Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi
18 (3), 359-366, 2006

Science and Eng. J of Fırat Univ.
18 (3), 359-366, 2006

Çelik, Cam ve Polipropilen Lifli Betonlarda Donma-Çözülme Etkilerinin Araştırılması

Salih Taner YILDIRIM[1] ve Cevdet Emin EKİNCİ[2]
[1]Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Kocaeli
[2]Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü Elazığ
styildirim@kou.edu.tr

(Geliş/Received: 05.01.2005; Kabul/Accepted: 28.03.2006)

Özet: Bu çalışmada, polipropilen, cam ve çelik lifli betonların dona dayanıklılıkları araştırılmıştır. Deneyler için, lifsiz, polipropilen, cam, çelik ve karışık lifli 12 farklı beton üretilmiştir. Beton karışımında mikro yapılı çapı 50 μ, boyut oranı 400 polipropilen ve çapı 14 μ, boyut oranı 857 olan cam lifler ile makro yapılı çapı 0.75 mm, boyut oranı 80 olan çelik lifler kullanıldı. %0.5, 0.75 ve %1 hacimsel oranında çelik lifler, beton içinde %0.1 hacimsel oranında polipropilen ve cam liflerle karışık ve ayrı ayrı kullanıldı. Deneyler ASTM C 666 standardından havada hızlı donma-çözülme koşulları dikkate alınarak yapılmıştır. 30 donma-çözülme çevrimi sonucunda hazırlanan numuneler üzerinde ağırlık kaybı, ultrases geçiş hızı ve dayanıklılık faktörü değerleri belirlenmiştir. Deney sonuçları, betonda kullanılan lif tipine göre değerler arasında önemli farklılıklar olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Lifli Beton, Donma-Çözülme, Ultrasonik Ses Hızı, Dayanıklılık.

The Effect of Freeze-Thaw on the Steel, Glass, and Polypropylen Fiber Reinforced Concrete

Abstract: Durability of concrete reinforced by fiber, polypropylene, glass and steel against the effects of freeze-thaw was investigated in this study. Plain, polypropylene, glass, steel and hybrid 12 concrete specimens were produced The polypropylene fibers in diameter of 50 μ, aspect ratio of 400, glass fibers in diameter of 14 μ, aspect ratio of 857 and steel fibers in diameter of 0.75 mm, aspect ratio of 80 were used in concrete mixtures. The volumetric contents were 0.5, 0.75 and 1% in steel fiber reinforced concretes. The volumetric content was 0.1% in polypropylene and glass fiber reinforced concretes. The experiments of rapid freeze-thaw in the air were taken as the basis according to the criteria of ASTM C 666. Values of weight-loss and of the durability factor, which was determined by pulse velocity, in the specimens were evaluated after 30 freeze-thaw cycles. Experiments results were determined to be significantly different from one another according to the type of the fiber used in the concrete.

Keywords: Fiber-Reinforced Concrete, Freeze-Thaw, Pulse Velocity, Durability.

1. Giriş

Dayanım, süneklik, tokluk ve dayanık-lılık gibi özelliklere sahip konstrüksiyon arayışı, lifli ve yüksek performanslı beton gibi malzemelere olan ilginin artmasına neden olmuştur [1-9]. Bu tür malzemelerin kullanım alanları günümüzde oldukça yaygınlaşmış ve kompozitlerin özeliklerini geliştirmek adına önemli adımlar atılmıştır [10]. Çelik lifler betonun çekme dayanımı önemli ölçüde artırmaktadır. Çekme dayanımının yanı sıra diğer özelliklerinde bir düzelme söz konusudur [11].

Son yıllarda çimentolu malzemeler üzerine yapılan çalışmalar göstermiştir ki, çimento kimyasının anlaşılması, en uygun kimyasal kompozisyonunun bulunması, kür koşulları ve porozitenin azaltılması dış etkenlere dayanıklılık açısından son derece önemlidir [12]. Betonda dayanıklılığın geliştirilmesi bazı koşulların sağlanmasına bağlı olmakla beraber, betona kimyasal veya mekanik yönden geliştirmek amacıyla katkılar katılması önem taşımaktadır.

Beton malzemeler çoğunlukla, gevrek olmaları nedeniyle basınç yüklerini taşımak için kullanılır; çelik donatı çekme elemanları ise çekme yüklerini karşılamak amacıyla beton içinde kullanılır. Ancak, donatıyı saran beton tabakasının donma-çözülme gibi tahrip edici

etkilerle çatlaması ve kabarıp dökülmesi, çelik çubukların ortaya çıkma-sına ve korunaksız kalmasına neden olabilmektedir. Bu durum, korozif etkilerin donatıya kolayca zarar vermesine zemin hazırlamış olur.

Çalışmada mikro yapılı polipropilen ve cam liflerin ayrı ayrı ve makro yapılı çelik liflerle beraber betonda kullanılmasıyla, donma-çözülme deneyleri sonucu betonda ağırlık azalması, ses hızı azalması ve dayanıklılık faktörleri grafiksel olarak belirlenmiş, değişik lif türlerinin bu özelliklere etkileri kıyaslanmıştır. Deneyler sonucunda betonda kullanılan lif tipine göre değerler arasındaki farklılıkların belirlen-mesi ve kıyaslanması amaçlanmıştır.

2. Liflerin Beton Donma-Çözülme Dayanıklılığına Etkileri

Lifler kompozit içinde homojen dağıldığı ve optimum miktarda kullanıldığı zaman çok etkin ve faydalı olabilirler. Liflerin ana fonksiyonu çatlakları azaltırken, aynı zamanda tokluğu artırmaktır [9].

Dayanıklılık ile ilgili çalışmalarda, liflerin donma-çözülme dayanıklılığı üzerine etkileri olduğu görülmüştür. %5 sodyum sülfat çözeltisinde beton ve çelik lifli betonlar üzerine yapılan araştırmalar göstermiştir ki, numunelerin dinamik modülü 300 çevrimden sonra ciddi şekilde azalmaktadır. Hem çözelti içinde, hem de su içinde tutulan ve su/çimento oranı 0.44 olan numunelerin, 300 çevrime kadar, elastisite modüllerinde çok büyük düşüşler görülmüş ve bu çevrim sayılarının üzerine çıkılamamıştır. Su/çimento oranı 0.26 olan numunelerin, özellikle çözelti içindekilerin elastisite modülü düşüşü, su içindekilerden çok daha fazla olmaktadır. 0.32 su/çimento oranına sahip numuneler de çevrim sayısı olarak, 0.44 ve 0.26'lık oranlara sahip numune çevrim değerleri arasındadır. Çelik lifli betonlar, lifsiz betona göre daha yüksek çevrim sayılarında kırılmaktadır. Hatta, aynı su/çimento oranında olan lifli numunelerin çözelti içinde kalanları bile, lifsiz numunelerin su içinde kalanlarına göre daha yüksek performans göstermektedir [9]. Betona harici yükler ve sodyum klorür çözelti etkili donma-çözülme çevrimi uygulanarak yapılan deneysel araştırmalarda; donma-çözülme etkisine maruz kalan beton numunelerde, klorür tuz çözeltisinde kalan numunelerin su içindekilerden yaklaşık iki kat daha fazla ağırlık kaybettiği görülmüştür. Ancak, klorür çözeltisine maruz kalan numunelerin dinamik elastisite modülleri daha yavaş azalmaktadır. Gerilme oranları arttıkça numunelerin çevrimlere direnci azalmıştır. Çelik lifler katıldığında, lifli betonda performans azalması aynı koşullarda biraz gecikmektedir [13-15]. Çelik liflerin kullanılması donma-çözülme hasarlarına dayanıklılığı geliştirmektedir [16-17].

Polipropilen lifler, endüstriyel tesisler, havaalanları, konutlar ve yüzme havuzlarını da içine alan uygulamalarda çarpma, aşınma dayanımı ve geçirimsizliği artırmaktadır. Bu lifler korozyondan etkilenmeyen, tuz ve alkalile-re dayanıklı malzemelerdir. İç gerilmeleri yok ederek mikro çatlakları engellemekte ve buna bağlı olarak gerilmeleri düşürmektedir. Böylece çelik hasırda %65'e kadar azalan plastik gerilme çatlakları, polipropilen lif kullanıldığında %72'ye kadar azalabilmektedir [18]. Kuru ve ıslak karışımlı püskürtme lifli betonları, ASTM C 666 suda hızlı donma-çözülme (A) yöntemine göre testi esas alınarak yapılan deneysel çalışmalarda, püskürtme betona hava sürüklenerek yüksek oranlarda çelik ve polipropilen lif kullanıldığında donma-çözülme dayanıklılığı sağlanabilmektedir. Fakat, hava sürüklenmediği zaman, ıslak ve kuru karışımlarda dayanıklılık çok hızlı düşmektedir. Hava sürükleyicileri püskürtme betonda etkin olarak kullanmak mümkün olmamasına rağmen, çelik lifli karışımların uygun şekilde tasarımıyla dayanıklılık artırılabilmektedir. Yüksek polipropilen lifli ıslak-kuru karışımlı püskürtme beton üretmek pratik olarak imkansız olduğundan, donma-çözülme durumu tam olarak anlaşılamamaktadır [19].

Juska vd. [20], ısıl etkilerin lifli betonlar üzerine yapmış olduğu etkilerle ilgili daha önce yapılmış olan çalışmaları derlemiş-lerdir. Cam lifli kompozitler üzerinde, %2 NaCl çözeltisi içinde donma (-17.8^{o}C)–çözülme (4.4^{o}C) deneyi uygulan-dığında numunelerin eğilme dayanımları ve diğer özellikleri önemli derecede kayba uğramaktadır [21]. Konu ile ilgili bir başka bir çalışmada; cam lifi takviyeli epoksili betonlar 54 ve 92^{o}C sıcaklıklarda kürde tutulup, daha sonra betonu deniz suyu, şebeke suyu, -15^{o}C ve donma-çözülme çevrimlerine maruz

bırakılmıştır. Çalışma sonucunda betonlardaki liflerin bu etkilerden olumsuz etkilendiği görülmüştür [22]. Cam lifi takviyeli plastik ile beton arasındaki bağ ve dayanıklılığının araştırıldığı çalışmada; kullanılan kirişler önce tek nokta yüklemesi altında çatlatılmıştır. Kirişler lif takviyeli polimer levhalı olarak denendikten sonra, sabit yük altında; donma-çözülme, yüksek nem, yüksek sıcaklık ve ultraviyole gibi çevre etkilerine maruz bırakılıp, daha sonra iki noktadan eğilme yüklemesi yapılarak çatlak büyümeleri ve deformasyonlar kaydedilmiştir. Donma-çözülme çevrimleri sonucu, eğilme rijitliği ve dayanımın cam lifli levhalarda azaldığı görülmüştür [23]. Uzun boylu cam lifi katkılı numunelerde boşluk oluşması ve bu liflerin aderanslarının fazla iyi olmaması gibi nedenlerden dolayı numunelerin donma-çözülme olayından etkilendikleri, yüzeydeki çatlakların fazla geliştiği; fakat numunelerde lif katkısından dolayı kopmaların olmadığı anlaşılmıştır. %2 lif içeriğinde, kontrol numunesine göre az da olsa donma-çözülme ağırlık kaybı miktarı azalmış, ama %4 ve 6 lif içeriğinde; cam lifler, donma-çözülme çevrimlerinden olumsuz etkilendiğinden artmıştır. Genel olarak, 25. donma-çözülme periyoduna ulaşılana kadar numunelerde fazla bir değişiklik olmadığı, fakat 25. donma-çözülme çevriminden sonra numunelerde kopmaların başladığı görülmüştür [24].

Tablo 1. Süperakışkanlaştırıcı ve Çimentonun Kimyasal Bileşen (%) Miktarları

Kimyasal Bileşim	Çimento	Süperakışkanlaştırıcı
SiO_2	20.03	88-92
Al_2O_3	5.09	0.40-1.10
Fe_2O_3	3.44	0.50-1.50
CaO	64.52	0.40-0.90
MgO	1.43	0.90-1.30
SO_3	2.26	-
Na_2O	0.19	0.40-0.70
K_2O	0.65	0.90-1.20
Toplam Alkali	0.62	-
Cl-	0.007	0.01-0.05
Çöz. Kalıntı	0.42	-
Kızdır. Kaybı	2.31	-
C	-	0.80-2.00
S	-	0.15-0.30

3. Deneysel Çalışma

3.1. Malzemeler

Araştırmada, PÇ 42.5 (CEM I 42,5 R) çimentosu kullanılmıştır. Agrega olarak 0-0.5 mm kırmataş tozu, 0.5-4 mm doğal kum, 4-16 mm doğal çakıl ve 16-32 mm'lik kırmataş kullanılmıştır. Kullanılan agregaların özgül ağırlıkları sırasıyla 2.62, 2.65, 2.70, 2.70 gr/cm^3 olarak bulunmuştur. En büyük agrega tane boyutu 22 mm dir. Lif olarak çelik lif (Dramix RC-80/60-BN) (SF), cam lifi (Cem-Fil Anti-Crack: HP Fibre/ARC 14 38 HP) (GF), polipropilen lif (Duomix F20/5.1) (PF) ve ayrıca süperakış-kanlaştırıcı katkı malzemesi (Sikacrete PP1 HR) kullanılmıştır. Kullanılan çimento ve süperakışkanlaştırıcı katkı malzemesinin özellikleri Tablo 1'de, çelik (ucu kancalı) ve polipropilen liflerin önemli özellikleri ise Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Çelik, Polipropilen ve Cam Lifin Teknik Özelikleri

Lif Özellikleri	SF	PF	GF
Boy (mm)	60	20	12
Çap (mm)	0.75	0,05	0,014
Narinlik	80	400	857
Özgül Ağırlık	7480	910	2680
Elastisite Modülü (MPa)	200000	3500-3900	72000
Çekme Dayanımı (MPa)	1100	320-400	1700
Kilogramdaki Lif Sayısı (Adet)	4600	82 Milyon	200 Milyon

3.2. Deney Yöntemi

Çalışmadaki deneyler Düzce Meslek Yüksekokulu ve Düzce Haytoğlu Koç Beton laboratuarlarında gerçekleştirilmiştir. Burada aynı ana bileşimlere sahip, farklı lif yüzdeleri içeren betonlar üretilmiştir. İçinde sırasıyla hacimsel olarak; %0.5, 0.75 ve 1 oranında sadece çelik lif kullanılarak 3 seri ve ayrıca aynı çelik lif oranları sabit kalacak şekilde % 0.1 oranında

cam ve polipropilen lif ayrı ayrı katılarak 6 seri daha beton üretilmiştir. Buna ilaveten sadece %0.1 cam ve polipropilen lifli 2 farklı beton ile kontrol betonlarından oluşan 3 seri daha hazırlanmıştır. Böylece toplam 12 seri beton numunesi üretilmiştir. C 20 sınıfının hedeflendiği ve çökme değeri 130 mm alındığı 1 m^3'lük kontrol betonu bileşiminde, 181 kg su, 281.89 kg çimento, 14.83 kg süperakışkanlaştırıcı katkı kullanılmış ve su bağlayıcı oranı 0.61 alınmıştır. Lifli betonlarda katılacak hacimsel lif içeriği, aynı miktardaki beton ile yer değiştirilmiştir. Tüm serilerden deneylerde kullanılmak üzere 6'şar numune üretilmiş olup, bu numuneler 28 gün suda bekletildikten sonra donma-çözülme safhalarına geçilmiştir.

Betonda donma-çözülme deneyi ASTM C 666'ya (Prosedür B: hızlı havada donma-suda çözülme koşulları) göre, 80x80x360 mm'lik standart prizmatik numuneler üzerinde yapılmış ve bu numuneler 28 gün kürlendikten sonra deneyler gerçekleştiril-miştir [25]. Donma-çözülme deneyini derin dondurucu içinde ASTM C 666'ya uygun şekilde yapabilmek için, öncelikle ısı transferi hakkında bilgi sahibi olmak gerekmektedir. Çünkü, numunelerin iç sıcaklığının deneyin yapıldığı ortamda istenen sıcaklıklara ne kadar zamanda geleceğini bilmek başka türlü mümkün değildir.

ASTM C 666'da istenilen şartları sağlamak amacı ile yapılmış olan ısı transfer hesaplarında kullanılan formüller aşağıda gösterilmiştir. Zamana bağlı ısı transferi problemlerinde Biot sayısı (Bi):

$$Bi = \frac{\alpha . L_k}{\lambda} \qquad (1)$$

Formül 1'de görülen α ısı taşınım katsayısını, λ ise ısı iletkenliği hesap değerini göstermektedir. Cismin karakteristik uzunluğu (L_k), cismin hacminin alanına bölümüyle bulunmaktadır:

$$L_k = V / A \qquad (2)$$

Biot sayısı 0.1'den küçük olduğunda çözüm için aşağıdaki formül (3) kullanılır (Biot sayısı değeri 0.1'in üstüne çıktığı zaman grafik çözüm yapılması gerekir. Cisimde üç boyutlu bir ısı iletimi söz konusudur):

$$\frac{T_0 - T_\infty}{T_i - T_\infty} = e^{-Bi.Fo} \qquad (3)$$

Formülde T_0 numunenin merkez sıcaklığını, T_∞ numunenin konulduğu ortamın sıcaklığını, T_i numunenin ilk sıcaklığını belirtmektedir. F_o Fourier sayısı (4), ısı yalıtım katsayısı (5) aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$Fo = \frac{a_k . t}{L^2} \qquad (4)$$

$$a_k = \frac{\lambda}{\gamma . C_p} \qquad (5)$$

Formülde a_k ısıl yayınım katsayısı, t zaman, L deney numunesinin iki ucu arasındaki mesafe, γ özgül ağırlık, C_p özgül ısı kapasitesidir. Yapılan ısı transfer hesaplarına göre, merkez sıcaklıkları 20°C'ye getirilen numuneler, ortam sıcaklığı -20°C olan derin dondurucu içine konmuş ve soğutulduktan sonra merkez sıcaklıklarının 3 saat 12 dakikalık sürede -18°C'ye gelmesi sağlanmıştır. Çözülme sıcaklığı 5.4°C olarak hesaplanan ve su banyosuna konan numunelerin 36 dakika sonra merkez sıcaklığı 4.5°C'ye ulaşmaktadır. Bir sonraki aşamada, numuneler derin dondurucuya tekrar konduğunda merkez sıcaklığının –18°C olabilmesi için bekletileceği süre 2 saat 40 dakika olarak hesaplanmıştır. Bundan sonraki çevrimler suda 5.4°C ve 36 dakika, dolapta –20°C ve 2 saat 40 dakika olarak ayarlanmış ve toplam 30 çevrim yapılmıştır.

Numunelere uygulanan çevrimlerin başında ve sonunda ağırlık ölçümü ve ultrases geçiş hızı ölçümü yapılmıştır. Donma-çözülme çevrimlerinden sonraki dinamik elastisite modülü yüzde değeri "P"; numunelerin dayanıklılık faktörü "DF" aşağıdaki formüllerle bulunmuştur. Formüllerde; donma-çözülme çevrimlerin-den sonraki geçiş frekansı "n_1", çevrimlere başlamadan önceki geçiş frekansı "n", belirlenmiş bir değere kadar (30) öngörülen çevrim sayısı "N", deneyin bitirildiği çevrim sayısı "M"dir(7). Bu çalışma çerçevesinde yapılan deneylerde N ve M değerleri 30'ar alınmıştır [26].

$$P = (\frac{n_1^2}{n^2}).100 \qquad (6)$$

$$DF = \frac{P.N}{M} \qquad (7)$$

4. Deney Sonuçları ve Tartışma

Aynı malzemeden üretilmiş olan 150x150x150 mm'lik küp numuneler üzerinde daha önceden yapılmış olan sıkışık birim ağırlık, su emme oranı ve basınç dayanımı tespitleri Tablo 3'te, donma-çözülme deneylerinden elde edilen veriler ise Tablo 4'te sunulmuştur [26].

Tablo 3. 150x150x150 mm'lik Beton Numunelerin Sıkışık Birim Ağırlık, Su Emme ve 28 Günlük Basınç Mukavemeti Özellikleri.

Beton Cinsi	K. Lif Miktarı (%)			Sıkışık Birim Ağırlık (kg/m^3)	Su Emme (%)	Görünür Boşluk Oranı (%)	28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)
	S	G	P				
K	0	0	0	2376.59	6.51	14.23	23.64
S 0.5	0,5	0	0	2400.49	6.37	14.05	24.47
S 0.75	0,75	0	0	2412.31	5.72	12.96	24.2
S 1	1	0	0	2424.06	5.58	12.68	23.86
P	0	0	0,1	2374.19	5.53	12.10	22.19
G	0	0,1	0	2375.94	5.39	11.95	24.36
SP 0.5	0,5	0	0,1	2398.04	6.01	13.27	22.96
SP 0.75	0,75	0	0,1	2409.83	6.21	13.75	21.6
SP 1	1	0	0,1	2421.55	5.82	13.03	21.06
SG 0.5	0,5	0,1	0	2401.12	5.89	13.01	24.08
SG 0.75	0,75	0,1	0	2413.91	5.12	11.45	22.97
SG 1	1	0,1	0	2422.63	5.29	11.91	23.09

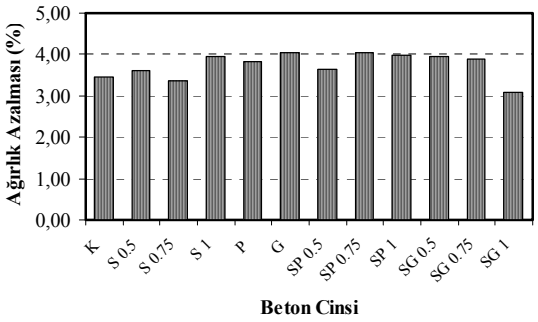
Tablo 4'deki verilerden faydalanılarak, grafikler oluşturulmuş (Şekil 1, 2, 3) ve grafikler üzerinde liflerin betonun donma-çözülme etkilerine dayanıklılığını nasıl etkilediği incelenmiştir. Bu incelemeler esnasında Tablo 3'te daha önceden tespit edilmiş deneysel verilerden de faydalanılmıştır.

Şekil 1'de kontrol betonunun ağırlık azalmasının lifli betonların çoğundan daha az olduğu görülmektedir. Lifsiz kontrol betonunun birim ağırlık, boşluk miktarı ve su emme miktarları dikkate alındığında diğer numunelerden daha az ağırlık azalmasının olduğu söylenebilir. Matristeki lif sayısı ve beton ağırlığı arttıkça ağırlık azalmaları da artmıştır. Şekil 2'de görüldüğü gibi ağırlık azalmaları grafiğindeki belirsizliğin aksine numunelerin ses hızındaki azalmalar çok açıktır. Bu grafikte polipropilen liflerin betonda en yüksek performansı gösterdiği anlaşılmaktadır. Bunu polipropilen liflerin çatlak önleyici etkisine ve donma-çözülmeden pek etkilenmemesine bağlamak mümkündür. Cam lifleri, polipropilen lifler gibi mikro yapıya sahip olmasına ve alkali ortama dayanıklı olarak üretilmiş olmasına rağmen, cam liflerinin genel zaaflarını göstermiş ve betondaki ortamdan olumsuz etkilenmiştir. Çelik lifli betonlarda ilk etaptaki azalmaya lif-matris ara yüzeyindeki boşlukların yol açtığı sanılmaktadır. Çünkü ultrasonik ses cihazı bu arayüzeyleri boşluk gibi algılayabilmekte ve ses geçişi yavaş-layabilmektedir. Bunun yanında; liflerin uçlarının kıvrık oluşu, ayrıca genleşme ve daralmaları daha iyi karşılamaları ve çatlakları önlemeleri nedeniyle, lif miktarının artmasıyla ses hızındaki düşüş oldukça azalmış, ama yine de bu değer kontrol betonunun üstünde kalmıştır. Karışık lifli betonlarda da benzer etki görülmektedir. Lifler, bu betonları da kendi özellikleri doğrultusunda etkilemektedir. Karışık cam lifli betonda ses geçişini yavaşlamakta, polipropilen lifli betonda artmaktadır. Çelik liflerin artışı ses hızında artışı da beraberinde getirmekte ve ses hızındaki yavaşlama yüzdesi deney başlangıcındaki değerlere göre daha az olmaktadır.

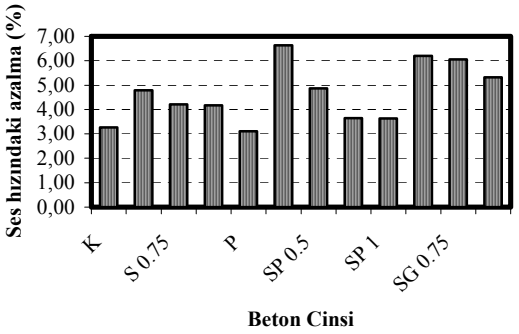
Şekil 3'te verilen dayanıklılık faktörleri, ses hızına göre hesaplandığından ve ses hızındaki azalma ile ters orantılı olduğundan; düşük olan değerler burada yüksek görülmektedir. Yani ses hızındaki azalma az olduğu zaman dayanıklılık artmaktadır. Betonda dayanıklılığı en çok polipropilen liflerin artırdığı, ama cam liflerinin donma-çözülme süreci başlamadan önceki dayanıma katkısı diğer numunelere kıyasla daha iyi olmasına rağmen donma-çözülme süreci sonunda oldukça başarısız olduğu görülmektedir. Karışık lifli olanlar da dahil hiçbir çelik lif içerikli beton kontrol betonundan yüksek değer vermemektedir.

Tablo 4. Donma-çözülme deneyi sonucu numunelerden elde edilen değerler [26].

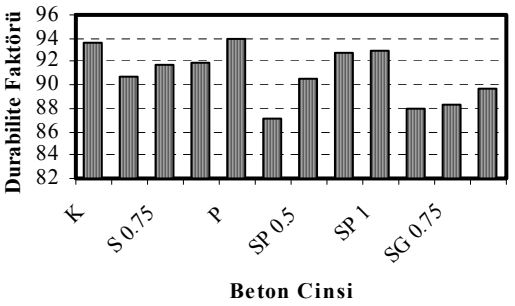
Beton Cinsi	Ağırlık Ölçümü (g)		Ağır. Az.sı (%)	Ultrases Hızı (km/sn)		Ultrases Hızında Azalma Mik.(%)	Day. Faktörü (%)
	İlk Tartım	Son Tartım		İlk Ölçüm	Son Ölçüm		
K	5800	5600	3.45	4.14	4.01	3.26	93.58
S 0.5	5820	5610	3.61	4.18	3.98	4.79	90.65
S 0.75	5960	5760	3.36	4.17	3.99	4.21	91.76
S 1	5810	5580	3.96	4.16	3.99	4.17	91.84
P	5730	5510	3.84	4.12	3.99	3.11	93.88
G	5700	5470	4.04	4.19	3.91	6.63	87.17
SP 0.5	5925	5710	3.63	4.10	3.90	4.86	90.52
SP 0.75	5930	5690	4.05	4.00	3.85	3.65	92.84
SP 1	6020	5780	3.99	3.98	3.84	3.63	92.88
SG 0.5	5820	5590	3.95	4.16	3.9	6.19	87.99
SG 0.75	5930	5700	3.88	4.12	3.87	6.06	88.25
SG 1	5840	5660	3.08	4.12	3.90	5.32	89.64



Şekil 1. Donma-çözülme çevrimi sonucunda ağırlık azalmaları



Şekil 2. Donma-çözülme çevrimi sonucunda ses hızındaki azalmaları



Şekil 3. Donma-çözülme çevrimi sonucu bulunan dayanıklılık faktörleri

5. Sonuçlar

Deneyler sonucunda 30 çevrim sayısının ağırlık azalması tespiti için yetersiz olduğuna karar verilmiştir. Fakat yine de, bu sayı dayanıklılık ve dayanıklılık faktörü hakkında fikir sahibi olmak için yeterlidir. Edinilen izlenim aşağıda Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Lifli betonların kontrol betonuna göre dayanıklılık (dayanıklılık) açısından karşılaştırılması.

Beton Türü	S 0,5	S 0.75	S 1	P	G	SP 0.5	SP 0.75	SP 1	SG 0.5	SG 0.75	SG 1
Sonuç	**	**	**	***	*	**	***	***	*	*	*

(*) Daha kötü,
(**) Aynı ve
(***) Daha iyi seviyeleri temsil etmektedir.

Betonlarda 30 donma-çözülme çevrimi sonunda numune yüzeylerinin düzgünlüğünü kaybettiği, yuvarlak çukurlar oluştuğu, betonun köşe kısımlarının daha fazla hasar olduğu ve betona yakından bakıldığında özellikle 20-25 çevrim arasında yer yer süngerimsi bir doku oluştuğu tespit edilmiştir. Betonlar düşük çevrim sayılarında yüzeyden tahrip olmaktadır. Bundan sonraki çalışmalarda deney çevrim sayısı 100 ila 300 seviyelerine artırılabilir. Eğer çevrim sayıları daha fazla olsaydı, liflerin matrisi bir arada tutabilme özelliğinden dolayı, lifli betonların daha az ağırlık azalması göstermesi beklenebilirdi. Ağırlık azalmalarını köşelerden kopan parçacıkların da etkilediği görülmüştür. Özellikle, çelik lifli betonların köşe kısımları daha zayıftır ve lifler köşelere denk geldiğinde bu kısma gelen matrisi donma-çözülme safhalarında zorlayarak kopmalara neden olmaktadır.

Soğuk hava depoları gibi alanlarda, soğuk iklim koşullarındaki bölgelerdeki yapılarda ya da soğuk havanın etki edebileceğinin düşünüldüğü lif takviyesi gerektiren tüm betonlarda polipropilen lif katkılı betonların kullanılmasının avantaj sağlayacağı, çelik liflerin durumu pek değiştirmediği söylenebilir. Bu yüzden, bu gibi alanlarda aynı boyutlara sahip çelik liflerin diğer olumlu özelliklerinden yararlanılması düşünülmüyorsa, polipropilen liflerin tek başına kullanımı daha iyi olacaktır. Cam liflerinin donma-çözülme etkisine maruz olan yerlerde kullanılmaması veya betonun donma-çözülme etkilerinden korunması gerekmektedir.

Deneyde kullanılmış olan çelik liflerin etkisi olumlu olmadığından değişik narinliklere sahip, özellikle daha küçük boyutlu çelik liflerin de donma çözülmeye etkisi de araştırılmalıdır. Ayrıca, betonlarda hava katkısı kullanılmasının mekanik özellikler ile dayanıklılık arasındaki ilişkiler açısından yapılacak araştırmaları daha ilginç hale getirebileceği düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışmaya katkılarından dolayı yazarlar, ısı transferi hesaplarındaki katkılardan dolayı Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Doç.Dr. Yasin VAROL'a, lif desteğinden dolayı İzmit BEKSA Dramix Fabrikası Tel Ürünleri Teknik Müdürü Sayın Mehmet Yerlikaya'ya ve Fibrobeton Firmasına, laboratuar desteği için Düzce Haytoğlu Koç Beton kuruluşu yöneticisi Sayın Bayram KOÇ'a ve diğer yetkililerine saygı ve teşekkürlerini sunarlar.

Kaynaklar

[1]. Do, M.T., Chaal O. and Aitcin P.C. (1993) Fatigue Behavior of High-Performance Concrete, ASCE JM. **1**, 96–111.

[2]. Gao L. and Hsu C.T.T. (1998). Fatigue of Concrete under Uniaxial Compression Cyclic Loading. ACI Mater J, Sept.–Oct.. 575–581.

[3]. Hordijk D.A., Wolsink G.M. and Vries J. (1995). Fracture and Fatigue Behaviour of High Strength Limestone Concrete as Compared to Gravel Concrete, HERON. **40**(2):125–146.

[4]. Hsu T.C., Fatigue of Plain Concrete. (1981). ACI Journal **78**, 292–305.

[5]. Otter D.E. and Naaman A.E.(1988). Properties of Steel Fiber Reinforced Concrete under Cyclic Loading". ACI Material Journal. July-Aug. 254–261.

[6]. Ramakrishnan V., Meyer C., Naaman A., Zhao G. and Fang L. (1996). Cyclic Behavior, Fatigue Strength, Endurance Limit and Models for Fatigue Behavior of FRC, In: Naaman A, Reinhardt, editors. High performance fiber reinforced cement composites. London: E & FN Spon.

[7]. Su E.C.M. and Hsu T.T.C. (1988) Biaxial Compression Fatigue and Discontinuity of Concrete". ACI Material Journal. May–June. 178–188.

[8]. Cachim, P.B., Figueiras, J.A. and Pereira, P.A.A. (2002). Fatigue Behavior of Fiber-Reinforced Concrete in Compression. Cement and Concrete Composites. **24**, 211–217.

[9]. Singh, S.P. and Kaushik, S.K. (2003). Fatigue Strength of Steel Fibre Reinforced Concrete in Flexure, Cement and Concrete Composites. **25**, 779-786.

[10]. Ezeldin A.S. and Shiah T.W. (1995). Analytical Immediate and Long-Term Deflections of Fiber-Reinforced Concrete Beams. Journal of Structural Engineering. **121**, 727-737.

[11]. Ekinci, C.E. (2005). Bordo Kitap: Yapı ve Tasarımcının İnşaat El Kitabı. Üniversite Kitabevi. 1206s. Elazığ.

[12]. Wu, H-C. and Li, V.C. (1994). Trade-off Between Strength and Ductility of Random Discontinuous Fiber Reinforced Cementitious Composites. Cement and Concrete Composites. **16**, 23-29.

[13]. Sun, W., Mu, R., Luo, X. and Miao, C., Effect of Chloride Flat, Freeze–Thaw Cycling and Externally Applied Load on the Performance of the Concrete, Cement and Concrete Research. **32**, 1859–1864, 2002.

[14]. Mu, R., Miao, C., Luo, X. and Sun, W. (2002). Interaction between Loading, Freeze-Thaw Cycles, and Chloride Salt Attack of Concrete with and without Steel Fiber Reinforcement". Cement and Concrete Research. **32**, 1061-1066.

[15]. Mia, C., Mu, R., Tian, Q. and Sun, W. (2002). Effect of Sulphate Solution on the Frost Resistance of Concrete with and without Steel Fiber Reinforcement. Cement and Concrete Research. **32**, 31–34.

[16]. Sun, W., Zhang, Y.M., Yan, H.D., Mu, R. and Yan, A. (1999). Damage and Its Restraint of Concrete with Different Strength Grades under Double Damage Factors, Cement and Concrete Composites. **21**, 439-442.

[17]. Sun, W., Zhang, Y.M., Yan, H.D. and Mu, R. (1999). Damage and Damage Resistance of High Strength Concrete under the Action of Load and Freeze-Thaw Cycles. Cement and Concrete Research. **29**, 1519-1523.

[18]. Türker, T. (2000). Betonarmede Oluşan İç Gerilimlere Karşı Gerçek Önlem. İnşaat ve Malzeme. **150**, 24-25.

[19]. Morgan, D.R. (1991). Freeze Thaw Durability of Steel and Polypropylene Reinforced Shotcretes: A Review, Durability of Concrete. Second International Conference. Volume 2. 901-918. Montreal. Canada.

[20]. Juska, T., Dutta, P., Carlson, L. and Weitsman, J. (1999). Gap Analysis for Durability of Fiber Reinforced Polymer Composites in Civil Infrastructure. Thermal Effects. Chapter 5. 40-51.

[21]. Gomez, J. and Casto, B. (1996). Freeze/Thaw Durability of Composite Materials, Proceedings of the 1st International Conference on Composites in Infrastructure. Fiber Composites in Infrastructure. 947-955.

[22]. Karbhari, V.M. and Engineer, M. (1996). Investigation of Bond between Concrete and Composites: Use of a Peel Test, J. of Reinforced Plastics and Composites. **15**, 208-227.

[23]. Myers, J.J., Murthy, S. and Micelli, F. (2001). Effect of Combined Environmental Cycles on the Bond of FRP Sheets to Concrete, Proceedings-Composites In Construction 2001 International Conference. Porto. Portugal.

[24]. Yıldız, S. (1998). Lifli Beton Boruların Dayanıklılık, Kırılma Performansı ve Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Doktora

Tezi. F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Elazığ. s.134. Türkiye.

[25]. ASTM C 666-92. (1999). Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing, Volume 04.02. Concrete and Aggregates. American Society for Testing and Materials. West Conshohocken. PA.

[26]. Yıldırım, S.T. (2002). Lif Takviyeli Betonların Performans Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi. F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ. s:193. Türkiye.