

AFŞİN – ELBİSTAN UÇUCU KÜLÜ İÇEREN SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILABİLEN BETONLARIN BASINÇ DAYANIMI

C.D.Atış Yrd.Doç.Dr. Çukurova Üniv. Adana/Türkiye	F.Özcan Arş.Gör. Çukurova Üniv. Adana/Türkiye	K.Akçadoğan Arş.Gör. Çukurova Üniv. Adana/Türkiye	U.K.Sevim Arş.Gör. Çukurova Üniv. Adana/Türkiye	C.Bilim Arş.Gör. M.Kemal Üniv. Adana/Türkiye
--	--	--	--	--

ÖZET

Bu çalışmada Afşin-Elbistan uçucu külünün silindirle sıkıştırılabilen beton içinde kullanılabilirliği basınç dayanımı yönünden araştırılmıştır. Üç farklı Portland çimento dozajı için üretilen beton karışımları, çimentonun %0, %15,%30 ve % 45'i oranlarında uçucu kül ile ağırlıkça yer değiştirilmesi yoluyla değişime uğratılarak uçucu kül içeren beton karışımları üretilmiştir. Üretilen her bir beton karışımında maksimum sıkışabilirliği sağlayan optimum su-bağlayıcı oranları titreşimli sarsma metodu ile tespit edilmiş olup, bu oranlar ile beton karışımları hazırlanmıştır. Test edilecekleri ana kadar sıcaklığı 20°C derece su içinde kür edilen beton numunelerden 1, 3, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları elde edilmiştir. Laboratuar sonuçları yaklaşık 200 kg çimento dozajı ve %15 uçucu kül ikamesinde dahi 28 günde 26 MPa basınç dayanımı elde edilebileceğini göstermiştir. Ayrıca, yaklaşık 300 kg çimento dozajı ve %15 uçucu kül ikamesinde ise 50 MPa gibi oldukça tatminkar basınç dayanımı elde edildiği, ilaveten yaklaşık 400 kg çimento dozajı ve %15 uçucu kül ikamesinde ise 63.0 MPa gibi yüksek basınç dayanımı elde edildiği görülmüştür. Üretilen betonların basınç dayanımları sonuçlarının karşılaştırılmasından Afşin-Elbistan uçucu külünün çimento ile ağırlıkça %15 ile %30 yerdeğiştirme oranında uçucu kül içeren silindirle sıkıştırılabilen beton üretiminde kullanılabileceği izlenimi oluşmuştur. Çünkü, bu yerdeğiştirme oranları civarında uçucu kül içeren betonlar sadece normal Portland çimentosu ile yapılan şahit betonlardan daha yüksek dayanım geliştirmiştir.

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 (1, 2, 3, 4). Bu özellik nedeni ile son zamanlarda uçucu küller çimento içine katkı malzemesi olarak kullanılmakta ve beton üretiminde faydalanılmaktadır.
- Son zamanlarda, silindirlenebilen 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 gibi bazı özelliklerini değiştirmektedir (5, 6, 7, 8, 9, 10, 11). Ayrıca, uçucu külün beton içinde kullanımı hidrasyon ısını düşürmekte, terleme olayını azaltmakta, permeabiliteyi düşürmekte, agrega-alkali reaksiyonunu azaltmakta olduğu yapılan araştırmalarda ortaya konmuştur (12, 13). Endüstriyel atık bir malzeme olan uçucu külün depolanma sorunu da böylelikle çözülmektedir (4, 14, 15).

AMAÇ

Bu çalışma ile ülkemiz santrallerinde bir yan ürün olarak atıl durumda olan uçucu küllerin değerlendirilmesi ve silindirle sıkıştırılabilen beton (SSB) türünün tanıtılması amaçlanmıştır. Türkiye'de yılda yaklaşık 13 milyon tonun (16) üzerinde uçucu kül elde edilmekte, ancak bu küllerin pek azı değerlendirilmektedir. Bu araştırmada Afşin-Elbistan Termik Santrali uçucu külü kullanılmıştır. Santralde yılda yaklaşık 2,5 milyon ton uçucu kül ikincil bir ürün olarak ortaya çıkmaktadır (9). Büyük hacimlerde ortaya çıkan ve bir yan ürün olan uçucu külün değerlendirilmesi, ekonomi ve çevre kirliliği açısından büyük önem taşımaktadır.

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILABİLEN BETON

Silindirle sıkıştırılabilen beton, normal betona göre su içeriği çok az ve işlenebilirliği yok denecek (sıfır çökme) düzeyde olan ve taze durumda iken normal betondan çok zemin dolgu malzemesi gibi, katılaştığında ise normal beton gibi davranan bir malzemedir. Hansen'e (17) göre, silindirle sıkıştırılabilen beton yeni bir malzemeden çok yeni bir yapım yöntemidir.

Yol kaplaması ve beton ağırlık barajlarının yapımında başarı ile kullanılmış olan silindirle sıkıştırılabilen beton, çok geniş uygulama alanlarına sahiptir. Bu uygulama alanlarından bazıları, normal yollar, fabrika içi yollar, yapım için kullanılacak geçici yollar, park alanları, servis alanları, depo alanları, malzeme stok alanları, havaalanı pist ve ulaştırma yolları, ağır trafikle yüklü yollar ve otoyolların temel ve kaplama tabakalarıdır (5, 8, 10, 17, 18, 19, 20, 21).

Silindirle sıkıştırılabilen beton uygulaması esnek temel ile karşılaştırıldığında, rijitliğinden dolayı esnek yol kaplamasında oluşan deformasyonlarda azalmaya sebep olmuş ve bitümlü yüzey kaplaması bünyesinde oluşan gerilme ve birim uzamalar azalmış ve dolayısıyla kaplama kalınlığı azaltılabilmektedir. Silindirle sıkıştırılabilen betonun, geleneksel alt temel betonu ile karşılaştırıldığında daha az masraflı, düşük rötre ve yüksek çekme birim deformasyon kapasitesine sahip, daha yoğun ve geçirimsiz olduğu belirtilmiştir (5).

Düşük su-çimento oranı ile çalışılmak durumu söz konusu olduğundan, silindirle sıkıştırılabilen betonun dayanım gelişmesi çok hızlı olmakta ve üç gün gibi kısa bir süre içinde oldukça yüksek dayanım sağlamaktadır. Yol kaplaması olarak kullanıldığında yolun kısa sürede trafiğe açılmasını sağlamaktadır. Sabit su-çimento oranı için belli bir dayanımın sağlanması daha az çimento miktarı ile elde edilmekte, dolayısıyla karışımda daha az su ve çimento bulunması düşük rötre ve sebep olduğu gibi karışım oldukça ekonomik olmaktadır. Rötrenin azalması küçük olduğundan, yolda bırakılacak derz sayısı azaltılabilmekte ve derzler arası açıklık artmaktadır (5, 7, 11).

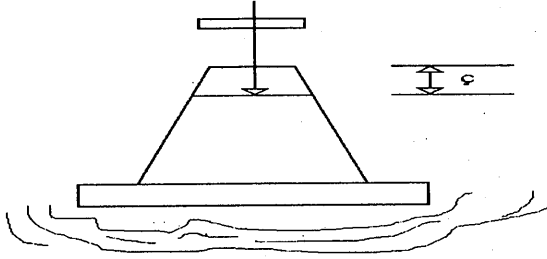
- Silindirle sıkıştırılabilen beton taze durumda iken geleneksel betondan çok bir zemin dolgu malzemesi gibi davrandığından dolayı, bu beton ile yapılacak yol kaplamasının inşaatında kullanılacak araçlar, asfalt kaplama ve zemin dolgu yapımında kullanılan araçların aynısıdır. Silindirle sıkıştırılabilen betonun taşınma, yerleştirilme, serilme ve sıkıştırılması ile ilgili ayrıntılı bilgiler, konu ile ilgili kaynaklarda detaylı olarak verilmektedir (7, 20, 22, 23, 24, 25).

SU MİKTARININ BELİRLENMESİ VE SIRSMA ÇÖKME YÖNTEMİ

- Silindirle sıkıştırılabilen betonda karışım suyu içeriğinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle su içeriğinin belirlenmesinde uygun yöntemi kullanmak gerekmektedir. Buna dikkat edilmediği takdirde beton özelliklerinde kayıplar oluşacaktır. Burada amaç, silindirle sıkıştırılabilen beton karışımına eklenecek minimum su miktarını, optimum su içeriği olarak bilinen su miktarı ile elde edilen maksimum sıkışılabilirliğin ölçümü ile belirlemektir. Mevcut diğer yöntemler bir başka çalışmada sunulmuştur (25, 26).

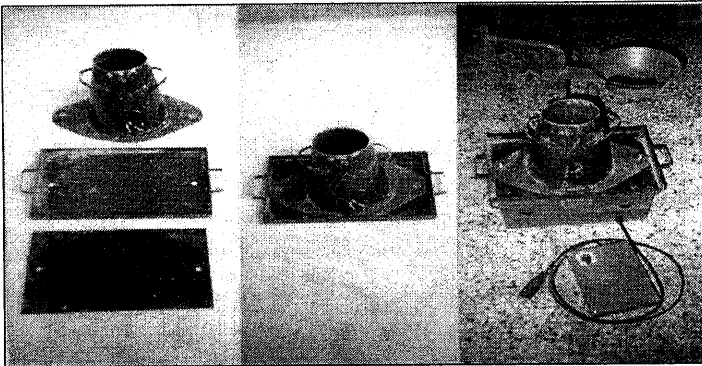
Cabrera Sarsma Çökmesi Deneyi

Cabrera ve Lee (27) tarafından geliştirilmiş olan bu deneyde, V-B için hazır olan araçlar biraz değiştirilerek kullanılmaktadır. Standart çökme konisinin ayak basma kısmı, V-B vibratörü üzerine kelebek vidayla sabitlenebilmesi için delinmiştir. Vibratör üzerine yerleştirilirken koni altına metal taban plakası yerleştirilmekte, koni ile taban plakası arasına lastik bir conta konulmaktadır. Aparat aşağıdaki şekillerde (Şekil 1-2) görülmektedir.



Şekil 1. Cabrera Çökmesinin Şematik Gösterimi

Bu deneyde, standart çökme deneyinde olduğu gibi denenecek beton karışımı ile doldurulan çökme konisi 20 sn V-B aparatında sarsılır. Sarsılma sonucu betonun yüksekliğindeki düşme mm cinsinden Cabrera çökme değeri (CÇD) olarak tanımlanır. Herhangi bir karışım için Cabrera Sarsma Çökmesi (CSÇ) deneyi en az beş su-çimento oranı için tekrarlanır. CÇD ile su-çimento oranının kartezyen koordinatlardaki grafiği maksimum sıkıştırılma için optimum su içeriğini verir.



(a)

(b)

(c)

Şekil 2. Sarsma Çökmesi Deneyinde Kullanılan Aparatlar (a) Taban Plakası, Lastik Conta ve Koni (b) Koni ve Contanın Taban Plakasına Montesi (c) Koni ve Taban Plakası V-B Vibratörüne Sabitlenmiş Durumda

KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ

Çimento

Bu çalışmada Adana Çimento Sanayi tarafından üretilen standart (28) PÇ 42.5 çimentosu kullanılmış olup, çimentonun taze olarak kullanılmasına özen gösterilmiştir. Çimentoya ait kimyasal ve fiziksel özellikler Çizelge 1 ve Çizelge 2' de verilmektedir.

Çizelge 1. Çimentonun kimyasal bileşimi (%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Mn ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
20,65	5,60	4,13	0,06	61,87	2,60	2,79	0,14	0,83

Çizelge 2. Çimentonun Fiziksel Özellikleri

Fiziksel Özellikler		
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)		3,16
Priz süresi	İlk (saat:dakika)	3:17
	Son (saat:dakika)	4:08
İncelik	Özgül Yüzey (cm ² /gr)	3140
	0.200 mm elekten kalıntı (%)	0,0
	0.090 mm elekten kalıntı (%)	0,4

Uçucu Kül

Kahramanmaraş ilinin Afşin ve Elbistan ilçeleri sınırları içerisinde 120 km² lik bir alanda çıkartılan linyit kömürü yakılarak enerji elde edilmektedir. Linyit rezervi 1.7 milyar tondur. Uçucu kül döküm sahasına taşınıp üzeri toprakla kapatılmaktadır. Afşin-Elbistan uçucu külü yüksek kireçli (CaO>%10) sülfoksik bir uçucu küldür (29, 30). Afşin Elbistan Termik santralinden elde edilen uçucu küllerin kimyasal analizi Çizelge 3' de verilmiştir. ASTM C-618 (30) ve TS639 (31) standartlarına göre Afşin-Elbistan külü standart dışı bir küldür.

Çizelge 3. Kullanılan Uçucu Külün Kimyasal Bileşimi

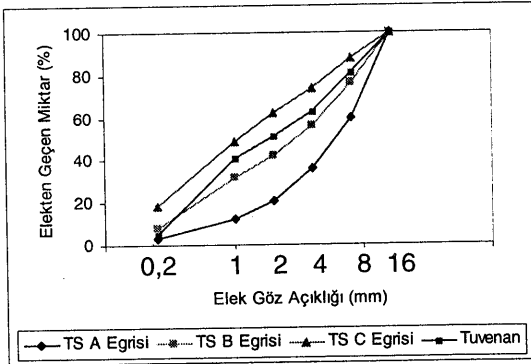
SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O+K ₂ O
18.95	3.82	7.53	51.29	1.58	12.06	1.94

Agrega

Etüvde kurutulan karışık tuvenan agrega 16 mm elekten elenerek kullanılmıştır. Agreganın su emme kapasitesi ve kuru yüzey doymun özgül ağırlık değerleri TS 3526 (32)'ya göre bulunmuştur. İnce ve iri agrega için kuru yüzey doymun özgül ağırlıkları sırasıyla 2.65 ve 2.73 olarak, su emme kapasiteleri sırasıyla %1,5 ve %0.99 olarak bulunmuştur. TS 706'da (33) en fazla % 4 olarak sınırlandırılmış olan, karışık agreganın ince madde miktarı 0.063 mm elekten yıkanarak % 2.24 olarak bulunmuştur. İri agreganın TS 3694 (34)'e göre yapılan Losangeles aşınma testi sonucu ise 100 dönüş sonunda % 3,6 ve 500 dönüş sonunda % 19,2 olarak tespit edilmiştir. İlgili standart aşınma değerinin 100 dönüş sonunda en fazla %10 ve 500 dönüş sonunda en fazla %50'ye kadar izin verdiğinden kullanılan agreganın standart sınırları ile uyumlu bulunmuştur.

Agrega Granülometrisi

Agrega üzerinde yapılan elek analizi sonucunda agreganın TS 706 (33)'de belirtilen sınır eğrilerinden B ile C arasında kaldığı görülmüştür. Aşağıda Şekil 3'te TS 706 (33)'de belirtilen agreganın alt sınırı (A eğrisi), orta sınırı (B eğrisi), üst sınırı (C eğrisi) ile tuvenan agreganın birlikte verilmiştir. Şekil 3'den de görüldüğü gibi tuvenan agreganın kullanılabilecek sınırlar içerisinde yer almaktadır.



Şekil 3. Agreganın Granülometrisi TS 706 (A, B, C) sınır değerleri

BETON KARIŞIM ORANLARI

- Yapılan bu çalışmada üç farklı çimento dozajına sahip üç farklı beton üretilmiştir. Birinci beton karışımı K1 için çimento ve agreganın oranı ağırlıkça 1:10.5 olup, çimento miktarı birim metreküp için yaklaşık 200 kg'dır. İkinci beton karışımı K2 için çimento

ve agrega oranı ağırlıkça 1:6.5 olup, çimento miktarı birim metreküp için yaklaşık 300 kg'dır. Aynı şekilde üçüncü beton karışımı K3 için çimento ve agrega oranı ağırlıkça 1:4.5 olup, çimento miktarı birim metreküp için yaklaşık 400 kg'dır. Üç farklı dozajdaki bu beton karışımları uçucu kül ile değişime uğratılarak çimentonun ağırlıkça %15, %30 ve %45'i uçucu kül ile yer değiştirilerek yeni beton karışımları elde edilmiştir. Elde edilen her bir beton karışımına ait optimum su miktarları ise yukarıda tarif edilen titreşimli sarsma çökmesi yöntemi ile bulunarak taze beton karışımları hazırlanmıştır.

- Basınç dayanımlarının tespitinde kullanılmak üzere küp numuneler hazırlanmıştır. Numuneler 1 gün sonra kalıplardan alınmış ve basınç deneyine maruz kalacakları güne kadar sıcaklığı 20 C olan su içinde kür edilmişlerdir. Üretilen betonlarda birim hacim için kullanılan yaklaşık malzeme miktarları Çizelge 4'te verilmektedir.

Çizelge 4 ün incelenmesinden uçucu kül yer değiştirme oranı artarken optimum su bağlayıcı oranlarının da artmakta olduğu görülmektedir. Bu nedenle, Afşin-Elbistan uçucu külünün taze beton karışımı için gerekli optimum su miktarını artırdığı sonucuna varılmaktadır.

Çizelge 4. Üretilen Betonların Yaklaşık Malzeme Miktarları

Karışım No	Çimento (kg/m ³)	Uçucu Kül (kg/m ³)	Su (lt/m ³)	Agrega (kg/m ³)	Optimum S/Ç Oranı	Uçucu Kül Oranı (%)
K1	200	0	164	2100	0,82	0
K1-15	170	30	166	2100	0,83	15
K1-30	140	60	168	2100	0,84	30
K1-45	110	90	170	2100	0,85	45
K2	300	0	159	1950	0,53	0
K2-15	255	45	162	1950	0,54	15
K2-30	210	90	165	1950	0,55	30
K2-45	165	135	168	1950	0,56	45
K3	400	0	160	1800	0,40	0
K3-15	340	60	164	1800	0,41	15
K3-30	280	120	168	1800	0,42	30
K3-45	220	180	176	1800	0,44	45

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Laboratuvar çalışması sonucunda üretilen ve değişik zamanlarda elde edilen bütün betonlara ait basınç dayanımları Çizelge 5'te verilmektedir. Çizelge 5 çimento miktarı arttıkça optimum su muhtevalarında üretilen beton basınç dayanımlarının arttığını göstermektedir. Ayrıca bütün betonlarda da görüldüğü üzere basınç dayanımları zaman içinde artış göstermektedir.

Çizelge 5. Küp Numune Basınç Dayanımları

Karışım No	Bağlayıcı Miktarı Çimento+Uçucu Kül	Basınç Dayanımları (MPa)			
		1.Gün	3.Gün	28.Gün	90.Gün
K1	200 + 0	3,92	9,99	22,57	23,64
K1-15	170 + 30	2,55	10,17	25,89	28,91
K1-30	140 + 60	2,63	5,07	18,20	23,28
K1-45	110 + 90	1,88	3,73	11,88	19,58
K2	300 + 0	9,51	24,20	46,93	53,50
K2-15	255 + 45	6,91	20,49	49,18	51,34
K2-30	210 + 90	5,10	13,62	39,83	40,35
K2-45	165 +135	4,35	8,64	18,48	34,58
K3	400 + 0	14,81	34,47	60,85	64,33
K3-15	340 + 60	12,06	28,41	62,96	70,81
K3-30	280 +120	8,34	21,40	44,80	60,83
K3-45	220 +180	7,83	13,57	27,01	30,10

K1 betonları hariç, K2 ve K3 betonlarının hemen hemen tamamı 1 günlük süre sonunda kalıplardan sökülebilecek mertebede basınç dayanımı geliştirmişlerdir. İlaveten, 3 gün sonunda yaklaşık 200 kg bağlayıcı ihtiva eden K1 ve %15 oranında uçucu kül içeren K1-15 karışımı 10 MPa düzeyinde basınç dayanımı geliştirmiştir. Aynı şekilde sırasıyla 300 ve 400

kg bağlayıcı ihtiva eden K2 ve K3 betonları ile %15 oranında uçucu kül içeren K2-15 ve K3-15 betonları 3 gün sonunda 20 ve 30 MPa mertebesinde oldukça tatminkar basınç dayanımı geliştirmiş olup, yol kaplaması betonu olarak kullanıldıklarında kısa sürede yolun trafiğe açılmasını sağlayabileceklerini göstermektedirler.

Yirmisekiz günlük basınç dayanımlarının incelenmesinden, 200 kg bağlayıcı ihtiva eden K1 ve K1-15 karışımının C20 betonuna eşdeğer basınç dayanımı geliştirdiği görülebilir. İlaveten K2 ve K2-15 betonlarının ise C35-C40 betonuna eşdeğer olduğu gibi, K3 ve K3-15 betonlarının C50 betonuna eşdeğer olduğu söylenebilir. Anılan beton sınıfları TS500 (35) de verilen sınıflardır.

Yüzde 30 uçucu kül yerdeğiştirmesi ile üretilen K1-30, K2-30 ve K3-30 betonları ise 3 ay sonunda referans alındıkları şahit betonlarının 28 günlük basınç dayanımına eşdeğer mertebede basınç dayanımı geliştirmişlerdir.

Bu araştırmada üretilen betonlara ait eğilme çekme ve yarıma çekme dayanımları ölçülmemiştir. Ancak, çekme dayanımlarının da hangi mertebede olduğunu sunmak ve tartışmak amacıyla küp numune sonuçlarından elde edilen basınç dayanımları ve Atış'ın (36) verdiği çekme dayanımı-basınç dayanımı ilişkisi ifadelerinin yardımıyla çekme dayanımları elde edilmiştir. Çekme ve basınç dayanımları ilişkileri aşağıdaki ifadelerde (Denklem 1 ve 2) verilmektedir.

$$f_e = 0,406 * f_k^{0,663} \quad (1)$$

$$f_y = 0,217 * f_k^{0,717} \quad (2)$$

Burada f_e eğilme çekme dayanımını, f_y yarıma çekme dayanımını ve f_k ise küp numune basınç dayanımını göstermektedir. Dayanımlar MPa cinsindendir. Verilen bu ifadeler ve basınç dayanımları kullanılarak elde edilen eğilme çekme dayanımları ve yarıma çekme dayanımları sırasıyla Çizelge 6 ve 7 de sunulmaktadır.

Çizelge 6' da sunulan eğilme-çekme dayanımlarında 3 günlük sonuçlar olumlu olarak değerlendirilebilir. İngiliz havaalanı kurum standardı (37) kullanılacak betonun 28 günlük eğilme- çekme dayanımını en az 4 MPa olarak sınırlandırmıştır. Çizelge 6, K2 ve K3 karışımlarının %15 ve %30 uçucu kül yerdeğiştirmesi sonucu elde edilen betonların eğilme çekme dayanımlarının ilgili standart sınırını sağladığını göstermektedir. İlaveten, K3 karışımı ilgili standardı 3 günlük kısa sürede sağlamakta olup, K3-15 karışımı ise 3 günde hemen hemen bu sınıra çok yaklaşmıştır.

Çizelge 6. Eğilme-Çekme Dayanımları

Karışım No	Eğilme-Çekme Dayanımı (MPa)			
	1.Gün	3.Gün	28.Gün	90.Gün
K1	1,01	1,87	3,21	3,31
K1-15	0,75	1,89	3,51	3,78
K1-30	0,77	1,19	2,78	3,27
K1-45	0,62	0,97	2,10	2,92
K2	1,81	3,36	5,21	5,69
K2-15	1,46	3,01	5,38	5,53
K2-30	1,20	2,30	4,68	4,72
K2-45	1,08	1,70	2,81	4,26
K3	2,43	4,25	6,19	6,43
K3-15	2,12	3,74	6,33	6,85
K3-30	1,66	3,10	5,06	6,19
K3-45	1,60	2,29	3,61	3,88

Çizelge 7. Yarılmı-Çekme Dayanımları

Karışım No	Yarılmı-Çekme Dayanımı (MPa)			
	1.Gün	3.Gün	28.Gün	90.Gün
K1	0,58	1,13	2,03	2,10
K1-15	0,42	1,14	2,24	2,42
K1-30	0,43	0,69	1,74	2,07
K1-45	0,34	0,56	1,28	1,83
K2	1,09	2,13	3,43	3,76
K2-15	0,87	1,89	3,54	3,65
K2-30	0,68	1,41	3,05	3,07
K2-45	0,62	1,02	1,76	2,75
K3	1,50	2,75	4,13	4,3
K3-15	1,30	1,39	4,23	4,6
K3-30	1,00	1,95	3,31	4,13
K3-45	0,95	1,41	2,31	2,49

Çizelge 7 incelenmesinden yarılma-çekme dayanımları içinde basınç ve eğilme-çekme dayanımlarında varılan sonuçlara benzer sonuçlar elde edilmiştir. İngiliz Ulaştırma Standartları (38), yol kaplamasında kullanılacak betonun 28 günde en az 1,85 MPa yarılma-çekme dayanımına ulaşmasını koşullandırmıştır. K2 ve K3 karışımlarıyla, %15 ve %30 uçucu kül ihtiva eden K2-15, K2-30, K3-15 ve K3-30 karışımları bu koşulu 3 günlük süre sonunda dahi sağlamaktadır. K1 karışımı ise bu sınır değerini 28 günde sağlamaktadır.

Yukarıda verilen dayanım sonuçları yıkanmamış tüvenan agregalar kullanılarak elde edilmiştir. Yazarlar, yıkanmış ve granülometrisi ayarlanmış malzeme kullanımı ile elde edilecek dayanımların daha da yüksek olabileceği kanaatini taşımaktadırlar.

SONUÇLAR

1. Afşin-Elbistan uçucu külünün optimum su miktarını artırdığı sonucu elde edilmiştir.
2. Uçucu kül içeren silindirle sıkıştırılabilen beton numuneleri erken yaşta oldukça tatmin edici sonuçlar vermiştir.
3. Portland çimentosuna %15 uçucu kül katılması 28. gün sonunda uçucu külsüz numunelerin dayanımlarını geçtiği gözlenmiştir. % 30 uçucu kül ilavesinin ise 90. gün sonunda şahit beton değerine oldukça yaklaşmıştır.
4. Bu sonuçlarla birlikte, ekonomik ve çevresel etkisi de gözönüne alındığında Afşin-Elbistan uçucu külü içeren silindirle sıkıştırılabilen betonun, yol kaplaması ya da yol kaplaması temelinde kullanılabilecek uygun bir malzeme olacağı kanaatine varılmıştır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışmaya (Proje No. MMF.2000.21) maddi destek sağlamasından dolayı Çukurova Üniversitesi Araştırma Fonu'na teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR

1. Postacioğlu, B., Beton, Cilt 1, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul, 1986, 404 sayfa.
2. Mehta, P. K., Concrete: Structure, Properties, and Materials, Prentice-Hall, Inc. Englewood, New Jersey, ISBN 0-13-167115-4 01, 1986, 450 p.
3. Neville, A. M., Properties of Concrete, 4th Ed., Longman Group UK Limited, 1995, 844 p.
4. Erdoğan, T. Y., Admixtures for Concrete, The Middle East Technical University Press, Ankara, ISBN 975-429-113-6, 1997, 188 p.
5. Munn, R. L., "Fly Ash in Roller Compacted Concrete Pavement and Slipformed Applications", Proc. of 2nd Int. Conf. on Ash Technology and Marketing, September, London, 1984, pp. 445-460.
6. Haque, M. N., Langan, B. W., Ward, M. A., "High Fly Ash Concrete", *ACI Materials Journal*, Vol.81, No.1, 1984, pp.54-60.
7. Hansen, K. D., Reinhardt, W. G., Roller-Compacted Concrete Dams, McGraw Hill Inc. Publication, ISBN 0-07-026072-9, Newyork, 1991, 290 p.
8. Nanni, A., Ludwig, D., Shoenberger, J., "Roller Compacted Concrete for Highway Pavements", *Concrete International*, Vol. 18, No.5, 1996, pp. 33-38.
9. Alataş, T., Yıldırım, B., "Afşin Elbistan Uçucu Külünün Yol Stabilizasyonunda Kireç ile Birlikte Kullanımı", Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması 3, 1-2 Ekim, Eskişehir, 1997, pp.21-35.
10. Delagrave, A., Marchand, J., Pigeon, M., Boisvert, J., "Deicer Salt Scaling Resistance of Roller Compacted Concrete Pavements", *ACI Materials Journal*, Vol. 96, No.2, 1997, pp.164-169.
11. Pittman, D. W., Ragan, S. A., "Drying Shrinkage of Roller-Compacted Concrete for Pavement Applications", *ACI Materials Journal*, Vol. 95, No.1, 1998, pp.19-25.
12. Atiş, C. D., "Heat Evolution and Drying Shrinkage of Concrete Containing High Volume Fly Ash", Proceedings of II International Symposium On Cement And Concrete Technology in The 2000s, September 6-10, İstanbul, Turkey, 2000, pp.359-369.

13. Yazıcı, Ş., Baradan, B., "Uçucu Kül Katkılı Yüksek Dayanımlı Beton", Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması, 29-30 Kasım, Ankara, 1995, pp.59-72.
14. Mehta, P. K., "Pozzolanic 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, Canada, Montebello, July 31-August 5, Editor. V. M. Malhotra; ACI SP-79, Detroit, 1983, pp.1-48.
15. Malhotra, V. M., "Fly Ash, Silica Fume and Rice-Husk Ash in Concrete : A Review", Concrete International, Vol.15, No.4, 1993, pp.23-28.
16. Özdemir, O., Celik, M. S., "Seperation of Pozzolanic Material from Lignitic Fly Ash of Tuncbilek Power Station", 2001 Int. Ash Utilisation Symposium, Lexington, Kentucky, USA, October 22-24, 2001. (Kabul edilmiş özet).
17. Hansen K. D., "Roller Compacted Concrete: A Civil Engineering Innovation", Concrete International, Vol.18, No.3, 1996, pp.49-53.
18. Anderson, F. A., "RCC Does More", Concrete International, Vol. 6, No.5, 1984, pp.35-37.
19. Cannon, R. W., "Air-Entrained Roller Compacted Concrete", Concrete International, Vol.15, No.5, 1993, pp.49-54.
20. Corps of Engineers, Roller Compacted Concrete, ASCE Pubs, ISBN 0-87262-999-6, 1994, 100 p.
21. Pigeon, M. and Marchand, J., "Frost Resistance of Roller-Compacted Concrete", Concrete International, Vol.18, No.7, 1996, pp.22-26.
22. Demiröz, E. ve Öztürk, A., Silindirle Sıkıştırılmış Beton Baraj Tasarım ve İnşa Esasları, DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara, 1998, 49 sayfa.
23. Schrader, E. and McKinnon, R., "Construction of Willow Creek Dam", Concrete International, Vol.6, No.5, 1984, pp.38-45.
24. Oliverson, J. E. and Richardson, A. T., "Upper Stillwaterdam Design and Construction Concept", Concrete International, Vol. 6, No.5, 1984, pp.20-28.
25. Atiş, C. D., "Properties of Roller Compacted Concretes with Fly Ash (in Turkish)", Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, Vol.25, No.5, 2001, pp.503-515.
26. Atiş, C. D., "Yol Kaplamasında Bir Yenilik- Silindirle Sıkıştırılabilen Beton", 5. Ulaştırma Kongresi Bildiriler Kitabı, 30 Mayıs-1 Haziran, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2001, pp. 303-314.

27. Cabrera, J. G. and Lee, R. E., "A New Method for the Measurement of Workability of High Pulverised Fuel Ash Concrete", Proc. of 7th Intern. Ash Utilisation Symposium, Vol.1, 1985, pp.347-360.
28. Türk Standartları, Çimento-Portland Çimentoları, (TS 19), TSE, 1992, 12 sayfa.
29. Tokyay, M., Erdoğan K., Türkiye Termik Santrallerinden Elde Edilen Uçucu Küllerin Karakterizasyonu, TÇMB yayınları, TÇMB/AR-GE/Y-98.3, 1998, 70 sayfa.
30. ASTM C-618., 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, 1991.
31. Türk Standartları, Uçucu Kül, (TS 639), TSE, 1975, 7 sayfa.
32. Türk Standartları, Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini, (TS 3526), TSE, 1980, 6 sayfa.
33. Türk Standartları, Beton Agregaları, (TS 706), TSE, 1980, 12 sayfa.
34. Türk Standartları, Beton Agregalarında Aşınmaya Dayanıklılık Aşınma Oranı Tayini Metodu (TS 3694), TSE, 1981, 8 sayfa.
35. Türk Standartları, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, (TS 500), TSE, 2000, 67 sayfa.
36. Atiş, C. D., "Design and Properties of High Volume Fly Ash Concrete for Pavements", Doktora Tezi, Leeds Üniversitesi, İngiltere, 1997, 342 p.
37. Calverley, M. A. A., "The Design of British Airport Authority Pavements", Proc. Of Int. Conference on Concrete Pavement Design, Feb.15-17, Purdue University, USA, pp.97-106, 1977.
38. Department of Transport, Specification for Road and Bridge Works, H. M. Stationery Office, London, pp.69-70, 1976.