



**SIFCON'UN EĞİLME VE BASINÇ  
DAYANIMI ÜZERİNE ÇELİK  
LİFLERİN MİKTARI VE NARİNLİK  
ORANININ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**Nurullah SOYLU**

**Yüksek Lisans Tezi  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yapı Bilim Dalı  
Doç. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL  
2017  
Her Hakkı Saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SIFCON'UN EĞİLME VE BASINÇ DAYANIMI ÜZERİNE ÇELİK  
LİFLERİN MİKTARI VE NARİNLİK ORANININ ETKİSİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Nurullah SOYLU**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
Yapı Bilim Dalı**

**ERZURUM  
2017**

**Her Hakkı Saklıdır**



T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

**SIFCON'UN EĞİLME VE BASINÇ DAYANIMI ÜZERİNE ÇELİK LİFLERİN  
MİKTARI VE NARİNLİK ORANININ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Doç. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL'ün danışmanlığında Nurullah SOYLU tarafından hazırlanan bu çalışma 24/07/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı – Yapı Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak ~~oybirliği/oy çokluğu~~ (3./3.) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Remzi ŞAHİN

İmza :

Üye : Doç. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Atila KUMBASAROĞLU

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 27.../07.../2017 tarih ve 30.../...29..... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Cavit KAZAZ  
Enstitü Müdürü

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### SIFCON'UN EĞİLME VE BASINÇ DAYANIMI ÜZERİNE ÇELİK LİFLERİN MİKTARI VE NARİNLİK ORANININ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Nurullah SOYLU

Atatürk Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yapı Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL

SIFCON (Çimento Bulamacı Emdirilmiş Lifli Beton) çimento, su, süper akışkanlaştırıcı, silis dumanı ve çok ince kumdan oluşan bir bulamacın sertleşmesiyle oluşan bir matris içinde hacimce yüksek oranlarda (%5–20) çelik tel ile takviye edilmiş kompozittir. Yüksek dayanımlı betonlardan en önemli farkı kırılma sırasında sünek davranış göstermeleridir. Yüksek dayanımlı betonlarda dayanım arttıkça malzeme gevrekliği artarken SIFCON, gösterdiği düşük geçirimsizlik, yüksek durabilite, dayanım ve süneklik özellikleri ve yüksek oranda çelik tel içeriği ile sünek davranış göstermektedir. Çelik lifli betonlarda lif içeriği %2-3 aralığında olmasına karşın SIFCON'da yaklaşık 10 kat fazla lif kullanılabilen ve yüksek süneklik elde edilmektedir. Bu özel beton türünün patlamaya karşı dayanıklı askeri yapılarda, endüstriyel zeminlerde, hava alanlarında ve köprü ayaklarında kullanılması önerilmektedir.

Bu çalışmada, SIFCON'un basınç ve eğilme dayanımlarını incelemek amacıyla, çelik liflerin narinliği ve lif oranı değişken olarak seçilmiş ve bu parametrelerin basınç ve eğilme dayanımları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Çalışmada 40, 55, 65, 80 narinliklere sahip çelik lifler %0, 4, 8 ve 12 oranlarında kullanılmıştır. Deney numunelerinde su/bağlayıcı oranı 0,35, silis dumanı oranı %10 ve akışkanlaştırıcı oranı %1,5 olarak sabit tutulmuştur. 7 ve 28 günlük numuneler üzerinde basınç ve eğilme deneyleri yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda %8'e kadar oranlarda lif hacminin artmasıyla SIFCON numunelerinde hem basınç hem de eğilme dayanımlarında artışlar belirlenmiştir. Daha yüksek oranlarda ise dayanım azalmaları gözlemlenmiştir. Çok yüksek lif hacmi harcın lifler arasından geçişini zorlaştırdığı için dayanımlarda azalmalar olduğu görülmüştür. En yüksek dayanımlar ise 80 narinlik oranına sahip liflerden elde edilmiştir. Narinlik oranının artmasıyla beraber basınç ve eğilme dayanımlarında da artışlar tespit edilmiştir.

**2017, 51 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** SIFCON, çelik lif, narinlik oranı

## **ABSTRACT**

Master Thesis

### **RESEARCH on EFFECT OF THE QUANTITY and ASPECT RATIO of STEEL FIBERS on COMPRESSIVE and FLEXURAL STRENGTH of SIFCON**

Nurullah SOYLU

Atatürk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering  
Structural Mechanics Division

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL

SIFCON (Slurry Infiltrated Fiber Reinforced Concrete) is a composite which occur hardening of the matrix phase, consists of cement, water, silica fume, fine sand and water reducing plasticizer, and reinforced with high volume steel fiber (5–20%). The main difference from the high strength concrete (HSC) is the ductile behavior at failure. However the brittleness increases with the strength increase in HSC, SIFCON has a ductile behavior because of the high volume fiber content, low permeability, high durability. Despite fiber content is 2-3% in fiber reinforced concrete, fiber content may be ten times more in SIFCON and ductility is gained. This concrete is suggested to be used in military buildings against explosion, industrial grounds, airports and bridge feet. In this study, in order to investigate the compressive and flexural strengths of SIFCON, the slenderness and fiber ratio of steel fibers were chosen variable and the effects of these parameters on compressive and flexural strengths were investigated. In the study, steel fibers with slenderness of 40, 55, 65, 80 were used in 0, 4, 8 and 12% ratios. The water / binder ratio in the test samples was kept constant at 0.35, the silica fume ratio at 10%, and the plasticizer ratio at 1.5%. 7 and 28 days cured samples were subjected to compressive and flexural tests and the results were compared.

As a result of the tests carried out, increases in both the compressive and flexural strengths of SIFCON specimens were determined with increasing fiber volume up to 8%. Strength reductions were observed at higher ratios. In cases where the fiber volume is too high, it is seen that the strengths were decrease due to the passage of mortar through the fibers. The highest strengths were obtained from fibers with a slenderness ratio of 80. Increase in the ratio of slenderness as well as increases in pressure and bending strengths have been found.

**2017, 51 pages**

**Keywords:** SIFCON, steel fiber, slenderness,

## TEŞEKKÜR

T.C. Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakóltesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi ve Mekanięi Laboratuvarında; yapılan bu tez çalıőmasında, danıőmanlıęını yürüten, her zaman ilgi ve desteğini gördüğüm Sayın Doç. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL'e, çalışma süresince her türlü desteği sağlayan Sayın Yrd. Doç. Dr. Osman Ünsal BAYRAK'a çalıőmalarında kullanılmak üzere malzemeleri temin eden; Kemerli Metal Sanayii ve Ticaret A.Ő. ve AŞkale imento Sanayi T.A.Ő.'ye teşekkür ederim.

Ayrıca bana her türlü desteği veren; çalıőmam boyunca gösterdikleri sabır ve desteklerinden dolayı eőim Nur SOYLU 'ya, tüm aileme ve değerli dostum Muhammed Ziya BİNGÖL 'e teőekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

**Nurullah SOYLU**  
**Temmuz, 2017**

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	x
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Beton .....	2
1.1.1. Normal Beton .....	2
1.1.2. Özel Beton.....	3
1.2. Lifli Beton .....	3
1.3. SIFCON.....	4
1.3.1. SIFCON Hazırlanması .....	5
<b>2. KAYNAK ÖZETLERİ .....</b>	<b>7</b>
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>	<b>21</b>
3.1. Materyal.....	21
3.1.1. Çimento .....	21
3.1.2. Karma suyu.....	22
3.1.3. Süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi .....	23
3.1.4. Silis dumanı .....	23
3.1.5. Betonda kullanılan lifler .....	24
3.1.6. Agrega .....	25
3.1.7. Diğer malzemeler .....	26
3.2. Deneylerde Kullanılan Aletler.....	26
3.2.1. Elekler .....	26
3.2.2. Betonyer .....	27
3.2.3. Kalıplar.....	27
3.2.4. Pres .....	27

3.2.5. Su kr havuzu.....	28
3.3. Yöntem .....	29
3.3.1. Agrega deneylerinde uygulanan yöntemler.....	29
3.3.2. SIFCON karışım hesapları .....	30
3.3.3. SIFCON retiminde izlenen sıra .....	31
3.3.4. Basınç ve eğilme dayanımı tayini yöntemi .....	33
3.3.5. Sonuçlar değerlendirilmesinde kullanılan yöntem .....	34
<b>4. ARAşTIRMA BULGULARI ve TARTIşMA.....</b>	<b>35</b>
4.1. Agrega Deneylerinde Elde Edilen Bulgular ve Tartışma.....	35
4.1.1. Elek analizi (Granülometri).....	35
4.1.2. Birim ağırlık .....	36
4.2. Basınç Dayanımı .....	37
4.3. Eğilme Dayanımı.....	42
<b>5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....</b>	<b>47</b>
KAYNAKLAR .....	49
ZGEÇMİş .....	52

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

%	Yüzde
°C	Santigrat
cm	Santimetre
dm <sup>3</sup>	Desimetreküp
$f_c$	Basınç Dayanımı
$f_t$	Eğilme Dayanımı
g	Gram
g/ml	Gram / Mililitre
J / m <sup>2</sup>	Joule / Metrekare
kg	Kilogram
kgf	Kilogram Kuvvet
l / d	Boy / Çap
m <sup>2</sup>	Metrekare
mm	Milimetre
MPa	Megapaskal
MPa/s	Megapaskal / Saniye
N	Newton
N/mm <sup>2</sup>	Newton / Milimetrekar
V <sub>f</sub>	Lif İçeriği
w/c	Su / Çimento
w <sub>1</sub>	Deney Öncesi Kuru Ağırlığı
w <sub>2</sub>	Deney Sonrası Kuru Ağırlığı

## Kısaltmalar

ACI	Amerikan Beton Enstitüsü
CEM	Çimento
CSH	Kalsiyum Silikat Hidrat ( $3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$ )
CY	Compression Yielding
ÇTDB	Çelik Takviyeli Tel Donatılı Beton
FRC	Normal Lifli Beton
FRP	Fiber Takviyeli Polimer
HPFRC	Yüksek Dayanımlı Lifli Beton
HSC	Yüksek Dayanımlı Beton
PÇ	Portland Çimentosu
RCC	Betonarme Beton
RPB	Reaktif Pudra Betonu
SAK	Süper Akışkanlaştırıcı
SD	Silis Dumanı
SIFCON	Çimento Harcı Emdirilmiş Lifli Beton
TS	Türk Standartları
Vol	Hacim

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b>ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ</b> .....	iii
<b>FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ</b> .....	iii
<b>Şekil 1.1.</b> Çelik liflerin önceden kalıba el ile yerleştirilmesi.....	6
<b>Şekil 2.1.</b> Lif içeriğine göre SIFCON'nun yük sehim eğrisi değişim grafiği (Lankard 1985). .....	7
<b>Şekil 2.2.</b> Farklı lif içeriğine göre oluşan çatlak şekilleri(An Yan et al. 2002). .....	8
<b>Şekil 2.3.</b> Geleneksel ÇTDB'lar için lif içeriği - kırılma enerjisi ilişkisi (Bayramov F., et al. 2002). .....	9
<b>Şekil 2.4.</b> SIFCON ile güçlendirme (Yerlikaya 2003).....	10
<b>Şekil 2.5.</b> Yük –sehim eğrisi (Yerlikaya 2003).....	10
<b>Şekil 2.6.</b> SIFCON'un deneyler sonucu elde edilen yapısal özellikleri. (Sharma and Singh 2008) .....	12
<b>Şekil 2.7.</b> %12 lif içeren donatısız SIFCON (82133 darbeden sonra delik oluşmuş) ve %2 lif içeren beton (7406 darbeden sonra delik oluşmuş) plakanın arkadan görünüşü (Rao et al. 2009).....	13
<b>Şekil 2.8.</b> %8 lif içeren donatılı SIFCON (162800 darbeden sonra delik oluşmuş) ve betonarme (11550 darbeden sonra delik oluşmuş) plakanın arkadan görünüşü (Rao et al. 2009).....	13
<b>Şekil 2.9.</b> Farklı yanal hidrolik basınçlar altında numunelerin aksenal basınç dayanımları (Farnam et al. 2010).....	14
<b>Şekil 2.10.</b> Farklı yanal hidrolik basınçlar altındaki numunelerin poisson oranı değişimi (Farnam et al. 2010).....	14
<b>Şekil 2.11.</b> SIFCON blok ile üretilmiş betonarme kiriş (Wu et al. 2010). .....	15
<b>Şekil 2.12.</b> SIFCON blok (Wu et al. 2010).....	15
<b>Şekil 2.13.</b> a) Normal çimento matrisi ile oluşturulan kirişe ait yük–şekil değiştirme eğrisi. ve b) kiriş alt kısmına kiriş yüksekliğinin %20 si kadar kalınlıkta SIFCON ilavesiyle oluşturulan hibrit SIFCON kirişe ait yük–şekil değiştirme eğrisi (Lin et al. 2010).....	16
<b>Şekil 2.14.</b> SIFCON pull - out deneyi (Tuyan ve Yazıcı 2012).....	18

<b>Şekil 2.15.</b> Kancalı ve kancasız lifin aderans deney sonucu (Tuyan ve Yazıcı 2012) ...	18
<b>Şekil 2.16.</b> Basınç deneyi sonucunda zarar görmüş numune şekilleri.....	19
<b>Şekil 3.1.</b> Deneylerde kullanılan çelik lifler. ....	25
<b>Şekil 3.2.</b> Kalıplar .....	27
<b>Şekil 3.3.</b> Pres .....	28
<b>Şekil 3.4.</b> Su kürü havuz .....	28
<b>Şekil 3.5.</b> Çelik liflerin önceden kalıba yerleştirilmesi.....	32
<b>Şekil 3.6.</b> Kalıba yerleştirilmiş çelik lifler .....	32
<b>Şekil 4.1.</b> Kullanılan agreganın granülometri eğrisi .....	36
<b>Şekil 4.2.</b> SIFCON matrisinin %12 lif içeriğinde lif ağına tam olarak emdirilememesi örneği (Lif yoğunluğu şekilde açıkça görülmektedir).....	40
<b>Şekil 4.3.</b> Lifsiz SIFCON numunesinin basınç dayanım testi sonucu kırılma şekli .....	41
<b>Şekil 4.4.</b> Lifli SIFCON numunesinin basınç dayanım testi sonucu kırılma şekli .....	41
<b>Şekil 4.5.</b> SIFCON numunelerin basınç dayanımları .....	42
<b>Şekil 4.6.</b> SIFCON numunelerin eğilme dayanımları .....	44
<b>Şekil 4.7.</b> Lifsiz SIFCON numunesi eğilme deneyi sonucu kırılma şekli .....	45
<b>Şekil 4.8.</b> Lifli SIFCON numunesi eğilme deneyi sonucu kırılma şekli .....	45

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. SIFCON 'un mekanik özellikleri (An Yan <i>et al.</i> 2002). ....	8
Çizelge 3.1. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri .....	21
Çizelge 3.2. Çimentonun kimyasal özellikleri.....	22
Çizelge 3.3. Süper akışkanlaştırıcı katkı maddesine ait özellikler.....	23
Çizelge 3.4. Silis dumanının kimyasal bileşimi ve elek analizi (Kaygusuz 2008). ....	24
Çizelge 3.5. Üretici firmadan temin edilen çelik liflerin teknik özellikleri .....	25
Çizelge 3.6. SIFCON için malzeme miktarları (1 m <sup>3</sup> beton için).....	30
Çizelge 4.1. Agrega için elek analizi deneyi sonuçları.....	35
Çizelge 4.2. Gevşek birim ağırlık deneyi sonuçları.....	36
Çizelge 4.3. Sıkışık birim ağırlık deneyi sonuçları.....	37
Çizelge 4.4. 7 günlük numunelerin basınç dayanımları.....	37
Çizelge 4.5. 28 günlük numunelerin basınç dayanımları.....	38
Çizelge 4.6. 7 günlük numunelerin eğilme dayanımları .....	43
Çizelge 4.7. 28 günlük numunelerin eğilme dayanımları .....	43

## 1. GİRİŞ

Beton; agregâ (ince ve kaba agregâ), su ve çimento'nun ve gerekli görüldüğünde mineral katkı maddeleri eklenerek istenilen özelliğe göre uygun olarak karıştırılmasıyla elde edilen, başlangıçtaki plastik kıvamdan zamanla katılaşıarak dayanım kazanan önemli bir yapı malzemesidir.

Betonun zayıf yanlarının belirgin olarak iyileştirilmesi ve güçlendirilmesi için beton içerisine değişik malzemeler katılarak teknik özellikleri geliştirilebilmektedir (Topçu vd 2005).

Betonda istenilen performansın sağlanması için değişik uygulamalarda amaca uygun betonlar üretmek yoluyla özel betonlar geliştirilmiştir. Özel beton türlerinden birisi de lifli betonlardır. Lifler; cam, çelik, plastik gibi farklı malzemelerden değişik tip, narinlik ve boyutlarda üretilmektedirler. Bu tür lifler farklı oranda betonlarda kullanılarak betonun özellikle enerji yutma kapasitesi, tokluk ve eğilme dayanım gibi özellikleri iyileştirilir. Bu amaçla taze betona farklı miktarlarda değişik yöntemlerle karıştırılan, belirli narinlik oranına (boy/çap) sahip olan mineral, metalik, polimer veya tabii yapıdaki malzemelere lif adı verilmektedir. Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) komitesi narinlik oranı olarak ta tanımlanan lif boyunun eş değer lif çapına bölünmesi ile elde edilen “boy/çap” (aspect ratio) oranının bir lifi tanımlayan en iyi parametre olduğu kabul edilmiştir. Eşdeğer lif çapı ise; alanı lifin kesit alanına eşit bir dairenin çapı olarak tanımlanmaktadır. Lifin çekme gerilmesi ve geometrik yapısı lifi tanımlayan diğer parametredir (Ünal vd 2007).

SIFCON (Slurry Infiltrated Fiber Concrete - Çimento Harcı Emdirilmiş Lifli Beton), karışım içerisinde hacimce yüksek oranlarda (%5–20) çelik tel ile takviye edilmiş su, çimento, süper akışkanlaştırıcı, çok ince kum ve silis dumanından oluşan karışımın sertleşmesi sonucu elde edilen mühendislik özellikleri yüksek, çimento esaslı bir kompozittir. SIFCON’u yüksek dayanımlı betonlardan ayıran en önemli özelliği

kırılma sırasında sünek davranış göstermesidir. Dayanım artmasıyla malzeme gevrekliğinin de artması yüksek dayanımlı betonlarda en önemli sorundur. SIFCON, gösterdiği yüksek durabilite, düşük geçirimsizlik, dayanım ve süneklik özellikleri ile hacimce %20'ye varan oranlarda çelik lif içeren bir yapı malzemesidir. Lifli betonların lif içeriğinin %2-%3 arasındadır. SIFCON'da kullanılan lif oranına paralel olarak malzeme sünekliğinin mertebesi yaklaşık 10 kat daha yüksektir (Taşdemir ve Bayramov 2002).

SIFCON uygulamada kullanılan üretim tekniğinin de verdiği avantajla yüksek oranlarda lif kullanılmasına izin vermektedir (Arslan 1999).

Aşağıda; yapılan deneysel çalışmanın temelini oluşturan beton, lifli betonlar ve SIFCON hakkında bilgiler verilmiştir.

## **1.1. Beton**

30 yıl öncesine kadar betonarme yapılarda kullanılan betonun basınç dayanımı en fazla 40 MPa iken; beton teknolojisinde kaydedilen önemli gelişmelerle birlikte böyle bir beton, küp basınç dayanımı 200 - 800 MPa arasında, çekme dayanımı 25 - 150 MPa arasında ve kırılma enerjisi ise yaklaşık  $30000 \text{ J/m}^2$  olan yüksek dayanımlı modern betonlarla kıyaslandığında oldukça düşük dayanımlı malzeme olarak kabul edilebilir (Balaguru and Shah 1992).

Genel anlamda betonlar normal betonlar ve özel betonlar olmak üzere 2 başlık altında toplanabilir.

### **1.1.1. Normal Beton**

Geleneksel normal betonlar, birim ağırlığı  $1.800- 2.800 \text{ kg/dm}^3$  arasında olan, doğal taneli agrega ile üretilen betonlardır. Bu beton türü genellikle bina inşaatlarında

kullanılmaktadır. Ekonomik olması, yüksek dayanımı rahat işlenebilirlik özellikleri nedeniyle diğer yapı malzemelerine göre daha çok tercih edilmektedir (Salami 2009).

20-50 MPa arasında basınç dayanımı değerlerine sahip normal betonlar, yüksek dayanımlı ve ultra yüksek dayanımlı betonlarla kıyaslandığında tek eksenli basınç ve çekme dayanımları oldukça düşüktür (Özyurt 2000).

### **1.1.2. Özel Beton**

Özel betonlar; normal betonların kullanım amacına uygun olarak yoğunluk, düşük geçirimsizlik, durabilite, süneklik gibi özelliklerinin geliştirilmesi ile oluşturulurlar. Agregataneleri ve çimento hamuru arasındaki ara yüzey betonda en zayıf halkadır. Silis dumanı gibi çok ince tanelerin kullanılması, yoğunluğun artırılması ve bundan dolayı boşluklu yapının azaltılması taze betonun stabilitesinin geliştirilmesi için önemlidir. Böylece dayanım ve durabilite iyileştirilir (Taşdemir ve Bayramov 2002).

Özel betonlara; mineral katkılı betonlar, yüksek dayanımlı betonlar, hafif betonlar, püskürtme betonlar, kendiliğinden yerleşen betonlar, lifli betonlar, polimer betonlar, ultra yüksek dayanımlı betonlar, reaktif pudra betonu (RPB) ve çimento hamuru enjekte edilmiş lifli beton (SIFCON) örnek olarak verilebilir (Aitcin 2000; Taşdemir vd 2004).

### **1.2. Lifli Beton**

Betonun mekanik özelliklerini geliştirmek için mineral ve kimyasal katkıları, sünekliğini artırmak için ise değişik özelliklere sahip lifler kullanılmaktadır. Betonda kullanılan mikro, orta ve makro büyüklükteki lifler beton içerisine rastgele dağılarak doluluğu artırmakta, değişik aşamada oluşan çatlakları liflerin yükü köprüleme görevi vasıtasıyla sınırlayarak onların büyümesini engellemekte, oluşan iç gerilmeleri dağıtmaktadır. Liflerin bu olumlu etkileri, betonun mekanik özellikleri ile özellikle maksimum yük sonrası kırılma davranışını olumlu etkilemektedir. Betona katılan lifler genel olarak çelik, karbon, polipropilen, cam ve plastik gibi değişik malzemelerden farklı çap ve

boylarda üretilmektedir. Betonda kullanılan liflerin etkinlikleri; lifin kökenine, lifin tipine, narinlik oranına, geometrik yapısına, lifin çekme dayanımına ve kullanım oranına bağlı olarak değişmektedir (Zeynal 2008).

Betonun eğilme ve çekme dayanımı, basınç dayanımına göre daha düşüktür. Betonun çekme ve eğilme özelliklerinin iyileştirebilmesi üzerine günümüze kadar birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda farklı malzemeler (agrega, silis dumanı, uçucu kül, farklı lif çeşitleri vb) betona ilave edilerek çeşitli incelemeler yapılmıştır. Lifli beton da bu çalışmalardandır. Çelik lifli beton, içerisinde dağınık halde küçük çelik teller bulunan kompozit bir malzemedir (Salami 2009).

Çekme, darbe, yorulma, aşınma dayanımları ve çatlak sonrası yük taşıma kapasiteleri bakımından zayıf özelliklere sahip gevrek bir malzeme olan betonda, liflerin kullanılması, bu özelliklerde belirgin iyileştirmeler sağlamaktadır. Beton içerisinde süresiz bir şekilde dağılan lifler, betonda çatlak oluşumunu önemli derecede azaltmakta, betonun şekil değiştirme kapasitesini, tokluğunu, çarpma, çekme dayanımını arttırarak düktilitesi yüksek betonlar elde etmeyi mümkün kılmaktadır. Lifler kendi çekme dayanımlarına ulaşıncaya kadar matriste basınç ve çekme yüklerinden dolayı meydana gelecek olan çok sayıdaki kılcal çatlak oluşumunu önlemekte ve kısıtlamaktadır. (Zeynal 2008).

### **1.3. SIFCON**

SIFCON (Çimento Bulamacı Emdirilmiş Lifli Beton) ilk olarak 1979 da Lankard Materials Laboratory tarafından Amerika Birleşik Devletlerinde çok yoğun lif sistemi oluşturmak amacı ile kalıba yüksek oranda çelik lifler yerleştirilerek üretilmiştir (Lankard 1984).

SIFCON'un içerdiği lif matrisi, lifli betondakine benzer olarak betonun dayanım özelliğine önemli derecede katkı sağlamaktadır. Normal lifli betondaki lifler karışım matrisi ile beraber karıştırıldığından efektif bir şekilde matris ile liflerin karışması sınırlı

olmuştur. Bu sınır karışımdaki lif türü ve işlenebilirliğe bağlı olarak %1 veya %2 olabilmektedir. SIFCON'daki lif hacmi ise %5 ila 30 arasında olabilmektedir (Lankard 1984; Homrich and Naaman 1987).

SIFCON betonda kullanılabilecek lif hacmi; lifin tipine, uzunluğuna, çapına ve karışım matrisinin tam dolum sağlaması için uygulanan vibrasyona göre değişir. Vibrasyon süresinin uzatılması ile kısa lifler uzun liflere göre daha yoğun ve yüksek hacimde yerleştirilebilir (Gilani 2007).

### **1.3.1. SIFCON Hazırlanması**

SIFCON hazırlanırken kullanılacak lifler istenilen hacimsel oranda önceden bir kalıba, alana veya plakaya vb rastgele dizilir. Dizilim numune kalıbına Şekil 1.1'de görüldüğü üzere el ile veya geniş çaplı uygulamalar da ise lif dağıtımı yapabilen makinelerle yapılabilir. Daha önce de ayrıntılı olarak belirtildiği gibi lif miktarı; lif çapına, özellikle narinlik oranına ( $l/d$ ), lif geometrisine ve yerleştirme tekniğine bağlıdır. Lifleri yerleştirirken ek olarak vibrasyon uygulanabilir. Yüksek lif hacimlerine ulaşabilmek için güçlü vibrasyon uygulanmalıdır. SIFCON imalatındaki en önemli unsurlarından birisi de lif yönlenmesidir. Yönlenme esas olarak yer çekimine dik ve 2 boyutta olmaktadır. Yönlenme etkisi bazı lif çeşitlerinde diğerlerine göre daha etkindir. Genel olarak, narinlik oranının düşük olduğu lif tiplerinde 3 boyutlu yönlenmeye doğru bir eğilim vardır (Lankard 1985).



**Şekil 1.1.** Çelik liflerin önceden kalıba el ile yerleştirilmesi

Laboratuvarda ya da geniş saha uygulamalarında tasarım yapılırken lif yönlenmesi dikkat edilmesi gereken bir olgudur. SIFCON test örneklerinin hazırlanması düzgün olmayan lif dağılımlarından kaçınarak ihtiyaca esas olarak belirlenmelidir. Kalıp kenarındaki lif yoğunluğu içeridekine kıyasla çok daha az olabilir. Buna ek olarak, bir dizi lifler, dış yüzey boyunca dikey olarak (uzun silindir eksenine paralel) hizalanabilir (Lankard 1985).

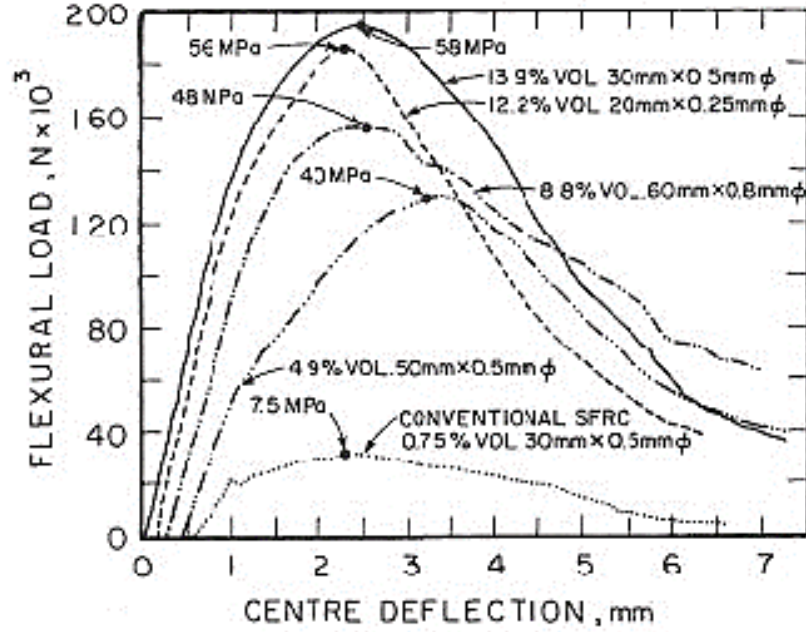
Bu çalışmanın amacı SIFCON'un mekanik özelliklerine lif miktarı ve lif narinliğinin etkilerini incelemektir.

Çalışma kapsamında çelik lif içermeyen kontrol grubuna ek olarak hacimce %4, %8 ve %12 oranlarında ve 40, 55, 65 ve 80 narinlik oranlarına sahip çelik lifler kullanılarak 13 ayrı grup SIFCON numunesi üretilmiş olup bu numuneler üzerinde basınç ve eğilme dayanımı deneyleri yapılarak birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde konu hakkında literatürde yer alan çalışmalar; özetlenmiş ve kronolojik sırasıya göre verilmiştir.

Lankard (1985), tarafından yapılan çalışmada lif içermeyen ve düşük lif hacimli numuneler ile SIFCON numuneleri arasında mukayese yapılmış ve Şekil 2.1.'deki grafik elde edilmiştir. Sonuç olarak SIFCON'nun tokluk ve eğilme dayanımının, diğer lifsiz ve düşük lif içerikli betonlara göre daha yüksek değerlerde olduğu bildirilmiştir.



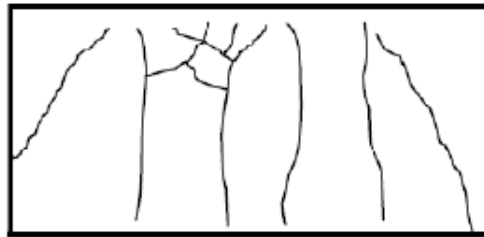
**Şekil 2.1.** Lif içeriğine göre SIFCON'nun yük sehım eğrisi değişim grafiği (Lankard 1985).

An Yan *et al.* (2002) tarafından yapılan çalışmada SIFCON' un mekanik özellikleri ve dijital görüntü analizleri deneysel olarak araştırılmıştır. Çatlak boyutunu SIFCON' un yüzey çatlak modellerini karakterize etmek için bir parametre olarak kullanılmıştır. Farklı lif oranları için farklı çatlak matrislerinin var olduğu tespit edilmiştir. Çatlak boyutu ile mekanik özellikler arasında iyi bir bağlantı olduğu belirtilmiştir. 0, 4, 6, 8,10

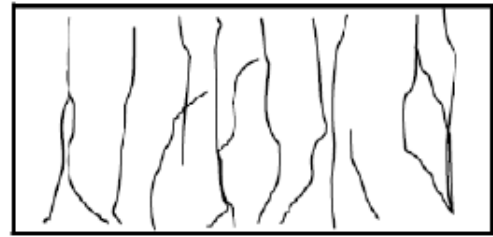
% lif oranları kullanılarak basınç, eğilme dayanımları ve sertlik indeksi incelenmiştir. Numuneler 1 gün sonra kalıptan çıkarılmış ve %90 bağıl nem ve  $20 \pm 2$  derece sıcaklıkta 27 gün kür edilmiştir. Lif yüzdesi arttıkça basınç ve eğilme dayanımlarının iyileştiği gözlemlenmiştir.

**Çizelge 2.1.** SIFCON 'un mekanik özellikleri (An Yan *et al.* 2002).

Numune Kodu	Lif Hacmi (%) ( $V_f$ )	Basınç Day. ( $f_c$ ) (MPa)	Eğilme Day. ( $f_{ft}$ ) (MPa)	Kırılma Tok. (I) (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



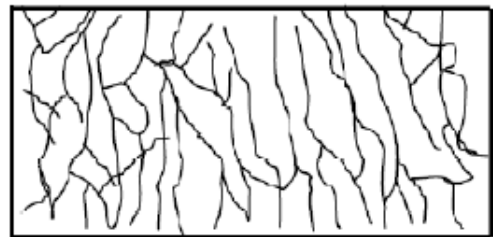
$V_f = \% 4$



$V_f = \% 6$



$V_f = \% 8$

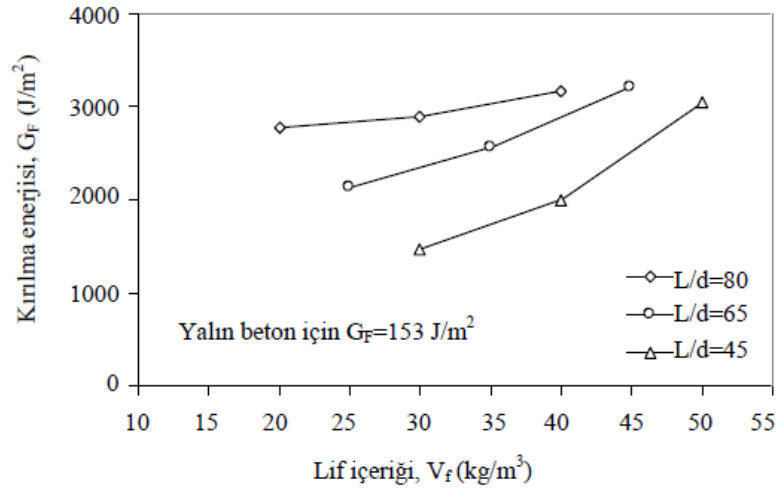


$V_f = \% 10$

**Şekil 2.2.** Farklı lif içeriğine göre oluşan çatlak şekilleri (An Yan *et al.* 2002).

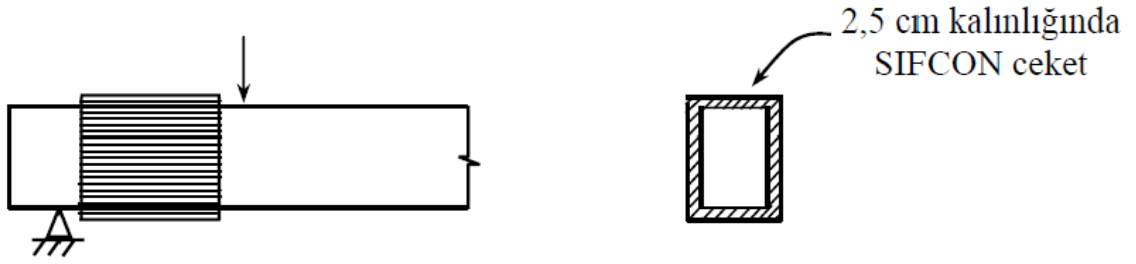
Bayramov *et al.* (2002) tarafından yapılan çalışmada, farklı narinliklerde çelik teller kullanılarak üretilen betonlarda, 5 mm'lik bir sehim için yük-sehim eğrisi altındaki alandan hesaplanmış ve çelik telin narinliği ve içeriğinin artmasıyla yüksek kırılma

enerjisi ve sonuçta yüksek süneklik değerleri elde edilmiştir. Örneğin, tel içeriği  $30 \text{ kg/m}^3$  (%0,38) olduğunda narinliğin 45’den 80’e çıkmasıyla özgül kırılma enerjisi yaklaşık 2 kat artış göstererek  $1468 \text{ J/m}^2$ ’den  $2889 \text{ J/m}^2$ ’ye kadar artmaktadır. Herhangi bir lif içermeyen yalın betonun kırılma enerjisi ise  $153 \text{ J/m}^2$  olarak elde edilmiştir. Yalın betonla karşılaştırıldığında çelik tel donatılı betonların sünekliğinin yaklaşık 25 kat daha fazla olduğu görülebilir. Tel içeriği ve tel narinliğindeki artışla özgül kırılma enerjisinin artmasının nedeninin; kırılma sürecinde tellerin sıyrılmasından, çok sayıda ve rasgele dağılmış tellerin çatlakların birleştirilmesinde bir köprü rolü oynamasından ve böylece dolaylı çatlak yayılmasından kaynaklandığı söylenmiştir. Şekil 2.3.’den görüldüğü gibi çelik tel içeriğini ve narinliğini istenilen performansa göre tasarlamak mümkündür.

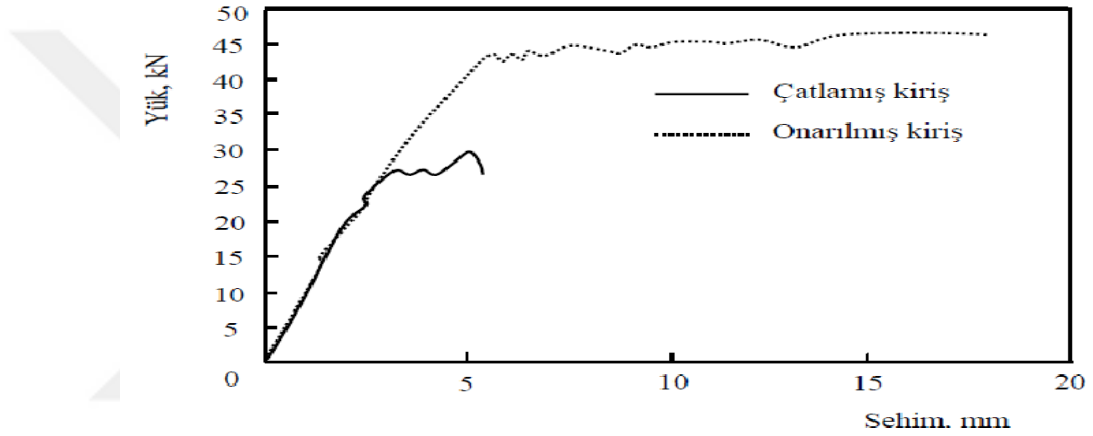


**Şekil 2.3.** Geleneksel ÇTDB'lar için lif içeriği - kırılma enerjisi ilişkisi (Bayramov F., *et al.* 2002).

Yerlikaya (2003) tarafından yapılan çalışmada kayma donatısı yetersiz kirişlerin çevresine güçlendirme levhası olarak SIFCON ile hazırlanan ince plaklar Şekil 2.4.’deki gibi sarılarak kullanılmıştır. Şekil 2.5.’te görüldüğü üzere, SIFCON ile hazırlanan ince plaklar ile güçlendirilmiş kirişin yük - sehim eğrisinde kirişin taşıdığı yük ve meydana gelen sehim değerlerinde yüksek oranda artış olmuş ve çatlaktan sonra yük taşımaya devam ederek bu artışın özellikle tokluğu artırdığı belirtilmiştir.



Şekil 2.4. SIFCON ile güçlendirme (Yerlikaya 2003)



Şekil 2.5. Yük –sehim eğrisi (Yerlikaya 2003)

Yazıcı vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada buhar kürü uygulanmış SIFCON' da yüksek hacimde C sınıfı uçucu kül kullanımının mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Çimentonun %60'ı yerine uçucu kül ve 3 farklı çelik lif oranı (%2-6-10) kullanılmıştır. Sonuçlar, %0 çelik lif ve %0 uçucu kül kullanılan numuneler ile karşılaştırılmıştır. Her uçucu kül yer değiştirmesinde mekanik özellikler olumlu yönde etkilenmiştir. Buna ek olarak lif oranının artmasıyla da eğilme dayanımı ve sertlik te önemli bir derecede artmıştır. Bu davranış %10 lif kullanımında daha da belirginleşmiştir. Bu lif oranında 55 MPa olan eğilme dayanımına %60 uçucu kül yer değiştirmesi ile ulaşılmıştır. Çelik lif oranının artması tüm karışımlarda eğilme ve sertliği arttırmıştır.

Bulutlar (2006) tarafından yapılan çalışmada; SIFCON'un elastisite modülü, yarmada çekme dayanımı, kırılma enerjisi ve eğilme dayanımı gibi mekanik özelliklerinin çelik

lif dayanımı ve lif içeriğiyle değişiminin incelenmesi amaçlanmıştır. SIFCON numuneleri, çimento, süper akışkanlaştırıcı, silis dumanı, çok ince kum ve çelik lifler kullanılarak üretilmiştir. Standart basınç ve elastisite modülü deneyleri için 100 mm çapında ve 200 mm yüksekliğinde silindir numuneler hazırlanmıştır. Yarmada çekme deneyleri için disk numuneler ve kırılma enerjisi deneyleri için de 280 mm uzunluğunda ve 70 x 70 mm kesitinde kirişler hazırlanmıştır. Ayrıca aynı malzemeden üretilen liffsiz numunelerin de mekanik özelliklerini inceleyerek, lif etkisi araştırılmıştır. Bu doğrultuda çelik lif içermeyen ve çelik lif içerikli olmak üzere beş ayrı grup beton üretilmiştir. Çelik lif içeren betonlarda %5 ve %10 oranlarında normal ve yüksek mukavemetli olmak üzere iki çeşit ve kısa kesilmiş düz çelik lifler kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda daha önce yapılan araştırmalara paralel olarak lif miktarının artmasının, kırılma enerjisini de artırdığı gözlemlenmiştir. Çelik lif dayanımı ve içeriğinin SIFCON'un mekanik davranışını önemli ölçüde etkilediği tespit edilmiştir. SIFCON numunelerin, lif içermeyen numunelere göre, kırılma enerjilerinde 2000 kata varan artışlar elde edilmiştir. En yüksek çekme dayanımları ve kırılma enerjileri; hacimce %10 yüksek mukavemetli çelik lif içeren numunelerde olduğu bildirilmiştir.

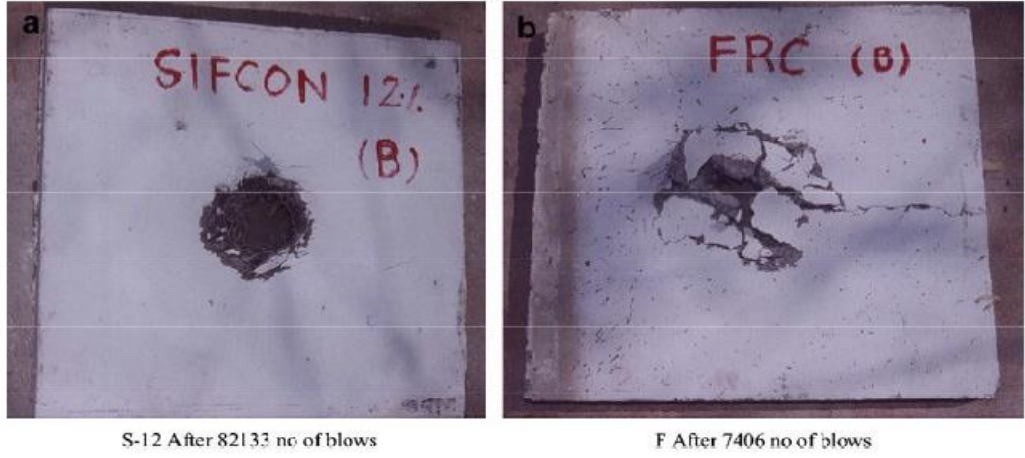
Gıllani (2007) tarafından yapılan çalışmada, matris çeşidi (şerbet veya harç), çelik lif geometrisi (kancalı veya kıvrımlı) ve lif hacminin (%7, %9.5 ve %12) SIFCON'un durabilite özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, özellikle harç ile üretilen SIFCON numunelerinin su emme kapasitelerinin yüksek olmasına karşın iyi durabilite özellikleri gösterdiği ayrıca, yüksek lif oranı ile üretilen SIFCON numunelerinin en iyi sonuç verdiği belirtilmiştir.

Sharma and Singh (2008) tarafından yapılan çalışmada, %0, 5, 7, 8, ve 9 oranlarındaki lif içeriğine sahip SIFCON numuneler üzerinde yapılan basınç dayanım testi sonuçlarına göre en iyi performansın %8 lif içeriğine sahip numunelerde olduğu görülmüş olup %9 lif içeriğine sahip SIFCON numunesinde %8'e göre azalmalar meydana gelmiştir (Şekil 2.6.). Buna neden olarak çimento bulamacının düzgün şekilde yayılmasının yüksek lif hacminde engellendiği ve dolayısıyla lifler arasında çok sayıda boşluk oluşturduğu gerçeğine atfedilmiştir.

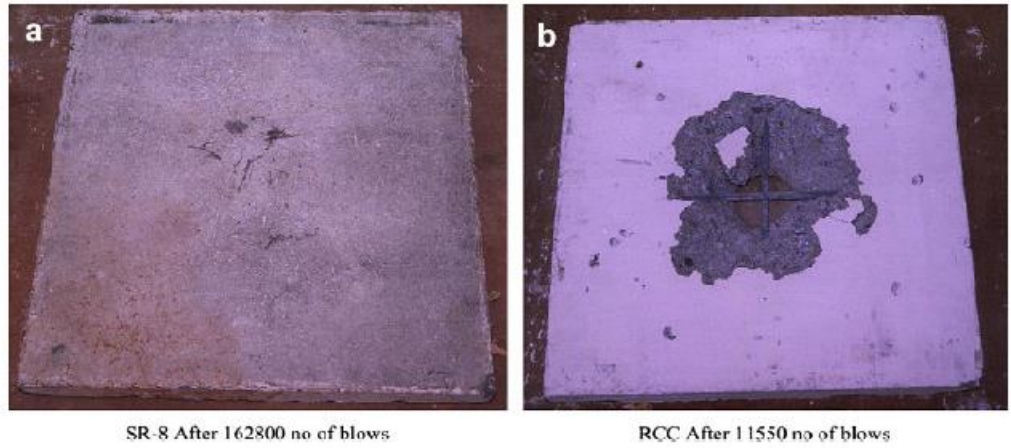
Structural parameter		Type of control specimen test series				
		S0	S5	S7	S8	S9
Fibre volumes fraction, $V_f$ (%)		0	5	7	8	9
Compressive strength, $\sigma_c$ (MPa)		20.0	32.5	34.2	46.7	40.0
Direct tensile strength, $\sigma_t$ (MPa)		0.50	0.70	1.50	2.25	1.93
Split tensile strength, $\sigma_{sp}$ (MPa)		0.60	2.34	2.78	3.43	3.00
Strength ratios	$(\sigma_c/\sigma_t)$	40.0	46.4	22.8	20.7	20.7
	$(\sigma_c/\sigma_{sp})$	33.3	14.0	12.3	13.6	13.3
	$(\sigma_{sp}/\sigma_t)$	1.2	3.34	1.85	1.52	1.55

**Şekil 2.6.** SIFCON'un deneyler sonucu elde edilen yapısal özellikleri. (Sharma and Singh 2008)

Rao *et al.* (2009) tarafından yapılan çalışmada sınırlandırılmış iki yönlü SIFCON levhalarının davranışları araştırılmıştır. İlk çalışmada farklı sınırlandırılmış iki yönlü SIFCON numuneleri eğilmeye tabi tutularak ilk çatlağın oluştuğu yükleme, en yüksek yükleme ve yükleme şekil değiştirme davranışı elde edilmiştir. İkinci çalışmada ise iki yönlü SIFCON levhalarında kesme darbe dayanımı testi uygulanmıştır. Çelik lifler SIFCON levhalarını oluşturmada kullanılmış ve farklı lif oranlarının eğilme ve darbe kesme etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada dokuz farklı lif yüzdesi içeren SIFCON levhalara eğilme yükü uygulayarak dayanım ve sertlik karakteristikleri araştırılmıştır. Sonuçları karşılaştırmak için üç adet FRC (normal lifli beton) levha ve 3 adet liffsiz beton levha numunesi hazırlanmıştır. Test sonuçları SIFCON levhaların kontrol numunelerine göre yüksek dayanım gösterdiği, yüksek enerji yutma kapasitelerinin olduğu ve daha duktül davrandığını göstermiştir. Daha yüksek lif oranına sahip (%12 lif oranı) SIFCON levhaların diğer numunelere göre daha yüksek performans gösterdiği izlenmiştir. % 12 lif içeriğine sahip donatısız SIFCON ve % 2 lif içeriğinde hazırlanmış lifli beton plaklarına ait darbe testi sonucu görünümler Şekil 2.7.'de, % 8 lif içeriğine sahip donatılı SIFCON ve betonarme plaklarına ait darbe testi sonucu görünümler Şekil 2.8.'da verilmiştir



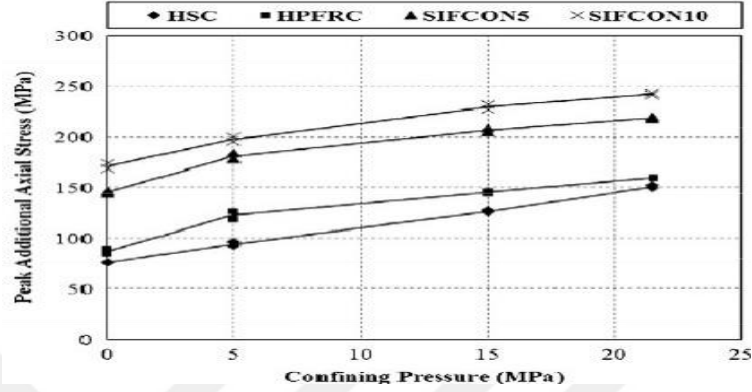
**Şekil 2.7.** %12 lif içeren donatısız SIFCON (82133 darbeden sonra delik oluşmuş) ve %2 lif içeren beton (7406 darbeden sonra delik oluşmuş) plakanın arkadan görünüşü (Rao *et al.* 2009).



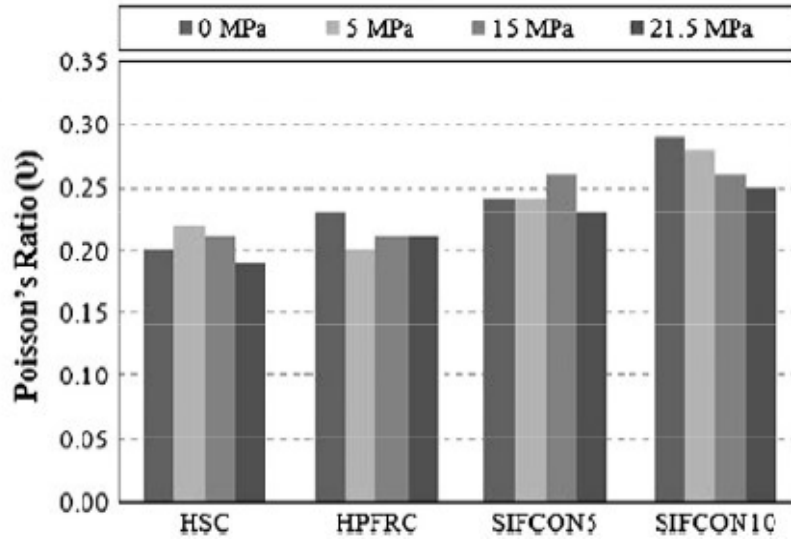
**Şekil 2.8.** %8 lif içeren donatılı SIFCON (162800 darbeden sonra delik oluşmuş) ve betonarme (11550 darbeden sonra delik oluşmuş) plakanın arkadan görünüşü (Rao *et al.* 2009).

Farnam *et al.* (2010) yapmış oldukları çalışmada %0 lif hacminde yüksek dayanımlı beton, %2 lif hacmine sahip yüksek dayanımlı lifli beton ve %5 ve %10 lif hacmine sahip SIFCON için 75 x 150 mm silindirik numuneler üreterek üç eksenli basınç altında davranışlarını araştırmışlardır. Üç eksenli deney koşullarına göre numunelere dört farklı (0, 5, 15, 21,5 MPa) yanal kuvvet uygulayarak bu numunelerin tokluk indeksleri, eksenel gerilmeleri ve poisson oranı ile ilgili araştırma yapmışlardır. Sonuç olarak gerilme şekil değiştirme eğrisi elde edilmiş ve HSC, HPFRC ve SIFCON örneklerindeki kırılma şekil ve kriterleri araştırılmış olup sonuçlara göre lif hacminin artması azami

gerilmeyi, enerji yutmayı, sertliği ve poisson oranını artırdığı belirtilmiştir (Şekil 2.9. ve Şekil 2.10.).



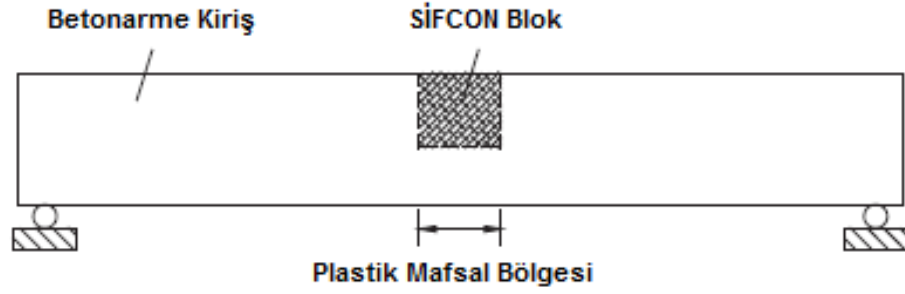
**Şekil 2.9.** Farklı yanal hidrolik basınçlar altında numunelerin aksel basınç dayanımları (Farnam *et al.* 2010)



**Şekil 2.10.** Farklı yanal hidrolik basınçlar altındaki numunelerin poisson oranı değişimi (Farnam *et al.* 2010).

Wu et al. (2010) betonarme kirişin üst orta noktasına SIFCON 'dan oluşan bir blok eleman yapmışlardır (Şekil 2.11.). Çalışmada, kiriş üst bölgesinin SIFCON ile sünekliğini arttırarak, kirişin sehim yapma kapasitesinin artmasını sağlamışlardır. SIFCON bloğun basınç altındaki deformasyonunu arttırmak amacıyla bloğa delikler açmışlardır (Şekil 2.12.). Deneysel çalışmada gevrek malzeme olan betonun yerine

basınç bölgesinde SIFCON kullanımı ile kirişin alt bölgesindeki yer değiştirmeler artmış ve dayanım ve tokluk artmıştır.



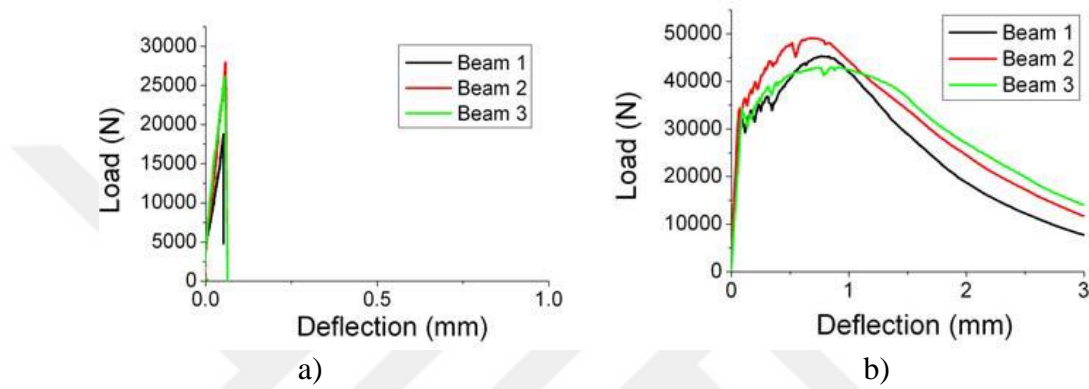
Şekil 2.11. SIFCON blok ile üretilmiş betonarme kiriş (Wu *et al.* 2010).



Şekil 2.12. SIFCON blok (Wu *et al.* 2010)

Lin *et al.* (2011), tarafından yapılan çalışmada normal çimento harcı kullanılarak üretilen kiriş ile kiriş yüksekliğine göre 0,2 ve 0,5 oranında yüksekliği bulunan SIFCON tabakası ile oluşturulan kompozit kirişlere üç eksenli basınç deneyi uygulayarak eğilme dayanımı ve enerji yutma özellikleri üzerinde SIFCON tabakasının kalınlığının etkisi araştırılmıştır. Alttaki tabaka SIFCON, üstteki tabaka ise normal beton tabakasıdır. Karşılaştırma için tamamıyla SIFCON' dan oluşan kirişler ayrıca araştırılmıştır. Kiriş derinliğinin 0,2 sini oluşturan SIFCON katmanı ile teşkil edilmiş hibrid kompozit kirişler, eğilme-sertleşme davranışı göstermiş ve beton kirişlerden daha yüksek eğilme mukavemeti ve süneklik göstermiştir. SIFCON tabakasının yüksekliğini kirişin yarısı

kadar artırmak, sadece SIFCON olacak şekilde imal edilmiş kirişlere nazaran karşılaştırılabilir mukavemet ve süneklik ile sonuçlanmıştır. Çalışmalar SIFCON'lu kompozit kirişlerin normal betona göre önemli ölçüde eğilme dayanımını ve enerji yutma kapasitesini artırdığını göstermiştir. Deney sonucu olarak yük-şekil değiştirme eğrileri Şekil 2.13.'deki gibidir.



**Şekil 2.13.** a) Normal çimento matrisi ile oluşturulan kirişe ait yük-şekil değiştirme eğrisi. ve b) kiriş alt kısmına kiriş yüksekliğinin %20 si kadar kalınlıkta SIFCON ilavesiyle oluşturulan hibrit SIFCON kirişe ait yük-şekil değiştirme eğrisi (Lin *et al.* 2010).

Mısır (2011); yaptığı araştırmada, normal betonarme binaların kolon-kiriş birleşimlerinin genel yetersizlik unsurlarını barındıran dış kolon-kiriş birleşimi numunelerinin deprem benzeri tersinir tekrarlı yükler altındaki davranışını incelemiştir. Dış kolon-kiriş birleşimlerinde kimyasal ankrajlar kullanılarak SIFCON bloklar ile dayanımın iyileştirilmesi araştırılmıştır. SIFCON hazırlarken narinliği 80 olan 60 mm uzunluğunda ve çekme dayanımı minimum  $1050 \text{ N/mm}^2$  olan çelik lifler kullanılmıştır. Birleşimlerin iyileştirilmesi amacıyla ve önerilen yöntemeye uygun olarak SIFCON kompozitler L şekilli köşe bloklar halinde hazırlanmış ve tekrarlı yatay yükler altında ileri ötelenme seviyelerine kadar yanal dayanımlar korunmuş olup bu amaç için gerekli olan sünekliğin sergilendiği tespit edilmiştir. Yüksek matris dayanımı - düşük lif dozajı ve düşük matris dayanımı - yüksek lif dozajı ilkelerine göre üretilmiş blok numuneleri üzerinde yapılan deneylerde hem matris basınç dayanımı hem de lif dozajı yüksek olan blok numunesinde tepe ötelenmesi - yanal rijitlik ilişkisi açısından değerlendirildiğinde diğer numunelere kıyasla kayda değer bir iyileşme görülmüştür. Kompozitin yanal yük

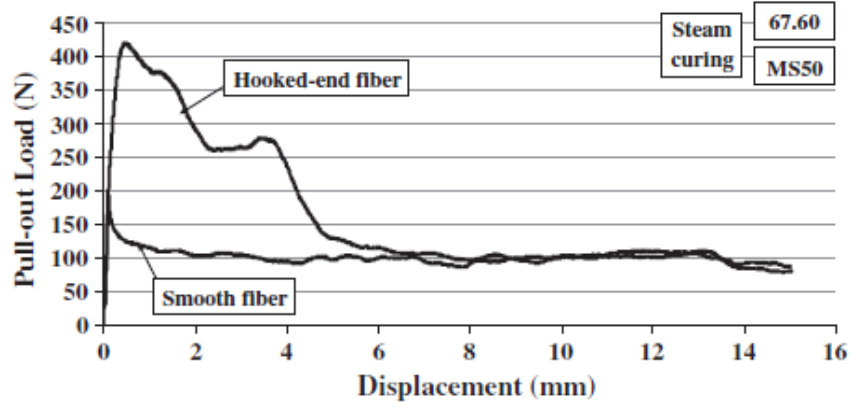
altındaki davranışını etkileyen en önemli parametre SIFCON blok kalınlığı olmuştur. Birikimli enerji tüketimi açısından bakıldığında yüksek lif - düşük matris dayanımı seçeneğinin kompozitin enerji tüketim performansını düşük lif - yüksek matris dayanımı seçeneğine göre bir miktar düşürdüğü bildirilmiştir. Kontrol numunesinde, kesme hasarının görülmesinden sonra hızlı bir şekilde dağılan birleşim paneli ve oluşan beton konisi, iyileştirilen numunelerde sonradan yerleştirilen kompozit plak elemanın desteği ile engellenmiş ve birleşimin bir bütün olarak kalması sağlanmıştır. SIFCON ile güçlendirilen numunelerin başlangıç rijitliği kontrol numunesine göre karşılaştırıldığında artışlar tespit edilmiştir.

Yaka (2011) tarafından yapılan çalışma sonucunda lif miktarının basınç dayanımı üzerinde olumlu ve olumsuz yönde etkileri olduğunu belirtmiştir. Sebep olarak betona ilave edilen liflerin betonun işlenebilirliğini azalttığından veya beton içerisindeki dağılımının etkisi sonucu olabileceği belirtilmiştir.

Tuyan ve Yazıcı (2012); tarafından yapılan çalışmada farklı oranlarda, düz ve iki ucu kancalı çelik lif kullanılarak imal edilen lifli SIFCON beton numunelerinde lif – matris arası aderansa lif türünün etkisi araştırılmıştır. Ayrıca bu çalışmada SIFCON matrisinin karışım oranları, kür koşulları, çelik lif yönlenme oranı ve gömülme uzunluğu üzerinde araştırma yapılmıştır. SIFCON matris dayanımının ve lif çapının artması, uygun kür koşulları uygulanmasının lif aderansını arttırdığını belirtmişlerdir. Pull - out deneyinde (Şekil 2.14.), aderans artışı ve lif gömülme derinliğinin arttıkça tokluğun da arttığı bildirilmiştir. Deneyler yapıldıktan sonra liflerin kullanılması ile lif matris bağları üzerindeki önemli etkiler gösterilmiştir. Lif çapının artırılması ve kür koşullarının iyileştirilmesi lif – matris bağının daha fazla iyileştirdiği ve bunun da SIFCON'un mukavemet artışına neden olduğu gösterilmiştir. Ayrıca pürüzlü liflerin pürüzsüz liflere göre etkilerinin daha yüksek olduğu bildirilmiştir.

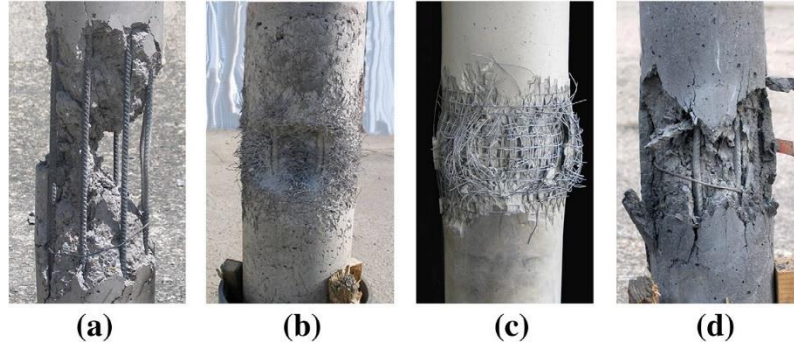


**Şekil 2.14.** SIFCON pull - out deneyi (Tuyan ve Yazıcı 2012)



**Şekil 2.15.** Kancalı ve kancasız lifin aderans deney sonucu (Tuyan ve Yazıcı 2012)

Roller *et al.* (2013) yaptıkları çalışmada, silindir şeklinde imal edilen betonarme kolon, üç boyutlu lifli beton, yüksek dayanımlı polimer lifli beton ve SIFCON ile sararak güçlendirilen dört farklı kolon numuneler üzerine basınç deneyleri uygulayarak sonuçları mukayese etmişlerdir ve SIFCON ile yapılan güçlendirmenin en iyi sonucu verildiği belirtilmiştir (Şekil 2.16.).



**Şekil 2.16.** 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 (Roller *et al.* 2013)

Taşdemir vd (2013) tarafından yapılan çalışmada, çelik telin narinliği ve içeriğinin artmasıyla yüksek kırılma enerjisi ve sonuçta yüksek süneklik elde edildiği belirtilmiştir. Örneğin, tel içeriği  $30 \text{ kg/m}^3$  (%0,38) olduğunda narinliğin 45'den 80'e çıkmasıyla özgül kırılma enerjisinin yaklaşık 2 kat artış göstererek  $1468 \text{ J/m}^2$ 'den  $2889 \text{ J/m}^2$ 'ye kadar arttığı bildirilmiştir.

Canbay (2014), tarafından yapılan araştırmada SIFCON'da genel olarak kullanılan iki ucu kancalı liften farklı olarak, değişik geometriye ve malzeme yapısına sahip kancalı dalgalı ve polimer liflerin, SIFCON'un fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda, numuneler üzerinde basınç ve eğilme dayanımı, ultra ses geçiş hızı, kırılma tokluğu ve schimdt test çekici deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak, çelik liflerin polipropilen liflere göre mekanik özellikler üzerinde daha etkili olduğu, dayanım maliyet açısından incelendiğinde ise dalgalı çelik lifin daha ekonomik olduğu belirtilmiştir. Çelik liflerle karşılaştırıldığında düşük dayanıma sahip olmasına rağmen polipropilen liflerin korozyon riskinin yüksek olduğu yerlerde kullanımının uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Yalçınkaya vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada metakaolin – çimento yer değiştirmesiyle ve kancalı – düz çelik liflerin SIFCON harcının aderans özelliklerindeki etkisi incelenmiş ve tek lif çekme deneyi uygulanmıştır. Metakolin kullanılması basınç dayanımı ve lif matrisinin aderans özelliklerini geliştirmiştir. Kancalı çelik lifler, düz çelik liflere göre daha iyi performans göstermiştir. Metakaolin kullanılması ile SIFCON

harcında viskozite ve akışkanlaştırıcı ihtiyacı artmıştır. Çimentonun %15'i kadar metakaolin kullanılması durumunda basınç dayanımı yaklaşık %30 artmıştır. Metakaolin kullanılması ile kancalı liflerin çekme dayanımı artmıştır. Kancalı liflerin çekip - çıkarma dayanımları normal liflere göre yaklaşık %180-%199 dan fazla olduğu görülmüştür.

Yardımcı vd (2016), yaptıkları çalışmada çelik lif ve sentetik lifleri toplamda %12 lif içeriğine sahip olacak şekilde tekli veya birleşik halde kullanarak numuneler üretmişlerdir. Ayrıca deney için üretilen SIFCON numunelerine 24 saat boyunca 80°C'de düşük basınçlı buhar kürü uygulamışlardır. Ürettikleri numuneleri eğilme mukavemeti ve eğilme tokluğu açısından incelemişlerdir. Deney sonuçlarına göre %12 çelik lif içeren SIFCON'un en yüksek eğilme mukavemetine sahip olduğu görülürken, %9 çelik - %3 sentetik lif içeriğinin birlikte kullanıldığı SIFCON numunesinin en yüksek eğilme tokluğu değerine sahip olduğu belirtilmiştir.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada farklı oranlarda (hacimce %0, %4, %8, %12) ve farklı narinliklerde (40, 55, 65, 80) çelik lifler kullanılarak üretilen SIFCON numuneleri üzerinde basınç ve eğilme dayanımları incelenmiştir.

Çalışma için yapılan deneyler Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi ve Tatbiki Mekanik Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

#### 3.1. Materyal

Çalışmanın bu bölümünde, SIFCON beton üretiminde kullanılan agrega, çimento, çelik lif, SD (Silis Dumanı), karma suyu, SAK (Süper Akışkanlaştırıcı Katkı) malzemeleri ile deneylerde kullanılan alet ve cihazların genel özellikleri açıklanacaktır.

##### 3.1.1. Çimento

Bu çalışmada, Aşkale Çimento Fabrikasının 2015 yılında üretmiş olduğu portland çimentosu CEM II (PÇ 42,5) kullanılmıştır. Bu çimentonun üretici fabrikadan elde edilen fiziksel, mekanik ve kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.1. ve Çizelge 3.2'de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri

Özgül Kütle (g/mL)		3,13
Litre kütlesi (g/L)		1 110
Priz Başlangıcı (saat)		2,10
Priz Sonu (saat)		3,15
Hacim Genleşmesi (mm)		3
Basınç dayanımı (MPa)	2 gün	23,5
	7 gün	35,3

**Çizelge 3.1.** (devam)

	28 gün	47,0
Eğilme dayanımı(MPa)	2 gün	5,0
	7 gün	6,2
	28 gün	7,7

**Çizelge 3.2.** Çimentonun kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşen	Oran (%)
SiO <sub>2</sub>	19,94
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,28
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,45
CaO	62,62
MgO	2,62
SO <sub>3</sub>	2,46
Kızdırma Kaybı	1,99
Na <sub>2</sub> O	0,23
K <sub>2</sub> O	0,83
Cl	0,0107
Tayin Edilemeyen	0,08
Toplam	100
Serbest CaO	0,51
Çözünmeyen Kalıntı	0,70
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,45

### 3.1.2. Karma suyu

Beton üretiminde kullanılacak suyun temiz olması ve betona olumsuz bir etki yapmaması gerekmektedir. Çalışmada karma suyu olarak Atatürk Üniversitesi içme suyu kullanılmıştır.

### 3.1.3. Süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi

Akışkanlaştırıcı katkı maddesi olarak BASF firmasının ürettiği MasterGlenium® ACE 450 adlı ürün kullanılmıştır. Bu ürün betonun karma suyunu yüksek oranda azaltarak dayanımını artıran veya aynı miktarda su ile betona yüksek oranda akışkanlık özelliği kazandıran süper akışkanlaştırıcı katkı maddesidir. Su azaltıcı özelliği olarak katkısız betona göre 1 günlük dayanımı %40, 28 günlük dayanımı ise %15 artırmaktadır. Karışıma çimento ağırlığının %1,5'i kadar katılmıştır. Dona ve geçirimsizliğe karşı etkilidir. Karışımda kullanılan suyun dozaja bağlı olarak %20'nin üzerinde azaltır. Süper akışkanlaştırıcı katkının bazı özellikleri Çizelge 3.3.'de verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Süper akışkanlaştırıcı katkı maddesine ait özellikler (<https://www.master-builders-solutions.basf.az/tr-tr/products/masterglenium> 2015)

Adı	BASF MasterGlenium® ACE 450
Tipi	Polikarboksilik Eter Esaslı
Renk	Kahverengi, homojen ve sıvı
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	1 089±20
pH Değeri	Yaklaşık 5-7
Alkali İçeriği	≤ 3.00
Klor İyon İçeriği %	≤ 0.10

### 3.1.4. Silis dumanı

SD; silisyum ve silisyum alaşımlarının elektrik ark fırınlarından, üretim sırasında açığa çıkan dumanın bacalarda filtre edilerek tutulan, çimentodan 30–100 kat daha ince, yaklaşık %90 oranında amorf silis içeren endüstriyel bir atıktır. Silis dumanı (SD), çok ince cam gibi parçacıklardan ibaret olup 20,000 m<sup>2</sup>/kg yüzey alanına sahiptir (Kaygusuz 2008).

SD, beton dayanımı ve agrega-çimento aderansını önemli ölçüde arttırmakla birlikte, çözücü tuzları içeren kimyasal maddelere ve sülfata karşı da olumlu etki yaptığı, segregasyon, terleme, hidrasyon ısı, geçirimsizlik, alkali agrega reaksiyonlarını azalttığı bilinmektedir (Demirboğa 1999).

Beton içindeki boşlukları doldurduğundan SD, yüksek dayanım ve düşük permeabilite sağlamaktadır. Permeabilitenin düşmesi, betonun suya doygunluğunu azalttığından, donmaya karşı iyi bir dayanım sağlayacaktır. (Kaygusuz 2008)

Bu çalışmada Antalya Elektrometalürji İşletmesinde Silico Ferrokrom tesisinden sağlanan SD kullanılmıştır. SD'nın kimyasal bileşimi Çizelge 3.4'de verilmiştir. Karışımlarda çimento ağırlığının %10 si kadar kullanılmıştır.

**Çizelge 3.4.** Silis dumanının kimyasal bileşimi ve elek analizi (Kaygusuz 2008).

Kimyasal Bileşim		Elek Analizi	
Madde	Miktar (%)	mm	Kalan (%)
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		+0,250	0,3 – 1
SiO <sub>2</sub>	85–95	+0,125	0,8 – 2,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5–1,0	+0,074	0,5 – 2,5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,0–3,0	+0,044	1,0 – 7,5
MgO	1,0–2,0	+0,038	3,0 – 7,0
CaO	0,8–1,2	-0,038	92 – 80
C	0,5–1,0		
S	0,1–0,3		
Kızdırma Kaybı	0,5–1,0		

### 3.1.5. Betonda kullanılan lifler

Kemerli Metal Sanayii ve Ticaret Anonim Şirketinden temin edilen KMX 40/30 BG, KMX 55/30 BG, KMX 65/35 BG ve KMX 80/60 BG tipi iki ucu kancalı, soğuk çekilmiş çelik lifler kullanılmıştır. Kullanılan çelik lifle ilgili teknik özellikler Çizelge 3.3'de gösterilmiştir.

Narinlik, çelik tel boyunun tel çapına bölünmesiyle tanımlanır ve telin beton ile temas yüzeyini ifade etmektedir (Balaguru, and Shah 1992).



**Şekil 3.1.** Deneylerde kullanılan çelik lifler.

**Çizelge 3.5.** Üretici firmadan temin edilen çelik liflerin teknik özellikleri (<http://www.kemerix.com.tr/> 2015)

Lif Tipi	KMX 40/30	KMX 55/30	KMX 65/35	KMX 80/60
	BG	BG	BG	BG
Boy (mm)	30	30	35	60
Çap (mm)	0,75	0,55	0,55	0,75
Narinlik (l/d)	40	55	65	80
Min. Çekme Day. (N/mm <sup>2</sup> )	1 200	1 500	1 500	1 200
Birim Adet (lif/kg)	9 000	16 750	14 530	4 580

### 3.1.6. Agrega

Betonun toplam hacmin yaklaşık %60-80 oranlarında ana iskeletini oluşturan, mineral kökenli, taneli malzeme, agregalar olarak isimlendirilir. Agregalar elde edilmesine göre doğal ve yapay agregalar olarak ikiye ayrılır. Agregalar; suyun etkisi altında yumuşamamalı, dağılmamalı, çimentonun bileşenleri ile birlikte zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir.

Yıldız (2006), agregalarda aranan en önemli özellikleri aşağıdaki şekilde belirtmiştir:

- Sert, dayanıklı ve boşluksuz olmalı,
- Zayıf taneler içermemeli (deniz kabuğu, odun, kömür vb.)
- Basınca ve aşınmaya mukavemetli olmalı,
- Toz, toprak ve betona zarar verebilecek maddeler içermemeli,
- Yassı ve uzun taneler içermemeli,
- Çimentoyla zararlı reaksiyona girmemeli.
- Agregada silt ve kil olmamalıdır.

Bu çalışmada, Erzurum ili sınırları içerisindeki Erzurum Beton A.Ş. den temin edilen doğal kum kullanılmıştır. SIFCON matrisinde kullanılmak üzere agrega 1 mm elekten elenmiş olup; eleme sonunda elde edilen malzeme üzerinde yapılan agrega deneylerinin sonuçları ve hazırlanan karışımın granülometri eğrisi Araştırma Bulguları bölümünde verilmiştir.

### **3.1.7. Diğer malzemeler**

Beton numunelerinin kuru için kirece doymun su ortamının sağlanmasında söndürölmüş torba kireç ve numunelerin kalıplardan kolayca çıkmasını sağlamak için kalıplarda ince motor yağı kullanılmıştır.

## **3.2. Deneylerde Kullanılan Aletler**

Çalışmanın bu bölümünde deneylerde kullanılan aletler ve bu aletlerin özellikleri tanıtılacaktır.

### **3.2.1. Elekler**

Deneylerde TS1227 ISO 3310-1 (2007)'ye uygun toplama kabı ile TS1226 ISO 3310-2 (2009)'ya uygun 0,25 mm, 0,50 mm ve 1 mm, göz açıklıklı kare delikli tel elekler kullanılmıştır.

### 3.2.2. Betonyer

Deneysel çalışmalardaki numune betonlarının karılması işlemi, ELE firmasının ürettiği 135° açı ile manevra yapabilen 60 dm<sup>3</sup> kapasiteli, 25 devir/dakika karıştırma hızına sahip, düşey eksenli laboratuvar tipi betonyer kullanılmıştır.

### 3.2.3. Kalıplar

Deneysel çalışmalar kapsamında basınç deneyi uygulanacak numuneler için sertleştirilmiş plastikten imal edilmiş, 15x15x15 cm boyutlarında küp kalıplar ve eğilme deneyi uygulanacak numuneler içinse 7x7x28 cm boyutlarında dökme demirden imal edilmiş prizmatik kalıplar kullanılmıştır (Şekil 3.3.).



a) 7 x 7 x 28 cm ebadında  
Prizma numune kabı



b) 15 x 15 x 15 cm ebadında küp numune kabı

Şekil 3.2. Kalıplar

### 3.2.4. Pres

Sertleşmiş beton numunelerinin basınç dayanımını belirlemek amacıyla, kapasitesi 300 ton olan, ELE marka AUTOTEST 3000 modeli hidrolik pres kullanılmıştır (Şekil 3.3.).



**Şekil 3.3.** Pres

### 3.2.5. Su kürü havuzu

Yapılan deneysel çalışmalarda kirece doymundaki suyu  $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de sabit tutulabilen, çevrim pompalı tam dijital su kürü havuzu kullanılmıştır (Şekil 3.5.).



**Şekil 3.4.** Su kürü havuz

### 3.3. Yöntem

Bu bölümde, agrega özelliklerinin belirlenmesinde uygulanan yöntemler, SIFCON üretiminde karışım seçenekleri ve beton numunelerine uygulanan deneysel yöntemler açıklanmıştır.

#### 3.3.1. Agrega deneylerinde uygulanan yöntemler

Agreganın tane büyüklüğü dağılımı, TS 3530 EN933-1/A1 (2007)'ye uygun olarak belirlenmiştir. Bu standarda göre yapılan deneyde yıkanmış ve kurutulmuş malzeme elek takımına dökülmüştür. Elek takımı, TS EN 1227 ISO 3310-1 (2007) ve TS EN 1227 ISO 3310-2 (2009)'ye uygun toplama kabı, 0,25 mm, 0,5 mm ve 1 mm göz açıklıklı kare delikli düzenlenmiş elekler, tava ve kapaktan ibarettir.

Agregalar üzerinde yapılan elek analizi deneylerinin sonuçları Araştırma Bulguları Bölümü'nde verilmiştir.

Standarda uygun olarak yapılan deneyde bir miktar malzeme etüve atılarak,  $(110\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 'de 24 saat beklenmiş ve malzemelerin kurumması sağlanmıştır. Literatürde yapılan araştırmada 1 mm çaptan küçük agrega kullanıldığı görülmüş olup etüvden çıkarılan malzemelerden bir miktar alınarak 1 mm elekten elenmiştir. Daha sonra sırayla 0,5 mm göz açıklıklı elekten başlamak üzere 0,25 mm göz açıklıklı elek ve altına tava ve üzerine kapak konularak her bir elek takımdan ayrılarak, elle tek tek eleme işlemine devam edilmiştir. Her elekten geçen malzeme elek setinde bulunan bir sonraki elek üzerine konularak işleme devam edilmiştir. Standarda göre eleme işlemi esnasında, bir dakika süre içerisinde elek üstü malzemede kütlece %1'den daha fazla değişiklik olmuyorsa eleme işleminin tamamlandığı kabul edilebilir. En büyük göz açıklığına sahip elek üzerinde kalan kısım tartılıp, kütlesi %1 hassasiyette  $R_1$  olarak kayıt edilmiştir. Altındaki elekte kalan kısım için aynı işleme devam edilmiş ve kütlesi  $R_2$  olarak kayıt edilmiştir. Tavada kalan malzemede tartılıp kütlesi P olarak kayıt

edilmiştir. Her bir elek fraksiyonunun kütlesi ( $R_i$ ), orijinal kuru kütlenin ( $M_1$ ) yüzdesi olarak hesaplanmıştır.

### 3.3.2. SIFCON karışım hesapları

SIFCON bileşenleri için henüz herhangi bir standart bulunmamaktadır. SIFCON'da kullanılan ince agrega için en önemli koşul boyutudur. Agrega boyutu lif ağı üzerinden tıkanıklık veya boşluk olmadan tam sızmayı kolaylaştırmak için yeterince küçük olmalıdır (Gilani 2007).

Hazırlanan karışımlarda, çimento dozajı 880 kg, su/bağlayıcı oranı ise 0,35 olarak sabit tutulmuştur.

Çelik lif hacimce %0, %4, %8 ve %12 oranlarında ve akışkanlaştırıcı kimyasal katkı tüm seriler için %1,5 oranında sabit tutulmuştur.

Belirlenmiş olan sabit dozaj ve su / bağlayıcı oranından yola çıkılarak karışım suyu miktarı 1 m<sup>3</sup> için 308 kg olarak hesaplanmıştır.

Tüm seriler için karışıma giren malzeme miktarları hesaplanmış ve karışımlar hazırlanmıştır. Karışıma giren malzeme miktarları Çizelge 3.6'da verilmiştir.

**Çizelge 3.6.** SIFCON için malzeme miktarları (1 m<sup>3</sup> beton için)

Malz. Grup	Çimento (kg)	Agrega (kg)	Silis Dumanı (kg)	Su (kg)	Su /Bağla yıcı	Akış. Katkı (kg)	Lif miktarı (kg)
N0 - L0	800	950	80	308	0,35	13,2	0
N40 - L4	800	950	80	308	0,35	13,2	320
N55 - L4	800	950	80	308	0,35	13,2	320
N65 - L4	800	950	80	308	0,35	13,2	320
N80 - L4	800	950	80	308	0,35	13,2	320

**Çizelge 3.6.** (devam)

N40 – L8	800	950	80	308	0,35	13,2	640
N55 – L8	800	950	80	308	0,35	13,2	640
N65 – L8	800	950	80	308	0,35	13,2	640
N80 – L8	800	950	80	308	0,35	13,2	640
N40 – L12	800	950	80	308	0,35	13,2	960
N55 – L12	800	950	80	308	0,35	13,2	960
N65 – L12	800	950	80	308	0,35	13,2	960
N80 – L12	800	950	80	308	0,35	13,2	960

Yapılan karışım miktarları ve narinlik oranlarına göre numune gruplarının isimlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Örneğin narinlik değeri 55, lif oranı %8 olan numune grubunun ismi N55-L8 olarak belirlenmiştir. Diğer narinlik oranları ve lif oranlarına göre sırasıyla isimlendirme gerçekleştirilmiştir.

Karışımındaki malzeme miktarları, karışıma ağırlık olarak konularak deney numuneleri üretilmiştir. Bu işlem sırasında malzeme kayıpları göz önünde bulundurularak gerekli miktarlar %10 oranında artırılmıştır. Deneysel çalışma kapsamında 13 seri grup için toplam 78 numune dökülmüştür.

### 3.3.3. SIFCON üretiminde izlenen sıra

Dökülecek numune sayısına göre önceden belirlenen oranlardaki malzemelerden hassas elektronik terazide tartım yapıp malzemeler hazırlandıktan sonra aşağıda maddeler halinde belirtilen işlemler yapıldı.

- Numunelerin kolayca kalıplardan çıkarılması amacıyla kalıpların yağlanması
- Liflerin önceden hazırlanmış kalıplara yerleştirilmesi (Şekil 3.5. ve Şekil 3.6.)
- Hazırlanacak numune adedine göre önceden belirlenen oran kullanılarak agrega miktarının tespit edilip hazırlanması,

- Çimento ile silis dumanının karıştırılması,
- Çimento – Silis dumanı karışımının agrega ile karıştırılması,
- Su ile akışkanlaştırıcının farklı bir kaptaki karıştırılması,
- Su ile akışkanlaştırıcı karışımının çimento, silis dumanı ve agrega karışımına eklenerek karıştırılması,
- Harcın önceden lif yerleştirilmiş kalıplara alınması ve vibrasyonu.



Şekil 3.5. Çelik liflerin önceden kalıba yerleştirilmesi



Şekil 3.6. Kalıba yerleştirilmiş çelik lifler

### 3.3.4. Basınç ve eğilme dayanımı tayini yöntemi

Basınç dayanımları tüm gruplardaki numunelerde 1 adedi 7 günlük ve 2 adedi ise 28 günlük kür sonrası belirlenmiştir. Beton zamana bağlı olarak şekil değiştirme gösteren bir malzeme olduğundan, yükleme hızı, betonun basınç mukavemeti üzerinde etkili bir parametredir (Baradan 1991). Bu nedenle tüm numuneler sabit bir yükleme hızı altında deneye tabi tutulmuşlardır. TS EN 12390-3 (2010)'e bu değer 0,2 MPa/s ile 1,0 MPa/s arasında olmalıdır. Beton numunelerin kırılması işlemi, yükleme hızı 0,4 MPa/s seçilerek yapılmıştır.

Farklı lif hacmi ve narinlik oranlarında imal edilen numunelerde, liflerin basınç ve eğilme dayanımına etkileri incelenmiştir.

Betonun eğilme dayanımı tayini TS EN 12390-5 (2002) ve TS 10515 (1992) standartlarına göre lifli ve lifsiz beton numuneler bu deney metodunda açıklığın orta noktasından yüklenmiş basit kiriş metodu ile yapılmıştır. Eğilme dayanımları tayini için 70x70x280 mm'lik kiriş numuneleri üretilmiştir. Eğilme dayanımı, aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$F=3PL/2bd^2$$

F: Eğilme dayanımı, MPa

P: En büyük yük, N

L: Mesnetler arası açıklık, mm

b,d: Numunenin en kesiti, mm

### 3.3.5. Sonuçlar değerlendirilmesinde kullanılan yöntem

Bu çalışmada kontrol numuneleri ve elik lif narinliği 40, 55, 60 80 ve oranları %0, %4, %8, %12 oranlarında üretilen 13 seri SIFCON numunesi üzerinde basınc ve eğilme dayanımı tespiti yapılmıştır.

Liflerin farklı oranları için, eğilme dayanımı ve basınc dayanımına etkilerinin incelendiği araştırmada, deneylerden elde edilen sonuçlar karşılaştırma yöntemi ile değerlendirilmiştir.



#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde, farklı narinlik oranı ve lif içeriğine göre oluşturulan SIFCON 'da kullanılan agregaya ve SIFCON numuneler üzerinde yapılan basınç ve eğilme deneylerinde elde edilen değerlere ait tablolar ve grafikler verilmiştir.

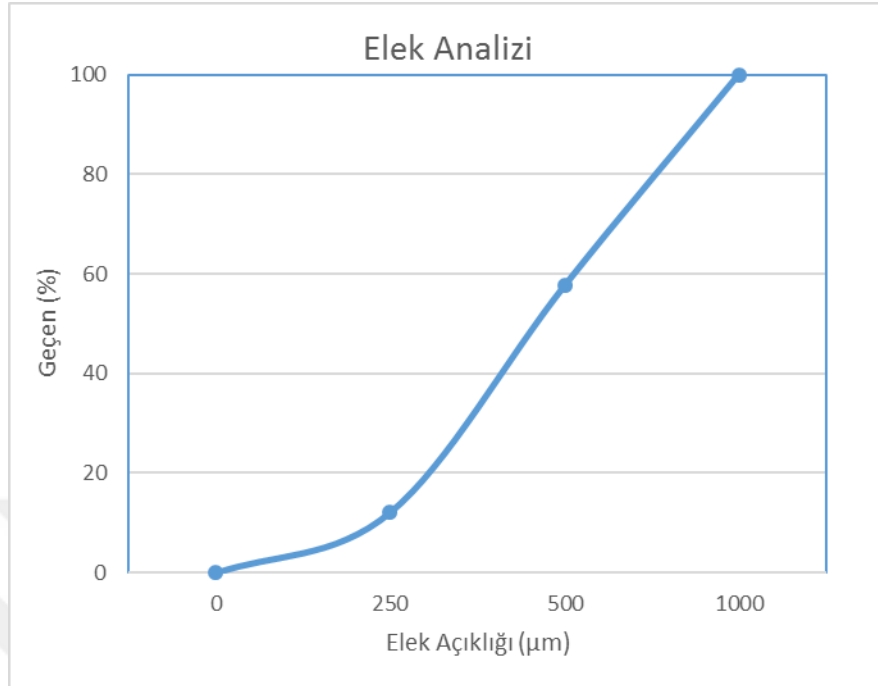
##### 4.1. Agregaya Deneylerinde Elde Edilen Bulgular ve Tartışma

###### 4.1.1. Elek analizi (Granülometri)

Literatürde yapılan araştırmada en yüksek agregaya tane boyutunun 1 mm altında kullanıldığı fark edilen spesifik durumun açıklığa kavuşturulması Granülometri eğrilerinin limitlerin dışına çıkmasının üretilen betonlarda istenmeyen sonuçları ortaya çıkarabileceği düşüncesiyle önce malzeme 1 mm çaplı elekten elendikten sonra elde edilen malzemeden granülometri eğrisi oluşturulmuştur. Agregaya karışımının tane dağılımına ait değerler yığışımlı ağırlık yüzdesi olarak Çizelge 4.1'de agregaya için elde edilen granülometri eğrisi ise Şekil 4.1.'de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Agregaya için elek analizi deneyi sonuçları

Elek açıklığı (mm)	Elek üzerinde kalan (g)	Kümülatif toplam (g)	% Kalan	% Geçen
1	0	0	0	100
0,50	1 694	1 694	42,35	57,65
0,25	1 820	3 514	87,85	12,15
Elek altı	486	4 000	100	0



**Şekil 4.1.** Kullanılan agreganın granülometri eğrisi

#### 4.1.2. Birim ağırlık

Standart birim ağırlık kabının kullanıldığı bu deneyde, deneyleri hava kurusu durumunda bulunan agregalar üzerinde yapılmıştır. Agregada deneylerinden elde edilen gevşek birim ağırlık değerlerinin ortalaması Çizelge 4.2.'de, sıkışık birim ağırlık değerlerinin ortalaması ise, Çizelge 4.3.'de verilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Gevşek birim ağırlık deneyi sonuçları

Ölçülen değer	Ağırlık (g)
Ölçü kabı boş ağırlığı ( $w_1$ ), g	6 705
Ölçü kabı hacmi ( $v$ ), $cm^3$	2 148
Kap + Numune ağırlığı ( $w_2$ ), g	10 358
Numune ağırlığı ( $w_2 - w_1$ ), g	3 653
G. Birim ağır. ( $(w_2 - w_1)/v$ ), $kg/m^3$	1 700

**Çizelge 4.3.** Sıkışık birim ağırlık deneyi sonuçları

Ölçülen değer	Ağırlık (g)
Ölçü kabı boş ağırlığı ( $w_1$ ), g	6 705
Ölçü kabı hacmi ( $v$ ), $cm^3$	2 148
Kap + Numune ağırlığı ( $w_2$ ), g	10 998
Numune ağırlığı ( $w_2 - w_1$ ), g	4 293
S. Birim ağır. ( $w_2 - w_1$ )/ $v$ , $kg/m^3$	1 998

## 4.2. Basınç Dayanımı

Kontrol grubu ile farklı oranlarda lif ve farklı narinlikteki lif kullanılarak üretilen SIFCON numuneler üzerinde 7 günlük kür uygulama sonucunda yapılan basınç dayanımı sonuçları Çizelge 4.4.'de 28 günlük kür uygulama sonucunda yapılan basınç dayanımı sonuçları ise Çizelge 4.5.'de sunulmuş olup Şekil 4.5.'de grafik üzerinde gösterilmiştir.

**Çizelge 4.4.** 7 günlük numunelerin basınç dayanımları

Numune Kodu	Yük (kgf)	Dayanım (Mpa)	Kontrol Numunesine Göre Değişim Yüzdesi (%)
N0 - L0 (Kontrol Numunesi)	111 200	48,47	0
N40 - L4	114 122	49,74	2,63
N55 - L4	116 691	50,86	4,94
N65 - L4	119 835	52,23	7,76
N80 - L4	122 200	53,26	9,89
N40 - L8	126 534	55,15	13,79
N55 - L8	128 943	56,20	15,96
N65 - L8	133 417	58,15	19,98
N80 - L8	135 872	59,22	22,19
N40 - L12	90 100	39,27	-18,98

**Çizelge 4.4.** (devam)

N55 – L12	95 331	41,55	-14,27
N65 – L12	96 478	42,05	-13,24
N80 – L12	98 841	43,08	-11,12

**Çizelge 4.5.** 28 günlük numunelerin basınç dayanımları

<b>Numune Kodu</b>	<b>Yük (kgf)</b>	<b>Dayanım (Mpa)</b>	<b>Kontrol Numunesine Göre Değişim Yüzdesi (%)</b>
N0 - L0 (Kontrol Numunesi)	140 415	61,20	0
N40 – L4	154 525	67,35	10,05
N55 – L4	160 399	69,91	14,23
N65 – L4	171 136	74,59	21,88
N80 – L4	174 601	76,10	24,35
N40 – L8	164 689	71,78	17,29
N55 – L8	168 085	73,26	19,71
N65 – L8	175 404	76,45	24,92
N80 – L8	183 824	80,12	30,92
N40 – L12	124 630	54,32	-11,24
N55 – L12	127 681	55,65	-9,07
N65 – L12	130 366	56,82	-7,16
N80 – L12	134 105	58,45	-4,49

Numunelerin 7 günlük basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde lif hacminin artmasıyla her narinlik oranı için %8 lif içeriğine kadar basınç dayanımlarında artışlar görülmüştür. Aynı zamanda narinlik oranının artması basınç dayanımında artışlar meydana getirmiş ancak bu etki lif oranındaki değişimin etkisi kadar belirgin olmamıştır.

%8 lif içeriğine sahip numunelerin kullanılan en yüksek narinlik olan 80 narinliğe sahip olan grubu kontrol grubuna göre yaklaşık %22 lik oranla en yüksek artışı gösteren grup olmuştur.

Lif oranı %4 kullanıldığında ise yaklaşık %2 - %9 arasında artışlar meydana gelmiştir. Basınç dayanımının narinlik oranının artmasıyla beraber az da olsa artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Lif oranı %12 mertebesine çıkınca basınç dayanımlarında kontrol numunesine göre azalmalar gözlemlenmiştir. Kullanılan agrega gradasyonun olması gerekenden daha iri taneli olmasının buna neden olduğu düşünülmektedir. Üretim aşaması ve deneyler esnasında da görüldüğü gibi lif oranın fazla olduğu gruplarda matris harcı liflerin arasından tam olarak geçememiş ve bazı numuneler kalıptan çıkarıldığında alt taraflarında liflerin matrisle birleşmediği görülmüştür (Şekil 4.2). Söz konusu numuneler döküm esnasında daha fazla vibrasyon uygulanarak yenilenmiştir. 1 mm agrega tane çapının, %12 lif içeriğine sahip numune gruplarında sızma problemlerinden dolayı fazla olduğu anlaşılmıştır. Bu durumda da kalıp tamamen lifle dolmuş ve SIFCON matrisinin geçişi zorlaşmış ve bu yoğun lif hacmi içerisinde kalıplarda matris fazı tam olarak dağılamamış homojenlik sağlanamamıştır. Bu yüzden basınç dayanımlarının %12 lif içeriğine sahip SIFCON numunelerinde düşük olduğu görülmüştür. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda yüksek lif hacimleri kullanılabilmesi için maksimum agrega tane çapının daha düşük seçilmesi tavsiye edilmektedir.

Deneylerden elde edilen sonuçlar narinlik oranına göre değerlendirildiğinde narinlik oranı arttıkça basınç dayanım değerlerinde de artışlar görülmüştür.



**Şekil 4.2.** SIFCON matrisinin %12 lif içeriğinde lif ağına tam olarak emdirilememesi örneği (Lif yoğunluğu şekilde açıkça görülmektedir)

Numunelerin 28 günlük basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde ise 7 günlük sonuçlara benzer olarak yine lif oranının artmasıyla birlikte %8 lif içeriğine kadar basınç dayanımlarında artışlar belirlenmiştir. Fakat 7 günlük değerlerden farklı olarak 28 günde lif oranı %4 olan gruplarda artış daha belirgin olmuş ve yaklaşık %25'e kadar yükselmiştir. Bu sonuca matris oranının fazla olmasından dolayı 21 günlük fazladan kür uygulamanın matrisin hidrasyonunun gelişmesi sonucu CSH'ların oluşması basınç dayanımlarının artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Basınç sonuçlarına göre lif oranının artması daha belirleyici bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır.

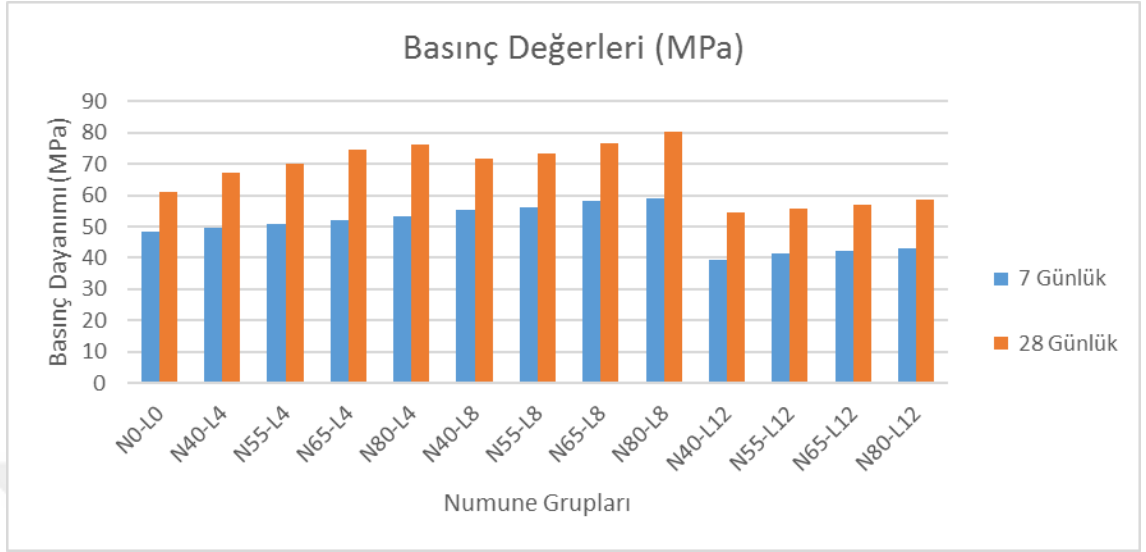
Lif katkısı olmayan kontrol numunelerinde basınç deneyinde numuneler etrafa parçacıklar dağıtarak kırılmış (Şekil 4.3.), lifli numuneler ise kırıldıktan sonra yine bütün halde kalmış ve kırılma olduktan sonra dağılma gözlemlenmemiştir (Şekil 4.4.)



**Şekil 4.3.** Lifsiz SIFCON numunesinin basınç dayanım testi sonucu kırılma şekli



**Şekil 4.4.** Lifli SIFCON numunesinin basınç dayanım testi sonucu kırılma şekli



**Şekil 4.5.** SIFCON numunelerin basınç dayanımları

Aynı lif hacmine sahip lif içeren betonun içinde; artan narinlik oranına paralel olarak basınç dayanımlarının da arttığı görülmektedir. Bu sonuca göre çelik tel içeren betonlarda teller ağ oluşturularak gerilimi SIFCON matrisine ilettiği ve basınç dayanımını artırdığı kanaatine varılmıştır.

### 4.3. Eğilme Dayanımı

Kontrol grubu ve farklı oranlarda lif ve farklı narinlikteki lif kullanılarak üretilen SIFCON numuneler üzerinde 7 günlük kür uygulama sonucunda yapılan 3 nokta eğilme dayanımı sonuçları Çizelge 4.6'da 28 günlük kür uygulama sonucunda yapılan basınç dayanımı sonuçları ise Çizelge 4.7'de sunulmuş olup Şekil 4.6'da grafik üzerinde gösterilmiştir.

**Çizelge 4.6.** 7 günlük numunelerin eğilme dayanımları

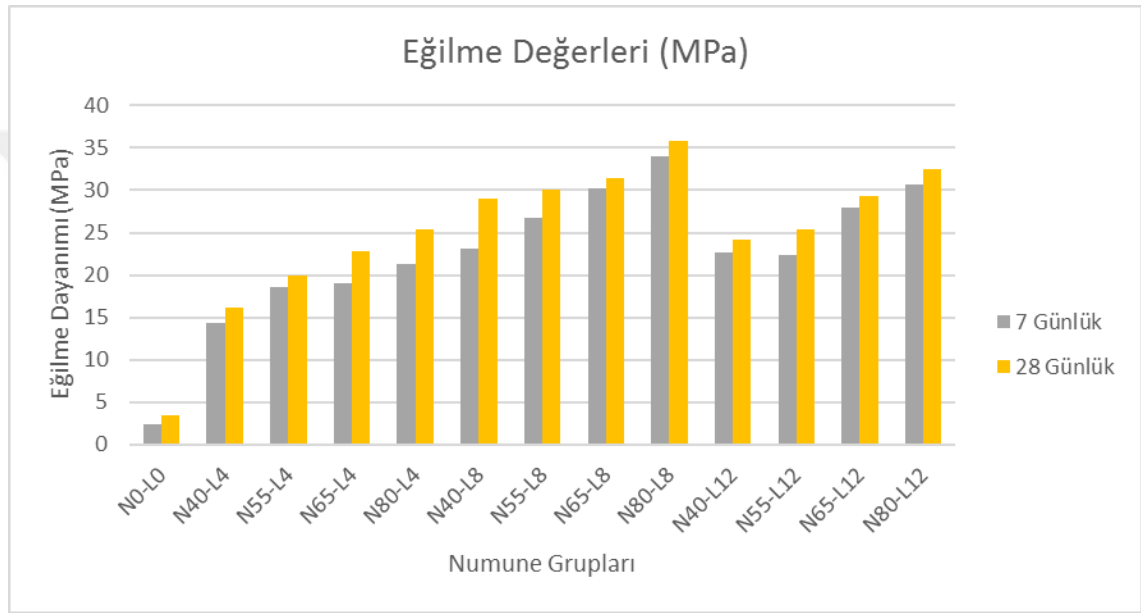
<b>Numune Kodu</b>	<b>Yük (kgf)</b>	<b>Dayanım (Mpa)</b>	<b>Kontrol Numunesine Göre Değişim Yüzdesi (%)</b>
N0 - L0	284	2,44	0,00
N40 - L4	1 670	14,32	487,86
N55 - L4	2 163	18,55	661,51
N65 - L4	2 217	19,02	680,99
N80 - L4	2 482	21,29	773,94
N40 - L8	2 698	23,14	849,94
N55 - L8	3 125	26,80	1 000,35
N65 - L8	3 530	30,28	1 142,96
N80 - L8	3 955	33,92	1 292,61
N40 - L12	2 645	22,69	831,47
N55 - L12	2 607	22,36	817,92
N65 - L12	3 252	27,89	1 045,07
N80 - L12	3 580	30,71	1 160,56

**Çizelge 4.7.** 28 günlük numunelerin eğilme dayanımları

<b>Numune Kodu</b>	<b>Yük (kgf)</b>	<b>Dayanım (Mpa)</b>	<b>Kontrol Numunesine Göre Değişim Yüzdesi (%)</b>
N0 - L0	402	3,45	0
N40 - L4	1 888	16,19	369,53
N55 - L4	2 333	20,01	480,22
N65 - L4	2 656	22,78	560,66
N80 - L4	2 966	25,44	637,81
N40 - L8	3 380	28,99	740,80
N55 - L8	3 500	30,02	770,77
N65 - L8	3 669	31,47	812,56
N80 - L8	4 180	35,85	939,68
N40 - L12	2 824	24,22	602,43

**Çizelge 4.7.** (devamı)

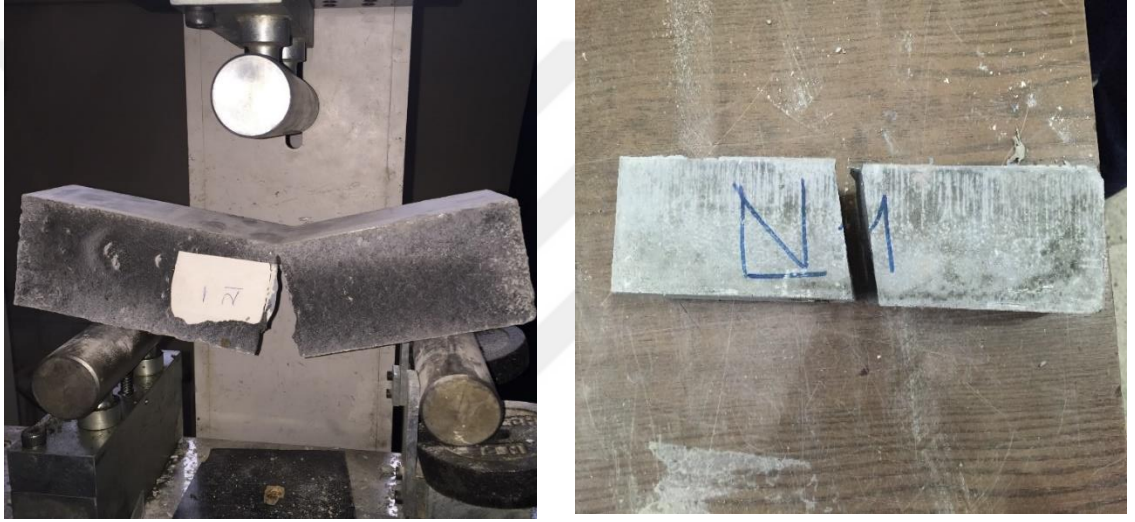
N55 – L12	2 957	25,36	635,49
N65 – L12	3 422	29,35	751,21
N80 – L12	3 784	32,46	841,40

**Şekil 4.6.** SIFCON numunelerin eğilme dayanımları

Numunelerin 7 günlük eğilme dayanımı sonuçları incelendiğinde; basınç dayanımında elde edilen sonuçlara benzer olarak lif hacminin artmasıyla her narinlik oranı için %8 lif içeriğine kadar dayanımlarında artışlar olduğu görülmüştür. Ancak eğilme dayanımlarında meydana gelen artışlar basınç dayanımındaki artışlara nazaran daha belirgin olmuştur. Örneğin 28 günlük deney sonuçlarında basınç dayanımında en iyi performans gösteren N80 – L8 grubundaki artış oranı yaklaşık %30 mertebesine ulaşırken 28 günlük eğilme dayanımında bu artış yaklaşık %940 değerine ulaşmıştır. Bu durum lif içeriğinin üzerine gelen gerilmeleri karşılaması ve bu gerilmeleri matrisin sağlam bölümlerine iletmesidir. Bunun sonucu olarak SIFCON beton kullanımının eğilme dayanımı artırma amacıyla kullanılması daha avantajlı olduğu kanısına varılmıştır.

Eğilme dayanımlarının %12 lif içeriğine sahip SIFCON numunelerinde basınç dayanımında olduğu gibi düşük olduğu görülmüştür. %12 lif oranı için 1 mm agrega tane çapının fazla olduğu belirlenmiştir.

Bütün gruplara ait deneylerden elde edilen sonuçlara göre narinlik oranının ve lif içeriğinin artması eğilme dayanımını artırması yönünde olumlu sonuçlandığı tespit edilmiştir.



**Şekil 4.7.** Lifsiz SIFCON numunesi eğilme deneyi sonucu kırılma şekli



**Şekil 4.8.** Lifli SIFCON numunesi eğilme deneyi sonucu kırılma şekli

Hughes (1981), tarafından yapılan araştırma ile gevrek bir malzeme olan betonu düktil bir hale getirmek için kullanılan liflerin, çalışmamızda elde edilen sonuçlara paralel olarak, basınç dayanımına nazaran eğilme dayanımında büyük bir artış sağladığı; darbe tesiri altında kalan kolon kiriş birleşimlerinde ve kirişlerde lif kullanımının çatlak kontrolü açısından önemli olduğunu saptamıştır (Arslan ve Aydın 1999).



## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Gevrek bir yapı malzemesi olan beton basınca dayanıklı ancak eğilmeye karşı zayıf bir yapı malzemesidir. Betonun mukavemetini artırmak için birçok çalışma yapılmıştır. SIFCON da betonun mekanik özelliklerini artırmaya yönelik özel beton sınıflarından biridir. Bu çalışmada farklı oranlarda (hacimce %0, %4, %8, %12) ve farklı narinliklerde (40, 55, 65, 80) çelik lifler kullanılarak üretilen SIFCON numuneleri üzerinde basınç ve eğilme dayanımları incelenmiştir. Yapılan çalışma neticesinde aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- 7 günlük kür sonucu maksimum basınç mukavemeti 59,22 MPa değeri ile 80 narinlik ve %8 lif içeriğine sahip N80- L8 numune grubunda elde edilmiştir. Kontrol numunesine göre basınç dayanımında yaklaşık %22 oranında artış gözlemlenmiştir.
- 28 günlük kür sonucu maksimum basınç mukavemeti 80,12 MPa değeri ile yine 80 narinlik ve %8 lif içeriğine sahip N80- L8 numune grubunda elde edilmiştir. Kontrol numunesine göre basınç dayanımında yaklaşık %30 oranında artış gözlemlenmiştir.
- Deneylerden elde edilen sonuçlara göre narinlik oranı arttıkça basınç dayanım değerlerinde de artışlar olduğu belirlenmiştir.
- Lif hacminin artmasıyla her narinlik oranı için %8 lif içeriğine kadar basınç dayanımlarında artışlar görülmüştür. %8 lif oranınının sonra matrisin liflerin arasına yerleşmesi zorlaştığından basınç mukavemetinde azalma meydana gelmiştir.
- En düşük narinlik seviyesi olan 40 narinlik ve en yüksek lif oranı olan %12 lif oranında kontrol numunesine göre basınç değerinde 7 günlük dayanımda yaklaşık %19 ve 28 günlük dayanımda yaklaşık %11 azalma gözlemlenmiştir.
- 7 günlük numunelerde en büyük eğilme dayanımı mukavemeti 33,92 MPa değerinde 80 narinlik ve %8 lif içeriğine sahip N80- L8 numune grubunda elde edilmiştir. Kontrol numunesine göre eğilme dayanımında yaklaşık 13 kat artış gözlemlenmiştir.

- 28 numunelerde en büyük eğilme dayanımı mukavemeti 35,85 MPa değerinde 80 narinlik ve %8 lif içeriğine sahip N80- L8 numune grubunda elde edilmiştir. Kontrol numunesine göre eğilme dayanımında yaklaşık 9 kat artış gözlemlenmiştir.
- Deneylerden elde edilen sonuçlara göre narinlik oranı arttıkça eğilme dayanım değerlerinde de basınç dayanımlarında olduğu gibi artışlar olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu artışlar eğilmede daha belirgin olmuştur.
- Lif hacminin artmasıyla her narinlik oranı için %8 lif içeriğine kadar eğilme dayanımlarında artışlar görülmüştür. %8 lif oranından sonra matrisin liflerin arasına yerleşmesi zorlaştığından %8 lif oranına göre eğilme mukavemetinde azalma meydana gelmiştir.
- En düşük narinlik seviyesi olan 40 narinlik ve en düşük lif oranı olan %4 lif oranında kontrol numunesine göre eğilme değerinde 7 günlük dayanımda minimum artış olan %488 ve 28 günlük dayanımda minimum artış olan %370 gözlemlenmiştir.
- Elde edilen sonuçlar neticesinde SIFCON'un basınç dayanımını değil de eğilme dayanımını artırmaya yönelik kullanımları daha anlamlı olmuştur.
- %12 lif içeriğine sahip numunelere ait deney sonuçları incelendiğinde kullanılan agrega maksimum çapının 1 mm olarak seçilmesinden dolayı matrisin yoğun lif ağından iyice emdirilememiştir. Bunun sonucu olarak basınç dayanımlarında diğer lif oranlarına göre düşüşler görülmüş ancak eğilme dayanımlarında ise sadece %8 lif içeriğine göre düşüşler gözlemlenmiştir.
- 1 mm agrega tane çapının yüksek oranlarda lif içeriği için uygun olmadığı belirlenmiştir.

Bundan sonra yapılacak çalışmaların; değişik agrega boyutlarının SIFCON un mekanik özelliklerine etkisi, kullanılacak agrega granülometri eğrisi ve SIFCON un üretim sürecinin standartlaştırılmasına yönelik yapılması tavsiye edilir.

## KAYNAKLAR

- Aitcin, P. C., 2000. Cement of Yesterday and Today Concrete of Tomorrow, *Cement and Concrete Research*, 30, 9, pp. 1349–1359,.
- Arslan, A., Aydın A.C., 1999. Lifli Betonların Darbe Etkisi Altında Genel Özellikleri, Çelik Tel Donatılı Betonlar Sempozyumu, Sempozyum Bildirileri.
- ASTM A 820, 1996. Standart Specification for Steel Fibers for Fiber- Reinforced Concrete, The American Society for Testing and Materials, USA.
- Balaguru, P. N. , Shah, S. P., 1992. *Fiber Reinforced Cement Composites*, McGraw-Hill , pp. 413-449.
- Balaguru, P.M., and Kendzulak, J., 1987 “Mechanical Properties of Slurry Infiltrated Fiber Concrete (SIFCON),” *Fiber Reinforced Concrete Properties and Applications*, SP-105, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, pp. 247-268.
- Baradan, B., Yazıcı H. ve Ün H., 2002. Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite). Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, Yayın no 298, 282s, İzmir.
- Bulutlar Y.A., 2006. Çelik Tel İçeriğinin ve Dayanımının Sifcon’un Mekanik Davranışına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Canbay, M., 2014. Çelik ve Propilen Liflerin Yalın ve Kombinasyonlu olarak SIFCON’da Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Demirboğa, R., 1999. Silis Dumanı ve Uçucu Külün Perlit ve Pomza ile Üretilen hafif betonun özellikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Doğan, E., 1998. “Retrofit of Non-Ductile Reinforced Concrete Frames Using High Performance Fiber Reinforced Composites”, Ph.D. Thesis, Civil Engineering Department, North Carolina State University, Raleigh, 227 pp.
- Gilani, A. M., 2007. Various Durability Aspects of Slurry Infiltrated Fiber Concrete, Doktora Tezi, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Hamza, A.M., 1992. “Bond Strength Characteristics of Deformed Reinforced Steel Bars Embedded in SIFCON”, Ph.D. Thesis, Civil and Environmental Engineering Department, University of Michigan, Ann Arbor, 202 pp.
- Homrich, J.R. and Naaman, A.E., “Stress-Strain Properties of SIFCON in compression”, *Fiber Reinforced Concrete - Properties and Applications*, ACI SP-105, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, 1987, pp. 283-304.
- Hughes, B. P., 1981, “Desing of Prestressed Fiber Reinforced concrete Beams For Impact”, *ACI Journal*, 276-281.
- Kaygusuz, M. A., 2008. Yangın Hasarına Uğramış Betonun Gfrp Ve Epoksi Enjeksiyonu İle Onarım Ve Güçlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Kosa, K., Naaman, A.E., and Hansen, W., 1991. “Durability of Fiber Reinforced Mortar”, *ACI Materials Journal*, V.88, No. 3, May-June pp. 310-319.

- Köksal, F., 2004. Çelik Tel Donatılı Betonların Mekanik Davranışı ve Optimum Tasarımı, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Lankard, D.R., 1984. Preparation, Applications: Slurry Infiltrated Fiber Concrete (SIFCON), Concrete International, V.6, No.12. pp. 44-47.
- Lankard, D.R., 1985. Preparation, Properties and Applications of Concrete - Based Composites Containing 5% to 20% Steel Fiber, Steel Fiber Concrete, US-Sweden Joint Seminar, pp. 199-217.
- Mondragon, R., 1987. "SIFCON in Compression", Fiber Reinforced Concrete Properties and Applications, SP-105, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, pp. 269-282.
- Naaman, A.E., 2003. "Engineered Steel Fibers with Optimal Properties for Reinforcement of Cement Composites", Journal of Advanced Concrete Technology, V.1, No.3, pp. 241-252.
- Naaman, A.E., and Baccouche, M.R., 1995. "Shear Response of Dowel Reinforced SIFCON", ACI Structural Journal, V.92, No.5, Sep.-Oct. pp. 587-569.
- Naaman, A.E., and Homrich, J.R., 1989 "Tensile Stress-Strain Properties of SIFCON", ACI Materials Journal, V.86, No.3, pp. 244-251.
- Naaman, A.E., Otter, D., and Najm, H., 1991. "Elastic Modulus of SIFCON in Tension and Compression", ACI Materials Journal, V. 88, No.6, Nov.- Dec. 1991, pp. 603-612.
- Naaman, A.E., Reinhardt, H.W., and Fritz, C., 1992. "Reinforced Concrete Beams with a SIFCON Matrix", ACI Structural Journal, V.89, No.1, pp. 79-88.
- Naaman, A.E., Wight, J.K., and Abdou, H., 1991 "SIFCON Connections for Seismic Resistant Frames", Steel Reinforced Concrete, Compilation 27, American Concrete Institute, Detroit, Michigan, , pp. 62-67.
- Özyurt, N., 2000. Ultra Yüksek Dayanımlı Çimento Esaslı Kompozit Malzemelerin Mekanik Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Rao,H.S., Ghorpade V.G, Ramana, N.V, Ganeswar K., 2010. Response of SIFCON two – way slabs under impact loading. International Journal of Impact Engineering, (37) 452–458
- Roller, C., Mayrhofer, C., Riedel, W., Thoma, K., 2012 "Residual Load Capacity of Exposed and Hardened Concrete Columns Under Explosion Loads", Engineering Structures,
- Salami, E., 2009. Çelik liflerin farklı dayanıma sahip betonların mekanik özelliklerine etkisinin deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Sharma, H.K., Singh, V.P., 2008. Performance Characteristics Sifcon Plates 2nd IASME / WSEAS International Conference on GEOLOGY and SEISMOLOGY (GES'08), Cambridge, UK,
- Sonebi, M., Svermova, L., and Batros, P.J.M., 2005. "Statistical Modeling of Cement Slurries for Self - Compacting SIFCON Containing Silica Fume", Materials and Structures Journal. pp. 79-86.
- Şimşek, O., 2004. Beton ve Beton Teknolojisi. Seçkin Yayıncılık, Ankara, 247s.
- Taşdemir, M.A., Bayramov, F., 2002. Yüksek Performanslı Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı. İTÜ Dergisi, Cilt 1 (Sayı 2), sf.125-144.

- Taşdemir, M.A., Bayramov, F., Kocatürk, A.N., Yerlikaya, M., 2004. Betonun Performansa Göre Tasarımında Yeni Gelişmeler, Beton 2004 Kongresi, İstanbul, sf. 1-34
- Taşdemir, M.A., Şengül, Ö., Şengül, C., 2013. Çelik Tel Donatılı Betonların Mekanik Davranışı, Beton 2013, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul, sf. 1 - 28
- Topçu, İ. B., Boğa, A. R., 2005, “Uçucu Kül ve Çelik Liflerin Beton ve Beton Borularda Kullanımı”, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt XVIII, Sayı 2
- TS 10513, 1992. Çelik Teller-Beton Takviyesinde Kullanılan. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tuyan, M., Yazıcı, H., 2012 “Pull-Out Behavior of Single Steel Fiber From SIFCON Matrix” Construction and Building Materials, 1, 35, pp.571-577.
- Uğurlu, A.,1994. Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Betonun Özellikleri ve Su Yapılarında Kullanılması, DSİ Teknik Bülteni, Sayı 80, Syf. 17-25.
- Ünal, O., Uygunoğlu, T., Gençel, O., 2007, “Çelik Liflerin Beton Basınç ve Eğilme Özelliklerine Etkisi”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 13, Sayı 1, Sayfa 23-30
- Wood., B.T., 2000. “Use of Slurry Infiltrated Fiber Concrete (SIFCON) in High Regions of Earthquakes Resistant Structures”, Ph.D. Thesis, Civil Engineering Department, North Carolina State University, Raleigh, 265 pp.
- Yaka, S., 2011. Konya Bölgesi Agregaları ile Çelik Lif Kullanılarak Üretilen Yol Betonlarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi ,Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Yalçınkaya, Ç., Beglarigale , A., Yazıcı, H., 2014. “ The effect of metakaolin and end type of steel fiber on fiber-SIFCON matrix bond characteristics”, Usak University Journal of Material Sciences 1 97 – 105
- Yardımcı, M.Y., Yiğiter , H., Aydın, S. and Yazıcı, H., 2016. Flexural Performance of Steam Cured SIFCON Produced with Steel and Synthetic-Macro Fibers. 3rd International Symposium on Sustainability in Cement and Concrete, 2, 681-690.
- Yerlikaya, M., 2003. “Çelik Tel Donatılı Betonların Deprem Etkisi Altında Davranışları”, Kocaeli Deprem Sempozyumu Bildiriler Kitabı. Sf. 302-304
- Zeynal, E., 2008. Çelik Lif ve S/Ç Oranlarının Çelik Lifli Betonların Darbe Mukavemetine ve Mekanik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

## ÖZGEÇMİŞ

Nurullah SOYLU 1979 yılında Erzurum’da doğdu. 1991 yılında Erzurum Haşim İşcan İlköğretim Okulundan mezun oldu. Ortaokul ve lise eğitimini 1998 yılında mezun olduğu Erzurum Anadolu Lisesinde tamamladı. 2004 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun olduktan sonra özel sektörde İnşaat Mühendisi olarak göreve başladı. 2009’da atandığı DSİ 8. Bölge Müdürlüğünde görevini halen sürdürmektedir.

