Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufunun Çimento Üretiminde Katkı Olarak Kullanımı

İlker Bekir Topçu, Cenk Karakurt
Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Batı Meşelik, 26480, Eskişehir,Türkiye
Tel: (222) 239 3750
E-Posta: ilkerbt@ogu.edu.tr, ckarakurt@ogu.edu.tr

Öz

Beton, günümüzde her türlü yapının inşaatında yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesi durumuna gelmiştir. Beton teknolojisindeki gelişmelerle birlikte her türlü ortam koşulunda uzun yıllar hizmet verebilecek yapıların üretimi yapılabilmektedir. Kullanılan çimentonun kimyasal ve fiziksel özelikleri, betonun kalitesi ve dayanıklılığında en önemli etkenlerdir. Doğal puzolanların ve endüstriyel atıkların çimentoda mineral katkı malzemesi olarak kullanılması hem ekonomik hemde kalıcılık açısından olumlu kazanımlar sağlamaktadır.

Bu çalışmada Zonguldak Ereğli Demir Çelik fabrikasından sağlanan yüksek fırın cürufu (YFC) ve Kütahya Tunçbilek termik santralinden elde edilen uçucu kül (UK) çimento üretimde katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. İlk gurup katkılı çimentolar, klinker yerine % 10, 20, 30, 40 ve 45 oranlarında UK, YFC ve % 5 oranında kalkerin birlikte öğütülmesiyle üretilmiştir. İkinci grup katkılı çimentolar ise ikili kompozisyonda ve toplam katkı oranı % 20 ve % 30 olacak şekilde üretilmiştir. Çimentoların incelikleri 3000-4100 cm^2/gr arasında tutulmuş ve öğütme süreleri belirlenmiştir. Normal kıvam ve priz süreleri her çimento tipi için Vicat deneyiyle bulunmuştur. Çimentoların erken ve ileri yaş performansının belirlenmesi için TS-EN 196 standardına uygun olarak hazırlanan harç numuneleri üzerinde 2, 7, 28 ve 180 günlük dayanım deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlardan YFC ve UK katkılı çimentoların ileri yaşlarda puzolanik aktiviteye bağlı olarak basınç dayanımlarının CEM I 42.5 çimentosuna göre daha yüksek çıktığı görülmüştür. Ayrıca klinker kullanımının azaltılmasıyla hem daha ekonomik hemde daha kısa sürede çimento üretimi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar sözcükler: Katkılı çimento, Uçucu kül, YFC, Mekanik ve Fiziksel özelik.

Giriş

Her türlü yapı sisteminde farklı uygulama alanlarında kullanılan betonun ana bileşeni çimentodur. Endüstriyel açıdan bakıldığında dünyada yılda üretilen çimento miktarının 2010 yılında 2.8 milyar ton/yıl olması beklenmektedir (Topçu ve Karakurt, 2007). Dünyada çimento üretiminin neredeyse yarısını gerçekleştiren Çin'i sırasıyla Hindistan, ABD ve Japonya izlemektedir. Çimento üretiminde ilk onda bulunan ülkemizde 2006 yılında yaklaşık 47 milyon ton üretim gerçekleştirilmiştir. Dünyadaki bu tüketim artışı nedeniyle çimento endüstrisinin çevreye verdiği zararda artmaktadır. Klinker üretimi sırasında kalsinasyon ve yanma sonucu ortaya çıkan zararlı CO_2 gazları en önemli çevre problemlerinden birisidir (Canpolat ve diğ., 2004). Günümüzde dünyaya salınan CO_2 gazlarının % 5'i çimento endüstrisi tarafından doğaya bırakılmaktadır (The Freedonia Group, 2006). Bu tip çevresel olumsuzlukların önüne geçmek için çimento üretiminde klinker kullanımının olabildiğince azaltılması gerekmektedir.

Çevre konusunda bilinçlenme birçok ülkede sıkı yasal düzenlemelere yol açmış ve bu da çimento endüstrisine çevre konusunda yeni sorumluluklar yüklemiştir (DPT, 2000). Bunlar çimento teknolojisinde, portland klinkeri, alçı taşı ve mineral katkıların birlikte öğütülerek karıştırılması esasına dayanır (Canpolat ve diğ., 2005). Günümüzde Avrupa'da kullanılan çimentonun yaklaşık % 90'ı katkılı olarak üretilirken ülkemizde kullanılan çimentoların yarısından fazlası CEM I sınıfı portland çimento olarak üretilmektedir (Collepardi, 2006). Çimentoda kullanılan katkı çevreye zarar veren bir endüstriyel atık ise sağlanan yarar daha fazla olacaktır (Yeğinobalı, Ertün, 2004).

Katkılı çimentolar çevresel kazanımların dışında sürdürülebilir beton teknolojisi açısından da önemlidir (Collepardi, 2006). Betonun zamanla etkisinde kalacağı olumsuz çevre koşulları çeşitli kalıcılık sorunlarına neden olmaktadır. Sülfatlı ve asitli sular çimentonun hidratasyonu sonucu oluşan $Ca(OH)_2$ ile reaksiyona girerek alçıtaşını ($Ca(SO)_4.2H_2O$) ortaya çıkarılar. Diğer yandan çimentonun C_3A bileşeniyle alçıtaşı kristalleri reaksiyonu sonucu daha zararlı etrenjit ($3CaO.Al_2O_3.3Ca(SO_4).32H_2O$) oluşur. Fazla miktarda su içeren ve genleşmeye yol açan bu ürün sonucu betonda çatlaklar ve hasarlar ortaya çıkar (Aydın ve diğ., 2007). Betonu sülfat etkisinden korumanın bir yolu da mineral katkılı çimentolar kullanmaktır (Camacho, Afif, 2002). Mineral katkılar içinde fazla miktarda koloidal bileşikler, özellikle aktif silis bulunan malzemelerdir (Topçu, 2006). Çimento üretiminde kullanılan mineral katkılar, hidratasyon sonucu ortaya çıkan $Ca(OH)_2$ yi bağlayarak hem dayanıma katkıda bulunur hemde betondaki kalıcılık sorunlarını önlerler (Poon ve diğ., 1999). Böylece inşa edilen yapı, planlanan hizmet ömrü boyunca sorunsuz bir şekilde kullanılabilir (Massazza, 1997; Monterio ve diğ., 1997). Bu çalışmada UK ve YFC kullanılarak katkılı çimentolar üretilmiştir. Çimentoların mekanik ve fiziksel özelikleri TS EN 196 standardına uygun olarak belirlenmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

Deneysel Çalışmalar

Çimento üretiminde kullanılacak hammaddelerden klinker, alçıtaşı ve kalker Çimsa Eskişehir Çimento Fabrikasından sağlanmıştır. UK Kütahya-Tunçbilek Termik Santralinden sağlanmıştır. Son olarak kullanılan granüle yüksek fırın cürufu ise Zonguldak-Ereğli Demir Çelik Fabrikasından sağlanmıştır. Malzemelerin XRF analizi sonuçlarına göre kimyasal özelikleri aşağıda Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1 Çimento Üretiminde Kullanılan Malzemelerin Kimyasal Özelikleri.

Bileşen	Klinker	Uçucu Kül	Yüksek Fırın Cürufu	Kalker
SiO_2	20.98	46.26	35.11	1.21
Al_2O_3	5.55	21.24	17.63	0.24
Fe_2O_3	3.85	4.29	0.35	0.10
CaO	65.85	9.82	37.56	55.39
MgO	1.12	2.62	5.52	1.5
K_2O	0.53	0.95	-	0.02
Na_2O	0.14	0.72	0.32	0.15
SO_3	0.97	2.11	-	0.01

Üretimde sırasıyla klinker ve katkı gibi iri taneli hammaddelere çeneli kırıcıda ön kırma işlemi uygulanmıştır. Daha sonra çeneli kırıcıdan çıkan hammaddeler 2 mm'lik elekten elenerek elek altı bakiye bilyalı öğütücüdeki karışımda kullanılmak üzere ayrılmıştır. İlk olarak klinker yerine % 10, % 20, % 30, % 40 ve % 45 oranlarında katkı, % 3 oranında alçıtaşı ve % 5 oranında kalker bilyalı öğütücüde istenen inceliğe gelene kadar öğütülerek sadece UK ve YFC katkılı çimentolar üretilmiştir. Tekli kompozisyonlardan elde edilen dayanım ve fiziksel özelik deney sonuçlarına göre en uygun katkı oranının % 20 ve % 30 olduğu görülerek UK ve YFC'nun bir arada kullanıldığı ikili kompozisyonda çimentolar bu oranlar için üretilmiştir. Çimentolar kullanılan katkı çeşidi ve oranına uygun olarak isimlendirilmiştir. Laboratuvarda üretilen CEM I 42.5 ve farklı katkılı çimentoların fiziksel özelikleri aşağıda Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2 Üretilen Çimentoların Fiziksel Özelikleri ve Öğütme Süreleri.

Çimento Kodu (*)	Özgül Ağırlık	90 μ elek üstü (%)	45 μ elek üstü (%)	Özgül Yüzey Alanı (cm^2/gr)
CEM I 42.5	3.12	3.3	27.9	3118
UKÇ 10	3.03	2.5	23.4	3381
UKÇ 20	2.94	2.5	22.7	3401
UKÇ 30	2.90	2.3	22.6	3430
UKÇ 40	2.88	2.5	25.3	3458
UKÇ 45	2.85	2.3	26.4	3507
YFCÇ 10	3.09	3.4	26.1	3153
YFCÇ 20	3.05	3.4	27.7	3197
YFCÇ 30	3.00	3.2	28.2	3224
YFCÇ 40	2.98	3.3	28.8	3250
YFCÇ 45	2.96	3.3	29.6	3300
UKYFÇ 10	2.94	2.8	26.8	3555
UKYFÇ 20	2.91	3.2	28.7	3544
YFUKÇ 20	2.88	2.9	25.2	4092

(*) UKÇ = Uçucu Küllü Çimento
YFCÇ = Yüksek Fırın Cüruflu Çimento

UKYFÇ 10 = % 10 UK + % 10 YFC
UKYFÇ 20 = % 10 UK + % 20 YFC
YFUKÇ 20 = % 10 YFC + % 20 UK

Öğütme süreleri öğütücünün belirli zaman aralıklarında durdurulup çimentoya TS EN 196-6 standardına göre Blaine deneyi yapılarak kontrol edilmiştir (TSE, 2002a). Bu işlem değişik zaman aralıklarında yapılarak en uygun öğütme süresi belirlenmiştir. Ayrıca çimentoların tane dağılımını belirlemek için elek analizi yapılmıştır. Üretilen çimentoların kıvam suyu, priz süreleri ve hacim genleşmeleri TS EN 196-3 standardına uygun olarak belirlenmiştir (TSE, 2002b). Hazırlanan çimento pastaları üzerinde Vicat ve Le Chatelier hacim genleşmesi deneyleri yapılmıştır. Buradan elde edilen priz süresi ve genleşme sonuçları çimento çeşidine göre aşağıda Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3 Üretilen Çimentoların Kıvam Suyu, Priz Süreleri ve Hacim Genleşmeleri.

Çimento Kodu	Öğütme Süresi (dk)	Normal Kıvam (%)	Priz Başlama (s:dk)	Priz Sonu (s:dk)	Hacim Genleşmesi (mm)
CEM I 42.5	80	25	3:00	5:00	2
UKÇ 10	70	24	2:45	4:45	3
UKÇ 20	65	25	3:15	5:00	3
UKÇ 30	62	25	3:30	5:15	4
UKÇ 40	59	26	4:00	5:30	6
UKÇ 45	57	26	4:15	6:00	5
YFCÇ 10	75	25	3:15	5:15	3
YFCÇ 20	72	24	3:30	5:30	5
YFCÇ 30	66	24	4:00	5:30	4
YFCÇ 40	65	25	4:30	5:45	4
YFCÇ 45	62	25	4:45	6:00	3
UKYFÇ 10	75	25	3.30	5:15	3
UKYFÇ 20	75	25	4:00	5:45	3
YFUKÇ 20	70	24	3:30	5:45	4

Fiziksel özelikleri belirlenen katkılı çimentolar ile TS EN 196-1 standardına uygun şekilde 4x4x16 cm boyutlarında prizmatik harç numuneleri hazırlanmıştır (TSE, 2002c). Harç numunelerinde kum olarak Set Çimento Fabrikası üretimi standart Rilem CEN kumu kullanılmıştır. Hazırlanan harç numuneleri 2, 7, 28 ve 180 gün süreyle 20±1°C sıcaklıkta kirece doygun kür havuzunda saklanmıştır. Deney günü gelen harç numuneleri üzerinde eğilme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır (Topçu, 2006).

Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Fiziksel Özelik Deneylerinin Değerlendirilmesi

Farklı katkı tipi ve oranlarında üretilen çimentoların fiziksel özelikleri ve öğütme süreleri Çizelge 2 ve 3'te verilmişti. Çimentoların incelikleri katkı tipine göre 3158 ile 4092 cm^2/gr arasında değişmiştir. İnceliğin yüksek olması dayanımı yükseltmekle birlikte çimentoların su gereksinimini artırmaktadır. Aynı tane boyutlarında öğütücüye yüklenen hammaddeler bir arada öğütülmüştür. UK kullanılarak üretilen çimentoların incelikleri yüksek fırın cüruflu çimentolara göre daha yüksek çıkmıştır. Bunun nedeni olarak YFC'nun UK'e oranla daha sert bir malzeme olduğu düşünülmektedir. Tane dağılımına bakıldığında katkı oranı arttıkça 90 μ'luk elek üstünde kalan çimento

miktarında ciddi bir değişiklik olmamıştır. Ancak 45 μ'luk elek üstü malzemeler değerlendirildiğinde katkılı çimentoların daha iri taneli olduğu görülmüştür. Birlikte öğütülen çimentodaki klinker fazının öğütülmesinin katkı fazına göre daha zor olması tane dağılımını irileştirmiştir (Turanlı ve Uzal, 2005).

Çimentoların özgül ağırlık, priz ve öğütme süreleri Çizelge 3'te daha önce verilmişti. Kullanılan katkı miktarındaki artışa bağlı olarak özgül ağırlıklar azalmıştır. Özgül ağırlığı 3.12 olan CEM I 42.5 çimentosunun özgül ağırlığı % 45 UK katkılı UKÇ 45 çimentosunda 2.85'e inmiştir. UK'den daha yüksek özgül ağırlığa sahip olan yüksek fırın cüruflu çimentolarda ise özgül ağırlık YFCÇ 10 çimentosunda 3.09 olurken YFCÇ 45 çimentosunda 2.96 olmuştur. Sonuçlar incelendiğinde UK ve YFC katkılı çimentoların özgül ağırlıklarının birbirine yakın çıktığı görülmüştür.

Öğütme süreleri incelendiğinde UK katkılı çimentoların daha kısa sürede üretildiği görülmüştür. Referans olarak alınan CEM I 42.5 çimentosuna göre UK'lü çimentolar katkı miktarına bağlı olarak % 13 ile % 28 arasında değişen oranlarda daha kısa sürede elde edilmiştir. UKÇ 10 çimentosunun diğer % 10 katkılı çimentolara göre daha kısa sürede öğütülmesinin nedeni öğütücü girişindeki tane boyutunun diğer katkılara göre daha az olmasıdır. Öğütme süresindeki azalmayı en az etkileyen katkı çeşidiyse YFC olmuştur. Diğer çimentolara göre daha düşük incelikte olması ve daha uzun süre öğütülmesi malzemenin sertliğinden kaynaklanmaktadır.

Traslı çimentolara kıyasla katkı miktarındaki artışa bağlı olarak normal kıvam suyunun UK'lü ve yüksek fırın cüruflu çimentolarda azaldığı görülmüştür. Özellikle normal kıvam suyu % 24 olan UKÇ 10, YFCÇ 20, YFCÇ 30 ve YFUKÇ 20 çimentoları daha düşük kıvam suyuna gerek duymuştur. UK ve YFC'nun çimento normal kıvam suyunu düşürmesi küresel tane yapısının hamur içindeki sürtünme kuvvetlerini azaltmasından kaynaklanmaktadır (Topçu ve Canbaz, 2001).

Çimentoların priz başlama ve sona erme süreleri TS EN 196-3'e göre Vicat deneyi ile belirlenmiştir. Çizelge 2 incelendiğinde priz sürelerinin genelde katkı miktarındaki artışa bağlı olarak artığı görülmektedir. UKÇ 10 çimentosunun priz başlama süresi referans çimentosuna göre % 9 oranında azalırken UKÇ 45 çimentosunda % 40 oranında artmıştır. Priz sona erme süreleri ise referans çimentosuna göre % 5 ile % 20 arasında değişen oranlarda katkı tipine göre artmıştır. UK çimentoların priz sürelerindeki gecikme açısından YFC'na oranla daha az etkili olmuştur.

Çimentoda bulunan fazla miktarda MgO ve CaO çimento hamurunda zamanla genleşmeye yol açar. Bu genleşmeler beton içerisinde parazit gerilmeler oluşturduğundan zamanla çatlama ve hasarlara neden olur. Çimentodan kaynaklanan hacim genleşmelerini belirlemek için Le Chatelier deneyi yapılmış ve sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir. Sonuçlardan hacim genleşmelerinin 2-6 mm arasında değiştiği ve TS EN 196-3'te belirtilen 10 mm sınır değerinden düşük çıktığı görülmüştür.

Mekanik Özelik Deneylerinin Değerlendirilmesi

Eğilmede Çekme Dayanımı Deney Sonuçları

Fiziksel özelikleri belirlenen katkılı çimentolar ile TS EN 196-1 standardına uygun şekilde 4x4x16 cm boyutlarında prizmatik harç numuneleri hazırlanmıştır (TSE, 2002c). Harç numunelerinde kum olarak Set Çimento Fabrikası üretimi standart Rilem CEN

kumu kullanılmıştır. Hazırlanan harç numuneleri 2, 7, 28 ve 180 gün süreyle 20±1°C sıcaklıkta kirece doygun kür havuzunda saklanmıştır. Deney günü gelen harç numuneleri üzerinde eğilme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır (Topçu, 2006). TS 24 yerine yürürlüğe giren TS EN 196 çimento standardında eğilme dayanımları uygunluk değerlendirmesinde dikkate almamaktadır ancak mekanik bir özelik olduğu için eğilme deneyi sonuçları Çizelge 4'te sunulmuştur.

Çizelge 4 Katkılı Çimentoların Eğilmede Çekme Dayanımları.

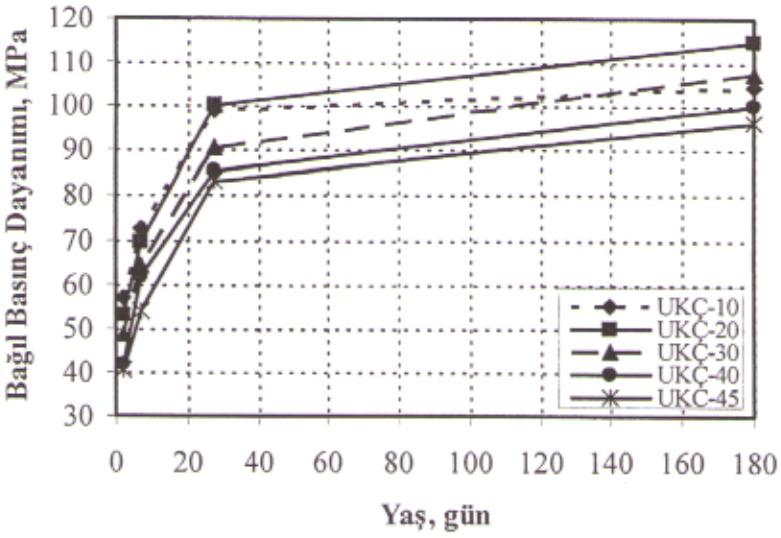
Çimento Kodu	Eğilme Dayanımı, MPa			
	2 Gün	7 Gün	28 Gün	180 Gün
CEM I 42.5	3.79	6.06	6.85	7.11
UKÇ 10	3.16	5.66	5.97	7.04
UKÇ 20	3.15	5.40	6.16	8.08
UKÇ 30	3.05	5.24	6.06	8.66
UKÇ 40	2.63	4.84	5.93	7.95
UKÇ 45	2.49	4.08	5.64	6.81
YFCÇ 10	3.71	5.90	6.22	8.04
YFCÇ 20	3.66	5.71	6.31	8.11
YFCÇ 30	2.76	5.48	6.18	8.63
YFCÇ 40	2.41	5.25	5.34	7.69
YFCÇ 45	2.39	4.91	5.11	7.56
UKYFÇ 10	2.79	5.53	7.83	8.54
UKYFÇ 20	2.49	4.97	7.51	8.14
YFUKÇ 20	3.29	5.18	7.26	8.07

Genel olarak erken yaşlarda katkı miktarındaki artışa bağlı olarak eğilme dayanımlarının azaldığı görülmektedir. UKÇ ve YFCÇ tipi çimentolarda 28. günde eğilme dayanımları referans çimentosunun altında kalırken; 180. günde kullanılan puzolanik katkıların $Ca(OH)_2$'yi bağlamasıyla dayanımlar % 30 katkı oranına kadar referans çimentosunun üzerinde çıkmıştır. Bu sonuçlardan ileri yaşlarda çimentoda kullanılan mineral katkının eğilme dayanımını olumlu etkilediği sonucuna varılmıştır.

Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

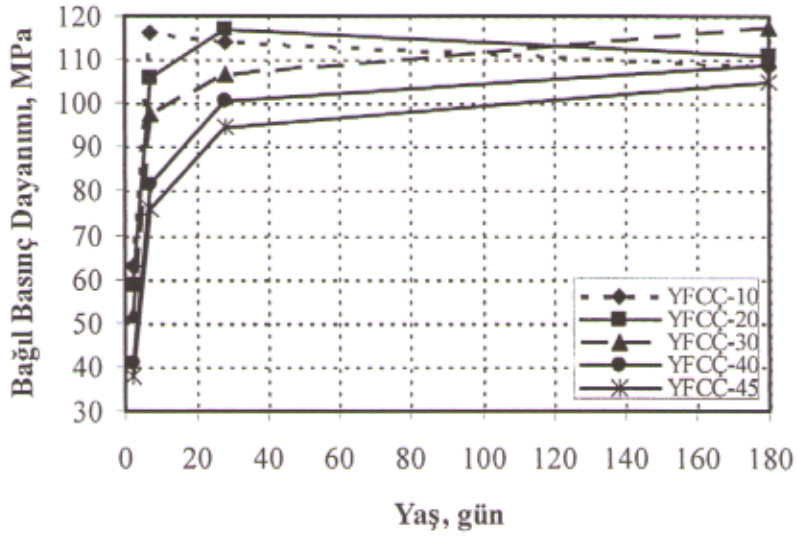
Eğilme deneyi sonunda iki ayrı parçaya ayrılan harç numuneleri üzerinde basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. UK katkılı çimentoların farklı numune yaşları için bağıl basınç dayanımları Şekil 1'de verilmiştir. Deney sonuçlarından çimentoların 2 günlük erken dayanımlarının CEM I 42.5 çimentosuna göre yarı yarıya azaldığı görülmüştür. Özellikle % 40 ve % 45 UK katkılı UKÇ 40 ve UKÇ 45 cinsi çimentoların 2 günlük bağıl basınç dayanımları klinker fazının azalması nedeniyle % 40'a kadar düşmüştür.

Harç numunelerinin 7 günlük dayanımları incelendiğinde % 30 katkı oranına kadar bağıl basınç dayanımlarının % 70 oranında kaldığı görülmektedir. Bu sonuçlardan UK'ün erken yaşlardaki yavaş hidratasyonu nedeniyle dayanım kazanım sürecini yavaşlattığı düşünülmektedir. Harçların 28 günlük basınç dayanımlarında ise UKÇ 20 çimentosu referans çimentosuyla aynı performansı göstermiştir. Puzolanik reaksiyon etkisiyle 180 gün sonunda % 40 UK katkı oranına kadar tüm çimentoların bağıl basınç dayanımlarının CEM I 42.5 çimentosunun üzerinde olduğu görülmüştür.



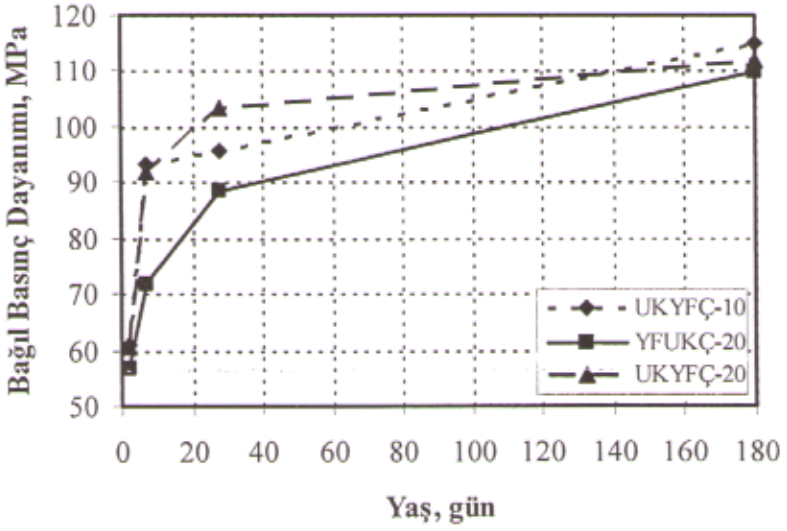
Şekil 1 UK katkılı çimentoların bağıl basınç dayanımlarının yaşla değişimi.

YFC katkılı çimentoların farklı numune yaşları için basınç dayanımları Şekil 2'de verilmiştir. Katkılı çimentoların 2 günlük erken dayanımlarının CEM I 42.5 çimentosuna göre YFC için de yarı yarıya azaldığı görülmüştür. Bağıl basınç dayanımları % 40 ile 70 arasında değişmiştir. Bu sonuçlardan UK katkısının erken yaş dayanımları açısından UK'e göre daha iyi performans gösterdiği sonucuna varılmıştır. YFC'lu harç numunelerinin 7 günlük dayanımları incelendiğinde % 30 katkı oranına kadar bağıl basınç dayanımlarının CEM I 42.5 çimentosundan daha yüksek çıktığı görülmüştür. 28 günlük basınç dayanımlarında ise YFCÇ 45 çimentosu dışında tüm yüksek fırın cüruflu çimentoların bağıl dayanımlarının % 101 ile % 119 arasında çıktığı görülmüştür. Puzolanik reaksiyon etkisiyle 180 gün sonunda YFCÇ 30 çimentosu % 119 bağıl dayanımla en iyi uzun dönem basınç dayanımı performansını göstermiştir. Bu sonuçlardan YFC'nun sahip olduğu puzolanik aktiviteye bağlı olarak ileri yaş çimento dayanımlarında UK'den daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 2 YFC katkılı çimentoların bağıl basınç dayanımlarının yaşla değişimi.

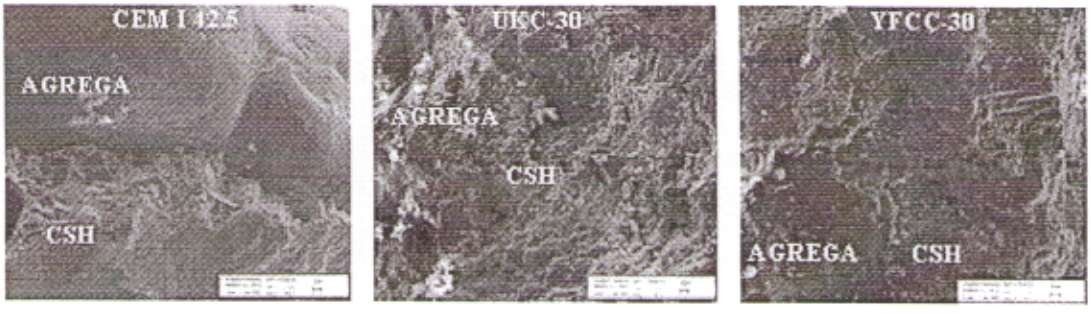
UK ve YFC katkılı çimentoların referans çimentosuyla karşılaştırıldığında dayanım, fiziksel özelik ve kullanılabilirlik açısından en uygun katkı oranının % 20 ve % 30 olduğu sonucuna varılmıştır. Bu amaçla ikili kompozisyonda % 20 ve % 30 UK ve YFC katkılı çimentolar üretilmiş ve basınç dayanımı sonuçları Şekil 3'te verilmiştir. İkili kompozisyonda üretilen katkılı çimentoların 2 günlük erken bağıl basınç dayanımlarının % 57 ile % 62 arasında değiştiği görülmüştür. Katkı olarak % 10 UK ve % 10 YFC kullanılan UKYFÇ-10 çimentosuyla, % 10 UK ve % 20 YFC içeren UKYFÇ 20 çimentolarının 7 günlük bağıl basınç dayanımları % 93 oranında çıkmıştır. Harçların 28 günlük basınç dayanımlarında ise en iyi bağıl dayanım % 104 ile UKYFÇ 20 çimentosunda elde edilmiştir. İleri yaş dayanımları incelendiğinde puzolanik reaksiyon etkisiyle 180 gün sonunda her üç tip kompoze çimentonun bağıl dayanımlarının % 110 oranında çıktığı görülmüştür. Bununla birlikte 28. günde % 89 bağıl dayanım veren YFUKÇ 20 çimentosu hızlı bir dayanım artışı göstererek 180 gün sonunda UKYFÇ 20 çimentosuna yakın bağıl dayanım sonucu verdiği görülmüştür.



Şekil 3 İkili kompozisyon çimentoların bağıl basınç dayanımlarının yaşla değişimi.

Mikroyapı İncelemeleri

Katkılı çimentolarla üretilen 180 günlük harç numuneleri üzerinde taramalı elektron mikroskobuyla (SEM) mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Burada harç numunelerinde çimento katkı tipine bağlı olarak iç yapının nasıl değişim gösterdiği belirlenmiştir. Şekil 4a'da CEM I 42.5 çimentosunun 450x büyütmedeki iç yapısında CSH jellerinin agrega tanesini sarması görülmektedir. Şekle göre agrega tanesinin bir bölümü CSH jeliyle sarılı iken diğer bölümü boşlukludur. UKÇ 30 çimentosunun mikroyapısı incelendiğinde (Şekil 4b) agrega tanesi çevresinin $Ca(OH)_2$ ile UK arasındaki puzolanik reaksiyon sonucu oluşan ilave hidratasyon ürünleriyle sıkı bir biçimde sarıldığı görülmektedir. Benzer şekilde Şekil 4c'de YFCÇ 30 çimentosunun harç yapısında 180 gün sonunda puzolanik reaksiyon etkisiyle boşluksuz bir bağ oluşturduğu açık bir şekilde görülmektedir. Oluşan boşluksuz yapı nedeniyle CEM I 42.5 çimentosuna oranla UK ve YFC katkılı çimentoların mekanik dayanımlarının daha yüksek çıkması içyapı incelemeleriyle de desteklenmiştir. İç yapı resimlerinden görüleceği gibi ileri yaşlarda UK ve YFC katkısı çimento esaslı kompozitlerin daha boşluksuz rijit ve dayanıklı olmasını sağlamaktadır.



(a) (b) (c)

Şekil 4 180 günlük harçların 450 x büyütmede agrega bağ yapısı

Sonuç ve Öneriler

Yapılan çalışmada uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun çimento teknolojisinde değerlendirilmesi araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan katkılar ülkemizde bol miktarda bulunmaktadır. Elde edilen sonuçlardan çevreye zararı olan endüstriyel atıkların çimento endüstrisinde katkı malzemesi olarak değerlendirilebileceği görülmüştür. İşlenebilirlik açısından UK ve YFC'nun klinker yerine % 30 oranında kullanılmasıyla normal kıvam suyu referans çimentosuna göre % 8 daha düşük çıkmıştır. Özellikle ileri yaşlarda YFC ve UK'ün bir arada kullanılmasıyla yüksek dayanımlı betonların üretilebileceği deney sonuçlarından elde edilmiştir. Mikroyapı incelemelerine bakıldığında 180 gün sonunda katkılı çimentoların içyapısının puzolanik reaksiyon sonucu ortaya çıkan CSH jelleriyle daha dolu bir yapıya dönüştüğü görülmüştür.

Sonuç olarak Avrupa'da üretilen çimentoların çoğunluğunu oluşturan katkılı çimentoların kullanımı ülkemizde de yaygınlaştırılmalıdır. Endüstriyel atıkların çimentoda kullanımı ile hem ekonomik hemde çevreye daha az zarar veren çevreci çimento üretilebilecektir. Günümüzde sürdürülebilir yapıların üretimi için dayanım dışında kalıcılıkta önemli bir parametredir. Yapılan çalışmada fiziksel ve mekanik uygunluk açısından değerlendirilen katkılı çimentoların ayrıca kalıcılık açısından da incelenmesi yararlı olacaktır. Katkılı çimentoların beton kalıcılığı üzerindeki olumlu etkileri, yapıların sorunsuz bir şekilde yıllarca hizmet etmesini sağlayacaktır.

Kaynaklar

Topçu, İ.B., Karakurt, C. (2007) Effects of different ındustrial wastes and natural pozzolans on cement properties. TÇMB, 3rd International Symposium Sustainability in Cement and Concrete, Sheraton Hotel, İstanbul, pp. 179-189.

The Freedonia Group (2006), World Cement to 2010. Research Report. USA.

Canpolat, F., Yılmaz, K., Köse, M.M., Sümer, M., Yurdusev, M.A. (2004) Use of zeolite, coal bottom ash and fly ash as replacement materials in cement production. Cement and Concrete Research,Vol. 34, No. 5, pp. 731-735,

Devlet Planlama Teşkilatı (2000) Taş ve Toprağa Dayalı Ürünler Sanayi ÖİK Raporu, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı. Ankara.

Canpolat, F., Yılmaz, K., Sümer, M., Uysal, M. (2005) Zeolit katkılı çimentoların özeliklerinin incelenmesi. Altıncı Ulusal Beton Kongresi, Bildiriler Kitabı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, s. 63-71.

Yeğinobalı, A., Ertün,T. (2004) Çimentoda Yeni Standartlar ve Mineral Katkılar. TÇMB Ar-Ge, Y.04.01, Ankara, Türkiye.

Collepardi, M. (2006) The New Concrete. Grafiche Tintoretto, Italy.

Aydın, S., Yazıcı, H., Yiğiter, H., Baradan, B. (2007) Sulfric acid resistance of high volume fly ash concrete. Building and Environment, Vol. 42, pp. 717-721.

Camacho, R.E., Afif, R.U. (2002) Importance of using the natural pozzolans on concrete durability. Cement and Concrete Research, Vol. 32, pp.1851-1858.

Topçu, İ.B. (2006) Yapı Malzemeleri ve Beton. Uğur Ofset, Eskişehir, Türkiye.

Poon, C.S., Lam, L., Kou, S.C., Lin, Z.S. (1999) A study on the hydration rate of natural zeolite blended cement pastes. Cement and Concrete Research, Vol. 13, No. 8, pp. 427-432

Massazza, F. (1997) Pozzolans and durability of concrete. 1. International Symposium on Mineral Admixtures in Cement. İstanbul, s. 1-22.

Monterio, P.J.M., Wang, K., Sposito, G., Santos, M.C. (1997). Influence of mineral admixtures on the alkali-aggregate reaction. Cement and Concrete Research, Vol. 27, No. 12, pp. 1899-1909.

Türk Standartları Enstitüsü (2002) TS EN 196-6, Çimento Deney Yöntemleri İncelik Tayini. Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü (2002) TS EN 196-3, Çimento Deney Yöntemleri Priz Süresi Tayini. Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü (2002) TS EN 196-1, Çimento Deney Yöntemleri Dayanım Tayini. Ankara.

Topçu, İ.B. (2006) Beton. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Eskişehir Şubesi Yayını, No. 2, Eskişehir.

Turanlı, L., Uzal, B. (2005) Effect of large amounts of natural pozzolan addition on properties of blended cements. Cement and Concrete Research, Vol. 35, No. 6, pp. 1106-1111.

Topçu, İ.B., Canbaz, M. (2001) Uçucu kül kullanımının betondaki etkileri. Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt. 14, No. 1, s.11-21.

Fuat DEMİR, Armağan KORKMAZ, Mustafa GENÇOĞLU, Hamide TEKELİ

Bildiri 29 **Beton Sınıfının Yapı Performans Seviyesine Etkisi** 333
Taner UÇAR, Mutlu SEÇER

Bildiri 30 **Kireçtaşı ve Cam Tozunun Briket Yapımında Kullanılması** 343
Paki TURGUT

Bildiri 31 **Çelik Tel Donatılı Betonların Kullanılabilirlik ve Taşıma Gücü Sınır Durumlarına Göre Tasarımı** 353
Muhsin YALÇIN, Canan TAŞDEMİR, İsmail GÖKALP, Hakan EKİM, Mehmet YERLİKAYA

Bildiri 32 **Çelik Tel ve Matris Dayanımlarının Betonların Kırılma Enerjisine Ortak Etkisi** 363
Yuşa ŞAHİN, Fuat KÖKSAL

Bildiri 33 **Karma Lifli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekanik Davranışına Agrega Oranlarının Etkisi** 373
Cengiz ŞENGÜL, Mehmet Ali TAŞDEMİR, Naci YILMAZ, Giray ARSLAN

Bildiri 44 **Uzun Süre Karıştırmaya Maruz Uçucu Kül ve Silis Dumanı İçeren Betonlarda Akışkanlaştırıcı İle Kıvam İyileştirmesi** 383
Caner ARSLANTÜRK, Şakir ERDOĞDU, Şirin KURBETCİ

Bildiri 35 **Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufunun Çimento Üretiminde Katkı Olarak Kullanımı** 395
İlker Bekir TOPÇU, Cenk KARAKURT

Bildiri 36 **Sugözü Uçucu Külünün Beton Katkısı Olarak Kullanılabilirliği** 405
Okan KARAHAN, Cengiz Duran ATİŞ

Bildiri 37 **Köprü ve Tünel Güçlendirme İnşaatlarında KYB Kullanımı** 417
Engin ÇİÇEKLİYURT, Bekir Yılmaz PEKMEZCİ

Bildiri 38 **Pompalanabilir C 100/115 Sınıfı Beton Tasarımı** 427
Mehmet MUTLU, Mehmet GENÇMEHMETOĞLU, Erbil ÖZTEKİN

Bildiri 39 **Karo Mozaik Döşeme Kaplama Plak Üretiminde Atık Mermer Çamurunun Kullanılabilirliği** 437
Kürşat Esat ALYAMAÇ, Ragıp İNCE

Bildiri 40 **Cem III Tipi Çimentoların Betonda Kullanımının Teknik ve Ekonomik Yönlerinin Değerlendirilmesi** 447
Oktay KUTLU, Meriç DEMİRİZ

Bildiri 41 **Yüksek Sıcaklık Uygulama Süresinin Harç Özelliklerine Etkisi** 455
İlker Bekir TOPÇU, Abdullah DEMİR

Bildiri 42 **Barit Agregasıyla Üretilen Ağır Bir Betonun Özelikleri** 465
Yasemin AKGÜN, Ayşegül DURMUŞ, Ahmet DURMUŞ

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI

7. ULUSAL BETON KONGRESİ

Prof. Dr. Mehmet UYAN ANISINA

BETON TEKNOLOJİSİNDE GELİŞMELER VE UYGULAMALAR

28-29-30 KASIM 2007 İTÜ SÜLEYMAN DEMİREL KÜLTÜR MERKEZİ

DÜZENLEYEN:
TMMOB İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI
İSTANBUL ŞUBESİ