

SÜPERAKIŞKANLAŞTIRICI DOZAJININ UÇUCU KÜL VE SİLİS DUMANI KATKILI BETONLARDA İŞLENEBİLME VE DAYANIMA ETKİSİ

Turan ÖZTURAN

Doç. Dr.
Boğaziçi Üniversitesi
İstanbul

Melda ÖZEL

Ar. Gör.
Boğaziçi Üniversitesi
İstanbul

Ani Natali ŞİGAHER

Ar. Gör.
Boğaziçi Üniversitesi
İstanbul

ÖZET

Bu çalışmada katkısız ve uçucu kül ve/veya silis dumanı katkılı betonlarda işlenebilme ile basınç ve eğilme dayanımına süperakışkanlaştırıcı katkı dozajının etkileri incelenmiştir. Dört grup beton üretilmiştir. Birinci grup betonlarda bağlayıcı olarak sadece portland çimentosu kullanılmıştır. İkinci grupta, çimento ağırlığının %20'si uçucu kül ile yer değiştirirken, üçüncü grup betonlarda çimento ağırlığının %10'u oranında silis dumanı çimentoya ilave edilmiştir. Dördüncü grupta, hem uçucu kül hem de silis dumanı yukarıda belirtilen oranlarda kullanılmıştır. Betonların su çimento oranı 0.40 değerinde sabit tutulurken, her grupta süperakışkanlaştırıcı oranı % 0, 1.5 ve 3.0 olarak değiştirilmiştir.

Deney sonuçları uçucu kül katkılı ve düşük su çimento oranlı betonlarda süperakışkanlaştırıcı katkı maddesinin işlenebilme özelliğine etkisinin sadece çökme deneyi ile belirlenemeyeceğini göstermiştir. İnceliği ve su ihtiyacı yüksek uçucu küller işlenebilmeyi olumsuz etkilemektedir. Süperakışkanlaştırıcı katkının yüksek dozlarda hava sürüklemeye etkisinin olabileceği, bu nedenle de betonun basınç ve eğilme dayanımlarında süperakışkanlaştırıcı katkı oranının artışıyla azalmalar elde edildiği görülmüştür. Süperakışkanlaştırıcı kullanılan mineral katkılı betonların basınç dayanımları kontrol betonundan daha yüksek olurken, eğilme dayanımları daha düşük bulunmuştur.

1. GİRİŞ

Uçucu kül ve silis dumanı, temel bileşenlerden olmasalar da betonun çeşitli fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özelliklerini iyileştirmek amacıyla beton üretiminde giderek artan oranda kullanılmaktadırlar. Kendi başlarına bağlayıcılık özelliği göstermeyen bu mineral katkı maddeleri puzolonik aktiviteleri ve boşluk doldurucu etkileriyle beton özelliklerinde iyileştirme yapabilmektedirler.

Termik santrallerin atığı olan uçucu küllerin portland çimentosuna yakın inceliği ve çoğunlukla küresel tane yapısıyla taze betonda su ihtiyacını arttırmadıkları belirtilmektedir [1]. Ancak uçucu külün inceliğinin artması veya morfolojisinin değişmesi, ya da yanmamış karbon miktarının fazla olması betonda su ihtiyacının artmasına neden olabilir [2].

Silisyum ve ferrosilisyum alaşımları üretiminin atık maddesi olan silis dumanı ortalama 0.1 mikron boyutunda küresel parçacıklar içermekte olup, portland çimentosundan iki mertebe daha yüksek inceliğe sahiptir. Bu nedenle, betonda silis dumanı kullanımı genelde kohezyonu oldukça artırırken, taze betonda su ihtiyacını da yükseltmektedir [3].

Uçucu kül ve silis dumanı çimentonun bir kısmı yerine veya çimentoya ilaveten betonda, özellikle yüksek katılma oranlarında ve düşük su-çimento oranlarında, kullanıldığında akışkanlaştırıcı veya çoğunlukla süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanmak zorunlu olmaktadır [1,4]. Diğer taraftan, kullanılan süperakışkanlaştırıcının dozajı işlenebilmeyi etkileyen önemli bir faktör olurken, betonun diğer mekanik ve dayanıklılık özelliklerini de etkilemekte ve yüksek katkı dozajlarının betonun basınç ve eğilme dayanımlarında azalmalara neden olabileceği ileri sürülmektedir [5].

Uçucu kül ve silis dumanının betonda birlikte kullanılması durumunda ise, beton basınç dayanımının gelişimi üzerindeki etki mekanizmaları farklı olan bu iki mineral katkı maddesinin birbirlerinin eksikliklerini giderecekleri ve hem erken dayanımların hem de 28 gün ve sonrası dayanımların yüksek olduğu betonlar üretmenin mümkün olduğu gösterilmiştir [6,7,8]. Son zamanlardaki çalışmalar uçucu kül ve silis dumanının birlikte kullanılmasıyla betonun bazı dayanıklılık özelliklerinin de iyileştirilebildiğini göstermektedir [9,10].

Bu çalışmada uçucu kül ve silis dumanının kontrol betonuna ayrı ayrı katılmaları ile birlikte kullanılmaları durumunda, taze betonun işlenebilmesi ile beton basınç ve eğilme dayanımlarının süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi oranındaki artıştan ne şekilde etkilendiğinin araştırılması amaçlanmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada Akçimento fabrikası üretimi PÇ 42.5 çimentosu kullanılmıştır. Seytömer termik santralinden temin edilen uçucu kül ile Antalya Etibank ferrokrom tesislerinden temin edilen silis dumanı mineral katkı maddesi olarak kullanılmıştır. Bu malzemelerin özellikleri Tablo 1’de görülmektedir. Betonların üretiminde deniz kumu ile I ve II numara kalker kırmataşı kullanılmıştır. Agrega karışımında en büyük tane boyutu 20 mm. olarak seçilmiştir. Kimyasal katkı maddesi olarak naftalin sülfonat esaslı süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

Tablo 1. Çimento, Uçucu Kül ve Silis Dumanı Özellikleri

Kimyasal Bileşim			
Bileşen (%)	PÇ 42.5	Uçucu Kül	Silis Dumanı
Çözünmeyen Kalıntı	0.33	-	-
SiO ₂	20.96	48.13	81.40
Al ₂ O ₃	5.58	14.64	4.47
Fe ₂ O ₃	3.69	12.13	1.40
CaO	63.97	9.52	0.82
MgO	1.12	5.70	1.48
SO ₃	2.35	4.32	1.35
Na ₂ O	-	0.50	-
K ₂ O	-	2.00	-
Kızdırma kaybı	1.43	2.36	7.26
Fiziksel Özellikler			
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	3.10	1.85	2.20
Blaine (cm ² /gr)	3182	-	-
Mekanik Özellikler			
Basınç Dayanımı (MPa)			
2 gün	24.5	-	-
7 gün	38.1	-	-
28 gün	45.4	-	-

2.2. Beton Üretimi, Kürü ve Test Yöntemi

Bu çalışmada dört grup beton üretilmiştir. Birinci gruptaki betonlar sadece portland çimentosu kullanılarak üretilmişler ve çimento dozajı 400 kg/cm^3 olarak seçilmiştir. İkinci grup betonlarda, çimento ağırlığının %20'si aynı ağırlıkta uçucu kül ile yer değiştirmiştir. Üçüncü grup beton üretiminde ise çimento ağırlığının %10'u kadar silis dumanı çimentoya ilave edilmiştir. Dördüncü grup betonlarda, hem uçucu kül hem de silis dumanı kullanılmıştır. Bu betonlarda uçucu kül ve silis dumanı, sırasıyla ikinci ve üçüncü grup betonlarda belirtilen oran ve yöntemde katılmışlardır. Her grupta toplam bağlayıcı madde ağırlığının % 0, 1.5 ve 3'ü oranlarında süperakışkanlaştırıcı kullanılarak üç farklı karışım üretilmiştir. Bu şekilde üretilen toplam oniki beton karışımında su-bağlayıcı oranı 0.40 değerinde sabit tutulmuştur. Tablo 2'de üretilen karışımların gerçek bileşimleri verilmektedir.

Tablo 2. Beton Karışımlarının Gerçek Bileşimleri

Karışım	Çimento	Uçucu kül	Silis Dumanı	Kum	Kırmataş I	Kırmataş II	Su	Süperakışkanlaştırıcı
S0F0PL0	400	-	-	547	833	463	160	-
S0F0PL1.5	391	-	-	530	808	449	156	6
S0F0PL3	396	-	-	533	812	451	158	12
S0F20PL0	320	80	-	533	812	451	160	-
S0F20PL1.5	324	81	-	536	817	454	162	6.1
S0F20PL3	312	78	-	512	780	433	156	11.7
S10F0PL0	398	-	40	517	787	438	175	-
S10F0PL1.5	401	-	40	517	787	437	176	6.6
S10F0PL3	404	-	40	517	787	437	178	13.3
S10F20PL0	317	79	32	507	772	429	171	-
S10F20PL1.5	318	80	32	505	769	427	172	6.4
S10F20PL3	314	79	31	495	754	419	170	12.7

Beton karışımları 50 dm^3 kapasiteli zorlamalı karıştırıcıda önce kuru olarak 3 dakika, daha sonra ise karışım suyunun tümü katılarak 3 dakika daha karıştırılmıştır. Süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi karışım suyuna katılmıştır. Taze betonda çökme, VeBe ve birim ağırlık ölçülmüş ve kıvam ve işlenebilme durumu gözlenmiştir. Tablo 3'de taze beton özellikleri ile hesapla bulunan hava miktarları verilmiştir.

Her karışımdan 150 mm x 300 mm silindir ve 100 mm x 100 mm x 500 mm prizma numuneler üretilmiştir. 24 saat kalıpta tutulan numuneler, yedinci güne kadar $20 \pm 2^\circ\text{C}$ su banyosunda, daha sonra 28. güne kadar $20 \pm 2^\circ\text{C}$ sıcaklıkta ve $\%80 \pm 5$ bağıl nemdeki kür odasında tutulmuşlardır. Sülfür başlık yapılan silindir numunelerde yedi ve 28. günlerde basınç deneyleri, prizma numunelerde üç nokta yüklemesiyle eğilme deneyleri yapılmıştır.

Tablo 3. Taze Beton Özellikleri

Karışım	Çökme (cm)	VeBe (sn)	Birim Ağırlık (kg/m^3)	Hava Miktarı (m^3/m^3)
S0F0PL0	0	18	2400	0.010
S0F0PL1.5	19	0	2340	0.033
S0F0PL3	>25	0	2363	0.021
S0F20PL0	0	40	-	-
S0F20PL1.5	0	12	2381	0.000
S0F20PL3	0	20	2282	0.035
S10F0PL0	0	21	2354	0.016
S10F0PL1.5	10	3	2364	0.009
S10F0PL3	>25	0	2377	0.000
S10F20PL0	0	59	2306	0.020
S10F20PL1.5	0	13	2309	0.016
S10F20PL3	21	0	2275	0.027

3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

3.1. Taze Betonun İşlenebilmesi

Üretilen betonların taze haldeki işlenebilme özellikleri hem çökme hem de VeBe deneyi ile ölçülmüştür. Tablo 3'de görüldüğü gibi çökme değerinin sıfır olduğu değişik karışımlarda VeBe değeri farklılık gösterebilmektedir. Bu betonların işlenebilmelerinin ve kalıba yerleşmelerinin de farklı olduğu gözlenmiştir. Bu da, bilhassa uçucu kül katkılı ve düşük su-çimento oranlı betonlarda işlenebilmenin ve süperakışkanlaştırıcı katkı maddesinin etkisinin sadece çökme deneyiyle belirlenemeyeceğini göstermektedir.

Sadece uçucu kül katkılı betonlarda, tüm karışımlarda sıfır çökme elde edilirken, süperakışkanlaştırıcı oranının artmasıyla VeBe süresinde azalma gözlenmiştir. Mineral katkı kullanılmayan betonlar ile sadece silis dumanı katılan betonlarda ise süperakışkanlaştırıcı katkı miktarının artmasıyla çökme değerinde artma ve VeBe süresinde azalma gözlenmiştir. Uçucu kül ve silis dumanının birlikte kullanıldığı betonlarda ise süperakışkanlaştırıcı oranının

artması ile VeBe süresi azalmış, çökme değerinde ise ancak %1.5 süperakışkanlaştırıcı oranı aşıldıktan sonra belirgin bir artış olmuştur.

İnceliği ve su ihtiyacı yüksek olan Seyitömer uçucu külünün çimento yerine ve nispeten yüksek oranda kullanılması işlenebilmeyi olumsuz etkilerken, çimentoya ilaveten kullanılan silis dumanı tamamen küresel tane yapısıyla, sabit su bağlayıcı oranında betonun işlenebilmesini olumsuz etkilememiş ve süperakışkanlaştırıcı oranının artışıyla daha yüksek çökme ve daha düşük VeBe değerleri vermiştir. Her iki mineral katkının birlikte kullanıldığı betonlarda, silis dumanı uçucu külün işlenebilme üzerindeki olumsuz etkisini bir miktar giderebilmiştir.

Diğer taraftan Tablo 3'de görüldüğü gibi süperakışkanlaştırıcı oranının artması taze betonda hesapla bulunan hava miktarında artışa neden olmaktadır. Bilhassa yüksek oranlarda kullanılan süperakışkanlaştırıcı katkının hava sürüklemeye etkisi olabileceği ileri sürülebilir.

3.2. Basınç Dayanımı

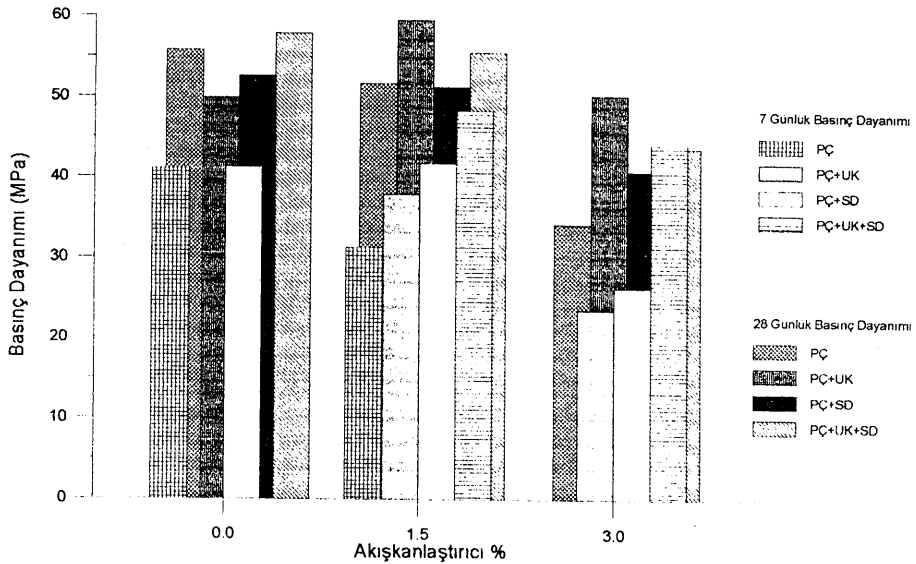
Üretilen betonların yedi ve 28 günlük basınç dayanımları Tablo 4'de verilmektedir. Şekil 1'de farklı süperakışkanlaştırıcı oranlarında değişik bağlayıcı fazı kompozisyonuna sahip betonların yedi ve 28 günlük basınç dayanımları gösterilmektedir. Mineral katkı içeren betonların yedi ve 28 günlük basınç dayanımları kontrol betonlarından %45 daha yüksek olabilmektedir. Ancak süperakışkanlaştırıcı kullanılmayan betonlarda bu artış %5 oranında kalırken, sadece uçucu kül veya silis dumanının kullanıldığı betonlarda 28. günde kontrol betonundan %5-10 oranında daha düşük basınç dayanımları elde edilmiştir. Bu sonuçlardan uçucu kül ve/veya silis dumanı kullanılan betonlarda basınç dayanımlarında iyileştirme elde etmek için süperakışkanlaştırıcı kullanımının gerekli olduğu görülmektedir. Süperakışkanlaştırıcılı betonlarda yedi günde en yüksek basınç dayanımları uçucu kül ve silis dumanının birlikte kullanıldığı durumda elde edilirken, 28 günde ise en yüksek dayanımları mineral katkı olarak sadece uçucu kül katılan betonlarda elde edilmiştir.

Basınç dayanımlarının süperakışkanlaştırıcı katkı miktarıyla değişimi Şekil 2 ve Şekil 3'de görülmektedir. Hem yedi hem de 28 günlük basınç dayanımları, süperakışkanlaştırıcı katkı maddesinin %1.5 oranında, katkısız betona göre %2 ile %7 arasında azalma gösterirken, %3 oranında süperakışkanlaştırıcı kullanımında, dayanımlarda kontrol betonuna

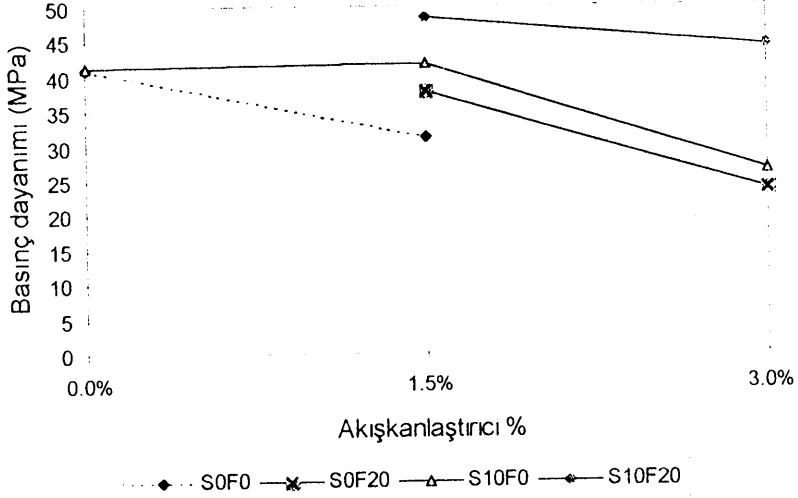
oranla %40'a varan azalmalar gözlenmektedir. Süperakışkanlaştırıcı katkı maddesinin %1.5 ve %3 oranlarında kullanılmasıyla basınç dayanımlarında en fazla olumsuz etki mineral katkı kullanılmayan betonlarda gözlenmiştir.

Tablo 4. Üretilen Betonların Basınç ve Eğilme Dayanımları

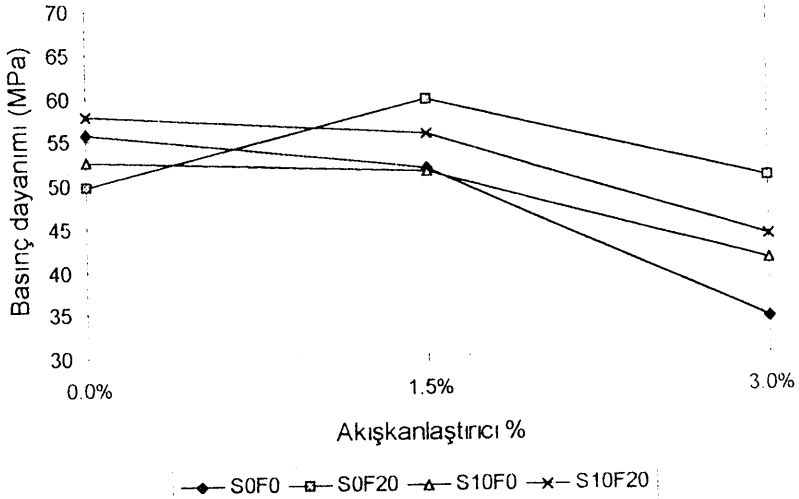
Karışım	Basınç Dayanımı		Eğilme dayanımı
	7 gün	28 gün	28 gün
S0F0PL0	41.1	55.8	5.6
S0F0PL1.5	31.2	51.7	5.4
S0F0PL3	-	34.2	5.1
S0F20PL0	-	49.9	-
S0F20PL1.5	37.9	59.6	5.3
S0F20PL3	23.6	50.3	-
S10F0PL0	41.3	52.6	5.0
S10F0PL1.5	41.8	51.3	4.5
S10F0PL3	26.3	40.8	4.5
S10F20PL0	-	57.9	5.5
S10F20PL1.5	48.4	55.6	5.1
S10F20PL3	44.2	43.7	4.8



Şekil 1. Üretilen Betonların Basınç Dayanımları



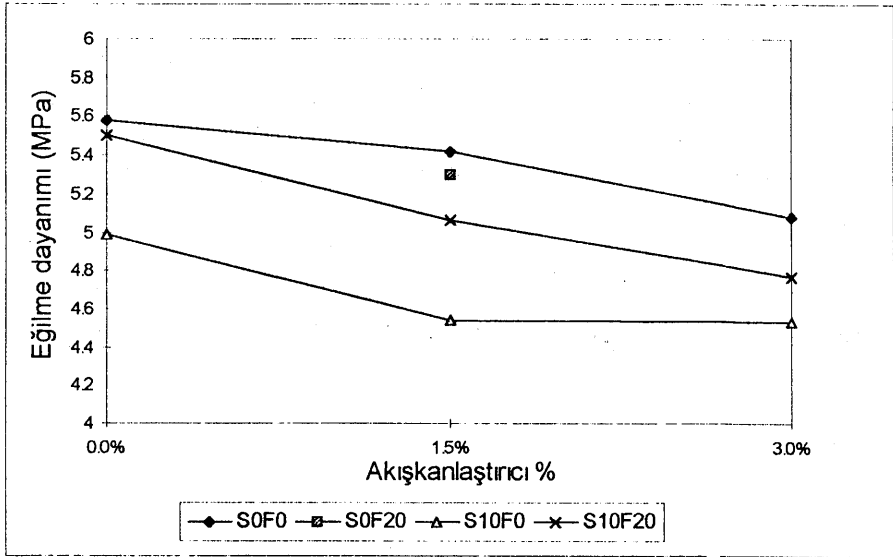
Şekil 2. Süperakışkanlaştırıcı Miktarının 7 Günlük Basınç Dayanımına Etkisi



Şekil 3. Süperakışkanlaştırıcı Miktarının 28 Günlük Basınç Dayanımına Etkisi

3.3. Eğilme Dayanımı

Üretilen betonların 28 günde ölçülen eğilme dayanımları Tablo 4'de verilmektedir. Basınç dayanımındaki durumun tersine, mineral katkı maddesi kullanılan betonların 28 günlük eğilme dayanımlarının kontrol betonundan daha düşük olduğu gözlenmiştir. Şekil 4'de görüldüğü gibi eğilme dayanımları süperakışkanlaştırıcı miktarındaki artışla %3 ile %14 arasında azalma göstermektedir. Süperakışkanlaştırıcı katkı maddesinin yüksek dozajlarda kullanılması betonun eğilme dayanımında da olumsuz etki yapmaktadır.



Şekil 4. Süperakışkanlaştırıcı Miktarının 28 Günlük Eğilme Dayanımına Etkisi

4. SONUÇ

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Düşük su-bağlayıcı oranına sahip ve mineral katkı maddesi kullanılan betonlarda süperakışkanlaştırıcı katkı maddesinin işlenebilme özelliğine etkisinin belirlenmesinde çökme deneyi yetersiz kalmıştır.

- İnceliği ve su ihtiyacı yüksek olan bir uçucu kül çimento yerine kullanıldığında, süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılması durumunda dahi taze betonun işlenebilmesini olumsuz yönde etkilemiştir.

- Süperakışkanlaştırıcı katkı maddesinin üreticileri tarafından önerilenden daha yüksek oranlarda kullanımında hava sürükleyici etkisi olabileceği görülmüştür.

- Uçucu kül ve/veya silis dumanı kullanımıyla betonda yedi ve 28 günde daha yüksek basınç dayanımları elde edilmiş, ancak basınç dayanımındaki iyileşme süperakışkanlaştırıcı betonlarda daha belirgin olmuştur.

- Süperakışkanlaştırıcı katkının %1.5 ve %3 oranlarında kullanılmasıyla basınç dayanımlarında azalma gözlenmiştir.

- Basınç dayanımındaki durumun tersine, mineral katkı maddesi kullanılan betonların 28 günlük eğilme dayanımları kontrol betonundan daha düşük olmuştur.

- Süperakışkanlaştırıcı katkının %1.5 ve %3 oranlarında kullanılmasıyla 28günlük eğilme dayanımları azalma göstermiştir.

KAYNAKLAR

1. Dhir, R.K., Cement Replacement Materials, editor R.N. Swamy, Surrey University Press, London, 1986.

2. Monzo, J., Paya, J., Peris-Mor E., and Borrachero, M.V., "Mechanical Treatment of Fly Ashes : Strength Development and Workability of Mortars Containing Ground Fly Ashes", Proceedings, Fifth CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, pp. 339-355, Milwaukee, Wisconsin, USA, 1995.

3. Yeğınobalı, A., "Silis Dumanının Beton Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi", Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, ss. 149-167, Kasım 1993, Ankara.

4. Bilodeau, A., and Malhotra, V.M., "Concrete Incorporating High Volumes of ASTM Class-F Fly Ashes : Mechanical Properties and Resistance to Deicing Salt Scaling and to Chloride Ion Penetration", Proceedings, Fourth CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, pp. 319-350, Istanbul, Turkey, 1992.
5. Gagne, R., Boisvert, A., and Pigeon, M., "Effect of Superplasticizer Dosage on Mechanical Properties, Permeability, and Freeze-Thaw Durability of High-Strength Concretes With and Without Silica Fume", ACI Materials Journal, V.93, No.2, pp.111-120, March-April 1996.
6. Mehta, P.K., and Gjorv, O.E., "Properties of Portland Cement Concrete Containing Fly Ash and Condensed Silica Fume", Cement and Concrete Research, V.12, pp. 587-595, 1982.
7. Carette, G.G., and Malhotra, V.M., "Early-Age Strength Development of Concrete Incorporating Fly Ash and Condensed Silica Fume", Proceedings, First International Conference on the Use of Fly Ash, Silica Fume, Slag and Other Mineral By-Products in Concrete, pp. 765-784, Montebello, Canada, 1983.
8. Temiz, H., ve Yeğinoğlu, A., "Uçucu Kül ve Silis Dumanı Katkılı Çimento Hamur ve Harçlarının Bazı Özellikleri", Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe kullanılması Sempozyumu, Bildiriler kitabı, ss. 213-225, Kasım 1995, Ankara.
9. Özyıldırım, Ç., and Halstead, W.J., "Improved Concrete Quality with Combinations of Fly Ash and Silica Fume", ACI Materials Journal, V.91, No.6, pp.587-594, Nov.-Dec. 1994.
10. Ghosh, S., and Nasser, K.W., "Effects of High Temperature and Pressure on Strength and Elasticity of Lignite Fly Ash and Silica Fume Concrete", ACI Materials Journal, V.93, No.1, pp. 51-60, Jan.-Feb. 1996.

