

T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Yüksek Lisans Tezi

**SİLİS DUMANI, ÇELİK VE BAZALT LİFLERİN HARÇLARIN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ORTAK ETKİSİ**

Mahmut Sami YILDIRIM

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Fuat KÖKSAL

Yozgat 2019

T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Yüksek Lisans Tezi

**SİLİS DUMANI, ÇELİK VE BAZALT LİFLERİN HARÇLARIN
MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ORTAK ETKİSİ**

Mahmut Sami YILDIRIM

Tez Danışmanı
Prof. Dr. Fuat KÖKSAL

Yozgat 2019

T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAYI

Enstitümüzün İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı 70110710003 numaralı öğrencisi Mahmut Sami YILDIRIM'ın hazırladığı “**Silis Dumanı, Çelik ve Bazalt Liflerin Harçların Mekanik Özelliklerine Ortak Etkisi**” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezi ile ilgili TEZ SAVUNMA SINAVI, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca 10/04/2019 günü saat 09:00 'da yapılmış, tezin onayına OY ~~ÇOKLUĞU~~/ OY BİRLİĞİYLE karar verilmiştir.

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi O. Yavuz BAYRAKTAR

Üye : Prof. Dr. Fuat KÖKSAL (Danışman)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Murat ŞAHİN

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 29/04/2019 tarih ve 20 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

29.04./2019

Prof. Dr. Mustafa SAÇMACI

Müdür



İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
TABLolar LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	x
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	3
2.1. Lifler	3
2.1.1. Çelik Lifler.....	5
2.1.2.1. Bazalt Liflerin Üretimi	9
2.1.2.2. Bazalt Liflerin Fiziksel Özellikleri.....	10
2.1.2.3. Bazalt Liflerin Kimyasal Yapısı.....	11
2.1.2.4. Bazalt Liflerin Durabilite Özellikleri	11
2.1.2.5. Bazalt Liflerin Kullanım Alanları	12
2.1.2.6. Bazalt Liflerin Çimento Esaslı Malzemelerde Kullanımı	14
2.1.2.7. Bazalt Liflerin Polimer Esaslı Malzemelerde Kullanımı	21
2.2. Silis Dumanı	22
2.2.1. Silis Dumanının Fiziksel Özellikleri.....	23
2.2.1.1. Renk	23
2.2.1.2. İncelik.....	23
2.2.1.3. Özgül Ağırlık	24
2.2.1.4. Tane Morfolojisi.....	24
2.2.1.5. Su İhtiyacı ve Puzolanik Aktivite	24
2.2.2. Silis Dumanının Kimyasal Kompozisyonu.....	24
2.2.3. Silis Dumanının Beton Özelliklerine Etkileri.....	25

2.2.3.1. Taze Beton Özelliklerine Etkisi	25
2.2.3.1.1. Su İhtiyacı.....	25
2.2.3.1.2. İşlenebilirlik.....	25
2.2.3.1.3. Terleme ve ayrışma	25
2.2.3.1.4. Rötne	25
2.2.3.1.5. Priz süresi	26
2.2.3.2 Sertleşmiş Beton Özellikleri Üzerine Etkisi	26
2.2.3.2.1. Dayanım	26
2.2.3.2.2. Geçirgenlik	26
2.2.3.2.3. Aşınma Direnci.....	26
2.2.3.2.4. Durabilite Özellikleri.....	27
2.2.4. Silis Dumanının Betonda Kullanımı.....	27
3. DENEYSSEL ÇALIŞMA	32
3.1. Malzemeler	32
3.1.1. Çimento.....	32
3.1.2. Silis Dumanı	32
3.1.3. Agregası.....	33
3.1.4. Kısa Kesilmiş Çelik Tel.....	34
3.1.5. Bazalt Lif	34
3.1.6. Akışkanlaştırıcı	35
3.1.7. Karışım Suyu	35
3.2. Karışımlar Oranları ve Numunelerin Üretimi	35
3.2.1. Numunelerin Üretimi.....	37
3.3. Harç Testleri	37
3.3.1. Taze Hal Testleri.....	37
3.3.1.1. Birim Hacim Ağırlık Deneyi.....	37
3.3.1.2. Yayılma Deneyi	38
3.3.2. Sertleşmiş Harç Testleri.....	38
3.3.2.1. Su emme, Porozite ve Birim Hacim Ağırlık Deneyleri	38
3.3.2.2. Harçlarda Eğilme Deneyi.....	39
3.3.2.3. Harçlarda Basınç Deneyi.....	40
4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMESİ.....	41

4.1. Taze Harç Deneyi Sonuçları.....	41
4.2. Sertleşmiş Harç Deneyi Sonuçları.....	46
4.2.1. Kuru Birim Hacim Ağırlığı, Porozite ve Su Emme Sonuçları	46
4.2.2. Eğilme Dayanımı Sonuçları.....	59
4.2.3. Basınç Dayanımı Sonuçları	72
KAYNAKLAR	88
ÖZGEÇMİŞ.....	96



SİLİS DUMANI, ÇELİK VE BAZALT LİFLERİN HARÇLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ORTAK ETKİSİ

Mahmut Sami YILDIRIM

**Yozgat Bozok Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

2019; Sayfa: 96

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fuat KÖKSAL

ÖZET

Bu çalışmada, silis dumanı, bazalt ve çelik lifleri içeren harçların mekanik ve fiziksel özellikleri araştırılmıştır. %0, 10 ve 20 silis dumanı, %0,25, 0,5 ve 0,75 çelik lif ve %0,3, 0,6 ve 0,9 bazalt lifi içeren 27 farklı harç karışımı ve referans harç karışımı üretilmiştir. Bu harçlara taze ve sertleşmiş birim hacim ağırlığı, porozite ve su emme gibi fiziksel testler, basınç ve eğilme dayanımı gibi mekanik testler yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda; silis dumanı, bazalt lif ve çelik lif oranları arttıkça porozite ve su emme değerleri azalmıştır. Çelik lif ve bazalt lif oranları arttıkça eğilme dayanımı artmıştır. En yüksek eğilme dayanımını %0 oranında silis dumanı, %0,5 oranında çelik lif ve %0,9 oranında bazalt lif içeren harç karışımında elde edilmiş ve bu değer referans numunesine göre %27,8 daha fazla eğilme dayanımı vermiştir. Silis dumanı, çelik lif ve bazalt lif oranları arttıkça basınç dayanımı artmıştır. En yüksek basınç dayanımını %20 oranında silis dumanı, %0,75 oranında çelik lif ve %0,3 oranında bazalt lif içeren harç karışımında elde edilmiş ve bu değer referans numunesine göre %62,2 daha fazla basınç dayanımı vermiştir. Silis dumanı, bazalt lif ve çelik lifin beraber kullanılması ile birçok testten olumlu sonuç elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Silis Dumanı, Bazalt Lif, Çelik Tel, Harç, Eğilme.

COMBINED EFFECTS OF SILICA FUME, STEEL AND BASALT FIBERS ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF MORTARS

Mahmut Sami YILDIRIM

Yozgat Bozok University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering
Master of Science Thesis

2019; Page: 96

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Fuat KÖKSAL

ABSTRACT

In this study, combined effects of silica fume, steel and basalt fibers on the mechanical and physical properties of mortars were investigated. Silica fume was used 0%, 10% and 20%, steel fibers 0.25%, 0.50% and 0.75% and basalt fibers 0.3%, 0.6% and 0.9%. 27 different series of mortars and reference mortar were produced. These mortar samples were subjected to physical tests such as fresh and hardened unit weight, porosity and water absorption and also mechanical tests such as compressive strength and flexural strength. According to the results; Porosity and the water absorption values were decreased with the increase of basalt fibers, steel fibers and silica fume. Flexural strength was increased with the increase of steel fiber and basalt fiber amount. The highest flexural strength was obtained from the mortar produced with 0% silica fume, 0.5% steel fibers and 0.9% basalt fibers. This value was 27.8% higher than reference sample. Compressive strength was also increased with the increase of steel fibers, basalt fibers and silica fume. The highest compressive strength was obtained from mixtures with 20% silica fume, 0.75% steel fibers and 0.3% basalt fibers. This value was 62.2% higher than reference sample. Many tests were given positive results by the use of basalt fibers, steel fibers and silica fume together.

Keywords: Silica Fume, Basalt Fibre, Steel fibre, Mortar, Flexural.

TEŞEKKÜR

Tez konumu bana öneren, bu tezi yöneten, bilgi ve tecrübeleriyle tezimle ilgili her konuda yardımcı olan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Fuat KÖKSAL'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitiminin süresi boyunca bana yakınlık gösteren ve çok rahat bir ortamda çalışmamı sağlayan emeği geçen Yozgat Bozok Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde görev yapan değerli hocalarıma teşekkür ederim. Bu hayatta desteklerini asla esirgemeyen ve bana olan güvenlerini asla kaybetmeyen kıymetli ve çok değerli aileme teşekkür ederim. Bu tez çalışmasının benzer çalışmalara kaynak ve örnek teşkil etmesini ve Ülkemize yararlı olmasını içtenlikle dilerim.

Mahmut Sami YILDIRIM

TABLULAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Bazalt lifinin tipik fiziksel özellikleri	10
Tablo 2.2. Bazalt lifinin tipik kimyasal bileşimi [34]	11
Tablo 2.3. Çeşitli ülkelerdeki silis dumanlarının kimyasal bileşimleri [59].	24
Tablo 3.1. Çimentonun Kimyasal Kompozisyonu	32
Tablo 3.2. CEM I Çimentosunun Fiziksel Analizi.....	32
Tablo 3.3. Silis Dumanın Kimyasal Analizi	33
Tablo 3.4. Silis Dumanın Fiziksel Özellikleri.....	33
Tablo 3.5. Kısa Kesilmiş Çelik Lifin Teknik Özellikleri.....	34
Tablo 3.6. Bazalt Lifin Teknik Özellikleri.....	35
Tablo 3.7. Harç Karışım Oranları	36
Tablo 4.1. Birim Hacim Ağırlık ve Yayılma Sonuçları	41
Tablo 4.2. Kuru Birim Hacim Ağırlık, Porozite ve Su Emme Sonuçları.....	47
Tablo 4.3. Eğilme Dayanımı Sonuçları.....	60
Tablo 4.4. Basınç Dayanımı Sonuçları	72

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Bazı çelik lif tipleri [6].....	4
Şekil 2.2. Lifli kompozitin kırılma mekanizması [8].....	6
Şekil 2.3. Lifli kompozitin yük-sehim ilişkisi[8].....	6
Şekil 2.4. Bazalt lifi [27].....	9
Şekil 2.5. Makara üzerine sarılmış bazalt lifleri [22].....	10
Şekil 2.6. Demiryolu döşemesinde bazalt lif kullanımı [32]	14
Şekil 3.1. Silis Dumanı	33
Şekil 3.2. Kısa Kesilmiş Çelik Tel	34
Şekil 3.3. Bazalt Lif	35
Şekil 3.4. Harç karışımı.....	37
Şekil 3.5. Harç Numunelerini Tartma İşlemi	39
Şekil 3.6. Harç Numunelerini Etüve Konulması.....	39
Şekil 4.1. Çelik Tel ve Bazalt İçeriğine Göre Taze Birim Hacim Ağırlıkları (%0)...	42
Şekil 4.2. Çelik Tel ve Bazalt İçeriğine Göre Taze Birim Hacim Ağırlıkları (%10). 43	
Şekil 4.3. Çelik Tel ve Bazalt İçeriğine Göre Taze Birim Hacim Ağırlıkları (%20). 45	
Şekil 4.4. Çelik Tel ve Bazalt İçeriğine Göre Kuru Birim Hacim Ağırlıkları (%0) ..	48
Şekil 4.5. Çelik Tel ve Bazalt İçeriğine Göre Kuru Birim Hacim Ağırlıkları (%10) 49	
Şekil 4.6. Çelik Tel ve Bazalt İçeriğine Göre Kuru Birim Hacim Ağırlıkları (%20) 50	
Şekil 4.7. Çelik Tel ve Bazalt İçeriğine Göre Porozite Değerleri (SD=%0)	51
Şekil 4.8. Çelik Tel ve Bazalt İçeriğine Göre Su Emme Değerleri (SD=%0)	53
Şekil 4.9. Çelik Tel ve Bazalt İçeriğine Göre Porozite Değerleri (SD=%10)	54
Şekil 4.10. Çelik Tel ve Bazalt İçeriğine Göre Su Emme Değerleri (SD=%10)	55
Şekil 4.11. Çelik Tel ve Bazalt İçeriğine Göre Porozite Değerleri (SD=%20).....	56
Şekil 4.12. Çelik Tel ve Bazalt İçeriğine Göre Su Emme Değerleri (SD=%20)	58
Şekil 4.13. Çelik Tel ve Bazalt İçeriğine Göre Eğilme Dayanımı Değerleri (%0)...	61
Şekil 4.14. Çelik Tel ve Bazalt İçeriğine Göre Eğilme Dayanımı Değerleri (%10)..	62
Şekil 4.15. Çelik Tel ve Bazalt İçeriğine Göre Eğilme Dayanımı Değerleri (%20)..	63
Şekil 4.16. Silis Dumanı ve Çelik Tel içeriğine göre Eğilme Dayanımı (B=%0,30) 65	
Şekil 4.17. Silis Dumanı ve Çelik Tel içeriğine göre Eğilme Dayanımı (B=%0,60) 66	
Şekil 4.18. Silis Dumanı ve Çelik Tel içeriğine göre Eğilme Dayanımı (B=%0,90) 67	
Şekil 4.19. Silis Dumanı ve Bazalt içeriğine göre Eğilme Dayanımı (ÇT=%0,25)...	69
Şekil 4.20. Silis Dumanı ve Bazalt içeriğine göre Eğilme Dayanımı (ÇT=%0,5).....	70
Şekil 4.21. Silis Dumanı ve Bazalt içeriğine göre Eğilme Dayanımı (ÇT=%0,75)...	71
Şekil 4.22. Çelik Tel ve Bazalt İçeriğine Göre Basınç Dayanımı Değerleri (%0).....	73
Şekil 4.23. Çelik Tel ve Bazalt İçeriğine Göre Basınç Dayanımı Değerleri (%10)...	75
Şekil 4.24. Çelik Tel ve Bazalt İçeriğine Göre Basınç Dayanımı Değerleri (%20)...	76
Şekil 4.25. Silis Dumanı ve Çelik Tel içeriğine göre Basınç Dayanımı (B=%0,30). 78	
Şekil 4.26. Silis Dumanı ve Çelik Tel içeriğine göre Basınç Dayanımı (B=%0,60). 79	
Şekil 4.27. Silis Dumanı ve Çelik Tel içeriğine göre Basınç Dayanımı (B=%0,90). 80	

- Şekil 4.28. Silis Dumanı ve Bazalt içeriğine göre Basınç Dayanımı (ÇT=%0,25) ... 82
Şekil 4.29. Silis Dumanı ve Bazalt içeriğine göre Basınç Dayanımı (ÇT=%0,5) 83
Şekil 4.30. Silis Dumanı ve Bazalt içeriğine göre Basınç Dayanımı (ÇT=%0,75) ... 84



KISALTMALAR LİSTESİ

BL	: Bazalt Lif
ÇL	: Çelik Lif
SD	: Silis Dumanı
GPa	: Giga Pascal
MPa	: Mega Pascal
Bet	: Brunauer-Emmett-Teller (Yüzey alanı ve mikro gözenek boyutu)
SiO₂	: Silisyum Oksit
Al₂O₃	: Alimünyum Oksit
Fe₂O₃	: Demir Oksit
CaO	: Kalsiyum Oksit
MgO	: Magnezyum Oksit
SO₃	: Kükürt Oksit
Na₂O	: Sodyum Oksit
K₂O	: Potasyum Oksit
S	: Kükürt
C	: Karbon
Ca(OH)₂	: Kalsiyum Hidroksit
CEM	: Çimento
Ca(OH)₂	: Kalsiyum Hidroksit
XRD	: X-Işını Kırınım Yöntemi
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi

1. GİRİŞ

Beton, inşaat dünyasında hayati öneme sahip olan bir yapı malzemesidir [1]. Temel olarak çimento, su ve agregaların kullanılmasıyla üretilir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte beton özelliklerini daha iyi noktalara taşımak ve arzu edilen özellikleri kazandırabilmek amacıyla çeşitli katkı malzemeleri üretilmiş ve kullanılmaya başlanmıştır [2].

Betonun gerek maliyet bakımından uygunluğu, gerekse çok yönlü bir yapı malzemesi olarak kullanılabilmesi diğer yapı malzemelerine göre öne çıkmasını sağlamıştır. Ancak bileşimi ve doğasından kaynaklı bazı dezavantajlarda barındırmaktadır. Genel mühendislik standartlarına göre beton göreceli olarak gevrek ve eğilme kuvvetlerine karşı dayanıksız olarak kabul edilmektedir [1]. Betonun hem plastik haldeyken (erken yaş) hem de sertleşmiş haldeyken (ileri yaş) çatlama meyilli olması bu durumla iç içe geçmiş bir problem olarak kabul edilebilir. Erken yaş çatlakları betonun yerine yerleştirildikten sonra ilk 24 saat içerisinde meydana gelen oturmalar, yerleşmeler ve büzülme sebepleriyle meydana gelen mikroskobik yarıklardır. İleri yaş çatlaklarının bir kısmı kurumayı takip eden büzülme sebebiyle aylar hatta bazen yıllar sonra ortaya çıkabilmektedir. Diğer bir deyişle çatlaklar betonun bütünlüğünü ve maksimum performansına ulaşabilmesini tehlikeye atmaktadır. Yüksek dayanım için betonun çatlama karşı dayanımlı olması istenmektedir [1].

Betonun çekmeye karşı düşük olan dayanımını geliştirmek için katkı olarak lif kullanımı yaygın bir uygulamadır. Beton karakteristiklerini geliştirmek için lif kullanımı çok eskilere dayanmaktadır. İlk lif uygulamaları kerpiç yapımında saman kullanımı, alçıyı güçlendirmek için at kılıları kullanımı ve ya çanak, çömlek uygulamalarını güçlendirmek için asbest kullanımı şeklinde görülmektedir. Beton ise sürekli donatıların uygulanması ile betonarme haline getirilmiş, böylece dayanım ve süneklik artırılmıştır. Ancak dikkatli yerleştirme ve yetenekli işçilik gerektirmektedir [3]. Buna alternatif olarak donatılı ya da donatısız betonlara süreksiz liflerin eklenmesi daha iyi sonuçlar sağlayabileceği düşünülmüştür. Modern anlamda liflerle güçlendirilmiş betonların gelişimi 1960'lerde başlamıştır.

Betona lif eklenmesi daha homojen ve izotropik bir malzeme elde edilmesini sağlar. Beton çatladığında rastgele yönlenmiş lifler çalışmaya başlarlar, çatlak oluşumunu veya ilerlemesini önlerler, böylece dayanım ve sünekliği artırmış olurlar [3].

Betonda sünekliğin ve dayanımın yanı sıra iyi düzeyde durabilite özelliklerinin de olması istenir. Bu nedenle son yıllarda betonda farklı birçok mineral katkı kullanılmaya başlanmıştır. En yaygın kullanılan mineral katkılarda bir tanesi de silis dumanıdır. Silis dumanı (SD), silikon ve ferrosilikon endüstrisinde döküm aşamasının bir yan ürünü olarak ortaya çıkmaktadır. Çok ince tanelere sahip olan bu malzemenin beton özelliklerini iyileştirdiği, dayanımını, aderansını, aşınma dayanımını artırdığı, geçirimsizlik ve donatı korozyonu gibi olumsuz durumları da azalttığı görülmüştür [4].

Sunulan bu çalışmada 3 farklı silis dumanı içeriği, 3 farklı çelik lif oranı ve 3 farklı bazalt lif oranı kullanılarak 27 seri harç üretilmiştir. Su/bağlayıcı (çimento+silis dumanı) oranı 0,5 olarak sabit tutularak üretilen harçların mekanik dayanımları ve süneklikleri incelenerek çelik lif ve bazalt lifi kullanımının karşılaştırmalı olarak önemini ortaya konulması amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Lifler

Liflerin gevrek matrisli malzemelerinde kullanımı yaklaşık 3500 yıl öncesine kadar dayanmaktadır. Bağdat yakınlarındaki 57m yüksekliğe sahip Aqar Quf tepesinde bulunan güneşte pişirilmiş tuğlaların içerisinde saman parçaları kullanıldığı görülmüştür. Daha sonraları asbest lifler keşfedilmiş ve 100 yıla yakın bir süre boyunca çimento esaslı ürünlerin güçlendirilmesinde kullanılmaktadır. Selüloz lifler yaklaşık son 50 yıldır, çelik, polipropilen ve cam lifler ise yine aynı amaç için son 30 yıldır kullanımdadır. Beton özelliklerini iyileştirmek için lif kullanımının modern mühendislik penceresinden sebepleri aşağıdaki gibidir [5].

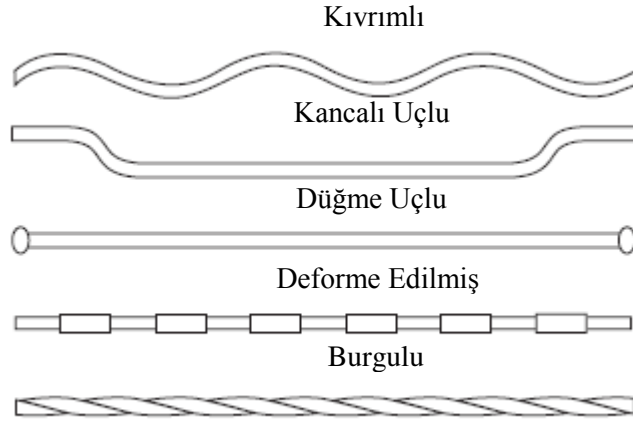
- Taze hal reolojisini ya da malzemenin dökümden sonraki 6 saat içerisindeki plastik çatlak karakterini geliştirmek,
- Çekme veya eğilme dayanımını geliştirmek,
- Çarpma dayanımını ve tokluğu geliştirmek,
- Kırılma sonrası sünekliği geliştirmek kırılma modunu ve çatlamaı kontrol etmek,
- Durabiliteyi iyileştirmektir [5].

Betona spesifik olarak kullanılmak üzere değişik lif tipleri bulunmaktadır. Her bir lif tipi farklı üreticiler tarafından, farklı geometrilerde ve farklı lif özelliklerine sahip olarak üretilirler. En temel lif tipleri aşağıda verildiği gibidir.

Çelik lifler tellerin kesilmesi, plakaların kırılması ya da sıcak eritme şeklinde üretilmektedirler. En yaygın kullanılan lif tipidir. Matris-lif aderansını kuvvetlendirmek amacıyla genellikle deforme edilmiş şekillere sahiptirler (Şekil 2.1). Betonun içerisinde ileri derecede durabiliteye sahip olsalar da beton yüzeyinde bulduklarında gözle görülecek şekilde paslanabilirler. Yüzeysel paslanmanın kabul edilemeyeceği bazı durumlarda ya da aşırı agresif ortamlarda paslanmaz çelik teller kullanılabilir [6].

Cam lifleri erimiş camın özel sistemlerle çok ince teller haline getirilmesiyle üretilirler. Tipik olarak aynı anda birçok ince tel üretilir ve bunlar sertleştikten sonra

tek bir iplik haline gelirler. Sıradan E-cam (soda camı) lifleri ve A-cam (boro-silikat cam) lifler yüksek alkali ortamda kararlı değildirler. Betonda kullanım için, alkalilere karşı dayanımlı cam lifleri kullanılmalıdır. Tipik olarak %16-20 zirkonyum dioksit içeren lifler tercih edilir [6].



Şekil 2.1. Bazı çelik lif tipleri [6]

Asbest lifler 1900'lerden beri beton boruların yapımında, çatı malzemelerinde ve diğer yapı elemanlarında kullanılmaktadır. Beton yapısı ile büyük bir uyumluluğu vardır ve lif donatısı olarak çok etkindir. Ancak üretim yöntemlerine bağlı olarak sağlık bakımından çok ciddi tehlikeler taşıdığı ortaya çıkmış ve büyük çoğunluğu başka lif tipleri ile değiştirilmiştir [6].

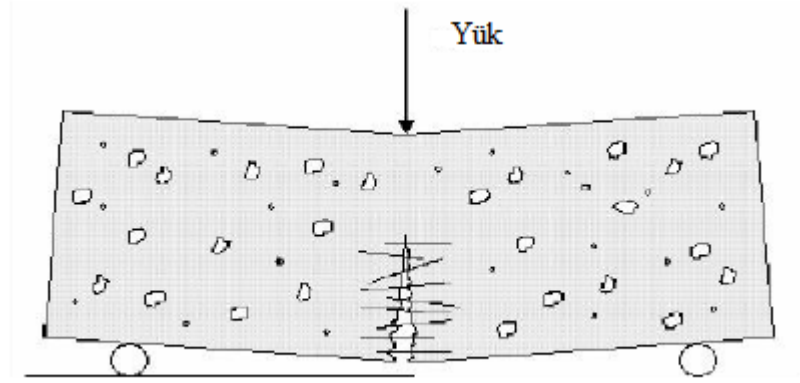
Sentetik lifler son yıllarda yaygınlaşmışlardır. Diğer liflerin aksine betonun sahip olduğundan belirgin şekilde daha düşük elastik modülü değerine sahiptirler. Düşük lif oranlarında plastik rötre çatlaklarını önlemekte oldukça etkindirler. Yüksek oranlarda kullanıldıklarında ya da bazı yüksek performansı sentetik lifler kullanıldığında, yüksek tokluk ve dayanım elde edilebilmektedir. En bilinen sentetik lif tipleri polipropilen ve polietilen lifler ve bazı naylon liflerdir. Karbon ve Aramid (Kevlar) lifler yüksek elastik modül değerine sahip liflerdir ancak çok pahalı oldukları için kapsamlı olarak kullanılmamaktadırlar. Yüksek dayanımlı akrilik lifler ve PVA lifler son zamanlarda asbest lifler yerine kullanılan liflerdendir ancak kullanım alanları genelde özel uygulamalarla sınırlı kalmıştır [6].

Bunların yanında bazen betonda doğal organik lifler de kullanılmaktadır. Bunlar genellikle gelişen ülkelerde düşük maliyetli yapı elemanı üretiminde kullanılmışlardır. Elastik modülleri düşük olan sisal, hintkeneviri lifi, hindistancevizi lifi, fil çimi ve şeker kamışı küspesi gibi lifler nemli ve alkali ortamda zarar görmektedirler. Betonda kullanmak için özel işlem görmeleri gereklidir. Ancak, odun posasından elde edilen selülozik lifler diğer doğal liflere göre daha sağlam ve dayanıklıdır. Asbest liflerin yerine kullanılan en yaygın liflerdir. Ancak betonda kullanılabilmesi için bu liflerinde özel işlemlerden geçmeleri gereklidir [6].

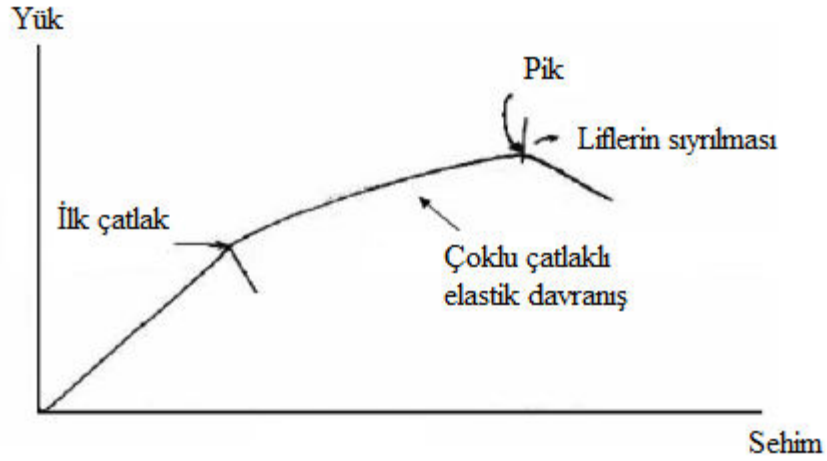
2.1.1. Çelik Lifler

Çelik lif katkılı betonlarda lifler beton içerisinde üç boyutlu olarak dağılmaktadır. Çelik lif katkısının betonun çatlak karakterini, tokluk ve süneklik gibi özelliklerini geliştirdiği bilinmektedir. Çelik liflerin uzunluk/çap oranları narinlik olarak ifade edilmektedir. Narinlik ve çimento dozajı çelik lifli betonların kalitesini belirleyen iki önemli etkidir. Lifler, taze betonunda meydana gelen büzülme etkisiyle oluşan mikro çatlaklar arasında köprü vazifesi görür ve çatlağın gelişmesine izin vermeler. Aynı zamanda dış yüklemeler sonucu meydana gelebilecek yüksek enerjilerin karşılanmasında önemli rol alırlar ve tokluğun yükselmesini sağlarlar [7].

Çelik lifler ve matris, matriste çatlak oluşuncaya kadar yükü beraber karşılarlar. Çatlama meydana geldikten sonra lifler çatlak etrafında bir köprü vazifesi görürler (Şekil 2.2.) Çelik liflerin maksimum çekme gerilme değeri çimento esaslı matrisin çekme gerilmesinden daha yüksektir. Sonuç olarak çimento matrisi çelik liflerin göçmesinde önce daha düşük bir yükte göçecektir. Matris çatladığında, çelik liflerle güçlendirilmiş matris yük taşımaya devam edecektir. Çelik lifli çimentolu kompozitin pik gerilim ve gerinim değeri tek başına çimento matrisinin vereceği değerden daha büyük olmaktadır. Liflerle güçlendirilmiş kompozit yüklendiğinde çoklu çatlak performansı gözlemek mümkündür (Şekil 2.3.).



Şekil 2.2. Lifli kompozitin kırılma mekanizması [8]



Şekil 2.3. Lifli kompozitin yük-sehim ilişkisi [8]

Araştırmacılar farklı lif çeşitlerinin betonun mekanik özellikleri ve işlenebilirliği üzerine etkilerini incelemişlerdir. Araştırma sonuçları farklı lif tipi kullanımının işlenebilirlik üzerinde belirgin bir etkisi olmadığını rapor etmişlerdir [9]. Ancak betonun tokluğu değerlendirildiğinde kancalı uçlu çelik liflerin daha iyi performans gösterdiği, şekil değiştirme kapasitesinin daha yüksek olduğu görülmüştür [10]. Lee ve ark. [11] ise kemer tipi liflerin püskürtme betonlardaki kenetlenme performansı için optimum dizayn çalışması yapmışlardır. Çalışma sonunda kemer yarıçapının daha küçük olmasının daha iyi performans gösterdiğini ancak yüksek yarıçaplı kemer tipi liflerde sıyırılma durumu gözlemlendiği belirtilmiştir.

Song ve Hwang [12] tarafından yapılan bir araştırmada ise karışımdaki elik lif oranı değiştirilerek betonların mekanik özellikleri incelenmiştir. Betonda sırasıyla %0,5, %1,0, %1,5 ve %2,0 oranlarında lif kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre maksimum basınç dayanımı %1,5 lif oranında elde edilirken, en yüksek yarmada çekme dayanımı değeri, kırılma modülü ve tokluk indeksleri %2,0 oranında lif içeren örneklerden elde edilmiştir.

Uygunoğlu [13] tarafından yapılan çalışmada farklı lif miktarlarının ve uzunluklarının betonun terlemesi üzerine etkileri incelenmiştir. Karışımda hacimce %0,3, %0,6, %1 ve %1,3 oranında lif kullanılmış ve 30, 60, 90, 120, 150 ve 180 dakikalardaki terleme suyu miktarları kontrol edilmiştir. Test sonuçlarına göre lif miktarının artması ve liflerin uzunlaşması terleme miktarını artırmıştır.

Ren ve ark. [14] karışımdaki lif oranını %0'dan %2,5'a kadar değiştirmiş ve mikro-düz ve kancalı olmak üzere iki farklı tip lif kullanarak, örneklerin hem basınç hem de eğilme dayanımlarını incelemişlerdir. Basınç dayanımı üzerine lif miktarı ve tipinin belli belirsiz bir etkisi olmuştur. Lif miktarının çekme dayanımı üzerinde belirgin bir etkisi olduğu görülürken mikro liflerin kanca uçlu olanlara göre daha iyi performans verdiği gözlenmiştir. Aynı zamanda lif tipi ve içeriğinin ilk çatlak dayanımı üzerine çok fazla etkisi olmazken eğilme dayanımı, toplam yük taşıma kapasitesi, enerji yutma kapasitesi, kırılma tokluğu ve kırılma enerjisi gibi değerler üzerine ciddi etkisi olmuştur.

Eren ve elik [15] betonda  farklı boy/çap oranına sahip kanca uçlu lif kullanmışlardır. Lifler karışıma hacimde %0,5, 1,0 ve 2,0 kadar eklenmiştir. Test sonuçlarına göre lif miktarının ve lif boy/çap oranının basınç dayanımı üzerine belirgin bir etkisi olmadığı rapor edilmiştir. Abbas ve ark. [16] üç farklı lif boyu ve iki farklı lif çapı seçilmiştir. Karışımda %0,5, %1,0 ve %1,5 oranlarında hacimce lif kullanılmıştır. Lif oranının %0,5'ten %1,5'e yükselmesi eğilme dayanımını %124 oranında artırmıştır. Boy/ap oranının 65'ten 85'e yükselmesi ise eğilme dayanımını %140 oranında yükseltmiştir.

Çalışmalar çelik tel miktarının artmasının karışımda topaklanmaya neden olduğunu göstermiştir. Aynı zamanda liflerin narinliklerinin artmasının da topaklanmanın ayrı bir nedeni olduğu görülmüştür. Bu durum homojen bir karışım oluşmasını engellerken, basınç dayanımı değerlerinde de düşüşe sebep olmuştur [17, 18]. Homojenliğin azalması ve meydana gelen topaklanmalar matris içerisinde zayıf ve hava boşluğu içeren bölgeler oluşmasına neden olmuştur. Buna göre narinlik oranının ve lif miktarının optimum bir miktarı olması ve bu miktarın aşılması gerektiği ortaya konmuştur. Aksi takdirde basınç dayanımı normal betonunkinden bile düşük olabilmektedir [19, 20].

Aydöner [21], üç farklı çelik tel içeriği ve üç farklı narinlik oranı kullanmış ve kiriş testi yaparak beton performansını incelemiştir. Yapılan testler sonucunda çelik lif varlığının betonun kırılma enerjisi ve tokluğu üzerinde büyük etkisi olduğu görülmüştür. İlk çatlama sonrasında kırılganlığa çok sayıda yükleme boşaltma çevrimi uygulanmış ve geriye kalan dayanımın azalmış olmasına rağmen elemanın göçmediği ve yük taşımaya devam ettiği görülmüştür. Bu durum çelik lif içeren betonların çatlama gerçekleştikten sonra bile dinamik yükler ve deprem yükleri gibi yükler altında rijitliğini koruyabileceğini göstermiştir.

2.1.2. Bazalt Lifler

Bazalt lav kökenli bir kayadır. Yer kabuğunun yaklaşık olarak 1/3 kadarını kaplamaktadır. Dolayısıyla bulunması kolaydır ve ekonomiktir. Bazalt kaynağının kaliteli olması üretilecek lifin özellikleri için de önem taşımaktadır. Bazalt liflinin üretimindeki en önemli parametreler kayacın eritildikten sonra elde edilen lavın soğuma hızı, hava ile etkileşimi, kimyasal kompozisyonudur [22, 23]. Bazalt lifi aktif olarak Çin, Rusya ve Ukrayna'da yapılmaktadır [24].

Volkanik kayalardan elde edilmesi sebebiyle bazalt liflerinin durabilite özellikleri yüksektir. Sıcaklığa karşı dirençlidirler [25]. Bazalt lifler (Şekil 2.4) bu özellikleri nedeniyle yüksek sıcaklık etkisinde bulunan yerlerde, kimyasal olarak aktif olmayan ve aşınma direnci yüksek olan malzemelerin üretiminde kullanılmaktadır [26]. Bazalt liflerin üretiminde eritme işlemi yapılırken dışarıdan başka bir kimyasal katkı kullanılmaması ekonomiklik sağlamaktadır [25].



Şekil 2.4. Bazalt lifi [27]

Bazalt lifleri kimyasal bakımdan hava ve su ile reaksiyon vermeyen, aynı zamanda üretim süreci esnasında insan sağlığı ve çevre bakımından tehdit oluşturacak herhangi bir reaksiyon vermemektedir. Bu bakımdan çevre dostu bir malzemedir [22, 28]. Üretim süreçleri cam liflerine benzer olmasına rağmen mekanik ve kimyasal performansı göz önüne alındığında endüstri alanında cam liflerine göre öne geçmiş durumdadır [22]. Çekme dayanımı cam liflerden, kopma birim uzaması ise karbon liflerden daha iyidir [29].

2.1.2.1. Bazalt Liflerin Üretimi

Bazalt lifleri bazalt kayalarının eritilmesi ile üretilir. Bazalt kayaları çok ince bir şekilde küçük paralara bölünerek ince lifler üretilebilecek hale getirilirler. Bu süreç kısmen cam lifi üretim yöntemine benzemektedir [30, 31]. Bazalt liflerin üretim aşamaları aşağıdaki şekildedir [22],

- Bazalt kayaları 5-20 mm civarında olacak şekilde kırılır.
- Kırılan malzemeler 1300-1700 °C civarında eritilirler.
- Eritilen bazaltlar çok ince deliklerden uçtan uca geçirilerek 9-15 mikron çapında bazalt lifleri üretilir.
- Lifler yağlanır ve makaralar üzerine sarılırlar (Şekil 2.5.).



Şekil 2.5. Makara üzerine sarılmış bazalt lifleri [22]

2.1.2.2. Bazalt Liflerin Fiziksel Özellikleri

Bazalt liflerin başlıca fiziksel özellikleri aşağıdaki gibidir [22],

- Yüksek çekme dayanımı
- Radyasyon direnci
- Yüksek ısı direnci
- Yüksek ısı ve ses yalıtımı
- Sıkışma direnci
- Yüksek kayma mukavemeti.

Tablo 2.1’de tipik bir bazalt lifinin özellikleri verilmiştir [32].

Tablo 2.1. Bazalt lifinin tipik fiziksel özellikleri

Özellik	Değer
Çalışma Isısı Aralığı, °C	-269 – 700
Bağ Isısı, °C	1050
Termal İletkenlik, w/m °K	0,03-0,038
Çap, µm	7-15
Yoğunluk, kg/m ³	2650
Elastik Modül, GPa	100-110
Çekme Dayanımı, MPa	4150-4800

Bazalt liflerinin orijininin volkanik kayalar olması doğası itibariyle termal stabiliteye sahip olmasını sağlamıştır. İnsan sağlığı ve çevre için bilinen herhangi bir risk içermemektedir. Yukarıda belirtilen birçok özelliği bir arada taşımaları sebebiyle

çoklu performans malzemesi olarak da tercih edilmektedir [22]. Bazalt kayacı sert ve yoğun bir malzemedir. Mohs sertliği 5-9 arasındadır [33].

Bazalt liflerin betonda ve harçlarda kullanılması maliyet açısından dezavantaj getirmemektedir. Hatta aynı görevi gören diğer malzemelere göre rekabetçi bir üründür. Çimento ve beton içerisinde karıştırıldığında dağılması kolaydır. İşlenebilirliği olumsuz etkilememektedir, aynı zamanda hacim sabitliği, sızdırmazlık gibi özelliklerinde oluşmasında etkinidir [32].

2.1.2.3. Bazalt Liflerin Kimyasal Yapısı

Bazalt malzemesinin ana bileşenleri SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO ve demir oksitlerdir. Kayaç türüne göre kimyasal bileşenle ve miktarları farklılıklar gösterebilir. Bazalt liflerinin tipik kimyasal bileşimleri Tablo 2.2’de verilmiştir [34].

Tablo 2.2. Bazalt lifinin tipik kimyasal bileşimi [34]

Bileşenler	Miktar (%)
SiO_2	49-54
Al_2O_3	12-17
CaO	7-10
MgO	5-11
$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	3-5
TiO_2	<3
Fe_2O_3	10-14

2.1.2.4. Bazalt Liflerin Durabilite Özellikleri

Sim ve ark [30] bazalt liflerinin durabilite özelliklerini incelemek ve diğer lif türleri ile karşılaştırmak için yaptıkları çalışmada, liflere 1 M NaOH çözeltisi 7, 14, 21 ve 28 günler boyunca emdirilmiştir. Etkinin artırılması için çözeltiler 40 °C sıcaklıkta tutulmuştur. Bunun amacı lifleri beton içerisine gömüldüğünde, etraflarını çevreleyen alkali ortamın lifler üzerinde etkisini görebilmektir. Emdirme süreci tamamlandığında meydana gelen aşınma ve hasarı tespit edebilmek üzere SEM görüntüleme yöntemine dayanan bir hacim azalması incelemesi yapılmıştır. Bazalt lifi örnekleri ilk 7 günde dayanımlarının yaklaşık %50’sini, 28. günde %80’den fazlasını kaybettiği görülmüştür. Bu değerler cam lifler ile karşılaştırıldığında benzer

ancak karbon lifler göre yüksek değerlerdir. Ayrıca bazalt liflerinin korozyona karşı dayanıklı olduğu bilinmektedir [22].

2.1.2.5. Bazalt Liflerin Kullanım Alanları

Bazalt lifler bir çok farklı amaç için kullanılmaktadır. Kullanım alanları aşağıda verilmiştir [32];

- Tavan, çatı, duvar izolasyonu ve bina cephe yalıtımı olarak,
- Binalarda ve metal yapılarda yangın korunumu için,
- Buhar hatları, ısıtma sektörü, fırınlarda izolasyon malzemesi olarak ve ısıya dayanıklı malzeme üretiminde,
- Makine yapımında; kompozit malzemelerde, yapı malzemelerinde, kesici diskleri güçlendirmek için ızgaralarda, ses yalıtımı malzemelerinde, termal ekipmanların ısı yalıtımlarında, filtrelerinde, toz ve endüstriyel atık ve baca gazı temizlenmesinde,
- Otomotiv sektöründe; otomobil paneli, yalıtım kamaları, ekranları, lastik, fren balataları, plastik diğer malzemelerde, debriyaj balatası yapımında, yanmaz kompozitlerde kord üretiminde, yakıt tanklarında, LPG ve sıkıştırılmış doğal gaz tanklarında korozyon ve darbelere karşı, aşınmaya dayanıklı kaplama imalatında,
- Gemilerde; korozyona dayanıklı, güçlendirilmiş kaplamalarda, kompozit malzemelerde, deniz tesislerinde, gemi teknelerinde, perdelerinde ve üst yapı inşaatında,
- Vagonlarda; kompozit yapısal malzemelerde ve ürünlerde, yapısal plastik, yanıcı olmayan kompozit malzemelerde, elektrikli yalıtım malzemelerinde,
- Havacılık ve roketlerde; ısı, motor ve gövdelerinde, yapısal kompozitlerinde, yüksek ısıya dayanıklı malzemelerinde ve ses yalıtımında,
- Enerji alanında; buhar kazanlarında, türbinlerde, ısıtılarda, yüksek elektrik alanlarında yalıtım malzemesi olarak, ekipmanın ısı yalıtımında, taşıyıcı yüksek gerilim hatlarında,
- Nükleer enerji alanında; yanmaz yalıtım ve inşaat malzemelerinde, yangın kapılarında ve kablo geçişlerinde rasyasyondan korunmak için,

- Elektronik sanayiinde; devrelerde, elektrik yalıtım malzemelerinde, elektronik cihazların üretiminde,
- Kimya endüstrisinde; borularda, depolama tanklarında, aşındırıcı sıvılarda, asitlere, alkalilere, kimyasal gübrelere, toksik maddelere dayanıklı materyallerin ve ürünlerin üretiminde. Tanklarda, boru hatlarında, çelik yapılarda, betonarme yapılarda kimyasala dayanıklı koruyucu kaplama olarak, toz ve endüstriyel atık su filtrasyonunda, filtrelerde, yüksek sıcaklık filtrelerinde,
- Petrokimya sanayiinde; kimyasallarda ve tanklarda, boru hatlarında, petrol boru hatlarında dayanıklı koruyucu kaplama olarak, yanmayan kaplamalarda ve kompozit malzemelerde, ateşe dayanıklı kompozit malzemelerde, petrol boru hatları için borularda,
- Metalürji alanında, demirsiz metal eritme fırınları ve kemerlerinde, kapılarda, termal ekipman yalıtım malzemelerinde, fırınlarda, ısı geri kazanımlarında, boru hatlarında iletişim hatlarında, kalıplama sırasında erimiş metallerin filtrasyonunda, maden işlemlerinde ve metalürjik bitkiler üzerindeki toz ve egzoz gazlarının temizlikleri için kullanılan filtrelerde, su arıtma filtrelerinde,
- Kriyojenik makina ve ekipmanlarında; sıvılaştırılmış gazların üretiminde ve bunların termal yalıtım malzemelerinde,
- İnşaat malzemeleri üretiminde; bina inşaatlarında ve plastik kaplamalarda sıva takviye örgülerinde, prefabrik binalarda ve yapıların tavanları için yalıtımlı panellerde, asma tavanlarda, yangın perdelerinde, güvenlik duvarlarında, yangın kapılarında, plastik yapılarda, köprü, tünel, demiryolu ve metro inşaat malzemelerinde (Şekil 2.6.),
- Güçlendirme malzemelerinde; yollarda asfalt betonu kaplama üretiminde, havaalanı ve pistinin yapımında, çatı malzemelerinde. Hidrolik mühendisliği alanında sulama malzemelerinde, baraj inşaatı için malzemelerde, yüksek binalarda ve endüstriyel tesislerin yapımı için kullanılan malzemelerde, liman tesislerinde, deniz platformlarında,
- Tarım alanlarında; depolama, ilaçların ve sıvı kimyasal gübrelere taşınması için toprak kaplar geliştirmek üzere kullanılan ızgaralarda, fide, büyüyen bakteri kültürleri ve diğer bitkiler için hidroponik için malzeme üretiminde,

- Kamu hizmetlerinde; su arıtma tesisleri, su temini ve atık sular için üretilen büyük çaplı boruların üretimindeki malzemelerde. Hava ve sıvı arıtmaların, evsel atık su arıtma tesislerindeki filtrelerinde,
- Ev aletlerinde, yalıtım, sıhhi tesisat, gaz ve elektrik dolaplarında, fırınlarda, elektrikli fırınlarda,
- Havacılık ve uzay alanında; ısı, motor ve ses yalıtımı için üretilen kumaşlarda, uzay araçlarında,
- Filtrelerde; yaygın filtre malzemesi ve ürün olarak, hava ve sıvının ince filtrelerinde, yüksek sıcaklıkta filtre üretiminde kullanılmaktadır.



Şekil 2.6. Demiryolu döşemesinde bazalt lif kullanımı [32]

2.1.2.6. Bazalt Liflerin Çimento Esaslı Malzemelerde Kullanımı

Braston ve ark. [35] ince kıyılmış bazalt lifleri kullanılan betonların erken yaş plastik rötre çatlakları üzerine etkilerini incelemişlerdir. Testler kısıtlanmış ve kısıtlanmamış örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları kısıtlanmamış rötrenin derecesinde bazalt lifi kullanımı ile azalma olduğunu göstermiş ve bazalt liflerinin çatlak önlemede etkin olduğu görülmüştür ve aynı zamanda çatlak oluşumunu kısıtlamıştır. Araştırma sonuçları ileriki yaşlarda su/çimento oranının azalmasıyla mekanizma daha belirgin bir hale gelmiştir.

Iorio ve ark. [36] bazalt liflerin durabilitesini ve çimento matrisi ile aderansını artırmak için lif yüzeyini aminosilanlar ile kaplamışlardır. Liflerin üzerinde normalde var olan yüzey uygulaması kaldırılmış ve yerine yüzey işlemleri uygulanarak ve aktifleştirilerek silanol yenilemesi yapılmıştır. Kontrol lifleri, kalsine lifler, yüzeyi

aktifleştirilmiş lifler, silanlanmış lifler gibi lif çeşitleri kullanılarak çeşitli incelemelerde bulunulmuştur. Muhtemel beton katkısı olabilecek bu lifler derin bir incelemeye tabi tutulmuş ve XRD, FTIR gibi yöntemler kullanılmıştır. Sonuçlar malzemenin yüzeyinin kaplanması için kullanılan aminosilanlarda trietoksilan miktarının artmasının yüzeyde daha fazla organik malzeme depolanmasını, yüzeyin daha heterojen olmasını sağladığı görülmüştür. Bu durumun matris ve lif arasındaki aderansı artıracak bir sonuç olduğu ortaya konmuştur.

Larringa ve ark. [37] harç örneklerin içerisine tek, iki, üç ve dört kattan oluşan bazalt lifi tabakası yerleştirmişlerdir. 31 seri örnek üretilmiştir. Üretilen örneklerin eğilme dayanımı testleri gerçekleştirilmiş ve gerilme değerleri, uzaman değerleri ve elastisite modülleri hesaplanmıştır. Elde edilen verilen Aveston-Cooper-Kelly (ACK) teorisi ve 3 boyutlu sonlu elemanlar modeli ile modellenmiştir. Lif katmanının artması elastisite modülünü sürekli artırmış, en iyi gerilme değeri ise çift katlı lif kullanılan örnekten elde edilmiştir. Aynı şekilde ilk çatlak oluşumdaki maksimum şekil değiştirme değeri de çift katlı örnekten elde edilmiştir. Maksimum toplam şekil değiştirme değeri ise tek katlı bazalt lifi kullanılan örnekten elde edilmiştir.

Jiang ve ark. [38] bazalt liflerinin hacimsel oranı ve uzunluklarının liflerle güçlendirilmiş betonlar üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bunun için 12mm ve 22mm boyutlarında iki farklı boyda bazalt lifi kullanmışlardır. Her bir liften hacimce %0, 0,05, 0,1, 0,3 ve 0,5 oranlarında kullanılmıştır. Örnekler basınç, yarmada çekme ve eğilme testleri uygulanmıştır. Sonuçlar 12mm boyunda bazalt lifi kullanıldığında basınç dayanımı %0,18-%4,68, yarmada çekme dayanımı %14,08-24,34 ve eğilme dayanımı %6,30-9,58 kadar artmıştır. 22mm boyutunda lif kullanıldığında ise basınç dayanımı %0,55-5,72, yarmada çekme dayanımı %14,96-25,51 ve eğilme dayanımı %7,35-10,37 oranlarında artmıştır. Erken yaşlarda bazalt lifi ile matris arasındaki bağın kuvvetli olduğu ancak bu bağın ilerleyen yaşlarda bozulduğu görülmüştür. Ayrıca örnekler cıvalı porozimetre cihazı ile incelenmiş ve bazalt lifi kullanımının boşluk miktarını artırdığı gözlenmiştir.

Lipatov ve ark. [39] %0'dan %7'ye kadar zirkonyum dioksit içeren bazalt liflerinin alkali çözeltiler içerisindeki kütle ve çekme dayanımı kaybını incelemiştir. En iyi sonuç %5,7 oranında zirkonyum dioksit içeren bazalt liflerinden elde edilmiştir.

Alkali uygulanması lifin yüzeyinde koruyucu bir tabaka meydana gelmesine neden olmuştur. Zirkonyum dioksit katılmış bazalt liflerin alkali dayanımının lifteki tabakada bulunan çözünmeyen Zr^{4+} , Fe^{3+} ve Mg^{2+} bileşenlerinden kaynaklandığı görülmüştür.

Bhat ve ark. [40] bazalt liflerle güçlendirilmiş polimerlerin basınç altında yapısal yangın dayanımları incelenmiştir. Deney sonuçları cam lifi kullanılan örnekler ile karşılaştırılmıştır. Bazalt lifi içeren örneklerin soğurma katsayısının cam lifi içeren örneklere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bazalt lif içeren örneklerin yüksek ısıtılma oranlarında daha hızlı yanal deformasyonlar yaptığı görülmüştür. Ancak gelen olarak yapısal bütünlüğün bazalt lifi içeren örneklerde daha kalitesiz olduğu görülmüş ve bu durum bazalt liflerinin yüksek soğurma katsayısına bağlanmıştır.

Kabay [25] bazalt lifi içeren betonların fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir. 0,45 ve 0,60 su/çimento oranına sahip yüksek dayanımlı ve normal dayanımlı betonlar üretilmiştir. 12mm ve 24mm boyutlara sahip iki tür bazalt lifi kullanılmıştır. Bu lifler karışımda 2 kg/m^3 ve 4 kg/m^3 olmak üzere iki farklı oranda kullanılmıştır. Bazalt lifi kullanımının basınç dayanımını düşürdüğü görülmüştür. Lif boyunun iki katına çıkması ise basınç dayanımına katkı sağlamıştır ancak yine de referans değerinin altında kalmıştır. Eğilme dayanımı ile lif kullanımı ile iyileşmiştir. Aynı zamanda bazalt lifleri kırılma enerjisinin belirgin biçimde artmasına neden olmuştur. Lif miktarının artması maksimum yükü, kırılma enerjisini ve deformasyon miktarını artırmıştır. Bazalt lifi kullanımı beton örneklerin aşınma değerlerinde %2-18 kadar bir azalma meydana getirmiştir.

Kızıllanat ve ark. [41] yüksek performansı betonlarda bazalt lifi ve cam lifi kullanımı araştırmış ve karşılaştırmışlardır. Deney sonuçlarına göre lif katkısının betonun basınç dayanımına ve elastisite modülüne belirgin bir katkısının olmadığı görülmüştür. Ancak yarmada çekme dayanımı bazalt lifi miktarının artmasıyla artmıştır. Cam lifi ise yarmada çekme dayanımına %0,5 katkı miktarından daha yüksek oranda kullanıldığında herhangi bir katkıda bulunamamıştır. Aynı şekilde eğilme dayanımı sonuçları da bazalt lifi kullanımı arttıkça dayanım değerlerinin arttığını göstermiştir. Cam lifi ile karşılaştırıldığı bazalt lifinin çatlak direnci ve süneklik açısından beton performansını daha fazla artırdığı görülmüştür.

Branston ve ark. [42] iki tür bazalt lifini farklı oranlarda kullanarak eğilme ve çarpma dayanımını araştırmışlardır. Liflerin ara yüz özelliklerini SEM görüntülemesi ile incelemişlerdir. Çalışmada demet lifler ve mini bar şeklinde iki tür bazalt lifi kullanılmıştır. Mini bar lifler 43mm boyundadır. Demet lifler 36mm ve 50 mm olmak üzere iki boydadır. Demet lifler hacimce %0,15, 0,31 ve 0,46 oranlarında kullanılırken, mini bar lifler %0,31, 1 ve 2 oranlarında kullanılmıştır. Her iki lif türünde de yüksek oranlarda lif kullanımı işlenebilirlik problemlerine yol açmıştır. Demet lifler ilk çatlak dayanımını etkilese de çarpma dayanımını çok fazla etkilememişlerdir. Uzun demet lifler daha etkili bulunmuştur. Mini bar lifler ise hem eğilme hem de çarpma dayanımı üzerinde etkili olmuştur. Demet liflerin kırılma sonrası çatlak performansı üzerine ciddi bir etkisi görülmezken mini bar lifler etkin olmuşturlar. Demet lifler lif göçmesi sebebiyle kırılırken, mini bar lifler içeren örneklerin lif sıyrılması sebebiyle kırıldığı görülmüştür.

Dong ve ark. [43] yaptıkları çalışmada geri dönüşüm agregası kullanılarak üretilen betonlarda bazalt liflerinin performanslarını incelemişlerdir. Çalışmada geri dönüşüm agregaları %0, 50 ve 100 oranlarında kullanılırken bazalt lifleri 0, 2 ve 4 kg/m³ oranlarında kullanılmıştır. Üretilen örneklerin üzerinde basınç dayanımı, eğilme dayanımı, elastisite modülü, Poisson oranı incelenmiştir. Sonuçlar geri dönüşüm agregası içeren betonların mekanik özelliklerinin bazalt lifleri kullanılarak iyileştirilebileceğini göstermiştir. SEM görüntülemeleri bazalt liflerinin boşluklarda ve yüzeyde biriktiğini sadece dayanımı değil ara yüz fazının mikro yapısını da iyileştirdiğini göstermiştir. Böylece dayanım ve süneklik değerleri de artmıştır.

Katkhuda ve Shatarat [44] geri dönüşüm agregası kullanılan betonlarda mekanik özellikleri iyileştirmek amacıyla hacimce %0,1, 0,3, 0,5, 1 ve 1,5 oranlarında bazalt lifi kullanımını araştırmışlardır. Geri dönüşüm agregaları yüzeyde kalan harç artıklarının yok edilmesi için yüzey işlemine tabi tutulmuş ve 24 saat boyunca 0,1 M hidroklorik asit çözeltisi emmesi sağlanmıştır. Sonuçlar bazalt liflerinin basınç dayanımını çok az bir şekilde etkilediğini ancak eğilme ve yarmada çekme dayanımlarını ciddi şekilde etkilediğini göstermiştir. Normal betondaki yarmada çekme ve basınç dayanımını yakalamak için optimum bazalt lifi miktarı yüzey işlemi görmemiş geri dönüşüm agregalı betonlar için %0,5 ve yüzey işlemi görmüş geri

dönüşüm agregalı betonlar için ise %0,3'tür. Aynı değerlerin eğilme dayanımı için ise %0,3 ve %0,1 olduğu görülmüştür.

Afroz ve ark. [45] bazalt liflerin kimyasal performansını incelemek için 62 gün boyunca 12 farklı çözelti emdirmişlerdir. Liflerin kırılma modelleri ve hasar özellikleri SEM yöntemi ile incelenmiştir. EDX kullanılarak kimyasal özellikleri araştırılmıştır. Uzun süreli kütle koruma durumları ayrıca değerlendirilmiştir. Bu liflerin betonda performanslarını incelemek amacıyla normal çimentolu beton ile ve yüksek oranda uçucu kül içeren betonlar üretilerek testler gerçekleştirilmiştir. Mekanik test sonuçları modifiye edilmiş bazalt liflerin dolaylı çekme ve eğilme özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür. Bazalt liflerinin uzun süreli klor ve sülfat etkisine dayanıklı olduğu görülmüştür. Ancak Ca(OH)_2 ve NaOH ortamlarında zarar gördükleri ve yüzey özelliklerinin değiştiği tespit edilmiştir.

Zhao ve ark. [46] betonda bazalt lifi kullanımının donma-çözünme direnci üzerine etkisini incelemiştir. Donma-çözünme çevrimlerinin betonun elastik deformasyon kapasitesini düşürdüğü görülmüş ve bu hasarı azaltma üzere bazalt lifleri kullanılmıştır. Normal betonda karışımda $2,0 \text{ kg/m}^3$ oranında bazalt lifi kullanılması en iyi eğilme dayanımı sonucunu vermiştir. Ancak donma-çözülme etkisi liflerin betondaki performansı üzerinde etkili olarak hasar üzerinde liflerin etkisini azaltmıştır. Donma-çözülme etkisi ile betonun eğilme dayanımı düşerken lif içermeyen durumlara göre yine de bazalt lifi kullanılması dayanım üzerine etkili olmuştur.

Ma ve Zhu [47] beton içerisinde nano silika ve bazalt liflerinin birlikte kullanımını araştırmışlardır. Çalışmada %0, 0,6, 1,2 ve 1,8 oranlarında nano silika, 0, 2, 3, 4 ve 5 kg/m^3 oranlarında ise bazalt lifi kullanılmıştır. Nano silika kullanımı ile CSH jellerinin miktarında artış görülmüş, %1,2 oranı ise optimum miktar olarak belirlenmiştir. 3 ve 4 kg/m^3 oranında bazalt lifi kullanımı lifler ile matrisin iyi bir şekilde tutunmasını sağlamış ve yarmada çekme dayanımı değerlerinin yüksek olmasına neden olmuştur. Ancak lif oranının 5 kg/m^3 'e çıkması bu bağı zayıflatmıştır. Araştırma sonuçlarına göre her iki malzemenin optimum dozajı %1,2 nano silika ve 3 kg/m^3 bazalt lifi olarak belirlenmiştir. Bu durumda basınç

dayanımının %9,04 ve yarmada çekme dayanımının %17,42 oranında arttığı görülmüştür.

Niaki ve ark. [48] epoksi bazlı polimer betonların mekanik özelliklerinin bazalt lifleri ve nano kil tanecikleri kullanımı ile iyileştirilmesini araştırmışlardır. Kıyılmış bazalt liflerinin basınç, eğilme, yarmada çekme ve çarpma dayanımları aynı zamanda 250 °C'ye kadar ısıl dirençleri incelenmiştir. Bazalt liflerinin mekanik özellikleri ve termal stabiliteyi iyileştirdiği görülmüştür.

Alnahhal ve Aljidda [49] yapı yıkıntılarında meydana gelen geri dönüşüm agregaları ile üretilen betonlarda makro bazalt lifleri kullanarak betonun eğilme davranışı ve maksimum yükünü arttırmak üzerine deneysel ve analitik bir çalışma yapmışlardır. 16 seri betonarme kiriş üretilmiş ve eğilme testine tabi tutulmuşlardır. Geri dönüşüm agregası oranı ve lif oranı gibi parametreler incelenmiştir. Deney sonuçları makro bazalt lifi kullanımının kirişlerin eğilme kapasitelerini artırdığı ancak geri dönüşüm agregası kullanımının sonuçlar üzerine bir etkisi olmadığı görülmüştür.

Quattrococchi ve ark. [50] bazalt lif katkılı harçların fiziksel, mekanik ve içyapı özelliklerini araştırmışlardır. Üretilen numuneler üzerinde basınç ve eğilme dayanımı testleri yapmışlardır. Değişik özelliklere sahip bazalt lifleri farklı oranlarda kullanarak üretilen harçların mekanik davranışları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Çalışmanın sonucunda; Bazalt lif katkılı harçların lif içermeyen normal harçlara göre eğilme ve basınç dayanımlarında iyileşme görülmüştür. Bunun durum matris dayanımının ve lif içeriğinin etkisinin büyük olduğu vurgulanmıştır. Kısa liflerin harç numunelerin yüzey sonlandırma işleminde iyileşme gösterdiği ifade edilmiştir. Ayrıca liflerin matris içerisinde homojen dağılması ile mekanik etkilerinin arttığı ifade edilmiştir. Yapısal uygulamalarda bazalt lif kullanımında; dayanım ve tokluk üzerindeki iyileşmeleri aynı anda sağlaması gerektiği belirtilmiştir.

Teresa ve Krasodonski [51], alkali ortamda bazalt lif dayanımını ve bazalt lif katkılı harçların kırılma davranışı, basınç ve eğilme dayanımı incelenmiştir. Bazalt lifi iki farklı uzunlukta ve 3 farklı oranlarda harç numunelerinde kullanılmıştır. Liflerin boyları 5mm ve 12mm olacak şekilde seçilmiştir. 0,4kg/m³, 1kg/m³, 2kg/m³

miktarlarında bazalt lifi içeren harçların 3, 7 ve 28 günlük mekanik özellikleri araştırılmıştır. Bazalt lif katkısı eğilme dayanımında yaklaşık olarak %20 oranında artış, basınç dayanımında ise %15'e kadar düşüş meydana geldiği belirtilmiştir. Bu durum lif içeriğinin etkisinin daha belirgin olduğu ifade edilmiştir. 10 gün boyunca 60°C'de %10 sodyum hidroksit çözeltisinde bekletilen bazalt liflerin yüzeyinde ve çapında bozulmalar olduğu belirtilmiştir. Yapılan içyapı incelemelerinde ve ED-XRF spektrometre analizi liflerin yüzeyinde polimer katmanı varlığı olmadığını doğrulamıştır. Çimentonun matrisinin alkali ortamda bozulmasını liflerin koruyabildiğini ve matris bazalt lif arasındaki bağın buna etkili olduğu görülmüştür.

Asprone ve ark. [52] yüksek dinamik yükleme şartlarına karşı etkisini incelemek için bazalt lif katkılı doğal hidrolik harcın dinamik davranışını araştırmışlardır. Numunelerin iç ve boşluk yapısını incelemek için SEM analizi ve civa porozimetre testleri yapılmıştır. Ayrıca yarı-statik eğilme ve çekme deneyleri yapılarak dinamik artış faktörleri ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Lif katılmasıyla köprüleme etkisinden dolayı lif katkılı harç, normal harca kıyasla daha sünek bir davranış ve daha yüksek tokluk göstermiştir. Ayrıca lif eklenmesi ile porozite değerleri artmış ve daha gözenekli bir yapı oluşmuştur. Mekanik yarı statik eğilme ve basınç testleri ile lif oranı arttıkça lif katkılı harcın dayanım değerleri düştüğü belirtilmiştir. Ayrıca şekil değiştirme oranı arttıkça kırılma enerjisi arttığı ifade edilmiştir. Bazalt lif katkılı çimento esaslı harçların iyi dinamik, mekanik özellikler ve dinamik yükleme koşullarına karşı koymak için iyi bir yapı malzeme olabileceği vurgulanmıştır.

Fenu ve ark. [53] bazalt ve cam lifi katkılı çimento esaslı harçlarının dinamik davranışları araştırılmıştır. Aynı boyutlardaki lifler farklı oranlarda kullanılarak harç numuneleri üretilmiştir. Bazalt ve cam lifi ilavesiyle eğilme dayanımı önemli derecede artış gösterirken ve dinamik (çekme) dayanımında artış görülmemiştir. Fakat ancak dinamik yükleme altında tepe yükü davranışında iyileşme gözlemlenmiştir. %5 oranında bazalt lif katkılı harçların kırılma enerjisinde referans harca (lifsiz) oranla 2,2 kat artış elde edilmiştir. %3 oranında bazalt lif katkılı harç numunelerde; tepe yükünde iyileşme gözlenmiş, fakat toplam enerji yutma miktarında değişme gözlenmemiştir. Yüksek şekil değiştirmelerde dinamik

yüklemeler altında aynı uzunluk ve çaptaki lifler için bazalt liflerin cam lifine oranla daha az performans gösterdiği vurgulanmıştır.

2.1.2.7. Bazalt Liflerin Polimer Esaslı Malzemelerde Kullanımı

Amuthakkannan ve ark. [54] bazalt lif uzunluğunun ve oranının kompozitlerin mekanik özelliklerine olan etkisini incelemiştir. Bazalt lif ve polyester reçine ile polimer numuneler üretilmiştir. Farklı uzunlukta ve oranlarda lifler kullanılarak numunelerin üzerinde basınç, eğilme ve darbe dayanımı deneyleri yapılmıştır. Aynı zamanda içyapı incelemeleri için taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda; lif uzunluğunun ve lif içeriğinin kompozitlerin mekanik özelliklerinde önemli bir etkisi olduğu belirtilmiştir. Bazalt lifin uzunluğunun mekanik özelliğe etki ettiği ve 50 mm uzunluğundaki bazalt lifin enerji yutmada maksimum etki gösterdiğini vurgulanmıştır. Optimum lif ağırlık oranının %68 ve optimum lif uzunluğunun 10 mm olduğu belirtilmiştir.

Chen ve ark. [55] bazalt lif katkılı Ferro çimento esaslı kompozitlerin mekanik özelliklerine olan etkisini incelemiştir. Özellikle bazalt lif katkısının eğilme dayanımına önemli derecede katkı yaptığını vurgulanmıştır. Düşük su/çimento oranlarında bu etki azaldığı ancak su/çimento oranı 0,28 olduğunda iyi bir etki gösterdiği belirtilmiştir.

Van de Velde ve ark. [56] özel koşullarda dayanıklılık istenilen durumlarda kullanılan kompozitlerde bazalt lifin, E-tipi cam lifin yerini kullanılabilecek güce ve potansiyele sahip olduğu belirtilmiştir. Isı yalıtım özelliklerinden dolayı bazalt lifin asbest lifin yerini alabileceği ifade edilmiştir. Bazalt lif 300-500 °C'de E-cam'a oranla daha üstün özellikler gösterdiği, güçlü alkalilere ve asitlere karşı E-tipi cam lifine kıyasla daha kararlı olduğu belirtilmiştir.

Dimas ve ark. [57] çekme yükü altında, polimer kaplı bazalt lif katkılı bir tekstil refrakter kompozitin termo-mekanik özelliklerini incelemiştir. Kompozit takviye olarak bazalt çift yönlü kumaş tabakalarını kullanan bir laminat malzeme olarak elde edilmiştir. Çalışmada yüksek bir alüminyum oksit çimento taşı matrisi sıkıştırılabilir ambalaj metodu kullanılarak tasarlanmıştır. Tek eksenli çekme deneyi 25 ile 1000 °C arasında değişen farklı sıcaklıklar altında yapılmıştır. Deney sonuçlarına bağlı olarak

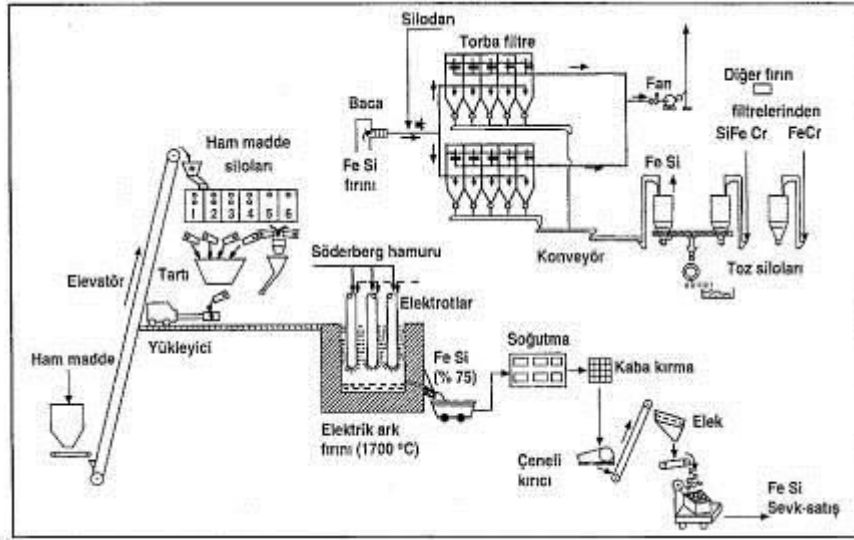
kırma mekanizmaları incelenmiştir. Termogravimetri ve X-ışını difraksiyon analizi, incelenen sıcaklıkların bir fonksiyonu olarak bir bozulma/faz değişikliklerini yapısını incelemek için kullanılmıştır. Tarama elektron mikroskobu (SEM), yüksek sıcaklıklar sonrasında, lif matris arayüzleri hasar süreçlerini incelemek için kullanılmıştır. Deney sonuçlarının yüksek sıcaklığa maruz bırakılan kompozitlerin çekme dayanımında yüzey kaplamasının olması ve kaplamanın tipinin önemli olduğu belirtilmiştir. Kompozitin kullanılabilirlik sınır durumundaki ani düşüş 400 °C'nin üzerinde gözlemlendiği ve ısıya dayanıklı matrisin ehidrasyon aşamasından dolayı bazalt lifin yüzeyinde bozulmalar meydana geldiği vurgulanmıştır.

2.2. Silis Dumanı

Silis dumanı, silisyum metali veya ferrosilisyum alaşımlarının üretimi sırasında kullanılan elektrik ark fırınlarında yüksek saflıktaki kuvarsitin kömür ve odun parçacıkları ile indirgenmesi sonucu elde edilen çok ince taneli bir baca tozudur [58].

Silikon metalinin veya alaşımlarının üretiminde, yüksek saflıktaki kuvars elektrik ark fırınların yaklaşık 2000 °C sıcaklıkta kömür ile indirgenmektedir. (Şekil 2.7.). Üretim esnasında büyük miktarda SiO gazı meydana gelmektedir ve bu gazların bir kısmı fırının soğuk bölgelerinde yoğunlaşarak ve hava ile temas ederek SiO₂ haline dönüşürler. Bu hızlı soğuma ve yoğunlaşma ile içerisinde %85-98 civarında amorf silis içeren, çok ince tanelerden oluşan malzeme silis dumanı olarak adlandırılmaktadır. Bu malzeme “mikrosilis”, “silis tozu” ve “silika füme” gibi isimlerle de adlandırılmaktadır. İçerisindeki bulunan yüksek miktarda amorf silis ve çok ince taneli oluşu bu malzemeyi mükemmel bir puzolan yapmaktadır [58].

Türkiye’de Antalya Etibank Elektrometalürji Sanayi işletmelerinden elde edilmektedir. Dünya 1989 yılı verilerine göre dünyada toplam yıllık oluşumu 1000000 tondur. 1970’li yıllardan önce ekonomik değeri olmayan bir atık olarak görülen silis dumanı 1980’li yıllardan sonra silis dumanının beton üzerine etkilerinin fark edilmesiyle kullanımı hızla yaygınlaşmıştır [59].



Şekil 2.7. Ferrosilisyum üretim şeması ve baca tozlarının toplanması [51].

2.2.1. Silis Dumanının Fiziksel Özellikleri

2.2.1.1. Renk

Silis dumanının rengi açık griden koyu griye kadar değişiklik göstermektedir. Silis dumanının içerdiği karbon miktarı renk üzerine önemli ölçüde etkilidir. Karbon miktarının artması silis dumanının rengini daha koyu yapmaktadır [60].

2.2.1.2. İncelik

Silis dumanı tanecikleri 0,1 – 0,2 mikron boyutundadır. Normalde ince malzemelerin özgül yüzey alanları Blaine yöntemi ile belirlenmektedir ancak silis duman için bu yöntem yetersiz kalmaktadır. Bununun yerine BET yöntemi kullanılır. Bu yöntemde nitrojen emilimi esas alınmaktadır. Betonda kullanılan silis dumanının özgül yüzey değeri 200000 cm²/g civarındadır. Silis dumanının inceliğini anlamak için uçucu küllerin ve Portland çimentosunun özgül yüzey değerlerine bakılırsa, uçucu küllerin yaklaşık 4000-7000 cm²/g olduğunu Portland çimentosunun ise 3000 cm²/g değerine sahip olduğu görülür [59, 61].

2.2.1.3. Özgül Ağırlık

Silis dumanının özgül ağırlığı yaklaşık olarak 2,2 – 2,3 g/cm³ kadardır. Bu değer Portland çimentosu ile karşılaştırılmak istenirse, normal Portland çimentosunun özgül ağırlığı 3,10 – 3,15 g/cm³ arasında değer almaktadır [61].

2.2.1.4. Tane Morfolojisi

Silis dumanı tanecikleri küresel şekillidirler. Taramalı elektron mikroskobu görüntülemelerinde bir araya gelmiş küre yığınları şeklinde görülürler [61].

2.2.1.5. Su İhtiyacı ve Puzolanik Aktivite

Silis dumanı beton katkı malzemesi olarak çok ince bir malzeme olduğu için su ihtiyacı ciddi şekilde artırır [61]. %5'ten fazla silis dumanı kullanılan karışımlarda yüksek oranda su kullanmamak için mutlaka bir akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılması tavsiye edilir [62]. Ayrıca silis dumanının puzolanik özelliği çok kuvvetlidir, puzolanik aktivitesi yüksek bir materyaldir [61].

2.2.2. Silis Dumanının Kimyasal Kompozisyonu

Silis dumanı en az %85 oranında SiO₂ içermektedir. Neredeyse tamamı amorf silisten meydana gelmektedir [62]. İçerisinde büyük miktarda yanmamış karbon bulunabilir. Bunun dışında Fe₂O₃, Al₂O₃, SO₃, MgO ve alkaliler içerebilirler [63]. Çeşitli ülkelerde kullanılan silis dumanlarına ait kimyasal bileşim Tablo 2.3.'de verilmiştir.

Tablo 2.3. Çeşitli ülkelerdeki silis dumanlarının kimyasal bileşimleri [59].

Bileşen	Türkiye	Amerika	Kanada	Norveç
SiO ₂	94,0-95,0	90,0-93,0	89,0-95,0	90,0-96,0
Al ₂ O ₃	0,4-1,4	0,5-0,6	0,1-0,7	0,5-3,0
Fe ₂ O ₃	0,4-1,0	3,4-4,5	0,1-3,1	0,2-0,8
CaO	0,6-1,0	0,5-0,8	0,1-1,0	0,1-0,5
MgO	1,0-1,5	0,3-0,5	0,3-1,0	0,5-1,5
Na ₂ O	-	0,1-0,3	0,1-0,2	0,2-0,7
K ₂ O	-	1,0-1,2	0,5-1,4	0,4-1,0
S	0,2-0,3	0,1-0,2	0,1-0,2	0,1-0,4
SO ₃	-	0,4-1,3	0,1-0,6	-
C	0,8-1,0	1,3-3,6	2,1-4,2	0,5-1,4
Kızdırma Kaybı	0,5-1,0	1,4-3,8	2,3-4,4	0,7-2,5

2.2.3. Silis Dumanının Beton Özelliklerine Etkileri

2.2.3.1. Taze Beton Özelliklerine Etkisi

2.2.3.1.1. Su İhtiyacı

Silis dumanının özgül yüzey alanı çok yüksektir. Dolayısıyla tanelerin yüzeylerinin ıslatılması için gerekli su ihtiyacı artmaktadır. Bu nedenle betonda belli bir çökme değeri için gerekli su ihtiyacını da yükseltir. Silis dumanı kullanılan betonlarda kullanılan su miktarının azaltılabilmesi için su azaltıcı veya akışkanlaştırıcı bir kimyasal katkı kullanılması gereklidir [62].

2.2.3.1.2. İşlenebilirlik

Silis dumanı katkısı taze betonun kohezyonunu artırır. Betonun kohezyonunun yüksek olması, daha yapışkan bir karışım meydana gelmesine sebep olur. Karışımdaki bu yapışkanlık taze betonun işlenebilirliğini düşürmekte ve zorluklar meydana getirmektedir [62].

2.2.3.1.3. Terleme ve ayrışma

Silis duman katılı betonlarda terlemenin azaldığı görülmektedir. Bu durum çok yüksek özgül yüzey alanına sahip silis dumanının tanecikleri tarafında beton içerisinde bulunan serbest suyun bağlanmasıdır. Aynı zamanda silis dumanı çok ince bir malzeme olduğu için beton içerisinde filler etkisi meydana getirmekte, serbest suyun yukarı doğru yükselebileceği kanalları tıkamakta ve terlemenin olmasını engellemektedir [62].

Aynı zamanda silis dumanı katılı betonlar daha kohezif ve viskoz özellikler gösterdikleri için hamur fazı ve agrega fazı arasındaki segregasyon eğilimi normal betonlara göre daha düşüktür [62].

2.2.3.1.4. Rötne

Silis dumanı betonda terlemeyi önleyen veya azaltan bir mineral katkıdır. Betonda yüzeyinde meydana gelen terleme hızı, buharlaşma hızından daha düşük olursa yüzeyde plastik rötne meydana gelir ve rastgele çatlaklar oluşur. Silis dumanının

terlemeyi engelleyen bir katkı olması yüzeyde plastik rötre çatlakları oluşma riskini artırmaktadır [62].

2.2.3.1.5. Priz süresi

Çimento esaslı malzemeleri priz başlangıç ve bitiş sürelerinin tayini vicat deneyi ile gerçekleştirilmektedir. Vicat deneyinde testin yapılacağı örnek üretilirken, çimentoya standart kıvamda hamur elde edebilmek için gerekli miktarda su eklenmekte ve bu örnek üzerinden priz süreleri tayin edilmektedir. Karışımlarda silis dumanı kullanıldığında standart kıvamda bir hamur elde edebilmek için gereken su miktarı da yükselmektedir. Dolayısıyla elde edilen sonuçların silis dumanı katkısı sebebiyle mi yoksa eklenen fazla su etkisiyle mi olduğu tam olarak bilinmemektedir. Dolayısıyla silis dumanının priz süresi üzerine etkisini tam olarak değerlendirmek mümkün değildir [62].

2.2.3.2 Sertleşmiş Beton Özellikleri Üzerine Etkisi

2.2.3.2.1. Dayanım

Silis dumanı katkılı betonların basınç dayanımları normal betonlarınkine göre daha yüksek olmaktadır. Silis dumanını hem puzolanik etkisi yüksek bir malzeme olması hem de çok ince tanelere sahip olması sebebiyle beton içyapısının daha sıkı ve boşluksuz bir hale gelmesini sağlaması, dayanım özelliklerinin daha yüksek olmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda silis dumanı katkılı betonların agregâ – çimento hamuru ara yüzeyi çok daha sıkı ve güçlü olmaktadır. Agregâ – çimento ara yüzeyi betonun en zayıf noktası olarak nitelendirilmektedir [62, 63].

2.2.3.2.2. Geçirgenlik

Silis dumanı içeren betonların normal betonlara göre geçirimsizliği çok daha düşüktür. Bunun nedeni silis dumanı katkısının boşluk yapısını inceltmesi ve daha sıkı bir içyapı oluşturması olarak görülmektedir [62].

2.2.3.2.3. Aşınma Direnci

Silis dumanı katkılı betonların aşınma direncinin, beton dayanım özelliklerinin de iyileşmesine bağlı olarak arttığı görülmektedir [64].

2.2.3.2.4. Durabilite Özellikleri

Silis dumanı betonun geçirgenliğini önemli ölçüde azaltmaktadır. Aynı zamanda puzolanik özellikleri sebebiyle beton yapısında bulunan Ca(OH)_2 miktarını da azaltmaktadır. Bu özellikleri nedeniyle sülfatlara ve kimyasallara karşı oldukça dirençlidir. Yapılan çalışmalar silis dumanı kullanımının beton alkali silika reaksiyonunu önlediğini yada geciktirdiğini ortaya koymuştur [64].

2.2.4. Silis Dumanının Betonda Kullanımı

Nochaiya ve ark. [65] çimento, uçucu kül ve silis dumanı içeren sistemlerin kıvam, priz süresi, işlenebilirlik ve basınç dayanımı özelliklerini incelemiştir. Sonuçlar normal bir kıvam elde edebilmek için gerekli su miktarının silis dumanı içeriğinin artmasıyla arttığını göstermiştir. Ancak priz başlangıç süresi silis dumanı kullanımı ile azalmıştır. Aynı zamanda taze örneklerin çökme değerleri silis dumanı miktarının artışıyla azalmıştır. Uçucu kül ile birlikte silis dumanının kullanılmasının erken yaşlarda dayanımı %145'e kadar artırdığı gözlemlenmiştir. En yüksek dayanım değerinin %10 silis dumanı kullanılan örneklerden elde edildiği görülmüştür. Taramalı elektron mikroskopu incelemeleri ise silis dumanı kullanımının daha sıkı bir içyapı oluşturduğunu göstermiş, dayanım özelliklerindeki artış bu duruma bağlanmıştır.

Demirel ve Keleştemur [66] betonda çimento yerine %5, 10, 15 ve 20 oranlarında ince öğütülmüş pomza kullanmışlardır. Örneklerin yüksek sıcaklık etkisinde mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Silis dumanının betonun mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine etkilerinin görülebilmesi için kontrol örneği hariç diğer gruplara %10 oranında çimento yerine silis dumanı ikame edilmiştir. Betonlara 400, 600 ve 800 °C sıcaklıklar uygulanarak basınç dayanımı, ağırlık kaybı ve ultrasonik ses geçiş hızı testleri gerçekleştirilmiştir. Test sonuçlarına göre 600 derecenin üzerine çıkıldığından yüksek sıcaklıktan en çok etkilenen örneklerin pomza ile birlikte silis dumanı içeren örnekler olduğu görülmüştür.

Song ve ark. [67] silis dumanı içeren betonları permeabilite özellikleri üzerine deneysel verilerden yola çıkarak analitik bir araştırma yapmışlardır. Çalışmada içerisinde farklı su/bağlayıcı oranlarına sahip bir çok silis dumanı içeren serinin

deneysel sonuçları kullanılmıştır. Bu sonuçlar içerisinde %0, 6, 8,5, 10, 11,5 14,5, 20 oranlarında silis dumanı içeren örnekler yer almaktadır. Yapılan su emme ve permeabilite deneylerinin sonuçlarının analiz edilmesiyle silis dumanı katkısının içyapıyı çok daha sıkı bir hale getirmesine bağlı olarak permeabiliteyi düşürdüğü gözlenmiştir. %8-12 arasında silis dumanı katkısının permeabiliteyi etkin bir biçimde düşürdüğü görülmüştür.

Chung ve ark. [68] uçucu kül ve silis dumanı içeren betonların donam çözülme etkisi altında klor geçirgenliğini araştırmışlardır. Betonlara 300 donma çözünme çevrimi uygulanmış ve hem çevrimlerden önce hem de çevrimlerden sonra klor iyonu difüzyonu araştırılmıştır. Sonuçlar su/bağlayıcı oranının artmasının klor iyonu geçirgenlik katsayısını artırdığını göstermiştir. Donma çözünme çevrimleri sonrası bütün örneklerde klor geçirgenlik katsayısı yükselirken, en düşük katsayılar ve en yüksek durabilite faktörleri silis dumanı içeren serilerden elde edilmiştir.

Keleştemur ve Demirel [69] yaptıkları çalışmada %5, 10, 15 ve 20 oranlarında çok ince öğütülmüş pomza kullanmışlardır. Aynı zamanda karışımlarda silis dumanı da kullanarak beton içerisine gömülmüş çelik donatıların korozyon davranışlarını incelemişlerdir. Çeşitli yöntemlerle gömülü donatıların korozyon durumları takip edilmiş ve deney sonuçlarına göre pomza eklenmesiyle mekanik özelliklerde bir azalma ve donatıların korozyon oranlarında bir artış meydana gelmiştir. Bunun yanında silis dumanının kullanılması korozyon oranlarında belirgin derecede azalmaya neden olmuştur.

Benaicha ve ark. [70] kendiliğinden yerleşen betonların reolojik ve mekanik özellikleri üzerine viskozite modifiye edici katıların ve silis dumanının özelliklerini incelemişlerdir. Silis dumanı ve viskozite modifiye edici katkıların aynı mekanik ve reolojik özelliklere sahip kendiliğinden yerleşen beton üretimine müsaade edecek oranı tespit etmeye çalışmışlardır. Üretilen örneklere birçok reolojik test uygulanmış aynı zamanda basınç dayanımı eğilme dayanımı ve elastisite modülü testleri de uygulanmıştır. Sonuçlar %10 oranında silis dumanı kullanıldığında ve buna karşılık %0,10 viskozite modifiye edici katkı kullanıldığında çok yakın reolojik ve mekanik sonuçlar elde edildiğini görmüşlerdir. Buna göre bu iki katkının belirli oranlarda birbirlerinin yerine kullanılabilecekleri sonucuna varmışlardır.

Wang ve ark. [71] betonların donma çözünme ve sülfat hücumu etkisindeki durabilite özelliklerini incelemek amacıyla uçucu kül ve silis dumanı içeren örnekler üretmişlerdir. Üretilen örneklerde 0,38 ve 0,33 olmak üzere iki farklı su/çimento oranı kullanılmıştır. Uçucu kül %15 ve 25, silis dumanı ise %5, 8, 11 oranlarında kullanılmıştır. Örnekler %5 ve 10 oranında sodyum sülfat çözeltisinde donma çözünme etkisine maruz bırakılmışlardır. Sonuçlara göre her iki katkının da sülfata karşı beton direncini artırdığı görülmüştür ancak silis dumanının daha etkili olduğu saptanmıştır. %25 uçucu kül varlığında %5-8 arası silis dumanı kullanımı hem donma çözünme hem de sülfat etkisine karşı ciddi iyileşmeler göstermiştir.

Pedro ve ark. [72] geri dönüşüm agregası ile üretilen yüksek performanslı betonlarda silis dumanı etkisini incelemiştir. Bunun için %0, 5 ve 10 oranlarında silis dumanı içeren 3 seri beton üretilmiştir. Agregalar ise üç farklı kombinasyonda kullanılmıştır. İnce agregaların yerine ince geri dönüşüm agregaları, kaba agregalar yerine ise kaba geri dönüşüm agregaları kullanılarak 50/50, 0/100 ve 100/100 şeklinde üretimler gerçekleştirilmiştir. Yapılan incelemelerde ince geri dönüşüm agregası ve iri geri dönüşüm agregası kullanılan karışımlarda silis dumanının kullanılmasının olası dayanım kayıplarının önüne geçtiği, içyapıyı daha sıkı bir hale getirdiği görülmüştür.

Ju ve ark. [73] silis dumanı içeren reaktif pudra betonlarının yüksek sıcaklıklar altında kabuk atma durumlarını yüksek çözünürlüklü fotoğraflama yöntemleriyle incelemiştir. Sıcaklık etkisi sonrası reaktif pudra betonlarının içyapıları taramalı elektron mikroskopu ve cıvalı porozimetre testleri ile incelenmiştir. Silis dumanı kullanımının reaktif pudra betonlarında basınç dayanımı ve sıklığı artırdığı, buna bağlı olarak da kabuk atma davranışında büyük ölçüde azaltma meydana getirdiği görülmüştür. Ancak daha çok miktarda pulverize kabuk atma kalıntıları oluşmasına sebep olmuştur.

Mohan ve Mini [74] kendiliğinden yerleşen beton uygulamalarında ultra ince yüksek fırın cürufu ve silis dumanı kullanımını araştırmışlardır. Yapılan çalışmalar silis dumanının hem mekanik hem de durabilite özellikleri açısından %10 katkı oranında en iyi sonuçları verdiğini göstermiştir. Akışkanlık özelliği süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak yeterli düzeyde tutulmuştur. Yapılan testlerin verileri kullanılarak optimum silis dumanı oranının tespiti için deneysel tasarım yöntemleri kullanılmıştır.

Analiz sonuçlarına göre %6 oranında silis dumanı kullanımının optimum oran olduğu görülmüştür.

Hassan ve ark. [75] aynı oranlarda metakaolin ve silis dumanı katkısı kullanılarak kendiliğinden yerleşen betonların durabilite performanslarını karşılaştırmışlardır. Üretilen örnekler kuruma rötresi, donma çözünme ve klor geçirgenlik testleri uygulanmıştır. Test sonuçları %20 civarlarında metakaolin kullanımı ile çok yüksek oranda durabiliteye sahip kendiliğinden yerleşen betonlar üretilbildiğini, özellikle yüksek oranlarda kullanımın iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir. Silis dumanı katkısının da durabilite üzerine çok iyi sonuçlar verdiği görülmüştür ancak aynı oranda metakaolin kullanılması daha iyi sonuçlar vermiştir.

Farahani ve ark. [76] yaptıkları çalışmada uzun süreli klor difüzyonu etkisinde kalan silis dumanı katkılı betonların durabilite özelliklerini incelemişlerdir. 16 farklı beton seri üretilmiştir. Bunlar 0,35, 0,40, 0,45, 0,50 oranlarında su/çimento oranlarına sahiptirler ayrıca %5, 7,5, 10, 12,5 oranlarında silis dumanı içermektedirler. Örnekler 60 ay boyunca deniz suyu etkisinde bırakılmıştır. Sonuçlar su/çimento oranının düşmesi ve %10 oranında silis dumanı kullanılmasının klor difüzyon katsayısını ciddi derecede düşürdüğünü göstermiştir.

Çakır ve Sofyanlı [77] yaptıkları çalışmada geri dönüşüm agregalı betonların kalitesini artırmak amacıyla silis dumanı kullanımını araştırmışlardır. Çimento yerine %0, 5 ve 10 oranlarında silis dumanı kullanılmıştır. 4-12 ve 8-22 mm çapında olmak üzere iki sınıf geri dönüşüm agregası kullanılmıştır. Basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, su emme ve ultrasonik ses geçiş hızı testleri ile beton özellikleri ölçülmüştür. %10 oranında silis dumanı kullanımı mekanik ve fiziksel özellikleri iyileştirmiştir. Doğal agregalarla yapılan bütün yarmada çekme testleri daha yüksek sonuçlar vermiştir ancak geri dönüşüm agregası kullanılan örneklerde silis dumanı kullanımı yarmada çekme dayanımını iyileştirmiştir. Benzer sonuçlar basınç dayanımı testinde de görülmüştür. %10 silis dumanı içeren 4-12 mm geri dönüşüm agregası içeren örnekler daha iyi sonuçlar vermiştir.

Mohamed [78] yaptığı çalışmada iki farklı çimento içeriğine sahip betonlarda silis dumanı ve uçucu külü ayrı ayrı ve birlikte kullanarak kendiliğinden yerleşen beton

serileri üretmiştir. Taze betonlarda slump ve V hunisi testleri uygulanmış, sertleşmiş betonlara ise basınç dayanımı testi yapılmıştır. Sonuçlar %15 silis dumanı içeren örneklerden en yüksek dayanım değerlerinin alındığını, uçucu küllü serilerden ise en yüksek %30 uçucu kül içeren örneklerden alındığını göstermiştir. Ancak %15 silis dumanı içeren örnekler %30 uçucu kül içeren örneklere göre daha yüksektir.

Tezin amacı harçların basınç, eğilme, elastisite modülü ve yarma dayanımlarının çelik ve bazalt lif kullanılmasıyla nasıl bir davranış sergileyeceğinin araştırılmasını kapsamaktadır. Deneysel çalışma ile çelik ve bazalt lif katılan geleneksel harçların mekanik özellikleri üzerindeki değişikliklerin belirlenmesi hedeflenmektedir. Yapı elemanlarında süneklik büyük öneme sahiptir. Bu çalışma ile harçların mekanik dayanımlarının ve sünekliklerinin artırılmasında çelik ve bazalt lifin öneminin ortaya konması hedeflenmektedir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu kısımda, çalışmada kullanılan malzemeler ve özellikleri, harç karışım oranları, yapılan deneyler ve sonuçlar anlatılmaktadır. Çalışmada su/bağlayıcı (çimento+silis dumanı) oranı 0,5 olarak sabit tutulmuştur.

3.1.Malzemeler

3.1.1. Çimento

Deneysel çalışmada CEM I 42,5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal kompozisyonu Tablo 3.1 ve fiziksel özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Çimentonun Kimyasal Kompozisyonu

Bileşenler (%)	Çimento
CaO	63,17
SiO ₂	19,12
Al ₂ O ₃	5,63
Fe ₂ O ₃	2,39
K ₂ O	1,00
Na ₂ O	-
MgO	2,75
SO ₃	2,74
Çözünmeyen Kalıntı	0,49
Kızdırma Kaybı	2,33

Tablo 3.2. CEM I Çimentosunun Fiziksel Analizi

Çimento Tipi	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Özgül Yüzey (cm ² /g)
CEM I	3,09	3144

3.1.2. Silis Dumanı

Çalışmada ASTM C1240 standartlarına uygun silis dumanı kullanılmıştır. Silis dumanına ait kimyasal Tablo 3.3’te ve fiziksel özellikler Tablo 3.4’de, silis dumanının görünümü ise Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Silis Dumanın Kimyasal Analizi

Bileşen (%)	Silis Dumanı
SiO ₂	85,38
Al ₂ O ₃	4,49
Fe ₂ O ₃	2,37
CaO	0,81
Na ₂ O	-
K ₂ O	-
MgO	1,45
SO ₃	1,34
Kızdırma Kaybı	3,4
Çözünmeyen Kalıntı	-

Tablo 3.4. Silis Dumanın Fiziksel Özellikleri

Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Bet (cm ² /g)	45 mikron Elek Üstü (%)	Kuru Hacim Yoğunluğu (kg/cm ³)	Nem (%)
2,23	23,36	0,58	0,55-0,65	0,19



Şekil 3.1. Silis Dumanı

3.1.3. Agrega

Çalışmada TS EN 196-1'e uygun CEN standart kumu kullanılmıştır.

3.1.4. Kısa Kesilmiş Çelik Lif

Çalışmada 0,6 cm uzunluğunda ve 0,016 cm çapında Micro OL tipi kısa kesilmiş çelik lif kullanılmıştır. Kullanılan kısa kesilmiş çelik lifin fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 3.5’te verilmektedir. Kısa kesilmiş çelik lifin görünümü Şekil 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.5. Kısa Kesilmiş Çelik Lifin Teknik Özellikleri

Çelik Tel Tipi	Özellikleri	Birimi	Değer
Micro OL	Uzunluk (l)	cm	0,6
	Çap (d)	cm	0,016
	Narinlik (l/d)	-	37,5
	Çekme Dayanımı	kg/cm ²	20000
	Özgül Ağırlık	g/cm ³	7,17



Şekil 3.2. Kısa Kesilmiş Çelik Lif

3.1.5. Bazalt Lif

Ukrayna kökenli bazalt lif kullanılmıştır. Bazalt lifin fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 3.6’da verilmiştir. Bazalt lifin görünümü Şekil 3.3’te verilmiştir.

Tablo 3.6. Bazalt Lifin Teknik Özellikleri

Özellikleri	Birimi	Değer
Çekme Dayanımı	kg/cm ²	48480
Elastisite Modülü	GPa	89
Erime Sıcaklığı	°C	1450
Uzunluk (l)	cm	1,2
Çap (d)	µm	13
Özgül Ağırlık	g/cm ³	2,65



Şekil 3.3. Bazalt Lif

3.1.6. Akışkanlaştırıcı

Harç karışımının işlenebilirliğinin sağlanması ve malzemelerin topaklanmasını önlemek amacıyla süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılmıştır.

3.1.7. Karışım Suyu

Çalışmada karışım suyu olarak ortalama sıcaklığı 20±2°C olan şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

3.2.Karışımlar Oranları ve Numunelerin Üretimi

TS EN 196-1 standardına göre standart harç karışımı için 1 kısım çimento, 3 kısım kum ve 1/2 kısım su kullanılması gerektiği belirtilmiştir. Standart harç karışım oranları harç üretiminde kullanılmıştır. 3 farklı silis dumanı içeriği, 3 farklı kısa kesilmiş çelik lif oranı ve 3 farklı bazalt lif oranı belirlenmiştir.

Çalışmada çimentonun %0, 10 ve 20 oranlarında ağırlıkça silis dumanı ilave edilmiş, bazalt lif hacimce %0,3, 0,6 ve 0,9 oranlarında ve kısa kesilmiş çelik lif hacimce %0,25, 0,50 ve 0,75 oranlarında kullanılmıştır. Toplamda referans numunesi dâhil 28 farklı harç karışım üretilmiştir. Harç karışım oranları Tablo 3.7’de ve harç karışımı Şekil 3.4’de verilmiştir.

Tablo 3.7. Harç Karışım Oranları

Numune Kodu	Silis Dumanı (%)	Çelik Tel (%)	Bazalt Lif (%)	Çimento (g)	Kum (g)	Su (g)	Silis Dumanı (g)	Çelik Tel (g)	Bazalt Lif (g)	Katki (g)
R	-	-	-	450	1350	225	-	-	-	-
S0Ç25B3	0	0,25	0,3	450	1350	225	0	20	7,8	0
S0Ç25B6			0,6	450	1350	225	0	20	15,6	0
S0Ç25B9			0,9	450	1350	225	0	20	23,4	0
S0Ç50B3		0,5	0,3	450	1350	225	0	39	7,8	0
S0Ç50B6			0,6	450	1350	225	0	39	15,6	0
S0Ç50B9			0,9	450	1350	225	0	39	23,4	0
S0Ç75B3		0,75	0,3	450	1350	225	0	59	7,8	0
S0Ç75B6			0,6	450	1350	225	0	59	15,6	0
S0Ç75B9			0,9	450	1350	225	0	59	23,4	0
S10Ç25B3	10	0,25	0,3	450	1350	225	45	20	7,8	3
S10Ç25B6			0,6	450	1350	225	45	20	15,6	3
S10Ç25B9			0,9	450	1350	225	45	20	23,4	3
S10Ç50B3		0,5	0,3	450	1350	225	45	39	7,8	3
S10Ç50B6			0,6	450	1350	225	45	39	15,6	3
S10Ç50B9			0,9	450	1350	225	45	39	23,4	3
S10Ç75B3		0,75	0,3	450	1350	225	45	59	7,8	3
S10Ç75B6			0,6	450	1350	225	45	59	15,6	3
S10Ç75B9			0,9	450	1350	225	45	59	23,4	3
S20Ç25B3	20	0,25	0,3	450	1350	225	90	20	7,8	3
S20Ç25B6			0,6	450	1350	225	90	20	15,6	4
S20Ç25B9			0,9	450	1350	225	90	20	23,4	4
S20Ç50B3		0,5	0,3	450	1350	225	90	39	7,8	4
S20Ç50B6			0,6	450	1350	225	90	39	15,6	4
S20Ç50B9			0,9	450	1350	225	90	39	23,4	4
S20Ç75B3		0,75	0,3	450	1350	225	90	59	7,8	4
S20Ç75B6			0,6	450	1350	225	90	59	15,6	4
S20Ç75B9			0,9	450	1350	225	90	59	23,4	4



Şekil 3.4. Harç karışımı

3.2.1. Numunelerin Üretimi

TS EN 196-1 standardına göre standart üç gözlü çimento kalıbı kullanılmıştır. Karışım üretilirken ilk aşamada çimento, agrega varsa silis dumanı karıştırılmıştır. İki aşamada lifler eklenip tekrar karıştırılma yapılarak homojenlik sağlanmıştır. Son aşamada ise su ve süper akışkanlaştırıcı eklenmiştir. Kuru karışım 1 dakika boyunca ve ardından su ilave edilen karışım toplamda 3 dakikaya boyunca harç mikserinde karıştırılmıştır. Karışım çimento kalıbına döküldükten 24 saat sonra kalıptan çıkarılmış ve kür havuzuna konulmuştur. Toplamda 40x40x160 mm boyutlarında 28 farklı karışım için toplamda 84 numune üretilmiştir.

3.3.Harç Testleri

3.3.1. Taze Hal Testleri

3.3.1.1. Birim Hacim Ağırlık Deneyi

TS EN 12350-6 standardına göre harç numunelerin üretimi sırasında taze birim hacim ağırlık testleri yapılmıştır. Üretilen harçların birim hacim ağırlık testi sonuçları Tablo 4.1’de verilmiştir.

3.3.1.2. Yayılma Deneyi

Numunelerin üretimi sırasında taze halde harcın kıvamını belirlemek amacıyla yapılmıştır. TS EN 1015-3 standardına göre yayılma tablası deneyi yapılmıştır. Üretilen harçların yayılma testi sonuçları Tablo 4.1’de verilmiştir.

3.3.2. Sertleşmiş Harç Testleri

3.3.2.1. Su emme, Porozite ve Birim Hacim Ağırlık Deneyleri

Harç numunelerinin 28 gün boyunca kür havuzundan çıkardıktan sonra suya doymun ağırlığı ve ardından 24 saat boyunca 100 °C (±5 °C) etüvde bekletildikten sonra kuru ağırlığı belirlenmiştir. Arşimet terazi ile su içinde tartımı yapılarak gerçek hacim değerleri bulunmuştur. Buna bağlı olarak sertleşmiş birim hacim ağırlığı, su emme ve porozite değerleri (3.1), (3.2) ve (3.3) denklemleri ile hesaplanmıştır. Birim hacim deneyi için numune tartım işlemi Şekil 3.5’te ve su emme deneyi için numunelerin kurutulması amacıyla etüve yerleştirilmesi Şekil 3.6’da verilmiştir. Üretilen harçların deney sonuçları Tablo 4.2’de verilmiştir.

$$\text{Birim Hacim Ağırlığı} = \frac{W_o}{W_1 - W_2}, \frac{t}{m^3} \quad (3.1)$$

$$\text{Su Emme (\%)} = \frac{W_1 - W_o}{W_o} \quad (3.2)$$

$$\text{Porozite (\%)} = \frac{W_1 - W_o}{W_1 - W_2} \quad (3.3)$$

Burada;

W_o : Kuru ağırlık (Etüv kuru)

W_1 : Suyu doymun durumda havadaki ağırlık

W_2 : Suyun içerisindeki ağırlık olarak tarif edilmektedir.



Şekil 3.5. Harç Numunelerini Tartma İşlemi



Şekil 3.6. Harç Numunelerini Etüve Konulması

3.3.2.2. Harçlarda Eğilme Deneyi

TS EN 196-1 standardına uygun olarak 40x40x160 mm boyutundaki harç numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. 3 noktalı eğilme deneyi saniyede 50 N yükleme hızı olacak şekilde ayarlanmıştır. Harç numuneleri 100 mm açıklığa sahip mesnetlere ve mesnet dışlarında 30 mm kalacak şekilde yerleştirilerek deney yapılmıştır. Deney sonuçları aşağıdaki denklem (3.4) ile hesaplanmıştır. Üretilen harçların eğilme dayanımı sonuçları Tablo 4.3'te verilmektedir.

$$\sigma_e = \frac{1,5 \times F \times L}{b \times d^2} \quad (3.4)$$

Burada;

F: Uygulanan kuvvet (N)

L: Mesnetler arası mesafe (100 mm)

b: Numunenin kısa kenarı (40 mm)

d: Numunenin yüksekliği (40 mm)

σ_c : Eğilme mukavemeti (MPa) olarak tarif edilmektedir.

3.3.2.3. Harçlarda Basınç Deneyi

Eğilme deneyinde ikiye ayrılan harç numuneler üzerinde TS EN 196-1 standardına uygun olarak yapılmıştır. Pres başlıkları arasına 40x40 mm boyutlarında harç numunesi yerleştirilmiş ve saniyede 2400 N yükleme hızı olacak şekilde ayarlanmıştır. Deney sonuçları aşağıdaki denklem (3.5) ile hesaplanmıştır. Üretilen harçların basınç dayanımı sonuçları Tablo 4.4'te verilmektedir.

$$\sigma_b = \frac{F}{A} \quad (3.5)$$

Burada;

F: Uygulanan kuvvet (N)

A: Numune kesit Alanı (1600 mm²)

σ_b : Basınç mukavemeti (MPa) olarak tarif edilmektedir.

4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMESİ

Bu bölümde referans harç ve %0, 10 ve 20 oranlarında silis dumanı, %0,25, 0,5 ve 0,75 oranlarında kısa kesilmiş çelik lif ve % 0,3, 0,6 ve 0,9 oranlarında bazalt lifi içeren harçların birim hacim ağırlığı, yayılma, su emme, porozite, basınç ve eğilme deneyinin sonuçları grafiksel olarak incelenmiştir.

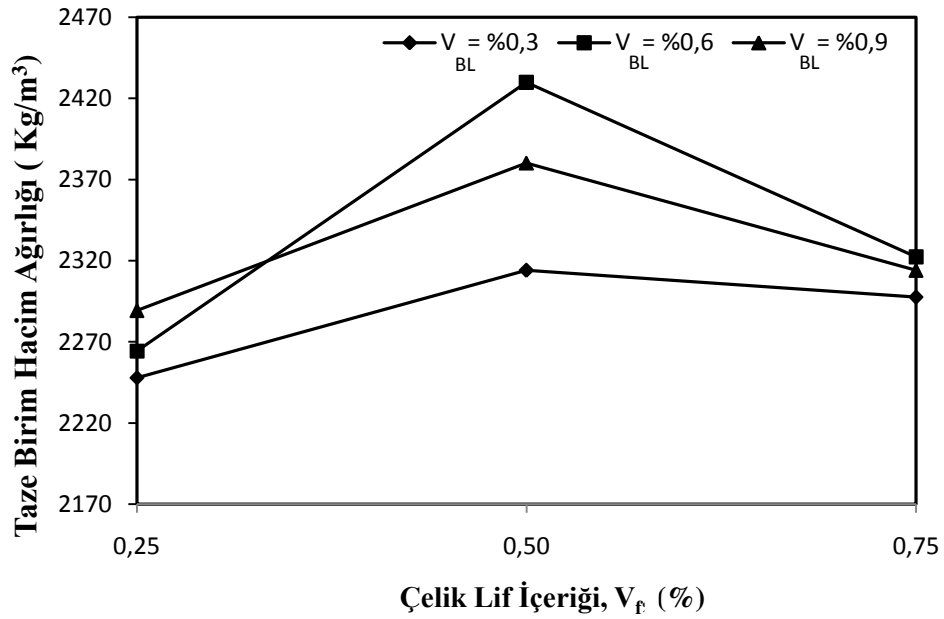
4.1.Taze Harç Deneyi Sonuçları

Üretilen harçların taze birim hacim ağırlığı test sonuçları Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Birim Hacim Ağırlık ve Yayılma Sonuçları

Numune Kodu	Silis Dumanı (%)	Çelik Lif (%)	Bazalt Lif (%)	Silis Dumanı (g)	Çelik Lif (g)	Bazalt Lif (g)	Birim Hacim Ağırlık (Kg/m ³)	Yayılma (cm)
R	-	-	-	-	-	-	2245	18
S0Ç25B3	0	0,25	0,3	0	20	7,8	2248	11,5
S0Ç25B6			0,6	0	20	15,6	2264	11,0
S0Ç25B9			0,9	0	20	23,4	2289	10,5
S0Ç50B3		0,5	0,3	0	39	7,8	2314	12,0
S0Ç50B6			0,6	0	39	15,6	2430	11,0
S0Ç50B9			0,9	0	39	23,4	2380	10,0
S0Ç75B3		0,75	0,3	0	59	7,8	2298	12,5
S0Ç75B6			0,6	0	59	15,6	2322	10,5
S0Ç75B9			0,9	0	59	23,4	2314	10,5
S10Ç25B3	10	0,25	0,3	45	20	7,8	2281	18,0
S10Ç25B6			0,6	45	20	15,6	2306	15,0
S10Ç25B9			0,9	45	20	23,4	2289	12,5
S10Ç50B3		0,5	0,3	45	39	7,8	2281	17,5
S10Ç50B6			0,6	45	39	15,6	2256	14,5
S10Ç50B9			0,9	45	39	23,4	2198	12,0
S10Ç75B3		0,75	0,3	45	59	7,8	2273	16,5
S10Ç75B6			0,6	45	59	15,6	2264	13,5
S10Ç75B9			0,9	45	59	23,4	2281	12,5
S20Ç25B3	20	0,25	0,3	90	20	7,8	2207	17,0
S20Ç25B6			0,6	90	20	15,6	2240	14,0
S20Ç25B9			0,9	90	20	23,4	2231	13,0
S20Ç50B3		0,5	0,3	90	39	7,8	2215	13,8
S20Ç50B6			0,6	90	39	15,6	2198	14,0
S20Ç50B9			0,9	90	39	23,4	2182	12,5
S20Ç75B3		0,75	0,3	90	59	7,8	2256	16,5
S20Ç75B6			0,6	90	59	15,6	2248	14,0
S20Ç75B9			0,9	90	59	23,4	2240	12,5

Silis dumanı içermeyen numunelerin yaş birim hacim ağırlığı incelendiğinde (Şekil 4.1), bazalt lif oranı %0,6 olan $V_{BL}=\%0,6$ karışımı diğer $V_{BL}=\%0,9$ ve $V_{BL}=\%0,3$ karışımlarından daha yüksek malzeme içeren karışımlar olduğu görülmektedir. Bu durum da malzeme oranı yüksek olan harç karışımında daha yüksek bir çimento sahip olduğu görülmektedir. Bazalt lif ve kısa kesilmiş çelik lif oranı artıkça az oranda artış görülmektedir.



Şekil 4.1. Çelik ve Bazalt Lif İçeriğine Göre Taze Birim Hacim Ağırlıkları ($S=\%0$)

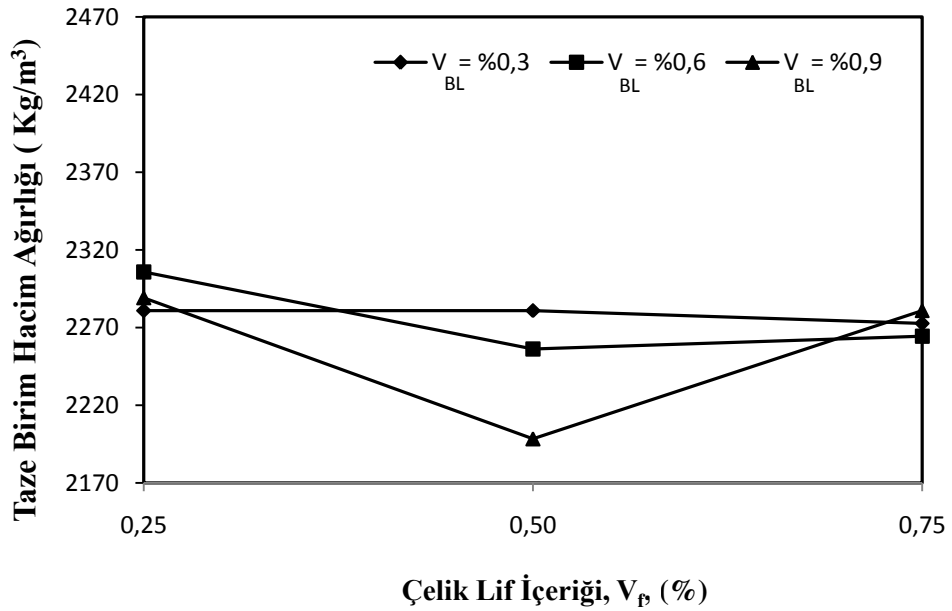
Referans numunesinin birim hacim ağırlığı 2245 kg/m^3 bulunmuştur. Silis dumanı içermeyen ve %0,25 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının taze birim hacim ağırlığı 2248 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,6$ karışımının taze birim hacim ağırlığı 2264 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,9$ karışımının taze birim hacim ağırlığı 2289 kg/m^3 bulunmuştur. Taze birim hacim ağırlıklarında sırasıyla referans numuneye göre %0,13, %0,87 ve %1,97 oranlarında artış tespit edilmiştir.

Silis dumanı içermeyen ve %0,5 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının taze birim hacim ağırlığı 2314 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,6$ karışımının taze birim hacim ağırlığı 2430 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,9$ karışımının taze birim hacim ağırlığı 2380 kg/m^3 bulunmuştur. Taze birim hacim ağırlıklarında sırasıyla referans numuneye göre %3,08, %8,23 ve %6,02 oranlarında artış tespit edilmiştir.

Silis dumanı içermeyen ve %0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının taze birim hacim ağırlığı 2298 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,6$ karışımının taze birim hacim ağırlığı 2322 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,9$ karışımının taze birim hacim ağırlığı 2314 kg/m^3 bulunmuştur. Taze birim hacim ağırlıklarında sırasıyla referans numuneye göre %2,34, %3,44 ve %3,08 oranlarında artış tespit edilmiştir.

Silis dumanı içermeyen ve %0,25, %0,5 ve %0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif ve %0,3, %0,6 ve %0,9 bazalt lif içeren harçlarda en yüksek taze birim hacim ağırlığı artışı %0,5 çelik lifi içeren $V_{BL}=\%0,6$ harç karışımında elde edilmiştir. Artış değeri %8,23'tür.

Silis dumanı %10 oranına göre yaş birim hacim ağırlığı incelendiğinde (Şekil 4.2), bazalt lif oranı %0,3 olan $V_{BL}=\%0,3$ karışımı diğer $V_{BL}=\%0,6$ ve $V_{BL}=\%0,9$ karışımlarından daha yüksek malzeme içeren karışımlar olduğu görülmektedir. Bu durum da malzeme oranı yüksek olan harç karışımında daha yüksek bir çimento sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 4.2. Çelik ve Bazalt Lif İçeriğine Göre Taze Birim Hacim Ağırlıkları ($S=\%10$)

%10 oranında silis dumanı ve %0,25 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının taze birim hacim ağırlığı 2281 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,6$ karışımının

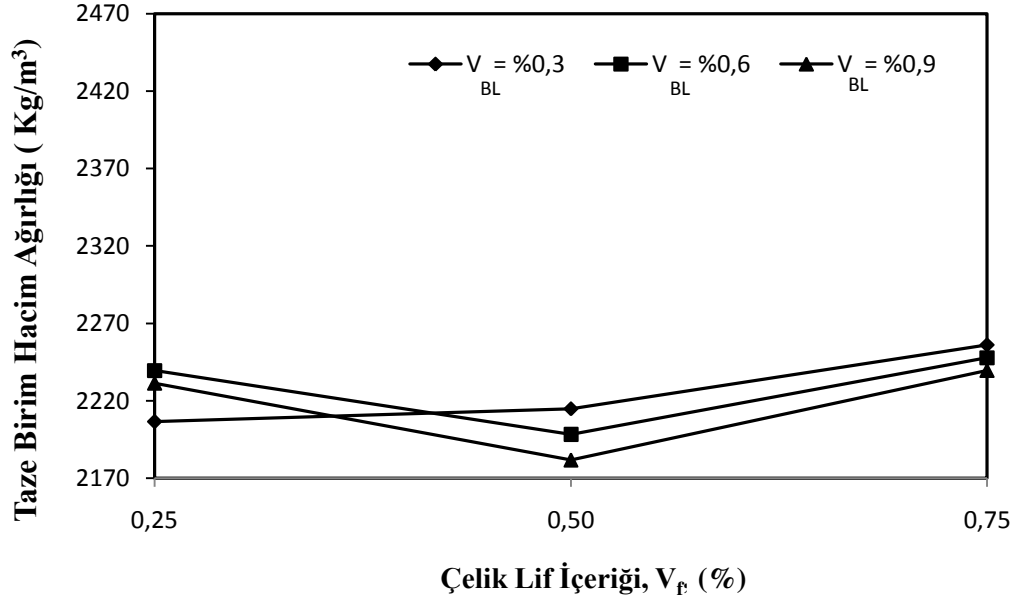
taze birim hacim ağırlığı 2306 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,9$ karışımının taze birim hacim ağırlığı 2289 kg/m^3 bulunmuştur. Taze birim hacim ağırlıklarında sırasıyla referans numuneye göre $\%1,60$, $\%2,71$ ve $\%1,96$ oranlarında artış tespit edilmiştir.

$\%10$ oranında silis dumanı ve $\%0,5$ oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının taze birim hacim ağırlığı 2281 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,6$ karışımının taze birim hacim ağırlığı 2256 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,9$ karışımının taze birim hacim ağırlığı 2198 kg/m^3 bulunmuştur. Taze birim hacim ağırlıklarında sırasıyla referans numuneye göre $\%1,60$, $\%0,50$ oranlarında artış ve $\%2,08$ oranında azalma tespit edilmiştir.

$\%10$ oranında silis dumanı ve $\%0,75$ oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının taze birim hacim ağırlığı 2273 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,6$ karışımının taze birim hacim ağırlığı 2264 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,9$ karışımının taze birim hacim ağırlığı 2281 kg/m^3 bulunmuştur. Taze birim hacim ağırlıklarında sırasıyla referans numuneye göre $\%1,24$, $\%0,87$ ve $\%1,60$ oranlarında artış tespit edilmiştir.

$\%10$ oranında silis dumanı ve $\%0,25$, $\%0,5$ ve $\%0,75$ oranında kısa kesilmiş çelik lif ve $\%0,3$, $\%0,6$ ve $\%0,9$ bazalt lif içeren harçlarda taze birim hacim ağırlığı çok yakın çıkmıştır. Ancak $\%10$ ağırlıkça silis dumanı ve $\%0,5$ oranında kısa kesilmiş çelik lif ve $\%0,9$ bazalt lif içeren harç karışımının taze birim hacim ağırlığı oranında azalma $\%2,08$ görülmüştür.

Silis dumanı $\%20$ oranına göre yaş birim hacim ağırlığı incelendiğinde (Şekil 4.3), bazalt lif oranı $\%0,3$ olan $V_{BL}=\%0,3$ karışımı diğer $V_{BL}=\%0,6$ ve $V_{BL}=\%0,9$ karışımlarından daha yüksek malzeme oranına sahip olduğu görülmektedir. Bu durum yaş birim hacim ağırlığı yüksek olan harç karışımının içeriğinde daha fazla çimento miktarı olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.3. Çelik ve Bazalt Lif İçeriğine Göre Taze Birim Hacim Ağırlıkları (S=%20)

%20 oranında silis dumanı ve %0,25 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının taze birim hacim ağırlığı 2207 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,6$ karışımının taze birim hacim ağırlığı 2240 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,9$ karışımının taze birim hacim ağırlığı 2231 kg/m^3 bulunmuştur. Taze birim hacim ağırlıklarında sırasıyla referans numuneye göre %1,71, %0,24 ve %0,61 oranlarında azalma tespit edilmiştir.

%20 oranında silis dumanı ve %0,50 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının taze birim hacim ağırlığı 2215 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,6$ karışımının taze birim hacim ağırlığı 2198 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,9$ karışımının taze birim hacim ağırlığı 2182 kg/m^3 bulunmuştur. Taze birim hacim ağırlıklarında sırasıyla referans numuneye göre %1,34, %2,08 ve %2,81 oranlarında azalma tespit edilmiştir.

%20 oranında silis dumanı ve %0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının taze birim hacim ağırlığı 2256 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,6$ karışımının taze birim hacim ağırlığı 2248 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,9$ karışımının taze birim hacim ağırlığı 2240 kg/m^3 bulunmuştur. Taze birim hacim ağırlıklarında sırasıyla referans numuneye göre %0,50, %0,13 oranlarında artış ve %0,24 oranında azalma tespit edilmiştir.

%20 oranında silis dumanı ve %0,25, %0,5 ve %0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif ve %0,3, %0,6 ve %0,9 bazalt lif içeren harçlarda taze birim hacim ağırlığı çok yakın çıkmıştır. Ancak %10 ağırlıkça silis dumanı ve %0,5 oranında kısa kesilmiş çelik lif ve %0,9 bazalt lifi içeren harç karışımının taze birim hacim ağırlığı oranında azalma %2,08 görülmüştür.

Silis dumanı miktarı artıkça yaş birim hacim ağırlık artış değerleri azalmıştır. %20 oranında silis dumanı içeren numuneler birim hacim ağırlık değerlerinde azalma görülmüştür. En yüksek taze birim hacim ağırlık azalma değerini %20 silis dumanı, %0,5 kısa kesilmiş çelik lif ve %0,9 bazalt lif içeren harç karışımında elde edilmiştir. Bu değer %2,81'dir.

4.2. Sertleşmiş Harç Deneyi Sonuçları

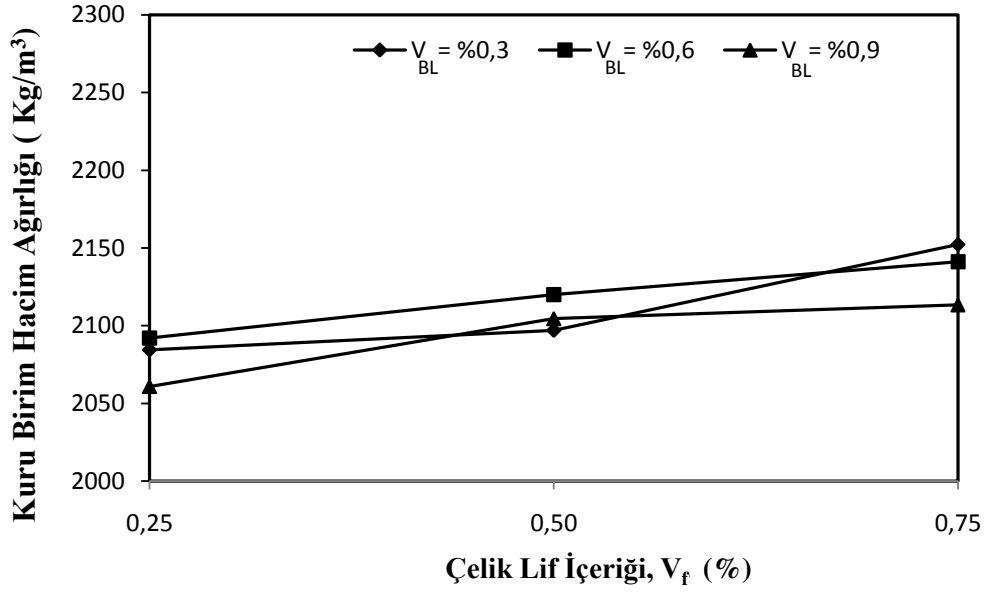
4.2.1. Kuru Birim Hacim Ağırlığı, Porozite ve Su Emme Sonuçları

Üretilen numunelerin kuru birim hacim ağırlığı, porozite ve su emme test sonuçları Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Kuru Birim Hacim Ağırlık, Porozite ve Su Emme Sonuçları

Numune Kodu	Silis Dumanı (%)	Çelik Lif (%)	Bazalt Lif (%)	Silis Dumanı (g)	Çelik Lif (g)	Bazalt Lif (g)	Kuru Birim Hacim Ağırlık (Kg/m ³)	Porozite (%)	Su Emme (%)
R	-	-	-	-	-	-	2161	19,7	9,1
S0Ç25B3	0	0,25	0,3	0	20	7,8	2084	19,4	9,3
S0Ç25B6			0,6	0	20	15,6	2092	18,0	8,6
S0Ç25B9			0,9	0	20	23,4	2061	19,0	9,2
S0Ç50B3		0,5	0,3	0	39	7,8	2097	19,0	9,1
S0Ç50B6			0,6	0	39	15,6	2120	17,2	8,1
S0Ç50B9			0,9	0	39	23,4	2105	17,5	8,3
S0Ç75B3		0,75	0,3	0	59	7,8	2152	18,4	8,6
S0Ç75B6			0,6	0	59	15,6	2141	17,8	8,3
S0Ç75B9			0,9	0	59	23,4	2113	16,4	7,8
S10Ç25B3	10	0,25	0,3	45	20	7,8	2106	13,1	6,2
S10Ç25B6			0,6	45	20	15,6	2113	11,1	5,2
S10Ç25B9			0,9	45	20	23,4	2090	11,5	5,5
S10Ç50B3		0,5	0,3	45	39	7,8	2191	11,1	5,0
S10Ç50B6			0,6	45	39	15,6	2130	11,8	5,5
S10Ç50B9			0,9	45	39	23,4	2129	12,6	5,9
S10Ç75B3		0,75	0,3	45	59	7,8	2147	13,6	6,3
S10Ç75B6			0,6	45	59	15,6	2107	13,6	6,5
S10Ç75B9			0,9	45	59	23,4	2100	13,0	6,2
S20Ç25B3	20	0,25	0,3	90	20	7,8	2119	11,9	5,6
S20Ç25B6			0,6	90	20	15,6	2072	11,4	5,5
S20Ç25B9			0,9	90	20	23,4	2045	12,6	6,2
S20Ç50B3		0,5	0,3	90	39	7,8	2139	10,6	4,9
S20Ç50B6			0,6	90	39	15,6	2088	11,7	5,1
S20Ç50B9			0,9	90	39	23,4	2098	11,8	5,6
S20Ç75B3		0,75	0,3	90	59	7,8	2193	10,0	4,5
S20Ç75B6			0,6	90	59	15,6	2116	11,7	5,5
S20Ç75B9			0,9	90	59	23,4	2084	12,8	6,1

Silis dumanı içermeyen numunelerde çelik ve bazalt lif oranlarına göre kuru birim hacim ağırlığı değerlerinde değişim Şekil 4.4'te verilmiştir.



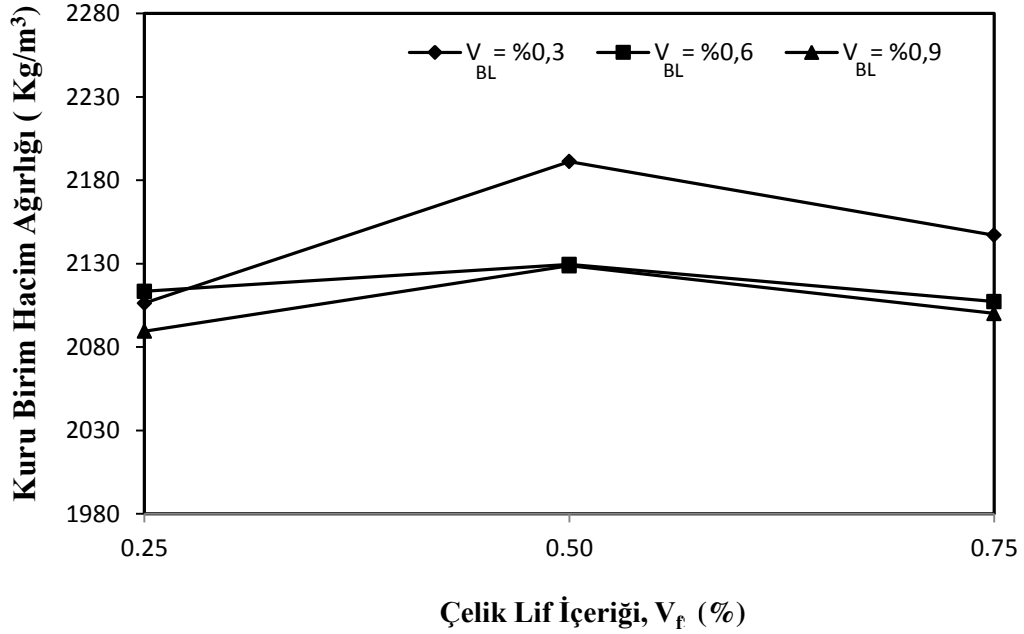
Şekil 4.4. Çelik ve Bazalt Lif İçeriğine Göre Kuru Birim Hacim Ağırlıkları ($S=\%0$)

Referans numunesinin kuru birim hacim ağırlığı 2161 kg/m^3 bulunmuştur. Silis dumanı içermeyen ve $\%0,25$ oranında kısa kesilmiş çelik tel içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının kuru birim hacim ağırlığı 2084 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,6$ karışımının kuru birim hacim ağırlığı 2092 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,9$ karışımının kuru birim hacim ağırlığı 2061 kg/m^3 bulunmuştur. Kuru birim hacim ağırlıklarında sırasıyla referans numuneye göre $\%3,5$, $\%3,2$ ve $\%4,6$ oranlarında azalma tespit edilmiştir.

Silis dumanı içermeyen ve $\%0,5$ oranında kısa kesilmiş çelik tel içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının kuru birim hacim ağırlığı 2097 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,6$ karışımının kuru birim hacim ağırlığı 2120 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,9$ karışımının kuru birim hacim ağırlığı 2105 kg/m^3 bulunmuştur. Kuru birim hacim ağırlıklarında sırasıyla referans numuneye göre $\%3,0$, $\%1,9$ ve $\%2,6$ oranlarında azalma tespit edilmiştir.

Silis dumanı içermeyen ve $\%0,75$ oranında kısa kesilmiş çelik tel içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının kuru birim hacim ağırlığı 2152 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,6$ karışımının kuru birim hacim ağırlığı 2141 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,9$ karışımının kuru birim hacim ağırlığı 2113 kg/m^3 bulunmuştur. Kuru birim hacim ağırlıklarında sırasıyla referans numuneye göre $\%0,4$, $\%0,9$ ve $\%2,2$ oranlarında azalma tespit edilmiştir. Bazalt lif miktarı artıkça kuru birim hacim değerleri daha da azalmıştır.

%10 oranında silis dumanı içeren numunelerde çelik lif ve bazalt lifi oranlarına göre kuru birim hacim ağırlığı değerlerinde değişim Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. Çelik ve Bazalt Lif İçeriğine Göre Kuru Birim Hacim Ağırlıkları (S=%10)

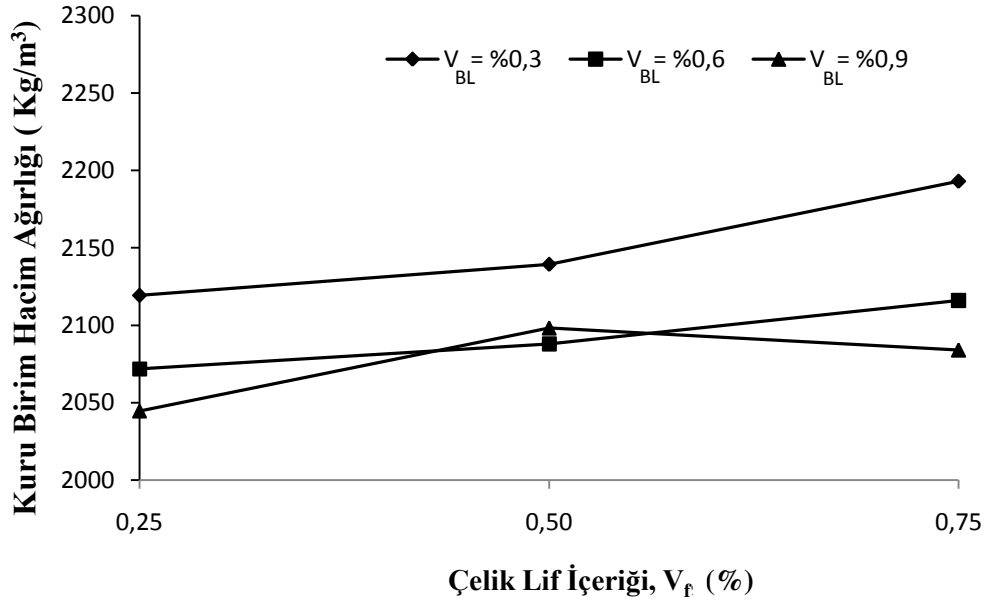
%10 oranında silis dumanı ve %0,25 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının kuru birim hacim ağırlığı 2106 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,6$ karışımının kuru birim hacim ağırlığı 2113 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,9$ karışımının kuru birim hacim ağırlığı 2090 kg/m^3 bulunmuştur. Kuru birim hacim ağırlıklarında sırasıyla referans numuneye göre %2,5, %2,2 ve %3,3 oranlarında azalma tespit edilmiştir.

%10 oranında silis dumanı ve %0,5 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının kuru birim hacim ağırlığı 2191 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,6$ karışımının kuru birim hacim ağırlığı 2130 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,9$ karışımının kuru birim hacim ağırlığı 2129 kg/m^3 bulunmuştur. Kuru birim hacim ağırlıklarında sırasıyla referans numuneye göre %1,4 oranında artış, %1,5 ve %1,5 oranlarında azalma tespit edilmiştir.

%10 oranında silis dumanı ve %0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının kuru birim hacim ağırlığı 2147 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,6$ karışımının kuru birim hacim ağırlığı 2107 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,9$ karışımının kuru birim hacim

ağırlığı 2100 kg/m^3 bulunmuştur. Kuru birim hacim ağırlık değerlerinde sırasıyla referans numuneye göre %0,6, %2,5 ve %2,8 azalma tespit edilmiştir.

%20 oranında silis dumanı içeren numunelerde çelik lif ve bazalt lif oranlarına göre kuru birim hacim ağırlığı değerlerinde değişim Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Çelik ve Bazalt Lif İçeriğine Göre Kuru Birim Hacim Ağırlıkları ($S=\%20$)

%20 oranında silis dumanı ve %0,25 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının kuru birim hacim ağırlığı 2119 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,6$ karışımının kuru birim hacim ağırlığı 2072 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,9$ karışımının kuru birim hacim ağırlığı 2045 kg/m^3 bulunmuştur. Kuru birim hacim ağırlıklarında sırasıyla referans numuneye göre %1,9, %4,1 ve %5,4 oranlarında azalma tespit edilmiştir. Bazalt lif miktarı artıkça kuru birim hacim değerleri daha da azalmıştır.

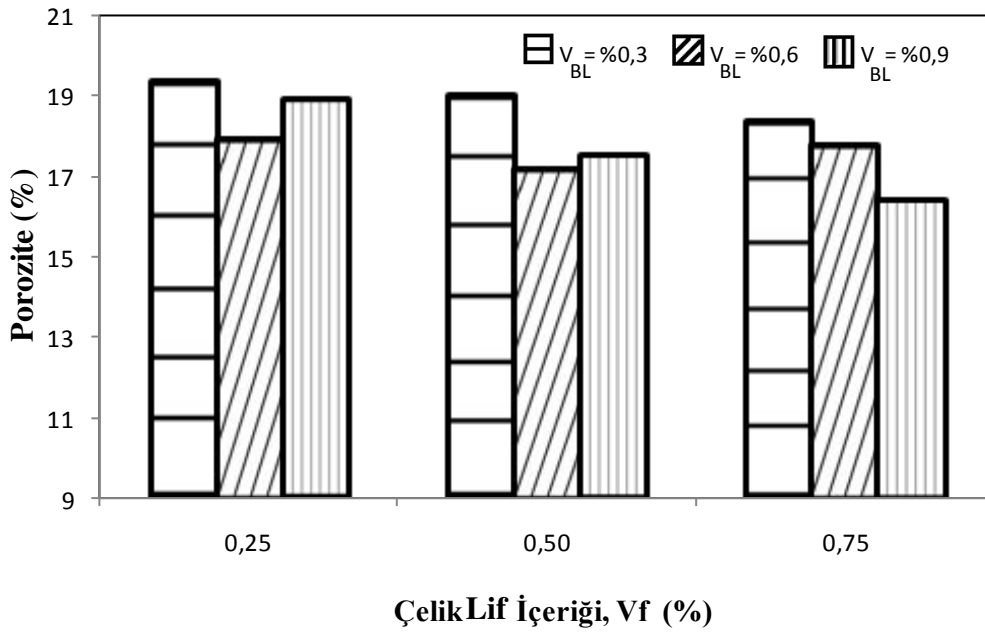
%20 oranında silis dumanı ve %0,5 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının kuru birim hacim ağırlığı 2139 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,6$ karışımının kuru birim hacim ağırlığı 2088 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,9$ karışımının kuru birim hacim ağırlığı 2098 kg/m^3 bulunmuştur. Kuru birim hacim ağırlıklarında sırasıyla referans numuneye göre %1,0, %3,4 ve %2,9 oranlarında azalma tespit edilmiştir.

%20 oranında silis dumanı ve %0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının kuru birim hacim ağırlığı 2193 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,6$ karışımının kuru birim hacim ağırlığı 2116 kg/m^3 , $V_{BL}=\%0,9$ karışımının kuru birim hacim ağırlığı 2084 kg/m^3 bulunmuştur. Kuru birim hacim ağırlıklarında sırasıyla referans numuneye göre %1,5 oranında artış, %2,1 ve %3,6 oranlarında azalma tespit edilmiştir.

Silis dumanı miktarı artıkça kuru birim hacim ağırlık değerlerinde azalma görülmüştür. En yüksek kuru birim hacim ağırlık azalma değerini %20 oranında silis dumanı, %0,25 oranında kısa kesilmiş çelik lif ve %0,9 oranında bazalt lif içeren harç karışımında elde edilmiştir. Bu değer %5,4'tür.

%0, 10 ve 20 oranlarında silis dumanı, %0,25, 0,50 ve 0,75 oranlarında kısa kesilmiş çelik lif ve %0,3, 0,6 ve 0,9 oranlarında bazalt lif içeren harçların porozite ve su emme değerleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

Silis dumanı içermeyen numunelerde çelik lif ve bazalt lif oranlarına göre porozite değerlerindeki değişim Şekil 4.7'de ve su emme değerlerindeki değişim Şekil 4.8'de verilmiştir.



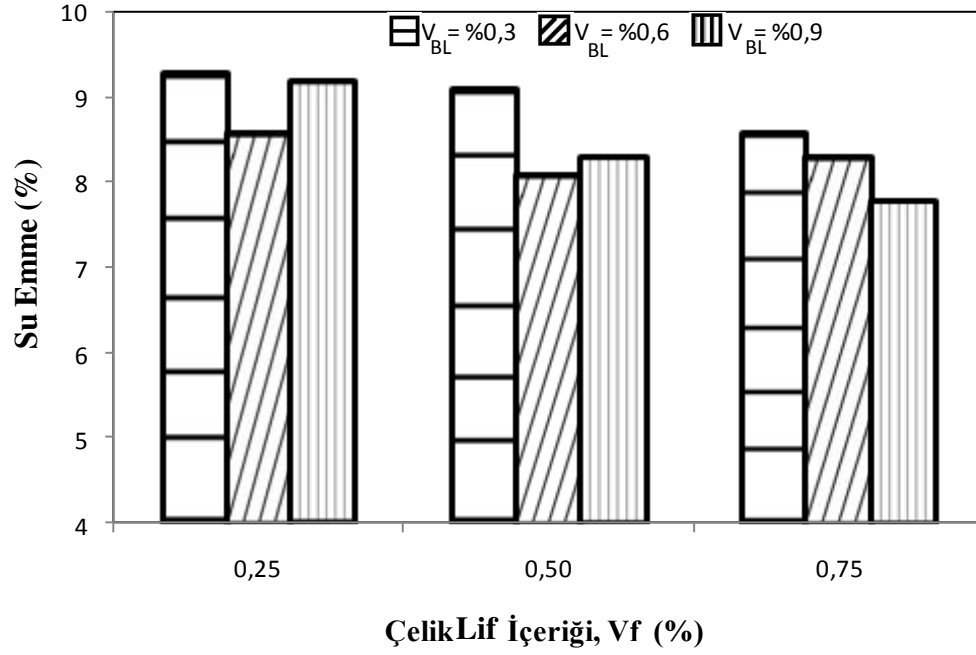
Şekil 4.7. Çelik ve Bazalt Lif İçeriğine Göre Porozite Değerleri (S=%0)

Referans numunesinin porozitesi %19,7 bulunmuştur. Silis dumanı içermeyen ve %0,25 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının porozitesi %19,4, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının porozitesi %18,0, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının porozitesi %19,0 bulunmuştur. Bazalt lif oranı artıkça referans numune göre yakın sonuçlar ve tüm seriler daha düşük sonuçlar elde edilmiştir.

Silis dumanı içermeyen ve %0,5 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının porozitesi %19,0, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının porozitesi %17,2, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının porozitesi %17,5 bulunmuştur. Bazalt lif oranı artıkça referans numune göre daha düşük sonuçlar elde edilmiştir.

Silis dumanı içermeyen ve %0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının porozitesi %18,4, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının porozitesi %17,8, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının porozitesi %16,4 bulunmuştur. Bazalt lif oranı artıkça referans numune göre daha düşük sonuçlar elde edilmiştir.

Bazalt lif oranı artıkça daha düşük porozite değerleri elde edilmiştir. Literatürde iyi karıştırılmış ve çimento hamuru içerisinde iyi dağılmış bazalt liflerin mükemmel kohezyon özellikleri ortaya koyduğu ve bu durumun beton porozitesini düşürdüğü görülmüştür [79]. En düşük porozite değerini silis dumanı içermeyen, %0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif ve %0,9 oranında bazalt lif içeren harç karışımında elde edilmiştir. Bu değer %16,4'tür. Referans numuneye göre %16,8 oranında daha az boşluk elde edilmiştir.



Şekil 4.8. Çelik ve Bazalt Lif İçeriğine Göre Su Emme Değerleri (S=%0)

Referans numunesinin su emme değeri %9,1 bulunmuştur. Silis dumanı içermeyen ve %0,25 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının su emme değeri %9,3, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının su emme değeri %8,6, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının su emme değeri %9,2 bulunmuştur. Bazalt lif oranı artıkça referans numune göre yakın sonuçlar elde edilmiştir.

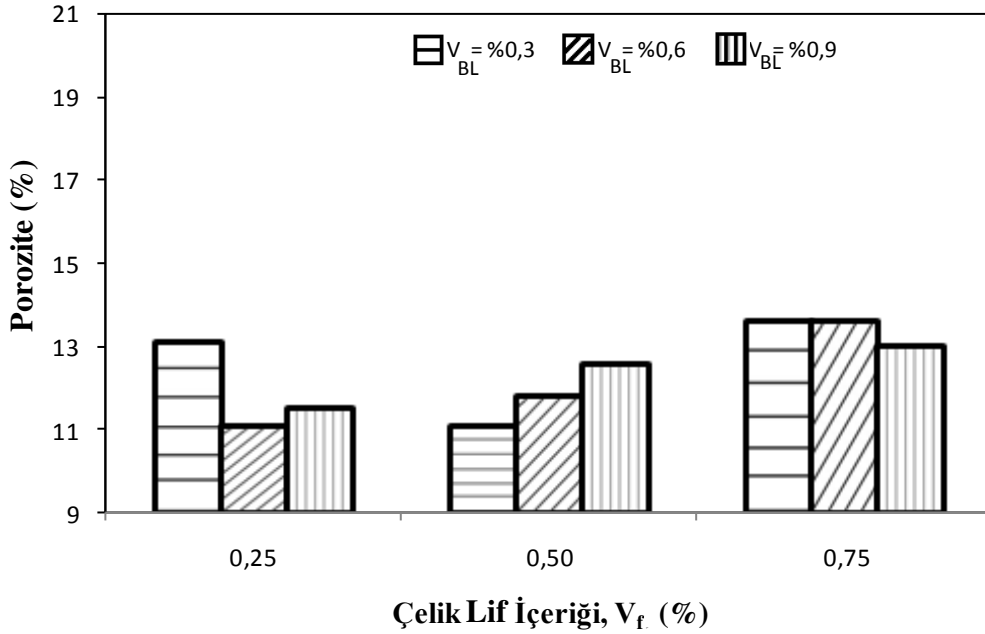
Silis dumanı içermeyen ve %0,5 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının su emme değeri %9,1, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının su emme değeri %8,1, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının su emme değeri %8,3 bulunmuştur. Bazalt lif oranı artıkça referans numune göre daha düşük sonuçlar elde edilmiştir.

Silis dumanı içermeyen ve %0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının su emme değeri %8,6, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının su emme değeri %8,3, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının su emme değeri %7,8 bulunmuştur. Bazalt lif oranı artıkça referans numune göre daha düşük sonuçlar elde edilmiştir.

Bazalt lif oranı artıkça daha düşük su emme değeri elde edilmiştir. Literatürde kıyılmış bazalt liflerinin çimento hamurunun su emmesini azalttığı rapor edilmiştir

[80]. En düşük su emme değerini silis dumanı içermeyen, %0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif ve %0,9 oranında bazalt lif içeren harç karışımında elde edilmiştir. Bu değer %7,8 ve referans numuneye göre %14,3 oranında daha az su emmiştir, Silis dumanı içermeyen, %0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif ve %0,9 oranında bazalt lif içeren harç karışımının su emme ve porozite değerleri birbirleriyle paralellik göstermektedir.

%10 oranında silis dumanı içeren numunelerde çelik lif ve bazalt lifi oranlarına göre porozite değerlerindeki değişim Şekil 4.9'da ve su emme değerlerindeki değişim Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.9. Çelik ve Bazalt Lif İçeriğine Göre Porozite Değerleri (S=%10)

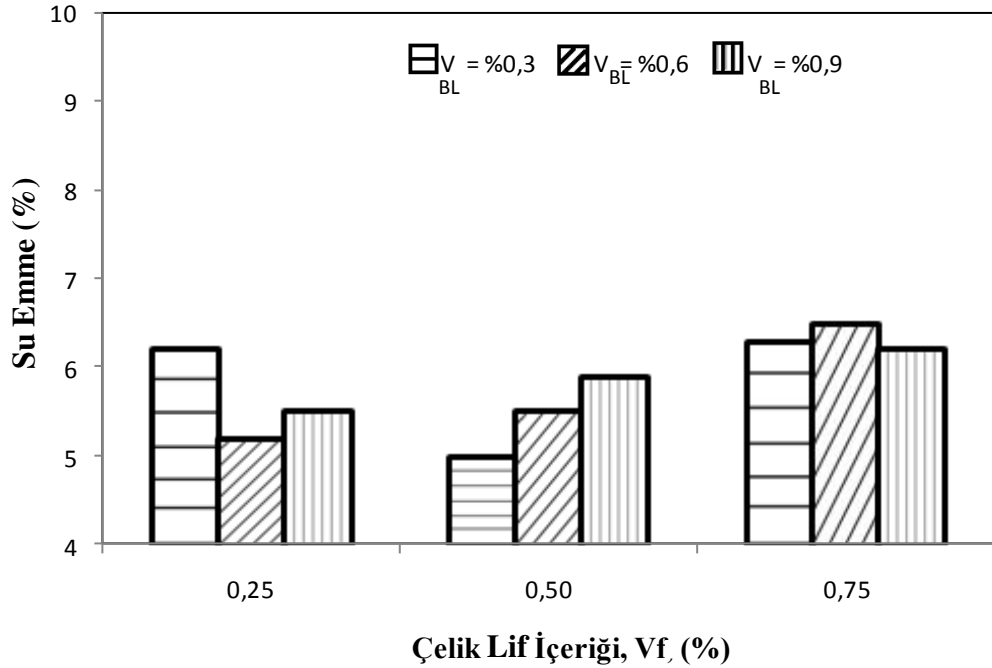
%10 oranında silis dumanı içeren ve %0,25 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL} = 0,3$ karışımının porozitesi %13,1, $V_{BL} = 0,6$ karışımının porozitesi %11,1, $V_{BL} = 0,9$ karışımının porozitesi %11,5 bulunmuştur. Bazalt lif katkılı numuneler, referans numuneye göre daha düşük sonuçlar elde edilmiştir.

%10 oranında silis dumanı içeren ve %0,5 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL} = 0,3$ karışımının porozitesi %11,1, $V_{BL} = 0,6$ karışımının porozitesi %11,8,

$V_{BL}=\%0,9$ karışımının porozitesi $\%12,6$ bulunmuştur. Bazalt lif içeren örnekler, referansa göre daha düşük sonuçlar elde edilmiştir.

$\%10$ oranında silis dumanı içeren ve $\%0,75$ oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının porozitesi $\%13,6$, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının porozitesi $\%13,6$, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının porozitesi $\%13,0$ bulunmuştur. Bazalt lif katkılı numuneler, referans numuneye göre daha düşük sonuçlar elde edilmiştir.

En düşük porozite değerini $\%10$ oranında silis dumanı, $\%0,25$ oranında kısa kesilmiş çelik lif ve $\%0,6$ oranında bazalt lif içeren harç karışımında elde edilmiştir. Bu değer $\%11,1$ 'dir ve referans numuneye göre $\%43,7$ oranında daha az boşluk elde edilmiştir.



Şekil 4.10. Çelik ve Bazalt Lif İçeriğine Göre Su Emme Değerleri (SD= $\%10$)

$\%10$ oranında silis dumanı içeren ve $\%0,25$ oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının su emme değeri $\%6,2$, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının su emme değeri $\%5,2$, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının su emme değeri $\%5,5$ bulunmuştur. Tüm seriler referans numuneye göre daha düşük sonuçlar elde edilmiştir.

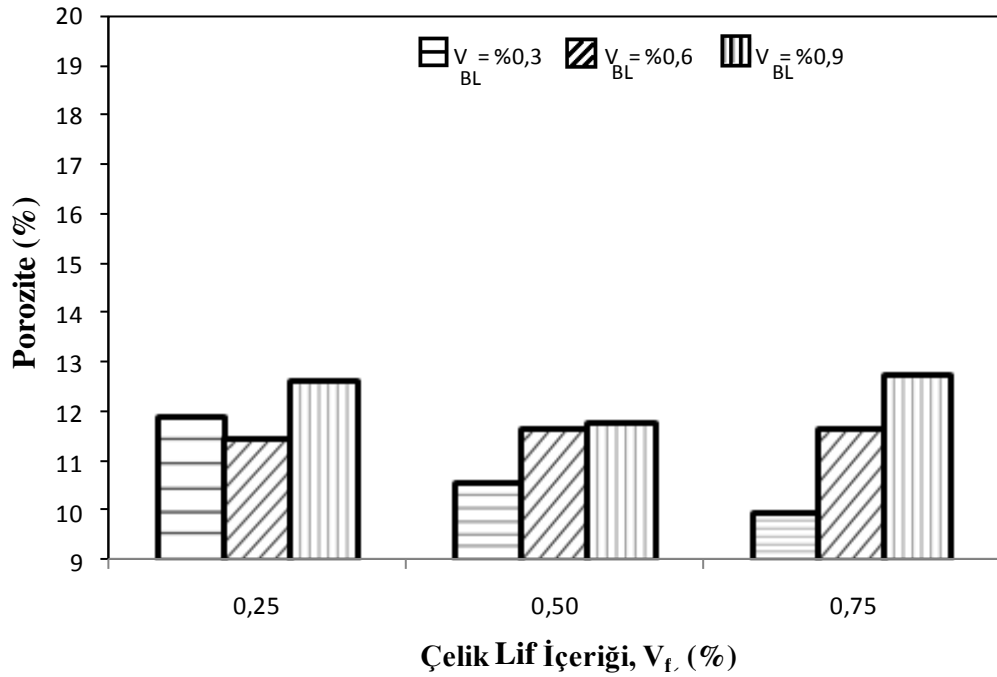
$\%10$ oranında silis dumanı içeren ve $\%0,5$ oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının su emme değeri $\%5,0$, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının su emme değeri

%5,5, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının su emme değeri %5,9 bulunmuştur. Tüm seriler referans numuneye göre daha düşük sonuçlar elde edilmiştir. Bazalt lif oranı artıça az oranda su emme değerleri artmıştır.

%10 oranında silis dumanı içeren ve %0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının su emme değeri %6,3, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının su emme değeri %6,5, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının su emme değeri %6,2 bulunmuştur. Tüm seriler referans numuneye göre daha düşük sonuçlar elde edilmiştir.

En düşük su emme değerini %10 oranında silis dumanı, %0,25 oranında kısa kesilmiş çelik lif ve %0,6 oranında bazalt lif içeren harç karışımında elde edilmiştir. Bu değer %5'tir ve referans numuneye göre %45,1 oranında daha az su emme değeri elde edilmiştir. %10 oranında silis dumanı, %0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif ve %0,9 oranında bazalt lif içeren harç karışımı su emme ve porozite değerleri birbirleriyle paralellik göstermektedir.

%20 oranında silis dumanı içeren numunelerde çelik lif ve bazalt lifi oranlarına göre porozite değerlerindeki değişim Şekil 4.11'de ve su emme değerlerindeki değişim Şekil 4.12'de verilmiştir.



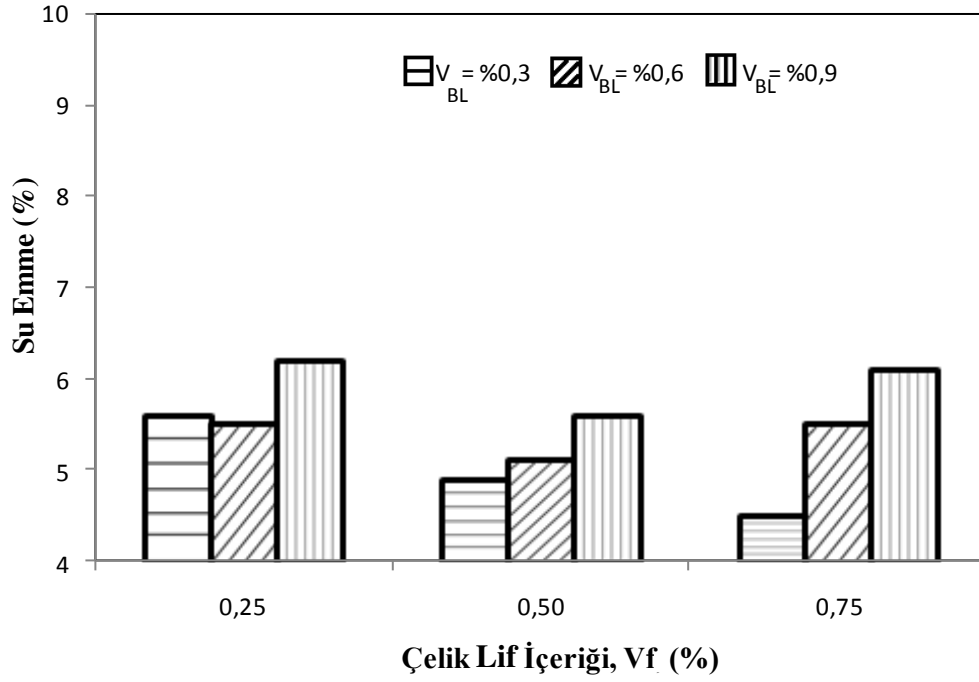
Şekil 4.11. Çelik ve Bazalt Lif İçeriğine Göre Porozite Değerleri (S=%20)

%20 oranında silis dumanı içeren ve %0,25 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının porozitesi %11,9, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının porozitesi %11,4, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının porozitesi %12,6 bulunmuştur. Bazalt lifinin tüm serileri referansa göre daha düşük sonuçlar elde edilmiştir.

%20 oranında silis dumanı içeren ve %0,5 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının porozitesi %10,6, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının porozitesi %11,7, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının porozitesi %11,8 bulunmuştur. Bazalt lif oranı artıka porozite az oranda artmıştır. Bazalt lifinin tüm serileri referansa göre daha düşük sonuçlar elde edilmiştir.

%20 oranında silis dumanı içeren ve %0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının porozitesi %10,0, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının porozitesi %11,7, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının porozitesi %12,8 bulunmuştur. Bazalt lifinin tüm serileri referansa göre daha düşük sonuçlar elde edilmiştir.

Bazalt lif ve kısa kesilmiş çelik lif oranı artıka porozite değerleri az miktarda artış olmaktadır. Literatürde çelik lif katkısının poroziteyi belirgin bir biçimde etkilemediği ya da az miktarda artırdığı rapor edilmiştir [81,82]. En düşük porozite değerini %20 oranında silis dumanı, %0,25 oranında kısa kesilmiş çelik lif ve %0,9 oranında bazalt lif içeren harç karışımında elde edilmiştir. Bu değer %10'dur ve referans numuneye göre %49,2 oranında daha az boşluk elde edilmiştir.



Şekil 4.12. Çelik ve Bazalt Lif İçeriğine Göre Su Emme Değerleri (S=%20)

%20 oranında silis dumanı içeren ve %0,25 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının su emme değeri %5,6, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının su emme değeri %5,5, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının su emme değeri %6,2 bulunmuştur. Tüm seriler referans numuneye göre daha düşük sonuçlar elde edilmiştir.

%20 oranında silis dumanı içeren ve %0,5 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının su emme değeri %4,9, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının su emme değeri %5,1, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının su emme değeri %5,6 bulunmuştur. Tüm seriler referans numuneye göre daha düşük sonuçlar elde edilmiştir. Bazalt lif oranı artıkça az oranda su emme değerleri artmıştır.

%20 oranında Silis dumanı içeren ve %0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının su emme değeri %4,5, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının su emme değeri %5,5, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının su emme değeri %6,5 bulunmuştur. Tüm seriler referans numuneye göre daha düşük sonuçlar elde edilmiştir. Bazalt lif oranı artıkça su emme değerleri artmıştır.

En düşük su emme değerini %20 oranında silis dumanı, %0,25 oranında kısa kesilmiş elik lif ve %0,9 oranında bazalt lif içeren harç karışımında elde edilmiştir. Bu değer %4,5'tir ve referans numuneye göre %50,5 oranında daha az su emme değeri elde edilmiştir. %20 oranında silis dumanı, %0,75 oranında kısa kesilmiş elik lif ve %0,9 oranında bazalt lif içeren harç karışımı su emme ve porozite değerleri birbirleriyle paralellik göstermektedir.

Silis dumanı içermeyen harç karışimleri incelendiğinde, referans numuneye göre en düşük su emme ve porozite değeri sırasıyla %14,3 ve %16,8 elde edilmiştir. %10 oranında silis dumanı içeren harç karışimleri incelendiğinde, referans numuneye göre en düşük su emme ve porozite değeri sırasıyla %45,1 ve %43,7 elde edilmiştir. %20 oranında silis dumanı içeren harç karışimleri incelendiğinde, referans numuneye göre en düşük su emme ve porozite değeri sırasıyla %50,5 ve %49,2 elde edilmiştir. Silis dumanı miktarı artıkça hem porozite hem de su emme değeri azalmıştır. Bu durum literatürde silis dumanın yüksek puzolanik aktivitesi, yüksek özgül yüzey alanına sahip olması ve bunun sonucunda dolgu etkisi oluşturması ile ilişkilendirilmiştir [83].

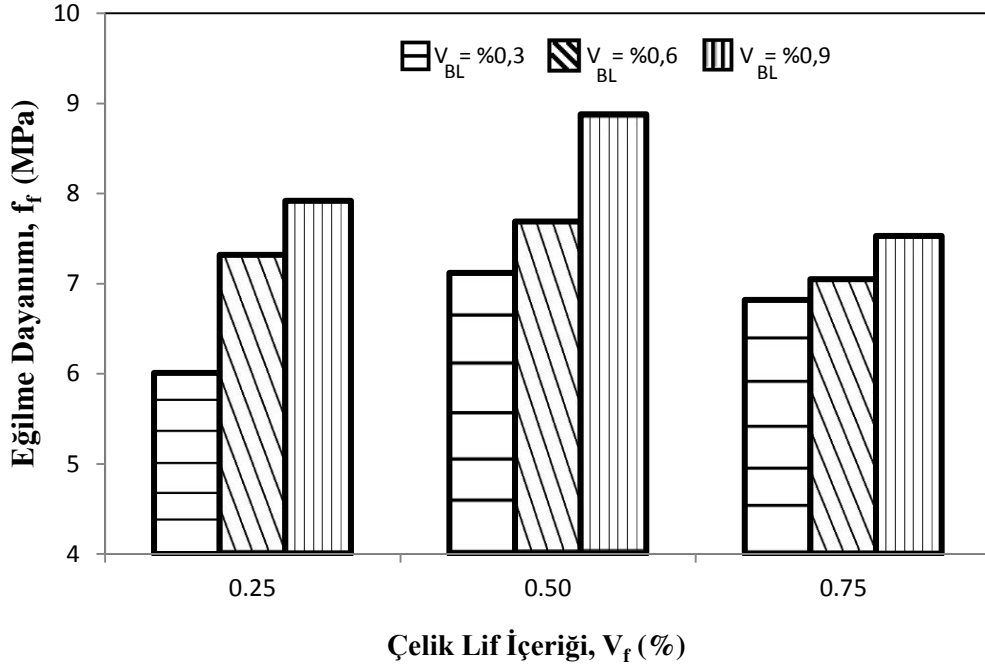
4.2.2. Eğilme Dayanımı Sonuçları

Üretilen numunelerin eğilme dayanımı değerleri Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Eğilme Dayanımı Sonuçları

Numune Kodu	Silis Dumanı (%)	Çelik Lif (%)	Bazalt Lif (%)	Silis Dumanı (g)	Çelik Lif (g)	Bazalt Lif (g)	Eğilme Dayanımı (MPa)
R	-	-	-	-	-	-	7,0
S0Ç25B3	0	0,25	0,3	0	20	7,8	6,0
S0Ç25B6			0,6	0	20	15,6	7,3
S0Ç25B9			0,9	0	20	23,4	7,9
S0Ç50B3		0,5	0,3	0	39	7,8	7,1
S0Ç50B6			0,6	0	39	15,6	7,7
S0Ç50B9			0,9	0	39	23,4	8,9
S0Ç75B3		0,75	0,3	0	59	7,8	6,8
S0Ç75B6			0,6	0	59	15,6	7,1
S0Ç75B9			0,9	0	59	23,4	7,5
S10Ç25B3	10	0,25	0,3	45	20	7,8	5,3
S10Ç25B6			0,6	45	20	15,6	5,9
S10Ç25B9			0,9	45	20	23,4	7,2
S10Ç50B3		0,5	0,3	45	39	7,8	5,6
S10Ç50B6			0,6	45	39	15,6	7,2
S10Ç50B9			0,9	45	39	23,4	7,4
S10Ç75B3		0,75	0,3	45	59	7,8	6,2
S10Ç75B6			0,6	45	59	15,6	7,9
S10Ç75B9			0,9	45	59	23,4	8,0
S20Ç25B3	20	0,25	0,3	90	20	7,8	5,7
S20Ç25B6			0,6	90	20	15,6	7,2
S20Ç25B9			0,9	90	20	23,4	7,6
S20Ç50B3		0,5	0,3	90	39	7,8	5,3
S20Ç50B6			0,6	90	39	15,6	6,2
S20Ç50B9			0,9	90	39	23,4	7,3
S20Ç75B3		0,75	0,3	90	59	7,8	5,6
S20Ç75B6			0,6	90	59	15,6	7,4
S20Ç75B9			0,9	90	59	23,4	8,0

Silis dumanı içermeyen numunelerde çelik lif ve bazalt lif oranlarına göre eğilme dayanım değerlerindeki değişim Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.13. Çelik ve Bazalt Lif İçeriğine Göre Eğilme Dayanımı Değerleri ($S=\%0$)

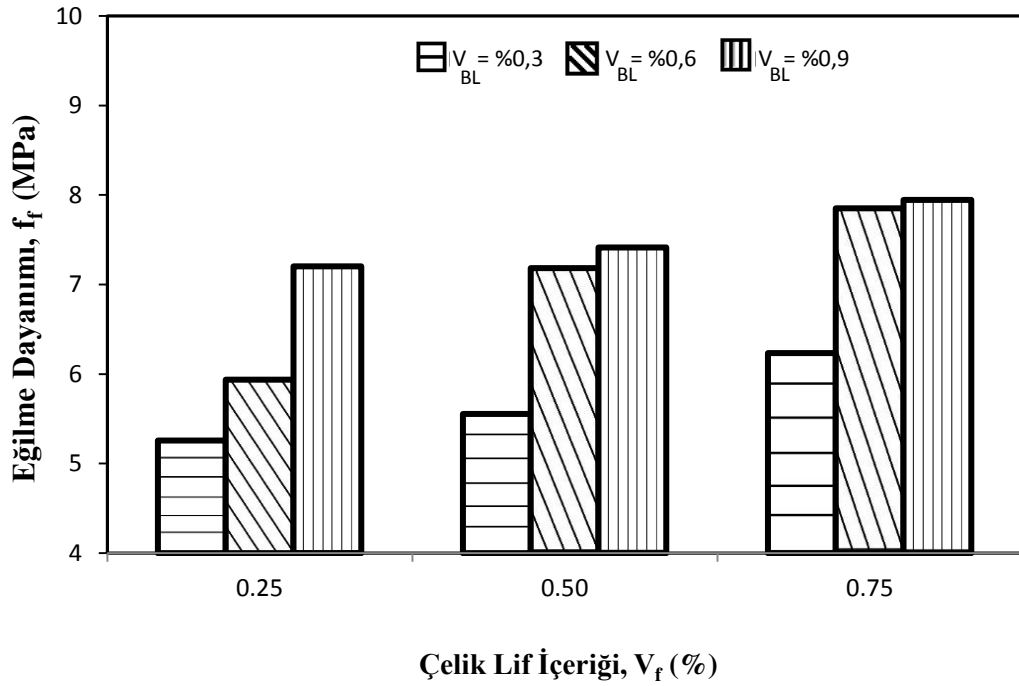
Referans numunenin eğilme dayanımı 7,0 MPa çıkmıştır. Silis dumanı içermeyen ve %0,25 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının eğilme dayanımı 6,0 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının eğilme dayanımı 7,3 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının eğilme dayanımı 7,9 MPa bulunmuştur. Eğilme dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %14,3 oranında azalma, %4,3 ve %12,9 oranlarında artış tespit edilmiştir.

Silis dumanı içermeyen ve %0,5 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının eğilme dayanımı 7,1 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının eğilme dayanımı 7,7 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının eğilme dayanımı 8,9 MPa bulunmuştur. Eğilme dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %1,4, %10,0 ve %27,1 oranlarında artış tespit edilmiştir.

Silis dumanı içermeyen ve %0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının eğilme dayanımı 6,8 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının eğilme dayanımı 7,1 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının eğilme dayanımı 7,5 MPa bulunmuştur. Eğilme dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %2,9 oranında azalma, %1,4 ve %7,1 oranlarında artış tespit edilmiştir.

Silis dumanı içermeyen ve %0,25, %0,5 ve %0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif ve %0,3, %0,6 ve %0,9 bazalt lif içeren harçlarda en yüksek eğilme dayanımı artışı %0,5 çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,9$ harç karışımında elde edilmiştir. Artış değeri %27,1'dir.

%10 oranında silis dumanı içeren numunelerde çelik lif ve bazalt lifi oranlarına göre eğilme dayanım değerlerindeki değişim Şekil 4.14'de verilmiştir.



Şekil 4.14. Çelik ve Bazalt Lif İçeriğine Göre Eğilme Dayanımı Değerleri ($S=\%10$)

%10 oranında silis dumanı ve %0,25 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının eğilme dayanımı 5,3 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının eğilme dayanımı 5,9 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının eğilme dayanımı 7,2 MPa bulunmuştur. Eğilme dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %24,3, %15,7 oranlarında azalma ve %2,9 oranında artış tespit edilmiştir,

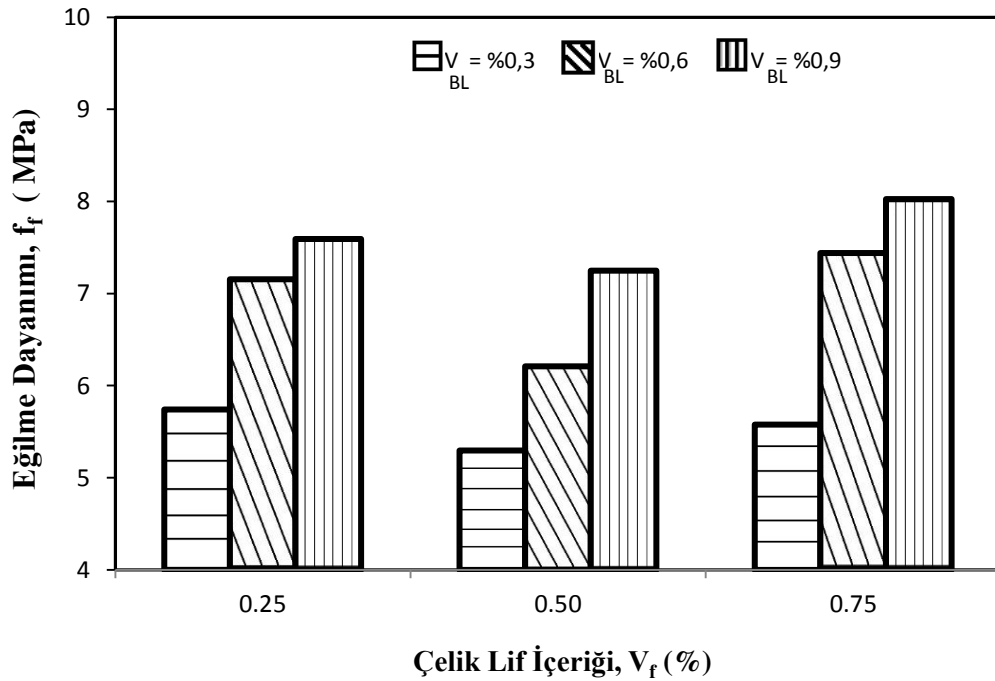
%10 oranında silis dumanı ve %0,5 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının eğilme dayanımı 5,6 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının eğilme dayanımı 7,2 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının eğilme dayanımı 7,4 MPa bulunmuştur. Eğilme

dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %20,0 oranında azalma, %2,9 ve %5,7 oranlarında artış tespit edilmiştir.

%10 oranında silis dumanı ve %0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının eğilme dayanımı 6,2 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının eğilme dayanımı 7,9 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının eğilme dayanımı 8,0 MPa bulunmuştur. Eğilme dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %11,4 oranında azalma, %12,9 ve %14,3 oranlarında artış tespit edilmiştir.

%10 oranında silis dumanı ve %0,25, %0,5 ve %0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif ve %0,3, %0,6 ve %0,9 bazalt lifi içeren harçlarda en yüksek eğilme dayanımı artışı %0,75 çelik lifi içeren $V_{BL}=\%0,9$ harç karışımında elde edilmiştir. Artış değeri %14,3'dir.

%20 oranında silis dumanı içeren numunelerde çelik lif ve bazalt lif oranlarına göre eğilme dayanım değerlerindeki değişim Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.15. Çelik ve Bazalt Lif İçeriğine Göre Eğilme Dayanımı Değerleri (S=%20)

%20 oranında silis dumanı ve %0,25 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının eğilme dayanımı 5,7 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının eğilme

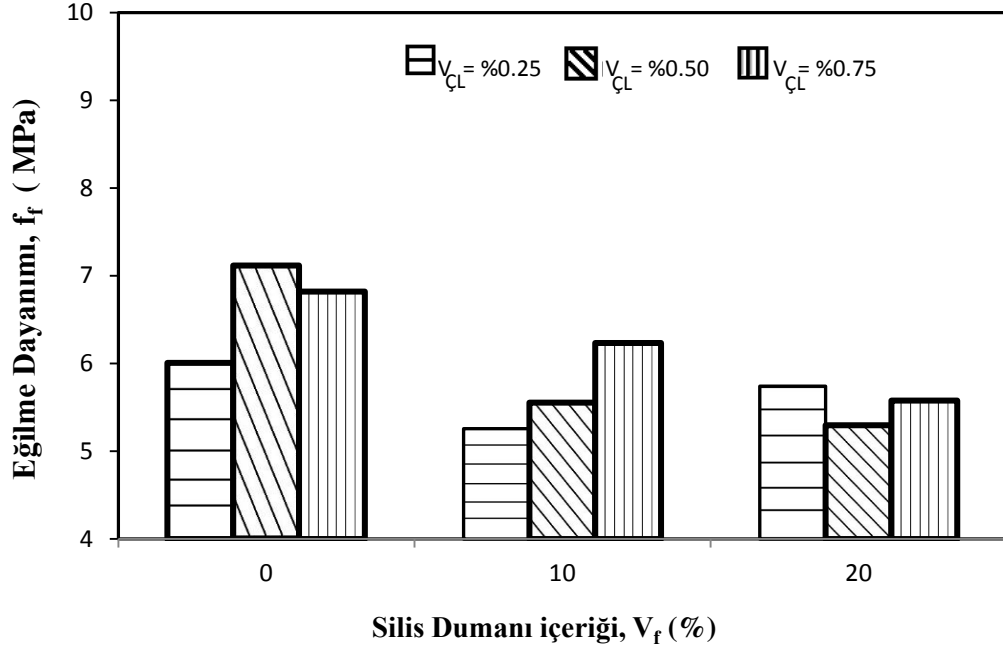
dayanımı 7,2 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının eğilme dayanımı 7,6 MPa bulunmuştur. Eğilme dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %18,6 oranında azalma, %2,9 ve %8,6 oranlarında artış tespit edilmiştir.

%20 oranında silis dumanı ve %0,5 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının eğilme dayanımı 5,3 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının eğilme dayanımı 6,2 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının eğilme dayanımı 7,3 MPa bulunmuştur. Eğilme dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %24,3, %11,4 oranlarında azalma ve %4,3 oranında artış tespit edilmiştir.

%20 oranında silis dumanı ve %0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının eğilme dayanımı 5,6 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının eğilme dayanımı 7,4 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının eğilme dayanımı 8,0 MPa bulunmuştur. Eğilme dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %20,0 oranında azalma, %5,7 ve %14,3 oranlarında artış tespit edilmiştir.

%20 oranında silis dumanı ve %0,25, %0,5 ve %0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif ve %0,3, %0,6 ve %0,9 bazalt lif içeren harçlarda en yüksek eğilme dayanımı artışı %0,75 kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,9$ harç karışımında elde edilmiştir. Artış değeri %14,3'tür.

%0,30 oranında bazalt lif içeren numunelerde silis dumanı ve kısa kesilmiş çelik lif oranlarına göre eğilme dayanım değerlerindeki değişim Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16. Silis Dumanı ve Çelik Lif İçeriğine Göre Eğilme Dayanımı ($B=\%0,30$)

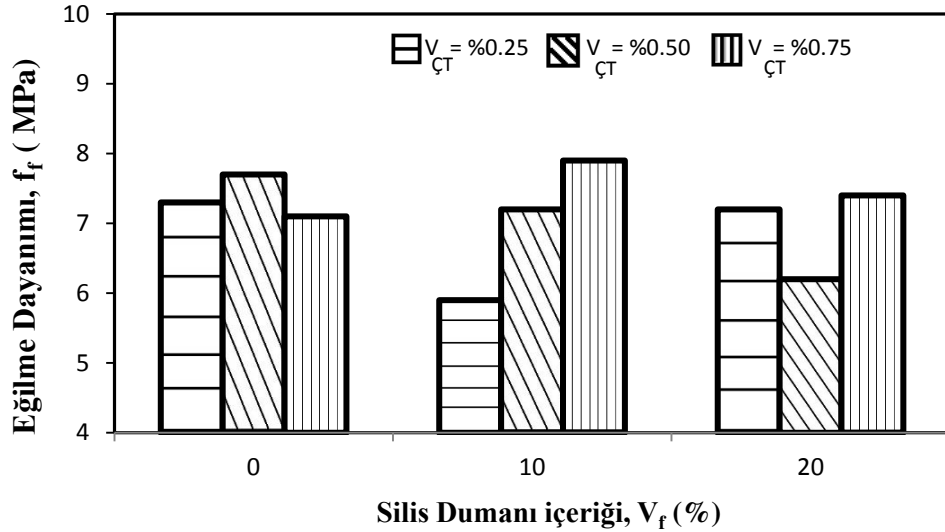
$\%0,30$ oranında bazalt lif içeren ve silis dumanı içermeyen $V_{\text{ÇL}}=\%0,25$ karışımının eğilme dayanımı 6,0 MPa, $V_{\text{ÇL}}=\%0,50$ karışımının eğilme dayanımı 7,1 MPa, $V_{\text{ÇL}}=\%0,75$ karışımının eğilme dayanımı 6,8 MPa bulunmuştur. Eğilme dayanımı sırasıyla referans numuneye göre $\%14,3$ oranında azalma, $\%1,4$ oranında artma ve $\%2,9$ oranlarında azalma tespit edilmiştir. Bu gruplar incelendiğinde, çelik lifin optimum kullanma oranı $\%0,5$ oranı görülmektedir.

$\%0,30$ oranında bazalt lif ve $\%10$ oranında silis dumanı içeren $V_{\text{ÇL}}=\%0,25$ karışımının eğilme dayanımı 5,3 MPa, $V_{\text{ÇL}}=\%0,50$ karışımının eğilme dayanımı 5,6 MPa, $V_{\text{ÇL}}=\%0,75$ karışımının eğilme dayanımı 6,2 MPa bulunmuştur. Eğilme dayanımı sırasıyla referans numuneye göre $\%24,3$, $\%20,0$ ve $\%11,4$ oranlarında azalma tespit edilmiştir. Bu gruplar incelendiğinde, çelik lif oranı arttıkça iyileşme görülmüştür.

$\%0,30$ oranında bazalt lif ve $\%20$ oranında silis dumanı içeren $V_{\text{ÇL}}=\%0,25$ karışımının eğilme dayanımı 5,7 MPa, $V_{\text{ÇL}}=\%0,50$ karışımının eğilme dayanımı 5,3 MPa, $V_{\text{ÇL}}=\%0,75$ karışımının eğilme dayanımı 5,6 MPa bulunmuştur. Eğilme dayanımı sırasıyla referans numuneye göre $\%18,6$, $\%24,3$ ve $\%20,0$ oranlarında azalma tespit edilmiştir. Bu gruplar incelendiğinde, çelik lif oranı arttıkça iyileşme

görülmüştür. Literatürde çalışmaların sonuçları; çelik lif katkısının betonun eğilme dayanımı ve kırılma tokluğunu belirgin bir biçimde arttığı göstermiştir [84].

%0,60 oranında bazalt lif içeren numunelerde silis dumanı ve kısa kesilmiş çelik lif oranlarına göre eğilme dayanım değerlerindeki değişim Şekil 4.17’de verilmiştir.



Şekil 4.17. Silis Dumanı ve Çelik Lif içeriğine göre Eğilme Dayanımı (B=%0,60)

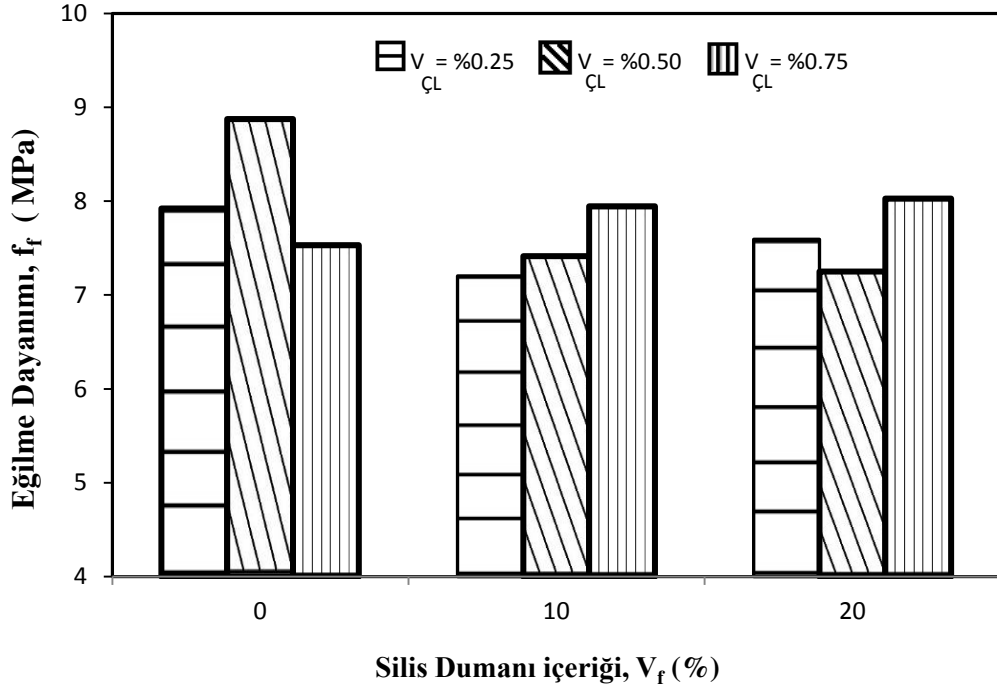
%0,60 oranında bazalt lif içeren ve silis dumanı içermeyen $V_{\text{ÇL}}=\%0,25$ karışımının eğilme dayanımı 7,3 MPa, $V_{\text{ÇL}}=\%0,50$ karışımının eğilme dayanımı 7,7 MPa, $V_{\text{ÇL}}=\%0,75$ karışımının eğilme dayanımı 7,1 MPa bulunmuştur. Eğilme dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %4,3, %10,0 ve %1,4 oranlarında artış tespit edilmiştir. Bu gruplar incelendiğinde, çelik lifin optimum kullanma oranı %0,5 oranı görülmektedir.

%0,60 oranında bazalt lif ve %10 oranında silis dumanı içeren $V_{\text{ÇL}}=\%0,25$ karışımının eğilme dayanımı 5,9 MPa, $V_{\text{ÇL}}=\%0,50$ karışımının eğilme dayanımı 7,2 MPa, $V_{\text{ÇL}}=\%0,75$ karışımının eğilme dayanımı 7,9 MPa bulunmuştur. Eğilme dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %15,7 oranında azalma, %2,9 ve %12,9 oranlarında artma elde edilmiştir.

%0,60 oranında bazalt lif ve %20 oranında silis dumanı içeren $V_{\text{ÇL}}=\%0,25$ karışımının eğilme dayanımı 7,2 MPa, $V_{\text{ÇL}}=\%0,50$ karışımının eğilme dayanımı 6,2 MPa, $V_{\text{ÇL}}=\%0,75$ karışımının eğilme dayanımı 7,4 MPa bulunmuştur. Eğilme

dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %2,9 artma, %11,4 oranlarında azalma ve %5,7 oranında artma tespit edilmiştir.

%0,90 oranında bazalt lif içeren numunelerde silis dumanı ve kısa kesilmiş çelik lif oranlarına göre eğilme dayanım değerlerindeki değişim Şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.18. Silis Dumanı ve Çelik Lif içeriğine göre Eğilme Dayanımı ($B=\%0,90$)

%0,90 oranında bazalt lif içeren ve silis dumanı içermeyen $V_{\text{ÇL}}=\%0,25$ karışımının eğilme dayanımı 7,9 MPa, $V_{\text{ÇL}}=\%0,50$ karışımının eğilme dayanımı 8,9 MPa, $V_{\text{ÇL}}=\%0,75$ karışımının eğilme dayanımı 7,5 MPa bulunmuştur. Eğilme dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %12,9, %27,1 ve %7,1 oranlarında artış tespit edilmiştir. Bu gruplar incelendiğinde, çelik lifin optimum kullanma oranı %0,5 oranı görülmektedir.

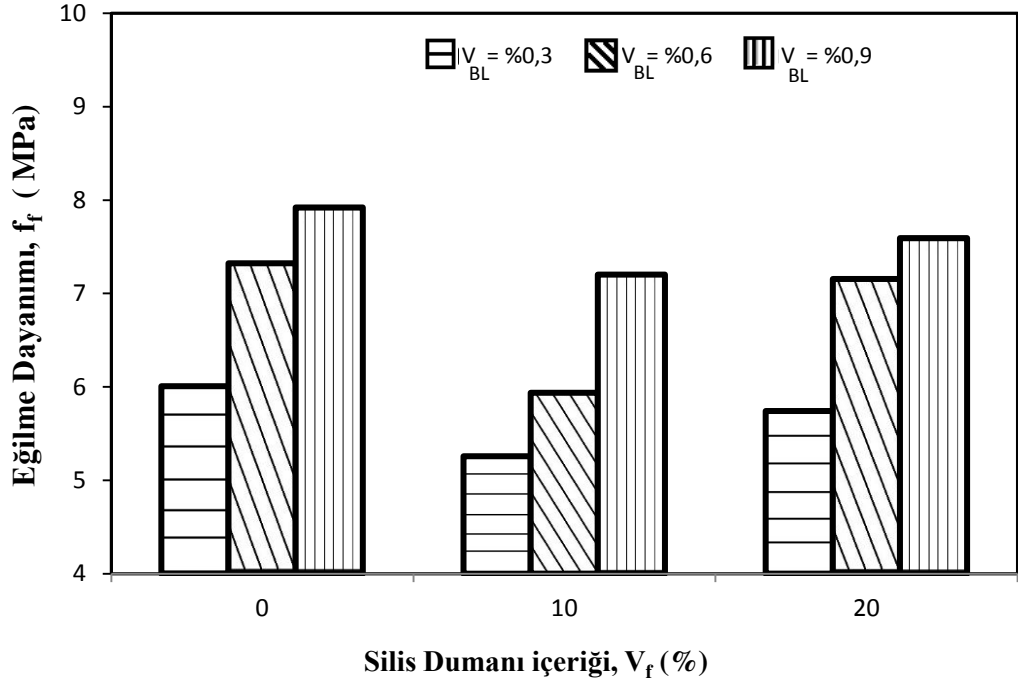
%0,90 oranında bazalt lif ve %10 oranında silis dumanı içeren $V_{\text{ÇL}}=\%0,25$ karışımının eğilme dayanımı 7,2 MPa, $V_{\text{ÇL}}=\%0,50$ karışımının eğilme dayanımı 7,4 MPa, $V_{\text{ÇL}}=\%0,75$ karışımının eğilme dayanımı 8,0 MPa bulunmuştur. Eğilme dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %2,9, %4,8 ve %14,3 oranlarında artış

tespit edilmiştir. Bu gruplar incelendiğinde, çelik lif oranı artıkça eğilme dayanım değerlerinde artma görülmüştür.

%0,90 oranında bazalt lif ve %20 oranında silis dumanı içeren $V_{\text{CL}}=\%0,25$ karışımının eğilme dayanımı 7,6 MPa, $V_{\text{CL}}=\%0,50$ karışımının eğilme dayanımı 7,3 MPa, $V_{\text{CL}}=\%0,75$ karışımının eğilme dayanımı 8,0 MPa bulunmuştur. Eğilme dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %8,6, %4,3 ve %14,3 oranlarında artış tespit edilmiştir. Bu gruplar incelendiğinde, çelik lif oranı artıkça eğilme dayanım değerlerinde iyileşme görülmüştür.

Silis dumanı oranına göre eğilme dayanımı sonuçları incelendiğinde, %0,3 oranında bazalt lif içeren harçlarda silis dumanı oranı artıkça eğilme dayanım değerleri düşmüş ve %0,9 oranında bazalt lif içeren harçlarda silis dumanı oranı artıkça eğilme dayanım değerlerinde yükselme görülmüştür. %0,6 oranında bazalt lifi içeren harçlarda silis dumanı içermeyen numunelere göre %10 oranında silis dumanı eğilme dayanımı değerlerinde yükselme görülmüştür. Aynı zamanda %20 oranında silis dumanında ise silis dumanı içermeyen numunelere göre artma ve %10 oranında silis dumanına göre azalma görülmüştür. Beton ve harçlarda silis dumanı kullanımını belirli bir orana kadar eğilme dayanımı üzerinde etkin olduğu ve daha yüksek oranlarda kullanıldığında ise olumsuz etki meydana getirdiği birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir [85-87].

%0,25 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren numunelerde silis dumanı ve bazalt lif oranlarına göre eğilme dayanım değerlerindeki değişim Şekil 4.19'da verilmiştir.



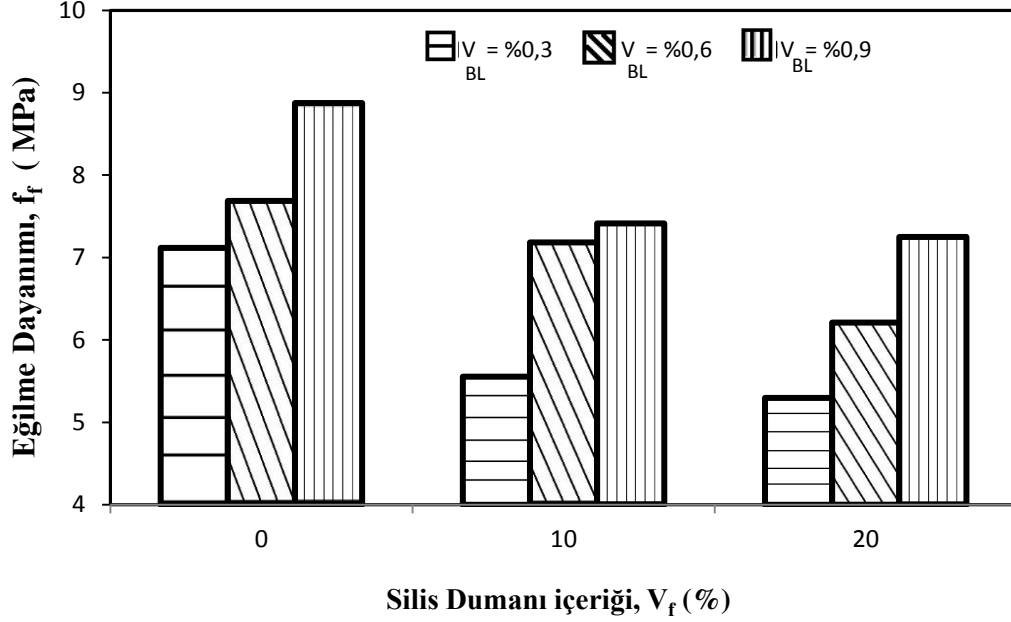
Şekil 4.19. Silis Dumanı ve Bazalt içeriğine göre Eğilme Dayanımı ($\text{ÇL}=\%0,25$)

$\%0,25$ oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren ve silis dumanı içermeyen $V_{BL}=\%0,3$ karışımının eğilme dayanımı 6,0 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının eğilme dayanımı 7,3 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının eğilme dayanımı 7,9 MPa bulunmuştur. Eğilme dayanımı sırasıyla referans numuneye göre $\%14,3$ oranında azalma, $\%4,3$ ve $\%12,9$ oranlarında artış tespit edilmiştir.

$\%0,25$ oranında kısa kesilmiş çelik lif ve $\%10$ oranında silis dumanı içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının eğilme dayanımı 5,3 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının eğilme dayanımı 5,9 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının eğilme dayanımı 7,2 MPa bulunmuştur. Eğilme dayanımı sırasıyla referans numuneye göre $\%24,3$, $\%15,7$ oranlarında azalma ve $\%2,9$ oranında artış tespit edilmiştir.

$\%0,25$ oranında kısa kesilmiş çelik lif ve $\%20$ oranında silis dumanı içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının eğilme dayanımı 5,7 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının eğilme dayanımı 7,2 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının eğilme dayanımı 7,6 MPa bulunmuştur. Eğilme dayanımı sırasıyla referans numuneye göre $\%18,6$ oranında azalma, $\%2,9$ ve $\%8,6$ oranlarında artış tespit edilmiştir.

%0,50 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren numunelerde silis dumanı ve bazalt lif oranlarına göre eğilme dayanım değerlerindeki değişim Şekil 4.20’de verilmiştir.



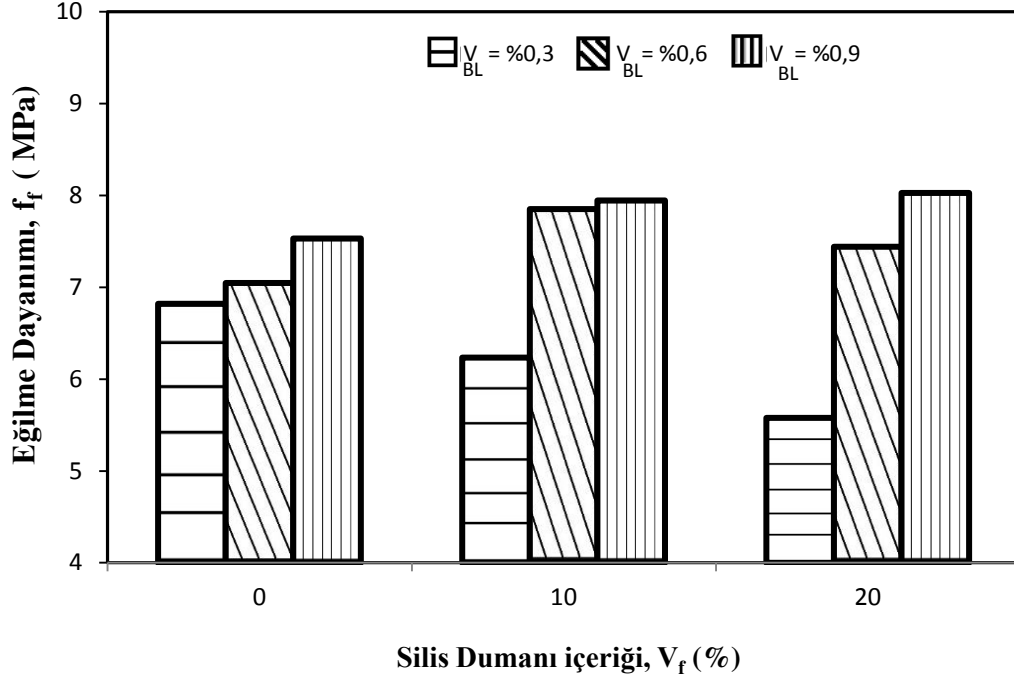
Şekil 4.20. Silis Dumanı ve Bazalt içeriğine göre Eğilme Dayanımı ($\text{ÇL}=\%0,5$)

%0,5 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren ve silis dumanı içermeyen $V_{BL}=\%0,3$ karışımının eğilme dayanımı 7,1 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının eğilme dayanımı 7,7 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının eğilme dayanımı 8,9 MPa bulunmuştur. Eğilme dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %1,4, %10,0 ve %27,1 oranlarında artış tespit edilmiştir.

%0,5 oranında kısa kesilmiş çelik lif ve %10 oranında silis dumanı içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının eğilme dayanımı 5,6 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının eğilme dayanımı 7,2 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının eğilme dayanımı 7,4 MPa bulunmuştur. Eğilme dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %20,0 oranında azalma, %2,9 ve %5,7 oranlarında artış tespit edilmiştir.

%0,5 oranında kısa kesilmiş çelik lif ve %20 oranında silis dumanı içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının eğilme dayanımı 5,3 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının eğilme dayanımı 6,2 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının eğilme dayanımı 7,3 MPa bulunmuştur. Eğilme dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %24,3, %11,4 oranlarında azalma ve %4,3 oranında artış tespit edilmiştir.

%0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren numunelerde silis dumanı ve bazalt lif oranlarına göre eğilme dayanım değerlerindeki değişim Şekil 4.21’de verilmiştir.



Şekil 4.21. Silis Dumanı ve Bazalt içeriğine göre Eğilme Dayanımı ($\text{ÇL}=\%0,75$)

%0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren ve silis dumanı içermeyen $V_{BL}=\%0,3$ karışımının eğilme dayanımı 6,8 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının eğilme dayanımı 7,1 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının eğilme dayanımı 7,5 MPa bulunmuştur. Eğilme dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %2,9 oranında azalma, %1,4 ve %7,1 oranlarında artış tespit edilmiştir.

%0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif ve %10 oranında silis dumanı içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının eğilme dayanımı 6,2 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının eğilme dayanımı 7,9 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının eğilme dayanımı 8,0 MPa bulunmuştur. Eğilme dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %11,4 oranında azalma, %12,9 ve %14,3 oranlarında artış tespit edilmiştir.

%0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif ve %20 oranında silis dumanı içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının eğilme dayanımı 5,6 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının eğilme dayanımı 7,4 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının eğilme dayanımı 8,0 MPa bulunmuştur.

Eğilme dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %20,0 oranında azalma, %5,7 ve %14,3 oranlarında artış tespit edilmiştir.

Kısa kesilmiş çelik lif oranına göre eğilme dayanımı sonuçları inceliginde; silis dumani içermeyen, %10 ve 20 oranında silis dumani içeren harçlarda bazalt lif oranı artıkça eğilme dayanımı artmıştır. Literatürde bazalt lifi kullanımının beton ve harçların eğilmede ve yarmada çekme dayanımlarını arttırdığı görülmüştür [88].

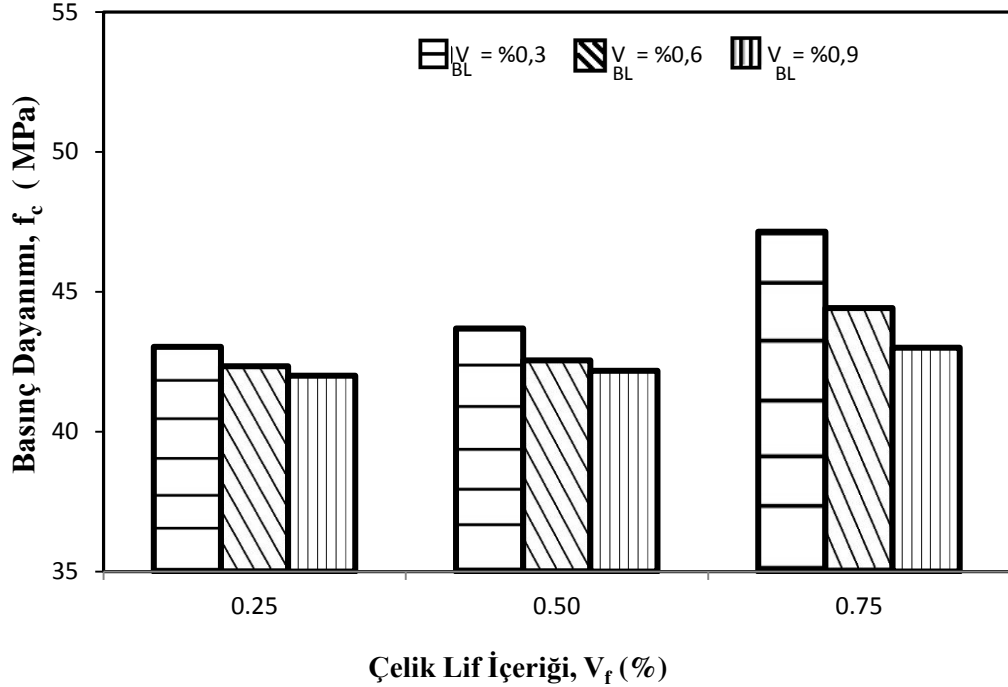
4.2.3. Basınç Dayanımı Sonuçları

Üretilen numunelerin basınç dayanımı değerleri Tablo 4.4’de verilmiştir.

Tablo 4.4. Basınç Dayanımı Sonuçları

Numune Kodu	Silis Dumani (%)	Çelik Lif (%)	Bazalt Lif (%)	Silis Dumani (g)	Çelik Lif (g)	Bazalt Lif (g)	Basınç Dayanımı (MPa)
R	-	-	-	-	-	-	39,7
S0Ç25B3	0	0,25	0,3	0	20	7,8	43,0
S0Ç25B6			0,6	0	20	15,6	42,3
S0Ç25B9			0,9	0	20	23,4	42,0
S0Ç50B3		0,5	0,3	0	39	7,8	43,7
S0Ç50B6			0,6	0	39	15,6	42,5
S0Ç50B9			0,9	0	39	23,4	42,2
S0Ç75B3		0,75	0,3	0	59	7,8	47,1
S0Ç75B6			0,6	0	59	15,6	44,4
S0Ç75B9			0,9	0	59	23,4	43,0
S10Ç25B3	10	0,25	0,3	45	20	7,8	53,3
S10Ç25B6			0,6	45	20	15,6	48,4
S10Ç25B9			0,9	45	20	23,4	48,5
S10Ç50B3		0,5	0,3	45	39	7,8	55,3
S10Ç50B6			0,6	45	39	15,6	52,2
S10Ç50B9			0,9	45	39	23,4	53,0
S10Ç75B3		0,75	0,3	45	59	7,8	52,7
S10Ç75B6			0,6	45	59	15,6	47,8
S10Ç75B9			0,9	45	59	23,4	51,1
S20Ç25B3	20	0,25	0,3	90	20	7,8	59,4
S20Ç25B6			0,6	90	20	15,6	54,7
S20Ç25B9			0,9	90	20	23,4	58,1
S20Ç50B3		0,5	0,3	90	39	7,8	57,9
S20Ç50B6			0,6	90	39	15,6	53,0
S20Ç50B9			0,9	90	39	23,4	56,3
S20Ç75B3		0,75	0,3	90	59	7,8	64,4
S20Ç75B6			0,6	90	59	15,6	59,0
S20Ç75B9			0,9	90	59	23,4	62,1

Silis dumanı içermeyen numunelerde çelik lif ve bazalt lifi oranlarına göre basınç dayanım değerlerindeki değişim Şekil 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.22. Çelik ve Bazalt Lif İçeriğine Göre Basınç Dayanımı Değerleri ($S=0$)

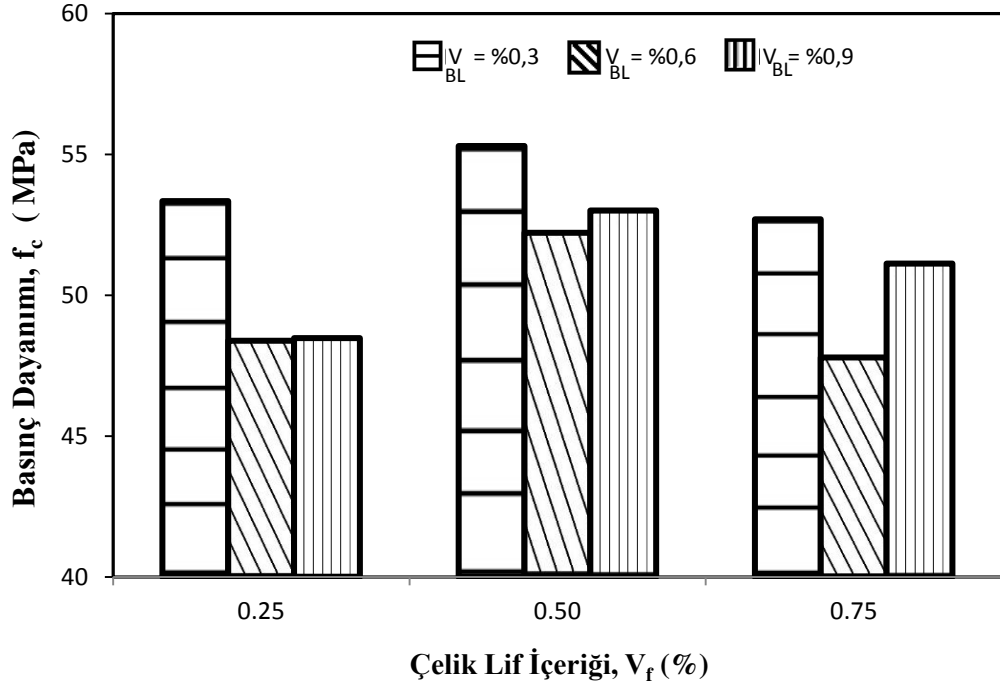
Referans numunenin basınç dayanımı 39,7 MPa çıkmıştır. Silis dumanı içermeyen ve %0,25 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının basınç dayanımı 43,0 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının basınç dayanımı 42,3 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının basınç dayanımı 42,0 MPa bulunmuştur. Basınç dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %8,3, %6,5 ve %5,8 oranlarında artış tespit edilmiştir.

Silis dumanı içermeyen ve %0,5 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının basınç dayanımı 43,7 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının basınç dayanımı 42,5 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının basınç dayanımı 42,2 MPa bulunmuştur. Basınç dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %10,1, %7,1 ve %6,3 oranlarında artış tespit edilmiştir. Referans numuneye göre değerlendirildiğinde, bazalt lif katkılı örneklerin basınç dayanım değerleri yüksek elde edilmiştir. Ayrıca bazalt lif oranı artıkça basınç dayanım değerleri düşmüştür.

Silis dumanı içermeyen ve %0,75 oranında çelik lifi içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının basınç dayanımı 47,1 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının basınç dayanımı 44,4 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının basınç dayanımı 43,0 MPa bulunmuştur. Basınç dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %18,6, %11,8 ve %8,3 oranlarında artış tespit edilmiştir. Referans numuneye göre değerlendirildiğinde, bazalt lif katkılı örneklerin basınç dayanım değerleri yüksek elde edilmiştir. Aynı zamanda bazalt lif oranı artıkça basınç dayanım değerleri düşmüştür.

Silis dumanı içermeyen, kısa kesilmiş çelik lif ve bazalt lifi oranlarına göre üretilen harçlarda en yüksek basınç dayanımı artışı %0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ harç karışımında çıkmıştır. Artış değeri %18,6'dır. Bu grubun tamamı referans numuneye göre basınç dayanım yüksek çıkmıştır. Literatürde bazalt lif kullanımının basınç dayanımını üzerindeki etkisi konusunda farklı sonuçlar bulunmaktadır. Araştırmaların bir kısmı bazalt lif kullanımının agrega çimento hamurunun ara yüzeyinde zayıf noktalar oluşturması sebebi ile basınç dayanımını düşürdüğünü ifade ederken [89], bir kısmı da sade betona göre bazalt lif içeren betonların dayanım değerlerinin daha yüksek olacağını belirtmiştir [88].

%10 oranında silis dumanı içeren numunelerde çelik lif ve bazalt lif oranlarına göre basınç dayanım değerlerindeki değişim Şekil 4.23'te verilmiştir.



Şekil 4.23. Çelik ve Bazalt Lif İçeriğine Göre Basınç Dayanımı Değerleri ($S=\%10$)

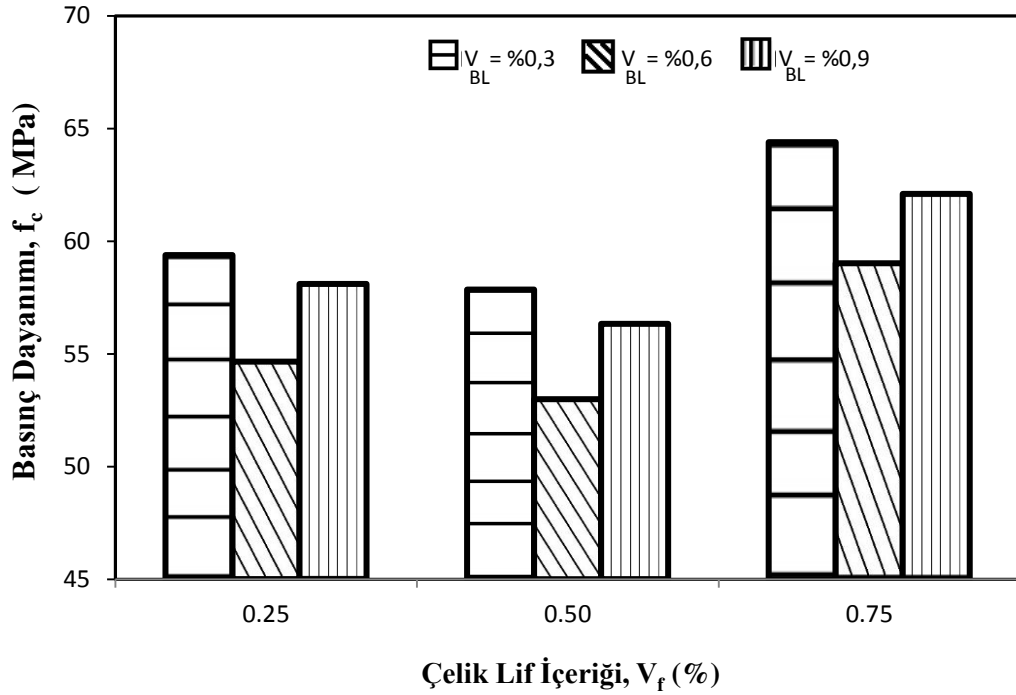
$\%10$ oranında silis dumanı ve $\%0,25$ oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının basınç dayanımı 53,3 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının basınç dayanımı 48,4 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının basınç dayanımı 48,5 MPa bulunmuştur. Basınç dayanımı sırasıyla referans numuneye göre $\%34,3$, $\%21,9$ ve $\%22,2$ oranlarında artış tespit edilmiştir.

$\%10$ oranında silis dumanı ve $\%0,5$ oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının basınç dayanımı 55,3 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının basınç dayanımı 52,2 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının basınç dayanımı 53 MPa bulunmuştur. Basınç dayanımı sırasıyla referans numuneye göre $\%39,3$, $\%31,5$ ve $\%33,5$ oranlarında artış tespit edilmiştir.

$\%10$ oranında silis dumanı ve $\%0,75$ oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının basınç dayanımı 52,7 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının basınç dayanımı 47,8 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının basınç dayanımı 51,1 MPa bulunmuştur. Basınç dayanımı sırasıyla referans numuneye göre $\%32,7$, $\%20,4$ ve $\%28,7$ oranlarında artış tespit edilmiştir.

%10 oranında silis dumanı, kısa kesilmiş çelik lif ve bazalt lif oranlarına göre üretilen harçlarda en yüksek basınç dayanımı artışı %0,50 oranında çelik lifi içeren $V_{BL}=\%0,3$ harç karışımında çıkmıştır. Artış değeri %39,3'tür. Bu grubun tamamı referans numuneye göre yüksek basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir.

%20 oranında silis dumanı içeren numunelerde çelik lif ve bazalt lif oranlarına göre basınç dayanım değerlerindeki değişim Şekil 4.24'te verilmiştir.



Şekil 4.24. Çelik ve Bazalt Lif İçeriğine Göre Basınç Dayanımı Değerleri (S=%20)

%20 oranında silis dumanı ve %0,25 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının basınç dayanımı 59,4 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının basınç dayanımı 54,7 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının basınç dayanımı 58,1 MPa bulunmuştur. Basınç dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %49,6, %37,8 ve %46,3 oranlarında artış tespit edilmiştir.

%20 oranında silis dumanı ve %0,5 oranında çelik lifi içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının basınç dayanımı 57,9 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının basınç dayanımı 53,0 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının basınç dayanımı 56,3 MPa bulunmuştur. Basınç dayanımı

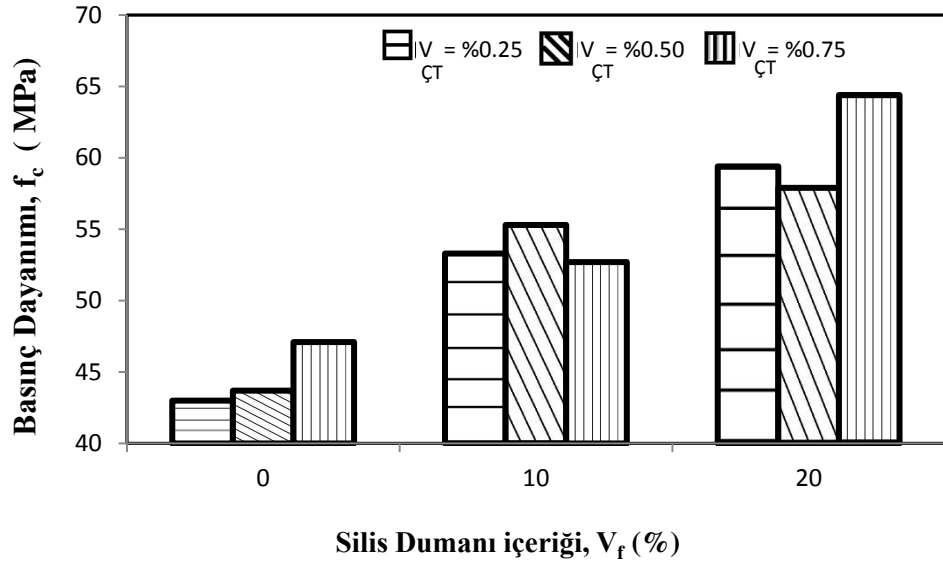
sırasıyla referans numuneye göre %45,8, %33,5 ve %41,8 oranlarında artış tespit edilmiştir.

%20 oranında silis dumanı ve %0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının basınç dayanımı 64,4 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının basınç dayanımı 59,0 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının basınç dayanımı 62,1 MPa bulunmuştur. Basınç dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %62,2, %48,6 ve %56,4 oranlarında artış tespit edilmiştir.

%20 oranında silis dumanı, kısa kesilmiş çelik lif ve bazalt lif oranlarına göre üretilen harçlarda en yüksek basınç dayanımı artışı %0,75 oranında çelik lifi içeren $V_{BL}=\%0,3$ harç karışımında çıkmıştır. Artış değeri %62,2'dir, Bu grubun tamamı referans numuneye göre yüksek basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir.

Silis dumanı etkisi incelendiğinde; silis dumanı içermeyen, kısa kesilmiş çelik lif ve bazalt lifi içeren harçlarda en yüksek basınç dayanımı artışı %18,6'dır. %10 oranında silis dumanı kısa kesilmiş çelik lif ve bazalt lifi içeren harçlarda en yüksek basınç dayanımı artışı %39,3'tür. %20 oranında silis dumanı, kısa kesilmiş çelik lif ve bazalt lifi içeren harçlarda en yüksek basınç dayanımı artışı %62,2'dir. Silis dumanı miktarı artıkça basınç dayanımı artmıştır. Literatürde silis dumanının beton ve harçların basınç dayanımını artırdığı belirtilmiştir. Bir kısım araştırmacılar bu durumun silis dumanının agrega çimento hamuru ara yüzeyinin daha boşluksuz ve sıkı bir hale getirmesine bağlarken [90,91], diğerleri ise bu durumu silis dumanının çimento hamuru matrisinin dayanımını yüksek oranda artırmasına bağlamışlardır [92,93].

%0,30 oranında bazalt lif içeren numunelerde silis dumanı ve kısa kesilmiş çelik lif oranlarına göre basınç dayanım değerlerindeki değişim Şekil 4.25'te verilmiştir.



Şekil 4.25. Silis Dumanı ve Çelik Lif içeriğine göre Basınç Dayanımı ($B=\%0,30$)

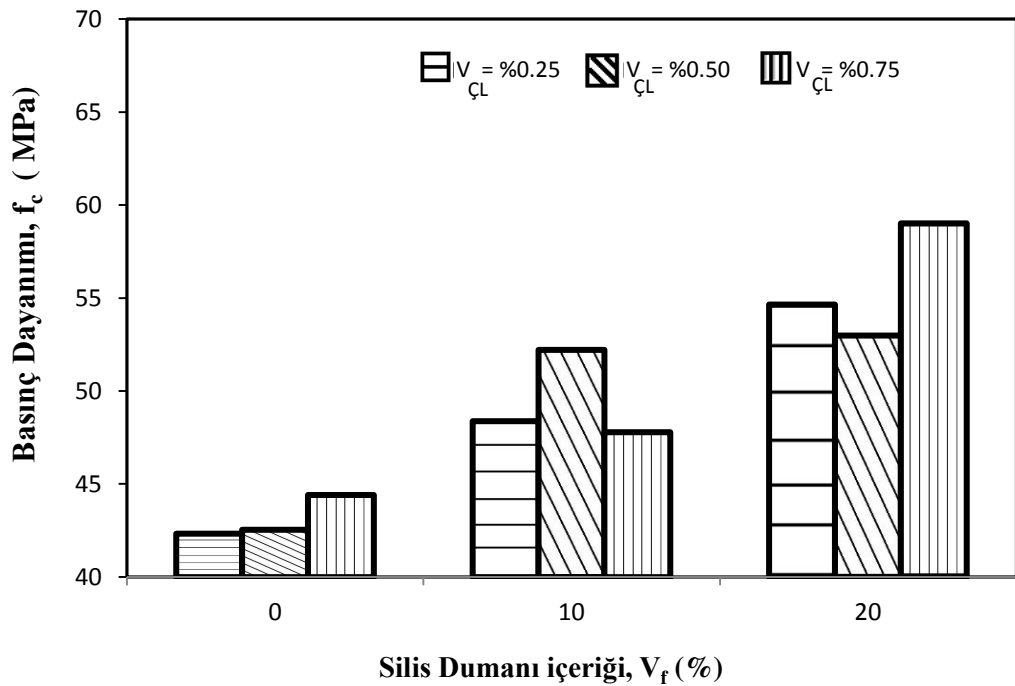
$\%0,30$ oranında bazalt lif içeren ve silis dumanı içermeyen $V_{çL}=\%0,25$ karışımının basınç dayanımı 43 MPa, $V_{çL}=\%0,50$ karışımının basınç dayanımı 43,7 MPa, $V_{çL}=\%0,75$ karışımının basınç dayanımı 47,1 MPa bulunmuştur. Basınç dayanımı sırasıyla referans numuneye göre $\%8,3$, $\%10,1$ ve $\%18,6$ oranlarında artış tespit edilmiştir. Bu grubun tamamında kısa kesilmiş çelik lif oranı arttıkça basınç dayanımı artmıştır. Çelik liflerin boyutlarının, narinliklerinin ve şekillerinin basınç dayanımını üzerinde etkilerini incelendiği çalışmalarda sonuçların genellikle belirtilen parametrelerden bağımsız olarak arttığını göstermiştir [94].

$\%0,30$ oranında bazalt lif ve $\%10$ oranında silis dumanı içeren $V_{çL}=\%0,25$ karışımının basınç dayanımı 53,3 MPa, $V_{çL}=\%0,50$ karışımının basınç dayanımı 55,3 MPa, $V_{çL}=\%0,75$ karışımının basınç dayanımı 52,7 MPa bulunmuştur. Basınç dayanımı sırasıyla referans numuneye göre $\%34,3$, $\%39,3$ ve $\%32,7$ oranlarında artış tespit edilmiştir.

$\%0,30$ oranında bazalt lif ve $\%20$ oranında silis dumanı içeren $V_{çL}=\%0,25$ karışımının basınç dayanımı 59,4 MPa, $V_{çL}=\%0,50$ karışımının basınç dayanımı 57,9 MPa, $V_{çL}=\%0,75$ karışımının basınç dayanımı 64,4 MPa bulunmuştur. Basınç dayanımı sırasıyla referans numuneye göre $\%49,6$, $\%45,8$ ve $\%62,2$ oranlarında artış tespit edilmiştir.

%0,30 oranında bazalt lifi, silis dumanı ve kısa kesilmiş çelik lif katkılı harçlarda en yüksek basınç dayanımı artışı %0,75 oranında çelik lifi, %20 oranında silis dumanı ve %0,3 oranında bazalt lifi içeren harç karışımında elde edilmiştir. Artış değeri %62,2'dir. Bu grubun tamamı referans numuneye göre yüksek basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir.

%0,60 oranında bazalt lif içeren numunelerde silis dumanı ve kısa kesilmiş çelik lif oranlarına göre basınç dayanım değerlerindeki değişim Şekil 4.26'da verilmiştir.



Şekil 4.26. Silis Dumanı ve Çelik Lif içeriğine göre Basınç Dayanımı ($B=\%0,60$)

%0,60 oranında bazalt lif içeren ve silis dumanı içermeyen $V_{çL}=\%0,25$ karışımının basınç dayanımı 42,3 MPa, $V_{çL}=\%0,50$ karışımının basınç dayanımı 42,5 MPa, $V_{çL}=\%0,75$ karışımının basınç dayanımı 44,4 MPa bulunmuştur. Basınç dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %6,5, %7,1 ve %11,8 oranlarında artış tespit edilmiştir. Bu gruplar incelendiğinde, kısa kesilmiş çelik lif oranı arttıkça basınç dayanımının arttığı görülmektedir.

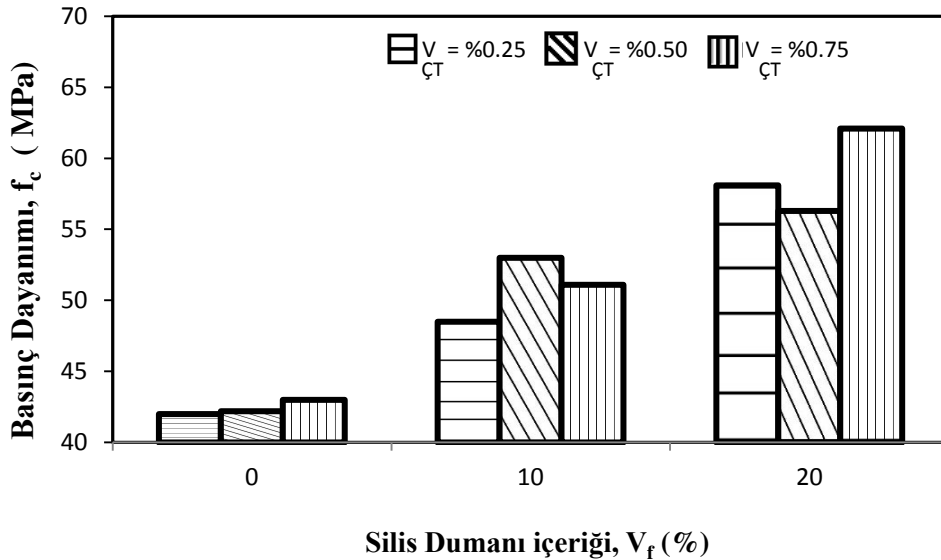
%0,60 oranında bazalt lif ve %10 oranında silis dumanı içeren $V_{çL}=\%0,25$ karışımının basınç dayanımı 48,4 MPa, $V_{çL}=\%0,50$ karışımının basınç dayanımı

52,2 MPa, $V_{\text{ÇL}}=\%0,75$ karışımının basınç dayanımı 47,8 MPa bulunmuştur. Basınç dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %21,9, %31,5 ve %20,4 oranlarında artış tespit edilmiştir.

%0,60 oranında bazalt lif ve %20 oranında silis dumanı içeren $V_{\text{ÇL}}=\%0,25$ karışımının basınç dayanımı 54,7 MPa, $V_{\text{ÇL}}=\%0,50$ karışımının basınç dayanımı 53,0 MPa, $V_{\text{ÇL}}=\%0,75$ karışımının basınç dayanımı 59,0 MPa bulunmuştur. Basınç dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %37,8, %33,5 ve %48,6 oranlarında artış tespit edilmiştir. Çelik lif oranı arttıkça basınç dayanımı değerleri artmıştır.

%0,60 oranında bazalt lifi, silis dumanı ve kısa kesilmiş çelik lif içeren harçlarda en yüksek basınç dayanımı artışı %0,75 oranında çelik lif, %20 oranında silis dumanı ve %0,9 oranında bazalt lif içeren harç karışımında elde edilmiştir. Artış değeri %48,6'dır. Bu grubun tamamı referans numuneye göre yüksek basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir.

%0,90 oranında bazalt lif içeren numunelerde silis dumanı ve kısa kesilmiş çelik lif oranlarına göre basınç dayanım değerlerindeki değişim Şekil 4.27'de verilmiştir.



Şekil 4.27. Silis Dumanı ve Çelik Lif içeriğine göre Basınç Dayanımı ($B=\%0,90$)

%0,90 oranında bazalt lif içeren ve silis dumanı içermeyen $V_{\text{ÇL}}=\%0,25$ karışımının basınç dayanımı 42,0 MPa, $V_{\text{ÇL}}=\%0,50$ karışımının basınç dayanımı 42,2 MPa, $V_{\text{ÇL}}=\%0,75$ karışımının basınç dayanımı 43,0 MPa bulunmuştur. Basınç dayanımı

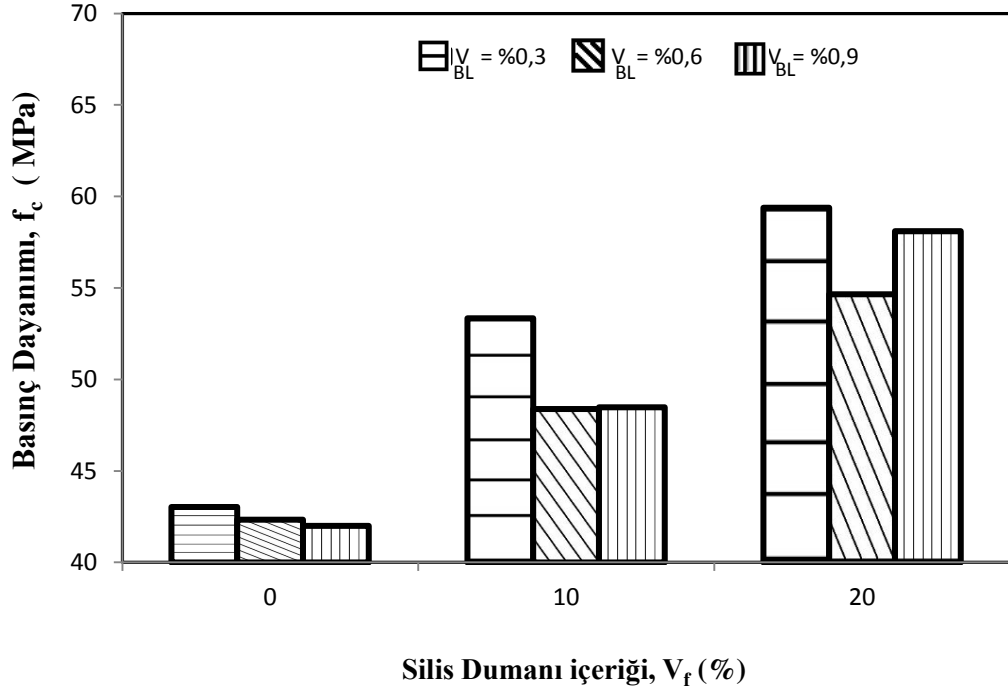
sırasıyla referans numuneye göre %5,8, %6,3 ve %8,3 oranlarında artış tespit edilmiştir. Bu gruplar incelendiğinde, çelik lif oranı artıkça basınç dayanım değerlerinde artma görülmüştür.

%0,90 oranında bazalt lif ve %10 oranında silis dumanı içeren $V_{CL}=\%0,25$ karışımının basınç dayanımı 48,5 MPa, $V_{CL}=\%0,50$ karışımının basınç dayanımı 53,0 MPa, $V_{CL}=\%0,75$ karışımının basınç dayanımı 51,1 MPa bulunmuştur. Basınç dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %22,2, %33,5 ve %28,7 oranlarında artış tespit edilmiştir.

%0,90 oranında bazalt lif ve %20 oranında silis dumanı içeren $V_{CL}=\%0,25$ karışımının basınç dayanımı 58,1 MPa, $V_{CL}=\%0,50$ karışımının basınç dayanımı 56,3 MPa, $V_{CL}=\%0,75$ karışımının basınç dayanımı 62,1 MPa bulunmuştur. Basınç dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %46,3, %41,8 ve %56,4 oranlarında artış tespit edilmiştir.

%0,90 oranında bazalt lif, silis dumanı ve kısa kesilmiş çelik lif içeren harçlarda en yüksek basınç dayanımı artışı %0,75 oranında çelik lifi, %20 oranında silis dumanı ve %0,9 oranında bazalt lifi içeren harç karışımında elde edilmiştir. Artış değeri %56,4'tür. Bu grubun tamamı referans numuneye göre yüksek basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir.

%0,25 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren numunelerde silis dumanı ve bazalt lif oranlarına göre basınç dayanım değerlerindeki değişim Şekil 4.28'de verilmiştir.



Şekil 4.28. Silis Dumanı ve Bazalt içeriğine göre Basınç Dayanımı ($\zeta_L = \%0,25$)

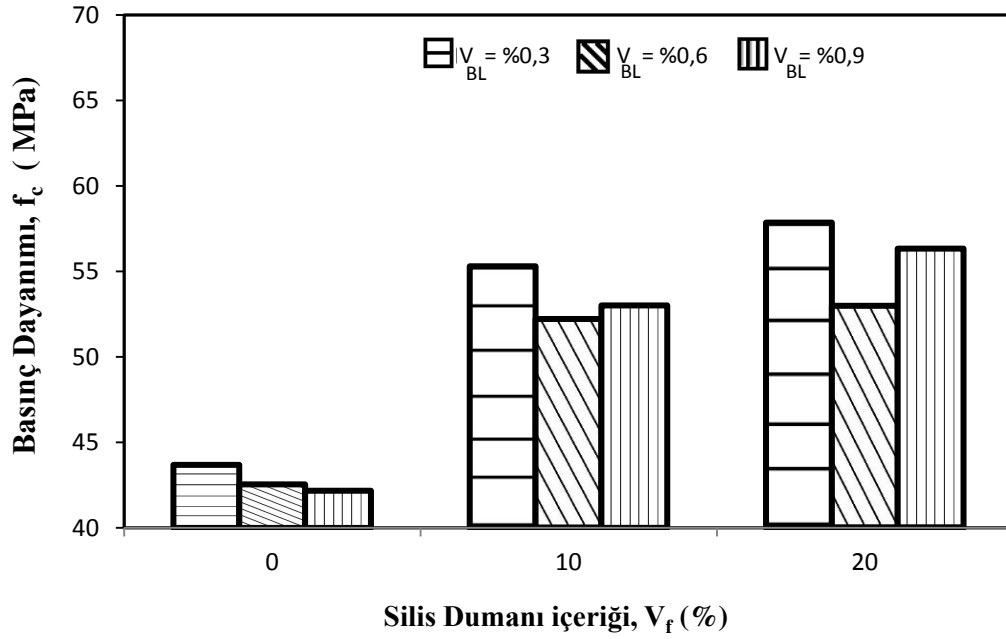
$\%0,25$ oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren ve silis dumanı içermeyen $V_{BL} = \%0,3$ karışımının basınç dayanımı 43 MPa, $V_{BL} = \%0,6$ karışımının basınç dayanımı 42,3 MPa, $V_{BL} = \%0,9$ karışımının basınç dayanımı 42 MPa bulunmuştur. Basınç dayanımı sırasıyla referans numuneye göre $\%8,4$, $\%6,6$ ve $\%5,8$ oranlarında artış tespit edilmiştir.

$\%0,25$ oranında kısa kesilmiş çelik lif ve $\%10$ silis dumanı içeren $V_{BL} = \%0,3$ karışımının basınç dayanımı 53,3 MPa, $V_{BL} = \%0,6$ karışımının basınç dayanımı 48,4 MPa, $V_{BL} = \%0,9$ karışımının basınç dayanımı 48,5 MPa bulunmuştur. Basınç dayanımı sırasıyla referans numuneye göre $\%34,4$, $\%21,9$ ve $\%22,1$ oranlarında artış tespit edilmiştir.

$\%0,25$ oranında kısa kesilmiş çelik lif ve $\%20$ silis dumanı içeren $V_{BL} = \%0,3$ karışımının basınç dayanımı 59,4 MPa, $V_{BL} = \%0,6$ karışımının basınç dayanımı 54,7 MPa, $V_{BL} = \%0,9$ karışımının basınç dayanımı 58,1 MPa bulunmuştur. Basınç dayanımı sırasıyla referans numuneye göre $\%49,6$, $\%37,7$ ve $\%46,4$ oranlarında artış tespit edilmiştir.

%0,25 oranında çelik lif, silis dumanı ve bazalt lif içeren harçlarda en yüksek basınç dayanımı artışı %0,25 çelik lifi, %20 silis dumanı ve %0,3 bazalt lifi içeren harç karışımında elde edilmiştir. Artış değeri %49,6'dır. Bu grubun tamamı referans numuneye göre yüksek basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir.

%0,50 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren numunelerde silis dumanı ve bazalt lif oranlarına göre basınç dayanım değerlerindeki değişim Şekil 4.29'da verilmiştir.



Şekil 4.29. Silis Dumanı ve Bazalt içeriğine göre Basınç Dayanımı ($\text{ÇL}=\%0,5$)

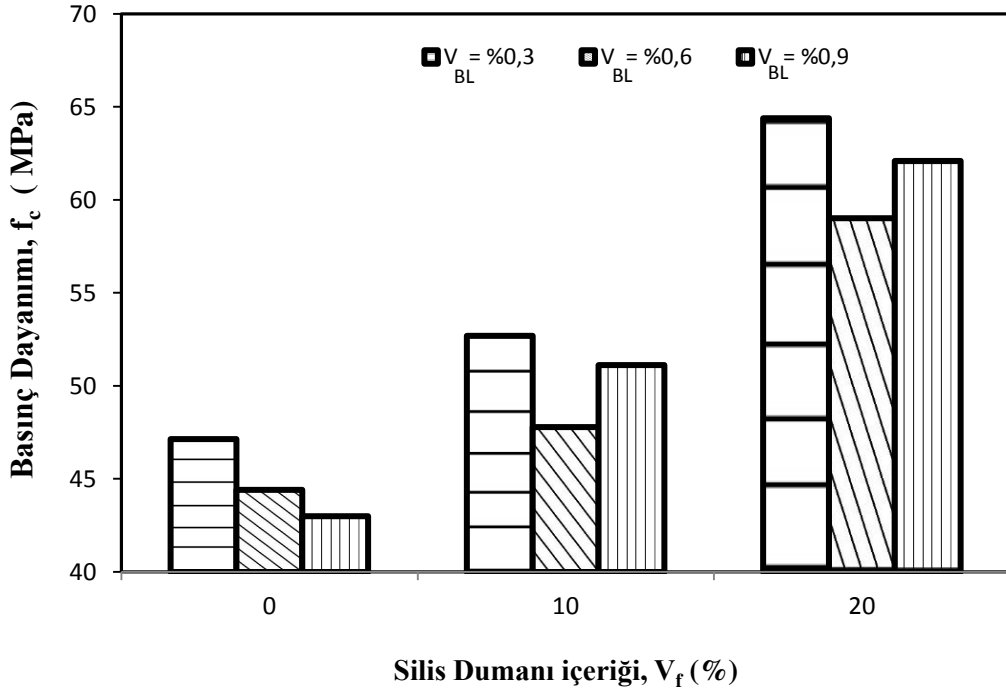
%0,5 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren ve silis dumanı içermeyen $V_{BL}=\%0,3$ karışımının basınç dayanımı 43,7 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının basınç dayanımı 42,5 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının basınç dayanımı 42,2 MPa bulunmuştur. Basınç dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %10,0, %7,2 ve %6,2 oranlarında artış tespit edilmiştir.

%0,5 oranında kısa kesilmiş çelik lif ve %10 oranında silis dumanı içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının basınç dayanımı 55,3 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının basınç dayanımı 52,2 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının basınç dayanımı 53 MPa bulunmuştur. Basınç dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %39,3 %31,5 ve %33,5 oranlarında artış tespit edilmiştir.

%0,5 oranında kısa kesilmiş çelik lif ve %20 oranında silis dumanı içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının basınç dayanımı 57,9 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının basınç dayanımı 53 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının basınç dayanımı 56,3 MPa bulunmuştur. Basınç dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %45,7, %33,5 ve %41,9 oranlarında artış tespit edilmiştir.

%0,5 oranında çelik lif, silis dumanı ve bazalt lif içeren harçlarda en yüksek basınç dayanımı artışı %0,5 oranında çelik lifi, %20 oranında silis dumanı ve %0,3 oranında bazalt lifi içeren harç karışımında elde edilmiştir. Artış değeri %45,73'dir. Bu grubun tamamı referans numuneye göre yüksek basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir..

%0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren numunelerde silis dumanı ve bazalt lif oranlarına göre basınç dayanım değerlerindeki değişim Şekil 4.30'da verilmiştir.



Şekil 4.30. Silis Dumanı ve Bazalt içeriğine göre Basınç Dayanımı ($\text{ÇL}=\%0,75$)

%0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif içeren ve silis dumanı içermeyen $V_{BL}=\%0,3$ karışımının basınç dayanımı 47,1 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının basınç dayanımı 44,4 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının basınç dayanımı 43 MPa bulunmuştur. Basınç dayanımı

sırasıyla referans numuneye göre %18,8, %11,9 ve %8,3 oranlarında artış tespit edilmiştir.

%0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif ve %10 oranında silis dumanı içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının basınç dayanımı 52,7 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının basınç dayanımı 47,8 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının basınç dayanımı 51,1 MPa bulunmuştur. Basınç dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %32,7, %20,4 ve %28,8 oranlarında artış tespit edilmiştir.

%0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif ve %20 oranında silis dumanı içeren $V_{BL}=\%0,3$ karışımının basınç dayanımı 64,4 MPa, $V_{BL}=\%0,6$ karışımının basınç dayanımı 59,0 MPa, $V_{BL}=\%0,9$ karışımının basınç dayanımı 62,1 MPa bulunmuştur. Basınç dayanımı sırasıyla referans numuneye göre %62,2, %48,7 ve %56,4 oranlarında artış tespit edilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kısa kesilmiş çelik lif ve bazalt lif kullanılarak üretilen silis dumanı takviyeli harçların üzerinde yapılan deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Üretilen numunelerin yaş birim hacim ağırlığı 2182-2430 kg/m³ ve kuru birim hacim ağırlığı 2045-2161 kg/m³ arasında değiştiği belirlenmiştir. Bazalt lif ve çelik lif miktarı artıkça kuru birim hacim değerleri azalmıştır. Çelik lif, bazalt lif ve silis dumanının kuru birim hacim ağırlığı değerleri belirgin ortak etkisi gözlemlenmemiştir.
- Numunelerin porozite değerleri %19,7-10,6 arasında ve su emme değerleri %9,3-4,9 arasında değiştiği belirlenmiştir. Bazalt lif ve çelik lif miktarı artıkça hem porozite hem de su emme değerleri azalmıştır. Silis dumanı oranı artıkça daha düşük su emme ve porozite değerleri bulunmuştur. En düşük su emme ve porozite değerleri %20 oranında silis dumanı, %0,5 oranında kısa kesilmiş çelik lif ve %0,3 oranında bazalt lif içeren harç karışımında elde edilmiştir.
- Numunelerin eğilme dayanım değerleri 5,26-8,88 MPa arasında değişmektedir. En düşük eğilme dayanımını %10 oranında silis dumanı, %0,25 oranında kısa kesilmiş çelik lif ve %0,3 oranında bazalt lif içeren harç karışımında elde edilmiş ve bu değer referans numunesine göre %24,3 daha az eğilme dayanımı vermiştir. En yüksek eğilme dayanımını %0 oranında silis dumanı, %0,5 oranında kısa kesilmiş çelik lif ve %0,9 oranında bazalt lif içeren harç karışımında elde edilmiş ve bu değer referans numunesine göre %27,8 daha fazla eğilme dayanımı vermiştir. Kısa kesilmiş çelik lif ve bazalt lif oranları artıkça eğilme dayanımı artmıştır. Silis dumanı %0 oranında kullanımına göre % 10 oranı eğilme dayanımını azaltmış ve %20 ise artırmıştır.
- Numunelerin basınç dayanım değerleri 39,7-64,4 MPa arasında değişmektedir. En düşük basınç dayanımını referans karışımı vermiştir. En yüksek basınç dayanımını %20 oranında silis dumanı, %0,75 oranında kısa kesilmiş çelik lif ve %0,3 oranında bazalt lif içeren harç karışımında elde

edilmiş ve bu değer referans numunesine göre %62,2 daha fazla basınç dayanımı vermiştir. Çelik lif, bazalt lif ve silis dumanı oranları artıkça basınç dayanımı artmıştır.

- Bazalt lif, çelik lif ve silis dumanın birlikte kullanımı harçların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde olumlu etkileri olmuştur. Harçların donma-çözünme direncine ve yüksek sıcaklık altındaki davranışlarına bazalt lif, çelik lif ve silis dumanın etkileri de araştırılabilir. Ayrıca düşük ve yüksek dayanımlı harçlarda benzer çalışmalar yapılarak matris etkisine bağlı olarak liflerin ve silis dumanın katkısı ortaya konabilir.



KAYNAKLAR

1. Grija S., Duraisamy S., Sekar., A. A Review on Fiber Reinforced Concrete, *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 7(6), 386-392, 2016.
2. Kiremitçi C. A., Çelik Tel Donatılı Ultra Yüksek Performanslı Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2008.
3. Wafa F. F., Properties of Applications of Fiber Reinforced Concrete, *JKAU. Eng. Sci.*, 2, 49-63, 1990.
4. Khan M. I, Siddique R., Utilization of Silica Fume in Concrete: Review of Durability Properties, Resources, Conservation and Recycling, 57, 30-35, 2011.
5. Hannant D. J., *Advanced Concrete Tecgnology*, Volume 4, Chapter 6: Fiber Reinforced Concrete, Elsevier, Burlington, 2003.
6. Mindess S., *Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete*, Chapter 7: Fibrous Concrete Reinforcement, Woodhead Publishing, Florida, 2008.
7. Yerlikaya, M., Çelik Tel Donatılı Betonların Deprem Etkisi Altında Davranışları. Kocaeli Deprem Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 302-304, 2003.
8. Gebman, M., "Application of Steel Fiber Reinforced Concrete in Seismic Beam-Column Joints," MS. Thesis, Civil Engineering Department, San Diego University, Spring 2001, 247 pp.
9. Bayasi Z., Soroushian P., Fiber Type Effects on The Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete, *ACI Materials Journal*, 88, 129-134, 1991.
10. Bantia N., Trottier J.F., Concrete Reinforced with Deformed Steel Fibers Part II: Toughness Characterization, *ACI Materials Journal*, 92, 146-154, 1995.
11. Lee S. J. Et al., Optimal Dimension of Arc-Type Steel Fibre-Reinforced Cementitious Composite for Shotcrete, *Composite Structures*, 152, 600-606, 2016.
12. Song P. S., Hwang S., Mechanical Properties of High-Strength Steel Fiber-Reinforced Concrete, *Connstruction and Building Materials*, 18, 669-673, 2004.

13. Uygunoğlu T., Effect of Fiber Type and Content on Bleeding of Steel Fiber Reinforced Concrete, *Construction and Building Materials*, 25, 766-772, 2011.
14. Ren G. M. et al., Effects of Steel Fiber Content and Type on Static Mechanical Properties of UHPCC, *Construction and Building Materials*, 163, 826-839, 2018.
15. Eren Ö., Çelik T., Effect of Silica Fume and Steel Fibers on Some Properties of High-Strength Concrete, *Construction and Building Materials*, 11, 373-382, 1997.
16. Abbas W. Khan M. I., Mourad S. Evaluation of Mechanical Properties of Steel Fiber Reinforced Concrete with Different Strengths of Concrete, *Construction and Building Materials*, 168, 556-569, 2018.
17. Swamy, R.N., Mangat, P.S., Influence of fibre-aggregate interaction of some properties of SFRC, *Materials and Structures*, 7(41), 307-313, 1974.
18. Swamy, R.N., Fibre reinforcement of cement and concrete evaluation of fibre reinforcement cement and composites, *Materials and Structures*, 19 FRC Commitee, 8(45), 235-254, 1971.
19. Erol H., Çelik Tel İçeren Betonarme Kirişlerin Mekanik Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Bozok Üniversitesi, Yozgat, 2011.
20. Şahin M., Genleştirilmiş Vermikülit Kullanılarak Üretilen Çelik Tel Takviyeli Çimento Esaslı Kompozitlerin Yüksek Sıcaklık Dirençleri, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bozok Üniversitesi, Yozgat, 2011.
21. Aydöner T., Çelik Tel Takviyeli Betonların Mekanik Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2002.
22. Kocabeyoğlu, E. T., Bazalt Lifi İçeren Yüksek Dayanımlı Harçların Yüksek Sıcaklık Dirençleri, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bozok Üniversitesi, Yozgat, 2016.
23. <http://www.compositesworld.com/articles/basalt-fibers-alternative-to-glass>, Nisan 2018.
24. <http://www.spinteks.com/tr~urun~160~bazalt.html>, Nisan 2018.
25. Kabay N., Abrasion Resistance and Fracture Energy of Concretes With Basalt Fiber, *Construction and Building Materials*, 50, 95-101, 2014.

26. Milikty J., Kovačič V., Rubnerová J. Influence of Thermal Treatment on Tensile Failure of Basalt Fibers, *Engineering Fracture Mechanics*, 69, 1025–1033, 2002.
27. Erdoğan G., Bazalt Lif Katkılı Betonların Mekanik ve Geçirimsizlik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2014.
28. Gore, K., Kulkarni Suhasini, M., The Performance of Basalt Fibre in High Strength Concrete, *Journal Of Information, Knowledge and Research in Civil Engineering*, 2(2), 117-124, 2013.
29. Hong G. H., Shin Y.S., Structural Performance Evaluation of Reinforced Concrete Beams with Externally Bonded FRP Sheets, *J Korean ConcInst*, 15(1), 78–86, 2003.
30. Sim J., Park C., Young Moon D. Characteristics of Basalt Fiber as a Strengthening Material for Concrete Structures, *Composites: Part B*, 36, 504-512, 2005.
31. Militly J. Kovačič V., Rubnerová J. Influence of Thermal Treatment on Tensile Failure of Basalt Fibers, *Engineering Fracture Mechanics*, 69 1025-1033, 2002.
32. <http://www.basfibertek.com/>, Nisan 2018.
33. Di Ludovica M., Prota A., Manfredi, G. Structural Upgrade Using Basalt Fibers for Concrete Confinement, *Journal of Composites for Construction ASCE*, 4(5), 541-552, 2010.
34. Rarnalaishnan V., Tolmare S. N., Performance Evaluation of 3-D Basalt Fiber Reinforced Concrete & Basalt Rod Reinforced Concrete, *Idea Program Final Report, Contract No. NCHRP-45*, November, 1998.
35. Branston J., Das S., Kenno Y. S., Taylor C. Influence of Basalt Fibres on Free and Restrained Plastic Shrinkage, *Cement and Concrete Composites*, 74, 182-190, 2016.
36. Iorio M. Santarelli M.L., González-GaitanodG., González-Benito J. Surface Modification and Characterization of Basalt Fibers as Potential Reinforcement of Concretes, *Applied Surface Science*, 427, 1248-1256, 2018.
37. Larrinaga P., Chastre C., Biscaia H. C., San-José J. T. Experimental and Numerical Modeling of Basalt Textile Reinforced Mortar Behavior Under Uniaxial Tensile Stress, *Materials and Design*, 55, 66-74, 2014.

38. Jiang C., Fan K., Wu F., Chen D. Experimental Study on the Mechanical Properties and Microstructure of Chopped Basalt Fibre Reinforced Concrete, *Materials and Design*, 58, 187-193, 2014.
39. Lipatov Y. V., Manylov M.S., Zhukovskaya E.S., Lazoryak B. High Alkali-Resistant Basalt Fiber for Reinforcing Concrete, *Materials and Design*, 73, 60-66, 2015.
40. Bhat T., Kandare E., Gibson A.G., Modicaet P. D., Compressive Softening and Failure of Basalt Fibre Composites in Fire: Modelling and Experimentation, *Composite Structures*, 165, 15-24, 2017.
41. Kizilkanat A., Kabay N., Akyüncü V., Chowdhury S., Akca A. H., Mechanical Properties and Fracture Behavior of Basalt and Glass Fiber Reinforced Concrete: An Experimental Study, *Construction and Building Materials*, 100, 218-224, 2015.
42. Branston J., Das, S., Kenno, S. Y., Taylor, C. Mechanical Behaviour of Basalt Fibre Reinforced Concrete, *Construction and Building Materials*, 124, 878-886, 2016.
43. Dong J. F., Wang Q.Y., Guan Z. W. Material Properties of Basalt Fibre Reinforced Concrete Made with Recycled Earthquake Waste, *Construction and Building Materials*, 130, 241-251, 2017.
44. Katkhuda H., Shatarat N., Improving the Mechanical Properties of Recycled Concrete Aggregate Using Chopped Basalt Fibers and Acid Treatment, *Construction and Building Materials*, 140, 328-335, 2017.
45. Afroz M., Patnaikuni I., Venkatesan S. Chemical Durability and Performance of Modified Basalt Fiber in Concrete Medium, *Construction and Building Materials*, 154, 191-203, 2017.
46. Zhao, Y.-R., Wang, L., Lei, Z.-K., Han, X.-F., Shi, J.-N. Study on Bending Damage and Failure of Basalt Fiber Reinforced Concrete under Freeze-Thaw Cycles, *Construction and Building Materials*, 163, 460-470, 2018.
47. Ma Q., Zhu Y., Experimental Research on the Microstructure and Compressive and Tensile Properties of Nano-SiO₂ Concrete Containing Basalt Fibers, *Underground Space*, 2, 175-181, 2017.
48. Hassani Niaki, M., Fereidoon, A., Ghorbanzadeh Ahangari, M. Experimental Study on the Mechanical and Thermal Properties of Basalt Fiber and Nanoclay Reinforced Polymer Concrete, *Composite Structures*, 191, 231-238, 2018.

49. Alnahhal W., Aljidda O., Flexural Behavior of Basalt Fiber Reinforced Concrete Beams with Recycled Concrete Coarse Aggregates, *Construction and Building Materials*, 169, 165-178, 2018.
50. Quattrociochi, G., Albé, M., Tirilló, J., Sarasini, F., Valente, M., Santarelli M. L., Basalt Fibres As A Sustainable Reinforcement For Cement Based Mortars: Preliminary Study, *WIT Transactions on Engineering Sciences*, Vol 90, 109-120, 2015.
51. Teresa, Z., Krasodomski, W., Study On The Properties of Cement Mortars With Basalt Fibres, *Brittle Matrix Composites 10*, Publisher Elsevier, 155-166, 2012.
52. Asprone, D., Cadoni, E., Lucolano, F., Prota A., Analysis of The Strain-Rate Behavior Of A Basalt Fiber Reinforced Natural Hydraulic Mortar, *Cement & Concrete Composites* 53, 52–58, 2014.
53. Fenu, L., Forni, D., Cadoni E., Dynamic Behaviour Of Cement Mortars Reinforced With Glass And Basalt Fibres, *Composites Part B*, 92, 142-150, 2016.
54. Amuthakkannan, P., Manikandan, V., Winowlin Jappes, J. T., Uthayakumar, M., Effect Of Fibre Length And Fibre Content On Mechanical Properties Of Short Basalt Fibre Reinforced Polymer Matrix Composites, *Materials Physics and Mechanics*, 16, 107-117, 2013.
55. Chen, S., Zhuge, Y., Lu, G. X., Eising, D. R., Flexural Behaviour of Basalt Fibre Reinforced Ferrocement Composite, *Australasian Conference on the Mechanism of Structures and Materials (ACMSM23)*, 2014.
56. Van de Velde, K., Kiekens, P., Van Langenhove, L., Basalt Fibres As Reinforcement For Composites, *Proceedings of 10th International Conference on Composites / Nano Engineering ICCE/10*, International Community for Composites Engineering and College of Engineering, University of New Orleans, 2003.
57. Dimas, A. S. R., Silva, Flávio, D. A., Filho, R. D. T., Gomes, O. D. F. M., Effect of Elevated Temperatures on the Mechanical Behaviour of Basalt Textile Reinforced Refractory Concrete, *Materials & Design (1980-2015)*, Publisher Elsevier, 65, 24-33, 2015.
58. Yeginobalı A., Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı, *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği*, Ankara, Nisan 2007.
59. Şimşek, O., *Beton ve Beton Teknolojisi*, 4. Baskı, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2012.
60. Nawy, E.G., *Concrete Construction Engineering Handbook*, Second Edition, Taylor and Francis Book Co., USA, 2008.

61. Erdoğan, T.Y., Beton, Cilt 1, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara, 2003.
62. Tokyay M., Cement and Concrete Mineral Admixtures, CRC Press, New York, 2016.
63. Akçaözöğlü K., Silis Dumanı İçeren Yüksek Dayanımlı Harçlarda Numune Boy Değişiminin Basınç Dayanımı ve Birim Kısalma Üzerine Etkisi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana 2007.
64. Ekinci C. E. Antalya Etibank Elektrometakurji İşletmesi Silis Dumanlarının Çimento ve Betonda Katkı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 1995.
65. Nochaiya, T., Wongkeo, W., & Chaipanich, A. Utilization of Fly Ash with Silica Fume and Properties of Portland Cement-Fly Ash-Silica Fume Concrete, Fuel, 89, 768-774, 2010.
66. Demirel B., Kelestemur O., Effect of Elevated Temperature on the Mechanical Properties of Concrete Produced with Finely Ground Pumice and Silica Fume, Fire Safety Journal, 45, 385-391, 2010.
67. Song, H.-W., Pack, S.-W., Nam, S.-H., Jang, J.-C., & Saraswathy, V. Estimation of the Permeability of Silica Fume Cement Concrete, Construction and Building Materials, 24, 315-321, 2010.
68. Chung, C.-W., Shon, C.-S., & Kim, Y.-S. Chloride Ion Diffusivity of Fly Ash and Silica Fume Concretes Exposed to Freeze-Thaw Cycles, Construction and Building Materials, 24, 1739-1745, 2010.
69. Kelestemur O., Demirel B., Corrosion Behavior of Reinforcing Steel Embedded in Concrete Produced with Finely Ground Pumice and Silica Fume, Construction and Building Materials, 24, 1898-1905, 2010.
70. Benaicha, M., Roguiez, X., Jalbaud, O., Burtschell, Y., & Alaoui, A. H. Influence of Silica Fume and Viscosity Modifying Agent on the Mechanical and Rheological Behavior of Self Compacting Concrete, Construction and Building Materials, 84, 103-110, 2015.
71. Wang, D., Zhou, X., Meng, Y., & Chen, Z. Durability of Concrete Containing Fly Ash and Silica Fume Against Combined Freezing-Thawing and Sulfate Attack, Construction and Building Materials, 147, 398-406, 2017.
72. Pedro, D., de Brito, J., & Evangelista, L. Evaluation of High-Performance Concrete with Recycled Aggregates: Use of Densified Silica Fume as Cement Replacement, Construction and Building Materials, 147, 803-814, 2017.

73. Ju, Y., Tian, K., Liu, H., Reinhardt, H.-W., & Wang, L. Experimental Investigation of the Effect of Silica Fume on the Thermal Spalling of Reactive Powder Concrete, *Construction and Building Materials*, 155, 571-583, 2017.
74. Mohan A, Mini K. M., Strength and Durability Studies of SCC Incorporating Silica Fume and Ultra Fine GGBS, *Construction and Building Materials*, 171, 919-928, 2018.
75. Hassan, A. A. A., Lachemi, M., & Hossain, K. M. A. Effect of Metakaolin and Silica Fume on the Durability of Self-Consolidating Concrete, *Cement and Concrete Composites*, 34, 801-807, 2012.
76. Farahani, A., Taghaddos, H., & Shekarchi, M. Prediction of Long-Term Chloride Diffusion in Silica Fume Concrete in a Marine Environment, *Cement and Concrete Composites*, 59, 10-17, 2015.
77. Çakır Ö., Sofyanlı Ö. Ö., Influence of Silica Fume on Mechanical and Physical Properties of Recycled Aggregate Concrete, *HBRC Journal*, 11, 157-166, 2015.
78. Mohamed H. A., Effect of Fly Ash and Silica Fume on Compressive Strength of Self-Compacting Concrete under Different Curing Conditions, *Ain Shams Engineering Journal*, 2, 79-86, 2011.
79. Elshafie S, Whittleston G, A Review of The Effect of Basalt Fibre Lengths and Proportions on The Mechanical Properties of Concrete. *IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology*, 4(1), 458-465 2015.
80. Jia T. F., Liu H. W., Chu F.J., Sun H., Yang S. W., Yang T.Y. Water Absorption of Basalt Fiber Reinforced Cement. *Advanced Materials Research*, 627, 823-826, 2013.
81. Brandt, A.M. *Cement-based Composites: Materials, Mechanical Properties and Performance*. E & FNSPON, London. 1995.
82. Saricimen H., Maslehuddin M., Al-Tayyib A.J., and Al-Mana A. I. Permeability and durability of plain and blended cement concretes cured in field and laboratory conditions. *ACI Materials Journal*, No.12, March-April, 92(1995) 111-116.
83. Song, H.-W., Pack, S.-W., Nam, S.-H., Jang, J.-C., & Saraswathy, V. Estimation of the Permeability of Silica Fume Cement Concrete. *Construction and Building Materials*, 24, 315-321, 2010.

- 84.** Behbahani H. P., Nematollahi B., Mohd. Sam A. R., Lai F. C. Flexural Behavior of Steel-Fiber-Added-Rc (Sfarc) Beams with C30 and C50 Classes of Concrete. *International Journal of Sustainable Construction Engineering & Technology*, 3(1), 54-64, 2012.
- 85.** Chakraborty P., Investigation on Flexural Strength of High Strength Silica Fume Concrete. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(3), 1722-1726, 2017.
- 86.** Mydin O. Sani N. Md., Mohd Yusoff M.A. and Ganesan S. Determining the Compressive, Flexural and Splitting Tensile Strength of Silica Fume Reinforced Lightweight Foamed Concrete. *Advanced Green Material and Technology Symposium (AGMTS 2014)*, 17, 1-6, 2014.
- 87.** Bhanjaa S, Sengupta B., Influence of Silica Fume on The Tensile Strength of Concrete. *Cement and Concrete Research*, 35(4), 743–747, 2005.
- 88.** Ramadevi K., Chithra R., Rajesh B. Experimental Study on Strength Properties of Concrete with Different Aspect Ratios of Basalt Fibre. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 8 (9), 629-637, September 2017.
- 89.** Borhan T. M., Thermal and Mechanical Properties of Basalt Fibre Reinforced Concrete. *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Civil and Environmental Engineering*, 7(4),334-337, 2013.
- 90.** Mehta P.K., and Monteiro P.J.M., *Concrete: Structure. Properties. and Materials*, p. 271, Prentice Hall, Second Edition, 1993.
- 91.** Nagataki S., “Mineral Admixtures in Concrete: State of the Art and Trends,” *Proceedings on Concrete Technology: Past, Present, and Future*, SP-144, American Concrete Institute, Detroit, 447, 1994.
- 92.** Cong X., Gong S., Darwin D., and McCable S., “Role of Silica Fume in Compressive Strength of Cement Paste, Mortar, and Concrete,” *ACI Journal of Materials*, 89, 375, 1992.
- 93.** Darwin D., Shen Z., and Harsh S., Silica Fume, Bond Strength, and the Compressive Strength of Mortar. *Bonding in cementitious Composites*, S. Mindess and S. P. Shah, Editors, Materials Research Society, Symposium Proceedings, 114, 105, 1988.
- 94.** Dahake A., Effect of Steel Fibers on Strength of Concrete. *J. Eng. Sci. Manage. Educ.*, 9(I), 45-51, 2016.

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Kozaklı’da doğan Mahmut Sami YILDIRIM, orta ve lise öğrenimini sırasıyla Abdi Köyü İlköğretim okulu, Sulusaray Pansiyonlu İlköğretim okulu, Ürgüp Lisesinde tamamlamıştır. 2005 yılında kazandığı Erciyes Üniversitesi Yozgat Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü 2010 yılında başarıyla bitirmiştir.

2010 yılında yüksek lisans eğitimine Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında başlamıştır. Prof. Dr. Fuat KÖKSAL danışmanlığında hazırladığı “Silis Dumanı, Çelik ve Bazalt Liflerin Harçların Mekanik Özelliklerine Ortak Etkisi” başlıklı teziyle 2019 yılında mezun olmuştur.

İletişim Bilgileri

Adres : Aşağı Nohutlu Mah. Sinema Sok. Celal Tonus Apt.8/2 Merkez

66100 YOZGAT

Telefon: (354) 217 24 00

Faks: (354) 217 24 00

E-posta: msyildirim50@hotmail.com