

## Çelik ve polipropilen liflerin yalın ve kombinasyonlu olarak kullanılmasının SİFCON'un mekanik ve fiziksel özelliklere etkisi

Metin İpek<sup>1\*</sup>, Mehmet Canbay<sup>2</sup>, Kemalettin Yılmaz<sup>3</sup>

*08.05.2014 Geliş/Received, 29.06.2014 Kabul/Accepted*

### ÖZ

Bu çalışmada çimento bulamacı infiltrate edilmiş lifli betonda (SİFCON) genel olarak kullanılan iki ucu kancalı liften farklı olarak, farklı geometriye ve malzeme yapısına sahip liflerin, SİFCON'nun mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu amaç için numuneler üzerinde basınç ve eğilme dayanımı, kırılma tokluğu, ultrases geçiş hızı, schmidt test çekici deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak, mekanik özellikler üzerinde çelik liflerin polipropilen liflere göre daha iyi olduğu, birim dayanım maliyet yönünden incelendiğinde ise dalgalı geometriye sahip çelik lifin daha ekonomik olduğu görülmüştür. Korozyon riskinin yüksek olduğu yerlerde ise daha düşük dayanıma sahip olmasına rağmen polipropilen liflerin kullanımını uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** SİFCON, lif, gerilme, tokluk

## The effect of steel and polypropylene fibers using combination and lean on mechanical and physical properties of SIFCON

### ABSTRACT

In this study, cement slurry infiltrated fiber concrete (SIFCON) the affect of the different geometry and the material structure of the fibers (unlike the two ended hook fibers generally used in SIFCON) to the mechanical and physical properties of SIFCON are investigated. For this purpose samples are subjected to tests regarding pressure and flexibility, fracture toughness, ultrasonic pulse velocity, schmidt hardness scale. As a result the mechanical properties of steel fibers having the wavy geometry, had better results than polypropylene fibers when analyzed in terms of unit cost of strength, was found to be more economical. Despite the lower strength, the use of polypropylene fibers was found to be appropriate where there is a high risk of corrosion.

**Keywords:** SIFCON, fiber, strength, toughness

---

\* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1 Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Sakarya - metini@sakarya.edu.tr

2 Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Sakarya - mehmetcanbay34@hotmail.com

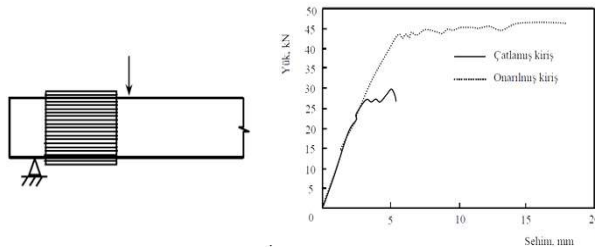
3 Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Sakarya - kmyilmaz@sakarya.edu.tr

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

1960 yıllardan itibaren betonda lif kullanılmaya başlanmış ve lifli beton teknolojisi günümüze kadar gelişerek gelmiştir. Betonda kullanılan lif miktarı genellikle hacimce %3 aşmamakta, bu oran üzerinde ise ciddi işlenebilirlik ve pompalama sorunları ile karşılaşmaktadır. Bu nedenle yüksek lif içeren betonların üretiminde farklı yöntemler denenmiştir bu yöntemlerden biri de çimento bulamacının kalıp içerisine doldurulmuş lifler üzerine enjekte edilmesidir. Bu yöntemde, lif miktarının %10'u aşması durumunda lifler üretilecek olan elemanın kalıplarına doldurularak, akıcı kıvamdaki çimento, silis dumanı, pudra ve su karışımından oluşan bulamaç liflere enjekte edilmekte ve bu şekilde SIFCON betonu oluşturulmaktadır. Yüksek lif dozajının sağladığı yüksek tokluk özelliği ve duktilitesi sayesinde güçlendirme işlerinde, endüstriyel zeminlerde, patlamaya ve rokete dirençli askeri yapılarda kullanılabilir [1]

SIFCON ilk olarak, 1983 yılında Lankard tarafından New Mexico Engineering Research Institute (NMERI) geliştirilmiştir [2, 3]. Üretim safhasında hazırlanan kalıbın içine yüksek orandaki lifler serpiştirilerek yerleştirilir. Daha sonra çimento, su, silika tozu, çok ince kum ve süper akışkanlaştırıcı içeren bulamaç liflerin üzerine dökülmekte ve vibrasyon uygulanarak, bulamacın liflerin arasına düzgün bir şekilde girmesi sağlanmaktadır [4, 5]. Betonun mekanik özelliklerin iyileştirilmesi için ana faktörler, lif türü ve dozajı, agrega-matris ara yüzeyinde iyi bir yapışma ve mümkün olan en yoğun matrisin elde edilmesidir. Bu bütün betonlarda istenilen bir durumdur.

Bu beton ile ince plaklar hazırlanarak kayma donatısı yetersiz kirişlerin çevresine Yerlikaya tarafından aşağıdaki Şekil 1'deki gibi sarılarak güçlendirme levhası olarak kullanılmıştır. Şekil 2 incelendiğinde, güçlendirme işlemi sonunda kirişin yük-sehim eğrisinde önemli derecede artış olmuş ve bu artışın özellikle tokluğu arttıracak şekilde, çatlaktan sonra yük taşımaya devam ettiği görülmüştür (Şekil 2) [6].



Şekil 1. SIFCON betonu ile güçlendirme (The concrete reinforcement SIFCON)

Wecharatana&Lin, SIFCON'nun mekanik özellikleri ile ilgili çalışma yapmışlardır. Çalışmada % 4-10 arasında ucu kancalı çelik lif içeren SIFCON numuneler üzerinde basınç dayanımı, çekme dayanımı deneyleri yapmışlardır. Çalışma sonucunda numunelerin lif içeriklerinin artması ile çekme dayanımları ve kırılma enerjileri arttığını bildirmişlerdir. Basınç dayanımında ise lif oranına bağlı bir değişim görülmediğini belirtmişlerdir. Çalışmada bulunan değerleri ile Naaman ve Reinhardt'ın çalışmalarında buldukları değerleri kıyaslamışlardır (Tablo 1) [7, 8].

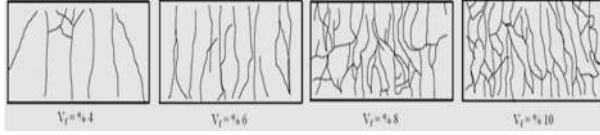
Tablo 1.1. SIFCON numunelerin çekme dayanımları ve kırılma enerjileri [7,8] (SIFCON tensile strength and fracture energy of the samples)

SIFCON	Fiber volume % (Vf)	Flexural strength (MPa)	Fracture Energy (kJ/m)
Naaman	12	19.4	78.8
	12.6	26.6	100.5
Wecharatana& Lin	4	6.1	21
	6	8.6	31.5
	8	14.2	45.5
Reinhardt	10	16.7	54.0
	8.5	9.2	60.5
	13.5	14.2	134.1

Yan ve diğerleri, SIFCON üzerinde deneysel çalışma yapmışlardır. Çalışmaya ait mekanik özellikler Tablo 2'de verilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde lif miktarı ile basınç, eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu belirgin bir şekilde artış göstermiştir. En büyük artış beklenildiği gibi kırılma tokluğu değerlerinde olmuş ve liffsiz numunenin kırılma tokluğu değeri 0.823 Nm iken %10 lif içeren numunenin kırılma tokluğu değeri 329.9 Nm değerine ulaşmıştır. Deney sonucunda numunelerde oluşan çatlak şekillerini incelenmiş ve lif miktarı arttıkça kiriş yan yüzeylerinde oluşan çatlakların daha homojen olarak yüzeye dağıldığını görmüştür (Şekil 2) [9].

Tablo 2. SIFCON'nun mekanik özellikleri [9] (Mechanical properties of SIFCON's)

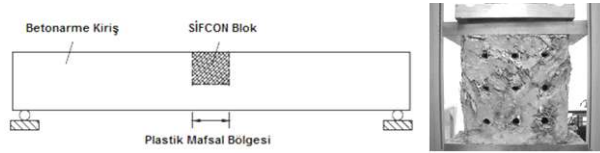
Numune Kodu	Lif Hacmi (%)	Basınç Day (MPa)	Eğilme Day. (MPa)	Kırılma Tok. (Nm)
HPC	0	86.6	9.15	0.823
SFRCV4	4	94.5	25.3	122.9
SFRCV6	6	105.8	43.6	259.8
SFRCV8	8	121.2	66.4	312.0
SFRCV10	10	127.8	78.7	329.9



Şekil 2. Farklı Lif içeriğinin çatlak şekilleri (The fiber content of different forms of cracks)

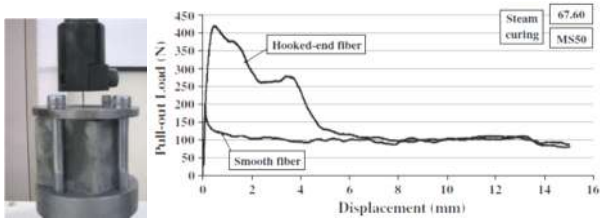
Lankard, yaptığı çalışmada lifsiz ve düşük lif hacmine sahip betonlar ile SIFCON arasında karşılaştırma yapmış ve Şekil 3'deki grafiği elde etmiştir. Bu çalışma sonucuna göre SIFCON'un eğilme dayanımı ve tokluğunun, diğer lifsiz ve düşük lif hacmine sahip betonlara göre oldukça yüksek değerlerde olduğunu göstermiştir [10].

Wu, Jiang ve Liu yaptıkları çalışmada, betonarme kirişin üst orta noktasına SIFCON'dan oluşan bir blok eleman yapmışlardır (Şekil 3). Çalışmada, kirişin üst bölgesinin SIFCON ile sünekliliğini artırarak, kirişin sehim yapma kapasitesinin artmasını sağlamışlardır. SIFCON bloğun basınç altındaki deformasyonunu arttırmak amacıyla bloğa delikler açmışlardır (Şekil 3). Deneysel çalışmada gevrek malzeme olan betonun yerine basınç bölgesinde SIFCON kullanımı ile kirişin alt bölgesindeki yer değiştirmeler artmış ve dayanım ve tokluk artmıştır [11].



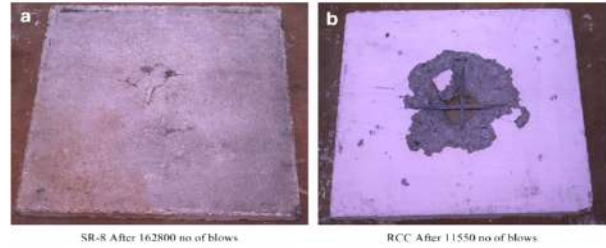
Şekil 3. SIFCON blok ile üretilmiş betonarme kiriş (SIFCON reinforced concrete beams produced by the block)

Tuyana ve Yazıcı yaptıkları çalışmada SIFCON matrisin içerisindeki çelik lifin aderansını ve davranışını incelemişlerdir. Ayrıca, SIFCON bulamacının karışım oranları, kür koşulları, çelik lif yönlenme oranı ve gömülme uzunluğu üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Bulamaç dayanımının artması, uygun kür uygulanması ve lif çapının artması ile lif aderansını arttırdığını belirtmişlerdir. Pull-out deneyinde (Şekil 4), lif gömülme derinliği arttıkça aderans artmasıyla birlikte tokluğunda arttığını göstermişlerdir. Ayrıca kancalı liflerin, düz liflere göre aderansının daha iyi olduğunu belirtmişlerdir (Şekil 4) [12].



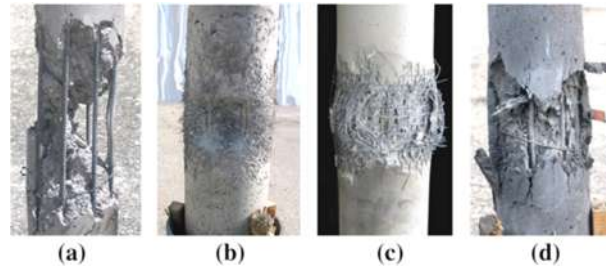
Şekil 4 SIFCON pull-out deneyi (SIFCON pull-out test) [13]

Rao ve arkadaşları yaptığı çalışmada, Normal beton, lifli beton, betonarme, %8, %10, %12 lif içerikli SIFCON ve %8, %10, %12 lif içerikli ve donatılı SIFCON üzerinde çarpma (impact) deneyi yapmışlardır. Deney numunesi olarak plak üreterek orta noktasına, geliştirdikleri deney düzeneği sayesinde çarpma etkisi uygulamışlardır. Deney sonucunda numunelerin enerji yutma kapasiteleri ve çarpma etkisi altındaki davranışları incelemişlerdir. 100 mm çapında ve 50 N ağırlığındaki çelik bilye plakada delik oluşturana kadar 45 cm yükseklikten plak numunenin orta noktasına düşürülmüştür. Plakın arka tarafında hasar oluşturması için gerekli düşüş sayısı kaydedilerek enerji yutma miktarı hesaplanmıştır. Çelik bilye En iyi sonucu %12 lif içeren donatılı SIFCON betonunun gösterdiğini ve ayrıca parçalanmanın da en az olduğunu rapor etmişlerdir. Şekil 5'de plakların parçalanması için gerekli darbe sayıları ve numunenin kırılma şekilleri görülmektedir [13].



Şekil 5. SIFCON ve betonarme plakının arkadan görünüşü (SIFCON of fiber reinforced containing 8% and concrete plate rear view)

Roller ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, silindirik geometriye sahip betonarme kolonu, SIFCON, lifli beton üç boyutlu hasırlı lifli beton ve polimer betonu ile sararak güçlendirmişlerdir. Bu betonlar ile güçlendirilen kolonları birbirleriyle karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak en iyi performansı SIFCON'nun verdiğini rapor etmişlerdir (Şekil 6) [14].



Şekil 6. Basınç deneyi sonucunda zarar görmüş numune şekilleri; (a) yalın betonarme kolon, (b) SIFCON ile güçlendirilmiş betonarme kolon, (c) 3 boyutlu lifli beton ile güçlendirilmiş betonarme kolon, (d) lifli beton ile güçlendirilmiş betonarme kolon, (Damaged as a result of pressure test sampleforms; (a) lean concrete columns, (b) the reinforced concrete columns SIFCON, (c) three-dimensional fiber reinforced concrete columns with concrete, (d) fiber reinforced concrete and reinforced concrete columns,)

Bu çalışmanın temel amacını, SIFCON'da genellikle kullanılan iki ucu kancalı çelik liflere alternatif olabilecek, ekonomik ve korozyona karşı direnci yüksek farklı tip liflerinin yalın ve kombinasyonlu olarak kullanılmasıdır. Bu şekilde üretilmiş numuneler üzerinde, basınç ve eğilme dayanımı, kırılma tokluğu, ultrases geçiş hızı, schmidt test çekici deneyleri, birim maliyet analizleri yapılarak farklı tip liflerin SIFCON'un mekanik ve fiziksel özelliklerine etkileri araştırılmıştır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR (EXPERIMENTAL STUDY)

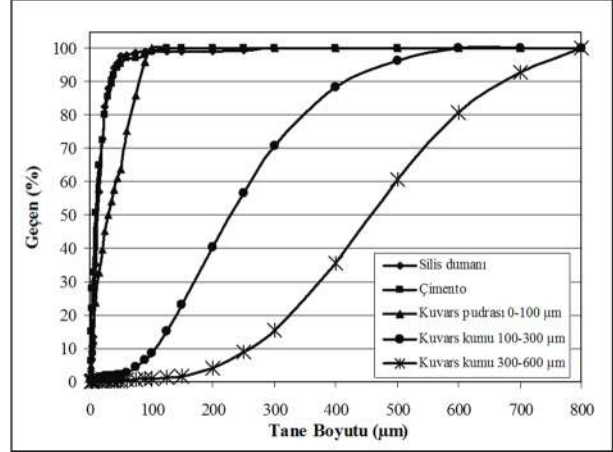
### 2.1. Malzemeler (Materials)

#### 2.1.1. Çimento ve silis dumanı (Cement and silica fume)

Yapılan deneysel çalışmaların tamamını da, Nuh Çimento fabrikası tarafından üretilen, PÇ 42,5 CEM I R tipi çimento kullanılmıştır. Silis dumanı, silikon veya demirli silisyum imalatı sırasında atık olarak ortaya çıkan şekilsiz şeffaf silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ ) kürelerinden oluşan bir mineraldir. Bu kürelerin ortalama büyüklüğü  $0,5 \mu\text{m}$  altındadır yani çimento tanesinden yaklaşık 100 kat daha küçüktür. Silis dumanının Blain değeri yaklaşık  $20.000 \text{ cm}^2/\text{gr}$ 'dir [15, 16, 17]. Yapılan deneysel çalışmaların tamamında, silis dumanı olarak Norveç'te bulunan Elkem firmasının silis dumanı kullanılmıştır.

#### 2.1.2. Kuvars pudrası ve kumu (Quartz powder and sand)

Deneylerde kullanılan kuvars pudrası, Aydın'ın Çine ilçesinden Santoz Sanayi Tozları Firmasından elde edilmiştir. Genellikle SIFCON betonlarında kullanılan en büyük taneye sahip olan malzeme kuvars kumudur. SIFCON' da istenilen dayanımlara çıkılabilmesi için bu betonlara uygun agrega kullanılmalıdır. Kuvars kumu hem SIFCON için uygun bir agrega hem de ülkemizde bol miktarda bulunmaktadır. Kuvars agregasının basınç dayanımı yaklaşık  $180 \text{ MPa}$ 'a kadar ulaşmaktadır. Sertlik olarak da çok sert bir agrega olduğu için aşınma direnci de yüksektir [17, 19]. Kuvars kumu elde edilmiş şekli ve mineralojik bakımdan kuvars pudrası ile aynı özelliklere sahiptir ve sadece tane büyüklüğü farklıdır. Deneylerde kullanılan kuvars kumu,  $100\text{--}300 \mu\text{m}$  ve  $300\text{--}600 \mu\text{m}$  aralıktaki iki farklı sınıfta bulunmakta ve Şekil 7'de granülometriye sahiptir.



Şekil 7. Taneli malzemelerin granülometri eğrisi (Grain size curve of granular materials)

#### 2.1.3. Lifler (Fibers)

SIFCON'un basınç ve eğilme dayanımı ile kırılma tokluğunu arttırmak için karışıma katılacak olan kancalı lifler, Beksa Çelik ve Kord Sanayi ve Ticaret A.Ş.'den temin edilmiştir [20]. Dalgalı çelik lifler, Dekoton A.Ş.'den temin edilmiştir [21]. Lifler çelik olup üzeri korozyona karşı pirinç ile kaplanmış ve  $60 \text{ mm}$  uzunluğunda  $0,9 \text{ mm}$  çapındadır. Çelik lifin çekme dayanımı  $1500 \text{ MPa}$  ve özgül ağırlığı  $7,81 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Makro polimer lifler Forta-Ferro firmasından [22]. Mikro lifler ise Atlas Ltd. Şti.'nden temin edilmiştir [23]. Deneyde kullanılan polimer makro lif,  $54 \text{ mm}$  uzunluğunda ve  $0,677 \text{ mm}$  çapındadır. Mikro lif ise  $19 \text{ mm}$  uzunluğunda ve  $0,056 \text{ mm}$  çapındadır.

#### 2.1.4. Kimyasal katkı (Water and chemical additives)

Deneylerde düşük su çimento oranından dolayı istenilen işlenebilirliği elde etmek için yeni nesil katkılarına ihtiyaç duyulmuştur. Deneylerde bu özelliklere sahip İksa firması tarafından üretilen yeni jenerasyon bir polikarboksilat bazlı yüksek oranda su azaltıcı süper akışkanlaştırıcı olan Polycar 100 kullanılmıştır.

## 2.2. Metod (Method)

SIFCON betonlarının karışım dizaynı için henüz yerli ve yabancı herhangi bir standart mevcut değildir. Karışımı oluşturan taneli malzemelerin sıkı bir yapı oluşturacak şekilde oranlanması için farklı karışım teorileri kullanılmaktadır. Bu çalışmada da Sifcon karışımı için daha önceki tez çalışmalarından yararlanılmış ve içeriği Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. 1 m<sup>3</sup> Karışım Oranları (1 m<sup>3</sup> mixing ratio)

Malzemeler	Miktarlar (kg)
Çimento	900
Silis dumanı	270
Kuvars pudrası	278
Kuvars Kumu (100-300 µm)	252
Kuvars Kumu (300-600 µm)	252
Toplam su miktarı	270
Katkı	36
Su/çimento oranı	0.30
Katkı/Çimento oranı	0.04

Deneylerde kullanılan bulamaç karışımının üretim sırası, çimento, silis dumanı, su ve katkı, kuvars pudrası ve kuvars kumu şeklinde olmuştur. Basınç dayanımı için 10 cm boyutlarında küp, eğilme dayanımı için ise 4x8x40 cm dikdörtgen prizma şeklinde kiriş kalıpları kullanılmıştır. Bu kalıplara lif veya lifler rastgele olarak doldurulmuş ve sarsma tablası üzerinde bulamaç enjekte edilmiştir. Numuneler bir gün sonunda kalıptan çıkarılarak 3 gün 90 °C de sıcak buhar kürüne tabi tutulmuştur. Basınç dayanım testleri, yükleme hızı ayarlanabilen 3000 kN kapasiteli beton presinde TSE [24] standartlarına uygun olarak yapılmıştır (Şekil 8). Beton presinden alınan basınç kuvveti numune alanına bölünerek basınç dayanım değerleri hesaplanmıştır. Küp numunelere basınç dayanımı deneyinden önce ultra ses geçiş hızı testi yapılmıştır (Şekil 9). Deney sırasında geçiş süresi belirlenmiş ve bu süre geçiş yolu uzunluğuna bölünerek ultrases geçiş hızı hesaplanmıştır. Daha sonra ise basınç dayanımı testi sırasında numuneler basınç altında iken schmidt test çekici deneyi uygulanmıştır (Şekil 9)



Şekil 8. Basınç dayanımı testi (Compressive strength test)



Şekil 9. Ultra ses geçiş hızı ve Schmidt test çekici deneyi (Ultra sound transmission rate Schmidt hammer test)

Numuneler dört nokta yükleme yapılarak eğilme dayanım parametreleri belirlenmiştir. İki mesnet arasındaki açıklık olan 360 mm, üç eşit parçaya bölünerek kiriş numunesi Şekil 10'daki gibi dört noktadan yüklenmiştir. Deney cihazının yükleme hızı TS 10515'te belirtildiği gibi kiriş orta noktasında, 0,05-0,10 mm/dak. sehim yapacak şekilde ayarlanmıştır. Numuneler bu hızda tamamen kırılıncaya kadar yüklenerek yük sehim grafikleri elde edilmiştir. Eğilme deneyi sırasında numunenin çatlak yükü ve en büyük kuvvet değeri okunarak eğilme dayanımı hesaplanmıştır. Kırılma tokluğu değeri bilgisayar programı yardımıyla yük-sehim eğrisi altında kalan alan hesaplanarak bulunmuştur [24-29].



Şekil 10. Dört noktali yükleme deneyi (Four-point loading test)

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Deneyde kullanılan lif tipleri ve kodları Tablo 4'de verilmiştir. Lif çeşitlerine göre mekanik özelliklerine ait değerler Tablo 5'de, verilmiştir. Basınç deneyinde kullanılmak üzere üretilen 100 mm'lik küp numunelerde farklı lif içeriklerine basınç değerleri Tablo 5'de ve Şekil 11'de verilmiştir. Şekil 11. incelendiğinde numuneler arasında belirgin bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Karışımdaki lif türü polipropilen liften, çelik life doğru bir değişim gösterdiğinde, çelik lifli numunelerin basınç dayanımlarının arttığı, ayrıca lif tipinin mikrodan makroya değişimi ile de basınç dayanımında artış olduğu görülmektedir. Basınç dayanımlarındaki bu değişimin aynı miktardaki mikro lif sayısı makro lif sayısından çok daha fazladır. Bu nedenle betondaki lif pasta ara yüzeyi

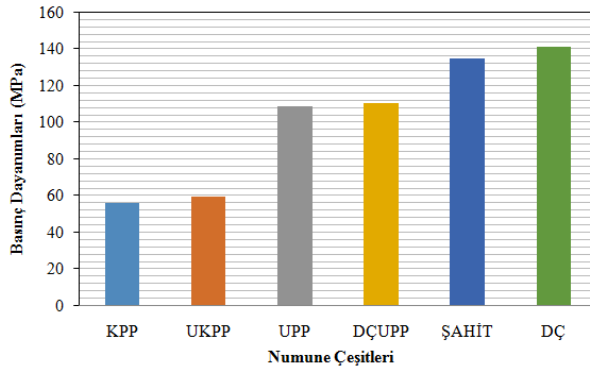
çok daha fazla olmakta ve buda zayıf noktalar oluşturmaktadır. Ayrıca lif sayısının artması işlenebilirliği de olumsuz etkileyerek boşluk miktarını arttırmaktadır. Polipropilen liflerin dayanımının düşük olması betondaki kusur miktarını da arttırmaktadır. Bu nedenle mikro polipropilen lifli numunelerin basınç dayanımı daha düşük olmaktadır.

Tablo 4. Lif tipleri ve kodları (Fiber type sand codes)

Numune Kodu	Mikro Polimer Lif (L= 19 mm)	Makro Polimer Lif (L= 54 mm)	Dalgah Çelik Lif (L= 60 mm)	Kancalı Çelik Lif (L= 60 mm)
Şahit	-	-	-	X
DÇ	-	-	X	-
DÇUPP	-	1/2X	1/2X	-
UPP	-	X	-	-
KPP	X	-	-	-
UKPP	1/2X	1/2X	-	-

Tablo 5. Lif çeşitlerine göre mekanik özellikleri (According to the types of fiber mechanical properties)

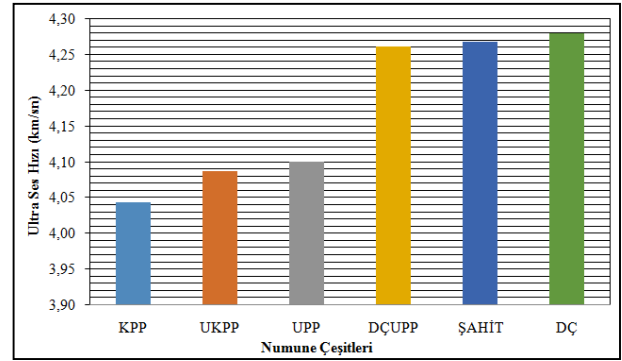
Num. Adı	Basınç Day. (MPa)	Ultra Ses Hızı (km/sn)	Schm. Testi	Eğilme Day. (MPa)	Kırılma Tokluğu (Nm)
Şahit	134.83	4.27	62	31.47	47.98
DÇ	141.29	4.28	62	32.95	142.18
DÇUP	110.38	4.26	62	19.21	66.94
UPP	108.73	4.10	46	15.60	8.37
KPP	55.91	4.04	37	10.35	15.18
UKPP	59.43	4.09	45	10.71	1.44



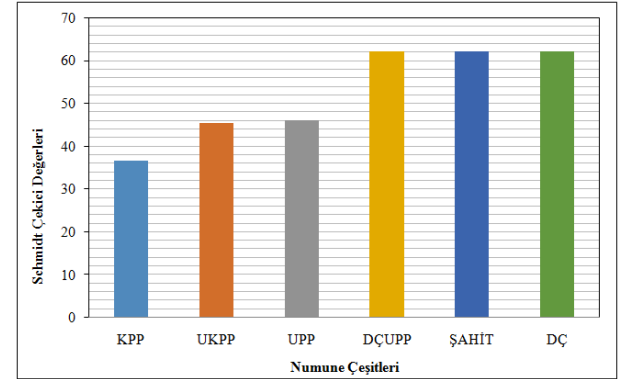
Şekil 11. Basınç dayanımı değişim grafiği (Compressive strength change graphic)

Farklı lif tipine göre ultra ses geçiş hız değerleri Tablo 5'de, Şekil 12'de verilmiştir. Şekil 12 incelendiğinde ultra ses geçiş hızı değerleri en yüksek olan numuneler DÇUPP, ŞAHİT ve DÇ'dir. En düşük olan numuneler ise KPP, UKPP, UPP'e aittir. Ultra ses geçiş hızı değerleri incelendiğinde numunelere çelik liflerin dâhil edilmesi sonucu ultra ses hızlarında artış gözlenmektedir. Ultra

ses hızı çelik lif içeren numunelerde, polimer lif içeren numunelere göre daha yüksektir. Bunun nedeni olarak çelik liflerin polimer liflere göre ses dalgalarını daha iyi iletmesiyle açıklanabilir. Farklı lif içerikli numunelere ait Schmidt test çekici deneyine ait değerler Tablo 5'de, ve Şekil 13'de verilmiştir. Şekil 13 incelendiğinde schmidt sonuçları karışımındaki liflerin çelik olması schmidt sonucunu arttırmakta polipropilen olması ise azaltmaktadır. Bu liflerin sertliğiyle ilişkilendirilebilir.

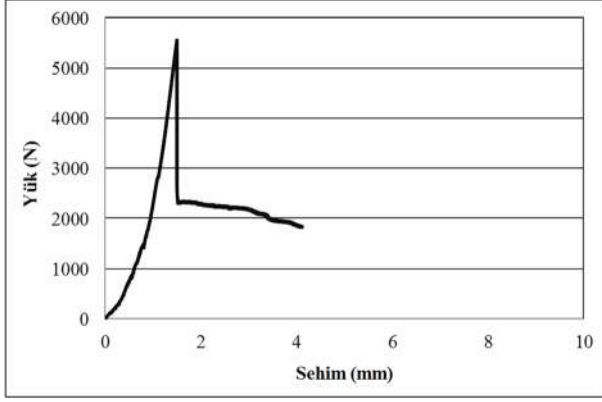


Şekil 12. Ultra ses hızı değişim grafiği (Ultra sound velocity change graphic)



Şekil 13. Schmidt test çekici değerleri ilişkisi (Schmidt test hammer relationship values)

UPP lif içeren SIFCON'nun eğilme dayanımına ait yük sehim grafiği Şekil 14'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde, yükün tepe noktasında ani olarak düştüğü görülmektedir. Deney sırasında yükün ani olarak düştüğü noktada UPP liflerin büyük kısmının koştığı bir kısmının da sıyrıldığı görülmüştür (Şekil 15). UPP lif içeren SIFCON'nun eğilme dayanımı 15.60 MPa ve kırılma tokluğu 8.37 Nm olarak bulunmuştur.

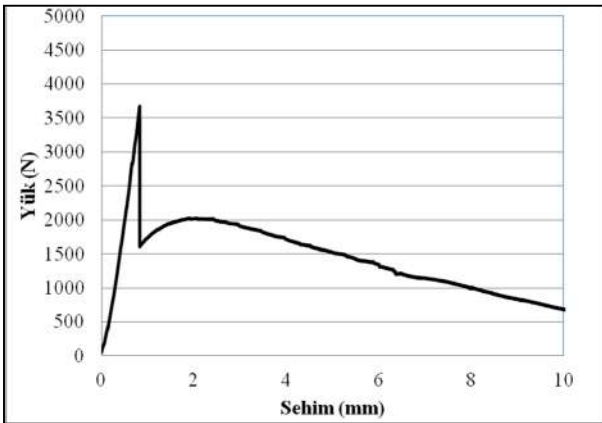


Şekil 14. UPP lif içeren SİFCON'un yük sehim grafiği (UPP the load deflection graph containing fibers SIFCON's)



Şekil 15. UPP lifin SİFCON'un içindeki görünümü (UPP in view of the fiber SIFCON)

KPP lif içeren SİFCON'un yük sehim grafiği Şekil 16'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde, yükün tepe noktasında ani olarak düştüğü görülmektedir. Deney sırasında yükün ani olarak düştüğü noktada KPP liflerin büyük kısmının koptuğu bir kısmının da sıyrıldığı görülmüştür (Şekil 17). KPP lif içeren SİFCON'un eğilme dayanımı 10,35 MPa ve kırılma tokluğu 15,18 Nm olarak bulunmuştur.

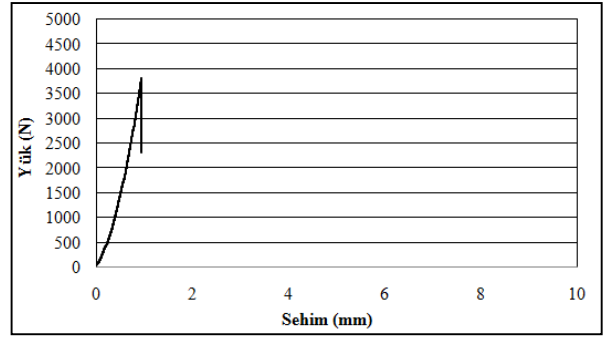


Şekil 16. KPP lif içeren SİFCON'un yük sehim grafiği (KPP the load deflection graph containing fibers SIFCON)



Şekil 17. KPP lifin SİFCON'un içindeki görünümü (KPP in view of the fiber SIFCON)

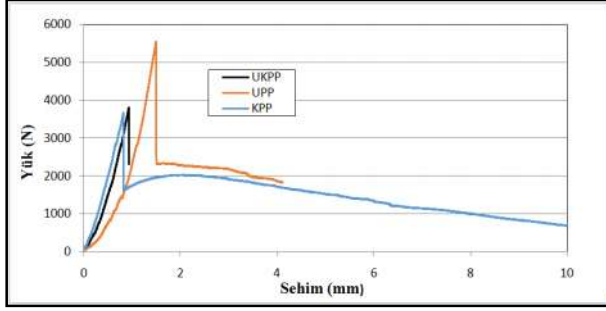
Makro ve Mikro lif karma olarak içeren SİFCON'un yük sehim grafiği Şekil 18'de verilmiştir. Makro ve Mikro lif karma olarak içeren SİFCON'un eğilme dayanımı 10,71 MPa ve kırılma tokluğu 1,44 Nm olarak bulunmuştur. Eğilme sonucu belirli bir sehmeden sonra liflerin büyük kısmının koptuğu gözlemlendi (Şekil 19). Liflerin kopması sonucu yük ani olarak düşüş gösterdiği görülmüştür. Şekil 3.20 incelendiğinde karma polimer lifli numunenin yük-sehim eğrisinin makro ve mikro polimer lifli numuneler arasında olduğu görülmektedir. Bu durum kompozit malzeme davranışı ile açıklanabilir.



Şekil 18. UPP ve KPP karma lif içeren SİFCON'un yük sehim grafiği (UPP and KPP the load deflection graph containing hybrid fibers SIFCON)

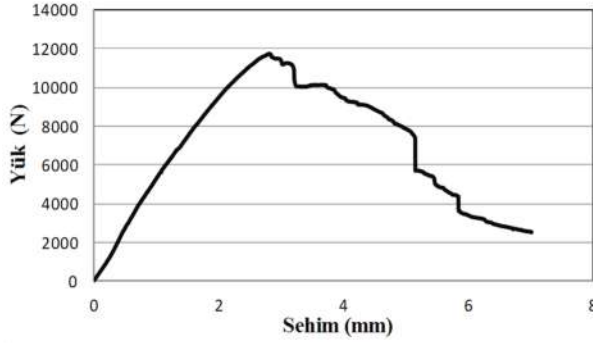


Şekil 19. UPP ve KPP karma lifin SİFCON'un içindeki görünümü (UPP and KPP in the view of the fiber composite SIFCON)



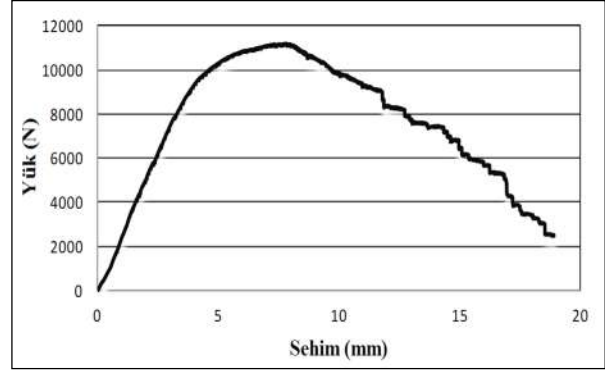
Şekil 3.20. UPP, KPP ve UKPP karma lif içeren SIFCON'nun yük sehim grafiği (UPP, KPP and UKPP the load deflection graph containing hybrid fibers SIFCON)

Şahit lif içeren SIFCON'nun yük-sehim grafiği Şekil 21'de verilmiştir. Numunede ilk çatlağın oluştuğu yük ile en büyük eğilme yükü birbirine yakın ve 11700 N'dur. Buna göre çatlak dayanımı ve eğilme dayanımı 32.95 MPa ve kırılma tokluğu 47.98 Nm olarak bulunmuştur. Yük sehim grafiğindeki yükte azalma sırasında liflerin sıyrılarak pasta içerisinden çıktığı görülmüştür.



Şekil 21. Şahit lif içeren SIFCON'nun yük sehim grafiği (Control load deflection graph containing fibers SIFCON's)

DÇ lif SIFCON'nun yük-sehim grafiği Şekil 22'de verilmiştir. Numunede ilk çatlağın oluştuğu yük, yaklaşık 10000 N ve en büyük eğilme yükü ise 11190 N olmuştur. Buna göre çatlak dayanımı yaklaşık 28 MPa, eğilme dayanımı 31,47 MPa ve kırılma tokluğu 142,18 Nm olarak bulunmuştur. Yük sehim grafiğindeki yükte azalma sırasında liflerin sıyrılarak pasta içerisinden çıktığı görülmüştür (Şekil 23).

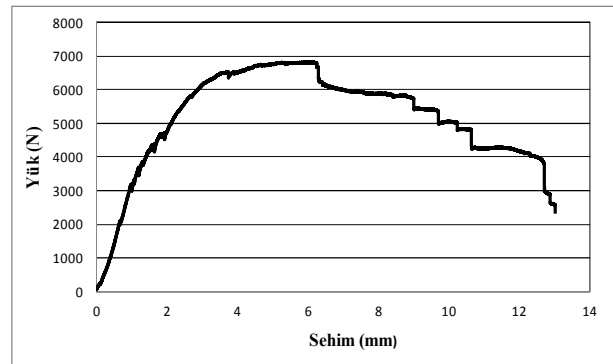


Şekil 22. DÇ lif içeren SIFCON'nun yük sehim grafiği (DÇ the load deflection graph containing fibers SIFCON's)



Şekil 23. DÇ lifin SIFCON'nun içindeki görünümü (DÇ in view of the fiber SIFCON's)

DÇ lif ve UPP lif içeren SIFCON'nun yük-sehim grafiği Şekil 3.14'de verilmiştir. Numunede ilk çatlağın oluştuğu yük, yaklaşık 4200 N ve en büyük eğilme yükü ise yaklaşık 6800 N olmuştur. Buna göre çatlak dayanımı yaklaşık 11.81 MPa, eğilme dayanımı 19.21 MPa ve kırılma tokluğu 66.94 Nm olarak bulunmuştur. Yük sehim grafiğindeki yükte görülen ani düşüşler, polipropilen liflerin kopması sonucu oluştuğu görülmüştür (Şekil 25).



Şekil 24. DÇ ve UPP lif içeren SIFCON'nun yük sehim grafiği (DC and UPP fiber-containing fibers of the load deflection graph SIFCON's)





Şekil 25. DÇ ve UPP lifin SİFCON'nun içindeki görünümü (DC and UPP fiber is view of in the SIFCON'S)

### 3.1. Birim maliyet analizi (Unit cost analysis)

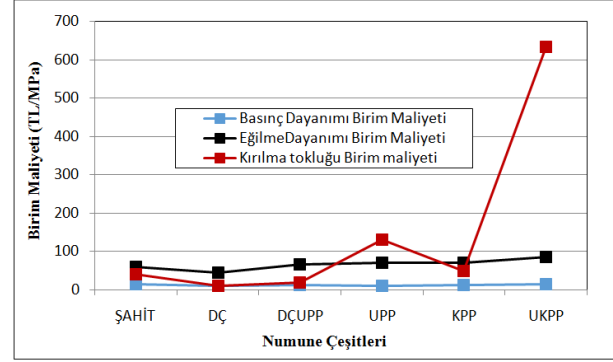
Bu başlık altında; üretilen numunelerin karışım içerisine giren lif tipteki farklılıklar sonucu değişen mekanik özelliklerin birim fiyat dayanımı üzerine olan etkileri hesaplanmıştır. Eğilme ve basınç deneylerin de kullanılmak üzere üretilen numunelerde; Şahit, UPP, KPP, UKPP, DÇ ve DÇUPP'nin 1 m<sup>3</sup> beton için birim maliyet değerleri Tablo 6'da, numunelere ait birim dayanım maliyeti Tablo 7'de verilmiştir. Basınç dayanımı birim maliyeti, eğilme dayanımı birim maliyeti, kırılma tokluğu birim maliyetine ait grafik ise Şekil 26'da verilmiştir.

Tablo 6. Numunelere ait birim maliyet (Unit cost of the samples)

Numune Kodu	Çimento (kg)	Silis Dumanı(kg)	K. Pudrası(kg)	1. K. Kum (kg)	2. K. Kum (kg)	Su (kg)	K. Katkı (kg)	Lif (kg)	Lif (TL)	Toplam Maliyet (TL)
	0.14	0.25	0.4	0.2	0.2	0.002	4.00			
KPP	900	270	278	252	252	270	36	27.3	6.5	550
UKPP	900	270	278	252	252	270	36	27	26.5	912
UPP	900	270	278	252	252	270	36	27.3	20	1096
DÇUP	900	270	278	252	252	270	36	188	22.5	1260
DÇ	900	270	278	252	252	270	36	350	2.5	1425
ŞAHİT	900	270	278	252	252	270	36	350	4	1950

Tablo 7. Numunelere ait birim dayanım maliyetleri (Strength unit costs of sample)

Numune Kodu	Basınç Day. (MPa)	Eğilme Day. (MPa)	Kırılma Tokluğu (Nm)	Basınç Day. Bir. Mal. (TL/MPa)	Eğilme Day. Bir. Mal. (TL/MPa)	Kırılma Tok. Bir. Mal. (TL/Nm)
Şahit	134.83	32.95	47.98	14.46	59.18	40.64
DÇ	141.29	31.47	142.18	10.09	45.28	10.02
DÇU	110.38	19.21	66.94	11.42	65.62	18.83
UPP	108.73	15.60	8.37	10.08	70.26	130.95
KPP	55.91	10.35	15.18	9.84	53.14	36.23
UKP	59.43	10.71	1.44	15.34	85.13	633.17



Şekil 26. Numunelere ait basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu birim maliyeti grafiği (Compressive strength of the samples, the flexure strength and fracture toughness of the unit cost chart)

Tablo 6, Tablo 7 ve Şekil 26'da birim dayanım maliyetleri incelendiğinde en düşük basınç dayanımı birim maliyet değeri mikro polimer, makro polimer ve dalgalı çelik lifli numunelere aittir. Bununla birlikte dalgalı çelik lif ve makro polimer karma lif içeren numunelerin basınç dayanım maliyetleri, polimer ve dalgalı çelik liflerden yaklaşık %10 daha fazladır. Karma polimer ve Şahit lifin basınç dayanımı maliyeti ise dalgalı çelik lif ve polimer liflerden yaklaşık %50 daha fazladır. Eğilme dayanımı parametreleri açısından incelendiğinde ise en düşük eğilme dayanım maliyeti dalgalı çelik lifli numuneye aittir. Mikro polimer lif içeren numunenin eğilme dayanım birim maliyeti ise dalgalı çelik lifli numuneden yaklaşık %20 daha fazladır. Şahit numunenin eğilme dayanım birim maliyeti dalgalı çelik lifli numunelerinkinden yaklaşık %30 daha fazladır. En fazla eğilme dayanımı birim maliyeti ise sırasıyla karma polimer, uzun polimer ve dalgalı çelik makro polimer karma lif içeren numunelere aittir. Polimer liflerin kopması sonucu eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu değerleri düşmüş ve buna paralel olarak maliyet yükselmektedir. Yukarıdaki bilgiler ışığında en iyi dayanımı veren ve en düşük birim dayanım maliyetine sahip numunenin dalgalı çelik lifli numunenin olduğu tespit edilmiştir.

## 4. SONUÇ (CONCLUSION)

SİFCON'u oluşturan malzemeler ve üretim tekniği normal betonlardan farklı olmakla birlikte çoğunluğu ülkemizde üretilen malzemeleri kullanılarak SİFCON üretilebilmektedir. Üretilen küp ve prizmatik numunelerin; birim hacim ağırlığı, ultrases geçiş hızı, schmidt test çekici, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve kırılma parametreleri ile maliyete etkisi incelenmiştir. Çalışmalar sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Basınç dayanımı incelendiğinde lif tipi ile basınç dayanımı arasında belirgin bir ilişki olduğu

görülmüştür. Polipropilen lif kullanılan numunelerde basınç dayanımı diğer çelik liflere göre daha düşüktür. DÇ ve ŞAHİT kodlu çelik lif içeren numunelerin basınç dayanımlarının diğer gruplar içinde en yüksek sonucu vermektedir. KPP, UKPP 'in basınç değerleri ise en düşük değeri almıştır.

Ultra ses geçiş hızı değerleri incelendiğinde en yüksek olan numuneler DÇUPP, ŞAHİT ve DÇ' dir. En düşük olan numuneler ise KPP, UKPP, UPP 'e aittir. Çelik lif katkılı numunelerin polimer lif katkılı numunelere göre daha yoğun bir agrega yapısı oluşturması ve çelik liflerin ses iletim hızlarının daha yüksek olması ses geçiş hızını etkilemektedir. Benzer durum schmidt test sonuçları için de geçerlidir.

Eğilme dayanımları incelendiğinde en yüksek eğilme dayanımı ŞAHİT ve DÇ lifli numunelere, en düşük eğilme dayanımı ise KPP ve UKPP lifli numunelere aittir. Liflerin çekme mukavemeti, bu lifler ile üretilen betonların eğilme dayanımını doğrudan etkilemektedir. Çekme dayanımı düşük olan polimer lifler kırılma anında çoğunlukla kopmuş ve eğilme dayanımını olumsuz etkileyerek tokluk değerini de düşürmüşlerdir. Çelik lifler ise yüksek çekme mukavemetleri sayesinde kopmamış ve beton içerisinden sıyrılmışlardır. Beton mukavemetinin normal betonlara göre yüksek olması, ince taneli yapısı sayesinde lifler ile güçlü bir aderans yapması sıyrılmayı güçleştirerek eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu değerini arttırmıştır.

Liflerin karma olarak kullanılması sonucunda, bilimli bir eğilme yükü altında polimer esaslı lifler koparak çatlak köprülenmesini çelik liflere bırakmıştır. Numunede bulunan çelik lif miktarının azalmasına bağlı olarak eğilme parametreleri olumsuz etkilenmiştir.

Kırılma toklukları incelendiğinde en yüksek kırılma tokluğu DÇ lifli numunelere en düşük kırılma tokluğu ise UKPP lifli numunelere aittir. Polimer lifli numunelerin birim hacim değerleri, ucuz olmasına rağmen eğilme ve basınç parametrelerinde çelik liflere göre daha düşük dayanım vermesi bu lifleri ekonomik olmaktan uzaklaştırmıştır. Bu nedenle

Yukarıdaki bilgiler ışığında en iyi dayanımı veren ve en düşük birim dayanım maliyetine sahip numunenin dalgalı çelik lifli numune olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte sert dış etkilere maruz kalacak betonlarda çelik lif kullanımı ciddi korozyon problemleri yaratabilmektedir. Polimer liflerin korozyon direncinin yüksek olması bu gibi etkilere karşı tercih edilme sebebi olabilir. Ayrıca çelik liflerin manyetik alan oluşturması da bazı durumlarda istenmemektedir. Bu gibi yerlerde de polimer lifler tercih edilebilir.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Scheneider, B. (1992) 'Development Of Sifcon Through Applications', High Performance Fiber Reinforced Cement Composites, E&Fn Spon, Pp. 177-194.
- [2] Lankard, D.R. (1984) 'Properties, Applications: Slurry Infiltrated Fiber Concrete (Sifcon),' Concrete International, Pp. 287-306.
- [3] Wang, M.L, Maji A.K. (1992) 'Shear Properties Of Slurry Infiltrated Fiber Concrete (Sifcon)', High Performance Fiber Reinforced Cement Composites, London, Pp. 203-212.
- [4] Tabak, V. (2004) 'Çelik Lifli Betonda Lif Ve Lif Boy/Çap Oranlarının Değişiminin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi' Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sf. 73-76.
- [5] Yerlikaya, M. (2003) 'Çelik Tel Donatılı Betonların Deprem Etkisi Altında Davranışları', Kocaeli Deprem Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Sf. 302-304.
- [6] Tabak, V. (2004) 'Çelik Lifli Betonda Lif Ve Lif Boy/Çap Oranlarının Değişiminin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi' Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sf. 73-76.
- [7] Wecharatana, M., Lin, S. (1992) 'Tensile Properties Of High Performance Fiber Reinforced Concrete', High Performance Fiber Reinforcedcementcomposites, London, Pp. 248-258.
- [8] Yan, A., Wu, K., Zhang, X. (2002) 'A Quantitative Study On The Surface Crack Pattern Of Concretewith High Concent Of Steel Fiber', Cementand Concrete Research, Vol. 32, Pp. 1371-1375.
- [9] Lankard D.R. (1985) 'Preparation, Properties And Application Of Cement-Based Composites Containing 5 To 20 Percent Steel Fibre, İn S.P' Shahand A. Skarendahl (Eds) Steel Fibre Concrete, Proceedings Us-Sweden Joint Seminar, Elsevier Applied Science Publishers, Barking, Pp. 199-217.
- [10] Wu, Y.F., Jiang, J.F., Liu, K. (2010) 'Perforated Sifcon Blocks—An Extra Ordinarily Ductile Material Ideal For Use in Compression Yielding Structural Systems', Construction And Building Materials 24, 12, Pp. 2454-2465.
- [11] Tuyan M., Yazıcı, H. (2012) 'Pull-Out Behavior Of Single Steel Fiber From Sifcon Matrix' Construction And Buildingmaterials, 1, 35, Pp. 571-577.
- [12] Raoa, H.S., Ghorpade, V.G., Ramanac, N.V., Gnesward, K. (2010) 'Response Of Sifcon

- Two-Wayslabs Under Impact Loading', International Journal Of Impactengineering, 37, 452-458.
- [13] Roller, C., Mayrhofer, C., Riedel, W., Thoma, K. (2012) 'Residual Load Capacity Of Exposed And Hardened Concrete Columns Under Explosion Loads', Engineering Structures, Doi:10.1016/J.Engstruct. 2011.12.004.
- [14] Yeğimbalı, A. (2002) 'Silis Dumanı Ve Çimento İle Betonda Kullanımı', Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği /Ar-Ge Enstitüsü, 2. Baskı, Sf. 18-46, Ankara.
- [15] <http://www.materials.elkem.com> [07.03.2008].
- [16] İpek, M. (2009) 'Reaktif Pudra Betonlarının Mekanik Davranışına Katılma Süresince Uygulanan Sıkıştırma Basıncının Etkileri', Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 1-75.
- [17] Korkanç, M., Tuğrul A. (2004) 'Beton Agregası Olarak Kullanılacak Bazaltların Alkali-Silis Reaksiyonu Yönünden İncelenmesi, İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, 17, 2, Sf. 161-169.
- [18] Aıtcın, P.C. (2004) High Performance Concrete, E.&F.N. Spon, New York.
- [19] <http://www.beksa.com.tr>. [04.07.2007].
- [20] <http://www.dekoton.com.tr/>[01.04.2014].
- [21] <http://www.forta.com.tr/fortaferro/default.aspx> [01.04.2014].
- [22] <http://betonfiber.com/wp-content/uploads/2013/06/bf-19-mm-teknik-d%c3%b6k%bcman.pdf> [31.03.2014].
- [23] Ts En 12390-3, (2003) 'Beton-Sertleşmiş Beton Deneyle-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini', Türkiye Standartları Enstitüsü.
- [24] Astm C 39/C39m, (1996) Standard Test Method For Compressive Strength Of Cylindrical Concrete Specimens, Astm (American Society For Testing And Materials).
- [25] Ts 10513, (1992) Çelik Teller-Beton Takviyesinde Kullanılan, Türkiye Standartları Enstitüsü.
- [26] Ts 10514, (1992) Beton - Çelik Tel Takviyeli - Çelik Telleri Betona Karıştırma Ve Kontrol Kuralları, Türkiye Standartları Enstitüsü.
- [27] Ts 10515, (1992) Çelik Tel Takviyeli Betonun Eğilme Mukavemeti Deney Metodu, Türkiye Standartları Enstitüsü.
- [28] Astm C 1018, (1989) Standard Test Methodfor Flexural Toughnes Sand First-Crack Strength Of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading), Astm (American Society For Testing And Materials), V 4.02, Pp. 637-644.

