



T.C.  
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KÜR ŞARTLARININ SIFCON'UN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

ADEM KILLI

Eylül 2018



T. C.  
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KÜR ŞARTLARININ SIFCON'UN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

ADEM KILLI

Yüksek Lisans Tezi

Danışman  
Doç.Dr. Kubilay AKÇAÖZOĞLU

Eylül 2018

**Adem KILLI** tarafından **Doç. Dr. Kubilay AKÇAÖZOĞLU** danışmanlığında hazırlanan “**Kür Şartlarının SIFCON’un Mekanik Özelliklerine Etkisi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan :Doç. Dr. Kubilay AKÇAÖZOĞLU, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Üye :Prof. Dr. Cahit BİLİM, Mersin Üniversitesi

Üye :Doç. Dr. Fatih ÖZCAN, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

**ONAY:**

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından ....../....../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun ....../....../20.... tarih ve ..... sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

**Doç. Dr. Murat BARUT**  
**MÜDÜR V.**

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Adem KILLI



## ÖZET

### KÜR ŞARTLARININ SIFCON'UN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

KILLI, Adem

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman

: Doç.Dr. Kubilay AKÇAÖZOĞLU

Eylül 2018, 79 sayfa

Bu çalışmada, kür yönteminin Çimento Bulamacı Enjekte Edilmiş Lifli Beton (SIFCON)'un mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla ilk olarak dayanım özellikleri yüksek olan SIFCON bulamacı tasarımı yapılmıştır. İki farklı bağlayıcı oranında hazırlanan Yüksek Fırın Cürufu (YFC) ve Uçucu Kül (UK) içeren bulamaç karışımlarının üzerinde dayanım deneyleri yapılarak, en uygun karışım belirlenmiştir. Bu bulamaç ile iki farklı narinlik oranındaki çelik lifler kullanılarak, %4 ve %8 oranında çelik lif içeren SIFCON numuneleri üretilmiştir. Bu numuneler standart, kuru ve hızlı kür yöntemlerine tabi tutulmuşlardır. SIFCON numuneler üzerinde ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, kılcal su emme ve darbe dayanımı deneyleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda en iyi dayanım özelliklerinin standart kür sonrası elde edildiği görülmüştür. En yüksek eğilme dayanımına narinlik oranı 55 olan, %8 oranında çelik lif içeren numunelerin ulaştığı belirlenmiştir. Sonuç olarak en uygun kür yönteminin standart kür yöntemi olduğu ve en iyi eğilme dayanımının %8 lif oranında sağlandığı görülmüştür.

*Anahtar Sözcükler:* SIFCON, kür şartları, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, kılcal su emme, darbe dayanımı.

## SUMMARY

### THE EFFECT OF CURING CONDITIONS ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF SIFCON

KILLI, Adem

Niğde Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Kubilay AKÇAÖZOĞLU

September 2018, 79 pages

In this study, the effect of the curing conditions on the mechanical properties of Slurry Infiltrated Fibre Reinforced Concrete (SIFCON) was investigated. For this purpose, firstly SIFCON slurry design with high strength properties was carried out. The most suitable mixture was determined by performing strength tests on slurry which prepared at two different binder ratios and containing Blast Furnace Slag (YFC) and Fly Ash (UK). With this slurry, SIFCON specimens containing 4% and 8% of steel fiber were produced using steel fibers with two different aspect ratios. These samples were subjected to standard, dry and accelerated curing methods. Ultrasonic wave velocity, compressive strength, flexural strength, capillary water sorption and impact strength tests were performed on SIFCON specimens. It was seen that the best strength properties were obtained after the standard curing. The highest flexural strength was found to be achieved that specimens with aspect ratio of 55, containing 8% steel fiber. As a result, it has been found that the most suitable curing method is the standard curing method and the best flexural strength is achieved at the rate of 8%.

*Keywords:* SIFCON, curing conditions, compressive strength, flexural strength, capillary water sorption, impact strength.

## ÖN SÖZ

Bu çalışmada, son yıllarda geliştirilen yeni nesil yapı malzemesi olan SIFCON'a farklı kür yöntemleri uygulamanın mekanik özelliklerine etkisi araştırılması amacıyla laboratuvar deneyleri yürütülmüştür. Bunun için ilk olarak dayanım özellikleri yüksek olan bulamaç tasarımı yapılmış ve bulunan en uygun karışım ile SIFCON numuneler üretilmiştir. Farklı çelik lif tipi ve çelik lif oranlarında SIFCON numuneler hazırlanmış ve standart kür, kuru kür ve hızlı küre tabi tutulmuşlardır. Bu numuneler kullanılarak, bulamaç ve SIFCON üzerinde deneyler yapılmıştır. Elde edilen deney sonuçlarına göre, çelik lif tipi ve lif oranının etkisi ile uygulanan farklı kür yöntemlerinden en yüksek dayanımın sağlanacağı karışım oranı ve kür yöntemi bulunmaya çalışılmıştır.

Hem lisans hem de yüksek lisans eğitim süresinde, çalışmalarına bilgisi, tecrübesi ve desteğiyle yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam, Sayın Doç. Dr. Kubilay AKÇAÖZOĞLU'na en içten teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca tecrübelerine başvurduğum Prof. Dr. Metin H. SEVERCAN, Prof. Dr. Mustafa SARIDEMİR, Doç. Dr. Semiha AKÇAÖZOĞLU, Doç. Dr. Fatih ÖZCAN ve İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyelerine, Fuat ÖZCAN'a teşekkür ederim. Tez çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasını FEB 2018/01-BAGEP proje numarası ile destekleyen Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Bilimsel Arştırma Projeleri Birimine teşekkürlerimi sunarım.

Sadece bu tez çalışmasında değil tüm eğitim ve öğretim hayatım boyunca ilgi ve alakalarını eksik etmeyen, maddi ve manevi her zaman yanımda olan hayattaki en büyük değerlerim Aileme ve annem Senem KILLI'ya teşekkür ederim. Tez çalışmalarımdaki desteğim Ayşenur Çakmak'a teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
SUMMARY .....	v
ÖN SÖZ .....	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	x
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xi
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ .....	xii
SİMGE VE KISALTMALAR .....	xiii
BÖLÜM I GİRİŞ .....	1
BÖLÜM II SIFCON (Çimento Bulamacı Enjekte Edilmiş Lif Donatılı Beton) .....	4
2.1 SIFCON'u Oluşturan Malzemeler .....	4
2.2 SIFCON'un Kullanım Alanları .....	5
2.3 SIFCON'un Avantaj ve Dezavantajları .....	7
2.3.1 Avantajları .....	7
2.3.2 Dezavantajları .....	7
2.4 SIFCON'a Uygulanan Kür Yöntemleri .....	8
2.5 Literatür Çalışması .....	11
BÖLÜM III MALZEME ÖZELLİKLERİ VE DENEYSEL ÇALIŞMA .....	16
3.1 Kullanılan Malzeme Özellikleri .....	16
3.1.1 Çimento .....	16
3.1.2 Silis dumanı .....	17
3.1.3 Öğütülmüş yüksek fırın cürufu .....	18
3.1.4 Uçucu kül .....	19
3.1.5 Çelik lif .....	20

3.1.6 Silis kumu .....	21
3.1.7 Kimyasal katkı malzemesi .....	22
3.1.8 Karışım ve bakım suyu .....	22
3.2 Beton Karışım Oranları.....	23
3.2.1 Bulamaç numunelerin karışım oranları .....	23
3.2.2 SIFCON numunelerin karışım oranları .....	24
3.3 Deney Numunelerinin Hazırlanması .....	25
3.3.1 Bulamaç numunelerin yayılma çaplarının belirlenmesi .....	25
3.3.2 Bulamaç deney numunelerin hazırlanması .....	27
3.3.3 SIFCON deney numunelerin hazırlanması .....	28
3.4 Numuneler Üzerinde Yürütülen Deneysel Çalışmalar .....	29
3.4.1 Bulamaç numuneler üzerinde yürütülen deneysel çalışmalar .....	29
3.4.1.1 Taze betonun birim hacim ağırlık .....	29
3.4.1.2 Ultrases geçiş hızının belirlenmesi.....	30
3.4.1.3 Eğilme dayanımı .....	31
3.4.1.4 Basınç dayanımı .....	32
3.4.2 SIFCON numuneler üzerinde yürütülen deneysel çalışmalar .....	33
3.4.2.1 Sertleşmiş birim ağırlık .....	33
3.4.2.2 Ultrases geçiş hızının belirlenmesi.....	34
3.4.2.3 Eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu .....	35
3.4.2.4 Basınç dayanımı .....	38
3.4.2.5 Darbe dayanımı deneyi.....	39
3.4.2.6 Kılcal su emme deneyi .....	41
BÖLÜM IV BULGULARVE TARTIŞMA .....	42
4.1 Bulamaç Deneyleri .....	42
4.1.1 Yayılma çaplarının belirlenmesi.....	42
4.1.2 Taze betonun birim hacim ağırlığı.....	43

4.1.3 Ultrases geçiş hızı deneyi .....	45
4.1.4 Eğilme dayanımı .....	47
4.1.5 Basınç dayanımı.....	49
4.2 SIFCON Deneyleri .....	52
4.2.1 Sertleşmiş birim ağırlık.....	52
4.2.2 Ultrases geçiş hızı deneyi .....	53
4.2.3 Eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu .....	54
4.2.4 Basınç dayanımı.....	64
4.2.5 Darbe dayanımı.....	67
4.2.6 Kılcal su emme deneyi.....	70
BÖLÜM V SONUÇLAR.....	71
KAYNAKLAR .....	73
ÖZ GEÇMİŞ .....	79

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Kullanılan çimentonun kimyasal özellikleri .....	16
Çizelge 3.2. Kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri .....	17
Çizelge 3.3. Silis dumanının kimyasal özellikleri .....	17
Çizelge 3.4. Öğütülmüş yüksek fırın cürufunun kimyasal özellikleri .....	18
Çizelge 3.5. Uçucu kül kimyasal özellikleri .....	19
Çizelge 3.6. Çelik liflerin teknik özellikleri .....	20
Çizelge 3.7. Bir metreküp bulamacı oluşturan malzeme miktarları .....	23
Çizelge 3.8. Bulamaç numune kodları .....	24
Çizelge 3.9. SIFCON numune kodları .....	25
Çizelge 4.1. YFC ikameli bulamaçların ultrases geçiş hızı değerleri .....	46
Çizelge 4.2. UK ikameli bulamaçların ultrases geçiş hızı değerleri .....	46
Çizelge 4.3. YFC ikameli bulamaçların eğilme dayanımları .....	47
Çizelge 4.4. UK ikameli bulamaçların eğilme dayanımları .....	48
Çizelge 4.5. YFC ikameli bulamaçların basınç dayanımları .....	50
Çizelge 4.6. UK ikameli bulamaçların basınç dayanımları .....	51
Çizelge 4.7. SIFCON'un sertleşmiş birim ağırlık değerleri .....	52
Çizelge 4.8. SIFCON'un ultrases geçiş hızı değerleri .....	53
Çizelge 4.9. SIFCON numunelerine ait eğilme dayanımları .....	55
Çizelge 4.10. SIFCON numunelerine ait kırılma tokluğu değerleri .....	55
Çizelge 4.11. SIFCON numunelerine ait basınç dayanımları .....	64
Çizelge 4.12. SIFCON numunelerinde çelik bilye batma miktarları .....	68
Çizelge 4.13. SIFCON numunelerinin kılcal su emme katsayıları .....	70

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. SIFCON ile güçlendirme uygulaması .....	6
Şekil 2.2. SIFCON'da lif oranı yük sehim değişimi grafiği .....	12
Şekil 2.3. Kancalı ve kancasız lifin yük sehim ilişkisi .....	13
Şekil 2.4. SIFCON'da bulunan kırılma enerjileri .....	14
Şekil 2.5. SIFCON birim maliyet ile mekanik özelliklerin ilişkisi .....	14
Şekil 3.1. Eğilme dayanımı deney sistemi .....	35
Şekil 3.2. Yük sehim grafiği ve kırılma tokluğu .....	37
Şekil 4.1. YFC miktarı ile süper akışkanlaştırıcı katkı miktarının ilişkisi .....	42
Şekil 4.2. UK miktarı ile süper akışkanlaştırıcı katkı miktarının ilişkisi .....	43
Şekil 4.3. YFC ikameli bulamaçlara ait taze birim ağırlık değerleri .....	44
Şekil 4.4. UK ikameli bulamaçlara ait taze birim ağırlık değerleri .....	45
Şekil 4.5. YFC ikameli bulamaçların eğilme dayanımları .....	48
Şekil 4.6. UK ikameli bulamaçların eğilme dayanımları .....	49
Şekil 4.7. YFC ikameli bulamaçların basınç dayanımları .....	50
Şekil 4.8. UK ikameli bulamaçların basınç dayanımları .....	51
Şekil 4.9. Çelik lif 55/30'un ultrases geçiş hızı değerleri .....	54
Şekil 4.10. Çelik lif 75/30'un ultrases geçiş hızı değerleri .....	54
Şekil 4.11. Eğilme dayanımına çelik lif oranının etkisi .....	56
Şekil 4.12. SS55-8 numunesinin yük sehim grafiği .....	57
Şekil 4.13. Eğilme dayanımında kür yöntemlerinin etkisi.....	58
Şekil 4.14. Standart kür sonrası çelik liflerin yük sehim ilişkisi .....	59
Şekil 4.15. Kuru kür sonrası çelik liflerin yük sehim ilişkisi .....	60
Şekil 4.16. Hızlı kür sonrası çelik liflerin yük sehim ilişkisi .....	61
Şekil 4.17. Eğilme dayanımında standart kür-hızlı kür ilişkisi .....	62
Şekil 4.18. SIFCON numunelerinin eğilme-basınç dayanımı ilişkisi .....	63
Şekil 4.19. SIFCON'da kırılma tokluğu-eğilme dayanımı ilişkisi .....	64
Şekil 4.20. Çelik lif 55/30 numunelerinin kür yöntemi basınç dayanımı ilişkisi .....	65
Şekil 4.21. Çelik lif 75/30 numunelerinin kür yöntemi basınç dayanımı ilişkisi .....	65
Şekil 4.22. Çelik lif tipi basınç dayanımı ilişkisi .....	66
Şekil 4.23. Basınç dayanımında standart kür-hızlı kür ilişkisi .....	67

## FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 2.1. SIFCON'da bulamaç enjekte işleminin uygulaması .....	6
Fotoğraf 2.2. SIFCON numunelere standart kür uygulaması .....	9
Fotoğraf 2.3. SIFCON numunelere hızlı kür uygulaması .....	10
Fotoğraf 2.4. SIFCON numunelere kuru kür uygulaması .....	11
Fotoğraf 2.5. SIFCON'da çelik aderansının Pull-Out deneyi ile belirlenmesi .....	13
Fotoğraf 3.1. Kullanılan silis dumanı .....	18
Fotoğraf 3.2. Kullanılan öğütülmüş yüksek fırın cürufu .....	19
Fotoğraf 3.3. Kullanılan uçucu kül .....	20
Fotoğraf 3.4. Kullanılan çelik lifler .....	21
Fotoğraf 3.5. Kullanılan silis kumu .....	22
Fotoğraf 3.6. Elektrikli mekanik harç karıştırıcısı .....	26
Fotoğraf 3.7. SIFCON bulamacı yayılma çapı deneyi.....	27
Fotoğraf 3.8. Harç mikseri.....	27
Fotoğraf 3.9. Bulamaçların kalıplara yerleştirilmiş hali .....	28
Fotoğraf 3.10. SIFCON giriş numuneleri .....	29
Fotoğraf 3.11. 40x40x160 mm numunelerin UGH belirlenmesi .....	31
Fotoğraf 3.12. Eğilme dayanımı deneyi .....	32
Fotoğraf 3.13. Basınç dayanımı deneyi .....	33
Fotoğraf 3.14. 71x71x71 mm numunelerin UGH belirlenmesi .....	34
Fotoğraf 3.15. 30x60x300 mm boyutlarındaki giriş numuneleri .....	36
Fotoğraf 3.16. SIFCON eğilme dayanımı deney düzeneği .....	38
Fotoğraf 3.17. SIFCON basınç dayanımı deneyi .....	39
Fotoğraf 3.18. Darbe dayanımı deneyi uygulaması .....	40
Fotoğraf 3.19. SIFCON kılcal su emme deneyi .....	41
Fotoğraf 4.1. SIFCON darbe deneyi uygulanan silindir numune .....	68
Fotoğraf 4.2. Çatlak oluşan silindir numune .....	69

## SİMGE VE KISALTMALAR

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$f_s$	Eğilme dayanımı
$f_c$	Basınç dayanımı
A	Kesit alanı
$\sigma_s$	SIFCON eğilme dayanımı
$W_0$	Kırılma tokluğu

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
ASTM	Amerikan Deney ve Malzeme Birliği
MPa	Mega Pascal
YFC	Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu
UK	Uçucu Kül
TS EN	Türk Standartları Enstitüsü
UGH	Ultrases Geçiş Hızı

# BÖLÜM I

## GİRİŞ

Beton dünya üzerinde en çok ve en yaygın olarak kullanılan yapı malzemesidir. Beton çimento, su, agrega ve ihtiyaç durumlarına göre çeşitli mineral ve kimyasal katkı malzemeleri bir araya getirilerek oluşturulmaktadır. Beton üretiminin kolay olması ve dayanım özelliklerinin yüksek olması nedeniyle baraj, otoyol, hastane, fabrika, askeri yapılar, tünel, konut vb. kullanılan en yaygın yapı malzemesidir. Bu tür yapıların ve betonun kullanım alanlarının farklı olması, değişik hava şartları ve yükler etkisinde kalacak olması sebebiyle betonun tek bir tip olmadığı bilinmektedir. Bu nedenle farklı beton türleri ile ilgili çalışmalara her dönemde devam edilmektedir.

Normal beton, çekmede düşük kapasitesine ve yapısal çelikle karşılaştırıldığında çeliğin sahip olduğu çekme dayanımının sadece %0,1 - %0,01'i, kırılma tokluğunun ise %2 - %4'üne sahip çok gevrek bir malzemedir. Yüksek dayanımlı betonlarda aksel şekil değiştirme kapasiteleri artmakta ve tepe noktası geçildikten sonra gerilme düşüşü ani olmakta ve daha gevrek kırılmaktadır. Buna bağlı olarak elastisite modülündeki bağlı artış, basınç dayanımındaki bağlı artıştan az olmaktadır (Taşdemir vd., 2004).

Geleneksel betonun çekme, yorulma, aşınma, çarpma, kayma ve çatlama sonrası yük taşıma dayanımı, deformasyon ve enerji yutma kapasitesi (tokluk) açısından düşük performans göstermesinden dolayı bu özelliklerin gerektiği yerlerde, içerisinde değişik malzemelerden üretilmiş ve teknik özellikleri yüksek olan liflerin katılmış olması betonu güçlendirmektedir (DSİ, 1994). Beton yapı malzemesinin çekme dayanımı düşüktür. Bu nedenle dinamik yükler, betonda çatlak oluşmasına ve yayılmasına neden olur. Bu çatlaklar sürekli ve tekrarlı yükler etkisinde daha büyük çatlaklara dönüşür ve betonda ani kırılmalar meydana gelir. Betonun gevrek özelliğini iyileştirmek için uygulamada betona çelik lif, polipropilen lif vb. eklenerek daha sünek bir davranış sağlanır. Betona eklenen bu lifler betonda oluşan mikro çatlaklar üzerinde etkili olurlar ve betonun dayanıklılık, çatlak direnci, tokluk, darbe dayanımı ve süneklilik özelliğini artırmada en etkili yöntemdir (Salami, 2009).

Bir beton türü olarak lifli beton; boy/çap oranı yani narinlik değerleri yüksek olan ve beton içerisinde homojen olacak şekilde gelişigüzel dağılmış çelik, polipropilen, elyaf, asbest, polietilen, cam lifler gibi lif çeşitlerinin ilave edilmesiyle oluşturulan betondur. Bu beton türü üzerindeki araştırmaların referansı olan saman takviyeli kil harcı olan kerpiç çok eski yıllarda kullanılan bir malzemedir. Lifli beton ile ilgili çalışmalara 1960'lı yıllarda başlanmıştır (Caf, 2012). Çalışmalar sonucunda betonun süneklilik, tokluk, darbe dayanımı özelliklerinde çok etkili sonuçlar alınmış ve bu konu üzerindeki çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bu beton türüne daha yüksek oranlarda lif katılmasıyla Çimento Bulamacı Enjekte Edilmiş Lifli Beton (SIFCON) oluşturulmuştur.

SIFCON çimento, silis dumanı, çok ince kum, su ve süperakışkanlaştırıcıdan oluşan bir bulamacın sertleşmesiyle oluşan bir matris içinde hacmen yüksek oranlarda %5-20 çelik tel ile takviye edilmiş mühendislik özellikleri yüksek ve yeni çimento esaslı kompozitlerdendir. SIFCON'un yüksek dayanımlı betonlardan ayrılmasını sağlayan en önemli özelliklerinden biri kırılma sırasında sünek davranış göstermesidir. Yüksek dayanımlı betonlarda en önemli sorun dayanım arttıkça malzeme gevrekliğinin de artmasıdır. SIFCON gösterdiği düşük geçirimsizlik, yüksek durabilite, dayanım ve süneklilik özellikleri ile hacmen %20'ye varan oranlarda çelik tel içeren bir malzemedir. Çelik tel donatılı betonlarda çelik tel içeriğinin %1-3 olduğu düşünülürse yaklaşık 10 kat fazla donatı bulunan SIFCON'un sünekliliğinin mertebesi çok daha yüksek olmaktadır (Taşdemir vd., 2004).

Betonun, özellikle ilk günlerde yeterli hidrasyon yapabilmesini sağlayabilmek için, betonun içerisinde yeterince suyun ve sıcaklığın bulundurulması ve bu ortamın korunması 'betonun kuru' olarak adlandırılmaktadır (Erdoğan, 2003). Betonda kuru amaç, hidrasyon, katılma ve sertleşme için gerekli suyu beton bünyesinde bulundurmak ve uygun sıcaklığı sağlamaktır. Betonda; hava kuru, standart kür, su tutan maddelerle kür (kum, saman, talaş ve çuval vb.), buhar kuru (atmosferik ve otoklav), kaplayıcı malzemelerle kür (katranlı muşamba, polietilen çarşaf vb.), çeşitli kimyasal malzemeler ile kür gibi farklı kür yöntemleri uygulanmaktadır (Balayssac vd., 1998).

Betonun taze halde iken kuru beton dayanımını etkileyen en önemli faktördür. Bu nedenle betonun taze halde kuru dikkat edilmelidir. Beton kür yöntemlerinden

hangisinin beton yapı malzemesinin kullanım amacı ve yerine göre uygun ise bu yöntemlerden birisi seçilerek betona kürlenme işlemi yapılarak istenen dayanıma ulaşılır.

Bu çalışmada, farklı kür yöntemlerinin SIFCON'un mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. İlk olarak SIFCON bulamacının en uygun karışım oranını belirlemek için dökümler yapılmıştır. Bu karışımlar standart kürde 28 gün kür edilerek en yüksek dayanıma sahip olan bulamaç bulunmuştur. Daha sonra en uygun bulamaç karışımı ile 2 farklı çelik lif tipi ve 2 farklı oranda çelik lif kullanılarak SIFCON numunelerin dökümleri yapılarak standart kür, kuru kür ve hızlı kür yöntemleri uygulanmıştır. Numunelerin 3 farklı kür yöntemi sonrasında sertleşmiş birim ağırlık, ultrases geçiş hızı değeri, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, kılcal su emme oranları ve darbe dayanımı değerleri belirlenmiştir. Bulunan veriler yorumlanarak standart kür, kuru kür, hızlı kür uygulamalarının SIFCON üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

## BÖLÜM II

### SIFCON

#### (ÇİMENTO BULAMACI ENJEKTE EDİLMİŞ LİF DONATILI BETON)

SIFCON yüksek oranlarda süreksiz ve dağınık çelik lifler kullanılarak üretilen çimento esaslı bir yapı malzemesidir. SIFCON içerisinde çimento, puzolan, su, süper akışkanlaştırıcı ve ince agrega kullanılarak hazırlanan bulamaç ile %5-20 oranında çelik lif kullanılarak oluşturulmaktadır. Lifli betonlarda %1-3 olan çelik lif oranından 10 kat fazla çelik lif konulması yüksek performans göstermesini sağlar (Taşdemir ve Bayramov 2002). SIFCON üretiminde ilk olarak lifler kalıba yerleştirilmekte daha sonra hazırlanan akıcı kıvamlı bulamaç kalıba dökülerek yapılmaktadır. SIFCON 4 temel özellik dikkate alınarak yapılır. Bunlar bulamacın dayanımı, liflerin homojen dağılımı, lif türü ve kullanılacak lif hacmidir. Özel olarak tasarlanan bulamaçların basınç ve eğilme dayanımları SIFCON'un dayanıklılığını etkilemektedir. SIFCON'da kullanılan lif türü ve lif oranı eğilme dayanımı, enerji yutma kapasitesi ve darbe dayanımı özelliklerini önemli ölçüde değiştirmektedir (Erdem, 1998a; Bryne, 2000b). SIFCON'da dayanım özelliğinde en fazla etkiyi gösteren çelik lifler daha çok kullanılmaktadır. Farklı (boy/çap) narinlik oranında ve şekillerde olan çelik liflerden daha çok uçları kancalı olan lifler tercih edilir (Baradan vd., 2015).

İnşaat sektöründe yeni nesil bir malzeme türü olan SIFCON'un kullanımının 1983 yılında ilk olarak, New Mexico Engineering Research Institute (NMERI) de Lankard tarafından yapılmıştır (Lankard, 1984). Bu çalışmadan sonra birçok özelliği daha üstün olan SIFCON ile ilgili çalışmalar dünya üzerinde hızla devam etmektedir.

#### 2.1 SIFCON'u Oluşturan Malzemeler

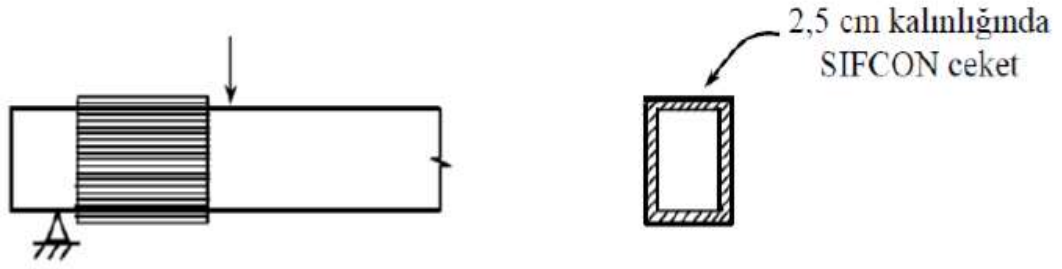
SIFCON numunelerinde kullanılan malzemeler çimento, silis dumanı, öğütülmüş yüksek fırın cürufu, uçucu kül, ince agrega, çelik lif, su ve süper akışkanlaştırıcıdır. Bu malzemelerin teknik özelliklerinin yüksek ve her zaman bulanabilecek olmasına dikkat edilmelidir. Farklı bir üretim metodu gereken SIFCON'da kullanılacak malzemelerin maliyet açısından da değerlendirilmesi gerekmektedir.

SIFCON'da bulunan yüksek orandaki liflerin arasından geçebilecek kıvamda ve homojen olarak dağılabilecek bir bulamaç hazırlanması önemlidir. SIFCON'da kullanılacak agrega boyutu ve türü geleneksel beton da kullanılan agrega türü ve boyutundan farklı olarak seçilir. SIFCON bulamacında kullanılacak ince agreganın en büyük tane boyutu seçimi çok önemlidir. Bunun nedeni kalıplara rastgele konulan liflerin arasındaki mesafenin belirsiz bir şekilde olmasıdır. Kullanılacak lif boyu ve şekline göre agrega tercih edilmelidir. Yapılan SIFCON çalışmalarında agrega boyutu ile ilgili bir kural olmamakla birlikte genel olarak en büyük tane boyutu 250-600 mikron arasında olan silis kumu kullanılmaktadır. Yüksek dayanım istenilen SIFCON'da oluşacak kusurlar minimuma indirilmeli ve çok iyi bir homojen yapı oluşturulmalıdır. Bulamaçların matris kısmında bütün boşluklarının tamamen doldurulması ve kompakt bir yapı oluşturmak için silis dumanı gibi çok ince taneli puzolan kullanmak gerekir. Özel üretim gereken yerlerde kullanılan reaktif pudra betonunda kullanılan malzemelerden beklenen performans SIFCON'da kullanılan malzemelerden de beklenmektedir (Svermova ve Bartos, 2002).

SIFCON'da eğilme dayanımı ve tokluk özelliğini etkileyen en önemli malzemelerden birisi kullanılacak lif türünün yapısı ve şeklidir. Genel olarak yapılan çalışmalarda çelik lif türü kullanılmıştır. Çelik liflerin içerisinde de en iyi özelliği ucu kancalı çelik lifler göstermektedir. SIFCON üretimin de kullanılacak malzemelerin normal betondan çok farklı olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle kullanılacak malzemelerin seçiminde SIFCON'un lif ve matris yapısı düşünülerek çok dikkat edilmelidir. Teknik özellikleri yüksek homojen bir yapı oluşturan malzemeler kullanmaya dikkat edilmelidir.

## **2.2 SIFCON'un Kullanıldığı Alanlar**

SIFCON daha çok yapıların tamiri, güçlendirilmesi ve dayanım bakımından iyileştirme gereken yerlerde kullanılır. Bu gibi onarım işlerinde kullanılmak üzere ince plaklar Şekil 2.1 görüldüğü gibi uygulanarak hasarlı kirişlerin çevresi kaplanarak dayanım sağlanır (Yerlikaya, 2003). Askeri depolarda ve özel kısımları ayırmak için kullanılan panel ve duvarların üretiminde kullanılmaktadır. SIFCON'un parçalanmaya, patlama yüklerine ve kurşun etkisine karşı yüksek performans göstermekte bu nedenle askeri alanda da çok tercih edilir.



**Şekil 2.1.** SIFCON ile güçlendirme uygulaması (Yerlikaya, 2003)

Havaalanı pistleri ve çok ağır yükler bulunan depolama alanlarında iyi bir çözüm sağlar. Bu yerlerde uygulama Fotoğraf 2.1 görüldüğü gibi çelik liflerin zemin tabakasına gelişigüzel olarak istenilen oranda serilmekte ve akıcı kıvamdaki bulamaç enjekte edilmektedir (Canbay, 2014). Ağır hasar gören köprü, viyadük elemanlarında kısa sürede tamir ve kullanım imkanı sağlar (Naaman ve Baccouche, 1995). SIFCON yüksek enerji yutma ve darbe etkisine karşı direnci hidrolik yapılarda da tercih edilmesine sebep olmaktadır. İnce plakalar şeklinde üretimi yapılan SIFCON numuneler su yapılarında kaplama olarak kullanılabilir (Güngör, 2013).



**Fotoğraf 2.1.** SIFCON'da bulamaç enjekte işleminin uygulaması

## 2.3 SIFCON'un Avantaj ve Dezavantajları

Son dönemde yüksek süneklilik ve dayanım gereken işlerde SIFCON tercih edilmektedir. Dünya da son 50 yıllık dönemde yoğun çalışmalar yapılan SIFCON'un aslında çok eski zamanlarda kullanılan bir teknik olduğu bilinmektedir. Eski zamanlarda horasan harcı içerisine saman, keçi kılı, vb. malzemeler katılarak oluşturulan yapı malzemesi, artık SIFCON olarak çalışılmaktadır. İnaşat sektöründe yeni nesil bir malzeme türü olan SIFCON'un kullanımının oluşturduğu birçok avantaj ve dezavantaj durumu da vardır. SIFCON'un önemli olan avantajları ve dezavantajları aşağıda verilmiştir.

### 2.3.1 Avantajları

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

### 2.3.2 Dezavantajları

- SIFCON'un üretim tekniği 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 elemanları onarım güçlendirme işlemlerinde taşıyıcı eleman ile bütünlüğünü sağlamak için özel yapıştırıcı malzemeler gerektirmesi ve yüksek maliyet oluşmasına neden olur.

## 2.4 SIFCON'a Uygulanan Kür Yöntemleri

Betonun, özellikle ilk günlerde yeterli hidrasyon yapabilmesini sağlayabilmek için, betonun içerisinde yeterince suyun ve sıcaklığın bulundurulması ve bu ortamın korunması 'betonun kürü' olarak adlandırılmaktadır (Erdoğan, 2003). Betonun dayanım kazanmasında üretimi, yerine yerleştirilmesi kadar kür yöntemi de çok önemlidir. Teknolojinin gelişmesi ile ortaya çıkanlar ve uzun yıllardır uygulanan kür yöntemleri şunlardır. Standart (su) kür, buhar kürü yöntemi (atmosferik kür, otoklav kür), hızlı kür yöntemi (sıcak su metodu, kaynar su metodu, hidrasyon ısı ile kür metodu), kuru kür, yüzey kaplama ile kür (membran, geçirimsiz kâğıtlar, plastik kaplamalar), hava kürü, kimyasal yüzey kaplamaları ile beton kür edilmektedir. Uygulanacak kür yöntemi seçiminde üretim tekniği, betona kürün uygulanacağı yer, betonun özelliği, hava şartları, teknolojik imkânlar ve maliyet dikkate alınarak karar verilmektedir. Bu çalışmada standart kür, kuru kür, hızlı kür yöntemleri uygulanarak SIFCON'un mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Standart kür yöntemi en ideal yöntem olup beton göllendirme ve tamamen su ile kaplanarak yeterli nemli ortamın sağlanması ile yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarda standart kür uygulanan numunelerin nihai dayanımının daha yüksek olduğu görülmüştür (Cebeci, 1987). Bu yöntemde betonun sertleşmesi evresinde betonun karışım suyunun buharlaşması engellenmeli ve özellikle düşük su/bağlayıcı oranındaki betonlarda bu durum daha önemlidir. Beton elemanlar tamamen su içerisinde iken hidrasyon tepkimeleri gerçekleşmekte, kapiler boşluklar daha az oluşmakta ve yüzeysel çatlaklar oluşmadan yüksek dayanıma sahip bir yapı malzemesi elde edilmektedir. Betonarme yapıları tamamen su içerisine koymak mümkün olmadığı için sulama ve göllendirme yapılmaktadır (ACI 308-92, 2000). Bu nedenle standart kür yöntemi laboratuvar ile yapılarda aynı şekilde uygulanamamaktadır. SIFCON elemanları küçük boyutlu olduğu için içerisinde  $20 \pm 2$  °C'lik su bulunan kür havuzunda 28 gün kür edilmiştir. Fotoğraf

2.2’de görülen sürekli su içerisinde kür edilen SIFCON numunelerine kür sonrası dayanım deneyleri yapılmıştır.



**Fotoğraf 2.2.** SIFCON numunelerine standart kür uygulaması

Hızlı kür yöntemi kısa sürede yüksek dayanım istenilen işlerde kullanılan bir kür yöntemidir. Daha çok seri üretim gereken işlerde kısa zamanda yüksek dayanım elde ederek numune üretimine imkân sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. TS 3323 yönetmeliğinde bulunan kaynar su metodu kullanılarak SIFCON numuneleri kür edilmiştir. Bu yöntem uygulanırken kür süresi kısa olduğu için numunelerin dökümünden hemen sonra bakımına dikkat edilmelidir. Bu nedenle numunelerin üstleri belirli aralıklarla ıslatılmalı veya koruyucu bezlerle kapatılmalıdır. Kalıplara yerleştirilen numuneler 23 saat  $\pm 15$  dakika sonra kalıptan alınarak kür tankına koyulur. Kür tankındaki su sıcaklığı deney numunelerinin konulduğu anda ve kür süresi boyunca kaynama sıcaklığında olmalıdır. Kür tankının sıcaklığı dijital termometrelerle kontrol edilmelidir. Kür tankında numuneler 3,5 saat  $\pm 5$  dakika küre tabi tutulduktan sonra bir maşa yardımıyla çıkarılır. Numuneler kür tankından çıkarıldıktan sonra oda sıcaklığına gelene kadar en az 1 saat bekletilmelidir. Hızlı kür yöntemi uygulanan numuneler üzerinde dayanım deneyleri kısa süre içinde yapılmaya uygundur (TS3323, 1979).

Kür için sıcak su kür tankı kullanılmış numuneler koyulmadan önce tank da bulunan su kaynar duruma getirilmiştir. Kür tankının sıcaklık kontrolü ve numuneleri kür

sonrasında alırken dikkat edilmelidir. Deney Fotoğraf 2.3’de görüldüğü gibi uygulanmıştır. Kaynar su metodu ortalama 28 saatte yüksek dayanım sağlayan bir kür yöntemidir.



**Fotoğraf 2.3.** SIFCON numunelerine hızlı kür uygulaması

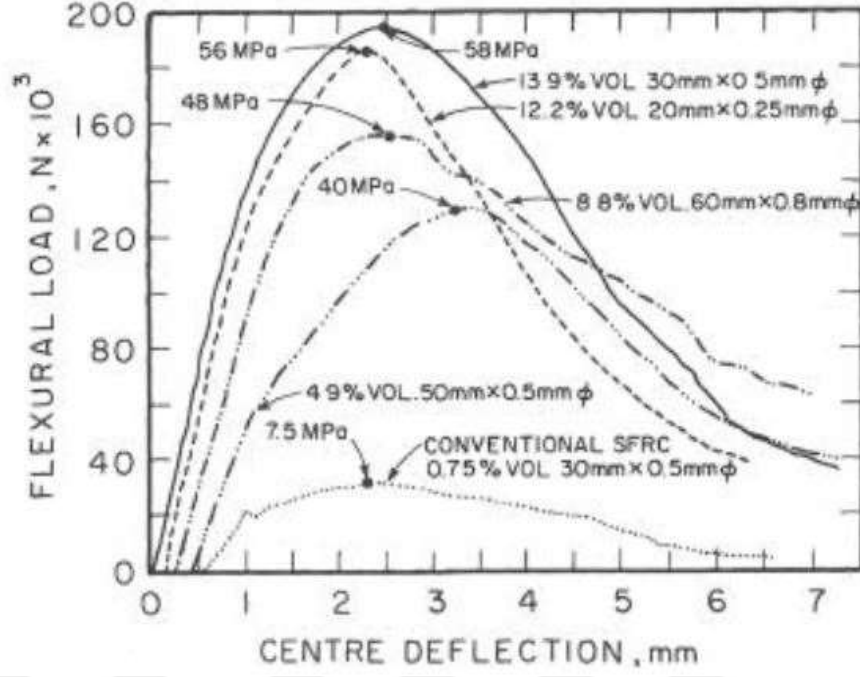
Kuru kür yöntemi ortam sıcaklığının ve bağıl neminin sabit bir değere ayarlanarak uygulanmaktadır. Genelde kuru kür yöntemi için özel cihaz kullanılır. Kuru kür yöntemi betonarme yapıların tamamen su içerisinde olamayacağı düşünüldüğünde belirli bir nem oranında betonun dayanım gelişimi için fikir veren bir uygulamadır. Betonun yerine yerleştirildikten sonra sulama ve göllendirme işlemi yapılarak nemli ortam sağlanmaya çalışılsa da pek mümkün olmamaktadır. Bu yöntem uygulamada beton dayanımının gelişimi açısından öngörülebilir bulunan bir kür yöntemidir. Yapılan çalışmada kür cihazında sıcaklık  $22\pm 2$  °C ve bağıl nem %65 değerinde sabitlenerek numuneler kür edilmiştir (Fotoğraf 2.4). Literatür çalışmalarında farklı bağıl nem ve sıcaklık değerleri için kür yöntemleri mevcuttur. Yapılan harç çalışmasında kullanılan ve standart kür ile aynı sıcaklık değerinde ama bağıl nem değeri farklı olan bu değerler dikkate alınarak numuneler kür edilmişlerdir (Akçaözoğlu, 2008).



**Fotoğraf 2.4.** SIFCON numunelerine kuru kr uygulaması

## **2.5 Literatür alışmaları**

Lankard, SIFCON zerine ilk çalışmaları başlatmıştır. Yaptığı çalışmalarda lif kullanılmayan ve düşük oranlı elik lifli beton ile SIFCON numunelerinde karşılaştırma yapmıştır. Bu alışma da Şekil 2.2'deki grafikleri bularak SIFCON'un diğer lif kullanılmayan ve düşük oranlı elik lifli betondan eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu değerinin daha yüksek olduğu görülmüştür (Lankard, 1985).

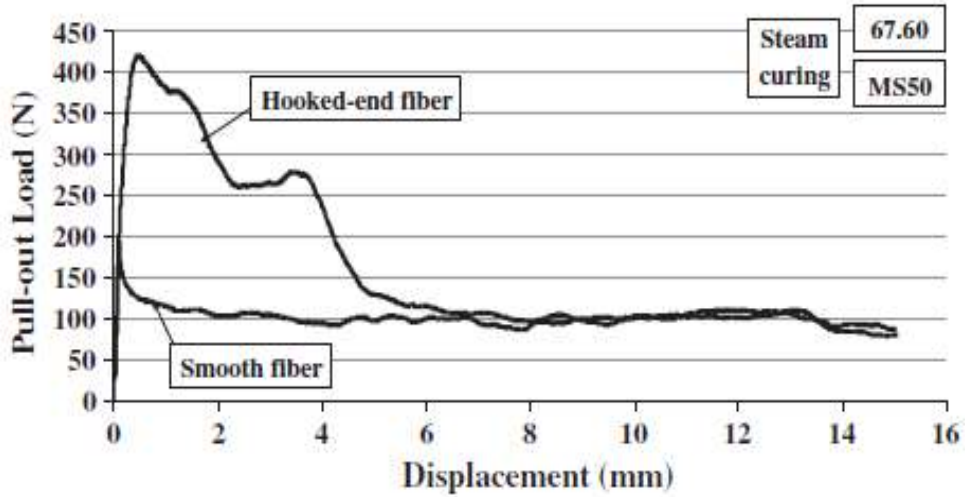


Şekil 2.2. SIFCON'da lif oranı ile yük sehimi değışimi grafiği (Lankard, 1985)

Tuyan ve Yazıcı birlikte yaptıkları SIFCON çalışmasında matris içinde bulunan çelik liflerin aderans ve davranışlarını araştırmışlardır. Bunun yanı sıra matris yapısını oluşturan bulamaç karışım oranları, kür koşulları, çelik liflerin yönlenmesi ve gömülme uzunluğunu bulmak için çalışmalarda yapmışlardır. SIFCON'da kullanılan bulamacın dayanımının artması, uygun kür uygulamasının seçimi, çelik lif boy ve çapının artması ile lif aderansında artış olduğu görülmüştür. Fotoğraf 2.5'de görülen Pull-Out deneyi ile çelik lif gömülme derinliğinin artmasıyla aderans artmakta ve kırılma tokluğunun daha yüksek olduğunu elde etmişlerdir. Bununla birlikte kancalı olan çelik liflerin, düz şekilde olanlara göre daha yüksek aderans gösterdiğini düşünmüşlerdir. Bu durumu yaptıkları deneylerde Şekil 2.3'de görülen grafikleri inceleyerek kancalı ve kancasız liflerin yük sehimi değerlerinden tespit etmişlerdir (Tuyan ve Yazıcı, 2012).

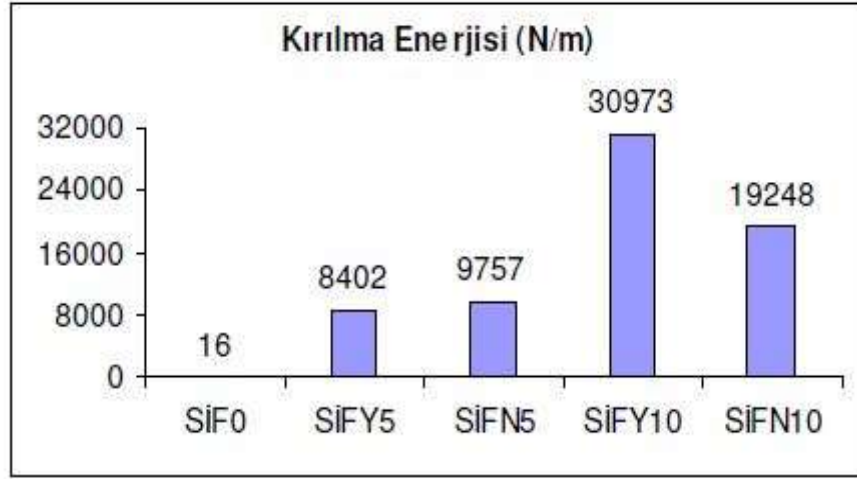


**Fotoğraf 2.5.** SIFCON’da çelik lif aderansının Pull-Out deneyi ile belirlenmesi



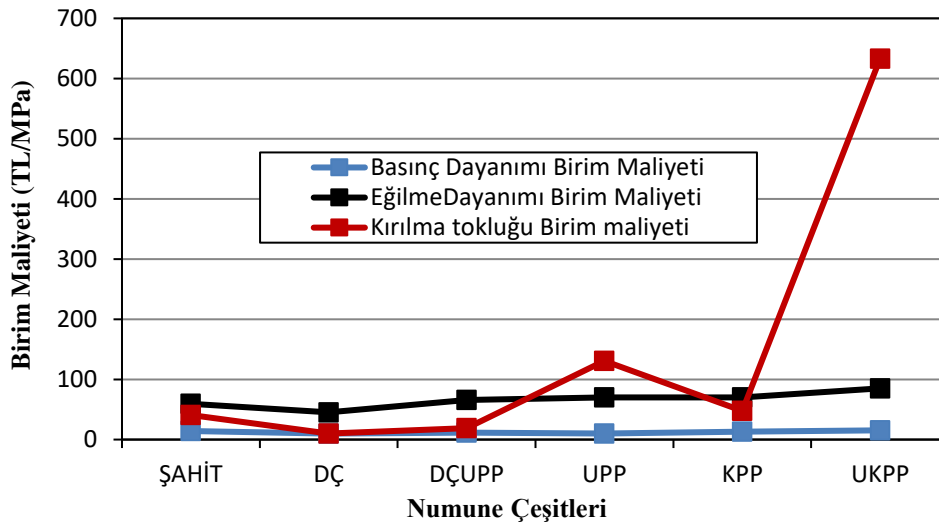
**Şekil 2.3.** Kancalı ve kancasız lifin yük sehim ilişkisi (Tuyan ve Yazıcı, 2012)

Bulutlar, yaptığı SIFCON çalışmasında çelik lif oranının ve çelik lif dayanımının, eğilme dayanımı, kırılma enerjisi, yarma-çekme dayanımı ve elastisite modülü üzerindeki etkisini incelemiştir. Karışımlarda lifsiz, %5 ve %10 oranlarında çelik lif kullanılmıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre çelik lif oranının ve dayanımının kırılma yükü tepe noktası sonrasında davranışını önemli ölçüde etkilediği sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada elde edilen Şekil 2.4’de kırılma enerjisi ve mekanik özelliklerin %10 çelik lif kullanımında daha yüksek artışlar sağladığı görülmüştür. Çelik lif kullanılan numunelerde bulunan kırılma enerjileri, lifsiz numunelerden bulunan kırılma enerjilerinden yaklaşık 2000 katına varan oranlarda yüksek olduğu tespit edilmiştir (Bulutlar, 2006).



Şekil 2.4. SIFCON'da bulunan kırılma enerjileri (Bulutlar, 2006)

Canbay, yaptığı çalışmada genelde kullanılan iki ucu kancalı çelik lifler ve farklı olarak malzeme yapısı ve geometrisi değişik polipropilen liflerin mekanik ve fiziksel özellikler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada numunelere ultrases geçiş hızı, kırılma tokluğu, basınç ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Bu çalışmadaki Şekil 2.5'e bakılarak karışımların birim maliyet analizleri de yapılmış ve dayanım maliyet ilişkisi incelenmiştir. Yapılan deneyler mekanik özellikler üzerinde çelik lif kullanımının daha iyi sonuçlar verdiği ve ekonomik olarak daha uygun olduğu anlaşılmıştır. Korozyon etkisinin yüksek olacağı yerlerde ise dayanım özellikleri daha düşük olan polipropilen liflerin kullanımının daha uygun olacağı görülmüştür (Canbay, 2014).



Şekil 2.5. SIFCON birim maliyet ile mekanik özelliklerin ilişkisi (Canbay, 2014)

Mısır, yaptığı çalışmada betonarme yapıların deprem davranışının iyileştirilmesi için SIFCON'un kullanımını araştırmıştır. Bunun için ilk olarak en uygun bulamaç tasarımı yapılmış ve taze hal özellikleri incelenmiştir. Yoğun lif yapısında kullanılacak akıcı kıvamdaki bulamaç kullanılarak SIFCON numuneleri üretilmiştir. Betonarme yapıların kolon kiriş birleşimlerinde sağladığı faydaları yapılan deney verileri ile yorumlamışlardır. Deprem etkilerine karşı yapıda dayanım ve kırılma yüklerinde daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir (Mısır, 2011).

Yenidünya, yaptığı çalışmada farklı kür yöntemlerinin çelik lifli betonların mekanik özelliklerine etkisini incelenmiştir. Bu çalışmada düşük oranda çelik lifler kullanılan betonların standart kür, hava kürü, atmosferik basınçlı buhar kürü uygulamalarından sonra mekanik özellikleri olan basınç dayanımı ve eğilme dayanımlarına bakılarak değerlendirilmiştir. Çalışmada atmosferik basınçlı buhar kürü ile kısa sürede yüksek dayanım elde edilmiş fakat nihai dayanımda azalma olmaktadır. Standart kür ve hava küründe nihai dayanım daha yüksek görülmüştür. Yapılacak çalışmalar için kullanım amacına uygun olarak kür yönteminin seçiminin önemli olduğu anlaşılmıştır (Yenidünya, 2013).

## BÖLÜM III

### MALZEME ÖZELLİKLERİ VE DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde, deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler ve deney yöntemleri hakkında bilgi verilmektedir. Deneylerde kullanılan malzemeler ülkemizin değişik bölgelerinden temin edilmiştir. Bu malzemelerin seçiminde malzemelerin teknik özelliklerine ve her zaman bol miktarda bulunabilmesine, homojen bir yapıya sahip olmalarına ve her daim aynı kalite ve özellikte bulunabilecek malzemeler olmalarına dikkat edilmiştir. SIFCON karışımlarında kullanılan malzeme miktarları, numune boyutları ve bu numuneler üzerinde yürütülen deneyler hakkında da bilgi verilmektedir.

#### 3.1 Kullanılan Malzeme Özellikleri

SIFCON üretiminde özellikleri aşağıda verilen çimento, silis dumanı, öğütülmüş yüksek fırın cürufu, uçucu kül, çelik lif, silis kumu, su ve süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Çalışmalarda kullanılan toz halindeki malzemelerin taze olarak kullanılmasına dikkat edilmiş ve nem almayacak şekilde koruyucu torbalarda muhafaza edilerek çalışmalarda kullanılmıştır.

##### 3.1.1 Çimento

Bu çalışmada, Niğde Çimsa Çimento Fabrikası tarafından üretilen, TS EN 197-1 (2012) ile uyumlu CEM I 42,5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentoya ait kimyasal özellikler Çizelge 3.1’de, fiziksel özellikler ise Çizelge 3.2’de verilmiştir. Bu değerler Niğde Çimsa Çimento Fabrikasının kalite kontrol biriminden alınmıştır.

**Çizelge 3.1.** Kullanılan çimentonun kimyasal özellikleri

Kimyasal bileşenler	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Cl	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	K.K
Miktar (%)	21.16	5.79	2.65	60.61	1.28	0.01	3.10	0.33	0.52	1.13

**Çizelge 3.2.** Kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri

Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	3.10	
Priz süresi	İlk (Dakika)	110
	Son (Dakika)	140
Özgül yüzey(cm <sup>2</sup> /gr)	3380	
İncelik	0.040 mm elek kalıntısı(%)	11.13
	0.090 mm elek kalıntısı(%)	0.79
Basınç Dayanımı (MPa) 2 günlük	27.71	
Basınç Dayanımı (MPa) 28 günlük	50.50	

### 3.1.2 Silis dumanı

Çalışmada kullanılan silis dumanı Antalya’da faaliyet gösteren Eti Elektrometalürji A.Ş. tesislerinden temin edilmiştir. Silis dumanı, silikon veya demirli silisyum imalatı sırasında atık olarak ortaya çıkan şekilsiz silisyum dioksit (SiO<sub>2</sub>) kürelerinden meydana gelmektedir. Bu silisyum dioksit (SiO<sub>2</sub>) kürelerinin ortalama büyüklüğü 0.5 µm dan daha düşüktür bu durum göstermektedir silis dumanı taneleri çimento tanelerinden daha küçüktür. Silis dumanının kimyasal özellikleri Çizelge 3.3’te verilmiştir. Bu değerler Eti Elektrometalürji A.Ş. fabrikasının ar-ge direktörlüğü biriminden alınmıştır. Kullanılan silis dumanın özgül ağırlığı 2.30 gr/cm<sup>3</sup> olup özgül yüzeyi 200000 cm<sup>2</sup>/gr’dır. Ayrıca silis dumanının 28 günlük puzolanik aktivite indeksi %128 dir. Deneylerde kullanılan silis dumanı Fotoğraf 3.1 görüldüğü gibidir.

**Çizelge 3.3.** Silis dumanın kimyasal özellikleri

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



**Fotoğraf 3.1.** Kullanılan silis dumanı

### 3.1.3 Öğütülmüş yüksek fırın cürufu

Bu çalışmada, Adana Çimento fabrikası İskenderun tesislerinde üretilen, TS EN 15167–1 (2006) ile uyumlu öğütülmüş yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. Yüksek fırın cürufu demir üretiminde yüksek fırınlarda oluşan yan üründür ve öğütülerek granüle hale getirilmektedir. Kullanılan öğütülmüş yüksek fırın cürufuna ait kimyasal özellikler Çizelge 3.4’de verilmiştir. Kullanılan öğütülmüş yüksek fırın cürufunun özgül ağırlığı  $2.87 \text{ gr/cm}^3$  olup, özgül yüzeyi  $5180 \text{ cm}^2/\text{gr}$ ’dır. Bu değerler Adana Çimento fabrikası İskenderun kalite kontrol biriminden alınmıştır. Deneylerde kullanılan öğütülmüş yüksek fırın cürufu Fotoğraf 3.2 görüldüğü gibidir.

**Çizelge 3.4.** Öğütülmüş yüksek fırın cürufunun kimyasal özellikleri

Kimyasal bileşenler	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K.K
Miktar (%)	38.20	11.10	0.83	38.96	6.88	0.52	2.27



**Fotoğraf 3.2.** Kullanılan öğütülmüş yüksek fırın cürufu

### 3.1.4 Uçucu kül

Bu çalışmada, Ceyhan da faaliyet gösteren Ekton firmasından temin edilen Yumurtalık Sugözü Termik Santrali tesislerinde üretilen, TS EN 450–1 (2013) ile uyumlu uçucu kül kullanılmıştır. Kullanılan uçucu küle ait kimyasal özellikler Çizelge 3.5’te, verilmiştir. Kullanılan uçucu külün özgül ağırlığı  $2.37 \text{ gr/cm}^3$  olup özgül yüzeyi  $4052 \text{ cm}^2/\text{gr}$ ’dır. Ayrıca uçucu külün 28 günlük puzolanik aktivite indeksi %90’dır. Bu değerler Sugözü termik santrali kalite kontrol biriminden alınmıştır. Deneylerde kullanılan uçucu kül Fotoğraf 3.3 görüldüğü gibidir.

**Çizelge 3.5.** Uçucu kül kimyasal özellikleri

Kimyasal bileşenler	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	K.K
Miktar (%)	61.16	20.76	6.92	1.46	1,34	2,01	2,91	1,78



**Fotoğraf 3.3.** Kullanılan uçucu kül

### 3.1.5 Çelik lif

Deneyisel çalışmalarda kullanılan çelik lifler KEMERLİ METAL A.Ş. temin edilmiştir. SIFCON karışımlarda kullanılan çelik lifler, düşük karbon içerikli ve uçları kancalı olup TS EN 14889-1'e (2016) uygun malzemedir. Yapılan çalışmada iki farklı (l/d) narinlik oranlarına sahip çelik lif kullanılmıştır. Bu çelik lifler beton yapısında çatlakların oluşmasını ve ilerlemesini önleyerek kuvvetleri farklı şekilde dağıtmaktadır. Bu etkisi ile çelik lif kullanılan betonların daha yüksek kırılma yüklerine dayandığı bilinmektedir. Kullanılan çelik liflerin en önemli etkisi betona kazandırdığı sünek davranıştır. Çalışma kapsamında üretilen SIFCON'da kullanılan çelik liflerin her birine ait fiziksel özellikler Çizelge 3.6'da verilmiştir. Deneylerde kullanılan çelik lifler Fotoğraf 3.4 görüldüğü gibidir.

**Çizelge 3.6.** Çelik liflerin teknik özellikleri

Teknik Özellikler	55/30	75/30
Boy (mm)	30	30
Çap (mm)	0.55	0.75
Çap (l/d)	55	40
Çekme mukavemeti	1500	1200
Kg'daki Tel sayısı	16750	9000



**Fotoğraf 3.4.** Kullanılan çelik lifler

### **3.1.6 Silis kumu**

SIFCON numunelerde istenilen dayanıma ulaşabilmek için dayanımı yüksek ince agrega kullanılmalıdır. Yapılan çalışmada agrega olarak yüksek dayanıma sahip en büyük tane boyutu 0.5 mm olan silis kumu kullanılmıştır. Kullanılan silis kumu Niğbaş Yapı Kimyasalları tarafından temin edilmiştir. Silis kumu dünyada çok bulunan ve silisyum dioksit'ten ( $\text{SiO}_2$ ) oluşan çok sert bir malzemedir. Genel olarak silis kumu kimyasal kararlılığa sahip olduğu için birçok alanda tercih edilmektedir. Kararlı yapıya sahip olan silis kumu yüksek aşınmaya ve hava şartlarına dayanıklıdır. Betonlarda kullanılan agregaların basınç dayanımı 100 MPa olduğu, silis kumunun ise 180 MPa basınç dayanımlara çıktığı görülmüştür (Korkanç ve Tuğrul, 2004). SIFCON da kullanılan ince tane yapısına sahip, hava şartlarına dayanıklı ve dayanım değerleri yüksek olan silis kumu tercih edilmiştir. Deneylerde kullanılan silis kumunun rengi sarı, su emme kapasitesi 0.64 ve özgül ağırlığı  $2.64 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Kullanılan silis kumu Fotoğraf 3.5 görüldüğü gibidir.



**Fotoğraf 3.5.** Kullanılan silis kumu

### **3.1.7 Kimyasal katkı malzemesi**

Karışımlarda işlenebilirliği sağlamak için TS EN 934–2’ye (2013) uygun olarak yüksek oranda su azaltıcı süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Kullanılan süper akışkanlaştırıcı polikarboksilik eter esaslı olup yüksek oranda su azaltan, erken ve nihai yüksek dayanım sağlayan, yoğunluğu 1.082–1.142 kg/litre arasında değişkenlik gösteren, pH değeri 6-7 arasında olan, koyu kahve renkli bir katkıdır.

### **3.1.8 Karışım ve bakım suyu**

Beton karışımında suyun üç önemli görevi vardır. Bunlardan birincisi; çimento ile birleşerek hidrasyonun çimento ve su arasındaki kimyasal tepkimelerin gerçekleşmesini sağlamak, ikinci olarak betonun üretimi aşamasında agrega ve bağlayıcı malzemelerin yüzeyini ıslatarak taze beton karışımında amaçlanan işlenebilmeyi sağlamaktır. Üçüncü olarak da üretimi yapılan betonların ıslak kalmasını sağlayarak, dayanım kazanması ve tepkimelerin gerçekleşebilmesi için bakım suyu olarak kullanılmasıdır. Literatür de beton üretim ve bakımında kullanılan su, içilebilen su olarak tarif edilmektedir. Deneylerde kullanılan bakım ve karışım suyu Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesinde kullanılan Niğde belediyesinin şebeke suyuna aittir.

## 3.2 Beton Karışım Oranları

### 3.2.1 Bulamaç numunelerin karışım oranları

SIFCON bulamacının karışım hesabı ile ilgili kesin olarak yayımlanan bir Türk standartı mevcut değildir. Bu nedenle yapılan literatür çalışmaları incelenerek SIFCON üretiminde kullanılacak en uygun bulamaç karışımını belirlemek amacıyla farklı oranlarda malzemeler kullanılarak 14 farklı karışım hazırlanmıştır. Karışımlarda kullanılan su-bağlayıcı oranı 0.3'tür. SIFCON bulamaç numuneleri, 1000 kg/m<sup>3</sup> ve 1200 kg/m<sup>3</sup> bağlayıcı olacak şekilde kontrol bulamacında bulunan çimento ile sabit olarak %10 silis dumanı ve %20, %30 ve %40 oranlarında öğütülmüş yüksek fırın cürufu veya uçucu kül ile yer değiştirilmesiyle elde edilmiştir. Böylece kontrol numuneye birlikte toplam 14 farklı karışım hazırlanmıştır. Karışımların yayılma çapı değerleri 37±1 cm olacak şekilde süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddesi kullanılarak ayarlanmıştır. Bir metreküp bulamaç numunesi içinde bulunan malzeme miktarları Çizelge 3.7'de verilmiştir.

**Çizelge 3.7.** Bir metreküp bulamacı oluşturan malzeme miktarları

Karışım Kodları	Çimento (kg)	Silis Dumanı (kg)	YFC (kg)	SU (kg)	Uçucu kül (kg)	Silis Kumu (kg)	Katkı (kg)
BK1	1000	--	--	300	--	899.2	35
BY1-20	700	100	200	300	--	887.0	21
BY1-30	600	100	300	300	--	868.1	26
BY1-40	500	100	400	300	--	856.5	28
BK1.2	1200	--	--	360	--	596.9	24
BY1.2-20	840	120	240	360	--	575.5	10
BY1.2-30	720	120	360	360	--	565.4	10.8
BY1.2-40	600	120	480	360	--	554.3	12
BU1-20	700	100	--	300	200	841.0	24
BU1-30	600	100	--	300	300	807.5	27
BU1-40	500	100	--	300	400	783.7	26
BU1.2-20	840	120	--	360	240	521.2	13.2
BU1.2-30	720	120	--	360	360	492.6	12
BU1.2-40	600	120	--	360	480	466.0	10

Yapılan çalışmalarda kontrol karışımları ve 12 farklı karışım için numuneler oluşturulmuştur. Kullanılan 2 farklı bağlayıcı oranı için  $1000 \text{ kg/m}^3$  ve  $1200 \text{ kg/m}^3$  için kontrol numunelerine sırasıyla BK1 ve BK1.2 kodu verilmiştir. Birinci grup karışım olarak farklı oranlarda öğütülmüş yüksek fırın cürufu ikame edilmiş ve bunlarda  $1000 \text{ kg/m}^3$  bağlayıcı için BY1 kodu,  $1200 \text{ kg/m}^3$  bağlayıcı için BY1.2 kodu numunelere verilmiştir. İkinci grup karışım olarak farklı oranlarda uçucu kül ikame edilmiş ve bunlarda  $1000 \text{ kg/m}^3$  bağlayıcı için BU1 kodu,  $1200 \text{ kg/m}^3$  bağlayıcı için BU1.2 kodu numunelere verilmiştir. Deneylerde kullanılan tüm farklı karışım oranlarına sahip bulamaçların kodları Çizelge 3.8’de verilmiştir.

**Çizelge 3.8.** Bulamaç numune kodları

Karışım Kodları	Çimento (%)	Silis Dumani (%)	YFC (%)	Su-Bağlayıcı Oranı	Uçucu Kül (%)
BK1	100	--	--	0.30	--
BY1-20	70	10	20	0.30	--
BY1-30	60	10	30	0.30	--
BY1-40	50	10	40	0.30	--
BK1.2	100	--	--	0.30	--
BY1.2-20	70	10	20	0.30	--
BY1.2-30	60	10	30	0.30	--
BY1.2-40	50	10	40	0.30	--
BU1-20	70	10	--	0.30	20
BU1-30	60	10	--	0.30	30
BU1-40	50	10	--	0.30	40
BU1.2-20	70	10	--	0.30	20
BU1.2-30	60	10	--	0.30	30
BU1.2-40	50	10	--	0.30	40

### 3.2.2 SIFCON numunelerin karışım oranları

SIFCON bulamacı üzerinde yapılan araştırmalar sonrası en yüksek eğilme dayanımına sahip bulamaç karışımı kullanılarak numuneler oluşturulmuştur. SIFCON üretiminde yararlanmak amacıyla yayımlanan bir Türk standartı henüz mevcut değildir. Bu durum

da yapılacak çalışmalarda kullanılacak lif türü, lif oranı, oluşturulma yöntemiyle ilgili kesin bir uygulama yoktur. Bu nedenle yürütülen bu çalışmada literatürde yaygın olarak uygulanan metotlar kullanılmıştır. Yapılan çalışmada lif türü olarak çelik lif seçilmiş olup, 2 farklı tip çelik lif, hacimce %4 ve %8 oranlarında kullanılarak 4 farklı SIFCON grubu oluşturulmuştur.

Yapılan çalışmada, 4 farklı SIFCON karışımı 3 farklı kür yöntemi ile kür edilmiş ve dolayısıyla 12 grup döküm gerçekleştirilmiştir. Bunların daha hızlı ve net bir şekilde anlaşılması için kodlandırma yapılmıştır. Birinci grup için standart kür uygulanan numunelere farklı lif tipi ve oranı için SS55-4 kodları verilmiştir. İkinci grup için kuru kür uygulanan numunelere farklı lif tipi ve oranı için SK55-4 kodları verilmiştir. Üçüncü grup hızlı kür uygulanan numunelere farklı lif tipi ve oranı için SH55-4 kodları verilmiştir. Deneylerde kullanılan numunelere uygulanan 3 farklı kür yöntemi, farklı lif türü ve lif oranları için kodların tamamı Çizelge 3.9'da verilmiştir.

**Çizelge 3.9. SIFCON numune kodları**

Kür Yöntemi	Çelik Lif 55/30		Çelik Lif 75/30	
	4%	8%	4%	8%
Standart kür	SS55-4	SS55-8	SS75-4	SS75-8
Kuru kür	SK55-4	SK55-8	SK75-4	SK75-8
Hızlı kür	SH55-4	SH55-8	SH75-4	SH75-8

### 3.3 Deney Numunelerinin Hazırlanması

#### 3.3.1 Bulamaç numunelerinin yayılma çaplarının belirlenmesi

SIFCON bulamacı üretiminde, elektrikli mekanik harç karıştırıcısı kullanılmıştır (Fotoğraf 3.6). Elektrikli mekanik harç karıştırıcısı içerisine önce çimento, silis dumanı, ince agrega, öğütülmüş yüksek fırın cürufu veya uçucu kül karışımı konulmuştur. Malzemeler homojen bir hale gelinceye kadar elektrikli mekanik harç karıştırıcısı çalıştırılmıştır. Daha sonra bir kap içerisine konulmuş olan karma suyu ve süper akışkanlaştırıcı karışıma elektrikli mekanik harç karıştırıcısı çalışır haldeyken ilave edilmiştir. Her bir karışıma, karışım suyu ve süper akışkanlaştırıcı 3 aşamada ilave

edilmiştir. Bu ilaveler arasında da elektrikli mekanik harç karıştırıcısı 3 defa durdurularak el ile karışımın homojenliğini sağlamak için kabın kenarları sıyrılarak karıştırma işlemi uygulanmıştır.



**Fotoğraf 3.6.** Elektrikli mekanik harç karıştırıcısı

SIFCON bulamaçları hazır hale geldikten sonra abrams hunisine dökülmüş daha sonra abrams hunisi doldurulduktan sonra yayılma çaplarının ölçümleri TS EN 1015-3/A2 (2007) standardına uygun olarak yapılmıştır. Deneylerde kullanılacak en uygun SIFCON bulamacını bulmak için farklı oranlarda süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi eklenerek birçok deney yapılmıştır. SIFCON bulamacı yayılma deneyinde belirlenen çaplar her bir karışım için tek tek kontrol edilmiştir (Fotoğraf 3.7). Bu deneylerde yayılma çapı  $37\pm 1$  cm olacak şekilde her bir farklı karışım için kullanılması gereken süper akışkanlaştırıcı katkı miktarı belirlenmiştir.



**Fotoğraf 3.7.** SIFCON bulamacı yayılma çapı deneyi

### **3.3.2 Bulamaç deney numunelerinin hazırlanması**

Bulamaç üretiminde, 10 lt kapasiteli harç mikseri kullanılmıştır (Fotoğraf 3.8). Harç mikserinin içerisine önce ince agrega daha sonra çimento, silis dumanı, öğütülmüş yüksek fırın cürufu veya uçucu kül karışımı konulmuştur. Malzemeler homojen hale gelinceye kadar mikser çalıştırılmıştır. Son olarak da karma suyu ve süper akışkanlaştırıcı karışıma mikser çalışır haldeyken ilave edilmiştir. Her bir farklı karışıma, karışım suyu ve süper akışkanlaştırıcı 3 aşamada ilave edilmiştir. Bu ilaveler arasında da mikser durdurularak karışımın homojenliğini sağlamak amacıyla mala yardımıyla karıştırma işlemi uygulanmıştır.



**Fotoğraf 3.8.** Harç mikseri

Hazırlanan bulamaç numuneleri Fotoğraf 3.9’da görüldüğü gibi 4x4x16 cm’lik prizmatik kalıplara yerleştirilmiştir. Yaş birim ağırlıkları ölçülen numuneler 24 saat sonra kalıplardan çıkartılmış ve  $20\pm 2$  °C sıcaklıktaki kür havuzuna konularak eğilme dayanımı, basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı deneylerinin yapılacağı zamana kadar kür edilmiştir. SIFCON bulamacı olarak kullanılacak numunelerin standart kür sonrası uygulanacak deneyleri gerçekleştirmek için her bir karışımdan 7. gün için 3 adet numune ve 28. gün için 3 adet numune hazırlanmıştır.



**Fotoğraf 3.9.** Bulamaçların kalıplara yerleştirilmiş hali

### **3.3.3 SIFCON deney numunelerinin hazırlanması**

SIFCON üretiminde, 10 lt kapasiteli harç mikseri kullanılmıştır. SIFCON numuneleri hazırlanırken önceden belirlenen miktarda çelik tellerin tartımı yapılarak numune kalıplarına homojen olacak şekilde yerleştirilmiştir. Bulamaç için mikserin içerisine önce ince agrega daha sonra çimento, silis dumanı, öğütülmüş yüksek fırın cürufu karışımı konulmuştur. Malzemeler homojen hale gelinceye kadar mikser çalıştırılmıştır. Karma suyu ve süper akışkanlaştırıcı karışıma mikser çalışır haldeyken ilave edilmiştir. Bulamaç karışımı önceden hazırlanmış olan çelik liflerin üzerine dökülerek SIFCON numuneleri üretilmiştir. Bulamaç dökümü sırasında kalıp köşelerine tokmak ile 25 vuruş yapılarak kısmi vibrasyon uygulanmıştır. Bu şekilde hazırlanan çimento bulamacı enjekte edilmiş lif donatılı beton (SIFCON) kiriş numuneleri Fotoğraf 3.10’da görülmektedir. Üzerinde farklı kür yöntemleri uygulanacak numuneler, döküm

yapıldıktan 24 saat sonra kalıptan alınmış ve standart kür, kuru kür, hızlı kür ile kür işlemi yapılmıştır. Standart kür  $20\pm 2$  °C sıcaklıkta kür havuzunda, kuru kür  $22\pm 2$  °C sıcaklık ve %65 nem oranına sahip kür kabininde ve hızlı kür ise TS 3323 (1979)'e uygun olarak kaynama sıcaklığındaki kür tankında yapılmıştır. 3 farklı tür kür yöntemi uygulanan numuneler üzerinde eğilme dayanımı, basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı, darbe deneyi ve kılcal su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerin gerçekleştirilebilmesi amacıyla 71x71x71 mm'lik küp, 64x150 mm'lik silindir ve 30x60x300 cm'lik prizmatik numuneler hazırlanmıştır.



**Fotoğraf 3.10.** SIFCON kiriş numuneleri

### **3.4 Numuneler Üzerinde Yürütülen Deneysel Çalışmalar**

#### **3.4.1 Bulamaç numuneleri üzerinde yürütülen deneysel çalışmalar**

##### **3.4.1.1 Taze betonun birim hacim ağırlık**

Birim ağırlık, hazırlanan beton karışımındaki malzemelerin içinde bulunan boşluklar da dâhil ölçülen ağırlığının numune hacmine bölünmesiyle bulunur. Hazırlanan karışımlardan alınan numuneler kullanılarak TS EN 12350-6 (2010) uygun olarak birim hacim ağırlıkları elde edilmiştir. SIFCON karışımı numune kalıbına dökülmeden önce kalıplarının tartımı yapılmış ve beton dökümünden sonra da tartım yapılarak betonun net ağırlığı bulunmuştur. Bulunan beton net ağırlığının kalıp hacmine bölünmesiyle

bulamaç birim hacim ağırlıkları (3.1) eşitliği yardımıyla bulunmuştur. Betonun birim hacim ağırlığı ifade edilirken genel olarak  $t/m^3$  ve  $kg/m^3$  birimleri ile kullanılır.

$$W = \frac{W_d - W_b}{W_k} \quad (3.1)$$

Burada;

W: Taze betonun birim hacim ağırlığı (kg)

$W_k$ : Beton numune kabının hacmi ( $m^3$ )

$W_d$ : Dolu numune kalıbının ağırlığı (kg)

$W_b$ : Boş numune kalıbının ağırlığı (kg)

#### 3.4.1.2 Ultrases geçiş hızının belirlenmesi

Tahribatsız deney yöntemlerinden birisi olan ultrases geçiş hızı yöntemi inşaat mühendisliği alanında yaygın olarak kullanılan bir deney yöntemidir. Bu deney yönteminin uygulaması pratik ve çok kolaydır. Kür yöntemi uygulanan beton numunelerde ultrases geçiş hızlarının belirlenmesi amacıyla ASTM C597-16'ya (2016) uygun olarak deney yapılmıştır. Ultrases geçiş hızı deneyi ultrasonik dalganın numunenin bir ucundan diğer ucuna ilk ulaştığı süreyi ölçmektedir. Ultrasonik dalgaların geçiş sürelerinin ölçülmesinde numune yüzeyindeki pürüzlerin oluşturduğu boşluklardan dolayı oluşacak problemler için numunelerin ölçüm yapılacak yüzeylerine ultrasonik jel sürülerek deney Fotoğraf 3.11 görüldüğü gibi yapılmıştır. Deney düzeneğinde dalgaları gönderen alıcı-verici hücreler numunelerin düzgün yüzeylerine yerleştirilerek, direkt iletim metodu kullanılarak cihazdan ultrases geçiş hızı değerleri okunmuştur.



**Fotoğraf 3.11.** 40x40x160 mm numunelerin UGH belirlenmesi

### 3.4.1.3 Eğilme dayanımı

Deney numunelerinin eğilme dayanımını belirlemek için standart 40x40x160 mm boyutlarındaki prizmatik numuneler kullanılmıştır. Yapılan deney yöntemi TS EN 196-1'e (2016) uygun olarak eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Deneyler, Fotoğraf 3.12'de görülen 250 kN kapasiteli eğilme cihazında sabit olarak 50 N/sn yükleme hızı ile gerçekleştirilmiştir. Beton numuneler üzerine açıklığın orta noktasından basit giriş metodu kuvvet uygulanarak deney yapılmıştır. Deney sonrasında en yüksek kırılma yüküne göre dayanım değerleri hesaplanmıştır. Her farklı karışıma ait 3'er adet numunenin kırılma yük değerlerinin ortalaması alınarak her farklı grubun dayanım değeri elde edilmiştir. Numuneler üzerinde kırılma yüklerini bulmak için yapılacak deneyler standart kür sonrasında 7. gün ve 28. gün de yapılmıştır. Numunelere ait dayanım değerleri (3.2) eşitliği yardımıyla bulunmuştur.

$$f_s = \frac{3sl}{2bh^2} \quad (3.2)$$

Burada;

$f_s$ : Eğilme dayanımı (MPa)

- s : Kırılma yükü (N)  
l : Mesnetler arası mesafe (mm)  
b : Numunenin eni (mm)  
h : Numunenin yüksekliği (mm)



**Fotoğraf 3.12.** Eğilme dayanımı deneyi

#### **3.4.1.4 Basınç dayanımı**

Her bir farklı karışımın basınç dayanımı belirlemek için eğilme dayanımında kullanılan ve ikiye ayrılan 40x40x160 mm boyutlu numunelerin bir tanesi kullanılmıştır. Numuneler TS EN 196-1'e (2016) uygun olarak tek eksenli basınç deneyine tabi tutulmuştur. Deneyler, Fotoğraf 3.13'de görülen 250 kN kapasiteli basınç cihazında sabit olarak 2400 N/sn yükleme hızı ile gerçekleştirilmiştir.



**Fotoğraf 3.13.** Basınç dayanımı deneyi

Numuneler standart kür havuzunda kür edildikten sonra deneyin yapılacağı gün havuzdan çıkarılmış ve yüzey kuru hale gelinceye kadar bekletilmiştir. Her bir farklı karışım türünden 3 adet numune üzerinde basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Numunelerin basınç dayanımları (3.3) eşitliği yardımıyla bulunmuştur.

$$f_c = \frac{P}{A_c} \quad (3.3)$$

Burada:

$f_c$ : Basınç dayanımı (MPa)

P: Preste kırılma anında okunan en büyük yük (N)

$A_c$ : Numunenin basınç yükü uygulanan kesit alanı ( $\text{mm}^2$ )

### 3.4.2 SIFCON numuneleri üzerinde yürütülen deneysel çalışmalar

#### 3.4.2.1 Sertleşmiş birim ağırlık

SIFCON deney numunelerinin sertleşmiş birim ağırlıkları, basınç dayanımlarını belirlemek amacıyla hazırlanan 71x71x71 mm boyutlarındaki küp numuneler kullanılarak bulunmuştur. Bu numunelere kür yöntemleri uygulandıktan sonra ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Bulunan değerler numune hacmine bölünerek karışımların kür yöntemi sonrası sertleşmiş birim ağırlıkları hesaplanmıştır. Farklı lif tipi ve lif oranında

hazırlanan 3 adet küp numunenin ortalamaları alınarak her bir grubun sertleşmiş birim ağırlıkları tespit edilmiştir.

### 3.4.2.2 Ultrases geçiş hızının belirlenmesi

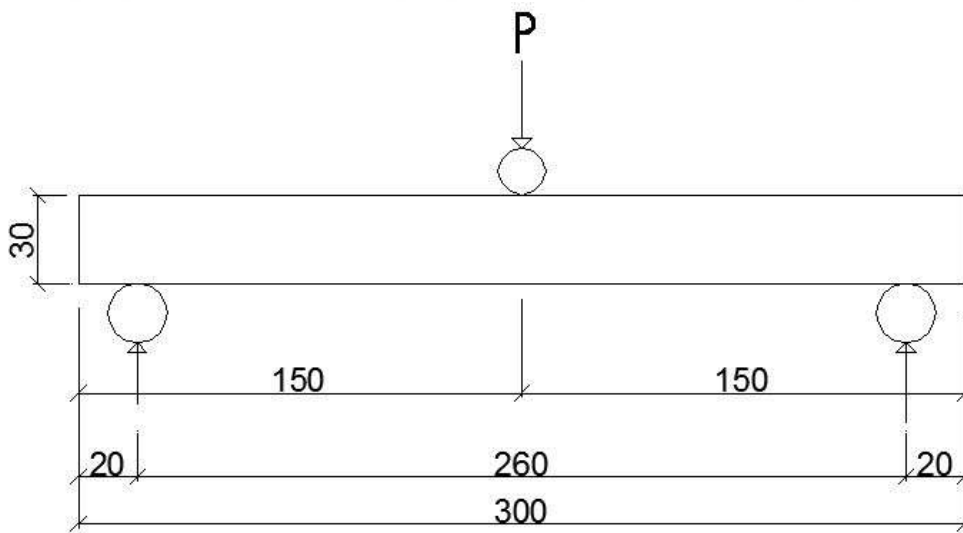
Tahribatsız deney yöntemlerinden birisi olan ultrases geçiş hızı yöntemi inşaat mühendisliği alanında yaygın olarak kullanılan bir deneydir. Bu deney yönteminin uygulaması pratik ve çok kolaydır. Kür yöntemi uygulanan beton numunelerde ultrases geçiş hızlarının belirlenmesi amacıyla ASTM C597-16'ya (2016) uygun olarak deney yapılmıştır. Ultrases geçiş hızı deneyi ultrasonik dalganın numunenin bir ucundan diğer ucuna ilk ulaştığı süreyi ölçmektedir. Ultrasonik dalgaların geçiş sürelerinin ölçülmesinde numune yüzeyindeki pürüzlerin oluşturduğu boşluklardan dolayı oluşacak problemler için numunelerin ölçüm yapılacak yüzeylerine ultrasonik jel sürülerek deney Fotoğraf 3.14 görüldüğü gibi yapılmıştır. Deney düzeneğinde dalgaları gönderen alıcı-verici hücreler numunelerin düzgün yüzeylerine yerleştirilerek, direkt iletim metodu kullanılarak cihazdan değerler okunmuştur.



**Fotoğraf 3.14.** 71x71x71 mm numunenin UGH belirlenmesi

### 3.4.2.3 Eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu

SIFCON deney numunelerinin eğilme dayanımlarını belirlemek amacıyla 30x60x300 mm boyutlarındaki kiriş numuneler kullanılmıştır (Fotoğraf 3.15). Eğilme dayanımı deneyi TS EN 14651'e (2008) uygun olacak şekilde kiriş numunelerin orta noktasından 0.05-0.1 mm/dk. sehim yapacak biçimde gerçekleştirilmiştir. Bu deney yönteminde numuneler kenar noktalarından 20 mm mesafede mesnetlenmiş, kiriş orta noktasından tek noktadan yükleme yapılarak basit kiriş metodu yöntemiyle eğilme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.1'de kullanılan deney sisteminin kesiti verilmiş olup ölçüler mm ile gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Eğilme dayanımı deney sistemi

SIFCON'un en belirgin özelliği eğilme dayanımının yüksek olmasıdır. SIFCON'un üretim şekli sebebiyle bünyesinde bulunan yüksek lif oranı eğilme dayanımının çok yüksek özellik göstermesinde en büyük etkidir. Normal betonlara göre çok yüksek eğilme dayanımı gösteren SIFCON'da lif türünün sabit olması durumunda, eğilme dayanımı lif hacminin artmasıyla birlikte artmaktadır. Yapılan çalışmalar da lif oranının %20 üzerinde olduğu durumlarda daha fazla artış sağlanmadığı görülmüştür. SIFCON üzerine yapılan deneylerde gerilme birim şekil değiştirme eğrisi kısa süreli lineer elastik davranış sergilemekteyken, maksimum gerilmede yüksek deformasyon oluşturarak taşınabilecek en yüksek kırılma yükünde artış sağlamaktadır. Beton gevrek bir yapı malzemesi olduğu için düşük şekil değiştirme özelliği gösterir. SIFCON ise yapısında

bulunan yüksek lif miktarı sayesinde yüksek şekil değiştirme özelliği göstermekte ve kırılma olayı yavaş yavaş gerçekleşmektedir. Kiriş numunelere ait eğilme dayanımı değerleri denklem (3.4) yardımıyla bulunmuştur.

$$\sigma_s = 7.22 \times 10^{-3} \times P \quad (3.4)$$

Burada;

$\sigma_s$ : Eğilme dayanımı

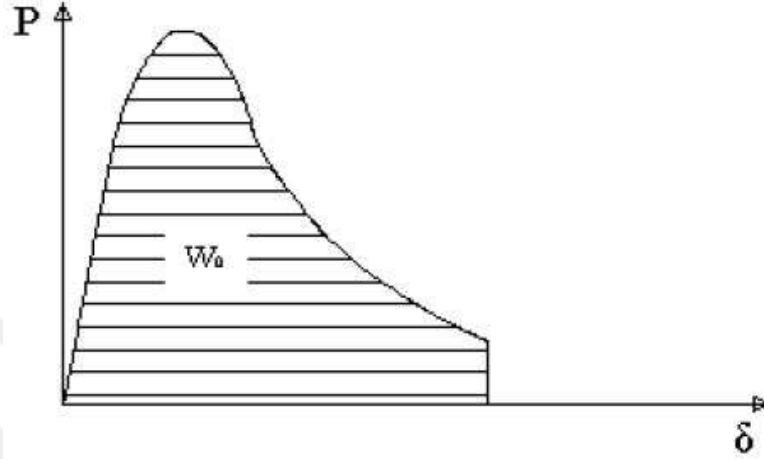
P : Kırılma yükü (N)



**Fotoğraf 3.15.** 30x60x300 mm boyutlarındaki kiriş numuneleri

Kırılma tokluğu ve kırılma enerjileri bulmak için numunelerin eğilme dayanımı ve sehim miktarları kullanılacaktır. Eğilme dayanımlarını elde etmek için kullanılacak deney düzeneği özel olarak ayarlanmıştır (Fotoğraf 3.16). Bu sistemde kiriş numunelerin mesnetleri çelik plakalar ile yükseltilerek numunenin alt kısmından deformasyon değerlerini okumak amacıyla sehim ölçer aparat yerleştirilmiştir. Deney uygulaması video kaydına alınmış anlık yük değerlerinde oluşan sehim miktarları ölçülmüştür. Elastik şekil değiştirme verileri kullanılarak ASTM C1018'e (1989) göre numunelerin tokluk değerlendirmesi SIFCON'un eğilme dayanımı deneyinden elde edilen yük sehim eğrisi altında alan ile bulunur. Kırılma tokluğunun bulunduğu yük sehim eğrisi altında kalan alan arttıkça taşıma gücü değeri de artmaktadır. Numunelerin yük sehim eğrisi altında kalan alan kullanılarak kırılma sürecindeki toplam enerji hesaplanabilmektedir. (Özalp, 2006).

Yük sehim eğrisinin altında kalan düzensiz şekilli alanların belirlenmesinde Simpson matematik kuralı veya bilinen alanlardaki yamukların hesaplanması gerektirmektedir. Bu şekilde kırılma tokluğunun hesabında yamukların alanları excel programından yararlanılarak hesaplanmıştır.



**Şekil 3.2.** Yük sehim grafiği ve kırılma tokluğu

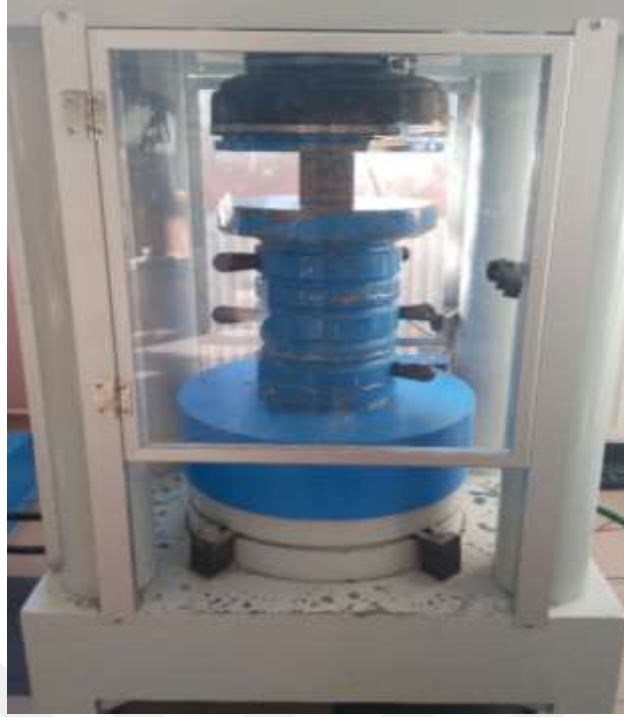
Beton kiriş numunelerinin göçme anındaki deformasyonunun her kiriş de farklı olacağı ve bu durumun ani olarak gerçekleşecek olması kırılmada deformasyon ölçülmesinin pek mümkün olmayacağını bilinmektedir. Yerli ve yabancı standartlarda iki mesnet arasındaki açıklığın 150 sabit sayısına bölünmesi ile elde edilmekte ve üretilen numunelerde 1.73 mm'ye tekabül etmektedir (Nataraja vd., 2000; TS10515, 1992). Hazırlanan kiriş numuneler standartlara göre daha küçük ölçülerde olsa da sünekliliğinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum numunelerin kırılmasının yavaş bir şekilde gerçekleşmesi ve yüksek lif miktarının etkisi ile olmaktadır.



**Fotoğraf 3.16.** SIFCON eğilme dayanımı deney düzeneği

#### **3.4.2.4 Basınç dayanımı**

SIFCON numunelerin basınç dayanımı deneyi için hazırlanan 71x71x71 mm boyutlu küp numuneler, TS EN 196-1'e (2016) uygun olarak farklı kür yöntemleri uygulandıktan sonra tek eksenli basınç deneyine tabi tutulmuştur. Deneyler, Fotoğraf 3.17'de görülen 3000 kN kapasiteli basınç cihazında sabit olarak 2400 N/sn yükleme hızı ile gerçekleştirilmiştir.



**Fotoğraf 3.17.** SIFCON basınç dayanımı deneyi

SIFCON'un basınç deneyindeki davranışı lif hacmine, lif türüne, matris dayanım değerine ve üretim şekline bağlı olarak değişmektedir. Yüksek basınç dayanımına sahip bir beton dış etkilere dayanıklı, su geçirimsizliği düşük, boşluk oranı azdır. SIFCON'un boşluk yapısının az olması, lifli bir yapıya sahip olması basınç dayanımında artış sağlamaktadır. SIFCON da kullanılan lif hacmin basınç dayanımına etkisinin en çok %10 olduğu, bu değerden sonra fazla etkisinin olmadığı yapılan çalışmalarla anlaşılmıştır.

SIFCON'da farklı lif tipi ve lif oranlarına sahip numunelere standart kür, kuru kür ve hızlı kür yöntemleri uygulandıktan sonra her grup için 3 adet küp numune üzerinde basınç deneyi yapılmış ve bunların ortalama değerleri alınmıştır. Numunelerin basınç dayanımları denklem (3.2) yardımıyla bulunmuştur.

#### **3.4.2.5 Darbe dayanımı deneyi**

Darbe deneyi, ACI 544'e (1988) uygun olarak 64x150 mm'lik silindir numuneler üzerinde yapılmıştır. Darbe deneyi, Fotoğraf 3.18'de görülen ve geoteknik mühendisliği alanında kullanılan modifiye proktor deney düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu deney yönteminde 4.5 kg ağırlığındaki tokmak 45 cm yükseklikten serbest düşüş

hareketi ile numunelerin orta noktasına düşürülmüştür. Düşürülen tokmak ile silindir numune arasındaki yük aktarımı 63.5 mm çapında çelik bilye yardımıyla gerçekleşmiştir. SIFCON numunelerin sahip oldukları yüksek darbe dirençleri sebebiyle numunelerde çatlak oluşmamıştır. Bu sebeple, darbe deneyi her numuneye sabit olarak 2500 düşüş hareketi yapılarak gerçekleştirilmiştir. Uygulanan 2500 düşüş sonrasında numune üzerinde oluşan dairesel kesitin çapı ölçülerek, metallerin yüzey sertliğini ölçmede kullanılan Britnel batma direnci yardımıyla çelik bilyenin numune yüzeyine batma miktarı bulunmuştur. Batma miktarları denklem 3.5’de verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır. Darbe deneyi her bir farklı SIFCON örneği için 2 adet numuneye uygulanmış ve bunlardan ölçülen batma miktarlarının ortalaması alınmıştır.

$$f = \frac{D}{2} - \frac{1}{2}\sqrt{D^2 - d^2} \quad (3.5)$$

Burada;

f : Batma derinliği (mm)

D: Çelik bilye çapı (mm)

d : Ölçülen daire çapı (mm)



**Fotoğraf 3.18.** Darbe dayanımı deneyi uygulaması

### 3.4.2.6 Kılcal su emme deneyi

Beton ya da harcın en önemli durabilite deneylerinden birisi olan kılcal su emme deneyi, numunelerin kılcal su emme miktarını belirlemek için kullanılan bir deney metodudur. Kılcal su emme deneyi 71x71x71 mm boyutlu küp numuneler üzerinde TS EN 772-11'e (2012) uygun olarak yapılmıştır. Farklı kür yöntemleri sonrası mukavemetini kazanan küp deney numuneleri 24 saat boyunca  $100\pm 5$  °C'lik etüvde kurutulmuştur. Etüvden çıkarılan numuneler ortam sıcaklığına gelinceye kadar bekletilmiştir. Daha sonra ise numunelerin su emmeye bırakılacak yüzeyinin yan kenarları hazırlanan parafin ile kaplanmıştır. Deney numuneleri bu şekilde kaplandıktan sonra tabanları 5 mm kadalılık su tabakasıyla temas edecek biçimde içerisinde  $20\pm 2$ °C'lik su bulunan özel tasarlanan bir havuz içerisine konulmuştur. Deney numunelerinin ilk olarak kuru durumdaki ağırlığı 0,1 gr duyarlılıktaki hassas terazi ile tartılmıştır. Daha sonra su içerisine bırakılmış olan numunelerden 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49 ve 64. dakikalardaki ağırlıkları numunenin ıslak yüzeyi havlu ile kurutulduktan sonra ölçülmüştür. Bu şekilde ölçümü yapılan numunelerin kılcal su emme katsayıları numunenin emmiş olduğu su miktarıyla bulunmuştur. SIFCON numunelerinin belirli zamanlarda kılcal olarak emdiği su miktarını numunenin su ile temas eden alanına bölerek kılcal su emme katsayısı hesaplanmıştır. Deney farklı kür yöntemlerinden sonra 3 adet küp numune üzerinde Fotoğraf 3.19'da görüldüğü gibi yapılarak bunların ortalaması alınmıştır.



**Fotoğraf 3.19.** SIFCON kılcal su emme deneyi

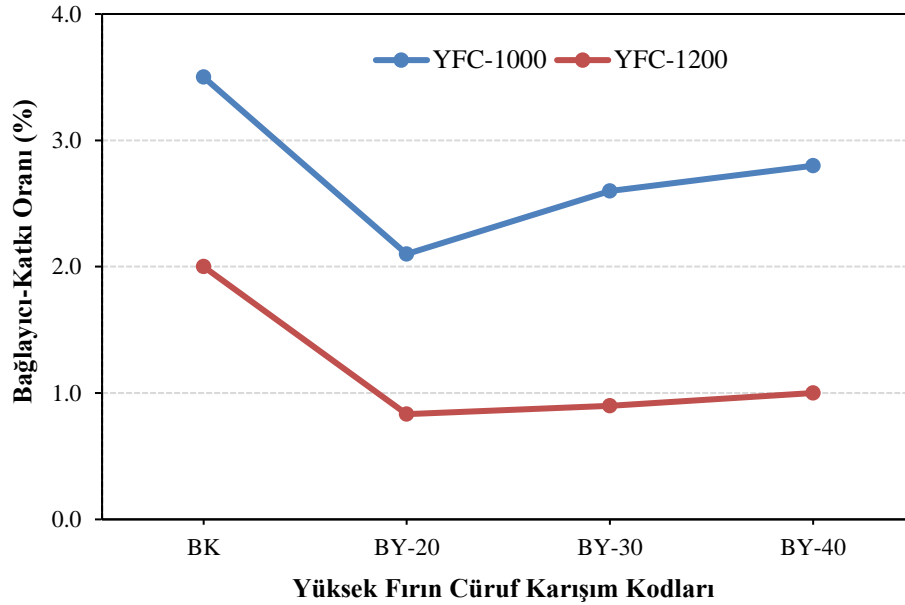
## BÖLÜM IV

### BULGULAR VE TARTIŞMA

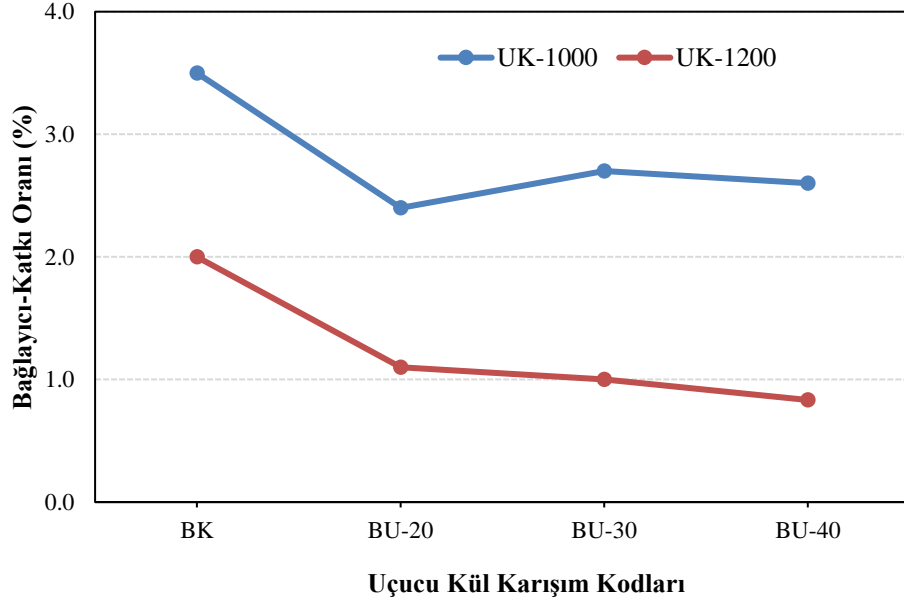
#### 4.1 Bulamaç Deneyleri

##### 4.1.1 Yayılma çaplarının belirlenmesi

Bu çalışmada SIFCON bulamacı olarak kullanılacak karışımların  $37\pm 1$  cm yayılma çapına sahip olması amacıyla her bir karışım için yayılma çapları süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak ayarlanmıştır. Hazırlanan kontrol numuneleri haricindeki tüm SIFCON bulamaçlarında çimentonun %10'u oranında silis dumanı sabit olarak kullanılmıştır. Silis dumanı ile birlikte çimento yerine öğütülmüş yüksek fırın cürufu (YFC) ve uçucu kül (UK) eklenerek diğer karışımlar hazırlanmıştır. Karışımlardaki süper akışkanlaştırıcı oranları YFC ve UK ikameli karışımlar için sırasıyla Şekil 4.1'de ve Şekil 4.2'de verilmiştir. Kontrol karışımları için en yüksek oranda süper akışkanlaştırıcı kullanılması gerektiği görülmüştür. Karışımlarda çimento yerine ikame edilecek puzolan miktarı arttıkça kullanılması gereken süper akışkanlaştırıcı oranı azalmıştır.



Şekil 4.1. YFC miktarı ile süper akışkanlaştırıcı katkı miktarının ilişkisi



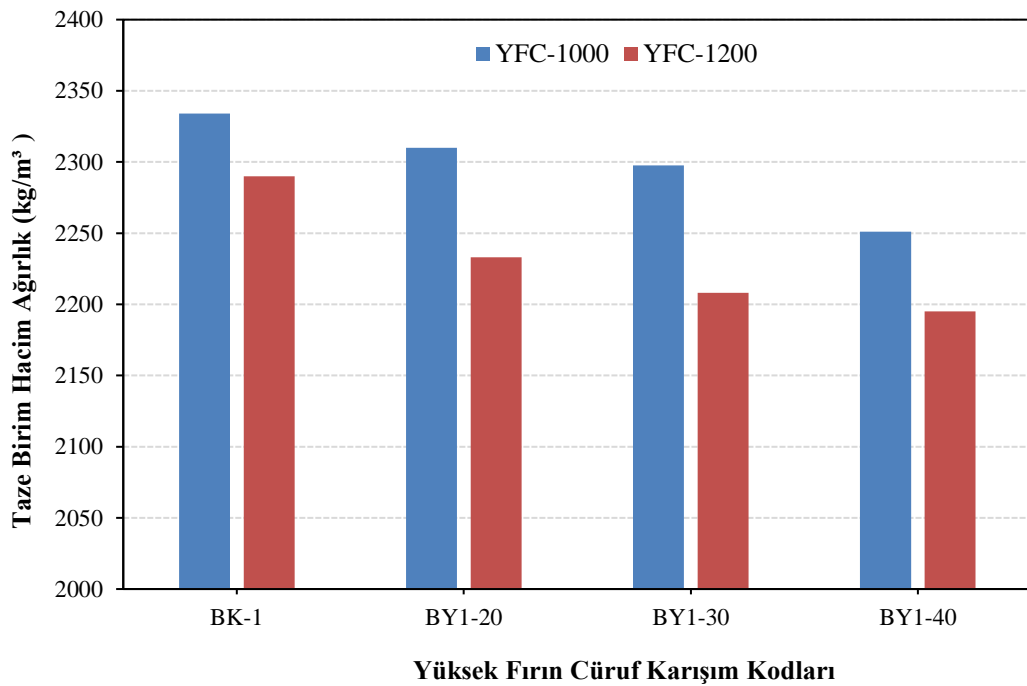
**Şekil 4.2.** UK miktarı ile süper akışkanlaştırıcı katkı miktarının ilişkisi

Yapılan SIFCON bulamacı deneylerinde kullanılan öğütülmüş yüksek fırın cürufunun kıvam üzerindeki etkisinin uçucu küle göre çok daha iyi olduğu görülmüştür. Kullanılan iki puzolan türü için de uygun kıvam değeri %20 ikame oranında en düşük oranda süper akışkanlaştırıcı kullanılarak sağlanmıştır. Bulamaç karışımlarında %30 ve %40 oranlarda puzolan kullanıldığında süper akışkanlaştırıcı ihtiyacının arttığı görülmüştür. İki puzolan türü için de, SIFCON bulamaçlarında ki bağlayıcı oranı  $1000 \text{ kg/m}^3$  olan karışımların süper akışkanlaştırıcı ihtiyacının,  $1200 \text{ kg/m}^3$  olanlara göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Karışımlarda kullanılan puzolan miktarı arttıkça süper akışkanlaştırıcı ihtiyacının azalması, puzolan maddelerin kıvamı arttırdığını göstermektedir.

#### 4.1.2 Taze betonun birim hacim ağırlığı

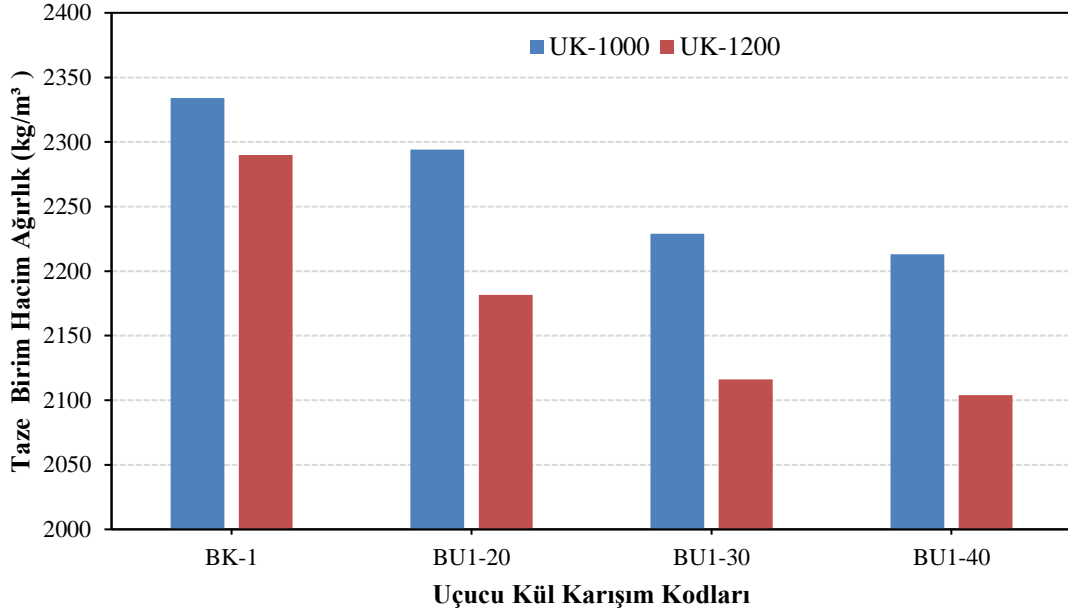
Yapılan çalışmada YFC ve UK ikame edilen karışımların taze birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla Şekil 4.3'de ve Şekil 4.4'de verilmiştir. Yapılan çalışma incelendiğinde YFC ve UK miktarı arttıkça, karışımların taze birim hacim ağırlıklarında azalma olduğu tespit edilmiştir. SIFCON bulamacında YFC ikame edilen karışımların taze birim hacim ağırlıkları  $2334 \text{ kg/m}^3$  ile  $2195 \text{ kg/m}^3$  arasında değiştiği görülmektedir. SIFCON bulamacında UK ikame edilen karışımların taze birim hacim ağırlıklarının da  $2334 \text{ kg/m}^3$  ile  $2104 \text{ kg/m}^3$  arasında değiştiği görülmektedir. En yüksek taze birim hacim ağırlık değeri kontrol numunelerinde görülmüştür. Öğütülmüş yüksek fırın

cürufu içeren numunelerin taze birim hacim ağırlıkları, kontrol numunelerin taze birim hacim ağırlığından daha düşüktür. Bu durum öğütülmüş yüksek fırın cürufunun özgül ağırlığının, çimentoya göre daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Bu durum uçucu kül kullanılan karışımlarda da aynıdır. Yapılan deneylerde öğütülmüş yüksek fırın cürufu içeren karışımların taze birim hacim ağırlıklarının, uçucu kül kullanılan karışımlara göre daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durumun sebebi öğütülmüş yüksek fırın cürufunun özgül ağırlığının, uçucu küle göre daha yüksek olmasından dolayıdır.



**Şekil 4.3.** YFC ikameli bulamaçlara ait taze birim ağırlık değerleri

Hazırlanan SIFCON bulamaç karışımlarında bağlayıcı miktarı  $1000 \text{ kg/m}^3$  olan karışımların,  $1200 \text{ kg/m}^3$  olan karışımlara göre taze birim hacim ağırlıklarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumun oluşmasının nedeni bağlayıcı miktarının artmasıyla birlikte, karışıma daha fazla miktarda özgül ağırlığı düşük olan öğütülmüş yüksek fırın cürufu veya uçucu külün girmesidir.



Şekil 4.4. UK ikameli bulamaçlara ait taze birim ağırlık değerleri

#### 4.1.3 Ultrases geçiş hızı deneyi

Bir malzemenin ultrases geçiş hızı o malzemenin boşluk yapısına, dolayısıyla yoğunluğuna ve elastik özelliklerine bağlıdır (Akçaözoğlu vd., 2013). Betonun kompasitesi ve yoğunluğu azaldıkça ultrases geçiş hızı değeri de azalmaktadır (Whitehurst, 1951).

Yapılan çalışma kapsamında üretilen SIFCON bulamaçlarında bağlayıcı olarak sabit %10 silis dumanı kullanılmıştır. SIFCON bulamaçlarında çimento yerine YFC ve UK ikame edilen karışımlardaki numunelerin standart kür ile kür edildikten sonra bulamaçlara ait ultrases geçiş hızı değerleri Çizelge 4.1’de ve Çizelge 4.2’de verilmiştir. Çizelge 4.1’de YFC kullanılan karışımların ultrases geçiş hızı değerleri 7. gün için 4611 m/sn ile 4303 m/sn arasında değiştiği, 28. gün için 7059 m/sn ile 4851 m/sn olduğu görülmüştür. YFC kullanılan karışımların ultrases geçiş hızı değerlerinin 28. günde daha yüksek olduğu görülmüştür. Çizelge 4.2’de UK kullanılan karışımların ultrases geçiş hızı değerleri 7. gün için 6383 m/sn ile 4212 m/sn olarak, 28. gün için 7059 m/sn ile 2921 m/sn tespit edilmiştir. UK ve YFC kullanılan karışımların ultrases geçiş hızı değerleri 28. günde daha yüksek olmasının nedeni dayanım değerlerinin zamanla yükselmesidir.

**Çizelge 4.1.** YFC ikameli bulamaçların ultrases geçiş hızı değerleri

Karışım Kodu	UGH (m/sn)	
	7.Gün	28.Gün
BK1	4499	5704
BY1-20	4580	4851
BY1-30	4611	6401
BY1-40	4572	6559
BK1.2	4498	7059
BY1.2-20	4335	6714
BY1.2-30	4303	6705
BY1.2-40	4313	6753

**Çizelge 4.2.** UK ikameli bulamaçların ultrases geçiş hızı değerleri

Karışım Kodu	UGH (m/sn)	
	7.Gün	28.Gün
BK1	4499	5704
BU1-20	5229	2738
BU1-30	5098	2921
BU1-40	4212	3460
BK1.2	4498	7059
BU1.2-20	6383	3417
BU1.2-30	5597	3240
BU1.2-40	5496	3458

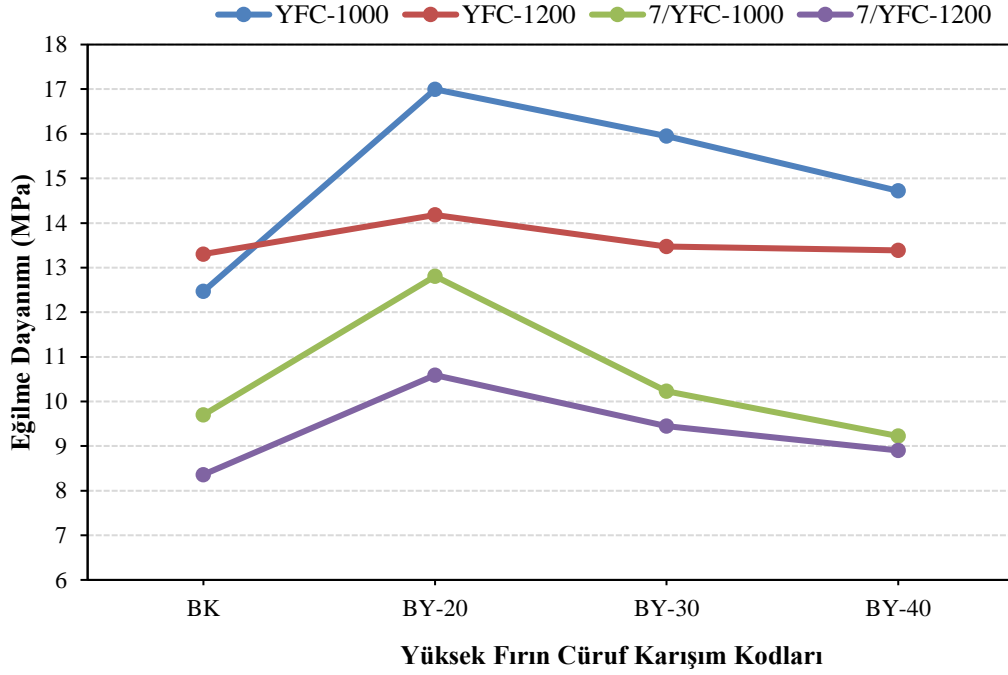
SIFCON bulamacı olarak hazırlanan karışımlarda ultrases geçiş hızı ile basınç dayanımı arasında anlamlı bir ilişki kurulamamıştır. Bunun sebebinin akıcı kıvamda hazırlanan numunelerin boşluk yapılarının birbirlerine benzer özellikte olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

#### 4.1.4 Eğilme dayanımı

Hazırlanan SIFCON bulamaçlarında çimento yerine farklı miktarlarda YFC ve UK ikame edilen karışımların numunelerine ait eğilme dayanım değerleri sırasıyla Çizelge 4.3'de ve Çizelge 4.4'de verilmiştir. Şekil 4.5'de ve Şekil 4.6'da ise sırasıyla eğilme dayanımı grafikleri verilmiştir. SIFCON bulamaçlarında çimento yerine kullanılan YFC'nin eğilme dayanımını artırdığı görülmüştür. Yapılan deneylerde YFC numuneleri, kontrol numunelerinden daha yüksek eğilme dayanımına ulaşmış, dayanım değerinin %20 ikame oranında en yüksek olduğu %30'da ve %40'da ise dayanım değerinin azaldığı fakat kontrol numunelerinden yüksek olduğu görülmüştür. YFC kullanılan karışımlardaki eğilme dayanımı zamanla artış göstermiştir. Karışımlarda incelik değeri yüksek olan öğütülmüş yüksek fırın cürufu ile üretilen bulamaçların eğilme dayanımları, kontrol bulamaçlarına göre daha yüksek olmakta ve bu durum özgül yüzeyin dayanıma etkisinden dolayı olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmada kullanılan öğütülmüş yüksek fırın cürufunun özgül yüzeyinin yüksek olması dayanım artışına katkı sağlamıştır.

**Çizelge 4.3.** YFC ikameli bulamaçların eğilme dayanımları

Karışım Kodu	Eğilme dayanımı (MPa)	
	7.Gün	28.Gün
BK1	10.25	12.47
BY1-20	12.81	17.00
BY1-30	10.23	15.95
BY1-40	8.76	14.72
BK1.2	10.30	13.30
BY1.2-20	9.61	14.18
BY1.2-30	9.72	13.47
BY1.2-40	8.96	13.39

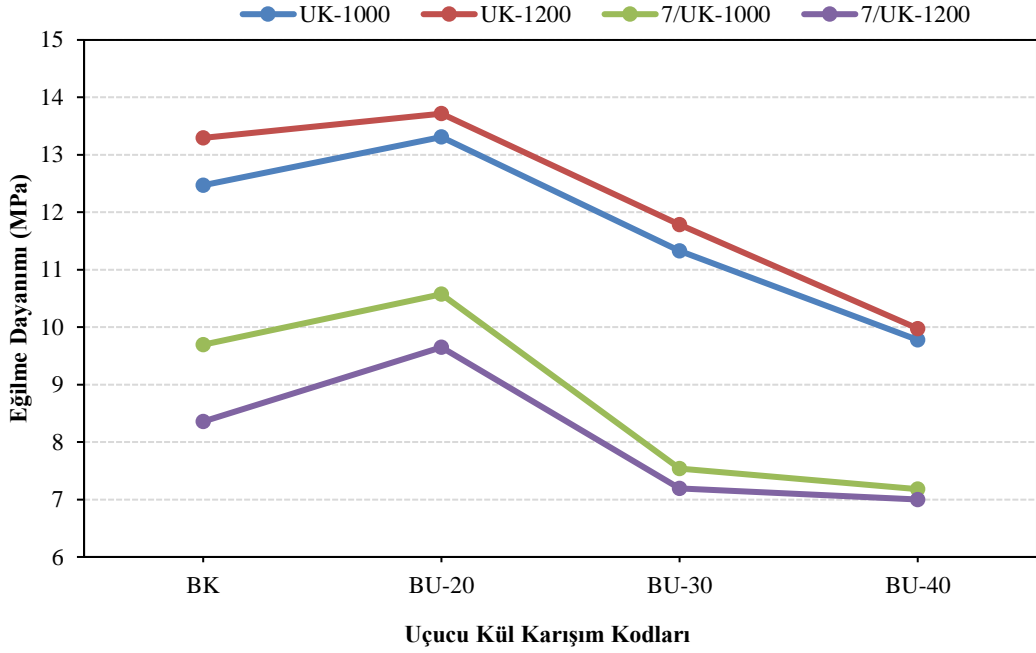


**Şekil 4.5.** YFC ikameli bulamaçların eğilme dayanımları (MPa)

SIFCON bulamaçlarında UK'nin çimentoyla yer değiştirilmesi oranına bağlı olarak eğilme dayanım değerleri farklılık göstermektedir. Şekil 4.6'da UK kullanılan karışımlar incelendiğinde sadece %20 ikame oranında eğilme dayanımında artış sağladığı görülmüştür. Bu durum uçucu külün her iki bağlayıcı oranı için de en yüksek değeri aldığı ikame oranı olarak tespit edilmektedir. SIFCON bulamaç numunelerine uygulanan standart kür yönteminde, kür süresine bağlı olarak zamanla dayanım artışı sağlanmıştır. Bu durum YFC ve UK kullanılan karışımlar için Çizelge 4.3'de ve Çizelge 4.4'de görülmektedir.

**Çizelge 4.4.** UK ikameli bulamaçların eğilme dayanımları (MPa)

Karışım Kodu	Eğilme dayanımı (MPa)	
	7.Gün	28.Gün
BK1	9.69	12.47
BU1-20	10.57	13.31
BU1-30	7.54	11.33
BU1-40	7.18	9.78
BK1.2	8.36	13.30
BU1.2-20	9.65	13.72
BU1.2-30	7.19	11.79
BU1.2-40	7.0	9.98



**Şekil 4.6.** UK ikameli bulamaçların eğilme dayanımları (MPa)

SIFCON bulamaçlarının YFC ve UK ikame edilen karışımlarında eğilme dayanımı en yüksek değerine %20 oranında puzolan kullanıldığında ulaştığı görülmüştür. UK kullanılan karışımlar içerisinde en yüksek dayanımı kontrol numunelerinden %3 daha yüksek eğilme dayanımı gösteren BU1.2-20 kodlu numunede tespit edilmiştir. Bu durum YFC kullanılan karışımlar içerisinde en yüksek dayanımı kontrol numunelerinden %36 daha yüksek eğilme dayanımı gösteren BY1-20 kodlu numunede tespit edilmiştir. Daha sonraki aşamada SIFCON üretiminde kullanılacak karışım için yapılan bulamaç çalışmasındaki deney sonuçları incelenmiştir. Bunun sonucunda SIFCON numuneleri üretimi için en yüksek eğilme dayanımı gösteren BY1-20 kodlu karışımın kullanılmasına karar verilmiştir.

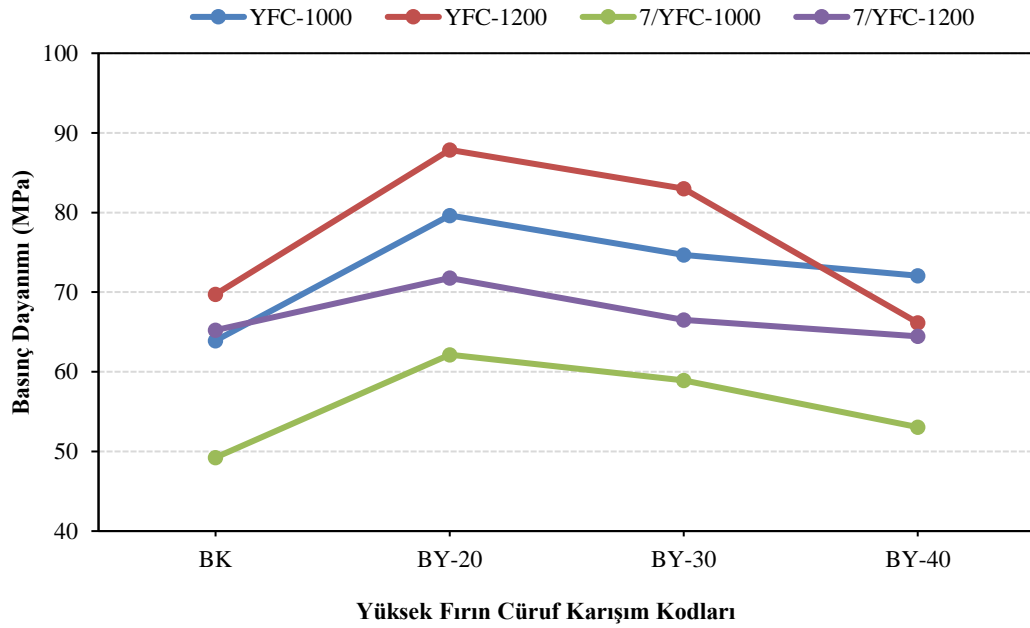
#### 4.1.5 Basınç dayanımı

Yapılan çalışmalarda hazırlanan kontrol numuneleri haricindeki tüm SIFCON bulamaçlarında çimentonun %10'u oranında silis dumanı sabit olarak kullanılmıştır. Silis dumanı ile birlikte çimento yerine farklı miktarlarda YFC ve UK eklenen karışımlara ait 7 günlük ve 28 günlük numunelerin basınç dayanımı değerleri sırasıyla Çizelge 4.5'de ve Çizelge 4.6'da verilmiştir. Şekil 4.7'de ve, Şekil 4.8'de ise sırasıyla basınç dayanımı grafikleri verilmiştir. Şekil 4.7 incelendiğinde öğütülmüş yüksek fırın cürufu kullanılan karışımların basınç dayanımlarının arttığı görülmektedir. Çizelge

4.5’de görüldüğü üzere çimento yerine kullanılan YFC’nin SIFCON bulamacının basınç dayanımına etkisi kür süresine bağlı olarak artış göstermektedir. Basınç dayanımı değerlerinin %20 YFC’nin kullanıldığı durumda en yüksek değere ulaştığı görülmüştür.

**Çizelge 4.5.** YFC ikameli bulamaçların basınç dayanımları

Karışım Kodu	Basınç dayanımı (MPa)	
	7.Gün	28.Gün
BK1	49.24	63.92
BY1-20	62.15	79.63
BY1-30	58.92	74.68
BY1-40	53.06	72.08
BK1.2	65.22	72.08
BY1.2-20	71.78	87.87
BY1.2-30	66.53	83.00
BY1.2-40	64.45	66.16



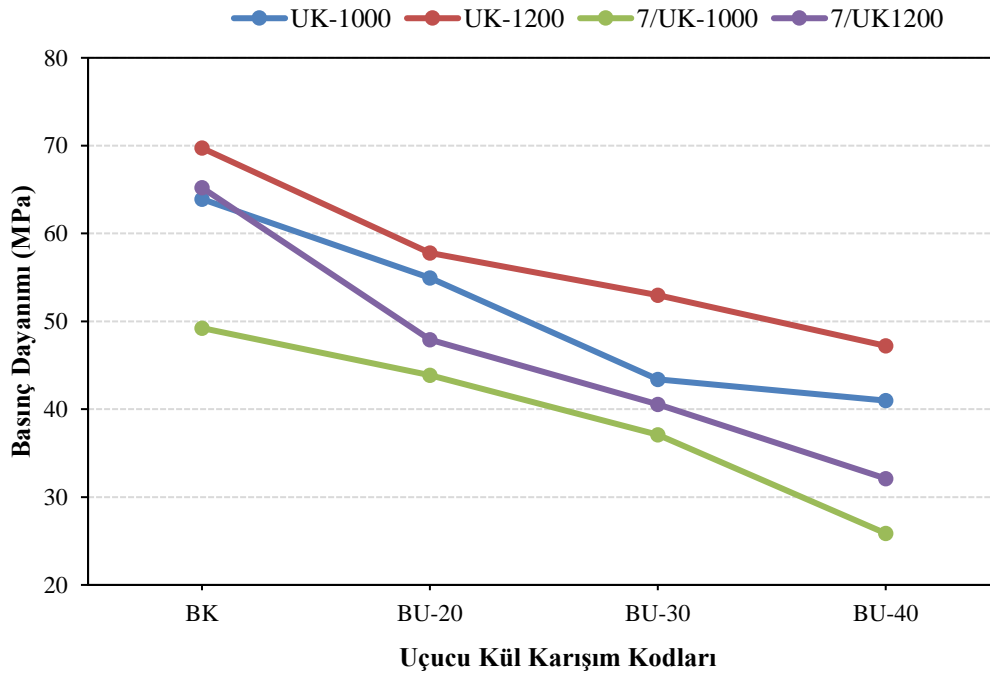
**Şekil 4.7.** YFC ikameli bulamaçların basınç dayanımları (MPa)

Yapılan çalışmada UK’nin çimento yerine kullanılması durumunda basınç değerlerinde azalma olduğu tespit edilmiştir. SIFCON bulamaçlarında kullanılan uçucu kül ikame oranı arttıkça dayanım değerinde de azalma görülmüştür. Bu durum UK ikame edilen karışımların kontrol numunesine göre BU1-20, BU1-30, BU1-40 kodlu numunelerin dayanım değerlerinin sırasıyla %14, %32, %36 daha düşük basınç dayanımı gösterdiği

tespit edilmiştir. UK ikameli diğer bağlayıcı oranına sahip karışımda da kontrol numunesine göre BU1.2-20, BU1.2-30, BU1.2-40 kodlu numunelerin dayanım değerlerinin sırasıyla %17, %24, %32 daha düşük basınç dayanımı göstermiştir.

**Çizelge 4.6.** UK ikameli bulamaçların basınç dayanımları

Karışım Kodu	Basınç dayanımı (MPa)	
	7.Gün	28.Gün
BK1	49.24	63.92
BU1-20	43.89	54.95
BU1-30	37.09	43.39
BU1-40	25.87	40.98
BK1.2	65.22	69.73
BU1.2-20	47.93	57.78
BU1.2-30	40.55	52.98
BU1.2-40	32.12	47.22



**Şekil 4.8.** UK ikameli bulamaçların basınç dayanımları (MPa)

SIFCON bulamaçlarında UK kullanılan karışımların basınç dayanımlarında kontrol numunelerinden düşük dayanım göstermiştir. YFC ikame edilen karışımların kontrol numunelere göre daha yüksek basınç dayanımı gösterdiği ve en yüksek değerine %20 oranında ulaştığı görülmüştür. YFC kullanılan karışımlar içerisinde en yüksek

dayanımları BY1-20 ve BY1.2-20 kodlu numuneler, kontrol numunelerinden sırasıyla %24 ve %26 daha yüksek basınç dayanımı gösterdiği tespit edilmiştir. SIFCON numunelerini oluşturmak için en yüksek eğilme ve basınç dayanımını gösteren, en az oranda süper akışkanlaştırıcı kullanılan BY1-20 kodlu karışım seçilmiştir.

## 4.2 SIFCON Deneyleri

### 4.2.1 Sertleşmiş birim ağırlık

Bu çalışmada basınç dayanımında kullanılmak için hazırlanan 71 mm'lik küp numunelere uygulanan farklı kür yöntemlerinden sonra sertleşmiş birim ağırlıkları bulunmuştur. SIFCON numunelerinin sertleşmiş birim ağırlık değerleri Çizelge 4.7'de verilmiştir. Çizelge 4.7 incelendiğinde sertleşmiş birim ağırlıklarının 2311 kg/m<sup>3</sup> ile 2633 kg/m<sup>3</sup> arasında değiştiği görülmüştür.

**Çizelge 4.7.** SIFCON'un sertleşmiş birim ağırlık değerleri (kg/m<sup>3</sup>)

	Çelik Lif Oranı					
	%4			%8		
	Kür Yöntemi			Kür Yöntemi		
	Standart Kür	Kuru Kür	Hızlı Kür	Standart Kür	Kuru Kür	Hızlı Kür
l/d=55	SS55-4 2381	SK55-4 2311	SH55-4 2472	SS55-8 2570	SK55-8 2512	SH55-8 2624
l/d=40	SS75-4 2370	SK75-4 2344	SH75-4 2430	SS75-8 2633	SK75-8 2603	SH75-8 2600

Çizelge 4.7 incelendiğinde iki lif tipi içinde, çelik lif oranı %4 kullanıldığında bulunan sertleşmiş birim ağırlıklarının, %8 kullanıldığında bulunan ağırlık değerlerinden daha düşük olduğu görülmüştür. Bu durum SIFCON karışımlarında lif oranı arttıkça kullanılan lif miktarının artmasından kaynaklanmaktadır. Bu deneyde kullanılan lif türü, iki grubunda çelik olduğu için sertleşmiş birim ağırlıkları birbirine yakın değerler bulunmuştur. Literatür çalışmalarında farklı yoğunlukta lif kullanımının sertleşmiş birim ağırlıkları değiştirdiği görülmüştür (Canbay, 2014). SIFCON numunelere

uygulanan farklı kür yöntemlerinin sertleşmiş birim ağırlık değerlerine belirgin bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

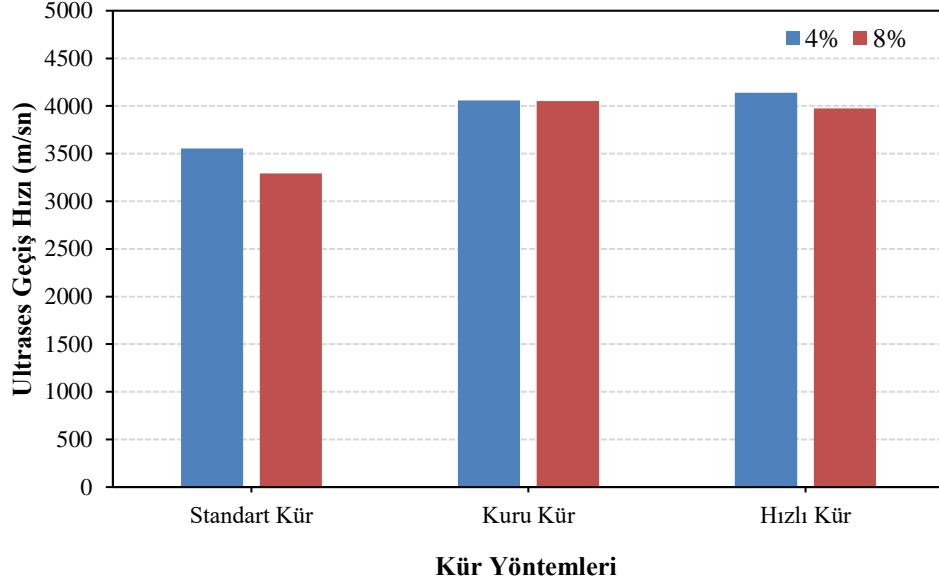
#### 4.2.2 Ultrases geçiş hızı deneyi

Yürütülen çalışmada basınç dayanımında kullanılmak için hazırlanan 71 mm'lik küp numuneler üzerinde ultrases geçiş hızı deneyi yürütülmüştür. Bu deney yöntemi betonun dayanımı hakkında fikir veren uygulaması kolay bir deneydir. Bu çalışma kapsamında ölçülen ultrases geçiş hızı değerleri Çizelge 4.8'de verilmiştir.

**Çizelge 4.8.** SIFCON'un ultrases geçiş hızı değerleri (m/sn)

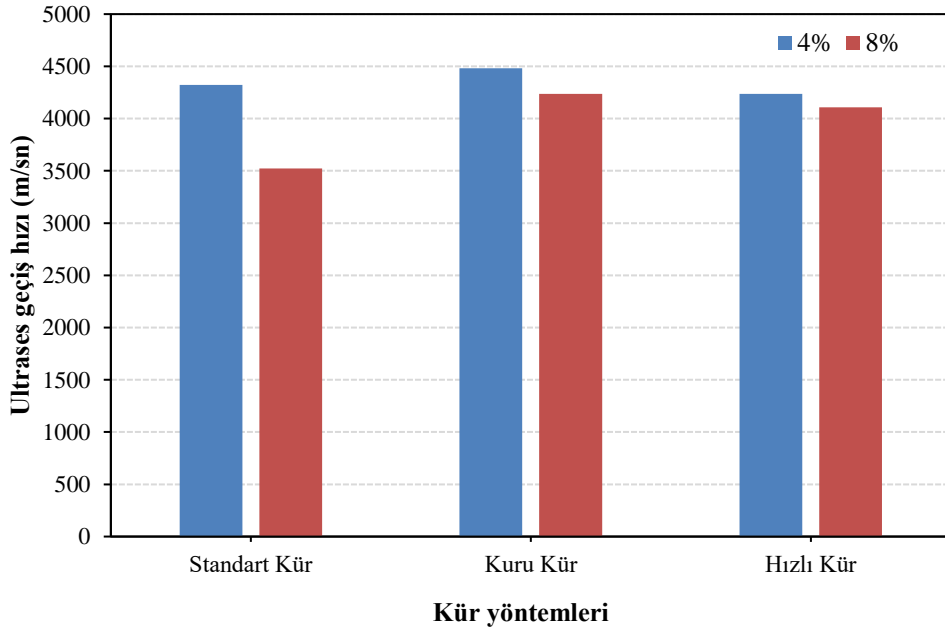
	Çelik Lif Oranı					
	%4			%8		
	Kür Yöntemi			Kür Yöntemi		
	Standart Kür	Kuru Kür	Hızlı Kür	Standart Kür	Kuru Kür	Hızlı Kür
l/d=55	SS55-4	SK55-4	SH55-4	SS55-8	SK55-8	SH55-8
	3918	4012	4093	3923	4093	4080
l/d=40	SS75-4	SK75-4	SH75-4	SS75-8	SK75-8	SH75-8
	4134	4482	4152	4267	4235	4147

Çizelge 4.8 incelendiğinde numunelerin ultrases geçiş hızlarının 3918 m/sn ile 4482 m/sn arasında değiştiği görülmektedir. Lif tipi, kür yöntemi ve lif oranının ultrases geçiş hızına belirgin bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Bununun sebebinin SIFCON karışımlarının boşluksuz yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çelik lifin sahip olduğu yüksek yoğunluk sebebiyle, lif miktarının artmasıyla ultrases geçiş hızının artması beklenmektedir. Ancak, Çizelge 4.8 incelendiğinde bu durumun belirgin bir şekilde görülmediği anlaşılmaktadır. Ayrıca, SIFCON'un hazırlanmasında kullanılan BY1-20 kodlu bulamacın Çizelge 4.1'de verilmiş olan ultrases geçiş hızı değerinin 4851 m/sn olduğu görülmektedir. Aynı bulamaç kullanılarak hazırlanmış olan SIFCON'un ultrases geçiş hızı değerinin ise 3918 m/sn ile 4482 m/sn aralığında olduğu görülmektedir. Bu durumda lif kullanımı ile birlikte ultrases geçiş hızı değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Bunların sebebinin, yüksek lif oranıyla birlikte lif-matris ara yüzeyindeki boşlukların artmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



**Şekil 4.9.** Çelik lif 55/30'un ultrases geçiş hızı değerleri (m/sn)

SIFCON karışımlarında kullanılan çelik liflerin, narinlik oranı 55 ve narinlik oranı 40 olan numunelerinin farklı kür sonrası ultrases geçiş hızları sırasıyla Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da verilmiştir. Uygulanan farklı kür yöntemlerinin ultrases geçiş hızlarına belirgin bir etkisinin olmadığı düşünülmektedir.



**Şekil 4.10.** Çelik lif 75/30'un ultrases geçiş hızı değerleri (m/sn)

#### 4.2.3 Eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu

SIFCON numunelerinden eğilme dayanımı deneyi için üretilen 30 x 60 x 300 mm

boyutlarındaki kiriş numunelerin 3 farklı kür yöntemi, 2 farklı lif tipi, 2 farklı lif oranı için bulunan eğilme dayanımı değerleri Çizelge 4.9’da verilmiştir. SIFCON eğilme dayanım değerinin 19.69 MPa ile 38.28 MPa arasında değiştiği bu değişikliğin uygulanan kür yönteminin etkisi ile olduğu düşünülmektedir. Bu deney uygulamasında özel olarak ayarlanan deney düzeneği ile eğilme dayanımlarına karşılık gelen deformasyon ölçümleri de yapılmıştır. Deney esnasında elde edilen veriler ile yük sehim grafiği çizilmiş ve grafik yardımıyla kırılma tokluğu değerleri de hesaplanmıştır.

**Çizelge 4.9.** SIFCON numunelerine ait eğilme dayanımları (MPa)

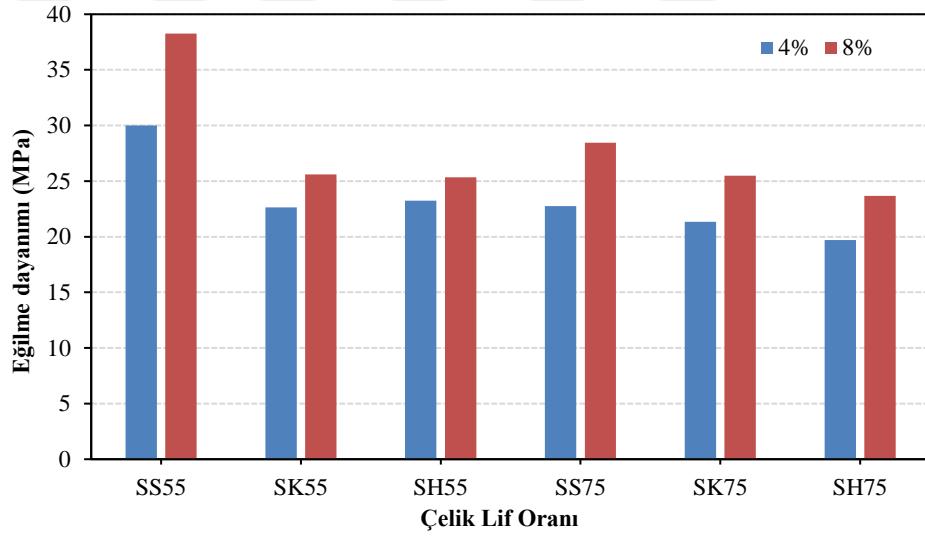
	Çelik Lif Oranı					
	%4			%8		
	Kür Yöntemi			Kür Yöntemi		
	Standart Kür	Kuru Kür	Hızlı Kür	Standart Kür	Kuru Kür	Hızlı Kür
l/d=55	SS55-4	SK55-4	SH55-4	SS55-8	SK55-8	SH55-8
	30.00	22.64	23.23	38.28	25.59	25.35
l/d=40	SS75-4	SK75-4	SH75-4	SS75-8	SK75-8	SH75-8
	22.75	21.33	19.69	28.60	25.86	23.68

Kırılma tokluğu değerleri Çizelge 4.10’da verilmiştir. Yapılan deneyde en yüksek eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu SS55-8 kodlu numuneye ait olup değerler sırasıyla 38.28 MPa ve 46.01 Nm bulunmuştur.

**Çizelge 4.10.** SIFCON numunelerine ait kırılma tokluğu değerleri (Nm)

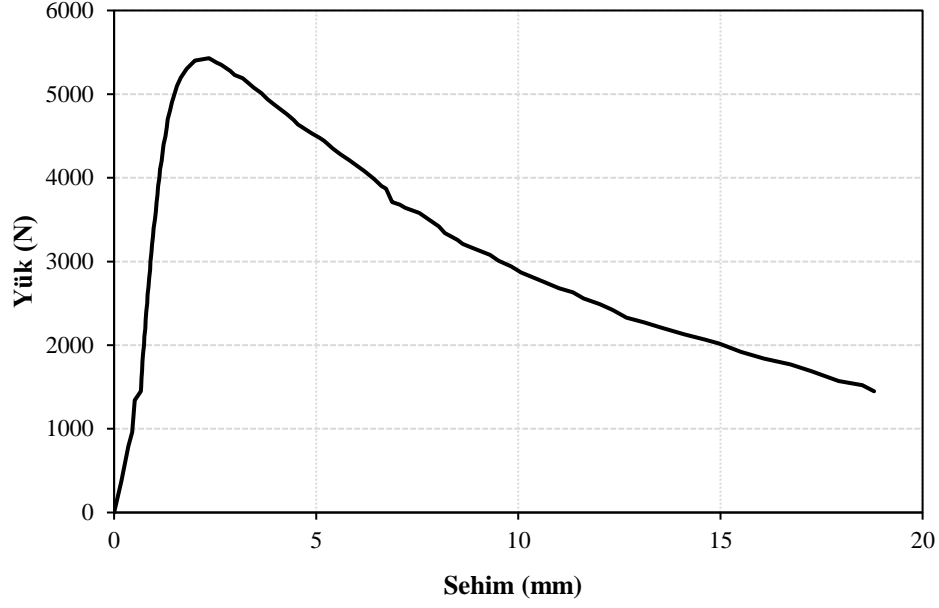
	Çelik Lif Oranı					
	%4			%8		
	Kür Yöntemi			Kür Yöntemi		
	Standart Kür	Kuru Kür	Hızlı Kür	Standart Kür	Kuru Kür	Hızlı Kür
l/d=55	SS55-4	SK55-4	SH55-4	SS55-8	SK55-8	SH55-8
	35.74	20.19	27.65	46.01	34.30	34.60
l/d=40	SS75-4	SK75-4	SH75-4	SS75-8	SK75-8	SH75-8
	15.91	16.77	14.54	32.28	24.83	28.60

SIFCON numunelerinin eğilme dayanımlarına kullanılan lif oranlarının etkisi Şekil 4.11’de görülmektedir. Şekil 4.11 incelendiğinde 2 farklı lif tipi içinde uygulanan kür yöntemlerinin hepsinde %8 lif oranına sahip numunelerde daha yüksek eğilme dayanımı elde edilmiştir. Bu çalışmada SIFCON numunelerinde kullanılan lif miktarı arttıkça eğilme dayanımı da artmaktadır. Bu durum artan lif miktarı ile numunede oluşan çekme gerilmelerinin daha fazla miktarda bulunan çelik lifler tarafından karşılandığı düşünülmektedir. Bu durum literatürle uyum içerisindedir (Şengül, 2018). Numunelerde çekme mukavemeti yüksek olan çelik liflerin, eğilme dayanımını artırdığı literatür çalışmalarında da görülmüştür (İpek vd., 2012; İpek vd., 2014). SIFCON numunelerin yüksek kırılma yüklerinde ani kırılma olmadığı görülmüştür. Kırılmanın yavaş bir şekilde olması daha fazla miktarda lif kullanılan numunelerde artan sehim miktarı ile de anlaşılmaktadır.



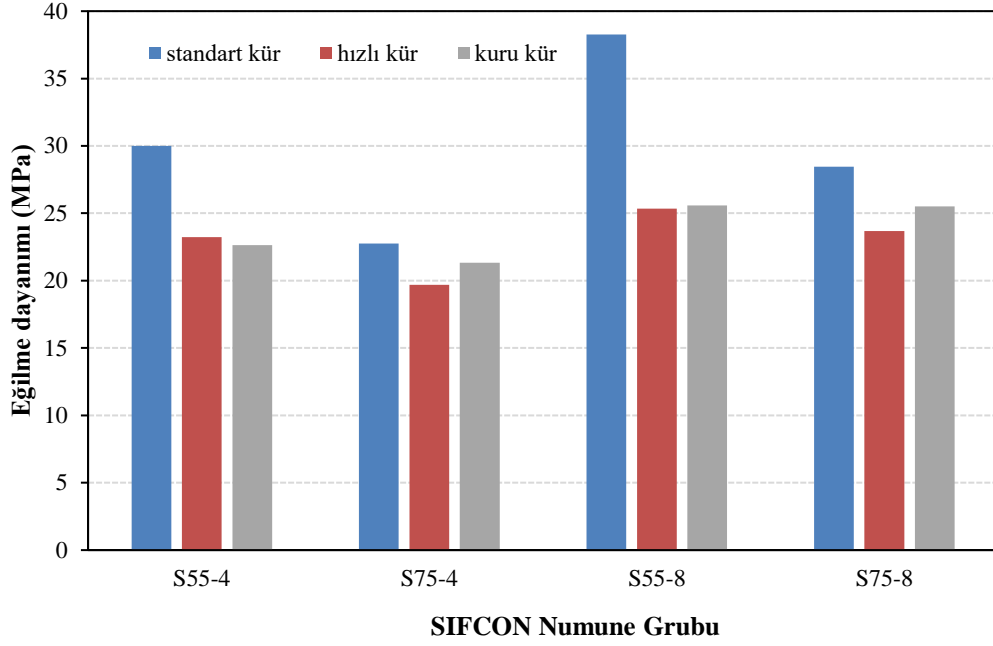
**Şekil 4.11.** Eğilme dayanımına çelik lif oranının etkisi

SIFCON numunelerine uygulanan standart kür yönteminde en yüksek eğilme dayanımları elde edilmiştir. Yapılan deneyde en yüksek eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu SS55-8 kodlu numuneye ait olup değerler sırasıyla 38.28 MPa ve 46.01 Nm bulunmuştur. SS55-8 numunesinin yük sehim grafiği Şekil 4.12’de verilmiştir. Grafik de tepe noktasından sonra deformasyon değeri artarak numunenin kırılmasının, liflerin matris yapısından ayrılmasından sonra olduğu görülmüştür. Numunelerin en yüksek eğilme yükünden sonra 10 mm sehim değerine kadar yavaş bir şekilde, 10 mm’den göçme durumuna kadar ise daha hızlı şekilde sehim yaptığı gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.12.** SS55-8 numunesinin yük sehim grafiği

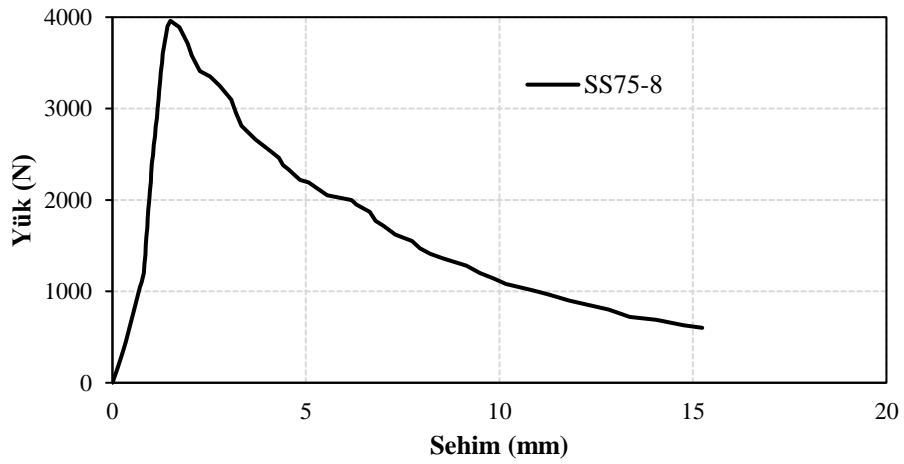
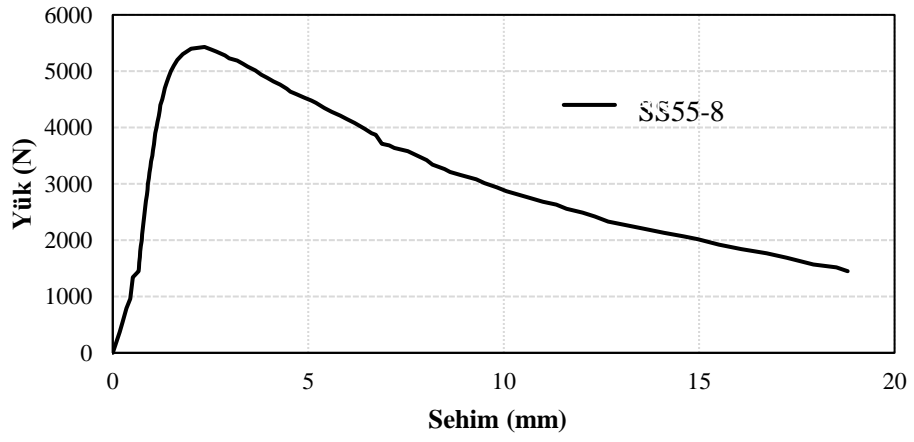
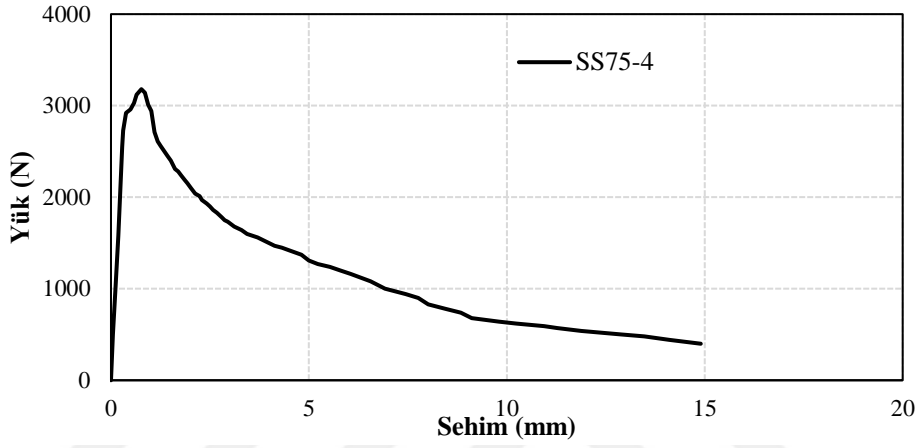
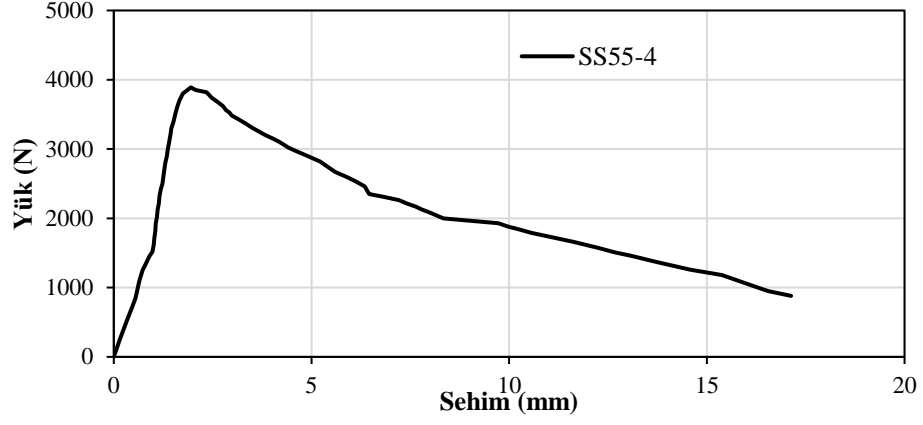
SIFCON numunelerinin eğilme dayanımlarına uygulanan kür yöntemlerinin etkisi Şekil 4.13'de verilmiştir. Bu çalışmada narinlik oranı 55 ve 40 olan çelik liflerle üretilen numunelere uygulanan kür yöntemleri sonrası en yüksek eğilme dayanımlarının standart kür yönteminde elde edildiği görülmüştür. Bu durum %4 ve %8 çelik lif kullanılan her karışımda görülmüştür. Standart, kuru ve hızlı kür yöntemlerinden sonra bulunan yük sehim grafikleri sırasıyla Şekil 4.14'de, Şekil 4.15'de ve Şekil 4.16'da sunulmuştur. Kullanılan lif miktarı arttıkça eğilme dayanımı da artmaktadır. Bulunan yük sehim grafiklerinden en yüksek eğilme dayanımı sağlayan standart kür yönteminde, sehim miktarının daha fazla olduğu görülmüştür. SIFCON numunelerinde standart kür sonrası hidratasyon tepkimelerinin büyük oranda gerçekleşmesi nedeniyle lif ile matris aderansının daha iyi olduğu düşünülmektedir.



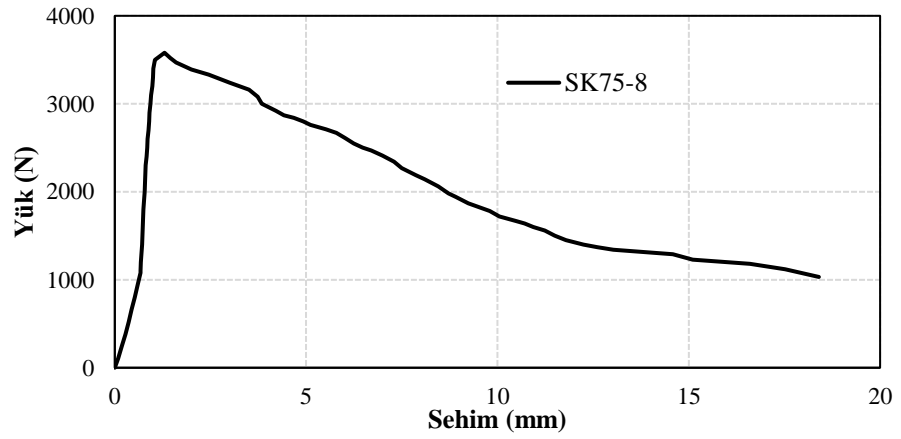
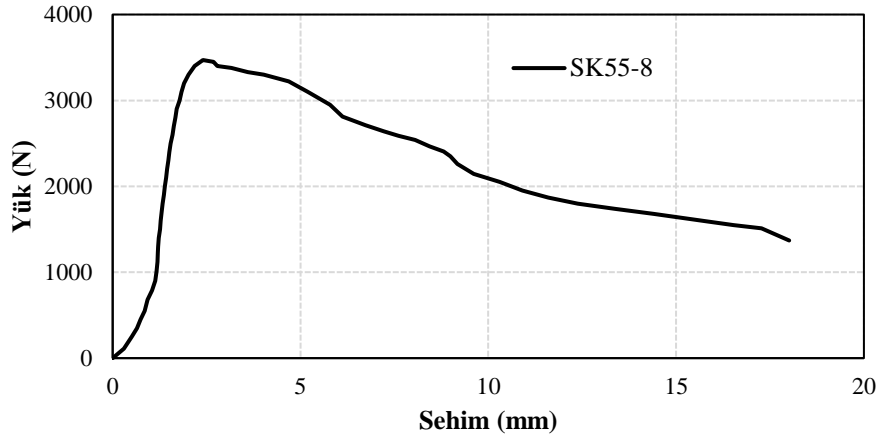
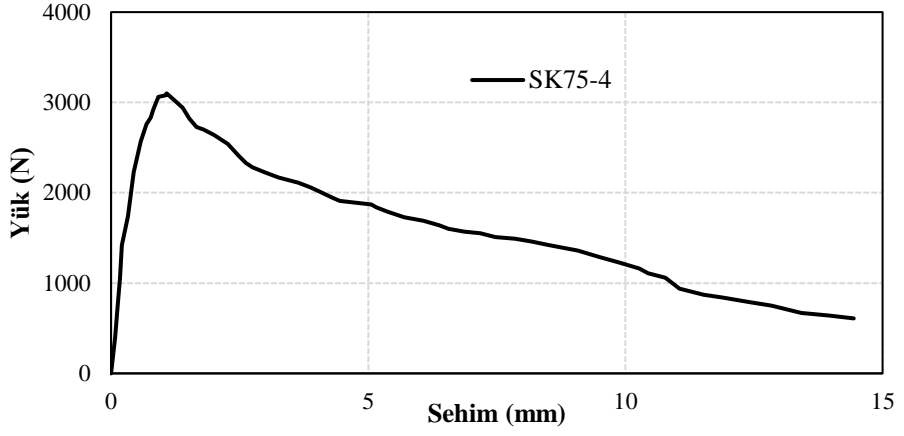
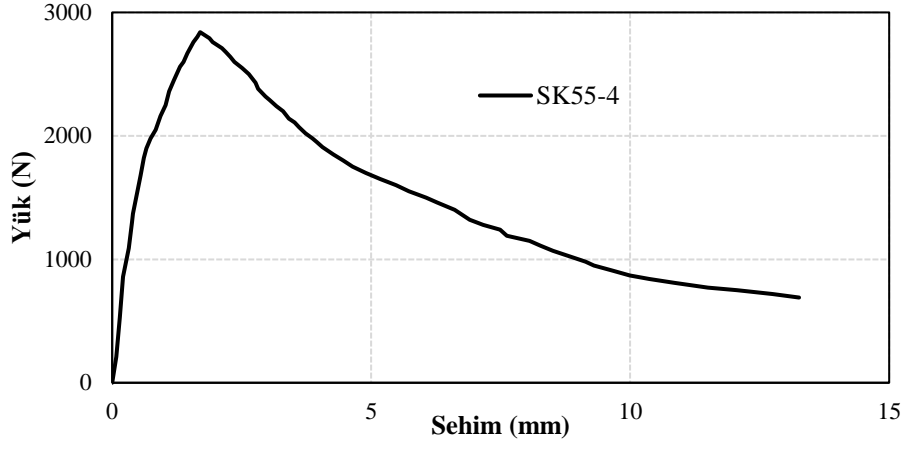
**Şekil 4.13.** Eğilme dayanımında kür yöntemlerinin etkisi

Numunelere uygulanan hızlı ve kuru kür yöntemlerinden elde edilen eğilme dayanımlarının birbirine yakın olduğu görülmüştür. Hızlı kür yönteminde numuneler kısa sürede yüksek sıcaklık etkisiyle kür edilerek sonuç alınmaktadır. Kuru kür yönteminde ise numuneler daha uzun süre sabit sıcaklık ve nemde kür edilmektedir. Bağlayıcı yapısının yüksek sıcaklık etkisiyle daha iyi bir şekilde oluştuğu düşünülmektedir. Bu nedenle hızlı kürde, kuru kürde kazanılan dayanım değeri kısa sürede elde edilmiştir.

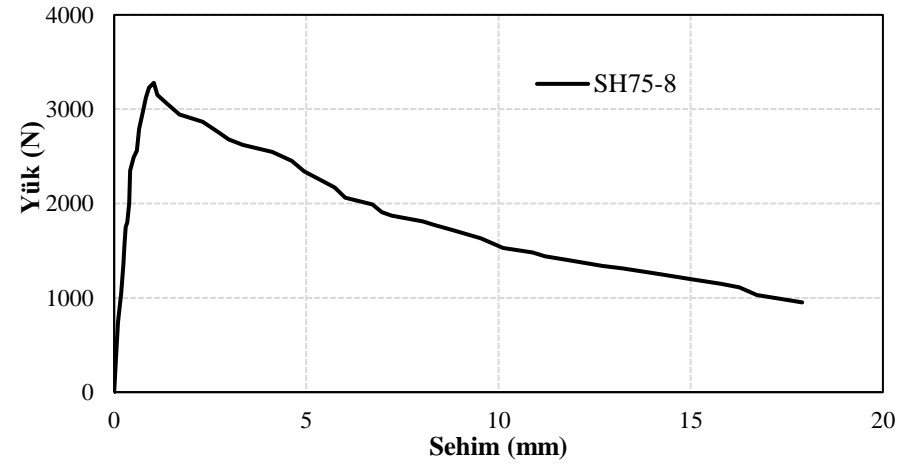
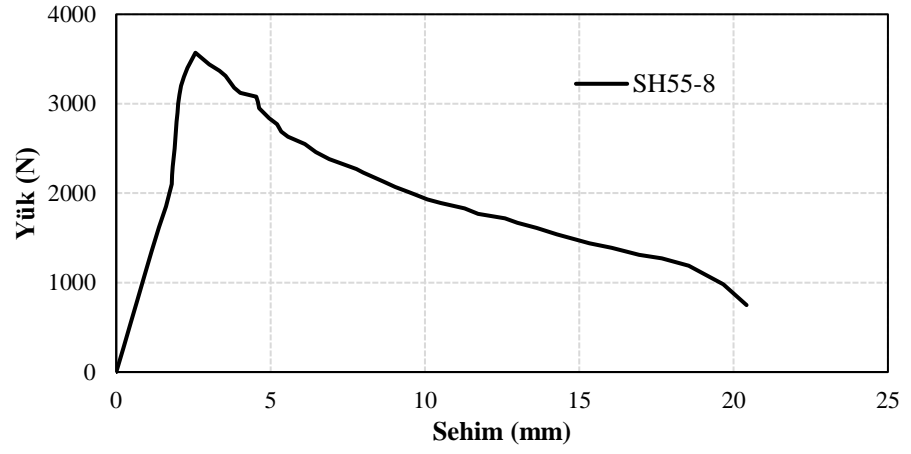
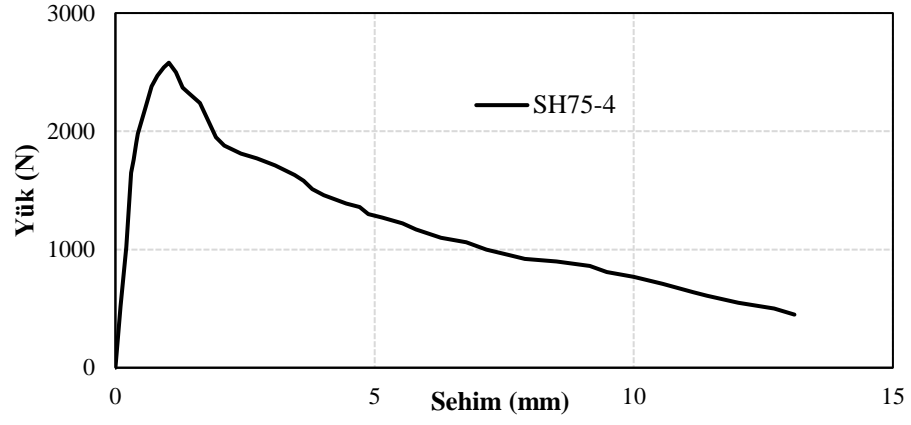
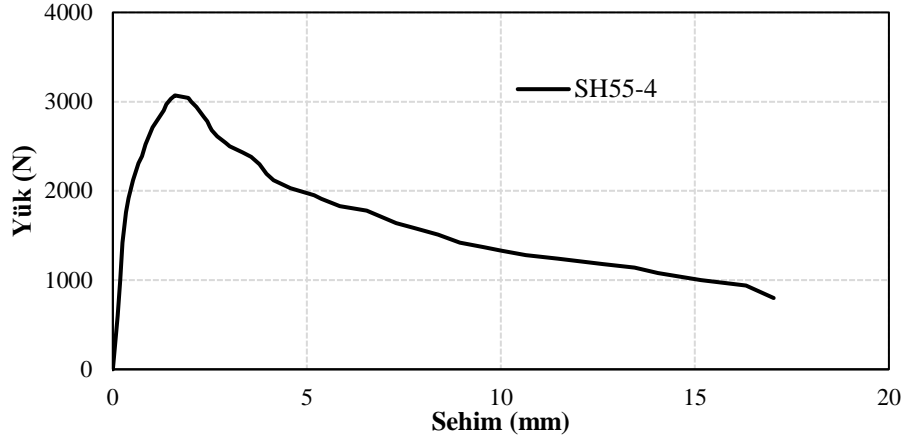
Beton yapı malzemesi için uygulanan farklı kür yöntemlerinin de dayanım değerlerini etkilediği bilinmektedir. Yapılan literatür çalışmalarında en yüksek dayanımlarının standart kür sonrası oluştuğu görülmüştür (Liu vd., 2018). Farklı kür koşullarının numunelerin mekanik özellikleri üzerinde etkilerinin olduğu görülmüştür. Bu durum da istenilen dayanım özelliğinde artış sağlayabilmek için uygulanacak kür yönteminin iyi seçilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.14. Standart kür sonrası çelik liflerin yük sehim ilişkisi

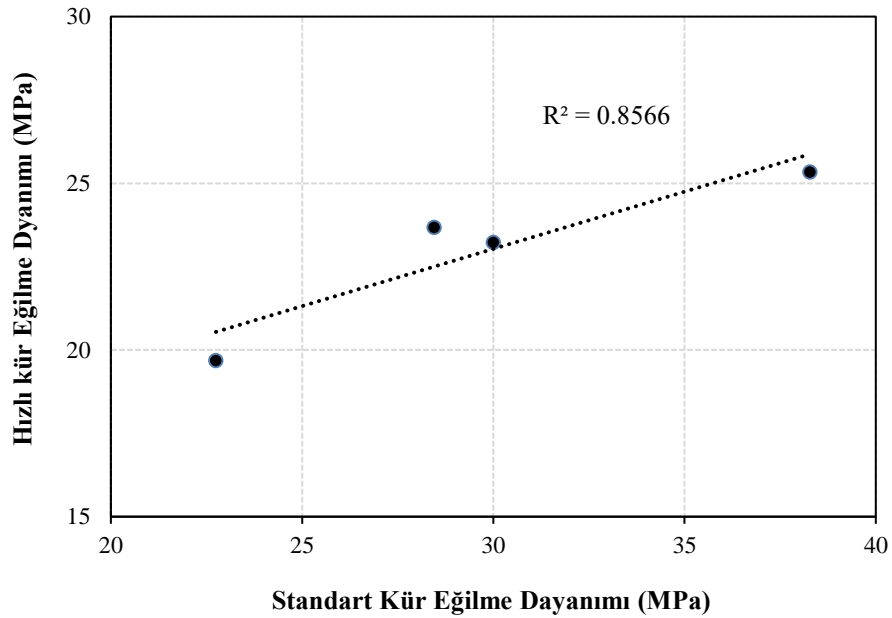


Şekil 4.15. Kuru kür sonrası çelik liflerin yük sehim ilişkisi



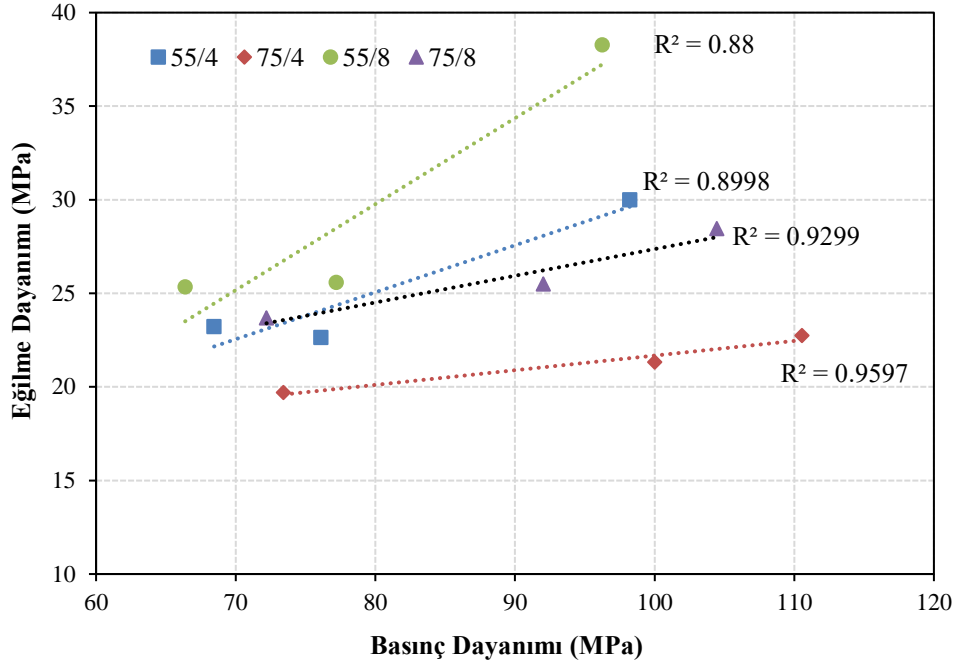
Şekil 4.16. Hızlı kür sonrası çelik liflerin yük sehim ilişkisi

SIFCON numunelerine uygulanan standart kür ile hızlı kür yöntemlerinden sonra bulunan eğilme dayanımları arasındaki bağıntı Şekil 4.17’de verilmiştir. Yapılan standart kür deneyinde numunelerin 28. gün sonunda eğilme dayanımları ölçülmüştür. Hızlı kür yönteminde ise numuneler kalıptan alındıktan sonra 3.5 saat kür edilerek eğilme dayanımları bulunmuştur. Seri üretim gerektiren özel işlerde üretim talebi ve dayanım değerleri dikkate alınarak 1. günde standart kürün SS55-4, SS55-8, SS75-4, SS75-8 kodlu numunelerde eğilme dayanımının sırasıyla %77, %66, %86, %83 değerleri elde edilmektedir. Hızlı kür yöntemi ile kısa zamanda nihai dayanımın yaklaşık yarısı %50’si elde edilmektedir.



Şekil 4.17. Eğilme dayanımında standart kür hızlı kür ilişkisi

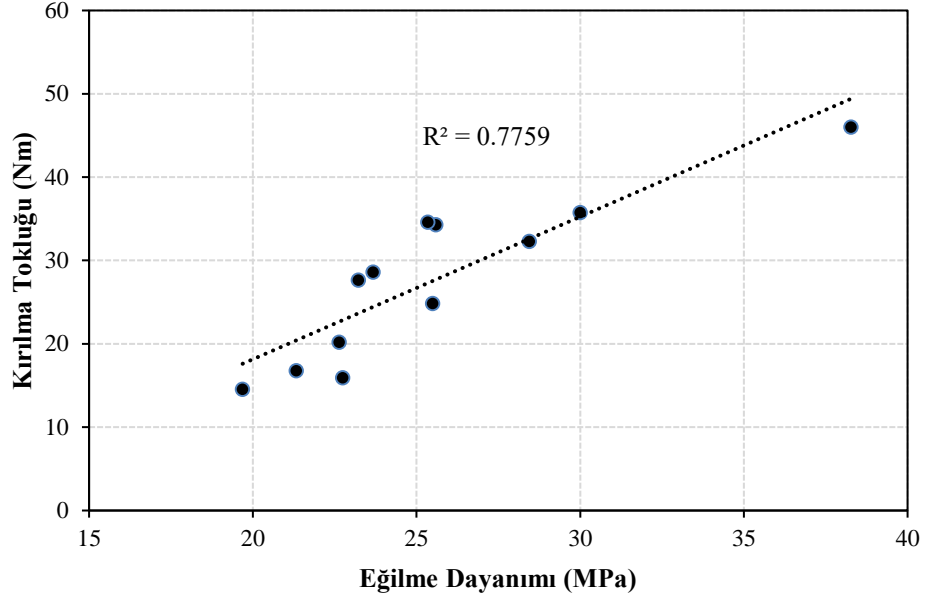
Numunelerin basınç ve eğilme dayanımları arasındaki ilişki Şekil 4.18’de verilmiştir. Şekil 4.18 incelendiğinde eğilme dayanımı ile basınç dayanımı arasında doğrusal bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada numunelerin aynı lif tipi ve oranı için standart kür yönteminde en yüksek basınç ve eğilme dayanımlarına ulaştığı görülmüştür. Değerlendirme her lif tipi için ve oranının kendi arasında farklı kür yöntemleri sonrasında bulunan değerleri ile karşılaştırılarak bulunmuştur.



**Şekil 4.18.** SIFCON numunelerinin eğilme-basınç dayanımı ilişkisi

Numunelerin eğilme dayanımları ve kırılma tokluğu arasındaki ilişki Şekil 4.19’da verilmiştir. Şekil 4.19 incelendiğinde SIFCON numunelerinin kırılma tokluğu ile eğilme dayanımı arasında doğrusal bir bağıntı olduğu görülmüştür. SIFCON numunelerinde eğilme dayanımının yüksek olduğu buna bağlı olarak kırılma tokluğunun arttığı tespit edilmiştir. SIFCON’da yük sehimi grafiği çizilen numunelerde eğilme dayanımı ile enerji yutma kabiliyeti olan kırılma tokluğunun bağıntılı olduğu tespit edilmiştir. SIFCON’da eğilme dayanımı ile kırılma tokluğu arasında bir bağıntı oluşmasında lif oranının yüksek olmasından artan lif oranı ile dayanım ve kırılma tokluğunun arttığı görülmektedir. SIFCON’da eğilme dayanımında uygulanan kür yönteminin etkisiyle artan eğilme dayanımı ile kırılma tokluğunun artmasıyla oluşan doğrusal bağıntıyı desteklemektedir.

SIFCON numunelerinin kırılma tokluğu ile basınç dayanımı arasında bir bağıntı olmadığı görülmüştür. SIFCON’da basınç dayanımı ile kırılma tokluğu arasında bir bağıntı oluşmamasında lif oranı ve kür yöntemlerinin farklı olmasının etkili olduğu düşünülmektedir. SIFCON numunelerinin eğilme özelliği ile ilişkili olan kırılma tokluğunun basınç dayanımı ile bağıntısının olmadığı anlaşılmıştır.



Şekil 4.19. SIFCON’da kırılma tokluğu-eğilme dayanımı ilişkisi

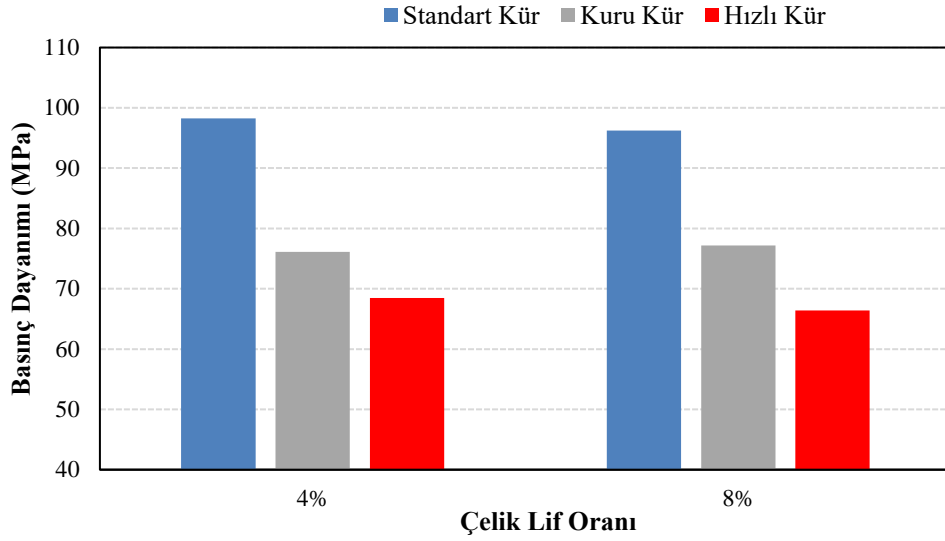
#### 4.2.4 Basınç dayanımı

Yürütülen çalışmada basınç dayanımı deneyi için üretilen 71 mm’lik küp numunelerde 3 farklı kür yöntemi, 2 farklı lif tipi, 2 farklı lif oranı için bulunan basınç dayanımı değerleri Çizelge 4.11’de verilmiştir. SIFCON numunelerin basınç dayanımı değerlerinin 66.38 MPa ile 110.55 MPa aralığında değiştiği görülmüştür.

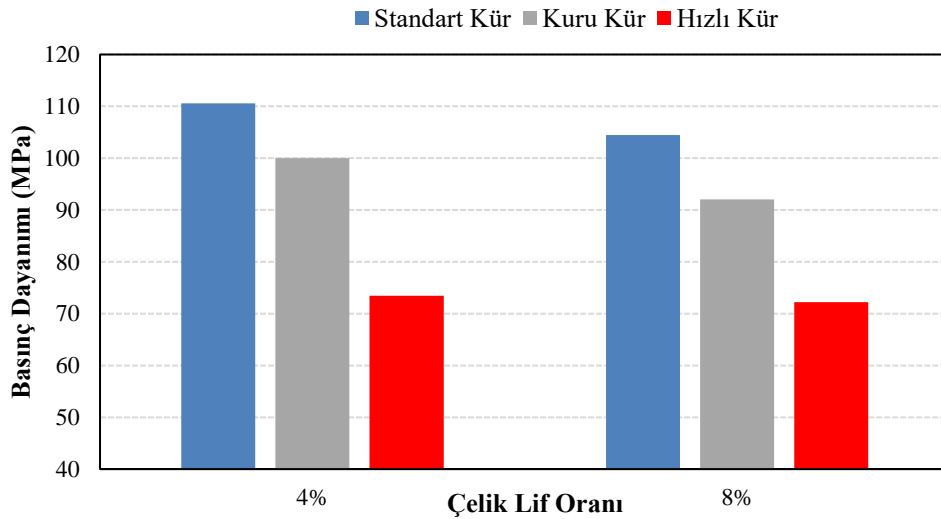
Çizelge 4.11. SIFCON numunelerine ait basınç dayanımları (MPa)

	Çelik Lif Oranı					
	%4			%8		
	Kür Yöntemi			Kür Yöntemi		
	Standart Kür	Kuru Kür	Hızlı Kür	Standart Kür	Kuru Kür	Hızlı Kür
l/d=55	SS55-4	SK55-4	SH55-4	SS55-4	SK55-4	SH55-4
	98.23	76.10	68.46	96.25	77.20	66.38
l/d=40	SS75-4	SK75-4	SH75-4	SS75-8	SK75-8	SH75-8
	110.55	100.00	73.43	104.46	92.04	72.20

Yürütülen çalışmada 3 farklı kür yönteminin basınç dayanımı değerlerine etkisi kullanılan narinlik oranı 55 ve 40 olan çelik lifler için sırasıyla Şekil 4.20’de ve Şekil 4.21’de verilmiştir. İki lif tipi içinde uygulanan kür yöntemleri basınç dayanımına benzer etki göstermiştir. Standart kür yönteminde basınç dayanım değerleri 96.25 MPa ile 110.55 MPa aralığında, hızlı kür yönteminde 72.20 MPa ile 100.00 MPa arasında, kuru kür yönteminde ise en düşük değerler 66.38 MPa ile 76.70 MPa arasında bulunmuştur. Numunelerde basınç dayanımının en yüksek olduğu standart kür, daha sonra kuru kür, en düşük değerlerin ise hızlı kür uygulamasında olduğu tespit edilmiştir.

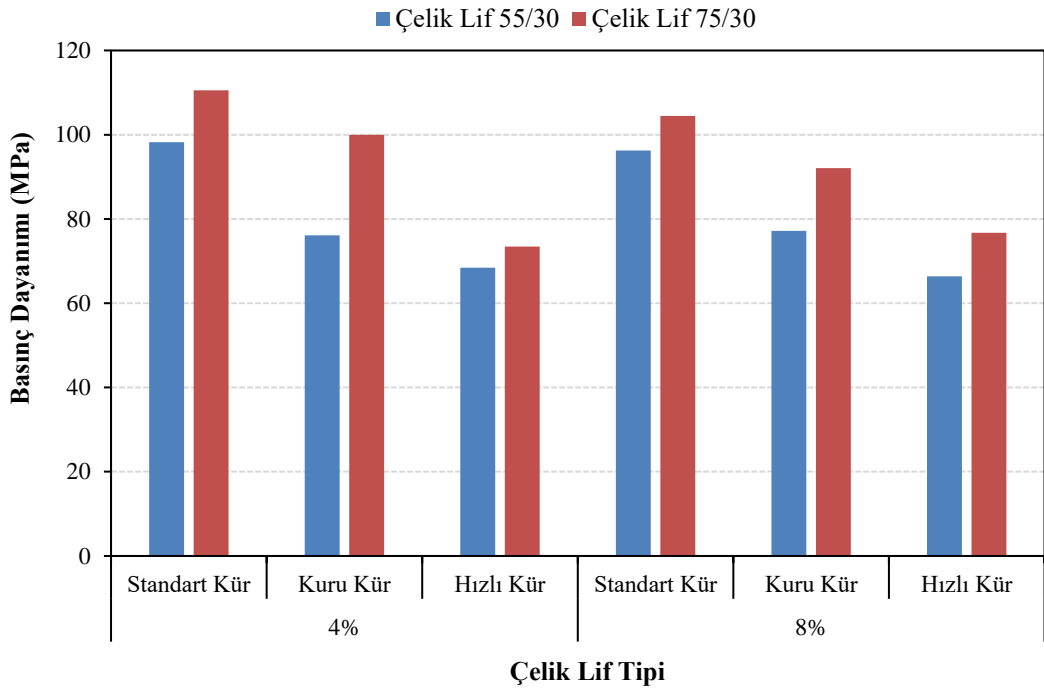


Şekil 4.20. Çelik lif 55/30 numunelerinin kür yöntemi basınç dayanımı ilişkisi



Şekil 4.21. Çelik lif 75/30 numunelerinin kür yöntemi basınç dayanımı ilişkisi

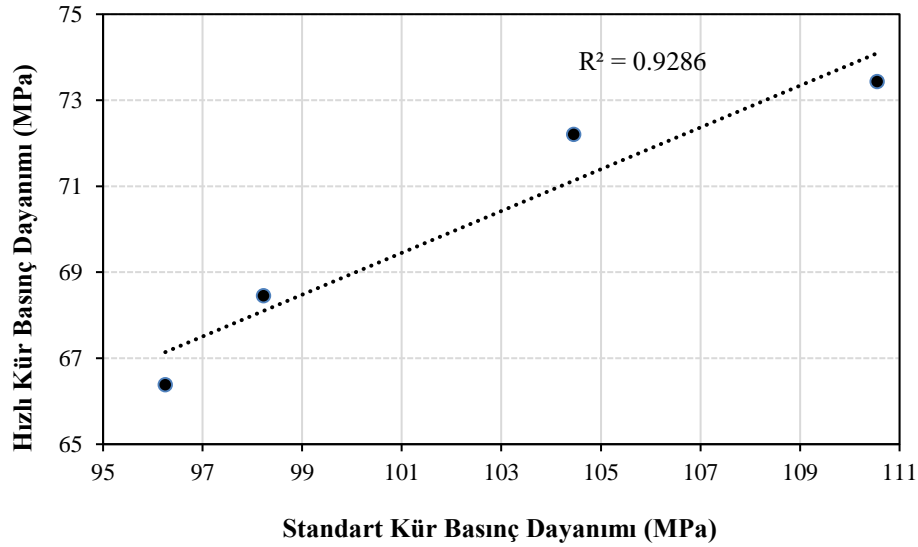
Şekil 4.22 incelendiğinde SIFCON’da kullanılan çelik liflerin narinlik oranı 55 olan numunelerin basınç dayanımı değerleri, narinlik oranı 40 olan numunelerden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeninin numunelere her iki oran içinde karışıma giren çelik tel sayısının narinlik oranı 55 olan çelik liflerde daha fazla olmasından dolayıdır. Karışıma giren çelik tel sayısındaki artışın daha fazla lif matris ara yüzeyinin oluşmasına neden olduğu ve dayanım değerinde azalma gösterdiği düşünülmektedir.



**Şekil 4.22.** Çelik lif tipi basınç dayanımı ilişkisi

Karışımlarda kullanılan her iki lif tipi içinde, lif oranı %4 olduğunda bulunan basınç dayanımı değerlerinin, lif oranı %8 iken bulunan değerlerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumun nedeni lif oranı arttıkça lif matris arasında oluşacak ara yüzey daha çok olmakta ve kusurlu bölgelerin daha fazla oluşmasındandır. Kullanılan lif oranı arttıkça karışımda oluşacak boşluk miktarının da artacağı düşünülmektedir.

Standart kür ve hızlı kür edilmiş numunelerin basınç dayanımları arasında kurulan ilişki Şekil 4.23'te sunulmuştur. Şekil 4.23 incelendiğinde SIFCON numunelere standart kür uygulanması ile hızlı kür uygulanmasından sonra elde edilen basınç dayanımları arasında bir doğrusal bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Hızlı kür yöntemi ile elde edilen basınç dayanımı değeri standart kür yöntemi ile elde edilen basınç dayanımı değerinin yaklaşık %68 civarındadır. Literatür çalışmalarında bu duruma benzer sonuçlar elde edilmiştir. (Kurbetçi ve Öztekin, 2004)



Şekil 4.23. Basınç dayanımında standart kür-hızlı kür ilişkisi

SIFCON olarak hazırlanan ve farklı kür yöntemleri uygulanan numunelerin ultrases geçiş hızları ile basınç dayanımları arasında anlamlı bir ilişki kurulamamıştır. Bunun sebebinin akıcı kıvamda hazırlanan numunelerin boşluk yapılarının birbirlerine benzer özellikte olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

#### 4.2.5 Darbe dayanımı

Darbe dayanımı deneyi sonucu 64x150 mm'lik silindir numunelerde oluşan batma miktarları hesaplanarak Çizelge 4.12'de verilmiştir. Hazırlanan deney düzeneği yardımıyla her bir numuneye sabit 2500 vuruş uygulanarak oluşan batma miktarları Britnel sertlik ölçme yöntemi ile bulunmuştur. SIFCON numunelerinde oluşan dairesel batma durumu Fotoğraf 4.1'de görüldüğü gibi gerçekleşmiştir.

**Çizelge 4.12.** SIFCON numunelerinde çelik bilye batma miktarları (mm)

	Çelik Lif Oranı					
	%4			%8		
	Kür Yöntemi			Kür Yöntemi		
	Standart Kür	Kuru Kür	Hızlı Kür	Standart Kür	Kuru Kür	Hızlı Kür
l/d=55	SS55-4 6.30	SK55-4 5.51	SH55-4 6.11	SS55-8 4.33	SK55-8 4.92	SH55-8 5.44
l/d=40	SS75-4 6.46	SK75-4 6.57	SH75-4 6.45	SS75-8 4.98	SK75-8 5.27	SH75-8 5.69



**Fotoğraf 4.1.** SIFCON darbe deneyi uygulanan silindir numune

Çizelge 4.12 incelendiğinde çelik lif oranının darbe dayanımını belirgin bir şekilde etkilediği görülmektedir. Tüm numunelerde, çelik lif oranının artmasıyla numunelere çelik bilye batma miktarlarının azaldığı görülmüştür. Darbe dayanımındaki bu iyileşme lif türü ve kür yöntemine göre farklılık göstermekle birlikte %11 ile %31 arasında değişmektedir. Çelik lif miktarının artmasıyla numune üzerine uygulanan darbe etkisinin numune içerisine homojen dağıtılmasının bu durumun sebebi olduğu düşünülmektedir.

%8 çelik lif oranına sahip numunelerde kür yönteminin etkisi görülmektedir. Standart kür yöntemi ile kür edilen numunelerin en yüksek, hızlı kür yöntemi ile kür edilen numunelerin ise en düşük darbe dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Bu durum, basınç dayanımı ile benzerlik göstermektedir. %4 çelik lif oranına sahip numunelerin

darbe dayanımları birbirlerine çok yakın değerlere sahip olup %8 lif oranına sahip numuneler için bahsedilen durum geçerli değildir.

Çizelge 4.12 incelendiğinde çelik lifin narinlik oranının darbe dayanımı etkilediği görülmektedir. Narinlik oranı 55 olan çelik liflerle üretilmiş numunelerin darbe dayanımlarının narinlik oranı 40 olan çelik liflerle üretilmiş numunelerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Darbe dayanımındaki bu artış %3 ile %16 arasında değişmektedir. Bu durumun nedeni narinlik oranı 55 olan lif tipinde numune içerisine daha fazla sayıda çelik lifin girmesi ve oluşan darbe etkisini bu liflerin karşılamış olduğu düşünülmektedir. Çelik lifin narinliğinin artmasıyla birlikte numune içerisine sayıca daha fazla miktarda çelik lif girmektedir. Dolayısıyla, numune içerisinde daha sıkı yapıda bulunan lifler üzerine gelen darbe etkisini diğer liflere aktarabilmektedir. Bu sebeple numunelerin darbe dayanımları artmaktadır.

Üzerinde darbe deneyi gerçekleştirilen numunelerden sadece SK75-4 kodlu numunenin alt yüzeyinde çatlak oluşmuştur (Fotoğraf 4.2). Bu numune Çizelge 4.12'den de görüleceği gibi darbe dayanımı en düşük olan numunedir.



**Fotoğraf 4.2.** Çatlak oluşan silindirik numune

#### 4.2.6 Kılcal su emme deneyi

Yürütülen çalışma kapsamında hazırlanan numunelere ait kılcal su emme değerleri belirlenmiş ve Çizelge 4.13’de sunulmuştur. Çizelge 4.13 incelendiğinde, standart kür uygulanan numunelerde kılcal su emme katsayısının 0.0159 cm/sn ile 0.0384 cm/sn arasında, kuru kür uygulanan numunelerde 0.0503 cm/sn ile 0.1425 cm/sn arasında, hızlı kür uygulanan numunelerde ise 0.0337 cm/sn ile 0.0420 cm/sn aralığında değiştiği görülmektedir.

**Çizelge 4.13.** SIFCON numunelerinin kılcal su emme katsayıları (cm/sn)

	Çelik Lif Oranı					
	%4			%8		
	Kür Yöntemi			Kür Yöntemi		
	Standart Kür	Kuru Kür	Hızlı Kür	Standart Kür	Kuru Kür	Hızlı Kür
l/d=55	SS55-4	SK55-4	SH55-4	SS55-8	SK55-8	SH55-8
	0.0384	0.1425	0.0384	0.0159	0.1207	0.0393
l/d=40	SS75-4	SK75-4	SH75-4	SS75-8	SK75-8	SH75-8
	0.0367	0.0503	0.0337	0.0294	0.0688	0.0420

SIFCON numunelerine uygulanan farklı kür yöntemlerinin kılcal su emme değerine etkisinin olduğu görülmektedir. Kuru kür yöntemi uygulanan numunelerin kılcal su emme miktarının en yüksek olduğu görülmüştür. Standart ve hızlı kür uygulanan numunelerin kılcal su emme katsayıları ise birbirlerine yakın çıkmıştır. Kuru kür ortamında numunelerin hidrasyon mekanizmalarının çok iyi gerçekleşmediği yapılan çalışmalarda da görülmüştür. Kuru kür yöntemi ile kür edilen numunelerde kapiler boşluklarda bulunan suyun kaybolması ile bu durum açıklanmaktadır (Akçaözoğlu, 2008). Literatürde kür yönteminin betonun su emme özellikleri üzerinde oldukça etkili olduğu belirtilmiştir (Taşdemir, 2003; Sakai vd., 2017). Çelik lif oranının artması ile birlikte numunelerin genelinde çok büyük bir değişiklik olmasa da kılcal su emme katsayısının azaldığı görülmüştür. Bunun sebebinin bulamaç hacmindeki azalma ile birlikte kılcal boşluklarında azalması olduğu düşünülmektedir. SIFCON numunelerinde lif tipinin kılcal su emme miktarına belirgin bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

## BÖLÜM V

### SONUÇLAR

Yapılan bu tez çalışması kapsamında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmada üretilen SIFCON bulamacı numunelerinin taze birim ağırlıkları 2115 kg/m<sup>3</sup> ile 2334 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmiştir. Karışımlarda çimento yerine kullanılan YFC ve UK miktarı arttıkça karışımların taze birim ağırlıklarının azaldığı görülmüştür.

Bu çalışmada çimento yerine kullanılan farklı oranlardaki YFC ve UK'nın dayanımlara etkisi incelenmiştir. En iyi etkinin %20 ikame oranında olduğu tespit edilmiştir. Çimento yerine kullanılan farklı oranlardaki YFC ve UK ikamelerinin kıvamı arttırdığı görülmüş ve süper akışkanlaştırıcı katkı miktarında azalma sağlamıştır.

YFC ikameli bulamaçlarda kullanılan bağlayıcı miktarı 1000 kg/m<sup>3</sup> olan karışımların eğilme ve basınç dayanımlarının 1200 kg/m<sup>3</sup> olan karışımlardan daha yüksek olduğu görülmüştür.

SIFCON bulamacı olarak hazırlanan karışımlarda YFC ikameli karışımlarda basınç ve eğilme dayanımı artmış, UK ikameli karışımlarda ise sadece %20 ikame oranında artış olduğu görülmüştür.

SIFCON'un eğilme dayanımının yüksek olduğu, sünek bir özellik gösterdiği ve yüksek deformasyon yaparak kırılmanın yavaş bir şekilde gerçekleştiği görülmüştür. SIFCON'da kullanılan lifler ile sünek bir davranış sağlanmış ve en yüksek kırılma tokluğu değeri standart kür yönteminden sonra tespit edilmiştir.

En yüksek eğilme dayanımı standart kür uygulanan ve hacimce % 8 lif içeren numunelerde görülmüştür.

Narinlik oranı 55 olan numunelerin eğilme dayanımı narinlik oranı 40 olan numunelerin eğilme dayanımından daha yüksek olmuştur. Çelik liflerin narinlik oranı arttıkça eğilme dayanımı da artış göstermektedir.

%4 lif içeren numunelerin basınç dayanımının, %8 lif içeren numunelerden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun artan lif oranı ile birlikte lif matris ara yüzeyindeki kusurların daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

SIFCON'da hızlı kür yönteminde bulunan basınç dayanım değerlerinin, standart kür yönteminden sonra bulunan basınç dayanımı değerlerinin yaklaşık %68'ine ulaştığı görülmüştür. Bu durum hızlı kür yöntemi ile SIFCON'un seri üretim yapılmasına olanak sağlayacağı düşünülmektedir.

SIFCON numunelerinin darbe dayanımı deneyi ile lif oranının artmasıyla darbe direncinin arttığı tespit edilmiştir. Bu durum lif oranının %4 olan numunelerde ölçülen batma miktarının, lif oranı % 8 olan numunelerden daha fazla olduğu görülmüştür.

SIFCON'a uygulanan kür yönteminin kılcal su emme katsayısına etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Kılcal su emme miktarı en fazla kuru kür yönteminde ölçülmüştür.

## KAYNAKLAR

ACI 544, “Measurement of properties of fibre reinforced concrete”, *ACI Materials Journal* 583-589, 1988.

ACI 308-92, “Standard practice for curing concrete”, *ACI Manual of Concrete*, 2000.

Akçaözoğlu, S., “Atık pet şişe kırıklarının hafif beton agregası olarak kullanılabilirliği”, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 181-183, 2008.

Akçaözoğlu, S., Akçaözoğlu, K., and Atiş, C.D., “Thermal conductivity, compressive strength and ultrasonic wave velocity of cementitious composite containing waste PET lightweight aggregate (WPLA)”, *Composites: Part B* 45(1), 721-726, 2013.

ASTM C597-16, Standard test method for pulse velocity through concrete, *American Society for Testing and Materials, ASTM International*, West Conshohocken, Pennsylvania, United States, 2016.

ASTM C1018, Standard test method for flexural toughness and first crack strength of fiber reinforced concrete, *American Society For Testing And Materials*, USA, 1989.

Balayssac, J.D., Detriche, C.H. and Diafat, N., “Effect of wet curing duration upon mechanical properties of commonly-used concretes”, *Materials and Structures* 30, 284-292, 1998.

Bryne, T.W., Use of SIFCON in hinge regions of earthquake resistant structures, Doktora Tezi, *North Carolina State University*, USA, 155-160, 2000.

Bulutlar, Y.A., Çelik tel içeriğinin ve dayanımının SIFCON’un mekanik davranışına etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 45-46, 2006.

Baradan, B., .Yazıcı, H., ve Aydın, S., Beton, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları*, İzmir, 2015.

Cebeci, O.Z, “Strength of concrete in warm and dry enviroment”, *Materials and Structures* 20, 270-272, 1987.

Caf, M., Polipropilen ve çelik lifli betonların darbe dayanımı, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, 20-22, 2012.

Canbay, M., Çelik ve polipropilen liflerin yalın ve kombinasyonlu olarak SIFCON’da kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 21–72, 2014.

Devlet Su İşleri, “Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton”, T.C. *Bayındırlık ve İskân Bakanlığı*, Kasım, 1994.

Erdem, D., “Retrofit of non-ductile reinforced concrete frames using high performance fiber reinforced composites”, Doktora Tezi, *North Carolina State University*, USA, 50-57, 1998.

Erdoğan, T.Y., Beton, *ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını*, Ankara, 2003.

Güngör, E., Karma liflerin betonların özelliklerinin deneysel irdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir, 4–6, 2013.

İpek, M., Yılmaz, K. and Uysal, M.,”The effect of pre-setting pressure applied flexural strength and fracture toughness of reactive powder concrete during the setting phase”, *Constr. Build. Mater.* 26,459–465, 2012.

İpek, M., Aksu, M., Yılmaz, K. and Uysal, M., “The effect of pre-setting pressure on the flexural strength and fracture toughness of SIFCON during the setting phase”, *Constr. Build. Mater.* 66,515–521, 2014.

Korkanç M., ve Tuğrul A., “Beton agregası olarak kullanılacak bazaltların alkali-silis reaksiyonu yönünden incelenmesi”, *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi* 17(2), 161-169, 2004.

Kurbetçi, Ş. ve Öztekin, E., “Değiştirilmiş sıcak su yöntemi ile beton basınç dayanımının tahmini”, *İMO Teknik Dergi* 211, 3145-3153, 2004.

Lankard, D.R., and Newell, J.K., “Preparation of highly reinforced steel fiber reinforced concrete composites”, *Fiber Reinforced Concrete-International Symposium, ACI SP-81, American Concrete Institute*, 287-306, 1984.

Lankard, D.R., “Preparation properties and application of cement-based composites containing 5 to 20 percent steel fibre”, *Elsevier Applied Science Publishers, Steel Fibre Concrete, Sweden Seminar*, 199-217, 1985.

Liu, B., Luo, G. and Xie, Y., “Effect of curing conditions on the permeability of concrete with high volume mineral admixtures”, *Constr. Build. Mater.* 167, 359–371, 2018.

Mısır, İ.S., “Betonarme yapıların deprem davranışının iyileştirilmesinde çimento şerbeti emdirilmiş lifli beton (SIFCON) kullanımı”, Doktora Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 124–126, 2011.

Nataraja, M.C., Dhang, N., and Gupta, A.P., “Toughness characterization of steel fiber-reinforced concrete by JSCE approach”, *Cement and Concrete Research* 30(4), 593-597, 2000.

Naaman, A.E., and Baccouche, M.R., “Shear response of dowel reinforced SIFCON”, *American Concrete Institute Structural Journal*, 587–596, 1995.

Özalp, F., Ultra yüksek performanslı betonların mekanik davranışı, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 50-57, 2006.

Svermova, L., and Bartos, P.J.M., “Development of insitu SIFCON for connections in precast concrete and seismic resistant structures”, *27th Conference on Our World in Concrete & Structures*, 553-559, 2002.

Salami, E., Çelik liflerin farklı dayanıma sahip betonların mekanik özelliklerine etkisinin deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 80-84, 2009.

Sakai, Y., Yokoyama, Y. and Kishi, T., “Relationship among the permeation rate of water into concrete, the mix design, curing, and the degree of drying”, *J. Adv. Concr. Technol.* 15(10), 595–602, 2017.

Şengül, Ö., “Mechanical properties of slurry infiltrated fiber concrete produced with waste steel fibers”, *Constr. Build. Mater.* 186, 1082–1091, 2018.

Taşdemir, M.A. ve Bayramov, F., “Yüksek performanslı çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi* (1), 2, 2002.

Taşdemir, M.A., Bayramov, F., Kocatürk, A.N. ve Yerlikaya, M., “Betonun performansa göre tasarımında yeni gelişmeler”, *Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul, 1-34, 2004.

Taşdemir, C., “Combined effects of mineral admixtures and curing conditions on the sorptivity coefficient of concrete”, *Cem. Concr. Res.* 33, 1637–1642, 2003.

TS 3323, Hızlı kür metotları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1979.

TS 10515, Çelik tel takviyeli betonun eğilme mukavemeti deney metodu, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1992.

TS EN 197-1, Çimento Bölüm 1: Genel çimentolar-Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2012.

TS EN 15167-1, Öğütülmüş yüksek fırın cürufu-Beton, harç ve şerbette kullanım için Bölüm 1: Tarifler, özellikler ve uygunluk kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2006.

TS EN 450-1, Uçucu kül-Betonda kullanılan Bölüm 1: Tarif, özellik ve uygunluk kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2013.

TS EN 14889–1, Lifler-Betonda kullanım için Bölüm 1: Çelik lifler-Tarif, özellik ve uygunluk kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2016.

TS EN 1015-3/A2, Kâgir harcı-Deney metotları Bölüm 3: Taze harç kıvamının tayini (Yayımla tablası ile), *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2007.

TS EN 12350-6, Beton-Taze beton deneyleri Bölüm 6: Yoğunluk, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2010.

TS EN 934–2, Kimyasal katkıları - Beton, harç ve şerbet için - Bölüm 2: Beton kimyasal katkıları - Tarifler, gerekler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2013.

TS EN 196-1, Çimento deney metotları Bölüm 1: Dayanım tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2016.

TS EN 14651, Metal lifli beton-Deney yöntemi-Eğilmede çekme dayanımının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2008.

TS EN 772-11, Kâgir birimler-Deney yöntemleri Bölüm 11: Betondan, gaz betondan, yapay ve doğal taştan yapılmış kâgir birimlerde kapiler su emme tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2012.

Tuyan, M. and Yazıcı, H., “Pull-Out behavior of single steel fiber from SIFCON matrix”, *Construction and Building Materials* 35, 571-577, 2012.

Whitehurst, E.A., “Soniscope tests concrete structures; Research and development laboratories of the portland cement association”, *J Am Concr Inst* 47, 433-444, 1951.

Yerlikaya, M., “Çelik Tel Donatılı Betonların Deprem Etkisi Altında Davranışı”, *Kocaeli Deprem Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Kocaeli, 2003.

Yenidünya, E., “Farklı maksimum sıcaklık değerleri altında buhar kürü uygulamasının çelik lifli betonların mekanik dayanımına etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 70-74, 2013.



## ÖZ GEÇMİŞ

Adem KILLI 11.08.1994 tarihinde İskenderun'da doğdu. İlk orta ve lise eğitimini İskenderun'da tamamladı. 2012 yılında girdiği Niğde Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden Haziran 2016'da mezun oldu. 2016 yılında Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans programına başladı. 2016 yılında NİĞBAŞ Niğde Beton Sanayi ve Ticaret A.Ş'de üretim mühendisi olarak çalışmaya başladı ve 2018 yılında ayrıldı. 2018 yılında Enerjik Yapı Denetim de kontrol mühendisi olarak çalışmaya başladı.

