

SİLİS DUMANI KULLANIMININ BETON BASINÇ DAYANIMI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Cengiz D. ATIŞ, Fatih ÖZCAN, Okan KARAHAN, Cahit BİLİM, Umut K. SEVİM, Alper DEMİR

ÖZET

Bu yazıda çimento katkısı olarak silis dumanı kullanımının beton basınç dayanımı üzerindeki etkisi halen yürütülmekte olan bir laboratuvar çalışmasının sonuçlarının bir kısmı sunularak gösterilmiştir. Laboratuvar çalışmasında dört farklı su çimento oranı (0.3, 0.4, 0.5, 0.6), üç farklı çimento dozajı (350, 400, 450 kg/m³) ve üç farklı silis dumanı ikame oranıyla (%10, %15, %20), kontrol betonu dahil olmak üzere toplam 48 farklı beton üretilmiştir. Çeşitli miktarlarda hiperakışkanlaştırıcı betonların işlenebilirliğini belli bir düzeyde tutmak üzere kullanılmıştır. Elde edilen betonların 3 ve 28 günlük küp numune basınç dayanımları sunulmuş ve tartışılmıştır. Sonuçların incelenmesinden, ilk üç günde silis dumanının basınç dayanımını arttırmada fazla etkili olmadığı anlaşılmış olup, 28 günde ise silis dumanının dayanımda %50 mertebelerine varan artışlar sağladığı görülmüştür. Su-çimento oranının optimum bir değerinde silis dumanının en yüksek artışı sağladığı görülmüştür. Yüksek su-çimento oranlarında silis dumanının düşük su-çimento oranlarına göre daha az etkili olduğu tespit edilmiştir. Silis dumanı ikame oranının da bir optimum değeri olduğu, bunun üzerindeki ikame oranları için dayanımda görülen artışın durduğu anlaşılmıştır. Silis dumanı, hiperakışkanlaştırıcı ve düşük su-çimento oranının kombinasyonu 100 MPa mertebesinde yüksek basınç dayanımı elde etmeyi kolaylıkla mümkün kılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Beton, Silis Dumanı, Basınç Dayanımı

GİRİŞ

Atık bir malzeme olmasına rağmen silis dumanı yüksek puzolanik özelliğe sahip olması nedeniyle hem bir yan ürün konumuna girmiş hem de diğer puzolanik malzemelerin içinde en kıymetlisi duru-

muna geçmiştir. Silis dumanı silikon metali veya silikonlu metal alaşımı üreten fabrikalarının bir yan ürünü olup, günümüzde beton ve çimento katkısı olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Erdoğan, 2003). Silis dumanı taze halde betonun işlenebilirliğini azaltmakta ise de, katılaşmış betonun bir çok özelliğini iyileştirmektedir (Khayat ve Aitcin, 1992; Jahren, 1993; Hooton, 1993).

Silis dumanının beton içindeki davranışı fiziko-kimyasaldır. Bu davranışın fiziksel kısmı çimento hamuru matrisindeki, özellikle de agrega-çimento arayüzeyindeki, boşluk sisteminin boyutunun küçültülmesidir. Kimyasal kısım ise zayıf kalsiyum-hidroksit (kireç) kristallerini kalsiyum-silikat-hidrateye dönüştüren puzolanik reaksiyondan oluşmaktadır (Tautanji and Bayasi, 1999; Özturan 1993). Bu davranış sonucunda silis dumanı beton basınç ve çekme dayanımını artırmanın yanısıra durabilite ve geçirimsizlikte de oldukça önemli iyileşmeler sağlar (Tautanji ve Bayasi, 1999).

Silis dumanının beton içinde kullanılması, betonun asit ve sülfat saldırılarına karşı durabilitesini artırmakta, boşluk oranını ve geçirimsizliğini azaltmaktadır (Aköz, vd., 1995; Turker vd., 1997; Aköz vd., 1999; Erdoğan, 2003). Aşınmaya karşı direncini artırmakta, alkali-silis reaksiyonundan dolayı oluşacak genleşmeyi azaltmaktadır (Mehta, 1985).

Bu çalışmada silis dumanının mineral katkı olarak beton içerisinde kullanılması sonucunda, beton basınç dayanımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

KULLANILAN MALZEME ÖZELLİKLERİ

Çimento

Kullanılan çimento normal Portland çimentosu (PÇ 42.5 N/mm²) olup, özgül ağırlığı 3.16 g/cm³. Priz başlangıcı ve sonu sırayla 4 ve 5 saattir. Çimentonun Blaine özgül yüzey değeri 3350 cm²/g olup, kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de sunulmuştur.

Silis Dumanı

Silis dumanı Antalya-Etibank Ferrokrom fabrika-

(*) Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana

Tablo 1 - Çimento ve Silis Dumanı Kimyasal Kompozisyonu (%)

Oksit	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	KK
Çimento	20.62	5.65	4.05	62.08	2.55	2.57	0.81	0.12	1.55
Silis Dumanı	81.40	4.47	1.40	0.82	1.48	1.35	NA	NA	7.26

larından sağlanmış olup, kimyasal kompozisyonu Tablo 1 de verilmektedir. Silis dumanının özgül ağırlığı ve birim ağırlığı sırasıyla 2.32 ve 245 kg/m³ tür. Silis dumanının 45µm elek üzerinde kalıntısı %4.8 dir.

Agrega ve Tane Boyutu Dağılımı

Beton karışımlarında kullanılan agreganın maksimum tane çapı 16 mm olup, yıkanmış ve etüvde kurutulduktan sonra kullanılmıştır. Agreganın su emme kapasitesi ve özgül ağırlığı TS 3526' ya göre bulunmuş olup, ince ve iri agreganın kuru yüzey doygun özgül ağırlıkları sırasıyla 2.61 ve 2.70'dir. İnce ve iri agreganın su emme kapasiteleri %1.8 ve % 1.3'tür. Karışımda kullanılan karışık agreganın eleklerden geçen yüzde değerleri Tablo 2 de sunulmuştur. Agreganın granülometrisi standarda uygundur.

Tablo 2 - Karışık Agreganın Granülometrisi ve TS 706 Standart Sınırları

Elek Açıklığı (mm)	TS 706 Alt Sınır	Elekten Geçen % Miktar		Kullanılan Agreganın %
		TS 706 Orta Sınır	TS 706 Üst Sınır	
16	100	100	100	100.0
8	60	76	88	76.4
4	36	56	74	44.8
2	21	42	62	27.0
1	12	32	49	20.5
0.5	7	20	35	15.2
0.25	3	8	18	4.2

Beton Karışım Oranları

Bir metreküp beton içinde bulunan malzeme miktarları Tablo 3 te verilmektedir. Karışım miktarlarının hesabı TS 802 de verilen mutlak hacim metoduna göre yapılmıştır. Hesaplarda başlangıçta bağlayıcı miktarı (350, 400, 450 kg/m³) ve su-çimento oranı (0.3, 0.4, 0.5, 0.6) sabit olarak seçilmiş ve hap-solmuş hava miktarı ise TS 802 den alınmış olup, gerekli agrega miktarının hacmi hesaplanmış ve daha sonra ağırlıklar bulunmuştur.

Silis dumanı içeren betonlar ise sadece normal Portland çimentosu içeren kontrol şahit betonlarının değişimiyle üretilmiştir. Şahit betonlarının silis dumanı ile değişimi, silis dumanının kısmen çimen-

toyu ikamesi şeklinde yapılmıştır. Taze betonların işlenebilirliklerini düzenlemek amacıyla hiperakışkanlaştırıcı bir katkı kullanılmış olup, her beton için farklı miktarda akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Akışkanlaştırıcı miktarları da Tablo 3 te verilmektedir.

Tablo 3 - Bir Metreküp Taze Beton Karışımı İçin Gerekli Yaklaşık Malzeme Miktarları

Karışım	Ç (kg/m ³)	SD (kg/m ³)	S (lt/m ³)	HA (lt/m ³)	Agrega (kg/m ³)
ŞH-350-0.3-00	350.0	0.0	105	28.50	2024.3
SD-350-0.3-10	315.0	35.0	105	28.50	2024.3
SD-350-0.3-15	297.5	52.5	105	28.50	2024.3
SD-350-0.3-20	280.0	70.0	105	28.50	2024.3
ŞH-350-0.4-00	350.0	0.0	140	8.54	1931.6
SD-350-0.4-10	315.0	35.0	140	8.54	1931.6
SD-350-0.4-15	297.5	52.5	140	8.54	1931.6
SD-350-0.4-20	280.0	70.0	140	8.54	1931.6
ŞH-350-0.5-00	350.0	0.0	175	2.85	1838.8
SD-350-0.5-10	315.0	35.0	175	2.85	1838.8
SD-350-0.5-15	297.5	52.5	175	2.85	1838.8
SD-350-0.5-20	280.0	70.0	175	2.85	1838.8
ŞH-350-0.6-00	350.0	0.0	210	1.42	1746.1
SD-350-0.6-10	315.0	35.0	210	1.42	1746.1
SD-350-0.6-15	297.5	52.5	210	1.42	1746.1
SD-350-0.6-20	280.0	70.0	210	1.42	1746.1
ŞH-400-0.3-00	400.0	0.0	120	22.76	1942.5
SD-400-0.3-10	360.0	40.0	120	22.76	1942.5
SD-400-0.3-15	340.0	60.0	120	22.76	1942.5
SD-400-0.3-20	320.0	80.0	120	22.76	1942.5
ŞH-400-0.4-00	400.0	0.0	160	4.88	1836.5
SD-400-0.4-10	360.0	40.0	160	4.88	1836.5
SD-400-0.4-15	340.0	60.0	160	4.88	1836.5
SD-400-0.4-20	320.0	80.0	160	4.88	1836.5
ŞH-400-0.5-00	400.0	0.0	200	3.25	1730.5
SD-400-0.5-10	360.0	40.0	200	3.25	1730.5
SD-400-0.5-15	340.0	60.0	200	3.25	1730.5
SD-400-0.5-20	320.0	80.0	200	3.25	1730.5
ŞH-400-0.6-00	400.0	0.0	240	1.63	1624.5
SD-400-0.6-10	360.0	40.0	240	1.63	1624.5
SD-400-0.6-15	340.0	60.0	240	1.63	1624.5
SD-400-0.6-20	320.0	80.0	240	1.63	1624.5
ŞH-450-0.3-00	450.0	0.0	135	18.30	1860.7
SD-450-0.3-10	405.0	45.0	135	18.30	1860.7
SD-450-0.3-15	382.5	67.5	135	18.30	1860.7
SD-450-0.3-20	360.0	90.0	135	18.30	1860.7
ŞH-450-0.4-00	450.0	0.0	180	5.49	1741.4
SD-450-0.4-10	405.0	45.0	180	5.49	1741.4
SD-450-0.4-15	382.5	67.5	180	5.49	1741.4
SD-450-0.4-20	360.0	90.0	180	5.49	1741.4
ŞH-450-0.5-00	450.0	0.0	225	2.20	1622.2
SD-450-0.5-10	405.0	45.0	225	2.20	1622.2
SD-450-0.5-15	382.5	67.5	225	2.20	1622.2
SD-450-0.5-20	360.0	90.0	225	2.20	1622.2
ŞH-450-0.6-00	450.0	0.0	270	1.10	1502.9
SD-450-0.6-10	405.0	45.0	270	1.10	1502.9
SD-450-0.6-15	382.5	67.5	270	1.10	1502.9
SD-450-0.6-20	360.0	90.0	270	1.10	1502.9

Taze betonların ölçülen birim ağırlıklarının 2.25 ile 2.53 arasında olduğu, hesap edilen teorik birim ağırlıklarının ise 2.22 ile 2.51 arasında olduğu görülmüştür. Taze betonların sarsma tablası ile bulunan işlenebilirlikleri 50~60 cm arasındadır.

Şahit betonlarında yüksek çimento dozajı (400, 450 kg/m³) ve yüksek su çimento oranları (0.5, 0.6) için terleme görülmüş olup, silis dumanı içeren betonlarda herhangi bir terleme görülmemiştir.

Tablo 3'te karışım oranları verilen toplam 48 beton için hazırlanan numuneler su içinde kür edilmiştir. Hazırlanan numuneler bir kenarı 150 mm olan kübik numuneler olup, 3 ve 28 günlük kür süreleri sonucunda basınç dayanımları tespit edilmiştir. Dayanımlar üç kübik numunenin ortalamasıdır.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Kontrol şahit betonları ile silis dumanı içeren, su içinde kür edilen betonların 3 ve 28 günlük basınç dayanımları Tablo 4'te verilmektedir. Silis dumanı betonları dayanımlarının kendilerine ait kontrol betonları dayanımlarına oranı ise Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 4 ve 5'den, silis dumanının 3 günde etkisini hemen hemen hiç göstermediği, etkisini gösterdiği bazı betonlarda ise bu etkinin mertebesinin ortalama %5~%10 civarında olduğu görülür. Aynı günde, tersine etki gösterdiği betonlarda mevcuttur.

Tablo 4'te sunulan 28 günlük beton basınç dayanımları ve Tablo 5'te sunulan silis dumanı beton basınç dayanımlarının kontrol betonuna oranları incelendiğinde, silis dumanının basınç dayanımı üzerindeki etkisinin oldukça yüksek mertebede olduğu görülebilir. Silis dumanı içeren betonlar kontrol betonlarına göre %20 mertebesinden başlayan ve %50 mertebesine varan oranlarda daha fazla dayanım kazanmışlardır.

Aynı bağlayıcı dozajı ve su-çimento oranında, silis dumanı içeren betonların dayanımlarının kontrol betonuna göre yüksek olmasının asıl nedenini bulmak için puzolanların tarifine bir bakmak yeterlidir. Puzolanlar, "kendi başlarına bağlayıcılık değeri olmayan veya çok az bağlayıcılık gösterebilen, fakat ince taneli durumda olduklarında ve sulu ortamda kalsiyum hidroksit ile birleştirildiklerinde hidrolik bağlayıcılık özelliğine sahip olan silisli veya silisli ve alüminli malzemeler" olarak tanımlanmaktadır (ASTM C-125, 1994; ASTM C-618, 1994; Erdoğan, 2003). Bu tanımdan, puzolanların bağlayıcılık özelliklerini sergileyebilmeleri için nemli ortam ve kalsiyum hidroksite gereksinim duydukları anlaşılmaktadır. Kalsiyum hidroksit Portland çimentosunun ana bileşenleri olan C₂S ve C₃S'nin hidrasyonu sonucunda ortamda mevcuttur. Portland

Tablo 4 - 3 ve 28 Günlük Beton Basınç Dayanımları(MPa)

Karışım Adı S/Ç →	3 gün				28 gün			
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.3	0.4	0.5	0.6
ŞH-350-00	43.6	41.0	32.7	20.7	64.4	59.7	51.7	37.5
SD-350-10	46.2	45.5	34.3	21.3	83.5	87.8	61.8	48.5
SD-350-15	44.2	47.3	34.7	21.5	82.7	88.7	63.6	48.8
SD-350-20	41.2	45.4	31.1	20.9	85.9	87.9	62.7	46.7
ŞH-400-00	47.9	45.5	33.4	24.0	65.4	65.3	50.0	41.6
SD-400-10	55.9	53.3	34.3	20.6	86.7	88.0	62.3	44.9
SD-400-15	51.8	49.0	31.3	23.2	90.5	81.5	60.6	49.6
SD-400-20	49.5	44.9	28.1	21.8	94.0	80.3	58.0	45.7
ŞH-450-00	53.1	41.0	32.2	20.5	73.3	60.5	50.9	38.3
SD-450-10	55.8	47.2	30.8	23.7	90.4	85.0	55.8	41.6
SD-450-15	57.0	44.0	30.3	20.2	91.0	87.7	53.0	43.5
SD-450-20	55.6	44.4	29.7	21.2	101.0	78.4	55.0	42.1

Tablo 5 - Silis dumanı betonlarının 3 ve 28 günlük dayanımlarının kontrol betonlarına oranları

Karışım Adı S/Ç →	3 gün				28 gün			
	0.3	0.4	0.5	0.6	0.3	0.4	0.5	0.6
ŞH-350-00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SD-350-10	1.06	1.11	1.05	1.03	1.30	1.47	1.20	1.29
SD-350-15	1.01	1.15	1.06	1.04	1.28	1.49	1.23	1.30
SD-350-20	0.94	1.11	0.95	1.01	1.33	1.47	1.21	1.25
ŞH-400-00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SD-400-10	1.19	1.17	1.03	0.86	1.33	1.35	1.25	1.08
SD-400-15	1.10	1.08	0.94	0.97	1.38	1.25	1.21	1.19
SD-400-20	1.05	0.99	0.84	0.91	1.44	1.23	1.16	1.10
ŞH-450-00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SD-450-10	1.05	1.15	0.96	1.16	1.23	1.40	1.10	1.09
SD-450-15	1.07	1.07	0.94	0.99	1.24	1.45	1.04	1.14
SD-450-20	1.05	1.08	0.92	1.04	1.38	1.30	1.08	1.10

çimentosunun ana bileşenlerinin bir sonucu olan kalsiyum hidroksit dayanımı düşük bir malzemedir, genellikle de duvar etkisi sebebiyle agrega-çimento arayüzey (geçiş) bölgesinde yığılarak bu bölgeyi zayıflatır. Silis dumanı veya uçucu kül gibi puzolanik özellik gösteren mineral maddeler kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek yeni kalsiyum-silikat-hidrate bağlayıcı jellerini oluşturarak, agrega çimento arayüzey (geçiş) bölgesini kuvvetlendirirler. Dolayısıyla, silis dumanı içeriği nedeniyle arayüzey bölgesi kuvvetlenen betonların basınç dayanımları kontrol betonlarına göre yüksek olmaktadır.

Bunlara ilave olarak, Tablo 5'in 28 günlük kolonu incelendiğinde, su-çimento oranı artarken silis dumanının faydalı katkısını kontrol betonuna göre maksimum yapan bir su-çimento oranı olduğu görülebilir, çalışmada sunulan mevcut karışım oranları için, bu değer ise 0.4 civarında olduğu anlaşılmaktadır. Su çimento oranı bu değer altına düşünce (0.3 olunca) veya üstüne çıkınca (0.5 veya 0.6 olunca), silis dumanının faydalı katkısı azalmaktadır. Özellikle su-çimento oranı 0.5 ten 0.6 ya çıktığında faydalı etkinin daha da azaldığı görülebilir.

Tablo 4 ve 5'te yapılan incelemeler sonucunda, silis dumanı ikame oranının artmasıyla dayanım belirli bir seviyeye kadar artmakta daha sonra düşme başlamaktadır. Genel olarak bu seviyenin %15 civarında olduğu düşünülebilir.

Bu tartışmadan, silis dumanından elde edilecek faydayı maksimum yapan bir su-çimento oranı, aynı şekilde, herhangi bir karışım için de optimum silis dumanı ikame oranı bulunabileceği sonucuna varılabilir.

Benzer şekilde, su-çimento oranı optimum değerden yüksek ya da silis dumanı ikame oranının optimumdan fazla olması durumunda silis dumanının etkisi azalmakta ve dayanımdaki artış durmakta ya da azalmaktadır. Özellikle yüksek su-çimento oranlarında silis dumanının katkısı giderek azalmaktadır.

Kontrol betonuna göre basınç dayanımı üzerindeki silis dumanının katkısını maksimum eden 0.4 civarındaki optimum su-çimento oranından 0.3 değerine düşülünce, silis dumanının faydalı katkısı azalsa da, su-çimento oranının düşmesi nedeniyle basınç dayanımlarındaki artış nedeniyle 400 ve 450 dozluk silis dumanı betonlarından 90~100 MPa küp numune basınç dayanımı elde etmek mümkün olmuştur. Doğal agregalar kullanılarak bu değerleri elde eden yazarlar, kırmataş agregası kullanımıyla bu değerlerin üzerinde basınç dayanımı elde edilebileceği beklentisindedirler.

SONUÇ

Devam eden bu laboratuvar çalışmasının neticesinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Silis dumanı kullanımı halinde taze betonda işlenebilirlik düşmekte, işlenebilirliği belirli bir seviyede tutmak üzere akışkanlaştırıcı katkı kullanma zorunluluğu oluşmaktadır.
2. Silis dumanı kullanılan betonlarda kanama oluşmadığı görülmüştür.
3. Silis dumanının basınç dayanımını artırma etkisi 3 günde kendini gösterememekteyse de 28 günde belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır.
4. Silis dumanı ikamesiyle 28 günlük basınç dayanımlarında, karışım oranlarına bağlı olmak üzere, %20 den başlayıp %50 mertebesine kadar artış elde edilebilmektedir.
5. Silis dumanından elde edilecek faydayı maksimum yapan bir su-çimento oranı, aynı şekilde, herhangi bir karışım için optimum silis dumanı ikame oranı bulunabileceği tespit edilmiştir.
6. Su-çimento oranı optimum değerden fazlaştıkça ya da silis dumanı ikame oranının optimumdan fazla olması durumunda silis dumanının

etkisi azalmakta ve dayanımdaki artış durmaktadır.

7. Silis dumanı, hiperakışkanlaştırıcı ve düşük su-çimento oranının kombinasyonu ile 90~100 MPa mertebesinde yüksek basınç dayanımı elde etmek kolaylıkla mümkün görünmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar bu çalışmaya finansal destek sağlayan Çukurova Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimine teşekkür eder (Proje No. FBE2002D225)

KAYNAKLAR

- Aköz, F., Koral, S., Yüzer, N., Türker, F., 1995. *Effects of sodium sulfate concentration on the sulfate resistance of mortars with and without silica fume*, *Cement and Concrete Research*, 25 (6) 1995, 1360-1368.
- Aköz, F., Türker, F., Koral, S., Yüzer, N., 1999. *Effects of raised temperature of sulfate solutions on the sulfate resistance of mortars with and without silica fume*, *Cement and Concrete Research*, 29 (4) 537-544.
- ASTM C-125, 1994. *Standard terminology relating to concrete and concrete aggregates*, *Annual book of ASTM standards*.
- ASTM C-618, 1994. *Standard specifications for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in Portland cement concrete*, *Annual book of ASTM standards*.
- Erdoğan, T. Y., 2003. *Beton*, Metu Press, Ankara.
- Hooton, R.D., 1993. *Influence of Silica Fume Replacement of Cement on Physical Properties and Resistance to Sulfate Attack, Freezing and Thawing and Alkali-Silica Reactivity*, *ACI Materials Journal*, 90, 2, 143-151.
- Jahren, P., 1993. *Use of Silica Fume in Concrete*, *ACI SP-79*, 1, 625-642.
- Kanda, T., Sakuramoto, F., Suzuki, K., 1992. *Compressive Strength of Silica Fume Concrete at Higher Temperatures*, *ACI SP-132*, 2, 1089-1103.
- Khayat, K.H., Aitcin, P. C., 1992. *Silica Fume in Concrete - An Overview*, *ACI SP-132*, 2, 835-872.
- Mehta, P. K., 1985. *Chemical attack of low water cement ratio concretes containing latex or silica fume as admixtures*, *ACI/RILEM, Symposium on Technology of Concrete When Pozzolans, Slags and Chemicals are Used*, Monterrey, Mexico, March, 1985, pp.325-340.
- Özturan, T., 1993. *Uluslararası IV. Betonda Uçucu Kül, Silis Dumanı, Cüruf ve Doğal Pozolanların Kullanımı Konferansının Değerlendirilmesi, Endüstriyel Katı Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu: 18-19 Kasım 1993. Bildiriler Kitabı*, 57-78.
- Tautanji, A. H., Bayasi, Z., 1999. *Effect of curing procedures on properties of silica fume concrete*, *Cement and Concrete Research*, 29 (4) 1999, 497-501.
- Türker, F., Aköz, F., Koral, S., Yüzer, N., 1997. *Effects of magnesium sulfate concentration on the sulfate resistance of mortars with and without silica fume*, *Cement and Concrete Research*, 27 (2) 205-214.