

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇELİK VE POLİPROPİLEN LİFLERİN YALIN VE
KONBİNASYONLU OLARAK SİFCON'DA
KULLANILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet CANBAY

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZEMESİ
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Metin İPEK

Haziran 2014

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİK VE POLİPROPİLEN LİFLERİN YALIN VE
KOMBİNASYONLU OLARAK SİFCON'DA
KULLANILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet CANBAY

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZEMESİ

Bu tez 16 / 06 /2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Metin İPEK
Jüri Başkanı

Prof. Dr. İ. Ayhan ŞENGİL
Üye

Yrd. Doç. Dr. Ferhat AYDIN
Üye

ÖNSÖZ

Yapılan bu tez çalışmasında sadece bilimsel olarak özgün bölümler bulunmamakta ayrıca SIFCON üretiminde rehber olabilecek bölümler de yer almaktadır. Özellikle SIFCON’da kullanılan malzemeler ve üretim tekniği hakkında detaylı bilgiler sunulmaya çalışılmıştır.

Bu tez çalışma süresince yardımlarını esirgemeyen ve her türlü desteği veren danışmanım Doç. Dr. Metin İPEK’e, teşekkür ederim.

Yüksek Lisans çalışmamda teknik destek sağlayan Sakarya Üniversitesi Rektörlüğüne teşekkürlerimi bir borç bilirim. Deneysel çalışmalarımın malzeme temininde yardımlarını esirgemeyen Nuh Çimento Firmasına, BEKSA Firmasına, Dekoton Firmasına, Forta-Ferro Firmasına, Atlas Firmasına ve yetkililerine teşekkür ederim.

Ayrıca bugüne kadar benden desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
ÇİMENTO HAMURU ENJEKTE EDİLMİŞ LİF DONATILI BETON (SİFCON)	4
2.1. SİFCON'u Oluşturan Malzemeler.....	5
2.2. SİFCON'nun Kullanım Alanları	6
2.3. SİFCON İle İlgili Literatür Çalışması.....	9
BÖLÜM 3.	
ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI.....	18
BÖLÜM 4.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	19
4.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler.....	19
4.1.1. Çimento.....	19
4.1.2. Silis dumanı.....	21

4.1.3. Kuvars pudrası.....	21
4.1.4. Kuvars kumu.....	23
4.1.5. Lif.....	26
4.1.5.1. Kancalı çelik lif.....	26
4.1.5.2. Dalgalı çelik lif.....	27
4.1.5.3. Polimer lif.....	28
4.1.6. Kimyasal katkı.....	29
4.1.7. Su.....	30
4.2. Deney Metodu.....	30
4.2.1. Deney numunelerinin üretilmesi.....	30
4.2.2. Deneylerde kullanılan yöntem.....	35
4.2.2.1. Karışımın belirlenmesi	36
4.2.2.2. Lif tipinin belirlenmesi.....	36
4.2.2.3. Basınç dayanımının belirlenmesi.....	37
4.2.2.4. Eğilme dayanımı ve kırılma tokluğunun belirlenmesi..	38
4.2.2.5. Ultrases hızının belirlenmesi.....	42
4.2.2.6. Schmidt deneyi.....	44
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA.....	45
5.1. Deneysel Bulgular ve Tartışma.....	45
5.1.1. Birim hacim ağırlık.....	45
5.1.2. Basınç dayanımı.....	46
5.1.3. Ultra ses geçiş hızı.....	49
5.1.4. Schmidt çekici deneyi.....	53
5.1.5. Eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu.....	55
5.1.5.1. Polimer liflerin kullanılması.....	55
5.1.5.2. Çelik liflerin kullanılması.....	59
5.2. Birim Maliyet Analizleri.....	68
BÖLÜM 6.	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	71

KAYNAKLAR.....	74
ÖZGEÇMİŞ.....	78

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Numune kesit alanı (mm^2)
ASTM	: American Society for Testing and Materials
b	: Numune kesitinin genişliği (mm)
E	: Elastisite modülü (MPa)
EDS	: Energy dispersive spectroscopy
G_f	: Kırılma enerjisi (N/m)
g	: Yer çekimi ivmesi
h	: Numune kesitinin yüksekliği (mm)
l	: Mesnetler arası uzaklık (mm)
m	: Kirişin mesnetler arasında kalan ağırlığı (kg)
O	: Oksijen
P	: Kırılma yükü (N)
P_e	: Net Kırılma yükü (N)
RPB	: Reaktif Pudra Betonu
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
SİFCON	: Çimento Hamuru Enjekte Edilmiş Lif Donatılı Beton
SiO_2	: Silisyum dioksit
TL	: Türk Lirası
TÇMA	: Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği
TS	: Türkiye Standartları Enstitüsü
W_0	: Yük-Sehim eğrisi altında kalan alan-tokluk (Nm)
ν	: Poisson oranı
σ	: Basınç dayanımı (MPa)
σ_e	: Net eğilme dayanımı (MPa)
δ_0	: Kirişin göçme sırasındaki deformasyonu (m)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Zeminin hazırlanması.....	6
Şekil 2.2.	Liflerin doldurulması.....	7
Şekil 2.3.	Bulamacın enjekte edilme işlemi.....	7
Şekil 2.4.	Akıcı bulamacın pompalanması işlemi.....	8
Şekil 2.5	Bulamacın liflerin tamamını örtünceye kadar doldurulması ve yüzey işlemleri.....	8
Şekil 2.6.	SİFCON betonu ile güçlendirme.....	9
Şekil 2.7.	SİFCON Betonu ile güçlendirilmiş kirişlerin yük-sehim eğrileri.....	9
Şekil 2.8.	Farklı Lif içeriğinin çatlak şekilleri.....	11
Şekil 2.9.	Lif içeriğine göre SİFCON'nun yük sehim eğrisi değişim grafiği.	11
Şekil 2.10.	SİFCON blok ile üretilmiş betonarme kiriş	12
Şekil 2.11.	SİFCON blok.....	12
Şekil 2.12.	SİFCON pull-out deneyi.....	13
Şekil 2.13.	Kancalı (hooked-end fiber) ve kancasız lifin (smooth fiber) aderans deney sonucu.....	13
Şekil 2.14.	Farklı yanal hidrolik basınçlar altında numunelerin aksenal basınç dayanımları.....	14
Şekil 2.15.	Farklı yanal hidrolik basınçlar altındaki numunelerin poisson oranı değişimi	14
Şekil 2.16.	Numunelerin kırılma şekilleri.....	15
Şekil 2.17.	%12 lif içeren donatısız SİFCON.....	16
Şekil 2.18.	%8 lif içeren donatılı SİFCON.....	16
Şekil 2.19.	Basınç deneyi sonucunda zarar görmüş numune şekilleri.....	17
Şekil 4.1.	Taneli malzemelerin granülometri eğrisi.....	26
Şekil 4.2.	Kancalı çelik lif (4D).....	26

Şekil 4.3.	Dalgalı çelik lif	27
Şekil 4.4.	Makro polimer lif	28
Şekil 4.5.	Mikro polimer lif.....	29
Şekil 4.6.	SİFCON için tasarlanmış mikser.....	31
Şekil 4.7.	SİFCON içresine lifin katılarak karıştırılması.....	32
Şekil 4.8.	SİFCON'un kalıba yerleştirilmesi ve vibrasyon işlemine tabi tutulması.....	33
Şekil 4.9.	SİFCON işlenebilirlik deneyi	33
Şekil 4.10.	Liflerin kalıba doldurulması.....	34
Şekil 4.11.	Deney çalışma akış şeması.....	35
Şekil 4.12.	Beton basınç dayanımı deneyi.....	37
Şekil 4.13.	Eğilme deneyi numune ve yükleme şekli.....	39
Şekil 4.14.	Eğilme deney düzeneği.....	40
Şekil 4.15.	Yük sehim grafiği ve kırılma tokluğu.....	41
Şekil 4.16.	Ultrases geçiş hızı deneyi	43
Şekil 4.17.	Schmidt çekici deneyi.....	44
Şekil 5.1.	Beton birim hacim ağırlık değişim grafiği	46
Şekil 5.2.	Beton Basınç Dayanımı değişim grafiği.....	47
Şekil 5.3.	Beton Basınç Dayanımı-Birim Hacim Ağırlık İlişkisi grafiği.....	49
Şekil 5.4.	Beton Ultra ses Hızı değişim grafiği.....	50
Şekil 5.5.	Ultra ses Hızı -Birim Hacim Ağırlık İlişkisi grafiği.....	51
Şekil 5.6.	Ultra ses hızı-Basınç dayanımı ilişkisi grafiği.....	52
Şekil 5.7.	Beton Ultra ses Hızı değişim grafiği.....	53
Şekil 5.8.	Schmidt Çekici-Basınç Dayanımı İlişkisi grafiği.....	54
Şekil 5.9.	UPP lif içeren SİFCON'nun yük sehim grafiği.....	55
Şekil 5.10.	UPP lifin SİFCON'nun içindeki görünümü.....	56
Şekil 5.11.	KPP lif içeren SİFCON'nun yük sehim grafiği.....	57
Şekil 5.12.	KPP lifin SİFCON'nun içindeki görünümü.....	57
Şekil 5.13.	UPP ve KPP karma lif içeren SİFCON'nun yük sehim grafiği.....	58
Şekil 5.14.	UPP ve KPP karma lifin SİFCON'nun içindeki görünümü.....	58
Şekil 5.15.	UPP ,KPP,ve UKPP karma lif içeren SİFCON'nun yük sehim grafiği.....	59
Şekil 5.16.	ŞAHİT lif içeren SİFCON'nun yük sehim grafiği.....	60

Şekil 5.17.	ŞAHİT numunedeki lifin SİFCON'nun içerisindeki görünümü....	60
Şekil 5.18.	DÇ lif içeren SİFCON'nun yük sehim grafiği.....	61
Şekil 5.19.	DÇ numunesindeki lifin SİFCON'nun içindeki görünümü.....	61
Şekil 5.20.	DÇ lif ve UPP lif içeren SİFCON'nun yük sehim grafiği.....	62
Şekil 5.21.	DÇ ve UPP lifin SİFCON'nun içindeki görünümü.....	62
Şekil 5.22.	SİFCON Eğilme dayanımı değişim grafiği.....	63
Şekil 5.23.	Beton kırılma tokluğu değişim grafiği.....	64
Şekil 5.24.	Beton eğilme dayanımı- basınç dayanımı ilişkisi grafiği.....	65
Şekil 5.25.	Beton Kırılma tokluğu - basınç dayanımı ilişkisi grafiği.....	66
Şekil 5.26.	Beton Kırılma tokluğu - Eğilme dayanımı ilişkisi grafiği.....	67
Şekil 5.27.	Numunelere ait basınç, eğilme ve kırılma tokluğu birim maliyeti ilişkisi grafiği.....	69

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	SİFCON Numunelerin çekme dayanımları ve kırılma enerjileri	10
Tablo 2.2.	SİFCON'nun mekanik özellikleri.....	10
Tablo 4.1.	Çimento ve silis dumanının kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri.....	20
Tablo 4.2.	Kuvars pudrasının kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	22
Tablo 4.3.	Kuvars pudrası elek analiz sonuçları.....	23
Tablo 4.4.	Kuvars kumlarının fiziksel özellikleri.....	24
Tablo 4.5.	Kuvars kumu tane dağılımı.....	25
Tablo 4.6.	Kullanılan çelik lifin teknik özellikleri.....	26
Tablo 4.7.	Kullanılan çelik lifin teknik özellikleri.....	28
Tablo 4.8.	Kullanılan makro ve mikro lifin teknik özellikleri.....	29
Tablo 4.9.	1 m ³ SİFCON betonu için kullanılan malzeme miktarları.....	36
Tablo 4.10.	Lif tipleri ve kodları.....	37
Tablo 4.11.	Ultra ses hızı.....	43
Tablo 5.1.	Beton birim hacim ağırlıkları.....	45
Tablo 5.2.	Beton basınç dayanımı.....	47
Tablo 5.3.	Beton basınç dayanımı-birim hacim ağırlık ilişkisi.....	48
Tablo 5.4.	Ultra ses geçiş hızı.....	50
Tablo 5.5.	Ultra ses hızı-birim hacim ağırlık ilişkisi.....	51
Tablo 5.6.	Ultra ses hızı-basınç dayanımı ilişkisi.....	52
Tablo 5.7.	Schmidt çekici deneyi.....	53
Tablo 5.8.	Schmidt çekici-basınç dayanımı ilişkisi.....	54
Tablo 5.9.	Eğilme dayanımları.....	63
Tablo 5.10	Kırılma Tokluğu.....	64
Tablo 5.11	Eğilme dayanımı-basınç dayanımı ilişkisi.....	65
Tablo 5.12	Basınç dayanımı-kırılma tokluğu ilişkisi.....	66

Tablo 5.13	Eğilme dayanımı-kırılma tokluğu ilişkisi.....	67
Tablo 5.14	Numunelere ait birim maliyeti.....	68
Tablo 5.15	Numunelere ait birim dayanım maliyetleri.....	69

ÖZET

Anahtar kelimeler: SİFCON, Lif, Dayanım, Tokluk

Çimento bulamacı infiltre edilmiş lifli beton (SİFCON) ile ilgili farklı çalışmalar bulunmasına rağmen normal betonlara göre oldukça az olduğu görülmektedir. Dünyada özellikle de Avrupa'da konuyla ilgili yapılan çalışmalar ülkemize göre fazla yapılmakta ve gün geçtikçe artmaktadır. Geleneksel betonlara göre, üstün mekanik ve durabilite özellikleri, farklı bileşenleri ve üretim tekniğiyle öne çıkmaktadır. Bu haliyle SİFCON, günümüz için hala güncel bir çalışma konusu olarak ortaya çıkmaktadır.

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

THE EFFECT OF STEEL AND POLYPROPYLENE FIBERS AS COMBINATION AND SINGLE USE SIFCON

SUMMARY

Key Words: SIFCON, Fiber, Strength, Toughness.

Although there are different studies about cement slurry infiltrated fiber concrete (SIFCON) it is observed rarely compared to regular concrete. There are more studies in Europe compared to Turkey and it is increasing day by day. It has superior mechanical and durability properties and stands out with the different components and production techniques. SIFCON emerges as an actual subject of study in its current form.

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

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Beton, agrega (ince ve kaba agrega) çimento ve suyun, kimyasal ve mineral katkı maddeleri ilave edilerek veya edilmeden homojen olarak üretim teknolojisine uygun olarak karıştırılmasıyla oluşan, başlangıçta plastik kıvamda olup, zamanla katılaşp sertleşerek mukavemet kazanan önemli bir yapı malzemesidir [1]. Bu malzeme, üretiminin kolay olması, yüksek basınç dayanımı ve ekonomik olması gibi başlıca avantajları nedeniyle günümüzün vazgeçilmez yapı malzemelerinden biridir. Günümüzde inşa edilen binalar, barajlar, köprüler, tüneller, yollar v.b. yapıların ana malzemelerinin başında beton gelmektedir. Bu yapıların hizmet süresince farklı etkilere maruz kalacağı düşünülürse bütün yapıların tek bir beton tipiyle inşa edilemeyeceği aşikardır. Bu yapıların gereksinimlerini karşılayabilmek için beton teknolojisi sürekli bir gelişim içerisinde. Beton teknolojisinin gelişim süresince beton dayanımı ve dayanıklılığı artmış ve artmaya da devam etmektedir. Birkaç on yıl öncesinde yüksek basınç dayanımına sahip betonlar, günümüzde normal betonlar olarak sınıflandırılmakta ve yüksek performanslı beton kategorisinin artık sınırları çizilememektedir.

Dünyamızda ülkeler güçlerini, sadece savaş gücü olarak değil inşa ettikleri sıra dışı yapılarla göstermektedir. Sıra dışı yapılarda kullanılan malzemelerinde sıra dışı olması gerekliliği nedeniyle betondan beklenen performans beklentisi de değişim göstermiştir. Betonun basınç dayanımı özellikleri dışında, süneklilik, dayanıklılık gibi özelliklerinin de beklentileri karşılaması gerekmektedir. Özellikle servis ömrü açısından bakım gerektirmeden uzun yıllar hizmet edebilmesi için bazı durumlarda beton dayanıklılığının, betonun mekanik dayanımlarının önüne geçtiği de görülmektedir. Bu beklentilere yönelik olarak birçok beton sınıfı ve çeşidi ortaya çıkmıştır. Ancak, betonları en genel şekliyle normal ve özel betonlar olmak üzere iki sınıfa ayırmak mümkündür.

Normal betonlar, basınç dayanımları genellikle 20 MPa ile 50 MPa arasında olan üretimi kolay ve ekonomik olarak üretilebilen betonlardır. Bu betonlara basit yapıların inşasında ve ekonominin önemi göz önünde tutulduğunda uygulamada her zaman ihtiyaç duyulabilmektedir.

Özel betonlar, normal betonların fiziksel, kimyasal veya mekanik özelliklerinde amaca uygun olarak iyileştirme yapılması ile elde edilmiş betonlardır. Bunlara, yüksek dayanımlı betonlar, mineral katkılı betonlar, kendiliğinden yerleşen betonlar, hafif betonlar, lifli betonlar, polimer betonlar, püskürtme betonlar, ultra yüksek dayanımlı betonlar, reaktif pudra betonu (RPB) ve çimento hamuru enjekte edilmiş lif donatılı beton (SİFCON) örnek olarak verilebilir [2,3].

Normal beton, çekmede düşük taşıma kapasitesine ve yapısal çelikle karşılaştırıldığında çeliğin sahip olduğu çekme dayanımının sadece %0,1 - %0,01'i, kırılma tokluğunun ise %0,2 - %4'üne sahip çok gevrek bir malzemedir. Yüksek dayanımlı betonlarda eksenel şekil değiştirme kapasiteleri artmakta ve tepe noktası geçildikten sonra gerilme düşüşü ani olmakta ve daha gevrek kırılmaktadır. Buna bağlı olarak elastisite modülündeki bağıl artış, basınç dayanımındaki bağıl artıştan daha az olmaktadır [3]. Bu betonlarda dayanım arttıkça ortaya çıkan önemli bir problem ise gevreklik olmuştur. Betona, süneklik kazandırmak için 1960'lı yılların başında, lif katılmaya başlanmıştır. Betonun çekme dayanımı, çatlak direnci, aşınma ve darbe dayanımı, tokluk gibi mekanik özelliklerini geliştirmek için içerisine çelik, cam ve polipropilen lifler katılmaktadır. Betonlarda kullanılan lifler, çekme ve eğilme dayanımını arttırmakta, rötreye çatlaklarını ise azaltmaktadır. Lifli betonun en önemli mekanik özelliklerinden birisi, tokluk olarak da adlandırılan enerji yutabilme kapasitesidir [4].

Betonda meydana gelen gevreklik problemini çözmek ve betonun eğilme dayanımını artırmak amaçlı yüksek dayanımlı betonlardan farklı olarak betona lif katılması ve lif katılması ile birlikte tane dağılımının değiştirilerek yeniden düzenlenmesi, puzolanik aktivitenin artırılması ve farklı üretim ile kür işlemine tabi tutulmasıyla ultra yüksek performanslı betonlar üretilmiştir. RPB ve SİFCON, ultra yüksek performanslı betonların özelliklerine sahip ve aynı zamanda da ince taneli malzemelerden

oluşmakta ve bu iki betonda da yoğun olarak lif kullanılmaktadır. RPB’de genellikle mikro boyuttaki lifler taze haldeki karışıma katılarak üretilmektedir. Lif miktarının artmasına paralel olarak dayanımın artmasına rağmen, lif miktarı hacmin %6’sını geçmesi ile birlikte işlenebilirlikte sorunlar yaşanmaktadır. Lif miktarının %10’u aşması durumunda ise lifler üretilecek olan elemanın kalıplarına doldurularak, akıcı kıvamdaki imento, silis dumanı, pudra ve su karışımından oluşan bulamaç liflere enjekte edilmekte ve bu Şekilde SIFCON betonu oluşturulmaktadır. Her iki betonda 1990 yılların ilk yarısında bulunmasına rağmen kısa sürede gelişmeye ve kullanılmaya başlanmıştır.

BÖLÜM 2. ÇİMENTO HAMURU ENJEKTE EDİLMİŞ LİF DONATILI BETON (SİFCON)

Normal betonlarda genellikle hacimce % 1-3 oranlarında çelik liflerin rastgele ve süreksiz dağılı bir şekilde ilave edilmesi ile lif donatılı betonlar üretilmektedir. Bu betonlara çelik lif ilavesiyle eğilme, basınç ve çekme dayanımları ve sünekliği artmakta, çatlak oluşumu gecikmekte ve gelişmesi zorlaşmakta ve bu sözü edilen olumlu gelişmeler sayesinde enerji yutma kapasitesi diğer bir deyişle tokluğu artmaktadır. Mekanik özelliklerdeki bu iyileşmeler hiç şüphesiz lif tipine, geometrisine, miktarına ve betonun kalitesine bağlıdır. Farklı malzemeler kullanılarak çeşitli geometrilere sahip lifler üretilmektedir. Beton teknolojisindeki gelişmeler ile birlikte betondan beklenen performans karşılanmaktadır. Lif miktarı ise yaklaşık hacimce % 3 değerini aşması ile birlikte, lifli betonun karıştırma ve yerine yerleştirme işlemi zorlaşmakta ve daha fazla lif miktarları için ise beton üretmek mümkün olamamaktadır. Liflerin yüksek oranda betona katılmamasının mümkün olmaması betonun life katılması fikrini ortaya koymuştur. Kalıp içerisine doldurulan lifler üzerine geleneksel betonun doldurulması betonda bulunan iri agrega nedeniyle başarıya ulaşamayacağı aşikârdır. Liflerin arasını dolduracak ve lifler ile güçlü aderans oluşturacak bir pastaya ihtiyaç duyulmuştur.

Çimento, kum, puzolan, su ve kimyasal katkı karışımı bulamacın hacimce % 5-30 oranlarında lif içeren kalıba doldurulması sonucunda SİFCON (Slurry Infiltrated Fiber Concrete) teknolojisi geliştirilmiştir [5].

SİFCON ilk olarak, 1983 yılında Lankard tarafından New Mexico Engineering Research Institute (NMERI) geliştirilmiştir [6,7]. Üretim safhasında hazırlanan kalıbın içine yüksek orandaki lifler serpiştirilerek yerleştirilir. Daha sonra çimento, su, silika tozu, çok ince kum ve süper akışkanlaştırıcı içeren bulamaç liflerin üzerine

dökülmekte ve vibrasyon uygulanarak, bulamacın liflerin arasına düzgün bir şekilde girmesi sağlanmaktadır [8,9].

2.1. SİFCON'u Oluşturan Malzemeler

SİFCON'da kullanılan malzemeler genellikle RPB' deki malzemelere benzer olarak, çimento, silis dumanı, pudra, kum, çelik agrega, çelik lif, su ve kimyasal katkıdır. Bu malzemelerin, yüksek dayanımlı, sert, homojen, bol miktarda bulunan ve ucuz malzemeler olması gerekmektedir.

Yüksek oranda liflerin arasını homojen olarak dolduracak bir bulamacın hazırlanması SİFCON için oldukça önem arz etmektedir. SİFCON'u oluşturan malzemelerde aranan özelliklerin başında en büyük agrega tane boyutu gelmektedir. En büyük agrega tane boyutunun belirlenmesi normal betonlardan çok farklıdır. Lifler arasındaki mesafe liflerin rastgele olarak kalıba doldurulmasından dolayı belirsizlik oluşturmaktadır. Lif boyutuna bağlı olarak da en büyük agrega tane boyutu değişiklik gösterebileceği düşünülse de lifler ile kalıp arasında bir pas payı olmadığı için de uygulamada mümkün olmamaktadır. Lifler arasına enjekte edilecek bulamacın en büyük tane boyutu ile ilgili doğrudan bir çalışma bulunmamakla birlikte SİFCON çalışmalarında, en büyük tane boyutu 250-600 mikron arasında silis kumu tercih edilmektedir [10,11]. Sonuç olarak, SİFCON malzemelerinin içyapıdaki kusurları en aza indirecek, en yüksek homojenliği sağlayarak tüm boşlukları dolduracak mikro boyutta olması gerekmektedir ve RPB için malzemedan beklenen özellikler SİFCON için de geçerlidir.

SİFCON'u, çelik lifli betonlardan ayıran en önemli farklar, yüksek lif içeriği ve bulamacın yani oluşan matrisin çok ince malzemelerden oluşmasıdır. Bu iki olgu SİFCON'a üstün eğilme dayanımı, tokluk ve buna bağlı olarak da süneklik özelliği kazandırmaktadır.

2.2. SIFCON'nun Kullanım Alanları

Eğilme ve enerji yutma kapasitesi açısından diğer betonlara göre daha iyi olan SIFCON, şantiyede ve prefabrik alanında kullanılmaktadır. Parçalanmaya karşı gösterdiği üstün performans sayesinde patlayıcı maddelerin depolanması kullanılması ayrıca önerilmektedir. Ancak kullanımı günümüz koşullarında, maliyetinin yüksek olması nedeniyle sınırlı kalmaktadır. Maliyetinin büyük bir kısmını çelik lifler oluşturmaktadır. Bununla birlikte sünekliliğin problem olduğu yerlerde oldukça fazla kullanılmakta ve gün geçtikçe kullanımı artmaktadır.

SIFCON, şantiye ortamında elastik zemine oturan plakların üretiminde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu uygulamada, çelik lifler zemin üzerine rastgele olarak istenilen kalınlıkta serilmekte ve liflerin üzerine çimento dozajı yüksek bulamaç enjekte edilmektedir. Bulamaç liflerin tamamını örtünceye kadar enjeksiyon işlemine devam edilmektedir (Şekil 2.1-5) [12].



Şekil 2.1. Zeminin hazırlanması



Şekil 2.2. Liflerin doldurulması



Şekil 2.3. Bulamacın enjekte edilme işlemi



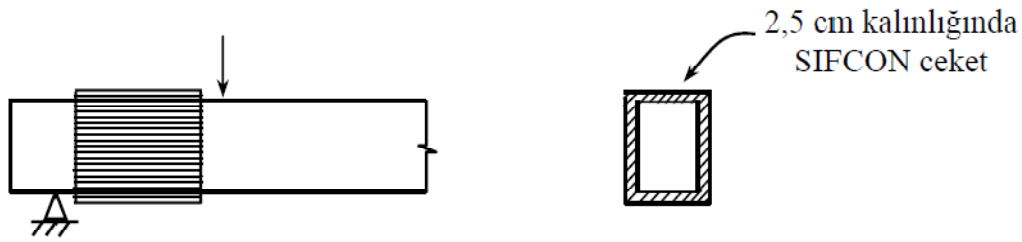
Şekil 2.4. Akıcı bulamacın pompalanması işlemi



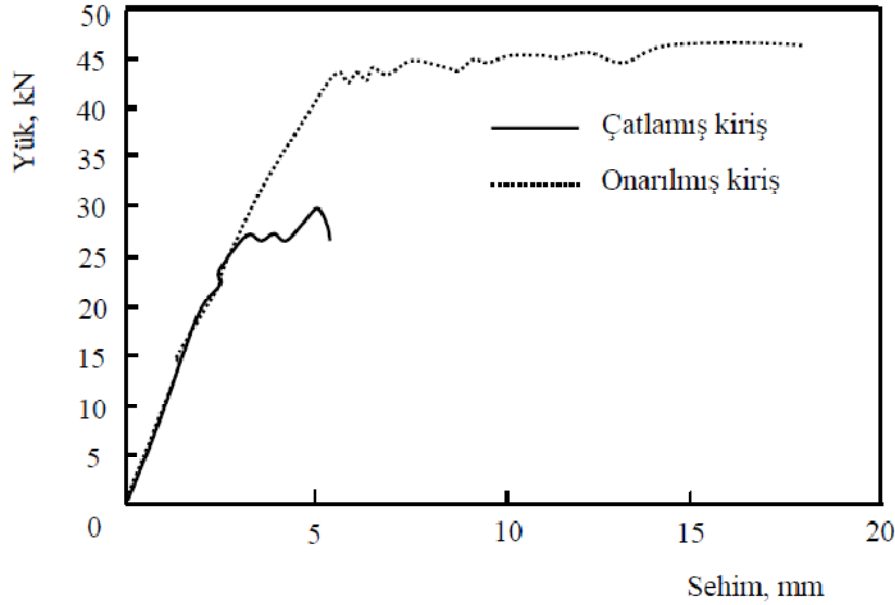
Şekil 2.5. Bulamacın liflerin tamamını örtünceye kadar doldurulması ve yüzey işlemleri

2.3. SİFCON İle İlgili Literatür Çalışması

Bu beton ile ince plaklar hazırlanarak kayma donatısı yetersiz kirişlerin çevresine Yerlikaya tarafından aşağıdaki Şekil 2.6'daki gibi sarılarak güçlendirme levhası olarak kullanılmıştır. Şekil 2.7 incelendiğinde, güçlendirme işlemi sonunda kirişin yük-sehim eğrisinde önemli derecede artış olmuş ve bu artışın özellikle tokluğu arttıracak şekilde, çatlaktan sonra yük taşımaya devam ettiği görülmüştür (Şekil 2.7) [13].



Şekil 2.6. SİFCON betonu ile güçlendirme



Şekil 2.7. SİFCON betonu ile güçlendirilmiş kirişlerin yük-sehim eğrileri

Wecharatana & Lin, SİFCON'nun mekanik özellikleri ile ilgili çalışmışlardır. Çalışmada % 4-10 arasında ucu kancalı çelik lif içeren SİFCON numuneler üzerinde basınç dayanımı, çekme dayanımı deneyleri yapmışlardır. Çalışma sonucunda

numunelerin lif içeriklerinin artması ile çekme dayanımları ve kırılma enerjileri arttığını bildirmişlerdir. Basınç dayanımında ise lif oranına bağlı bir değişim görülmediğini belirtmişlerdir. Çalışmada bulunan değerleri ile Naaman ve Reinhardt'ın çalışmalarında buldukları değerleri kıyaslamışlardır (Tablo 2.1.) [9, 14].

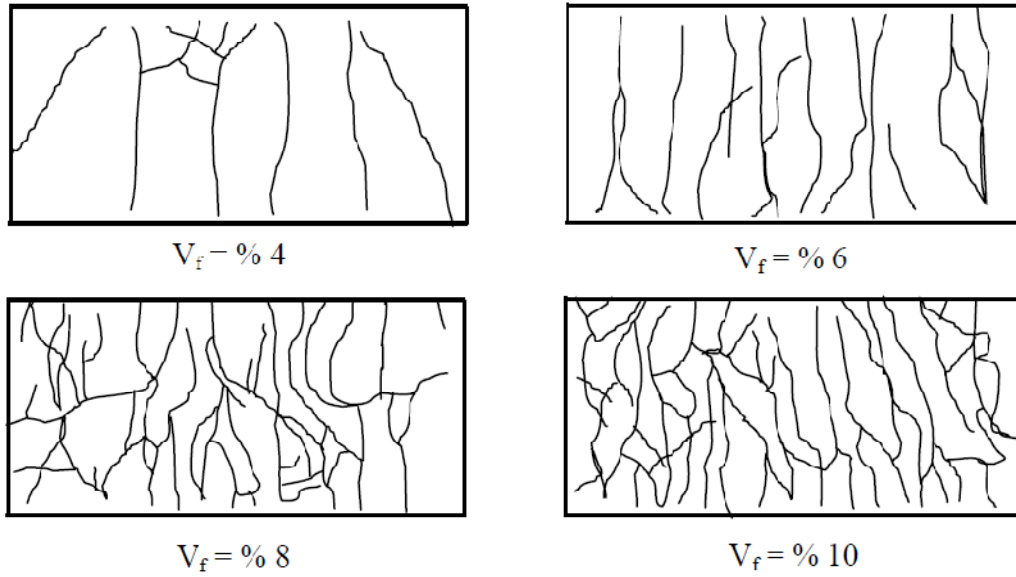
Tablo 2.1. SİFCON numunelerin çekme dayanımları ve kırılma enerjileri [9,14]

SİFCON	Fiber volume % (V_f)	Flexural strength MPa	Fracture Energy kN/m (G_f)
Naaman	12	19,4	78,8
	12,6	26,6	100,5
Wecharatana & Lin	4	6,1	21
	6	8,6	31,5
	8	14,2	45,5
	10	16,7	54,0
Reinhardt	8,5	9,2	60,5
	13,5	14,2	134,1

Yan ve diğerleri, SİFCON üzerinde deneysel çalışma yapmışlardır. Çalışmaya ait mekanik özellikler Tablo 2.2'de verilmiştir. Tablo 2.2 incelendiğinde lif miktarı ile basınç, eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu belirgin bir şekilde artış göstermiştir. En büyük artış beklenildiği gibi kırılma tokluğu değerlerinde olmuş ve lifsiz numunenin kırılma tokluğu değeri 0,823 Nm iken %10 lif içeren numunenin kırılma tokluğu değeri 329,9 Nm değerine ulaşmıştır. Deneysel sonucunda numunelerde oluşan çatlak şekillerini incelenmiş ve lif miktarı arttıkça kiriş yan yüzeylerinde oluşan çatlakların daha homojen olarak yüzeye dağıldığını görmüştür (Şekil 2.8) [15].

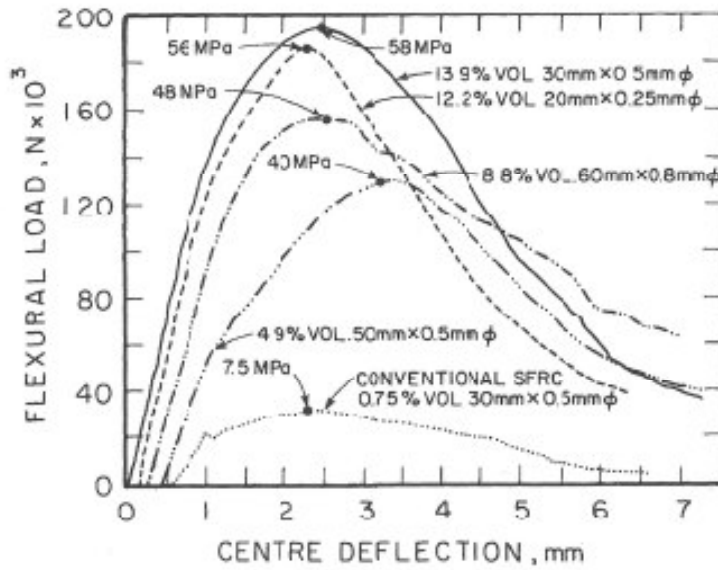
Tablo 2.2. SİFCON'nun mekanik özellikleri [15]

Numune Kodu	Lif Hacmi (%) (V_f)	Basınç Day. (f_c) (MPa)	Eğilme Day. (f_t) (MPa)	Kırılma Tok. (I) (Nm)
HPC	0	86,6	9,15	0,823
SFRCV4	4	94,5	25,3	122,9
SFRCV6	6	105,8	43,6	259,8
SFRCV8	8	121,2	66,4	312,0
SFRCV10	10	127,8	78,7	329,9



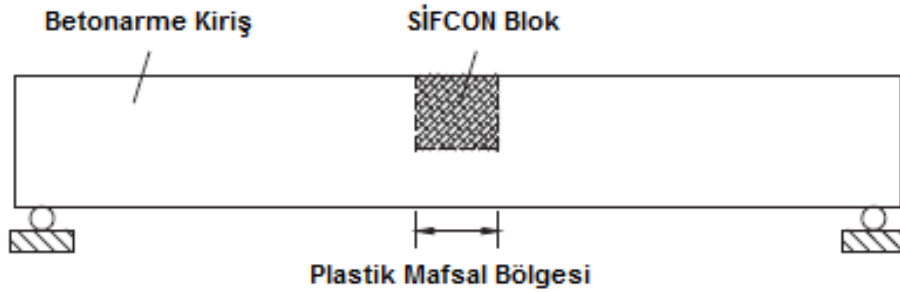
Şekil 2.8. Farklı lif içeriğinin çatlak şekilleri

Lankard, yaptığı çalışmada lifsiz ve düşük lif hacmine sahip betonlar ile SİFCON arasında karşılaştırma yapmış ve Şekil 2.9'daki grafiği elde etmiştir. Bu çalışma sonucuna göre SİFCON'nun eğilme dayanımı ve tokluğunun, diğer lifsiz ve düşük lif hacmine sahip betonlara göre oldukça yüksek değerlerde olduğunu göstermiştir [16].

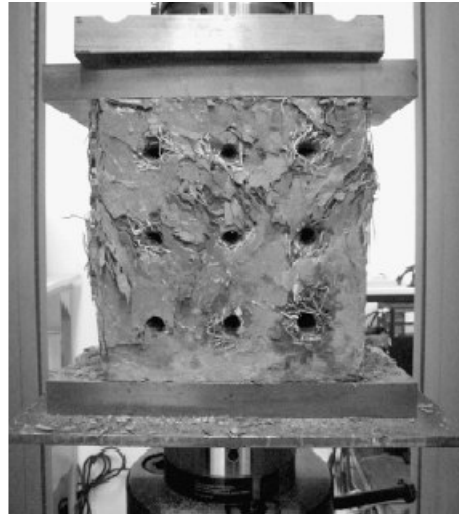


Şekil 2.9. Lif içeriğine göre SİFCON'nun yük sehim eğrisi değişim grafiği [16]

Wu, Jiang ve Liu yaptıkları çalışmada, betonarme kirişin üst orta noktasına SİFCON'dan oluşan bir blok eleman yapmışlardır (Şekil 2.10). Çalışmada, kiriş üst bölgesinin SİFCON ile sünekliğini artırarak, kirişin sehim yapma kapasitesinin artmasını sağlamışlardır. SİFCON bloğun basınç altındaki deformasyonunu arttırmak amacıyla bloğa delikler açmışlardır.(Şekil 2.11). Deneysel çalışmada gevrek malzeme olan betonun yerine basınç bölgesinde SİFCON kullanımı ile kirişin alt bölgesindeki yer değiştirmeler artmış ve dayanım ve tokluk artmıştır [17].



Şekil 2.10. SİFCON blok ile üretilmiş betonarme kiriş



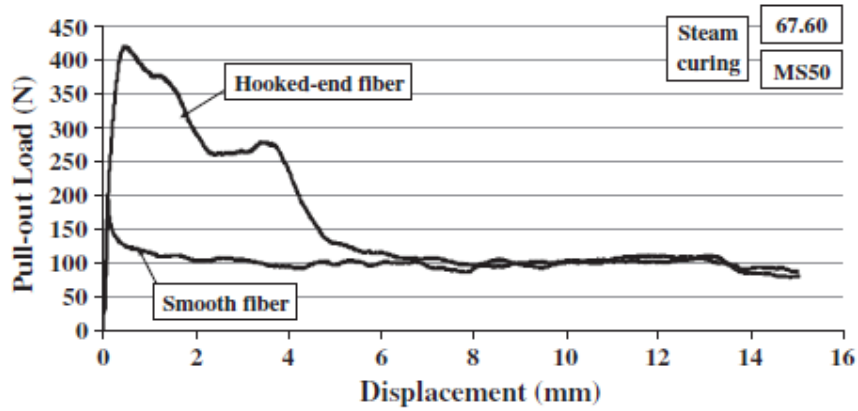
Şekil 2.11. SİFCON blok

Tuyana ve Yazıcı yaptıkları çalışmada SİFCON matrisin içerisindeki çelik lifin aderansını ve davranışını incelemişlerdir. Ayrıca, SİFCON bulamacının karışım oranları, kür koşulları, çelik lif yönlenme oranı ve gömülme uzunluğu üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Bulamaç dayanımının artması, uygun kür uygulanması ve lif çapının artması ile lif aderansını arttırdığını belirtmişlerdir. Pull-out deneyinde (Şekil

2.12), lif gömülme derinliği arttıkça aderans artmasıyla birlikte tokluğunda artığını göstermişlerdir. Ayrıca kancalı liflerin, düz liflere göre aderansının daha iyi olduğunu belirtmişlerdir (Şekil 2.13.) [18].



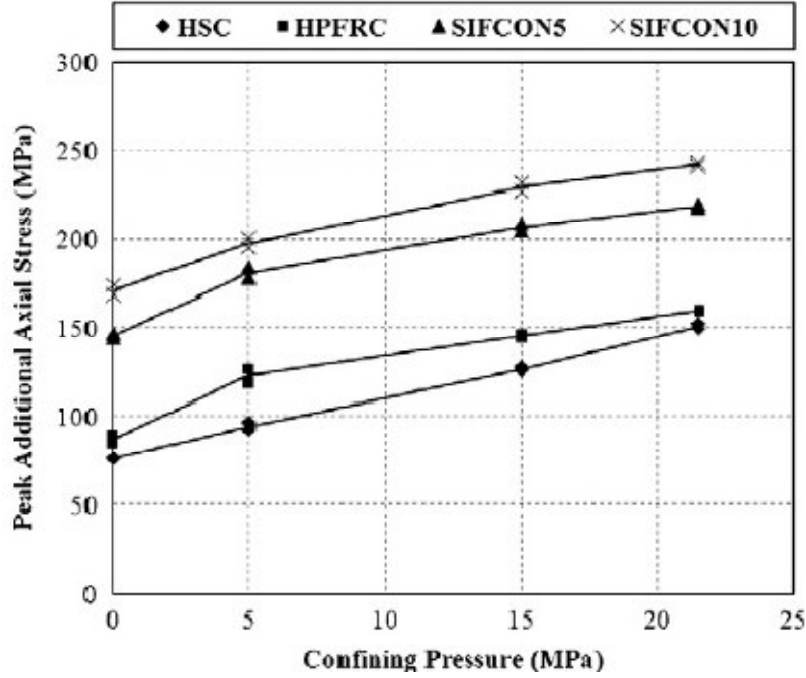
Şekil 2.12. SIFCON pull-out deneyi



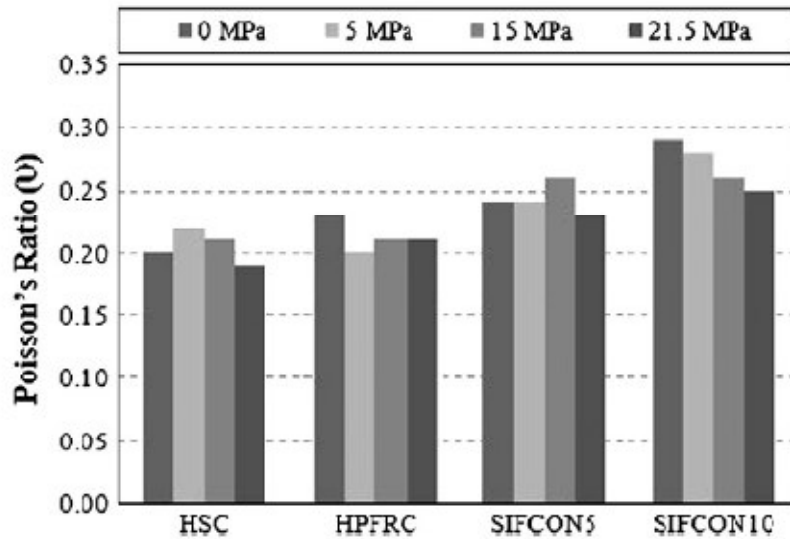
Şekil 2.13. Kancalı (hooked-end fiber) ve kancasız lifin (smooth fiber) aderans deney sonucu [19]

Farnam ve arkadaşları yaptığı çalışmada, yüksek dayanımlı beton, yüksek dayanımlı lifli beton ve SIFCON'un, 3 boyutlu yükleme altındaki davranışını incelemişlerdir. Yüksek dayanımlı betonda %2 lif içeriği, SIFCON'da ise %5 ve %10 lif içeriği kullanarak numuneleri hazırlamışlardır. Silindir numuneleri (75 mm çapında 150 mm yüksekliğinde) hidrolik bir yük hücresine koyarak yükleme yapmışlardır. Yük hücresine 0, 5, 15 ve 21.5 MPa yanal basınç uygulayarak numuneleri basınç testine tabi tutmuşlardır. SIFCON'un hacimsel değişimi, poisson oranı ve kırılma şekilleri üzerinde teoriler ve incelemelerde bulunmuşlardır. Sonuç olarak lif hacminin ve

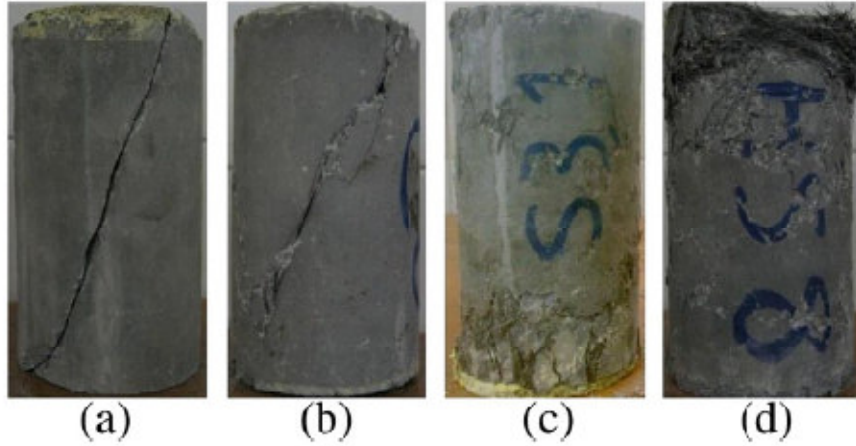
hidrolik hücredeki basıncın artmasıyla, en büyük gerilme, poisson oranı, enerji yutma kapasitesi ve tokluk artış göstermiştir (Şekil 2.14-15). En yüksek tokluk değerine SIFCON ile ulaşıldığını bildirmişlerdir. Lifsiz yüksek dayanımlı beton diagonal çatlayarak kırılırken, lifli yüksek dayanımlı beton ve SIFCON numunelerde parçalanarak kırılma meydana gelmemiştir (Şekil 2.16) [19].



Şekil 2.14. Farklı yanal hidrolik basınçlar altında numunelerin aksenal basınç dayanımları

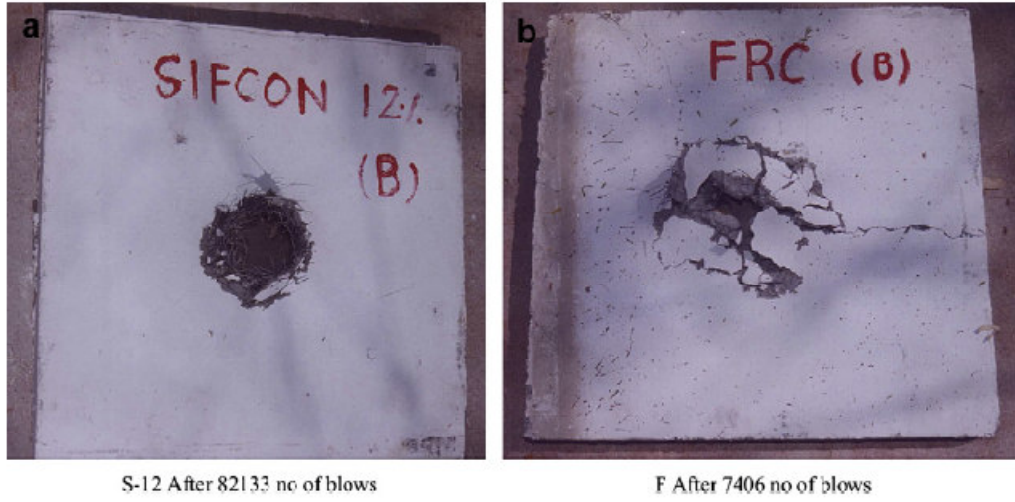


Şekil 2.15. Farklı yanal hidrolik basınçlar altındaki numunelerin poisson oranı değişimi

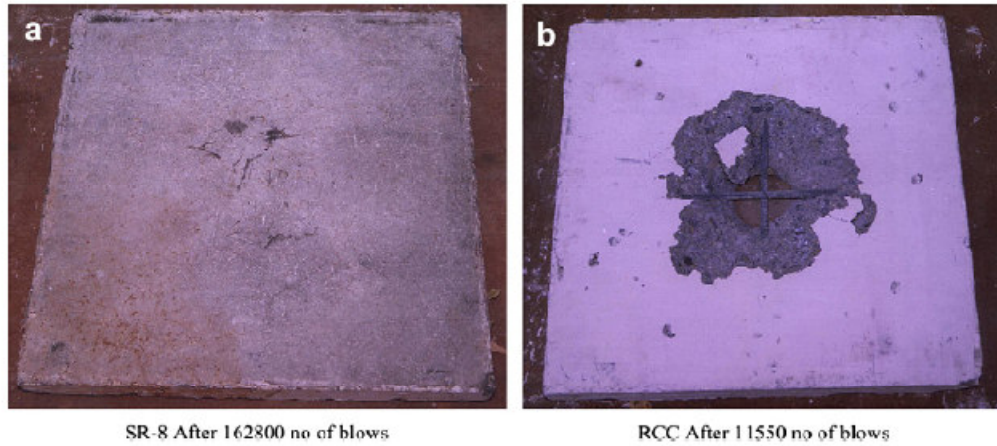


Şekil 2.16. Numunelerin kırılma şekilleri (a) yüksek dayanımlı beton; (b) yüksek dayanımlı lifli beton; (c) %5 lif içerikli SİFCON; (d) %10 lif içerikli SİFCON

Rao ve arkadaşları yaptığı çalışmada, Normal beton, lifli beton, betonarme, %8, %10, %12 lif içerikli SİFCON ve %8, %10, %12 lif içerikli ve donatılı SİFCON üzerinde çarpma (impact) deneyi yapmışlardır. Deney numunesi olarak plak üreterek orta noktasına, geliştirdikleri deney düzeneği sayesinde çarpma etkisi uygulamışlardır. Deney sonucunda numunelerin enerji yutma kapasiteleri ve çarpma etkisi altındaki davranışları incelemişlerdir. 100 mm çapında ve 50 N ağırlığındaki çelik bilye plakada delik oluşturana kadar 45 cm yükseklikten plak numunenin orta noktasına düşürülmüştür. Plağın arka tarafında hasar oluşturması için gerekli düşüş sayısı kaydedilerek enerji yutma miktarı hesaplanmıştır. Çelik bilye En iyi sonucu %12 lif içeren donatılı SİFCON betonunun gösterdiğini ve ayrıca parçalanmanın da en az olduğunu rapor etmişlerdir. Şekil 2.17-18'de plakların parçalanması için gerekli darbe sayıları ve numunenin kırılma şekilleri görülmektedir [20].

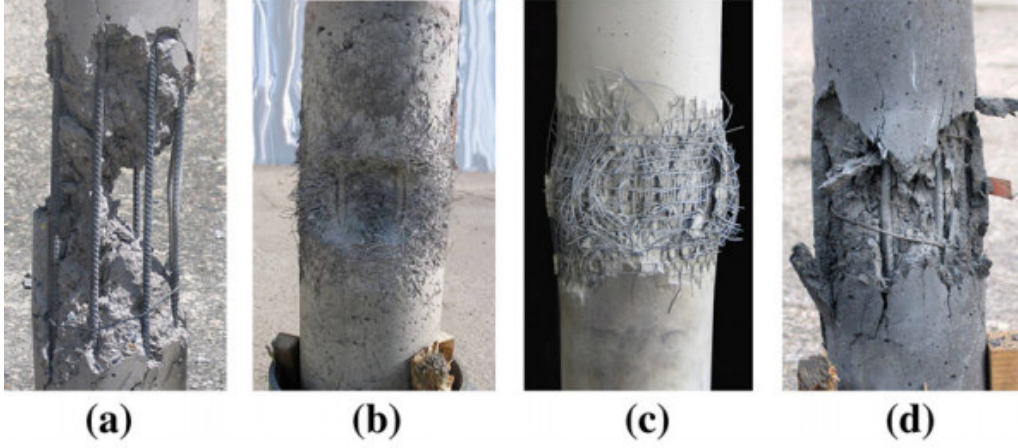


Şekil 2.17. %12 lif içeren donatısız SIFCON (82133 darbeden sonra delik oluşmuş) ve %2 lif içeren beton (7406 darbeden sonra delik oluşmuş) plakannın arkadan görünüşü



Şekil 2.18. %8 lif içeren donatılı SIFCON (162800 darbeden sonra delik oluşmuş) ve betonarme (11550 darbeden sonra delik oluşmuş) plakannın arkadan görünüşü

Roller ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, silindir geometriye sahip betonarme kolonu, SIFCON, lifli beton üç boyutlu hasırlı lifli beton ve polimer betonu ile sararak güçlendirmişlerdir. Bu betonlar ile güçlendirilen kolonları birbirleriyle karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak en iyi performansı SIFCON'nun verdiğini rapor etmişlerdir (Şekil 2.19) [21].



Şekil 2.19. Basınç deneyi sonucunda zarar görmüş numune şekilleri; (A) yalın betonarme kolon, (b) SIFCON ile güçlendirilmiş betonarme kolon, (c) 3 boyutlu lifli beton ile güçlendirilmiş betonarme kolon, (d) lifli beton ile güçlendirilmiş betonarme kolon

BÖLÜM 3. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

SİFCON ile ilgili farklı çalışmalar bulunmasına rağmen normal betonlara göre oldukça az olduğu görülmektedir. Dünyada özellikle de Avrupa'da konuyla ilgili yapılan çalışmalar ülkemize göre fazla yapılmakta ve gün geçtikçe artmaktadır. Geleneksel betonlara göre, üstün mekanik ve durabilite özellikleri, farklı bileşenleri ve üretim tekniğiyle öne çıkmaktadır. Bu haliyle SİFCON, günümüz için hala güncel bir çalışma konusu olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu beton türü için literatürde farklı çalışmalar bulunmasına rağmen SİFCON ile ilgili yapılan çalışmalarda lif kombinasyonu ile ilgili çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu literatür ışığında, tezin temel amacı SİFCON'nun, bir çalışma programı çerçevesinde üretilmesi, Üretilen SİFCON'un basınç ve eğilme numuneleri hazırlanarak geniş kapsamlı deneysel bir çalışma yapılması, Deneysel çalışma sonucunda SİFCONun mekanik ve fiziksel özelliklerinin incelenmesidir. Bu çerçevede literatürden yararlanılarak farklı liflerden ve bu lifler arasında yapılan kombinasyona sahip SİFCON üretilerek, fiziksel ve mekaniksel özellikleri belirlenmiştir.

Tez çalışmasının ana hatları aşağıda sıralanmıştır:

- Karışım oranları ve malzeme özelliklerinin belirlenmesi
- SİFCON betonu için farklı malzemelerden üretilmiş ve farklı geometrik yapıya sahip liflerin farklı kombinasyonda kullanılması
- Hazırlanan bu SİFCON numunelerin, birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu, ultrases hızı, schmidt test çekici deneylerinin yapılması
- Birim dayanım maliyet analizlerinin yapılması.

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

Deneyde kullanılan malzemelerin, silis dumanı dışında tamamı ülkemizdeki kaynaklardan üretilen malzemelerden temin edilmiştir. Malzeme seçiminde öncelikle malzemelerin her zaman bol miktarda bulunan, homojen özelliklere sahip ve zamanla kalitesi ve özellikleri değişmeyen malzemeler olmasına dikkat edilmiştir.

4.1.1. Çimento

Tez çalışması kapsamında yapılan deneylerde yüksek performanslı çimento tercih edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmaların tamamında, Nuh Çimento fabrikası tarafından üretilen, PÇ 42,5 CEM I R tipi yüksek performanslı çimento kullanılmıştır. Çimentoya ait özellikler üretici firmadan temin edilerek, kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikler Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Çimento ve silis dumanının kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

	Çimento	Silis Dumanı
Bileşen	Miktarı %	Miktarı %
CaO	64,47	0,50
SiO ₂	20,09	96
C	-	1,50
Al ₂ O ₃	5,01	0,70
Fe ₂ O ₃	2,73	0,25
MgO	1,72	0,60
K ₂ O	0,66	0,85
Cl	0,01	0,10
Na ₂ O	0,21	0,25
P ₂ O ₅	-	0,10
SO ₃	3,03	0,50
H ₂ O	-	0,80
Kızdırma kaybı	2,11	1,50
İri Parçacıklar(>45µm)	-	1,00
pH değeri (taze)	-	5,0-8,0
C ₃ S	60,7	-
C ₂ S	11,8	-
C ₃ A	8,6	-
C ₄ AF	8,3	-
Silikat Modülü	2,6	-
Alümina Modülü	1,8	-
Hidrolik Modül	2,3	-
Toplam alkali	0,58	-
Özellik	Değer	Değer
Blaine özgül yüzeyi	5162 cm ² /gr	200000 cm ² /gr
Birim hacim ağırlık	-	0,650 gr/cm ³
Özgül ağırlık	3,14	2,260
Priz başlangıcı	154 dakika	-
Priz sonu	191 dakika	-
Hacim Genleşmesi	0,8 mm	-
2 günlük basınç dayanımı	39,8 MPa	-
7 günlük basınç dayanımı	54,2 MPa	-
28 günlük basınç dayanımı	61,8 MPa	-

Çimentonun Blain değerinin de normal çimentolara (yaklaşık 2000-4000 cm²/gr) göre fazla olduğu görülmektedir. Bu durum betonun su gereksimini arttıracak olmasına rağmen yüksek dayanım için tercih edilmektedir.

4.1.2. Silis dumanı

Silis dumanı, silikon veya demirli silisyum imalatı sırasında atık olarak ortaya çıkan şekilsiz şeffaf silisyum dioksit (SiO₂) kürelerinden oluşan bir mineraldir. Bu kürelerin ortalama büyüklüğü 0,5 µm altındadır yani çimento tanesinden yaklaşık 100 kat daha küçüktür. Silis dumanının Blain değeri yaklaşık 200000 cm²/gr'dır [22, 23].

Yapılan deneysel çalışmaların tamamında, silis dumanı olarak Norveç'te bulunan Elkem firmasının 968-U kodlu yoğunlaştırılmamış silis dumanı kullanılmıştır.

4.1.3. Kuvars pudrası

Kuvars pudrası yapay yani kırma taş agregadır. Pudranın kimyasal özelliklerine ait bilgiler üretici firma tarafından verilmiştir. Fiziksel özelliklere ait bilgiler ise yapılan deneysel çalışmalardan elde edilmiştir. Fiziksel özelliklerden birim hacim ağırlık, özgül ağırlık ve su emme Sakarya Üniversitesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında, özgül yüzey ise TÇMA laboratuvarında test edilmiştir. Bu pudraların kimyasal içeriği ve fiziksel özellikleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Kuvars pudrasının kimyasal ve fiziksel özellikleri

Bileşen	Kuvars pudrası %
SiO ₂	99,50
Al ₂ O ₃	0,01
Fe ₂ O ₃	0,01
CaO	-
MgO	-
Na ₂ O+K ₂ O	0,37
TiO ₂	0,07
Kızdırma Kaybı	0,40
Toplam	100
Renk	Beyaz
Yoğunluk	1,341 gr/cm ³
Özgül ağırlığı	2,701 gr/cm ³
Özgül yüzeyi	2142 cm ² /gr
Nem içeriği	% 0,08

Kuvars pudrası normal olarak kum boyutundaki agreganın özel teknikler sayesinde istenilen boyutlara getirilmesiyle oluşmaktadır. Kuvars pudrası, kuvars kayasının parçalanmasından elde edildiği için içerisinde kil veya silt gibi küçük taneler yoktur. Bu pudranın elde edilmesinde kullanılan eleme yöntemi, kuru olarak ve basınçlı hava yardımıyla yapılmaktadır.

Deneylerde kullanılan kuvars pudrası, Aydın'ın Çine ilçesinden Santoz Sanayi Tozları Firmasından elde edilmiştir. Kuvars pudrası olarak 0-100µm tane aralığındaki pudradan numuneler alınmış ve karışım oranlarının belirlenmesi işlemlerinde kullanılmak için bu numunelerin TÇMA laboratuvarında granülometrisi belirlenmiştir. Kuvars pudrası Elek analiz değerleri Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Kuvars pudrası elek analiz sonuçları

Tane Boyutu (μm)	Kümülatif Elekten Geçen %
1	2,01
2	4,99
3	7,47
4	9,98
5	12,5
10	23,87
15	32,78
20	39,75
25	45,4
30	50,14
35	54,23
40	57,85
45	61,1
50	64,06
60	75,13
75	85,93
90	96,15
100	100

4.1.4. Kuvars kumu

Genellikle SİFCON betonlarında kullanılan en büyük taneye sahip olan malzeme kuvars kumudur. Kuvars kayacı diğer kayalara göre çok sert ve sağlamdır. Normal dayanımlı betonlarda kullanılan agregaların dayanımı yaklaşık 100 MPa iken, kuvars agregasının basınç dayanımı yaklaşık 180 MPa'a kadar ulaşmaktadır. Sertlik olarak da çok sert bir agregaya olduğu için aşınma direnci yüksektir [24, 25].

SİFCON'da istenilen dayanımlara çıkılabilmesi için bu betonlara uygun agregaya kullanılmalıdır. Kuvars kumu hem SİFCON için uygun bir agregaya hem de ülkemizde bol miktarda bulunmaktadır. Kuvars kumu elde edilmiş şekli ve mineralojik bakımdan kuvars pudrası ile aynı özelliklere sahiptir ve sadece tane büyüklüğü açısından farklılık göstermektedir. Deneyde kullanılacak malzemelerin fiziksel özelliklerinden birim hacim ağırlık, özgül ağırlık ve su emme Sakarya Üniversitesi Yapı Malzemesi

Laboratuvarında yapılmış, özgül yüzey ise TÇMA laboratuvarında yaptırılarak sonuçlar Tablo 4.4’de verilmiştir.

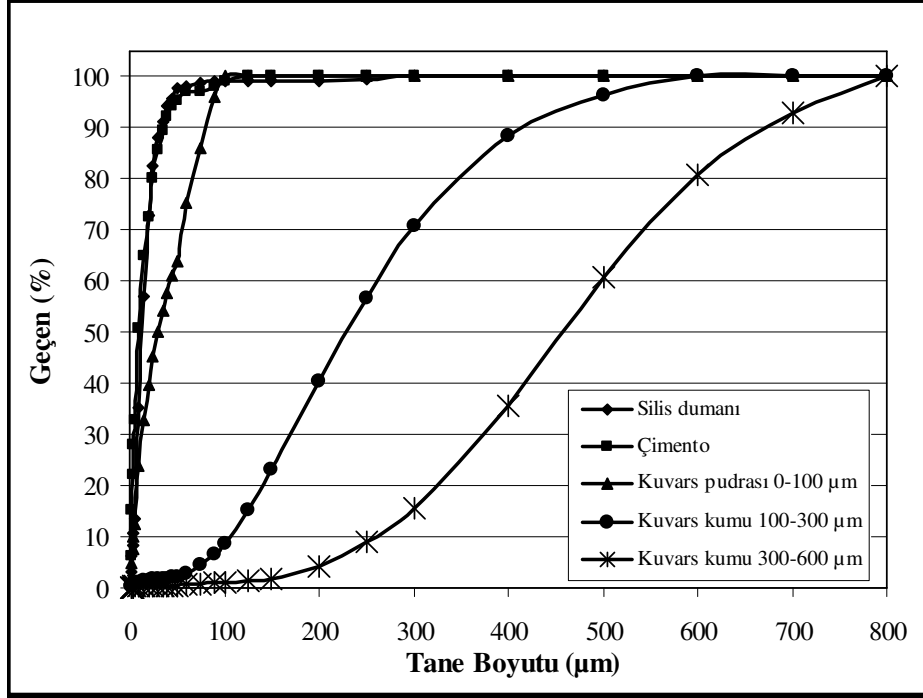
Tablo 4.4. Kuvars kumlarının fiziksel özellikleri

Özellik	100–300 µm Kuvars Kumu	300–600 µm Kuvars Kumu
Birim hacim	1,603 gr/cm ³	1,595 gr/cm ³
Özgül ağırlığı	2,676	2,680
Özgül yüzeyi	219 cm ² /gr	81 cm ² /gr
Nem İçeriği	% 0,067	% 0,036

Deneylerde kullanılan kuvars kumu, 100–300 µm ve 300-600 µm aralıktaki iki farklı sınıfta bulunmaktadır. Kuvars kumu olarak 100-300 µm ve 300-600 µm tane aralığında kumlardan numuneler alınmış ve bu numunelerin granülometrisinin belirlenmesi için TÇMA laboratuvarına gönderilmiştir. Bu numuneler üzerinde kuru olarak lazer tane dağılım analizi ile yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 4.5’de verilmiştir. SİFCON betonunda kullanılan taneli malzemelerin toplu olarak granülometri eğrisi Şekil 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.5. Kuvars kumu tane dağılımı

Tane Boyutu (μm)	Kuvars Kumu 100-300 μm Elekten Geçen %	Kuvars Kumu 300-600 μm Elekten Geçen %
1	0,2	0,06
2	0,39	0,12
3	0,52	0,15
4	0,65	0,18
5	0,78	0,2
10	1,14	0,29
15	1,32	0,32
20	1,45	0,33
25	1,57	0,33
30	1,66	0,34
35	1,76	0,36
40	1,86	0,39
45	2,01	0,43
50	2,2	0,49
60	2,8	0,62
75	4,33	0,83
90	6,71	0,98
100	8,75	1,12
125	15,32	1,26
150	23,24	1,77
200	40,44	4,24
250	56,58	8,84
300	70,71	15,71
400	88,34	35,71
500	96,52	60,85
600	100	80,87
700	100	92,79
800	100	100

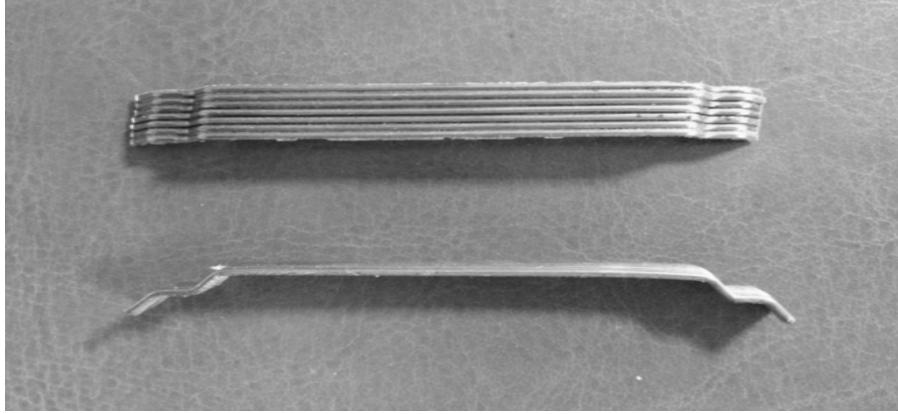


Şekil 4.1. Taneli malzemelerin granülometri eğrisi

4.1.5. Lif

4.1.5.1. Kancalı çelik lif

Kancalı lif olarak piyasada 4D ismiyle anılan her iki ucu iki kat pilye kırılmış lifler kullanılmıştır (Şekil 4.2.). SIFCON'un basınç ve eğilme dayanımı ile kırılma tokluğunu arttırmak için karışıma katılacak olan kancalı çelik lifler, Bekaert İzmit Çelik ve Kord Sanayi ve Ticaret A.Ş.'den temin edilmiştir [26]. Lifler çelik olup üzeri korozyona karşı pirinç ile kaplanmış 60 mm uzunluğunda lif kullanılmıştır. Üretici firma tarafından çelik liflere ait fiziksel ve mekaniksel özellikler Tablo 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.2. Kancalı Çelik lif (4D)

Tablo 4.6. Kullanılan çelik lifin teknik özellikleri [26]

Lif Tipi	Boy (mm)	Çap (mm)	L/d	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (MPa)
60	60	0,9	65	1500	210.000

4.1.5.2. Dalgalı çelik lif

Dalgalı çelik lif olarak piyasada anılan lif boyunca dalgalı lifler kullanılmıştır (Şekil 4.3.) SİFCON'un basınç ve eğilme dayanımı ile kırılma tokluğunu arttırmak için karışıma katılacak olan Dalgalı çelik lifler, Dekoton A.Ş.'den temin edilmiştir [27]. Lifler çelik olup üzeri korozyona karşı pirinç ile kaplanmış 60 mm uzunluğunda lif kullanılmıştır. Üretici firma tarafından çelik liflere ait fiziksel ve mekaniksel özellikler Tablo 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Dalgalı çelik lif

Tablo 4.7. Kullanılan çelik lifin teknik özellikleri [27]

Lif Tipi	Boy (mm)	Çap (mm)	L/d	Maks.Çekme Yüğü (N)
Dalgalı	60	0,9	65	597.5

4.1.5.3. Polimer lif

SİFCON numunelerinde basınç ve eğilme dayanımı ile kırılma tokluğunu arttırmak için karışıma polimer lif katılmıştır. Polimer lif yalın olarak ve çelik lifler ile kombinasyonlu olarak kullanılmıştır. Polimer lifler Makro ve Mikro boyutta iki tip olarak kullanılmıştır. Makro lifler Forta-Ferro firmasından (Şekil 4.4.), mikro lifler ise Atlas bir yapı malz. Ve Teks. San. Dış Tic. Ltd. Şti.'nden temin edilmiştir (Şekil 4.5.). Deneyde kullanılan polimer makro lif, 54 mm uzunluğunda ve 0.677 mm çapındadır [28]. Mikro lif ise 19 mm uzunluğunda ve 0.056 mm çapındadır [29]. Üretici firmalar tarafından polimer liflere ait fiziksel ve mekaniksel özellikler Tablo 4.7'de verilmiştir [28,29].



Şekil 4.4. Makro polimer lif



Şekil 4.5. Mikro polimer lif

Tablo 4.8. Kullanılan makro ve mikro lifin teknik özellikleri

Lif Tipi	Boy (mm)	Çap (mm)	Elastisite Modülü (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Özgül Ağırlık	Erime noktası	Ateşleme noktası
Makro	54	0.677	5750	550-750	0,91	162-168°C	>398 °C
Mikro	19	0.056	3500	1100	0,91	210-240°C	>550 °C

Bu lifler, eğilme dayanımını olumlu olarak etkiler ve dayanıklılığı artırır, tanelerin birbirine yapışmasını (kohezyonu) artırır ve ayrılmayı (segregasyon) azaltır, korozyona uğramaz ve kimyasal olarak hareketsiz ve alkaliye dayanıklıdır. Bu özellikleri sayesinde, püskürtme beton, prefabrik beton temellerinde, tünel astarlamalarında, madenlerde, şev stabilizasyonunda, havuzlarda, depolarda, tanklarda kullanılmaktadır. A.S.T.M. C-1116 Lif destekli Standart Şartname Beton ve püskürtme beton ve A.S.T.M. D-7508 Standart Şartname uygundur [28, 29].

4.1.6. Kimyasal katkı

Deneylerde düşük su çimento oranından dolayı istenilen işlenebilirliği elde etmek için yeni nesil katkılara ihtiyaç duyulmuştur. Yeni nesil katkıların karışım üzerindeki etkisi, süper akışkanlaştırıcı içeren çimento sistemde, çimento tanelerinin dağılma

özelliği genel olarak “elektrostatik” ve “stearik” etki mekanizmasıyla sağlanmaktadır.

4.1.7. Su

Deneylerde, içilebilir nitelikte olan Sakarya Büyük Şehir Belediyesi şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

4.2. Deney Metodu

4.2.1. Deney numunelerinin üretilmesi

Deneyler, Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında yapılmıştır.

Deney numunelerinin hazırlanması normal betonlara göre farklılık göstermektedir. Özellikle SIFCON betonlarında karıştırma işlemi normal betonlara göre oldukça farklıdır. SIFCON'nun performans özellikleri mikserde karıştırılma işlemine karşı son derece duyarlı olup bu işlemin hassasiyetle gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Karıştırma işlemi için kullanılan mikserin karıştırma hızı ve karışıma giren malzemelerin miksere konulma sırası belli bir düzen içerisinde olmalıdır. Aksi takdirde aynı malzemeler ile çok yüksek dayanımlı bir beton elde edilebileceği gibi çok düşük dayanımlı bir beton da elde edilebilir. Bu nedenle numunelerin üretilmesi için özel bir mikser tasarlanmıştır. Bu mikserin, hem numunelerin konulduğu hazne hem de mikserin çırpıcısı her iki yönde dönebilmekte ve karıştırma hızı da elektronik kumanda sayesinde ayarlanabilmektedir (Şekil 4.6)



Şekil 4.6. SİFCON için tasarlanmış mikser

Karıştırma işleminde ilk olarak mikserde lifler hariç bütün taneli malzemeler konularak 5 dakika, 400 devir/dakikalık düşük bir devirde karıştırılmış ve daha sonra katkı ile karışım suyu karıştırılarak bu karışım püskürtmeli olarak ilave edilmiştir. Katkı ve suyun birlikte katılması ile mikserin hızı 1400 devir/dakikaya çıkarılarak yaklaşık 5 dakika bu hızda karıştırılmış ve daha sonra hangi polipropilen lif çeşidi ile numune hazırlanacak ise buna göre mikro veya makro lifler ilave edilerek 5 dakika

da lifli olarak karıştırılmıştır (Şekil 4.7). Numuneler kalıplara doldurulmadan önce kalıp ayırıcı yağ ile kalıplar yağlanmıştır. Numunelerin kalıplara yerleştirilmesinde en iyi yerleştirme metodunu belirlemek amacıyla vibrasyon, şişleme ve tokmaktama denenmiş ve bunlardan tokmaktamanın yerleştirmenin en iyi yöntem olduğuna karar verilmiştir. Vibrasyonun kimyasal katkının bir takım özelliklerinden dolayı beton içerisindeki hava boşluğu miktarını arttırdığı görülmüştür (Şekil 4.8) Normal betonlarda dayanımı artırıcı özelliğinden yola çıkarak, numunelere farklı zamanlarda revibrasyon uygulanmış fakat dayanımı düşürdüğü için çalışmada bu uygulamadan vazgeçilmiştir. Numuneler bir gün sonra kalıplardan çıkarılarak, daha önceden belirlenen 7 gün 90 °C sıcak buhar kürü işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 4.7. SIFCON içresine lifin katılarak karıştırılması.



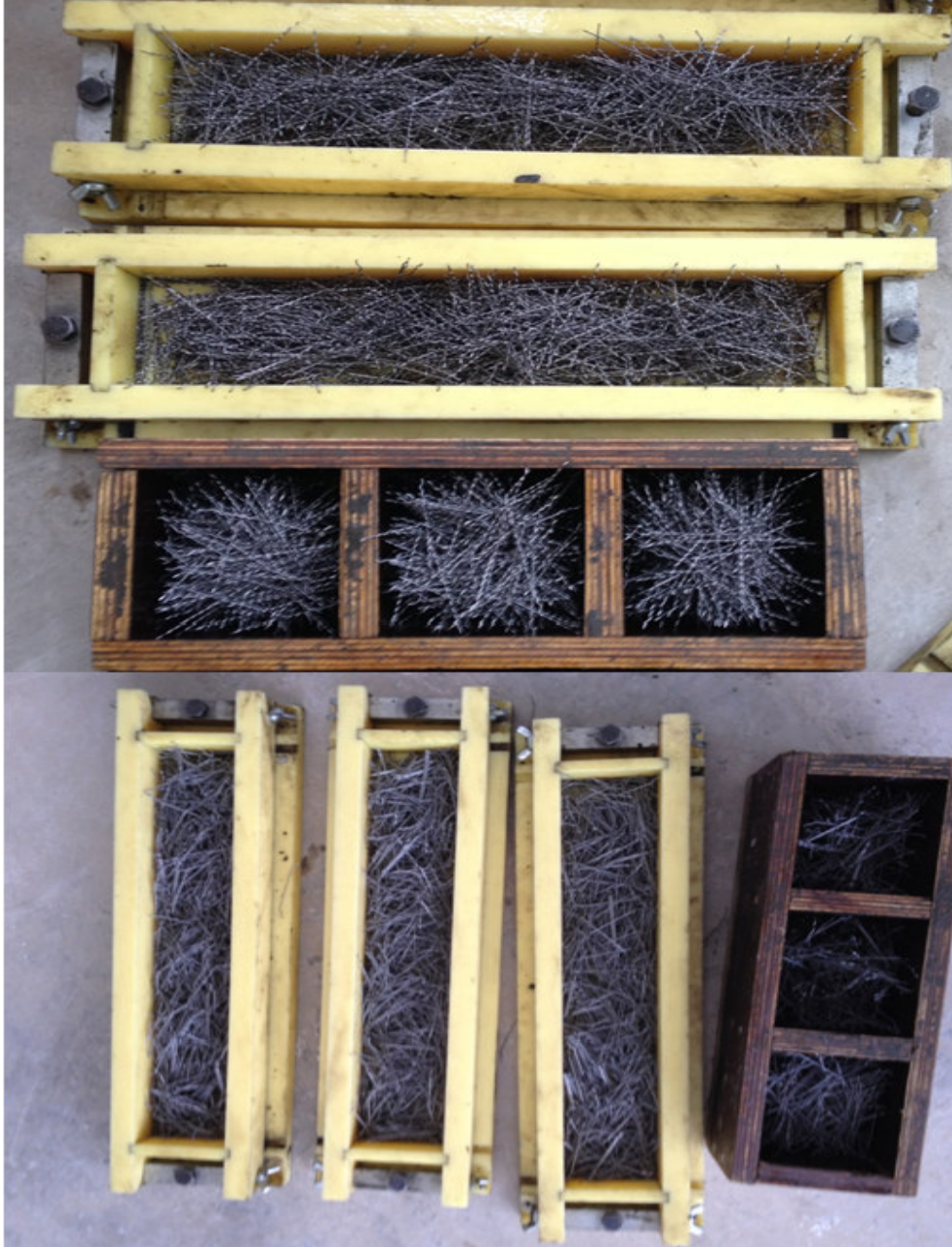
Şekil 4.8. SIFCON 'un kalıba yerleştirilmesi ve vibrasyon işlemine tabi tutulması

Karışımın kıvamı tabla yayılma deneyi ile test edilmiştir. Bu test sırasında abrams hunisine SIFCON bulamacı doldurulmuş ve belirli aralıklar ile yayılma çapı ölçülmüştür (Şekil 4.9). Kıvamın yayılma özelliğini kaybettiği süre kaydedilerek işlenebilirlik süresi belirlenmiştir. SIFCON betonu masaya döküldüğü anda yayılma çapı 38 cm, on beş dakika sonra 38 cm, kırk beş dakika sonra kıvamını koruduğu, iki saat sonra ise yayılma çapının 30 cm olarak ölçülmüştür. Bu sonuca göre bulamaç yaklaşık olarak 1 saat sürecince kullanılabilirliktedir.



Şekil 4.9. SIFCON işlenebilirlik deneyi

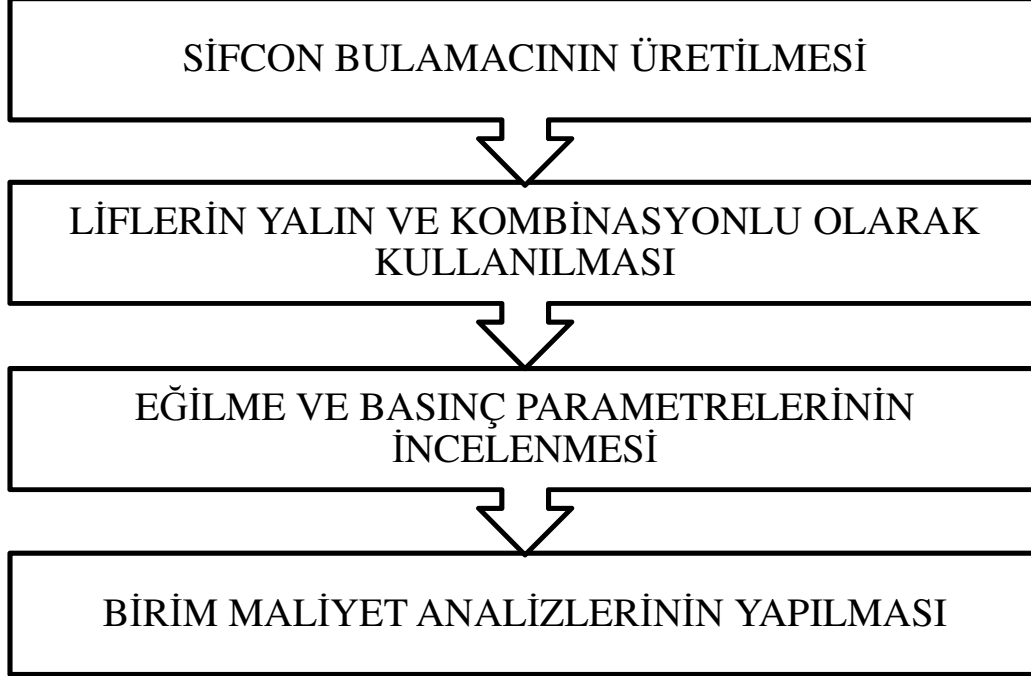
Çelik Kancalı, Dalgalı ve Kombinasyonlu olarak kullanılan lifler kalıp dışında homojen olarak karıştırılmış ve daha sonra kalıba doldurulmuştur (Şekil 4.10). Daha sonra SİFCON bulamacı hazırlanarak, sarsma tablası üzerinde liflerin üzerine enjekte edilmiştir. Kalıbın tamamının bulamaç ile doldurulmasıyla birlikte akıcılığı yüksek olan bulamaç sayesinde herhangi bir yüzey işlemine gerek duyulmamıştır.



Şekil 4.10. Liflerin kalıba doldurulması

4.2.2. Deneyleerde kullanılan yöntem

Bu çalışmada Şekil 4.11'deki akış şeması oluşturulmuş ve deneysel çalışmalar bu sıraya göre yapılmıştır.



Şekil 4.11. Deneysel çalışma akış şeması

Bu şemaya göre SIFCON'u oluşturan malzemeler temin edilmiş ve özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra karışım oranları farklı yöntemler kullanılarak belirlenmiştir. Bu karışıma yalın ve kombinasyonlu olarak farklı tip ve özellikteki lifler SIFCON'da kullanılarak, karışıma giren tüm malzemeler ikame edilen lif tiplerinin SIFCON'un birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu gibi parametreleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Deneysel çalışmaların ve sonuçlarının değerlendirilmesi ile ilgili detaylar Bölüm 5'te verilmiştir.

4.2.2.1. Karışımın belirlenmesi

SİFCON betonlarının karışım dizaynı için henüz yerli ve yabancı herhangi bir standart mevcut değildir. Karışımı oluşturan taneli malzemelerin sıkı bir yapı oluşturacak şekilde oranlanması için farklı karışım teorileri kullanılmaktadır. Bu çalışmada da SİFCON karışımı için daha önceki tez çalışmalarından yararlanılmış ve içeriği Tablo 4.9'da verilmiştir. Bulamacın karışım oranları için ise düzenleme yapılmıştır. Bulamaca yüksek işlenebilirlik özelliği sağlamak için kimyasal katkı tipi oranı ile su/çimento oranı üzerinde sayısız ön deney yapılmış ve sonuç olarak Tablo 4.9 karışım oranlarının kullanılmasına karar verilmiştir. Karışımın liflerin arasındaki boşlukları doldurma etkisi üzerinde de ayrıca doldurulmuştur.

Tablo 4.9. 1 m³ SİFCON betonu için kullanılan malzeme miktarları

Malzemeler	Miktarlar (kg)
Çimento	900
Silis Dumanı	270
Kuvars Pudrası	278
Kuvars Kumu (100-300 µm)	252
Kuvars Kumu (300-600 µm)	252
Su	270
Katkı	36
Su/Çimento	0,30
Katkı/çimento	0,04

4.2.2.2. Lif tipinin belirlenmesi

Lif tipinin belirlenmesi için, liflerin enerji yutabilme kapasiteleri (tokluk) göz önünde bulundurularak karışımda kullanılacak lifler kalıba doldurulmuş ve liflerin eğilme ve basınç parametrelerine etkisi araştırılmıştır. Lifler ilk olarak tek başına kullanılmış daha sonrada birbirleri ile kombinasyonlu olarak kullanılmıştır. Liflerin kullanım tipi ve kodları Tablo 4.10'da verilmiştir.

Tablo 4.10. Lif tipleri ve kodları

Sıra No	Numune kodu	Lif Tipi			
		Mikro Polimer Lif (L= 19 mm)	Makro Polimer Lif (L= 54 mm)	Dalgalı Çelik Lif (L= 60 mm)	Kancalı Çelik Lif (L= 60 mm)
1	Şahit	-	-	-	X
2	DÇ	-	-	X	-
3	DÇUPP	-	1/2X	1/2X	-
4	UPP	-	X	-	-
5	KPP	X	-	-	-
6	UKPP	1/2X	1/2X	-	-

4.2.2.3. Basınç dayanımının belirlenmesi

Basınç deneyi ile ilgili olarak 100 mm boyutlarında küp numuneler üretilmiştir. Basınç dayanım testleri, yükleme hızı ayarlanabilen 3000 kN kapasiteli beton presinde TSE standartlarına uygun olarak yapılmıştır [30, 31, 32].

Beton presine yerleştirilen yük hücresi ile uygulanan düşey yükü ölçerek bilgisayar ortamına aktaran bir sistem tarafından yapılmıştır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12. Beton basınç dayanımı deneyi

Deney sonuçları ilgili standarda göre değerlendirilerek numunelere ait mekanik özellikler elde edilmiştir [33, 34]. Buna göre elde edilen veriler kullanılarak numunelerin basınç dayanımlarının hesaplanmasında aşağıdaki bağıntı 4.1'de kullanılmıştır.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (4.1)$$

Burada,

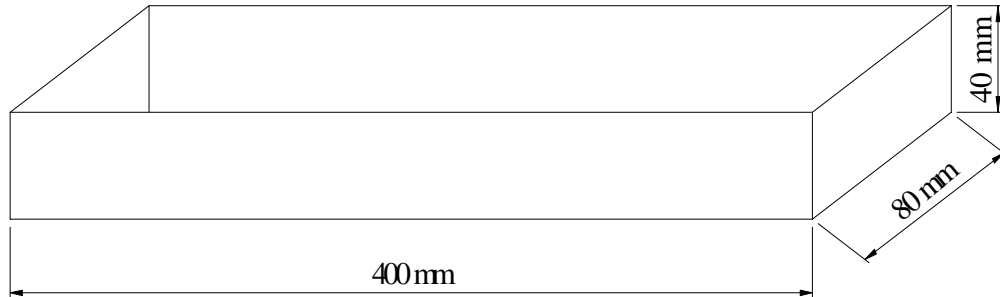
σ = Net basınç dayanımı (MPa)

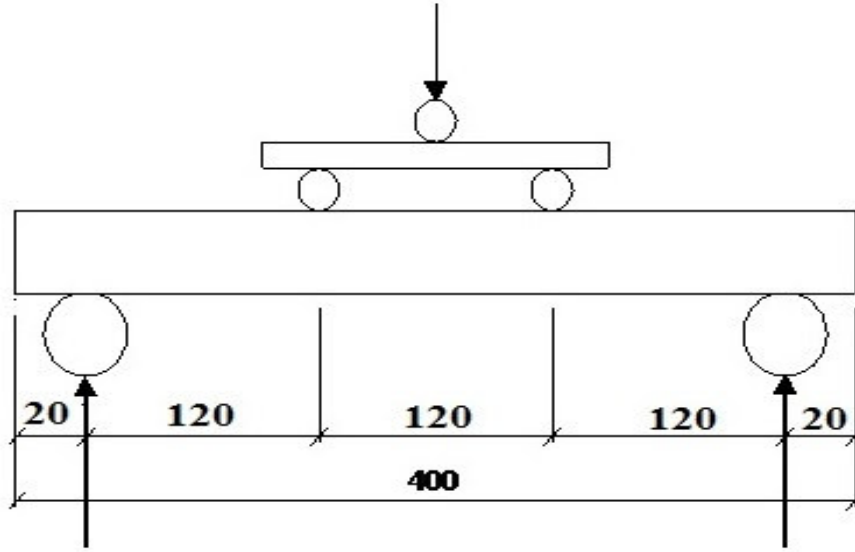
P = Kırılma yükü (N)

A = Numune kesit alanı (mm²)

4.2.2.4. Eğilme dayanımı ve kırılma tokluğunun belirlenmesi

Eğilme deneyi ile ilgili olarak, her bir numuneden 3 adet olmak üzere 80×40×400 mm numune üretilmiştir (Şekil 4.13).





Şekil 4.13. Eğilme deneyi numune ve yükleme şekli

Eğilme deneyleri bilgisayar donanımlı ve yük sehim grafiğini otomatik olarak çizebilen eğilme test cihazında yapılmıştır. Kiriş numuneleri her iki ucundan mesnetleri 20 mm geçecek şekilde kendi etrafında dönebilen rulo şeklindeki mesnetler üzerine konulmuştur (Şekil 4.14). İki mesnet arasındaki açıklık olan 360 mm, üç eşit parçaya bölünerek kiriş numunesi Şekil 4.12'deki gibi iki noktadan yüklenmiştir. Deney cihazının yükleme hızı TS 10515'te belirtildiği gibi kiriş orta noktasında, 0,05-0,10 mm/dk. sehim yapacak şekilde ayarlanmıştır [35-40]. Numuneler bu hızda tamamen kırılıncaya kadar yüklenerek yük sehim grafikleri elde edilmiştir. Eğilme numunelerine ait mekanik özellikler ilgili standarda göre ayrı başlıklar altında verilmiştir.



Şekil 4.14. Eğilme deney düzeneği

Net eğilme dayanımlarının hesaplanması; Numunelerin ilk çatlak ve eğilme dayanımlarının hesaplanmasında bağıntı 4.2’de kullanılmıştır.

$$\sigma_e = \frac{P_e l}{bh^2} \quad (4.2)$$

Burada,

σ_e = Net eğilme dayanımı (MPa)

P_e = Kırılma yükü (N)

l = Mesnetler arası uzaklık (mm)

b = Numune kesitinin genişliği (mm)

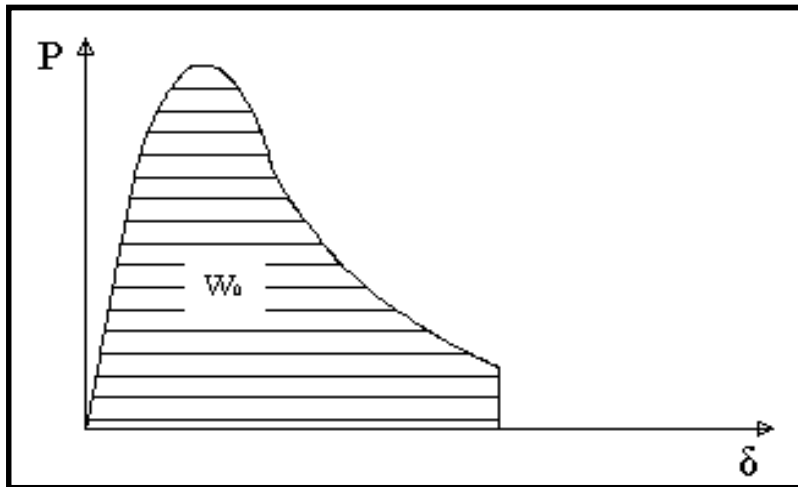
h = Numune kesitinin yüksekliği (mm)

olarak ifade edilmektedir. Numunelere ait dayanımlar hesaplanarak deneysel sonuçlar bölümünde verilmiştir. Elastik şekil değiştirme indeksleri; ASTM C 1018’de tokluk değerlendirilmesi, betonun yük sehim eğrisi altında kalan alan cinsinden ifade edilmektedir [37]. Lifli betonun taşıma gücünü yitirmesi için gereken

enerji, yük-sehim eğrisinin altında kalan alanın büyümesi ile artmaktadır. Bu alan kullanılarak malzemenin eğilme özellikleri hakkında değerlendirme yapılabilmektedir.

Kırılma tokluğu ve enerjilerinin hesaplanması; Bir numunenin yük-sehim eğrisi oluşturulduğunda, bu eğrinin altında kalan alan kırılma tokluğunu vermektedir. Ayrıca bu alan kullanılarak, kırılma süresince harcanan enerji bulunabilmektedir. Birim alan başına çatlak oluşturmak için gereken enerji miktarı malzemenin kırılmaya karşı direncini belirler. Sünek malzemelerde şekil değiştirme kapasitesi yüksek olduğu için, kırılma anında büyük sehimlere ulaşılmakta ve harcanan enerji artmaktadır. Burada, numunelerin yük sehim eğrileri elde edilerek kırılma enerjileri hesaplanabilmektedir. Gevrek malzemelerde şekil değiştirme miktarı küçük olduğundan bu tür malzemelerin enerji yutma kapasitesi, yüksek sehim yapabilen sünek malzemelere karşın düşüktür. Bu çalışmada kullanılan çelik lifler betona yüksek süneklik özelliği kazandırır ve Üretilen numunelerde çelik lifler kullanıldığı için kırılma yavaş gerçekleşmekte ve sehim miktarı artmaktadır. Böylece, numunelerin kırılma enerjileri normal betona göre daha yüksek olacaktır [41].

Şekil 4.15’de örnek bir yük-sehim eğrisi ve denklem 4.3’de kırılma enerjisinin (G_f) hesaplanma yöntemi gösterilmektedir.



Şekil 4.15. Yük sehim grafiği ve kırılma tokluğu [41].

$$G_f = \frac{W_0 + mg\delta_0}{A} \quad (4.3)$$

Burada;

G_f = Kırılma enerjisi (N/m)

W_0 = Yük-Sehim eğrisi altında kalan alan-tokluk (Nm)

m = Kirişin mesnetler arasında kalan ağırlığı (kg)

g = Yer çekimi ivmesi (9,81 m/sn²)

δ_0 = Kirişin göçme sırasındaki deformasyonu (m)

A = Etkin kesit alanı (m²)

olarak ifade edilmektedir. Kirişin göçme sırasındaki deformasyonu olarak tanımlanan değer her kiriş için farklı olacağı ve bu son deformasyonun ani olarak kirişin parçalanması durumunda ölçülmesinin zor olduğu bilinmektedir. Yerli ve yabancı standartlarında iki mesnet arasındaki açıklığın 150 sabit sayısına bölünmesi ile elde edilmektedir ve standarda göre üretilen numunelerde 3 mm'ye tekabül etmektedir [35-40]. Numunelerin normal standartlara göre daha küçük boyutta olmasına rağmen sünekliği normal betonlara göre fazla olmaktadır. Bu nedenle son deformasyon değeri olarak 10 mm kabul edilmiş ve yük sehim eğrisinin bu sehime kadar olan kısmı dikkate alınarak değerlendirmeler yapılmıştır.

Yük sehim eğrisinin altında kalan düzensiz şekilli alanların belirlenmesi Simpson matematik kuralının uygulanmasını veya bilinen alanlardaki karelerin sayılmasını gerektirmektedir. Bu alanların bulunmasında matlab veya excel hazır paket programından yararlanılmıştır [42].

4.2.2.5. Ultrases hızının belirlenmesi

Ultrases geçiş hızı deneyi, beton içerisindeki boşluk miktarından yola çıkarak ses iletiminin hızına göre beton kalitesi hakkında fikir edinebilmek için yapılan tahribatsız deneylerdendir. Deney, 10x10x10 cm boyutlu 7 ve 28 günlük küp numunelerde ASTM C597-09 uygun olarak yapılmıştır [43]. Ultrases aletinin problemleri, küp numunenin iki karşıt yüzeyine Şekil 4.16'daki gibi tatbik edilmiş ve

ekrandan ses geçiş süresi okunmuştur. Ses kaybını önlemek amacıyla problar ile numune arasına gres yağı sürülmüştür. Ses geçiş süresi (t , μs) ekrandan okunarak problar arası mesafe (ℓ , mm) ye oranlanması suretiyle ses geçiş hızı (V , mm/ μs) elde edilmiştir.

$$V = \frac{\ell}{t} \quad (4.4)$$

Bağıntı (4.4) ile hesaplanan ses geçiş hızı, betonun nicel anlamda dayanımı konusunda belirleyici olmasa da kalitesi hakkında fikir vermektedir. Ses geçiş hızına göre beton kalite aralıkları Tablo 4.11’de verilmiştir.

Tablo 4.11. Ultra ses hızı

Ultrases Geçiş Hızı (km/sn)	<2.0	2.0-3.0	3.0-3.5	3.5-4.5	>4.5
Beton Kalitesi	Çok Zayıf	Zayıf	Şüpheli	İyi	Çok İyi



Şekil 4.16. Ultrases geçiş hızı deneyi

4.2.2.6. Schmidt deneyi

Yüzey sertliğinden yola çıkarak basınç dayanımı tahminine dayanan Schmidt Çekici Deneyi tahribatsız beton deneylerindedir. Bu deney sayesinde, tahribat oluşturmaksızın betonun basınç dayanımı hakkında fikir elde edebilmek mümkündür. Deney için 7 günlük 90 C sıcak buhar kürüne tabi tutulmuş 10x10x10 cm boyutlu küp numuneler kullanılmıştır.

Beton çekici yalnız gözeneksiz betonlar için uygundur. Ölçüm yapılacak yüzey temiz, düz ve kuru bir sath olmalıdır. Bunun için beton yüzeyi boya, yağ, toz gibi maddelerden arındırılarak düzgün bir hale getirilmelidir. Her bir örnek yüzeyden en az 10 okuma alınmalı ve her okuma noktası arasında minimum 20 mm bulunmalıdır. Ayrıca kenarlara 40-50 mm den fazla yaklaşılmamalıdır (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. Schmidt çekici deneyi

BÖLÜM 5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Deneysel Bulgular ve Tartışma

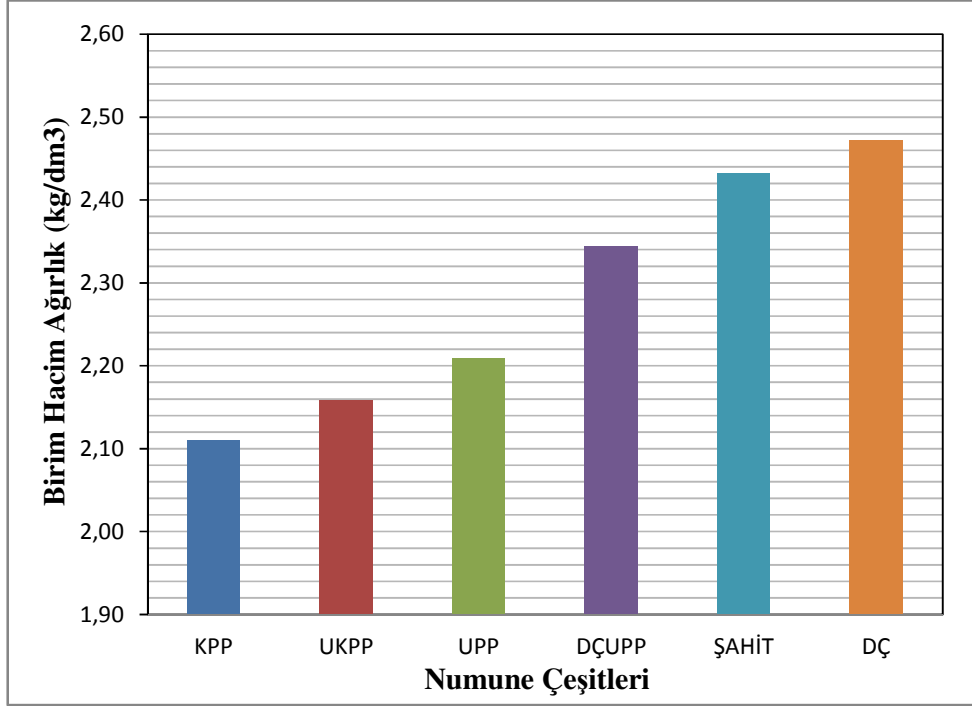
Deney sonuçları ayrı başlıklar altında incelenmiştir.

5.1.1. Birim hacim ağırlık

Basınç deneyinde kullanılmak üzere üretilen 100 mm'lik küp numunelerde ŞAHİT, DÇ, DÇUPP, UPP, KPP ve UKPP içeren beton numunelerinin birim hacim ağırlığına ait değerleri Tablo 5.1'de değişim grafiği ise Şekil 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Beton birim hacim ağırlıkları

Numune Adı	Birim hacim ağırlık(kg/dm ³)
ŞAHİT	2.43
DÇ	2.47
DÇUPP	2.34
UPP	2.21
KPP	2.11
UKPP	2.16



Şekil 5.1. Beton birim hacim ağırlık değişim grafiği

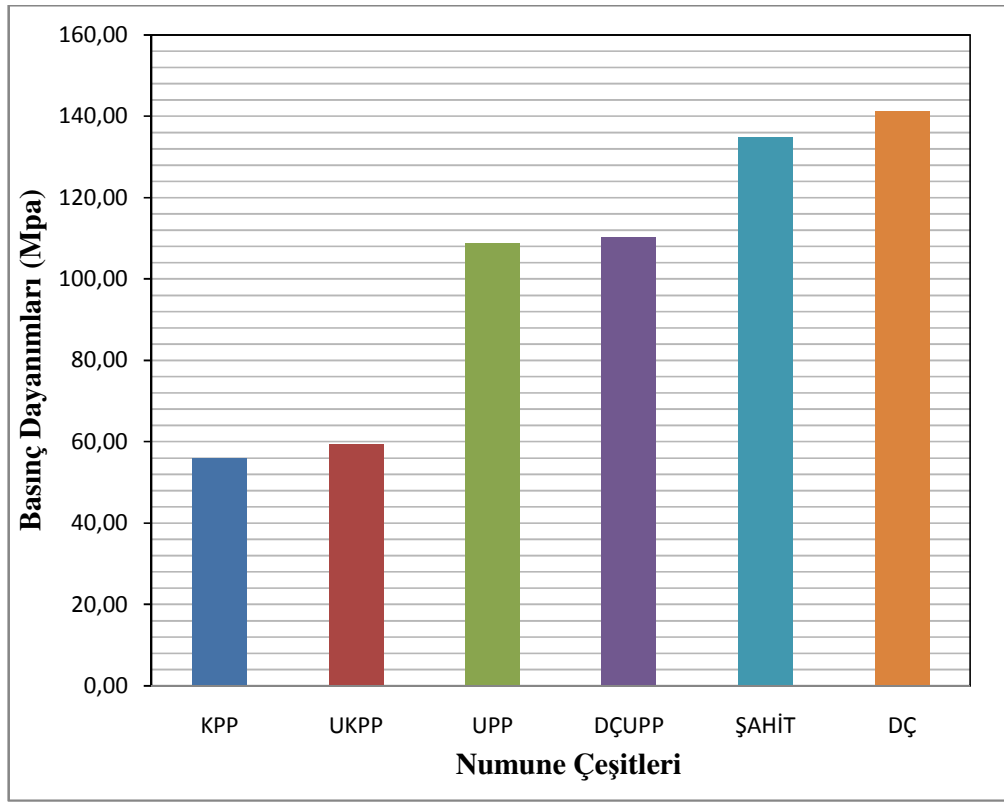
Tablo 5.1 ve Şekil 5.1 incelendiğinde üretilen numunelerin, Birim hacim ağırlık değerleri 2,1 kg/dm³, 2,5 kg/dm³ arasında bir değerde dağılım göstermektedir. Birim hacim ağırlıkları Çelik lif içeren numunelerin polimer lif içeren numunelere göre artış gösterdiği görülmektedir. Buradan çelik liflerin özgül ağırlığının polimer liflerden yüksek olması numunelerin birim hacim ağırlığında artırdığı anlaşılmaktadır.

5.1.2. Basınç dayanımı

Basınç deneyinde kullanılmak üzere üretilen 100 mm'lik küp numunelerde ŞAHİT, DÇ, DÇUPP, UPP, KPP ve UKPP içeren beton numunelerinin basınç dayanımına ait değerler Tablo 5.2'de değişim grafiği ise Şekil 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2. Beton basınç dayanımı

Numune Adı	Basınç Dayanımı(MPa)
ŞAHİT	134.83
DÇ	141.29
DÇUPP	110.38
UPP	108.73
KPP	55.91
UKPP	59.43



Şekil 5.2. Beton basınç dayanımı değişim grafiği

Grafikte incelendiğinde lif tipi ile basınç dayanımını arasında belirgin bir ilişki vardır. Polipropilen lif kullanılan numunelerde basınç dayanımı diğer çelik liflere göre daha düşüktür. Çelik liflerin beton içerisinde polipropilen liflere göre daha sağlam bir agregaya gibi davranması basınç dayanımının artmasının başlıca nedeni olmaktadır. Bu doğrultuda, DÇ ve ŞAHİT kodlu çelik lif içeren numunelerin basınç dayanımlarının diğer gruplar içinde en yüksek sonucu vermektedir. KPP, UKPP 'in basınç değerleri ise en düşük değeri almıştır.

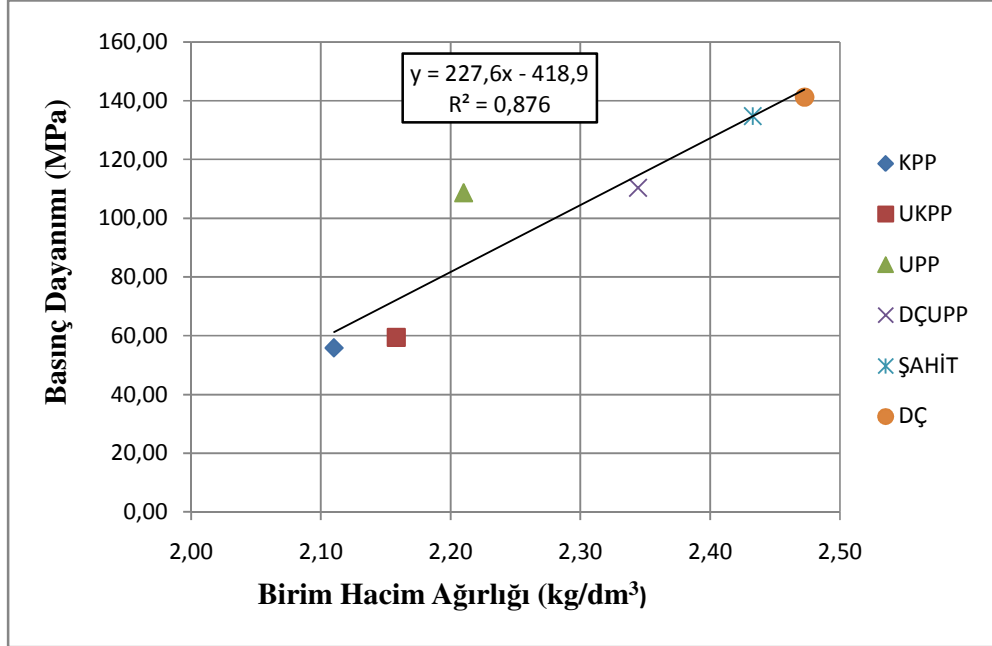
Karışımındaki lif türü polimerden çelik life doğru bir değişim gösterdiğinde çelik lifli numunelerin basınç dayanımlarının arttığı, ayrıca lif tipinin mikrodan makroya değişimi ile de basınç dayanımında artış olduğu görülmektedir.

Basınç dayanımlarındaki bu değişimin aynı miktardaki mikro lif sayısı makro lif sayısından çok daha fazladır. Bu nedenle betondaki lif pasta ara yüzeyi çok daha fazla olmakta ve buda zayıf noktalar oluşturmaktadır. Ayrıca lif sayısının artması işlenebilirliği de olumsuz etkileyerek boşluk miktarını arttırmaktadır. Polipropilen liflerin dayanımının düşük olması betondaki kusur miktarını da arttırmaktadır. Bu nedenle mikro polipropilen lifli numunelerin basınç dayanımı daha düşük olmaktadır.

Tablo 5.3’de numunelerin beton basınç dayanımı ve birim hacim ağırlığı değişim grafiği ve Şekil 5.3’de ise numunelerin basınç dayanımı birim hacim ağırlık arasındaki ilişki gösterilmiştir.

Tablo 5.3. Beton basınç dayanımı-birim hacim ağırlık ilişkisi

Numune Adı	Basınç Dayanımı (MPa)	Birim hacim ağırlık(kg/dm³)
ŞAHİT	134,83	2,43
DÇ	141,29	2,47
DÇUPP	110,38	2,34
UPP	108,73	2,21
KPP	55,91	2,11
UKPP	59,43	2,16



Şekil 5.3. Beton Basınç Dayanımı-Birim Hacim Ağırlık İlişkisi grafiği

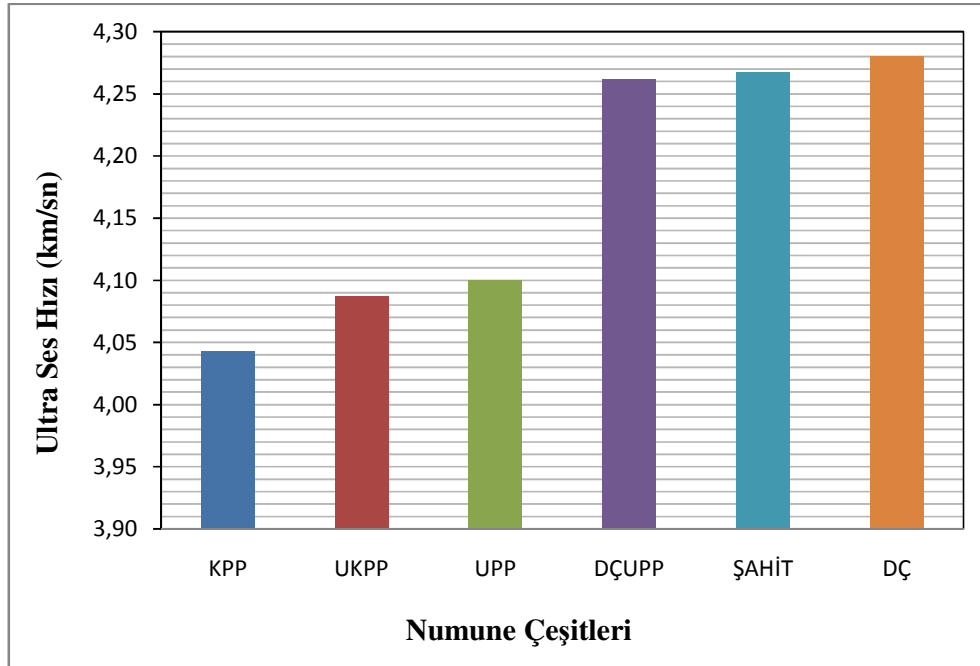
Şekil 5.3 incelendiğinde ise betonun birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı arasında korelasyon değerine bağlı bir ilişkiden söz edebiliriz. Birim hacim ağırlığındaki artış ile basınç dayanımında da artış olduğu grafikte gözükmektedir. Yukarıda bahsedildiği gibi lif sayısının artması işlenebilirliği ve buna bağlı olarak yerleştirmeyi olumsuz etkileyerek boşluk miktarını arttırmıştır.

5.1.3. Ultra ses geçiş hızı

Basınç deneyinde kullanılmak üzere üretilen 100 mm'lik küp numunelerde ŞAHİT, DÇ, DÇUPP, UPP, KPP ve UKPP içeren beton numunelerinin ultra ses geçiş hızına ait değerler Tablo 5.4'de değişim grafiği ise Şekil 5.4'de verilmiştir.

Tablo 5.4. Ultra ses geçiş hızı

Numune Adı	Ultra Ses Hızı (km/sn)
ŞAHİT	4,27
DÇ	4,28
DÇUPP	4,26
UPP	4,10
KPP	4,04
UKPP	4,09



Şekil 5.4. Beton ultra ses hızı değişim grafiği

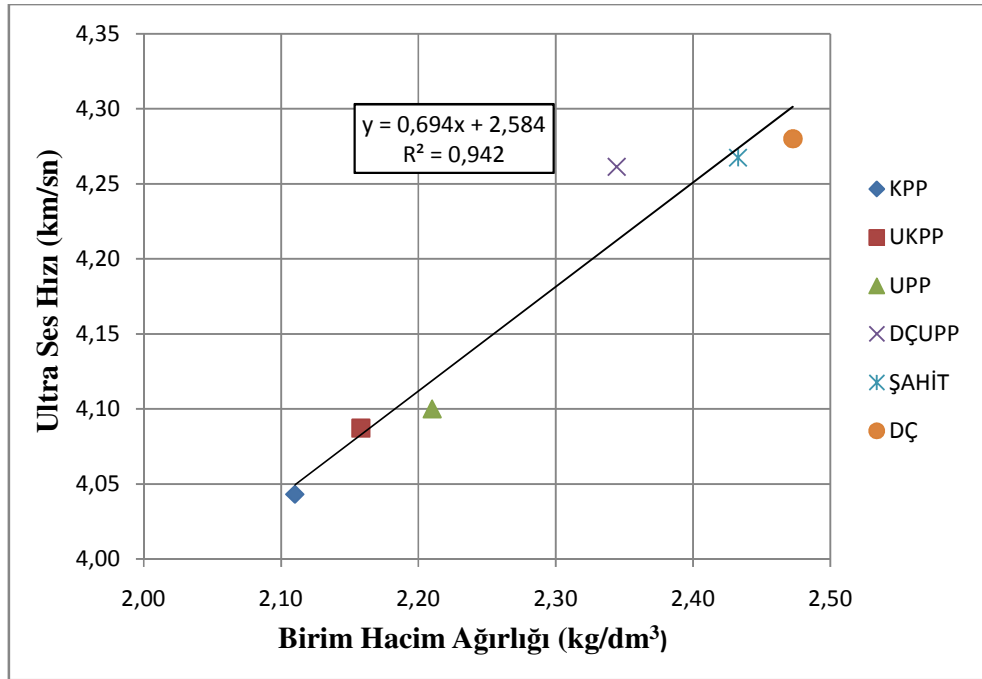
Tablo 5.4 incelendiğinde ultra ses geçiş hızı değerleri en yüksek olan numuneler DÇUPP, ŞAHİT ve DÇ' dir. En düşük olan numuneler ise KPP, UKPP, UPP 'e aittir. Ultra ses geçiş hızı değeri grafik 5.4. incelendiğinde numunelere elik liflerin dahil edilmesi sonucu ultra ses hızlarında artış gözlenmektedir.

Ultra ses hızı elik lif içeren numunelerde, polimer lif içeren numunelere göre daha yüksektir. Bunun nedeni olarak elik liflerin polimer liflere göre ses dalgalarını daha iyi iletmesiyle açıklanabilir.

Tablo 5.5’de numunelerin ultra ses geçiş hızı ve birim hacim ağırlık değerleri ve Şekil 5.5’de ise ultra ses geçiş hızı birim hacim ağırlığı arasındaki ilişki gösterilmiştir.

Tablo 5.5. Ultra ses hızı-birim hacim ağırlık ilişkisi

Numune Adı	Ultra Ses Hızı (Km/sn)	Birim hacim ağırlık(kg/dm ³)
ŞAHİT	4,27	2,43
DÇ	4,28	2,47
DÇUPP	4,26	2,34
UPP	4,10	2,21
KPP	4,04	2,11
UKPP	4,09	2,16



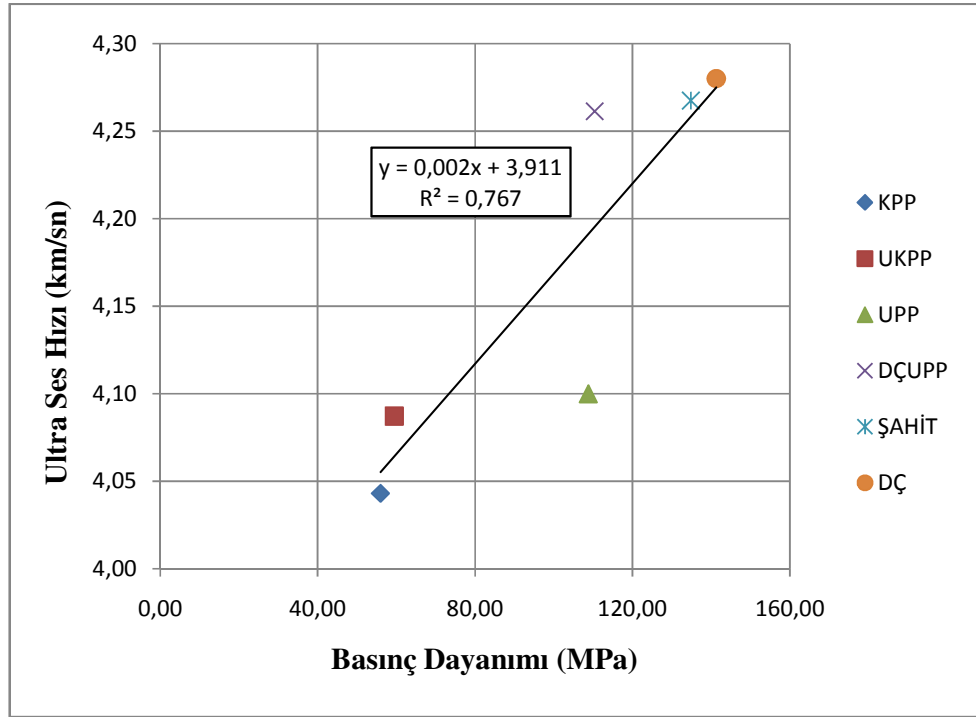
Şekil 5.5. Ultra ses hızı -birim hacim ağırlık ilişkisi grafiği

Şekil 5.5 incelendiğinde deney numunelerinde birim hacim ağırlık ve ultra ses geçiş hızı arasında birbirini etkileyen yüksek korelasyonlu bir bağıntı olduğu görülmektedir. Numune içeriğindeki elik liflerin özgül ağırlıkların ve iletkenliklerinin polimer liflere göre yüksek olmasından dolayı birim hacim ağırlığındaki artış iletkenliği ve dolayısıyla ultra ses geçiş hızını da arttırmaktadır.

Tablo 5.6'da Ultra ses geçiş hızı ile beton basınç dayanımı değerleri ve.Şekil 5.6' da ise ultra ses geçiş hızı ve basınç dayanımı arasındaki ilişki gösterilmiştir.

Tablo 5.6. Ultra ses hızı-basınç dayanımı ilişkisi

Numune Adı	Ultra Ses Hızı (km/sn)	Basınç Dayanımı (MPa)
ŞAHİT	4,27	134,83
DÇ	4,28	141,29
DÇUPP	4,26	110,38
UPP	4,10	108,73
KPP	4,04	55,91
UKPP	4,09	59,43



Şekil 5.6. Ultra ses hızı-basınç dayanımı ilişkisi grafiği

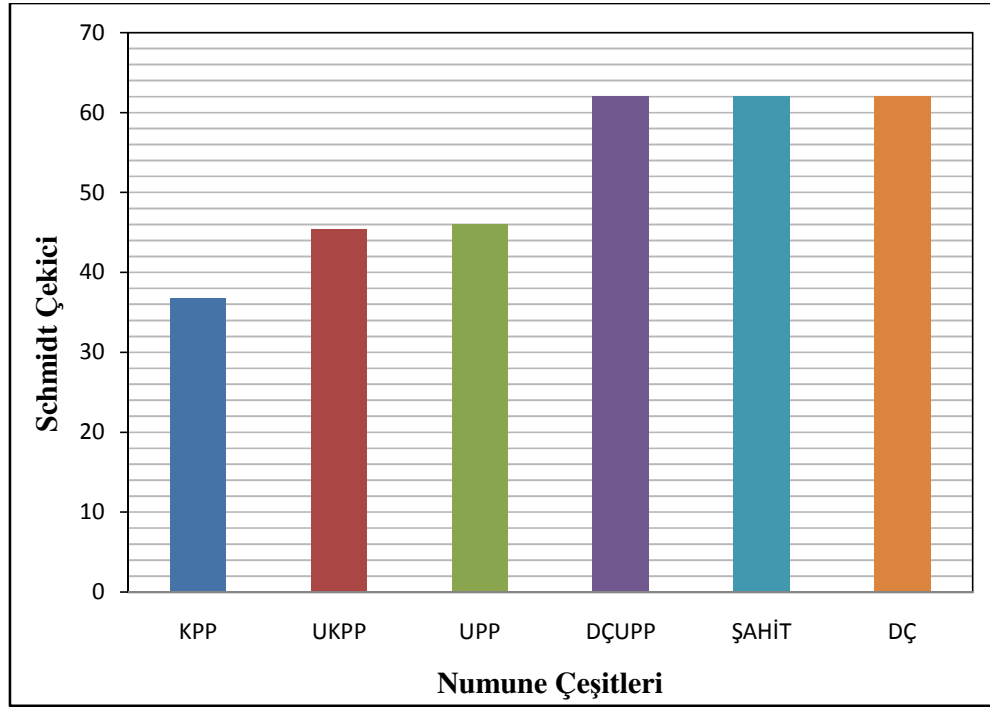
Şekil 5.6 incelendiğinde ultra ses geçiş hızı ve beton basınç dayanımı arasında lineer bir bağıntı vardır. Ultra ses hızının artmasıyla beton basınç dayanımının arttığı görülmektedir. Ultra ses hızı ve basınç dayanımı, betonun boşluk yapısıyla doğrudan etkilidir. Bu nedenle ultrases hızının artmasıyla basınç dayanımının artması beklenmelidir. Bu çalışmada benzer durum görülmektedir

5.1.4. Schmidt çekici deneyi

Basınç deneyinde kullanılmak üzere üretilen 100 mm'lik küp numunelerde ŞAHİT, DÇ, DÇUPP, UPP, KPP ve UKPP içeren numunelerin Schmidt test çekici deneyine ait değerler Tablo 5.7'de değişim grafiği ise Şekil 5.7'de verilmiştir.

Tablo 5.7. Schmidt çekici deneyi

Numune Adı	Schmidt Testi
ŞAHİT	62
DÇ	62
DÇUPP	62
UPP	46
KPP	37
UKPP	45



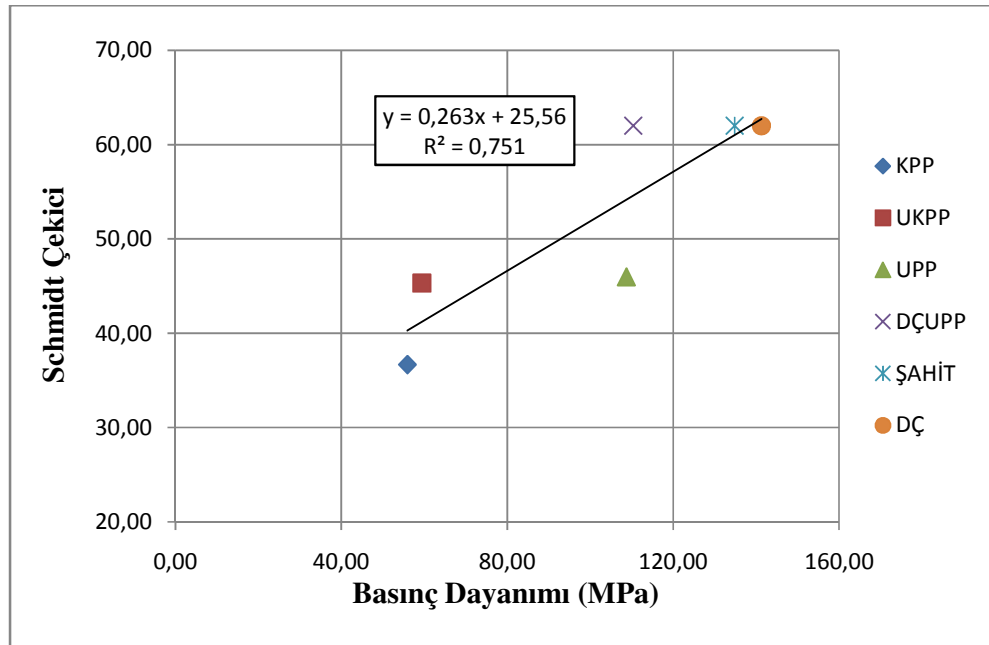
Şekil 5.7. Beton ultra ses hızı değişim grafiği

Tablo 5.7 ve grafik 5.7 incelendiğinde Schmidt sonuçları karışımdaki liflerin çelik olması Schmidt sonucunu arttırmakta polimer olması ise azaltmaktadır. Buda liflerin sertliğiyle ilişkilendirilebilmektedir.

Tablo 5.8’de Numunelerin Schmidt testi ve beton basınç dayanım sonuçları Şekil 5.8’de ise Schmidt testi basınç dayanımı arasındaki ilişki gösterilmiştir.

Tablo 5.8. Schmidt çekici-basınç dayanımı ilişkisi

Numune Adı	Schmidt Testi	Basınç Dayanımı (MPa)
ŞAHİT	62	134,83
DÇ	62	141,29
DÇUPP	62	110,38
UPP	46	108,73
KPP	37	55,91
UKPP	45	59,43



Şekil 5.8. Schmidt çekici-basınç dayanımı ilişkisi grafiği

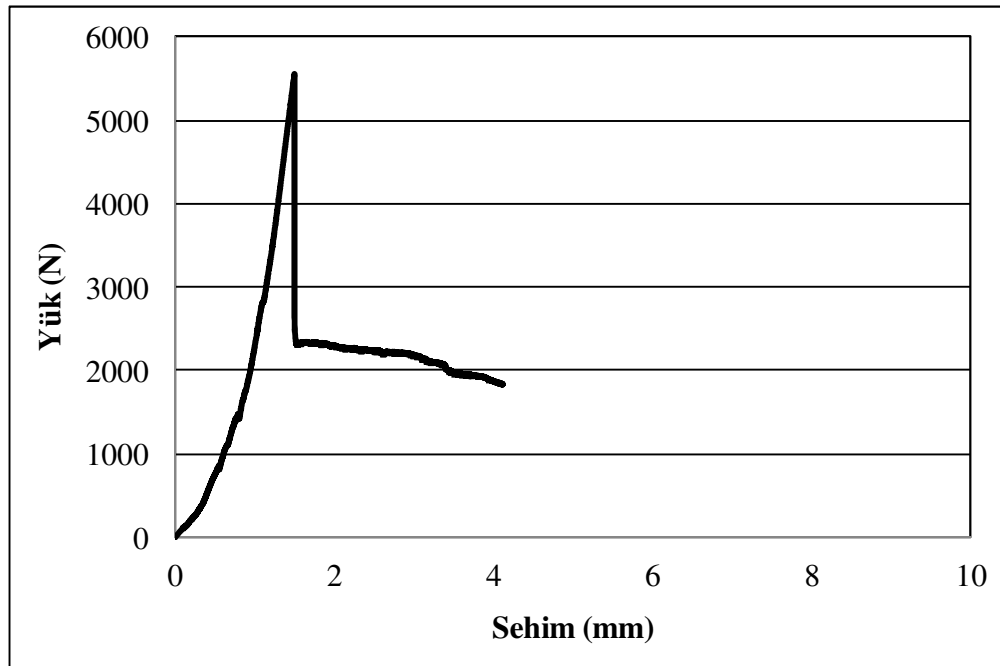
Tablo 5.8 ve Şekil 5.8 incelendiğinde basınç dayanımı ve Schmidt çekici deneyi arasında lineer bir bağıntı olduğu görülmektedir. Grafiğe bakıldığında beton basınç dayanımının Schmidt çekici değerinin en yüksek olduğu serinin DÇ olduğu sırası ile ise ŞAHİT, DÇUPP, UPP, UKPP, en düşük olduğu serinin ise KPP olduğu anlaşılmaktadır. Bunun sebebi ise beton basınç dayanımı yüksek olan betonların Schmidt çekici değerlerinin de yüksek olmasıdır. Dolayısı ile beton basınç dayanımının artması ile Schmidt çekici değerlerinin arttığı görülmektedir.

5.1.5. Eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu

Eğilme dayanımında kullanılmak üzere üretilen 40x80x400 mm'lik prizmatik numunelerde ŞAHİT, DÇ, DÇUPP, UPP, KPP ve UKPP içeren numunelerin eğilme dayanımlarına ait yük sehım grafikleri aşağıda incelenmiştir.

5.1.5.1. Polimer liflerin kullanılması

UPP lif içeren SİFCON'nun yük sehım grafiği Şekil 5.9'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde, yükün tepe noktasında ani olarak düştüğü görölmektedir. Deney sırasında yükün ani olarak düştüğü noktada UPP liflerin büyük kısmının koptuğu bir kısmının da sıyrıldığı görölmüştür (Şekil 5.10). UPP lif içeren SİFCON'nun eğilme dayanımı 15,60 MPa ve kırılma tokluğu 8,37 Nm olarak bulunmuştur.

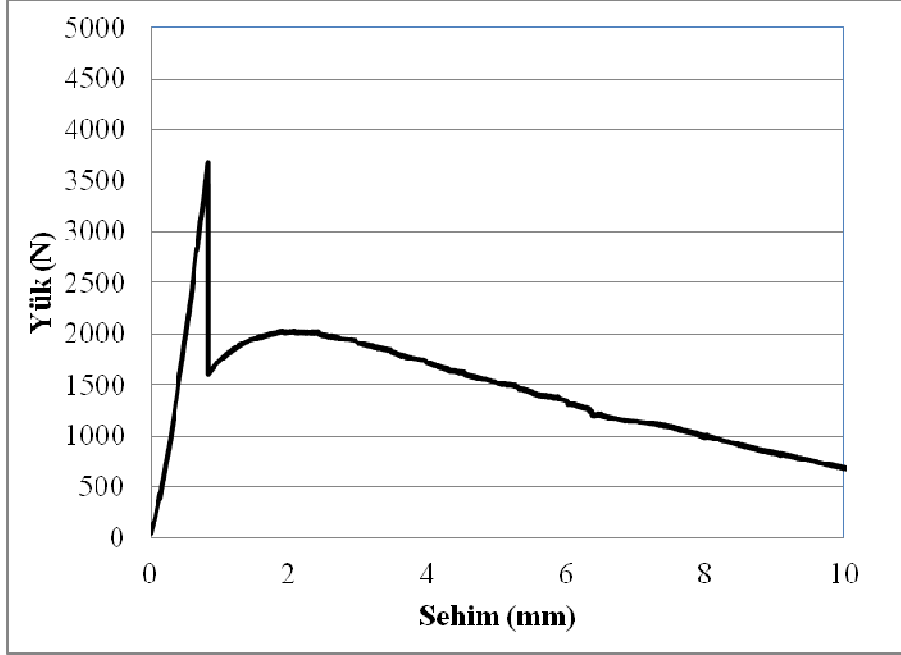


Şekil 5.9. UPP lif içeren SİFCON'nun yük sehım grafiği

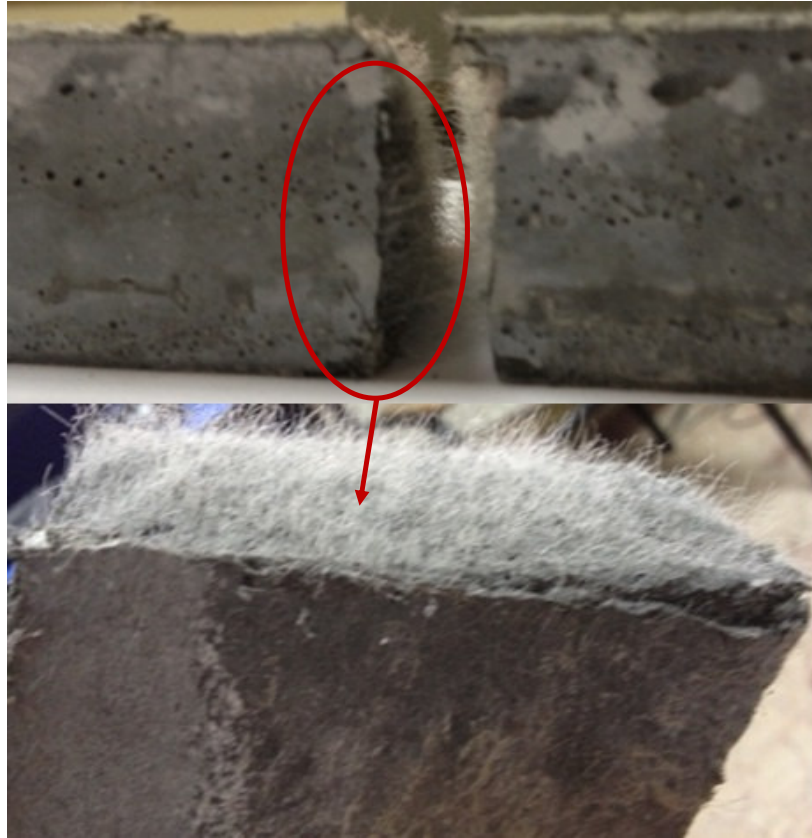


Şekil 5.10. UPP lifin SIFCON'nun içindeki görünümü

KPP lif içeren SIFCON'nun yük sehimi grafiği Şekil 5.11'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde, yükün tepe noktasında ani olarak düştüğü görülmektedir. Deney sırasında yükün ani olarak düştüğü noktada KPP liflerin büyük kısmının koptuğu bir kısmının da sıyrıldığı görülmüştür (Şekil 5.12). KPP lif içeren SIFCON'nun eğilme dayanımı 10,35 MPa ve kırılma tokluğu 15,18 Nm olarak bulunmuştur.

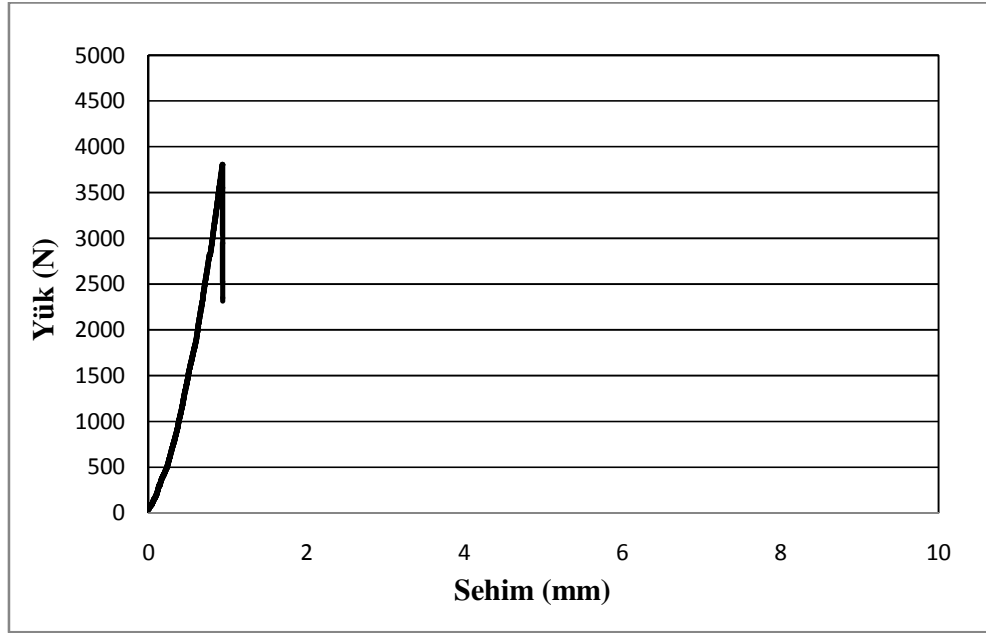


Şekil 5.11. KPP lif içeren SİFCON'nun yük sehim grafiği

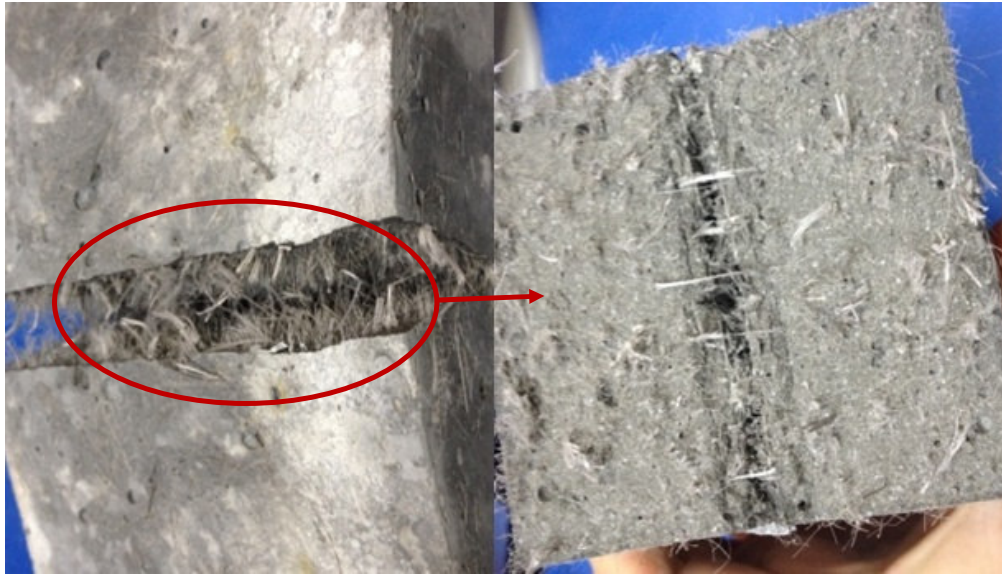


Şekil 5.12. KPP lifin SİFCON'nun içindeki görünümü

UKPP lif karma olarak içeren SİFCON'nun yük sehim grafiği şekil 5.13'de verilmiştir. UKPP lif karma olarak içeren SİFCON'nun eğilme dayanımı 10.71 MPa ve kırılma tokluğu 1.44 Nm olarak bulunmuştur. Eğilme sonucu belirli bir sehimden sonra liflerin büyük kısmının koptuğu gözlemlendi (Şekil 5.14). Liflerin kopması sonucu yük ani olarak düşüş gösterdiği görülmüştür.

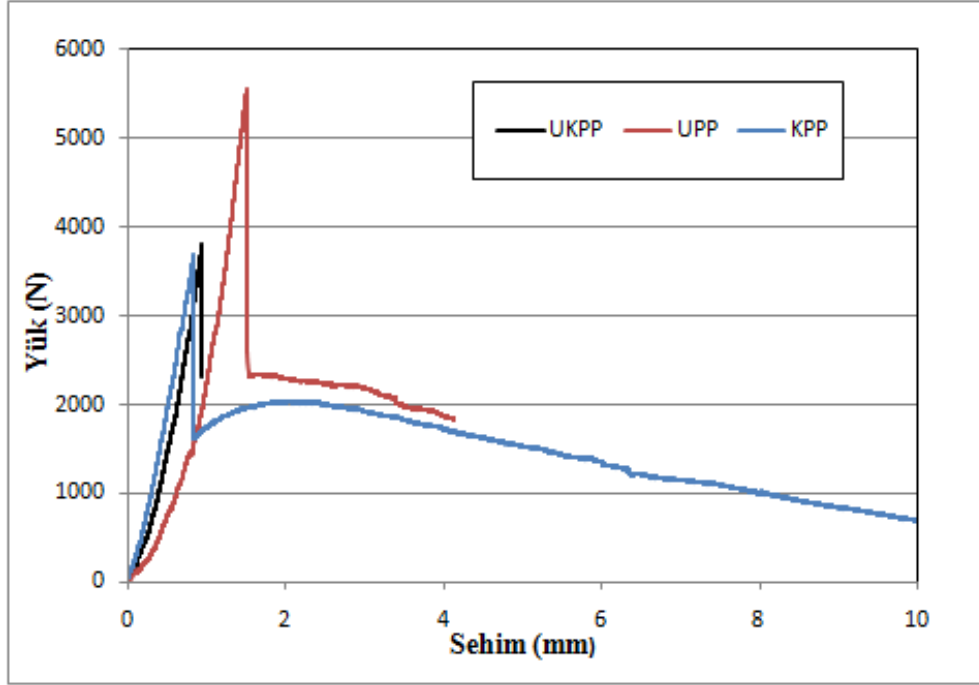


Şekil 5.13. UKPP (UPP +KPP) karma lif içeren SİFCON'nun yük sehim grafiği



Şekil 5.14. UPP ve KPP karma lifin SIFCON'nun içindeki görünümü

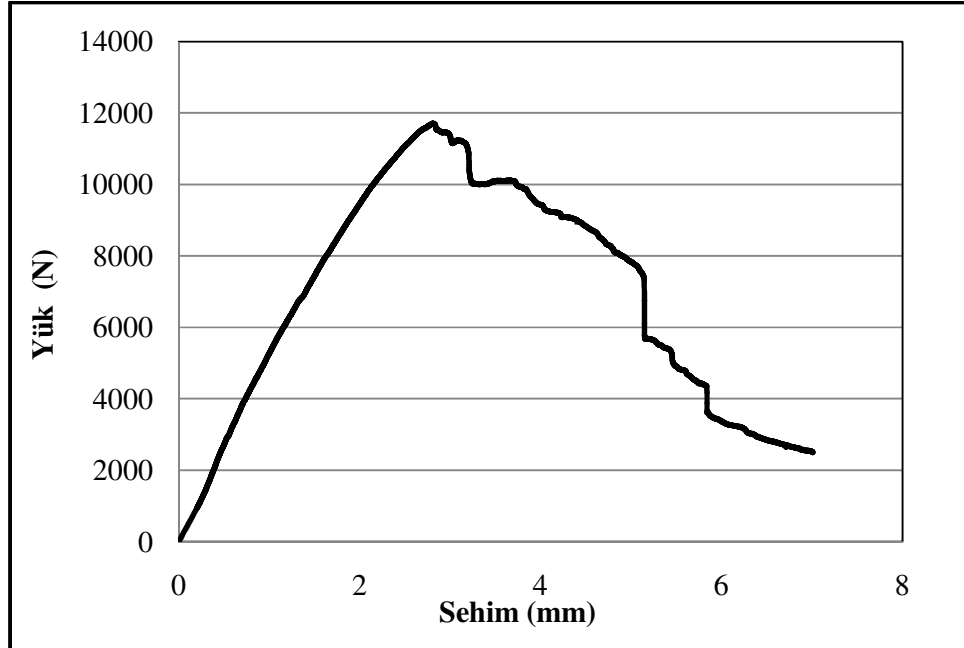
Şekil 5.15 incelendiğinde karma polimer lifli numunenin yük-sehim eğrisinin makro ve mikro polimer lifli numuneler arasında olduğu görülmektedir. Bu durum kompozit malzeme davranışı ile açıklanabilir.



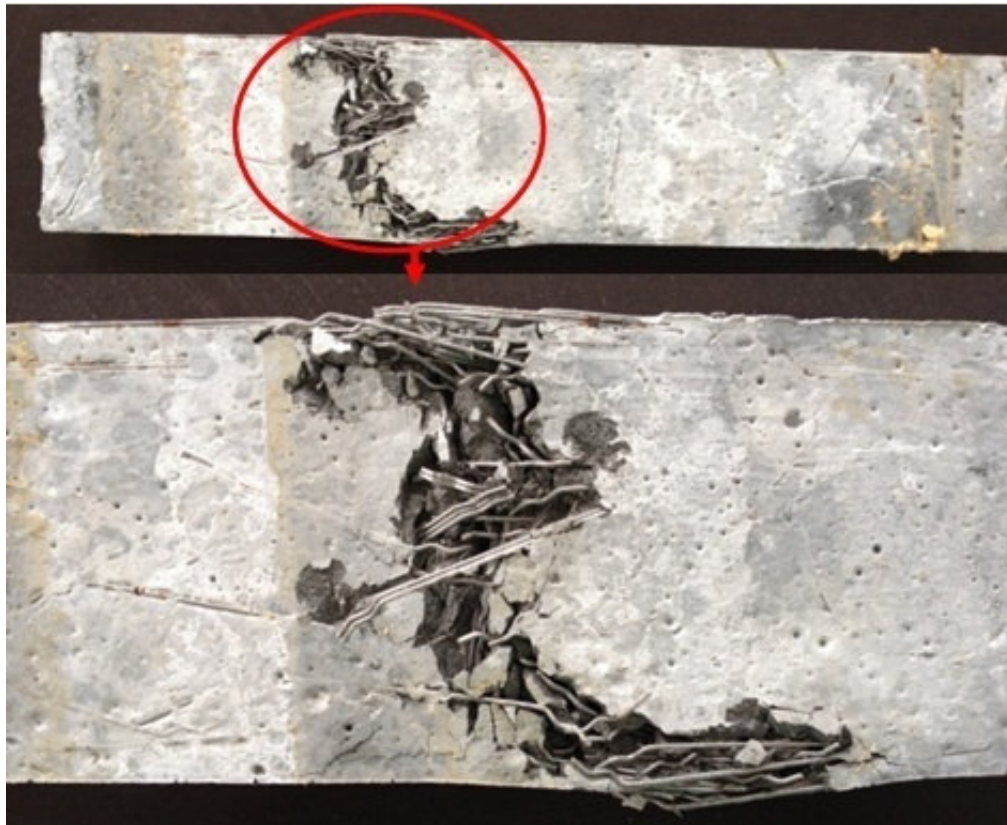
Şekil 5.15. UPP ,KPP ve UKPP karma lif içeren SIFCON'nun yük sehim grafiği

5.1.5.2. Çelik liflerin kullanılması

ŞAHİT lif içeren SIFCON'nun yük-sehim grafiği Şekil 5.16'da verilmiştir. Numunede ilk çatlak oluştuğu yük ile en büyük eğilme yükü birbirine yakın ve 11700 N'dur. Buna göre çatlak dayanımı ve eğilme dayanımı 32,95 MPa ve kırılma tokluğu 47,98 Nm olarak bulunmuştur. Yük sehim grafiğindeki yükte azalma sırasında liflerin sıyrılarak pasta içerisinden çıktığı görülmüştür (Şekil 5.17).

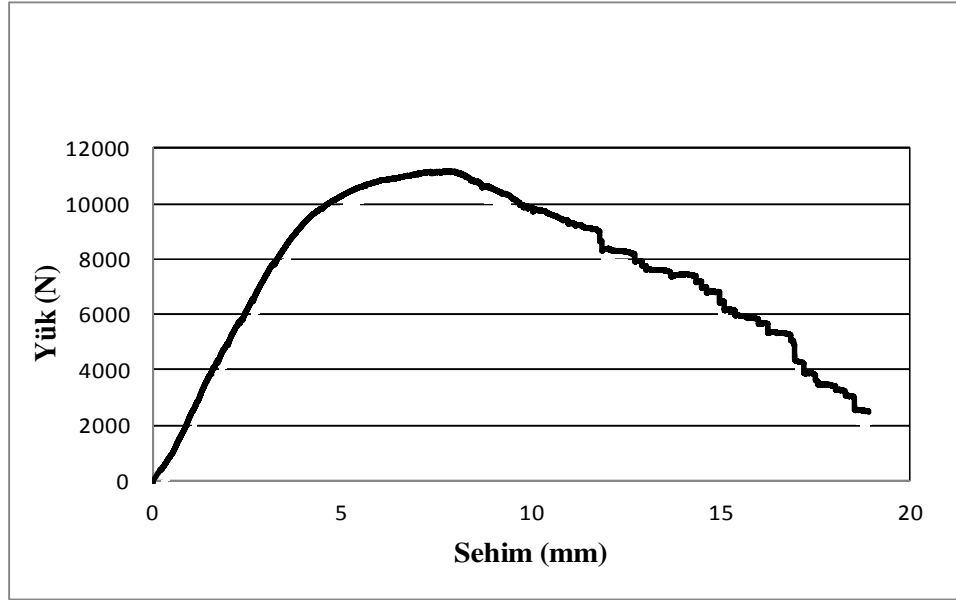


Şekil 5.16. ŞAHİT lif içeren SIFCON'nun yük sehim grafiği



Şekil 5.17. ŞAHİT numunedeki lifin SIFCON'nun içerisindeki görünümü

DÇ lif SİFCON'nun yük-sehim grafiği Şekil 5.18'de verilmiştir. Numunede ilk çatlak oluştuğu yük, yaklaşık 10000 N ve en büyük eğilme yükü ise 11190 N olmuştur. Buna göre çatlak dayanımı yaklaşık 28 MPa, eğilme dayanımı 31,47 MPa ve kırılma tokluğu 142,18 Nm olarak bulunmuştur. Yük sehim grafiğindeki yükte azalma sırasında liflerin sıyrılarak pasta içerisinden çıktığı görülmüştür (Şekil 5.19).

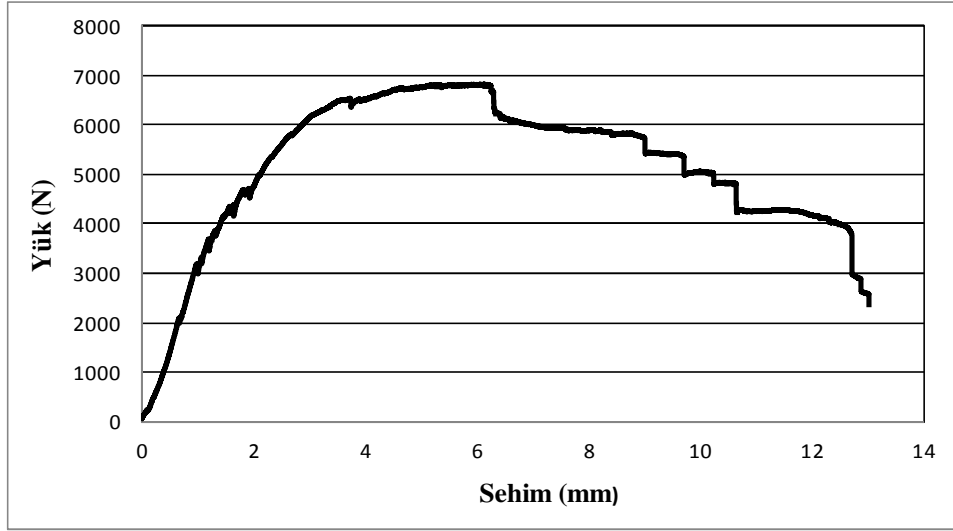


Şekil 5.18. DÇ lif içeren SİFCON'nun yük sehim grafiği



Şekil 5.19. DÇ numunesindeki lifin SİFCON'nun içindeki görünümü

DÇ lif ve UPP lif içeren SİFCON'un yük-sehim grafiği Şekil 5.20'de verilmiştir. Numunede ilk çatlak oluştuğu yük, yaklaşık 4200 N ve en büyük eğilme yükü ise yaklaşık 6800 N olmuştur. Buna göre çatlak dayanımı yaklaşık 11,81 MPa, eğilme dayanımı 19,21 MPa ve kırılma tokluğu 66,94 Nm olarak bulunmuştur. Yük sehim grafiğindeki yükte görülen ani düşüşler, polipropilen liflerin kopması sonucu oluştuğu görülmüştür (Şekil 5.21).



Şekil 5.20. DÇ lif ve UPP lif içeren SİFCON'un yük sehim grafiği

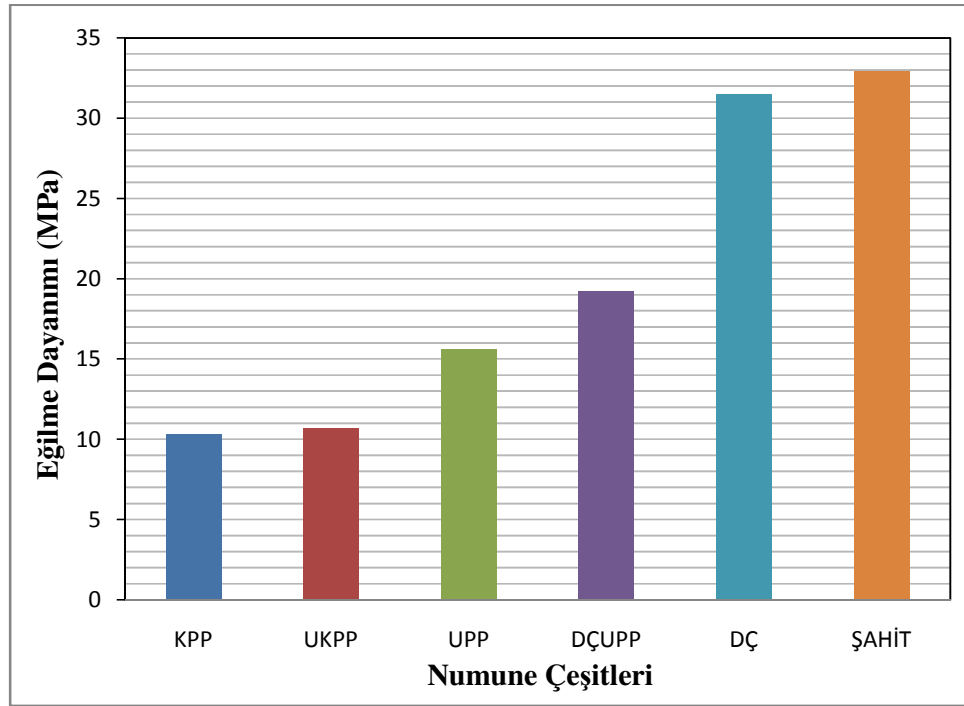


Şekil 5.21. DÇUPP (DÇ+UPP) lifin SİFCON'un içindeki görünümü

Tablo 5.9’da numunelerin eğilme dayanımı değerleri ve Şekil 5.22’de ise eğilme dayanımı değişim grafiği verilmiştir.

Tablo 5.9. Eğilme dayanımları

Numune Adı	Eğilme Dayanımı(MPa)
ŞAHİT	31,47
DÇ	32,95
DÇUPP	19,21
UPP	15,60
KPP	10,35
UKPP	10,71



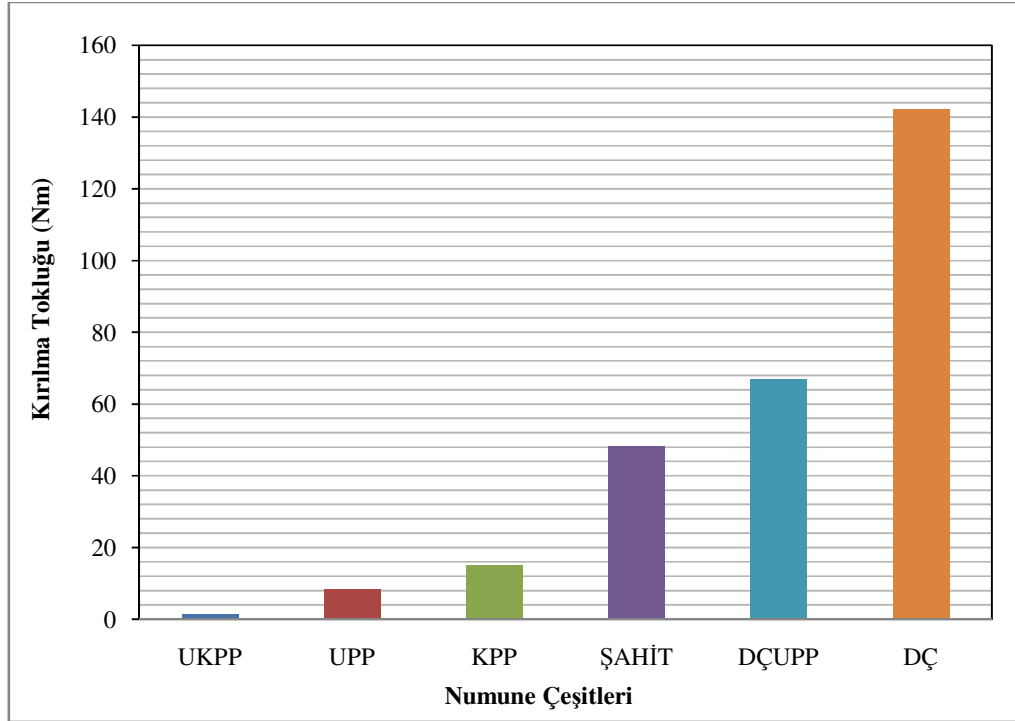
Şekil 5.22. SİFCON eğilme dayanımı değişim grafiği

Tablo 5.9 ve Şekil 5.22 incelendiğinde en düşük eğilme dayanımı KPP en yüksek eğilme dayanımı ise DÇ ve ŞAHİT’e aittir. Kullanılan lif çeşidi polimer olduğunda eğilme dayanımı düşük, çelik olduğunda ise eğilme dayanımı yüksek çıktığı görülmektedir. Polimer lifler ise kendi aralarında incelendiğinde mikro boyuttaki polimer liflerin eğilme dayanımları düşük, makro boyuttaki polimer liflerin eğilme dayanımları ise mikroya göre yüksek çıktığı görülmektedir.

Tablo 5.10'da numunelerin kırılma tokluğu değerleri ve Şekil 5.23'de ise kırılma tokluğu değişim grafiği verilmiştir.

Tablo 5.10. Kırılma tokluğu

Numune Adı	Kırılma Tokluğu(Nm)
ŞAHİT	47,98
DÇ	142,18
DÇUPP	66,94
UPP	8,37
KPP	15,18
UKPP	1,44



Şekil 5.23. Beton kırılma tokluğu değişim grafiği

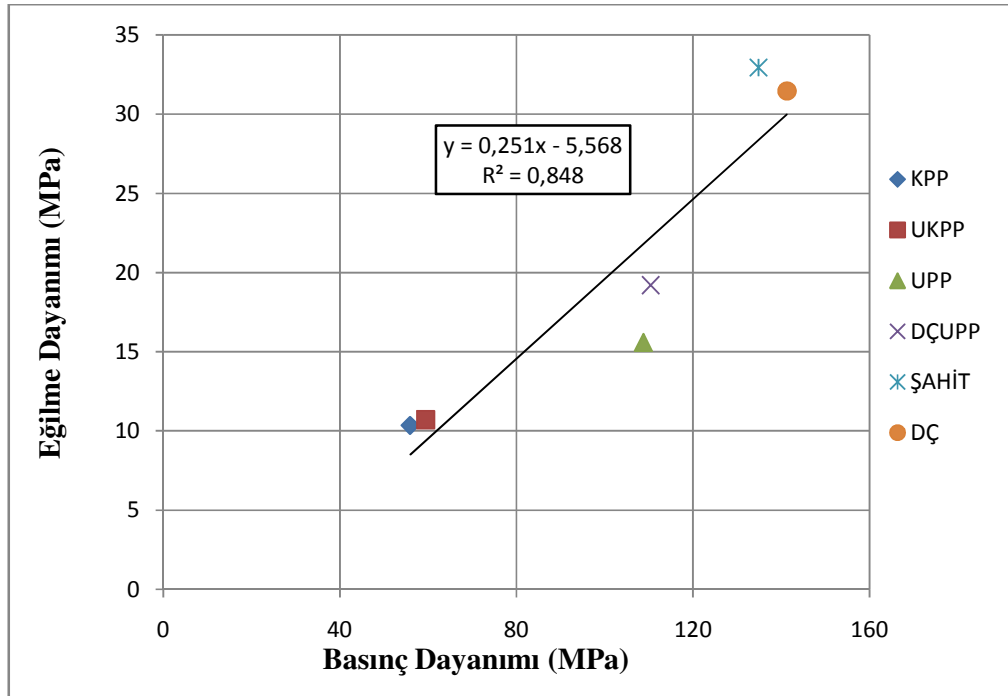
Tablo 5.10 ve Şekil 5.23 incelendiğinde en düşük kırılma tokluğu UKPP en yüksek kırılma tokluğu ise DÇ'ye aittir. Kullanılan lif çeşidi polimer olduğunda kırılma tokluğu düşük, çelik olduğunda ise kırılma tokluğu yüksek çıktığı görülmektedir. Polimer lifler kendi aralarında incelendiğinde mikro boyuttaki polimer liflerin kırılma toklukları makro boyuttaki polimer liflerinkinden yüksek çıktığı görülmektedir. Çelik lifler kendi aralarında incelendiğinde ise kancalı çelik lifin kırılma tokluğu dalgalı çelik lifin kırılma tokluğundan düşük çıktığı görülmektedir.

Buda dalgalı çelik lifin beton içerisindeki aderansın daha iyi olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.11’de numunelerin basınç ve eğilme dayanımı değerleri Şekil 5.24’de ise eğilme ve basınç dayanımı arasındaki ilişki verilmiştir.

Tablo 5.11. Eğilme dayanımı-basınç dayanımı ilişkisi

Numune Adı	Basınç Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)
ŞAHİT	134,83	31,47
DÇ	141,29	32,95
DÇUPP	110,38	19,21
UPP	108,73	15,60
KPP	55,91	10,35
UKPP	59,43	10,71



Şekil 5.24. Beton eğilme dayanımı- basınç dayanımı ilişkisi grafiği

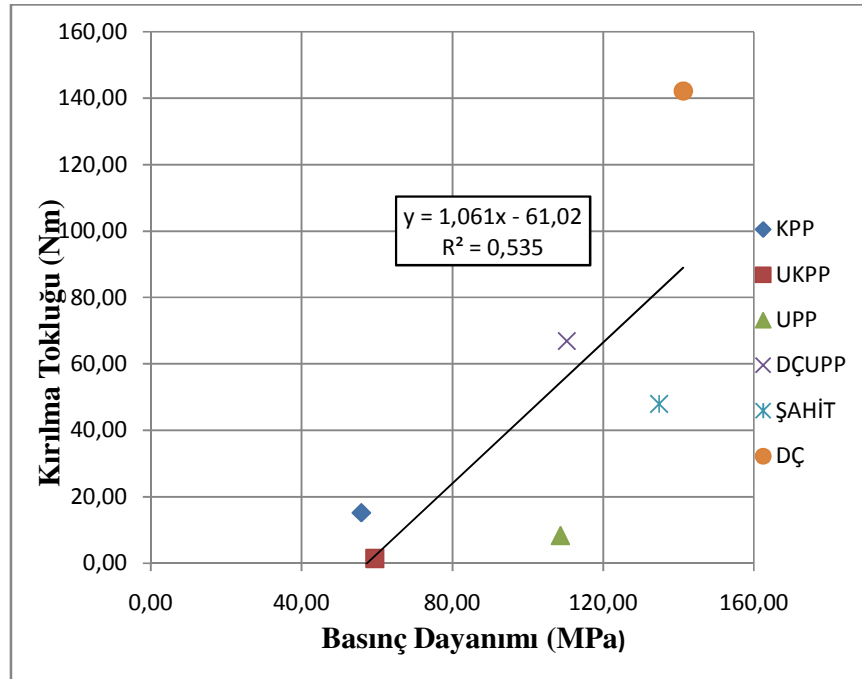
Tablo 5.11 ve Şekil 5.24 incelendiğinde eğilme dayanımı arttıkça basınç dayanımının da arttığı görülmektedir. Eğilme ve basınç dayanımları en düşük olan lif içeriği polimer olan numuneler, en yüksek olanlar ise lif içeriği çelik olan numunelerdir. Polimer lifler kendi içerisinde değerlendirildiğinde boyut mikrodan makroya geçmesi

dayanımın artmasına neden olmuştur. Çelik lifleri ise kendi aralarında değerlendirildiğinde yaklaşık olarak aynı dayanımı yakaladığı görülmektedir. Fakat çelik liflerin, polimer lifler yerine SİFCON içerisinde değerlendirilmesi dayanımı olumlu yönde arttıran bir etken olduğudur.

Tablo 5.12’de numunelerin basınç dayanımı ve kırılma tokluğu değerleri Şekil 5.25’de ise basınç dayanımı kırılma tokluğu arasındaki ilişki verilmiştir.

Tablo 5.12. Basınç dayanımı-kırılma tokluğu ilişkisi

Numune Adı	Basınç Dayanımı (MPa)	Kırılma Tokluğu(Nm)
ŞAHİT	134.83	47.98
DÇ	141.29	142.18
DÇUPP	110.38	66.94
UPP	108.73	8.37
KPP	55.91	15.18
UKPP	59.43	1.44



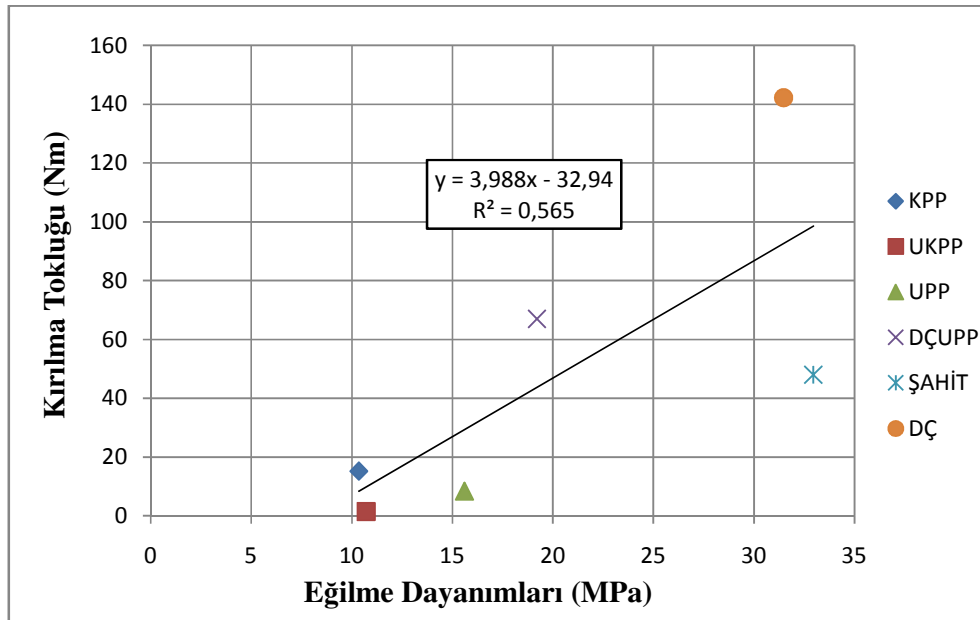
Şekil 5.25. Beton Kırılma tokluğu - basınç dayanımı ilişkisi grafiği

Tablo 5.12 ve Şekil 5.25 incelendiğinde basınç dayanımı ve kırılma tokluğu arasında doğrusal bir bağıntıda söz etmek mümkün değildir. Polimer liflerin kopması tokluk

değerlerinde belirsizlik yapmakta ve bunun sonucu olarak doğrusal bağıntı oluşmamaktadır. Polimer lifler kendi aralarında değerlendirilirse basınç dayanımı yüksek olan UPP içerikli SİFCON'un kırılma tokluğu düşüktür. Çelik lifler kendi aralarında değerlendirildiğinde ise basınç dayanımları hemen hemen aynı olan DÇ ve ŞAHİT içerikli SİFCON'un kırılma toklukları incelendiğinde ise bariz bir farkın olduğu, DÇ içerikli SİFCON'un kırılma tokluğunun yüksek olduğu görülmüştür. Çelik liflerin polimer liflere göre basınç dayanımları ve kırılma toklukları daha yüksek olmasının nedeni olarak çelik lifler beton içerisinde daha yoğun bir yapı oluşturması, dayanım ve aderanslarının daha iyi olması ile açıklanabilir. Tablo 5.13'de numunelerin eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu değerleri Şekil 5.26'da ise eğilme dayanımı kırılma tokluğu arasındaki ilişki verilmiştir.

Tablo 5.13. Eğilme dayanımı-kırılma tokluğu ilişkisi

Numune Adı	Eğilme Dayanımı (MPa)	Kırılma Tokluğu(Nm)
ŞAHİT	31,47	47,98
DÇ	32,95	142,18
DÇUPP	19,21	66,94
UPP	15,60	8,37
KPP	10,35	15,18
UKPP	10,71	1,44



Şekil 5.26. Beton kırılma tokluğu - eğilme dayanımı ilişkisi grafiği

Tablo 5.13 ve Şekil 5.26 incelendiğinde basınç dayanımı ve kırılma tokluğu arasında doğrusal bir bağıntıda söz etmek mümkün değildir. Polimer liflerin ani olarak kopması tokluk değerlerinde belirsizliğin nedeni olabilmektedir. Polimer lifler kendi aralarında değerlendirilirse eğilme dayanımı yüksek olan UPP içerikli SIFCONun kırılma tokluğu düşüktür. Çelik lifler kendi aralarında değerlendirildiğinde ise Eğilme dayanımları hemen hemen aynı olan DÇ ve ŞAHİT içerikli SIFCON'un kırılma toklukları incelendiğinde ise ciddi bir farkın olduğu, DÇ içerikli SIFCON'un kırılma tokluğunun yüksek olduğu görülmüştür. Çelik liflerin polimer liflere göre eğilme dayanımları ve kırılma toklukları daha yüksek olmasının nedeni olarak çelik lifler dayanımının ve aderanslarının daha iyi olması ile açıklanabilir.

5.2.Birim Maliyet Analizleri

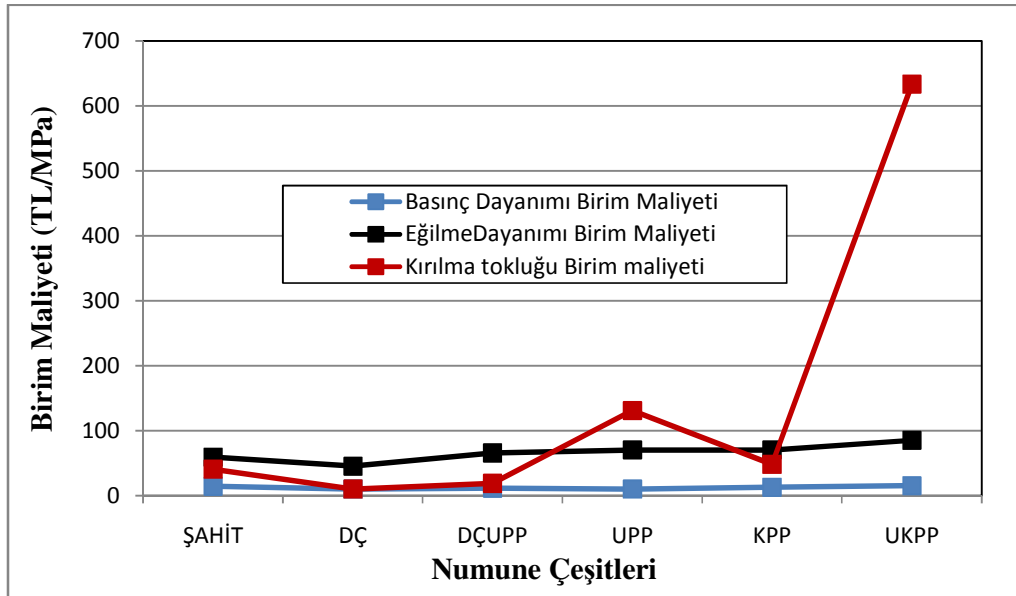
Numunelerin birim maliyetleri Tablo 5.14'de birim dayanım maliyeti Tablo 5.15'de ve Şekil 5.27'de ise kırılma tokluğu, basınç dayanımı, eğilme dayanımı birim maliyeti ilişkileri verilmiştir.

Tablo 5.14. Numunelere ait birim maliyet

KARIŞIMLAR	Çimento (kg)	Silis dumanı (kg)	K. Pudrası (kg)	K. Kum (100-300) (kg)	K. Kum (300-600) (kg)	Su (kg)	K. Katkı (kg)	Lif (kg)	LİF (TL/kg)	TOPLAM MALİYET (TL)
	BİRİM FİYATLAR (TL/kg)									
	0,1 4	0,25	0,4	0,2	0,2	0,002	4,00			
KPP	900	270	278	252	252	270	36	27,3	6,5	550,04
UKPP	900	270	278	252	252	270	36	13,65+13,65	6,5+20	911,77
UPP	900	270	278	252	252	270	36	27,3	20	1096,04
DÇUPP	900	270	278	252	252	270	36	175+13,65	2,5+20	1260,54
DÇ	900	270	278	252	252	270	36	350	2,5	1425,04
ŞAHİT	900	270	278	252	252	270	36	350	4	1950,04

Tablo 5.15. Numunelere ait birim dayanım maliyetleri

KARIŞIMLAR	Basınç Dayanımı (Mpa)	Eğilme Dayanımı (Mpa)	Kırılma Tokluğu (Nm)	Basınç Day. Birim Maliyeti (TL/MPa)	Eğilme Day. Birim Maliyeti (TL/MPa)	Kırılma Tokluğu (TL/Nm)
Şahit	134,83	32,95	47,98	14,46	59,18	40,64
DÇ	141,29	31,47	142,18	10,09	45,28	10,02
DÇUPP	110,38	19,21	66,94	11,42	65,62	18,83
UPP	108,73	15,60	8,37	10,08	70,26	130,95
KPP	55,91	10,35	15,18	9,84	53,14	36,23
UKPP	59,43	10,71	1,44	15,34	85,13	633,17



Şekil 5.27. Numunelere ait kırılma tokluğu, basınç ve eğilme dayanımı birim maliyeti ilişkisi grafiği

Tablo 5.14, Tablo 5.15 ve Şekil 5.27’de birim dayanım maliyetleri incelendiğinde en düşük basınç dayanımı birim maliyet değeri mikro polimer, makro polimer ve dalgalı çelik lifli numunelere aittir. Bununla birlikte dalgalı çelik lif ve makro polimer karma lif içeren numunelerin basınç dayanım maliyetleri, polimer ve dalgalı çelik liflerden yaklaşık %10 daha fazladır. Karma polimer ve Şahit lifin basınç dayanımı maliyeti

ise dalgalı çelik lif ve polimer liflerden yaklaşık %50 daha fazladır. Eğilme dayanımı parametreleri açısından incelendiğinde ise en düşük eğilme dayanım maliyeti dalgalı çelik lifli numuneye aittir. Mikro polimer lif içeren numunenin eğilme dayanım birim maliyeti ise dalgalı çelik lifli numuneden yaklaşık %20 daha fazladır. Şahit numunenin eğilme dayanımı birim maliyeti dalgalı çelik lifli numunelerinkinden yaklaşık %30 daha fazladır. En fazla eğilme dayanımı birim maliyeti ise sırasıyla karma polimer uzun polimer ve dalgalı çelik makro polimer karma lif içeren numunelere aittir. Polimer liflerin kopması sonucu eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu değerleri düşmüş ve buna paralel olarak maliyet yükselmektedir. UKPP lifli numunenin kırılma tokluğunun diğer numunelerin kırılma tokluğuna göre bariz fakla çok yüksek maliyetli çıkmasının nedeni UKPP lifli numunelerin eğilme dayanımı esnasında liflerin büyük çoğunluğunun kopması sonucu enerji yutabilme kapasitesinin (tokluk) düşmesi ile açıklanabilir.

Yukarıdaki bilgiler ışığında en iyi dayanımı veren ve en düşük birim dayanım maliyetine sahip numunenin dalgalı çelik lifli numunenin olduğu tespit edilmiştir.

BÖLÜM 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

ŞAHİT, UPP, KPP, UKPP, DÇ ve DÇUPP lif içerikli SİFCON betonu oluşturan malzemeler temin edilerek bu malzemelerin özellikleri ve karışım oranları belirlenmiştir. Oluşturulan karışıma, farklı tip ve boylarda lif ilave edilerek oluşturulan SİFCON numunelerinin basınç, eğilme parametreleri ve maliyet üzerindeki etkisini incelemiş ve ihtiyaca en uygun kullanılacak numuneler belirlenmiştir. Üretilen küp ve prizmatik numunelerin; birim hacim ağırlığı, ultrases geçiş hızı, Schmidt test çekici, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve kırılma parametreleri ile maliyete etkisi incelenmiştir. Çalışmalar sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

– SİFCON' u oluşturan malzemeler ve üretim tekniği normal betonlardan farklı olmakla birlikte çoğunluğu ülkemizde üretilen malzemeleri kullanılarak SİFCON üretilmektedir.

– SİFCON karışımlarının hazırlanması, normal betonlara göre farklılık göstermektedir. Karıştırma işlemi için kullanılan mikserin karıştırma hızı ve karışıma giren malzemelerin miksere konulma sırası belli bir düzen içerisinde olmalıdır. Bu nedenle SİFCON' un karıştırma işlemi ve sıralaması için ikameli olarak kullanılan malzemenin özelliğine göre belirlenmiştir. Karıştırma işlemi sırasında, çimento, silis dumanı, su, akışkanlaştırıcı kuvars kumları ve kullanıma göre polimer lifler olarak belirlenmiştir. Eğer Çelik lifler kullanılacak ise çelik lifler kalıp içerisine yerleştirilerek üzerine SİFCON bulamacı enjekte edilerek beton oluşturulmuştur.

– Basınç dayanımı incelendiğinde lif tipi ile basınç dayanımını arasında belirgin bir ilişki olduğu görülmüştür. Polipropilen lif kullanılan numunelerde basınç dayanımı diğer çelik liflere göre daha düşüktür. DÇ ve ŞAHİT kodlu çelik lif içeren

numunelerin basınç dayanımlarının diğer guruplar içinde en yüksek sonucu vermektedir. KPP, UKPP 'in basınç değerleri ise en düşük değeri almıştır.

– Ultra ses geçiş hızı değerleri incelendiğinde en yüksek olan numuneler DÇUPP, ŞAHİT ve DÇ' dir. En düşük olan numuneler ise KPP, UKPP, UPP 'e aittir. Ultra ses geçiş hızının yüksek olması betonun yoğunluğu ve liflerin ses iletim özelliği ile ilişkili olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla çelik lif katkılı numunelerin polimer lif katkılı numunelere göre daha yoğun bir agrega yapısı oluşturması ve çelik liflerin ses iletim hızlarının daha yüksek olması ultra ses geçiş hızını etkilemektedir. Bu nedenle çelik lif içeren numunelerin ultra ses geçiş hızı diğer numunelere göre daha fazla olmuştur.

– Schmidt sonuçları incelendiğinde karışımdaki liflerin çelik olması Schmidt sonucunu arttırmakta polimer olması ise azaltmaktadır. Çelik lifler beton içerisinde sağlam birer agrega olarak görev yapmaktadır. Bunun aksine polimer içerikli lifler ise zayıf agrega olarak beton içerisinde bulunmaktadır. Bu durum beton basınç dayanımının değişim nedeni olarak görülebilmektedir.

– Eğilme dayanımları incelendiğinde en yüksek eğilme dayanımı ŞAHİT ve DÇ lifli numunelere, en düşük eğilme dayanımı ise KPP ve UKPP lifli numunelere aittir. Liflerin çekme mukavemeti, bu lifler ile üretilen betonların eğilme dayanımını doğrudan etkilemektedir. Numunelerin kırılması durumunda, liflerin kopması veya betondan sıyrılması gibi iki farklı durum ortaya çıkmaktadır. Çekme dayanımı düşük olan polimer lifler kırılma anında çoğunlukla kopmuş ve eğilme dayanımını olumsuz etkileyerek tokluk değerini de düşürmüşlerdir. Çelik lifler ise yüksek çekme mukavemetleri sayesinde kopmamış ve beton içerisinden sıyrılmışlardır. Beton mukavemetinin normal betonlara göre yüksek olması, ince taneli yapısı sayesinde lifler ile güçlü bir aderans yapması çelik liflerin yüksek mukavemete sahip SIFCON içerisinden sıyrılmasını güçleştirerek eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu değerini arttırmıştır.

– Liflerin karma olarak kullanılması sonucunda, bilimli bir eğilme yükü altında polimer esaslı lifler koparak çatlak köprülenmesini çelik liflere bırakmıştır.

Numunede bulunan çelik lif miktarının azalmasına bağlı olarak eğilme parametreleri olumsuz etkilenmiştir.

– Kırılma toklukları incelendiğinde en yüksek kırılma tokluğu DÇ lifli numunelere en düşük kırılma tokluğu ise UKPP lifli numunelere aittir.

Polimer lifli numunelerin birim hacim değerleri, ucuz olmasına rağmen eğilme ve basınç parametrelerinde çelik liflere göre daha düşük dayanım vermesi bu lifleri ekonomik olmaktan uzaklaştırmıştır. Bu nedenle

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

KAYNAKLAR

- [1] <http://www.adanacimiento.com.tr>, Erişim Tarihi: 31.3.2014.
- [2] AITCIN, P. C., Cement of Yesterday and Today Concrete of Tomorrow, Cement and Concrete Research, 30, 9, pp. 1349–1359, 2000.
- [3] TASDEMİR, M. A., BAYRAMOV, F., KOCATÜRK, A.N., YERLIKAYA, M., Betonun Performansa Göre Tasarımında Yeni Gelişmeler, Beton2004 Kongresi, İstanbul, sf. 1-34 2004.
- [4] ÇİVİCİ, F., Çelik Lif Donatılı Betonun Eğilme Tokluğu, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12, 2, sf. 183-188, 2006.
- [5] WANG, M.L., Constitutive Properties of SIFCON, Proceeding, Workshop on Fibre Reinforced Cement and Concrete, Sheffield, pp. 237-255, 1994.
- [6] LANKARD, D.R., “Properties, Applications: Slurry Infiltrated Fiber Concrete (SIFCON),” Concrete International, pp. 287-306, 1984.
- [7] LANKARD, D.R, NEWELL, J.K., “Preparation of Highly Reinforced Steel Fiber Reinforced Concrete Composites,” Fiber Reinforced Concrete–International Symposium, ACI SP-81, American Concrete Institute, Detroit, pp. 287-306, 1984.
- [8] WANG, M.L, MAJİ A.K., “Shear Properties of Slurry Infiltrated Fiber Concrete (SIFCON)”, High Performance Fiber Reinforced Cement Composites, London, pp. 203-212, 1992.
- [9] TABAK, V., “Çelik Lifli Betonda Lif ve Lif Boy/Çap Oranlarının Değişiminin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi” Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, SF. 73-76, 2004.
- [10] WOOD B.T., “Use of Slurry Infiltrated Fiber Concrete (SIFCON) in Hinge Regions Of Earthquake Resistant Structures, Doctor Thesis, Graduate Faculty of North Carolina State University, pp. 71-80, 2000.

- [11] SVERMOVA L., 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, Singapore, pp. 553-559, 2002.
- [12] <http://SIFCON.quinting.com>, Erişim Tarihi: 10.3.2013.
- [13] YERLİKAYA, M., “Çelik Tel Donatılı Betonların Deprem Etkisi Altında Davranışları”, Kocaeli Deprem Sempozyumu Bildiriler Kitabı, sf. 302-304, 2003.
- [14] WECHARATANA, M., LIN, S., “Tensile Properties of High Performance Fiber Reinforced Concrete”, High Performance Fiber Reinforced Cement Composites, London, pp. 248-258, 1992.
- [15] YAN, A., WU, K., ZHANG, X., “A Quantitative Study on The Surface Crack Pattern of Concrete With High Concent of Steel Fiber”, Cement and Concrete Research, Vol. 32, pp. 1371-1375, 2002.
- [16] LANKARD D.R., “Preparation, Properties And Application of Cement-Based Composites Containing 5 to 20 Percent Steel Fibre, in S.P” Shah and A. Skarendahl (eds) Steel Fibre Concrete, Proceedings US-Sweden Joint Seminar, Elsevier Applied Science Publishers, Barking, pp. 199-217, 1985.
- [17] WU, Y.F., JIANG, J.F., LIU, K., “Perforated SIFCON Blocks—An Extraordinarily Ductile Material Ideal for Use in Compression Yielding Structural Systems”, Construction and Building Materials 24, 12, pp. 2454-2465, 2010.
- [18] TUYAN M., YAZICI, H., “Pull-Out Behavior of Single Steel Fiber From SIFCON Matrix” Construction and Building Materials, 1, 35, pp. 571-577, 2012.
- [19] FARNAM, Y., MOOSAVI, M., SHEKARCHI, M., BABANAJAD, S.K., BAGHERZADEH, A., “Behaviour of Slurry Infiltrated Fibre Concrete (SIFCON) Under Triaxial Compression”, Cement and Concrete Research 40, 11, 1571-1581, 2010.
- [20] RAOA, H.S., GHORPADE, V.G., RAMANAC, N.V., GNANESWARD, K., “Response of SIFCON Two-Way Slabs Under Impact Loading”, International Journal of Impact Engineering, 37, 452-458, 2010.
- [21] ROLLER, C., MAYRHOFER, C., RIEDEL, W., THOMA, K., “Residual Load Capacity of Exposed and Hardened Concrete Columns Under Explosion Loads”, Engineering Structures, doi:10.1016/j.engstruct. 2011.12.004, 2012.

- [22] YEĞİNOBALI, A., Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği /AR-GE Enstitüsü, 2. Baskı, sf. 18-46, Ankara, 2002.
- [23] <http://www.materials.elkem.com>, Erişim Tarihi: 07.03.2013.
- [24] KORKANÇ, M., TUĞRUL A., Beton Agregası Olarak Kullanılacak Bazaltların Alkali-Silis Reaksiyonu Yönünden İncelenmesi, İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, 17, 2, sf. 161-169, 2004.
- [25] AITCIN, P.C., High Performance Concrete, E.&F.N. SPON, New York, 2004.
- [26] <http://www.bekaert.com.tr>, Erişim Tarihi: 31.03.2014.
- [27] <http://www.dekoton.com.tr>, Erişim Tarihi: 31.03.2014.
- [28] <http://www.forta.com.tr/fortaferro/Default.aspx>, Erişim Tarihi: 01.04.2014.
- [29] <http://betonfiber.com/wp-content/uploads/2013/06/bf-19-mm-teknik-d%C3%B6k%C3%BCman.pdf>, Erişim Tarihi: 31.03.2014.
- [30] TS EN 12390-3, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, 2003.
- [31] ASTM C 39/C39M, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, 1996.
- [32] TS 3502, Betonda Statik Elastisite Modülü ve Poisson Oranı Tayini, 1981.
- [33] ASTM C 469, Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression, 1996.
- [34] TS 10513, Çelik Teller - Beton Takviyesinde Kullanılan, 1992.
- [35] TS 10514, Beton - Çelik Tel Takviyeli - Çelik Telleri Betona Karıştırma ve Kontrol Kuralları, 1992.
- [36] TS 10515, Çelik Tel Takviyeli Betonun Eğilme Mukavemeti Deney Metodu, 1992.
- [37] ASTM C 1018, Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam with Third-Point Loading), ASTM, V 4.02, pp. 637-644, 1989.

- [38] JSCE Standard SF-4, Method of Test for Flexural Strength and Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete, pp. 58–66, 1984.
- [39] SUKONTASUKKUL, P., Toughnesses Valuation of Steel and Polypropylene Fibre Reinforced Concrete Beams Under Bending, Thammasa Int. J. Sc. Tech., 9, 3, pp. 35-41, 2004.
- [40] NATARAJA M.C., DHANG, N., GUPTA, A. P., Toughness Characterization of Steel Fiber-Reinforced Concrete by JSCE Approach, Cement and Concrete Research 30, 4, 593-597, 2000.
- [41] ÖZALP, F., Ultra Yüksek Performanslı Betonların Mekanik Davranışı, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, SF. 36-40, 2006.
- [42] ÇETİN, A.E., Matlab 6.5, Alfa yayınları, sf. 20-240, İstanbul, 2003.
- [43] MINDESS, S., YOUNG, J.F., DARWIN, D., Concrete, Prentice-Hall, Pearson Education Inc., Second Edition, 644, 2003.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Canbay, 01.10.1984 de İstanbul'da doğdu. İlk ve orta eğitimini Bağcılar' da tamamladı. 2001 yılında Bayrampaşa Tuna Lisesinden mezun oldu. 2002 yılında başladığı Dumlupınar Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 2006 yılında mezun oldu. İş ve Askerlikten dolayı ara verdiği eğitim hayatına, 2009 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünde Yüksek lisansa başlayarak devam etti. Bir süre özel sektörde çalıştıktan sonra 2011 yılında Eyüp Belediyesinde memur olarak görevine başladı ve hala burada çalışmaktadır. Evlidir.