



T.C.  
KAFKAS ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MEKANİK ANA BİLİM DALI



FARKLI LİF TÜRÜ VE HACMİNİN SIFCON'UN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE  
ETKİSİ

Özge Ece BOZKIRLI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN




Dr. Öğr. Üyesi Benek HAMAMCI

HAZİRAN-2019

KARS

T.C. Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mekanik Ana Bilim Dalı yüksek lisans öğrencisi Özge Ece BOZKIRLI'nın Dr. Öğr. Üyesi Benek HAMAMCI danışmanlığında yüksek lisans tezi olarak hazırladığı "Farklı Lif Türü ve Hacminin SIFCON'un Mekanik Özelliklerine Etkisi" adlı bu çalışma, yapılan tez savunması sınavı sonunda jüri tarafından Lisansüstü Eğitim Öğretim Yönetmeliği uyarınca değerlendirilerek ay. birliği ile kabul edilmiştir.

14 / 06 / 2019

	Adı ve Soyadı	İmza
Başkan	: Dr. Öğr. Üy. Necmi ADIGÜZEL	
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Emre TOPRAK	
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Benek HAMAMCI	

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .. / .. / 2019 gün ve ...  
... / ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç. Dr. Fikret AKDENİZ  
Enstitü Müdürü

## ETİK BEYAN

Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

  
**Özge Ece BOZKIRLI**

14.06.2019

## ÖZET

(Yüksek Lisans Tezi)

### FARKLI LİF TÜRÜ VE HACMİNİN SIFCON'UN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Özge Ece BOZKIRLI

Kafkas Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Mekanik Ana Bilim Dalı

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Benek HAMAMCI**

SIFCON ultra yüksek dayanımlı beton özelliklerine sahip ancak diğer lifli betonlara göre çok yüksek oranda lif içeren kompozit bir malzemedir. Lifli betonlarda lif oranı %2-%3 düzeyindeyken SIFCON'da bu oran %30'a kadar çıkabilmekte bu düzeydeki lif ise sünekliği 10 kata kadar artırabilmektedir. SIFCON yoğun lif içerdiğinden harcın liflerin arasına homojen bir biçimde dağılabilmesi için malzeme boyutu önem taşımaktadır. Bundan dolayı harcın tüm boşlukları doldurabilmesi için malzemenin mikro boyutta olması gerekmektedir.

Bu araştırmada, farklı lif türü ve hacminin SIFCON'un mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi amacıyla lifsiz, %6, %8 ve %10 çelik, polipropilen ve hibrit lif içerikli SIFCON numuneler hazırlanarak numune içeriklerindeki farklı lif türlerinin ve lif oranlarının SIFCON'un basınç dayanımına, maksimum enerji yutma kapasitesine ve eğilme dayanımına etkileri ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** SIFCON, farklı lif türü ve hacmi, mekanik özellikler

**2019, 55 Sayfa**

## **ABSTRAT**

(M. Sc. Thesis)

### **THE IMPACT OF DIFFERENT FIBER TYPE AND VOLUME ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF SIFCON**

Özge Ece BOZKIRLI

Kafkas University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Department of Mechanic

**Supervisor: Dr. Benek HAMAMCI**

SIFCON is a composite material having the properties of high-strength concrete, however, consisting very high ratio of fiber compared to the other fiber concretes. While the fiber content is 2% -3% in fiber concretes, this ratio can increase to 30% in SIFCON and the fiber in this level can increase ductility up to 10 times. Since SIFCON contains intense fiber, the size of the material is important for the homogeneous distribution of the mortar between the fibers. Therefore, the material must be micro-sized to fill all the gaps.

In this study, SIFCON samples containing %6, %8 and %10 steel, polypropylene and hybrid fiber were prepared in order to examine the impact of different fiber types and volumes on the mechanical properties of SIFCON. The impacts of different fiber types and fiber ratios in the content of the samples on the compressive strength, maximum energy absorption capacity and bending strength of SIFCON were demonstrated.

**Keywords:** SIFCON, different fiber type and volume, mechanical properties.

**2019, 55 pages**

## ÖN SÖZ

Tez çalışmam sırasında bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen kıymetli hocam ve tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Benek HAMAMCI'ya, süreç içerisinde karşılaştığım çeşitli sorunların çözümünde yardımlarını gördüğüm Arş. Gör. Haluk Görkem ALCAN'a, Arş. Gör. Bilge ALCAN'a, Öğr. Gör. Fatih Medet ALİBEYOĞLU'na, deney numunelerinin hazırlanmasında benimle birlikte oldukça fazla emek harcayan başta Erbil AVŞAR olmak üzere kıymetli Kars DSİ 24. Bölge Müdürlüğü Kalite Kontrol Laboratuvarı personellerine ve tüm yüksek lisans öğrenimim boyunca yanımda olduğunu ve desteğini her zaman hissettiğim eşim Dr. Öğr. Üyesi Kürşad Çağrı BOZKIRLI'ya ve babam Erdoğan AK'a teşekkür ederim.

**Özge Ece BOZKIRLI**

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
<b>ÖZET</b> .....	<b>IV</b>
<b>ABSTRAT</b> .....	<b>V</b>
<b>ÖN SÖZ</b> .....	<b>VI</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>VII</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>VIII</b>
<b>TABLolar DİZİNİ</b> .....	<b>IX</b>
<b>SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>X</b>
<b>1. GENEL BİLGİLER</b> .....	<b>1</b>
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Araştırması.....	4
<b>2. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>13</b>
2.1. Kullanılan Malzemeler .....	13
2.2. Numunelerin Üretimi.....	17
2.3. Deney Grupları .....	21
2.4. Numunelerin Kodlanması.....	22
2.5. Deneylerin Yapıldığı Cihazlar.....	22
<b>3. BULGULAR</b> .....	<b>28</b>
3.1. Basınç Dayanımı .....	28
3.2. Maksimum Enerji Yutma Kapasitesi.....	30
3.3. Eğilme Dayanımı .....	34
<b>4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA</b> .....	<b>37</b>
<b>ÖZ GEÇMİŞ</b> .....	<b>44</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 1.1. Lif oranına göre gerilme-şekil değiştirme .....	5
Şekil 1.2. SIFCON'un gerilme-şekil değiştirme davranışı .....	6
Şekil 1.3. SIFCON numunelerin kırılma enerjileri .....	6
Şekil 1.4. SIFCON ile güçlendirilmiş kiriş .....	8
Şekil 1.5. SIFCON ile güçlendirilmiş kirişlerin yük-sehim grafiği .....	8
Şekil 1.6. Su kürü (a) ve buhar kürü (b) uygulanan harçların yük-sehim grafikleri .....	9
Şekil 1.7. Su kürü (a) ve buhar kürü (b) uygulanan SIFCON'ların yük-sehim grafikleri .....	9
Şekil 1.8. SIFCON birim maliyet ile mekanik özelliklerin ilişkisi .....	10
Şekil 2.1. Polipropilen lif .....	15
Şekil 2.2. Çelik lif .....	16
Şekil 2.3. SIFCON harcı .....	19
Şekil 2.4. Döküm sonrası .....	20
Şekil 2.5. Numunelerin kür havuzundaki durumu .....	21
Şekil 2.6. Basınç cihazı ve yükleme öncesi .....	23
Şekil 2.7. Yükleme sonrası .....	24
Şekil 2.8. Eğilme cihazının yükleme durumu .....	25
Şekil 2.9. Eğilme cihazı ve yükleme öncesi .....	26
Şekil 2.10. Yükleme sonrası .....	27
Şekil 3.1. Basınç dayanımı grafiği .....	30
Şekil 3.2. Maksimum enerji yutma kapasitesi grafiği .....	32
Şekil 3.3. Kırılmış ve ezilmiş numuneler .....	33
Şekil 3.4. Eğilme dayanımı grafiği .....	35
Şekil 3.5. Polipropilen liflerin numunedeki köprüleme işlevi .....	36



## TABLolar DİZİNİ

### Sayfa

<b>Tablo 1.1.</b> Yapı betonlarının bazı özelliklerine ait tipik değerler.....	1
<b>Tablo 2.1.</b> Elek analizi sonucu .....	13
<b>Tablo 2.2.</b> Polipropilen liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri.....	15
<b>Tablo 2.3.</b> Çelik liflerin fiziksel özellikleri .....	16
<b>Tablo 2.4.</b> CEM II 32,5 N tipi çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri ..	17
<b>Tablo 2.5.</b> Harç karışım oranları.....	22
<b>Tablo 3.1.</b> Lifsiz numunelerin basınç dayanımı .....	28
<b>Tablo 3.2.</b> Çelik lifli numunelerin basınç dayanımları.....	28
<b>Tablo 3.3.</b> Polipropilen lifli numunelerin basınç dayanımları.....	28
<b>Tablo 3.4.</b> Hibrit lifli numunelerin basınç dayanımları .....	29
<b>Tablo 3.5.</b> Lifsiz numunelerin maksimum enerji yutma kapasitesi.....	30
<b>Tablo 3.6.</b> Çelik lifli numunelerin maksimum enerji yutma kapasiteleri.....	31
<b>Tablo 3.7.</b> Polipropilen numunelerin maksimum enerji yutma kapasiteleri .....	31
<b>Tablo 3.8.</b> Hibrit numunelerin maksimum enerji yutma kapasiteleri.....	31
<b>Tablo 3.9.</b> Lifsiz numunelerin eğilme dayanımı .....	34
<b>Tablo 3.10.</b> Çelik lifli numunelerin eğilme dayanımları .....	34
<b>Tablo 3.11.</b> Polipropilen lifli numunelerin eğilme dayanımları .....	34
<b>Tablo 3.12.</b> Hibrit lifli numunelerin eğilme dayanımları .....	34

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$f_{ck}$	: 28 günlük küp numunenin basınç dayanımı	$Eu$	: Maksimum enerji yutma kapasitesi
$\varepsilon$	: Birim şekil değiştirme	MPa	: Megapaskal
$l$	: Boy	$m$	: Metre
$d$	: Çap, numune boyutu	$m^3$	: Metreküp
$S$	: Çelik	$\mu m$	: Mikrometre
SIFCON	: Çimento hamuru enjekte edilmiş lif donatılı beton	$mm$	: Milimetre
$dk.$	: Dakika	N	: Newton
$\sigma$	: Gerilme	P	: Polipropilen
$g$	: Gram	K <sub>2</sub> O	: Potasyum Oksit
H	: Hibrit	$sa.$	: Saat
kJ	: Kilo Joule	$s$	: Saniye
kN	: Kilo Newton	$^{\circ}C$	: Santigrat
$kg$	: Kilogram	$cm$	: Santimetre
$kg-f$	: Kilogram - kuvvet	$cm^2$	: Santimetrekare
Cl	: Klor	$cm^3$	: Santimetreküp
SO <sub>3</sub>	: Kükürt Trioksit	SiO <sub>2</sub>	: Silisyumdioksit
$F_v$	: Lif hacmi (%)	Na <sub>2</sub> O	: Sodyum Oksit
C	: Lifsiz	TL	: Türk lirası
MgO	: Magnezyum Oksit	TS EN	: Türk Standartları Enstitüsü
		$vb.$	: Ve benzeri/ benzerleri

# 1. GENEL BİLGİLER

## 1.1. Giriş

Günümüz yapılarının en önemli elemanlarından olan beton; temel olarak su, çimento ve farklı büyüklüklerdeki agrega ile ihtiyaca göre birtakım katkı maddelerinin bir araya getirilip karıştırılmasıyla oluşturulur. Başlangıçta plastik kıvamda olan bu karışım zamanla katılaşıp dayanım kazanır. Üretimindeki kolaylık, düşük maliyet, plastik kıvamdayken şekil verilebilir olma ve yüksek dayanım gibi özellikleri betonun yapılarda tercih sebeplerindendir (Kıllı, 2018; Kılınçarslan, Davraz ve Akça, 2018).

Her yapının hizmet süresinin, şeklinin ve maruz kalacağı dış etkenlerin farklı olması bu yapılarda tek tip betonun kullanımını engellemektedir. Yapılarda ihtiyaç duyulan özelliklerin değişiklik göstermesi beton türlerinin ve özelliklerinin değişmesine katkı sağlamaktadır (Canbay, 2014; Ören ve Gençel, 2017).

Beton türlerini normal ve özel betonlar şeklinde iki gruba ayırmak mümkündür. Normal betonlar düşük maliyetli yapılarda kullanılan ve basınç dayanımları 20 ila 50 MPa arasında değişen beton türüdür (Canbay, 2014; Bingöl, 2017). Normal beton gevrek bir malzeme olduğundan basınç dayanımı yüksek olmasına rağmen çekme dayanımı, eğilme dayanımı, deformasyon kapasitesi, enerji yutma kapasitesi gibi özellikleri açısından düşük performans gösterir (Bulutlar, 2006; Doğan, 2017; Kıllı, 2018). Daha önce de ifade edildiği gibi her yapının kendine has özelliklerinin bulunması ve normal betonlardaki bahsi geçen problemlerin ortadan kaldırılabilmesi amacıyla özel betonlar üretilmektedir.

**Tablo 1.1.** Yapı betonlarının bazı özelliklerine ait tipik değerler (Erdoğan, 2013, s. 5)

Özellikler	Tipik değerler
Basınç dayanımı	35 MPa
Eğilme dayanımı	6 MPa
Çekme dayanımı	3 MPa
Elastiklik modülü	28000 MPa

Poisson Oranı	0.2
Kırılmadaki çekme birim deformasyonu	0.001
Isısal genleşme katsayısı	$10 \times 10^{-6} / ^\circ C$
Büzülme (rötre) birim deformasyonu	%0.05-0.1
<b>Yoğunluk</b>	
Normal ağırlıklı beton	2300 $kg/m^3$
Hafif beton	1800 $kg/m^3$

I. Dünya Savaşı sırasında metal teminindeki problemlerden dolayı çimento betonunun makine ve takım tezgâhı gövdesi olarak kullanılabilceği fikri ortaya atılmış ancak uzun sertleşme süresi, nem hassasiyeti... gibi nedenlerle bu konuda ciddi bir gelişme yaşanmamıştır. Çimento betonunun makine gövdesi olarak kullanımına ilişkin araştırmalar 1940 yılına kadar sürmüştür, bu tarihten itibaren daha kolay üretilebilecek ve yüksek kaliteye sahip bileşimlerle oluşturulabilecek uygun makine gövdesi imalatı fikri önem kazanmaya başlamıştır. Süreç içerisinde çimento betonu ile ilgili yaşanan gelişmelere ve özel beton türlerinin ortaya çıkışına paralel olarak 70'li yıllardan itibaren beton yeniden makine ve tezgâh gövdesi imalatında alternatif bir malzeme olarak görülmeye başlanmıştır. Gövde imalatında dinamik yüklere, kimyasal etkilere ve yüksek gerilme oranlarına dayanımlı aynı zamanda şekil değişimlerine mümkün olduğunca az izin verecek malzemelere ihtiyaç duyulması özel beton türlerini öne çıkarmaktadır (Ateş, 1994).

Özel betonlar, yapı amacına göre normal betonlarda yapılan fiziksel, kimyasal veya mekanik iyileştirmeler sonucunda elde edilmektedir. Reaktif pudra betonu, polimer betonlar, mineral katkılı betonlar, yüksek dayanımlı betonlar, ultra yüksek dayanımlı betonlar, hafif betonlar, lifli betonlar, kendiliğinden yerleşen betonlar, püskürtme betonlar ve SIFCON özel beton türlerine örnek olarak verilebilir (Aitcin, 2000; Taşdemir, Bayramov, Kocatürk ve Yerlikaya, 2004; Kılınç, 2012; Özturan, 2013; Topsakal ve Özel, 2018).

Betonun güçlendirilmesinin en etkili yollarından biri içerisine çeşitli malzemelerden üretilmiş lif eklemidir. Bu şekilde sünekliği, çekme dayanımı, çatlak direnci ve enerji yutma kapasitesi artmış olan ultra yüksek dayanımlı beton üretilmiş olur (Soylu, 2017; Kılılı, 2018).

SIFCON ultra yüksek dayanımlı beton özelliklerine sahip ancak diğer lifli betonlara göre çok daha yüksek oranlarda lif içeren kompozit bir malzemedir. Örneğin çelik lifli betonlarda lif oranı %2-%3 düzeyindeyken SIFCON'da bu oran çeşitli kaynaklara göre %20 ila %30'a kadar çıkabilmekte bu düzeydeki lif ise sünekliği 10 kata kadar artırabilmektedir (Schneider 1992; Wang, 1994; Taşdemir ve Bayramov, 2002; Sharma, Chopadekar ve Bhatia, 2017).

SIFCON yoğun lif içerdiğinden harcın liflerin arasına homojen bir biçimde dağılabilmesi için malzeme boyutu önem taşımaktadır. Buna göre harcın tüm boşlukları doldurabilmesi için malzemenin mikro boyutta olması gerekmektedir. Yapılan araştırmalarda SIFCON harcı içerisindeki malzeme boyutunun en fazla 600 mikron büyüklüğünde olmasına dikkat edilmiştir (Doğan, 2017).

Kılılı'ya (2018, s. 7-8) göre SIFCON'un avantajları ve dezavantajları aşağıdaki gibidir:

#### **Avantajları:**

- SIFCON'da kullanılan liflerin etkisiyle eğilme dayanımı yüksek bir yapıya sahip beton oluşmaktadır.
- Darbe dayanımının yüksek olması ve patlama etkilerine dayanıklı olması koruma duvarlarında ve askerî binalarda kullanıma uygundur.
- Hasarlı yapıların (köprü, konut, hastane vb.) güçlendirilerek kısa sürede kullanıma hazır hâle gelmesinde yararlanılmaktadır.
- Düşük su/bağlayıcı oranı sayesinde sahip olduğu geçirimsiz yapısı SIFCON'un dayanıklılığını artırmaktadır.
- Donatı işçiliğinde azalma ve kolaylık sağlamaktadır.
- SIFCON'da bulunan yüksek orandaki lifler ile etkin çatlak kontrolü sağlanmaktadır.
- SIFCON sistemli bir çalışma ile seri üretim imkânı sunmaktadır.

### **Dezavantajları:**

- SIFCON'un üretimi ve uygulaması özel bir yöntem gerektirdiği için üretimi zordur.
- SIFCON'da kullanılan malzemeler farklı özelliklerde olduğu için normal betona göre yüksek maliyet oluşmaktadır.
- SIFCON numunelerini oluşturmak için özel sızdırmazlık sağlayacak kalıplar gerekmektedir.
- Bulamaç yapısının yoğun lifler arasına girebilmesi için akıcı kıvamda dayanım özellikleri yüksek bulamaç tasarımı gerekir.
- SIFCON elemanlarının onarım güçlendirme işlemlerinde taşıyıcı eleman ile bütünlüğünü sağlamak için özel yapıştırıcı malzemelerin gerekmesi yüksek maliyet oluşmasına neden olur.

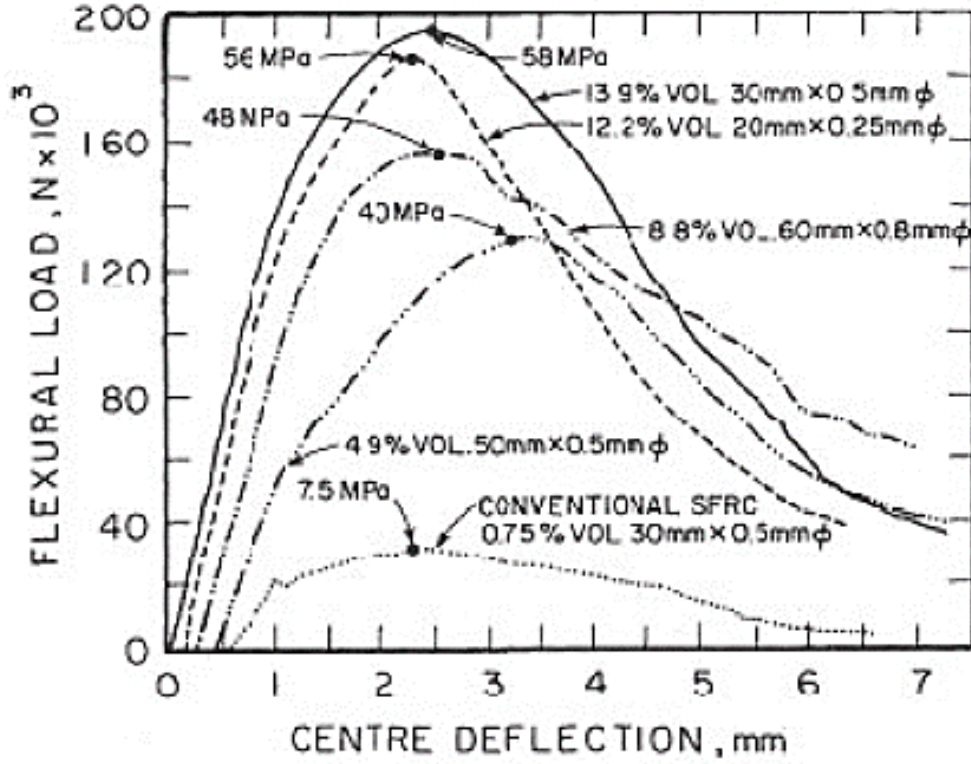
SIFCON yukarıda sıralanan avantajlarından dolayı patlama ve yangın riski bulunan askerî binalar ve sığınaklar gibi yapılar başta olmak üzere, endüstriyel zeminlerde, köprülerde, güçlendirme yapılarında kullanılabilir (Salih, Frayyeh ve Ali, 2018; Alcan ve Bingöl, 2019; Türker, Birol, Yavaş, Hasgül, ve Yazıcı, 2019).

Bu araştırmada, farklı lif türü ve hacminin SIFCON'un mekanik özelliklerine etkisinin incelenmesi amacıyla lifsiz, %6, %8 ve %10 çelik lifli, polipropilen lifli ve hibrit lif içerikli SIFCON numuneler hazırlanarak numune içeriklerindeki farklı lif türlerinin ve lif oranlarının SIFCON'un basınç dayanımı, maksimum enerji yutma kapasitesi ve eğilme dayanımına etkileri ortaya konmuştur.

### **1.2. Literatür Araştırması**

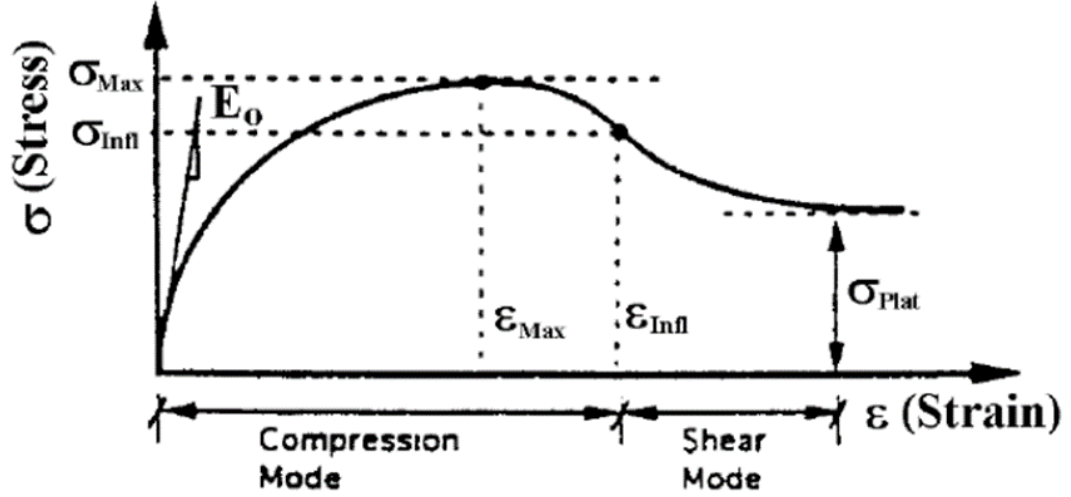
Araştırmanın bu bölümünde araştırmacı tarafından gerçekleştirilen literatür taraması sonucunda tespit edilen SIFCON ile ilgili araştırmalar kronolojik bir biçimde sunulmuştur.

Lankard ve Newell (1984) yaptıkları araştırmada, SIFCON'un lif içermeyen ya da düşük düzeyde lif içeren betonlara göre basınç ve eğilme dayanımları ile tokluk değerleri açısından daha iyi performans gösterdiğini tespit etmişlerdir (Şekil 1.1).



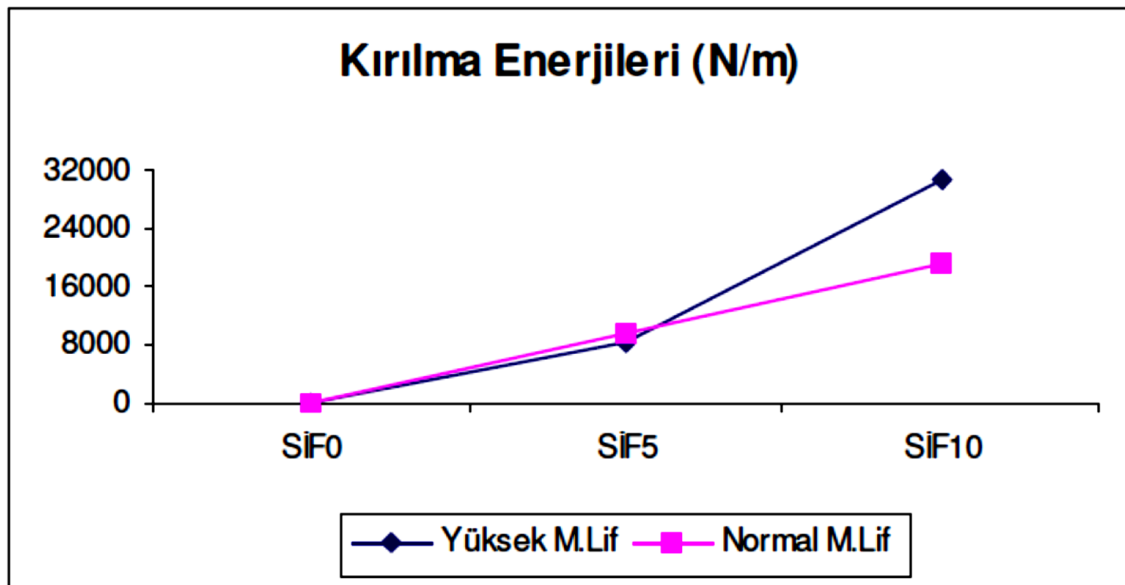
Şekil 1.1. Lif oranına göre gerilme-şekil değiştirme

Naaman'ın (1992) SIFCON'un maksimum performansına %9-%12 lif hacminde ulaştığını belirttiği araştırmada SIFCON'un gerilme-şekil değiştirme davranışı için model olarak ürettiği grafik Şekil 1.2'deki gibidir (Naaman, 1992).



Şekil 1.2. SIFCON'un gerilme-şekil değiştirme davranışı

Bulutlar (2006) %5 ve %10 oranında farklı metalik lifler kullanarak ürettiği SIFCON numunelerin elastisite modülü, yarma-çekme dayanımı, net eğilme dayanımı ve kırılma enerjisi özelliklerini incelemiştir. Araştırma sonucunda çelik lif içeriğinin ve dayanımının SIFCON'un tepe noktası sonrası davranışını anlamlı şekilde etkilediği, çelik lif miktarına ve dayanımına bağlı olarak kırılma enerjisinde ve net eğilme dayanımında artışlar sağladığı tespit edilmiştir. Buna göre kırılma enerjisi bağlamında SIFCON numuneler lifsiz numunelere göre 2000 kata varan değerlere ulaşmıştır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. SIFCON numunelerin kırılma enerjileri

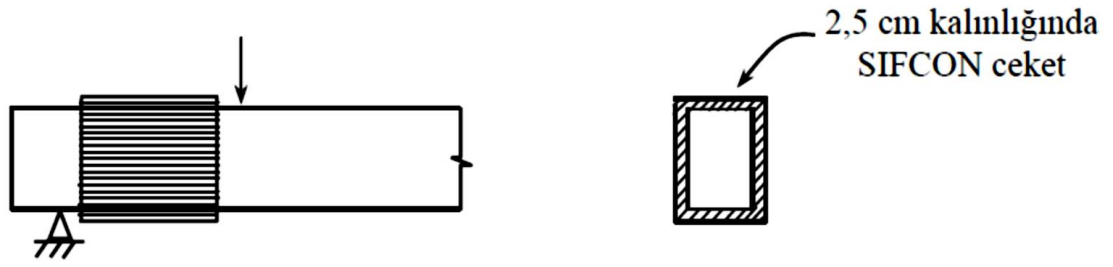


Gilani (2007) tarafından yürütülen araştırmada SIFCON'un geçirimsizlik, klor iyonu geçirimsizliğine dayanımı, donma-çözünme ve büzölme gibi durabilite özellikleri incelenmiştir. Bu kapsamda matris çeşidi, lif oranı ve elik lif geometrisinin SIFCON'un durabilite özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Araştırma sonucunda harç kullanılarak elde edilen SIFCON malzemesinin yüksek oranda su emme kapasitesine rağmen iyi durabilite özelliklerine sahip olduğu, mümkün olan en yüksek lif oranı ile üretilen SIFCON karışımının en iyi sonucu verdiği ve özellikle klor hücumuna uğraması durumunda SIFCON üretiminde kullanılan elik liflerin aşınmaya maruz kalmaması için düşük geçirimli kaplamalar ile korunması gerektiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte kancalı liflerle hazırlanan numunelerin kıvrımlı lifler kullanılarak hazırlananlara oranla daha az büzölme gösterdiği belirtilmiştir.

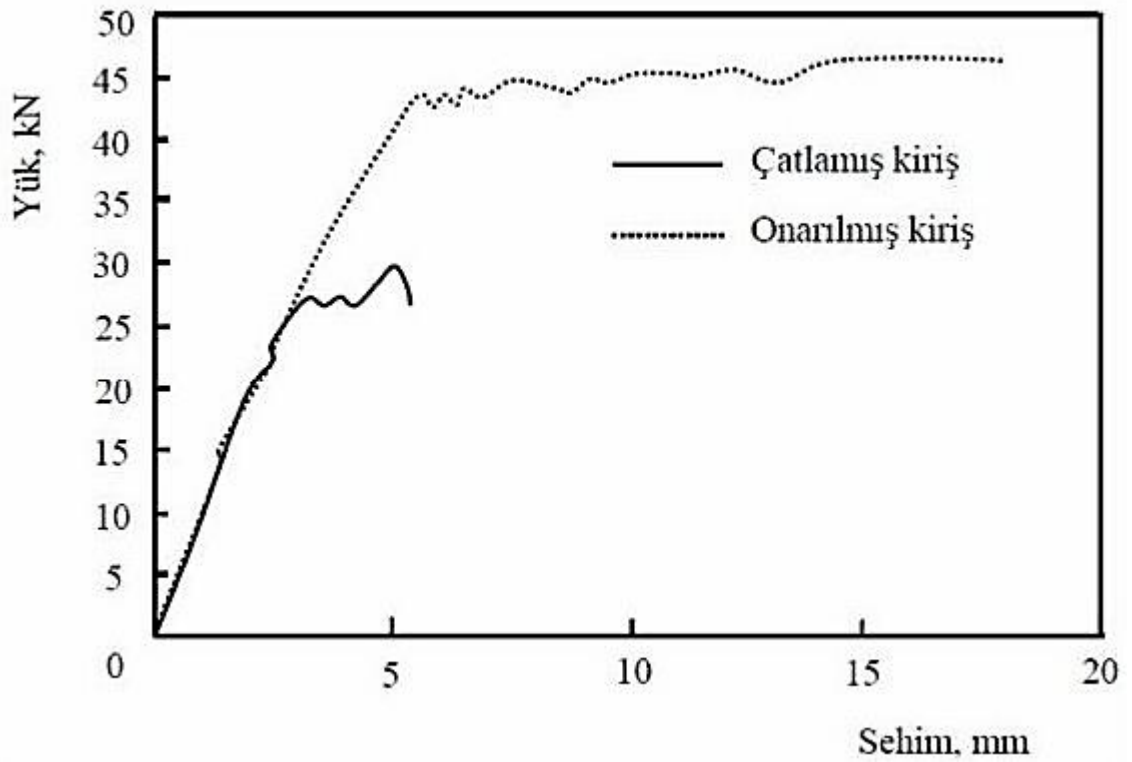
Rao, Ghorpade, Ramana ve Ghaneswar (2010) lifli, donatılı, donatısız betonlar ile %8, %10, %12 lif oranlı SIFCON ve %8, %10, %12 lif oranlı ve donatılı SIFCON numuneler üzerinde çarpma deneyleri yapmışlardır. Araştırma sonucunda %12 lif oranlı ve donatılı SIFCON'un en yüksek tokluk değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Mısır (2011) SIFCON bloklar ve kimyasal ankrajlarla iyileştirilen betonarme bina kolon-kiriş birleşimlerinin deprem durumundaki performansını incelemiştir. Yapılan araştırmaya göre SIFCON numunelerin deprem etkisine karşı daha yüksek dayanım ve kırılma değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir.

Yerlikaya (2013) tarafından yapılan araştırmada SIFCON ile hazırlanmış ince plaklar kayma donatısı yetersiz kirişlerin etrafına güçlendirme levhası olarak Şekil 1.4'teki gibi sarılmış ve yapılan bu işlemin kirişin yük-sehim grafiğine, tokluğuna ve çatlak sonrası yük taşıma performansına olumlu etkisinin olduğu tespit edilmiştir (Şekil 1.5).



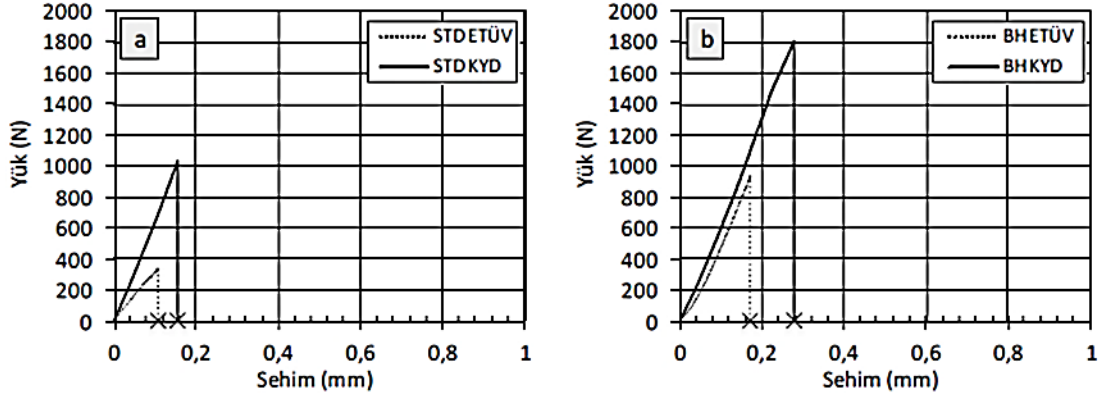
Şekil 1.4. SIFCON ile güçlendirilmiş kiriş



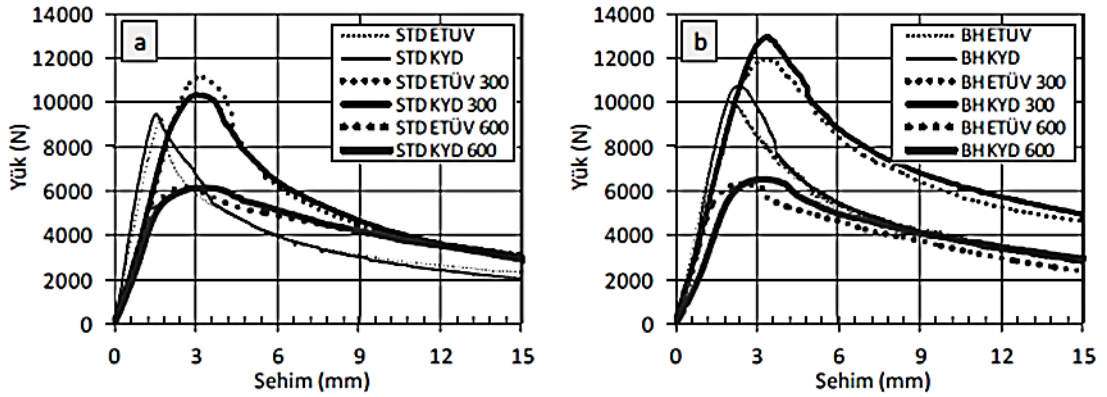
Şekil 1.5. SIFCON ile güçlendirilmiş kirişlerin yük-sehim grafiği

Yalçınkaya, Beglarigale, Yazıcı ve Yiğiter (2013) yüksek sıcaklığın %50 fırın cürufu, %20 çelik lif içeren SIFCON numunelerin eğilme performansına etkisini araştırmışlardır. Buhar kürü ve standart kür işlemine tabi tutulan numuneler doygun ya da kuru hâlde 300°C ve 600°C sıcaklığa maruz bırakılmış ve sonuçlar sıcaklığa maruz bırakılmamış kontrol numuneleri ile karşılaştırılmıştır. Araştırma sonucunda 300°C sonrasında lifli numunelerin eğilme dayanımının ve tokluğunun arttığı (Şekil 1.6), 600°C sıcaklığa maruz

kalan numunelerde ve çelik liflerde ise önemli oranda dayanım kaybı olduğu (Şekil 1.7.) tespit edilmiştir.

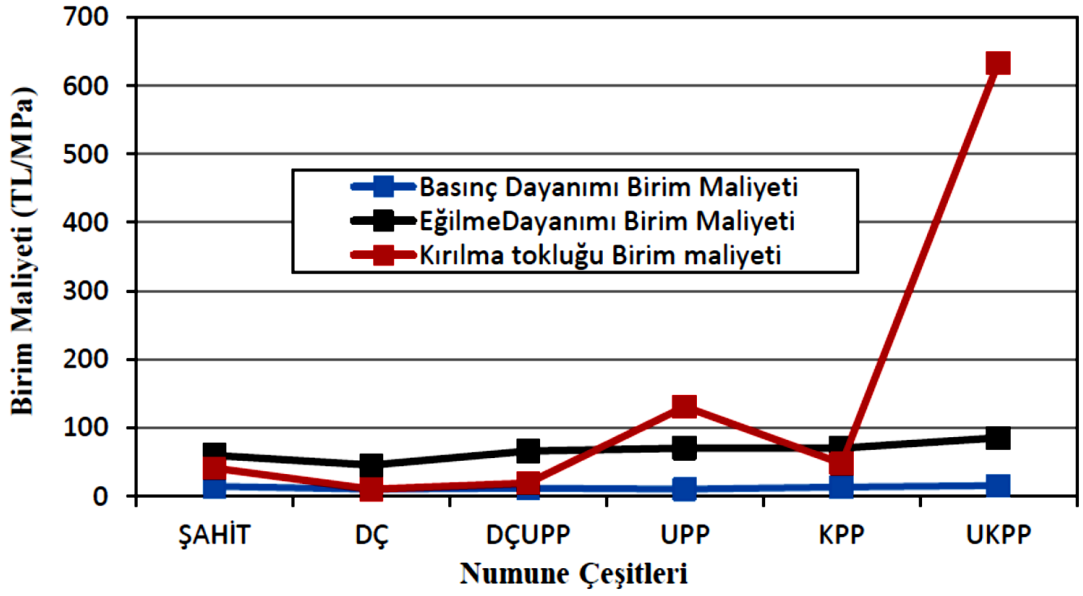


Şekil 1.6. Su kuru (a) ve buhar kuru (b) uygulanan harçların yük-sehim grafikleri



Şekil 1.7. Su kuru (a) ve buhar kuru (b) uygulanan SIFCON'ların yük-sehim grafikleri

Canbay (2014) yaptığı araştırmada iki ucu kancalı çelik lif ve farklı türde polipropilen liflerin SIFCON'un fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir. Araştırma sonucunda çelik liflerin mekanik özellikler üzerinde polipropilen liflere göre daha olumlu etkisinin olduğu ve dayanım maliyeti açısından çelik lif kullanılmasının ekonomik olduğu belirtilmiş ancak korozyon etkisinin yüksek olduğu yerlerde polipropilen liflerin kullanımının daha uygun olacağı ifade edilmiştir.



Şekil 1.8. SIFCON birim maliyet ile mekanik özelliklerin ilişkisi

Giridhar ve Rama Mohana Rao (2015) farklı oranlardaki çelik liflerin SIFCON'un mekanik özellikleri üzerindeki etkisini inceledikleri araştırmalarında %4, %6 ve %8 oranında çelik lif içerikli SIFCON numunelerin basınç, eğilme ve çekme dayanımlarını tespit etmişlerdir. Yapılan araştırma sonucunda %8 çelik lif içeriğine sahip olan SIFCON betonun en yüksek basınç, eğilme ve çekme dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir.

İpek, Canbay ve Yılmaz (2015) çelik ve polipropilen liflerin yalnız ve kombinasyonlu olarak kullanılmasının SIFCON'un mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Hazırlanan SIFCON numuneler üzerinde basınç ve eğilme dayanımı, kırılma tokluğu, ultrases geçiş hızı, schimdt test çekici deneylerinin yapıldığı araştırma sonucunda çelik liflerin mekanik özelliklere katkısının polipropilen liflere göre daha iyi olduğu, birim dayanım maliyeti açısından dalgalı şekilli çelik liflerin daha ekonomik olduğu, düşük dayanımına rağmen korozyon riski bulunan yerlerde polipropilen lif kullanılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Canbaz ve Ünüvar'ın (2016) yaptıkları araştırmada farklı lif ve bağlayıcılarla üretilen SIFCON'un özellikleri incelenmiştir. SIFCON üzerindeki lif etkisinin belirlenebilmesi amacıyla iki farklı boyda çelik ve polipropilen lifler; bağlayıcı etkisinin belirlenebilmesi

amacıyla ise portland çimento, puzolanlı çimento, kalsiyum alüminatlı çimento, uçucu kül kullanılmıştır. Araştırma sonucunda bağlayıcı türünün SIFCON'un birim ağırlık, ultrases geçiş hızı, eğilme dayanımı, basınç dayanımı, su emme gibi özelliklerini etkilediği, çelik lif kullanımının bu özellikleri geliştirdiği, makro özellikleri iyileştirmede makro liflerin daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir.

Bingöl (2017) SIFCON betonun rijit üst yapılarda kullanılabilirliğini incelemiştir. Taguchi Metodu kullanılarak yapılan deneylerde 40, 55, 65, 80 çelik lif narinliğinin, %3, %6, %9, %12 lif oranının, 0.30, 0.35, 0.40, 0.45 su / bağlayıcı oranının ve %0, %5, %10, %15 silis dumanı oranının basınç ve eğilme dayanımına etkileri araştırılmıştır. SIFCON numunelerin basınç ve eğilme dayanımları üzerindeki en etkili değişkenin lif narinliği olduğu sonucuna varılan çalışmada, silis dumanının da basınç ve eğilme dayanımına olumlu katkısının olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte eğilme dayanımına olumlu katkısı sebebiyle SIFCON'un rijit üst yapılarda kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Vijayakumar ve Dinesh Kumar (2017) araştırmalarında normal donatılı beton ile SIFCON betonunu basınç, eğilme, çekme ve aşınma açılarından karşılaştırmışlardır. Sabit cam elyafı ve %5, %7, %9, %11 çelik lif oranlarına sahip olarak hazırlanan SIFCON numuneler ile geleneksel betonun karşılaştırıldığı çalışmada SIFCON'un basınç, eğilme, çekme ve aşınma dayanımı açısından normal donatılı betona göre daha yüksek performans gösterdiği tespit edilmiştir. En yüksek performansa %9 çelik lif içerikli numunelerle ulaşıldığının belirtildiği çalışmada daha yüksek lif oranının harcın yerleşmesini güçleştirdiği ve sonuçları olumsuz etkilediği ifade edilmiştir. Araştırmacılar lif geometrisinin betonun dayanımı üzerindeki etkisinden bahsederek kıvrımlı çelik lifin SIFCON'UN dayanımına olumlu katkı sağlayacağını belirtmişlerdir.

Al-Rousan ve Shannag (2018) Normal donatılı betonarme kirişlerin SIFCON ile güçlendirilmesi üzerine çalışmışlardır. Araştırma sonucunda SIFCON ceketleri ile güçlendirilmiş tüm kirişlerin mükemmel bir kesme dayanımı gösterdiği tespit edilmiştir. Dış makaslama takviyesi olarak SIFCON ceketlerinin kullanılmasının kirişlerin nihai kesme dayanımını %16 oranında artırdığının ortaya konduğu araştırma sonucunda SIFCON'un donatılı yapıların güçlendirilmesinde kullanılabileceği belirtilmiştir.

Kıllı (2018) tarafından yapılan araştırmada kr yönteminin SIFCON'un mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Araştırma kapsamında ilk olarak iki farklı orandaki bağlayıcı ile yüksek fırın cürufu ve uçucu kül içeriğine sahip karışımlar üzerinde yapılan dayanım deneyleri ile en uygun karışım belirlenmiştir. Daha sonra hazırlanan karışıma iki farklı narinliğe sahip elik lifler %4 ve %8 oranında katılarak SIFCON numuneler üretilmiştir. Standart, kuru ve hızlı kr yöntemlerine tabi tutulan SIFCON numuneler üzerinde ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, kılcal su emme ve darbe dayanımı deneyleri yapıldığı çalışma sonucunda en iyi dayanım özelliklerinin standart kr sonrası elde edildiği, en yüksek eğilme dayanımına narinlik oranı 55 olan, %8 oranında elik lif içeren numunelerin ulaştığı tespit edilmiştir.

Bayrak, Bingöl ve Bayata (2019) tarafından yapılan araştırmada SIFCON'un rijit kaplama olarak kullanımı incelenmiştir. Dört farklı lif görünüm oranı, lif hacmi, su/imento oranı ve silis dumanı kullanılarak hazırlanan SIFCON numuneler ile yapılan deneyler sonucunda beton kaplamaların basınç ve eğilme dayanımında en önemli rolü lif görünüm oranının oynadığı tespit edilirken, basınç dayanımı için en uygun lif görünüm oranının 55, lif oranının %3, su/bağlayıcı oranının 0.45 ve silis dumanı oranının %5; eğilme dayanımı için en uygun lif görünüm oranının 80, lif oranının %12, su / bağlayıcı oranının 0.45 ve silis dumanının %5 olduğu belirtilmiştir.

Soylu ve Bingöl (2019) elik lif narinliğinin ve lif oranının SIFCON'un basınç ve eğilme dayanımları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. %0, %4, %8 ve %12 oranlarına ve 40, 55, 65, 80 narinliklerine sahip elik lifli numuneler üzerinde yapılan basınç ve eğilme deneyleri sonucunda %8 lif hacmine kadar elik liflerin SIFCON numunelerin basınç ve eğilme dayanımlarını artırdığı, daha yüksek lif oranlarının ise harcın yerleşmesini zorlaştırdığından basınç ve eğilme dayanımlarını düşürdüğü, narinlik oranının artışına paralel olarak basınç ve eğilme dayanımının arttığı tespit edilmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Araştırmanın bu bölümde numunelerin üretiminde kullanılan malzemeler, malzemelerin karışım hesabı, üretim şekli ve deneylerin yapıldığı cihazlar hakkında bilgi verilmiştir.

### 2.1. Kullanılan Malzemeler

#### 2.1.1. Kuvars Kumu

Doğada yaygın olarak bulunan ve yüksek oranda silis içeren kuvars taşının öğütülmesiyle üretilen kuvars kumu tane boyutları 2.00 mm'den küçük kuvars (SiO<sub>2</sub>) tanecikleridir. Yüksek ısı, basınç ve aşınma dayanımları sebebiyle endüstrinin birçok kolunda olduğu gibi inşaat sektöründe de kullanılan kuvars kumu özellikle yüksek performanslı beton üretiminde sıklıkla tercih edildiğinden bu araştırmada da agrega olarak kullanılmıştır.

Deneylerde kullanılan ve Okyanus Arıtma firmasından temin edilen 0-400  $\mu\text{m}$  tane boyutuna ve 2.64  $\text{g}/\text{cm}^3$  yoğunluğa sahip kuvars kumu en büyük tane boyuna sahip malzemedir. Kuvars kumu elek analizi sonuçları Tablo 2.1'deki gibidir.

**Tablo 2.1.** Elek analizi sonucu

Tane boyutu ( $\mu\text{m}$ )	Elekten geçen (%)
1	0,8
2	0,29
3	0,38
4	0,54
5	0,79
10	1,10
20	1,45
30	1,72
40	1,85
60	2,78

80	5,53
90	8,51
100	10,36
200	38,25
300	72,47
400	97,10
500	100

### **2.1.2. Hiper Akışkanlaştırıcı**

Deneyler sırasında hiper akışkanlaştırıcı olarak modifiye polikarboksilat esaslı polimerden üretilen Sika ViscoCrate Hi-tech 33 katkı maddesi kullanılmıştır.

### **2.1.3. Lifler**

Numunelerin üretiminde çelik ve polipropilen lifler kullanılmıştır.

#### **2.1.3.1. Polipropilen Lif**

Numune üretiminde kullanılan polipropilen lifler Atlas 1 firmasından temin edilmiştir. Makro sentetik fiber olan bu lifler betonun tokluk ve mukavemet değerlerine olumlu katkı yapmasının yanı sıra çatlamları engellemesi, segregasyonu azaltması, aşınma direncini artırması ve korozyona uğramaması gibi nedenlerden dolayı tercih edilmiştir. Kullanılan polipropilen liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 2.2'deki gibidir.





**Şekil 2.1.** Polipropilen lif

**Tablo 2.2.** Polipropilen liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri

Yüzey	Yoğunluk	Boy	Çekme Dayanımı	Alevlenme Noktası	Erime Noktası
Düz-Düzensiz Kesitli	0,91 <i>gr/cm<sup>3</sup></i>	48-58 <i>mm</i>	600-800 MPa	548 °C	160-170 °C

### 2.1.3.2. Çelik Lif

Fiziksel özellikleri Tablo 2.3'te verilen ve numunelerin basınç ve eğilme özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılan kanca uçlu çelik lifler Atlas 1 firmasından temin edilmiştir. Deneyler sırasında kullanılan çelik lifler Şekil 2.2'deki gibidir.



**Şekil 2.2.** Çelik lif

**Tablo 2.3.** Çelik liflerin fiziksel özellikleri

Çap	Narinlik	Boy	Çekme Mukavemeti
1.00 mm	50 l/d	50 mm	1200 MPa

#### 2.1.4. Çimento

Deneyler sırasında Çimentaş Kars Fabrikasında üretilmiş TS EN 197-1:2002 (EN, 2002) standartlarına uygun CEM II 32,5 N sınıfı portland kompoze çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 2.4'teki gibidir.

**Tablo 2.4.** CEM II 32,5 N tipi çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri

<b>Fiziksel Özellikler</b>	
Özgül Yüzey	4260 $cm^2/g$
Hacim Sabitliği	0.5 mm
Priz Başlangıcı	200 dk.
Priz Sonu	05:00 sa.
<b>Kimyasal Özellikler</b>	
SO <sub>3</sub>	%2,3
MgO	%1,9
Cl	%0,007
Kızdırma Kaybı	%3,7
Çözünmeyen Kalıntı	%20,7
Serbest Kireç	%0,8
Eşdeğer Alkali (Na <sub>2</sub> O+0,658K <sub>2</sub> O)	%1,5
Su İhtiyacı (Vicat Suyu)	%31,3
<b>Basınç Dayanımı</b>	
2 günlük	16,3 MPa
7 günlük	28,4 MPa
28 günlük	38,8 MPa

### 2.1.5. Su

Deneyleerde içilebilir durumdaki Kars DSİ kuyu suyu kullanılmıştır.

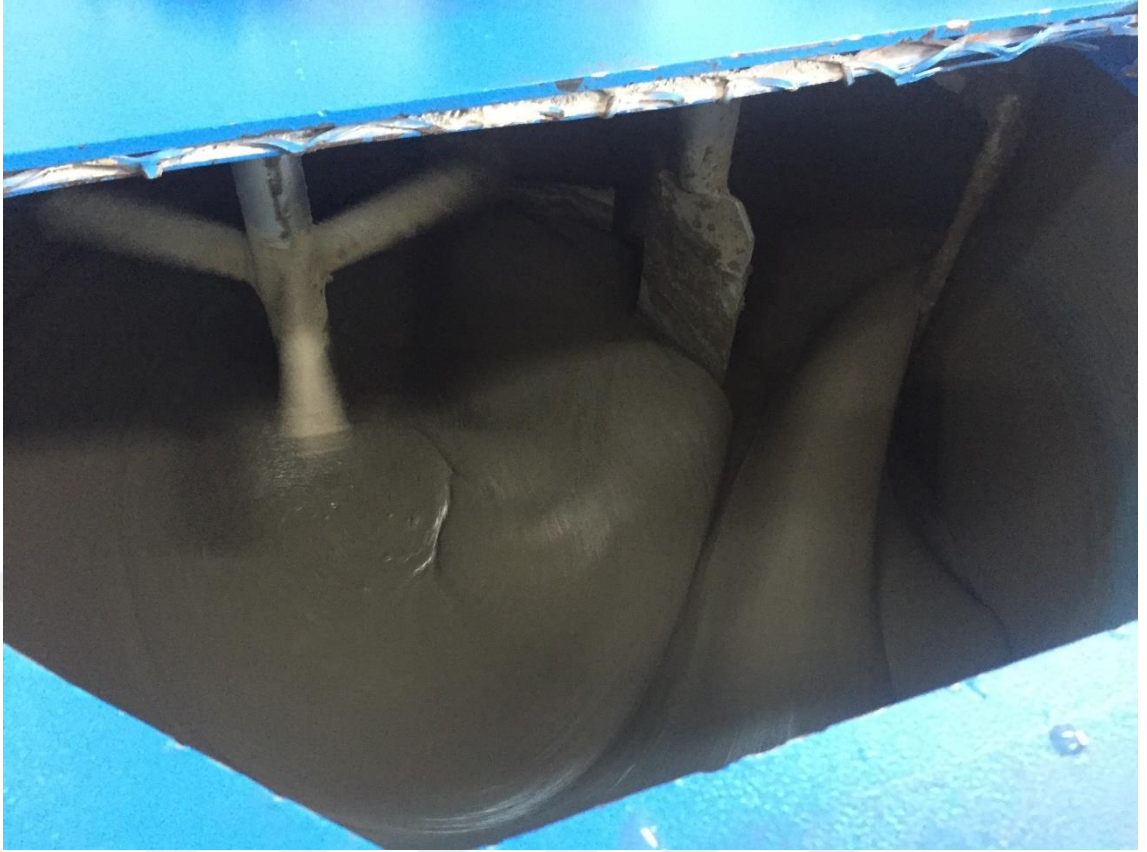
### 2.2. Numunelerin Üretimi

İçeriğindeki katkı maddeleri, yüksek miktardaki lif, ve malzeme boyutu nedeniyle normal betondan farklılaşan SIFCON numunelerin üretildiği bu araştırmada ilk olarak 15 cm x 15 cm x 15 cm ölçülerindeki küp ve araştırmacı tarafından özel olarak imal ettirilen 6,5 cm x 6,5 cm x 21 cm ölçülerindeki prizma kalıplar temizlenip iç yüzeyleri sökümün kolaylaşması için yağlanmıştır.

Deneyleerde farklı lif türü ve hacminin SIFCON'un mekanik davranışlarına etkisi incelendiğinden; %6, %8 ve %10 lif oranına sahip çelik lifli, polipropilen lifli ve hibrit içerikli SIFCON numuneler hazırlanmıştır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda %6 çelik lifli küp numunelerde 1,58 kg, prizma numunelerde 600 g; %8 çelik lifli küp numunelerde 2,12 kg, prizma numunelerde 800 g; %10 çelik lifli küp numunelerde 2,65 kg, prizma numunelerde 1 kg çelik lif; %6 polipropilen lifli küp numunelerde 182 g, prizma numunelerde 69 g; %8 polipropilen lifli küp numunelerde 245 g, prizma numunelerde 92 g; %10 polipropilen lifli küp numunelerde 306 g, prizma numunelerde 116 g polipropilen lif; %6 hibrit lifli küp numunelerde 700 g çelik lif + 91 g polipropilen lif, prizma numunelerde 300 g çelik lif + 34,5 g polipropilen lif; %8 hibrit lifli küp numunelerde 1,06 kg çelik lif + 122 g polipropilen lif, prizma numunelerde 400 g çelik lif + 46 g polipropilen lif; %10 hibrit lifli küp numunelerde 1,3 kg çelik lif + 153 g polipropilen lif, prizma numunelerde 500 g çelik lif + 58 g polipropilen lif kullanılması gerektiği belirlenmiştir.

Kullanılacak lif miktarlarının tespitinden sonra numune üretimi için ilk olarak belirlenen çimento, kuvars kumu, su ve hiper akışkanlaştırıcı miktarının 1/2'si 5 dakika boyunca 800 devir / dakika özelliğine sahip mikserde karıştırılmıştır. Geriye kalan malzeme karıştırma sürerken kademeli bir biçimde karışıma eklenerek harç hazırlanmıştır (Şekil 2.3).



**Şekil 2.3.** SIFCON harcı

Çelik, polipropilen ve hibrit lif içerikli numuneler hazırlanırken küp ve prizma kalıplar içerisine öncelikle bir miktar harç dökülmüş ardından da kalıp içerisine bir miktar lif eklenerek liflerin kalıp içerisinde olabildiğince homojen dağılabilmesi için birkaç dakika elle sarsma işlemi uygulanmıştır. Daha sonra kalan lifler ve harç eklenerek harcın liflerin arasına daha iyi yerleşebilmesi için elle sarsma işlemi tekrar edilmiş ve döküm işlemi bitirilmiştir (Şekil 2.4).



**Şekil 2.4.** Döküm sonrası

Hazırlanan numuneler kalıplarda mukavemet kazanmaları için bir gün bekletilmiş daha sonra kalıplar sökülerek kirece doymun hâldeki kür havuzuna konulmuştur (Şekil 2.5). Numuneler 28 gün boyunca kür havuzunda tutulmuşlardır.



**Şekil 2.5.** Numunelerin kür havuzundaki durumu

### **2.3. Deney Grupları**

Yapılan araştırmada %6, %8 ve %10 lif oranlarına sahip elik lifli, polipropilen lifli ve hibrit içerikli numuneler hazırlanmıştır.

Her gruptan 3 kp, 3 prizma numunenin hazırlandığı bu araştırmada toplamda 60 (30 küp ve 30 prizma) numune üretilmiştir. Üretilen küp numunelerin basınç dayanımları ve maksimum enerji yutma değerleri; prizma numunelerin ise eğilme dayanımları belirlenmiştir.

Farklı lif türü ve oranına sahip SIFCON numunelerin üretiminden sonra karşılaştırma yapılabilmesi için lifsiz numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan beton harcı karışım oranı, Tablo 2.5'deki gibidir.

**Tablo 2.5.** Harç karışım oranları (1 m<sup>3</sup>)

	<b>C</b>	<b>S06</b>	<b>S08</b>	<b>S10</b>	<b>P06</b>	<b>P08</b>	<b>P10</b>	<b>H06</b>	<b>H08</b>	<b>H10</b>
Çimento										
(kg/m <sup>3</sup> )	800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
Su										
(kg/m <sup>3</sup> )	320	320	320	320	320	320	320	320	320	320
Kuvars Kumuru										
(kg/m <sup>3</sup> )	1083	1083	1083	1083	1083	1083	1083	1083	1083	1083
Katkı										
(kg/m <sup>3</sup> )	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

#### 2.4. Numunelerin Kodlanması

Deneyle esnasında 10 grup oluşturulmuştur. Lifsiz numuneler C; çelik lifli numuneler lif oranlarına göre S06, S08, S10; polipropilen lifli numuneler lif oranlarına göre P06, P08, P10 ve hibrit numuneler lif oranlarına göre H06, H08, H10 şeklinde isimlendirilmişlerdir.

#### 2.5. Deneylelerin Yapıldığı Cihazlar

##### 2.5.1. Basınç dayanımı ve maksimum enerji yutma kapasitesi değeri hesabı

Hazırlanan küp numunelerin basınç dayanımı hesaplamaları, TS EN 12390-3'e (EN, 2003) göre yapılmıştır. Deneyle cihazına Şekil 2.6'daki gibi yerleştirilen numuneler 0,5 MPa/s hızında yükleme işlemine tabi tutulmuş ve ardından gözlenen maksimum kuvvet Denklem 2.1'de yerine konularak numunelerin basınç dayanımı hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

**Denklem 2.1.**







**Şekil 2.7.** Yükleme sonrası

Tokluk malzemenin absorbe ettiği enerji miktarını ifade eder. Sünek malzemelerin tokluğu gevrek malzemelere göre daha fazladır.

Tokluk değerinin hesaplanması için uygun cihaz olmadığından Rao, Ghorpade Ramana ve Ghaneswar (2009) tarafından SIFCON'un maksimum enerji yutma kapasitesi hesabında kullanılabileceği belirtilen Denklem 2.2 kullanılmıştır:

$$E_u = (0.185 + 0.036F_v)f_{ck}^2$$

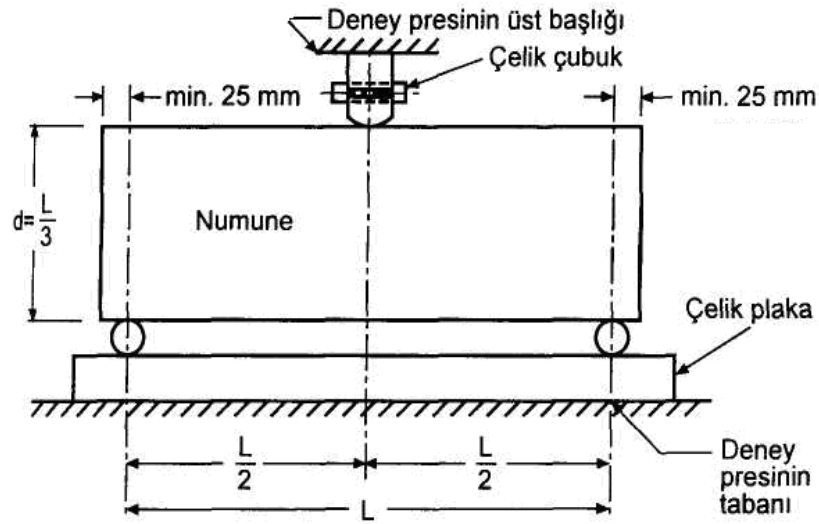
**Denklem 2.2.**

Denklem 2.2’de “ $E_u$ ” maksimum enerji yutma kapasitesini,  $F_v$  lif hacminin % olarak oranını,  $f_{ck}$  28 günlük küp numunelerin basınç dayanımlarını ifade etmektedir.

**2.5.2. Eğilme Dayanımı Hesaplanması**

Hazırlanan SIFCON prizma numunelerin eğilme dayanımı deneyleri TS EN 12390-5’e (EN, 2009) göre yapılmıştır. Buna göre, araştırma kapsamında hazırlanan SIFCON numunelerin eğilme dayanım hesaplamaları normal betonlarla aynı şekilde yapılmaktadır.

SIFCON prizma numunelere Şekil 2.8’deki gibi tek noktadan yükleme yapılmıştır. Yüklemenin dakikada  $5 \text{ kg-f/cm}^2$  ( $50 \text{ N/cm}^2$ ) olacak şekilde ayarlandığı deney sırasında kirişlerin tam ortasından gerçekleşmesine özen gösterilmiştir. SIFCON’un kırılmasının ardından cihaz tarafından ölçülen kuvvet değeri Denklem 2.3’te yerine konulmuş ve numunenin eğilme dayanımı hesaplanmıştır. Deney cihazı ve yükleme durumu Şekil 2.9’daki gibidir.



**Şekil 2.8.** Eğilme cihazının yükleme durumu

$$\sigma = \frac{3PL}{2bd^2}$$

**Denklem 2.3.**



**Şekil 2.9.** Eğilme cihazı ve yükleme öncesi



**Şekil 2.10.** Yükleme sonrası

### 3. BULGULAR

Araştırmanın bu bölümünde farklı lif türü ve hacmine sahip SIFCON numunelerle gerçekleştirilen deneyler sonucunda elde edilen basınç, eğilme ve maksimum enerji yutma kapasitesi değerlerine ilişkin bulgular tablolar ve grafikler şeklinde sunulmuştur.

#### 3.1. Basınç Dayanımı

Yapılan deneyler sonrasında basınç dayanımlarını belirlemek için hazırlanan lifsiz, çelik lifli, polipropilen lifli ve hibrit içeriğe sahip 15 cm'lik küp numunelerden elde edilen sonuçlar Tablo 3.1, Tablo 3.2, Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'teki gibidir. Şekil 3.1'de ise tüm numunelerden elde edilen sonuçlar grafik şeklinde bir arada sunulmuştur. Numunelerin basınç dayanımlarına ilişkin hazırlanan tablolar ve grafikte C (Lifsiz), S (Çelik), P (Polipropilen) ve H (Hibrit) lifli numunelerden elde edilen değerleri göstermektedir.

**Tablo 3.1.** Lifsiz numunelerin basınç dayanımı

Numune	Değer
C	39.44 MPa

**Tablo 3.2.** Çelik lifli numunelerin basınç dayanımları

Numune	Değer
S06	48.39 MPa
S08	51.84 MPa
S10	56.45 MPa

**Tablo 3.3.** Polipropilen lifli numunelerin basınç dayanımları

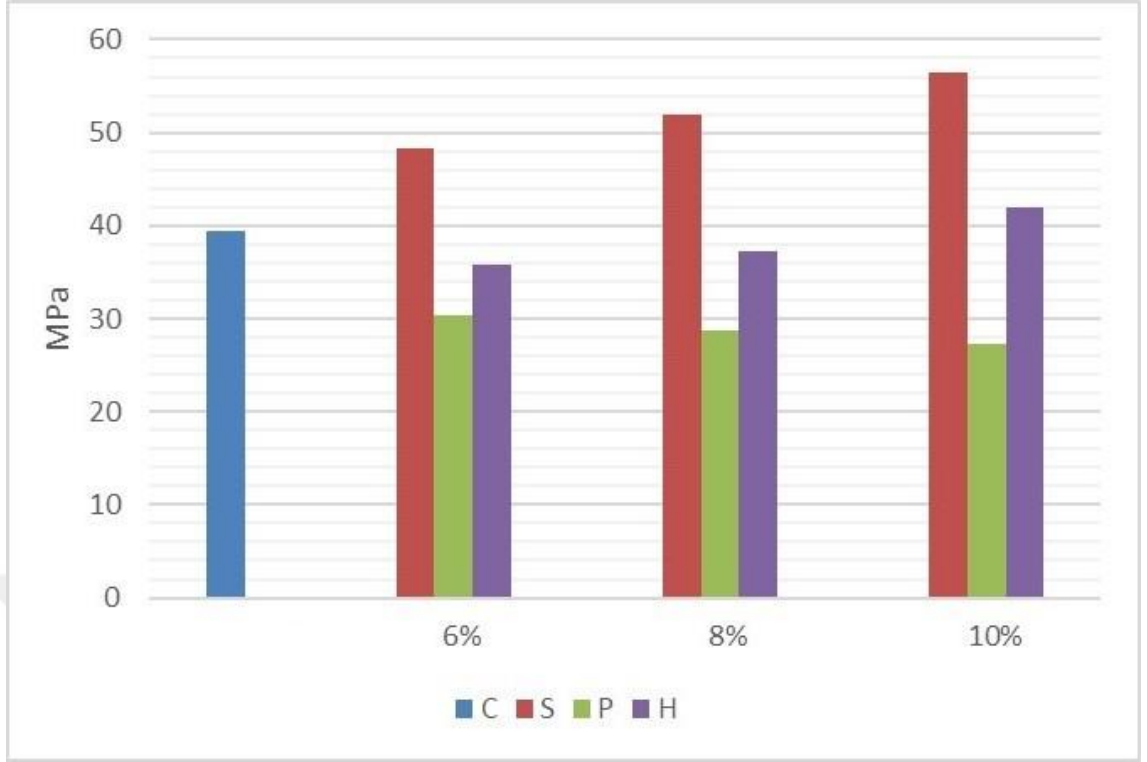
Numune	Değer
P06	30.36 MPa
P08	28.82 MPa

P10	27.31 MPa
-----	-----------

**Tablo 3.4.** Hibrit lifli numunelerin basınç dayanımları

Numune	Değer
H06	35.76 MPa
H08	37.21 MPa
H10	41.94 MPa

Tablolar bir arada değerlendirildiğinde üretilen SIFCON numuneler içerisinde en yüksek basınç dayanımına sahip olanların çelik lifli içeriğe sahip numuneler olduğu anlaşılmaktadır. Bununla birlikte polipropilen lifli numuneler için tam tersi bir durum söz konusudur. Polipropilen lifli numunelerin basınç dayanımlarının lifsiz numunelere göre daha düşük olduğu görülmektedir. Gerek çelik lifli numunelerde lif oranının artmasıyla yükselen basınç dayanım değerleri gerekse de hibrit numunelerin basınç dayanımlarının polipropilen numunelere göre artış göstermesi çelik liflerin harçla daha iyi aderans yapmasından ve özgül dayanımlarının polipropilen liflere göre daha yüksek olmasından kaynaklanıyor olabilir. Bununla birlikte polipropilen lifler yüzey alanlarının büyüklüğünden ve yüzeylerinin düz olmasından dolayı SIFCON'un içeriğindeki ince malzemelerce sarılamadığı ve beton içinde boşluk davranışı göstererek numunelerin basınç dayanımlarını olumsuz etkilediği düşünülmektedir.



Şekil 3.1. Basınç dayanımı grafiği

### 3.2. Maksimum Enerji Yutma Kapasitesi

Basınç dayanım deneyleri sırasında deney cihazının uygun olmaması nedeniyle numunelerin tokluk değerleri belirlenemediğinden Rao, Ghorpade Ramana ve Ghaneswar (2010) tarafından SIFCON'un maksimum enerji yutma kapasitesinin hesaplanmasında kullanılabileceği ifade edilen formül aracılığıyla yapılan hesaplamalar sonucunda SIFCON numuneler için belirlenen maksimum enerji yutma kapasitesi değerleri Tablo 3.5, Tablo 3.6, Tablo 3.7 ve Tablo 3.8'deki gibidir. Tüm numunelere ait maksimum enerji yutma kapasitesi değerleri Şekil 3.2'de grafik şeklinde sunulmuştur.

Tablo 3.5. Lifsiz numunelerin maksimum enerji yutma kapasitesi

Numune	Değer
C	287.77 kJ



**Tablo 3.6.** Çelik lifli numunelerin maksimum enerji yutma kapasiteleri

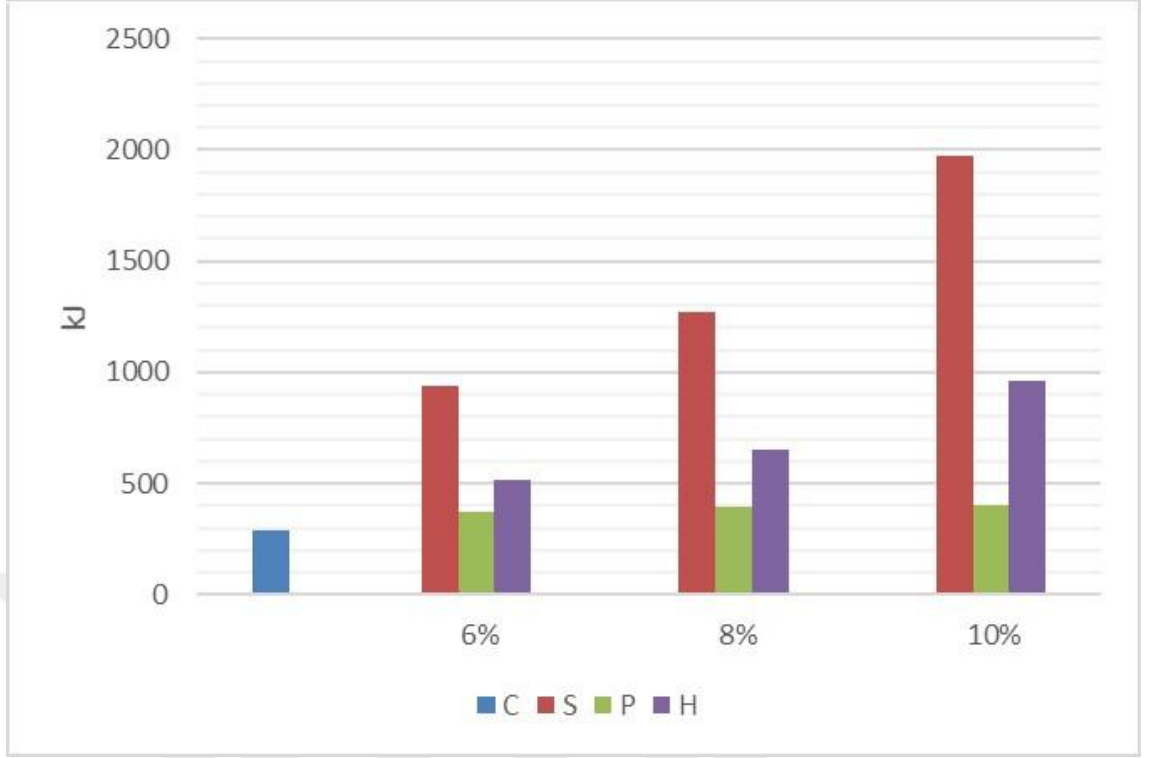
<b>Numune</b>	<b>Değer</b>
S06	938.98 kJ
S08	1271.13 kJ
S10	1736.7 kJ

**Tablo 3.7.** Polipropilen numunelerin maksimum enerji yutma kapasiteleri

<b>Numune</b>	<b>Değer</b>
P06	369.61 kJ
P08	392.87 kJ
P10	406.48 kJ

**Tablo 3.8.** Hibrit numunelerin maksimum enerji yutma kapasiteleri

<b>Numune</b>	<b>Değeri</b>
H06	512.79 kJ
H08	654.9 kJ
H10	958.63 kJ



**Şekil 3.2.** Maksimum enerji yutma kapasitesi grafiği

Tablolar ve grafikte görüldüğü gibi çelik lifli numuneler en yüksek maksimum enerji yutma kapasitesine sahiptirler. Bu durumun çelik liflerin özgül dayanımlarının yüksekliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Polipropilen lifler beton içinde boşluk davranışı göstererek gevrekliği azalttığından numunelerin maksimum enerji yutma kapasitelerine olumlu katkı yapmıştır. Ancak maksimum enerji yutma kapasitesine en yüksek katkının yine çelik liflerden geldiği anlaşılmaktadır. Lif türü fark etmeksizin numuneler taşıma güçlerini kırılarak veya koparak değil ezilerek kaybederken lifsiz numuneler gevrekliklerinden dolayı kırılma şeklinde kaybetmişlerdir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Kırılmış ve ezilmiş numuneler

### 3.3. Eğilme Dayanımı

6,5 cm x 6,5 cm x 21 cm ölçülerine sahip prizma numunelerle yapılan deneyler sonucunda elde edilen eğilme dayanımı sonuçları Tablo 3.9, Tablo 3.10, Tablo 3.11 ve Tablo 3.12'deki gibidir. Tüm numunelere ait eğilme dayanımı değerleri Şekil 3.4'te verilmiştir.

**Tablo 3.9.** Lifsiz numunelerin eğilme dayanımı

Numune	Değer
C	7.31 MPa

**Tablo 3.10.** Çelik lifli numunelerin eğilme dayanımları

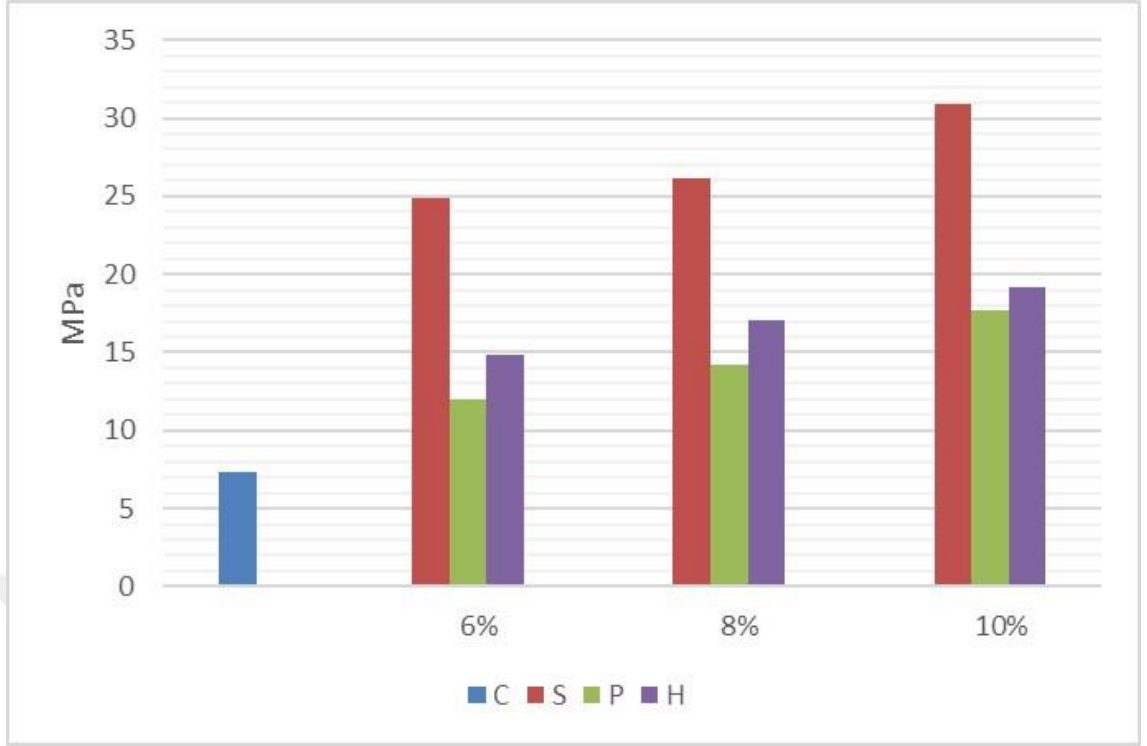
Numune	Değer
S06	24.86 MPa
S08	26.20 MPa
S10	30.90 MPa

**Tablo 3.11.** Polipropilen lifli numunelerin eğilme dayanımları

Numune	Değer
P06	12.03 MPa
P08	14.17 MPa
P10	17.73 MPa

**Tablo 3.12.** Hibrit lifli numunelerin eğilme dayanımları

Numune	Değeri
H06	14.84 MPa
H08	17.04 MPa
H10	19.16 MPa



**Şekil 3.4.** Eğilme dayanımı grafiği

Tablolar ve grafik incelendiğinde SIFCON'un basınç dayanımının aksine eğilme dayanımında tüm liflerin katkısı olduğu görülmektedir. Eğilme dayanımı en yüksek olan numuneler çelik lifliler iken en düşük eğilme dayanımına sahip olanların lifsiz numuneler olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumun betonun içeriğindeki liflerin köprü gibi davranarak çatlak oluşumunu geciktirmesinden, oluşan çatlağın ilerlemesini engellemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir (Şekil 3.5). Çelik lifli numuneler içeriğindeki liflerin çekme mukavemetlerinin yüksekliği nedeniyle daha yüksek performans göstermişlerdir. Polipropilen lifler eğilme dayanımı bağlamında olumlu katkı sunmalarına rağmen bu liflerde kırılma çelik liflerde olduğu gibi sıyrılmaya şeklinde değil içeriğindeki liflerin kopması şeklinde gerçekleştiğinden polipropilen ve hibrit numunelerin çelik lifli numunelere nazaran daha düşük eğilme dayanımı gösterdiği düşünülmektedir.



**Şekil 3.5.** Polipropilen liflerin numunedeki köprüleme işlevi

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu araştırmada farklı lif türü ve hacminin SIFCON'un mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla lifsiz ve %6, %8, %10 çelik, polipropilen, hibrit lif içerikli küp ve prizma numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan küp numuneler basınç dayanımı ve maksimum enerji yutma kapasitelerinin, prizma numuneler ise eğilme dayanımlarının tespit edilmesinde kullanılmıştır. Araştırma bulguları doğrultusunda şu sonuçlara ulaşılmıştır:

Basınç dayanımı sonuçları açısından; çelik liflerin SIFCON içerisindeki oranlarına göre basınç dayanımını %23 ila %43 arasında artırdığı görülmüştür. Polipropilen lifler ise basınç dayanımını %23 ila %31 arasında azaltmıştır. Hibrit lifli numuneler, içerisindeki çelik liflerin pozitif katkısıyla polipropilen lifli numunelere kıyasla daha iyi bir performans sergilemiştir. Lifsiz numunelerle kıyaslandığında %6 ve %8 hibrit lifli numuneler daha düşük bir basınç dayanımına sahipken, %10 hibrit lifli numuneler içerisindeki çelik liflerin artışına paralel bir biçimde lifsiz numunelere göre daha iyi basınç dayanımı göstermişlerdir. %6 hibrit lif, numunelerin basınç dayanımlarını %9, %8 hibrit lif, numunelerin basınç dayanımlarını %5.7 azaltırken, %10 hibrit lif, numunelerin basınç dayanımlarını %6.3 artırmıştır. Çelik lifler polipropilen liflere oranla daha yüksek çekme mukavemetine sahip olduğundan farklı lifler, numuneler arasında dayanım farklarının oluşmasına neden olmuştur. Gridhar ve Rama Mohana Rao'nun (2015) ve Bilim ve Kara'nın (2018) araştırmalarına göre de içerisindeki çelik lif oranının artması SIFCON ve diğer ultra yüksek dayanımlı betonların basınç dayanımını artırmaktadır. Ayrıca uçlarındaki kancalar çelik liflerin betonla daha iyi aderans yapmasını sağlarken, polipropilen liflerin pürüzsüz olması bu liflerle üretilen numunelerin kontrol numunesine oranla dayanımının düşmesine neden olmuştur. Dolayısıyla yüzeyinin pürüzsüz olmasının polipropilen liflerin betonla iyi bir aderans yapmasına engel olduğu sonucuna varılabilir. Gilani (2007), Vijayakumar, M. ve Dinesh Kumar (2017) ile Salih, Frayyeh ve Ali de (2018) lif geometrisinin SIFCON'un basınç, eğilme, tokluk gibi mekanik özellikler üzerindeki etkisini inceledikleri çalışmalarında kancalı ya da kıvrımlı liflerin harçla daha iyi aderans sağladığını belirterek bu geometriye sahip liflerin kullanılmasının daha yüksek basınç, eğilme dayanımı sağlamada kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Maksimum enerji yutma kapasitesi açısından; çelik liflerin SIFCON içerisindeki oranlarına göre maksimum enerji yutma kapasitesini %226 ila %503 arasında artırdığı tespit edilirken polipropilen liflerin maksimum enerji yutma kapasitesini %28 ila %11 arasında artırdığı anlaşılmıştır. Hibrit lifli numuneler polipropilen liflere göre daha iyi bir performans sergilemiştir. Buna göre hibrit lifli numunelerin maksimum enerji yutma kapasitelerindeki artış %78 ila %233 arasındadır. Tıpkı basınç dayanımında olduğu gibi lif türünün ve yüzey şeklinin maksimum enerji yutma kapasitesini doğrudan etkilediği sonucuna ulaşılmıştır. Rao, Ghorpade, Ramana ve Ghaneswar da (2010) lif türü ve oranının SIFCON'un tokluk değerleri üzerinde etkili olduğunu belirtmişlerdir.

Eğilme dayanımı açısından; çelik liflerin SIFCON içerisindeki oranlarına göre eğilme dayanımını %240 ila %323, polipropilen liflerin %65 ila %143, hibrit liflerin ise %103 ila %162 arasında artırdığı tespit edilmiştir. Eğilme dayanımına bakıldığında tüm lif çeşitlerinin, kontrol numunesine oranla eğilme dayanımını artırdığı görülmektedir. Eğilme altında oluşan gerilmeler, lifler ve beton tarafından birlikte taşınır, bu dayanım lifin kopması veya lifin betondan sıyrılması ile son bulur. Bu da tüm lif çeşitlerinde SIFCON'un eğilme dayanımının ciddi bir şekilde yükselmesi anlamına gelmektedir. SIFCON ile yapılan eğilme dayanımı deneyleri sonucunda kırılma şekilleri incelendiğinde; çelik lifli numunelerin sıyrılma, polipropilen lifli numunelerin ise kopma şeklinde kırıldıkları görülmüştür. Bu farkın oluşmasındaki nedenin liflerin sahip olduğu farklı çekme mukavemeti değerleri ve betonla yaptığı aderans olduğu yorumu yapılabilir. Topsakal ve Özel'in (2018) araştırması da farklı lif türleri ve oranlarının betonun mekanik özelliklerini farklı oran ve şekillerde etkilediğini ancak özellikle eğilme dayanımının artırılmasında polimer liflerin kullanılabileceğini göstermektedir. Bu çalışmada ise de en yüksek basınç dayanımı, maksimum enerji yutma kapasitesi ve eğilme dayanımına sahip numunelerin %10 çelik lifli numuneler olduğu anlaşılmıştır.

Araştırma sonucunda SIFCON'un özellikle yüksek eğilme ve sünekliğe ihtiyaç duyulan yerlerde kullanılabileceği anlaşılmıştır. Ağır makine parçalarını taşıyan betonlarda, endüstriyel zeminlerde ve köprü ayaklarında kullanılması önerilebilir. Ayrıca bundan sonra yapılacak araştırmalarda daha iyi aderans sağlanabilmesi için bu çalışmadan farklı



şekilde pürüzlü ya da burgulu polipropilen lifler kullanılarak etkileri araştırılabilir. Bu araştırmada teknik yetersizlikten dolayı numunelerin tokluk değerleri deneysel olarak belirlenememiştir. Bunun yerine maksimum enerji yutma kapasitesinin hesaplanmasında kullanılabileceği belirtilen bir formül kullanılarak numunelerin maksimum enerji yutma kapasiteleri hesaplanmıştır. Dolayısıyla bundan sonraki araştırmalarda tokluk değerlerinin deneysel bir biçimde belirlenmesi önerilebilir.



## KAYNAKLAR

- Aitcin, P. C. (2000). Cements of Yesterday and Today: Concrete of Tomorrow. *Cement and Concrete Research*, 30(9), 1349-1359.
- Alcan, H. G. ve Bingöl, A. F. (2017). Examining SIFCON's Mechanical Behaviors According to Different Fiber and Matrix Phase. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 1-7.
- Al-Rousan, R. Z. and Shannag, M. J. (2018). Shear Repairing and Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using SIFCON. *Structures*, 14, 389-399.
- Ateş, E. (1994). Epoksi Polimer Betonun Makina Yapı Malzemesi Olarak Kullaabilirliğinin Araştırılması. Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Bayrak, O. Ü., Bingöl, M. Z. ve Bayata, H. F. (2019). SIFCON ile Üretilen Beton Yolların Bazı Mekanik Özelliklerinin Optimizasyonu. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(1), 411-424.
- Bilim, C. ve Kara, İ. F. (2018). Çelik Lifin Ultra Yüksek Dayanımlı Harçların Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(2), 751-756.
- Bingöl, M. Z. (2017). Sifcon ile Üretilen Yol Betonlarının Eğilme ve Basınç Dayanımının Taguchi Metodu ile Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Bulutlar, Y. A. (2006). Çelik Tel İçeriğinin ve Dayanımının SIFCON'un Mekanik Davranışına Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Canbay, M. (2014). Çelik ve Polipropilen Liflerin Yalın ve Kombinasyonlu Olarak SIFCON'da Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Canbaz, M. ve Ünüvar, C. (2016). Lif ve Çimento Türünün Sifcon Özelliklerine Etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22(6), 400-404.
- Doğan, R. (2017). Farklı Kayaç Türlerinin Sifcon Bulamacında Agrega Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- EN (2002). T 197-1 Cement-Part 1: Compositions and Conformity Criteria for Common Cements. Ankara: TSE.

- EN (2003). T 12390-3. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. Ankara: TSE.
- EN (2009). B 12390-5. Testing Hardened Concrete-Part 5: Flexural Strength of Test Specimens. British Standards Institution-BSI and CEN European Committee for Standardization.
- Erdoğan, T. Y. (2013). Beton. Ankara: ODTÜ.
- Gilani, A. M. (2007). Various Durability Aspects of Slurry Infiltrated Fiber Concrete. Doktora Tezi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Giridhar, R. and Rama Mohana Rao, P. (2015). Determination of Mechanical Properties of Slurry Infiltrated Concrete (SIFCON). International Journal for Technological Research in Engineering, 2(7), 1366-1368.
- İpek, M., Canbay, M. ve Yılmaz, K. (2015). Çelik ve Polipropilen Liflerin Yalın ve Kombinasyonlu Olarak Kullanılmasının SIFCON'un Mekanik ve Fiziksel Özelliklere Etkisi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19(1), 41-52.
- Kılınç, C. (2013). Kendiliğinden Yerleşen Betonlar. Hazır Beton Dergisi, 112, 70-75.
- Kılınçarslan, Ş., Davraz, M. ve Akça, M. (2018). Pomza Agregalı Köpük Betonların Özelliklerinin Araştırılması. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 6(1), 148-153.
- Kıllı, A. (2018). Kür Şartlarının SIFCON'un Mekanik Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Lankard, D. R. and Newell, J. K. (1984). Preparation of Highly Reinforced Steel Fiber Reinforced Concrete Composites. Special Publication, 81, 287-306.
- Mısıır, İ. S. (2011). Betonarme Yapıların Deprem Davranışının İyileştirilmesinde Çimento Şerbeti Emdirilmiş Lifli Beton (SIFCON) Kullanımı. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Naaman, A. (1992). SIFCON: Tailored Properties for Structural Performance, High Performance Fiber Reinforced Cement Composites. E & FN Spon New York, USA, 18-38.
- Ören, O. H. ve Gençel, O. (2017). Köpük Beton. Bartın Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi, 5(2), 129-136.
- Özturan, T. (2013). Özel Betonlar. Hazır Beton Dergisi, 118, 70-83.

- Rao, H. S., Ghorpade, V. G., Ramana, N. V. and Ghaneswar, K. (2010). Response of SIFCON Two-Way Slabs under Impact Loading. *International Journal of Impact Engineering*, 37, 452-458.
- Salih, S. A., Fayyeh, Q. J. and Ali, M. A. A. (2018). Flexural Behavior of Slurry Infiltrated Fiber Concrete (SIFCON) Containing Supplementary Cementitious Materials. *Journal of Engineering and Sustainable Development*, 22(2), 35-48.
- Schneider, B. (1992). Development of SIFCON through Applications High Performance Fiber Reinforced Cement Composites. H. W. Reinhardt and A. E. Naaman (eds.), *RILEM Proc. no. 15, E & FN Spon*, 177-194.
- Sharma, S. K., Chopadekar, A. D. and Bhatia, S. Y. (2017). Performance of SIFCON with Steel Slag. *Kalpa Publications in Civil Engineering*, 1, 198-208.
- Soylu, N. (2017). SIFCON'un Eğilme ve Basınç Dayanımı Üzerine Çelik Liflerin Miktarı ve Narinlik Oranının Etkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Soylu, N. and Bingöl, A. F. (2019). Research on effect of the quantity and aspect ratio of steel fibers on compressive and flexural strength of SIFCON. *Challenge Journal of Structural Mechanics*, 5(1), 29-34.
- Taşdemir, M. A. ve Bayramov, F. (2002). Yüksek Performanslı Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı. *İTÜ Dergisi*, 1(2), 125-144.
- Taşdemir, M. A., Bayramov, F., Kocatürk, A. N. ve Yerlikaya, M. (2004). Betonun Performansa Göre Tasarımında Yeni Gelişmeler. *Beton 2004 Kongresi, İstanbul*, 1-34.
- Topsakal, A. ve Özel, C. (2018). Lif Takviyeli Polimer Kompozit Malzemelerde Lif Türü ve Oranının Fiziksel ve Mekanik Özelliklere Etkisi. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(1), 107-116.
- Türker, K., Birol, T., Yavaş, A., Hasgöl, U. ve Yazıcı, H. (2019). Ultra Yüksek Performanslı Lifli Beton ile Üretilmiş Betonarme Kirişlerin Eğilme Davranışı. *Teknik Dergi*, 8777-8801.
- Vijayakumar, M. and Dinesh Kumar, P. (2017). Experimental Investigation on SIFCON with Using Different Type Fibers. *International Journal of Scientific Research in Civil Engineering*, 2(1), 1-4.
- Wang, M. L. (1994). Constitutive Properties of SIFCON, *Proceeding, Workshop on Fibre Reinforced Cement and Concrete, Sheffield*, 237-255.

Yalçınkaya, Ç., Beglarigale, A., Yazıcı, H. and Yiğiter, H. (2013). Yüksek Sıcaklığın SIFCON'un Direncine Etkisi. Beton 2013 Bildiri Kitabı, 81-90.

Yerlikaya, M. (2013). Çelik Tel Donatılı Betonların Deprem Etkisi Altında Davranışları. Kocaeli Deprem Sempozyumu Bildiriler Kitabı.



## ÖZ GEÇMİŞ

Adı Soyadı : Özge Ece BOZKIRLI  
Doğum Yeri ve Tarihi : Kars / 1990  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (e-posta) : ozgecebozkirli@gmail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Kars Hüznü Özyeğin Anadolu Lisesi / 2008  
Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü / 2013  
Yüksek Lisans : Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine  
Mühendisliği Bölümü Mekanik Ana Bilim Dalı / 2019

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : -

Yayımları (SCI ve diğer) : -