

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

**FARKLI KAYAÇ TÜRLERİNİN SİFCON
BULAMACINDA AGREGA OLARAK
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rukiye DOĞAN

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

Ekim 2017

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI KAYAÇ TÜRLERİNİN SİFCON
BULAMACINDA AGREGA OLARAK
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rukiye DOĞAN

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI MALZEMESİ

Bu tez 06/10/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr.
Metin İPEK
Jüri Başkanı



Prof. Dr.
Kemalettin YILMAZ
Üye



Doç. Dr.
Mehmet EMİROĞLU
Üye



BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Rukiye DOĞAN

06/10/2017

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren danışman hocam Doç. Dr. Metin İPEK'e teşekkür ederim.

Çalışmam süresince fikirlerini esirgemeyen yaptığım laboratuvar çalışmalarında her türlü konuda destek çıkan Sakarya Üniversitesi öğretim üyeleri Yrd. Doç. Dr. İsa VURAL'a ve Arş. Gör. Kutalmış Recep AKÇA'ya teşekkür ederim. Deneysel çalışmalarımın malzeme temininde yardımlarını esirgemeyen İnci Beton Firması ve Hereke Taş Ocağı Firması yetkilileri ile Nurettin KOÇ ve Havva KOCATEPE'ye teşekkür ederim. Ayrıca laboratuvar çalışmalarımda yanımda olan meslektaşlarım Yadigar ALTUNDAĞ, Aysun BODUR, Numan DURMAZ, Aykut KARABULAK ve Nasruddin MUSE'ye teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında yanımda olan, iyi bir birey olarak yetişmeme gayret eden, benden sevgi ve desteklerini esirgemeyen sevgili Aileme ve ayrıca kuzenim Mehmet GÖKDEMİR'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ	ix
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
 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	6
 BÖLÜM 3.	
ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI	15
 BÖLÜM 4.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	17
4.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler	17
4.1.1. Çimento	17
4.1.2. Silis dumanı	19

4.1.3. Kuvars pudrası	19
4.1.4. Kuvars kumu	21
4.1.5. Bazalt	25
4.1.6. Taş tozu	28
4.1.7. Kimyasal katkı ve su	29
4.1.8. Taş kumu	30
4.1.9. Kullanılan malzemelerin granülometri eğrileri	31
4.2. Deney Metodu	33
4.2.1. Beton üretiminde ve üretim sonrasında yapılan aşamalar	33
4.2.2. Deneylerde kullanılan yöntem	40
4.2.2.1. Karışım oranları.....	41
4.2.2.2. Numune kodları.....	42
4.2.2.3. Basınç dayanımı	43
4.2.2.4. Eğilme dayanımı	44
4.2.2.5. Ultrases geçiş hızı	48
4.2.2.6. Schmidt çekici deneyi	50
 BÖLÜM 5.	
DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA	52
5.1. Deneysel Bulgular ve Tartışma	52
5.1.1. Birim hacim ağırlık	52
5.1.2. Basınç dayanımı	54
5.1.3. Ultrases geçiş hızı	59
5.1.4. Schmidt çekici	64
5.1.5. Eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu	69
5.2. Birim Maliyet Analizleri	85
 BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	89
 KAYNAKLAR	93
ÖZGEÇMİŞ	97

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 _r	: Kırılma enerjisi (N/m)
g	: Yer çekimi ivmesi (N/kg)
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 _o	: Yük-Sehim eğrisi altında kalan alan-tokluk
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.	SİFCON ile güçlendirme	6
Şekil 2.2.	SİFCON ile güçlendirilmiş kirişlerin yük-sehim eğrileri	7
Şekil 2.3.	Farklı lif içeriğinin çatlak şekilleri	9
Şekil 2.4.	Lif içeriğine göre SİFCON'nun yük sehim eğrisi değişim grafiği	9
Şekil 2.5.	SİFCON blok ile üretilmiş betonarme kiriş	10
Şekil 2.6.	SİFCON blok	10
Şekil 2.7.	SİFCON pull-out deneyi	11
Şekil 2.8.	Kancalı (hooked-end fiber) ve kancasız lifin (smooth fiber) aderans deney sonucu	11
Şekil 2.9.	Farklı yanal hidrolik basınçlar altında numunelerin eksenel basınç dayanımları	12
Şekil 2.10.	Farklı yanal hidrolik basınçlar altındaki numunelerin poisson oranı değişimi	13
Şekil 2.11.	%12 lif içeren donatısız SİFCON (82133 darbeden sonra delik oluşmuş) ve %2 lif içeren beton (7406 darbeden sonra delik oluşmuş) plakanın arkadan görünüşü	14
Şekil 2.12.	%8 lif içeren donatılı SİFCON (162800 darbeden sonra delik oluşmuş) ve betonarme (11550 darbeden sonra delik oluşmuş) plakanın arkadan görünüşü	14
Şekil 4.1.	Kullanılan çimento malzemesi	18
Şekil 4.2.	Kullanılan silis dumanı malzemesi	19
Şekil 4.3.	Kullanılan kuvars pudrası malzemesi	20
Şekil 4.4.	Taneli malzemelerin granülometri eğrisi	24
Şekil 4.5.	Kullanılan kuvars kumu (100-300) malzemesi	24
Şekil 4.6.	Kullanılan kuvars kumu (300-600) malzemesi.	24
Şekil 4.7.	Kullanılan kuvars malzemesinin granülometri eğrisi	25

Şekil 4.8.	Kullanılan bazalt malzemesinin granülometri eğrisi	26
Şekil 4.9.	Kullanılan bazalt malzemesi	26
Şekil 4.10.	Kullanılan taş tozu malzemesinin granülometri eğrisi	28
Şekil 4.11.	Kullanılan taş tozu malzemesi	29
Şekil 4.12.	Kullanılan taş kumu malzemesi	30
Şekil 4.13.	Kullanılan taş kumu malzemesinin granülometri eğrisi	30
Şekil 4.14.	Kullanılan malzemelerin granülometri eğrisi (pudra)	31
Şekil 4.15.	Kullanılan malzemelerin granülometri eğrisi (kum)	32
Şekil 4.16.	Kullanılan malzemelerin granülometri eğrisi (karışım)	32
Şekil 4.17.	SİFCON için tasarlanmış mikser	33
Şekil 4.18.	SİFCON için hazırlanmış çimento ve silis dumanı karışımı	34
Şekil 4.19.	SİFCON için hazırlanmış malzeme karışımı	34
Şekil 4.20.	Liflerin yerleştirileceği kalıbın yağlanması	35
Şekil 4.21.	SİFCON'un kalıplara doldurulması	35
Şekil 4.22.	Liflerin kalıba doldurulması	36
Şekil 4.23.	Lifler yerleştirilmiş kalıpların sarsma makinesine yerleştirilmesi	36
Şekil 4.24.	Lifler yerleştirilmiş kalıpların sarsma makinesinde betonun dökülmesi	37
Şekil 4.25.	SİFCON kirişlerin poşetlenmesi	37
Şekil 4.26.	SİFCON küplerin poşetlenmesi	38
Şekil 4.27.	SİFCON numuneleri için buhar kürü makinesi	38
Şekil 4.28.	SİFCON numunelerinin buhar kürüne yerleştirilmesi	39
Şekil 4.29.	SİFCON numunelerin kür havuzuna bırakılması	39
Şekil 4.30.	SİFCON numunelerin deneyler için kurumaya bırakılması	40
Şekil 4.31.	Beton basınç dayanımı deney makinesi	43
Şekil 4.32.	Beton basınç dayanımı deneyi	43
Şekil 4.33.	Beton basınç dayanımı ölçüm görüntüsü	43
Şekil 4.34.	Eğilme deneyi numune şekli	44
Şekil 4.35.	Eğilme deneyi düzeneği	45
Şekil 4.36.	Eğilme deneyi ölçüm görüntüsü	45
Şekil 4.37.	Eğilme deney cihazı görüntüsü	46
Şekil 4.38.	Yük sehim grafiği ve kırılma tokluğu	47

Şekil 4.39.	Ultrases geçiş hızı deneyi numunenin ölçüme hazırlanması	48
Şekil 4.40.	Ultrases geçiş hızı deney aleti	49
Şekil 4.41.	Ultrases geçiş hızı deneyi problara gres yağı sürülmesi	49
Şekil 4.42.	Ultrases geçiş hızı deneyi problemlarla deneyin uygulanması	50
Şekil 4.43.	Schmidt çekici deneyi	51
Şekil 4.44.	Schmidt çekici numuneye uygulanması	51
Şekil 5.1.	Beton birim hacim ağırlık değişim grafiği	53
Şekil 5.2.	Basınç dayanımı deney aleti	54
Şekil 5.3.	Basınç dayanımı numunenin deney uygulama sonrası kırılma şekli	54
Şekil 5.4.	Beton basınç dayanımı değişim grafiği	55
Şekil 5.5.	Kullanılan malzemelerin granülometri eğrisi (karışım)	56
Şekil 5.6.	Beton basınç dayanımı numuneleri	57
Şekil 5.7.	Beton basınç dayanımı küp numuneleri	57
Şekil 5.8.	Beton basınç dayanımı birim hacim ağırlık ilişkisi grafiği	58
Şekil 5.9.	Ultrases geçiş hızı numuneye uygulanması	59
Şekil 5.10.	Beton ultrases hızı değişim grafiği	60
Şekil 5.11.	Ultrases hızı birim hacim ağırlık ilişkisi grafiği	62
Şekil 5.12.	Ultrases hızı basınç dayanımı ilişkisi grafiği	63
Şekil 5.13.	Schmidt çekici deney aleti	64
Şekil 5.14.	Schmidt çekici deney aleti görüntüsü	65
Şekil 5.15.	Beton schmidt değişim grafiği	66
Şekil 5.16.	Schmidt çekici deneyi numuneye uygulanması	67
Şekil 5.17.	Schmidt çekici-basınç dayanımı ilişkisi grafiği	68
Şekil 5.18.	Eğilme dayanımı deney aleti	69
Şekil 5.19.	Kullanılan kancalı çelik lif malzemesi	70
Şekil 5.20.	Kancalı çelik lif malzemesi	70
Şekil 5.21.	REF numunenin yük-sehim grafiği	71
Şekil 5.22.	BKK numunenin yük-sehim grafiği	71
Şekil 5.23.	Eğilme deneylerinin numuneye uygulanmış hali	72
Şekil 5.24.	TTKK numunenin yük-sehim grafiği	72
Şekil 5.25.	Eğilme deneyi için hazırlanmış numuneler	73

Şekil 5.26.	TKKK numunenin yük-sehim grafiği	73
Şekil 5.27.	KPB numunenin yük-sehim grafiği	74
Şekil 5.28.	KPTT numunenin yük-sehim grafiği	75
Şekil 5.29.	KPTK numunenin yük-sehim grafiği	75
Şekil 5.30.	B numunenin yük-sehim grafiği	76
Şekil 5.31.	TT numunenin yük-sehim grafiği	77
Şekil 5.32.	TK numunenin yük-sehim grafiği	77
Şekil 5.33.	Eğilme numunelerinin yük-sehim grafiği	78
Şekil 5.34.	SİFCON eğilme dayanımı değişim grafiği	79
Şekil 5.35.	Beton kırılma tokluğu değişim grafiği	80
Şekil 5.36.	Eğilme dayanımı deneyi numuneye uygulanması	81
Şekil 5.37.	Eğilme dayanımı – kırılma tokluğu ilişkisi grafiği	82
Şekil 5.38.	Beton eğilme dayanımı - basınç dayanımı ilişkisi grafiği	83
Şekil 5.39.	Beton kırılma tokluğu - basınç dayanımı ilişkisi grafiği	85
Şekil 5.40.	Numunelere ait basınç ve eğilme dayanımı birim maliyeti ilişkisi grafiği	87

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	SİFCON numunelerin çekme dayanımları ve kırılma enerjileri ...	8
Tablo 2.2.	SİFCON'nun mekanik özellikleri	8
Tablo 4.1.	Çimento ve silis dumanının kimyasal, mekanik ve fiziksel özellikleri	18
Tablo 4.2.	Kuvars pudrasının kimyasal ve fiziksel özellikleri	20
Tablo 4.3.	Kuvars pudrası elek analiz sonuçları	21
Tablo 4.4.	Kuvars kumlarının fiziksel özellikleri	22
Tablo 4.5.	Kuvars kumu tane dağılımı	23
Tablo 4.6.	Bazalt agregasının kimyasal özellikleri	26
Tablo 4.7.	Bazalt agregasının fiziksel özellikleri	27
Tablo 4.8.	Taş tozu agregasının fiziksel özellikleri	28
Tablo 4.9.	Taş tozu agregasının kimyasal özellikleri	28
Tablo 4.10.	Taş tozu ve alt külün kimyasal kompozisyonları	29
Tablo 4.11.	1 m ³ SİFCON için kullanılan malzeme miktarları	41
Tablo 4.12.	Üretilen betonların numune adları ve kodları	42
Tablo 4.13.	Ultrases geçiş hızı	50
Tablo 5.1.	Beton birim hacim ağırlıkları	52
Tablo 5.2.	Beton basınç dayanımı	55
Tablo 5.3.	Beton basınç dayanımı-birim hacim ağırlık ilişkisi	58
Tablo 5.4.	Ultrases geçiş hızı	60
Tablo 5.5.	Ultrases geçiş hızı-birim hacim ağırlık ilişkisi	61
Tablo 5.6.	Ultrases geçiş hızı-basınç dayanımı ilişkisi	63
Tablo 5.7.	Schmidt çekici deneyi	65
Tablo 5.8.	Schmidt çekici-basınç dayanımı ilişkisi	68
Tablo 5.9.	Kullanılan çelik lifin teknik özellikleri	70
Tablo 5.10.	Eğilme dayanımları	78

Tablo 5.11.	Kırılma tokluğu	80
Tablo 5.12.	Eğilme dayanımı-kırılma tokluğu ilişkisi	81
Tablo 5.13.	Eğilme dayanımı-basınç dayanımı ilişkisi	83
Tablo 5.14.	Basınç dayanımı-kırılma tokluğu ilişkisi	84
Tablo 5.15.	Numunelere ait birim maliyeti	86
Tablo 5.16.	Numunelere ait birim dayanım maliyetleri	87



ÖZET

Anahtar kelimeler: SİFCON, eğilme dayanım, tokluk, lif, bazalt

Bu çalışmada farklı kayaç türlerinin SİFCON bulamacının pudra ve kum olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Taş ocaklarından temin edilen bazalt, taş kumu ve taş tozu malzemeleri SİFCON'da pudra malzemesi olarak kullanılmıştır. Ayrıca SİFCON'da iki ucu kancalı lif kullanılarak SİFCON'nun fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

Ülkemizde bol ve kaliteli olarak bulunan bazalt, taş kumu ve taş tozu laboratuarda öğütülerek pudra ve kum boyutuna getirilmiştir. Farklı kayaç türlerinden üretilen pudraların fiziksel özellikleri belirlenerek, kuvars pudrası ve kumu yerine kullanılarak sulu çimento hazırlanmıştır. SİFCON'un, üretilmesi, üretilen SİFCON'un numunelerinin deneysel çalışma için bir program dahilinde hazırlanıp, çalışma sonucunda SİFCON'un özelliklerinin bulunmasıdır. Bu bulamaç ile üretilen numunelerde eğilme dayanımı, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı Schmidt test çekici ve kırılma tokluğu deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca; SİFCON bulamacı birim maliyet yönünden incelenmiştir.

Deneysel çalışmada ilk olarak, malzemeler temini gerçekleştirilmiş ve SİFCON bulamacında farklı kombinasyonları oluşturmak için numuneler hazırlanmıştır. Birinci aşamada kuvars pudrası yerine pudra haline getirilmiş bazalt, taş tozu, taş kumu ikame edilmiştir. Daha sonra kuvars kumları yerine bazalt, taş tozu, taş kumu ikame edilmiştir. Son aşamada, kuvars kumları ve kuvars pudrasının yerine bazalt, taş tozu, taş kumu ikame edilmiştir.

Sonuç olarak, basınç dayanımı dikkate alındığında en uygun birim maliyeti Referans numunesi ardından bazalt numunesi olduğu görülmüştür. En iyi dayanımı veren ve en düşük birim dayanım maliyetine sahip numunenin taş kumu numunesi olduğu tespit edilmiştir.

INVESTIGATION OF THE USABILITY OF DIFFERENT ROCK TYPES AS POWDER ON SIFCON CONCRETE

ABSTRACT

Keywords: SIFCON, bending strength, toughness, fibre, basalt

In this study, usability of different rock types as powder and sand on SIFCON concrete slurry were investigated. In addition, the effect of using two fiber ends in SIFCON on the mechanical and physical properties of SIFCON were investigated. Basalt that we procured from the quarry, crushed rock sand, rock dust materials were used on concrete.

The abundant and high quality basalt, rock sand, rock dust in our country were brought to powder size by crushing in the laboratory. The physical properties of the powders produced from different rock types were determined and used for slurry preparation instead of quartz powder and sand. Producing SIFCON in a program, preparing samples of SIFCON produced for experimental study and determining properties of SIFCON as a result of the study. Pressure, bending strength and fracture toughness, ultra sound transition rate, schmidt test tensile tests were applied on the samples of SIFCON produced with this slurry. In addition to that, the benefits of using the slurry in terms of unit cost will be examined.

In the order of experimental work, procuring of materials, determination of properties, different combinations of different materials for SIFCON, First, quartz powder is removed and replaced with powdered basalt, Stone dust, Stone sand, then quartz sand is removed, and basalt, Stone dust, Stone sand is placed in the place, Finally, quartz sands and quartz powder are removed Instead of all, basalt, Stone dust, Stone sand are supplied.

As a result, considering the pressure resistance of the unit costs, the most appropriate cost can be used as the reference sample, it was later found to be a basalt sample. It is determined that the sample with the best strength and the lowest unit cost is Stone sand sample.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Beton; agrega, çimento ve suyun kimyasal ve mineral katkı maddeleri eklenerek veya eklenmeden homojen üretim teknolojisine uygun olarak karıştırılmasıyla oluşan, başlangıçta plastik kıvamda olup, zamanla katılaşp sertleşerek mukavemet kazanan bir yapı malzemesidir [1].

Geleneksel beton; çekme, yorulma, aşınma, çarpma, kayma ve çatlama sonrası yük taşıma dayanımı, deformasyon ve enerji yutma kapasitesi (tokluk) açısından düşük performans göstermektedir. Bu özelliklerin gerektiği yerlerde, içerisine değişik malzemelerden üretilmiş ve teknik özellikleri yüksek olan liflerin katılmış olması betonu güçlendirmektedir [2].

Beton; tünel, köprü, bina ve barajlar olmak üzere birçok yapının yapımında kullanılan en önemli malzemedir. Beton; ekonomik olması, yüksek basınç dayanımına sahip olması, kolay üretilmesi ve yapıya birçok yarar sağlamasından dolayı tercih edilen bir yapı malzemesidir. Beton teknolojisi her yapının inşasını karşılamak için bir gelişim içerisinde. Bundan dolayı dayanıklılık ve dayanımı artmış olmaktadır.

Slurry Infiltrated Fiber Concrete (SİFCON) çimento, su, süper akışkanlaştırıcı, silis dumanı ve çok ince kumdan oluşan bir bulamacın sertleşmesiyle oluşan bir matris içinde hacmen yüksek oranlarda %5 - %20 çelik tel ile takviye edilmiş mühendislik özellikleri yüksek ve yeni çimento esaslı kompozitlerdir [3].

Yüksek dayanımlı betonlarda en önemli sorun dayanım artıka malzeme gevrekliğinin de artmasıdır. SİFCON'un yüksek dayanımlı betonlardan en önemli özelliği kırılma sırasında sünek davranış göstermeleridir. SİFCON, gösterdiği düşük

geçirimlilik, yüksek durabilite, dayanım ve süneklik özellikleri gösteren yeni bir malzemedir [3].

SİFCON bulamacının uygulamada kullanılan üretim tekniğinin avantajı yüksek oranlarda lif kullanılmasına izin vermektedir [4].

Betonun basınç dayanımı dışında, süneklik ve dayanıklılık gibi özelliklerinin de beklentileri karşılaması gerekmektedir. Bu beklentilere yönelik olarak birçok beton sınıfı ve çeşidi ortaya çıkmıştır. Betonları normal ve özel betonlar olmak üzere iki sınıfa ayırmak mümkündür. Özellikle servis ömrü açısından bakım gerektirmeden uzun yıllar hizmet edebilmesi için bazı durumlarda beton dayanıklılığının, betonun mekanik dayanımlarının önüne geçtiği görülmektedir. Dünyamızda ülkeler güçlerini, inşa ettikleri sıra dışı yapılarla göstermektedir. Sıra dışı yapılarda kullanılan malzemelerin sıra dışı olması gerekliliği nedeniyle beton performans değişimi göstermiştir [5].

Özel betonlar, normal betonların fiziksel, kimyasal veya mekanik özelliklerinde amaca uygun olarak iyileştirme yapılması ile elde edilmiş betonlardır. Bu betonlara, kendiliğinden yerleşen, yüksek dayanımlı, mineral katkı, lifli, polimer, hafif, püskürtme ve ultra yüksek dayanımlı betonlar, çimento hamuru enjekte edilmiş lif donatılı beton (SİFCON) ve reaktif pudra betonu (RPB) örneklendirilebilir [6,7].

Yüksek dayanımlı betonlarda eksenel şekil değiştirme kapasiteleri artış göstermekte, tepe noktası geçildikten sonra gerilme düşüşü gevrek ve ani kırılmaktadır. Elastisite modülündeki bağıl artış, basınç dayanımındaki bağıl artıştan daha az olmaktadır. 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 malzeme olduğu görülmektedir [7].

Betonlarda dayanım arttıkça ortaya çıkan bir problem gevrek olmasıdır. 1960'lı yılların başında betona, süneklik kazandırmak için, lif katılmaya başlanmıştır. Lifli

betonun mekanik özelliklerinden birisi, tokluk olarak da adlandırılan enerji yutabilme kapasitesi olarak bilinmektedir. Betonun çekme dayanımı, çatlak direnci, aşınma ve darbe dayanımı, tokluk gibi mekanik özelliklerini geliştirmek için betonun içerisine çelik, polipropilen ve cam lifler yerleştirilmektedir. Betonlarda kullanılan lifler, rötre çatlaklarını azaltmakta, çekme ve eğilme dayanımını ise arttırmaktadır [8].

Meydana gelen gevreklik problemini çözmek ve eğilme dayanımını artırmak amaçlı yüksek dayanımlı betonlardan farklı olarak betona lif eklenmesi ve bununla birlikte tane dağılımın değiştirilerek yeniden düzenlenmesi ve kür işlemine tabi tutulmasıyla ultra yüksek performanslı betonlar elde edilmiştir [5].

Shannag ve arkadaşları tarafından yapılmış olan bir araştırmada SİFCON içerisinde süreksiz bir şekilde dağılı olarak bulunan çelik tellerin betonda çatlak oluşumunu önemli ölçüde azalttığı, betonun tokluğunu, şekil değiştirme kapasitesini, çekme ve çarpma dayanımını arttırdığı ve süneklik düzeyi yüksek olan betonlar elde ettiği görülmüştür [9].

SİFCON, sıcaklığa dayanıklılık gerektiren uygulamalarda, patlamaya veya yangına karşı korunması gereken sığınaklarda, patlayıcı olan malzemelerin saklanması, betonarme kirişler gibi ürünlerde kullanılabilir [10].

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 dayanımı, basınç dayanımı, çekme dayanımı ve sünekliği artmakta, çatlak oluşumu gecikmekte ve gelişmesi zorlaşmakta olup bunlar sayesinde tokluğu artmaktadır. Mekanik özelliklerdeki bu iyileşmeler hiç şüphesiz lif miktarına ve betonun kalitesine, lif tipine, geometrisine bağlıdır [5].

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 aşikardır. Liflerin arasını dolduracak ve lifler ile güçlü aderans oluşturacak bir pastaya ihtiyaç duyulduğu gözlenmiştir [5].

Çimento, puzolan, kum, kimyasal katkı, su ve karışımın hacimce %5-30 oranlarında lif içeren kalıba doldurulması sonucunda SİFCON (Slurry Infiltrated Fiber Concrete) teknolojisi geliştirilmiştir [11].

1983 yılında SİFCON ilk olarak, New Mexico Engineering Research Institute (NMERI) de Lankard tarafından geliştirilmiştir [12,13].

Üretim safhasında yüksek orandaki liflerin kalıp içerisine serpiştirilerek yerleştirilmesi sağlanır. Daha sonra çimento, su, kum ve akışkanlaştırıcı içeren bulamaç liflerin üzerine eklenmekte ve karışımın liflerin arasına dağılmasını sağlamak için vibrasyon uygulanmaktadır [14,15].

2.1. SİFCON'u Oluşturan Malzemeler

SİFCON'da kullanılan malzemeler genellikle RPB'deki malzemelere benzer olarak, çimento, silis dumanı, kuvars pudrası, kuvars kumu, çelik lif, kimyasal katkı ve sudur. Bu malzemelerin, yüksek dayanımlı, sert, homojen, bol miktarda bulunan ve uygun fiyatta malzemeler olması gerekmektedir [5].

Yüksek oranda liflerin arasını homojen olarak dolduracak bir karışımın hazırlanması SİFCON için oldukça önemlidir. SİFCON'u oluşturan malzemelerde aranan özelliklerin başında en büyük agrega tane boyutu gelmektedir. En büyük agrega tane boyutunun belirlenmesi normal betonlardan çok farklı olduğu bilinmektedir [5].

Lif boyutuna bağlı olarak en büyük agrega tane boyutu değişiklik gösterebileceği düşünülse de lifler ile kalıp arasında bir pas payı olmadığı için uygulamada mümkün görünmemektedir. Liflerin kalıba rastgele olarak doldurulmasından dolayı lifler arasındaki mesafelerde belirsizlik oluşmaktadır. Lifler arasına enjekte edilecek karışımın 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 [16,17].

Sonuç olarak, SİFCON malzemelerinin içyapıdaki kusurları azaltacak, en yüksek homojenliği sağlayarak tüm boşlukları dolduracak mikro boyutta olması gerekmektedir ve RPB için malzemedan beklenen özellikler SİFCON için de geçerli olmaktadır [5].

SİFCON'u, çelik lifli betonlardan ayıran en önemli farklar, yüksek lif içeriği ve karışımın yani oluşan matrisin çok ince malzemelerden oluşmasıdır. Bu iki olgu SİFCON'a üstün eğilme dayanımı, tokluk ve buna bağlı olarak da süneklik özelliği kazandırmaktadır [5].

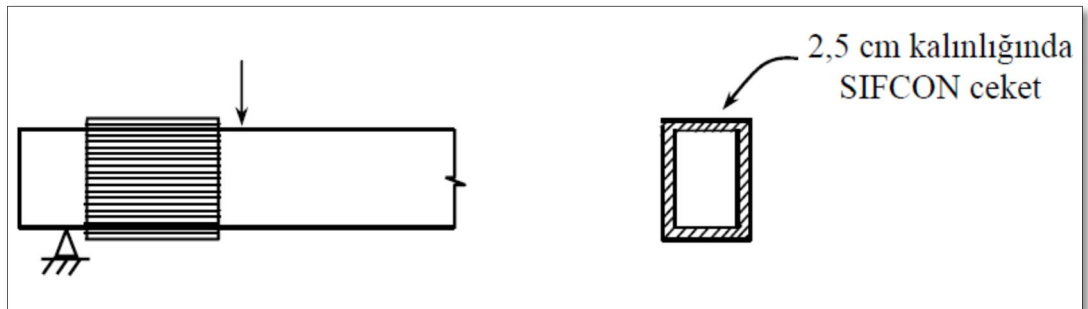
2.2. SİFCON'nun Kullanım Alanları

Eğilme ve enerji yutma kapasitesi açısından diğer betonlara göre daha iyi olan SİFCON, şantiyede ve prefabrik alanında kullanılmaktadır. Parçalanmaya karşı gösterdiği üstün performans sayesinde patlayıcı maddelerin depolanarak kullanılması ayrıca önerilmektedir. Bununla birlikte sünekliğin problem olduğu yerlerde oldukça fazla kullanılmakta ve gün geçtikçe kullanımı artmaktadır. Ancak günümüzde maliyetinin fazla olması nedeniyle kullanımının sınırlı kaldığı bilinmektedir. Maliyetinin büyük bir kısmını çelik lifler oluşturmaktadır [5].

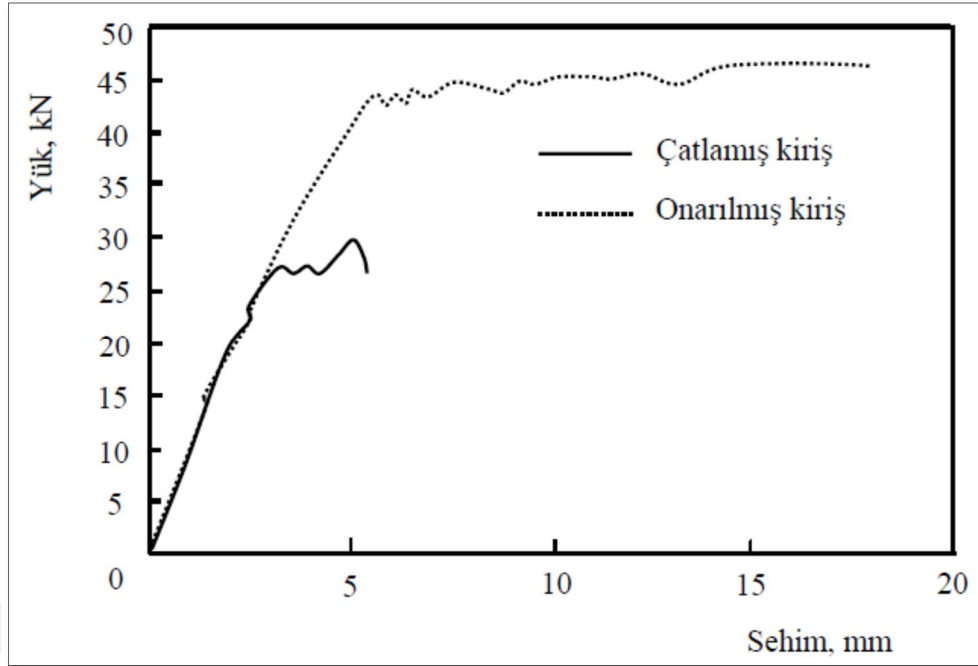
SİFCON, şantiye ortamında elastik zemine oturan plakların üretiminde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bundan dolayı, çelik lifler zemin üzerine istenilen kalınlıkta serilmekte ve liflerin üzerine çimento dozajı yüksek karışım eklenmektedir. Karışım liflerin üzeri hiç boşluk kalmayacak şekilde tamamını kaplayıncaya kadar enjeksiyon işlemine devam edilmektedir [18].

2.3. Literatür Özeti

Yerlikaya'nın SİFCON ile ilgili çalışmaları bulunmaktadır. SİFCON ile ince plaklar hazırlanarak kayma donatısı yetersiz kirişlerin çevresine güçlendirme levhası olarak aşağıdaki Şekil 2.1.'deki gibi sarılarak kullanılmış olduğu görülmektedir. Şekil 2.2. incelendiğinde, kirişin yük-sehim grafiğinde artış olmuş ve bu artışın özellikle tokluğu arttıracak şekilde, çatlaktan sonrada işlem yapmaya devam etmiş olduğu güçlendirme işlemi sonunda görülmektedir (Şekil 2.2.) [19].



Şekil 2.1. SİFCON ile güçlendirme



Şekil 2.2. SIFCON ile güçlendirilmiş kirişlerin yük-sehim eğrileri

SIFCON'nun mekanik özellikleri ile ilgili Wecharatana & Lin, çalışma yapmışlardır. Yapmış oldukları bu çalışmada %4 ve %10 aralığında ucu kancalı çelik lif içeren SIFCON numuneler üzerinde çekme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Çalışma sonucunda numunelerde lif içeriklerinin artması ile kırılma enerjileri ve çekme dayanımları arttığı görülmüştür. Basınç dayanımında ise lif oranına bağlı bir değişim görülmemiştir. Tablo 2.1.'de Wecharatana & Lin buldukları değerler ile Naaman ve Reinhardt'ın buldukları değerler kıyaslanmıştır [15,20].

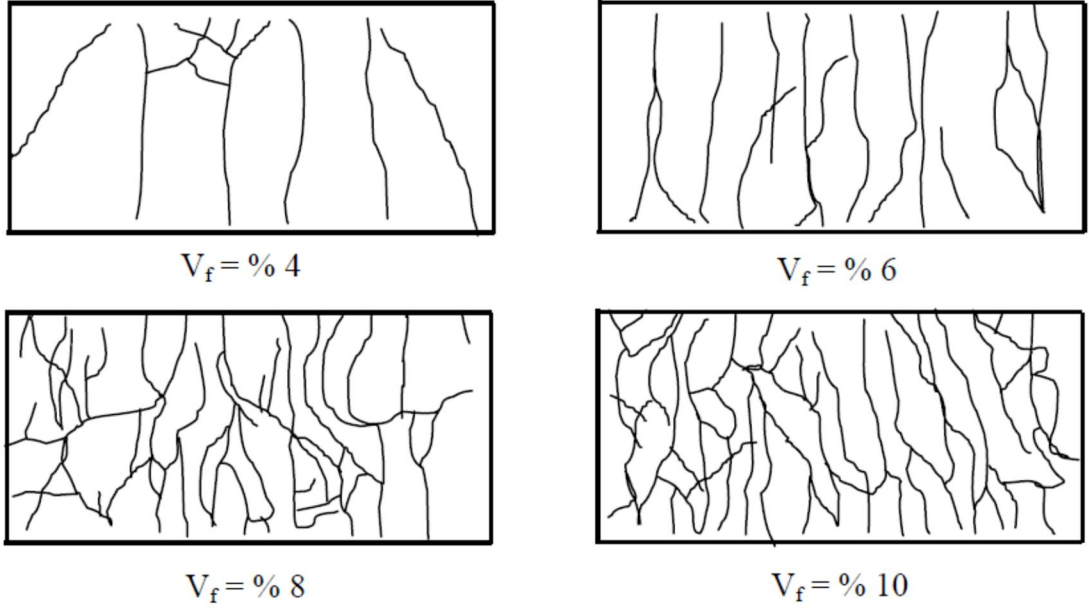
Tablo 2.1. SİFCON numunelerin çekme dayanımları ve kırılma enerjileri [9,14]

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

SİFCON üzerinde deneysel çalışmaları Yan ve diğerleri de gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları deneysel çalışmada kullandıkları SİFCON'a ait mekanik özellikler Tablo 2.2.'de gösterilmiştir. Tablo 2.2. incelendiğinde lif miktarı ile eğilme dayanımı, kırılma tokluğu ve basınç dayanımı artış göstermiş olduğu görülmektedir. Lifsiz numunenin kırılma tokluğu değeri 0,823 Nm iken %10 lif içeren numunenin kırılma tokluğu değeri 329,9 Nm değerlerinde beklenildiği gibi en büyük artış kırılma tokluğu değerlerinde olmuştur. Deney sonucunda lif miktarı artıka kırış yan yüzeylerinde oluşan çatlakların daha homojen olarak yüzeyde olduğu gözlenmiştir (Şekil 2.3.) [21].

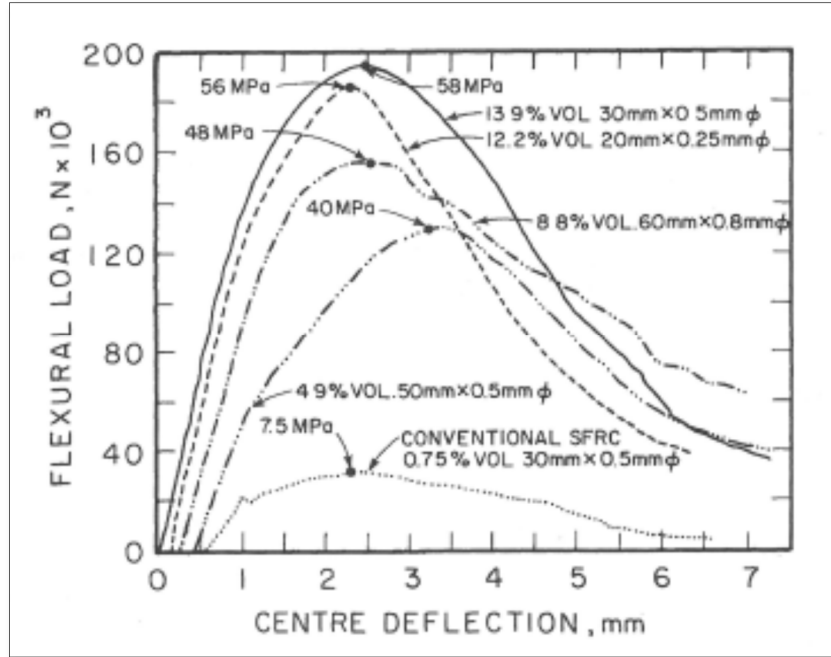
Tablo 2.2. SİFCON'nun mekanik özellikleri [21]

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



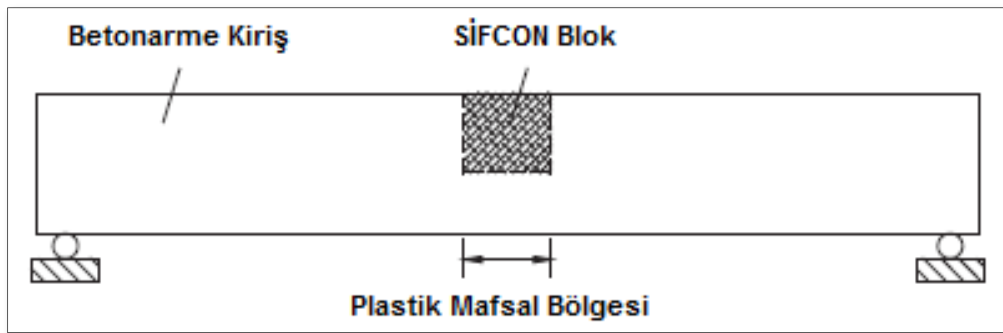
Şekil 2.3. Farklı lif içeriğinin çatlak şekilleri

SİFCON ile lifsiz ve düşük lif hacmine sahip betonlar arasında yaptığı çalışmada Lankard, karşılaştırma yapmış ve Şekil 2.4.'teki grafik oluşturulmuştur. SİFCON'nun eğilme dayanımı ve tokluğunun, diğer lifsiz ve düşük lif hacmine sahip betonlara göre oldukça yüksek değerlerde olduğu bu çalışma sonucunda göstermiştir [22].

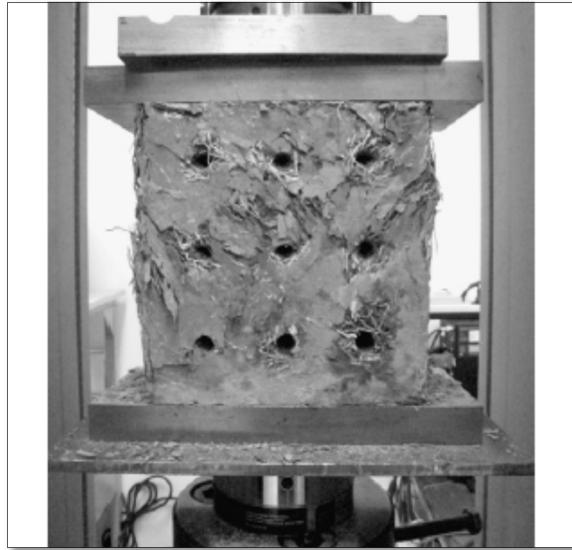


Şekil 2.4. Lif içeriğine göre SİFCON'nun yük sehım eğrisi değişim grafiğı [16]

Wu, Jiang ve Liu yaptıkları çalışmada, betonarme kirişin üst orta noktasına SIFCON'dan oluşan bir blok eleman yapmışlardır (Şekil 2.5.). Yapılan deneyde, kirişin sehim yapma kapasitesinin artmasını sağlamak için kiriş üst bölgesinde SIFCON ile sünekliliği arttırmışlardır. SIFCON bloğun basınç altındaki deformasyonunu arttırmak amacıyla bloğa delikler açmışlardır (Şekil 2.6.). Bu çalışmada basınç bölgesinde SIFCON kullanımı ile kirişin alt bölgesindeki yer değiştirmeler meydana gelmiştir. Bu yer değiştirmeler ile dayanım ve tokluk değerlerinin artmış olduğu görülmektedir [23].



Şekil 2.5. SIFCON blok ile üretilmiş betonarme kiriş

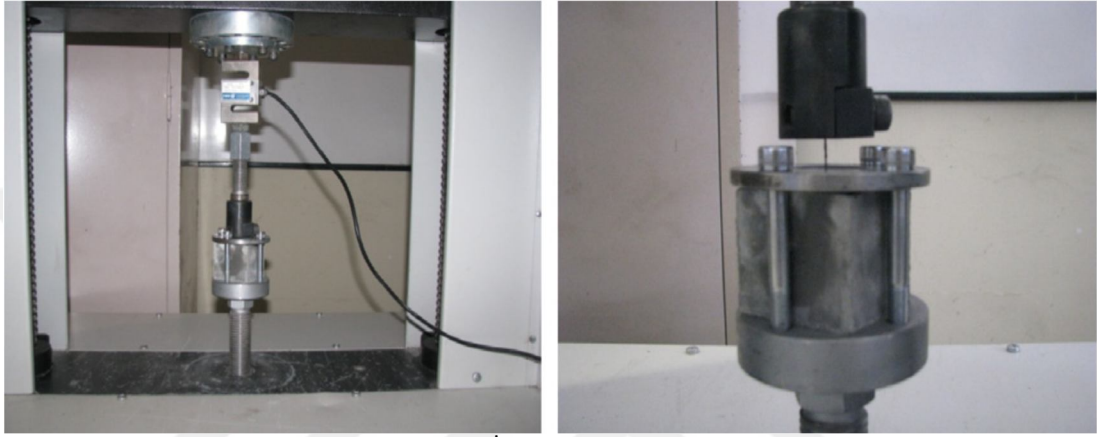


Şekil 2.6. SIFCON blok

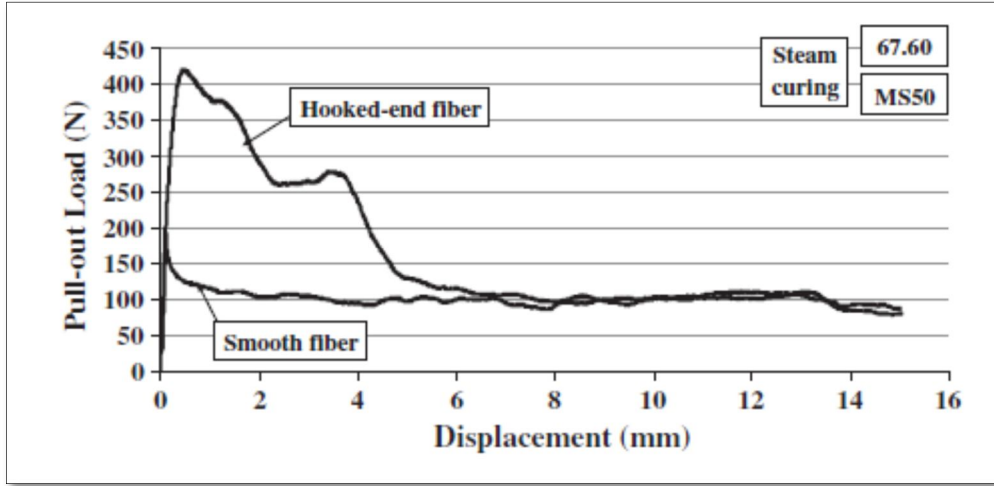
Ayrıca, SIFCON bulamacının kür koşulları, karışım oranları, gömülme uzunluğu ve çelik lif yönlenme oranı üzerinde çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. SIFCON matrisin içerisindeki çelik lifin aderansını ve davranışını Tuyana ve Yazıcı yaptıkları

çalışmada incelemişlerdir. Karışım dayanımının artması sonucu uygun kür uygulanması ve lif çapının artması ile lif aderansını arttırdığını bildirmişlerdir [5].

Lif gömülme derinliği arttıkça aderans artmasıyla birlikte tokluğunda artığını Pull-out deneyinde (Şekil 2.7.) göstermişlerdir. Bu arada kancalı liflerin, düz liflere göre aderans bakımından iyi olduğunu belirtmişlerdir (Şekil 2.8.) [24].



Şekil 2.7. SIFCON pull-out deneyi

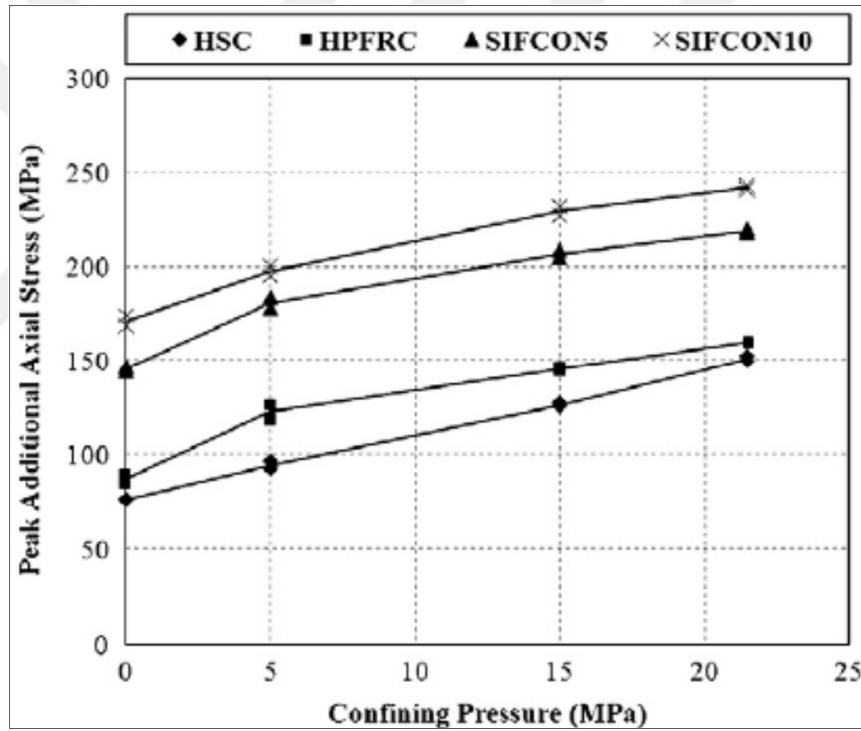


Şekil 2.8. Kancalı (hooked-end fiber) ve kancasız lifin (smooth fiber) aderans deney sonucu [25]

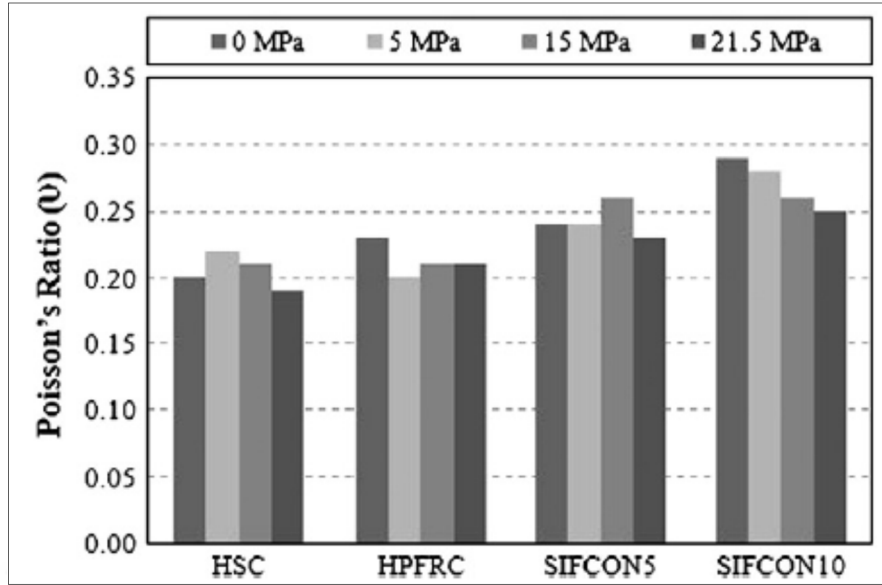
Farnam ve arkadaşları yaptığı çalışmada, yüksek dayanımlı beton, yüksek dayanımlı lifli beton ve SIFCON'nun, 3 boyutlu yükleme altındaki davranışını incelemişleridir. Yüksek dayanımlı betonda %2 lif içeriği, SIFCON'da ise %5 ve %10 lif içeriği kullanarak numuneleri hazırlamışlardır. Yük hücresine 0, 5, 15 ve 21,5 MPa yanal basınç uygulayarak numuneleri basınç testine tabi tutmuşlardır. Silindir numuneleri

(75 mm çapında 150 mm yüksekliğinde) hidrolik bir yük hücresine koyarak yükleme yapmışlardır [25].

SİFCON'nun hacimsel değişimi, poisson oranı ve kırılma şekilleri üzerinde teoriler ve incelemelerde bulunmuşlardır. Lifsiz yüksek dayanımlı beton diagonal çatlayarak kırılırken, lifli yüksek dayanımlı beton ve SİFCON numunelerde parçalanarak kırılma meydana gelmemiştir. Sonuç olarak lif hacminin ve hidrolik hücredeki basıncın artmasıyla, en büyük gerilme, poisson oranı, enerji yutma kapasitesi ve tokluk artış göstermiştir (Şekil 2.9.- Şekil 2.10.). En yüksek tokluk değerine SİFCON ile ulaşıldığını belirtmişlerdir [25].

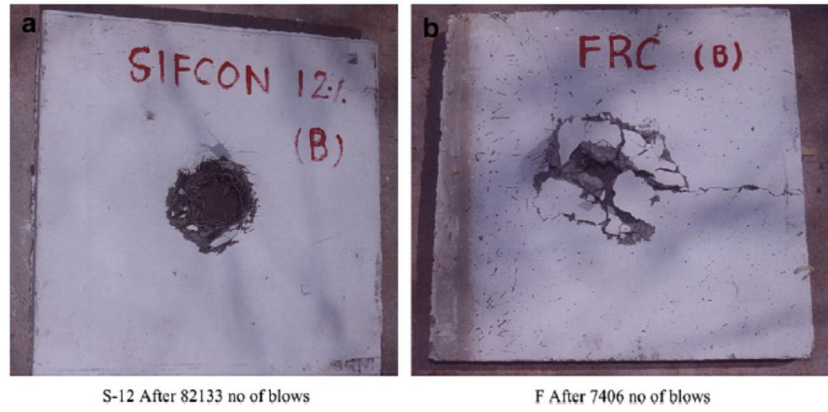


Şekil 2.9. Farklı yanal hidrolik basınçlar altında numunelerin eksenel basınç dayanımları

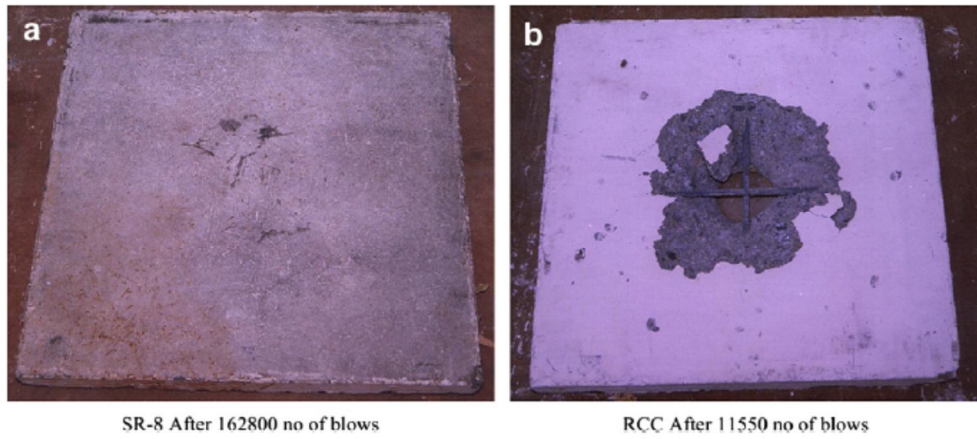


Şekil 2.10. Farklı yanıl hidrolik basınçlar altındaki numunelerin poisson oranı değışimi

Rao ve arkadaşları tarafından normal beton, betonarme, %8, %10, %12 lif içeriikli SIFCON, lifli beton ve %8, %10, %12 lif içeriikli ve donatılı SIFCON üzerinde çarpma (impact) deneyi yapılmıştır. Deneyde numunelerin çarpma etkisi altındaki davranışlarını ve enerji yutma kapasitelerini incelemişlerdir. Çelik bilye plak numunenin orta noktasına delik oluşturana kadar yüksekten düşürülmüştür. Plakın arka tarafında hasar oluşmasını görmek için gerekli düşüş sayısı kaydedilerek enerji yutma miktarı bulunmuştur. En iyi sonucu %12 lif içeren donatılı SIFCON'un gösterdiğini ve ayrıca parçalanmanın da en az olduğunu rapor etmişlerdir. Şekil 2.11. ve Şekil 2.12.'de plakların parçalanması için gerekli numunenin kırılma şekilleri ve darbe sayıları görülmektedir [26].



Şekil 2.11. %12 lif içeren donatısız SIFCON (82133 darbeden sonra delik oluşmuş) ve %2 lif içeren beton (7406 darbeden sonra delik oluşmuş) plakanın arkadan görünüşü [26]



Şekil 2.12. %8 lif içeren donatılı SIFCON (162800 darbeden sonra delik oluşmuş) ve betonarme (11550 darbeden sonra delik oluşmuş) plakanın arkadan görünüşü [26]

Roller ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, lifli beton, üç boyutlu hasırlı lifli beton, silindir geometriye sahip betonarme kolonu, polimer betonu, SIFCON ile sararak bu betonlarda güçlendirme yapmışlardır. Bu betonlar ile güçlendirilen kolonları birbirleriyle karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda en iyi performansı SIFCON'nun verdiğini bildirmişlerdir [27].

BÖLÜM 3. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

SİFCON ile yapılan araştırmaların normal betonlarla yapılan araştırmalara göre oldukça az olduğu görülmektedir. SİFCON diğer normal betonlara göre, üstün mekanik özellikleri, üretim tekniğiyle, farklı bileşenleriyle ve durabilite özellikleri ile bilinmektedir. Avrupa’da konuyla ilgili yapılmış olan çalışmalar ülkemize göre daha fazla yapılmakta ve artış göstermektedir. Bu nedenle SİFCON hakkında günümüz için hala merak edilen konular bulunmakta ve güncelliğini koruyan bir çalışma konusu olarak bilinmektedir [5].

Bu literatür ışığında, tezin birinci temel amacı bazalt, taş tozu ve taş kumunun SİFCON bulamacında kuvars pudrası ve kuvars kumu yerine kullanılmasıdır. Bu çalışmada farklı kayaç türlerinin SİFCON üretiminde kullanılan ve pudra boyutunda olan kuvars pudrasının yerine kullanılabilirliğinin araştırılması yapılacaktır.

Ülkemizde bol ve kaliteli olarak bulunan bazalt, taş kumu ve taş tozu laboratuarda öğütülerek pudra boyutuna getirilecektir. Farklı kayaç türlerinden üretilen Pudraların fiziksel özellikleri belirlenerek, kuvars pudrası yerine kullanılarak karışım hazırlanacaktır. Bu karışım ile üretilen numuneler üzerinde basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu deneyleri gerçekleştirilecektir.

Sonuç olarak farklı kayaçların SİFCON üzerindeki performansı belirlenip ekonomik ve çevreci bir beton elde edilmiş olacaktır.

Bir program dahilinde üretilen SİFCON ile hazırlanan numunelerde deneysel çalışmaların yapılması ve bu çalışma sonucunda SİFCON’un özelliklerinin bulunmasıdır.

Deneysel çalışmanın sıralaması şu şekilde belirlenmiştir:

1. Deneyde kullanılacak olan malzemelerin temin edilmesi
2. Deneyde kullanılacak malzeme özelliklerinin belirlenmesi
3. SİFCON için farklı malzemelerden farklı kombinasyonların ortaya çıkması
4. Temin edilen malzemelerin kuvars kumu ve kuvars pudrası yerine kullanılmaları;
 - a. Birinci Aşama: Kuvars pudrası çıkarılır.
 - b. İkinci Aşama: Kuvars kumu çıkarılır.
 - c. Üçüncü Aşama: Kuvars kumu ve Kuvars pudrası çıkarılır.
 - d. Hepsinin yerine temin edilen malzemeler yerleştirilir.
5. Numuneler üzerinde Ultrases Geçiş Hızı, Birim Hacim Ağırlık, Eğilme Dayanımı, Kırılma Tokluğu, Schmidt Test Çekici ve Basınç Dayanımı, deneyleri yapılmıştır.
6. Ayrıca; farklı kayaç türlerinin sulu çimentoda kullanılması ve maliyet açısından değerlendirilmesi incelenmiştir..

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde kullanılan malzemeler, malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, hazırlanmış olan numuneler ve bu numunelerden elde edilen sonuçlar hakkında bilgiler aktarılmıştır.

4.1. Deneyde Kullanılan Malzemeler

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

4.1.1. Çimento

Reaktif Pudra Betonlarının ana bileşenlerinden miktar olarak en büyüğü olan çimentodur. Bu betonlarda çimento seçimi önemli bir yer oluşturmaktadır. Amaca uygun çimento seçiminde daha önce yapılan çalışmalar incelenmiş ve bu çalışmaların sonucunda yüksek performanslı çimentolar kullanıldığı görülmüştür. (Şekil 4.1.) [11,15,22,29,30,31].

Yapılan deneysel çalışmaların tamamında, Nuh Çimento fabrikası tarafından üretilen, PÇ 42,5 CEM I R tipi çimento kullanılmıştır. Çimentoya ait özellikler üretici firmadan temin edilerek, kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikler Tablo 4.1.'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Kullanılan çimento malzemesi

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

Bileşen	Çimento Miktarı %	Silis Dumanı 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	1,95	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	2,65	0,50
H ₂ O		0,80
Kızdırma kaybı	2,34	1,50
İri Parçacıklar(>45µm)		1,00
pH değeri (taze)		5,0-8,0
<u>Özellik</u>	<u>Değer</u>	<u>Değer</u>
Blaine özgül yüzeyi	3830 cm ² /g	200000 cm ² /g
Birim hacim ağırlık	-	0,650 g/cm ³
Özgül ağırlık	3,16	2,260
Priz başlangıcı	156 dakika	-
Priz sonu	198 dakika	-
Hacim Genleşmesi	1,1 mm	-
2 günlük basınç dayanımı	27,3 MPa	-
7 günlük basınç dayanımı	-	-
28 günlük basınç dayanımı	55,3 MPa	-

4.1.2. Silis dumanı

Silis Dumanı, silikon veya demirli silisyum imalatı sırasında atık olarak ortaya çıkan şekilsiz şeffaf silisyum dioksit (SiO_2) kürelerinden oluşmuştur. Blain değeri silis dumanı için yaklaşık 200000 cm^2/g olarak bilinir. Kürelerin ortalama büyüklüğü 0,5 μm altındadır bu da demek oluyor çimento tanesinden yaklaşık 100 kat daha küçük olduğu söylenebilir [32, 33].



Şekil 4.2. Kullanılan silis dumanı malzemesi

Norveç'te bulunan Elkem firmasının 968-U kodlu yoğunlaştırılmamış silis dumanı yapılan deneysel çalışmaların tamamında kullanılmıştır (Şekil 4.2.) [5].

Çok ince taneli ve gri-mavi renkli olup, azot adsorbsiyon metodu ile ölçülen özgül yüzeyi 22,13 m^2/g 'dir [34].

Ayrıca silis dumanının kimyasal ve fiziksel özellikleri üretici firmadan temin edilerek Tablo 4.1.'de verilmiştir.

4.1.3. Kuvars pudrası

Pudranın kimyasal özellikleri ile ilgili bilgiler üretici firma tarafından verilmiştir. Kuvars pudrası yapay yani kırma taş agregadır. Fiziksel özelliklere ait bilgiler ise yapılan çalışmalardan elde edilmiştir. Fiziksel özelliklerden özgül ağırlık, birim hacim ağırlık ve su emme Sakarya Üniversitesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında,

özgül yüzey alanı ise TÇMA laboratuvarında test edilmiştir. Pudraların kimyasal içeriği ve fiziksel özellikleri Tablo 4.2.'de verilmiştir [5].

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 g/cm ³
Özgül ağırlığı	2,701 g/cm ³
Özgül yüzeyi	2142 cm ² /g
Nem içeriği	% 0,08

Kuvars pudrası normal olarak kum boyutundaki agreganın istenilen boyutlara özel teknikler sayesinde getirilmesiyle oluşmaktadır. Kuvars pudrası, kuvars kayasının parçalanmasından elde edildiği için içerisinde silt veya kil gibi küçük taneler bulunmamaktadır. Pudranın elde edilmesinde kullanılan eleme yöntemi, kuru olarak ve basınçlı hava yardımıyla oluşturulmaktadır [5].



Şekil 4.3. Kullanılan kuvars pudrası malzemesi

Deneylerde kullanılan kuvars pudrası Aydın'ın Çine ilçesindeki Santoz Sanayi Tozları Firmasından temin edilmiştir. Kuvars pudrası olarak 0-100 μm tane aralığındaki pudradan numuneler alınmış ve TÇMA laboratuvarında karışım oranlarının belirlenmesi işlemlerinde kullanılmak için numunelerin granülometrisi çizilmiştir. Kuvars Pudrası elek analiz değerleri Tablo 4.3.'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Kuvars pudrası elek analiz sonuçları

Tane Boyutu (μm)	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

Kuvars kumu SİFCON'larda kullanılan en büyük taneye sahip olan malzeme olarak bilinir. Normal dayanımlı betonlarda kullanılan agregaların dayanımı yaklaşık 100 MPa iken, kuvars agregasının basınç dayanımı yaklaşık 180 MPa'a çıkmaktadır. Kuvars kayacı diğer kayalara göre çok sert ve sağlam olduğu bilinmektedir. Sert bir agregası olarak bilindiği için aşınma direnci yüksek olduğu gözlemlenmiştir [35,36].

SİFCON için uygun bir agregası olan kuvars kumu, ayrıca ülkemizde temin edilmektedir. SİFCON'da istenilen verilere ulaşılabilmesi için bu betonlara uygun

agrega kullanılması ön görülmektedir. Kuvars kumu kuvars pudrası ile aynı özelliklere sahiptir. Aralarındaki tek fark kuvars kumunun tane büyüklüğüdür. Deneyde kullanılacak malzemelerin fiziksel özelliklerinden özgül ve birim hacim ağırlık, su emme deneyleri Sakarya Üniversitesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında yapılmış, özgül yüzey deneyleri ise TÇMA laboratuvarında yaptırılarak Tablo 4.4.'teki verilere ulaşılmıştır.

Tablo 4.4. Kuvars kumlarının fiziksel özellikleri

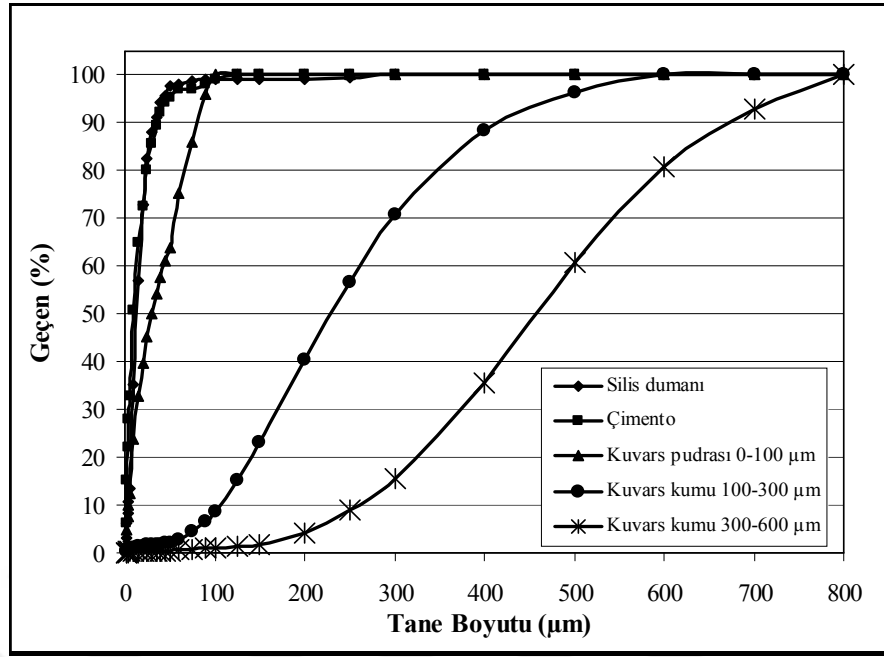
Özellik	100–300 μm Kuvars Kumu	300–600 μm Kuvars Kumu
Birim hacim ağırlığı	1,603 g/cm ³	1,595 g/cm ³
Özgül ağırlığı	2,676	2,680
Özgül yüzeyi	219 cm ² /g	81 cm ² /g
Nem İçeriği	% 0,067	% 0,036

Kuvars kumu, (100–300 μm ve 300-600 μm) deneylerde iki farklı sınıfta kullanılmaktadır. Kuvars kumu olarak 100-300 μm ve 300-600 μm tane aralığında kumlardan numuneler alınmış ve bu numunelerin granülometrisinin belirlenmesi için TÇMA laboratuvarına gönderilmiştir.

Numuneler üzerinde lazer tane dağılım analizi yapılmıştır. Bu analizlere ait sonuçlar Tablo 4.5.'te verilmiştir. SİFCON'da kullanılan taneli malzemelerin toplu olarak granülometri eğrisi Şekil 4.4.'te 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 4.4. Taneli malzemelerin granülometri eğrisi

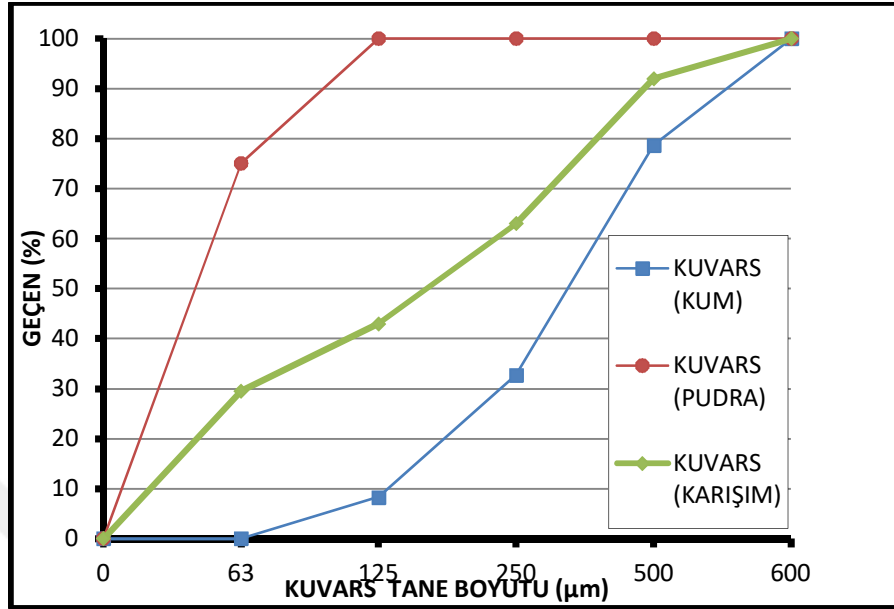


Şekil 4.5. Kullanılan kuvars kumu (100-300) malzemesi



Şekil 4.6. Kullanılan kuvars kumu (300-600) malzemesi

Şekil 4.7.'de kullanılan kuvars malzemesinin kum, pudra ve karışım eğrilerinin grafikte 0-600 μm arasında çizilmiştir.



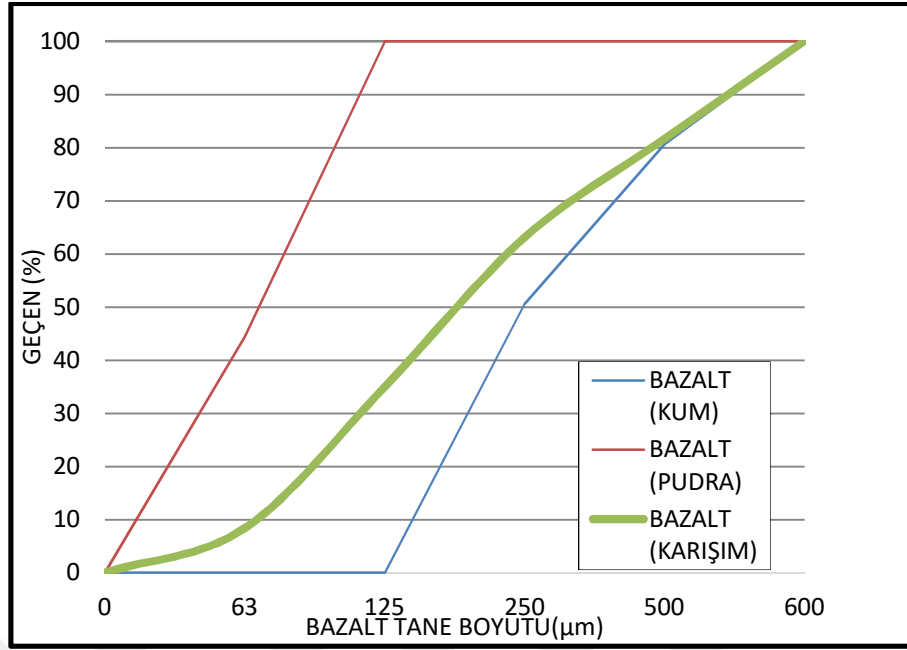
Şekil 4.7. Kullanılan kuvars malzemesinin granülometri eğrisi

4.1.5. Bazalt

Bazalt malzemesi Sakarya İnci Beton firmasından temin edilmiştir. Renkleri koyu gri ve siyahtır. Genellikle altıgen prizma ve sütunlar halinde bulunurlar, çok sert ve ağır taş oldukları gözlemlenmiştir [37].

Piroksen ve olivin kristalleri ihtiva eden çok koyu renkli gabro ve doleritin eş değeri kayadır (TS 10088 EN 932-3 1997). Tablo 4.6. ve Tablo 4.7.'de sırasıyla bazalt kırma taşının kimyasal ve fiziksel özellikleri verilmektedir [38].

Şekil 4.8.'de kullanılan bazalt malzemesinin kum, pudra ve karışım eğrilerinin grafikte 0-600 μm arasında çizilmiştir.



Şekil 4.8. Kullanılan bazalt malzemesinin granülometri eğrisi



Şekil 4.9. Kullanılan bazalt malzemesi

Tablo 4.6. Bazalt agregasının kimyasal özellikleri

Kimyasal Özellikleri	Kullanılan Bazalt Agregasının Değerleri	Kum ve Agreganın Sınır Değerleri (Gürler vd. 2007 b, c)
Klorürler(%)	0,02	≤ % 1
Sülfatlar(%)	0,03	≤ % 1
Alkali-Silika reaksiyonu neden olan bileşenler	Yok	Olmayacaktır
Sertleşmeye neden olan bileşenler	Yok	Olmayacaktır
Curuf Bileşenleri	Yok	Olmayacaktır
Çeliğe zarar veren maddeler (Yükseltgen ve Nitratlar vb.)	Yok	≤ % 1

Tablo 4.7. Bazalt agregasının fiziksel özellikleri.

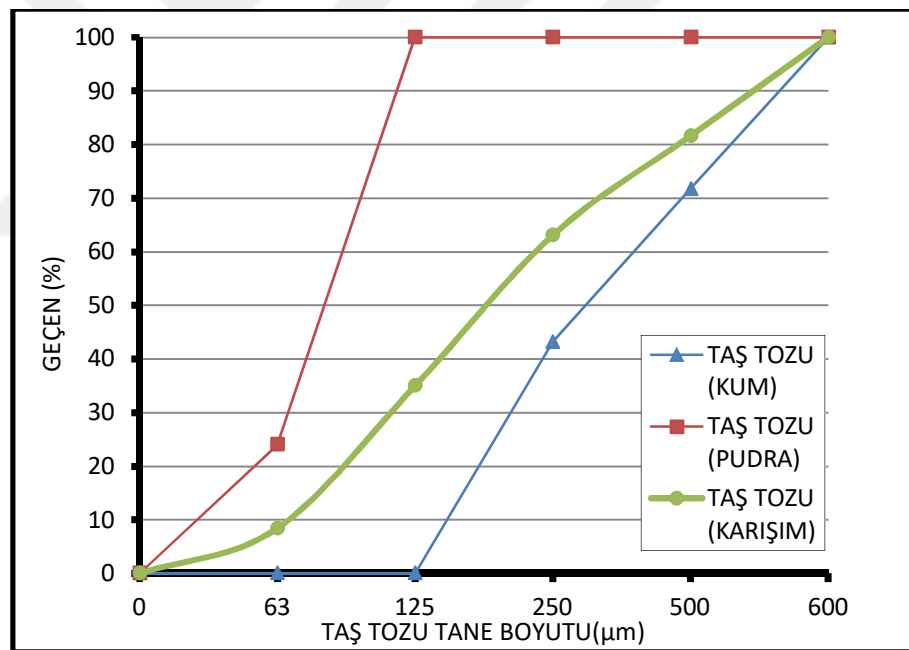
Fiziksel Özellikleri		Kullanılan Bazalt Agregasının Değerleri				Kum ve Agreganın Sınır Değerleri (Gürler vd. 2007 b, c)		
		Elek Çapı (mm)				Kum (0.25-8 mm)	Agrega (8-16mm) ve (16-32mm)	Standart
		16-31.5	16-22	8-16	0-8			
Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Gevşek	1427	1438	1449	1580	-	-	-
	Sıkışık	1554	1566	1575	1800	-	-	-
Dona Dayanıklılık (%)		1	1	3	9	Maksimum %15	Maksimum %15	(EN 1367-2)
Özgül Ağırlık (kg/m ³)		2816	2859	2982	2710	Minimum 2400	Minimum 2600	(EN 1097-6)
Zararlı Bileşen Miktarı(%)		Yok	Yok	Yok	Yok	Maksimum%0,5	Maksimum%0,5	(TS 3528)
Komposite Değeri (G.B. Ağır./Özg.Ağır.)		0,5	0,5	0,48	0,58	-	-	-
Su Emme (24 Saat) %		1,4	1,49	1,6	2	Maksimum %3	Maksimum %3	(EN 1097-6)
Aşınma Değeri (500 Devir) %			17,5		-	Maksimum %25	Maksimum %22	(EN 1097-2)
Organik Madde Miktarı		-	-	-	Açık Sarı	-	-	-
Çamurlu Madde Miktarı %	Hacimce	-	-	-	4,6	-	-	-
	Ağırlıkça	-	-	-	,9	Maksimum %3	Maksimum %1	(TS 3527)

4.1.6. Taş tozu

Bu malzeme beton ve asfalt üretiminde kullanılmaktadır. 0- 4 mm arası ince (tozs) agregadan oluşmaktadır. Sıkıştırma ve esneklik gerektiren işlerde, parke taşı ve boru döşeme gibi alanlarda kullanıma sahiptir [39].

Taş tozu numunesinin görünür tane yoğunluğu $2,74 \text{ g/cm}^3$ etüvde kurutulmuş esasta tane yoğunluğu $2,63 \text{ g/cm}^3$ doymuş ve yüzeyi kurutulmuş esasta tane yoğunluğu $2,67 \text{ Mg/m}^3$ ve su emme oranı ise %1,51 olarak belirtilmektedir.

Şekil 4.10.'da kullanılan taş tozu malzemesinin kum, pudra ve karışım eğrilerinin grafikte 0-600 μm arasında çizilmiştir.



Şekil 4.10. Kullanılan taş tozu malzemesinin granülometri eğrisi

Tablo 4.8. Taş tozu agregasının fiziksel özellikleri

Aşınma Kaybı (%)	Dona Dayanım	Özgöl Ağırlık	Su Emme (%)	Renk
22,1	2,8	2,71	1,1	Grimsi Siyah

Tablo 4.9. Taş tozu agregasının kimyasal özellikleri

Bileşen	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	A.Z.	Toplam
	65,23	12,53	6,05	0,26	4,30	3,81	0,92	2,02	4,75	99,87



Şekil 4.11. Kullanılan taş tozu malzemesi

Tablo 4.10. Taş tozu ve alt külün kimyasal kompozisyonları

Malzemeler	Oksitler (ağırlıkça%)							İg. Kayıp
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	
Taş tozu	60,5	16,2	3,27	3,52	0,95	4,84	3,73	1,7

4.1.7. Kimyasal katkı ve su

Yeni nesil katkıların karışım üzerindeki etkisi, süper akışkanlaştırıcı içeren çimentolu sistemde, çimento tanelerinin dağılım özelliği genel olarak “elektrostatik” ve “stearik” etki mekanizmasıyla sağlanmaktadır. Yeni katkılara ihtiyaç duyulmasının sebebi düşük su çimento oranından dolayı istenilen işlenebilirliği deneylerde elde edebilmektir [5].

Deneylerde bu özelliklere sahip İksa Firması tarafından üretilen yeni jenerasyon bir polikarboksilat bazlı yüksek oranda su azaltıcı süper akışkanlaştırıcı olan Polycar 300 kullanılmıştır.

SİFCON deneylerinde şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

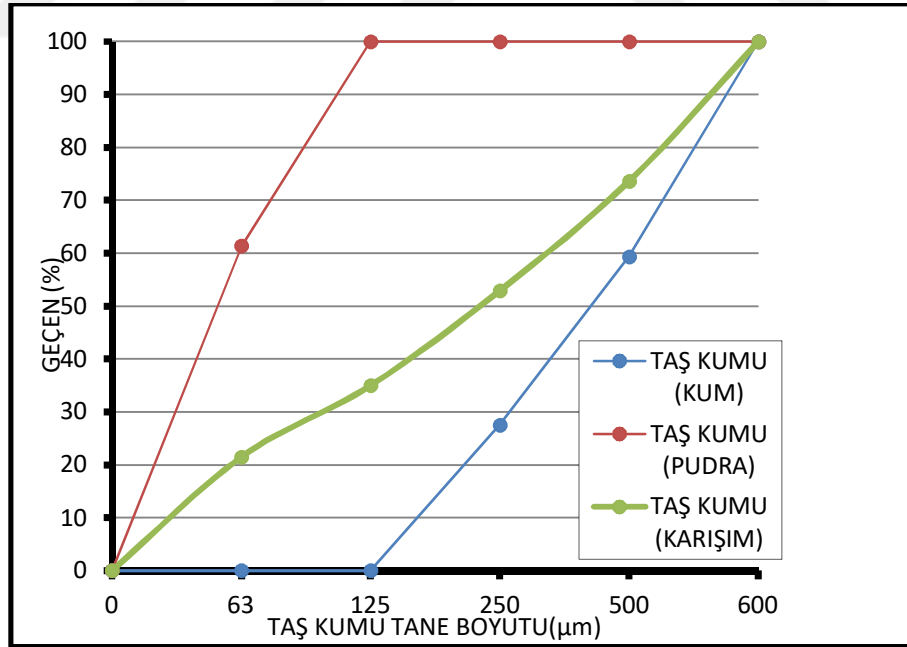
4.1.8. Taş kumu

Renk sarımsı gri, tane büyüklüğü olarak ince taneli ve homojen dağılımlı bir malzemedir. Taş kumunun özgül ağırlığı $2,45 \text{ gr/cm}^3$ olarak bilinmektedir.



Şekil 4.12. Kullanılan taş kumu malzemesi

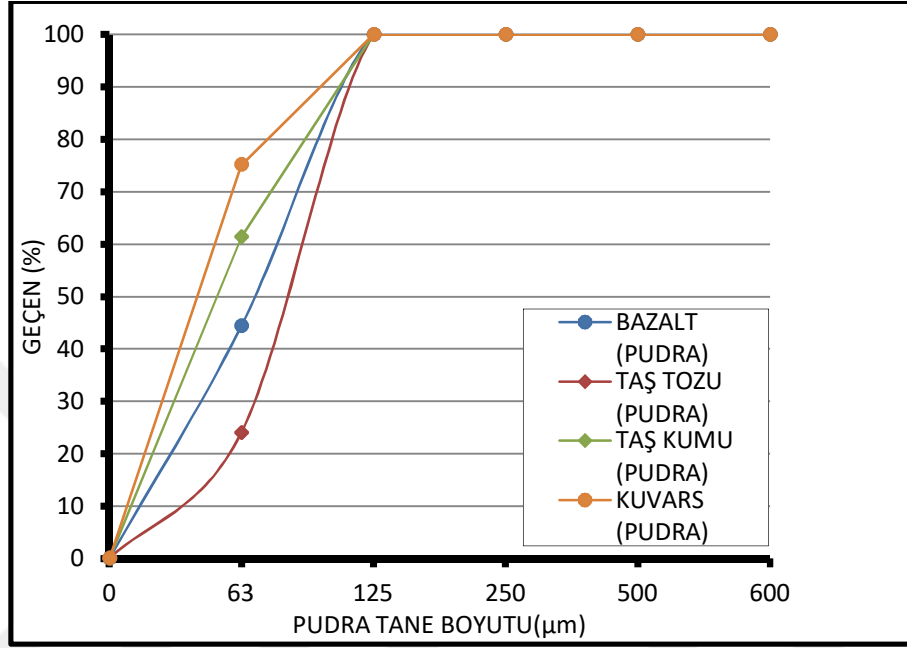
Şekil 4.13.'te kullanılan taş kumu malzemesinin kum, pudra ve karışım eğrilerinin grafikte 0-600 μm arasında çizilmiştir.



Şekil 4.13. Kullanılan taş kumu malzemesinin granülometri eğrisi

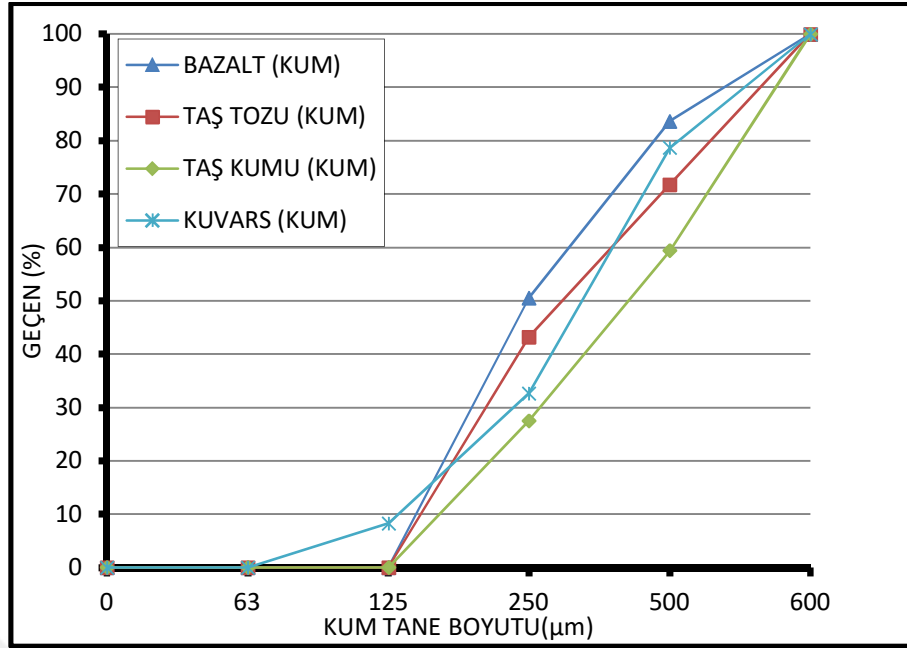
4.1.9. Kullanılan malzemelerin granülometri eğrileri

Her malzemenin kum, pudra ve karışım eğrileri ile birlikte 3 ayrı grafik şeklinde çizilmiştir.



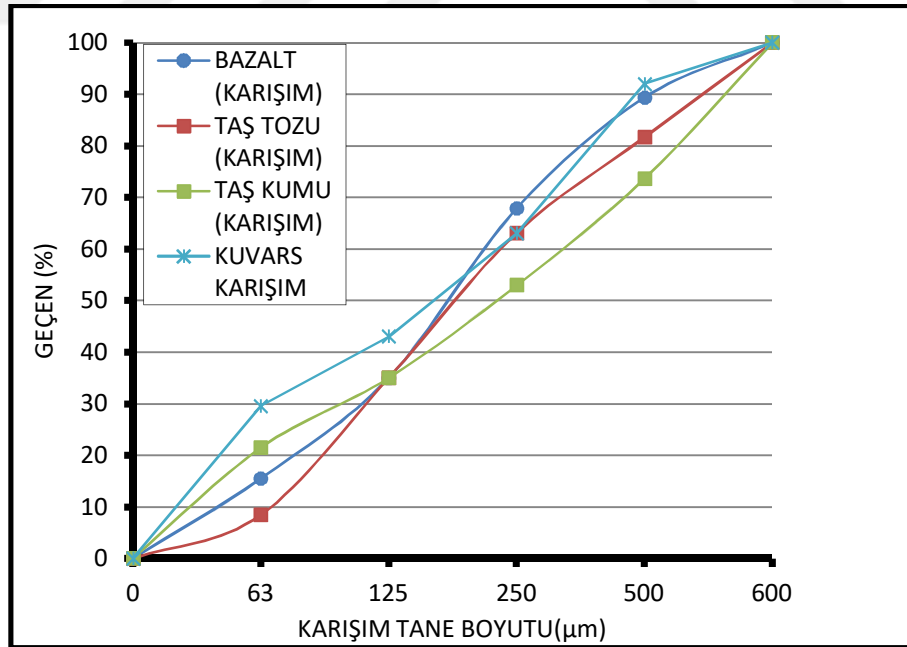
Şekil 4.14. Kullanılan malzemelerin granülometri eğrisi (pudra)

Şekil 4.14.'te kullanılan bazalt, taş tozu, taş kumu ve kuvars malzemelerinin pudra eğrileri grafikte 0-600 μm arasında çizilmiştir.



Şekil 4.15. Kullanılan malzemelerin granülometri eğrisi (kum)

Şekil 4.15.'te kullanılan bazalt, taş tozu, taş kumu ve kuvars malzemelerinin kum eğrileri grafikte 0-600 µm arasında çizilmiştir.



Şekil 4.16. Kullanılan malzemelerin granülometri eğrisi (karışım)

Şekil 4.16.'da kullanılan bazalt, taş tozu, taş kumu ve kuvars malzemelerinin karışım eğrileri grafikte 0-600 µm arasında çizilmiştir.

4.2. Deney Metodu

4.2.1. Beton üretiminde ve üretim sonrasında yapılan aşamalar

Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında deneyler yapılmıştır.

Normal betonlara göre deneyde kullanılacak olan numuneler farklı bir sistemle hazırlanılmıştır. Özellikle SİFCON'da karıştırma işlemi oldukça farklı olduğu bilinmektedir. SİFCON performans özellikleri karıştırılma işlemine 15-20 dakika devam edilip bu aşamanın mikserde dikkatlice gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Deney malzemelerinin mikser içerisine konulma sırası belli bir sistem şeklinde olmalıdır. Yanlış bir sıralama yapıldığı takdirde betonun çok yüksek veya çok düşük dayanımlı bir beton elde edilebilir. Bu şekilde numunelerin üretilmesi için bir mikser tasarlanmıştır (Şekil 4.17.).



Şekil 4.17. SİFCON için tasarlanmış mikser

Numunelerin karıştırma işleminde ilk olarak Referans SİFCON için karıştırma mikserine çimento ve silis dumanı karıştırılmıştır (Şekil 4.18.). Farklı bir kaptaki su ve akışkanlaştırıcı katkı malzemesi birbiriyle özdeşleştirilmiştir. Daha sonra katkı ve su

karışımı mikserdeki çimento ve silis dumanı karışımına eklenmiştir. Sırası ile kuvars pudrası, kuvars kumu (100-300), kuvars kumu (300-600) eklenerek karışım bulamaç haline getirilmiştir. Karışım işlenebilir hale gelinceye kadar mikserde karıştırma işlemi devam etmiştir (Şekil 4.18. , Şekil 4.19.). Karıştırma işlemi diğerleri için ise ikinci numunede kuvars pudrası yerine bazalt, üçüncü numunede kuvars pudrası yerine taş tozu, dördüncü numunede kuvars pudrası yerine taş kumu, beşinci numunede kuvars kumları yerine bazalt altıncı numunede kuvars kumları yerine taş tozu, yedinci numunede kuvars kumları yerine taş kumu, sekizinci numunede kuvars pudrası ve kuvars kumları yerine bazalt, dokuzuncu numunede kuvars pudrası ve kuvars kumları yerine taş tozu ve onuncu numunede kuvars pudrası ve kuvars kumları yerine taş kumu numunesi eklenerek karışımlar bulamaç haline getirilmiştir.



Şekil 4.18. SİFCON için hazırlanmış çimento ve silis dumanı karışımı



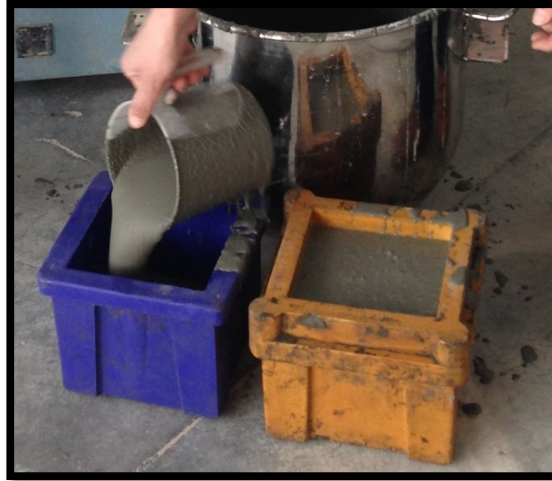
Şekil 4.19. SİFCON için hazırlanmış malzeme karışımı

Hazırlanmış olan numuneler 15*15*15 cm ölçülerindeki iki adet küp ve 4*8*40 cm üç adet kiriş kalıpları hazırlanmıştır. Kalıplara SİFCON dökülmeden önce kalıptan daha kolay ayrılması için kalıplar yağlanmıştır (Şekil 4.20.).



Şekil 4.20. Liflerin yerleştirileceği kalıbın yağlanması

Basınç Deneyleri, Ultrases Deneyleri, Schmidt Çekici Deneyleri için 15*15*15 cm ölçülerinde iki adet küp kalıplarına kalıp ayırıcı yağlar sürüldükten sonra SİFCON karışımı kalıplara dökülmüştür (Şekil 4.21.).



Şekil 4.21. SİFCON kalıplara doldurulması

Eğilme Deneyleri için 4*8*40 cm ölçülerinde üç adet kiriş kalıplarının içerisi kalıp ayırıcı yağ ile yağlandıktan sonra içerisine çelik lifler eşit olarak dağılımı yapılmıştır (Şekil 4.22.).



Şekil 4.22. Liflerin kalıba doldurulması

Kiriş kalıplarına lifler yerleştirildikten sonra SİFCON karışımını yavaşça kalıpların içerisine dökülmüştür. Dökümden sonra beton karışımının yerleştirilen kirişlerde hava boşluğu kalmaması için sarsma makinesine yerleştirilmiştir (Şekil 4.23.).



Şekil 4.23. Lifler yerleştirilmiş kalıpların sarsma makinesine yerleştirilmesi

SİFCON, sarsma tablası üzerinde kiriş kalıplarının üzerine enjekte edilmiştir. Kalıbın tamamının SİFCON ile doldurulmasıyla akıcılığı yüksek olan bulamaç sayesinde farklı bir yüzey düzeltme işlemine ihtiyaç kalmamıştır (Şekil 4.24.).



Şekil 4.24. Lifler yerleştirilmiş kalıpların sarsma makinesinde betonun dökülmesi

SİFCON karışımının tüm kiriş ve küp kalıpları doldurma işlemi bittikten sonra betonların hava almaması için kalıpların hepsi birer poşetle kaplanmıştır (Şekil 4.25. - Şekil 4.26.).



Şekil 4.25. SİFCON kirişlerin poşetlenmesi



Şekil 4.26. SİFCON küplerin poşetlenmesi

Üretilmiş olunan numuneler 1 gün (24 saat) kalıpta bekletilir. 24 saatin ardından kalıptan numuneler çıkartılarak 3 gün 90 °C sıcak buhar kürüne koyulmuştur (Şekil 4.27., Şekil 4.28.).

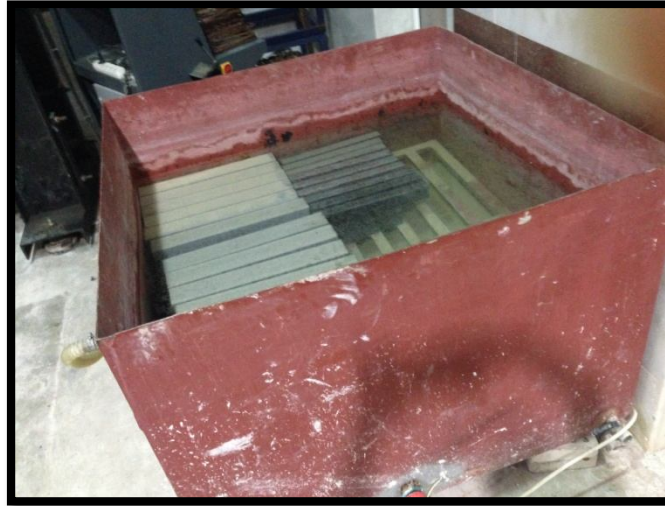


Şekil 4.27. SİFCON numuneleri için buhar kürü makinesi



Şekil 4.28. SİFCON numunelerinin buhar kürüne yerleştirilmesi

Buhar küründen numuneler çıkartılarak 28 günlük kür havuzuna yerleştirilmiştir (Şekil 4.29.).



Şekil 4.29. SİFCON numunelerin kür havuzuna bırakılması

Kür havuzunda 28 gün kalan numuneler çıkartılmıştır. Numuneler kurumaya bırakılır ve daha sonra belirtilmiş olan deneyler yapılmıştır (Şekil 4.30.).



Şekil 4.30. SIFCON numunelerin deneyler için kurumaya bırakılması

4.2.2. Deneylerde kullanılan yöntem

Deneyisel çalışmalar aşağıda verilen akış sırasına göre yapılmıştır.

- a. SIFCON'un üretilmesi
- b. Liflerin yalnız olarak kullanılması
- c. Eğilme ve basınç parametrelerinin incelenmesi
- d. Birim maliyet analizlerinin yapılması

Yukarıdaki maddelere göre SIFCON üretiminde kullanılan malzemeler temin edilmiş ve özgül ağırlıkları değerleri belirlenmiştir. Daha sonra karışım oranları hesaplanmıştır. Belirlenen karışıma göre SIFCON üretimi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra ilk olarak belirlenen karışımındaki kuvars pudrası ile farklı kayaç türlerinden üretilen pudra boyutundaki agregalar ikameli olarak kullanılmıştır. İkinci aşamada, kuvars kumu ile farklı kayaç türlerinden üretilen kum boyutundaki agregalar ikameli olarak kullanılmıştır. Son aşamada ise kuvars pudrası ve kuvars kumu ile farklı kayaç türlerinden üretilen pudra ve kum boyutundaki agregalar ikameli olarak kullanılmıştır.

Deney karışımları Referans olarak üretilen SIFCON da Bazalt, Taş Tozu, Taş Kumu ikameli olarak farklı oranlarda Birim Hacim Ağırlık, Basınç Dayanımı, Eğilme Dayanımı ve Kırılma Tokluğu gibi parametreleri üzerindeki etkisi bulunmuştur. Bu

4.2.2.2. Numune kodları

Bu çalışmada referans ve 9 farklı numune ve toplam 10 numune bilişiminde betonlar oluşturulmuştur. Bütün beton gruplarında performans artırıcı çelik lifler kullanılmıştır.

Üretilen betonlardan referans numunesi için “REF” kodu verilmiştir.

Birinci grup numunelerde Kuvars Pudrası çıkartılıp yerine Bazalt numunesi için “BKK” kodu, Taş Tozu numunesi için “TTKK” kodu, Taş Kumu numunesi için “TKKK” kodu verilmiştir.

İkinci grup numunelerde Kuvars Kumları çıkartılıp yerlerine Bazalt numunesi için “KPB” kodu, Taş Tozu numunesi için “KPTT” kodu, Taş Kumu numunesi için “KPTK” kodu verilmiştir.

Üçüncü grup numunelerde Kuvars Pudrası ve Kuvars Kumları çıkartılıp yerine Bazalt numunesi için “B” kodu, Taş Tozu numunesi için “TT” kodu, Taş Kumu numunesi için “TK” kodu verilmiştir (Tablo 4.12.).

Tablo 4.12. Üretilen betonların numune adları ve kodları

Numune Adı	Numune Kodu	Grup Numarası
Referans	REF	***
Bazalt Pudrası-Kuvars Kumu	BKK	Birinci Grup (Kuvars Pudrası Çıkarıldı)
Taş Tozu Pudrası-Kuvars Kumu	TTKK	
Taş Kumu Pudrası-Kuvars Kumu	TKKK	
Bazalt Kumu-Kuvars Pudrası	KPB	İkinci Grup (Kuvars Kumları Çıkarıldı)
Taş Tozu Kumu-Kuvars Pudrası	KPTT	
Taş Kumu Kumu-Kuvars Pudrası	KPTK	
Bazalt Pudrası-Kumu	B	Üçüncü Grup (Kuvars Pudrası+Kuvars Kumları Çıkarıldı)
Taş Tozu Pudrası-Kumu	TT	
Taş Kumu Pudrası-Kumu	TK	

4.2.2.3. Basınç dayanımı

Basınç deneyi ile ilgili olarak iki adet 15*15*15 cm boyutlarında küp numuneler kullanılmıştır. Yükleme hızı ayarlanabilen 3000 kN kapasiteli beton presinde TSE standartlarına uygun olarak Basınç dayanım testleri yapılmıştır (Şekil 4.31., Şekil 4.32., Şekil 4.33.) [43,44,45].



Şekil 4.31. Beton basınç dayanımı deney makinesi



Şekil 4.32. Beton basınç dayanımı deneyi



Şekil 4.33. Beton basınç dayanımı ölçüm görüntüsü

Standarda göre deney sonuçları değerlendirilerek numunelere ait mekanik özellikler bulunmuştur [46,47].

Elde edilen veriler bulunarak numunelerin basınç dayanımlarının hesaplanmasında aşağıdaki denklem 4.1 kullanılmıştır.

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

σ = Net basınç dayanımı (MPa)

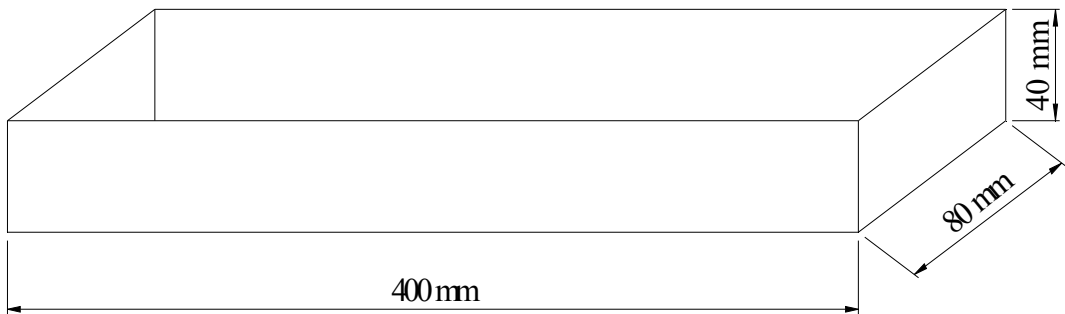
P = Kırılma yükü (N)

A = Numune kesit alanı (mm²)

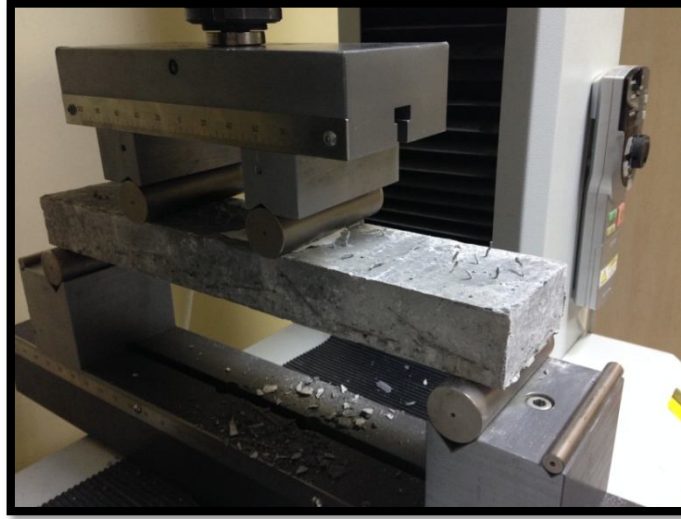
olarak bulunmaktadır.

4.2.2.4. Eğilme dayanımı

Bu deneyde kullanılmak üzere her bir numuneden 3 adet olmak üzere 80×40×400 mm numuneler üretilmiştir (Şekil 4.34., Şekil 4.35., Şekil 4.36.).



Şekil 4.34. Eğilme deneyi numune şekli



Şekil 4.35. Eğilme deneyi düzeneği



Şekil 4.36. Eğilme deneyi ölçüm görüntüsü

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 4.37.) [48,49].

Deney cihazının yükleme hızı TS 10515'te belirtildiği gibi kiriş orta noktasında 0,05-0,10 mm/dk. Sehim yapacak şekilde yerleştirilmiştir. İki mesnet arasındaki açıklık olan 360 mm, üç eşit parçaya bölünerek kiriş numunesi Şekil 4.37.'deki gibi iki noktadan yüklenilmiştir [48,49].

Numuneler bu şekilde kırılıncaya kadar yük uygulanarak yük sehim grafikleri çizilmiştir.



Şekil 4.37. Eğilme deney cihazı görüntüsü

Eğilme dayanımlarının hesaplanması aşağıdaki 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 genişliği (mm)

h = Numune yüksekliği (mm)

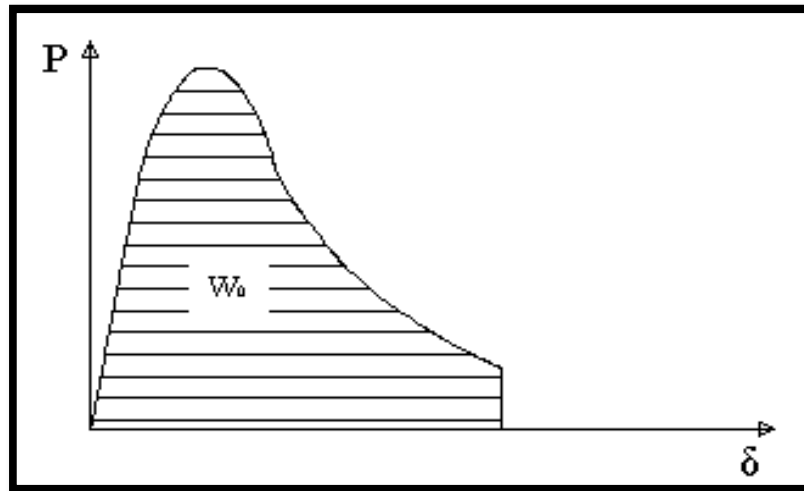
olarak elde edilmektedir. Numunelere ait dayanımlar hesaplanarak deneysel sonuçlar bölümünde verilmiştir. Elastik şekil değiştirme indeksleri; ASTM C 1018’de tokluk değerlendirmesi, betonun yük sehim eğrisi altında kalan alan cinsinden ifade edilmektedir [50].

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 [5].

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. Sünek malzemelerde şekil değiştirme kapasitesi yüksek olduğu için, kırılma anında büyük sehimlere ulaşılmakta ve harcanan enerji artmaktadır. Birim alan başına çatlak oluşturmak için gereken enerji miktarı malzemenin kırılmaya karşı direncini belirler. Burada, numunelerin yük sehim eğrileri elde edilerek kırılma enerjileri hesaplanabilmektedir [51].

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 [51].

Örnek bir yük-sehim eğrisi Şekil 4.38.'de verilmektedir.



Şekil 4.38. Yük sehim grafiği ve kırılma tokluğu [51]

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 [48-49].

Numunelerin normal standartlara göre daha küçük boyutta olmasına rağmen sünekliliği normal betonlara göre fazla olduğu görülmektedir [5].

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 [52].

4.2.2.5. Ultrases geçiş hızı

Ultrases geçiş hızı deneyi, beton içerisindeki boşluk miktarından yola çıkarak ses iletiminin hızına göre beton kalitesi hakkında fikir edinebilmek için yapılan tahribatsız deneylerdendir. Deney 15x15x15 cm boyutlu 7 ve 28 günlük küp numunelerde ASTM C597-09 uygun olarak yapılmıştır [53].



Şekil 4.39. Ultrases geçiş hızı deneyi numunenin ölçüme hazırlanması

Ses kaybını önlemek amacıyla probalar ile numune arasına gres yağı sürülmüştür (Şekil 4.41.).



Şekil 4.40. Ultrases geçiş hızı deney aleti



Şekil 4.41. Ultrases geçiş hızı deneyi probalara gres yağı sürülmesi

Ultrases aletinin probaları, küp numunenin iki karşıt yüzeyine Şekil 4.42.'deki gibi uygulanmış ultrases aletinden geçiş süresi alınmıştır.



Şekil 4.42. Ultrases geçiş hızı deneyi problarla deneyin uygulanması

Ses geçiş süresi (t , μs) ekrandan okunarak problar arası mesafe (ℓ , mm) ye oranlanması suretiyle ses geçiş hızı (V , mm/ μs) elde edilmiştir [5].

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

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 4.13.'te verilmiştir [5].

Tablo 4.13. Ultrases 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

4.2.2.6. Schmidt çekici

Tahribatsız beton olarak bilinen Schmidt Çekici beton deneylerindendir. Bu ise yüzey sertliğine dayanarak söylenebilir. Schmidt Çekici Deneyi ile tahribatsız betonun basınç dayanımı ile ilgili fikir edinmek mümkündür. Schmidt Çekici Deneyi 3 günlük 90 °C sıcak buhar kürüne tabi tutulmuş 15x15x15 cm boyutlu küp numuneler kullanılmıştır (Şekil 4.43.).



Şekil 4.43. Schmidt çekici deneyi

Schmidt Çekici Deneyi gözeneksiz betonlar için kullanılır. Deney yapılacak olan yüzey düz, temiz ve kuru olmalıdır. Bundan dolayı betonun ölçüm alınacak yüzeyi yağ, toz, kir ve boya maddelerinden temizlenmiş olması gerekmektedir. Her bir örnek yüzeyden 20 okuma alınarak her okuma noktaları arasında ise 20 mm bulunmaktadır. Kenarlara ise 40-50 mm den fazla yaklaşılmamalıdır (Şekil 4.44.).



Şekil 4.44. Schmidt çekici numuneye uygulanması

BÖLÜM 5. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Deneysel Bulgular ve Tartışma

Deney sonuçları ayrı başlıklar altında incelenmiştir.

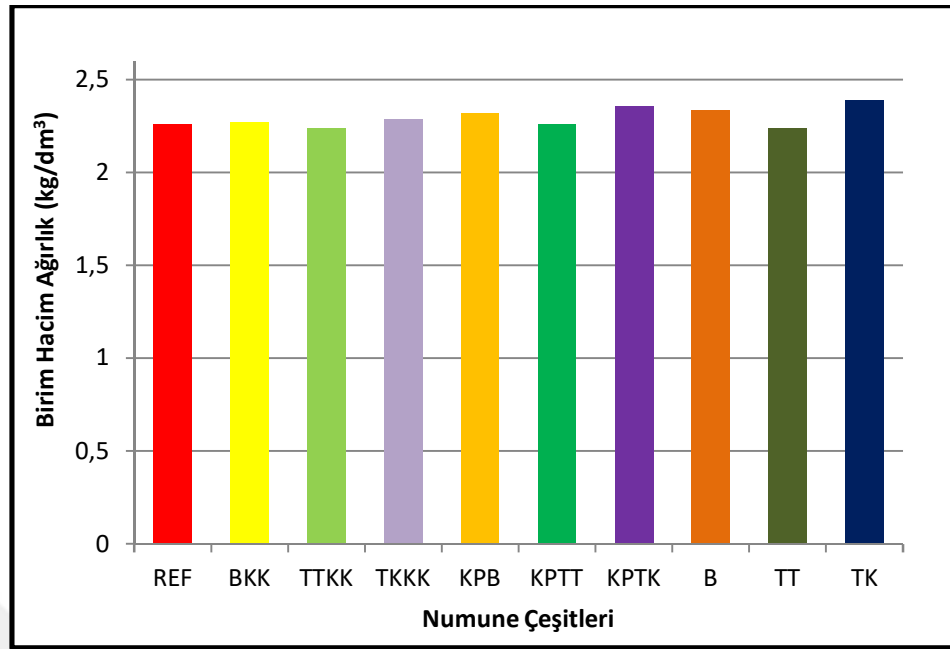
5.1.1. Birim hacim ağırlık

Basınç deneyinde kullanılmış olan 150 mm'lik küp numunelerde REF, BKK, TTKK, TKKK, KPB, KPTT, KPTK, B, TT, TK farklı oranlar içeren beton numunelerinin birim hacim ağırlığına ait değerleri Tablo 5.1.'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Beton birim hacim ağırlıkları

Numune Adı	Birim Hacim Ağırlık(kg/dm ³)
TTKK	2,23
TT	2,24
REF	2,25
KPTT	2,26
BKK	2,27
TKKK	2,28
KPB	2,32
B	2,33
KPTK	2,35
TK	2,38

Birim hacim ağırlığının beton numunelerinin oranları ile olan ilişkisine ait değişim grafiği Şekil 5.1.'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Beton birim hacim ağırlık değişim grafiği

Üretilen numunelerin Tablo 5.1.'e bakıldığında, Birim hacim ağırlık değerleri 2,1 kg/dm³, 2,4 kg/dm³ arasında bir değerde dağılım göstermektedir. REF numunesi 2,25 kg/dm³ çıkmıştır.

Kuvars kumları kullanılan numunelerin birim hacim ağırlıkları REF numuneye göre TTKK %0,88 azalma göstermiş, TKKK %1,33 ve BKK %0,88 yüksek bulunmuşlardır. Buna göre kuvars kumunun taş tozuna göre daha ağır bir malzeme olduğu gözlemlenmiştir.

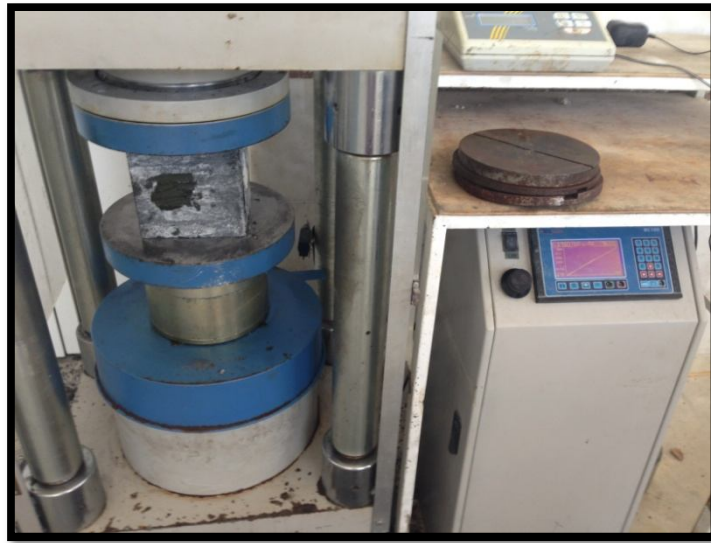
Kuvars pudrası kullanılan numunelerin birim hacim ağırlıkları REF numuneye göre KPTK %4,44 KPTT %0,44 ve KPB %3,11 yüksek bulunmuştur. Şekil 5.1. incelendiğinde tam olarak doğrusal olmasa da birim hacim ağırlığının artması gözlenmektedir. Bu malzemelerin yoğunlukları birbirine yakın olduğu için beton birim hacim ağırlıkları birbirine yakın çıkmıştır.

Malzemelerin tamamı kendisinden olan numunelerin birim hacim ağırlıkları REF numunesine göre TT %0,44 düşük, TK %5,77 ve B %3,55 bulunarak yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

KPTT, BKK, TKKK, KPB, B, KPTK, TK numunelerinin birim hacim ağırlıkları REF numunesine kıyasla daha yüksek sonuç elde edilmiştir.

5.1.2. Basınç dayanımı

Basınç deneyinde kullanılmış olan 150 mm'lik küp numunelerde REF, BKK, TTKK, TKKK, KPB, KPTT, KPTK, B, TT, TK farklı oranlar içeren beton numunelerinin basınç dayanımına ait değerleri Tablo 5.2.'de verilmiştir (Şekil 5.2., Şekil 5.3.).



Şekil 5.2. Basınç dayanımı deney aleti

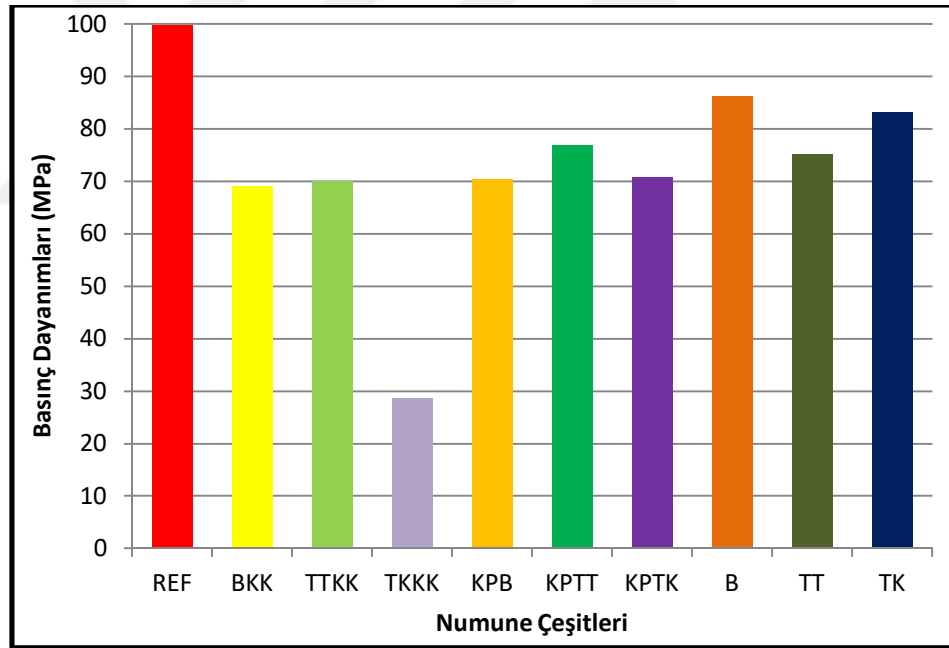


Şekil 5.3. Basınç dayanımı numunenin deney uygulama sonrası kırılma şekli

Tablo 5.2. Beton basınç dayanımı

Numune Adı	Basınç Dayanımı (MPa)
TKKK	28,63
BKK	69,08
TTKK	70,09
KPB	70,47
KPTK	70,79
TT	75,23
KPTT	76,91
TK	83,24
B	86,29
REF	99,75

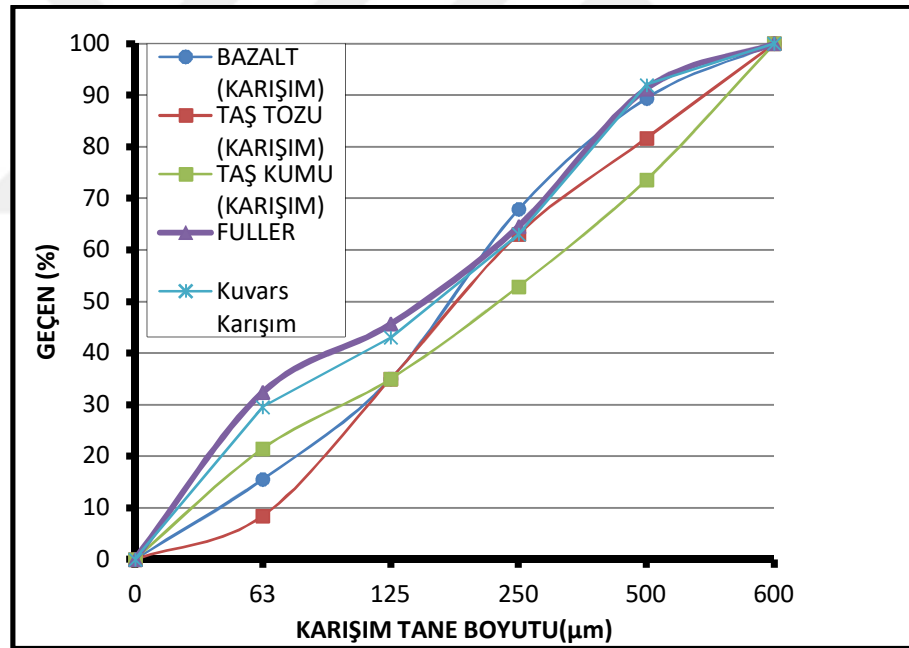
Basınç Dayanımı yapılmış beton numunelerinin oranları ile olan ilişkisine ait değişim grafiği Şekil 5.4.'te verilmiştir.



Şekil 5.4. Beton basınç dayanımı değişim grafiği

Üretilen numunelerin Tablo 5.2.'de bakıldığında Basınç Dayanımı değerleri 28 MPa, 100 MPa arasında bir değerde dağılım göstermektedir. Üretilen numunelerin Şekil 5.4.'e bakıldığında ise BKK, TTKK, TKKK, KPB, KPTT, KPTK, B, TT, TK numunelerinin basınç dayanımları REF numunesinden düşük çıkmıştır.

Kuvars kumları kullanılan numunelerin basınç dayanımları referans numuneye göre en çok dayanım kaybeden numunelerdir. Bu numuneler referansa göre; yaklaşık BKK %31, TTKK %30, TKKK %71 oranında düşüş göstermiştir. İyi betonun hız üretim katsayısı iyi olması gerekmektedir. Basınç mukavemetinin yüksek olanın REF numunesi olması gerekirken en yüksek TK numunesi çıkmıştır. Dayanımdaki bu azalmanın nedeni olarak numunelerde kullanılan agregaların kuvars agregasına daha düşük dayanımda ve granülometrilerinin referans agrega granülometrisine göre daha boşluklu bir yapı oluşturacak olmasına bağlanabilir. Şekil 5.5.'de incelendiğinde kuvars kumu ve pudrası karışımının, ideal karışım olarak kabul edilen fuller eğrisine çok yakın olduğu veya benzerlik gösterdiği görülmektedir. Diğer karışımların öğütülme işlemine bağlı olarak granülometrilerinin fullerden farklı çıktığı görülmektedir.



Şekil 5.5. Kullanılan malzemelerin granülometri eğrisi (karışım)

Kuvars Pudrası kullanılan numunelerin basınç dayanımları referansa göre bir miktar düşmüştür. Bu numuneler referansa göre, KPB %29, KPTK %29, KPTT %23 oranında düşüş göstermiştir. Bu düşüşün nedeni olarak, kuvars pudrasının çimento pastası boşluklarını doldurduğu ve pudra boyutundaki agreganın kuvars olmadığı serilere göre B %14, TK %17, TT %25 daha iyi çıkmıştır.

Neden olarak; kuvars kumunun taş kumuna göre daha ağır bir malzeme olduğu gözlemlenmiştir. Basıncında düşüş olan agreganın dayanımından kaynaklı olmuştur. REF numunesinin yüksek olması tüm malzemelerin tamamı hem pudra hem kumu aynı cins agrega olduğunda daha iyi dayanım elde edildiği gözlenmiştir. Dayanımı düşüren önemli etkenin kuvars pudrası olduğu görülmektedir. Kuvars pudrası 100 mikronun altında kullanılan malzemede 125 mikronun altında olarak belirlenmiştir. Daha sonrasında da kuvars pudrası kullanıldığında dayanım daha yüksek; bunun nedeni olarak kuvars pudrasının daha ince olması ve çimento pastasındaki boşlukları doldurması ile açıklanabilir.



Şekil 5.6. Beton basınç dayanımı numuneleri



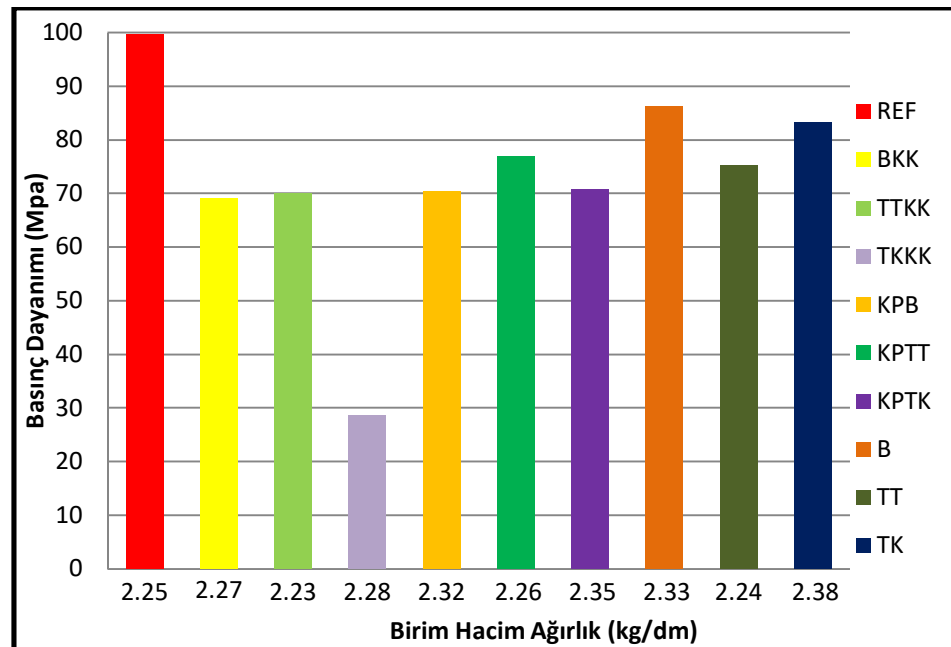
Şekil 5.7. Beton basınç dayanımı küp numuneleri

Basınç deneyinde kullanılmış olan 150 mm'lik küp numunelerde REF, BKK, TTKK, TKKK, KPB, KPTT, KPTK, B, TT, TK farklı oranlar içeren beton numunelerinin basınç dayanımı ve birim hacim ağırlığı değişimine ait değerleri Tablo 5.3.'te verilmiştir.

Tablo 5.3. Beton basınç dayanımı-birim hacim ağırlık ilişkisi

Numune Adı	Basınç Dayanımı (MPa)	Birim Hacim Ağırlık(kg/dm ³)
TKKK	28,63	2,28
BKK	69,08	2,27
TTKK	70,09	2,23
KPB	70,47	2,32
KPTK	70,79	2,35
TT	75,23	2,24
KPTT	76,91	2,26
TK	83,24	2,38
B	86,29	2,33
REF	99,75	2,25

Basınç Dayanımı ve Birim Hacim Ağırlık ilişkisi ile yapılmış beton numunelerinin oranlarına ait değişim grafiği Şekil 5.8.'de verilmiştir.



Şekil 5.8. Beton basınç dayanımı-birim hacim ağırlık ilişkisi grafiği

Üretilen numunelerin Tablo 5.3.'te bakıldığında, Basınç Dayanımı değerleri ve Birim Hacim Ağırlık değerleri arasındaki ilişki REF numunesine oranla basınç dayanımları daha düşük çıkmıştır, fakat REF numunesine göre Birim Hacim Ağırlıkları TKKK, BKK, KPB, KPTK, KPTT, TK ve B numuneler daha yüksek, TTKK, TT numuneleri düşük çıkmıştır.

Şekil 5.8.'e bakıldığında ise BKK, TTKK, TKKK, KPB, KPTT, KPTK, B, TT, TK numunelerinin Basınç Dayanımları ve Birim Hacim Ağırlıkları arasındaki ilişkisi grafikteki değerler REF numunesinden düşük çıkmıştır. Şekil 5.8. grafiğinde doğrusal bir artış görülmektedir.

Kuvars pudrası kullanıldığında dayanım daha yüksek; dayanımın yüksek çıkması çimento pastası arasındaki boşlukları dolduracaktır. Pudranın ve çimentonun boşluklarını doldurmuştur. Hem birim hacim ağırlıkta hem de basınç dayanımında REF numunesi diğer numunelere oranla daha yüksek çıkmıştır. Basınç maliyeti TKKK ve REF kıyasla yüksek çıkmıştır.

5.1.3. Ultrases geçiş hızı

Basınç deneyinde kullanılmış olan 150 mm'lik küp numunelerde REF, BKK, TTKK, TKKK, KPB, KPTT, KPTK, B, TT, TK farklı oranlar içeren beton numunelerinin ultrases geçiş hız değişimine ait değerleri Tablo 5.4.'te verilmiştir.

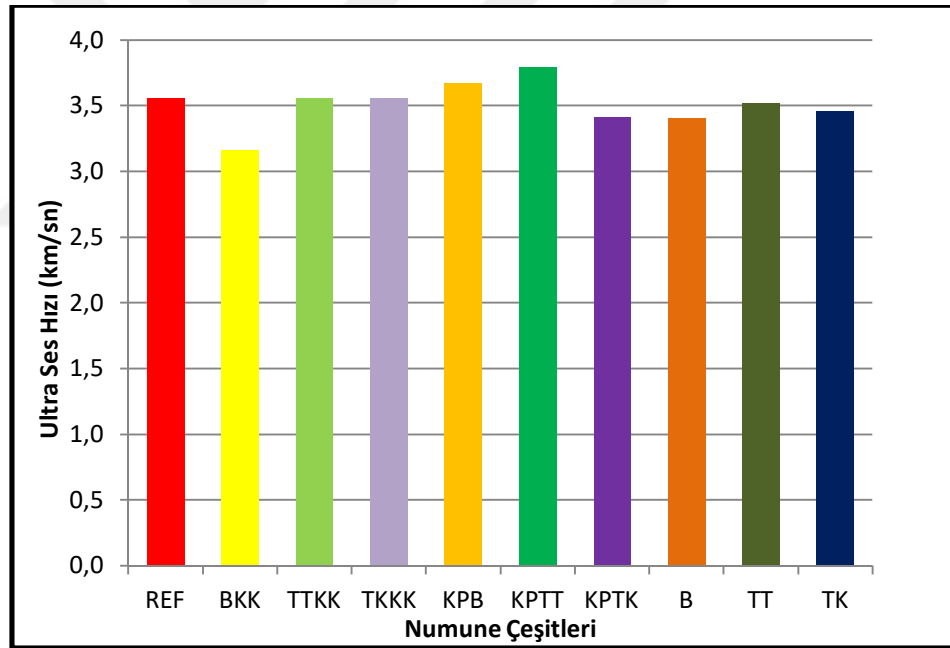


Şekil 5.9. Ultrases geçiş hızı numuneye uygulanması

Tablo 5.4. Ultrases geçiş hızı

Numune Adı	Ultrases Hızı (km/sn)
BKK	3,16
B	3,40
KPTK	3,41
TK	3,46
TT	3,52
REF	3,56
TTKK	3,56
KPB	3,67
KPTT	3,79
TKKK	3,56

Ultrases geçiş hızı deneyi ile yapılmış beton numunelerinin oranlarına ait değişim grafiği şekil 5.10.'da verilmiştir.



şekil 5.10. Beton ultrases hızı değişim grafiği

Tablo 5.4. incelendiğinde ultrases geçiş hızı değerleri REF numunesine göre TT, TK, KPTK, B, BKK daha düşük çıkmıştır. Ultrases geçiş hızı değerleri REF numunesine göre KPB, KPTT, TKKK daha yüksek çıkmıştır. Sadece TTKK ve TKKK numuneleri REF numunesi ile aynı değerlere sahiptir. REF numunesi 3,56 km/sn çıkmıştır.

Kuvars kumları kullanılan numunelerin Ultrases hızı REF numuneye göre BKK % 11 düşük olarak gözlemlenmiştir.

Kuvars pudrası kullanılan numunelerin Ultrases hızı REF numuneye KPTK % 4 düşük, KPB % 3, KPTT % 6 yüksek olarak bulunmuştur. Ultrases geçiş hızı deneyi Şekil 5.10. değişim grafiğinde numunelerde sürekli bir artış görülmüştür.

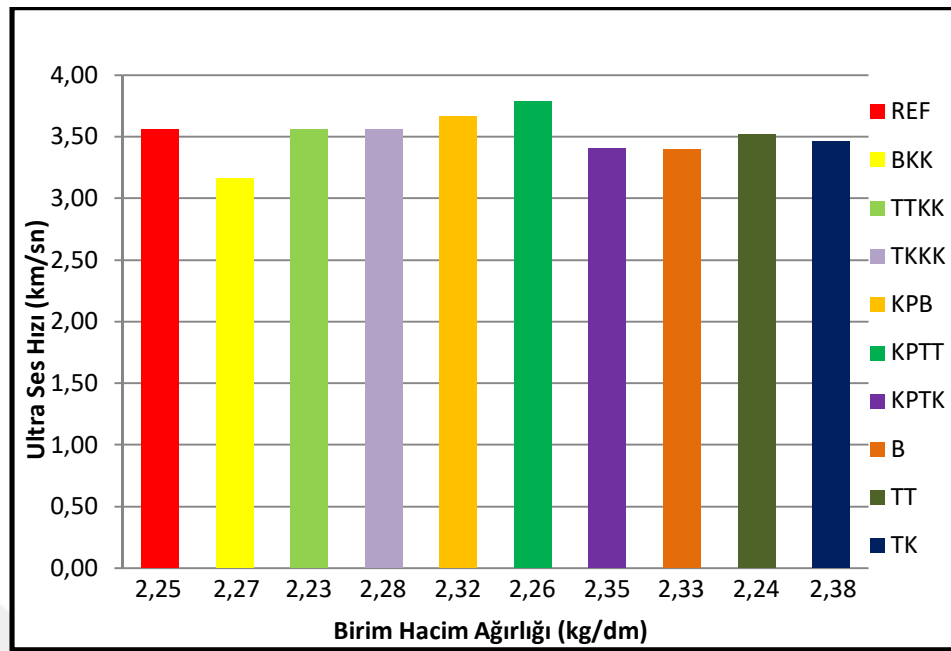
Malzemelerin tamamı kendisinden olan numunelerin Ultrases hızı REF numunesine göre B % 4, TK % 2, TT % 1 düşük çıktığı gözlemlenmiştir.

Basınç deneyinde kullanılmış olan 150 mm'lik küp numunelerde REF, BKK, TTKK, TKKK, KPB, KPTT, KPTK, B, TT, TK farklı oranlar içeren beton numunelerinin ultrases geçiş hızı ve birim hacim ağırlığı değişimine ait değerleri Tablo 5.5.'te verilmiştir. Ultrases geçiş hızındaki değerler malzemenin içi yoğunluğundan kaynaklandığı düşünülebilir. Ultrases dayanım arttıysa boşluk azaldı anlamına gelir şayet ultrases hızı arttı ise dayanım artış göstermiş demektir. Ultrases geçiş hızının arttığı dolayısıyla betonun dayanımının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 5.5. Ultrases hızı-birim hacim ağırlık ilişkisi

Numune Adı	Ultrases Hızı (Km/sn)	Birim Hacim Ağırlık(kg/dm3)
BKK	3,16	2,27
B	3,40	2,33
KPTK	3,41	2,35
TK	3,46	2,38
TT	3,52	2,24
REF	3,56	2,25
TTKK	3,56	2,23
KPB	3,67	2,32
KPTT	3,79	2,26
TKKK	3,56	2,28

Ultrases geçiş hızı ve birim hacim ağırlık ilişkisi ile yapılmış beton numunelerinin oranlarına ait değişim grafiği Şekil 5.11.'de verilmiştir.



Şekil 5.11. Ultrases hızı -birim hacim ağırlık ilişkisi grafiği

Üretilen numunelerin Tablo 5.5.'te bakıldığında, ultrases geçiş hızı değerleri ve birim hacim ağırlık ilişkisi arasında üretilen numunelerin REF numunesine göre azalış ve artış aynı oranlarda gerçekleşmiştir.

Şekil 5.11.'e bakıldığında ise; REF numunenin ultrases geçiş hızı ve birim hacim ağırlıkları arasındaki ilişkisi grafikteki değerler birbirine yakın değerler bulunmuştur. Deney guruplarının birim hacim ağırlık ve ultrases geçiş hızı arasında birbirini etkileyen bir bağıntı olmadığı görülmektedir. Karışımındaki malzeme oranlarının değişmesi pudra veya kumun ikameli olarak karışımın yerine kullanılmasının ultrases geçiş hızının betonun birim hacim ağırlığı ile mukayesesinde kayda değer bir ilişkiye rastlanmamıştır. Birim hacim ağırlık kıyaslayınca ikisinin de artmış veya azalmış olması birim hacim ağırlık dayanımının düşüş göstermesi diğerine göre çok az farklılık görülmüştür. Çelik liflerin özgül ağırlıkların ve iletkenliklerinin yüksek olmasından kaynaklı olarak birim hacim ağırlığındaki iletkenliğinin artmış olması ultra ses geçiş hızını da arttırmaktadır.

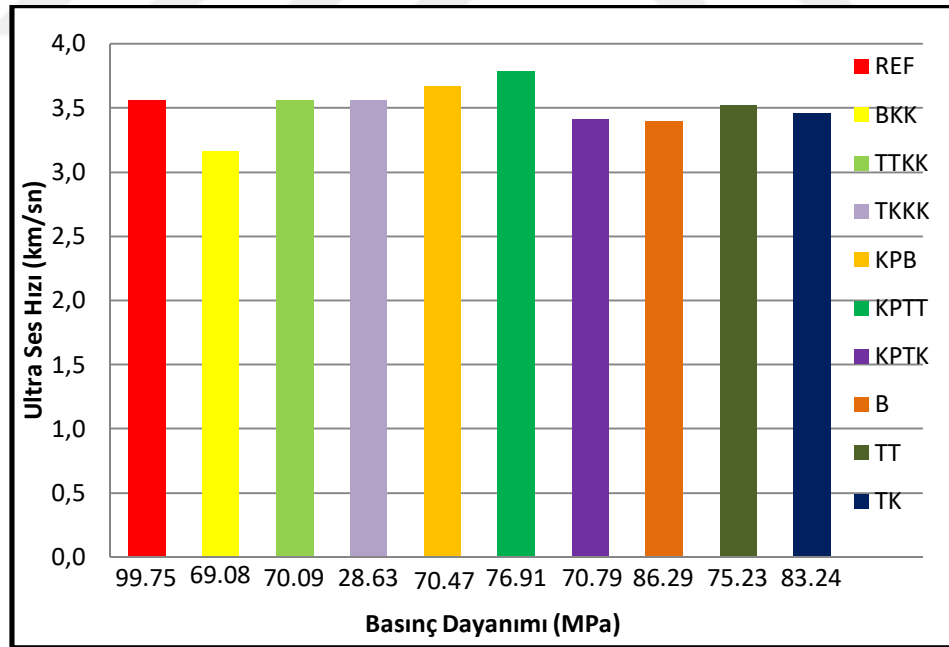
Basınç deneyinde kullanılmış olan 150 mm'lik küp numunelerde REF, BKK, TTKK, TKKK, KPB, KPTT, KPTK, B, TT, TK farklı oranlar içeren beton numunelerinin

ultrases geçiş hızı ve beton basınç dayanımı değişimine ait değerleri Tablo 5.6.'da verilmiştir.

Tablo 5.6. Ultrases hızı-basınç dayanımı ilişkisi

Numune Adı	Ultrases Hızı (Km/sn)	Basınç Dayanımı (Mpa)
BKK	3,16	69,08
B	3,40	86,29
KPTK	3,41	70,79
TK	3,46	83,24
TT	3,52	75,23
REF	3,56	99,75
TTKK	3,56	70,09
KPB	3,67	70,47
KPTT	3,79	76,91
TKKK	3,56	28,63

Ultrases geçiş hızı ve beton basınç dayanımı ilişkisi ile yapılmış beton numunelerinin oranlarına ait değişim grafiği şekil 5.12.'de verilmiştir.



şekil 5.12. Ultrases hızı-basınç dayanımı ilişkisi grafiği

Tablo 5.6. incelendiğinde ultrases geçiş hızı ve beton basınç dayanımı arasında REF numunesinden yüksek çıkan numuneler basınç dayanımında düşük çıkmıştır.

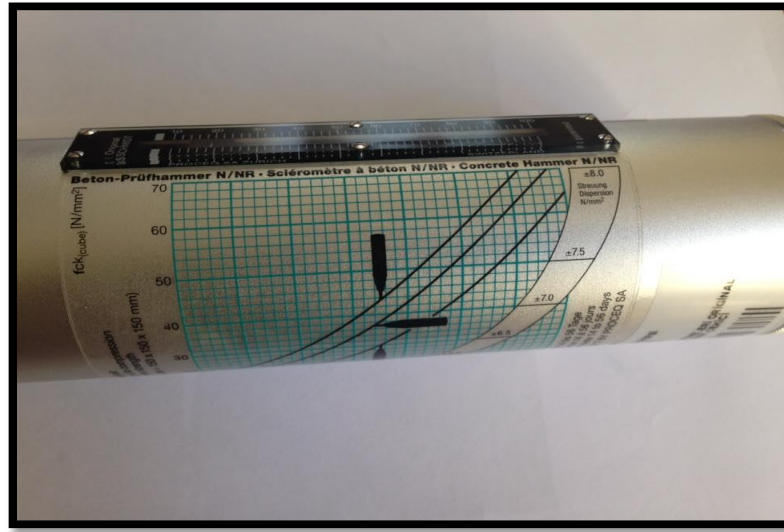
Şekil 5.12. incelendiğinde numuneler arasında artış söz konusu olmuştur. Basınç dayanımını arttıran ana nedenlerden biri de betondaki boşluk miktarı ve yapısıyla ilişkilidir. Aynı zamanda ses dalgalarının hızı da benzer şekilde etkilenmektedir. Bu nedenle basınç dayanımı ve ultrases arasındaki ilişki boşluk oranına bağlı olarak değişebilmektedir.

5.1.4. Schmidt çekici deneyi

Basınç deneyinde kullanılmış olan 150 mm'lik küp numunelerde REF, BKK, TTKK, TKKK, KPB, KPTT, KPTK, B, TT, TK farklı oranlar içeren beton numunelerinin schmidt çekici deneyi değişimine ait değerleri Tablo 5.7.'de verilmiş



Şekil 5.13. Schmidt çekici deney aleti

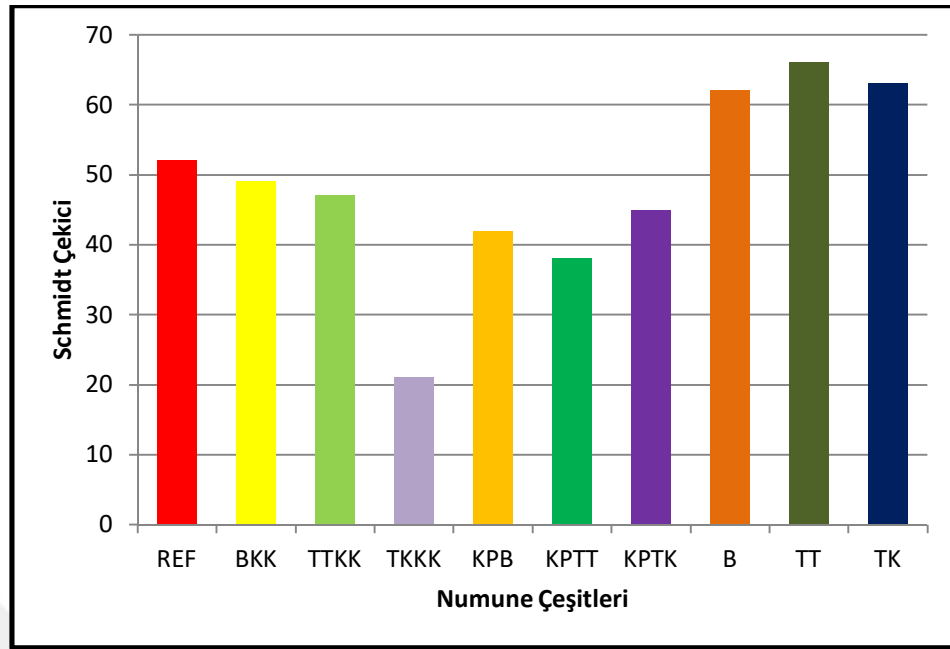


Şekil 5.14. Schmidt çekici deney aleti görüntüsü

Tablo 5.7. Schmidt çekici deneyi

Numune Adı	Schmidt Testi
TKKK	21
KPTT	38
KPB	42
KPTK	45
TTKK	47
BKK	49
REF	52
B	62
TK	63
TT	66

Schmidt testi deneyi ile yapılmış beton numunelerinin oranlarına ait değişim grafiği Şekil 5.15.'te verilmiştir.



Şekil 5.15. Beton schmidt değişim grafiği

Üretilen numunelerin Tablo 5.7. incelendiğinde TKKK, KPTT, KPB, KPTK, TTKK, BKK numuneleri REF numunesine oranla daha düşük bulunmuştur. Schmidt deneyinde kullanılan REF numunesinden B, TK, TT numuneleri yüksek çıkmıştır. REF numunesi 52 çıkmıştır.

Kuvars kumları kullanılan numunelerin schmidt deneyi REF numuneye göre TKKK %59, TTKK %9 ve BKK %5 düşük çıktığı gözlemlenmiştir.

Kuvars pudrası kullanılan numunelerin schmidt deneyi REF numuneye göre KPTT %26, KPB %19 ve KPTK %13 düşük olduğu görülmüştür.

Malzemelerin tamamı kendisinden olan numunelerin schmidt deneyi REF numunesine göre TT %26, TK %21 ve B %19 yüksek olduğu gözlenmiştir.

Şekil 5.15.'e bakıldığında REF numunesine oranla numuneler arasında artış veya azalış görülmektedir. İçerisinde kum ve pudra bulunmayan bunların yerine kullanılacak olan malzemenin kum ve pudra haline getirilerek kullanılması şu sonuca ulaşmasını sağlamaktadır. Tamamı kendinden olan malzeme daha yüksek çıkmıştır.

Schmidt test çekici yüzey sertliği ile alakalı bir durum, dayanıma göre artış ve düşüş olarak gözlenmektedir bu ise beklenen bir durum olarak kabul edilir.

Basınç deneyinde kullanılmış olan 150 mm'lik küp numunelerde REF, BKK, TTKK, TKKK, KPB, KPTT, KPTK, B, TT, TK farklı oranlar içeren beton numunelerinin Schmidt testi ve beton basınç dayanımı değişimine ait değerleri Tablo 5.8.'de verilmiştir.

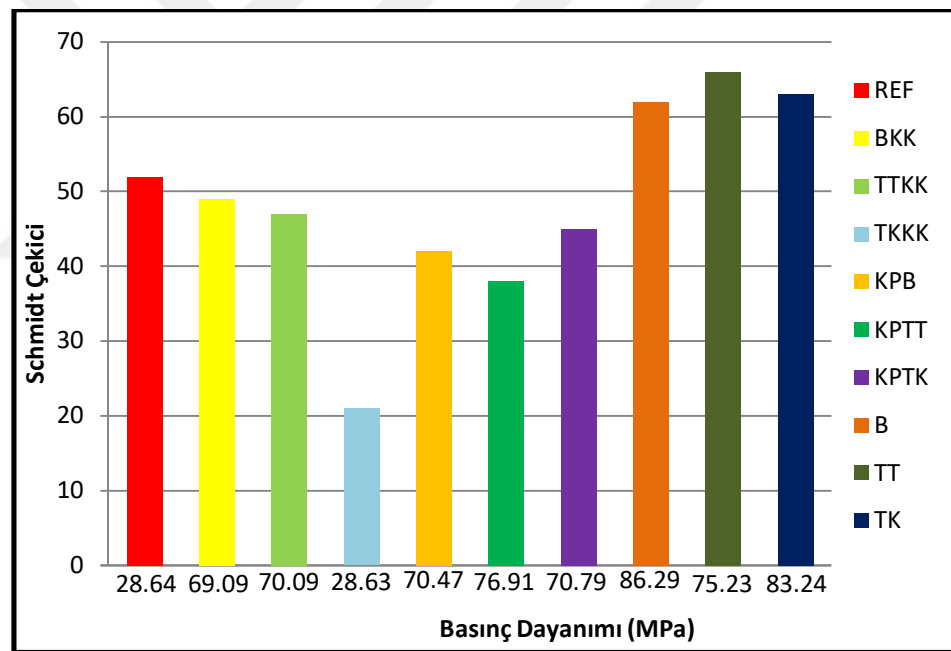


Şekil 5.16. Schmidt çekici deneyi numuneye uygulanması

Tablo 5.8. Schmidt çekici-basınç dayanımı ilişkisi

Numune Adı	Schmidt Testi	Basınç Dayanımı (MPa)
TKKK	21	28,63
KPTT	38	76,91
KPB	42	70,47
KPTK	45	70,79
TTKK	47	70,09
BKK	49	69,08
B	62	86,29
TK	63	83,24
TT	66	75,23

Schmidt testi ve beton basınç dayanımı ilişkisi ile yapılmış beton numunelerinin oranlarına ait değişim grafiği Şekil 5.17.'de verilmiştir.



Şekil 5.17. Schmidt çekici-basınç dayanımı ilişkisi grafiği

Tablo 5.8. ve Şekil 5.17. incelendiğinde basınç dayanımı ve Schmidt çekici deneyi arasında lineer bir bağıntı olduğu görülmektedir. Grafiğe bakıldığında beton basınç dayanımının Schmidt çekici değerinin en yüksek olduğu numunenin TT olduğu sırası ile TK, B ve en düşük olduğu serinin ise TKKK olduğu ve KPTT, KPB, KPTK, TTKK, BKK numuneleri olarak anlaşılmaktadır. Bundan dolayı basınç dayanımı yüksek olan betonların Schmidt çekici değerlerinin de yüksek olduğu söylenebilir.

Beton basınç dayanımının artması ile Schmidt çekici değerlerinin arttığı görülmektedir.

5.1.5. Eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu

Eğilme dayanımı deneyinde kullanılmış olan 40*80*400 mm'lik kiriş numunelerde REF, BKK, TTKK, TKKK, KPB, KPTT, KPTK, B, TT, TK farklı oranlar içeren beton numunelerinin eğilme deneyi değişimine ait değerleri Tablo 5.10.'da verilmiştir.



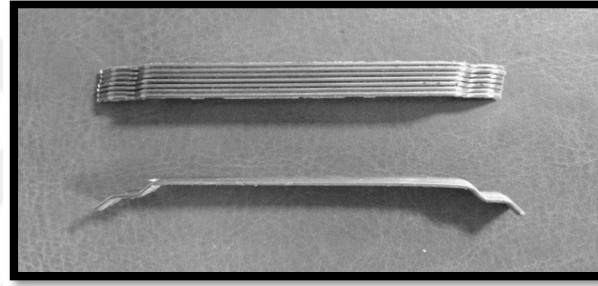
Şekil 5.18. Eğilme dayanımı deney aleti

4D ismiyle anılan her iki ucu iki kat pilye kırımlı çift kancalı lifler kullanılmıştır (Şekil 5.19.). Lifler çelik olup üzeri korozyona karşı pirinç ile kaplanmış 60 mm uzunluğunda lif kullanılmıştır. SİFCON'un eğilme dayanımı, kırılma tokluğunu ve basınç dayanımını arttırmak için karışımında kullanılacak olan kancalı çelik lifler, Bekaert İzmit Çelik ve Kord Sanayi ve Ticaret A.Ş.'den temin edilmiştir [42].

Üretici firma tarafından çelik liflere ait fiziksel ve mekaniksel özellikler Tablo 5.9.'da verilmiştir [5].



Şekil 5.19. Kullanılan kancalı çelik lif malzemesi



Şekil 5.20. Kancalı çelik lif malzemesi

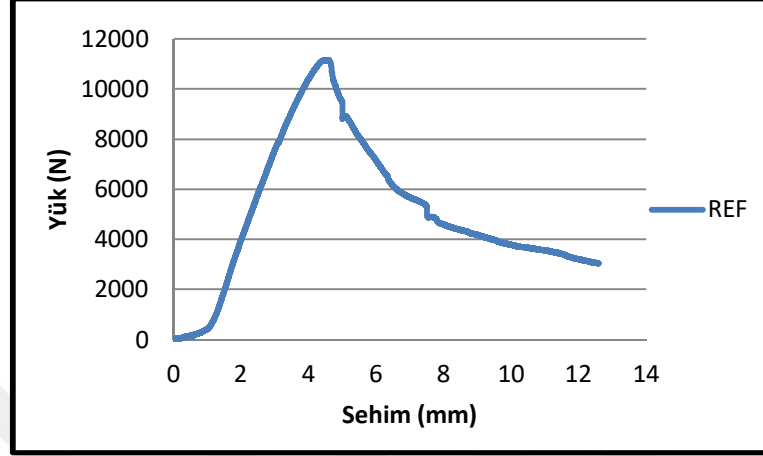
Tablo 5.9. Kullanılan çelik lifin teknik özellikleri [42]

Lif Tipi	Boy (mm)	Çap (mm)	Narinlik	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite modülü (MPa)
Mezo	6	0,16	37,5	2250	7,181

Eğilme dayanımında kullanılmak üzere üretilen 40x80x400 mm'lik prizmatik numunelerde REF, BKK, TTKK, TKKK, KPB, KPTT, KPTK, B, TT, TK içeren numunelerin eğilme dayanımlarına ait yük sehim grafikleri aşağıda incelenmiştir.

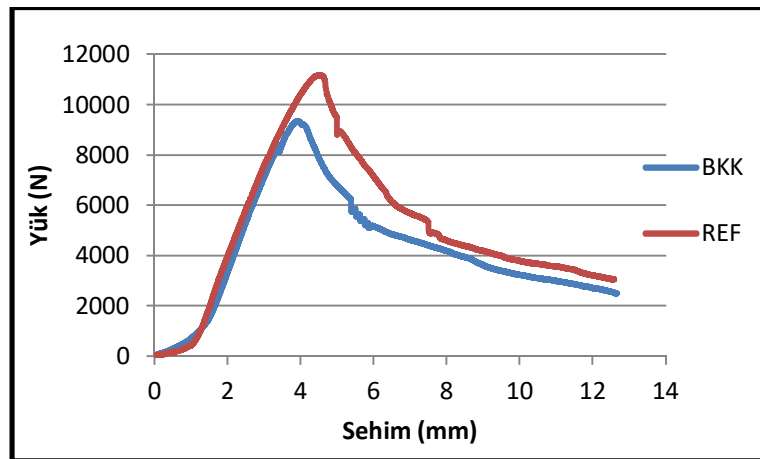
Çelik lif içeren SIFCON'un REF numunesine ait yük sehim grafiği Şekil 5.21.'de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde, yükün tepe noktasından aşağıya ani bir düşüş görülmektedir. Deney sırasında yükün ani olarak düştüğü noktada REF numunesindeki çelik liflerin bir kısmının koptuğu bir kısmının da sıyrıldığı

görülmüştür. Çelik lif içeren SİFCON'un REF numunesinin eğilme dayanımı 32,01 MPa ve kırılma tokluğu 74,8 Nm olarak bulunmuştur.



Şekil 5.21. REF numunesinin yük-sehim grafiği

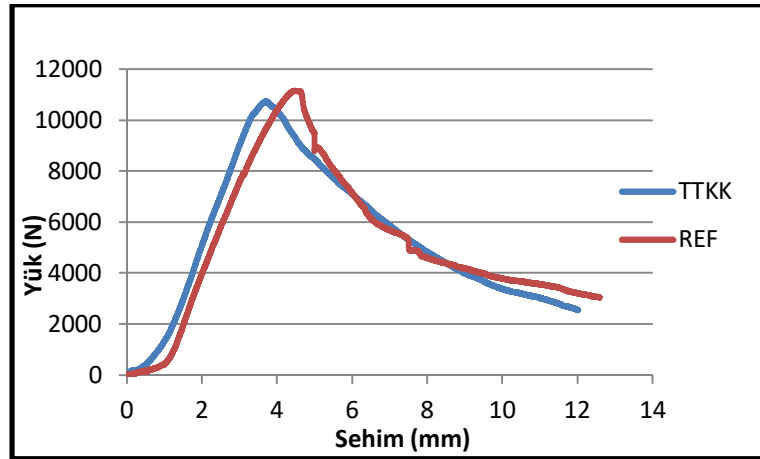
Çelik lif içeren SİFCON'un BKK numunesinin REF numunesiyle birlikte kıyaslanarak yük sehim grafiği Şekil 5.22.'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde, deney sırasında yükün kırıldığı noktada çelik liflerin büyük kısmının koptuğu görülmüştür. Çelik lif içeren SİFCON'un BKK numunesinin eğilme dayanımı 27,23 MPa ve kırılma tokluğu 55,1 Nm olarak bulunmuştur. BKK numunesinin eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu REF numunesine göre düşük çıkmıştır.



Şekil 5.22. BKK numunesinin yük-sehim grafiği

Şekil 5.23. Eğilme deneylerinin numuneye uygulanmış hali

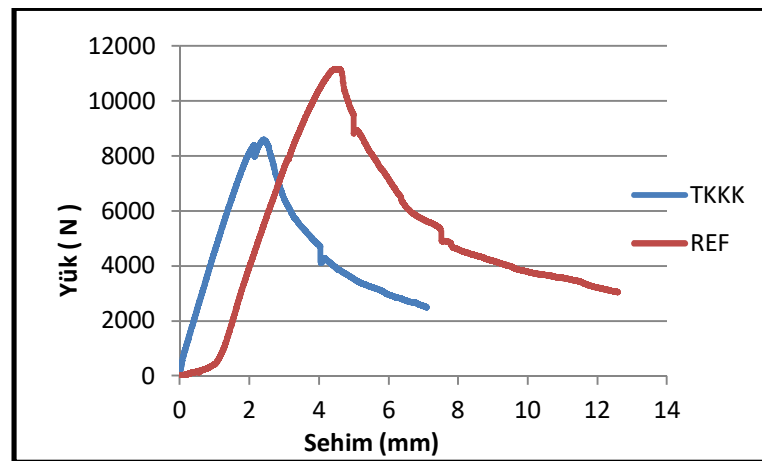
Çelik lif içeren SIFCON'nun TTKK numunesinin REF numunesiyle birlikte kıyaslanarak Şekil 5.24.'de yük sehim grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde, yükün tepe noktasında düşüş gösterdiği ve kırılmaların meydana geldiği görülmüştür. TTKK numunesinin eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu REF numunesine göre düşük olduğu gözlemlenmiştir. Çelik lif içeren SIFCON'nun TTKK numunesinin eğilme dayanımı 30,93 MPa ve kırılma tokluğu 63,47 Nm olarak bulunmuştur.



Şekil 5.24. TTKK numunesinin yük-sehim grafiği

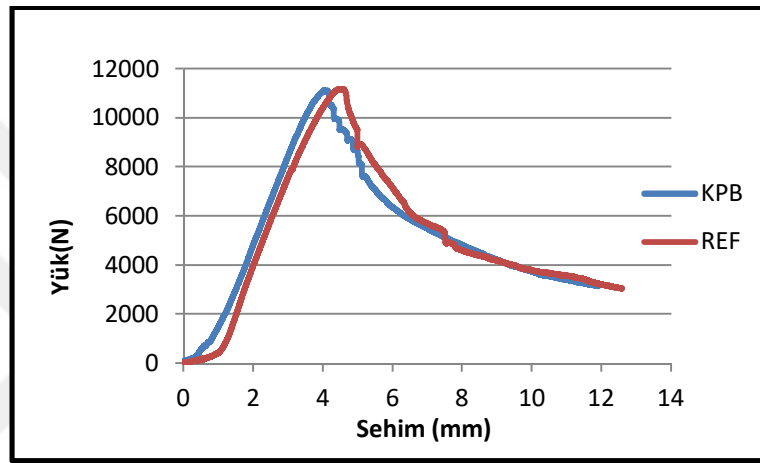
Şekil 5.25. Eğilme deneyi için hazırlanmış numuneler

Çelik lif içeren SİFCON'nun TKKK numunesinin REF numunesiyle birlikte kıyaslanarak Şekil 5.26.'da yük sehim grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde, yükün tepe noktasında kırılmalar görülmektedir. Çelik lif içeren SİFCON'nun TKKK numunesinin eğilme dayanımı 23,68 MPa ve kırılma tokluğu 32,89 Nm olarak bulunmuştur. TKKK numunesinin eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu REF numunesine göre düşük çıkmıştır. Yük sehim grafiği incelendiğinde yükte azalma anında liflerin sıyrılarak numunelerin içerisinden çıktığı görülmüştür.



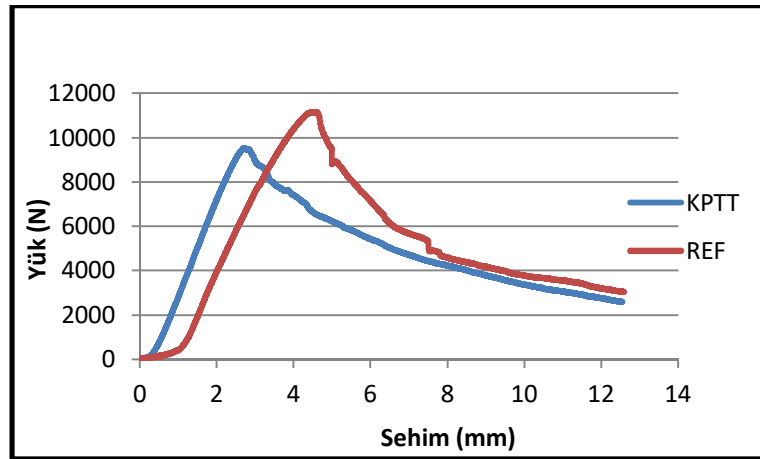
Şekil 5.26. TKKK numunesinin yük-sehim grafiği

Çelik lif içeren SİFCON'nun KPB numunesinin REF numunesiyle birlikte kıyaslanarak yük sehim grafiği Şekil 5.27.'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde, yükün tepe noktasından başlayarak ara ara kırılmalar görülmektedir. Çelik lif içeren SİFCON'nun KPB numunesinin eğilme dayanımı 30,93 MPa ve kırılma tokluğu 66,36 Nm olarak bulunmuştur. KPB numunesinin eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu REF numunesine göre düşük çıkmıştır. Yük sehim grafiği incelendiğinde yükte azalma anında liflerin sıyrılarak numunelerin içerisinden çıktığı görülmüştür.



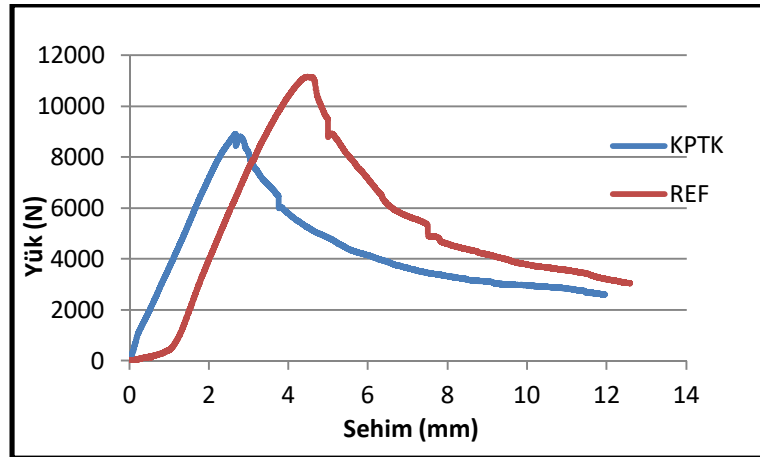
Şekil 5.27. KPB numunesinin yük-sehim grafiği

Çelik lif içeren SİFCON'nun KPTT numunesinin REF numunesiyle birlikte kıyaslanarak yük sehim grafiği Şekil 5.28.'de verilmiştir. Çelik lif içeren SİFCON'nun KPTT numunesinin eğilme dayanımı 26,27 MPa ve kırılma tokluğu 49,06 Nm olarak bulunmuştur. KPTT numunesinin eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu REF numunesine göre düşük çıktığı görülmektedir.



Şekil 5.28. KPTT numunenin yük-sehim grafiği

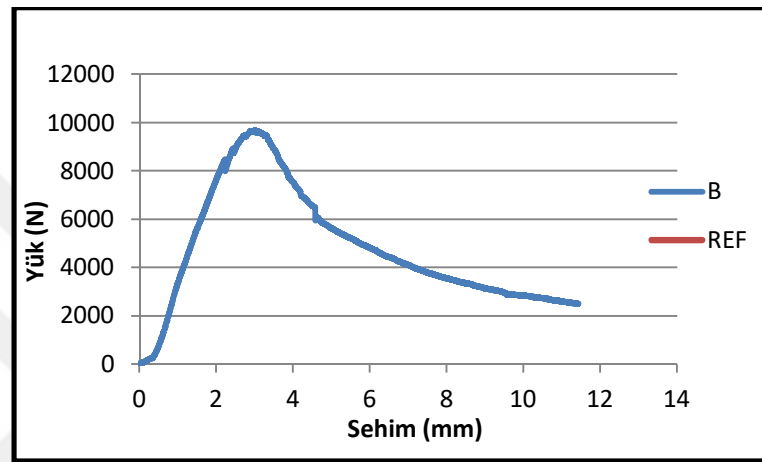
Çelik lif içeren SİFCON'nun KPTK numunesinin REF numunesiyle birlikte kıyaslanarak Şekil 5.29.'da yük sehim grafiği verilmiştir. Numunede ilk çatlağın oluştuğu yük tam olarak tepe noktasında görülmektedir. Çelik lif içeren SİFCON'nun KPTK numunesinin eğilme dayanımı 20,63 MPa ve kırılma tokluğu 33,99 Nm olarak bulunmuştur. KPTK numunesinin eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu REF numunesine göre düşük çıkmıştır. Yük sehim grafiğindeki yükte kırılma sırasında liflerin deney anında numunelerin içerisinden dışa doğru olduğu görülmüştür.



Şekil 5.29. KPTK numunenin yük-sehim grafiği.

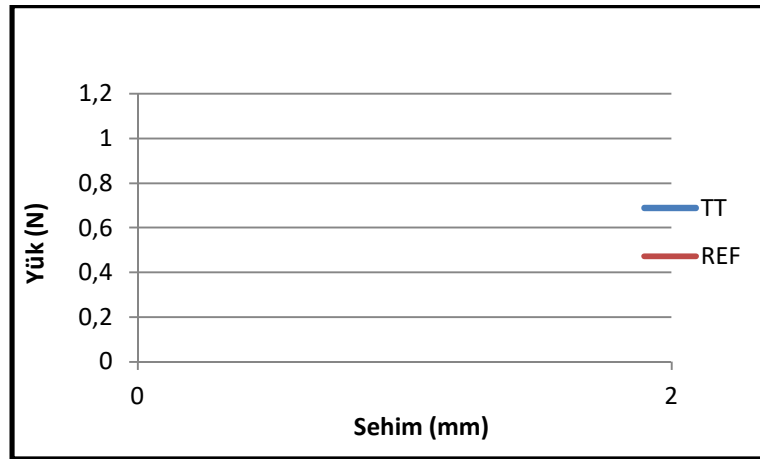
Çelik lif içeren SİFCON'nun B numunesinin REF numunesiyle birlikte kıyaslanarak Şekil 5.30.'da yük sehim grafiği verilmiştir. Numunede ilk çatlağın oluştuğu yük ile en büyük eğilme yükü birbirine yakın olarak görülmektedir. Çelik lif içeren

SİFCON'nun B numunesinin eğilme dayanımı 33,03 MPa ve kırılma tokluğu 64,88 Nm olarak bulunmuştur. B numunesinin eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu REF numunesine göre düşük çıkmıştır. Numunede ilk çatlağın oluştuğu yük, yaklaşık 8200 N ve en büyük eğilme yükü ise yaklaşık 9800 N olmuştur. Yük sehim grafiğindeki yükte kırılma sırasında liflerin deney anında numunelerin içerisinde sınırlı olduğu görülmüştür.



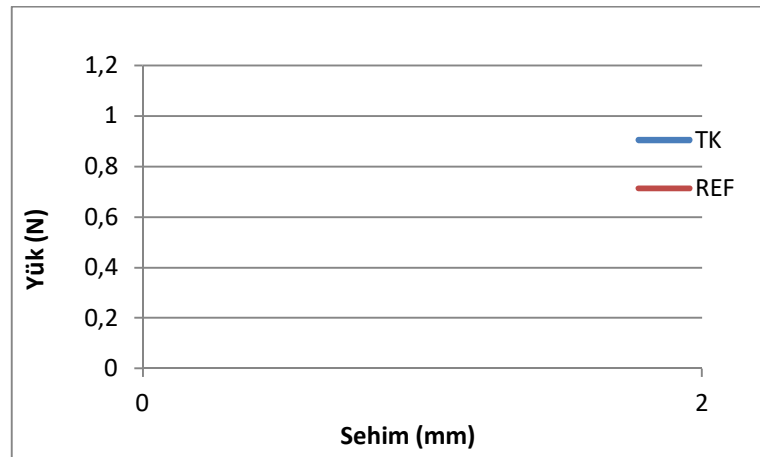
Şekil 5.30. B numunesinin yük-sehim grafiği

Çelik lif içeren SİFCON'nun TT numunesinin REF numunesiyle birlikte kıyaslanarak yük sehim grafiği Şekil 5.31.'de verilmiştir. Numunede ilk çatlağın oluştuğu yük ile en büyük eğilme yükü REF ile birbirine yakın olarak görülmektedir. Çelik lif içeren SİFCON'nun TT numunesinin eğilme dayanımı 27,44 MPa ve kırılma tokluğu 53,13 Nm olarak bulunmuştur. TT numunesinin eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu REF numunesine göre düşük çıkmıştır. Numunede ilk çatlağın oluştuğu yük, yaklaşık 11000 N olmuştur. Yük sehim grafiğindeki yükte kırılma sırasında liflerin numunelerin içerisinde çıkmaya başladığı görülmüştür.



Şekil 5.31. TT numunenin yük-sehim grafiği

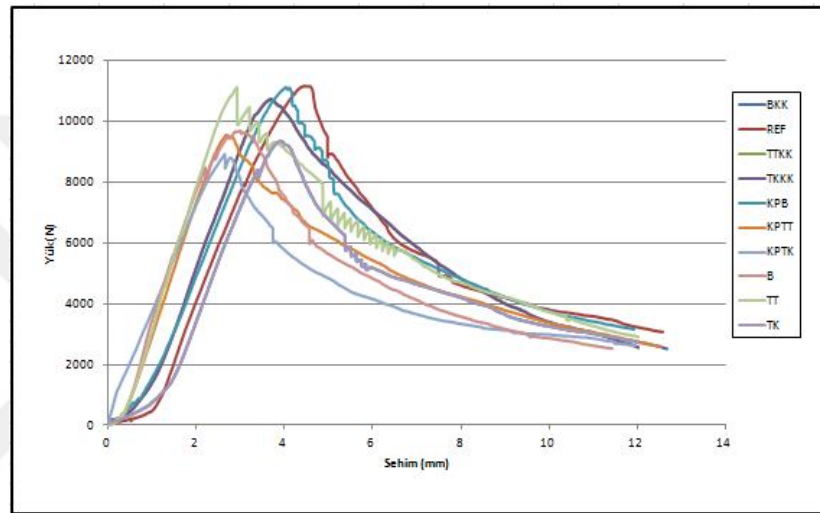
Çelik lif içeren SİFCON'nun TK numunesinin REF numunesiyle birlikte kıyaslanarak yük sehim grafiği Şekil 5.32.'de verilmiştir. Numunede ilk çatlağın oluştuğu yük tam olarak tepe noktasında görülmektedir. Çelik lif içeren SİFCON'nun TK numunesinin eğilme dayanımı 34,55 MPa ve kırılma tokluğu 74,45 Nm olarak bulunmuştur. TK numunesinin eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu REF numunesine göre düşük çıkmıştır. Yük sehim grafiğindeki yükte kırılma sırasında liflerin numunelerin içerisinden çıktığı görülmüştür.



Şekil 5.32. TK numunenin yük-sehim grafiği

Eğilme Deneyinde kullanılmış olan 40*80*400 mm'lik kiriş numunelerde REF, BKK, TTKK, TKKK, KPB, KPTT, KPTK, B, TT, TK farklı oranlar içeren beton numunelerinin eğilme deneyi değişimine ait değerleri Tablo 5.10.'da verilmiştir.

Çelik lif içeren SİFCON'nun BKK, TTKK, TKKK, KPB, KPTT, KPTK, B, TT ve TK numunelerinin REF numunesiyle birlikte kıyaslanarak yük sehim grafiği Şekil 3.33.'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde, yükün tepe noktasında kırılmalar görülmüştür. TTKK, BKK, TTKK, TKKK, KPB, KPTT, KPTK, B, numunelerinin eğilme dayanımı ve kırılma toklukları REF numunesine göre düşük, TT numunesinin REF numunesine göre yakın, TK numunesinin REF numunesine göre yüksek olduğu gözlenmiştir.

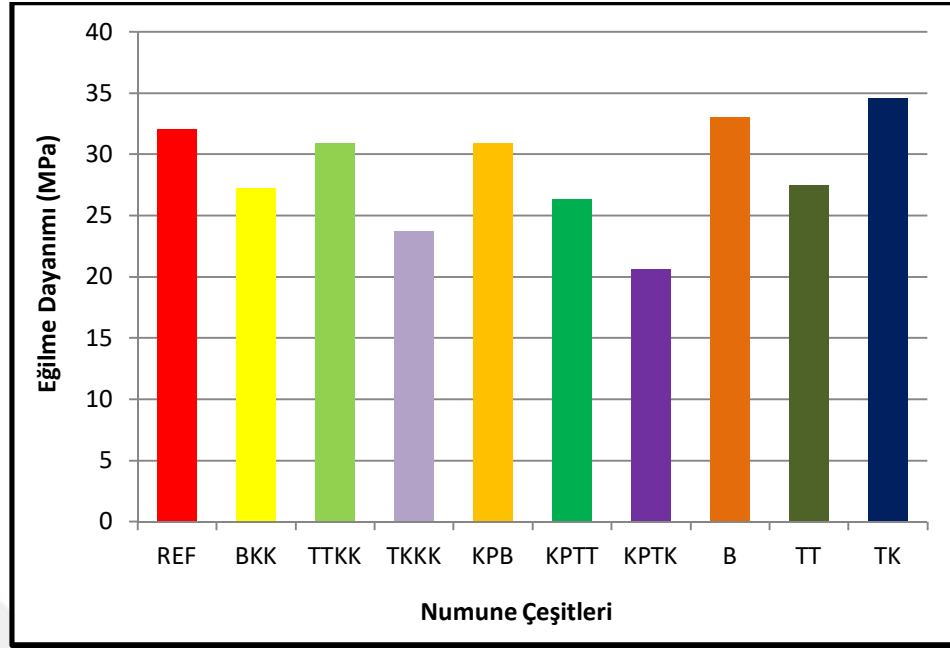


Şekil 5.33. Eğilme numunelerinin yük-sehim grafiği

Tablo 5.10. Eğilme dayanımları

Numune Adı	Eğilme Dayanımı (Mpa)
KPTK	20,63
TKKK	23,68
KPTT	26,27
BKK	27,23
TT	27,44
KPB	30,93
TTKK	30,93
REF	32,01
B	33,03
TK	34,55

Eğilme dayanımı deneyi ile yapılmış beton numunelerinin oranlarına ait değişim grafiği Şekil 5.34.'de verilmiştir.



Şekil 5.34. SIFCON eğilme dayanımı değişim grafiği

Tablo 5.10. ve Şekil 5.34. incelendiğinde en düşük eğilme dayanımı KPTK en yüksek eğilme dayanımı ise TK'na aittir.

Kuvars kumları kullanılan numunelerin eğilme dayanımı REF numuneye göre TTKK %3, BKK %14, TKKK %26 düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Kuvars pudrası kullanılan numunelerin eğilme dayanımı REF numuneye göre KPB %3,37, KPTT %17,93, KPTK %35 düşük olarak bulunmuştur.

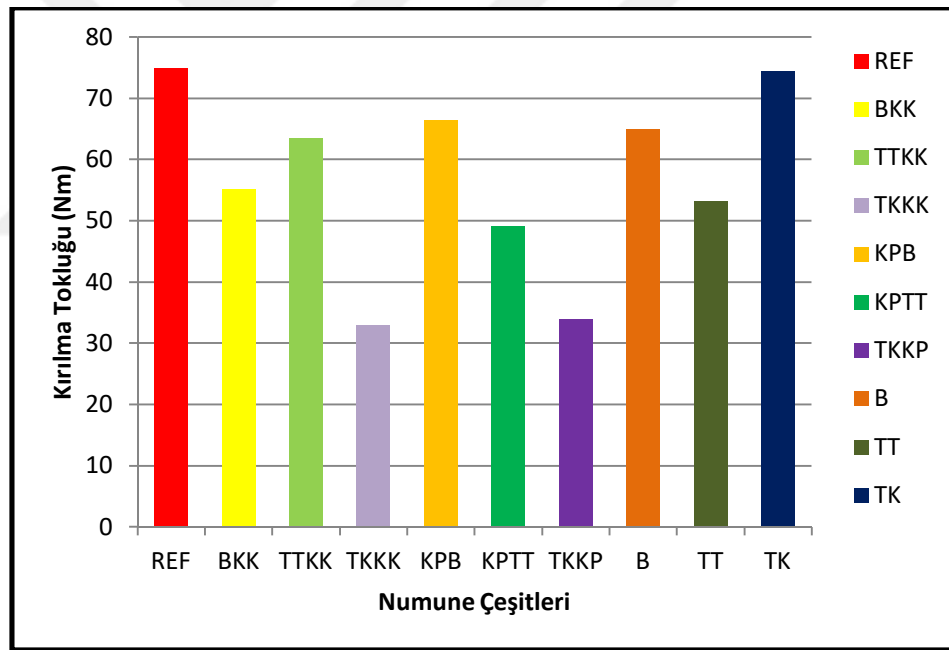
Malzemelerin tamamı kendisinden olan numunelerin eğilme dayanımı REF numunesine göre B %3, TK %7 yüksek, TT %14 düşük çıkmıştır. Eğilme dayanımı pudra ve kum aynı kullanılan malzemelerde mukavemet yüksek çıkmıştır.

Eğilme Deneyinde kullanılmış olan 40*80*400 mm'lik kiriş numunelerde REF, BKK, TTKK, TKKK, KPB, KPTT, KPTK, B, TT, TK farklı oranlar içeren beton numunelerinin kırılma tokluğu değişimine ait değerleri Tablo 5.11.'de verilmiştir.

Tablo 5.11. Kırılma tokluğu

Numune Adı	Kırılma Tokluğu (Nm)
TKKK	32,89
KPTK	33,99
KPTT	49,06
TT	53,13
BKK	55,01
TTKK	63,47
B	64,88
KPB	66,36
TK	74,45
REF	74,80

Eğilme dayanımı deneyi ile yapılmış beton numunelerinin oranlarına ait kırılma tokluğu değişim grafiği Şekil 5.35.'de verilmiştir.



Şekil 5.35. Beton kırılma tokluğu değişim grafiği

Tablo 5.11. ve Şekil 5.35. incelendiğinde en düşük kırılma tokluğu BKK en yüksek kırılma tokluğu ise TK'ye aittir. Numunelerin hepsi incelendiğinde REF numunesinden daha düşük çıkmışlardır.

Kuvars kumları kullanılan numunelerin kırılma tokluğu REF numuneye göre BKK %26, TTKK %15, TKKK %56 düşük çıkmıştır.

Kuvars pudrası kullanılan numunelerin eğilme dayanımı REF numuneye göre KPTK %54, KPTT %34, KPB %11 düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Malzemelerin tamamı kendisinden olan numunelerin eğilme dayanımı REF numunesine göre TT % 28, B %13, TK %0.4 düşük bulunmuştur.

Eğilme deneyinde kullanılmış olan 40*80*400 mm'lik kiriş numunelerde REF, BKK, TTKK, TKKK, KPB, KPTT, KPTK, B, TT, TK farklı oranlar içeren beton numunelerinin basınç ve eğilme dayanımı değişimine ait değerleri Tablo 5.13.'de verilmiştir.

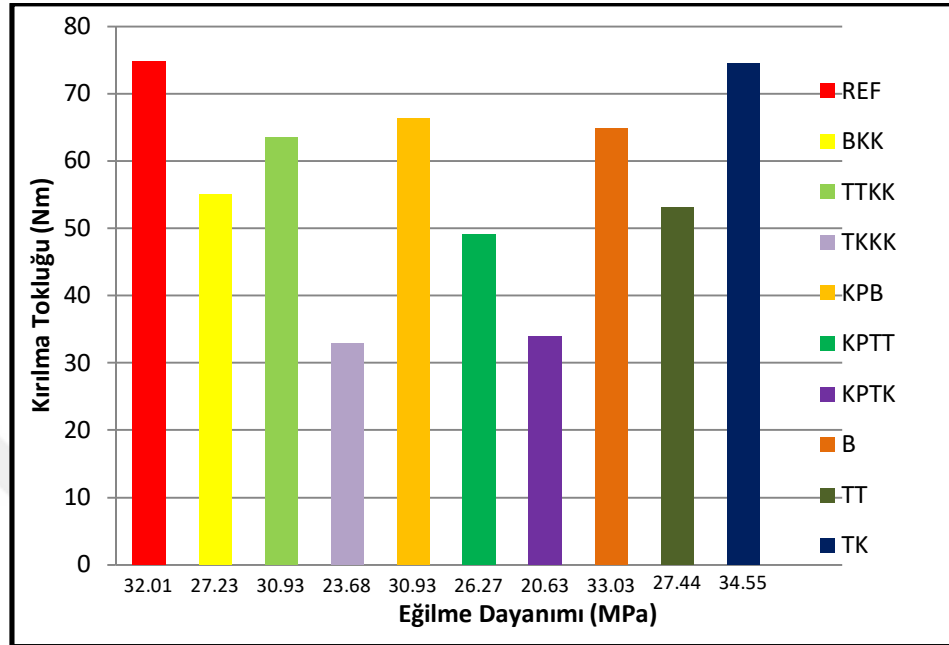


Şekil 5.36. Eğilme dayanımı deneyi numuneye uygulanması

Tablo 5.12. Eğilme dayanımı – kırılma tokluğu ilişkisi

Numune Adı	Eğilme Dayanımı (Mpa)	Kırılma Tokluğu (Nm)
KPTK	20,63	33,09
TKKK	23,68	32,89
KPTT	26,27	49,06
BKK	27,23	55,10
TT	27,44	53,13
KPB	30,93	66,36
TTKK	30,93	63,47
REF	32,01	74,80
B	33,03	64,88
TK	34,,	74,45

Eğilme dayanımı ve kırılma tokluğu ilişkisi ile yapılmış beton numunelerinin oranlarına ait değişim grafiği Şekil 5.37.'de verilmiştir.



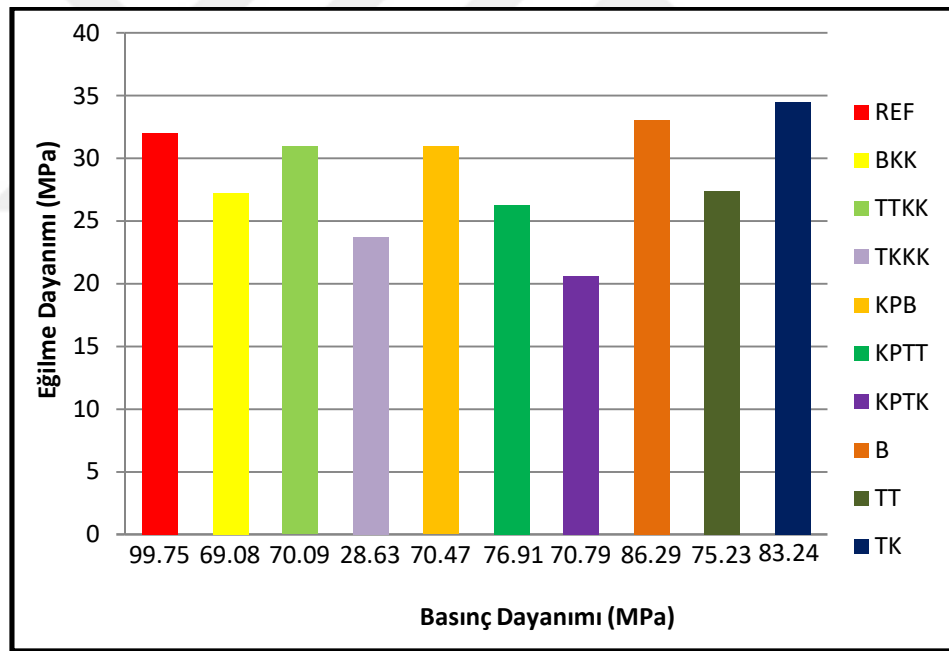
Şekil 5.37. Eğilme dayanımı – kırılma tokluğu ilişkisi grafiği

Tablo 5.12. ve Şekil 5.37. incelendiğinde Eğilme dayanımı – kırılma tokluğu arasında lineer bir bağıntı olduğu görülmektedir. Grafiğe bakıldığında eğilme dayanımının kırılma tokluğu değerinin en yüksek olduğu numunenin TK, B ve en düşük olduğu serinin ise TKKK olduğu ve KPTT, KPB, KPTK, TTKK, BKK, TT numuneleri olarak anlaşılmaktadır. Bundan dolayı eğilme deneyleri sonucunda elde edilen değerler bu düşüşün nedeni olarak kalıplara koyulan lif doğrultularının değişkenliğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Eğilme deneylerinde karışımın oranındaki artış ile numunelerin daha gevrek kırıldığı ve liflerin aderansının yetersiz kaldığı ve sıyrıldığı gözlemlenmiştir. Eğilme arttıkça kırılmanın da arttığı gözlenmiştir.

Tablo 5.13. Eğilme dayanımı-basınç dayanımı ilişkisi

Numune Adı	Basınç Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)
KPTK	70,79	20,63
TKKK	28,63	23,68
KPTT	76,91	26,27
BKK	69,08	27,23
TT	75,23	27,44
KPB	70,47	30,93
TTKK	70,09	30,93
REF	99,75	32,01
B	86,29	33,03
TK	83,24	34,55

Eğilme dayanımı deneyi ile yapılmış beton numunelerinin oranlarına ait basınç ve eğilme dayanımı değişim grafiği Şekil 5.38.'de verilmiştir.



Şekil 5.38. Beton eğilme dayanımı - basınç dayanımı ilişkisi grafiği

Numunelerin Tablo 5.13. ve Şekil 5.38. incelendiğinde eğilme dayanımı arttıkça basınç dayanımının da arttığı görülmektedir. Eğilme ve basınç dayanımları yüksek olan numuneler B, TK numunelerinin REF numunesine oranla daha yüksek çıkmışlardır. Diğer tüm numuneler REF numunesine göre daha düşük bulunmuştur. Basınç dayanımını arttıran ana nedenlerden biri de betondaki boşluk miktarı ve

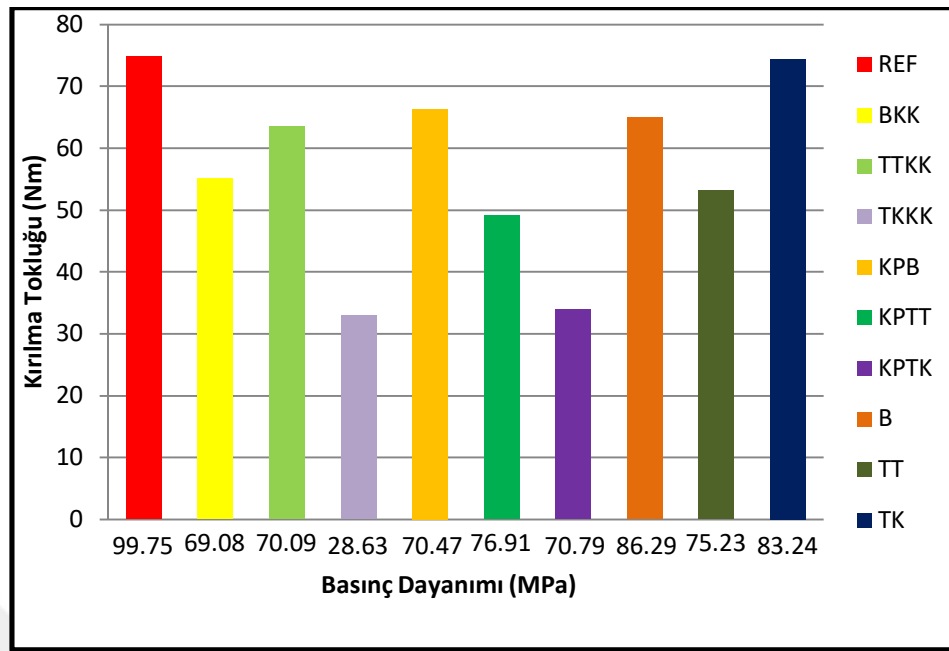
yapısıyla ilişkilidir. Aynı zamanda eğilme dayanımı da benzer şekilde etkilenmektedir. Daha sonrasında da kuvars pudrası kullanıldığında dayanım daha yüksek; bunun nedeni olarak kuvars pudrasının daha ince olması ve çimento pastasındaki boşlukları doldurması ile açıklanabilir.

Eğilme Deneyinde kullanılmış olan 40*80*400 mm'lik kiriş numunelerde REF, BKK, TTKK, TKKK, KPB, KPTT, KPTK, B, TT, TK farklı oranlar içeren beton numunelerinin basınç dayanımı ve kırılma tokluğu değişimine ait değerleri Tablo 5.14.'de verilmiştir.

Tablo 5.14. Basınç dayanımı-kırılma tokluğu ilişkisi

Numune Adı	Basınç Dayanımı (MPa)	Kırılma Tokluğu (Nm)
BKK	69,08	55,10
TTKK	70,09	63,47
TKKK	28,63	32,89
KPTK	70,79	33,99
KPTT	76,91	49,06
TT	75,23	53,13
B	86,29	64,88
KPB	70,47	66,36
TK	83,24	74,45
REF	99,75	74,80

Eğilme dayanımı deneyi ile yapılmış beton numunelerinin oranlarına ait basınç dayanımı ve kırılma tokluğu değişim grafiği Şekil 5.39.'da verilmiştir.



Şekil 5.39. Beton kırılma tokluğu - basınç dayanımı ilişkisi grafiği

Tablo 5.14. ve Şekil 5.39. incelendiğinde basınç dayanımı ve kırılma tokluğu arasında REF numunesi basınç dayanımına oranla kırılma tokluğunda tüm numunelerden yüksek çıkmıştır. Basınç dayanımında ise KPTK numunesi en düşük çıkan olarak bulunmuştur. Kuvars pudrası ve kuvars kumu aynı malzemeden olduğunda dayanım daha yüksek, daha sonrasında da kuvars pudrası kullanıldığında dayanım yüksek bunun nedeni olarak kuvars pudrasının daha ince olması ve çimento pastasındaki boşlukları doldurması ile açıklanabilir.

5.2.Birim Maliyet Analizleri

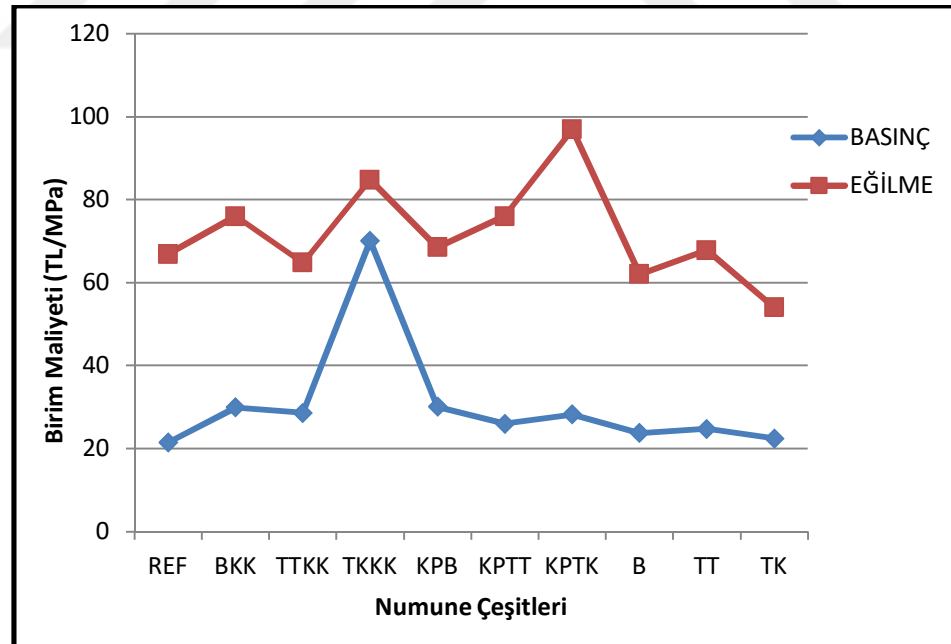
Numunelere ait birim maliyetleri Tablo 5.15.'te ve numunelere ait birim dayanım maliyeti Tablo 5.16.'da ve Şekil 5.40.'da ise eğilme dayanımı, basınç dayanımı, kırılma tokluğu ve birim maliyeti ilişkileri gösterilmiştir.

Tablo 5.15. Numunelere ait birim maliyeti

KARIŞIMLAR	Çimento (kg)	Silis dumanı (kg)	K. Pudrası (kg)	K. Kum (100-300) (kg)	K. Kum (300-600) (kg)	Bazalt	Taş Tozu	Taş Kummu	K. Katkı (kg)	Su	Lif (kg)	TOPLAM MALİYET (TL)
BİRİM FİYATLAR (TL/kg)												
	0,4 8	2	0,5	0,3	0,3	0,23	0,014	0,017	4,67	0,002	3,55	
REF	900	270	278	252	252	**	**	**	36	270	200	2140,86
BKK	900	270	**	252	252	292	**	**	36	270	200	2069,02
TTKK	900	270	**	252	252	**	259	**	36	270	200	2005,48
TKKK	900	270	**	252	252	**	**	309	36	270	200	2007,11
KPB	900	270	278	**	**	567	**	**	36	270	200	2120,07
KPTT	900	270	278	**	**	**	506	**	36	270	200	1996,74
KPTK	900	270	278	**	**	**	**	604	36	270	200	1999,92
B	900	270	**	**	**	859	**	**	36	270	200	2048,23
TT	900	270	**	**	**	**	765	**	36	270	200	1861,37
TK	900	270	**	**	**	**	**	913	36	270	200	1866,18

Tablo 5.16. Numunelere ait birim dayanım maliyetleri

KARİŞİMLAR	Basınç Dayanımı (Mpa)	Eğilme Dayanımı (Mpa)	Kırılma Tokluğu (Nm)	Basınç Day. Birim Maliyeti (TL/MPa)	Eğilme Day. Birim Maliyeti (TL/MPa)
REF	99,755	32,018	74,80	21,46	66,86
BKK	69,085	27,230	55,10	29,95	75,98
TTKK	70,090	30,939	63,47	28,61	64,82
TKKK	28,635	23,685	32,89	70,09	84,74
KPB	70,470	30,937	66,36	30,08	68,53
KPTT	76,910	26,274	49,06	25,96	76,00
KPTK	70,795	20,635	33,99	28,25	96,92
B	86,290	33,036	64,88	23,74	62,00
TT	75,230	27,446	53,13	24,74	67,82
TK	83,245	34,552	74,45	22,42	54,01



Şekil 5.40. Numunelere ait basınç ve eğilme dayanımı birim maliyeti ilişkisi grafiği

Tablo 5.15., Tablo 5.16. ve Şekil 5.40.'da birim dayanım maliyetleri incelendiğinde REF numunesine göre en düşük basınç dayanımı birim maliyet değeri TK ve REF

numunesine göre en yüksek basınç dayanımı TKKK numunesine aittir. Eğilme dayanımı parametreleri açısından incelendiğinde ise en düşük eğilme dayanım maliyeti REF numunesine göre TK numunesi ve REF numunesine göre en yüksek eğilme dayanım birim maliyeti KPTK numunesine ait olduğu görülmektedir.

Çelik liflerin kopması sonucu eğilme dayanımı değerleri düşmüş ve buna paralel olarak maliyet yükselmektedir. KPTK lifli numunenin Eğilme Dayanımı diğer numunelerin Eğilme Dayanımına göre yüksek maliyetli çıkmasının nedeni KPTK lifli numunelerin eğilme dayanımı esnasında liflerin kopması ile enerji yutabilme kapasitesinin düşmesi olarak açıklanabilir.

Karışımındaki numune değişiklikleri oldukça buna bağlı olarak üretilen betonun basınç dayanımı birim maliyeti artma ve azalma göstermektedir. Basınç dayanımları REF numunesine göre yüksek bulunmuşlardır. TKKK numunesinin maliyeti çok yüksek olduğundan diğer numuneleri tercih edilir. Hem içerisindeki malzeme pahalı hem de dayanımı az olduğu gözlemlenmektedir. Değerler bakıldığında birim maliyeti açısından basınç dayanımının en verimli numunesi ve en uygun karışım oranına sahip gurubun TK olduğunu söyleyebiliriz. Buda bize REF numunesinin karışımında bulunan kuvars pudrası yerine taş kumunun kullanılmasının betonun basınç dayanımı özelliği göz önüne alındığında daha ekonomik ve avantajlı olduğunu göstermektedir.

Yukarıdaki bilgiler ışığında basınç ve eğilme dayanımlarının hepsinde en düşük birim dayanım maliyetine sahip numunenin TK numunesinin olduğu tespit edilmiştir.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada farklı kayaç türlerinin SİFCON üretiminde kullanılan ve pudra boyutunda olan kuvars pudrasının yerine kullanılabilirliğinin araştırılması gerçekleştirildi. Kullanılan malzemeler olarak bazalt, taş tozu ve taş kumu laboratuarda öğütülerek pudra boyutuna getirildi. Farklı kayaç türlerinden üretilen pudraların fiziksel özellikleri belirlenerek kuvars kumları ve pudra yerine kullanılarak karışımlar yapılmıştır. Bu karışımlar üç grup ve on numune olarak hazırlanmış ve dayanımlarının belirlenmesi için deneyler standartlara uygun bir şekilde yapılmıştır.

REF, BKK, TTKK, TKKK, KPB, KPTT, KPTK, B, TT ve TK lif içerikli SİFCON’u oluşturan malzemeler temin edilerek bu malzemelerin özellikleri ve karışım oranları belirlenmiştir. Yapılan karışıma lif ilave edilerek oluşturulan SİFCON numunelerinin basınç, eğilme dayanımları ve maliyetleri incelenmiştir. Üretilen küp ve kiriş numunelerinin; birim hacim ağırlığı, Schmidt test çekici, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, ultrases geçiş hızı, ve kırılma tokluğu ile maliyet analizi ele alındığı bu çalışmada kullanılan malzemeler ve uygulanan yöntemlerde göz önüne alınarak aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

SİFCON’un üretim tekniği ve oluşturan malzemeler normal betonlardan farklı olmakla birlikte çoğunluğu ülkemizde üretilen malzemeleri kullanılarak SİFCON üretilabilmektedir.

Karışımın oluşturulması normal betonlara kıyasla farklı hazırlanmaktadır. Karıştırma işlemi için kullanılan makinenin mikserinin karıştırma hızı, süresi ve malzemelerin mikse 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 sırası, çimento, silis dumanı, su,

akışkanlaştırıcı, kuvars kumları ve çelik lif olarak belirlenmiştir. Çelik lifler kalıp içerisine yerleştirilerek üzerine SİFCON karışımı enjekte edilerek beton oluşturulmuştur.

Basınç dayanımına bakıldığında iyi betonun hız üretim katsayısı iyi olması gerekmektedir. Basınç mukavemetinin yüksek olanın REF numunesi olması gerekirken en yükseği TK numunesi çıkmıştır. Sonra pudrası kuvars olan daha sonra ise hem pudrası hem kumu aynı agregadan olan numune yüksek çıkmıştır. Dayanımdaki bu azalmanın nedeni olarak numunelerde kullanılan agregaların kuvars agregasına daha düşük dayanımda ve granülometrilerinin referans agrega granülometrisine göre daha boşluklu bir yapı oluşturacak olmasına bağlanabilir. Kuvars Kumunun Taş Kumuna göre daha ağır bir malzeme olduğu gözlemlenmiştir. REF numunesinin yüksek olması tüm malzemelerin tamamı hem Pudra hem Kumu aynı cins agrega olduğunda daha iyi dayanım elde edildiği gözlenmiştir. Dayanımı düşüren önemli etkenin Kuvars Pudrası olduğu görülmektedir. Kuvars Pudrası kullanıldığında dayanım daha yüksek; bunun nedeni olarak Kuvars Pudrasının daha ince olması ve çimento pastasındaki boşlukları doldurması ile açıklanabilir. Basınç mukavemetin artmasından dolayı eğilme dayanımının arttığı görülmüştür. Genel olarak basınç eğilme bulunduğu yönüyle pastada boşlukların azalması lif ile çimento pastası arasındaki aderansın iyileşmesi neden olarak gösterilebilir.

Ultrases geçiş hızı değerlerine bakıldığında REF numunesi ile aynı oranda TTKK, TTKK bulunmuştur. REF numunesinden BKP ve KPTT yüksek, geriye kalan diğer numuneler BKK, B, KPTK, TK ve TT düşük çıkmıştır. Bundan dolayı bir izahı söz konusu olamamaktadır. Karışımındaki bulamaç oranlarının değişmesi ve çimentonun ikameli olarak farklı kayaçların yerine kullanılmasının ultra ses geçiş hızının betonun birim hacim ağırlığı ile mukayesesinde kayda değer bir ilişkiye rastlanmamıştır. Ultrases geçiş hızı değerlerine bakıldığında herhangi bir değişim olmadığı görülmüştür. Ultra ses geçiş hızının yüksek olması liflerin ses iletim özelliği ve betonun yoğunluğu ile ilgili olduğu söylenebilir. Dolayısıyla ultrases geçiş hızını etkilemekte olan çelik lif katkılı numuneler daha yoğun bir agrega yapısı oluşturması ve çelik liflerin ses iletim hızlarının daha yüksek olması olarak söylenebilir. Boşluk

oranı artan betonlarda dayanımın düşeceği, ses dalgalarının geçişinde engel oluşturarak geçiş yolunun uzaması ile birlikte ultra ses geçiş hızının düşmesine sebep olabilmektedir.

Schmidt deney sonuçlarına bakıldığında anlamlı sonuçlar elde edilememiştir. REF numunesine oranla numuneler arasında artış veya azalış görülmektedir. REF numunesine göre B, TK ve TT yüksek çıkmıştır. Diğer numuneler BKK, TTKK, TKKK, KPB, KPTT ve KPTK düşük bulunmuştur. İçerisinde Kum ve Pudra bulunmayan bunların yerine kullanılacak olan malzemenin Kum ve Pudra haline getirilerek kullanılması şu sonuca ulaşmasını sağlamaktadır. Tamamı kendinden olan malzeme daha yüksek çıkmıştır. Schmidt test çekici yüzey sertliği ile alakalı bir durum, dayanıma göre artış ve düşüş olarak gözlenmektedir bu ise beklenen bir durum olarak kabul edilir.

Eğilme dayanımlarına bakıldığında Eğilme dayanımında en düşük çıkan REF numunesine oranla B ve TK numuneleri yüksek bulunmuştur. REF numunesine göre diğer numuneler BKK, TTKK, TKKK, KPB, KPTT, KPTK ve TT düşük çıkmıştır. Bunun sonucunda da benzer durum görülmüştür. Eğilme dayanımını arttıran ana nedenlerden biri de betondaki boşluk miktarı ve yapısıyla ilişkilidir. Daha sonrasında da kuvars pudrası kullanıldığında dayanım daha yüksek; bunun nedeni olarak kuvars pudrasının daha ince olması ve çimento pastasındaki boşlukları doldurması ile açıklanabilir. Basınç mukavemetin artmasından dolayı eğilme dayanımının arttığı görülmüştür. Genel olarak basınç eğilme bulunduğu yönüyle pastada boşlukların azalması lif ile çimento pastası arasındaki aderansın iyileşmesi neden olarak gösterilebilir.

Kırılma tokluklarına bakıldığında REF numunesine oranla BKK, TTKK, TKKK, KPB, KPTT, KPTK, B, TT ve TK numunelerin hepsi düşük çıkmıştır. Kırılma tokluklarında kuvars pudrasının daha ince olması ve çimento pastasındaki boşlukları doldurması ile açıklanabilir.

Eğilme ve basınç parametrelerinde çelik liflerin yüksek dayanım vermesi bu lifleri ekonomik olmaktan uzaklaştırmıştır.

Sonuçlardan yola çıkılarak en iyi dayanımı veren ve en düşük birim dayanım maliyetine sahip numunenin Taş Kumu numunesi olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte dış etkilere maruz kalacak betonlarda çelik lif kullanımı ciddi korozyon problemleri yaratabilmektedir. Ayrıca çelik liflerin manyetik alan oluşturması da bazı durumlarda istenmemektedir. Birim maliyetlerinde basınç dayanımı dikkate alındığında en uygun maliyet REF numunesi olduğu daha sonra diğer numuneler sırasıyla kullanılabilir.

Daha sonra bu konu ile yapılacak çalışmalarda aşağıdaki maddelerin göz önüne alınması önerilmektedir;

1. Kullanılan malzemelerin granülometri eğrisi dayanım üzerinde oldukça etkilidir. Granülometri eğrisi Fuller eğrisine yaklaştıkça dayanım olumlu etkilenmektedir. Kullanılan malzemelerin granülometrisi fullere yaklaştırmak dayanımı doğru yönde etkileyecektir.
2. Bunun sonucunda öneri olarak hangi malzemelerin kullanılmış olması ve maliyet açısından değerlendirilmesine bakılmalıdır. Referans numunesi iyi çıktığından pudra ve kuvarsın kullanılması SIFCON önerilmektedir. Diğer malzemeler daha düşüktür. Eğer yaşanan bölgede kuvars kumu bulunmuyorsa ikinci yakın olan malzeme seçilebilir. Basınç dayanımında Bazalt ikinci yakın malzeme olarak alınabilir.
3. Bir başka öneri olarak ise öğütülen malzemenin ilk olarak karışım oluşturacak malzemelerin, karışıma hangi oranlarda katılacağını belirleyen granülometri eğrisinin çizilmesi gerektiği ve granülometri eğrisinin fuller eğrisine yakın çıkması önerilebilir. Çünkü granülometri eğrisi fullere yakın çıkarsa beton dayanımında artış olacağı görülecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Şimşek, O. Beton ve Beton Teknolojisi. Seçkin Yayınevi, Ankara. sf.17, 2007.
- [2] DSİ, Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Kasım 1994, Ankara.
- [3] Taşdemir, M.A., Bayramov, F. Yüksek Performanslı Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı, İTÜ Dergisi, Cilt 1, Sayı 2, 2002.
- [4] Arslan, A. Lifli Betonların Darbe Etkisi Altında Genel Özellikleri, Çelik Tel Donatılı Betonlar Sempozyumu, Sempozyum Bildirileri, 1999.
- [5] Canbay, M. Çelik ve Polipropilen Liflerin Yalın ve Konbinasyonlu Olarak SİFCON'da Kullanılması. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014.
- [6] Aıtcın, P.C. Cement of Yesterday and Today Concrete of Tomorrow, Cement and Concrete Research, 30,9, pp.1349-1359, 2000.
- [7] Taşdemir, M.A., Bayramov, F.,Kocatürk, A.N., Yerlikaya,M. Betonun Performansa Göre Tasarımında Yeni Gelişmeler, Beton 2004 Kongresi, İstanbul, sf.1-34, 2004.
- [8] Çivici, F. Çelik Lif Donatılı Betonun Eğilme Tokluğu, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,12,2, sf.183-188, 2006.
- [9] Shannag,M.J., Barakat, S.ve Jaber, F. Structural Repair of Shear-Deficient Reinforced Concrete Beams Using SIFCON, Magazine of Concrete Research, 53,6,391-403. 2001.
- [10] Balaguru, P.N., Shah, S.P. Fiber Reinforced Cement Composites, McGraw-Hill, New York. 1992.
- [11] Wang, M.L. Constitutive Properties of SİFCON, Proceeding, Workshop on Fibre Reinforced Cement and Concrete, Sheffield, pp. 237-255, 1994.
- [12] Lankard, D.R. "Properties Applications: Slurry Infiltrated Fiber Concrete (SİFCON)," Concrete International, pp.287-306, 1984.

- [13] 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.
- [14] Wang,M.L., Maji A.K. "Shear Properties of Slurry Infiltrated Fiber Concrete (SIFCON)", High Performance Fiber Reinforced Cement Composites, London, pp. 203-21, 1992.
- [15] Tabak,V. "Çelik Lifli Betonda Lif ve Lif Boy/Çap Oranlarının Değişiminin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, SF.73-76, 2004.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] <http://SIFCON.quinting.com>, Erişim Tarihi: 10.3.2013.
- [19] Yerlikaya, M. "Çelik Tel Donatılı Betonların Deprem Etkisi Altında Davranışları", Kocaeli Deprem Sempozyumu Bildiriler Kitabı, sf.302-304, 2003.
- [20] Wecharatana , M., Lin, S. "Tensile Properties of High Performance Fiber Reinforced Concrete", High Performance Fiber Reinforced Cement Composites, London, pp. 248-258, 1992.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] Wu,YF., 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.
- [24] Tuyan M., Yazıcı, H. "Pull-Out Behavior of Single Steel Fiber From SIFCON Matrix" Construction and Building Materials, 1,35, pp.571-577, 2012.

- [25] 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.
- [26] Raoa, H.S., Ghorpade, V.G., Ramanac,N.V., Gnannesward , K. "Response of SIFCON Two-Way Slabs Under Impact Loading", International Journal of Impact Engineering, 37,452-458, 2010.
- [27] 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.
- [28] <http://www.forta.com.tr/fortaferro/Default.aspx>, Erişim Tarihi: 01.04.2014.
- [29] Naaman,A.E. Proceedings of the International Workshop, SIFCON: Tailored Properties for Structural Performance. Edited by H.W.Reinhart and A.E. Naaman. RILEM. Published by E&FN Spon, London, 1991.
- [30] <http://www.dekoton.com.tr>., Erişim Tarihi: 28.06.2015.
- [31] TS 10515, elik Tel Takviyeli Betonun Eğilme Mukavemeti Deney Metodu, 1992.
- [32] Yeğinobalı, A. Silis Dumanı ve imento ile Betonda Kullanımı, Türkiye imento Mstahsilileri Birliği/AR-GE Enstitüsü, 2.Baskı, sf.18-46, Ankara, 2002.
- [33] <http://www.materials.elkem.com>., Erişim Tarihi: 07.03.2013.
- [34] Bulutlar, Y.A. elik Tel İçeriğinin ve Dayanımının SIFCON'un Mekanik Davranışına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İştambul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006.
- [35] Korkanç, M,Tuğrul A. Beton Agregası Olarak Kullanılacak Bazaltların Alkali-Silis Reaksiyonu Yönünden İncelenmesi, İştambul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi, 17,2, sf.161-169, 2004.
- [36] Aıtcın, P.C. High Performance Concrete, E&F.N. SPON, New York, 2004.
- [37] Güner, M.S., Sme, V. Yapı Malzemesi ve Beton. Aktif Yayınevi, İştambul. sf.224, 2001.
- [38] Kozak, M. Bazalt Agregası ile üretilen Beton Travers de elik Lifin Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, sf.17, Afyonkarahisar, 2014.
- [39] <http://www.boyabatbeton.com/urnlr.html>., Erişim Tarihi: 16.06.2017.

- [40] Çiftçi,S., Vural,E. Hereke Maden İşletmeleri A.Ş. Deney Raporu. Kocaeli, 2017.
- [41] <http://www.asturkmadencilik.com/sayfa/tastozu.html>., Erişim Tarihi: 05.07.2017.
- [42] <http://www.bekaert.com.tr>., Erişim Tarihi: 31.03.2014.
- [43] TS EN 12390-3, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, 2003.
- [44] ASTM C 39 / C39M, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, ASTM (American Society for Testing and Materials), 1996.
- [45] TS 3502, Betonda Statik Elastisite Modülü ve Poisson Oranı Tayini, 1981.
- [46] ASTM C 469, Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression, 1996.
- [47] TS 10513, Çelik Teller - Beton Takviyesinde Kullanılan, 1992.
- [48] TS 10514, Beton-Çelik Tel Takviyeli-Çelik Telleri Betona Karıştırma ve Kontrol Kuralları, 1992.
- [49] 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.
- [50] 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.
- [51] Özalp, F. Ultra Yüksek Performanslı Betonların Mekanik Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, SF.36-40, 2006.
- [52] Çetin, A.E. Matlab 6.5, Alfa yayınları, sf.20-240, İstanbul, 2003.
- [53] Mindess, S., Young, J.F., Darwin, D. Concrete, Prentice-Hall, Pearson Education Inc., Second Edition, 644, 2003.

ÖZGEÇMİŞ

Rukiye DOĞAN, 23.11.1983 yılında Batman'da doğdu. İlköğrenimini ve lise öğrenimini Adıyaman'da tamamladı. 2000 yılında Adıyaman İmam Hatip Lisesi'nden mezun oldu. 2005 yılında başladığı Gaziantep Üniversitesi Gaziantep Meslek Yüksek Okulu İnşaat Bölümü'nden 2008 yılında mezun oldu. 2009 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Yapı Öğretmenliği Bölümü'nden 2013 yılında mezun oldu. 2013 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Malzemesi Bilim Dalı'nda yüksek lisans yapmaya hak kazanmıştır. 2015 yılında başladığı Sakarya Esnaf ve Sanatkarlar Odaları Birliği Mesleki Sınav Merkezi'nde Personel Belgelendirme Koordinatörü olarak çalışmaktadır.