

# Farklı Beton Sınıflarının Su İşleme Derinliğinin Değerlendirilmesi

Gökhan DURMUŞ

## ÖZET

Bu çalışmada, Uçuş küllü, Silis dumanı ve kimyasal katkının C20 ve C30 betonlarında su işleme derinliği ve basınç dayanımına etkileri araştırılmıştır. Beton karışımlarında kalker esaslı kırma taş, PÇ 42.5 R CEM I çimentosu, uçucu kül-silis dumanı, kimyasal katkı ve içme suyu kullanılmıştır. 150x150x150 mm boyutlarında üretilen 48 adet küp örnek üzerinde 28. ve 90. günlerde geçirgenlik ve basınç dayanım deneyleri gerçekleştirilerek referans örneklerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak; C20 ve C30 sınıflarında, basınç dayanımını ve su işleme derinliğini bakımından en iyi sonuç, SD katkılı numunelerde görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Uçuş Küllü, Silis Dumanı, Geçirgenlik, Basınç dayanımı

## Investigation of Penetration of Water Values of Different Concrete Types

### ABSTRACT

In this study, it was tested the effect of fly ash, silica fume and chemical on the permeability and compressive of C20 and C30 concretes. Calcareous crushed stone, PC 42.5 R CEM I cement, fly ash-silica fume, chemical additives and drinking water were used as concrete mixtures. Depth of penetration of water under pressure and compressive strength tests were performed on 48 cube samples having 150x150x150 mm dimension at 28 th and 90 th days respectively; these results were compared with reference samples. As results samples with silica fume additive showed best both C20 and C30 classes.

**Keywords:** Fly Ash, Silica fume, Permeability, Compressive strength

### 1. GİRİŞ

Yapı sektörü, ihtiyaçlar doğrultusunda sürekli yenilenme ve değişme sürecindedir. Kısıtlı kaynaklar ve hızla artan maliyetler karşısında gereksinimin karşılanabilmesi, yeni yöntem ve kaynakların araştırılmasını gerektirmektedir. Yapı üretiminde öz kaynaklara dayalı malzemenin kullanım oranlarının artırılması, mevcut kaynakların rasyonel kullanımı ve nispeten düşük maliyetli ve nitelikli malzeme üretimine gidilmesini gerektirmektedir (1,2). Bu bağlamda, mevcut hammadde rezervinin ve öz kaynakların kullanılması önem taşımaktadır. Yapı malzemesi açısından konunun bu şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Araştırmada bu durum göz önünde tutularak mineral katkılardan Uçuş kül (UK) ve silis dumanının (SD) kullanımının tercih edilmiştir.

Uçuş küllerin büyük bölümü, yüksek kireç içeriğindedir (3). UK puzolanik özelliği olan ve betonun birçok özelliğini olumlu etkileyen mineral kökenli termik santral atığı malzemedir (4). UK taneleri genellikle kü-

resel yapısı nedeni ile betonun işlenebilirlik özelliğini iyileştirmekte, taze betonda su kusmayı (terleme) azaltmakta, betonun hidrasyon ısısını azaltarak sıcak havalarda kütle beton dökümüne olanak tanımaktadır (5). Puzolanik reaksiyon sayesinde betonun 90 gün ve daha sonraki yaşlarda mukavemetine katkıda bulunmakta, betonun geçirimsizliğini azaltmakta, betonun iç ve dış kaynaklı kimyasal etkilere dayanıklılığını artırmaktadır. Beton üretiminde çimento yerine ikame edildiğinde betona ekonomiklik kazandırmaktadır (4).

Silis dumanı da UK gibi puzolanik bir malzeme olarak bilinmektedir (3). SD, çimentodan daha ince tanelere sahip malzeme olması nedeniyle agrega-hamur ara yüzey bölgesini sıkılayıp kuvvetlendirerek boşluğu en aza indirmektedir (6-9). SD genellikle lifli beton, yüksek dayanım ve dayanıklılık isteyen yerlerde kullanılmaktadır (8,10). SD genellikle camsı, düzgün yüzeyli, çok ince daneli ve hafiftir (11). Çimentoya %5 gibi çok az miktarda katılan SD betonun işlenebilirliğini fazla etkilemediği ancak, daha yüksek katkı oranlarında belirli bir işlenebilirlik düzeyi için gerekli su miktarı, SD miktarı ile birlikte artması gerekmektedir (12). Su işleme derinliği bakımından katkısız betonlara göre SD katkılı betonların daha yavaş su emdiği bildirilmektedir (13).

Ezeldin ve Balaguru (1989) belirtildiğine göre, çimento yerine % 20 oranına kadar SD kullanımının

*Makale 08.06.2008 tarihinde gelmiş, 10.10.2008 tarihinde yayınlanmak üzere kabul edilmiştir.*

G. DURMUŞ, Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü 06500 Teknikokullar, ANKARA

e-posta : gdurmus@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier 10.2339/2008.11.4. 379-383

betonun çelikle olan aderansını artırmaktadır (14). Ayrıca SD'nin çok ince olması nedeniyle, çimento hamurundaki gözeneklerin azalmasını sağlamakta, yapışma özelliğini artırmakta ve daha geçirimsiz bir yapı sağlamaktadır. SD, betonun sertleşme hızını ve difüzyon katsayısını da azaltmaktadır (7). Hem filler hem de puzolan rolü üstlenen SD tanecikleri çimento hamuru ile agregayı yoğun bir yapıya kavuşturur. SD, fazla su moleküllerini absorbe ile ettiği için çimento hamuru agregası arasındaki aderansı kuvvetlendirmekte ve donatının korozyonunu sınırlamaktadır (8).

SD-UK-çimento üçlü sisteminde ise, beton basınç dayanımının gelişimi üzerindeki etki mekanizmaları farklı olduğu bilinmektedir. İki mineral katkı maddesinin, birbirlerinin eksikliklerini tamamlamaları yanında 7, 28 ve 90 günlük dayanımları üzerindeki etkili olduğu tespit edilmiştir (6).

Bu çalışmanın amacı, mineral katkılardan UK, SD ve kimyasal katkı (K Katkı) maddesi ile üretilen C20 ve C30 beton sınıflarındaki betonların, basınç ve su işleme derinliği üzerine etkileri araştırılmıştır.

## 2. MALZEME VE METOTLAR

### 2.1. Malzemeler

Beton karışımında, yoğunlukları 2.60 ve 2.63 g/cm<sup>3</sup> olan 0-4, 4-16 mm tane sınıflarına ayrılmış kalker esaslı kırma agregası, PÇ 42.5 CEM I 42.5 R çimentosu, Tunçbilek termik santrali UK - Antalya Etibank Elektrometalurji tesisinden SD, TS EN 934-2 "Kimyasal Katkılar- Beton, Harç ve Şerbet İçin- Bölüm 2: Beton Katkıları- Tarifler ve Özellikler, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme" standardına göre (15,16); yoğunluğu: 1.08±0.02Kg/L, Ph: 7.5 olan K Katkı ve içme suyu kullanılmıştır. UK, SD ve Portland çimentosunun kimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. UK, SD ve Portland çimentosunun kimyasal özellikleri.

Kimyasal Analiz (%)	Uçucu kül (%)	Silis Dumanı (%)	PÇ 42.5
SiO <sub>2</sub>	36,56	79,77	20,20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,2	1,43	3,67
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,08	1,25	6,55
CaO	25,72	2,06	65,23
MgO	1,22	3,7	1,1
Na <sub>2</sub> O	0,4	1,22	0,18
K <sub>2</sub> O	1,22	1,20	0,21
SO <sub>3</sub>	3,53	1,54	2,33
Çözünmeyen Kalıntı	25,57	33,74	1,44
Kızdırma Kaybı	0,40	5,45	1,30
S+F+A	61,84	-	-
Fiziksel Özellikler			
Özgül yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	2850	14400	4370
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )			2,94

### 2.2. Metotlar

Beton karışım hesabı TS 802 göre hazırlanmış ve su/çimento oranı 0.50 olarak belirlenmiştir (Tablo 2) (17). Yapılan literatür araştırmalar ışığında mineral katkı içeren betonlara çimento miktarı ağırlıkça %10 azaltılarak ikame yapılarak 150x150x150 mm boyutlarında 48 adet beton örneği üretilmiştir. Beton örnekleri 28 ve 90 gün süre ile 20 ± 2°C sıcaklıkta küre tabi tutulmuştur.

Su işleme derinliği deneyi; TS EN 12390-8 standardında belirtilen esaslara uygun olarak yapılmıştır (18). Örnekler içerisindeki geçen su yüksekliğini tespit edebilmek için su ilerleme yönüne paralel olacak şekilde ikiye ayrılmıştır. Ayrılmış örnekler üzerinden dijital kumpas yardımıyla her cm'de ölçüm yapılmış ve aritmetik ortalaması değerlendirmeye alınmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Su işleme derinliği cihazı

Basınç dayanımı deneyi; 28 ve 90 günlerde TS EN 12390-3 "Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini" standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Her seride su yüksekliği ölçülmüş yüzeyine dik olacak şekilde altı adet örnek üzerinde deney yapılmıştır (19).

Tablo 2. Mineral ve kimyasal katkı beton numunelerin karışım oranları

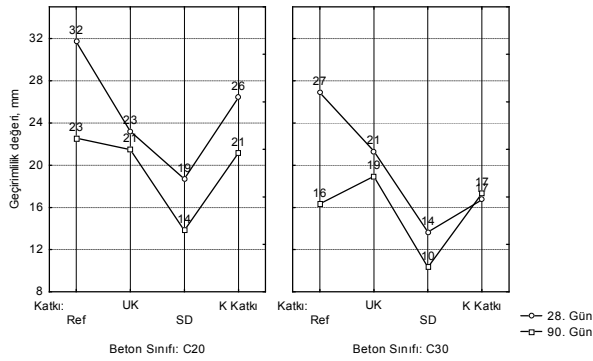
	Referans	UK	SD	K Katkı
Çimento (kg)	360	324	324	360
Kum (kg)	828	828	828	828
Çakıl (kg)	1025	1025	1025	1025
Su (kg)	208	216	216	198
Silis Dumanı (kg)	0	0	40	0
Uçucu Kül (kg)	0	40	0	0
Kimyasal Katkı (kg)	0	0	0	10
Çökme (cm)	7	8	7	6

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Geçirimsizlik değerlerine ait açıklayıcı istatistikî bilgiler Tablo 3'de verilmiştir. Analize tabi tutulan verilerin dağılımını gösteren çizgi grafik Şekil 2'de görülmektedir.

Tablo 3. Su işleme derinliğine ait açıklayıcı istatistikler

Beton türü	N	28. Gün		90. Gün	
		Ort. (mm)	Std. Hata	Ort. (mm)	Std. Hata
C20	6	31.720	3.209	22.570	0.441
C20 UK	6	23.210	2.575	21.490	0.520
C20 SD	6	18.690	3.831	13.817	0.905
C20 K Katkı	6	26.400	1.150	21.157	0.504
C30	6	26.880	1.673	16.333	0.882
C30 UK	6	21.333	1.856	18.930	1.181
C30 SD	6	13.667	2.186	10.333	0.882
C30 K Katkı	6	16.733	1.462	17.333	0.882
Toplam	48	22.329	1.357	17.745	0.851



Şekil 2. UK, SD, K Katkı ve Referans betonunun geçirimsizlik değerleri

Tablo 3'te görüldüğü gibi su işleme derinliği zaman faktörüne göre, kendi içerisinde istatistikî olarak önemsiz olmakta birlikte, 90 günlük örneklerde daha az olmaktadır. Bunun nedeni ise agrega-hamur ara yüzeylerinin etkisinin artması ve bunun sonucu olarak da su işleme derinliğinin azaldığı söylenebilir.

Tablo 4. Su işleme derinliğine ait varyans çözümleme tablosu

Varyans Kaynağı	Serbest derec	28. Gün				90. Gün			
		Kareler Toplam	Kareler Ort.	F	Anlam. düzeyi (p)	Kareler Toplam	Kareler Ort.	F	Anlam. düzeyi (p)
Beton Sınıfı	1	171.84	171.84	9.94	0.006	97.24	97.24	49.24	0.000
Katkı	5	522.06	174.02	10.07	0.000	260.32	86.77	43.94	0.000
Beton Sınıfı * Katkı	5	46.60	15.53	0.89	0.463	11.06	3.68	1.866	0.176
Hata	32	276.49	17.28			31.6	1.97		
Toplam	47	1016.9				400.23			

Zaman faktörünün iki seviyesi (28. ve 90. gün), Beton sınıfı faktörünün ise iki seviyede (C20 ve C30) gerçekleştirilmiş tekrarlanan ölçümlü varyans analizi sonucunda, Beton sınıfı\*Katkı türü interaksyonu istatistikî olarak önemsiz bulunmuştur ( $\alpha < 0.05$ ) (Tablo 4). Ayrıca, katkı türünün kendi aralarında birbirinden farklı olduğu görülmüştür.

Ortalamalar arasındaki farkın belirlenmesinde çoklu karşılaştırma yöntemlerinden Duncan testi kullanılmıştır (Tablo 5 ve 6).

Tablo 5. 28. gün verilerine ait Duncan testi sonuçları

Beton Sınıfı	Katkı Türü	28. Gün Ort	Farklı olan gruplar				
			1	2	3	4	5
C30	SD	13.67	****				
C30	K Katkı	16.73	****	****			
C20	SD	18.69	****	****	****		
C30	U.	21.33	****	****	****	****	
C20	UK	23.21		****	****	****	
C20	K Katkı	26.40			****	****	****
C30	Ref.	26.88				****	****
C20	Ref.	31.72					****

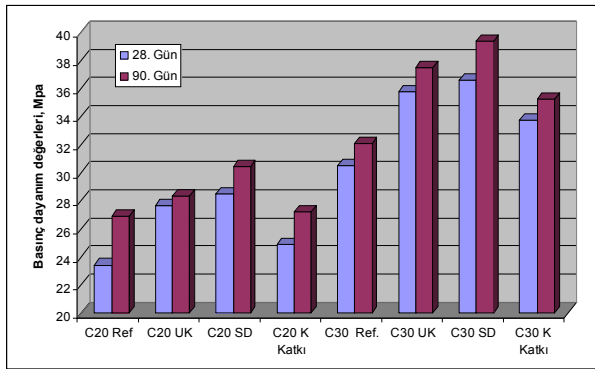
Tablo 6. 90. gün verilerine ait Duncan testi sonuçları

Beton Sınıfı	Katkı Türü	90. Gün Ort	Farklı olan gruplar					
			1	2	3	4	5	6
C30	SD	10.33						****
C20	SD	13.82						****
C30	Ref.	16.33		****				
C30	K Katkı	17.33		****	****			
C30	UK	18.93			****	****		
C20	K Katkı	21.16	****			****		
C20	UK	21.49	****					
C20	Ref.	22.57	****					

Gerçekleştirilen Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre geçirimsizlik değerleri zaman faktörü bakımından;

- 28 günlük C30 betonunun SD, UK ve kimyasal katkının referans betonuna göre farklı olduğu,
- 28 günde C20 betonunun Referans ile kimyasal katkının arasında fark olmadığı ancak SD ve UK bunlardan farklı olduğu,
- 90 günde C30 betonunun Ref. ile kimyasal katkının arasında fark olmadığı, UK bunlardan, SD ise hepsinden farklı olduğu,
- 90 günde C20 betonunun Ref, UK ve Kimyasal katkının arasında fark olmadığı ancak SD katkılı betonun bunlardan farklı olduğu, görülmektedir.

Şekil 3’de SD, UK, K Katkı ve Referans betonuna ait basınç değerleri verilmiştir. C20 ve C30 beton sınıflarında göre en yüksek basınç dayanımının SD içeren beton örneğinde çıktığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3. UK, SD, K Katkı ve Referans betonların basınç dayanım değerleri

Şekil 3’deki basınç değerlerine göre; C20 beton sınıfının 28. günde kontrol betonuna göre UK örneklerinin ortalama % 17.9, SD örneklerinin % 21.5 ve K Katkı’ya göre % 6.2; 90. günde kontrol betonuna göre UK örneklerinin ortalama % 20.9, SD örneklerinin % 30 ve K Katkı’ya göre % 16.2 daha yüksek sonuç verdiği, C30 beton sınıfının 28. günde kontrol betonuna göre; UK örneklerinin ortalama % 17.2, SD örneklerinin %19.9 ve K Katkı’ya göre % 10.6; 90. günde kontrol betonuna göre UK örneklerinin ortalama % 22.8, SD örneklerinin % 28.8 ve K Katkı’ya göre % 15.4 daha yüksek sonuç verdiği görülmektedir.

Su işleme değerlerine göre zamana bağlı olarak değişimini belirlemek amacıyla, su işleme derinliği ile basınç değerleri arasında regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen regresyon analizi sonucunda su işleme derinliği-basınç değerleri arasındaki ilişki ikinci dereceden  $Y = b_0 + b_1X + b_2X^2$  model denklemi ile açıklanabilmektedir. Zaman değişimine göre oluşturulan regresyon modeline ilişkin istatistikler Tablo 7’de gösterilmektedir.

İstatistikî değerlendirme sonucuna göre beton sınıfları ve katkı türlerine uygulanan regresyon katsayısının iyi sonuçlar verdiği bulunmuştur. Hesaplanan denklemler kullanılarak 28 ve 90. günde aralıklardaki su işleme derinliğinin hesaplanabilmesi mümkün olmaktadır.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, çimento yerine karışıma %10 oranında SD ve UK ikame edilerek yapılan 28. ve 90. günlük deney sonuçlarına göre;

1. Geçirgenlik değerlerine göre mineral katkılı betonların daha az geçirgen olduğu ve zaman faktörüne göre daha da azaldığı

Tablo 7. Zaman ve beton türlerine göre geçirimsizlik- basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi gösteren regresyon modelleri

Beton sınıfı	Zaman Faktörü	Regresyon Katsayısı	Regresyon Denklemi	Anlam. düzey
C20 Ref.	28.	1,00	$Y = -250,947 + 30,78 * X - 0,705 * X^2$	0,01
	90.	0,99	$Y = 329,789 - 19,71 * X + 0,379 * X^2$	0,01
C20 UK	28.	0,98	$Y = 2788,777 - 188,10 * X + 3,250 * X^2$	0,01
	90.	1,00	$Y = 1898,29 - 129,46 * X + 2,291 * X^2$	0,01
C20 SD	28.	0,99	$Y = -15452,75 + 1106,57 * X - 19,714 * X^2$	0,01
	90.	1,00	$Y = -6689,95 + 449,91 * X - 7,478 * X^2$	0,01
C20 K Katkı	28.	1,00	$Y = -695,688 + 65,71 * X - 1,396 * X^2$	0,01
	90.	0,99	$Y = 3088,52 - 223,47 * X + 4,135 * X^2$	0,01
C30 Ref.	28.	1,00	$Y = 562,53 - 31,19 * X + 0,498 * X^2$	0,01
	90.	0,99	$Y = -1003,20 + 69 * X - 1,11 * X^2$	0,01
C30 UK	28.	1,00	$Y = 6067,6 - 346,5 * X + 5 * X^2$	0,01
	90.	1,00	$Y = 3727,711 - 197,17 * X + 2,654 * X^2$	0,01
C30 SD	28.	1,00	$Y = 13032,285 - 717,73 * X + 9,92 * X^2$	0,01
	90.	0,98	$Y = 11025,66 - 564,83 * X + 7,26 * X^2$	0,01
C30 K Katkı	28.	1,00	$Y = -1826,377 + 111,33 - 1,635 * X^2$	0,01
	90.	0,98	$Y = -2248,56 + 131,929 * X + -1,877 * X^2$	0,01

2. C20 beton sınıfındaki betonların 28. gündeki geçirimsizlik değeri kontrol betonuna göre;
  - UK örneklerinin ortalama % 10,
  - SD örneklerinin %15.9,
  - Kimyasal katkı da % 10.6,
90. gündeki kontrol betonuna göre;
  - UK örneklerinin ortalama % 1.5,
  - SD örneklerinin %12.1,
  - Kimyasal katkıya da % 1.9, daha az sonuç vermiştir.
3. C30 beton sınıfındaki betonların 28. gündeki geçirimsizlik değeri kontrol betonuna göre;
  - UK örneklerinin ortalama % 7.2,
  - SD örneklerinin %17.2,
  - Kimyasal katkı da % 13.2 daha az sonuç vermiştir
90. günde kontrol betonuna göre;
  - UK örneklerinin ortalama %10.3
  - SD örneklerinin % 21.5
  - Kimyasal katkı da göre % 12.4
4. C20 ve C30 beton sınıflarında en yüksek basınç dayanımını sırasıyla, ortalama 30.5 MPa ve 39.4 MPa ile silis dumanı katkılı beton örnekleri vermiştir. Çünkü SD çok ince taneli olmasından dolayı gözenek yapısını daha geçirimsiz hale getirdiği düşünülmektedir. Ayrıca diğer katkı malzemesi UK'ün küresel formda olması ve yer yer kümeleşmelerin oluşması UK içeren beton numunenin silis dumanına göre daha az geçirgen olduğunu göstermektedir.

Mineral katkılarda silis dumanı ve uçucu külün, Sertleşmiş betondaki dayanımını artırdığı, su geçirimsizliği azalttığından yapılan çalışma literatür bilgileriyle uyumlu sonuçlar vermiştir.

## 5. KAYNAKLAR

1. Ersoy, H. Y., "Alçı, Sünger Taşı ve Cam Lifi Kompoziti", İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınevi, 1985.
2. Yıldız S, Yalınbaş M ve Keleştemur O., "Silis dumanı katkılı yapı alçılarında eğilmede çekme dayanımının araştırılması" Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 20, No 3, 395-399, 2005 Cilt: 20, No: 3, Syf: 395-399, 2005
3. Malhotra, V., M., "Superplasticized Fly Ash Concrete For Structural Concrete Application Concr Int" cilt no: 8., Syf: 28-31, 1986
4. Malhotra, V. M., Mehta, P. K., "High Performance, High Volume Fly Ash Concrete". Supplementary Cementing Materials For Sustainable Development Inc., Ottawa, 2002
5. Erdoğan Y.Turhan, "Beton", Syf:183, Ankara, 2003
6. Yeğinobalı, A., "Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Katkı Maddesi Olarak kullanılması",TÇMB/AR-GE/Y01.01 3.Baskı, Ankara, 2003.
7. Khayat,K.H. and Aitcin P.C., "Silica Fume in Concrete: an Overview", ACI SP-132, 835-865, ACI , Detroit, 1992
8. Şimşek, O., "Beton ve Beton Teknolojisi", Seçkin Basım ve Dağıtım, Ankara, 2004.
9. Şimşek O., Erdal M., ve Sancak E., "Silis Dumanının Çelik Lifli Betonun Eğilme Dayanımına Etkisi", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 20, No 2, 211-215, 2005
10. Bentur, A. Goldman A. ve Chen, M.D., "The contributions of the transtion zone to the strength of high quality silica fume concretes", Pittsburgh, 1988.
11. ACI Committee 234, "Guide for the use of silica fume in concrete". American Concrete Institute, Farmington Hills, 2000.
12. Sellevod, E.J., "Review: Microsilica in Concrete", Project Report No: 08037-EJSTJJ, Norwegian Building Resarch Institute, Oslo, 1984
13. Sellevold, E.J., ve Nilsen, T., "Condenset silica fume in concrete: a world review", Supplementary Cementing Materials for Concrete, 165-243, CANMET, Ottawa, 1987.
14. Ezeldin, A. and Balaguru, P., "Bond Behavior of Normal and High-Strength Fiber Reinforced Concrete" ACI Materials Journal, v. 86, n.5, 515-524, 1989.
15. TS EN 934-2 "Kimyasal Katkılar- Beton, Harç ve Şerbet İçin- Bölüm 2: Beton Katkıları- Tarifler ve Özellikler, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002
16. Özturan, T., Özel, M. Ve Şigaher, A.N. Süper akışkanlaştırıcı dozajının uçucu kül ve silis dumanı katkılı betonlarda işlenebilme ve dayanıma etkisi. Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar. 4. Ulusal Beton Kongresi, 30 Ekim-1 Kasım, syf:121-131., İstanbul, 1996
17. TS 802, Beton Karışım Hesap Esasları, TSE, Ankara, 1985.
18. TS EN 12390-8, "Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 8: Basınç Altında Su İşleme Derinliğinin Tayini", Ankara, 2002
19. TS EN 12390-3 "Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2003