

Lif Türünün Betonların Yük-Deplasman Davranışı ve Donma-Çözülme Direncine Etkisi

Erdoğan ÖZBAY*¹

¹İskenderun Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun, Hatay

Geliş tarihi: 27.01.2016 Kabul tarihi: 08.4.2016

Özet

Bu çalışmada, farklı lif türlerinin lifli betonların, basınç, eğilme ve donma-çözülme dirençlerine etkisi araştırılmıştır. Su/bağlayıcı oranı 0,35, bağlayıcı miktarı 500 kg/m³ olan karışımlar hazırlanmıştır. Tüm karışımlarda, bağlayıcının ağırlıkça %40'ı uçucu küldür. Karışımlardan ilki lif ilavesiz; diğerlerine ise %1 oranında çelik, polipropilen (PP) ve polivinil alkol (PVA) lifler katılarak, lif donatılı betonlar elde edilmiştir. Üretilen beton numuneleri üzerinde basınç ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Eğilme dayanımı deneyi MTS cihazında gerçekleştirilerek yük-deplasman eğrileri elde edilmiştir. Ayrıca, üretilmiş olan prizma numuneler tekrarlı donma-çözülme çevrimlerine maruz bırakılarak, her 30 çevrim sonrasında ağırlık kaybı ve toplamda 300 çevrim sonucunda, numunelerde meydana gelen ağırlık ve dayanım kayıpları belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, çelik lifle üretilen betonların PP ve PVA lif kullanılarak üretilen betonlara oranla daha yüksek eğilme ve donma çözülme direncine sahip oldukları görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Lif donatılı beton; Yük-deplasman; Donma-çözülme; Eğilme dayanımı

Effect of Fiber Type on the Load-Displacement and Freeze-Thaw Behaviors of Concretes

Abstract

In this study, effect of different fiber types on the compressive and flexural strength and freeze-thaw resistance of fiber reinforced concretes were investigated. Different mix proportions were prepared with constant water-binder ratio of 0,35 and binder content of 500 kg/m³. In all mixtures, 40% of binder was replaced with FA. Adding 1% of steel, polypropylene (PP) and polyvinyl alcohol (PVA) fibers, fiber reinforced concretes were produced. Compressive and bending tests were performed using MTS machine so load-displacement graphs are obtained. Furthermore, produced prism specimens were exposed to 300

* Yazışmaların yapılacağı yazar: Erdoğan ÖZBAY, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İskenderun, Hatay. erdoganozbay@gmail.com

freezing-thawing cycles. Mass loss and reduction in mechanical properties of prisms were measured at each 30 cycles up to 300 cycles. Test results showed that steel fiber reinforced concretes had the relatively higher flexural strength and freeze-thaw resistance than the PP and PVA fiber reinforced concretes.

Keywords: Fiber reinforced concretes, Load-displacement, Freeze-thaw; Flexural strength

1. GİRİŞ

Bilindiği gibi gevrek bir malzeme olan beton, çekme, yorulma, aşınma dayanımları ve çatlak oluşumu sonrası yük taşıma kapasiteleri bakımından zayıf özelliklere sahiptir. Betona lif ilavesi yapılarak, mekanik özellikleri, sünekliği, tokluğu, aşınma ve çarpma dirençleri ve dayanıklılığı artırılabilir. Lif ilavesi ile beklenen pozitif etkiler, lif tipi, lif miktarı, lif geometrisi, narinlik oranı (lif boyu/lif çapı), lif sünekliği ve lif-matris aderansına bağlı olarak değişiklik gösterir [1]. Ayrıca eklenen liflerin karışımda homojen olarak dağıtılması ve karışımdan sonra bu dağılımın korunmasının sağlanması da liflerin beton özelliklerine yapacağı iyileştirmeyi doğrudan etkilemektedir [2]. Günümüzde çelik ve sentetik lifler beton üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çelik lif ilavesi ile elde edilen betonlar geleneksel betonlara oranla daha yüksek aşınma direncine sahip olmakta ve çelik lif beton yüzeyinin pullanmasını önleyici etki yapmaktadır. Çağatay ve Dinçer [3] üç farklı lif hacmi (%0,5, 0,75 ve 1,0) ve iki farklı narinlik oranında (45 ve 65) çelik lif ilave ederek ürettikleri normal betonların tokluk ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimleri araştırmıştır. Aynı çalışmada Çağatay ve Dinçer [3] çelik lif takviyeli betonların gerilme-birim şekil değiştirme eğrilerini modelleyebilmek için basit bir yöntem önermiştir. Önerilen yöntemin, deneysel olarak elde edilen gerilme-birim şekil değiştirme eğrilerini yüksek doğrulukta temsil edebildiği belirtilmiştir. Sentetik lifler ise elastisite modüllerinin betonun elastisite modülüne göre daha düşük ve benzer olması nedeni ile betonun mekanik özelliklerini fazla etkilememekle birlikte özellikle erken yaşlarda büzülmelerden dolayı oluşan içsel gerilmelerin zararlı etkilerini (çatlak oluşması, genişlemesi ve ilerlemesi) azaltmak ve/veya ortadan kaldırmak

için kullanılmaktadır [4-6]. Literatürde yapılmış olan sınırlı sayıdaki çalışmada, polipropilen ve çelik lif kullanılarak üretilmiş olan betonların donma-çözülme çevrimleri neticesinde ağırlık ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişim araştırılmıştır. Morgan ve arkadaşları [7] polipropilen lif ikamesinin yüksek oranda uçucu kül içeren püskürtme betonların donma-çözülme direncini artırdığını belirlemiştir. Karahan ve Atış [8] %0,2 oranına kadar polipropilen lif kullanılarak üretilmiş oldukları betonların basınç dayanımı ve elastisite modüllerinde kayda değer bir değişimin olmadığını, porozite, su emme ve kılcallık katsayılarının arttığını, kuruma rötresinde önemli oranda azalma meydana geldiğini, donma-çözülme direncinde ise polipropilen lifsiz betonlara oranla %5 civarında bir iyileşmenin olduğunu belirlemiştir. Mu ve arkadaşları [9] üç farklı su/çimento oranında (0,26, 0,32 ve 0,44) hazırladıkları normal ve çelik lifle güçlendirilmiş betonları yük altında, su ve %3,5 NaCl çözeltisi solüsyonlar kullanarak donma-çözülme çevrimlerine maruz bırakmıştır. Numuneler yüke üç noktadan eğilmede çekme yükleme deneyine tabii tutularak maruz bırakılmıştır. Deney süresince çevrim sayılarına bağlı olarak dinamik elastisite modülü ve numune kütlelerindeki kayıplar ölçülmüştür. Test prosedüründe, deneyin, numunenin dinamik elastisite modülünde %60, kütlelerinde ise %5'den fazla kayıp gerçekleşmesi durumunda bitirileceği belirtilmiştir. Deney sonunda, tuz çözeltisi ile donma-çözülme çevrimlerine maruz bırakılan numunelerin, su ile donma-çözülme çevrimine maruz bırakılan numunelere oranla daha düşük çevrim sayısında deney sonlandırılma eşik değerlerine ulaştıkları görülmüştür. Su/çimento oranı azaldıkça, numunelerin bozulma çevrim sayılarında belirgin bir artış olduğu, numunelerin maruz bırakıldıkları yük seviyesinin artırılması ile de bozulma çevrim sayılarında belirgin bir düşüş meydana geldiği

gözlemlenmiştir. Ayrıca, çelik lif ile güçlendirilen numunelerin çelik lifsiz numunelere göre daha yüksek donma-çözülme çevrim sayılarında bozulma gösterdikleri belirlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında, çelik, polipropilen ve polivinil alkol lif ilavesinin betonların, basınç, eğilme ve donma-çözülme dirençlerine etkileri araştırılmıştır. Biri lifsiz (kontrol) olmak üzere toplam dört karışım hazırlanmış ve tüm karışımlarda ağırlıkça %40 oranında uçucu kül kullanılmıştır. Lif içeren karışımlardaki lif hacmi %1'dir. Üretilen lifli beton numuneleri üzerinde tek eksenli basınç, dört noktalı eğilme dayanımı ve donma-çözülme direnci testleri yapılmıştır.

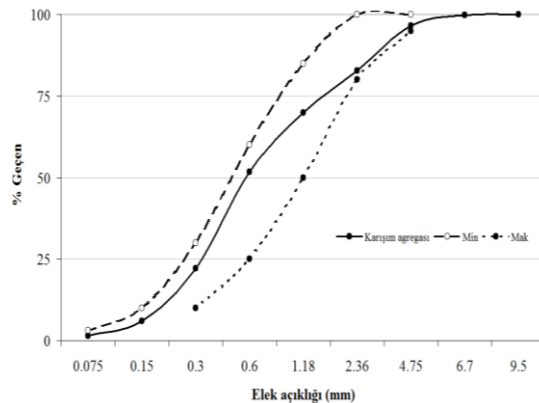
2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Karışımlarda, fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilen CEM I 42.5 R tipi Portland çimentosu ve F-sınıfı uçucu kül kullanılmıştır. İnce agrega olarak doğal kum, iri agrega olarak ise maksimum tane çapı 9,5 mm olan doğal çakıl kullanılmıştır. Karışım agregasının tane dağılımı Şekil 1'de verilmiştir. Çalışmada detayları Çizelge 2'de verilen dört karışım hazırlanmıştır; karışımlardan ilki lif katılmaksızın üretilmiş, diğer karışımlara ise %1 oranında çelik, PP ve PVA lifler katılarak lif donatılı betonlar elde edilmiştir. Kullanılan çelik, PP ve PVA liflerinin geometrik ve mekanik özellikleri Çizelge 3'de özetlenmiştir. Karışımlarda hedeflenen işlenebilirliğin elde edilebilmesi için polikarboksilik eter esaslı yüksek oranda su azaltıcı kimyasal katkı kullanılmıştır. Karışımlarda hava sürükleyici katkı maddesi kullanılmamıştır. Çalışmanın taze beton özellikleri detaylı olarak literatürde [10] mevcuttur. Her bir karışımdan basınç dayanımlarını belirlemek için üç adet 100×200 mm silindir, eğilme ve donma çözülme dirençlerini belirlemek için ise toplam altı adet 400×100×75 mm prizma numune üretilmiştir. Prizma numuneler, donma çözülme çevrimleri öncesi ve sonrasında deformasyon kontrollü MTS cihazında dört noktalı eğilmede çekme dayanımı deneyine tabii tutularak yük-deplasman eğrileri elde edilmiştir. Eğilme deneyinde mesnetler arası açıklık 355 mm, numune yüksekliği ise 75 mm'dir. Donma-çözülme çevrimine maruz bırakılacak

numuneler üretimden 24 saat sonra kalıplardan çıkarılarak 13 gün boyunca 23±2°C'de nemli ortamda kür edilmiştir. Dökümlerden 14 gün sonra, kiriş numuneler donma-çözülme kabineye aktarılmıştır. Deneyler ASTM C666 standardına göre yapılmıştır [11]. Donma-çözülme çevrimleri 4 ile 5 saat arasında, sıcaklığın 4°C'den -18°C'ye düşürülmesi ve -18°C'den tekrar 4°C'ye çıkarılması şeklinde gerçekleşmiştir. Her 30 donma-çözülme çevrimi sonunda, numuneler çözülmüş durumda iken kabinden çıkartılarak ağırlıkları ölçülmüştür.

Çizelge 1. Çimento ve uçucu külün özellikleri

Kimyasal kompozisyon, %	PÇ	UK
CaO	61,80	5,57
SiO ₂	19,40	59,50
Al ₂ O ₃	5,30	22,20
Fe ₂ O ₃	2,30	3,90
MgO	0,95	-
SO ₃	3,80	0,19
K ₂ O	1,10	1,11
Na ₂ O	0,20	2,75
Kızdırma kaybı	2,10	0,21
Fiziksel özellikler		
Özgül ağırlık	3,15	2,18
45 µm elek üzerinde kalan %	12,90	9,60



Şekil 1. Karışım agregası tane dağılımı

Çizelge 2. Karışım oranları

Karışım adı	K1	K2	K3	K4
w/b	0,35	0,35	0,35	0,35
Su	175	175	175	175
PÇ	300	300	300	300
UK	200	200	200	200
İnce agrega (kg/m ³)	826	812	812	812
İri agrega (kg/m ³)	895	880	880	880
SA (kg/m ³)	0,6	1,2	1,4	1,4
Çelik lif (kg/m ³)	0	71,7	0	0
PP lif (kg/m ³)	0	0	9,1	0
PVA lif (kg/m ³)	0	0	0	13

Daha sonra numuneler tekrar donma-çözülme kabineine konmuştur. Her seferinde hazneler temizlenmiş ve temiz su ile doldurulmuştur. 300 çevrim sonucunda numunelerde meydana gelen ağırlık kayıpları belirlenerek, numuneler dört noktali eğilmede çekme dayanımı deneyine tabii tutulmuştur. Eğilme dayanımı deneyinde deformasyon kontrollü yükleme yapılmış, yükleme hızı ise 0,005 mm/s olarak belirlenmiştir. Mekanik yüklemeler neticesinde meydana gelen deformasyonlar ayrıca numunenin ortasına monte edilmiş LVDT ile de tespit edilmiştir. Karışımların donma-çözülme direnci üçer numune kullanılarak test edilmiştir.

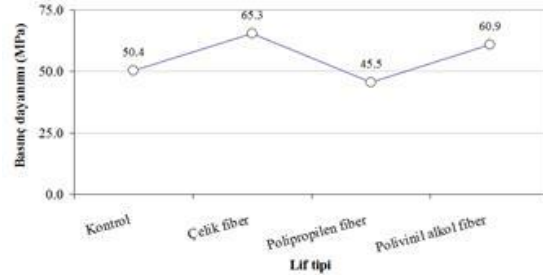
Çizelge 3. Kullanılan liflerin özellikleri

Lif türü	Çelik	PP	PVA
Nominal dayanım (MPa)	100	760	1620
Görünen dayanım (MPa)	690	550	1092
Çap (µm)	20	40	39
Boy (mm)	13	19	8
Elastik modülü (GPa)	-	4,11	42,8
Uzama (%)	-	>30	6,0
Özgül ağırlık	7,2	0,91	1,30

3. DENEYSEL SONUÇLAR

3.1. Basınç Dayanımı

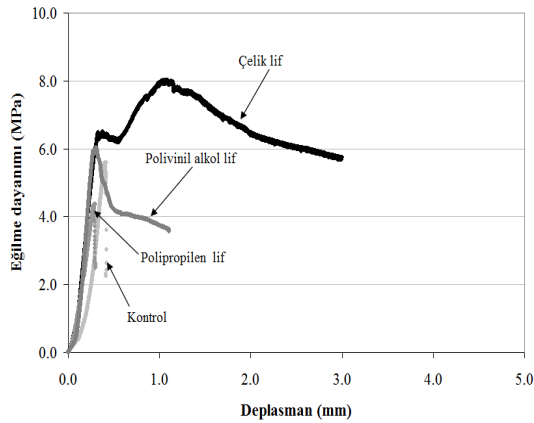
Silindir numuneler üzerinde yapılmış olan basınç dayanımı deney sonuçları Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü gibi, çelik ve polivinil alkol liflerin kullanımı ile kontrol betonuna göre, beton basınç dayanımında belirgin bir artış meydana gelir iken polipropilen lif kullanımı ile basınç dayanımında düşüş görülmüştür. %1 oranında çelik lif kullanımı kontrol betonuna oranla basınç dayanımında yaklaşık %30 artışa yol açarken polipropilen lif kullanımı ile basınç dayanımında %10 oranında azalma gözlemlenmiştir. Yıldırım ve arkadaşları [12] üç farklı narinlik oranında %0,3 den % 1,2 kadar ilave etmiş oldukları çelik lifler ile üretmiş oldukları kendiliğinden yerleşen betonların basınç dayanımı davranışını incelediklerinde, çelik lif ilavesi ile basınç dayanımının arttığını tespit edip narinlik ve fiber oranına bağlı olarak meydana gelen artışın %40'lara kadar yükseldiğini gözlemlenmiştir.

**Şekil 2.** Basınç dayanımı değişimi

3.2. Eğilme Dayanımı

Lif ilave edilerek elde edilen prizma numuneler üzerinde yapılan dört noktali eğilmede çekme dayanımı deneyine ait tipik eğilme dayanım-deplasman (orta nokta sehimi) grafikleri Şekil 3'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi, kontrol betonunda maksimum eğilme dayanımı değerine ulaşıldıktan sonra eğilme dayanımında ani bir düşüş (gevrek kırılma) görülmüştür. PP lif kullanımı ile betonun gevrek davranışında bir değişiklik olmadığı gibi eğilme dayanımında düşüş meydana gelmiştir. Bu karışımda %1 gibi yüksek

oranda PP lif kullanımı, döküm sırasında yerleştirme sorunları yaşanmasına sebep olmuştur. İşlenebilirlikteki bariz düşüş ile yerleştirme problemleri yaşanmış ve muhtemelen daha yüksek boşluk oranlı betonlar üretilmiştir. Bu boşlukların bazı bölgelerde çekme dayanımını zayıflattığı ve sünekliği azalttığı düşünülmektedir. Çelik lif kullanımı ile eğilme dayanımında kontrol betonuna kıyasla bariz bir artış meydana gelmiş; maksimum eğilme dayanımının olduğu noktada 1 mm'den daha fazla deplasman gözlemlenmiştir. PVA lif kullanımı ile eğilme dayanımında belirgin bir değişiklik görülmez iken maksimum eğilme dayanımı değerinden sonra malzemede ani bir kırılma görülmemiş, süneklikte artış gözlemlenmiştir



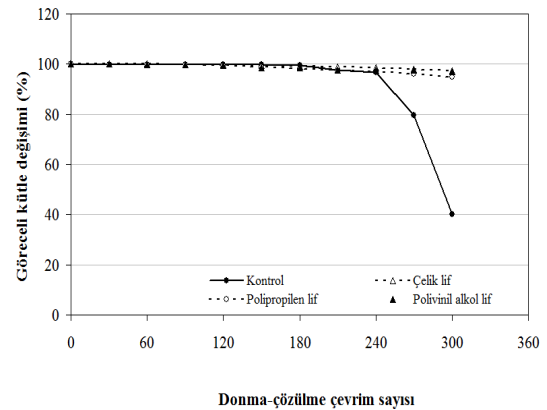
Şekil 3. Eğilme dayanımı-deplasman değişimi

3.3 Donma-Çözülme Direnci

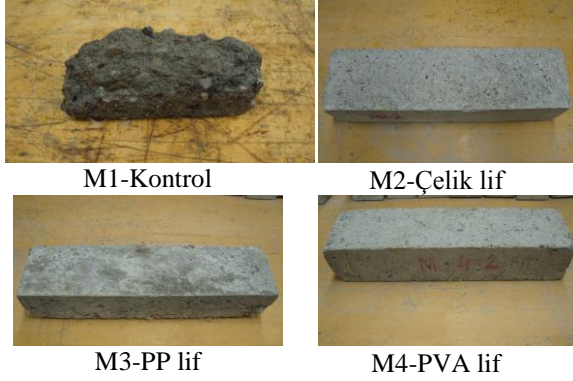
Lif türünün lifli betonların donma-çözülme direncine etkisi numunelerin çevrim sayısına bağlı olarak meydana gelen ağırlık kaybına bakılarak incelenmiştir. Şekil 4'de beton numunelerin kütlelerinde çevrim sayılarına bağlı olarak göreceli kütle ($100 \cdot (M_i/M_0)$) kayıpları verilmiştir. M_i , belirli bir çevrim sayısından sonraki kütle iken, M_0 çevrimler başlamadan önceki kütlelerdir. Şekilde görüldüğü gibi lif takviyeli beton numunelerin göreceli kütle kayıpları çok düşük mertebelere düşmektedir. Lif türünün lif donatılı betonların göreceli kütle kaybına belirgin bir etkisi olmamıştır.

300 donma-çözülme çevrimi sonunda çelik, PP ve PVA lifli beton numunelerde meydana gelen kütle kaybı sırası ile %2,6, %5,1 ve %3,1'dir. Kontrol betonunda ise 180 donma-çözülme çevrimine kadar kütle kaybı ihmal edilebilecek seviyelerde iken çevrim sayısı 240'a ulaştığında numune ağır hasar görmüş ve 300 donma-çözülme çevrimi sonucunda numune kütlelerinin %60'ını kaybetmiştir. Numunelerin 300 donma-çözülme çevrimleri sonucunda görünüşleri Şekil 5'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi kontrol betonu tamamen hasar görünürken, lifli betonların yüzeylerinde pullanma belirlenmiştir.

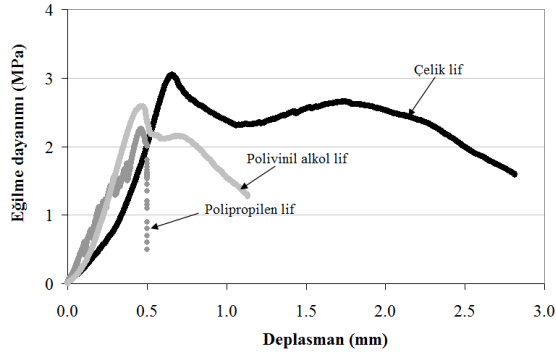
Şekil 6'da 300 donma-çözülme çevrimi sonrası numunelerin tipik eğilme dayanımı deplasman değişimi verilmiştir. Kontrol numunesi 240 çevrimden sonra çok ağır hasar görmüş olduğundan, donma çözülme sonrası eğilme dayanımı belirlenememiştir. Şekil 3 ve 6 beraber incelendiğinde açıkça görüleceği gibi donma-çözülme çevrimleri sonrası lif donatılı betonların eğilme dayanımları ve deplasman kapasitelerinde belirgin bir düşüş meydana gelmiştir. Çelik lif donatılı betonların eğilme dayanımları 300 donma-çözülme çevrimi sonucunda 8 MPa'dan 3 MPa'ya kadar düşmüştür. Deplasman kapasitesi ise 1 mm'den 0,67 mm düşmüştür. Donma-çözülme çevrimleri sonucunda her ne kadar çelik lif donatılı betonların eğilme dayanımı ve deplasman kapasiteleri PP ve PVA lif içeren betonlara göre daha yüksek olsa da, 28 günlük eğilme dayanımı ve deplasman kapasitelerine oranla en büyük düşüş çelik lif içeren betonlarda görülmüştür.



Şekil 4. Kütle değişimi



Şekil 5. Donma-çözülme çevrimleri sonrası numune görünümleri



Şekil 6. Donma-çözülme çevrimleri sonrası numunelerin eğilme dayanımı-deplasman ilişkisi

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada amaç, yüksek oranda farklı türlerde lif içeren lif donatılı betonların basınç, eğilme dayanımı ve donma-çözülme dirençlerinde meydana gelebilecek değişiklikleri belirlemektir. Bu kapsamda, sabit su-bağlayıcı oranı ve dozajda, çelik, polipropilen ve polivinil alkol lif türleri kontrol karışımlarına hacimce %1 oranında katılarak lifli betonlar üretilmiştir. Hazırlanan karışımların 28 gün'lük basınç ve eğilme dayanımları ile donma-çözülme çevrimlerine karşı dayanımları ASTM C666 standardı Prosedür A'ya göre tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda, lif türünün lif donatılı betonların basınç ve eğilme dayanımları üzerinde etkin olduğu, çelik ve polivinil alkol lif kullanımının eğilme dayanımı,

deplasman kapasitesi ve sünekliği artırdığı görülmüştür. Polipropilen lif kullanımı ile basınç ve eğilme dayanımlarında azalma gözlemlenmiştir. Lif kullanımının lif donatılı betonların donma-çözülme direncine olumlu katkı yaptıkları, kontrol betonu 180 çevrim sonunda bozulma göstermeye başlayıp 240 çevrimde ağır hasara uğrarken, lif donatılı betonlarda 300 çevrim sonucunda oluşan en yüksek kütle kaybı %5 mertebelerindedir. Donma-çözülme çevrimleri sonucunda lif donatılı betonların eğilme dayanımı ve deplasman kapasitelerinde belirgin düşüşler gözlemlenmiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Wafa, F.F., Asbour S.A., 1992. Mechanical Properties of High Strength Fibre Reinforced Concretes, *ACI Materials J*, 89(5):449-55.
2. Unal, B., Köksal, F., Eyyubov, C., 2003. Polipropilen ve Çelik Liflerin Betonun Donma-Çözülme ve Aşınma Direncine Ortak Etkisi, 5. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, s. 345-54.
3. Çağatay, I.H., Dinçer, R., 2011. Modeling of Concrete Containing Steel Fibers: Toughness and Mechanical Properties, *Computers and Concrete*, 8(3):357-369.
4. Krenchel, H., Shah S.P., 1987. Restrained Shrinkage Tests with Polypropylene Fibre Reinforced Concrete and Application, *ACI (SP-105):141-158*.
5. Grzybowski, M., Shah S.P., 1990. Shrinkage Cracking of Fibre Reinforced Concrete, *ACI Materials J*, 87(2):38-48.
6. Kırca, Ö., Şahin, M., 2003. Polipropilen Lif Kullanımının Beyaz Beton Dayanıklılığına Etkisi, 5. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, s. 375-382.
7. Morgan, D.R., Mcaskill, N., Carette, G.G., Malhotra, V. M., 1992. Evaluation of Polypropylene Fiber Reinforced High-Volume Fly Ash Shotcrete, *ACI Materials Journal*, 89:169-77.
8. Karahan, O., Atiş, C.D., 2011. The Durability Properties of Polypropylene Fiber Reinforced Fly Ash Concrete, *Materials and Design*, 32:1044-49.
9. Mu, R., Changwen, M., Xin, L., Wei, S., 2002. Interaction Between Loading, Freeze-Thaw

- Cycles and Chloride Salt Attack of Concrete with and Without Steel Fiber Reinforcement, *Cement and Concrete Research*, 32:1061–6.
10. Ozbay, E., Cassagnebere, F., Lachemi, M., 2010. Effects of Fiber Types on the Fresh and Rheological Properties of Self-Compacting Concretes, *Proceedings of SCC2010 Conference*, Montreal, Canada, pp. 435-44.
 11. ASTM C666-97, 1997. Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing, *Annual Book of ASTM Standards*, vol. 04.02. West Conshohocken, PA.
 12. Yildırım, H., Tezel, O., Sengul, O., Guner, P., 2010. Influence of Different Fiber Types on the Properties of Self-Compacting Concretes, *Proceedings SCC2010 Conference*, Montreal, Canada, s. 1333-40.