Kendiliğinden Yerleşen Harçlarda Kullanılan Yüksek Fırın Cürufunun Yüksek Sıcaklık Performansına Etkisi

İlker Bekir Topçu*, Tayfun Uygunoğlu**
*Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Müh.-Mim. Fak., İnş. Müh. Böl., Eskişehir,
**Afyon Kocatepe Üniversitesi, Müh. Fak., İnş. Müh. Böl., Afyonkarahisar
Tel: 0 (222) 239 37 50, 0 (272) 228 14 23
ilkerbt@ogu.edu.tr, uygunoglu@aku.edu.tr

Erhan Kahraman**
**Afyon Kocatepe Üniversitesi, Müh. Fak., İnş. Müh. Böl., Afyonkarahisar
0 (272) 228 14 23
ekahraman@aku.edu.tr

Öz

Bu çalışmada, genel olarak beton dayanımını arttırmak amacıyla kullanılan mineral katkılardan biri olan öğütülmüş yüksek fırın cürufu katkılı beton numunelerin yüksek sıcaklık sonrası fiziksel ve mekanik özeliklerinde meydana gelen değişiklikler araştırılmış ve sonuçlar istatistik yöntemlerle incelenmiştir. Beton numunelerinde kullanılan malzemelerin oranlara bağlı olarak ortaya çıkan değişiklikler, mineral katkı oranlarının yüksek sıcaklık sonrası değişimlerine bağlıdır. Deneyler sonucu ortaya çıkan farklılıkları, mineral tipi ve uygulanan yüksek sıcaklık göz önünde bulundurarak kendi aralarında bir değerlendirme sunmak amaçlanmıştır. Çalışmada, çimento ağırlığının, % 0, 10, 20 ve 30'u oranlarında öğütülmüş yüksek fırın cürufu karışım içerisindeki çimento ile yer değiştirilerek, 4 değişik karışım elde edilmiştir. Bulgulara göre, % 0, 10, 20 ve 30'u oranlarındaki katkı kullanımlarında, priz başlama ve bitiş sürelerinin belirgin olarak geciktiği ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu, Yüksek Sıcaklık, Isıl Performans

Giriş

Betonda çimento harcının işlevi, agrega tanelerinin yüzeylerini kaplamak, agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurmak ve agrega tanelerini bir arada tutacak tarzda bağlayıcılık sağlamaktır. Bu bakımdan beton, çimento harcından ve agregalardan oluşan iki fazlı kompozit bir malzeme olarak da tanımlanabilmektedir (Erdoğan, 2003). Betonun zamanla bozulmasına pek çok çevresel faktörler etki etmektedir. Betonda dayanıklılık problemine neden olan başlıca fiziksel etkilerden biri yüksek sıcaklıktır. Yüksek sıcaklık yapılarda kalıcı hasarlar oluşturarak, yapının servis dışı kalmasına, can ve mal kaybına neden olabilmektedir (Aydın ve Baradan, 2003). Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), dahili veya harici vibrasyon kullanılmadan kalıbına yerleştirilen ve sıkıştırılan betonlar olarak tanımlanmaktadır. KYB'ler konuldukları kabın içerisine

yüksek akışkanlıklarından dolayı herhangi bir vibrasyon yapılmaksızın kendi ağırlıklarıyla boşluksuz bir şekilde yerleşir, donatının etrafını sıkıca sarar ve beton içerisinde çok düşük oranda boşluk kalarak kalıbı doldurur (Leemann vd., 2006).

KYB'nin özel reolojik yapısı için hidratasyon ısısına karşı çimento miktarını düzenlemek, viskoziteyi ayarlayarak, yeterli akışkanlığı sağlayarak işlenebilirliği geliştirmek için filler (dolgu) malzeme kullanılmaktadır. Bu malzemeler genellikle kırmataş tozu, uçucu kül, silis dumanı, öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve öğütülmüş cam tozu gibi filler malzemelerdir (Efnarc, 2002). Ancak gün geçtikçe KYB üzerine yapılan çalışmalarla bu filler malzemelerden başka, özellikle atık durumdaki malzemelerin filler malzeme olarak KYB içerisinde kullanımları araştırılmaktadır. Bu malzemelerden bazıları da öğütülmüş tuğla tozu ve mermer tozudur. KYB'de kullanılacak olan filler malzemelerde aranan en önemli özeliklerden biri en büyük tane çapı olup genellikle 0.125 mm'nin altında olması istenir. Bu durumda KYB üretiminde kullanılan kum ve agrega içerisinde bulunabilecek 0.125 mm altındaki ince maddeler de filler malzeme içerisine dahil edilmelidir. Filler malzemelerin optimum kullanım miktarları bu maddelerin mineralojik kökenine ve mekanik performansına bağlıdır. Örneğin, silis dumanı toplam toz miktarının (çimento+silis dumanı) 400 ile 450 kg/m^3 arasında olduğu bir KYB'de 50 kg/m^3 içeriğinde kullanılırken, uçucu kül toplam toz miktarının 500 ile 600 kg/m^3 arasında olan bir KYB'de 100 ile 150 kg/m^3 içeriğinde kullanılmaktadır (Uygunoğlu, 2008).

Bu çalışmada, çimento yerine farklı oranlarda ikame edilerek yüksek fırın cürufu kullanılmasıyla üretilen beton numunelerin, yüksek sıcaklık sonrası fiziksel ve mekanik özeliklerinde meydana gelen değişiklikler incelenmiştir. Beton numunelerinde kullanılan malzemelerin oranlara bağlı olarak ortaya çıkan değişiklikler, farklı mineral katkıların yüksek sıcaklık sonrası değişimlerine bağlıdır. Amaç; deneyler sonucu ortaya çıkan farklılıkları, ikame oranı ve uygulanan yüksek sıcaklık göz önünde bulundurarak kendi aralarında bir değerlendirme sunmaktır.

Materyal ve Yöntem

Harç karışımlarının hazırlanmasında hidrolik bağlayıcı olarak TS EN 197-1 (2008) standardına uygun olarak üretilmiş olan CEM I-42.5/R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun özgül ağırlığı 3.07 olup toplam alkali içeriği % 0.65'dir. Çimentoya ait kimyasal ve fiziksel özelikleri Tablo 1'de verilmiştir. Yüksek fırın cürufu (YFC) Bolu'da bir çimento fabrikasından temin edilmiştir. Yüksek fırın cürufunun kimyasal ve fiziksel özelikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Çimento ve mineral katkıların karakteristik özelliklerine bakıldığında; bağlayıcılık oranına büyük etkisi olan CaO miktarının en yüksek değerleri çimento ve yüksek fırın cürufunda bulunmaktadır. Harç üretimleri 0.50 su/bağlayıcı oranında ve % 2 kimyasal katkı içeriğinde üretilmiştir. Mineral katkı tipi olarak da YFC kullanılmış olup bu katkının karakteristik özelikleri Tablo 1'de sunulmuştur. Mineral katkı, % 0, 10, 20 ve 30 oranlarında çimentoyla yer değiştirilerek kullanılmıştır. Harçların üretimlerinde çimento ve mineral katkının toplamı olan bağlayıcı miktarı tüm serilerde 500 kg/m3 olarak sabit tutulmuştur. Agrega olarak da 0-1 mm elek aralığında kırma kum kullanılmıştır. KYH, kırma kum olmayan çimento harcına denilmektedir.

Tablo 1. Çimento ve mineral katkıların karakteristik özelikleri.

Bileşen, %	**Çimento**	**Yüksek Fırın Cürufu**
CaO	63.6	39.8
SiO_2	16.6	32.8
Al_2O_3	4.72	11.8
Fe_2O_3	3.27	1.45
S+A+F	-	*46.05*
MgO	1.91	4.15
Na_2O	0.34	0.51
K_2O	1.06	0.91
SO_3	4.72	2.06
Cr_2O_3	0.04	0.02
TiO_2	0.41	0.63
K.K.	2.69	2.2
Özgül ağırlık	3.07	2.8
İncelik(Özgül yüzey alanı), cm^2/g	3312	4982

Harç üretimleri, kapasitesi yaklaşık 5 lt olan harç mikseri ile gerçekleştirilmiştir. Harçların karışımında, agrega ve ince malzemeler ile 1 dakika boyunca kuru karışım yapıldıktan sonra karışım suyunun yaklaşık üçte ikisi karışıma ilave edilmiştir. Kalan su içerisinde kimyasal katkı çözülerek karışıma katılmış ve 3 dakika daha karışıma devam edilmiştir. Her karışımda, yüzeyi düzgün metal bir tabla üzerinde mini-çökmede yayılma deneyi gerçekleştirilmiştir. Her deneyden önce çökmede-yayılma konisi nemli bir bezle nemlendirilmiş ve harç ile metal yüzey arasındaki sürtünmeler ihmal edilmiştir. Çökmede-yayılma deneyi için yüksekliği 50 mm; alt ve üst genişlikleri de sırasıyla 100 ve 50 mm olan koni kullanılmıştır. Çökme deneyinden sonra yayılan harcın çapı birbirine dik iki doğrultuda ölçülerek iki ölçümün aritmetik ortalaması alınmıştır. Karışımlar 40x40x160 mm boyutlu prizmatik kalıplara konulmuştur. Numuneler 24 saat sonra kalıplardan alınarak 20±2 ºC kirece doygun su içerisinde kür edilmiştir. Belirlenen mekanik, fiziksel ve ısıl özelikler aşağıdaki Tablo 2'de verilmiştir:

Tablo 2. Numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneyler.

Özellik	**Deney adı**	**Numune boyutu ve tipi (mm)**	**Numune yaşı (gün)**	**Numunenin tutulduğu sıcaklık (ºC)**	**İlgili Standart**
Mekanik Özelik	Eğilme Dayanımı	40x40x160 prizma	28	20, 200, 400, 600, 800, 1000	TS EN 12390-5
	Basınç Dayanımı	40x40x40 küp	28	20, 200, 400, 600, 800, 1000	TS EN 12390-3/AC
Fiziksel Özellik	Su Emme (ağırlıkça)	40x40x160 prizma	28	20, 200, 400, 600, 800, 1000	TS EN 12390-7
	Birim hacim ağırlık	40x40x160 prizma	28	20, 200, 400, 600, 800, 1000	TS EN 12390-7
	Görünen porozite	40x40x160 prizma	28	20, 200, 400, 600, 800,1000	TS EN 12390-7
Isıl Performans	Isıl Genleşme	Ø5x25 silindir	28	20-1000	ASTM E228-11

Mekanik özeliklerin belirlenmesinde tam otomatik 200 kN kapasiteli basınç ve 50 kN kapasiteli eğilme presi kullanılmıştır. Numunelerin yüksek sıcaklığa dayanıklılık testine maruz bırakılmadan önce nem farkından dolayı deney sonuçlarının farklılık göstermemesi için 105 ^{o}C'de etüv kurusu duruma getirilmişlerdir. Daha sonra Tablo 2'de verilmiş olan sıcaklıklarda 5 ^{o}C/dak ısınma sağlayan Protherm marka kül fırını içerisinde 2 saat net olarak bekletilmişlerdir. Isıl performans testleri için çapı 5 mm ve boyu 25 mm olan silindirik numuneler ile termal expansion olarak adlandırılan ve diğer adıyla dilatometre olarak bilinen 180~1600 ^{o}C arasında sıcaklık uygulayabilen NETZSCH DIL 402 CD/4 tipi dilatometre kullanılmıştır. Isıl genleşme katsayısı (α) aşağıda verilen Denklem (1) yardımıyla belirlenmiştir.

$$dL = \alpha.L_0.dT \tag{1}$$

KYB'nin ısıl genleşme katsayısı (x10-6 1/^{o}C); dL, numunede oluşan birim boy değişimi (mm); dT, sıcaklık farkı (^{o}C); Lo, numunenin ilk boyunu simgelemektedir. Arşimet prensibine göre numunelerin etüv kurusu halindeki (Wo) suya doygun havada (W_1) ve su içerisinde (W_2) ağırlıkları alındıktan sonra 2, 3 ve 4 denklemleriyle yoğunluk (BHA), görünen porozite (GP) ve ağırlıkça su emme (Ww) değerleri belirlenmiştir.

$$BHA = \frac{W_o}{(W_1 - W_2)} \tag{2}$$

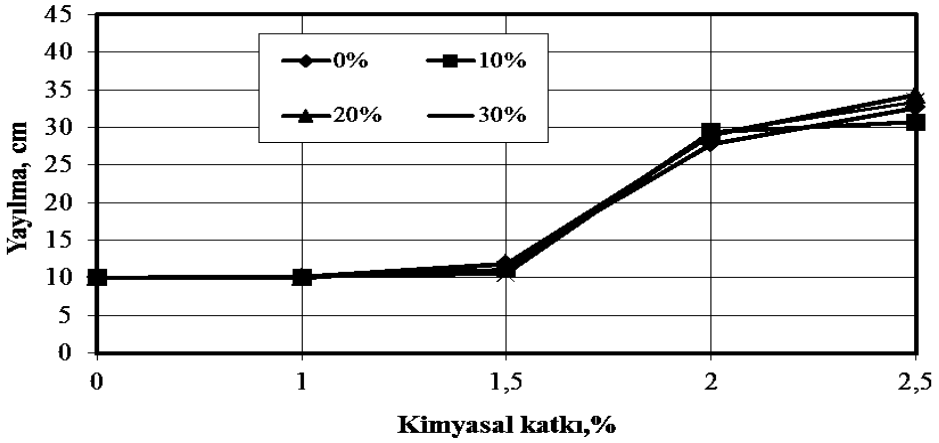
$$GP = \frac{(W_1 - W_o)}{(W_1 - W_2)} x100 \tag{3}$$

$$W_w = \frac{W_o}{(W_1 - W_o)} x100 \tag{4}$$

Bulgular

Taze Harç Özelikleri

Genel olarak mineral katkının çimentoyla yer değiştirilme oranı arttıkça harçlarda özgül ağırlıkları çimentoya göre daha düşük olan mineral katkıların daha fazla yüzey alana sahip olmaları nedeniyle artan su gereksiniminden dolayı yayılma özellikleri azalmıştır.

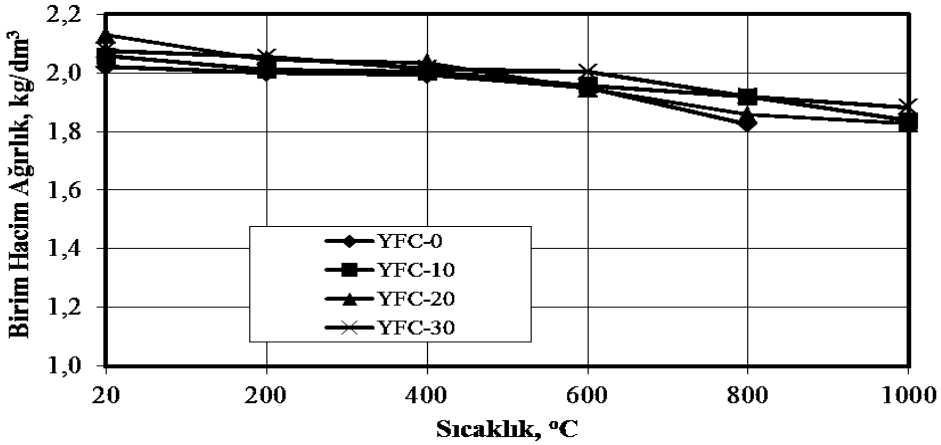


Şekil 1. Harç yayılmasına YFC mineralinin ve kimyasal katkı miktarının etkisi.

Ancak % 20 üzeri yer değiştirme oranlarındaki harçlarda kontrol harçlara göre yaklaşık aynı özelikte yayılma elde edilmiştir. Bu da YFC'nin yüzey yapılarından dolayı harcın işlenebilirliği arttırdığının göstergesidir (Roussel vd., 2005).YFC'li harçlarda % 2 katkı oranında yayılma çapları 28-30 cm arasında bulunmuştur ve en fazla 34 cm yayılma çapı elde edilmiştir. Daha önce de bahsedildiği gibi burada mineral katkıların yer değiştirmedeki özgül ağırlığından dolayı kapladıkları hacim ve yüzey alanı gibi faktörler etkili olmuştur (Topçu ve Uygunoğlu, 2010; Schwartzentruber vd., 2006).

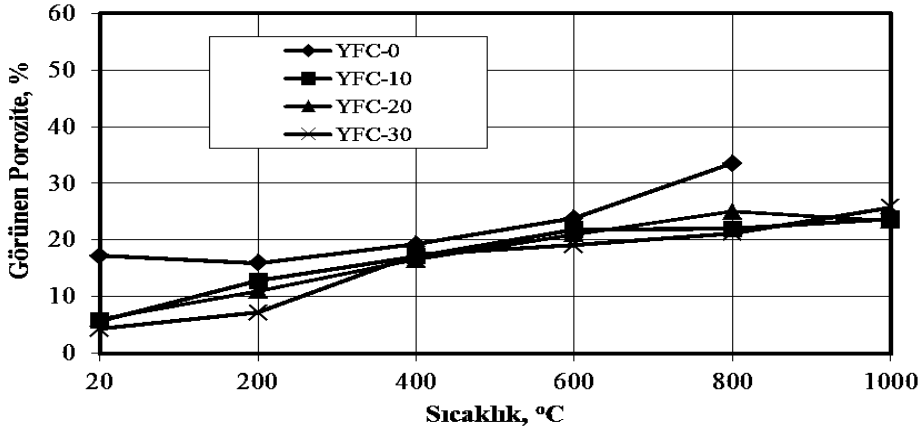
Fiziksel Özeliklere ait Sonuçlar

KYH'lerin yüksek sıcaklığa dayanıklılık testi sonrasında birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiş ve bu testlere ait sonuçlar kırma kumlu seriler için sırasıyla Şekil 2'de sunulmuştur. Harçların yüksek sıcaklığa maruz bırakılmasıyla birlikte birim hacim ağırlıkları azalmıştır. Kırma kumla üretilen harçların birim ağırlıkları sıcaklık derecesinin 20-1000 ^{o}C arasında değişmesiyle 2 ile 1.4 kg/dm^3 arasında değerler almıştır. Diğer yandan, mineral katkılı harçların birim ağırlıkları şahit numunelerle aynı veya daha düşük değerler aldığı görülmektedir. En fazla azalma da % 20 ve % 30 katkı içeriklerinde görülmüştür.



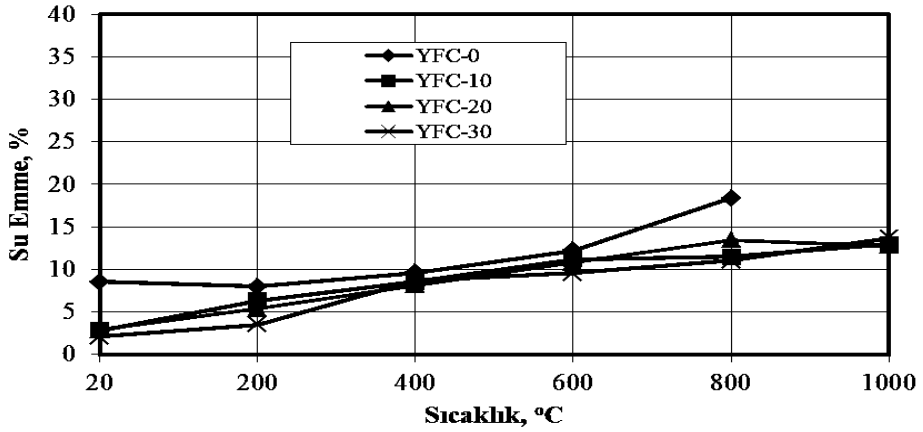
Şekil 2. YFC'li harçların birim hacim ağırlıkları.

Kırma kumlu harçların 800 ºC sonrasında sıcaklık etkisinden dolayı numuneler dağılmıştır. Sıcaklık değerinin artışıyla birlikte numunelerdeki bağlı sular buharlaşmış ve sıcaklığın daha da artmasıyla hidrate ürünlerin yapısı bozularak oksit kaybından numunelerin ağırlıkları azalmıştır. Bazı sıcaklık değerlerinde numunelerde oluşan büzülmelerden dolayı birim hacim ağırlıklarda az da olsa bir artış da görülmüştür.



Şekil 3. YFC'li harçların görünen porozite değerleri.

Birim ağırlıkların sıcaklığa bağlı olarak azalması sonucunda dışarı çıkan su veya diğer oksitlerden dolayı görünen porozite değerleri de artmıştır (Şekil 3).



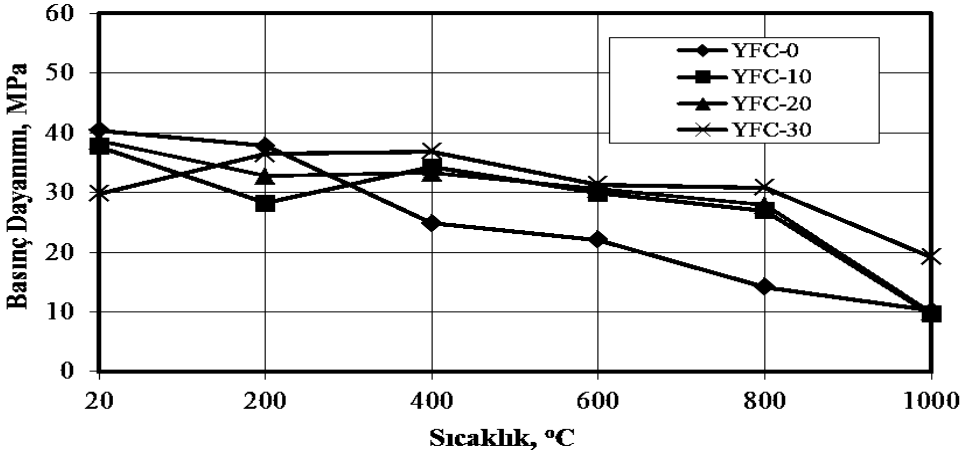
Şekil 4. YFC'li harçların ağırlıkça su emme değerleri.

Genel olarak mineral katkı kullanım oranı arttıkça porozite değerleri azalmıştır. Kırma kumun kullanıldığı şahit harç numunelerin görünen porozite değerleri de aynı sıcaklık değerinde % 33 oranına kadar yükselmiştir. Diğer yandan kırma kumla üretilen harçların oda sıcaklığındaki görünen porozite değerleri de düşük değerler aldığı görülmüştür. Bunun nedeni de kırma kum içerisinde fazla ince malzeme olması ve buna bağlı olarak da filler etkisi yaparak yüksek sıcaklıklarda daha az gözenek oluşmasıdır. Kırma kumla üretilen harçların görünen porozite değerlerine paralel olarak ağırlıkça su emme değerleri de değişim göstermektedir. Hem mineral katkıların kullanımı hem de kırma kumdaki ince malzeme miktarının artışına bağlı olarak su emme değerleri azalmıştır (Şekil 4).

Mekanik Özeliklere ait Sonuçlar

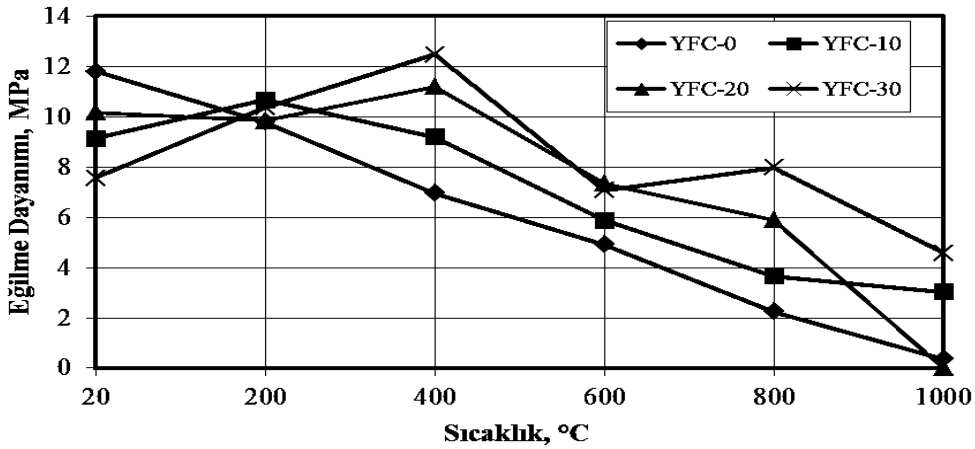
Eğilme ve Basınç Dayanımları

Yüksek sıcaklığa karşı dayanıklılığa bağlı olarak KYH'lerin basınç dayanımlarındaki değişimler Şekil 5'te sunulmuştur. Sıcaklığın 200 ºC'ye arttırılmasıyla birlikte harçların basınç dayanımlarında artış görülmüştür. Daha sonra sıcaklığın daha da arrtıtılmasıyla basınç değerleri azalma eğilimine geçmiştir.



Şekil 5. YFC'li harçların basınç dayanımları.

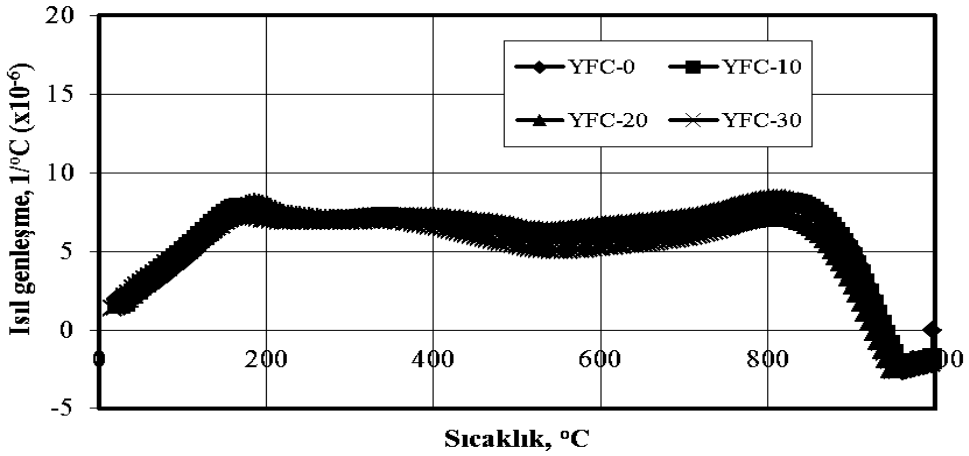
Bu durum 200 ºC civarında çimento harcının büzülmesi ve buna bağlı olarak da dayanımın bir miktar artmasını sağlamasından dolayı oluşmaktadır (Yüzer vd, 2004). 1000 ºC sıcaklıktaki basınç dayanım değerleri 0-20 MPa arasında değerler almıştır. Harçlarda 20 MPa basınç değerine sahip olan seriler % 30 oranında YFC içerenlerdir. Serilerde mineral katkı oranının artmasıyla basınç dayanımı genel olarak artış göstermiştir. Yine bunun en önemli temel nedeni ısıl genleşme katsayılarıyla açıklanabilir (Sellevold, 2006). Tıpkı basınç dayanımlarında olduğu gibi harçların eğilme dayanımlarında da çok benzer sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 6).



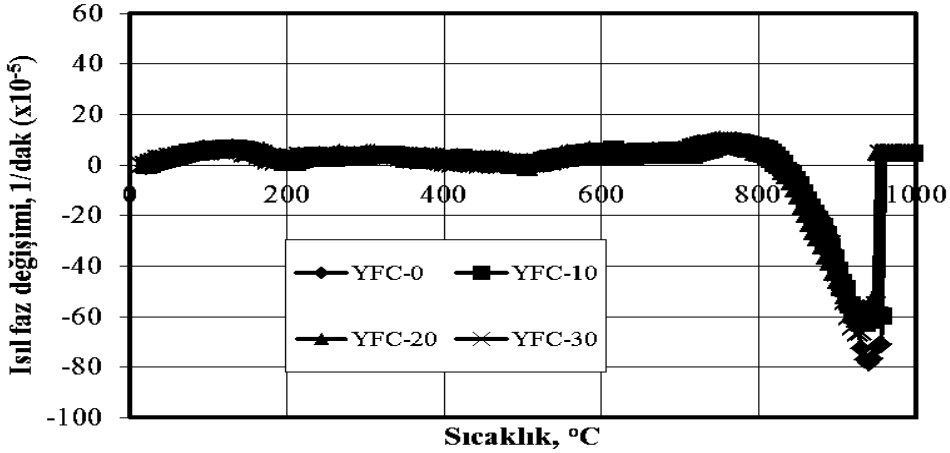
Şekil 6. YFC'li harçların eğilme dayanımları.

Isıl Performansa ait Sonuçlar

Belirlenen ısıl özeliklerden birisi de KYH'lerin ısıl genleşme katsayılarıdır. Isıl genleşme katsayısı, betonun ısı etkisiyle genleşmesinin belirlenmesi için kullanılan katsayıdır. Kırma kumlu harçlar için belirlenmiş olan ısıl genleşme katsayıları Şekil 7'de verilmektedir. Tüm oranlardaki YFC katkı içeriklerinde üretilen harçların ısıl genleşme katsayıları 200 ºC sıcaklık değerine kadar numunelerdeki serbest suyun bünyeyi terk etmesi ve bu sırada oluşturduğu iç basınç nedeniyle artmıştır. % 20 ve % 30 oranlarında mineral katkı kullanımıyla genel olarak çimento harcındaki CH miktarı azaldığından ısı genleşme katsayıları da azalmıştır (Shui vd, 2010). Kireçtaşıyla birlikte mineral katkıların kullanılması ısıl genleşme katsayısının daha da azaltılmasını sağlamıştır. Bu azalma, 800 ºC sıcaklık değerinde şahit seriye göre YFC-30 serisinde sırasıyla % 20 oranlarındadır.



Şekil 7. YFC'li harçların ısıl genleşme katsayıları.



Şekil 8. YFC'li harçların sıcaklığa bağlı ısıl faz değişimleri.

YFC ile üretilen serilerin genel olarak en fazla şekil değiştirme oranları 850 ile 900 ºC arasında elde edilmiştir (Şekil 8). Bunun nedeni de, kireç taşından oluşan kırma-kum agregalarının 800 ile 900 ºC arasında su kaybederek sönmemiş kirece (CaO) dönüşmesi ve açığa çıkan su buharının etrafına yaptığı basınçtan dolayı betonun genleşmesini arttırmasıdır. CaO'de dönüşüm gerçekleştikten sonra harçlar hızla büzülmektedir. Bu

esnada agrega-çimento ara-yüzü ve agregada önemli derecede çatlamalar görülmektedir. Kırma-kumlu serilerde agregadan dolayı 900 ºC'de su kaybederek büzülen harçların büyük bir bölümü çatlayarak deforme olmuş ve dağılmışlardır.

Teşekkür

Bu çalışmayı 110.M.246 nolu projeyle destekleyen TUBİTAK'a teşekkürlerimiz sunarız.

Sonuçlar

Kendiliğinden yerleşen betonlarda değişik tipte mineral katkılar kullanılabilmektedir. YFC mineral katkı içeren kendiliğinden yerleşen betonun harç fazı üzerinde işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- KYH'lerde kullanılan ve genel itibariyle küresel şekle sahip olan mineral katkılar kimyasal katkılarla birlikte kullanılmaları durumunda harcın yayılma özeliklerini ve buna bağlı olarak işlenebilirliklerini arttırmışlardır. Böylece KYB'lerin özellikle pompa ile dökülürken boru tıkanma problemleri daha aza indirilmiş olunacaktır.
- Mineral katkı içeriği artmasıyla birlikte genel olarak zamana bağlı dayanım değerleri de artmıştır. YFC'nin harç içerisinde filler görevi yaparak mikro boşlukların doldurulmasını sağladığı görülmüştür.
- Mineral katkı kullanımı kırma kumlu harçlarda genleşmeleri genel olarak azaltmıştır. Kırma kumlu harçların ısıl genleşme katsayıları 900 ºC'den sonra hızlı bir şekilde azalarak büzülme haline geçmiştir. Bu durum da 900 ºC üzerindeki sıcaklıklarda harçların tamamen deforme olarak eğilme ve basınç dayanımlarının sıfır olmasına ve bu nedenle taşıma gücünü yitirmesine neden olmuştur.
- Normal koşullarda (20°C) mineral katkı kullanımı, basınç ve eğilme dayanımı değerlerini genel olarak düşürdüğü görülmüştür fakat ileriki sıcaklıklarda bu değerlerin arttığı görülmüştür.
- Basınç dayanımlarında özellikle %20 ve %30 katkı oranlarında yüksek fırın curufu minerallerinin dayanımı arttırdığı görülmüştür. Eğilme dayanımlarında da ortalama aynı sonuçların çıktığı görülmüştür.
- Kırma kum gibi CaO esaslı agrega ile üretilen harçlarda 600 ºC civarında faz değişimi olmadığından dolayı agrega tanelerinde normale göre daha az çatlamalar veya deformasyonlar görülmüştür. Isıl faz değişimi 900 ºC'de en fazla değerlerdedir. Dolayısıyla numunelerde en fazla deformeler bu sıcaklık değerlerinde oluşmuştur. Bu deformeler serilerin sıcaklığa bağlı basınç ve eğilme dayanımlarındaki değişimlerden açıkça görülmüştür.

Sonuç olarak Tüm deneyler dikkate alındığında %30 oranlı yüksek fırın curufu mineral katkısının en iyi sonuçları verdiği görülmüştür. Yüksek sıcaklığa maruz yerlerde kendiliğinden yerleşen beton veya harç kullanılması durumunda yüksek fırın curufu mineral katkısının kullanılması önerilmektedir.

Kaynaklar

Aydın S., Baradan B., 2003, Yüksek sıcaklığa dayanıklı bağlayıcı geliştirilmesi, TMMOB İnşaat Müh. Odası, 5. Ulusal Beton Kongresi, ss. 451-460, İstanbul.

Efnarc, 2002, Specification and guidelines for self-compacting concrete, Association House, 99 West Street, Farnham, Surrey GU9 7EN, UK, February, ss.1-40.

Erdoğan, T.Y., 2003. Beton. METU Press, 741 s, Ankara.

Leemann, A., Münch B., Gasser P., Holzer L., 2006. Influence of compaction on the interfacial transition zone and the permeability of concrete, Cement and Concrete Research, 36, 1425-1433.

Roussel, N., Stefani, C., Leroy, R., 2005. From mini-cone test to Abrams cone test: measurement of cement-based materials yield stress using slump tests, Cement and Concrete Research 35, 817-822.

Schwartzentruber, L. D., Roy, R.L., J. Cordin, Rheological behaviour of fresh cement pastes formulated from a Self Compacting Concrete (SCC), Cement and Concrete Research, 36, 1203-1213, (2006).

Sellevold EJ, Bjøntegaard O., Coefficient of thermal expansion of cement paste and concrete: mechanisms of moisture interaction. Materials and Structures 39, 809-815, (2006).

Shui Z, Zhang R, Chen W, Xuan D, Effects of mineral admixtures on the thermal expansion properties of hardened cement paste, Construction and Building Materials 24, 1761-1767, (2010).

Topçu, İ.B., Uygunoğlu, T., Influence of mineral additive type on slump-flow and yield stress of self- consolidating mortar, Scientific Research and Essays Vol. 5 (12), pp. 1492-1500, (2010).

TS EN 197-1/A3, Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2008.

Uygunoğlu, T., 2008, Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özelikleri, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü., Doktora Tezi.

Yüzer, N., Aköz, F., Kızılkanat, A.B., Yüksek Dayanımlı Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklık Etkisi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası XVII. Teknik Kongresi, 15-17 Nisan, İstanbul (2004).