

# UÇUCU KÜL VE YÜKSEK FIRIN CÜRUFUNUN SÜPER AKIŞKANLAŞTIRICI KATKILI BETON ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

EFFECT OF FLY ASH AND BLAST FURNACE SLAG ON PROPERTIES OF SUPERPLASTICIZER ADDED CONCRETE

**Hasbi Yaprak**

Ankara Ü. Kastamonu Meslek Yüksek Okulu  
Kastamonu

**Osman Şimşek, H. Yılmaz Aruntaş**

Gazi Ü. Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü  
Ankara

## Özet

Bu deneysel çalışmada, endüstriyel bir atık olan Çayırhan ve Çatalağzı termik santrali uçucu külleri (UK) ile Kardemir yüksek fırın cürufunun (YFC) süper akışkanlaştırıcı(SA) katkılı beton özelliklerine etkisi araştırılmıştır. UK ve YFC, ağırlıkça % 0, % 10, % 20 ve % 30 oranlarında Portland çimentosu (PÇ 42,5) ile ikame edilerek SA katkılı betonlar üretilmiştir. Karışımlarda s/b ve SA oranı sabit olarak alınmıştır. Üretilen betonlar ile 15 cm boyutlu küp numuneler hazırlanmıştır. Numuneler, 7, 28 ve 90 gün kür edildikten sonra basınç ve yarmada çekme deneyleri yapılmıştır. UK ve YFC ikameli betonlar, hem birbirleri ile hem de PÇ 42,5 ile üretilmiş olan kontrol betonu ile karşılaştırılmıştır. En yüksek basınç dayanımı, % 10 UK ve % 20 YFC betonlarda elde edilmiştir.

## Abstract

In this experimental study, effect of Çayırhan and Çatalağzı fly ashes (FA) and Kardemir blast furnace slag (BFS) on properties of superplasticizer (SP) added concrete was investigated. FA and BFS were added to Portland cement (PÇ 42,5) 0 %, 10 %, 20 % and 30 % by weight of the cement. In concrete mixtures w/c ratio and SP ratio were kept constant and superplasticizer added concretes were produced. 15 cm cube specimens were prepared with produced concrete and cured at 7, 28, and 90 days. After curing compressive strength and tensile strength tests on hardened concrete specimens were done. FA and BFS replacement concretes were compared with each other as well as with Portland cement concrete. The highest compressive strengths were obtained with 10 % FA and 20 % BFS replacement concretes.

# 1. GİRİŞ

Endüstriyel atıkların inşaat sektöründe değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir. Bu atıklar, puzolan olmaları nedeniyle hem çimento hem de beton üretiminde katkı ve ikame malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bilindiği gibi Türkiye, elektrik enerjisinin yarıya yakını termik santrallerde üretmektedir. Bu üretim sırasında termik santrallerin bacalarından elde edilen atık UK miktarı, 13,5 milyon ton/yıl dolayındadır [1]. İnşaat sektöründe UK; çimento, agrega, beton, yapı malzemesi, kerpiç üretiminde ve geoteknik uygulamalarda kullanılmaktadır [1-13].

Demir-çelik üretimi sonucunda elde edilen YFC da, diğer bir endüstriyel atık malzemedir. Türkiye’de demir-çelik üretimi esnasında elde edilen atık YFC miktarı ise, yaklaşık olarak 690.000 ton/yıldır [14]. YFC da, katkı çimento, beton, tuğla, kiremit, yol yapım malzemesi, portland çimentosu üretiminde hammadde ve agrega olarak inşaat sektöründe kullanılmaktadır [2,4,14-22].

Türkiye’de UK’lerin betonda ikame metoduyla kullanımı ile ilgili bir çok çalışma bulunmasına karşılık [23-27] YFC ile ilgili araştırmalar sınırlı sayıdadır [28]. Önceki araştırmalarda UK, SA katkı betonlarda sabit slump yöntemi ve sabit s/b oranı ile denenmiştir [26,29]. Bu çalışmada ise, akışkanlaştırıcı oranı sabit dolayısıyla farklı slump değeri olan SA katkı betonlara UK ve YFC’nun etkisi incelenmiştir. Önceki bir çalışmada [30] % 20’ye kadar denenmiş olan Çayırhan UK’ü % 30 oranında çimento ile ikame edilerek test edilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Materyal

Bu araştırmada; kırma taş ve doğal kum agregası, PÇ 42,5 çimentosu, Çayırhan uçucu külü (ÇYUK) ve Çatalağzı uçucu külü (ÇTUK), Karabük Demir-Çelik Fabrikası YFC ve SA katkı maddesi kullanılmıştır. ÇYUK yüksek kireçli, ÇTUK ise düşük kireçlidir. Kırma taş ve doğal kumun özgül ağırlık ve su emme değerleri, sırasıyla  $2,70 \text{ g/cm}^3$ , % 0,26 ve  $2,67 \text{ g/cm}^3$ , % 0,8’dir. Çimentonun özellikleri, SET Ankara Çimento Fabrikası raporlarından alınmış, UK’ler ve YFC’na ait kimyasal analizler ile diğer deneyler, Karçimsa Çimento Fabrikası laboratuvarında yaptırılmıştır. Kimyasal analiz ve fiziksel özellikler, Çizelge 1’de, çimentonun özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir. Her iki UK ile YFC’nun granülometrik analizleri ise Çizelge 3’de verilmiştir. UK’lerin granülometrik bileşimi, aynı UK’ler ile daha önce yapılmış diğer bir çalışmada elde edilen sonuçlara oldukça yakındır [31]. Taze beton üretiminde karma suyu olarak şehir içme suyu kullanılmıştır.

Çizelge 1. PÇ 42,5, ÇYUK, ÇTUK ile YFC'nun kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Bileşim (%)	PÇ 42,5	ÇYUK	ÇTUK	YFC
SiO <sub>2</sub>	20,35	50,20	54,52	39,18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,98	12,70	24,60	9,81
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,06	9,00	7,54	1,90
CaO	63,35	12,53	2,63	32,52
MgO	1,89	4,33	3,39	9,94
Na <sub>2</sub> O	0,58	2,75	0,28	0,40
K <sub>2</sub> O	0,88	2,50	0,50	1,50
SO <sub>3</sub>	2,89	0,39	-	-
K.K.	0,50	0,54	0,80	-
Ç.K.	0,52	68,74	92,76	0,88
Fiziksel Özellikler				
Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	3,10	2,04	1,80	2,53
İncelik (blaine) (cm <sup>2</sup> /g)	3200	2120	1805	4343

Çizelge 2. PÇ 42.5 fiziksel ve mekanik özellikleri

Fiziksel Özellikler		Mekanik Özellikler	
Priz başlangıcı (dk)	200	Basınç Dayanımı, kgf/cm <sup>2</sup>	
Priz sonu (dk)	310	2 gün	22,9
Hacim genleşmesi(mm)	3	7 gün	47,2
		28 gün	57,0

Çizelge 3. ÇYUK, ÇTUK ile YFC'nun granülometrik analizi

Elek (% kalan)	ÇYUK	ÇTUK	YFC
45 µm	49,50	64,10	0,50
63 µm	40,80	59,70	0,30
90 µm	29,70	50,20	-
200 µm	7,30	22,90	-
250 µm	4,20	16,30	-
500 µm	0,40	2,70	-

## 2.2. Metot

UK'ler ve YFC, ağırlıkça % 0, % 10, % 20 ve % 30 oranlarında çimento ile ikame edilmiş, biri kontrol, altısı UK ve üçü de YFC ikameli olmak üzere toplam on seri beton üretilmiştir. 1 m<sup>3</sup> beton karışımına giren malzeme miktarları, Çizelge 4'de verilmiştir. Beton karışım hesabı, TS 802 [32]'ye göre yapılmış, hazırlanan bütün betonlarda su/bağlayıcı (s/b) oranı 0.42, SA oranı % 1.3 olarak sabit tutulmuştur. Deneylerde 15 cm boyutlu küp numuneler kullanılmış, sıkıştırma işlemi sarsma masası üzerinde gerçekleştirilmiştir. Numuneler, 24 saat sonra kalıptan çıkarılarak laboratuvarında 20 ± 2 °C sıcaklıktaki kirece doymun su içinde 7, 28 ve 90 gün süreyle kür edilmiştir. Basınç ve yarmada çekme dayanımı deneyleri, 2000 kN yük kapasiteli ve 0.01 kN hassasiyetli tam otomatik preste yapılmıştır. Deney sonuçları, üç numunenin aritmetik ortalaması olarak alınmıştır.

Çizelge 4. 1 m<sup>3</sup> Beton karışımına giren malzeme miktarları

Beton Kodu	SA (%)	PÇ 42.5 (kg)	UK (kg)	YFC (kg)	Su (lt)	Doğal Kum (kg)	Kırmataş (kg)
Kontrol	1,3	425,0	0	0	178,5	857	936
ÇYUK10	1,3	382,5	42,5	0	178,5	848	927
ÇYUK20	1,3	340,0	85,0	0	178,5	840	918
ÇYUK30	1,3	297,5	127,5	0	178,5	833	910
ÇTUK10	1,3	382,5	42,5	0	178,5	844	923
ÇTUK20	1,3	340,0	85,0	0	178,5	831	908
ÇTUK30	1,3	297,5	127,5	0	178,5	819	894
YFC10	1,3	382,5	0	42,5	178,5	853	932
YFC20	1,3	340,0	0	85,0	178,5	849	928
YFC30	1,3	297,5	0	127,5	178,5	846	925

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. İşlenebilme

Taze betonların slump deney sonuçları, Çizelge 5’de görülmektedir. Taze betonlardaki UK ve YFC ikame oranı artarken çökme değerleri azalmakta diğer bir deyişle işlenebilme zorlaşmaktadır. Bu durum, sabit s/b oranı ile UK’ün özgül ağırlığının çimentodan düşük olmasından dolayı karışıma giren malzeme miktarının hacimce artması ile doğru orantılı olarak su ihtiyacının da artmasıyla açıklanabilir. Çizelge 1’de görüldüğü gibi Çatalağzı UK’ünün özgül ağırlığı daha az olduğu için Çayırhan UK’üne göre daha düşük çökme vermiştir. Bununla birlikte en düşük çökme değerleri, doğal olarak YFC ikameli betonlarda elde edilmiştir. Bunun nedeni, YFC’nun her iki UK’den de çok daha ince taneli olmasıdır. Burada, YFC’nun blain değerinin çimentodan fazla (Çizelge 1), granülometrik bileşiminin de her iki UK’den daha ince olduğu göz önünde tutulmalıdır (Çizelge 3).

Çizelge 5. Taze beton çökme değerleri

İkame malzemesi	Çökme (cm)			
	% 0	% 10	% 20	% 30
ÇYUK	18,0	16,0	14,0	11,0
ÇTUK	18,0	11,0	8,0	6,0
YFC	18,0	6,5	5,0	4,0

#### 3.2. Basınç dayanımı

Üretilen betonların basınç dayanımları, Çizelge 6’da gösterilmektedir. 7 günlük dayanımlarda kontrol betonunun basınç dayanımı, UK ve YFC ikameli betonlara göre daha yüksektir. UK’lü betonların dayanımları, ikame oranı arttıkça azalmaktadır. Bunun sebebi, UK miktarı arttığı halde karma suyu ve SA miktarının sabit alınmasıdır. UK’lü betonlarda en yüksek basınç dayanımını ÇTUK10 göstermiştir. YFC ikameli betonlarda

en yüksek basınç dayanımlarını YFC10 ve YFC20 vermiştir. YFC ikameli betonların basınç dayanımları, UK'lü betonların dayanımlarından daha yüksektir.

Çizelge 6. Sertleşmiş betonların basınç ve yarmada çekme dayanımları

Beton Kodu	Basınç dayanımı (MPa)			Yarmada çekme dayanımı (MPa)		
	7 gün	28 gün	90 gün	7 gün	28 gün	90 gün
Kontrol	56,7	57,7	59,5	3,71	3,87	4,05
ÇYUK10	51,3	55,3	63,0	3,74	3,80	3,97
ÇYUK20	48,7	54,5	58,2	3,50	3,63	3,75
ÇYUK30	43,4	48,0	49,2	3,32	3,44	3,66
ÇTUK10	53,2	58,8	61,6	3,57	3,70	3,90
ÇTUK20	50,2	53,9	55,9	3,37	3,58	3,79
ÇTUK30	43,2	47,2	51,5	3,27	3,45	3,72
YFC10	54,0	58,5	59,8	3,93	4,31	4,46
YFC20	54,5	62,3	63,8	3,78	4,23	4,30
YFC30	51,1	59,0	60,8	3,62	4,02	4,20

28 günlük dayanımlarda kontrol betonunun basınç dayanımı, UK ikameli betonlara göre ÇTUK10 hariç diğerlerinden fazladır. Bu yaşta da, ikame oranı arttıkça UK'lü betonların dayanımları azalmaktadır. Bu durum her iki UK için de aynıdır. Yine UK'lü betonlarda en yüksek basınç dayanımını ÇTUK10 göstermiştir. YFC ikameli betonlarda en yüksek basınç dayanımı YFC20'de elde edilmiştir. Bu yaşta YFC ikameli betonların basınç dayanımları, kontrol betonu ile UK'lü betonların dayanımından daha yüksektir.

90 günlük dayanımlarda kontrol betonunun basınç dayanımı, UK ikameli betonlara göre ÇYUK10 ve ÇTUK10 dışında diğerlerinden yüksektir. 7 ve 28 gündeki gibi betonda ikame oranı arttıkça UK'lü betonların dayanımları da düşmektedir. UK'lü betonlarda en yüksek basınç dayanımları, ÇYUK10 ve ÇTUK10'da elde edilmiştir. ÇYUK10 basınç dayanımının ÇTUK10'dan fazla olması, ÇYUK'nün yüksek kireçli olması ile açıklanabilir. 7 ve 28 gün yaşlarındaki gibi YFC ikameli betonlarda en yüksek basınç dayanımını YFC20 vermiştir. Bu yaşta da YFC ikameli betonların basınç dayanımı, kontrol betonu ile ÇYUK10 ve ÇTUK10 dışında UK'lü betonların dayanımlarından daha yüksektir. Bu durum, YFC'nun çimento inceliğinde olması ve puzolanik reaksiyonları hızla tamamlaması ile açıklanabilir.

YFC ikameli betonların basınç dayanımının erken yaşta kontrol betonundan düşük, ileri yaşlarda yüksek olması literatür ile benzerlik göstermektedir [16]. Diğer taraftan UK ikameli betonların basınç dayanımının yıl sonunda YFC ikameli betonlara erişeceği söylenebilir.

### 3.2. Yarmada çekme dayanımı

Üretilen betonların yarmada çekme dayanımları, Çizelge 6'da verilmektedir. 7 günlük dayanımlarda kontrol betonunun dayanımı, YFC10 dışında birbirine yakın veya diğerlerinden fazladır. UK'lü betonların yarmada çekme dayanımları, basınç dayanımında olduğu gibi ikame oranı arttıkça azalmaktadır. UK'lü betonlarda en yüksek dayanımı ÇYUK10 göstermiştir. YFC ikameli betonlarda en yüksek yarmada çekme dayanımını YFC10 vermiştir. YFC ikameli betonların yarmada çekme dayanımı, UK'lü betonların dayanımından daha yüksektir.

28 günlük dayanımlarda kontrol betonunun yarmada çekme dayanımı, UK ikameli betonların tamamından fazladır. Bu yaşta da, ikame oranı arttıkça UK'lü betonların dayanımları azalmaktadır. UK'lü betonlarda en yüksek dayanımı ÇYUK10 ve ÇTUK10 göstermiştir. YFC ikameli betonlarda en yüksek yarmada çekme dayanımı YFC10 ve YFC20'de elde edilmiştir. YFC ikameli betonların yarmada çekme dayanımları, kontrol betonu ile UK'lü betonların dayanımlarından daha yüksektir.

90 günlük dayanımlarda kontrol betonunun yarmada çekme dayanımı, 28 günde olduğu gibi UK ikameli betonlardan daha yüksektir. Erken yaşlardaki gibi ikame oranı arttıkça UK'lü betonların dayanımları da azalmaktadır. UK'lü betonlarda en yüksek yarmada çekme dayanımları, ÇYUK10 ve ÇTUK10'da elde edilmiştir. 7 ve 28 günde olduğu gibi YFC ikameli betonlarda en yüksek yarmada çekme dayanımını YFC10 göstermiştir. YFC ikameli betonların yarmada çekme dayanımı, kontrol betonu ile UK'lü betonların dayanımlarından daha yüksektir.

#### 4. SONUÇLAR

Bu deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

1. Betonda UK ve YFC miktarı arttıkça çökme değerleri azalmaktadır.
2. Taze betonda su miktarı ve SA oranı sabit alındığında UK ve YFC miktarı arttıkça beton karışımlarının işlenebilirliği azalmaktadır. En düşük çökme değerleri, YFC ikameli betonlarda elde edilmiştir.
3. Betonda UK ikame oranı yükseldikçe bütün yaşlarda hem basınç hem de yarmada çekme dayanımları düşmektedir.
4. UK ikameli betonlarda bütün yaşlarda en yüksek basınç ve yarmada çekme dayanımları, ÇYUK10 ve ÇTUK10 betonları göstermiştir.
5. Betonda YFC ikame oranı yükseldikçe bütün yaşlarda basınç dayanımları % 20'ye kadar artmakta % 30 ikame oranında azalmaktadır. Yarmada çekme dayanımları ise ikame oranı yükseldikçe düşmektedir.
6. YFC ikameli betonlarda bütün yaşlarda en yüksek basınç dayanımı, YFC20 ve yarmada çekme dayanımı ise YFC10 betonlarında elde edilmiştir.
7. YFC ikameli betonların tamamı ile % 10 UK ikameli betonlar, 90 gün yaşında kontrol betonuna kıyasla yüksek basınç dayanımı göstermektedir.

#### Kaynaklar

1. Tokyay, M., "Betonda Uçucu Kül Kullanımı(Türkiye Deneyimi)", *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu*, Ankara, 29-36, 1993.
2. Neville, A.M., *Properties of Concrete*, Longman Scientific&Technical, New York, 1981.
3. Mehta, P.K., *Concrete- Structure, Properties, and Materials*, Prentice-Hall, New Jersey, 1986.

4. Erdoğan, T.Y., “Atık Malzemelerin İnşaat Endüstrisinde Kullanımı, Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Curufu”, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu*, Ankara, 1-8, 1993.
5. Ravina, D., “Properties of Fresh Concrete Incorporating a High Volume of Fly Ash as Partial Fine Sand Replacement”, *Materials and Structures*, 30, (202), 473-479, 1997.
6. Papadakis, V.G., “Effect of Fly Ash on Portland Cement Systems Part II. High-Calcium Fly Ash”, *Cement and Concrete Research*, 30, (10), 1647-1654, 2000.
7. Davies, D.R., Kitchener, J.N., “Massive Use of Pulverised Fuel Ash in Concrete for the Construction of a UK Power Station”, *Waste Management*, 16, (1-3), 169-180, 1996.
8. ACI Committee 216, “Use of Fly Ash in Concrete”, *ACI Materials Journal*, 83, (5), 381-409, 1987.
9. Ferreira, C., Ribeiro, A., Ottosen, L., “Possible Applications for Municipal Solid Waste Fly Ash”, *Journal of Hazardous Materials*, 96, (2-3), 201-216, 2003.
10. Kumar, S., “Fly Ash-Lime-Phosphogypsum Hollow Blocks for Walls and Partitions”, *Building and Environment*, 38, (2), 291-295, 2003.
11. Baradan, B., “Fly ash-cement based structural materials”, *Int. Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, 9, (4), 225-228, 1987.
12. Şimşek, O., Sancak, E., Fırat, S., “Kerpiç Özelliklerini İyileştirme Yönünde Bir Araştırma”, *Türkiye İnşaat Müh. XVI. Teknik Kongre ve Sergisi*, Ankara, 2001.
13. Wasti, Y., “Uçucu Küllerin Geoteknik Uygulamalarda Kullanımı”, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu*, Ankara, 37-44, 1993.
14. Majumdar, A.J., “Properties of Some Blended High Alumina Cements”, *Cement and Concrete Research*, 22, (6), 1101-1114, 1992.
15. Swamy, R.N., Boukni, A., “Some Engineering Properties of Slag Concrete as Influenced by Mix Proportioning and Curing”, *ACI Materials Journal*, 87, (3), 210-220, 1990.
16. Erdoğan, T.Y., “Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu ve Kullanımı”, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu*, Ankara, 1-13, 1995.
17. Bordonado, G., Nissoux, J.L., “Road Building Concretes Incorporating Fly Ash or Slag”, *Proc. of Fly Ash, Silica Fume, Slag & Other Mineral By-Products in Concrete*, ACI, Detroit, Ed. V.M. Malhotra, V.1, SP 79-25, 471-493, 1983.

18. Varlıorpak, Ç., Tanyel, S., Eren, A., “Yol Üst Yapımında Cüruf Kullanımı”, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu*, Ankara, 129-139, 1995.
19. Çokça, E., “Atık Maddeler ve Yan Ürünlerin Yol Dolgularında Kullanılması”, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu*, Ankara, 105-116, 1995.
20. Güner, A., “Günümüzde Yüksek Fırın Cürufunun İnşaat Sektöründe Kullanımı”, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu*, Ankara, 215-222, 1993.
21. ACI Committee 226, “Ground Granulated Blast Furnace Slag as a Cementitious Constituent in Concrete”, *ACI Manual of Concrete Practice*, Part 1, 1994.
22. Mielenz, R.C., “Mineral Admixtures-History and Background”, *ACI Concrete International*, 34-42, August 1983.
23. Öztekin, E., Sümer, M., “Uçucu Küllü ve Fillerli Betonların Bazı Karşılaştırmalı Özellikleri”, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu*, Ankara, 23-28, 1993.
24. Erdoğan, T.Y., Parla, B., “Yüksek-kireçli Uçucu Küllerin Beton Basınç Dayanımları”, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu*, Ankara, 79-87, 1993.
25. Şimşek, O., Aruntaş, H.Y., Eroltekin, V., “Uçucu Külün Hafif Beton Yapı Elemanı Üretiminde Kullanımı ve Mekanik Özelliklerine Etkisi”, *Z.K.Ü. Teknoloji Dergisi*, 2, (3-4), 15-23, 1999.
26. Yazıcı, Ş., Baradan, B., “Uçucu Kül Katkılı Yüksek Dayanımlı Beton”, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu*, Ankara, 59-72, 1995.
27. Gökçe, A., Çiçekli, O.C., Uyan, M., Öztekin, E., “Uçucu Küllü Betonların Mekanik Özellikleri Üzerine Bir Deneysel Çalışma”, *4. Ulusal Beton Kongresi-Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar*, İstanbul, 223-232, 1996.
28. Köksal, F., Güllü, H., Güner, A., “İslanma-Kuruma Etkisindeki Betonlarda En Uygun Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu Oranları”, *4. Ulusal Beton Kongresi-Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar*, İstanbul, 245-256, 1996.
29. Özturan, T., Özel, M., Şigaher, A.N., “Süperakışkanlaştırıcı Dozajının Uçucu Kül ve Silis Dumanı Katkılı Betonlarda İşlenebilme ve Dayanıma Etkisi”, *4. Ulusal Beton Kongresi-Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar*, İstanbul, 121-131, 1996.
30. Şimşek, O., Aruntaş, H.Y., Fırat, S., “Çayırhan ve Soma-B Termik Santralleri Uçucu Küllerinin Betonun Basınç Dayanımına Etkisi”, *Türkiye İnşaat Müh. XVI. Teknik Kongre ve Sergisi*, Ankara, 2001.



31. Türker, P., Erdoğan, K., “Effects of Different Particle Size Fractions of Fly Ash on Strength of Fly Ash Incorporated Mortars”, *1st International Symposium on Mineral Admixtures in Cement*, İstanbul, 117-124, 6-9 November 1997.
32. TS 802, *Beton Karışım Hesap Esasları*, Türk Standartları Enstitüsü, 1985.