

Farklı Lif Katkılı SIFCON Kompozitlerin Mekanik Özellikleri

Hülya Kızıldağ^{1*}, Cenk Karakurt²

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü / Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Türkiye

²İnşaat Mühendisliği Bölümü / Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Türkiye

*hulyakizildag1@gmail.com

Özet – İnşaat mühendisliği, teknolojinin de ilerlemesiyle her geçen gün daha da gelişmekte ve artan ihtiyaçlara çözüm üretmektedir. Darbe dayanımının önemli olduğu savunma yapıları ve nükleer santraller gibi alanlarda geleneksel betona alternatif olarak çimento bulamacı emdirilmiş lifli beton (SIFCON) bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Lif kullanımıyla betonun sünekliğinin ve enerji yutma kapasitesinin arttığı bilinmektedir. Bu çalışmada farklı lif türlerinin farklı oranlarda kullanımının SIFCON'un mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisi incelenmiştir. Böylece lif oranı ve türü değişimine bağlı olarak hangi karışımın enerjiyi daha çok söndürdüğünün, üzerine gelen darbe yüklerine daha dayanımlı olduğunun belirlenmesi amaçlanmıştır. Çelik ve polipropilen lifler ayrı ayrı hacimce %3, %5 ve %7 oranlarında kullanılmış olup lifsiz referans numunesi ile birlikte 7 seri numune üretilmiştir. Basınç dayanımını ölçmek için küp (100x100x100 mm) ve eğilme dayanımını ölçmek için kiriş (100x100x50 mm) SIFCON numuneleri üretilip 28 ve 56 gün standart küre tabi tutulmuştur. Kür sürelerinin sonunda uygulanan deneylere bakılarak kullanılan lif oranının arttıkça basınç dayanımının düştüğü, eğilme dayanımının arttığı sonucuna ulaşılmıştır. En yüksek basınç dayanımı değeri referans numunesinde, en yüksek eğilme dayanımı deneyi hacimce %7 çelik lif içeren numunede ölçülmüştür. Çelik lifin polipropilen life göre mekanik özellikleri iyileştirmede daha etkili olduğu görülmüştür. Kür süresinin artması mekanik özellikleri olumlu etkilemiştir. Tüm bu sonuçlara bakılarak lif kullanımının çimento esaslı kompozitlerde darbe dayanımını arttırmada etkin bir rol oynadığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler – SIFCON, silis dumanı, çelik lif, polipropilen lif, mekanik özellik

I. GİRİŞ

Ülkemizin gelişmesiyle beraber yaşam kalitesi ve tüketim ihtiyacı artmış, bu amaçla nükleer santral, askeri yapılar, havaalanı pistleri, demiryolları, köprüler, tüneller gibi birçok yapı inşa edilmiştir. Bu yapılar kullanıma devam edildiği sürece darbe etkilerine maruz kaldıklarından dolayı herhangi bir güvenlik sorununun ortaya çıkmaması için darbe dirençlerinin yüksek olması gerekmektedir [1]. Geleneksel betonun darbe dayanımına karşı direnci oldukça zayıftır ve betonda bu etki ile oluşan çatlaklar kontrolsüz olarak gelişmektedir. Bunun sonucunda betonun performansında düşme görülmektedir [2]. Günümüzde betonun zayıf olan bu özelliğinin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar artmıştır.

Darbe dayanımını iyileştirme amacıyla mineral katkı ve lif ilavesi gibi yöntemler kullanılmış ve darbe dayanımının tespiti amacıyla deney yöntemleri geliştirilmeye çalışılmıştır [1].

Darbe dayanımı, betonların ani olarak etki eden tekrarlı dinamik yükler altında gösterdiği direnç olarak açıklanmaktadır. Darbe dayanımının patlayıcı madde etkisine maruz kalan yapılar başta olmak üzere su yapıları, endüstriyel yapılar, hava alanı pistleri, kazıklar, demiryolu traversleri, askeri amaçlı yapılar, nükleer santraller gibi yapılarda ihtiyacı karşılayabilmesi açısından yüksek olması istenmektedir [2]. Darbe dayanımının yüksek olması istenilen beton aslında farklı malzemelerin (iri agrega, ince agrega, çimento ve su) bir araya gelmeleri ile oluşan kimyasal reaksiyonlar sonucu oluşan kompozit bir malzemedir. Bu sebeple

betonun mekanik özellikleri ve darbe dayanımı birçok parametreden etkilenmektedir. Betonun darbe dayanımı; betonu oluşturan malzemelerin özelliklerinden (agrega çeşidi, maksimum agrega tane çapı, su/çimento oranı), kullanılan katkı malzemelerinin özelliklerinden (mineral katkı çeşidi ve kullanım oranı, lif çeşidi, geometrisi, narinlik oranı ve kullanım oranı) ve ortam koşullarından (beton sıcaklığı, yükleme hızı) etkilenmektedir [1]. Betonların mekanik özelliklerini iyileştiren mineral katkılar (silis dumanı, uçucu kül, cüruf, metakaolin gibi) darbe dayanımını da iyileştirmektedir. Özellikle silis dumanı kullanımı betonların mekanik özellikleri üzerinde etkili olmasının yanı sıra betonların darbe dayanımlarını da arttırmaktadır [3], [4]. Mekanik özellikleri ve darbe dayanımını iyileştiren diğer ve en etkili olan yöntem lif ilavesidir. Yapılan çalışmalarda en çok bu yöntem tercih edilmiş olup eklenen liflerin darbeden gelen enerjiyi sönmülmesi ve çatlaklar arasında köprü görevi yaparak dağılmayı engellemesi lif kullanımının en büyük nedenlerindedir. Günümüzde farklı tipte lifler (çelik lif, polipropilen lif, cam lif, bazalt lif, poliamid lif, polivinil alkol lif, seramik lif, polietilen lif, naylon lif, keklar lif, doğal lifler vb.) beton üretiminde kullanılmaktadır. Bunlardan en çok olarak kullanılanları çelik ve polipropilen liflerdir [1].

Betonda lif kullanımının artmasıyla beraber yeni malzeme arayışlarına girilmiş ve lifin önceden kalıba yerleştirilmesiyle oluşan, dayanımı yüksek ve SIFCON olarak adlandırılan yeni bir malzeme keşfedilmiştir.

SIFCON (çimento bulamacı emdirilmiş lifli beton), çelik lifler kullanılarak elde edilen, çimento esaslı kompozit bir malzemedir [5]. SIFCON üretiminde kullanılacak çelik lif uzunluğu genellikle 30 mm ile 60 mm arasında değişirken lif narinlik oranı da 60 ile 100 arasında değişim göstermektedir. Çimento hamuru ve lifler arasındaki aderansa direk etki eden bu husus üretilecek numunenin içereceği maksimum lif miktarını da etkiler. Lif hacim oranının %9 ile %11 arasında olması durumunda maksimum gerilme değerlerine ulaşmakta ve malzeme maksimum performans göstermektedir [6].

SIFCON'da lif hacmi çok olduğunda yerleşim problemleri oluşabilmektedir. Lif hacmiyle beraber çimento oranının artmasına da hidrasyon ısısını arttırarak büzölmeye neden olacağından dikkat

edilmelidir. Yerleştirme ve sıkıştırma işlemlerine özel önem verilmelidir [7]. SIFCON'un kırılma enerjisi su-çimento oranının değişmesine 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 [8].

Bu çalışmada darbe dayanımının yüksek olmasına ihtiyaç duyulan alanlarda SIFCON malzemesinin kullanıma uygun olup olmadığı, hangi karışım oranlarında kullanılması gerektiği, hangi lif türünün hangi oranda kullanılması gerektiği ve bunların mekanik özellikleri ne yönde değiştirdiği gözlemlenmiştir. Bu amaçla SIFCON alanında yapılan önceki çalışmalar incelenmiştir.

Canbaz vd. [9] çalışmalarında SIFCON üzerinde farklı bağlayıcı ve lif etkisini araştırmak amacıyla bağlayıcı fazında Portland çimentosu, puzolanlı çimento, kalsiyum alüminatlı çimento, uçucu kül ve lif olarak iki farklı boyda çelik ve polipropilen lifler kullanmıştır. 28 gün standart kürede bekletilen 4x4x16 cm'lik prizmatik numunelerde yapılan deneyler sonrasında bağlayıcı türünün sifcon özelliklerini etkilediği, makro özellikleri iyileştirmede makro liflerin daha etkili olduğu ve uçucu kül gibi mineral katkı kullanımının mikro düzeydeki boşlukları doldurmada etkili olduğu sonuçlarına ulaşmışlardır. SIFCON'u özellikle fabrikasyon hazır yapı elemanları uygulamaları için önermiştir. Kılılı [10] çalışmasında iki farklı narinlik oranlarında olan çelik lifleri %4 ve %8 oranlarında kullanarak sifcon numuneleri üretmiştir. Numuneleri standart kür, kuru kür ve hızlı kür olmak üzere üç farklı kür yöntemine tabi tutup en iyi basınç dayanımı sonucunu standart kürede elde etmiştir. En iyi eğilme dayanımı sonucunu narinlik oranı 55, lif oranı %8 çelik lif olan sifcon numunesinden almıştır. Böylece narinlik oranı ve lif oranı arttıkça eğilme dayanımının arttığı sonucuna varmıştır. Aydın [11] çalışmasında SIFCON'un sıcaklık etkisindeki davranışlarını incelemek amacıyla yüksek ve düşük ısılarda basınç ve eğilme dayanımı sonuçlarını incelemiştir. Basınç dayanımının eğilme dayanımına göre sıcaklıktan daha az etkilendiği sonucuna varmıştır. Ayrıca klasik betonda olduğu gibi yüksek sıcaklıkta dayanım artışı gözlemlenmiştir. Klasik betondan farklı olarak sifcon numunelerinde eğilme dayanımları yüksek çıkmıştır. İpek vd. [12] çalışmalarında lif türünün SIFCON'a mekanik ve

fiziksel etkilerini araştırmak amacıyla elik ve polipropilen lifleri yalın ve kombinasyonlu kullanmışlardır. elik lifin polipropilen life göre mekanik özellikleri iyileştirmede daha etkili olduğunu ve birim dayanım maliyet yönünden dalgalı geometriye sahip elik lifin daha ekonomik olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca korozyon riski olan yerlerde veya manyetik alan oluşması istenmeyen durumlarda polipropilen lif kullanılması önermişlerdir. Alkayış vd. [13] çalışmalarında lif içeriği, türü ve incelik oranının beton darbe dayanımı üzerindeki etkisini araştırmak amacıyla önceki çalışmaları değerlendirmişlerdir. Lif eklenmesinin yanı sıra beton dayanımını etkileyen tüm parametrelerin darbe dayanımını da etkilediği, darbe direnci ve mekanik özellik açısından en iyi performansın elik lif kullanımında olduğu sonuçlarına varmışlardır. Maliyet düşürülmesi, atık azaltma ve betonun diğer özelliklerinin geliştirilmesi açısından karma lif kullanımını önermişlerdir. Bulutlar [14] alışmasında SIFCON'un mekanik özelliklerinin elik lif içeriği ve dayanımıyla değerimini incelemek amacıyla lifsiz, %5 normal mukavemetli elik lifli, %5 yüksek mukavemetli elik lifli, %10 normal mukavemetli elik lifli ve %10 yüksek mukavemetli elik lifli olmak üzere beş seri numune üretmiştir. elik lifli serilerin hepsinde aynı çeşit karma lif kullanmıştır. Silindir yarmada çekme deneyi, silindir basınç deneyi ve RILEM kırılma enerjisi deneyi sonuçlarına göre elik lif ilavesinin basınç ve yarma dayanımlarını arttırdığı, yüksek mukavemetli elik liflerin normal mukavemetli elik liflere göre mekanik özellikleri daha çok arttırdığını gözlemlemiştir. elik lif içeren numunelerin enerji yutma kapasitelerinin yüksek olduğu ve kırılmalarının uzun sürede kontrollü gerçekleştiği sonuçlarına varmıştır.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. Kullanılan Malzemeler

Çimento: Üretimde Votorantim imento fabrikası üretimi olan CEM I 42,5 R türü Portland imentosu (P) kullanılmıştır. Çimentoya ait özellikler üretici firmadan temin edilerek kimyasal ve fiziksel zellikler Tablo 1'de verilmiştir.

Silis Dumanı: Üretimde Etibank Elektrometalurji A.ř. Antalya tesisinden alınan silis dumanı kullanılmıştır. Kimyasal bileşimi Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan imentonun özellikleri

Özellik	Miktar	zellik	Miktar
SiO ₂	19.2	zgl Ağırlık (g/cm ³)	3.13
Al ₂ O ₃	4.56	zgl Yüzey (cm ² /g)	3750
Fe ₂ O ₃	3.09	Priz Başlangıcı (dk)	145
CaO	62.9	Priz Sonu (dk)	200
MgO	1.88	Hacim Genleşmesi (mm)	1
K ₂ O	0.63	Basınç Dayanımları (MPa)	
Na ₂ O	0.31	2 Gün	31.1
SO ₃	3.21	7 Gün	45.9
Cl ⁻	0.01	28 Gün	54.8

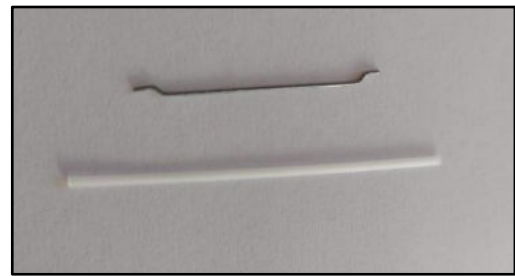
Tablo 2. Kullanılan silis dumanının kimyasal zellikleri

Kimyasal Bileşenler	Miktar (%)
SiO ₂	91.92
Al ₂ O ₃	0.42
Fe ₂ O ₃	0.20
CaO	2.06
MgO	3.28
Cl	0.03
SO ₃	0.83
Na ₂ O	0.55
K ₂ O	2.58
K.K.	1.68

Agrega: Üretimde Dağ-İş Madencilik firmasının Bilecik Glmbe tesisinden alınan kireçtaşı kullanılmıştır. 0-5 mm kireçtaşı kumu temin edilmiş ve 1 mm elekten geçirilerek D_{max} 1 mm olacak şekilde üretimde kullanılmıştır.

Su: Karma suyu olarak Bilecik şebeke suyu kullanılmıştır.

Lif: Deneylerde elik ve polipropilen lifler kullanılmıştır. elik lif olarak Bekaert firmasına ait Dramix 3D 65/35BG kullanılmıştır. Polipropilen lif olarak FMY Kimya firmasına ait makro polipropilen lif kullanılmıştır. elik lif ve polipropilen life ait malzeme zellikleri Tablo 3'te verilmiştir.



şekil 1. Kullanılan elik ve polipropilen lif

Tablo 3. Kullanılan liflerin özellikleri

	Çelik Lif	Polipropilen Lif
Marka	Dramix	OneShot
Tip	65/35	Makro Lif
Uzunluk (l) (mm)	35	55
Çap (d) (mm)	0.55	0.80
Nominal Çekme Dayanımı (N/mm ²)	1345	540
Elastisite Modülü (N/mm ²)	200000	7500

Katkı: Deneylerde kimyasal katkı olarak Sika Yapı Kimyasalları firmasına ait Sika ViscoCrete PC 15 süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Kimyasal yapısı modifiye polikarboksilat esaslı polimer olan bu katkı 20°'de 1,07-1,11 kg/l yoğunluğa ve 3-7 arasında pH değerine sahiptir.

B. Üretim ve Yapılan Deneyler

SIFCON ile ilgili yayımlanan herhangi bir standart henüz mevcut değildir. Bu nedenle literatür çalışmaları araştırılarak daha önce kullanılan karışım oranları incelenmiş ve bunlardan faydalanılmıştır. SIFCON, liflerin arasından geçip kalıba yerleşebilen bir malzeme olduğundan su/çimento oranı 0.35 tutularak çimento ağırlığının %1'i kadar süper akışkanlaştırıcı ile bu kıvam sağlanmıştır. Silis dumanı, çimento ağırlığının %10'u kadar kullanılmıştır. Kullanılan karışım oranları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. 1 m³ için karışım oranları

Malzemeler	Malzeme Miktarı (kg)
Çimento	900
Silis dumanı	90
Kireçtaşı	925,68
Su	316,8
Katkı	9,9
Su/çimento oranı	0.35
Katkı/çimento oranı	0.01

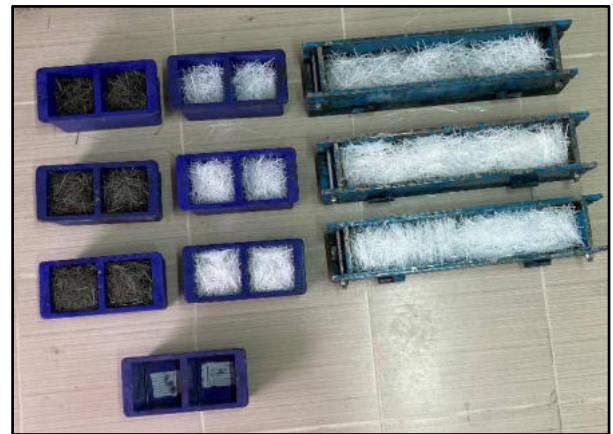
Deneyde kullanılacak numunelerin üretimi için karışım hazırlanmadan önce küp ve kiriş kalıplar kalıp yağı ile yağlanmış ve lifler homojen olmasına özen gösterilecek şekilde yerleştirilmiştir. Daha sonra harç karıştırıcısında kuru malzemeler olan çimento, silis dumanı ve ince agrega homojen bir hale gelene kadar yaklaşık 3-4 dakika

karıştırılmıştır. Karışım suyu ve kimyasal katkı, kuru karışıma üç aşamada eklendikten sonra 5 dakika daha karıştırılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken karışımı gereğinden fazla karıştırmayıp segregasyon oluşmamasını sağlamaktır. Karışım hazır olduktan sonra önceden lif eklenmiş kalıplara dökülmüş titreşimli masa kullanılarak betonun yerleşmesi sağlanmıştır. Numuneler 28 ve 56 gün standart kürde bekletilmiştir. Kür sürelerinin ardından numuneler üzerinde eğilme ve basınç dayanımları deneyleri yapılmış, çıkan sonuçlar değerlendirilmiştir.



Şekil 2. SIFCON karışımının beton karıştırıcısında üretimi

SIFCON numunelerinin kodlanması içerdiği lif türü ve kullanım oranına göre yapılmıştır. Lifsiz numune REF; %3, %5 ve %7 olarak kullanılan lif yüzdelere göre çelik lifli numuneler SÇL3, SÇL5, SÇL7 ve polipropilen lifli numuneler SPL3, SPL5, SPL7 olarak kodlanmıştır.



Şekil 3. Küp ve kiriş kalıplarda SIFCON üretimi

III. BULGULAR

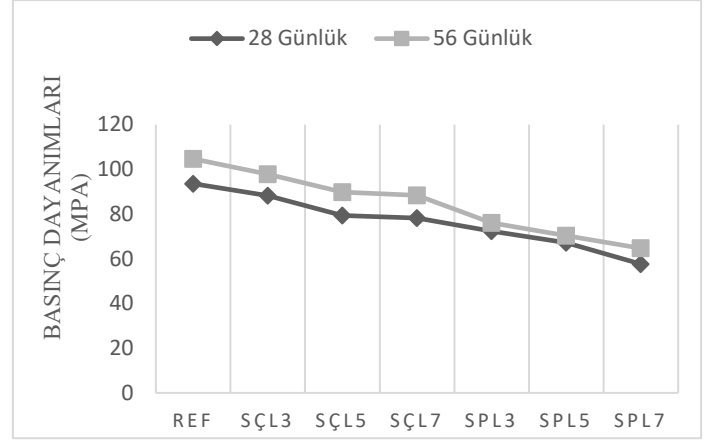
Basınç dayanımını ölçmek amacıyla 7 seri için her bir yaş dayanımından ikişer adet numune olmak üzere toplam 28 küp numune üretilmiştir. 100x100x100 mm boyutlarındaki küp numuneler 28 ve 56 gün boyunca standart küre tabi tutulmuştur. Kür sürelerinin sonunda basınç dayanımı testi uygulanmıştır. Deneyden elde edilen sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir.



Şekil 4. Basınç dayanımı deneyi için üretilecek küp numune kalıplarına önceden lif yerleştirilmesi



Şekil 5. Basınç dayanımı deneyi uygulanan numune



Şekil 6. Basınç dayanımı deney sonuçlarının grafiklerle gösterimi

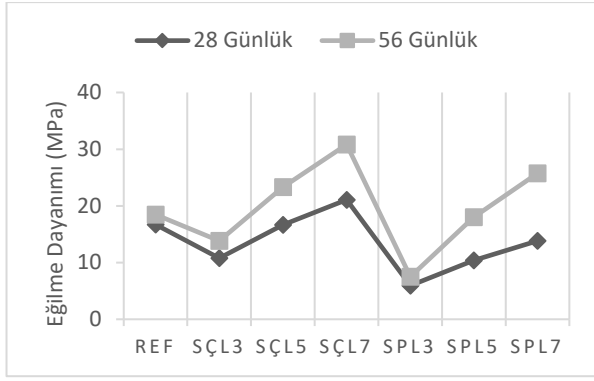
Eğilme dayanımını ölçmek amacıyla 100x100x500 mm boyutlarında kiriş numune üretilmiştir. Kirişler 28 ve 56 gün boyunca standart küre tabi tutulduktan sonra olarak eğilme dayanımı testi uygulanmıştır. Deneyden elde edilen sonuçlar Şekil 7'de görülmektedir.



Şekil 6. Eğilme dayanımı deneyi için üretilecek kiriş numune kalıplarına önceden lif yerleştirilmesi



Şekil 7. Eğilme dayanımı deneyi uygulanan numune



Şekil 8. Eğilme dayanımı deney sonuçlarının grafikte gösterimi

IV. TARTIŞMA

SIFCON numuneleri üzerinde yapılan basınç ve eğilme deneylerinden elde edilen sonuçlar irdelenmiş ve farklı çıkarımlarda bulunulmuştur.

Basınç dayanımı deney sonuçlarına bakıldığında zaman kür süresi arttıkça dayanımın arttığı görülmüştür. En yüksek değer 56 gün standart kürde bekleyen REF kodlu lif içermeyen numunede 108 MPa olarak ölçülmüştür. Lif içeren numunelerde her iki yaş dayanımında da çelik lifli numuneler aynı orandaki polipropilen lifli numunelerden daha yüksek basınç dayanımı sonucu vermiştir. Böylece çelik lifin, polipropilen life göre basınç dayanımını iyileştirmede daha çok etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Her iki lif türünde de lif oranı arttıkça basınç dayanımı düşmüştür. Bu sebeple lif oranıyla basınç dayanımı arasında ters ilişki söz konusudur. Artan lif oranına bağlı olarak çimento bulamacının içinde liflerin etrafında oluşan boşluklardan dolayı kusurların arttığı düşünülmektedir.

Eğilme dayanımı sonuçları incelendiğinde basınç dayanımında olduğu gibi kür süresi arttıkça dayanım artmıştır. Numunelerde kullanılan lif oranı arttıkça eğilme dayanımlarının arttığı böylece lif oranıyla eğilme dayanımı arasında doğru orantı olduğu görülmüştür. En yüksek eğilme dayanımı değeri 30,82 MPa ile SÇL7 kodlu numunede ölçülmüştür. Çelik lifli numunelerin eğilme dayanımları polipropilen lifli numunelerin eğilme dayanımlarından yüksek çıkmıştır. Bu durum çelik lifin çekme dayanımının 1345 MPa olması ve polipropilen lifin çekme dayanımının 560 MPa olması ile açıklanabilir.

V. SONUÇLAR

Bu çalışmada SIFCON kompozit malzemesinde kullanılan lif türünün ve oranlarının malzeme üzerindeki etkileri araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- SIFCON kompozit malzemesi üretilirken lifler beton harç karıştırıcısına atılmayıp, kalıplara önceden yerleştirilmektedir. Bu sebeple liflerin kalıba homojen olarak dağıtılması çok büyük önem taşımaktadır.
- En yüksek basınç dayanımı liffsiz olan REF numunesinde 108 MPa olarak ölçülmüştür. Lif oranı arttıkça SIFCON numunelerinin basınç dayanımları azalmıştır.
- Eğilme dayanımı deney sonuçları çelik lifli numunelerde daha yüksek çıkmıştır ve en yüksek değer 56 gün küre tabi tutulan SÇL7 numunesinde 30,82 MPa olarak ölçülmüştür. Lif oranı arttıkça eğilme dayanımı artmıştır.
- Çalışmada elde edilen sonuçlara bakıldığında hem basınç hem de eğilme dayanımında çelik lifin polipropilen life göre daha yüksek performans sergilediği, mekanik özellikleri daha çok iyileştirdiği görülmüştür.
- Birim maliyet düşünüldüğünde polipropilen lif kullanımı çelik life göre daha ekonomik olacaktır. Başka bir alternatif olan karma lif kullanımı düşünülebilir.
- Darbe dayanımı yüksek malzeme kullanılması gereken durumlarda çelik veya polipropilen lif takviyeli SIFCON kompozit malzemesinin kullanılmasının önemli bir çözüm olacağı görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Yazarlar katkılarından dolayı Dağ-iş Group Yönetim Kurulu Başkanı İsmet Kızıldağ'a ve Kalite Kontrol Birimi Müdürü Osman Hamarat'a, Bekaert Teknik Müdürü Mehmet Yerlikaya'ya, Sika Yapı Kimyasalları Distribütörü Satış Pazarlama Müdürü Ahmet Salim Aktepe'ye teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR

- [1] M. Oltulu and M. G. Altun, "Betonun Darbe Dayanımının Tespitinde Ağırlık Düşürme Deney Yöntemi ve Yapılan Çalışmalar," GÜFBED, vol. 8(1), pp. 155-163, 2018.
- [2] Ş. Yazıcı, and G. İ. Sezer, "Çelik Lifli Betonların Darbe Direncine Agregas Maksimum Boyutunun Etkisi," Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, vol. 14(3), pp. 237-245, 2008.

- [3] H. Toutanji, S. McNeil, and Z. Bayasi, "Chloride Permeability and Impact Resistance of Polypropylene Fiber Reinforced Silica Fume Concrete," *Cement and Concrete Research*, vol. 28, pp. 961-968, 1998.
- [4] M. Nili, and V. Afroughsabet, "The Effects of Silica Fume and Polypropylene Fibers on the Impact Resistance and Mechanical Properties of Concrete," *Construction and Building Materials*, vol. 24, pp. 927-933, 2010.
- [5] H. S. Rao, V. G. Ghorpade, N. V. Ramana, and K. Gnaneswar, "Response of SIFCON two-way slabs under impact loading," *International Journal of Impact Engineering*, vol. 37(4), pp. 452-458, 2010.
- [6] P. N. Balaguru, and S. P. Shah, *Fiber Reinforced Cement Composites*, 1st ed., McGraw-Hill, New York, USA, 1992.
- [7] H. Yazıcı, H. Yiğiter, S. Aydın, and B. Baradan, "Autoclaved SIFCON with high volume class C fly ash binder phase," *Cement and Concrete Research*, vol. 36(3), pp. 481-486, 2006.
- [8] Y. Farnam, M. Moosavi, M. Shekarchi, S. K. Babanajad, and A. Bagherzadeh, "Behaviour of slurry infiltrated fibre concrete (SIFCON) under triaxial compression," *Cement and Concrete Research*, vol. 40(11), pp. 1571-1581, 2010.
- [9] M. Canbaz, and C. Ünüvar, "Lif ve Çimento Türünün Sifcon Özelliklerine Etkisi," *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, vol. 22(6), pp. 400-404, 2016.
- [10] A. Kılıç, "Kür Şartlarının SIFCON'un Mekanik Özelliklerine Etkisi," M. thesis, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, Türkiye, 2018.
- [11] F. Aydın, "Farklı Sıcaklıkların SIFCON Betonun Mekanik Özelliklerine Ekisinin İncelenmesi," 7th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, pp. 22-24.
- [12] M. İpek, M. Canbay, and K. Yılmaz, "Çelik ve Polipropilen Liflerin Yalın ve Kombinasyonlu Olarak Kullanılmasının SIFCON'un Mekanik ve Fiziksel Özelliklere Etkisi," *SAÜ Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 19(1), pp. 41-52, 2015.
- [13] M. H. Alkayış, and C. Başyigit, "Lif Katkısının Beton Darbe Dayanımına Etkisi," *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 24, pp. 455-462, 2021.
- [14] Y. A. Bulutlar, "Çelik Tel İçeriğinin ve Dayanımının SIFCON'un Mekanik Davranışına Etkisi," M. thesis, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 2006.