

Lif ve çimento türünün sifcon özelliklerine etkisi Effect of fiber and cement type on sifcon properties

Mehmet CANBAZ^{1*}, Cihat ÜNÜVAR¹

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye.
mcanbaz@ogu.edu.tr, cihatunuvar@hotmail.com

Geliş Tarihi/Received: 15.04.2015, Kabul Tarihi/Accepted: 08.10.2015
* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2015.94547
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

İleri mühendislik özellikleri ile de önümüzdeki yılların gelişmeye açık ürünü olarak karşımıza çıkan çimento bulamacı emdirilmiş lifli beton (SIFCON), patlama ve yüksek sıcaklığa dayanıklılık gerektiren yerlerde, prekast ürünlerde kullanılmaktadır. Bu çalışmada farklı lif ve bağlayıcılarla üretilen SIFCON'un özellikleri araştırılmıştır. Lifin etkisini araştırmak amacı ile iki farklı boyda çelik ve polipropilen lifler kullanılmıştır. Bağlayıcı fazında ise Portland çimentosu, puzolanlı çimento, kalsiyum alüminatlı çimento, uçucu kül kullanılmıştır. Üretilen prizmatik numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucu bağlayıcı ve lif türünün etkisi, birim ağırlık, ultrases geçiş hızı, eğilme dayanımı, basınç dayanımı, su emme değişimleri irdelenerek belirlenmiştir. Genel olarak bağlayıcı türünün SIFCON özelliklerini etkilediği görülmüştür. Çelik lif kullanılması özellikleri geliştirdiği için daha uygundur. Makro özellikleri iyileştirmede makro lifler daha etkili olmuştur.

Anahtar kelimeler: Bağlayıcı, Lif, SIFCON, Mekanik özellikler, Fiziksel özellikler

Abstract

Slurry infiltrated fiber concrete (SIFCON) with advanced engineering properties which appear as open source product development of coming years, is used as precast concrete products in places requiring explosion and high temperature resistance. In this study, properties of SIFCON produced with various fiber and binder materials were investigated. In two different length of steel and polypropylene fiber were used in order to investigate the effect of fiber. In the binder phase Portland cement, pozzolanic cement, calcium aluminate cement, and fly ash were used. At the end of the test results that conducted on prismatic specimens, the effect of fiber and binder type determined with discussing the changes in unit weight, ultrasonic pulse velocity, bending strength, compressive strength, water absorption of SIFCON. In generally, it was observed that the binder type is effected the SIFCON properties. Using steel fiber was more proper than the other fiber due to improve the properties of SIFCON. Macro fibers have been more effective to improve the macro properties.

Keywords: Binder, Fiber, SIFCON, Mechanical properties, Physical properties

1 Giriş

Çimento bulamacı emdirilmiş lifli beton (SIFCON) çelik lifler kullanılarak elde edilen, çimento esaslı kompozit bir malzemedir [1]. SIFCON; çimento, su, puzolanlardan oluşan bir bulamacın sertleşmesiyle oluşan bir matris içine yüksek oranda çelik tel içeren sünek bir kompozittir [2]. SIFCON üretiminde kullanılan çelik teller; değişik uzunluklarda, çaplarda ya da şekillerde olabilir. SIFCON içerisinde çelik teller homojen biçimde dağılır. Çekme gerilmelerine çelik teller karşı koyar; rötore çatlakları oluşumu ve gelişimi kontrol altına alınır. Çatlak ucunda köprü kurarak çatlağın büyümesini yavaşlatıp, malzemedeki yükün çoğunu alırlar. Matris çatladığı andan itibaren yük liflere aktarılacağından lif miktarı yeterli ise malzemenin taşıma kapasitesi artar. Mikro lifler çatlakları makro düzeye gelmeden durdururlar ve elastik bölgedeki davranışı iyileştirirler. Makro lifler ise elastisite modülünü, çekme ve eğilme ard-dayanımlarını artırır. Makro çatlakları kontrol ederler ve en büyük yük sonrasında davranışı iyileştirirler [3]. Korozyon probleminin olduğu yerlerde SIFCON üretiminde çelik lif yerine plastik lif kullanılması önerilir [4]. SIFCON'un kırılma enerjisi su-çimento oranına bağlı olarak değişir. SIFCON'un kırılma enerjisi normal betonun kırılma enerjisinin yaklaşık 300 katına, çekme dayanımı 15 katına ulaşabilmektedir. SIFCON'da lif artışı ile dayanım, enerji emme kapasitesi, tokluk, Poisson oranı daha da artar [5]. Yarı gevrek bir malzeme olan betonların kırılmaları sırasında yutulan enerji düşük olduğu için SIFCON'da meydana gelecek gevrek kırılmayı önlemek ve sünek davranış elde etmek amacı ile kısa kesilmiş çelik teller bu malzemelere eklenir [6]. SIFCON

prekast elemanlar, kaldırımlar, onarım güçlendirme işleri, darbe ve dinamik yükler etkisinde kalan elemanlar, ısıya dayanıklılık gerektiren uygulamalar, patlamaya ve yangına karşı korunması gereken yerler, öngerilmeli betonarme kirişler gibi birçok kullanım alanı vardır [7]. Güçlendirme amaçlı yapılan çalışmalarda betonun çevresine sarılan diğer lif güçlendirilmiş beton türlerine göre SIFCON daha olumlu sonuçlar vermektedir [8]. SIFCON'da yerleşim probleminin dolayı lif hacmin çok fazla olmamalıdır. Ancak çimento oranının artması hidrasyon ısısını artırarak büzülme neden olacağından dikkat edilmelidir. Ayrıca yerleşme ve sıkıştırma işlemlerine özel önem verilmelidir. SIFCON'un küründe otoklav kürü gibi farklı kür yöntemleri de kullanılabilir [9]. Daha önce yapılan çalışmalarda SIFCON üretiminde mineral katkı olarak yüksek oranda uçucu kül, yüksek fırın cürufu, silis dumanı, metakaolin kullanılmıştır. Yüksek oranda uçucu kül ve yüksek fırın cürufu kullanımı SIFCON'un basınç dayanımı, eğilme dayanımı, kırılma enerjisi gibi mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilemiştir [10],[11]. SIFCON'a silis dumanı ilavesi durumunda basınç ve eğilme dayanımları artarken, üretilen kirişlerin sünekliliği üzerinde dikkate değer bir etkisi yoktur [12]. Metakaolin ise SIFCON'un aderans özelliklerini iyileştirmiştir [13]. SIFCON üretiminde daha çok normal Portland çimentosu tercih edilirken, yüksek performanslı çelik liflerle güçlendirilmiş beton üretiminde kalsiyum alüminatlı çimentolarında kullanıldığı görülmüştür [14].

Çalışmamızda diğer çalışmalardan farklı olarak lif boyutu ve türünün etkisi incelenirken, bağlayıcı türünün de etkisi değerlendirilmiştir. Bağlayıcı türünün SIFCON'a etkisinin

belirlenebilmesi için numune üretiminde, erken dayanımı oldukça yüksek olan kalsiyum alüminatlı çimento, nihai dayanımı yüksek olan ve beton üreticileri tarafından tercih edilen CEM I 42.5 normal Portland çimentosu, içerisinde yüksek oranda puzolanik katkı olan son dayanımı düşük puzolanik çimento ve oldukça yüksek oranda uçucu kül ikame edilmiş normal Portland çimentosu kullanılmıştır. Numune üretiminde ayrıca lif türü olarak beton üretiminde ve çimento esaslı kompozitlerin üretiminde yaygın olarak kullanılan çelik lifler ve polipropilen lifler tercih edilmiştir. Lif türünün numune özellikleri üzerinde makro ve mikro düzeyde etkisinin belirlenebilmesi için farklı lif boyutları kullanılmıştır.

2 Deneysel çalışma

2.1 Kullanılan malzemeler

Çimento: Üretimde ÇİM-SA çimento fabrikaları üretimi olan CEM I 42.5 R türü Portland çimentosu (PÇ), katkı olarak tras içeren CEM IV/B (P) 32.5 N türü puzolanik çimento (KÇ), kalsiyum alüminatlı çimento (CAC) kullanılmıştır. Çimentolara ait özellikler üretici firmadan temin edilerek, kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikler olarak Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Kullanılan çimentonun özellikleri.

	KÇ	PÇ	CAC		KÇ	PÇ	CAC
SiO ₂	38.0	19.2	3.60	Yoğun., g/cm ³	2.87	3.09	3.25
Al ₂ O ₃	9.68	4.56	39.80	Özg. Yüz., cm ² /g	4450	3590	3000
Fe ₂ O ₃	2.91	3.09	17.05	Priz Baş., dk	190	163	280
CaO	32.2	62.9	36.20	Priz Bitiş, dk	270	228	295
MgO	1.64	1.88	0.65	Genleşme, mm	1	1	1
K ₂ O	1.14	0.63		Basınç Dayanımları, MPa			
Na ₂ O	1.00	0.31		6 saat			47
SO ₃	2.06	3.21	0.04	24 saat			70
Cl-	0.01	0.01	0.009	7 gün		20.1	
LOI	4.0	3.8	0.30	28 gün		38.1	52.1

Uçucu Kül (UK): Deneysel çalışmalarımızda kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri Tablo 2'de verilen Seyitömer uçucu külü kullanılmıştır.

Tablo 2: Kullanılan uçucu külün özellikleri.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Cl-	LOI
54.5	20.6	9.27	4.26	4.48	2.01	0.65	0.52	0.006	3.01
Yoğunluk, g/cm ³				2.13	Özgül Yüzey, cm ² /g				2800

Su: Karma suyu olarak Eskişehir şebeke suyu kullanılmıştır. SIFCON üretiminde kullanılan şebeke suyunun kimyasal analizi Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3: Kullanılan suyun özellikleri.

Kimyasal özellik, mg/l				Fiziksel özellik			
Al	0.04	Cu	0.016	Ni	5.07	İletkenlik, µS/cm	628
NO ₃	11.1	Fe	0.007	K	6.8	Sertlik, Fd ⁰	30.11
NH ₄	0.06	Mn	0.015	As	1.19	pH	7.35
SO ₄	80	P	0.06	Zn	5.06	Bulanıklık, NTU	0.25

Lif: Deneyde lif olarak iki farklı boyda çelik ve polipropilen lifler kullanılmıştır. Bu liflerin özellikleri Tablo 4'te gösterilmiştir.

Katkı: Deneylerde kimyasal katkı olarak Günerca Kimya San. Tic. AŞ. tarafından üretilen yeni nesil süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Bu katkının özellikleri Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 4: Kullanılan liflerin özellikleri.

	SSF	LSF	SPPF	LPPF
Marka	Dramix	Dramix	Fibrofor	Concricx
Tip	65/35	65/60	High Grade	Makro lif
boy, mm	35	60	20	50
Çap, mm	0.55	0.9	0.3	0.5
l/d	65	65	67	100
Çekme Day., MPa	1345	1160	400	618
E, GPa	210	210	4.9	10
Yoğunluk, g/cm ³			0.91	0.91
Erime Noktası, °C			150	150

Tablo 5: Kullanılan katkının özellikleri.

Bileşim	Kaynama min. 100°C	Alkali, %	Katı M., %	Cl-, %
polikarboksilik eter	< 2	16.1-16.8	< 0.1	
Görünüm	Sudaki çöz.	Flaş nok.	Özgül Ağ.	pH
Amber renkli sıvı	Çözünür	>61 °C	1.02-1.06	4-6

2.2 Üretim ve yapılan deneyler

SIFCON üretimi için bağlayıcı olarak PÇ, KÇ ve CAC çimentoları ile beraber UK kullanılmıştır. Su/bağlayıcı 0.5 olarak dikkate alınmıştır. Viskoziteleri viskozimetre cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Sabit bir viskozite için su eklemek yerine akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Katkı oranı, PÇ kullanılması durumunda %0.2, KÇ kullanılması durumunda %0.29, %50 PÇ+%50 UK kullanılması durumunda ise %0.1 olmuştur. Ancak CAC kullanılması durumunda sabit viskozite için su-bağlayıcı oranı 0.36'ya düşmüştür. Lif olarak mikro polipropilen (SPPF), makro polipropilen (LPPF), mikro çelik (SSF) ve makro çelik (LSF) lifler kullanılmıştır. Şekil 1'de de görüldüğü gibi önce kalıplar serbest olarak liflerle doldurulmuş sonra üzerine sabit bir viskozite ile hazırlanmış bağlayıcı bulamaç dökülmüştür. Kalıplara sıkıştırılmadan konulan liflerin türünün ve boyutunun da etkisi ile kalıbı dolduran lif miktarı ağırlık olarak farklı oranda olmuştur. Masa vibratörü kullanılarak sıkıştırma sağlanmış ve numune yüzeyleri düzeltilmiştir. Bağlayıcı-lif oranı ise Tablo 6'da gösterildiği gibi oluşmuştur.

Tablo 6: Lif-bağlayıcı oranı (%).

	SSF	LSF	SPPF	LPPF
PÇ, KÇ, PÇ +UK	16.36	24.55	2.45	1.91
CAC	14.81	22.22	2.22	1.73

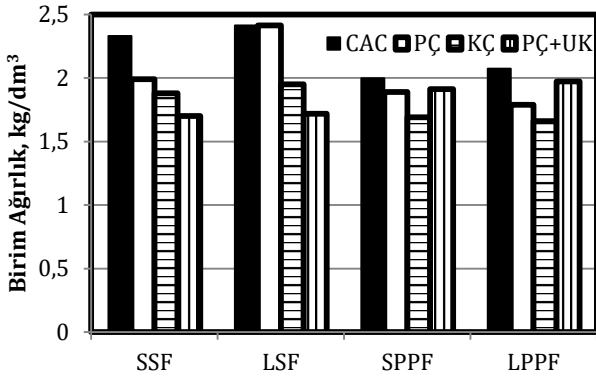


Şekil 1: SIFCON üretimi ve deneyleri.

Üretilen 4x4x16 cm boyutlarındaki numuneler standart kür koşullarında saklanmıştır. Üretimden 28 gün sonra numuneler üzerinde yapılan deneyler ile ağırlıkları, ultrases geçiş süreleri, su emme, kılcal olarak su emme, eğilme ve basınç kuvvetleri ölçülmüştür. SIFCON özelliklerine bağlayıcı ve lif türünün etkisi birim ağırlık, ultrases geçiş hızı, eğilme ve basınç dayanımı, ağırlıkça ve hacimce su emme, kılcal su emme katsayılarındaki değişimler irdelenerek belirlenmiştir.

3 Değerlendirme

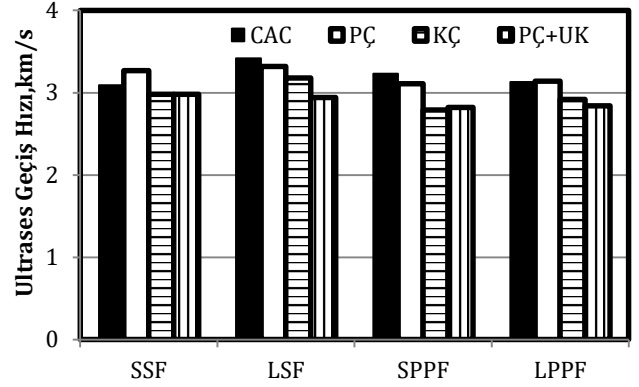
Şekil 2'de SIFCONun matris ve lif fazının değişimi ile oluşan birim ağırlık değerleri görülmektedir. Şekil 2 incelendiğinde mikro çelik lif kullanılan numunelerde en yüksek birim ağırlığın CAC kullanılan numunelerde, en düşük birim ağırlığın ise PÇ çimentosu ve UK kullanılan numunelerde olduğu görülmüştür. CAC'ın yoğunluğunun PÇ, KÇ ve UK'e göre daha yüksek olması nedeni ile CAC matrisli numunelerin birim ağırlıkları fazla bulunmuştur. Makro çelik lif kullanılan numunelerde benzer sonuçlar görülürken, mikro çelik lif kullanılan numunelere göre birim ağırlık artmıştır. Bunun nedeni birim hacimde kullanılan çelik lif oranının artması ve çeliğin yoğunluğunun fazla olmasıdır. Çeliğin yoğunluğu polipropilene göre daha yüksek olduğundan, polipropilen lif kullanılması durumunda numunelerin birim ağırlıkları çelik lifli numunelere göre azalmıştır. Polipropilen lif kullanılan numunelerde en yüksek birim ağırlıkları yine CAC matrisli numunelerde olduğu görülürken, en düşük birim ağırlık ise KÇ matrisli numunelerde görülmüştür. Lif boyunca etkisi incelendiğinde makro lif kullanılan numunelerde mikro liflere göre daha fazla değişim gözlenmiştir. Bunun nedeni makro liflerin işlenebilirliği olumsuz etkilemesi ve yerleşme sırasında öngörülemez değişken miktarda boşlukların oluşması olarak açıklanabilir.



Şekil 2: Birim ağırlığın bağlayıcı ve lif ile değişimi.

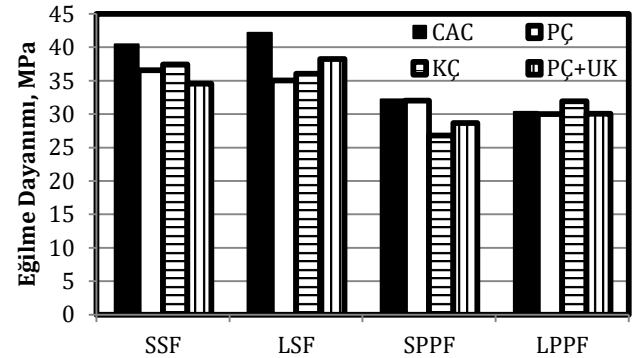
Şekil 3'te SIFCON'un matris ve lif fazının değişimi ile oluşan ultrases geçiş hızı değerleri görülmektedir. Şekil 3 incelendiğinde makro çelik lif kullanılan numunelerde en yüksek ultrases geçiş hızı CAC kullanılan numunelerde, en düşük ultrases geçiş hızı ise KÇ çimentosu kullanılan numunelerde görülmüştür. Mikro çelik lif kullanılan numunelerde benzer sonuçlar görülürken, makro çelik lif kullanılan numunelere göre ultrases geçiş hızı azalmıştır. Bunun nedeni mikro çelik lifin, makro çelik liflere göre boyunun daha kısa olması ve çelik lif oranının azalmasıdır. Ayrıca çelik liflerde ultrases geçiş hızının fazla olması nedeni ile makro çelik lifli numunelerde ultrases geçiş hızı daha fazla olduğu görülmüştür. Polipropilen lif kullanılması durumunda numunelerin ultrases geçiş hızı çelik lifli numunelere göre azalmıştır. Polipropilen lif kullanılan numunelerde en düşük

ultrases geçiş hızının ise KÇ matrisli numunelerde görülmüştür. Lif boyunun etkisi incelendiğinde makro lif kullanılan numunelerde mikro liflere göre daha fazla değişim gözlenmiştir.



Şekil 3: Ultrases geçiş hızının bağlayıcı ve lif ile değişimi.

Şekil 4'te SIFCONun matris ve lif fazının değişimi ile oluşan eğilme dayanımının değerleri görülmektedir. Şekil 4 incelendiğinde makro çelik lif kullanılan numunelerde en yüksek eğilme dayanımının CAC kullanılan numunelerde, en düşük eğilme dayanımının ise KÇ çimentosu kullanılan numunelerde görülmüştür.

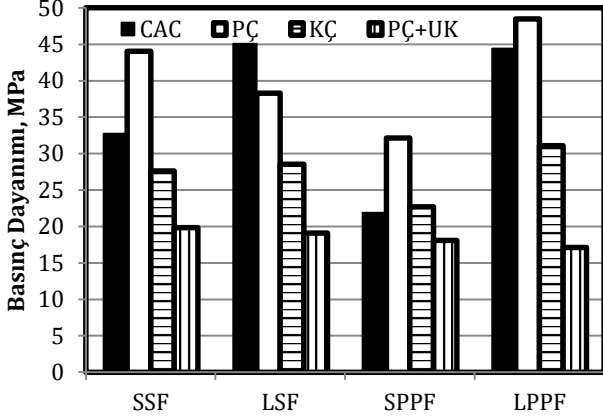


Şekil 4: Eğilme dayanımının bağlayıcı ve lif ile değişimi.

Birim hacimde kullanılan çelik lif oranının azalması, çeliğin boyunun kısalması ve narinliğin az olması sonucu mikro çelik lif kullanılan numunelerde eğilme dayanımının azaldığı belirlenmiştir. Numunelerin eğilme dayanım sonuçları incelendiğinde eğilme dayanımında daha çok lif kompozisyonu değişiminin etkili olduğu görülmüştür. Çeliğin çekme dayanımın polipropilene göre daha yüksek olduğundan, polipropilen lif kullanılması durumunda numunelerin eğilme dayanımları çelik lifli numunelere göre %20'ye ulaşan oranlarda azalmıştır. Numunelerin eğilme dayanımlarında içerisindeki lif dağılımı da etkilidir. Polipropilen lif kullanılan numunelerde en yüksek eğilme dayanımının yine CAC matrisli numunelerde olduğu görülürken, en düşük eğilme dayanımının ise KÇ matrisli numunelerde görülmüştür.

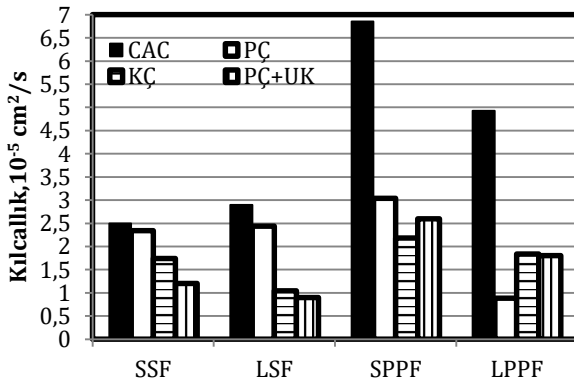
Şekil 5'te numunelerin basınç dayanımı değerleri verilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde makro çelik lif kullanılan numunelerde en yüksek basınç dayanımını CAC ve PÇ kullanılan numunelerde, en düşük basınç dayanımının ise PÇ+UK kullanılan numunelerde görülmüştür. CAC ve PÇ çimentolarının nominal basınç dayanımlarının yüksek olması nedeni ile bu tip çimento kullanılan numunelerde dayanımların yüksek olduğu görülmüştür. Mikro çelik lif kullanılan

numunelerde, makro çelik lif kullanılan numunelere göre liflerin narinliği azaldığından basınç dayanımları azalmıştır. Mikro polipropilen liflerin basınç dayanımına katkısının, kullanılan diğer lif türlerine göre en az düzeyde kaldığı görülmüştür.



Şekil 5: Basınç dayanımının bağlayıcı ve lif ile değişimi.

Şekil 6'da numunelerin kılcal su emme deneyi sonunda hesaplanan kılcal su emme katsayıları görülmektedir. Şekil 6 incelendiğinde CAC kullanılan numunelerde kılcallık katsayılarının yüksek olduğu görülmüştür. CAC'ın hidrasyon reaksiyonlarını hızlı bir şekilde gerçekleştirmesi sonucu yüksek erken dayanımı göstermesi, beraberinde hidrasyon ısısının artması ile birlikte mikro düzeyde büzülme çatlaklarının da artmasına neden olmuş, bu etki sonucu kılcal su emme artmıştır. Bağlayıcı türleri dikkate alındığında mineral katkı içeren numunelerde meydana gelen puzolanik reaksiyonlar sonucunda doluluğun artması ile kılcal boşlukların azalması, kılcal su emme katsayılarını azaltmıştır. Lif türü dikkate alındığında çelik lif kullanılması durumunda kılcal su emme katsayılarının genel olarak azaldığı görülmüştür. Çelik lifin polipropilen life göre daha rijit yapısı lif dağılımında etkili olmuş ve numune içerisinde kılcal yolla su geçirimsizliğini azaltmıştır. Polipropilen lif kullanılan numunelerde lif uzunluğunun artması kılcal boşlukların sürekliliğini azalttığından kılcallık katsayısının azalmasına neden olmuştur.

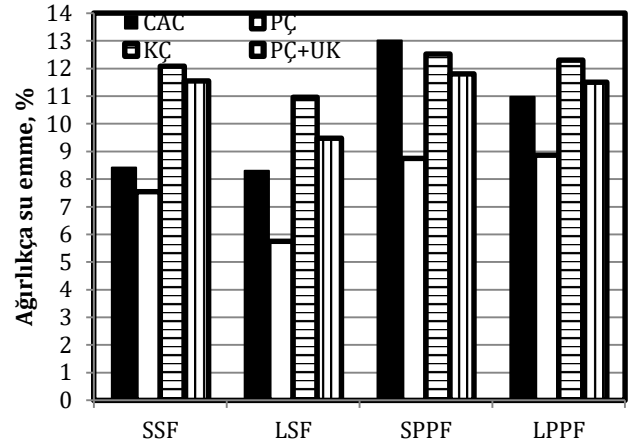


Şekil 6: Kılcallığın bağlayıcı ve lif ile değişimi.

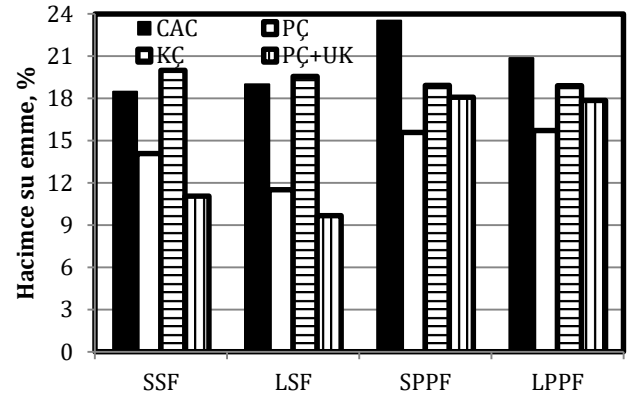
Şekil 7'de SIFCON'un matris ve lif fazının değişimi ile oluşan ağırlıkça su emmenin değerleri görülmektedir. Şekil 7 incelendiğinde lif boyutunun numunelerin ağırlıkça su emme miktarları üzerinde çok büyük bir etkisi olmazken, lif türünün etkili olduğu görülmüştür. Polipropilen liflerin çelik liflere göre

daha fazla su tutması sonucu polipropilen lif kullanılan numunelerde ağırlıkça su emme oranı artmıştır. Matris fazında bağlayıcı türünün değişmesi numunelerin ağırlıkça su emme oranlarını etkilemiştir. Mineral katkıli çimento veya yüksek oranda mineral katkı ile ikame edilen Portland çimentosu kullanılması durumunda numunelerin ağırlıkça su emme oranlarının arttığı gözlenmiştir. CAC kullanılan numunelerde ise ağırlıkça su emme oranı PÇ kullanılan numunelere göre daha fazladır.

Şekil 8'de üretilen numunelerin hacimce su emme değerleri görülmektedir. Şekil 8 incelendiğinde en yüksek hacimce su emme oranının mikro polipropilen ve CAC kullanılan numunelerde, en düşük hacimce su emme oranının ise çelik lif ve PÇ+UK kullanılan numunelerde olduğu görülmüştür. Lif ve bağlayıcı türünün numunelerin yerleşme problemlerinden kaynaklanan boşluk yapısı ve çatlak kontrolü üzerindeki etkisi sonucu, numunelerin hacimce su emme miktarının değişiminde etkili olduğu belirlenmiştir. Özellikle çelik lif kullanılması durumunda bağlayıcı türüne bağlı olarak değişimin daha fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 7: Ağırlıkça su emmenin bağlayıcı ve lif ile değişimi.



Şekil 8: Hacimce su emmenin bağlayıcı ve lif ile değişimi.

4 Sonuç ve Öneriler

Bağlayıcı ve lif çeşidinin SIFCON özelliklerine etkisinin incelendiği bu çalışmada yapılan deneyler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- CAC yoğunluğunun fazla olmasından dolayı numunelerin birim ağırlığını arttırmıştır. Aynı şekilde

çelik lif kullanılması durumunda polipropilen lifli numunelere göre birim ağırlık artmıştır,

- Kullanılan çelik liflerin numunelerin ultrases geçiş hızlarını arttırdığı belirlenmiştir. Ayrıca genel olarak lif uzunluğunun artması ultrases geçiş hızlarını azda olsa arttırdığı görülmüştür,
- SIFCON numunelerinin eğilme dayanımlarının 40 MPa ulaştığı görülmüştür. Polipropilen lifli numunelerin eğilme dayanımları, çelik lifli numunelerin eğilme dayanımlarının %80'ine ulaşmıştır. Makro liflerin eğilme dayanımı üzerinde olumlu etkilerinin olduğu görülmüştür,
- Numunelerin basınç dayanımları ise 45 MPa ulaşmıştır. Liflerin dağılımı ve yerleşmeye etkisi basınç dayanımlarının daha değişken olmasına neden olmuştur,
- UK katılması durumunda, UK'nın boşlukları doldurma etkisi ile numunelerin kılcallıkla su emmesini azalttığı görülmüştür. Çelik lif kullanılması durumunda su emme değerleri azalmıştır. Ayrıca katkısız çimento kullanılması durumunda su emme oranları yine azalmıştır.

Bağlayıcı türünün SIFCON özelliklerini etkilediği görülmüştür. Çelik lif kullanılmasının özellikleri geliştirdiği için daha uygun olduğu söylenebilir. Makro özellikleri iyileştirmede makro lifler daha etkili olmaktadır. UK gibi mineral katkıların SIFCON'da kullanılması mikro düzeydeki boşlukları doldurma adına olumlu katkıları olacaktır. Bulamacın kıvamının belirlenmesinde viskozitesinin etkisi dikkate alınmalıdır. Deneylede genelde lif doğrultusuna dik olarak kuvvetler uygulanmıştır. Uygulamada liflere paralel doğrultuda da kuvvetler gelebileceğinden lif doğrultusunun etkisi de incelenebilir. Özellikle fabrikasyon hazır yapı elemanları uygulamaları için önerilebilir.

5 Kaynaklar

- [1] Rao HS, Ghorpade VG, Ramana NV, Gnaneswar K. "Response of SIFCON two-way slabs under impact loading". *International Journal of Impact Engineering*, 37, 452-458, 2010.
- [2] Yalçınkaya Ç, Beglarigale A, Yazıcı H, Yiğiter H. "Yüksek sıcaklığın SIFCON'un direncine etkisi". *THBB Beton 2013 Hazır Beton Kongresi Bildirileri*, İstanbul, Türkiye, 21-23 Şubat 2013.
- [3] İpek M, Canbay M, Yılmaz K. "Çelik ve polipropilen liflerin yalın ve kombinasyonlu olarak kullanılmasının SIFCON'un mekanik ve fiziksel özelliklere etkisi". *SAÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 19(1), 41-52, 2015.
- [4] Nanni A. "Properties of aramid-fiber reinforced concrete and SIFCON". *Journal Materials in Civil Engineering*, 4(1), 1-15, 1992.
- [5] Farnam Y, Moosavi M, Shekarchi M, Babanajad SK, Bagherzadeh A. "Behaviour of slurry infiltrated fibre concrete (SIFCON) under triaxial compression". *Cement and Concrete Research*, 40(11), 1571-1581, 2010.
- [6] İpek M, Aksu M, Yılmaz K, Uysal M. "The effect of pre-setting pressure on the flexural strength and fracture toughness of SIFCON during the setting phase". *Construction and Building Materials*, 66, 515-521, 2014.
- [7] Tuyan M, Yazıcı H. "Pull-Out behavior of single steel fiber from SIFCON matrix". *Construction and Building Materials*, 35, 571-577, 2012.
- [8] Abdollahi B, Bakhshi M, Mirzaee Z, Shekarchi M, Motavalli M. "SIFCON strengthening of concrete cylinders in comparison with conventional GFRP confinement method". *Construction and Building Materials*, 36, 765-778, 2012.
- [9] Yazıcı H, Yiğiter H, Aydın S, Baradan B. "Autoclaved SIFCON with high volume class C fly ash binder phase". *Cement and Concrete Research*, 36(3), 481-486, 2006.
- [10] Yazıcı H, Aydın S, Yiğiter H, Yardımcı M, Alptuna G. "Improvement on SIFCON performance by fiber orientation and high-volume mineral admixtures". *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22(11), 1093-1101, 2010.
- [11] Jain S, Kumar G. "Effect of fiber volume and partial replacement of cement by GGBS on flexural strength of SIFCON". *International Journal of Engineering Research and Technology*, 4(6), 268-269, 2015.
- [12] Balaguru P, Kendzulak J. "Flexural behavior of slurry infiltrated fiber concrete (SIFCON) made using condensed silica fume". *International Concrete*, 91, 1215-1230, 1986.
- [13] Yalçınkaya Ç, Beglarigale A, Yazıcı H. "The effect of metakaolin and end type of steel fiber on fiber-SIFCON matrix bond characteristics". *Uşak University Journal of Material Sciences*, (3)1, 97-105, 2014.
- [14] Korucu H, Gulkan P. "High-Velocity impact of large caliber tungsten projectiles on ordinary Portland and calcium aluminate cement based HPSFRC and SIFCON slabs. Part I: experimental investigations". *Structural Engineering and Mechanics*, 40(5), 595-616, 2011.