

ARAŞTIRMA MAKALESİ/RESEARCH ARTICLE

YÜKSEK ORANDA UÇUCU KÜL İÇEREN BETONUN RÖTRESİ

Cengiz Duran ATIŞ^{1,2}, Kubilay AKÇAÖZOĞLU¹

ÖZ

Bu çalışmada, yüksek oranda uçucu kül içeren betonun rötre özelliğini ölçmek ve değerlendirmek üzere bir laboratuvar araştırması yürütülmüştür. Çimento, ağırlık bazında, uçucu kül ile farklı yer-değiştirme oranlarında ikame edilmiş ve çeşitli su-bağlayıcı malzeme oranları için beton karışımları hazırlanmıştır. Betonların işlenebilirliği bir süper akışkanlaştırıcı kullanımı ile sağlanmıştır. Uçucu kül içeren betonların rötre değerleri sadece çimento içeren betonun rötresi ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar farklı oranda uçucu kül içeren betonlar arasında da yapılmıştır. Karşılaştırma sonuçları, düşük su-bağlayıcı malzeme oranı ile birlikte çimentonun kısmen uçucu kül ile ikame edilmesinin beton rötre değerlerinde % 55 e kadar azalmaya sebep olduğunu göstermiştir. Süper akışkanlaştırıcı kullanılarak üretilen betonlar, bu katkı malzemesi kullanılmadan üretilen betonların rötresinden daha yüksek rötre değerleri göstermişlerdir. Uygun bir şekilde dizayn edildiği takdirde uçucu kül içeren betonun, rötre birim kısalmalarından sakınılması gereken geniş endüstriyel saha betonları ve özellikle beton yol döşemeleri yapımı gibi alanlarda kullanılmaya uygun olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Rötre, Yüksek oranda uçucu kül içeren beton, Silindirlenebilen beton, süper akışkanlaştırıcı.

DRYING SHRINKAGE OF HIGH VOLUME FLY ASH CONCRETE

ABSTRACT

In this work, a laboratory investigation was carried out to evaluate the shrinkage properties of concrete containing high volumes of fly ash. Concrete mixtures, having different replacement level of fly ash in mass basis and with various water-cementitious material ratios were prepared. A superplasticizer was also employed to maintain the workability of concrete. Shrinkage of concrete containing fly ash was compared with that of the concrete containing no fly ash. Comparison was also made within fly ash concretes. The results of comparison showed that using fly ash as cement replacement in concrete with low water-cementitious material ratio resulted in a reduction on the shrinkage values up to 55 percent. Superplasticised concrete showed higher shrinkage values compared to concrete with no superplasticizer. Fly ash concrete proves that when it is properly designed, it can be used in the field where shrinkage should be avoided such as large industrial floors and concrete road construction in particular.

Key Words: Drying shrinkage, High volume fly ash concrete, Rcc, Superplasticizer.

1. GİRİŞ

Bilindiği gibi ülkemizde uçucu kül olarak bilinen fly ash, elektrik üreten termik santrallerde toz haline getirilmiş taş kömürünün yada linyitin yakıt olarak kullanılmasından sonra ikincil bir ürün olarak elde edilir. Termik santral fırınlarında yanan öğütülmüş yakıttan dolayı oluşan küllerden bir kısmı sıcaklığın etkisi ile yüksek bacalardan dışarı doğru uçuşurlar. Uçucu kül

olarak adlandırılan bu atık madde mekanik filtreler yada elektronik toplayıcılar vasıtasıyla toplanır. Böylece, uçucu küllerin bacadan çıkıp civar bölgeleri kirletmesine engel olunur. Uçucu külün puzolanik özelliğe sahip olduğu bilinmektedir (Postacioğlu, 1986; Mehta, 1986; Neville, 1995; Erdoğan, 1997). Bu özellik nedeni ile son zamanlarda uçucu küller çimento içine katkı malzemesi olarak kullanılmakta ve beton üretiminde faydalanılmaktadır.

¹ Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Balcalı, Adana.

² Faks: 0322 338 6126; E-posta: cengiz@mail.cu.edu.tr.

Uçucu küller kimyasal ve minerolojik kompozisyonları ve CaO içeriklerine göre düşük ve yüksek kireç içerikli olmak üzere iki sınıfa ayrılmaktadır. ASTM C-618 (1991) ise düşük ve yüksek kireç içerikli uçucu küller sırasıyla F ve C sınıfı olarak ayırmaktadır.

Son zamanlarda, silindirelenebilen beton uygulaması ile yapılan yol kaplaması beton karışımında uçucu kül kullanımı oldukça yaygın bir hale gelmiştir. Uçucu külün bu şekilde kullanılması hem ekonomik olmakta hemde betonun işlenebilirlik, dayanım, rötre v.s. gibi bazı özelliklerini değiştirmektedir (Munn, 1984; Haque vd. 1984; Hansen ve Reinhardt, 1991; Nanni vd., 1996; Delagrave vd., 1997; Pittman ve Ragan, 1998). Ayrıca, endüstriyel atık bir malzeme olan uçucu külün depolanma sorunu da böylelikle çözülmektedir (Mehta, 1983; Malhoira, 1993; Erdoğan, 1997).

Beton, yol kaplaması yapımında kullanıldığı zaman, rötreten dolayı oluşan hacim değişimleri oldukça önemli olmaktadır. Çünkü, pratikte taneli malzemeden oluşan ve yüksek sürtünme sağlayan alt-temel üzerine oturan, beton yol kaplaması bünyesinde rötre kısılmasından dolayı oluşacak hareket kısmen yada tamamen tutulu olmaktaki dolayısıyla çekme gerilmesi oluşmasına sebep olmaktadır. Bununla birlikte gerekli önlemler alınmamış, uygun aralıklarda derz bırakılmamış yada beton çelik ile donatılmamış ise çekme gerilmelerine maruz kalan beton yol kaplaması üzerinde yer yer rötre çatıkları oluşacaktır.

Ayrıca genellikle köprü kirişlerinin üretiminde kullanılan öngerilmeli betonda da rötre kısılmalarından dolayı öngerilme çeliklerinde bir gevşeme ve dolayısı ile öngerilme kayıpları oluşur (Lay, 1990). Bir yol kaplamasının alt ve üst kısımlarında oluşabilecek farklı rötrelerden ise kıvrılmadan dolayı beton bünyesinde çekme gerilmesi oluşur (Neville, 1995).

Uçucu kül içeren betonun sünmesi ve rötresini inceleyen Ghosh ve Timusk (1981) uçucu külün çimento-yu ikamesinin rötrede azalmaya sebep olduğunu bildirmiştir. Benzer sonuç Cripwell vd. (1984) ve Nelson vd. (1991) tarafından da rapor edilmiştir. İlave olarak, Teorenau ve Nicolescu (1982) uçucu kül ikame oranının artmasıyla rötrede azalma gösterdiğini rapor etmiştir. Ancak, Munday vd.'nin (1982) sonuçlarına göre ise uçucu kül ikamesinin bazı betonlarda rötreyi azalttığı bazı betonlarda ise artırdığı tesbit edilmiştir. Yuan ve Cook'un (1982) sonuçlarında uçucu kül içeren betonun rötresinin normal beton rötresinin mertebesinde olduğu bildirilmektedir.

Yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı, uçucu kül kullanımı ile üretilen betonun rötre değerinin hangi mertebede olduğunun bilinmesinde pratik açıdan faydalar bulunmaktadır. Bu çalışmada uçucu kül ve süper akışkanlaştırıcı kullanılarak muhtelif beton karışımları

hazırlanmıştır. Rötre ölçümünde kullanılmak üzere numuneler elde edilip, bu numuneler üzerinde rötre ölçümleri ilk bir kaç saatten başlayarak 180 güne kadar belli zaman aralıklarında yürütülmüştür.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Kullanılan Malzeme Özellikleri

Çimento: Bu çalışmada, TS19 (1992) ve BS12 (1996) standartlarına uygun normal Portland çimentosu (NPÇ) kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal bileşenleri ve fiziksel özellikleri Tablo 1-2 de verilmektedir.

Uçucu Kül: Araştırmada kullanılan uçucu kül, İngilterenin Drax termik santralinden elde edilmiş olup, kimyasal bileşenleri ve fiziksel özellikleri Tablo 1-2 de verilmektedir. Uçucu kül ASTM C-618'e (1991) göre düşük kireçli olup, F sınıfına düşmektedir. Uçucu küle ait tane boyutu dağılımı Tablo 3 te verilmektedir. Drax uçucu külü TS639 (1975) ve BS 3892 (1992) standartları ile uyumludur.

Agrega: Beton karışımında kullanılan agrega, kırılmamış-temiz, kuvarsitik doğal agrega olup, maksimum tane çapı 10mm, görünen özgül ağırlığı kum ve iri agrega için 2.65 gr/cm³ ve su emme kapasitesi kum için % 0.1, iri agrega için % 0.6 dir. Tablo 3 de elek analizi sonuçları verilen agreganın tane dağılımı İngiliz standardı, BS 812'ye (1991) göre M bölgesine düşmüş olup, betonda kullanılmaya uygundur.

Süperakışkanlaştırıcı: Betonlarda işlenebilirliğin sağlanması amacıyla özel seçilmiş süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Kullanılan süper akışkanlaştırıcı Sika'nın (1991) Sikament 10 adlı ürünü olup, sıvı halde ve yüksek dozlu kullanımda prizi geciktirmektedir. Süper akışkanlaştırıcı, tuz içeriği sıfıra yakın bir ürün olup, düşük alkaliye sahip formaldehidsiz suda eriyebilen bir polimerdir.

Tablo 1: Çimento ve Uçucu Külün Kimyasal Kompozisyonları

Kimyasal Kompozisyon	Çimento %	Uçucu Kül %
SiO ₂	20.77	50.2
Al ₂ O ₃	4.93	28.59
Fe ₂ O ₃	3.06	13.17
CaO	63.28	2.55
MgO	2.42	1.28
SO ₃	3.02	0.57
K ₂ O	0.7	2.39
Na ₂ O	0.28	0.98
Kızdırma Kaybı	0.81	2.85

Tablo 2: Çimento ve Uçucu Külün Fiziksel Özellikleri

Fiziksel Özellik	NPÇ	Drax
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	3.15	2.4
İncelik (45 mm elekten % kalan)	-	8.5
Özgül yüzey	3500 cm ² /g	3100 cm ² /g

Tablo 3. İnce ve Kaba Agrega ile Uçucu Kül Tane Boyutu Dağılımları.

Kum için			Uçucu Kül Tane Boyutu (µm)		% Geçen
Elek Boyutu (mm)	(%) Geçen	BS 812 Limitleri			
100	100	100	100		99,8
5	95,95	89-100	80		97,1
2,36	86,7	60-100	60		96,5
1,18	81,11	30-100	50		95,3
0,6	34,99	15-100	40		89,2
0,3	9,36	5-70	30		84,7
0,15	1	0-15	25		76,8
			20		66,3
			15		51,2
			10		43,1
			8		31,9
			6		25,4
			5		19,5
			4		12,3
			3		7,1
			2		6,2
			1,5		0,02

Çakıl için		
Elek Boyutu (mm)	(%) Geçen	BS 812 Limitleri
14	100	100
10	85,15	85-100
5	2	0-25
2,36	0,5	0,5

2.2. Beton Karışım Oranları

Bu çalışmada kullanılan kontrol karışımı minimum boşluk oranı kriterine göre dizayn edilmiştir (Cabrera ve Atis, 1999). NPC ile üretilen kontrol karışımının oranları çimento, kum ve çakıl için 1:1,5:3 olup, çimento miktarı 400 kg/m^3 tür. Rötire üzerindeki etkilerin araştırılması amacıyla üretilen beton karışımlarında uçucu küller çimentoyu %50 ve %70 oranlarında ikame etmiştir. Tablo 4 de, üretilen ve test edilen betonların adları ve karışımında kullanılan malzeme miktarları verilmektedir.

Burada M0, bağlayıcı olarak sadece NPC içeren beton olup, diğer karışımların üretiminde baz olarak kullanılmıştır. M1, M2, M3 ve M4 karışımları uçucu kül kullanımı ile üretilen betonlardır. M1 ve M2 karışımları, %70 ikame oranı ile, M3 ve M4 karışımları ise %50 ikame oranı ile üretilmiştir. M1 ve M3 karışımlarında süper akışkanlaştırıcı da kullanılmıştır.

Uçucu kül içeren M2 ve M4 karışımlarının optimum su bağlayıcı malzeme oranları Cabrera Sarsma Çökmesi (Cabrera ve Atis, 1999) adı verilen yöntemle tesbit edilmiştir. M2 ve M4 karışımları sıfır çökme değerine sahip olup silindirlenebilen beton olarakta bilinmektedirler. Sıfır çökmeye sahip betonlara süper akışkanlaştırıcı ilavesi ile işlenebilirlik kazandırılmaya çalışılmıştır. Değişik oranlarda akışkanlaştırıcı miktarları ile ön denemeler yapılmış olup, çok düşük su-çimento

Tablo 4. Bir Metre-Küp Beton için Karışım Oranları.

Karışım No.	Çimento (kg/m ³)	Uçucu Kül (kg/m ³)	Kum (kg/m ³)	Çakıl (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	S/(UK+C)	SA (Lt)	Ölçülen B. Ağırlık (kg/m ³)
M0	400	-	600	1200	220	0,55	-	2320
M1	120	280	600	1200	112	0,28	5,6	2340
M2	120	280	600	1200	116	0,29	-	2336
M3	200	200	600	1200	132	0,33	5,6	2380
M4	200	200	600	1200	120	0,3	-	2333

oranı, yüksek dozajda süper akışkanlaştırıcı ve yüksek oranda uçucu kül kullanımı nedeniyle akışkanlaştırıcının yeteneğini ve betonun işlenebilirliğini, çökme deneyi kullanabilecek şekilde kontrol etmek mümkün olmamıştır. Bu nedenle sarsma tablasını kullanmak uygun görülmüştür.

Üreticinin tavsiye ettiği maksimum dozajda süper akışkanlaştırıcı kullanılarak, bulunan optimum su-bağlayıcı malzeme oranları ile beton karışımı hazırlanıp (M1 ve M3), işlenebilirlikleri sarsma tablası ile ölçülmüştür. M1 ve M3 ün işlenebilirlikleri su-bağlayıcı malzeme oranları değiştirilerek M0 kontrol betonunun işlenebilirliğine yakın tutulmuştur. M0, M1, M3 karışımlarının işlenebilirliği, sarsma tablası ile ölçülmüş olup değeri 570-600mm arasında bulunmuştur.

Üretilen taze betonlarda kanama ve plastik rötire oluşmamış ve son priz zamanlarının 2-5 saat arasında olduğu tespit edilmiştir. Karışım sonunda ölçülen taze beton birim ağırlıkları Tablo 4 te verilmektedir.

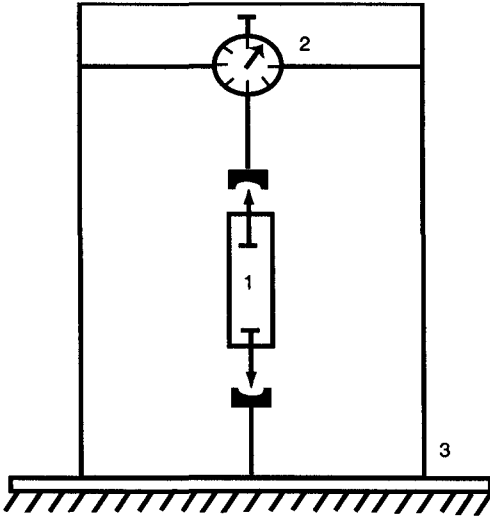
2.3. Numune Hazırlama ve Deneysel Düzenegi

Laboratuvar çalışmasında, 50x50x200mm boyutlarında olan beton prizmaların boy değişimleri, hashasiyeti 1/400 mm olan mekanik bir komparatör ile ölçülmüştür. Komparatörle ölçüm yapılmasını kolaylaştırmak için her bir numunenin iki ucuna da ağız oldukça yuvarlatılmış çelik çivi kalıplama esnasında yerleştirilmiş ve her bir beton karışımı için iki beton prizma numunesi hazırlanmıştır. Numuneler 24 saat sonra kalıptan çıkarılıp vakit kaybedilmeden sıcaklığı 20 °C derece olan ve %65 bağıl neme sahip kür odasına yerleştirilmiş ve rötire ölçümleri hemen başlatılmıştır.

Rötire için kullanılan numunenin görünüşü, mekanik komparatör ve bağlandığı çerçevesiyle birlikte Şekil 1 de verilmektedir. Rötire numuneleri kuruma ortamına yerleştirildikten hemen sonra ilk okumalar alınmıştır. İlk okuma anından itibaren 1 saat, 2 saat, 3 saat, 1 gün, 3 gün, 7 gün, 28 gün, 3 ay ve 6 ay sonunda okumalar alınmıştır. Rötire değerleri, belirlenen her bir zaman ve numune için alınan okumaların ilk okumadan çıkartılması ve sonucun da numune boyuna bölünmesiyle hesaplanmış ve bulunan birim boy değişimleri mikro-birim boy değişimine dönüştürülmüştür. Her bir zaman noktası için, iki adet numune kullanılmış olup, bu numunelere ait sonuçların ortalaması ise betonun rötiresi olarak alınmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Rötire beton içindeki çimento hamuru ve su-bağlayıcı malzeme oranı ile yakından ilgili olup, mertebesi esasen beton karışımı karakteristiğine ve NPC miktarı-



- 1- Örnek prizma iki ucuna çelik vida konulmuş
2- Ölçü skalası
3- Ölçü aletinin çerçevesi

Şekil 1. Rötre Ölçmede Kullanılan Aletin Prizma Örnek ile Birlikte Şeması.

na bağlıdır. Swamy ve Lambert (1986)'in de açıkça sergilediği gibi beton içindeki çimento miktarı arttıkça rötre artmakta ve su bağlayıcı-malzeme oranı azaldıkça rötre azalmaktadır.

Laboratuvar araştırmasında elde edilen rötre ölçüm sonuçları Şekil 2 ve 4 te grafik olarak sunulmaktadır. Çok düşük su-bağlayıcı oranı ve yüksek oranda uçucu kül ikamesi ile üretilen betonun NPC betonundan daha az rötre yaptığı Şekil 3 ve Şekil 4 ten görülebilir. Bu sonuç diğer yayınlanmış dökümanlarda verilen bulgular ile paralellik içindedir (Naik vd., 1995; Epri, 1993; Nelson vd., 1992; Sivasundaram vd., 1989; Torii ve Kawamura, 1989; Samarin vd., 1983; Yamota ve Hideaki, 1983).

Tablo 5 uçucu kül ikame oranları arasındaki farkın %20 olduğunu göstermektedir. Rötrelere arasındaki fark ise altı ay sonundaki rötre baz alındığında (Tablo 5 e bakınız) M1-M3 ve M2-M4 için sırasıyla %4.5 ve %10 dur. Şekil 2 den görüleceği gibi M1 ve M3 karışımları hemen hemen aynı rötre yapılmışlardır. Bu bulgu M2 ve M4 beton karışımları içinde geçerlidir. Yüzde yirmilik ikame farkına rağmen, uçucu kül ikame oranının değişiminin rötre değeri üzerindeki etkisini gösteren açık bir ilişki ve belirgin bir fark görülememiştir. İlk bakışta %70 oranında uçucu kül kullanımının %50 oranında uçucu kül kullanımına göre daha az rötre göstermesi beklenebilir. Ancak sonuçlar bu şekilde çıkmamış, bu iki oranın kullanımı ile üretilen betonlar birbirine yakın rötre değerleri göstermiştir. Bu sonuçların ise şu şekilde açıklanabileceği düşünülmektedir: Beton karışımlarında sadece su-çimento oranları göz önüne alındığında, karışımlar için Tablo 5 de verilen su-çimento oranları bulunur. İkame oranı arttıkça çimento miktarı azalmak-

ta dolayısıyla su-çimento oranında artmaktadır (Tablo 5 e bakınız). Bu nedenle su-çimento oranındaki bu artış çimento miktarının azalmasından dolayı kazanılan avantajı yok eden bir etmen olarak göz önüne alınabilir.

Karışımında süper akışkanlaştırıcı kullanılan yüksek oranda uçucu kül içeren betonun süper akışkanlaştırıcı kullanılmadan üretilen silindirlenebilen betondan daha yüksek rötre değeri gösterdiği yürütülen laboratuvar çalışması sonuçlarından gözlenmiştir (Şekil 3-4). Bu bulgu Brooks (1989) tarafından da rapor edilen araştırma bulgularını destekler yöndedir. Benzer bulguları elde eden Cabrera vd. (1993) süper akışkanlaştırıcıların su yüzey gerilimlerini düşürdüğünü dolayısıyla çimento hamurunda daha büyük rötre ve sünme birim uzamasına sebep olduğunu ifade etmiştir.

3.1. Önceki Çalışmalar ile Mukayese

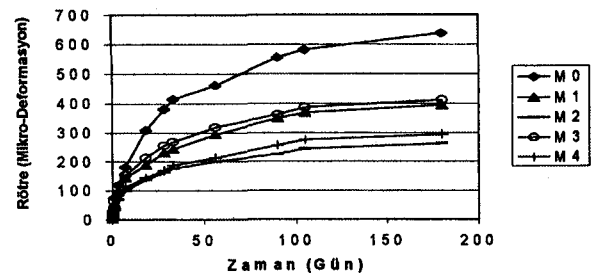
Bu bölümde diğer araştırmacıların sonuçları ile bu çalışmada bulunan sonuçların karşılaştırılması yapılmaktadır. Tablo 6 de sunulan bu çalışmaya ait sonuçlar, Tablo 7 te verilen Sivasundaram vd. (1989)'a ait olan sonuçlar ve Tablo 8 da verilen ve Epri (1993) dökümanlarında yayınlanan sonuçlar ile meritebe olarak paralellik göstermektedir. Basınç dayanımları 40-60 MPa olacak şekilde dizayn edilen ve işlenebilirlikleri süper akışkanlaştırıcı kullanılarak sağlanan betonların sünme ve rötre davranışı üzerinde çalışan Swamy ve Mahmud (1989) çimentoyu ağırlık bazında % 50 ikame oranında düşük kireçli uçucu kül ile ikame etmiş ve üzerinde çalıştığı betonların son rötre değerlerinin 400-500 mikrodeformasyon mertebesinde olduğu sonucuna varmıştır. Bildirilen rötre mertebesinin bu çalışma ile uyumlu olduğu söylenebilir. Tablo 9 de karşılaştırma yapılan kaynaklara ait beton karışım oranları verilmektedir.

4. SONUÇLAR

Elde edilen laboratuvar araştırması sonuçlarına ve yukarıda yapılan tartışmaya göre aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

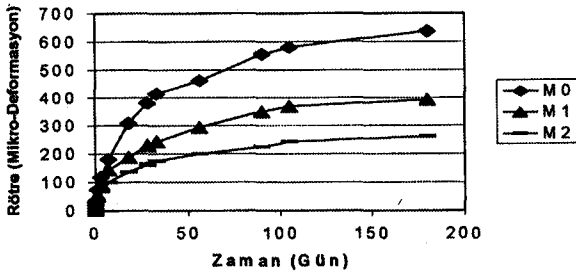
1. Su-bağlayıcı malzeme oranının çok küçük tutulmasıyla birlikte çimentonun uçucu kül ile kısmen ikame edilmesi rötre değerini azaltmaktadır.

Rötre-Zaman Grafiği



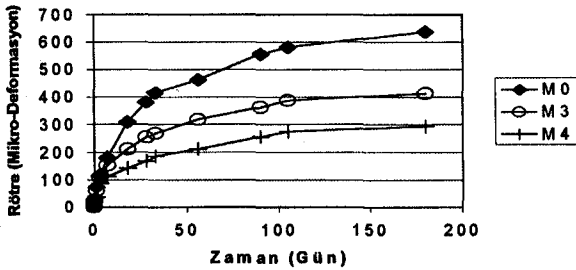
Şekil 2. Üretilen Betonlara ait Rötre-Zaman Grafiği.

Rötre-Zaman Grafiği



Şekil 3. M0, M1, M2 Betonlarına Ait Rötre-Zaman Grafiği (%70 İkame Oranı).

Rötre-Zaman Grafiği



Şekil 4. M0, M3, M4 Betonlarına Ait Rötre-Zaman Grafiği (%50 İkame Oranı).

Tablo 5. Uçucu Kül İkame Oranları ve Karışımlara Ait Su-Çimento Oranları.

	İkame Oranı	S/(Ç+UK)	S/Ç	Rötre 6 Ayda
M0	0	0.55	0.55	625
M1	70	0.28	0.93	394
M2	70	0.29	0.96	263
M3	50	0.33	0.66	412
M4	50	0.3	0.6	294

Tablo 6. Yüksek Oranda Uçucu Kül İçeren Beton ile NPC Betonunun Rötre Değerleri.

% 65 Bağıl nemli ve 20 °C de kür edilmiş					
Karışım No.	M0	M1	M2	M3	M4
Rötre 105 günde	581	369	244	388	275
Rötre 6 ayda	625	394	263	412	294

Tablo 7. Yüksek Oranda Uçucu Kül İçeren Beton ile NPC Betonunun Rötre Değerleri (Sivasundaram vd., 1989).

Karışım No.	Suda bir hafta kür edilmiş			Suda üç ay kür edilmiş		
	Ref.	Ash L	Ash S	Ref.	Ash L	Ash S
Rötre 112 günde	500	496	454	447	383	294
Rötre 6 ayda	600	560	530	475	410	330

Tablo 8. Yüksek Oranda Uçucu Kül İçeren Beton ile NPC Betonunun Rötre Değerleri (Epri Report, 1993).

Karışım No.	Suda bir hafta kür edilmiş		Suda üç ay kür edilmiş	
	Ep1	Ep13	Ep1	Ep13
Rötre 112 günde	380	444	355	333
Rötre 224 günde	418	468	411	369

Tablo 9. Rötre Değerleri Karşılaştırılan Kaynaklara Ait Beton Karışım Oranları.

Karışım No.	Çimento (kg/m ³)	Uçucu Kül (kg/m ³)	Kum (kg/m ³)	Çakıl (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	S/(UK+Ç)	SA (kg/m ³)	Hava Katkısı mL/m ³
Ep1	150	210	640	1195	120	0.33	4	300
Ep13	150	210	640	1195	120	0.33	2.5	325
Ref.	365	-	625	1290	115	0.31	9.3	590
Ash L	155	214	625	1290	115	0.31	5.5	820
Ash S	155	214	625	1290	115	0.31	5	525
Swamy	233	233	660	1035	148	0.32	8.4	-

- Karışımında süper akışkanlaştırıcı bulunan betonlar süper akışkanlaştırıcı kullanılmayan silindirlenebilen betona göre daha fazla rötre yapmaktadır.
- Rötre yol kaplamasında ve döşeme betonlarında çatlakların oluşmasına sebep olan önemli bir etmen olduğundan dolayı, silindirlenebilen ve yüksek oranda uçucu kül ihtiva eden betonun düşük rötresi özellikle beton yol kaplamasında oluşacak yansıma çatlaklarını önlemede faydalı olacaktır.
- Beton yol inşaatı sırasında bırakılması zorunlu olan derzlerin sayısı, çimentonun kısmen uçucu kül ile ikamesi ve çok düşük su-bağlayıcı oranı nedeniyle düşük rötre değerine sahip olan silindirlenebilen ve yüksek oranda uçucu kül içeren beton kullanımı ile azaltılabilir.

KAYNAKÇA

- ASTM C-618. (1991). Standard Specification for Fly Ash and Raw Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete, *Annual Book of ASTM Standards*.
- British Standard Institution, BS 812, Part 1. (1991). *Testing Aggregates, Sampling, Shape, Size and Classification*, London.
- British Standart Institution, BS12. (1996). *Specification for Portland Cement*, London.
- British Standart Institution, BS3892. (1992). *Specification for Pulverized-Fuel Ash for Use with Portland Cement*, London.

- Brooks, J. J. (1989). Influence of Mix proportions, Plasticizers and Superplasticizers on Creep and Drying Shrinkage of Concrete. *Magazine of Concrete Research*, 41(148), 145-153.
- Cabrera, J. G., Brooks, J. J. ve Berenjian, J. (1993). The Effect of Creep and Drying Shrinkage on the Micromorphology of Cement Paste Containing Superplasticizers, Creep and Shrinkage of Concrete. *Proc. of the 5th Int. RILEM Symp.*, ss.115-120.
- Cabrera, J., G. ve Atis, C. D. (1999). Design and Properties of High-Volume Fly Ash High Performance Concrete. *Proc. of 2nd Int. Conf. on High-Performance Concrete, Performance and Quality of Concrete Structures*, ACI SP-186, 1-4 Haziran, Hotel Serrano, Gramado - RS - Brazilya.
- Cripwell, J. B., Brooks, J. J. ve Wainwright, P. J. (1984). Time Dependent Properties of Concrete Containing Pulverised Fuel Ash and A Superplasticizer. *Proc. of the 2nd Int. Conf. on Ash Technology and Marketing, Barbican Centre, London*, 16-21, Eylül, ss.115-120.
- Delagrave, A., Marchand, J., Pigeon, M. ve Boisvert, J. (1997). Deicer Salt Scaling Resistance of Roller Compacted Concrete Pavements. *ACI Materials Journal*, 96(2), 164-169.
- Epri Report. (1993). Investigation of HVFA Concrete Systems, *Epri Jr-103151 Project*, 3176-06 Final Report, CANMET.
- Erdoğan, T. Y. (1997). Admixtures for Concrete, The Middle East Technical University Press, Ankara.
- Ghosh, R. S. ve Timusk, J. (1981). Creep of Fly Ash Concrete. *ACI Materials Journal*, 78(5), 351-357.
- Hansen, K. D. ve Reinhardt, W. G. (1991). *Roller-Compacted Concrete Dams*. McGraw Hill Inc. Publication, New York.
- Haque, M. N., Langan, B. W. ve Ward, M. A. (1984). High Fly Ash Concrete. *ACI Materials Journal*, 81(1), 54-60.
- Lay, M. G. (1990). *Handbook of Road Technology*. Gordon and Breach Science Publishers.
- Malhotra, V. M. (1993). Fly Ash, Silica Fume and Rice-Husk Ash in Concrete : A Review. *Concrete International*, 15 (4), 23-28.
- Mehta, P. K. (1983). Pozzolanitic and Cementitious By-Products as Mineral Admixtures for Concrete – A Critical Review. *Proc. of 1st Int. Conf. on the use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and other mineral by-products in Concrete Kanada*, Montebello, 31 Temmuz-5 Ağustos, Editor. V. M. Malhotra; ACI SP-79, Detroit, ss.1-48.
- Mehta, P. K. (1986). *Concrete: Structure, Properties, and Materials*. Prentice-Hall, Inc. Englewood, New Jersey.
- Munday, J. G. L., Ong, L. T., Wong, L. B. ve Dhir, R. K. (1982). Load Independent Movements in OPC/PFA Concrete, *Proc. of Int. Symposium on The Use of PFA in Concrete*, 14-16 Nisan, İngiltere, Leeds, ss.243-253.
- Munn, R. L. (1984). Fly Ash in Roller Compacted Concrete Pavement and Slipformed Applications. *Proc. of 2nd Int. Conf. on Ash Technology and Marketing*, Eylül, London, ss. 445-460.
- Naik, T. R., Ramme, B. W. ve Tews, J. H. (1995). Pavement Construction with High Volume Class C and Class F Fly Ash Concrete, *ACI Materials Journal*, 92(2), 200-210.
- Nanni, A., Ludwig, D. ve Shoenberger, J. (1996). Roller Compacted Concrete for Highway Pavements, *Concrete International*, 18(5), 33-38.
- Nelson, P., Srivivatnanon, V. ve Khatri, R. (1992). Development of High Volume Fly Ash Concrete for Pavements. *Proc. of the 16th of the ARRB Conference*, Perth, Avustralya, 9-12 Kasım, ss. 37-47.
- Neville, A. M. (1995). *Properties of Concrete*, 4th Ed. Longman Group UK Limited.
- Pittman, D. W. ve Ragan, S. A. (1998). Drying Shrinkage of Roller-Compacted Concrete for Pavement Applications. *ACI Materials Journal*, 95(1), 19-25.
- Postacıoğlu, B. (1986). *Beton*, Cilt 1. Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul.
- Samarin, A., Munn, R. L. ve Ashby, J. B. (1983). The use of fly ash in concrete –Australian Experience, *Proc. of first Int. Conf. on the use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and other mineral by-products in Concrete*, Canada, Montebello, Kanada, 31 Temmuz-5 Ağustos, Editor. V. M. Malhotra; ACI SP 79, Detroit, ss.143-172.
- Sika (1991). *Sika Concrete Admixtures*, Sika Limited, Wachmead, Welwyn, Garden City, İngiltere.
- Sivasundaram, V., Carette, G. C. ve Malhotra, V. M. (1989). Properties of Concrete Incorporating Low Quantity of Cement and High Volumes of Low-Calcium Fly Ash. *Proc. of 3rd Int. Conf. on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete*, Ed. V. M. Malhotra, Trodheim, Norveç, ACI SP-114, ss. 45-71.

Swamy, R. N. ve Lambert, G. H. (1986). Shrinkage and Creep Behavior of Concrete Made with PFA Coarse Aggregate. *Proc. of ACI/Canmet 2nd Int. Conf. on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete*, SP-91, Madrid, İspanya, ss.145-167.

Swamy, R. N. ve Mahmud, H. B. (1989). Shrinkage and Creep behavior of High Fly Ash Content Concrete, *Proc. of 3rd Canmet/ ACI Int. Conf. on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete*, Ed. V. M. Malhotra, Trondheim, Norveç, ACI SP-114, ss. 453-471.

Teorena, I. ve Nicolescu, L. D. (1982). The Properties of Power Station Fly-Ash Concrete, *Proc. of Int. Symposium on The Use of PFA in Concrete, April 14-16, İngiltere, Leeds*, ss.231-241.

Torii, K. ve Kawamura, M. (1989). Some properties of Dry Lean Rolled Concrete Containing Fly Ash. *3rd Canmet/ ACI Int. Conf. on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Supplementary papers*, Compiled by: Mohammed Alasali, Trondheim, Norveç, ss. 222-236.

Türk Standartları Enstitüsü, TS19. (1992). *Çimento-Portland Çimentoları*, Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü, TS639. (1975). *Uçucu Küller*, Ankara.

Yamota, T. ve Hideaki, S. (1983). Shrinkage and Creep of mass concrete containing fly ash, *Proc. of first Int. Conf. on the use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and other mineral by-products in Concrete*, Canada, Montebello, Kanada, 31 Temmuz-5 Ağustos, Editor. V. M. Malhotra; ACI SP-79, Detroit, ss.87-101.

Yuan, R. L. ve Cook, J. E. (1982). Time Dependent Deformations of High Strength Fly Ash Concrete. *Proc. of Int. Symposium on The Use of PFA in Concrete*, 14-16 Nisan, İngiltere, Leeds, ss. 255-260.



Cengiz Duran Atış, 1964 yılı Adana doğumlu olup, orta ve ilk öğrenimini 1982, Lisans eğitimini 1988 Çukurova Üniversitesi'nde ve Yüksek Lisans eğitimini 1991 Çukurova Üniversitesi'nde tamamlamıştır. Doktora ünvanını ise Leeds Üniversitesi'nde (İngiltere) 1997 yılında

almaya hak kazanmıştır. Yazar halen Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde Yardımcı Doçent olarak görev yapmaktadır.



Kubilay Akçaözöğlü, 1975 yılı Osmaniye doğumlu olup, orta ve ilk öğrenimini 1992 ve Lisans eğitimini 1998 Çukurova Üniversitesi'nde tamamlamıştır. Yazar halen Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı olarak Yüksek Lisans eğitimine devam etmekte ve Çukurova Üniversitesi Mühendislik

Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.