effect of high temperature and BFS replaced cement by the amount of 0, 25, 50, 75 and 100 %. For activating BFS, NaOH, NaCO₃ and Na₂SiO₃ were used. Produced mortar cement specimens of 7x7x7 cm, were taken out of the curing pool and dried after reaching 56 days strength. Specimens were kept for 3 hours in the oven at 100, 400, 700 °C and cooled for 1 day and the strength losses were examined compared to those of control specimens. To examine the microstructure, specimens being exposed to high temperature effect were cut into the size of 1 cm cubes. SEM photos were taken from the specimen surfaces and including elements were determined. Under high temperature effect, pores increased and crack formation begins on binding phases of BFS mortars activated particularly sodium silicate. CSH gels deformed and turned into CH which formed like needle.

Keywords: High temperature, Activated slag cements, Alkali, Microstructure.

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.
mcanbaz@ogu.edu.tr

*Anadolu Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, SEM-EDX, XRD Laboratuvarları

1. GİRİŞ

Bağlayıcı, agrega ve su, yüksek sıcaklık uygulamalarında tamamıyla farklı davranış gösterir. Yüksek sıcaklık değişimleri, bileşenlerin birbirinden farklı hacim değişmelerine, çatlak oluşumuna ve dayanıklılığının azalmasına sebep olur (Piasta, 1984). Sıcaklık artışının başlangıcında (120 °C civarında) basma dayanımında hızlı düşüş olmakta, sıcaklığın biraz daha artması halinde orijinal dayanımın tekrar kazanılmakta ve 300 °C ye kadar dayanım değişmemektedir (Dias vd., 1990). Çimento hamurunda sıcaklık 300 °C'ye ulaştığında CSH ara yüzeylerindeki su ve CSH ile sülfalüminattan gelen kimyasal bağ suyunun bir bölümü kaybedilir (Mehta ve Monteiro, 1992). Mikro çatlaklar önce 300 °C'de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ nin toplandığı bölgelerde ve daha sonra hidrate olmamış tanelerin bulunduğu bölgede görülür. Sıcaklığın 400 °C ile 600 °C arasında olması halinde, sertleşmiş bağlayıcı hamurunda bir dizi tepkimeler başlayabilir. Bu tepkimeler boşluk sisteminin tamamen kuruması ile başlar, bunu hidrasyon ürünlerinin ayrışması ve CSH jellerinin parçalanması izler (Lin vd., 1996). Sıcaklık 400 °C'nin üzerinde ise ani olarak su ile soğutulma sonrası örneklerin parçalanmasının nedeni, çözülen $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 'nin ortamdaki nem ile tekrar hidrate olmasıyla hacminde % 44'lük bir artış meydana gelmesidir (Baradan vd., 2002).

Türkiye dünya demir-çelik üretiminde önemli bir yere sahiptir. Demir-çelik üretimi sırasında yaklaşık % 20 oranında YFC atığı oluşmaktadır. Amorf yapıya sahip olan YFC yüksek miktarlarda SiO_2 ve Al_2O_3 içermesi nedeni ile puzolanik özellik göstermektedir. Granüle halde ince bir malzeme olarak kullanılabilmesi gibi öğütülmesi durumunda çimento üretiminde ve beton katkı maddesi olarak kullanılabilir (Tokyay ve Erdoğan, 2003; Topçu, 2006). YFC kullanımı betonun dayanıklılığını olumlu yönde etkilemektedir (Arslan, 2001). YFC sodyum hidroksit (NaOH), sodyum karbonat (Na_2CO_3), cam suyu (Na_2SiO_3) gibi alkalilerle aktive edilebilmektedir (Zhou vd., 1993; Jimenez ve Puertas, 1997; Peter ve Jack, 1996; Shi ve Day, 1995). Beton dayanımı ve işlenebilirliği kullanılan alkali kombinasyonuna bağlı olarak değişim göstermektedir (Wang vd., 1994). Genel olarak YFC kullanılması ile betonun kimyasal etkiler altındaki performansı ve işlenebilirliği artmakta, geçirimsizliği azalmaktadır. Özellikle deniz yapıları için önemli sorun olan sülfat etkisine karşı dayanıklılık artmaktadır. YFC kullanırken betonda karbonatlaşmaya karşı önlem alınmalı, soğuk havalarda beton dökülmesi durumunda priz hızlandırıcı katılmalı, donma-çözülme et-

kisine karşı hava sürükleyici katkı miktarı artırılmalıdır. Erken yaşlarda dayanım beklenen yerlerde YFC kullanılmamalı, kullanılması gerekiyorsa özel önlemler alınmalıdır.

Bu çalışmada çeşitli alkali kombinasyonları kullanılarak aktive edilen YFC harç üretiminde çimento yerine yüksek oranda kullanılması hedeflenmiş ve yüksek sıcaklığa maruz kalması durumunda ortaya çıkacak yapısal değişiklikler SEM ve EDX yardımı ile mikro düzeyde belirlenmeye çalışılmıştır (Canbaz, 2007; Topçu ve Canbaz, 2006; Topçu ve Canbaz, 2007).

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Malzemeler

Agrega: Set Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. Trakya Çimento Fabrikası tarafından hazırlanan TSE 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 özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

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 özellikler 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'tir.

2.2. Mikroyapı Çalışmaları İçin Numune Hazırlanması ve Deney Yöntemleri

Yüksek sıcaklık etkisini belirlemek için TS 1363'den faydalanılmış ve YFC, çimento yerine % 0, % 25, % 50, % 75 ve % 100 oranlarında kullanılmıştır. YFC'yi aktive etmek için NaOH , Na_2CO_3 , Na_2SiO_3 kullanılmıştır. Ayrıca, YFC'nun % 1 oranında kireç katılmıştır. Karışım oranı bağlayıcı:su:kum sırası ile 1:0.5:3 olarak alınarak karışımlar hazırlanmış, 7x7x7 cm boyutlarında kalıplara dökülmüştür. Daha sonra harç numuneleri 56 günlük dayanımlarına ulaştıklarında kür havuzlarından çıkarılıp kurutulmuştur.

Tablo 1. Kullanılan çimento ve YFC'nin kimyasal ve fiziksel özellikleri

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl	Kızdırma Kaybı	İncelik cm ² /g	Özgül Ağırlık
YFC	34.09	12.19	0.61	30.82	6.14	0.03	0.45	0.56	1.57	0.001	0.1	2230	2.84
CEM I	19.23	5.44	3.48	63.62	0.88	0.09	0.55	0.68	2.17	0.011	3.2	2860	3.11

Fırında 100 °C, 400 °C ve 700 °C'de üçer saat bekletilen numuneler 1 gün soğumaya bırakılarak kontrol harçlarına göre dayanım kayıpları incelenmiştir. Dayanım kayıplarını belirlemek için ELE marka tek eksenli basma deney aleti kullanılarak basma deneyleri yapılmış ve basma dayanımları hesaplanmıştır. Mikroyapı incelemeleri için, yüksek sıcaklık gibi ısıl etkiler altında kalmış numuneler ve kontrol numuneleri kesilerek yaklaşık 1 cm boyutlarında küpler elde edilmiştir. Numunelerin kesme işlemleri sırasında emdiği suyun giderilmesi amacıyla 105 °C'lik etüvde 24 saat kurutma gerçekleştirilmiştir. Nemden korunacak bir şekilde numuneler saklanmıştır. Mikroyapısı incelenecek yüzeyler el izi, su ve tozdan korunmuştur. Mikroyapı fotoğraflarının çekilmesi amacı ile mikroyapı laboratuvarına götürülen numuneler iletkenliğin sağlanması için altın ile kaplanmıştır. Marka ve modeli ZEISS SUPRA 50 VP olan taramalı elektron mikroskopunda yüzeylerin fotoğrafları çekilmiş ve element içeriği belirlenmiştir.

3. SONUÇLAR VE İRDELEME

Yüksek sıcaklık etkisinde kalan, NaOH+Na₂CO₃ ile aktive edilen harçların basma dayanımı deney sonuçları Şekil 1'de gösterilmiştir. YFC kullanıldığında, harçların basma dayanımları 5-45 MPa arasında değişmektedir. Sıcaklık arttıkça serbest suyun buharlaşmasından dolayı basma dayanımları 100 °C'ye kadar artmış, daha sonra yapılan araştırmalara benzer şekilde yüksek sıcaklığın etkisi ile bağ suyunun kaybedilmesinden ve hidrasyon ürünlerinin ayrışmasından dolayı basma dayanımları düşmüştür (Mehta ve Monteiro, 1992; Lin vd., 1996). 100 °C'ye kadar basma dayanımlarındaki artış oranı en fazla % 75 YFC kullanılan harç numunelerinde görülmüştür.

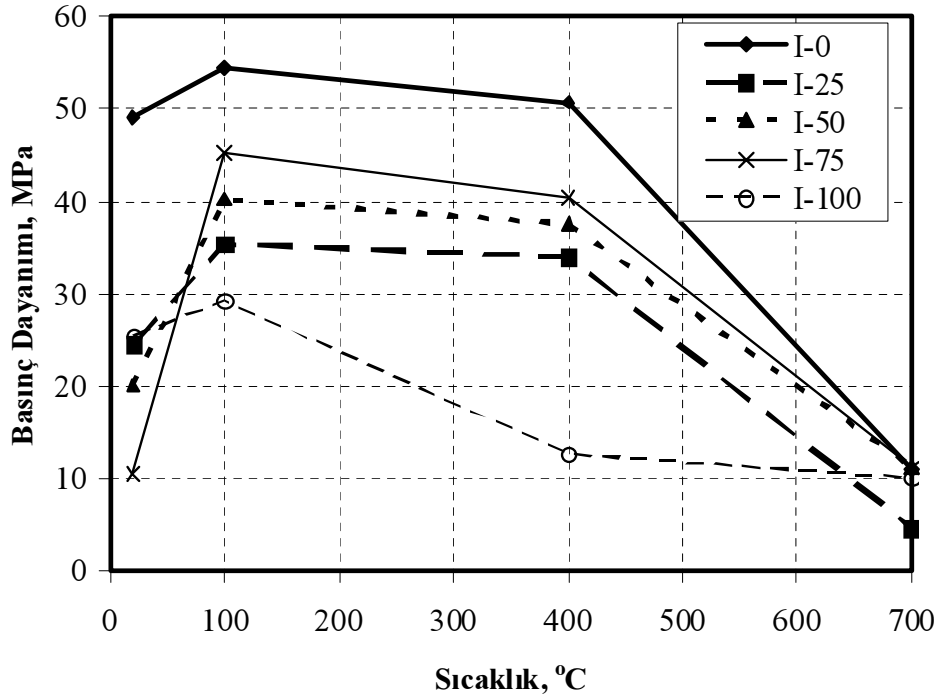
Yüksek sıcaklık etkisinde kalan, NaOH+Na₂SiO₃ ile aktive edilen harçların basma dayanımı deney sonuçları Şekil 2'de gösterilmiştir. Harçların basma dayanımları 5-30 MPa arasında değişmektedir. Sıcaklık arttıkça harçların basma dayanımları 100 °C'ye kadar artmış düşmüştür. Yüksek sıcaklık etkisinde kalan Na₂SiO₃ ile aktive edilen harçların basma dayanımı sonuçları Şekil 3'te göster-

ilmiştir. Harçların basma dayanımları 1-30 MPa arasında değişmektedir. Sıcaklık arttıkça harçların basma dayanımları 100 °C'ye kadar artmış daha yüksek sıcaklıklarda düşmüştür. Alkali aktive edilmiş YFC kullanılması ile oluşan hidrasyon ürünlerinin yüksek sıcaklık etkisinde ayrışması geciktirdiğinden bu düşme oranları azalmıştır.

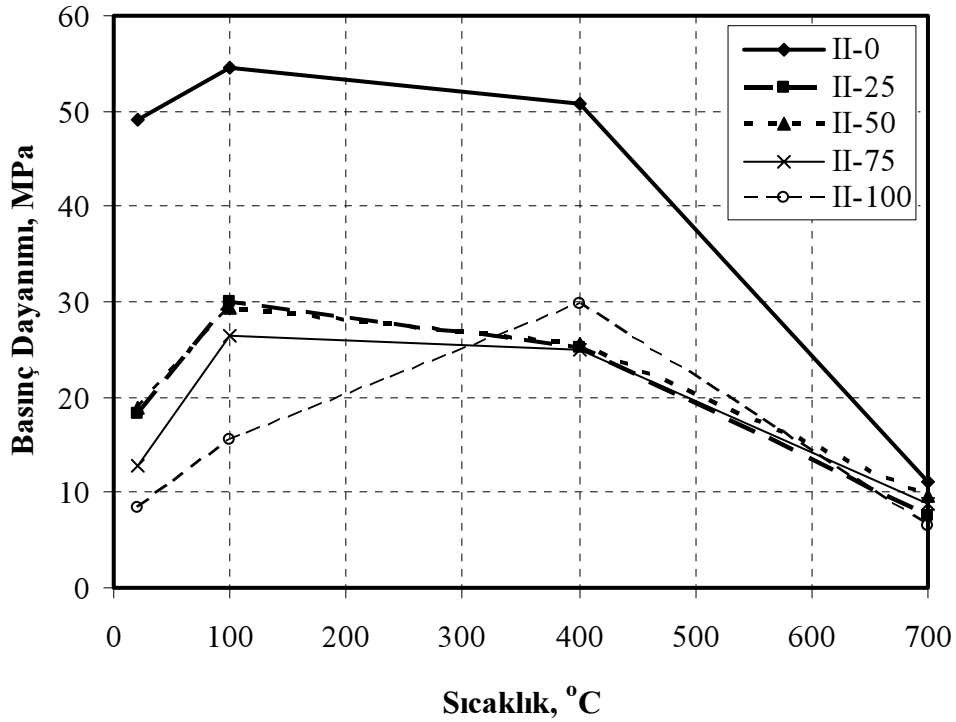
NaOH+NaCO₃, NaOH+Na₂SiO₃, Na₂SiO₃ aktivatör grupları ile aktive edilmiş YFC'li harç numunelerinden alınan kesitler üzerinde SEM ile ikincil elektronlar kullanılarak 250, 2000 ve 15000 büyütme fotoğraflar çekilmiş, 2000 ve 15000 büyütme fotoğraflarında görülen yapıların atomik içeriği EDX kullanılarak belirlenmiştir. Yapılan araştırmalarda da belirtildiği gibi hidrasyon ürünlerinin ayrışması ile mikroyapıda meydana gelen değişimler özellikle 400 °C'den sonra belirginleştiği için 700 °C'ye maruz kalmış harç numunelerinde SEM ve EDX analizleri yapılmıştır (Mehta ve Monteiro, 1992; Lin vd., 1996). Yüksek sıcaklık etkisi ile kimyasal yapının bozulmasından dolayı dayanımın kayıplarının meydana gelmesi numuneden oldukça güç kesit almasına neden olmuştur. Ayrıca mikro düzeyde meydana gelen bu değişimler SEM görüntü kalitesini de etkilemiştir.

Şekil 4'de NaOH+NaCO₃ ile aktive edilmiş YFC'li harcın 700 °C'ye maruz kaldıktan sonraki mikroyapısı görülmektedir. YFC'li harcın 250 büyütme mikroyapısı incelendiğinde yüksek sıcaklık etkisiyle bağlayıcı fazda boşluklar oluşmasına rağmen dağılmadığı, agregalarla adersanın çok büyük oranda etkilenmediği görülmüştür. YFC'li harcın 2000 büyütme mikroyapısı incelendiğinde sıcaklık artışı ile oluşan çatlaklar görülmektedir. Çatlaklar dışında yapı bütünlüğünü korumaktadır. YFC'li harcın 15000 büyütme mikroyapısı incelendiğinde kum tanesi ve çevresinde CSH jellerinin bozulması ile oluşan yapılar görülmektedir.

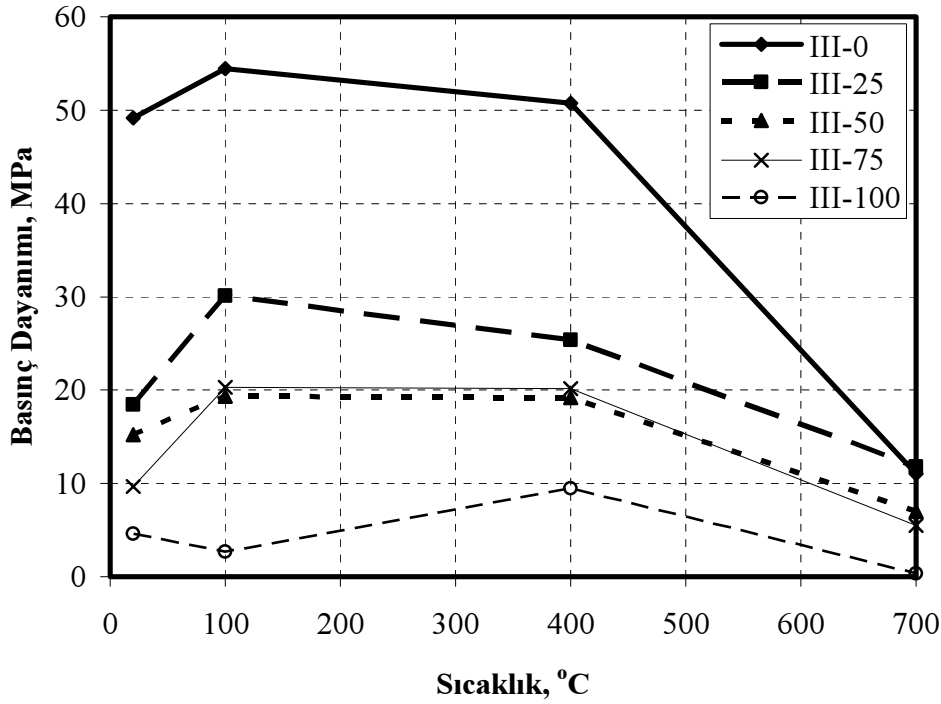
Tablo 2 ve Şekil 4'de "1", "2" ve "3" olarak belirtilen kısımların içerdiği elementler görülmektedir.



Şekil 1. NaOH+Na₂CO₃ ile aktive edilen harçların basma dayanımı deney sonuçları



Şekil 2. NaOH+Na₂SiO₃ ile aktive edilen harçların basma dayanımı deney sonuçları



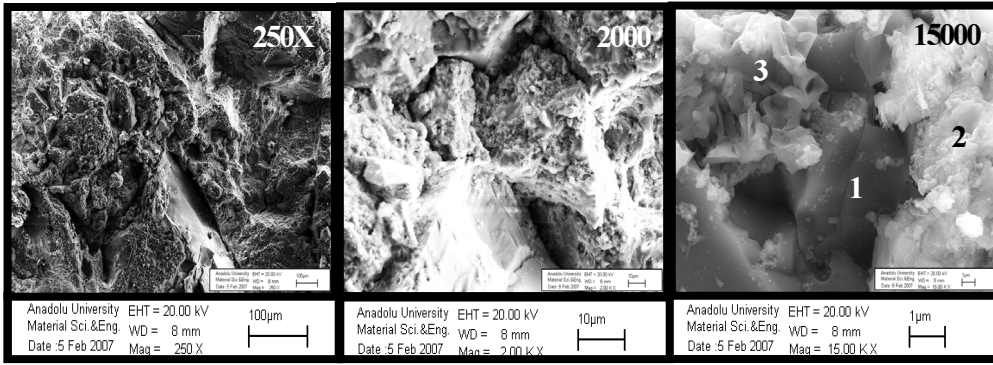
Şekil 3. Na_2SiO_3 ile aktive edilen harçların basma dayanımı deney sonuçları

“1” ile belirtilen kısımda Si ve O miktarının oldukça yüksek olması bunun kum tanesi olduğunu göstermektedir. “2” ile belirtilen kısımda Si oranı düşerken, Na ve Ca oranı artmıştır. Bu yapının CSH jellerinin bozulması sonucu Na ile reaksiyona girerek meydana gelen yeni bir bileşik olduğu tahmin edilmektedir. “3” ile belirtilen kısımda Ca oranında büyük düşüş olurken, Si oranı daha az düşmüştür. Na oranı ise yine artmıştır. Buradan yüksek sıcaklık etkisi ile Ca’lı yapıların tamamının dağıldığı, silikatların ise bir kısmının dağıldığı ve yerine Na’lı yapıların oluştuğu düşünülebilir.

Şekil 5’te $\text{NaOH-Na}_2\text{SiO}_3$ ile aktive edilmiş YFC’li harcın $700\text{ }^\circ\text{C}$ ’ye maruz kaldıktan sonraki mikroyapısı görülmektedir. YFC’li harcın 250 büyütme mikroyapısı incelendiğinde NaOH-NaCO_3 ’e göre bağlayıcı kısımda bozulmaların boşlukların arttığı, aderansın azaldığı görülmüştür. YFC’li harcın 2000 büyütme mikroyapısı incelendiğinde yüksek sıcaklığın etkisi ile bağlayıcı yapının bozulduğu, kısa iğne şeklinde yapılara dönüştüğü görülmektedir. YFC’li harcın 15000 büyütme mikroyapıda ise CSH jellerinin bozulması iğne şeklinde kalsiyum oksitli yapılara dönüştüğü görülmektedir. Tablo 3 ve Şekil 5’te “1”, “2” ve “3” olarak belirtilen kısmın içerdiği elementler görülmektedir. “1” ile belirtilen yapının daha çok Ca ve O’den oluştuğu görülmektedir. Si miktarı ise azalmıştır. Bu-

radan silikatlı yapıların parçalandığı anlaşılmaktadır. “2” ile belirtilen kısmın Ca ve O’dan oluştuğu, “3” ile belirtilen kısımda ise aynı zamanda az miktarda da olsa Si görülmüştür.

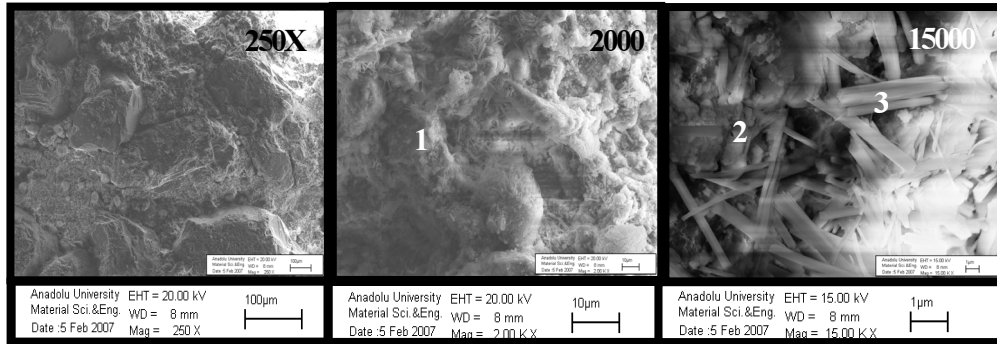
Şekil 6’da Na_2SiO_3 ile aktive edilmiş YFC’li harcın $700\text{ }^\circ\text{C}$ ’ye maruz kaldıktan sonraki mikroyapısı görülmektedir. YFC’li harcın 250 büyütme mikroyapısı incelendiğinde yüksek sıcaklık etkisinde diğer aktivatörlere göre bağlayıcı fazda boşluklar daha da artmış ve çatlak oluşumları başlamıştır. YFC’li harcın 2000 büyütme mikroyapısı incelendiğinde bağlayıcı fazın bozulması iğne şekline dönüşmekte olduğu görülmüş ve aynı zamanda çatlaklar artmıştır. YFC’li harcın 15000 büyütme mikroyapısı incelendiğinde CSH jellerinde çatlak oluşumları görülmüş ve iğne şeklindeki yapılar oluşmaya başlamıştır. Tablo 4 ve Şekil 6’da “1” ve “2” belirtilen kısmın içerdiği elementler görülmektedir. “1” ile belirtilen yapıda bozulan CSH jeli Si oranı azalırken Al miktarı ve belirgin bir şekilde S miktarı artmıştır. “2” ile belirtilen kısımda yüksek Ca, O oranı ve düşük Si oranı görülmüştür. Ayrıca, belirgin oranda Na, Mg, Al elementleri görülmüştür. Buradan bu yapının henüz bozulmaya yeni başlamış CSH jeli olduğu tahmin edilmiştir.



Şekil 4. NaOH+NaCO₃ ile aktivieli YFC'li harcın 700⁰ C'ye maruz kaldıktan sonraki mikroyapısı

Tablo 2. NaOH+NaCO₃ ile aktivieli YFC'li harcın 700⁰ C'ye maruz kaldıktan sonraki EDX analizi

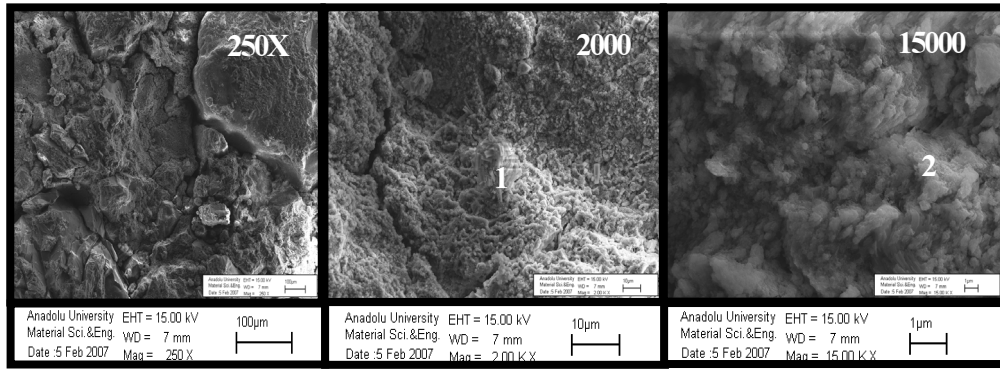
	Element	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca
1	Ağırlıkça %	29.57	1.17	--	0.59	55.81	--	--	2.31
	Atomal %	38.16	1.05	--	0.45	41.03	--	--	1.19
2	Ağırlıkça %	50.96	15.27	0.38	0.88	4.35	6.5	0.84	6.21
	Atomal %	56.39	11.76	0.28	0.58	2.74	3.59	0.38	2.74
3	Ağırlıkça %	48.85	13.62	--	--	24.56	7.61	--	0.35
	Atomal %	58.91	11.43	--	--	16.87	4.58	--	0.17



Şekil 5. NaOH+Na₂SiO₃ ile aktivieli YFC'li harcın 700⁰ C'ye maruz kaldıktan sonraki mikroyapısı

Tablo 3. NaOH+Na₂SiO₃ ile aktivieli YFC'li harcın 700⁰ C'ye maruz kaldıktan sonraki EDX analizi

	Element	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca
1	Ağırlıkça %	51.37	1.58	2.63	2.99	9.18	0.89	0.63	23.27
	Atomal %	63.96	1.37	2.16	2.21	6.51	0.55	0.32	11.56
2	Ağırlıkça %	43.56	--	--	1.67	--	2.13	--	48.55
	Atomal %	61.84	--	--	1.41	--	1.51	--	27.51
3	Ağırlıkça %	53.68	--	--	2.47	1.5	3.27	--	39.08
	Atomal %	73.31	--	--	2	1.17	2.23	--	21.3



Şekil 6. Na₂SiO₃ ile aktiveli YFC'li harcın 700 °C'ye maruz kaldıktan sonraki mikroyapısı

Tablo 4. Na₂SiO₃ ile aktiveli YFC'li harcın 700 °C'ye maruz kaldıktan sonraki EDX analizi

	Element	O	Na	Mg	Al	Si	S	Ca
1	Ağırlıkça %	51.24	0.74	--	5.6	0.72	10.97	27.92
	Atomal %	67.55	0.68	--	4.38	0.54	7.21	14.69
2	Ağırlıkça %	63.05	3.23	1.68	3.12	8.89	0.7	19.32
	Atomal %	77.47	2.76	1.36	2.27	6.23	0.43	9.48

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan deneysel çalışma sonucunda sodyum hidroksit-sodyum karbonatın YFC'yi cam suyuna göre daha iyi aktive ettiği 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. Yüksek sıcaklık etkisinde kalan harçlarda sıcaklık arttıkça, harçların bağlı basma dayanımları önce 100 °C'ye kadar artmış sonra azalmıştır. Yüksek oranda aktive edilmiş YFC kullanılması durumunda genel olarak bu azalma oranları düşmüştür. Yüksek sıcaklık etkisinde, özellikle sodyum silikat ile aktive edilmiş YFC'li harçların bağlayıcı fazında boşluklar daha da artmış ve çatlak oluşumları başlamıştır. CSH jellerinin bozularak iğne şeklinde kalsiyum oksitli yapılara dönüştüğü görülmüştür. Türkiye'de YFC kullanımını yaygınlaştırılmalıdır. YFC kullanılması ile endüstriyel bir atık değerlendirildiği için hem Türkiye ekonomisine kazanç sağlanmış hem de çevre kirliliği önlenmiş olacaktır.

KAYNAKLAR

- Piasta, J. (1984). Heat deformations of cement paste phases and the microstructure of cement paste. *Materials and Structure* 102, 415 – 420.
- Dias, W.P.S., Khoury, G.A. ve Sullivan, P.J.E. (1990). Mechanical properties of hardened cement paste exposed to temperatures up to 700 C (1292 F). *ACI Materials Journal* 87(2), 160–166.
- Mehta, P.K. ve Monteiro, P.J.M. (1992). *Concrete- Microstructure, Properties, and Materials*. Prentice Hall, New Jersey, 548 p.
- Lin, W.M., Lin, T.D. ve Powers-Couche, L.J. (1996). Microstructures of fire damaged concrete, *ACI Materials Journal* 93(3), 199–205.
- Baradan B., Yazıcı H. ve Ün H. (2002). *Betonarme Yapılarda Kalıcılık*. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, 282 s., İzmir.

Tokyay, M. ve Erdoğan, K. (2003). *Cürüfler ve Cürüflü Çimentolar, Araştırmaların Gözden Geçirilmesi Raporu*. TÇMB Yayını, 48 s., Ankara.

Topçu, İ.B. (2006). *Beton*. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Eskişehir Şubesi, Yayın No 2, 260 s., Eskişehir.

Arslan, M. (2001). *Beton (Dökümü, Kalıpları, Kusurları, Dayanıklılığı)*. Atlas Yayın Dağıtım Ltd. Şti., 237 s., İstanbul.

Zhou, H., Wu, X., Xu, Z. ve Tang, M. (1993). Kinetic study on hydration of alkali-activated slag. *Cem. and Conc. Res.* 23, 1253-1258.

Jimenez A.F. ve Puertas F. (1997). Alkali-activated slag cements: kinetic studies. *Cem. Conc. Res.* 27, 359-368.

Peter, M.G. and Jack E.G. (1996). Freeze-thaw durability of activated blast furnace slag cement concrete. *ACI Mat. Journal* May-June, 242-245.

Shi, C. ve Day, R.L. (1995). A calorimetric study of early hydration of alkali-slag cements. *Cem. Conc. Res.* 25, 1333-1346.

Wang, S.D., Scrivener, K.L. ve Pratt, P.L. (1994). Factors affecting the strength of alkali-activated slag. *Cem. Conc. Res.* 24, 1033-1043.

Canbaz, M. (2007). Alkali Aktive Edilmiş Yüksek Fırın Cürüflü Harçların Özellikleri. Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 244s.

Topçu, İ.B. ve Canbaz, M. (2006). Aktive edilmiş yüksek fırın cürüflü harçlara alkali türünün etkisi. Yapı Mekaniği Semineri 2006 ODTÜ-ESOGÜ, Eskişehir, ss. 120-128.

Topçu, İ.B. ve Canbaz, M. (2007). Effect of chemical composition on alkali activated slag mortars. TÇMB, 3rd International Symposium Sustainability in Cement and Concrete, İstanbul, Turkey, pp. 223-232.



İlker Bekir TOPÇU, 1980'de EDMMA İnşaat Fakültesi'nden mezun oldu. Yüksek Lisansını Anadolu Üniversitesi'nde yaptı. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yaptığı doktorasını 1988'de tamamladı. 1990-92 ve 1996-97 yıllarında ABD'de araştırmalarda bulundu. 1997'de doçent 2003'de profesör oldu. Halen ESOGÜ, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır.



Mehmet CANBAZ, 1998'de YTÜ, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. 1998'de ESOGÜ, İnşaat Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. ESOGÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yaptığı yüksek lisansını 2001, doktorasını 2007'de tamamladı. Halen ESOGÜ, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır.