



ISSN:1306-3111
e-Journal of New World Sciences Academy
2008, Volume: 3, Number: 4
Article Number: A0111

NATURAL AND APPLIED SCIENCES
CIVIL ENGINEERING

Received: March 2008
Accepted: September 2008
© 2008 www.newwsa.com

Cevdet Emin Ekinci
M.Asım Yeğınobalı
University of Firat
cee@firat.edu.tr
Elazig-Turkiye

SİLİS DUMANI KATKILI BETONLARIN DONMA-ÇÖZÜLME DAYANIMLARININ
İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada, iki farklı silis dumanı katkısının betonların donma-çözülme dayanımlarına olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaç için betonlara Ferrosilisyum ve Silicoferrokrom dumanları kullanılmıştır. Deneylerde üç farklı beton karışımları hazırlanmıştır. Bunlar katkısız (kontrol) betonlar, silis dumanı katkılı betonlar (%10, 15, 20, 25 ve 30) ile silis dumanı ve süper akışkan katkılı (%10, 15 ve 20) betonlardır. Betonlara basınç dayanımı ve puls geçiş hızı tersleri uygulandı. Sonuçta betonlarda Ferrosilisyum dumanı katkısının Silikoferrokrom dumanı katkısına kıyasla donma-çözülme tekrarlarına etkisinin daha iyi olduğu anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Beton, Ferrosilisyum, Silikoferrokrom,
Betonların Donma-Çözülme Dayanımı,
Betonların Basınç Dayanımı

EXAMINATION OF FREEZING-THAWING STRENGTH OF CONCRETES ADDED WITH SILICA
FUME

ABSTRACT

In this study, the effects of two different silica fume additives on the freeze-thaw resistance of concrete were investigated experimentally. For this purpose Ferrosilicon and Silicoferrochrom fumes were used in concretes. Three different concrete mixes were prepared in the experiments. These are natural concretes (control), silica fume added concretes (10, 15, 20, 25 and 30%) and silica fume and super plasticizer additive (10, 15 and 20%) concretes. Concrete was subjected to compressive strength and pulse transit speed inversions. As a result, it was understood that the addition of Ferrosilicon fume to concrete has a better effect on the repetition of freeze-thaw cycles than Silicone fume additive.

Keywords: Concrete, Ferrosilicon, Silicoferrokrom,
Freezing-Thawing Strength of Concretes,
Compressive Strength of Concretes

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Beton; değişik oranlarda çimento, su, agrega ve kimyasal veya mineral katkı maddelerinin homojen olarak karıştırılmasından oluşan, başlangıçta plastik kıvamda olup, şekil verilebilen, hidrasyon olayı neticesinde katılaşıp sertleşerek mukavemet kazanarak yapay bir taş dönüşen bir yapı malzemesidir.

Beton; ağır, gevrek, basınç mukavemeti yüksek, kayma mukavemeti küçük ve çekme mukavemeti ise yok denecek kadar az bir malzemedir. Tüm bunlara karşın, taşıyıcı yapı elemanlarının üretimini amacıyla inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır.

Taşıyıcı elemanların oluşturduğu sistemlere farklı yön ve büyüklükte normal kuvvet, kesme kuvveti, eğilme momenti ve burulma momenti gibi kuvvetlerin etkisi söz konusudur. Bu kuvvet ve momentlere karşı taşıyıcı beton elemanlarının yüksek dayanım ve dayanıklılığına sahip olması istenir. Diğer taraftan betonlar buldukları yerde bazı olumsuz çevresel etkilere de karşı karşıyadır. Bu nedenle betonlara etkiyen kuvvet ve momentlere karşı daha yüksek performans veya davranış gösterebilmesi için çevresel etkilere karşı da korunması gerekir. Çevresel etkiler arasında en çok olumsuz etkisi olanlar donma-çözülme olayları ile zararlı gaz ve kimyasal maruziyetler örnek olarak gösterilebilir.

Beton faydalı servis ömrü boyunca özellikle çevresel etkilerden dolayı hasara uğraması kuvvetle muhtemeldir. Bu etkiler fiziksel, kimyasal, fiziko-kimyasal veya mekanik olabilir. Bu nedenle beton üretimi aşamasında kullanılan tüm malzemelerin teknik özelliklerinin nitelikli olması gerekir. Niteliksiz malzemelerden yüksek performanslı beton üretimi zordur. Ayrıca bütün betondan yapılmış elemanlar özellikle çevresel etkilere karşı bir koruyucu sistemle korunmuş olması faydalı servis ömrünü artıracaktır. Olumsuz çevresel etkililerin olduğu bir ortamda kullanılacak betonun yüksek kompoziteli olması önemli bir özelliktir. Yüksek kapasitenin de elde edilebilmesi için boşluk miktarının az olması gerekir. Boşluk miktarını azaltmak için iyi bir agrega gradasyonu, karışım oranı ve kürünün yanı sıra daha az karma suyu ve silis dumanı, uçucu kül gibi katkı maddelerinin kullanılmasına ihtiyaç duyulacaktır.

Vanderhost ve Jansen (1990) göre, çevresel etkiler betonun performansının zamanla azalmasına, proje ömründen önce işlevini ve dayanımını tamamen yitirmesine yol açabilmektedir. Betonun tekrarlı donma-çözülme etkisinde kalması fiziksel etkilerden bir tanesidir. Donma-çözülme etkisinde bulunan bölgelerde yol ve köprü gibi yapılar için buz çözücü tuzların kullanılmasıyla birlikte klor etkisi de söz konusu olmaktadır. Kullanılan malzemeler, ortam koşulları, rutubet gibi etkenler donma-çözülme sonucu oluşan hasarı arttırabilir [1].

Betonun donma betonun donma-çözülme dayanıklılığı çözülme dayanıklılığını etkileyen en önemli üç faktör vardır. Bunlar;

- Betonun ve/veya bileşenlerin boşluklu yapısı,
- Betonun suya doygunluk derecesi (kritik doygunluk) ve
- Donmadan önce yeterli basınç dayanımına ulaşılmasıdır.

Postacioğlu'na (1987) göre, boşluklu bir cismin boşluklarında bulunan suyun, sıcaklık derecesinin sıfırın altına düşmesi sonunda, donması cisimlerin dayanımının azalmasına ve hatta parçalanmasına yol açabilir. Böyle bir sonuç suyun donması sonunda hacminin artmasından ileri gelmektedir [2].

Silis dumanı katkısının betonların donma-çözülme davranışları konusunda yapılan bazı çalışma ve ortaya konulan bulgular aşağıda özetlenmiştir. Buna göre;

Pigeon vd (1986) tarafından, betonun silika dumanı içeren ve içermeyen donma-çözülme dayanımı araştırılmıştır. Silika dumanının



kullanımı ayrıca, testler sırasında hasar gören susuz tutulan karışımların iç çatlağını da azaltıldığını gözlemlenmiştir [3].

Khayat ve Aitcin'e (1992) göre, silis dumanı çimento hamurunun boşluk yapısını iyileştirmekte ve böylece daha küçük boyutlu boşluklarda suyun donma derecesi düşmekte olup, betonun donma-çözülme tekrarlarına dayanıklılığı artmaktadır. Batrakov vd (1992) üç değişik tipte silis dumanı ile ürettikleri betonlarda, silis miktarı %10 olduğunda donmaya dayanıklılığın kontrol betonu ile aynı olduğunu, ancak silis dumanının artmasıyla dayanıklılığın azaldığını ileri sürmektedir. Alou ve Houst (1992), %10 oranında silis dumanı kullanılarak ürettikleri tamir harçlarında donma dayanıklılığın yeterli düzeyde olduğunu gözlemişlerdir. Hooton'a (1993) göre, silis dumanlı karışımlar kontrol karışımına oranla donma-çözülme tekrarlarına karşı daha dayanıklıdır. Jacobsen ve Sellevold (1992), hava sürüklenmemiş silis dumanlı betonlarda buz çözücü tuzların etkisinde donma-çözülme deneyleri yapmışlar ve silis dumanı kullanımı ile dayanıklılığın arttığını gözlemlenmişlerdir. Long vd'ne (1992) göre, 0.70 su/bağlayıcı oranında normal beton daha çabuk kritik doygunluk derecesine ulaşmakta ve donmadan zarar görmektedir. Silin dumanının yararlı etkisi yüksek su/bağlayıcı oranlarında daha çok hissedilirken, silis dumanı miktarının artışıyla dayanıklılık artmaktadır [4].

Sabir (1997) yaptığı çalışmada, farklı dozlarda yoğunlaştırılmış silika dumanı (CSF) içeren, hava sürüklenmeli ve hava sürüklenmemiş beton prizmalar üzerinde 210 döngü donma ve çözülmeye maruz kalan beton prizmaların performansı, donma ve çözülmeye önce ve sonra test numunelerinin ağırlık, uzunluk, rezonans frekansı ve darbe hızı ölçümlerinden değerlendirilmiştir. Bu konuda basınç ve eğilme dayanımlarını ve statik elastisite modülünü belirlemek için testler de yapılmıştır. Kontrol betonu, CSF betonu (%85) için elde edilenlerden daha iyi dayanıklılık faktörleri (%92) vermesine rağmen, CSF prizmalarının fiziksel görünümü daha az ölçekleme sergilediğini gözlemlemiştir [5].

Fiertak ve Stryzewska'nın (2005) yaptıkları çalışmada, silis dumanının portland çimentosu CEM I 32.5N ve metalürjik çimentolar CEM III/A 32.5N ve CEM III/B 32.5N'den donma-çözülme direnci ve detamerlerin saldırılarına karşı karşı direncini artırdığı; metalürjik çimentodan %10 silis dumanı katkısıyla betonda iyi bir direnç elde edilirken, %5 ile sadece kabul edilemez olduğu, Polonya standart PN-88/B-06250 tarafından önerilen yöntemle göre donma-çözülme testinin buz çözme tuzları varlığında iyi bir değerlendirme sağlamadığı gösterilmiştir [6].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICATION)

Bu çalışmada, Antalya Etibank Elektrometalurji İşletmesi Tesislerinde tutulan silis dumanlarının çimento ile ikameli betonlarda donma-çözülme tekrarı karşısındaki dayanım ve dayanıklılığı konusu incelenmiştir. Çalışmada iki farklı silis dumanı kullanılmıştır. Bunlar FeSi olarak sembolize edilen "Ferrosilisyum" ve SiFeCr olarak sembolize edilen "Silikoferrokrom"dur. Çalışma ülkemiz tesislerinde tutulan silis dumanı merkezli ender çalışmalardandır. Elde edilen sonuçlar donma-çözülme maruz kalabilecek beton elemanlarının üretiminde yapılması gereken konu ve işlemler ortaya konulmuştur. Çalışmada elde edilen veri ve bilgiler bu konuda yapılacak yeni çalışmalara ışık tutması ümit edilmektedir.

3. DENEYSEL YÖNTEM VE MALZEMELER (EXPERIMENTAL METHODS AND MATERIALS)

Deneysel çalışmalarda kullanılan malzeme ve uygulanan yöntem aşağıdaki gibidir.

- **Silis Dumanları:** Deneylerde Antalya Etibank Elektrometalurji İşletmesinden temin edilen Ferrosilisyum (FeSi) ve

Silikiferrokrom (SiFeCr) silis dumanları Kullanılmıştır. Fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

- **Çimento:** çimento olarak serbest piyasada satışı yapılan ve Elazığ Altınova Çimento Fabrikası tarafından üretilen PÇ32.5 çimentosu kullanılmıştır. Fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.
- **Karma Suyu:** Betonlara Elazığ şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Suyun pH değeri 7.5'tir.
- **Süper Akışkanlaştırıcı Katkı:** Bazı beton karışımlarında kıvamı değiştirmeden su/bağlayıcı (S/B) orantısını azaltabilmek amacı ile TS3452'ye göre sınıfı AH olan süper akışkanlaştırıcı ve priz hızlandırıcı bir katkı maddesi (SA) kullanılmıştır.
- **Agrega:** Elazığ Keban Holding A.Ş.'nin Elbeton Prefabrike Yapı Elemanları Üretim Fabrikası Agregat Tesisleri'nden elde edilen Elazığ-Palu yöresi agregası kullanılmıştır. Agregaların fiziksel özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.
- **Su/Bağlayıcı Oranı:** Araştırmada S/B oranlarının bulunması amacıyla Çökme Hunisi Metodu ile yaklaşık 80mm çökme sağlanan değer S/B oranı olarak alınmıştır. S/B oranı 0.40 düzeyinde tutulan karışımlarda SA kullanılarak yaklaşık 80mm çökme sağlanmıştır.
- **Karışım Oranı ve Hesabı:** SA katkılı ve katkısız harç ve beton numunelerinde çimentonun yerine (ağırlık sabit, hacim değişken) alınan FeSi ve SiFeCr oranları %10, 15, 20, 25 ve 30'dur. SA kullanılan numunelerde ise FeSi ve SiFeCr oranı %10, 15 ve 20'dir. Beton karışım hesabı ACI 211 esasına göre yapılmıştır. Bu hesaplamada çimento özgül ağırlığı 3.10g/cm^3 , çökme: 80mm, Fcm: 30 MPa ve sıkışmış hava hacmi tahminen %2-2.5'dir. Bu esasa göre elde edilen sonuçlar Tablo 3'de, karışım oranları ise Tablo 4'de verilmiştir.
- **Beton Numunelerinin Hazırlanması:** Betonların basınç dayanımı ve donma-çözülme deneyleri için hazırlanan betonların karışım oranları yukarıdaki Tablo 4'den alındı. TS3114 ve TS3068 esasına göre hazırlanan taze beton 10cm'lik küp kalıplara şişlenerek sıkıştırıldı ve su tankına konulmak üzere $23\pm 2^\circ\text{C}$ 'deki kür odasında %90 bağıl nemde koruma altına alındı. Burada bir tam gün bekletildikten sonra $23\pm 2^\circ\text{C}$ 'de değişmez sıcaklıktaki su tankına konuldu. Karışımlar, deney gününe kadar bu ortamda bekletildi.
- **DeneySEL Yöntem:** Betonların kıvam deneyleri TS2871'e göre birim ağırlıkları ise TS2941'e göre belirlendi. Elde edilen sonuçlar Tablo 5'de verilmiştir. Betonların basınç dayanım değerleri 7., 28., 90., 180. ve 360. günlerinde alındı. Beton numuneler deney günü kür odasındaki su tankından alındı, yüzeylerindeki su kuru bezle alındı ve bir tam gün laboratuvar şartlarında her tarafından doğal hava akımı sağlanan ızgaralı tablalara kol olarak kurumaları sağlandı. Basınç dayanımı ELE Marka Beton Pres cihazıyla yapıldı. Beton basınç pres cihazı, beton numunelerinin taşıyabileceği maksimum kuvvete ulaştığı anda (Pk) yüklemesi otomatik olarak son verildi. Böylece betonların ilgili yaşlardaki basınç dayanım değerleri (BD)=Pk/A formülüyle hesaplandı. Elde edilen sonuçlar kontrol betonuyla karşılaştırmalı olarak Tablo 6'da verilmiştir [7].
Betonların donma-çözülmedayanım deneyi ise Postacıoğlu'nun (1987) öne sürdüğü esasa göre yapıldı. Bu deney esaslı donma-çözülme dayanımında en güvenli sonuç veren yöntem olduğu bilinmektedir. Deneyin esaslı özeti Puls Geçiş Hızı (PGH) ile tayin edilen elastiklik modülündeki donma sonunda meydana gelen azalmanın

saptanmasıdır. Bu yöntemin en iyi olması beton numunelerinin kırılmadan yapılabilir olmasıdır. Böylelikle aynı beton numunesinden elstatiklik modülünün ne oranda azaldığı belirlenirse donma etkisinin var olup olmadığı anlaşılır. Betonların donma-çözülmede görsel dayanıklılık indisleri hazırlanmıştır. Her 25 donma-çözülme sonunda betonlarda oluşan ve gözle gözlemlenen fiziki bozulmalar indislere göre karşılaştırılmıştır. Betonların elastiklik modülü değişik yöntemlerle saptanabilir. Bunlardan biri; kuvvet uygulanarak deformasyonlarının ölçülmesi ve daha sonra "Hooke Kanunu"nu uygulayarak elastisite modülünün (E) bulunmasıdır. E modülünün saptanmasında uygulanan diğer bir metod, beton içindeki PGH değeri ile E modülü arasında bağıntısının bulunmasıdır.

$$E = 10^5 \times PGH^2 \times (B.A./g) \quad (1)$$

Burada;

- PGH= Puls Geçiş Hızı (Ses Geçiş Hızı, km/sn)
- B.A.= Betonun Birim Ağırlığı (kg/dm³)
- g= Yer Çekim Kuvveti (9.81m/sn)
- Donma deneyine başlanmadan önce PGH₀ ise yukarıdaki bağıntıya başlangıçtaki E modül şu değere eşit olacaktır.

$$E_0 = 10^5 \times PGH_0^2 \times (B.A./g) \quad (2)$$

Donma-çözülme olayları yapıldıktan sonra betondaki boşlukların artması sonunda betonun içinde ses hızında bir azalma olacak ve bu karakteristik PGH₀'dan küçük PGH₁ gibi bir değer olacaktır. Bu durumda betonun E modülünün aldığı E₁ büyüklüğü şuna eşit olacaktır.

$$E_1 = 10^5 \times PGH_1^2 \times (B.A./g) \quad (3)$$

E₀ ve E₁ bilindikten sonra donma sonunda elastiklik modülünde meydana gelen azalma oranı ise;

$$AE/E_0 = (1 - E_1/E_0) \quad (4)$$

İfadesi ile hesaplanır. E₁ ve E₀ yerine yukarıdaki (2) ve (3) ifadeleri konulursa,

$$AE/E_0 = 1 - PGH_1^2 / PGH_0^2 \quad (5)$$

olduğu hemen görülür. ASTM standartlarına göre 300 donma-çözülme olayı sonunda, AE/E₀= 0.40 (%40) değerinin altına düşmesi durumunda, betonun donma etkilerine dayanıklı olması beklenir. Bu sonuç (5) nolu ifadeye aktarılmasıyla,

$$PGH_1 > 0.77 PGH_0 \text{ olacağı anlaşılacaktır [2 ve 7].}$$

Betonların donma-çözülme deneyi sonuçları 28 gün kür ortamında bekletilmiş numuneler üzerinden alındı. Betonların havada donma sıcaklığı -18±2°C (2 saat), çözülme sıcaklığı ise 5±2°C (1 saat)'dir. Her 10 donma-çözülme tekrarı sonunda betonların PGH değerleri ölçüldü. Bütün betonlar 100 donma-çözülme olayına maruz bırakıldı. Elde edilen sonuçlar Tablo 6'da verilmiştir.

Betonların donma-çözülme deneyi esnasında sergiledikleri davranış indisleri şöyledir:

- 1= Yüzeysel Bozulma Yok
- 2= Köşe Yerlerinden Agregası Kopması
- 3= 1-2cm Kıl Şeklinde Öatlakların Oluşması
- 4= 2-4cm İnce Çatlakların Oluşması
- 5= Yan Yüzeylerde Şişme Başlaması
- 6= 4-6cm İnce Çatlakların Büyümesi
- 7= 6-8cm İnce çatlakların Derinlik Kazanarak Büyümesi
- 8= Betonun Parçalanması [2 ve 7].

Görsel dayanıklılık indisleriyle elde edilen sonuçlar Tablo 7'de verilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

Deneyisel çalışmada elde edilen buldular aşağıdaki Tablo 1, 2, 3, 4, 5 ve 6'da verilmiştir.

Tablo 1. Çimento ve Silis Dumanlarının Fiziksel ve Kimyasal Analiz Sonuçları [7]

(Table 1. Physical and Chemical Analysis Results of Silica Fumes and Cement)

Açıklama	Çimento		Silis Dumanları	
	PÇ32.5	FeSi	FeSi	SFeCr
Kimyasal Analizler				
SiO ₂	2.42	94.62	81.40	
Al ₂ O ₃	5.47	0.20	4.47	
Fe ₂ O ₃	3.12	0.20	1.40	
CaO	63.10	1.40	0.82	
MgO	2.96	0.00	1.48	
SO ₃	2.40	0.21	1.35	
Kızdırma Kaybı	1.54	0.00	7.26	
Tayin Edilemeyen	0.73	1.48	1.82	
Çözülmez Kalıntı	0.26	2.16	0.00	
Fiziksel Analizler				
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3.10	2.36	2.32	
Özgül Yüzey (m ² /kg)	3493	0.00	0.00	

Tablo 2. Agregaların Fiziksel Özellikleri [7]

(Table 2. Physical Properties of Aggregates)

Agrega Tane Sınıfı	Birim Ağırlık (Sıkışık) (kg/m ³)	Özgül Ağırlık (DKY) (g/cm ³)	Su Emme (%)	Mevcut Rutubet (%)	Aşınma (%) (Tüvenan)	
0-4.0 mm	1760	2.63	1.11	0.73	100 Devir	500 Devir
4.0-16.0mm	1719	2.74	0.80	0.46	6.98	18.63

Tablo 3. Kontrol Beton Karışımı İçin Malzeme Miktarı [7]

(Table 3. The Amount of Material for Control Concrete Mixture)

Malzeme cinsi	Miktarı (kg/m ³)
Karma Suyu	214
Çimento	400
İnce Agregas	810
İri Agregas	920
Toplam	2344

Tablo 4. Beton Karışım Oranları [7]

(Table 4. Concrete Mixing Ratios)

Betonlar	S/B	PÇ (kg)	Karma Suyu (lt)	FeSi (kg)	SiFeCr (kg)	SA (kg)	Agrega (kg) (mm)	
							0-4	4-16
K	0.52	400	208	0	0	0	810	920
F10	0.54	360	216	40	0	0	810	920
F15	0.57	340	228	60	0	0	810	920
F20	0.60	320	240	80	0	0	810	920
F25	0.62	300	248	100	0	0	810	920
F30	0.65	280	260	120	0	0	810	920
S10	0.54	360	216	0	40	0	810	920
S15	0.57	340	228	0	60	0	810	920
S20	0.60	320	240	0	80	0	810	920
S25	0.62	300	248	0	100	0	810	920
S30	0.65	280	260	0	120	0	810	920
KA	0.40	400	160	0	40	1.44	810	920
F10A	0.40	360	160	40	0	1.64	810	920
F15A	0.40	340	160	60	0	1.88	810	920
F20A	0.40	320	160	80	0	2.08	810	920
S10A	0.40	360	160	0	40	1.68	810	920
S15A	0.40	340	160	0	60	1.84	810	920
S20A	0.40	320	160	0	80	1.92	810	920

Tablo 5. Betonların Kıvam, Birim Ağırlık, Özgül Ağırlık, Su Emme ve Boşluk Oranları [7]
 (Table 5. Flow amount, Unit Weight, Specific Weight, Water Absorption, and Vacancy Rates of Concretes)

Betonlar	Taze Beton		Sertleşmiş Beton		
	Kıvam (Çökme Miktarı) (mm)	Birim Ağırlık (t/m ³)	Özgül Ağırlık (kg/dm ³)	Su Emme (%)	Boşluk Oranı (%)
K	82	2.30	2.21	9.35	17.32
F10	83	2.36	2.28	5.42	10.43
F15	86	2.37	2.25	4.93	9.33
F20	85	2.34	2.29	5.04	10.82
F25	84	2.34	2.29	4.63	9.82
F30	85	2.34	2.22	4.93	10.08
S10	82	2.36	2.20	5.28	10.92
S15	85	2.38	2.34	4.39	9.60
S20	83	2.36	2.25	4.99	9.76
S25	84	2.39	2.32	4.48	9.24
S30	83	2.40	2.30	5.20	10.26
KA	83	2.35	2.30	6.19	10.26
F10A	81	2.40	2.35	4.91	9.10
F15A	82	2.38	2.21	5.42	10.74
F20A	81	2.36	2.26	4.67	9.38
S10A	80	2.40	2.31	5.50	12.02
S15A	82	2.37	2.25	4.24	9.05
S20A	80	2.38	2.30	4.46	8.33

Tablo 6. Betonların Basınç Dayanım ve Donma-Çözülme Deneyi Sonuçları [7]
 (Table 6. Compressive Strength and Freezing-Thawing Results of Concretes)

Beton	Basınç Dayanımı 28. Gün (MPa)	PGH ₀	PGH _n	E ₀	E _n	AE/E ₀	PGH _n >0.77PGH ₀
K	28.6	3.20	1.14	2.40x10 ⁵	0.30 x10 ⁵	0.87	2.46
F10	33.3	3.43	2.73	2.83x10 ⁵	1.79 x10 ⁵	0.36	2.64
F15	39.3	3.54	2.82	3.02x10 ⁵	1.92 x10 ⁵	0.36	2.72
F20	40.1	3.58	2.81	3.05x10 ⁵	1.88 x10 ⁵	0.38	2.75
F25	45.1	3.62	2.66	3.12x10 ⁵	1.68 x10 ⁵	0.46	2.78
F30	49.0	3.66	2.51	3.19x10 ⁵	1.50 x10 ⁵	0.52	2.81
S10	35.6	3.39	2.76	2.76x10 ⁵	1.83 x10 ⁵	0.33	2.61
S15	36.4	3.49	2.78	2.95x10 ⁵	1.87 x10 ⁵	0.36	2.68
S20	38.5	3.52	2.81	2.97x10 ⁵	1.65 x10 ⁵	0.47	2.71
S25	42.2	3.59	2.61	3.14x10 ⁵	1.56 x10 ⁵	0.50	2.76
S30	45.6	3.60	2.53	3.17x10 ⁵	1.56 x10 ⁵	0.38	2.77
KA	38.1	3.40	3.59	2.76x10 ⁵	1.60 x10 ⁵	0.41	2.61
F10A	50.6	4.42	3.82	4.77x10 ⁵	3.56 x10 ⁵	0.25	4.40
F15A	54.1	4.46	3.89	4.82x10 ⁵	3.67 x10 ⁵	0.23	3.43
F20A	54.9	4.51	3.80	4.89x10 ⁵	3.47 x10 ⁵	0.29	3.47
S10A	48.6	4.40	3.78	4.73x10 ⁵	3.49 x10 ⁵	0.31	3.38
S15A	48.9	4.47	3.75	4.82x10 ⁵	3.39 x10 ⁵	0.29	3.44
S20A	50.6	4.50	3.70	4.91x10 ⁵	3.32 x10 ⁵	0.29	3.46

Tablo 7. Donma-Çözülmede Görsel Dayanıklılık İndisleri Sonuçları [7]
(Table 7. Visual Durability Indexes Results in Freezing-Thawing)

Betonlar	Çökme Miktarı (mm)	Birim Ağırlık (t/m ³)	Donma-Çözülme Tekrarı ve Davranış İndisleri			
			1-25	26-50	51-75	76-100
K	82	2.30	1 1 1 1	1 2 2 3	4 5 6 7	8
F10	83	2.36	1 1 1 1	1 1 1 3	1 2 3 4	4 5 5 5
F15	86	2.37	1 1 1 1	1 1 1 3	1 2 3 4	4 5 5 6
F20	85	2.34	1 1 1 1	1 1 1 3	1 1 2 3	3 4 4 4
F25	84	2.34	1 1 1 1	1 1 1 3	1 1 2 3	3 4 5 6
F30	85	2.34	1 1 1 1	1 1 1 3	1 1 2 3	4 5 6 7
S10	82	2.36	1 1 1 1	1 1 1 3	1 2 3 4	4 5 5 6
S15	85	2.38	1 1 1 1	1 1 1 3	1 2 3 4	4 5 5 5
S20	83	2.36	1 1 1 1	1 1 1 3	1 1 2 3	4 4 5 5
S25	84	2.39	1 1 1 1	1 1 1 3	1 1 2 3	4 4 5 6
S30	83	2.40	1 1 1 1	1 1 1 3	1 1 2 3	4 5 6 7
KA	83	2.35	1 1 1 1	1 1 2 3	2 3 4 4	4 5 6 7
F10A	81	2.40	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	2 3 3 3
F15A	82	2.38	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	2 3 3 3
F20A	81	2.36	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	2 3 3 3
S10A	80	2.40	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	2 3 3 3
S15A	82	2.37	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	2 3 3 3
S20A	80	2.38	1 1 1 1	1 1 1 1	1 1 1 1	2 3 3 3

Tablo 6'dan da görüleceği üzere, her iki beton karışım gurubunda da SD katkısı ile basınç dayanımı artmaktadır. Basınç dayanım gelişiminde silis dumanlarından FeSi dumanının biraz daha etkin olduğu anlaşılmıştır. Kontrol numunesi 28. gün sonunda 28.6 MPa'lık basınç dayanıma ulaşırken, FeSi'li karışımlar kontrol numunesine oranla; %10 Fesi'da %16, %15 FeSi'da %37, %20 FeSi'da %40, %25 FeSi'da %58 ve %30 FeSi'da %71'lik dayanım artışı göstermiştir. Diğer taraftan, %20 SiFeCr'da %24, %15 SiFeCr'da %27, %20 SiFeCr'da %35, %25 SiFeCr'da %48 ve %30 SiFeCr'da %59'luk dayanım artışı göstermiştir.

Tablo 7'den de görüleceği üzere kontrol betonları, 80. donma-çözülme tekrarı sonunda elastiklik modülü $E_0=2.3 \times 10^5$ 'den $E_n=0.30 \times 10^5$ 'ya düşerek parçalanmıştır. Bu parçalanma 40. donma-çözülme sonunda önce köşe yerlerindeki küçük boyuttaki agregaların kopması ile başlamış, deneye devam edildikçe yan yüzeylerinde gözle görülebilir şekilde şişmeler oluşmuştur. 50. donma-çözülme sonunda bu şişmeler üstünde yine gözle görülebilir çok ince ve 2-4 cm arasında değişen çatlaklar oluşmuştur. 60. donma-çözülme sonunda da 6-7cm'ye kadar ulaşmıştır.

FeSi ve SiFeCr katkılı betonlarda 60. donma-çözülme sonunda özellikle köşelerinde küçük parçalar halinde ana kütlede kopmalar başlamıştır. 70. donma-çözülme sonunda bütün FeSi ve SiFeCr katkılı betonların yan yüzeylerinde 1-2 cm boyunda çok ince çizgi halinde çatlaklar oluşmaya başlamıştır. 80. Donma-çözülme sonunda ise özellikle %20, 25 ve 30 Fesi ve SiFeCr katkılı betonlarda bu ince çizgi halindeki çatlaklar daha da büyüerek 2-4 cm boyutunu almıştır. SD katkılı %25 ve 30 olanlarda çatlak boyları daha büyüktür. 90. donma-çözülme sonunda %25 ve 30 SD katkılı betonların bazı yan yüzeylerinde şişmelerin yanı sıra ince çizgi halindeki çatlaklar oluşmaya devam etmiştir.

SA kullanılarak hazırlanan karışımlardan KA betonları, K betonlarında olduğu gibi köşelerinden küçük agregaların kopması, 60. donma-çözülme tekrarı sonunda başlamıştır. 70. donma-çözülme sonunda 2-3 cm boyutunda çok ince çizgiler ve çok az şişmeler belirleme başlamıştır. Bu ince çizgiler ve şişme olayı 80. donma-çözülme sonunda çok daha iyi belirginleşmiştir. 90. donma-çözülme sonunda mevcut çatlak boyları artarak 6-8cm boyutuna ulaşmıştır.

KA betonlarının deneye devam edilmesi durumunda parçalanacağı düşüncesiyle deneye son verilerek 100 donma-çözülme sonunda betonların elastiklik modülündeki azalmalar incelenmiştir. Tablo 6'dan da



görülebileceği üzere %10, 15 ve 30 FeSi ve SiFeCr dumanları katılarak üretilen betonlarda elastiklik modüllerinde ortalama %60'lık azalma sonucunda betonlar kritik yapıya gelmektedir. Betonlar elastiklik modüllerini %60'dan daha fazla kaybetmesi durumunda donma olayından zarar görebileceklerdir. Yüzde 25 ve 30 SD katkı durumunda elastisite modülünde %50 civarında bir azalma olmuştur. Yani, %25 ve 30 SD katkısı içeren betonlarda donma-çözülme tekrarlarına dayanıklılık %10, 15 ve 20 SD katkılılara göre azalmaktadır. Bunun nedeni, çimento matrisi fazının çok yoğun olması ve su hareketine olanak kalmaması şeklinde açıklanabilir. SA katkılı kontrol betonları 100 donma-çözülme sonunda elastiklik modülünü yaklaşık %70 kaybederek kritik noktaya ulaşırken, diğer betonlar ise ortalama %40 elastiklik modüllerini kaybetmişlerdir.

Bu olay, beton üretiminde kullanılan FeSi ve SiFeCr dumanlarının iri boşlukları azaltması, bunun yanı sıra küçük çaplı boşluk sayısını artırması sonucu donma-çözülme tekrarlarına karşı betonların daha mukavemetli olmalarına neden olmuştur şeklinde açıklanabilir.

Plastik kıvama göre hazırlanmış betonların 100 donma-çözülme sonunda kritik yapıya ulaşmalarının nedeni S/B oranının yüksek olması şeklinde açıklanabilir. S/B oranı yüksek olan betonlarda boşluk miktarıda ister istemez fazla olacaktır. Plastik kıvamdaki betonların boşluk yapılarında donma olayının etkisiyle birtakım fiziksel değişikliklerin meydana geldiği düşünülmektedir. Betonların hacim artmasının (şişme) kılcal boru boyutlarının büyümesi kılcal basıncın değerini düşürecektir. Bunun sonucunda cismin kılcallık katsayısı küçülerek kılcallık yolu ile betonun içine daha fazla su girecektir. İç gerilmelerin çatlaklar meydana getirmesi sonucunda kapalı boşluklar miktarında bir azalma, açık boşluk miktarında bir artış olacaktır. Bu değişiklik betonun geçirimsizliğinin artmasıyla kendini gösterir. Beton geçirimsizliğinin azalması, boşluk miktarının fazla olmamasına bağlıdır. Bu nedenledir ki 100 donma-çözülme sonunda ultrasonik ses geçiş hızı azalmıştır.

Betonların donma-çözülme sonunda elastiklik modüllerindeki yüksek orandaki değişiklik, betonların donma-çözülme sonunda elastiklik modülündeki değişiklik donmuş betonlardaki çatlakların dolayısıyla porozitesinin artmasından oluştuğu düşünülmektedir [7].

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Tablo 5 ve 6'dan da anlaşılacağı üzere, betonların boşluk miktarı ve su emme miktarı azaldıkça hem basın dayanımları artmakta hem de donma-çözülme olayına karşı daha dayanıklı oldukları anlaşılmıştır. Silis dumanlarının kullanım oranlarının artırılması betonlarda büyük boşlukların azalması ve buna karşın daha küçük yapı boşlukların artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Bu hususu Tablo 5 ve 6'daki değerlere ve Tablo 7'deki verilere göre, betonların basınç dayanımları ve katkı yüzdeleri arttıkça donma-çözülme tekrarlarına etkisi daha iyi görünmektedir. Ayrıca, SA katkı kullanılarak S/B oranının 0.40 düzeyinde tutulan betonlar donma-çözülme tekrarlarına karşı daha dayanıklı çıkmışlardır.

Sonuç olarak, donma-çözülme olaylarına karşı yüksek performanslı beton için agregaların reolojisi, granülometrisi, su emme miktarı, birim ağırlığı; çimentonun inceliği ve miktarı; karma suyun pH ve miktarı; yapı kimyasal katkı maddesinin türü ile silis dumanının miktarı ve fiziksel ve kimyasal analiz ve kompozisyonuna dikkat edilmelidir. Bu hususlardan biri ve birkaçının istenilen nitelikte olması beton donma-çözülme karşı dayanıklı olacağını garanti etmeyebilir.

Yukarıda sıralanan hususlara dikkat edilerek hazırlanan silis dumanı katkılı betonların; donma-çözülme tekrarlarına karşı dayanıklı



olması istenen havameydanı, liman, karayolu, döşeme ve plakları, perde duvar, köprü ve köprü yaklaşım dolguları kaplaması, demiryolu sanat yapıları, drenaj künkleri, beton ve betonarme borular, ön ve artgermeli beton betonarme direkler vb. inşaatlarda kullanılabilir olabileceği kanaatine varılmıştır.

NOT (NOTE)

Bu çalışma Cevdet Emin Ekinci'nin Prof. M.Asım YEĞİNOĞLU akademik danışmanlığında tamamladığı "Antalya Etibank Elektrometalurji İşletmesi Silis Dumanlarının Çimento ve Betonda Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi" başlıklı Doktora Tezi'nden türetilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Şengül, Ö., Taşdemir, C., Koruç, Ş. ve Sönmez, R., (2003). Agrega Türünün Betonun Donma-Çözülme Dayanıklılığına Etkisi. III Ulusal Kırmataş Sempozyumu, Bildiriler Kitabı.
2. Postacıoğlu, B., (1987). Beton: Agregalar, Beton (Cilt: II). İstanbul: Matbaa Teknisyenleri Basımevi.
3. Özturan, T., (1993). Uluslararası IV.CANMET-ACI Betonda Uçucu Kül, Silis Dumanı, Cüruf ve Doğal Puzolanların Kullanımı Konferansının Değerlendirilmesi (Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, 18-19 Kasım 1993). Bildiriler Kitabı, 57-78.
4. Sabir, B.B., (1997). Mechanical Properties and Frost Resistance of Silica Fume Concrete. Cement and Concrete Composites, Volume: 19, Issue: 4, 1997, Pages 285-294.
5. Pigeon, M., Pleau, R., and Aitcin, P., (1986). Freeze-Thaw Durability of Concrete With and Without Silica Fume in ASTM C 666 (Procedure A) Test Method: Internal Cracking Versus Scaling, Cement, Concrete and Aggregates, Volume: 8, No. 2, pp. 76-85.
6. Fiertak, M. ve Stryzewska, T., (2005/6). Freeze-Thaw Resistance of Cement Concrete with Silica Fume Addition. Cement Wapno Beton. November-December:6 Stona:307.
7. Ekinci, C.E., (1995). Antalya Etibank Elektrometalurji İşletmesi Silis Dumanlarının Çimento ve Betonda Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi (Yayınlanmamış Doktora Tezi). Elazığ: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.