

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

Yüksek Lisans Tezi

BAZALT LİF İÇEREN YÜKSEK DAYANIMLI
HARÇLARIN YÜKSEK SICAKLIK DİRENÇLERİ

Elif Tuğçe KOCABEYOĞLU

Tez Danışmanı
Doç. Dr. Fuat KÖKSAL

Yozgat 2016

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

Yüksek Lisans Tezi

**BAZALT LİF İÇEREN YÜKSEK DAYANIMLI
HARÇLARIN YÜKSEK SICAKLIK DİRENÇLERİ**

Elif Tuğçe KOCABEYOĞLU

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Fuat KÖKSAL**

Yozgat 2016

T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAYI

Enstitümüzün İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı 70110714002 numaralı öğrencisi Elif Tuğçe KOCABEYOĞLU'nun hazırladığı “**Bazalt Lif İçeren Yüksek Dayanımlı Harçların Yüksek Sıcaklık Dirençleri**” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezi ile ilgili TEZ SAVUNMA SINAVI, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca 09/12/2016 Cuma günü saat 10:00'da yapılmış, tezin onayına ~~OY ÇOKLUĞU~~ / OY BİRLİĞİYLE karar verilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Fatih ALTUN



Üye : Doç. Dr. Fuat KÖKSAL (Danışman)



Üye : Yrd. Doç Dr. Yuşa ŞAHİN



ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun ...19.../12.../20.16... tarih ve38..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

19.../12.../2016



Doç. Dr. Fuat KÖKSAL
Müdür

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	3
2.1 Bazalt Lifler.....	3
2.2 Bazalt Liflerin Üretimi.....	5
2.3 Bazalt Liflerin Fiziksel Özellikleri.....	7
2.4 Bazalt Liflerin Kimyasal Yapısı.....	8
2.5. Bazalt Liflerin Kullanım Alanları	8
2.6 Bazalt Lif Donatılı Harçlar.....	14
2.7 Bazalt Lif Donatılı Betonlar	17
2.8 Bazalt Lif Donatılı Polimer Esaslı Kompozitler	22
3. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	25
3.1. Kullanılan Malzemeler.....	25
3.1.1. Çimento.....	25
3.1.2. Silis Dumanı	26
3.1.3. İnce Agrega.....	27
3.1.4. Bazalt Lif	28
3.1.5. Akışkanlaştırıcı	29
3.1.6. Karışım Suyu	29
3.2. Karışım Oranları ve Üretim	29
3.2.1. Numune Üretimi	30
3.3. Deneyler	31
3.3.1. Taze Harç Deneyleri	31
3.3.1.1. Birim Ağırlık Deneyi.....	31

3.3.1.2. Yayılma Tablası Deneyi.....	31
3.3.2. Numunelerin Sıcaklık Etkisi Uygulaması.....	32
3.3.3. Sertleşmiş Harç Deneyleri	32
3.3.3.1. Kuru Birim Hacim Ağırlık ve Porozite Deneyleri	32
3.3.3.2. Eğilme Dayanımı Tayini	33
3.3.3.3 Basınç Dayanımı	34
3.3.2.4 Ultrases Geçiş Hızlarının Belirlenmesi	35
4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	36
4.1. Kuru Birim Hacim Ağırlık	41
4.2. Su Emme	47
4.3. Porozite	53
4.4.Ultrases Geçiş Hızı.....	59
4.5 Eğilme Dayanımı	66
4.6. Basınç Dayanımı	72
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	80
KAYNAKLAR	84
ÖZGEÇMİŞ.....	88

BAZALT LİF İÇEREN YÜKSEK DAYANIMLI HARÇLARIN YÜKSEK SICAKLIK DİRENÇLERİ

Elif Tuğçe KOCABEYOĞLU

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

2016; Sayfa: 88

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Fuat KÖKSAL

ÖZET

Bu çalışmada bazalt lif ilave edilerek üretilen harçların yüksek sıcaklık etkisindeki davranışları incelenmiştir. Kısa kesilmiş bazalt lifler %0, %0,2, %0,4 ve %6 oranlarda harç karışımlarına ilave edilerek numuneler üretilmiştir. Standart küre tabii tutulan harç numuneler 20°C, 300 °C, 600 °C ve 900 °C sıcaklık etkisini sonrası kendiliğinden (normal) ve ani soğumaya (su içerine konularak) bırakılmışlardır. Soğuma sonrası harç numuneler üzerinde fiziksel özelliklerin belirlenmesi amacıyla kuru birim ağırlık, boşluk oranı, su emme ve ultrases geçiş hızı deneyleri yapılmıştır. Mekanik dayanımların tespiti için ise eğilme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır.

Sıcaklık etkisi sonrası harçların kuru birim ağırlıklarında azalma gözlenirken, buna karşılık bazalt lif içeren karışımların boşluk oranı ve su emme değerlerinde referans numuneye kıyasla daha az artış elde edilmiştir. Bazalt lif takviyeli harç numunelerin sıcaklık sonrası ultrases geçiş hızlarındaki azalma referans numunelere kıyasla daha az elde edilmiştir. Harçların eğilme ve basınç dayanımlarındaki sıcaklık sonrası kayıp oranlarının ise bazalt lif içeriği arttıkça azaldığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bazalt lif, yüksek sıcaklık, yüksek dayanımlı harç.

**HIGH TEMPERATURE RESISTANCE OF HIGH STRENGTH MORTARS
CONTAINING BASALT FIBER**

Elif Tuğçe KOCABEYOĞLU

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

2016; Page: 88

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Fuat KÖKSAL

ABSTRACT

In this thesis, the behavior of mortar, produced by adding basalt fibers, is investigated at elevated temperatures. Mortar specimens were produced by addition of basalt fibers to the mix at 0%, 0.2%, 0.4% and 0.6% percentages. After standard curing, mortar specimens were subjected to the temperatures of 20°C, 300 °C, 600 °C and 900 °C, and then, they left to self-cooling (normal) and instantaneous cooling (in water). In order to determine the physical properties such as dry unit weight, void ratio, water absorption and ultrasound tests were made on mortar specimens after cooling. Besides, flexural and compression tests were made for the mechanical strengths of mortars.

Although dry unit weight of mortar specimens decreased, however void ratio and water absorption of the mixtures including basalt fiber were increased less than reference specimens after application of temperatures. A less reduction on ultrasonic pulse velocity mortar specimens reinforced by basalt fibers was obtained with respect to reference mortar specimens. It was also observed that loss ratios on flexural and compression strengths decreased by increasing of basalt fiber content.

Keywords: Basalt fiber, high temperature, high strength mortar.

TEŞEKKÜR

Öncelikle çalıŐmalarım boyunca bilgi ve tecrübesi ile bana her konuda yardımcı olan çok değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Fuat KÖKSAL'a en içten teŐekkürlerimi sunmak isterim.

Yüksek lisans eğitimimin ders aŐamasından tezimin tamamlanmasına kadar geçen süre içerisinde her türlü destek ve yardımlarını esirgemeyen baŐta Sayın Yrd. Doç. Dr. Yuşa ŞAHİN'e, emeği geçen Bozok Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde görev yapan değerli hocalarıma, hem eğitim hem de deneysel çalıŐmalarım tamamlanıncaya kadar geçen süre içerisinde her aşamada bana yardımcı olan değerli arkadaŐım Yunus GÜNDÜZ'e teşekkür ederim.

Hayatta desteklerini benden esirgemeyen ve hiçbir konuda beni yalnız bırakmayan sevgili babam Taylan KOCABEYOğLU'na, başarabileceğime inanan ve güvenen sevgili annem Zekiye KOCABEYOğLU'na, her zaman her konuda en büyük destekçim olan kardeŐim Batuhan KOCABEYOğLU'na ve dualarını benden esirgemeyen anneannem Nuriye KÖKSAL'a teşekkür ederim.

TABLolar LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Bazalt Lifin Tipik Özellikleri.....	7
Tablo 2.2. Bazalt Liflerin Tipik Kimyasal Bileşimi.....	8
Tablo 3.1. CEM I 42,5 R Portland Çimentosunun Özellikleri.....	25
Tablo 3.2. Çalışmada Kullanılan Silis Dumanının Özellikleri.....	26
Tablo 3.3. Çalışmada Kullanılan Bazalt Lifin Özellikleri.....	28
Tablo 3.4. Harç Karışım Miktarları.....	29
Tablo 4.1. Numunelerin Kuru Birim Ağırlık Deney Sonuçları.....	41
Tablo 4.2. Numunelerin Su Emme Oranları.....	47
Tablo 4.3. Numunelerin Porozite Değerleri.....	53
Tablo 4.4. Numunelerin Ultrases Geçiş Hızları.....	59
Tablo 4.5. Numunelerin Eğilme Dayanımları.....	66
Tablo 4.6. Numunelerin Basınç Dayanımları.....	73

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Bazalt Liflerin Üretim Şeması.....	6
Şekil 2.2. Makara Üzerindeki Bazalt Lifler.....	6
Şekil 2.3. İlk Bazalt Lif Takviyeli Rıhtım.....	11
Şekil 2.4. Demiryolu Döşemesinde Bazalt Lif Kullanımı.....	11
Şekil 3.1. Çalışmada Kullanılan Silis Dumanı.....	27
Şekil 3.2. İnce Agregaya Ait Tane Dağılım Eğrisi.....	27
Şekil 3.3. Çalışmada Kullanılan Bazalt Lif.....	28
Şekil 3.4. 24 Saat Kalıpta Bekletilen Numuneler.....	30
Şekil 3.5. 28 Günlük Numuneler.....	31
Şekil 3.6. Yayılma Tablası Deney Aleti.....	31
Şekil 3.7. Eğilme Deney Düzeneği.....	33
Şekil 3.8. Basınç Dayanımı Deney Düzeneği.....	34
Şekil 3.9. Ultra Ses Geçiş Hızının Belirlenmesi.....	35
Şekil 4.1. Numunelerin 300 °C Sıcaklığa Maruz Bırakıldıktan Sonraki Durumu.....	36
Şekil 4.2. Numunelerin 600 °C Sıcaklığa Maruz Bırakıldıktan Sonraki Durumu.....	37
Şekil 4.3. Numunelerin 900 °C Sıcaklığa Maruz Bırakıldıktan Sonraki Durumu.....	37
Şekil 4.4. Numunelerin 300 °C Sıcaklığa Maruz Bırakıldıktan Sonraki Normal Soğuma Durumu.....	38
Şekil 4.5. Numunelerin 300 °C Sıcaklığa Maruz Bırakıldıktan Sonraki Ani Soğuma Durumu.....	38
Şekil 4.6. Numunelerin 600 °C Sıcaklığa Maruz Bırakıldıktan Sonraki Normal Soğuma Durumu.....	39
Şekil 4.7. Numunelerin 600 °C Sıcaklığa Maruz Bırakıldıktan Sonraki Ani Soğuma Durumu.....	39
Şekil 4.8. Numunelerin 900 °C Sıcaklığa Maruz Bırakıldıktan Sonraki Normal Soğuma Durumu.....	40

Şekil 4.9. Numunelerin 900 °C Sıcaklığa Maruz Bırakıldıktan Sonraki Ani Soğuma Durumu.....	40
Şekil 4.10. Bazalt Lifsiz Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Değişimi	42
Şekil 4.11. %0,2 Bazalt Lifli Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Değişimi	43
Şekil 4.12. %0,4 Bazalt Lifli Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Değişimi	44
Şekil 4.13. %0,6 Bazalt Lifli Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Değişimi	45
Şekil 4.14. Numunelerin Kuru Birim Ağırlığının Sıcaklığa Bağlı Bazalt Lif İçeriği İle Değişimi (Normal Soğuma)	46
Şekil 4.15. Numunelerin Kuru Birim Ağırlığının Sıcaklığa Bağlı Bazalt Lif İçeriği İle Değişimi (Ani Soğuma).....	46
Şekil 4.16. Bazalt Lifsiz Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Su Emme Oranın Değişimi	48
Şekil 4.17. %0,2 Bazalt Lifli Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Su Emme Oranın Değişimi.....	49
Şekil 4.18. %0,4 Bazalt Lifli Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Su Emme Oranın Değişimi.....	50
Şekil 4.19. %0,6 Bazalt Lifli Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Su Emme Oranın Değişimi.....	51
Şekil 4.20. Numunelerde Su Emme Oranın Sıcaklığa Bağlı Bazalt Lif İçeriği İle Değişimi (Normal Soğuma).....	52
Şekil 4.21. Numunelerde Su Emme Oranın Sıcaklığa Bağlı Bazalt Lif İçeriği İle Değişimi (Ani Soğuma).....	52
Şekil 4.22. Bazalt Lifsiz Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Porozitenin Değişimi	54
Şekil 4.23. %0,2 Bazalt Lifli Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Porozitenin Değişimi	55
Şekil 4.24. %0,4 Bazalt Lifli Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Porozitenin Değişimi	56

Şekil 4.25. %0,6 Bazalt Lifli Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Porozitenin Değişimi	57
Şekil 4.26. Numunelerde Porozitenin Sıcaklığa Bağlı Bazalt Lif İçeriği İle Değişimi (Normal Soğuma).....	58
Şekil 4.27. Numunelerde Porozitenin Sıcaklığa Bağlı Bazalt Lif İçeriği İle Değişimi (Ani Soğuma)	58
Şekil 4.28. Bazalt Lifsiz Numunelerin Normal ve Ani Soğuma Tiplerinde Ultrases Geçiş Hızının Sıcaklığa Bağlı Değişimi.....	60
Şekil 4.29. %0,2 Oranlı Bazalt Lifli Numunelerin Normal ve Ani Soğuma Tiplerinde Ultrases Geçiş Hızının Sıcaklığa Bağlı Değişimi.....	61
Şekil 4.30. %0,4 Oranlı Bazalt Lifli Numunelerin Normal ve Ani Soğuma Tiplerinde Ultrases Geçiş Hızının Sıcaklığa Bağlı Değişimi.....	62
Şekil 4.31. %0,6 Oranlı Bazalt Lifli Numunelerin Normal ve Ani Soğuma Tiplerinde Ultrases Geçiş Hızının Sıcaklığa Bağlı Değişimi.....	63
Şekil 4.32. Numunelerin Ultrases Geçiş Hızlarının Sıcaklığa Bağlı Bazalt Lif İçeriği İle Değişimi (Normal Soğuma).....	65
Şekil 4.33. Numunelerin Ultrases Geçiş Hızlarının Sıcaklığa Bağlı Bazalt Lif İçeriği İle Değişimi (Ani Soğuma).....	65
Şekil 4.34. Bazalt Lifsiz Numunelerin Normal ve Ani Soğuma Tiplerinde Eğilme Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi	67
Şekil 4.35. %0,2 Oranlı Bazalt Lifli Numunelerin Normal ve Ani Soğuma Tiplerinde Eğilme Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi	68
Şekil 4.36. %0,4 Oranlı Bazalt Lifli Numunelerin Normal ve Ani Soğuma Tiplerinde Eğilme Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi	69
Şekil 4.37. %0,6 Oranlı Bazalt Lifli Numunelerin Normal ve Ani Soğuma Tiplerinde Eğilme Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi	70
Şekil 4.38. Numunelerin Eğilme Dayanımlarının Sıcaklığa Bağlı Bazalt Lif İçeriği İle Değişimi (Normal Soğuma).....	71
Şekil 4.39. Numunelerin Eğilme Dayanımlarının Sıcaklığa Bağlı Bazalt Lif İçeriği İle Değişimi (Ani Soğuma).....	71
Şekil 4.40. Bazalt Lifsiz Numunelerin Normal ve Ani Soğuma Tiplerinde Basınç Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi	74

Şekil 4.41. %0,2 Oranlı Bazalt Lifli Numunelerin Normal ve Ani Soğuma Tiplerinde Basınç Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi	75
Şekil 4.42. %0,4 Oranlı Bazalt Lifli Numunelerin Normal ve Ani Soğuma Tiplerinde Basınç Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi	76
Şekil 4.43. %0,6 Oranlı Bazalt Lifli Numunelerin Normal ve Ani Soğuma Tiplerinde Basınç Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi	77
Şekil 4.44. Numunelerin Basınç Dayanımlarının Sıcaklığa Bağlı Bazalt Lif İçeriği İle Değişimi (Normal Soğuma).....	78
Şekil 4.45. Numunelerin Basınç Dayanımlarının Sıcaklığa Bağlı Bazalt Lif İçeriği İle Değişimi (Ani Soğuma).....	78

KISALTMALAR LİSTESİ

EN	:	Avrupa Normu
TS	:	Türk Standartları
PP	:	Polipropilen
SD	:	Silis Dumanı
Si	:	Silis
YDB	:	Yüksek Dayanımlı Beton
μs	:	Mikro saniye
MPa	:	Megapascal
GPa	:	Gigapascal
L	:	Lif Boyu
d	:	Lif Çapı
L/d	:	Lif Narinliği
S/Ç	:	Su / Çimento oranı
V_f	:	Lif Oranı
BL	:	Bazalt Lif
NS	:	Normal Soğuma (Soğuma Tipi)
AS	:	Ani Soğuma (Soğuma Tipi)
R	:	Referans
BL0	:	Bazalt Lif Oranı %0 olan Numuneler
BL2	:	Bazalt Lif Oranı %0,2 olan Numuneler
BL4	:	Bazalt Lif Oranı %0,4 olan Numuneler
BL6	:	Bazalt Lif Oranı %0,6 olan Numuneler
BL0-R	:	Bazalt Lif Oranı %0 olan Referans Numuneler
BL2-R	:	Bazalt Lif Oranı %0,2 olan Referans Numuneler
BL4-R	:	Bazalt Lif Oranı %0,4 olan Referans Numuneler
BL6-R	:	Bazalt Lif Oranı %0,6 olan Referans Numuneler

1. GİRİŞ

Beton; çimento, su, agrega ve ihtiyaç olduğunda bazı mineral ve kimyasal katkı maddelerinin birlikte karıştırılması ile oluşan bir yapı malzemesidir [1]. Zamanla, farklı özelliklerde, farklı katkı malzemeleriyle kullanım amacına uygun beton tasarımları geliştirilmiştir. Bu amaçla; su altında dökülebilen beton, hafif beton, ağır beton, prekast beton, lifli beton ve kendiliğinden yerleşen beton çeşitleri bulunmaktadır. Betonun çekme dayanımı basınç dayanımına kıyasla düşüktür ve basınç dayanımının yaklaşık %10'u kadardır [2]. Beton plastik şekil değiştirme özelliği çok düşük ve yarı gevrek olan bir malzemedir. Bu nedenle ihtiyaç duyulduğunda beton içerisine bu ani kırılmayı önleyecek ve sünek davranış kazandıracak malzemeler ilave edilmektedir. Beton içerisine her ne kadar çelik donatılar yerleştirilerek betonun az da olsa gevrekliği engellenmek istenmişse de akma dayanımına ulaşan çeliğin kopması ile tekrar gevrek kırılma meydana gelmektedir. Betonda ani kırılmayı önleyebilmek ve betonun sünekliğini arttırabilmek için beton içerisine farklı mekanik ve fiziksel özelliğe sahip lifler katılabilmektedir. Malzemeler, özellikle eğilme, çekme ve çarpma dayanımları gibi mekanik dayanımlarının iyileştirilmesi, gevrek kırılma özelliğinin kısmen giderilebilmesi amacıyla liflerle takviye edilebilmektedir [3]. Son yıllarda lif takviyeli betonların kullanımları oldukça yaygınlaşmıştır. Lifli betonlar kompozit malzeme gurubunun lifli kompozitler alt sınıfında yer almaktadır ve ortamı saran matris malzemesi genellikle çimento hamurudur. Matrisin görevi lifleri bir arada tutmak ve liflerle gerilme transferi sağlamaktır [4].

En az 3500 yıl kadar eski bir tarihe sahip olan lifler ilk olarak saman lifleri ile güçlendirilmiş pişmiş tuğlaların kullanılması ile inşa edilen Bağdat yakınlarındaki 57m yükseklikteki Aqar Quf'un yapımında kullanılmıştır. Yakın zamanda ise çimento ürünlerini güçlendirmek için yaklaşık 100 yıl öncesine kadar asbest lifleri, 50 yıl öncesine kadar selüloz lifler, 30 yıl öncesine kadar ise polipropilen ve cam lifler takviye malzemesi olarak kullanılmıştır [5].

Lifli betonlarda, bütün lif çeşitlerinde sağlanması gereken en önemli şart, liflerin beton içerisinde homojen olarak dağılması ve bu dağılımın beton karıştırıldıktan

sonra da bozulmamasıdır. Homojen bir şekilde dağılan lifler, beton içerisinde çatlak oluşumunu geciktirir ve çatlakların beton içerisinde ilerlemesini yavaşlatarak betonun daha sünek olmasını sağlar. Lifli betonları normal betonlardan ayıran en önemli mekanik özelliklerinden biri tokluklarıdır. Tokluk bir malzemenin göçme anına kadar enerji yutma kapasitesini ifade eder. Çatlak direnci, darbe direnci ve kırılma şekli gibi birçok malzeme özelliği enerji yutabilme kapasitesi ile ilişkilidir [6,7].

Günümüzde lifli beton üretiminde en yaygın olarak kullanılan lif tipleri çelik ve polimer liflerdir. Bunun yanı sıra son yıllarda bu liflere alternatif olabileceği düşünülen doğal lifler ile ilgili yapılan çalışmaların sayısında da artış gözlemlenmiştir [8]. Doğal bir lif türü olan bazalt lifler ile ilgili yapılan çalışmaların sayısında da artış görülmektedir. Ayrıca bazalt liflerin inşaat sektöründe kullanımı zamanla daha yaygın bir hale gelmektedir [8].

Bazalt lifler, genel olarak yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan, kimyasal olarak pasif ve aşınma direnci yüksek malzemelerin üretiminde kullanılırlar [9]. Bazalt lifleri sıcaklığa karşı direnç, dayanım ve kalıcılık yönünden güçlü kılan özelliği volkanik kayalardan elde edilmesidir. Bazalt lifler, bazalt kayacının erime işlemlerinden geçirilip ince lifler halinde ayrılması ve daha sonra istenilen uzunluklarda kırılmasıyla elde edilirler. Lif üretimi işlemleri sırasında herhangi bir katkı malzemesi kullanılmamaktadır. Bu durum lif üretim maliyetini olumlu yönde etkilemektedir [10].

Bu çalışma, bazalt lif takviyeli yüksek dayanımlı harçların basınç ve eğilme dayanımlarının yüksek sıcaklık ve farklı soğuma etkisi altında nasıl bir davranış sergileyeceğinin araştırılmasını içermektedir. Yapılan deneysel çalışmada bazalt lif ile takviye edilen yüksek dayanımlı harçlar farklı yüksek sıcaklık etkilerine maruz bırakıldıktan sonra, şoklama ve laboratuvar ortamında soğumaya tabi tutulmuşlardır. Bu şekilde lif takviyeli harçların bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin yüksek sıcaklık etkisindeki davranışlarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1 Bazalt Lifler

Bazalt kayaçların bilinen ilk doğal ergimiş hali, Hawaii adalarındaki volkanların lav püskürtmesi neticesinde tesadüfen keşfedilmiştir ve 1840'da Swansea Üniversitesi'nin Bazalt Taş Yünü imalatı ile ilk bazalt kayaç ürünü olarak ortaya çıkmıştır [11].

Paul Dhé [12], bazalt kayaçlardan lif çıkarma düşüncesinin ilk sahibi olmuştur ve 1923 yılında ise ABD'den bazalt kayaçlardan lif üretimi ile ilgili ilk patenti almıştır. 1960 yıllarında ABD ve eski Sovyetler Birliği (SSCB) bazalt lif uygulamaları ile ilgili araştırmaya başlamıştır. Bu çalışmalarda özellikle bazalt liflerin askeri donanımlardaki uygulamaları araştırılmıştır. Büyük bazalt oluşumlarının bulunduğu kuzeybatı ABD'de, bazalt liflerin fizikokimyasal özellikleri ve bazalt kimyasal bileşimi ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır [12]. Ancak 1970 yıllarında, ABD cam şirketleri ürün geliştirme stratejilerinde yaptıkları değişiklikten dolayı bazalt lif araştırmalarını terk etmiştir. Aynı dönemlerde, Doğu Avrupa'da Moskova, Prag ve diğer yerlerde bağımsız gruplar tarafından 1950'li yıllarda yürütülen bazalt liflerle ilgili araştırmalar eski SSCB'nin Savunma Bakanlığı ve Ukrayna Kiev'deki çoğunluk tarafından araştırılmaya devam edilmiştir. Bu bölgelerde daha önceden kapatılmış olan birçok fabrika ve enstitülerde bazalt lif teknolojisi geliştirilmeye başlanmıştır [12].

Bazalt kaya yer kabuğunun üçte birini oluşturan lav kökenli bir kayaç olduğundan ham madde olarak kolayca bulunur ve pahalı değildir. Üretilecek lifin iyi niteliklere sahip olması için kullanılacak bazalt kaynağının özellikleri önemlidir. Bazalt kayanın eritilmesiyle elde edilen lavın soğuma hızı, zaman içinde hava ile olan etkileşimi, kimyevi bileşimi gibi değişkenler nitelikli bir bazalt lif üretebilmek için oldukça önemlidir [13]. Günümüzde bazalt lif üretimini yaygın olarak yapan sadece üç ülke bulunmaktadır. Bu ülkeler Ukrayna, Rusya ve Çin'dir [12].

Bazalt kayadan yapılan lifler hava veya su ile toksik reaksiyona girmezler ve yanmazlar. Üretilirken diğer kimyasallarla sağlığı ve çevreyi tehdit edebilecek

kimyasal bir reaksiyona girmezler. Bazalt kompozitler çelik ve bilinen diğer güçlendirme plastiklerinin yerini alabilirler (1kg bazalt güçlendirme 9,6 kg çeliğe eşittir). Bazalt neredeyse tüm uygulamalarda 3 kat daha iyi ısı yalıtım özelliğine sahip olması nedeniyle asbestin yerini alabilir. Bazalt kolayca ulaşılabilen bir kaya olduğundan bazalt lifin maliyeti cam lifin maliyetinden 10 kat daha düşüktür. Üstelik erime sıcaklığı düşük olduğundan enerji tüketimi azdır. Bu yüzden maliyeti de daha düşüktür. Böylece araştırmacıların ve çalışanların tesis yapıp, işletmesine gerek yoktur [14].

Fibres Unlimited B.V. [15] bazalt liflerin performans açısından polipropilen ve poliakrilonitril liflerin yerini bütünüyle alabileceği ifade etmiştir. Son zamanlarda kaynakların azalmasından dolayı çevre korunmalıdır. Üstün özellikleri ile birlikte çatlak dayanımı, darbe dayanımı, geçirmezlik, don direncinden dolayı bazalt lifin kalıcılığı yüksektir. Lif kullanımıyla maliyet artacak olmasına rağmen lifli betonun iyileşmiş özellikleri göz önüne alındığında servis ömrünün uzaması sonucunda toplam maliyet azalır. Betonun yüksek performansından dolayı uygulama alanı artmakta ama yine de betonun gevrek ve çatlak performansı önemini korumaktadır. Yüksek dayanımlı betonun özelliklerinin gelişimini etkili lif plastik ve büzülme çatlağı engelleyebilir. Bu yüzden bazalt lif için geniş bir uygulama beklentisi vardır. Bazalt lifin karışım, dökme ve şekillendirmeye olumsuz etkileri yoktur. Üstelik betonun kohezyon ve stabilitesini geliştirebilir. Lifin miktarına bağlı betonun dayanımı artar, gevreklik düşer. Bu yüzden yol ve köprü yüzeylerinde betonun gelişmiş mekanik özelliklere sahip olması istenir. Bazalt lif betonun sızdırmazlık (geçirimsizlik), donma-çözülme döngülerini iyileştirir. Polipropilen lif, poliakrilonitril lif ve bazalt lif karşılaştırıldığında bazalt lif daha iyi yaşlanma karşıtı özellik gösterir. Bazalt lifler kalıcılık ve yüksek ısı özellik sonucu olarak limanlarda, köprülerde soğuk bölgelerde kullanılabilir [15].

Mekanik, kimyasal ve termal performansları sayesinde bazalt lifler birçok endüstri, bina ve yapılardan enerji etkilerine kadar, otomotivden havacılığa kadar birçok alanda kullanılmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı bazalt lifin cam life oranla ilerlemesi daha hızlı olmaktadır. Bazalt liflerin maliyetleri bazalt lifin kalitesine, kimyasal kompozisyonuna ve ham maddesine bağlıdır. Bunlar liflerin farklı tipte,

farklı termal, kimyasal ve mekanik özellikleri olmasını sağlar. Bazalt lifler otomotiv endüstrisi ve tüketici uygulamaları, altyapı yapı uygulamaları için yeni nesil malzemeler olma potansiyeline sahiptirler [16].

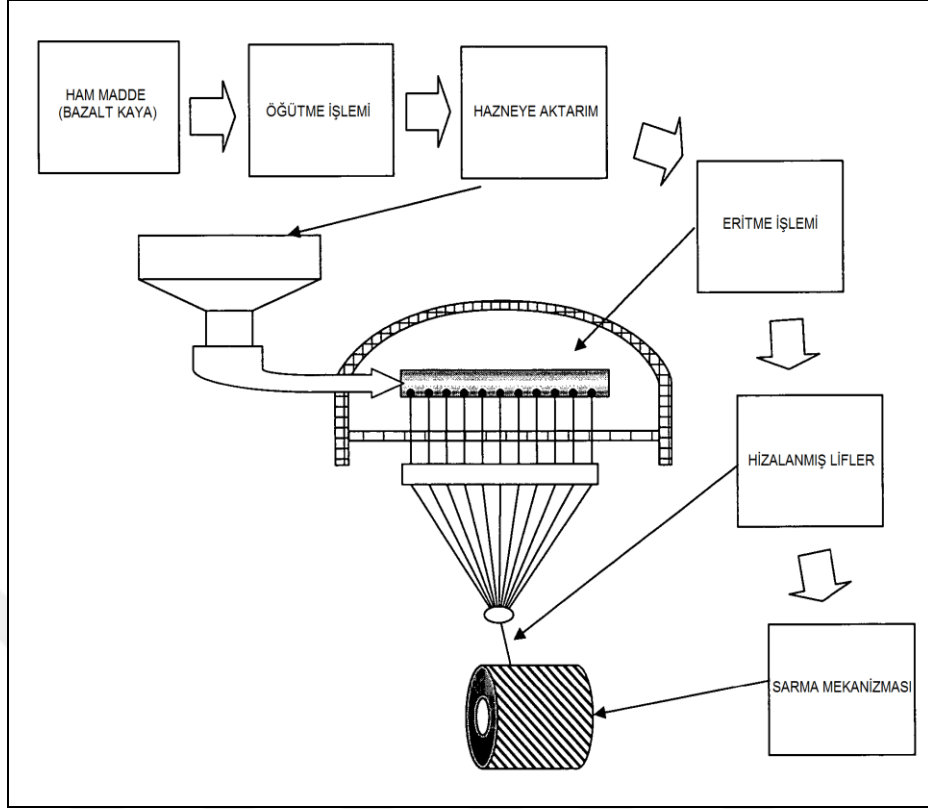
Bazalt lifler çevre dostu ve zararsız malzemelerdir. Bazalt lif yeni bir malzeme değildir, ayrıca birçok endüstri alanında enerji verimliliği, iyi mekanik, kimyasal ve ısıl performanslarından dolayı yenilikçi bir malzemedir. Bu yüzden bazalt lifler özellikle geleneksel cam liflere kıyasla takviye elemanı olarak dikkat çekmektedir. Üretim süreci cam liflere benzerdir ve düşük miktarda enerjiye gereksinim duyar, ayrıca katkı maddesi gerektirmez. Bitkilerin bakımına ve ekonomiye fayda sağlarken aynı zamanda çevre dostudur. Bazalt liflerin maliyeti ham maddenin kalitesine ve kimyasal bileşimine bağlıdır. Bazalt lifler polimer (termoplastik, termoset, geri dönüşümlü), madenler ve betonlar için gelecek vaad eden özelliklere sahiptirler. Bazalt lifler yapı, altyapı, otomotiv endüstrisi ve tüketici uygulamaları için gelecek neslin malzemesidir.

2.2 Bazalt Liflerin Üretimi

Bazalt lifler, bazalt kayacının kırılarak belirli boyutlara getirildikten sonra 1300-1700°C sıcaklıklarda eritilerek çok ince parçalara ayrılıp lif formunda üretilmesi yolu ile elde edilirler. Bazalt liflerin üretimi sırasında herhangi bir ilave katkı malzemesi kullanılmaz. Bu nedenle bazalt lifler düşük maliyetle üretilebilirler [17,18].

Bazalt liflerin üretim aşamaları:

- 1) Bazalt kaya 5~20 mm boyutunda kırılarak küçültülür.
- 2) Doldurucu tarafından fırına iletilir. c) Kırılan hammadde fırında eritilir.
- 3) Yüklenen bazalt 1300~1700 ° C' de eritilir.
- 4) Eritilen bazalt burcun(duyun) deliğine bir ucundan bir ucuna geçirilir.
- 5) 9 ~ 15 mikron çapında sürekli bazalt lifler oluşturulur.
- 6) Yağlayıcı madde ile baştan sona yağlanır. Sarma mekanizması tarafından makara üzerine sarılır. (Şekil 2.2)



Şekil 2.1. Bazalt Liflerin Üretim Şeması



Şekil 2.2. Makara Üzerine Sarılmış Bazalt Lifler [19]

2.3 Bazalt Liflerin Fiziksel Özellikleri

Yüksek çekme dayanımına ilave olarak bazalt lifler, radyasyon geçirmeme, mükemmel ısı direnci (-260 – 700 °C), yüksek termal ve ses yalıtım, paslanmama, sıkışmaya karşı direnç, yüksek kayma mukavemeti gibi özelliklere sahiptir. Bazalt lifler doğada metal olmayan inorganik ve temel altyapıların geliştirilmesinde beklentileri karşılayabilecek bir ileri teknoloji malzemesidir.

Tablo 2.1 Bazalt Lifin Tipik Özellikleri [20]

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

Tablo 2.1’de bazalt liflerin tipik özellikleri verilmiştir. Bazalt liflerin hammaddesi olan bazalt kayası püskürük kaya halinde doğal olarak bulunduğu için kimyasal ve doğal termal kararlılığa sahiptir ve bilinen herhangi bir sağlık tehlikesi bulunmamaktadır. Bazalt lifler çoklu performansla sahip bir lif türüdür. Örneğin, asitlere ve bazlara karşı dirençlidir; ısı, ses ve elektrik izolasyonuna sahiptir; çekme dayanımı yüksektir, kopma uzaması ise ince çekilmiş karbon liflerden daha iyidir.

Bazalt lifler üç boyutlu bir moleküle sahiptir ve tekil olarak aralara girmiş doğrusal polimerik liflerle kıyaslandığında, kayma mukavemetine, sıkışma ve zamanla oluşan yıpranmaya karşı yüksek dirence, zor çevre koşullarına uyum yeteneğine özelliklere sahiptir [20].

Beton ve harçlarda kullanılan bazalt liflerin maliyeti yüksek değildir. Ayrıca diğer benzer malzemelere karşı alternatif olan rekabetçi bir üründür. Bazalt lif tipik bir seramik liftir, çimento harcı ve betonu ile karıştırıldığında karışımın içinde dağılması kolaydır. Genel olarak bazalt lif ile takviye edilmiş beton taze iken, iyi işlenebilirlik,

hacim kararlılığı, sızdırmazlık özelliğine, sertleşmiş halde iken ise yüksek darbe, çatlak ve termal direnç gibi iyi özelliklere sahiptir [20].

2.4 Bazalt Liflerin Kimyasal Yapısı

Sert, termoplastik ve yoğun bir malzeme olan bazalt volkanik bir kayadır. Yoğunluğu $2,7-2,8\text{g/cm}^3$ ve Mohs sertliği 5-9 arasındadır [21]. Bazaltın ana bileşenleri SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , CaO ve demir oksitlerdir. Bazaltın türüne ve menşesine göre kimyasal bileşenleri farklılıklar gösterebilir. Bazalt liflerin tipik kimyasal bileşimi Tablo 2.2’de verilmiştir [22].

Tablo 2.2. Bazalt Liflerin Tipik Kimyasal Bileşimi [22]

Bileşenler	%
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

2.5. Bazalt Liflerin Kullanım Alanları

Bazalt lifler birçok sektörde farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Kullanım alanları aşağıda verilmiştir:

1. Sanayi inşaatında; tavan, çatı, izolasyon duvar ve bina cephe yalıtımı olarak.
2. Yangın korumasında; binalarda, yapılar da ve metal yapılarda.
3. Isı yalıtımında; buhar hatlarında ve ısıtma sektöründe, fırınlarda izolasyon malzemesi olarak ve ısıya dayanıklı malzemelerin üretiminde.
4. Makine yapımında; kompozit malzemelerinde, yapı malzemelerinde, kesici diskleri güçlendirmek için ızgaralarda, ses yalıtım malzemelerinde, termal ekipman ısı yalıtımlarında, filtrelerinde, toz ve endüstriyel atık ve baca gazı temizlenmesinde.

5. Otomotiv sektöründe; otomobil paneli, yalıtım kamaları, ekranları, lastik, fren balataları, plastik ve diğer malzemeler ve debriyaj balatası yapımında, yanmaz kompozitlerde kord üretiminde, yakıt tanklarında, LPG ve sıkıştırılmış doğal gaz tanklarında korozyon ve darbelere karşı, aşınmaya dayanıklı kaplama imalatında.
6. Gemilerde; korozyona dayanıklı, güçlendirilmiş kaplamalarda, kompozit malzemelerde, deniz tesislerinde, gemi teknelerinde, perdelerinde ve üst yapı inşaatında.
7. Vagonlarda; kompozit yapısal malzemelerde ve ürünlerde, yapısal plastik, yanıcı olmayan kompozit malzemelerde, elektrikli yalıtım malzemelerinde.
8. Havacılık ve roketlerde; Isı, motor ve gövdelerinde, yapısal kompozitlerinde yüksek ısıya dayanıklı malzemelerde ve ses yalıtımında.
9. Enerji alanında; buhar kazanlarında, türbinlerde, ısıtılarda, yüksek elektrik olan alanlarda yalıtım malzemeleri olarak, ekipmanın ısı yalıtımında, taşıyıcı yüksek gerilim hatlarında.
10. Nükleer enerji alanında; yanmaz yalıtım ve inşaat malzemelerinde, yangın kapılarında ve kablo geçişlerinde radyasyondan korunmak için.
11. Elektronik sanayinde; devrelerde, elektrik yalıtım malzemelerinde, elektronik cihazların üretim malzemelerinde.
12. Kimya endüstrisinde; borularda, depolama tanklarında, aşındırıcı sıvılarda, asitlerde, alkalilerde, kimyasal gübrelerde, toksik maddelerde: kimyasal dayanıklı materyallerde ve ürünlerin üretiminde. Tanklarda, boru hatlarında, çelik yapılarda, betonarme yapılar da kimyasal dayanıklı koruyucu kaplama olarak. Toz ve endüstriyel atık su filtrasyonunda, filtrelerde, yüksek sıcaklık filtrelerinde.
13. Petrokimya sanayinde; Kimyasallarda ve tanklarda, boru hatlarında, petrol boru hatlarında dayanıklı koruyucu kaplama olarak, yanmayan kaplamalarda ve kompozit malzemelerde, ateşe dayanıklı kompozit malzemelerinde, petrol boru hatları için borularda.
14. Metalurji 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 metalurjik bitkiler üzerindeki toz egzoz gazlarının temizlikleri için kullanılan filtrelerde, su arıtma filtrelerinde.
15. Kriyojenik makine ve ekipmanlarda; sıvılaştırılmış gazların üretiminde (sıvı oksijen, azot) ve bunların termal yalıtım malzemelerinde.
 16. 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. Köprülerde, tünellere, demiryolunda ve metro inşaat malzemelerinde.
 17. 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.
 18. Tarım alanında; depolama, ilaçların ve sıvı kimyasal gübrelerin taşınması için toprak kaplar geliştirmek için kullanılan ızgaralarda, fide, büyüyen bakteri kültürleri ve diğer bitkiler için hidroponik için malzeme üretiminde.
 19. 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 tesislerinin filtrelerinde.
 20. Ev aletlerinde; yalıtım, sıhhi tesisat, gaz ve elektrik dolaplarında, fırınlarda, elektrikli fırınlarda.
 21. Havacılık ve uzay alanında; ısı, motor ve ses yalıtımı için üretilen kumaşlarda, uzay araçlarında. Örneğin; Soyuz Uzay Aracın da bazalt süper ince fiber kullanılarak uzay aracının gövdesinde ve motorunda ısı ve ses yalıtımı sağlanmıştır.
 22. Filtrelerde; yaygın filtre malzemesi ve ürün olarak, hava ve sıvının ince filtrelerinde, yüksek sıcaklıkta filtre üretiminde [20].



Şekil 2.3. İlk Bazalt Lif Takviyeli Rıhtım, Norderney [20]

İlk bazalt lif takviyeli marina rıhtımı Kuzey Denizi'nde küçük bir adada bulunan Norderney'de inşa edilmiştir (Şekil 2.3). Marina, çok aşamalı bir proje ile yüksek deniz dalgalarına ve bölgenin tipik fırtınalarına karşı çığır açan 21. yüzyıl teknolojisi (bazalt lif teknolojisi) ile yeniden inşa edilerek dış etkenlere karşı korunmaktadır. Geleneksel betonarme yapı tarzında yapılan rıhtım inşaatlarında kullanılan beton ve demir tuzlu su korozyonuna dayanamayarak belirli bir süre sonra korozyon ve aşınma nedeniyle kullanılamaz duruma gelmektedir. Son yıllarda inşaat sektöründe ve birçok alanda artan kullanım oranı ile bazalt lifler özellikle marina tesislerinin ve rıhtımların inşasında hafif ve yeni, iletken olmayan, manyetik ve korozif olmayan özellikleri dolayısıyla tercih edilmektedir. Çünkü bazalt lifin bu üstün nitelikleri sebebiyle beton rıhtımların ince duvarlarında kullanılmakta, bu da yapının daha az bakım gereksinimine ve uzun bir kullanım ömrüne sahip olmasına katkı sağlamaktadır.



Şekil 2.4. Demiryolu döşemesinde bazalt lif kullanımı (Çin) [20]

Bazalt lifler erken büzülmeden dolayı çatlak yayılmasını geciktiren bir yapı malzemesi olarak kullanılabilir. Aynı zamanda bazalt lif ile beton arasındaki uyum çok iyidir. Çelik donatının aksine, betondaki bazalt lif öngerilmeli betondaki yalıtım niteliğini etkilemez. Demir gibi paslanmamasından dolayı kırma taş kullanılmayan yol ve ray döşemelerinde bazalt lif ideal bir katkı maddesi durumuna gelmektedir. Bu duruma örnek olarak, bazalt lifler Çin’de bulunan Wuhan- Guangzhou arası yolcu taşınmasına ayrılmış olan hattın (Şekil 2.4) iki döşemesinde kullanılmıştır [20].

Köpük beton ve polistiren içerisinde bazalt lif kullanımı ile; üst üste koyulan blokların bütünlüğü sağlanır, köşe ile kenarların darbe gücünü artırarak taşınabilirliği kolaylaştırır. Bazalt lifler bu tür ürünlerin yüksek geometrik doğrulukla elde edilmesine bağlı olarak tutkal uygulamasını kolaylaştırır, kesit “soğuk köprü” olasılığını düşürür ve karışımın uygulama sürecini düşürür.

Köpük beton ve polistiren malzeme üretiminde bazalt lifler ön sertleşme süresinin azalmasına yardımcı olur ve elde edilen yapısal sertlik gruplaşan oluşumların erken temizlenmesine imkan sağlar. Bu tür malzemelerde sıyırma esnasında bir kenarın ayrılmaması durumunda, blok herhangi bir hasara uğramaz, yani ürünün kalitesi artar ve birleşmiş görüntüsü kaybolur.

Bazalt liflerin güçlendirici etkileri vardır. Bir inşaatın çeşitli kademelerinde (boya, su yalıtımı ve dekorasyon) yaşanan başlıca problemler tabandaki harca yapışkanlık oranının azlığı, sertleşme ve kuruma sırasında oluşan çatlamlardır. Yüksek güçlendirme yeteneği olan bazalt liflerin kullanımı bu gibi problemlere çözüm getirebilir.

Bazalt liflerin malzemelerin özellikleri üzerindeki etkileri aşağıda verilmiştir [20]:

- a) Darbe Direnci: Bazalt lifler betonun darbe dayanımını ve yarıma direncini artırır, hamur içinde çatlaklar oluştuğundan sonra köprüleme etkisi ile çatlak genişlemesini geciktirerek fazla miktarlarda enerji yutulmasını sağlar. Bazalt lifler beton blokların ve ön dökümlü güçlendirilmiş beton yapıların birleşme noktalarında kenarlarını korur. Bazalt lifler darbe direncini artırma özelliğinden dolayı askeri tesislerde, ağır sanayide, sismik hareketlerin farklı olduğu bölgelerde ve askeri tesislerde tercih edilmektedir [20].

- b) Su ve Kimyasalların Sızmasına Karşı Direnç: Bazalt lifler betonun geçirgenliğiyle su emilimini azaltır. Bu etki beton içindeki boşlukların azaltılması ile gerçekleşir, bunun sonucunda kimyasalların ve suyun emilimi yavaşlar. Tuzların sızıntısına karşı yüksek dayanım gösteren bazalt lifli beton, kanalizasyon gölleri, su depoları, rıhtımlar, deniz bariyerleri, bentler gibi su ile temasın farklı olduğu yerlerde, köprülerde ve beton yollarda yaygın olarak kullanılır. Betona ilave edilmek için kullanılan bazalt lif, nötr bir madde olduğu için betonun performansını düşürmez. Bazalt lif imalat sürecinde kullanılan kimyasalların birçoğuna ve alkalilere karşı dirençlidir [20].
- c) Donma direnci: Betonun blok halinde katılaşması ve su kaybı, betonun içindeki su dışarı çıktığında su kanallarını (kılcal damarlar) oluşturur. Beton kuruduktan sonra bu kanallar sertleşen betonun içine suyu sızdırır ve sıfırın altındaki sıcaklıklarda sızan su beton içerisinde donar. Donmuş olan su genişler ve betonun yüzeyinde hasara ve yıkıma sebep olur. Buna karşılık bazalt lif kullanılan betonda bu kanalların büyük bir bölümü lifler ile dolacağından su lif karışımı betona daha az miktarda ve oldukça sığ bir derinlikte sızar. Bazalt lif içeren betonların dona karşı dirençleri normal betonlara göre daha yüksektir. Betonun plastik çatlama karşı dayanımını arttıran bazalt lif, beton içerisindeki su kanallarının miktarını düşürür ve bunun sonucunda azalan geçirgenlikten dolayı donmaya karşı dayanımın artmasına yardımcı olur [20].
- d) Yanma Direnci: Bazalt lif betonun yanmaya karşı direncini artırır. Yapılan araştırmalarda bazalt lif kullanımı ile üretilen betonun 1 saat süreyle 600 °C sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra eğilme dayanımının arttığı ifade edilmektedir [20]. Bazalt lif pasif yangın dayanımı sağlayan bir malzeme olarak kullanılabilir [20].
- e) Aşınma Direnci: Beton ürünlerin işlenmesi esnasında zayıflayan yüzeyin mekanik yetersizliğine bağlı olarak toz oluşumu gözlenir. Bu genellikle karıştırma işlemi sırasında ya da sonlandırma işlemleri yapılırken içerisinde çok fazla su eklendiğinden betonun çok fazla yumuşamasına bağlı ortaya çıkar. Bazalt lifli betonun aşınma direnci 6 saatte yaklaşık %10 artar ve

aşınma dayanımı ortalama olarak diğer ürünlere göre %30 daha olduğu yapılan araştırmalarda ifade edilmektedir [20]. Beton karışımı içinde bazalt lifin suyun hareketini kontrol etme kabiliyeti, ince çimento ve kum parçacıklarının ayrışma olasılığını düşürür, daha güçlü ve dayanıklı bir yüzey oluşturur. Aşınma direncini artırma özelliği sebebiyle bazalt lifler sürekli aşınmaya maruz yüzeylere sahip beton yapılarda ve deniz bariyerlerinde kullanılırlar [20].

- f) Büzülme (Rötre) Direnci: Betonun nemini kaybetmesi ve kurumması esnasında betonun yüzeyindeki buharlaşmanın, içinden çıkan su miktarından fazla olması halinde, plastik rötre çatlakları oluşur. Bunun neticesinde, betonun üst tabakasında su seviyesinin azalması plastik rötre çatlaklarının oluşumuna sebep olur. Plastik çökme içindeki çatlaklar, betonun yapımı sırasında belirli bir oranda su kaybının ve çökmenin olacağı hesaplandığında da oluşur, fakat bu çatlakların miktarına bir sınırlama getirmek mümkündür. Bu tür çatlaklar bazalt liflerin beton karışımına ilave edilmesi ile engellenebilir. Bazalt lif plastik rötreye bağlı çatlama riskini önemli derecede (yaklaşık olarak %90) azaltır, bu özelliğinden dolayı betonda kullanılan en etkili liflerden biridir. Bazalt lif plastik (rötre) çatlaklarının ortaya çıkışını üç aşamada azaltır: (1)Bazalt lif hiçbir kırılmaya sebep olmadan betonun plastik deformasyon kabiliyetini kritik bir zamanda, yani gerçekleştirildikten sonra 2-6 saat sonra artırır. Bu artış küçük çatlakların boyutunu aynı zamanda da sayısını azaltır ve betonun dayanıklılığına faydada bulunur. (2)Betonun bazalt lifli olan geniş yüzeyi betonun su kaybını çelik ağa göre daha iyi kontrol edebilir. Daha sonraki kademede beton sertleşip büzülmeye başladığında, bazalt lifler kırıkların kenarlarını birbirine bağladıklarından dolayı betonun kırılma riskini azaltırlar. (3)Su kaybının her yerde aynı miktarda olmasını sağlayan bazalt lifler, betonun içindeki basıncın düşmesine yardım ederler [20].

2.6 Bazalt Lif Donatılı Harçlar

Quattrococchi ve ark. [23] bazalt lif takviyeli harçların mikro yapısı, fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Sertleşmiş harçlar üzerinde basınç dayanımı ve eğilme dayanımı deneyleri yapmışlardır. Farklı morfolojiye sahip bazalt liflerin farklı

lif içeriklerinde harçların mekanik davranışları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bazalt lif takviyeli harçların eğilme ve basınç dayanımlarında normal harçlara kıyasla iyileşme görülmüştür. Mekanik dayanımlardaki bu iyileşmede matris dayanımının ve lif içeriğinin etkisinin büyük olduğu vurgulanmıştır. Özellikle kısa liflerin harçların yüzey sonlandırma işleminde iyileşme gösterdiği ifade edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada en büyük problemin numune üretimi sırasında liflerin matris içerisinde homojen dağılımının sağlanması olduğu ifade edilmiştir. Bunun yanı sıra özellikle yapısal uygulamalarda bazalt liflerin dayanım ve tokluk üzerindeki iyileştirmesi gereksinimlerinin aynı anda sağlanması gerektiği vurgulanmıştır [23].

Teresa ve Krasodonski [24], bu çalışmada alkali ortamda bazalt lif dayanımının yanı sıra bazalt lif takviye edilmiş harçların kırılma davranışı, basınç ve eğilme dayanımı incelenmiştir. 5mm ve 12mm uzunluğundaki bazalt liflerin 0,4kg/m³, 1kg/m³, 2kg/m³ miktarlarında kullanılarak üretilen harçların 3, 7 ve 28 günlük mekanik özellikleri araştırılmıştır. Liflerin eklenmesiyle eğilme dayanımında %20'ye kadar artış, basınç dayanımında ise %15'e kadar düşüş meydana geldiği ifade edilmiştir. Elde edilen deney sonuçlarından lif içeriğinin etkisinin daha belirgin olduğu belirtilmiştir. Bazalt liflerin alkali ortamdaki dayanımı (10 gün boyunca 60°C'de %10 sodyum hidroksit solüsyonu) araştırılması sonucunda, bazalt liflerin yüzeyinde ve çapında, yani kimyasal formunda bozulmalar olduğu belirtilmiştir. Yapılan mikroskopik gözlemler ve ED-XRF spektrometre analizi liflerin yüzeyinde polimer tabaka varlığı olmadığını doğrulamıştır. Çimentonun matrisinin alkali ortamda bozulmasını liflerin koruyabildiğini ve matris bazalt lif arasındaki bağın buna etkili olduğu görülmüştür [24].

Jagadeesan ve Palanisamy [25] tarafından yapılan çalışmalarda; tuğla duvarlarda, tuğla kopma değerine ulaşmadan önce çimento harcı kopmaya ulaştığından tuğla duvarı güçlendirmek için asıl gerekli olan şeyin çimento harcının dayanımının artırılması olduğuna karar verip, çimento harcına çimento ağırlığının %0,5 , %1 ve %1,5'i gibi farklı oranlarında bazalt lif eklemişlerdir. Bazalt lifli çimento harcı ve bazalt lifsiz çimento harcı ile örülen tuğla duvarlar üzerinde basınç dayanımı ve young modülü deneyleri yapılmıştır. Yapılan çalışmada %1 oranında bazalt lifli çimento harcının tuğla duvarın mekanik özellikleri üzerinde en uygun sonuçlar

verdiği ifade edilmiştir. %1 bazalt lif içeren çimento harcının basınç dayanımının normal harcınkine kıyasla 2,41 kat arttığı, young modülünün ise 1,61 kat arttığı belirtilmiştir. Buna karşılık tuğla duvar prizmasının basınç dayanımının ise %1 bazalt lif oranında normal harcın basınç dayanımına kıyasla 1,82 kat arttığı ifade edilmiştir. Ayrıca üretim aşamasında, bazalt lifli harçların çelik lifli harçlara kıyasla daha az topaklandığı belirtilmiştir [25].

Asprone ve ark. [26] yüksek dinamik yükleme koşullarına karşı yeteneğini ortaya koymak için bazalt lifle takviye edilmiş doğal hidrolik harcın dinamik davranışını araştırmışlardır. Harçların morfolojik yapısı Taramalı Elektron Mikroskopi (SEM) ve civa porozimetre deneyleri ile karakterize edildikten sonra, yarı-statik eğilme ve çekme deneyleri yapılmış ve deneyler sonucunda çekme dayanımı için dinamik artış faktörleri ayrıntılı bir şekilde elde edilmiştir. Lif eklenmesiyle ortaya çıkan köprüleme etkisinden dolayı lifle güçlendirilmiş harç, normal harca kıyasla daha sünek bir davranış ve daha yüksek tokluk göstermiştir. Porozite analizleri bağlı olarak lifler daha büyük boşluklara ve daha fazla gözenekliliğe yol açmıştır. Mekanik yarı statik eğilme ve basınç testleri ile lif miktarı arttıkça lif takviyeli harcın dayanım değerleri düşme gösterdiği tespit edilmiştir. Doğrudan çekme dayanımı dinamik test programları boyunca karakterize edildi. Ayrıca kırılma enerjisi şekil değiştirme oranıyla arttığı ifade edilmiştir. Yüksek mekanik özelliklere sahip harçlarda lif miktarının optimize edilmesinin vurgulandığı çalışmada, bazalt lif takviyeli çimento esaslı harçların iyi dinamik, mekanik özellikler ve dinamik yükleme koşullarına karşı koymak için iyi bir yapı malzeme olabileceği ifade edilmiştir [26].

Luigi Fenu ve ark. [27] bazalt lif ve cam lifi ile takviye edilmiş çimento esaslı harçlarının dinamik davranışları araştırılmıştır. Aynı çap ve uzunlukta lifler farklı oranlarda kullanılarak harç numuneleri üretilmiştir. Harçlara bazalt ve cam lifi eklenmesiyle eğilme dayanımı önemli derecede artış gösterirken ve dinamik (çekme) dayanımında neredeyse artış göstermediği, ancak dinamik yükleme altında tepe yükü davranışını iyileşme olduğunu ifade etmişlerdir. Bazalt lifin %5 oranında ikamesiyle harçların kırılma enerjisinde referans harca (lifsiz) kıyasla 2,2 kat artış elde edilmiştir. Tepe yükünde %3 oranında bazalt lif eklenmesiyle iyileşme gözlenmiş, ancak toplam enerji yutma miktarında değişme gözlenmemiştir. Yüksek şekil

değiştirmelerde dinamik yüklemeler altında aynı uzunluk ve çaptaki lifler için bazalt liflerin cam lifine kıyasla daha az performans gösterdiği ifade edilmiştir [27].

2.7 Bazalt Lif Donatılı Betonlar

Bazalt liflerin betonda kullanımı ile ilgili yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır. Dias ve Thaumaturgo [28] tarafından yapılan çalışmada %0, %0,5 ve %1 bazalt lif içeren geopolimer ve normal betonların mekanik özellikleri araştırılmıştır. Bazalt liflerin, hacimce %0,5 oranında kullanıldığında, polimer betonların çekme dayanımlarını %34, hacimce %1 lif kullanımında ise %25 arttırdığı tespit edilmiştir. Basınç dayanımlarının ise hacimce %1'e kadar lif kullanıldığında önemli ölçüde değişmediği, ancak bu oranda normal betonlarda basınç dayanımının %26,4 oranında azaldığı görülmüştür. Eğilme dayanımlarında ise %1 lif katkılı normal betonlarda %46 oranında, polimer betonlarda ise %31 oranında bir artış olduğu belirtilmiştir. Aynı çalışmada beton numunelere ait yük-deplasman eğrileri elde edilmiş ve bazalt lif katkı oranı arttıkça betonların tokluklarının önemli ölçüde arttığı gözlenmiştir. Lif içermeyen numunelerde maksimum yüke ulaşıldıktan sonra ani bir kırılma gerçekleşirken, lif takviyeli numuneler maksimum yüke ulaştıktan sonra deformasyon yapmaya devam ederek daha sünek bir davranış gösterdiği ve bu davranışın polimer betonlarda daha belirgin olduğu ifade edilmiştir [28].

Borhan [29] tarafından yapılan çalışmada hacimce %0,1, %0,3 ve %0,5 oranlarında bazalt lif katkılı ince agrega olarak cam kırıklarının kullanıldığı betonlar üretilmiş, %0,3'e kadar artan lif hacmiyle birlikte betonun basınç dayanımının arttığı, hacimce %0,5 lif katkılı betonlarda ise basınç dayanımının azaldığı tespit edilmiştir. Benzer durum yarmada çekme dayanımları için de elde edilmiştir. Lif oranı hacimce %0,3'e kadar yarmada çekme dayanımları artarken, bu orandan sonra çekme dayanımlarının azaldığı belirlenmiştir. Aynı çalışmada bazalt lif katkılı betonun elastisite modülü de yarmada çekme dayanımı ve basınç dayanımı ile paralellik göstermiş, %0,3 lif oranına kadar artış, sonrasında azalma görülmüştür [29].

Bazalt liflerin 2 kg/m³ (hacimce %0,07) ve 4 kg/m³ (hacimce %0,14) miktarlarında kullanıldığı bir diğer çalışmada, 350 dozlu betonun basınç dayanımının 0,45 ve 0,60 su/bağlayıcı oranlarında sırası ile %8-18 ve %4-9 oranlarında azaldığı ifade

edilmiştir [9]. Bunun yanı sıra bazalt lifler düşük oranlarda kullanılsa bile lif içermeyen betonlara kıyasla eğilme dayanımı ve kırılma enerjisi gibi parametrelerini belirgin bir şekilde arttırdığı, kullanılan lif uzunluğunun da bu parametrelere etki ettiği belirtilmiştir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda 24 mm uzunluğunda bazalt lifler betona 4kg/m^3 ilave edildiğinde düşük su/çimento oranına sahip yüksek dayanımlı betonda kırılma enerjisinin %126, yüksek su/çimento oranına sahip normal dayanımlı betonda ise %140 oranında arttığı görülmüştür [9].

Jiang ve ark. [30] bazalt lif içeren betonların mekanik özellikleri ve mikro yapısı üzerindeki deneysel çalışmalar yapmışlardır. Yüksek süneklik ve yeterli dayanıklılık için bazalt lifin betonda yaygın olarak kullanıldığı vurgulanmıştır. Bu çalışmada, bazalt lifin uzunluğunun ve içeriğinin betonların mekanik özellikleri üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve cıvalı porozimetre deneyleri ile birleştirilmesi sonucu betonun mikroyapısı incelenmiştir. Çalışmada hacimce %0,5'e kadar kullanılan bazalt lifin normal dayanımlı betonların basınç dayanımlarına olumsuz bir etkisi olmadığı belirtilmiştir. Hatta bazalt lif kullanılmasıyla betonların basınç dayanımlarının erken yaşlarda arttığı, bu artışın 7. günde 22 mm uzunluğunda hacimce %0,3 oranında lif kullanılması halinde yaklaşık %10 kadar olduğu tespit edilmiştir. İlerleyen yaşlarda yapılan basınç deneylerinde ise lifsiz betona göre bazalt lif katkılı betonların basınç dayanımında gösterdiği bu olumlu etkinin nispeten azaldığı, hatta dayanımları olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Bunun nedeni ise, ilerleyen yaşlarda lifler ile beton arayüzündeki aderansın zamanla azalması şeklinde ifade edilmiştir. Bunun yanı sıra bu çalışmada bazalt lif kullanımının betonun yarmada çekme dayanımını belirgin bir şekilde arttırdığı belirtilmiştir. Bu artışın polipropilen lif kullanılan betonlara göre daha fazla olduğu, 12mm uzunluğunda bazalt lif kullanılan betonlarda artan lif oranıyla birlikte yarmada çekme dayanımının yaklaşık %14-24 arasında, 22mm uzunluğunda bazalt lif kullanıldığında ise artan lif oranıyla birlikte yaklaşık %15-25 arasında arttığı tespit edilmiştir. Eğilme dayanımı sonuçlarına göre de bazalt lifler polipropilen liflere göre daha iyi performans göstermiştir. Mekanik özellikler dikkate alındığında betonda kullanılması gereken optimum bazalt lif oranını %0,3 olarak önermişlerdir. Önerilen bu lif hacminin üzerindeki oranlarda bazalt lif kullanılması durumunda betonun

işlenebilmesi, liflerin beton içerisinde homojen bir şekilde dağılması konularında problem oluşabileceği ve betonun mekanik özelliklerine olumsuz yönde etki edebileceği belirtilmiştir [30].

Ayub ve ark. [31] tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmada hacimce %1, %2 ve %3 oranlarında bazalt lif katkılı yüksek performanslı betonların mekanik özellikleri araştırılmıştır. Deneysel çalışmada 400 dozlu, su/bağlayıcı oranı 0,45 olan yüksek dayanımlı betonlar üretilmiş, bazalt ve cam lifler hacimce %0,25, %0,50, %0,75 ve %1 oranlarında kullanılmıştır. Çalışmada elde edilen verilere göre betonun basınç dayanımının %2 oranında bazalt lif ilavesine kadar arttığı, lif oranı %3 olduğunda artan lif hacmi betonda boşluk oranının artmasına bağlı olarak basınç dayanımının %2,37 mertebelerinde azaldığı söylenmiştir. Elastisite modülü artan lif hacmiyle birlikte azalsa da bazalt lif kullanımının betonun elastisite modülüne önemli ölçüde etki etmediği sonucuna varılmıştır. Benzer çalışmalarda olduğu gibi bu çalışmada da bazalt liflerin betonun yarmada çekme dayanımını arttırdığı, gerek çekme gerekse basınç kuvvetlerine maruz kalındığında maksimum yük etkisi altındaki şekil değiştirmelerin daha fazla olduğu ve bu durumun betonun daha sünek bir davranış göstermesine imkan sağladığı belirtilmiştir [31].

Gore ve Suhasini [14] tarafından yapılan araştırmada C40 beton sınıfına sahip betonlarda farklı bazalt lif oranlarının mekanik özellikler etkisini incelenmiş ve karışımda bazalt lif içeriğinin optimum aralığını belirlenmesi hedeflenmiştir. Bazalt lif takviyeli beton numuneler mekanik özellikleri farklı yaşlarda belirlenmiştir. Basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, eğilme dayanımı betonun durabilitesi için deneyler yapılmıştır. Yüksek dayanımlı betona lif eklendiğinde 7 ve 14 günlük dayanımlarda azalma görüldüğü, buna karşılık 28 günden sonra bazalt lif takviyeli beton dayanımının lif içermeyen betonun dayanımına kıyasla daha yüksek olacağı söylenmiştir [14].

Elshafie ve Whittleston [32] tarafından yapılan araştırmada bazalt lifin ikame oranları ve boylarının betonun mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. En iyi performansa sahip bazalt lif uzunluğu ve içerikleri araştırılmıştır. %0,1-0,5 bazalt lif içeriklerinde, 12-24 mm arasında uzunluk kullanıldığında mekanik özelliklerinin

önemli ölçüde iyileşmiş olduğu ifade edilmiştir. Genel olarak, maksimum basınç dayanımına bazalt lif içeriğinin %0,25 olduğunda ulaşıldığı ve bu orana kadar basınç dayanımının artmaktadır ifade edilmektedir. En büyük basınç dayanımlarının lif boyu 10-20mm arasında olduğunda elde edildiği, lif içeriği arttığında ve daha uzun boylarda bazalt lif kullanıldığında ise yüksek çekme dayanımları elde edildiği ifade edilmiştir. Ayrıca, elastik modülü ve çatlak dayanımının lif içeriği ve uzunluk arttıkça arttığı görüldüğü vurgulanmıştır. Çalışmada bazalt lifin uzunluğunun ve içeriğinin betonun mekanik özellikleri üzerinde yaptığı iyileşmesi seviyesi için çok önemli iki parametre olduğu ilgili araştırma sonucu olarak verilmiştir [32].

Tumadhir ve Borhan [33] yaptıkları çalışmada bazalt lifle takviye edilmiş betonların mekanik ve ısı özellikleri araştırmışlardır. Çalışmada %0,1, %0,2, %0,3 ve %0,5 oranlarında bazalt lif içeren beton numuneler üretilmiştir. Isıl iletkenlik katsayısı, basınç ve yarmada çekme dayanımları incelenmiştir. Bütün karışımlar için betonun işlenebilmesi bazalt lif oranının artmasıyla birlikte düştüğü belirtilmiştir. %0,3 bazalt lif içeriğine kadar bazalt lif içeriği arttıkça dayanım artış, buna karşılık %0,5 lif kullanıldığında ise küçük oranlarda bir azalma görüldüğü ifade edilmiştir. Basınç ve yarmada çekme dayanımı bazalt lif oranı %0,3'e kadar yükseldiği, buna karşılık bu oranın %0,5 olduğunda her iki dayanımında düştüğü, elastiklik modülünün ise dayanımlar ile aynı eğilimi gösterdiği ifade edilmiştir. Bazalt lif etkilenmesi ısı iletimini azaldığı, yani ısı yalıtımının daha iyi olduğu ifade edilerek bazalt lif takviyeli betonların geleneksel betona oranla daha az ısı iletmediği vurgulanmıştır [33].

Arivalagan [34] farklı beton sınıfları için bazalt liflerin farklı yaşlardaki betonun basınç ve yarmada çekme dayanımlarını araştırmıştır. Bazalt lifli beton numuneler ile lif içermeyen numuneleri arasında sertleşmenin ilk evresinde belirgin farklılıklar olduğu ve dayanımların bütün yaşlarda bazalt lifli numunelerde liffsizlere kıyasla daha yüksek edildiği ifade edilmiştir [34].

Urbanski ve ark. [35] bazalt çubuklarla takviye edilmiş beton kirişlerin basit eğilme altındaki davranışı araştırılmıştır. Bazalt çubuklar betonlar için bazalt lifle güçlendirilmiş plastik olarak adlandırılırlar (BFRP). Yeni bir malzeme olduğundan dolayı betonların geleneksel çelikle güçlendirilmesini kıyaslayarak BFRP'nin beton

yapılarda kullanımının sınırlarını ve farklılıklarını belirlenmesinin gerektiğini vurgulamıştır. Basit eğilme altında çelikle güçlendirilmiş referans kirişler ile BFRP çubukları karşılaştırılmış sonuçların değişiklikler kaydedilmiştir. Test edilen kirişler C30/37 betonundan ve bazalt lifle güçlendirilmiş 8mm çapında çubuklardan içeren kirişler üzerinde gerilmeler analizi, sehim ve çatlama davranışları incelenmiştir. Yükle-sehim ilişkisi bazaltla güçlendirilen kirişlerin geleneksel kirişle güçlendirilmiş çeliklere göre farklı karakterde olduğunu gösterdiği, ayrıca BFRP çubuklarla güçlendirilmiş kirişlerin kritik yük taşıma kapasitesinin geleneksel çelik donatılı kirişlere oranla daha fazla olduğu ifade edilmiştir. BFRP çubuklarla güçlendirilmiş kirişlerde kırılma aniden meydana gelmediği, referans kirişlere kıyasla kayda değer büyüklükte sehim yaptığı ve bunun nedeninin ise çelik çubuklara kıyasla BFRP çubukların elastik modülleri daha düşük olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Bazalt lifli beton kirişler deformasyon çelik lifli beton kirişlerden ortalama 3-4 kat daha deformasyon yaptığı ve kirişlerde ortalama çatlak genişliği referans kirişlerinkinden 4 kat daha yüksek olduğu ifade edilmiştir. Çatlakların genişliği BFRP ile takviye edilmiş beton kirişlerin tasarımında önemli bir faktördür olduğu çalışma sonucu olarak vurgulanmıştır [35].

Kızılkant ve ark. [8] yüksek dayanımlı betonun cam ve bazalt lif ile takviyesinin etkisini araştırmışlardır. Yaptığı çalışma sonucunda bazalt lif kullanımı ile betonların özellikle yarmada çekme ve eğilme dayanımlarında artış, ayrıca kırılma enerjilerinde ise önemli ölçüde iyileşme olduğu vurgulamışlardır. Ayrıca betonun elastik modülü ve basınç dayanımını üzerinde lif eklemenin önemli bir etkisi olmadığı ifade edilmiştir. Bazalt lif takviyeli betonun eğilme ve yarmada çekme dayanımı lif oranına bağlı olarak artış göstermiş, ancak cam lifli betonda bu şekilde olmadığı ve 0,50% lif oranından sonra değişim gözlemlendiği belirtilmiştir. Bazalt ve cam lifli betonların kırılma enerjisi 0,25% lif oranından sonra önemli derecede arttığı, buna karşılık bazalt lifin cam lifine kıyasla çatlak dayanımı ve süneklikte daha iyi performans gösterdiği söylenmiştir. Betona bazalt ve cam lifinin ilavesiyle betonun işlenebilirliğini azaldığı, ancak cam lifli betonun çökme değerleri bazalt lifli betona kıyasla daha ifade edilmiştir. Lif oranı 0,25% den daha fazla olduğunda basınç dayanımında her iki lifte de hafif bir artış olduğu, bazalt lifli beton 0,50% bazalt lif

oranında en yüksek basınç dayanımına ulaştığı ve cam lif takviyeli betonun en yüksek basınç dayanımına ise 0,75% lif oranda ulaştığı belirtilmiştir. Her iki betonda da lif eklemenin elastik modülüne önemli bir etkisi olmamıştır. Çalışmada, bazalt ve cam lif eklenmesiyle eğilme dayanımı arttığı, %0,25 bazalt veya cam lif ikamesiyle betonun kırılma enerjisinde hafif bir artış gözlemlendiği ifade edilmiştir. Bazalt lifin beton içerisinde kullanımı özellikle kimyasal etkilere karşı gösterdiği direnç yönünden ön planda tutulmasının gerekliliği ve bazalt lif kullanımının betonun durabilitesine ne ölçüde etki ettiği konusunda çalışmalara ihtiyaç olduğu ifade edilmiştir [8].

Branston ve ark. [36] tarafından yapılan araştırmada, plastik rötrede kaynaklı erken yaş çatlakları çoğu kez beton yapıların durabilitesinin azalmasına neden olduğundan bu çatlakları önlemede kırılmış bazalt liflerin kullanımını değerlendirmişlerdir. Araştırma sonucunda bazalt liflerin plastik rötre çatlaklarını önlemede etkili olduğu ve çatlağın büyüklüğünü sınırladığı ifade edilmiştir. Su/çimento oranı azaldıkça bazalt liflerin plastik rötre üzerindeki etki mekanizması daha belirgin hale geldiği ifade edilmiştir [36].

2.8 Bazalt Lif Donatılı Polimer Esaslı Kompozitler

Dhand ve ark. [37] tarafından yapılan çalışmada; hafif, düşük maliyetli bir polimer kompozit üretiminde takviye olarak çevre dostu doğal liflerin kullanımında genel olarak son günlerde bir artış görülmektedir. Şu anda yaygın olarak kullanılmakta olan bazalt lif ve cam lif üzerinde etkinlik ve maliyet açısından önemli bir yere sahiptir. Bu kompozitlerin yüksek spesifik mekano-fiziko-kimyasal özellikler, yıkma ve aşındırıcı olmayan özelliklerine vurgu yapılmış ve bazalt lifin cam lifene bir alternatif olarak kompozitler için bir takviye malzemesi olarak kullanılabilceği ifade edilmiştir [37].

Amuthakkannan ve ark. [38] lif uzunluğunun ve bazalt lif içeriğinin kompozitlerin mekanik özelliklerine olan etkisine incelemiştir. Bazalt lif ve polyester reçine ile polimer kompozit numuneler üretilmiştir. Farklı uzunlukta ve içeriklerde lifler kullanılmıştır. Numunelerin üzerinde basınç, eğilme ve darbe dayanımı deneyleri yapılmış, ayrıca taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile içyapı incelenmiştir. Bu

çalışmada, lif uzunluğunun ve lif içeriğinin kompozitlerin mekanik özelliklerinde önemli bir etkiye sahip olduğu ortaya konmuştur. Bazalt lifin uzunluğunun mekanik özelliğe etki ettiği ve 50 mm uzunluğundaki bazalt lifin enerji yutmada maksimum etki gösterdiğine yer verilmiştir. Optimum lif ağırlık oranının %68 ve optimum lif uzunluğunun 10 mm olduğu ifade edilmiştir [38].

S. Chen ve ark. [39] tarafından yapılan çalışmada bazalt liflerin Ferro çimento esaslı kompozit elemanların özellikle eğilme karakterine katkıda bulunduğu ifade etmişlerdir. Bu etkinin düşük su/çimento oranları daha küçük olduğu, ancak su/çimento oranı 0,28 olduğunda iyi bir etki gösterdiği vurgulanmıştır [39].

Van de Velde ve ark. [40] yaptıkları çalışmada farklı kompozitlerde özel koşullarda direnç gerektiren yerlerde kullanılan kompozitlerde bazalt lifin, E-tipi cam lifin yerini alabilecek güce ve potansiyele sahip olduğunu vurgulamışlardır. Isı yalıtım özelliklerinden dolayı bazalt lifin asbest lifin yerini alabileceği ifade edilmiştir. Bazalt lif 300-500 °C 'de E-cam'a göre daha üstün özellikler gösterdiği, güçlü alkalilere ve asitlere karşı E-tipi cam lifine kıyasla daha kararlı olduğu söylenmiştir [40].

Dimas ve ark. [41] yaptıkları deneysel çalışmada çekme yükü altında, polimer kaplı bazalt fiber ile güçlendirilmiş bir tekstil refrakter kompozitin termo-mekanik özellikleri üzerinde çalışmışlardır. 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 yöntemi kullanılarak tasarlanmıştır. Tek eksenli çekme deneyi 25 ile 1000 °C arasında değişen farklı sıcaklıklar altında yapılmıştır. Deney sonuçlarına bağlı olarak kırma mekanizmaları tartışılmıştır ve oda sıcaklığında elde edilen numuneler ile karşılaştırılmıştır. Termogravimetri ve X-ışını difraksiyon analizi, incelenen sıcaklıkların bir fonksiyonu olarak bir bozulma/faz değişikliklerini yapısını incelemek için kullanılmıştır. Tarama elektron mikroskopi (SEM), yüksek sıcaklıklara maruz kalmadan sonra, 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

vurgulanmıştır. Kompozitin kullanılabilirlik sınır durumundaki ani dūřuř 400 °C'nin üzerinde gözlendiği ve ısıya dayanıklı matrisin ehidrasyon işleminden dolayı bazalt lifin yüzeyinde bozulmalar meydana geldiği ifade edilmiştir [41].



3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde, deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin özellikleri, harç karışım oranları, taze ve kuru haldeki birim hacim ağırlıkları, deneylerin yapım metotları ve yapım aşamaları anlatılmaktadır.

3.1. Kullanılan Malzemeler

3.1.1. Çimento

Çalışmada, Votorantim Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş.'nin Yozgat Çimento fabrikasında üretilen CEM I 42,5 R tipi çimento kullanılmıştır. Çimentoya kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. CEM I 42,5 R Portland Çimentosunun Özellikleri

Kimyasal Bileşim	
Bileşen	(%)
MgO	2,6
SiO ₂	18,7
Al ₂ O ₃	5,48
Fe ₂ O ₃	3,01
Na ₂ O	0,23
K ₂ O	1,22
SO ₃	3,25
CaO	62,3
Kızdırma Kaybı	2,57
Çözünmeyen Kalıntı	0,84
Fiziksel Özellikler	
Özgül Ağırlık g/cm ³	3.11
Özgül Yüzey cm ² /g.	3319

3.1.2. Silis Dumanı

Çalışmada ASTM C-1240 standartlarına uygun silis dumanı kullanılmıştır. Silis dumanına ait kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 3.2’de, görünümü ise Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Çalışmada Kullanılan Silis Dumanın Özellikleri

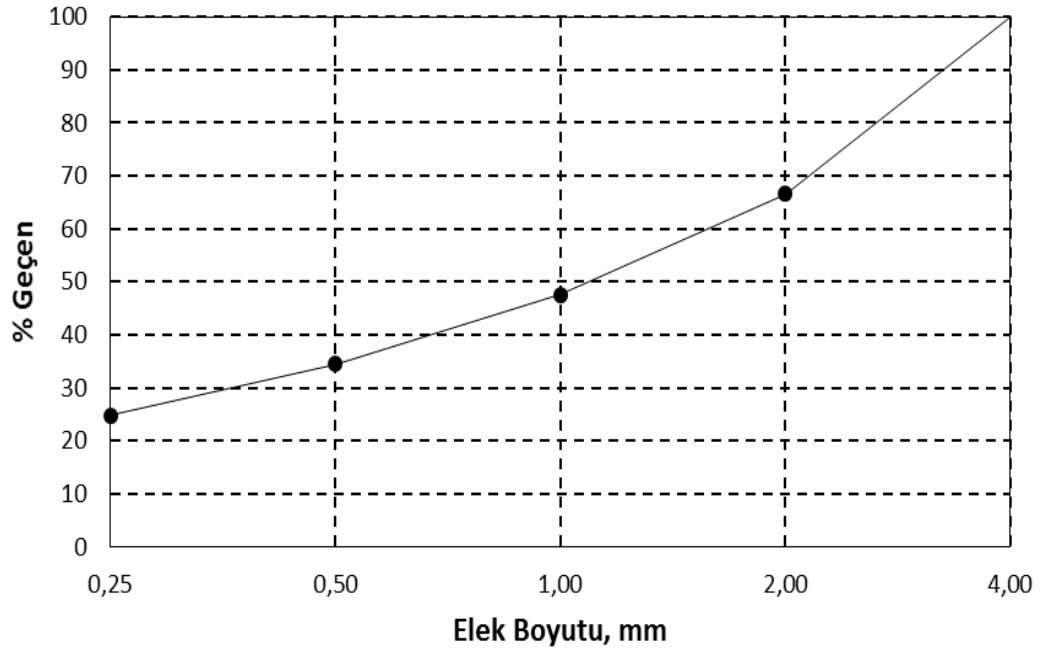
Kimyasal Bileşim	
Bileşen	Yüzdesi (%)
MgO	1,47
SiO ₂	85,35
Al ₂ O ₃	1,42
Fe ₂ O ₃	2,39
Na ₂ O	-
CaO	0,80
SO ₃	1,34
K ₂ O	-
Kızdırma Kaybı	3,4
Çözünmeyen Kalıntı	-
Fiziksel Özellikler	
	Miktarı
Özgül Ağırlık, g/cm ³	2,23
BET, cm ² /gr	23,36
+45 mikron üzeri	%0,58
Hacim yoğunluğu, kg/dm ³	0,55-0,65
Nem (H ₂ O), %	0,19



Şekil 3.1. Çalışmada Kullanılan Silis Dumanı

3.1.3. İnce Agrega

Harç üretiminde ince agrega olarak özgül ağırlığı 2,63 ve su emme oranı %0,98 olan kalker kökenli 0-4 mm kırma kum kullanıldı. İnce agregaya ait tane dağılım eğrisi Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. İnce Agregaya Ait Tane Dağılım Eğrisi

3.1.4. Bazalt Lif

Çalışmada Ukrayna menşeli bazalt lif kullanılmıştır. Bazalt lifin görünümü Şekil 3.3'de ve özellikleri Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3. Çalışmada Kullanılan Bazalt Lifin Özellikleri

Çekme Dayanımı, MPa	4848
Elastic Modülü, GPa	89
Erime Sıcaklığı, °C	1450
Özgül Ağırlık	2,65
Uzunluk, mm	12
Çap, µm	13



Şekil 3.3. Çalışmada Kullanılan Bazalt Lif

3.1.5. Akışkanlaştırıcı

Harçların işlenebilirliğinin sağlanması ve karışım sırasında topaklanmanın önlenmesi için Chryso-Kat Katkı Malzemeleri Sanayi firmasından Fluid Optima 100 tipi süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanıldı.

3.1.6. Karışım Suyu

Bu çalışmada karışım suyu olarak ortalama sıcaklığı +20 °C' olan şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

3.2. Karışım Oranları ve Üretim

Harçların üretiminde standart harç karışım miktarları referans alınmıştır. Bütün karışımlarda silis dumanı çimento ile ağırlıkça %10 yer değiştirmiş ve bazalt lif oranları %0, 0,2, 0,4 ve 0,6 olacak şekilde harç numuneleri üretilmiştir. Her bir bazalt lif içeriği için harçlar, referans sıcaklık ve 3 farklı sıcaklık değeri ile 2 farklı soğuma şekli dikkate alınarak üretilmiştir. Bu şekilde toplam 32 grup harç numunesi kullanılmıştır. Harç karışım miktarları Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4. Harç Karışım Miktarları

Karışım Kodu	Bazalt		Silis Dumanı, gr	Su, Gr	Kum, gr	Bazalt Lif, gr	Katkı, gr
	Lif, Oranı %	Çimento, gr					
BL0	0	405	45	175	1350	0	9
BL2	0,2	405	45	175	1350	3,8	9
BL4	0,4	405	45	175	1350	7,7	9
BL6	0,6	405	45	175	1350	11,5	9

Karışım hazırlanırken ilk önce çimento, silis dumanı ve agrega ve karıştırıldı. Ardından bazalt lif eklenip tekrar karıştırma işlemi yapılarak liflerin karışım içerisinde homojen dağılımı sağlandı. Daha sonrasında karışım suyu ve

akışkanlaştırıcı katkı malzemesi eklendi. Karışımların tamamı harç makinasında yapılmıştır.

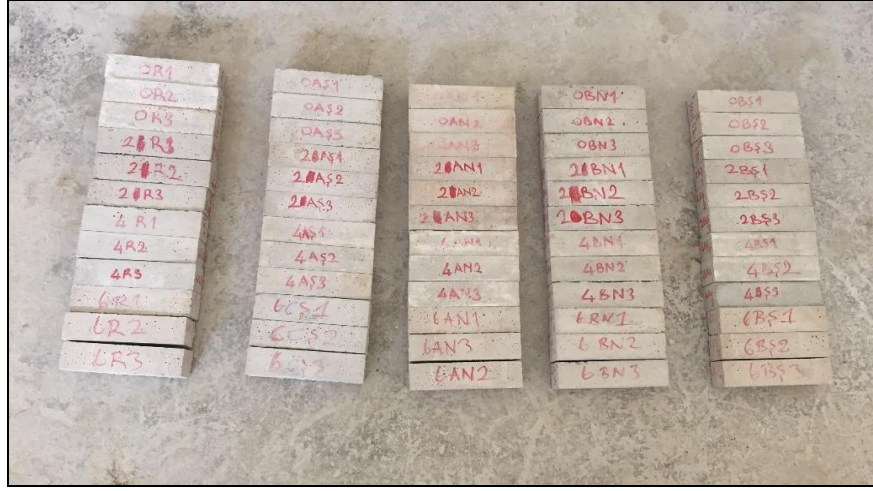
3.2.1. Numune Üretimi

Standart çimento kalıbı kullanılarak, her bir bazalt lif oranı %0, %0,2, %0,4, %0,6 olan, 20 °C, 300 °C, 600 °C ve 900 °C sıcaklık değerleri için, soğuma tiplerine göre normal (kendi halinde) ve ani soğuma olarak kullanılmak üzere 40x40x160 mm boyutlarında prizma numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler, bir gün sonra kalıptan çıkarılmış ve 28 gün boyunca 20 ± 3 °C sıcaklıkta su içerisinde kür edilmiştir. 4 farklı karışım için 32 grup olmak üzere 96 adet numune üretilmiştir.

Üretilen numunelerdeki kodlama sistemi, bazalt lif oranı, deneysel sıcaklık değerleri ve numunelerin soğuma tiplerine göre ani ve normal olarak yapılmıştır. Örneğin, BL4-300-AS3 numunesi; bazalt lif oranı %0,4 olan ve 300 °C’de ani soğuma yapılan numunenin üçüncüsü olan numuneyi tanımlamaktadır. Çalışmada sıcaklığa maruz bırakılmayan referans (şahit) numuneler ise BL0-R, BL2-R, BL4-R, BL6-R olarak kodlandırılmıştır. Şekil 3.4’de 24 saat kalıpta bekletilen numuneler ve Şekil 3.5’de ise numunelerin 28 günlük durumu gösterilmiştir.



Şekil 3.4. 24 Saat Kalıpta Bekletilen Numuneler



Şekil 3.5. 28 Günlük Numuneler

3.3. Deneyler

3.3.1. Taze Harç Deneyleri

3.3.1.1. Birim Ağırlık Deneyi

Harç numunelerinin üretimi sırasında TS EN 12350-6' da belirtilen şartlara uygun olarak taze birim ağırlık deneyleri yapılmıştır.

3.3.1.2. Yayılma Tablası Deneyi

Harçların kıvamının belirlenmesi amacıyla numunelerin üretimi sırasında taze harçlar üzerinde TS EN 1015-3'e uygun olarak yayılma tablası deneyi (Şekil 3.6) yapılmıştır. Yayılma tablası deney sonuçları Tablo 3.5'de verilmiştir.



Şekil 3.6. Yayılma Tablası Deney Aleti

3.3.2. Numunelerin Sıcaklık Etkisi Uygulaması

28 günlük standart kür süresinin ardından numuneler 300 °C, 600 °C ve 900 °C etkisine maruz bırakılmak üzere yüksek sıcaklık fırınına konulmuştur. İstenilen sıcaklığa ulaşmak için sıcaklık artışı 7±3 °C/dk. olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Numuneler hedef sıcaklıkta 3 saat süreyle bekletilmiş ve daha sonra bir grup numune ani şok için fırından çıkarılarak su içerisine konulmuş, diğer grup ise laboratuvar ortamında soğumaya bırakılmıştır. Ani şoklama ve kendiliğinden soğumaya bırakılan numuneler üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler yapılmıştır.

3.3.3. Sertleşmiş Harç Deneyleri

3.3.3.1. Kuru Birim Hacim Ağırlık ve Porozite Deneyleri

28 günlük standart kür sonrası şahit ve sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra ani şoklama ve kendiliğinden soğumaya bırakılan harç prizma numuneler üzerinde kuru birim hacim ağırlık, porozite ve su emme oranlarının tespiti için Arşimet deneyi yapılmıştır. Ayrıca, Arşimet deneyi ile su içinde tartılarak gerçek hacimleri hesaplanan numunelerin birim hacim ağırlık (BHA), gözeneklilik değeri (P) ve su emme oranları (μ) sırasıyla (3.1), (3.2) ve (3.3) eşitlikleri yardımı ile hesaplanmıştır.

$$BHA = \frac{W_0}{W_1 - W_2}, kg/m^3 \quad (3.1)$$

$$P(\%) = \frac{W_1 - W_0}{W_1 - W_2} \quad (3.2)$$

$$\mu(\%) = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100 \quad (3.3)$$

Burada,

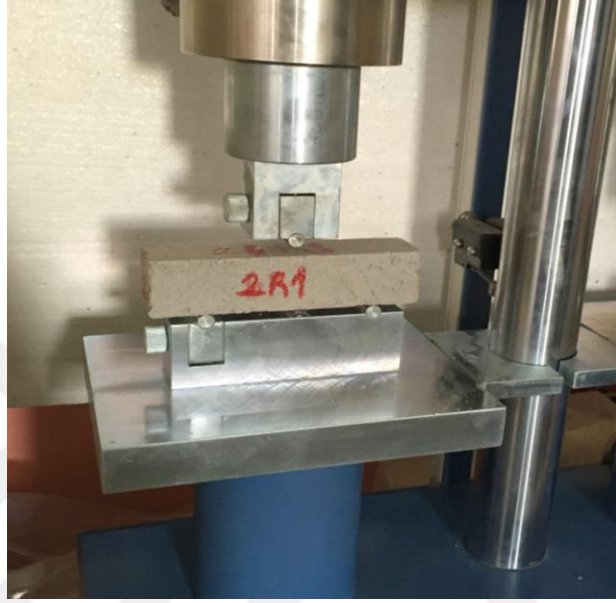
W_0 : Etiv kurusu ağırlık

W_1 : Suya doymun havadaki ağırlık

W_2 : Su içerisindeki ağırlık olarak ifade edilmektedir.

3.3.3.2. Eğilme Dayanımı Tayini

Çalışmada üretilen 40x40x160 mm boyutundaki prizma numuneler üzerinde TS EN 196-1 standartlarına uygun olarak eğilme deneyi yapılmıştır. Eğilme deneyi düzeneği Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Eğilme Deney Düzeneği

Eğilme deneyi 50 N/s yükleme hızında ve her bir karışım grubu için üç adet numune üzerinde yapılmıştır. Deney sonucu olarak üç numunenin ortalaması alınmıştır.

$$\sigma_e = \frac{1.5PL}{bd^2}$$

Burada;

P : Uygulanan kuvvet (N)

L : Mesnetler arası uzaklık (100 mm)

b : Numune kesitinin kısa kenar uzunluğu (40 mm)

d : Numune kesitinin yüksekliği (40 mm)

σ_e : Eğilme dayanımı, MPa

ifade etmektedir.

3.3.3.3 Basınç Dayanımı

Eğilme dayanımı deneyinden elde edilen numuneler üzerinde TS EN 196-1 standartlarına uygun olarak basınç deneyi yapılmıştır. Basınç deney düzeneği Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8. Basınç Dayanımı Deney Düzeneği

Basınç deneyi .. N/s yükleme hızında ve eğilme deneyi sonrası 2 parçaya ayrılan numunelerden elde edilen toplam 6 adet numune üzerinde yapılmıştır. Deney sonucu 6 adet numuneden elde edilen sonuçların ortalaması alınarak belirlenmiştir.

$$\sigma_b = \frac{P}{A}$$

Burada,

P : Uygulanan kuvvet (N)

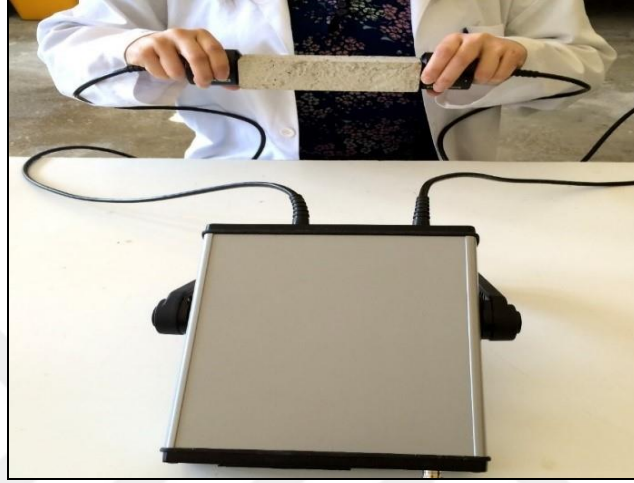
A : Kesit Alanı (1600 mm²)

σ_b : Basınç Dayanımı, MPa

ifade etmektedir.

3.3.2.4 Ultrases Geçiş Hızlarının Belirlenmesi

Numuneler üzerinde sıcaklığa maruz bırakılmadan önce ve sonrasında TS EN 12504-4 standartlarına uygun olarak ultrases geçiş hızının tayini deneyi yapılmıştır. Deney düzeneği Şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.9 Ultra Ses Geçiş Hızının Belirlenmesi

Deneyde, ultrases aleti ile 0,1 µs duyarlıklı ses geçiş süreleri ölçülmüştür. Ses geçiş hızı ölçüm yapılan numune boyunun kaydedilen geçiş süresine bölünmesiyle elde edilmiştir.

$$V_s = \frac{l}{t}$$

Burada,

V_s : Ultrases geçiş hızını (km/sn)

l : İki transduser arası mesafeyi (160 mm)

t : Ultrases geçiş hızını (µs)

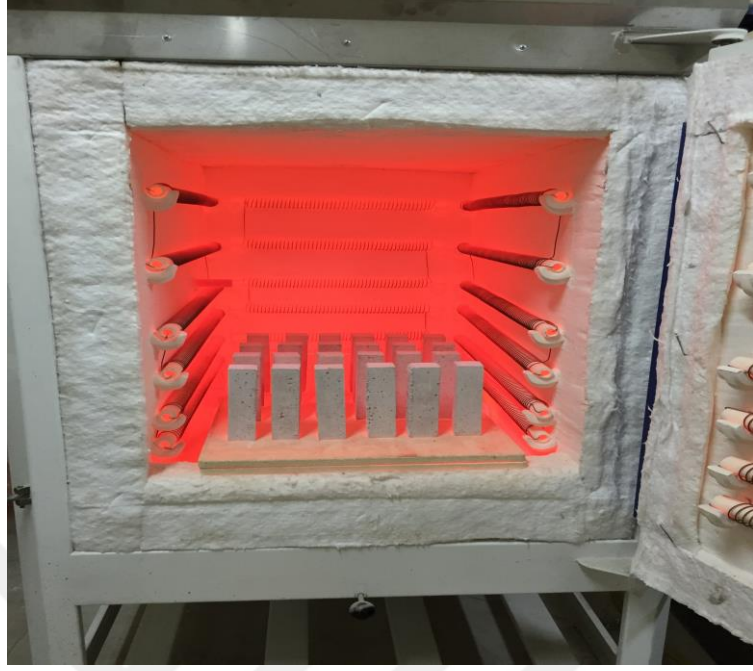
ifade etmektedir.

4. DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRİLMESİ

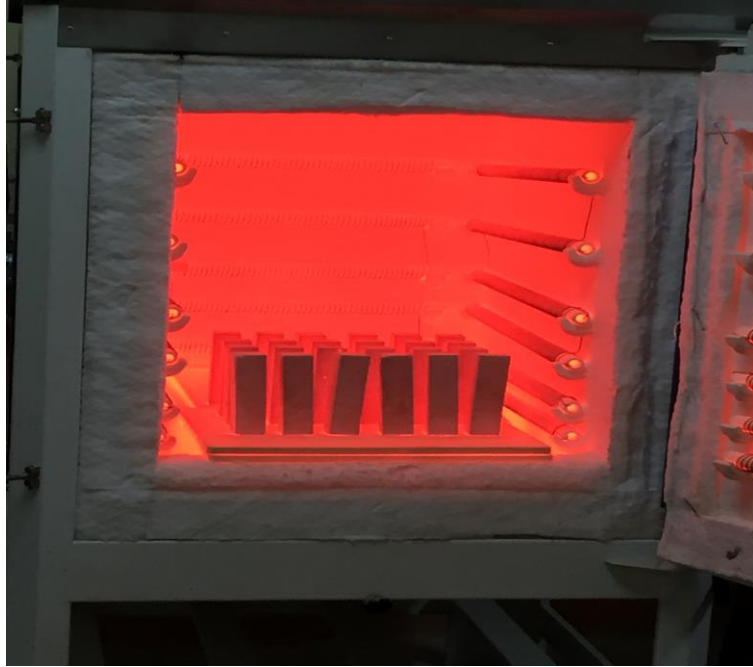
Çalışmada üretilen 40x40x160 mm boyutundaki prizma numuneler 28 gün standart küre tabi tutulduktan sonra 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklığa maruz bırakılmışlardır (Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3). Numuneler hedef sıcaklıkta 3 saat süreyle bekletildikten sonra kaldıktan sonra fırından çıkarılarak oda sıcaklığında normal soğumaya ve suya konularak ani soğumaya bırakılmıştır (Şekil 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 ve 4.9). Soğuma sonrasında sıcaklık etkisine maruz bırakılan numuneler ile referans numuneler üzerinde standartlara uygun olarak kuru birim ağırlık, su emme, boşluk oranı, ultrases geçiş hızı, basınç ve eğilme deneyleri yapılmıştır.



Şekil 4.1. Numunelerin 300 °C Sıcaklığa Maruz Bırakıldıktan Sonraki Durumu



Şekil 4.2. Numunelerin 600 °C Sıcaklığa Maruz Bırakıldıktan Sonraki Durumu



Şekil 4.3. Numunelerin 900 °C Sıcaklığa Maruz Bırakıldıktan Sonraki Durumu



Şekil 4.4. Numunelerin 300 °C Sıcaklığa Maruz Bırakıldıktan Sonraki Normal Soğuma Durumu



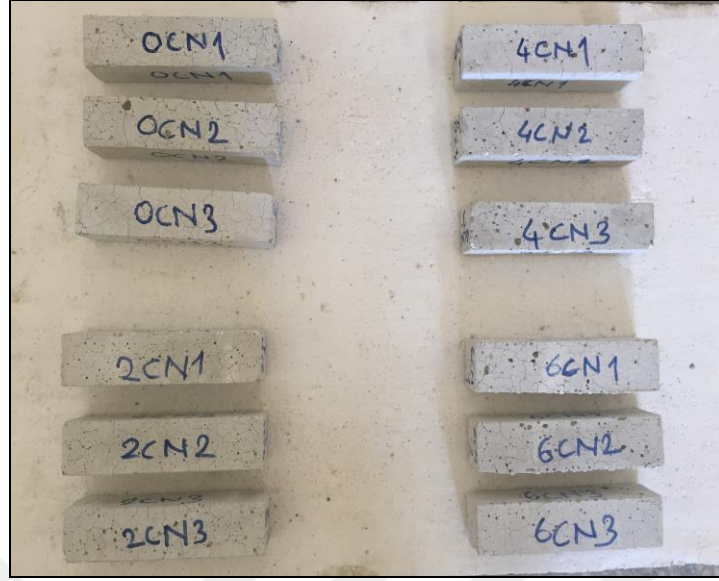
Şekil 4.5. Numunelerin 300 °C Sıcaklığa Maruz Bırakıldıktan Sonraki Ani Soğuma Durumu



Şekil 4.6. Numunelerin 600 °C Sıcaklığa Maruz Bırakıldıktan Sonraki Normal Soğuma Durumu



Şekil 4.7. Numunelerin 600 °C Sıcaklığa Maruz Bırakıldıktan Sonraki Ani Soğuma Durumu



Şekil 4.8. Numunelerin 900 °C Sıcaklığa Maruz Bırakıldıktan Sonraki Normal Soğuma Durumu



Şekil 4.9. Numunelerin 900 °C Sıcaklığa Maruz Bırakıldıktan Sonraki Ani Soğuma Durumu

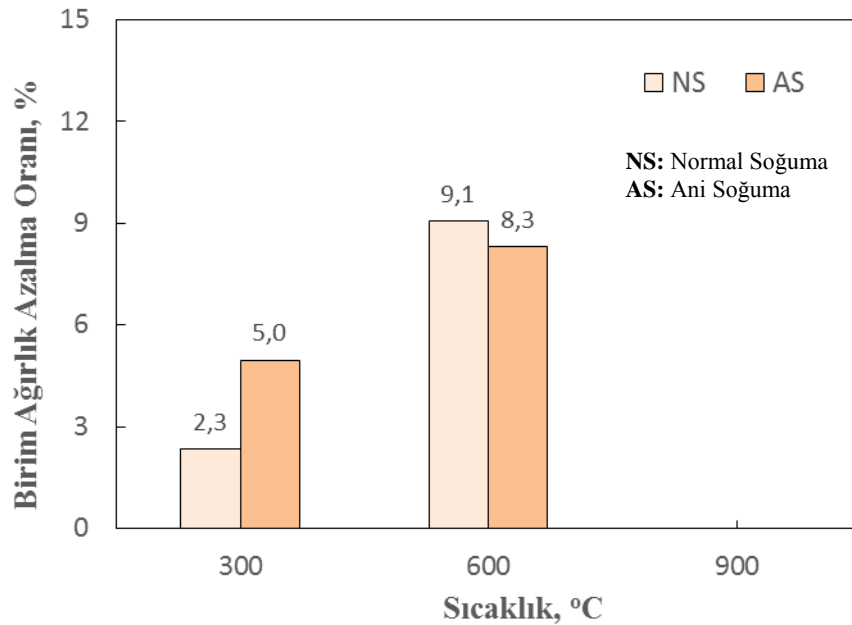
4.1. Kuru Birim Hacim Ağırlık

28 gün standart bakıma tabi tutulan numuneler sabit ağırlığa erişinceye kadar kurumaya bırakıldı. Daha sonra sertleşmiş harç numunelerin sıcaklık öncesindeki ve sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonraki soğuma tiplerine göre kuru birim ağırlıkları belirlendi. Deney sonuçları Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo. 4.1. Numunelerin Kuru Birim Ağırlık Deney Sonuçları

Lif Oranı, V _f (%)	Karışım Kodu	Sıcaklık °C	Soğuma Tipi	Birim Ağırlık, kg/m ³		
				Sıcaklık Öncesi	Sıcaklık Sonrası	% Değişim
0	BL0-R	20	R	2287	-	-
	BL0-300-NS	300	NS	2272	2218	-2,3
	BL0-300-AS		AS	2274	2161	-5,0
	BL0-600-NS	600	NS	2301	2093	-9,1
	BL0-600-AS		AS	2294	2104	-8,3
	BL0-900-NS	900	NS	2268	-	-
	BL0-900-AS		AS	2272	-	-
0,2	BL2-R	20	R	2281	-	-
	BL2-300-NS	300	NS	2257	2137	-5,3
	BL2-300-AS		AS	2278	2141	-6,0
	BL2-600-NS	600	NS	2294	2076	-9,5
	BL2-600-AS		AS	2282	2088	-8,5
	BL2-900-NS	900	NS	2266	-	-
	BL2-900-AS		AS	2259	-	-
0,4	BL4-R	20	R	2293	-	-
	BL4-300-NS	300	NS	2270	2147	-5,4
	BL4-300-AS		AS	2272	2131	-6,2
	BL4-600-NS	600	NS	2294	2058	-10,3
	BL4-600-AS		AS	2302	2106	-8,5
	BL4-900-NS	900	NS	2295	-	-
	BL4-900-AS		AS	2296	-	-
0,6	BL6-R	20	R	2273	-	-
	BL6-300-NS	300	NS	2263	2124	-6,2
	BL6-300-AS		AS	2245	2051	-8,6
	BL6-600-NS	600	NS	2277	2006	-11,9
	BL6-600-AS		AS	2274	2074	-8,8
	BL6-900-NS	900	NS	2260	-	-
	BL6-900-AS		AS	2272	-	-

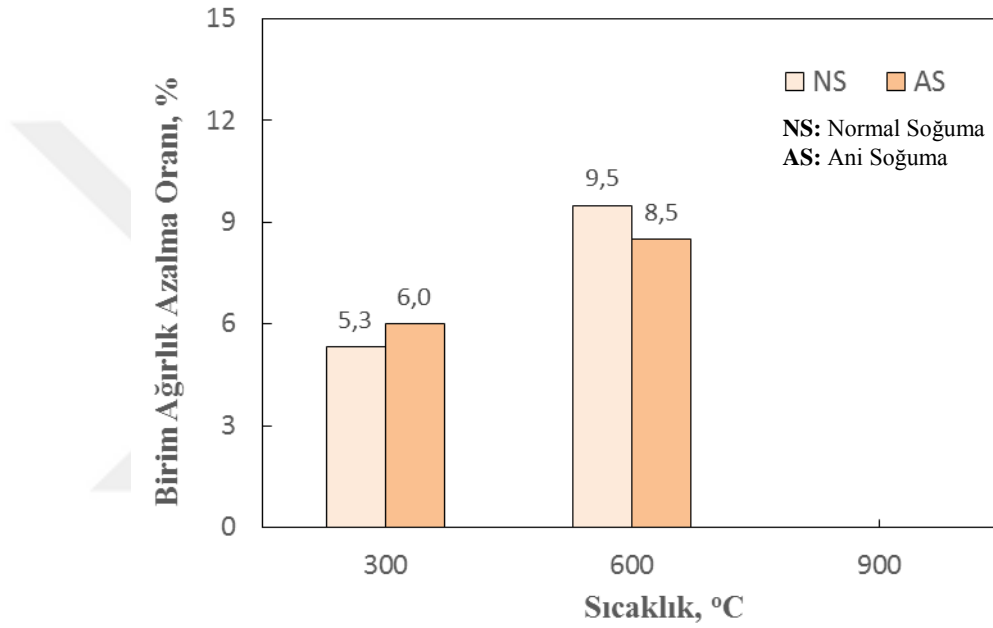
BL0 ($V_f=0$) karışımında 300°C’de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi kuru birim ağırlıklarının sıcaklık sonrası kuru birim ağırlıklarına kıyasla %2,3, 600°C’de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi kuru birim ağırlıklarının sıcaklık sonrası kuru birim ağırlıklarına kıyasla %9,1 oranında, 300°C’de ani soğuma tipine göre ise %5, 600°C’de ani soğuma tipine göre ise %8,30 oranında düştüğü gözlenmiştir. 900°C’deki normal soğumaya bırakılan bütün numunelerin 24 saat beklemek üzere suya konulduğu anda dağıldığı ve yine aynı sıcaklıkta fırından çıkarılan numunelerden ani soğumaya bırakılan bütün numunelerin suya konulduğu anda dağıldığı gözlemlenmiştir. Bazalt lifsiz numunelerde sıcaklığa bağlı kuru birim ağırlığın değişimi Şekil 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.10. Bazalt Lifsiz Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Değişimi

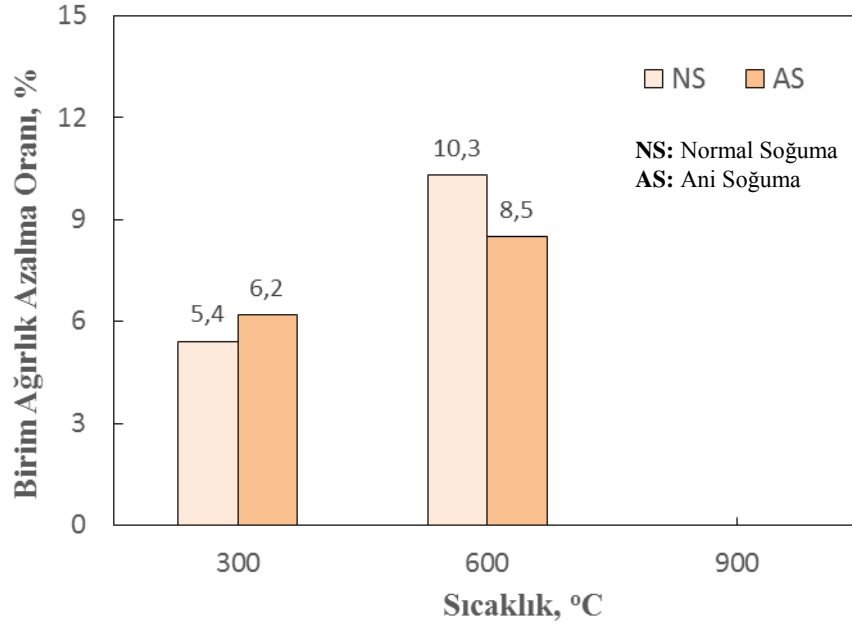
BL2 ($V_f=0,2$) karışımında 300°C’de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi kuru birim ağırlıklarının sıcaklık sonrası kuru birim ağırlıklarına kıyasla %5,3, 600°C’de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi kuru birim ağırlıklarının sıcaklık sonrası kuru birim ağırlıklarına kıyasla %9,5 oranında, 300°C’de ani soğuma tipine göre ise %6, 600°C’de ani soğuma tipine göre ise %8,5 oranında düştüğü tespit

edilmiştir. 900°C'deki normal soğumaya bırakılan bütün numunelerin 24 saat beklemek üzere suya konulduğu anda dağıldığı ve yine aynı sıcaklıkta fırından çıkarılan numunelerden ani soğumaya bırakılan bütün numunelerin suya konulduğu anda dağıldığı gözlemlenmiştir. Bazalt lif içeriği %0,2 olan numunelerin sıcaklığa bağlı kuru birim ağırlığın değişimi Şekil 4.11'de verilmiştir.



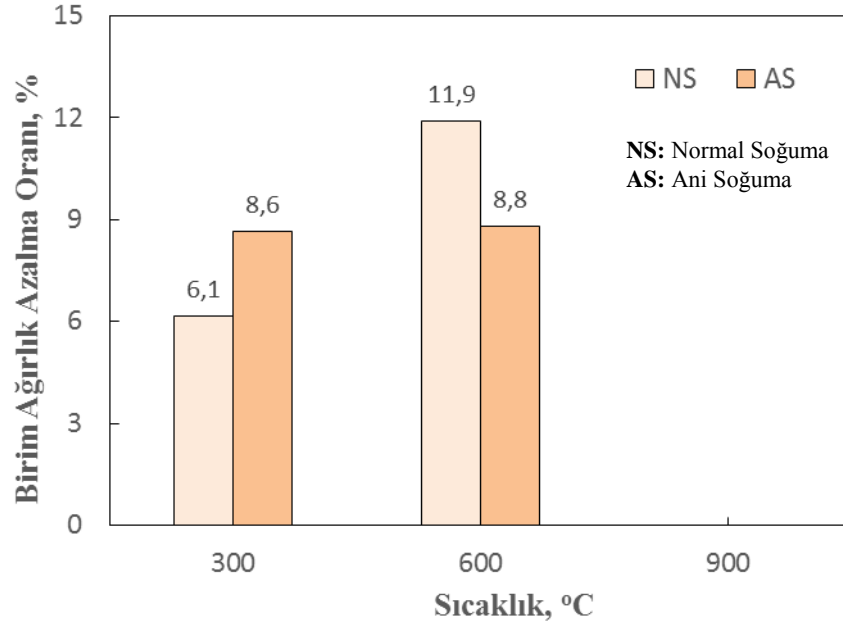
Şekil 4.11. %0,2 Bazalt Lifli Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Değişimi

BL4 ($V_f=0,4$) karışımında 300°C'de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi kuru birim ağırlıklarının sıcaklık sonrası kuru birim ağırlıklarına kıyasla %5,4, 600°C'de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi kuru birim ağırlıklarının sıcaklık sonrası kuru birim ağırlıklarına kıyasla %10,3 oranında, 300°C'de ani soğuma tipine göre ise %6,2, 600°C'de ani soğuma tipine göre ise %8,5 oranında düştüğü gözlemlenmiştir. 900°C'deki normal soğumaya bırakılan bütün numunelerin 24 saat beklemek üzere suya konulduğu anda dağıldığı ve yine aynı sıcaklıkta fırından çıkarılan numunelerden ani soğumaya bırakılan bütün numunelerin suya konulduğu anda dağıldığı gözlemlenmiştir. Bazalt lif içeriği %0,4 olan numunelerin sıcaklığa bağlı kuru birim ağırlığın değişimi Şekil 4.12'de verilmiştir.



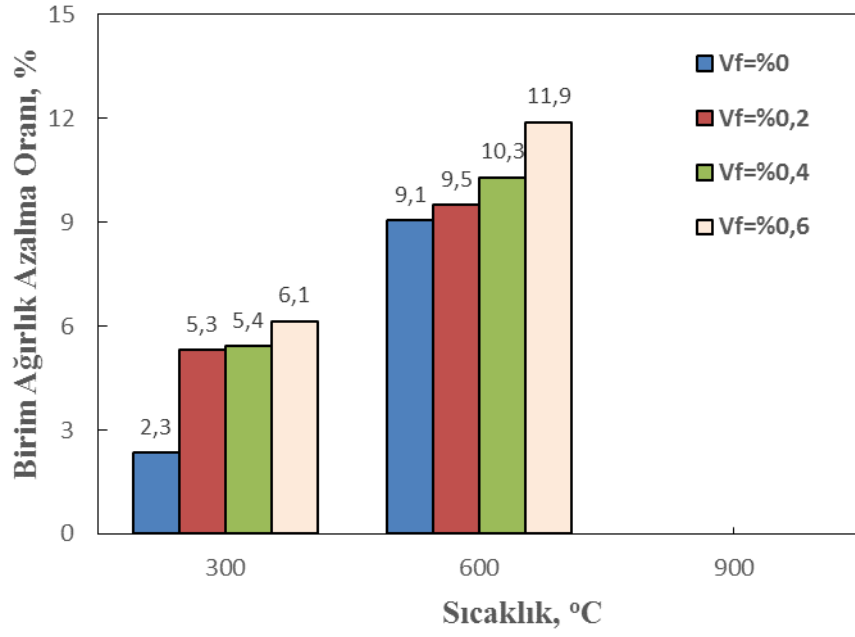
Şekil 4.12. %0,4 Bazalt Lifli Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Değişimi

BL6 ($V_f=0,6$) karışımında 300°C’de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi kuru birim ağırlıklarının sıcaklık sonrası kuru birim ağırlıklarına kıyasla %6,1, 600°C’de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi kuru birim ağırlıklarının sıcaklık sonrası kuru birim ağırlıklarına kıyasla %11,9 oranında, 300°C’de ani soğuma tipine göre ise %8,6, 600°C’de ani soğuma tipine göre ise %8,8 oranında düştüğü gözlenmiştir. 900°C’deki normal soğumaya bırakılan bütün numunelerin 24 saat beklemek üzere suya konulduğu anda dağıldığı ve yine aynı sıcaklıkta fırından çıkarılan numunelerden ani soğumaya bırakılan bütün numunelerin suya konulduğu anda dağıldığı gözlemlenmiştir. Bazalt lif içeriği %0,4 olan numunelerin sıcaklığa bağlı kuru birim ağırlığın değişimi Şekil 4.13’de verilmiştir.

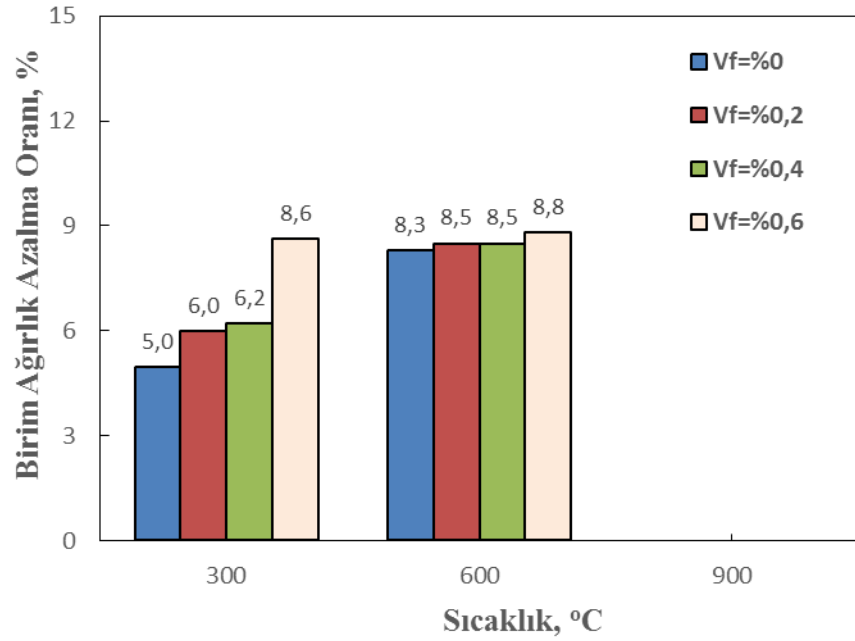


Şekil 4.13. %0,6 Bazalt Lifli Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Değişimi

Bütün soğuma tipleri için sıcaklığın artması ile numunelerin kuru birim hacim ağırlıklarının azaldığı belirlenmiştir. 600°C sıcaklığa maruz bırakıp sonra ani soğumaya bırakılan numunelerin kuru birim hacim ağırlıklarının azalma oranlarında belirgin değişiklik gözlemlenmemiştir. Bazalt lif ilavesi ve bazalt lif içeriğinin artırılmasıyla 300°C ve 600°C sıcaklık için bütün soğuma tiplerinde numunelerin kuru birim hacim ağırlıklarının azalma oranı da artmıştır. Bütün bazalt lif içeriklerinde 300°C için kuru birim ağırlık değerlerindeki azalma oranı ani soğuma tipinde daha fazla olmuştur. 600°C için ise kuru birim ağırlık değerlerindeki azalma oranı normal soğuma tipinde daha fazla olmuştur. Bütün maruz bırakılan sıcaklık değerlerinde ve soğutma tiplerinde numunelerin içinde kuru birim hacim ağırlığında en fazla azalma oranı %0,6 bazalt lifli numunede, en az azalma oranı ise bazalt lifsiz numunede tespit edilmiştir. 900°C'deki normal soğumaya bırakılan bütün numunelerin 24 saat beklemek üzere suya konulduğu anda dağıldığı ve yine aynı sıcaklıkta fırından çıkarılan numunelerden ani soğumaya bırakılan bütün numunelerin suya konulduğu anda dağıldığı gözlemlenmiştir. Numunelerin kuru birim ağırlığının sıcaklığa bağlı bazalt lif içeriği ile değişimi normal ve ani soğuma tipi için sırasıyla Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'de verilmiştir.



Şekil 4.14. Numunelerin Kuru Birim Ağırlığının Sıcaklığa Bağlı Bazalt Lif İçeriği İle Değişimi (Normal Soğuma)



Şekil 4.15. Numunelerin Kuru Birim Ağırlığının Sıcaklığa Bağlı Bazalt Lif İçeriği İle Değişimi (Ani Soğuma)

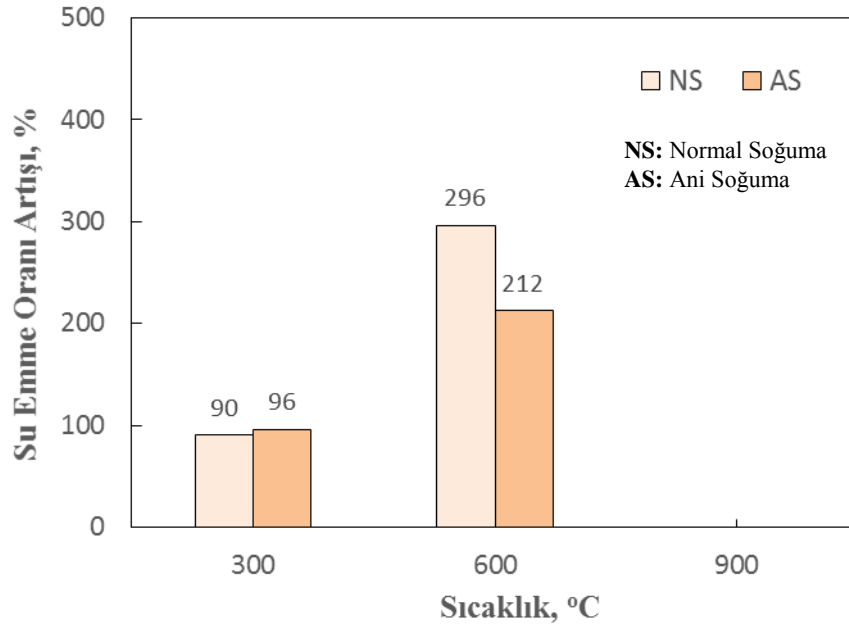
4.2. Su Emme

28 gün standart bakıma tabi tutulan numuneler sabit ağırlığa erişinceye kadar kurumaya bırakıldı. Daha sonra sertleşmiş harç numunelerin sıcaklık öncesindeki ve sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonraki soğuma tiplerine göre su emme oranları belirlendi. Deney sonuçları Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo. 4.2. Numunelerin Su Emme Oranları

Lif Oranı, V _f (%)	Karışım Kodu	Sıcaklık °C	Soğuma Tipi	Su Emme		
				Sıcaklık Öncesi	Sıcaklık Sonrası	% Değişim
0	BL0-R	20	R	3,1	-	-
	BL0-300-NS	300	NS	4,2	8,0	90
	BL0-300-AS		AS	3,9	7,7	96
	BL0-600-NS	600	NS	2,8	11,0	296
	BL0-600-AS		AS	3,2	10,0	212
	BL0-900-NS	900	NS	3,9	-	-
	BL0-900-AS		AS	3,8	-	-
0,2	BL2-R	20	R	2,7	-	-
	BL2-300-NS	300	NS	3,8	8,0	109
	BL2-300-AS		AS	3,4	7,2	112
	BL2-600-NS	600	NS	2,4	10,8	348
	BL2-600-AS		AS	2,9	10,0	243
	BL2-900-NS	900	NS	3,8	-	-
	BL2-900-AS		AS	3,8	-	-
0,4	BL4-R	20	R	2,5	-	-
	BL4-300-NS	300	NS	3,3	8,0	139
	BL4-300-AS		AS	3,1	7,6	142
	BL4-600-NS	600	NS	2,3	11,0	370
	BL4-600-AS		AS	2,1	9,6	356
	BL4-900-NS	900	NS	2,3	-	-
	BL4-900-AS		AS	2,3	-	-
0,6	BL6-R	20	R	3,1	-	-
	BL6-300-NS	300	NS	3,8	7,0	86
	BL6-300-AS		AS	4,0	8,7	118
	BL6-600-NS	600	NS	3,0	11,3	275
	BL6-600-AS		AS	2,7	9,6	255
	BL6-900-NS	900	NS	3,2	-	-
	BL6-900-AS		AS	3,1	-	-

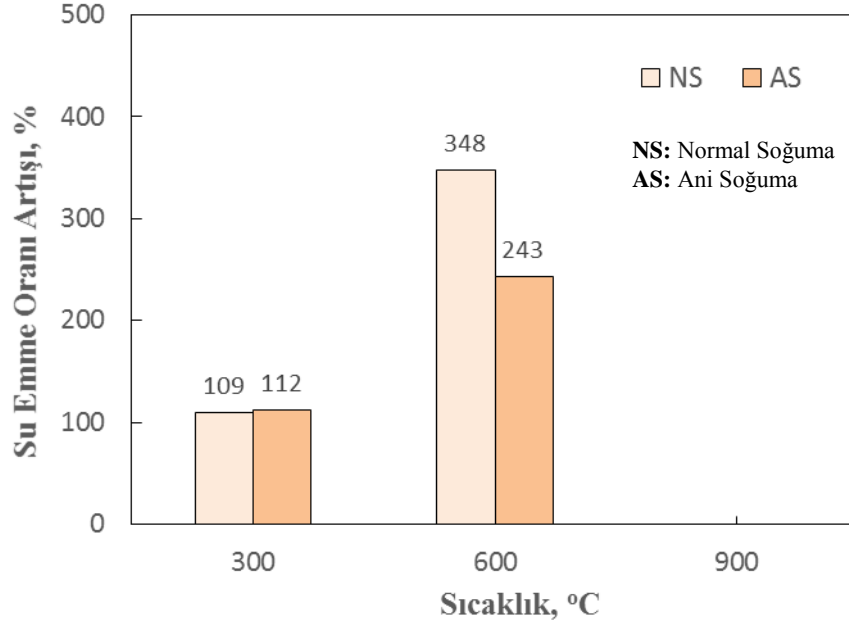
BL0 ($V_{f=}$ %0) karışımında 300°C’de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi su emme değerlerinde sıcaklık sonrası su emme değerlerine kıyasla %90, 600°C’de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi su emme değerlerinde sıcaklık sonrası su emme değerlerine kıyasla %296 oranında, 300°C’de ani soğuma tipine göre ise %96, 600°C’de ani soğuma tipine göre ise %212 oranında artış gözlenmiştir. 900°C’deki normal soğumaya bırakılan bütün numunelerin 24 saat beklemek üzere suya konulduğu anda dağıldığı ve yine aynı sıcaklıkta fırından çıkarılan numunelerden ani soğumaya bırakılan bütün numunelerin suya konulduğu anda dağıldığı gözlemlenmiştir. Bazalt lifsiz numunelerde sıcaklığa bağlı su emme oranının değişimi Şekil 4.16’da verilmiştir.



Şekil 4.16. Bazalt Lifsiz Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Su Emme Oranın Değişimi

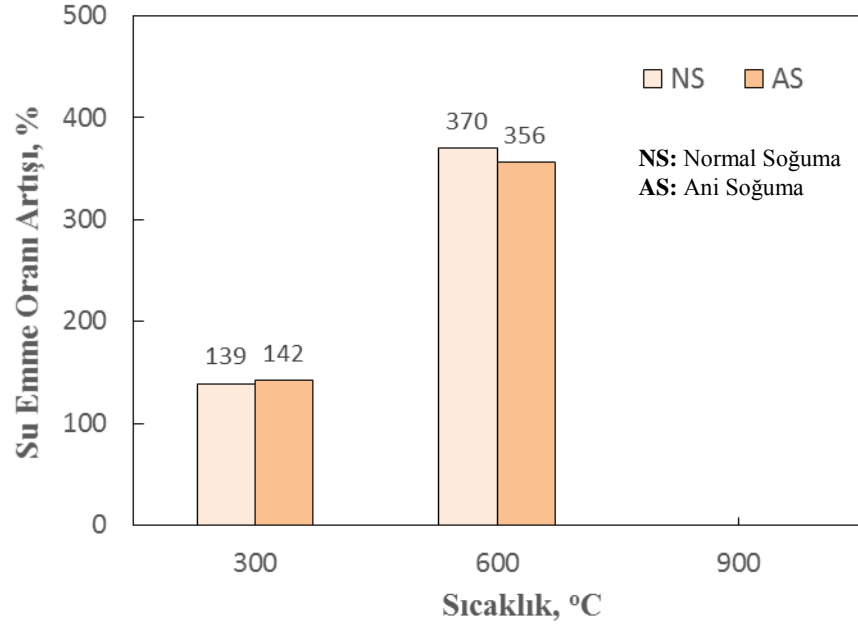
BL2 ($V_{f=}$ %0,2) karışımında 300°C’de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi su emme değerlerinde sıcaklık sonrası su emme değerlerine kıyasla %109, 600°C’de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi su emme değerlerinde sıcaklık sonrası su emme değerlerine kıyasla %348 oranında, 300°C’de ani soğuma tipine göre ise %112, 600°C’de ani soğuma tipine göre ise %243 oranında artış gözlenmiştir. 900°C’deki normal soğumaya bırakılan bütün numunelerin 24 saat beklemek üzere suya konulduğu anda dağıldığı ve yine aynı sıcaklıkta fırından çıkarılan

numunelerden ani soğumaya bırakılan bütün numunelerin suya konulduğu anda dağıldığı gözlemlenmiştir. %0,2 bazalt lifli numunelerde sıcaklığa bağlı su emme oranının değişimi Şekil 4.17’de verilmiştir.



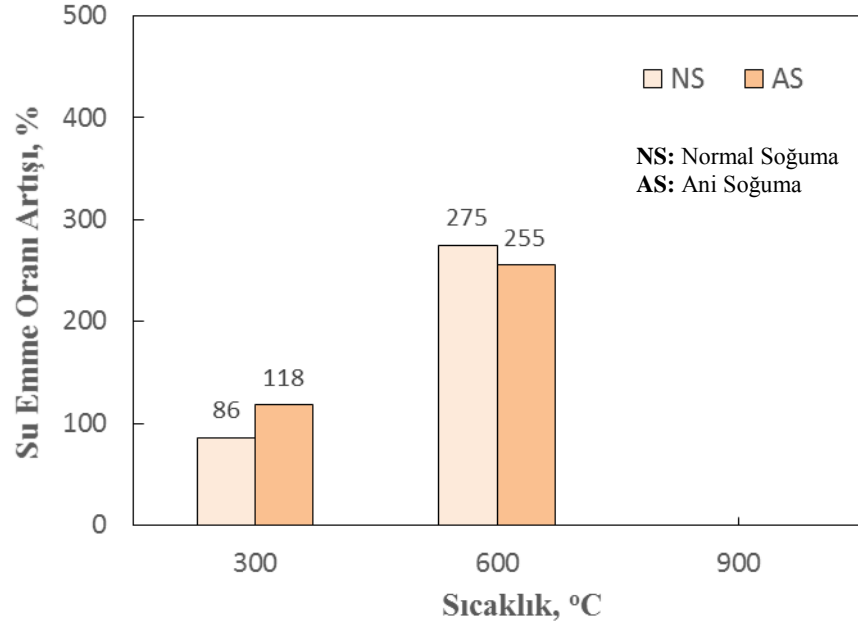
Şekil 4.17. %0,2 Bazalt Lifli Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Su Emme Oranın Değişimi

BL4 ($V_f=0,4$) karışımında 300°C’de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi su emme değerlerinde sıcaklık sonrası su emme değerlerine kıyasla %139, 600°C’de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi su emme değerlerinde sıcaklık sonrası su emme değerlerine kıyasla %370 oranında, 300°C’de ani soğuma tipine göre ise %142, 600°C’de ani soğuma tipine göre ise %356 oranında artış gözlenmiştir. 900°C’deki normal soğumaya bırakılan bütün numunelerin 24 saat beklemek üzere suya konulduğu anda dağıldığı ve yine aynı sıcaklıkta fırından çıkarılan numunelerden ani soğumaya bırakılan bütün numunelerin suya konulduğu anda dağıldığı gözlemlenmiştir. %0,4 bazalt lifli numunelerde sıcaklığa bağlı su emme oranının değişimi Şekil 4.18’de verilmiştir.



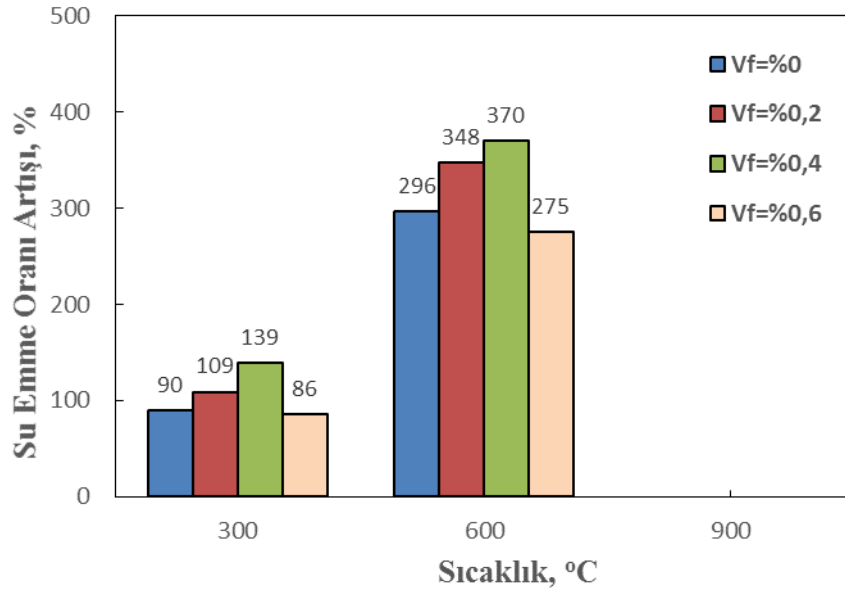
Şekil 4.18. %0,4 Bazalt Lifli Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Su Emme Oranın Değişimi

BL6 ($V_f = \%0,6$) karışımında 300°C 'de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi su emme değerlerinde sıcaklık sonrası su emme değerlerine kıyasla %86, 600°C 'de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi su emme değerlerinde sıcaklık sonrası su emme değerlerine kıyasla %275 oranında, 300°C 'de ani soğuma tipine göre ise %118, 600°C 'de ani soğuma tipine göre ise %255 oranında artış gözlenmiştir. 900°C 'deki normal soğumaya bırakılan bütün numunelerin 24 saat beklemek üzere suya konulduğu anda dağıldığı ve yine aynı sıcaklıkta fırından çıkarılan numunelerden ani soğumaya bırakılan bütün numunelerin suya konulduğu anda dağıldığı gözlemlenmiştir. %0,6 bazalt lifli numunelerde sıcaklığa bağlı su emme oranının değişimi Şekil 4.19'da verilmiştir.

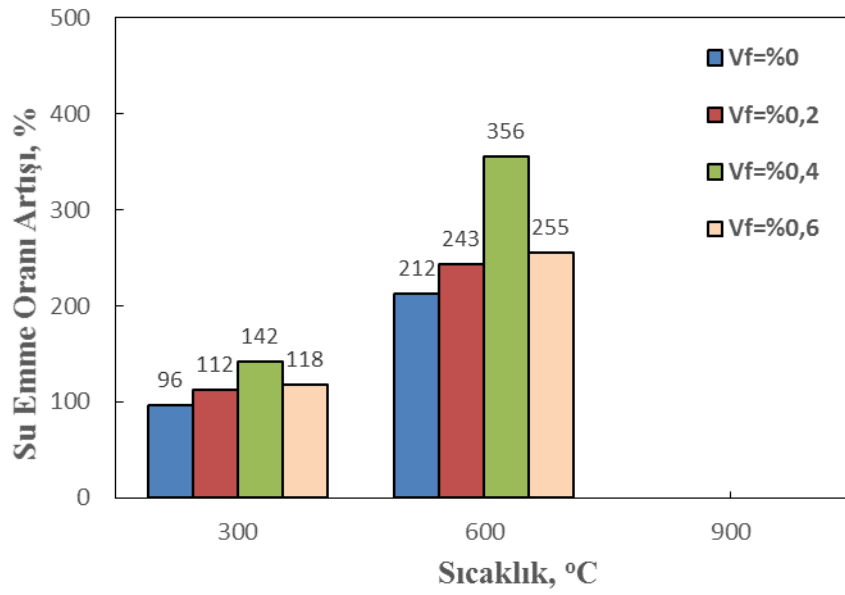


Şekil 4.19. %0,6 Bazalt Lifli Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Su Emme Oranın Değişimi

Bütün soğuma tiplerinde sıcaklığın artmasıyla su emme oranında artış elde edilmiştir. Normal soğuma için su emme oranındaki artış miktarı en az bazalt lif/çimento hacimsel oranı %0,6 olan numunelerde görülürken, ani soğuma için ise bazalt lifsiz numunelerde gözlenmiştir. Bütün soğuma tiplerinde su emme oranlarındaki en büyük artışlar %0,4 oranında bazalt lif içeren numunelerde elde edilmiştir. 900°C'deki normal soğumaya bırakılan bütün numunelerin 24 saat beklemek üzere suya konulduğu anda dağıldığı ve yine aynı sıcaklıkta fırından çıkarılan numunelerden ani soğumaya bırakılan bütün numunelerin suya konulduğu anda dağıldığı gözlemlenmiştir. Numunelerin su emme oranının sıcaklığa bağlı bazalt lif içeriği ile değişimi normal ve ani soğuma tipi için sırasıyla Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de verilmiştir.



Şekil 4.20. Numunelerde Su Emme Oranın Sıcaklığa Bağlı Bazalt Lif İçeriği İle Değişimi (Normal Soğuma)



Şekil 4.21. Numunelerde Su Emme Oranın Sıcaklığa Bağlı Bazalt Lif İçeriği İle Değişimi (Ani Soğuma)

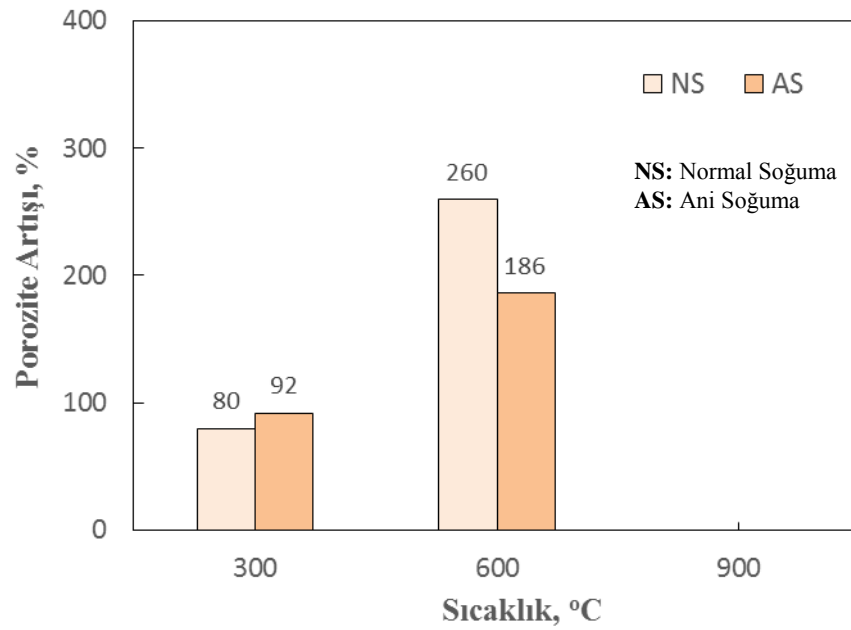
4.3. Porozite

28 gün standart bakıma tabi tutulan numuneler kuru ağırlığı değişmeyinceye kadar kurumaya bırakıldı. Daha sonra sertleşmiş harç numunelerin sıcaklık öncesindeki ve sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonraki soğuma tiplerine göre porozite değerleri belirlendi. Deney sonuçları Tablo 4.3’de verilmiştir.

Tablo. 4.3. Numunelerin Porozite Değerleri

Lif Oranı, V _f (%)	Sıcaklık °C	Karışım Kodu	Soğuma Tipi	Porozite		
				Sıcaklık Öncesi	Sıcaklık Sonrası	% Değişim
0	20	BL0-R	R	7,1	-	-
	300	BL0-300-NS	NS	9,6	17,3	80
		BL0-300-AS	AS	8,9	17,1	92
	600	BL0-600-NS	NS	6,4	23,1	260
		BL0-600-AS	AS	7,3	21,0	186
	900	BL0-900-NS	NS	8,9	-	-
BL0-900-AS		AS	8,6	-	-	
0,2	20	BL2-R	R	6,3	-	-
	300	BL2-300-NS	NS	8,6	16,9	96
		BL2-300-AS	AS	7,7	15,5	100
	600	BL2-600-NS	NS	5,5	22,1	301
		BL2-600-AS	AS	6,7	20,9	214
	900	BL2-900-NS	NS	8,5	-	-
BL2-900-AS		AS	8,6	-	-	
0,4	20	BL4-R	R	5,8	-	-
	300	BL4-300-NS	NS	7,6	17,1	126
		BL4-300-AS	AS	7,1	16,1	127
	600	BL4-600-NS	NS	5,4	23,1	329
		BL4-600-AS	AS	4,9	19,6	302
	900	BL4-900-NS	NS	5,3	-	-
BL4-900-AS		AS	5,3	-	-	
0,6	20	BL6-R	R	7,0	-	-
	300	BL6-300-NS	NS	8,5	14,5	70
		BL6-300-AS	AS	8,9	18,2	104
	600	BL6-600-NS	NS	6,9	23,7	244
		BL6-600-AS	AS	6,2	19,8	221
	900	BL6-900-NS	NS	7,1	-	-
BL6-900-AS		AS	7,1	-	-	

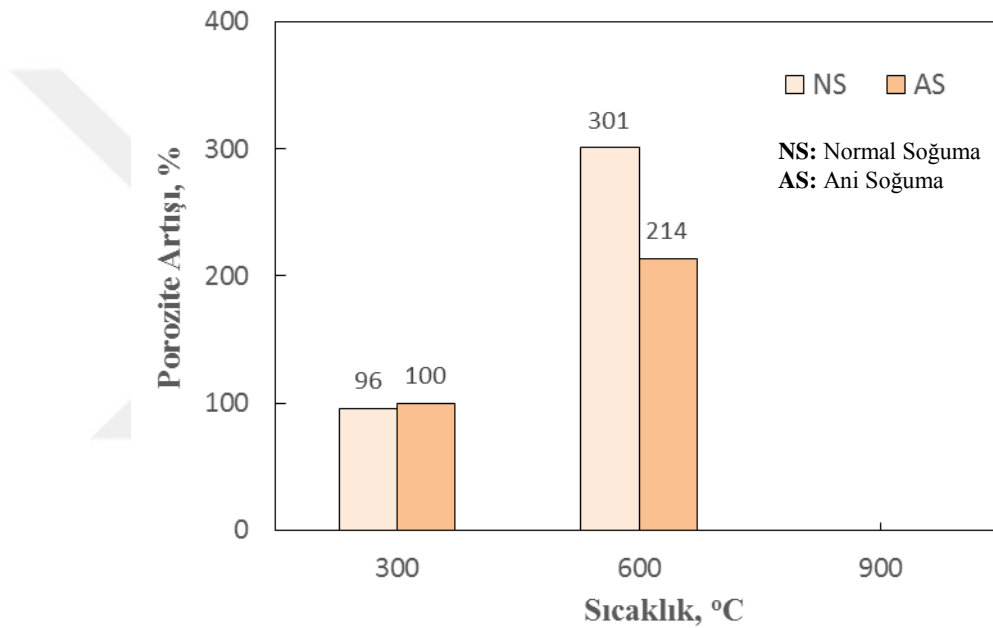
BL0 ($V_f=0$) karışımında 300°C’de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi görünen boşluk oranlarında sıcaklık sonrası görünen boşluk oranlarına kıyasla %80, 600°C’de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi görünen boşluk oranlarında sıcaklık sonrası su görünen boşluk oranlarına kıyasla %260 oranında, 300°C’de ani soğuma tipine göre ise %92, 600°C’de ani soğuma tipine göre ise %186 oranında artış olduğu belirlenmiştir. 900°C’deki normal soğumaya bırakılan bütün numunelerin 24 saat beklemek üzere suya konulduğu anda dağıldığı ve yine aynı sıcaklıkta fırından çıkarılan numunelerden ani soğumaya bırakılan bütün numunelerin suya konulduğu anda dağıldığı gözlemlenmiştir. %0,6 bazalt lifli numunelerde sıcaklığa bağlı porozite oranının bazalt lif içeriği ile değişimi Şekil 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.22. Bazalt Lifsiz Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Porozitenin Değişimi

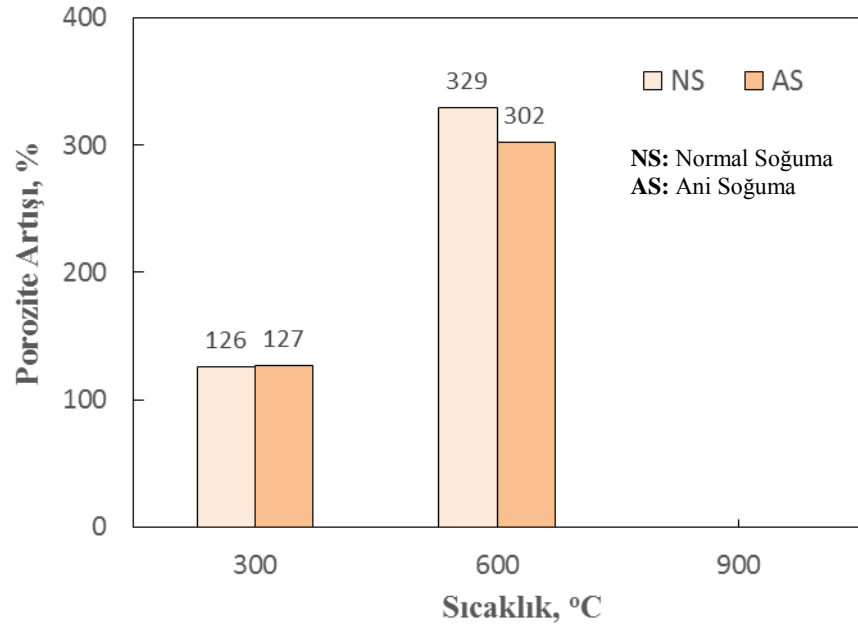
BL2 ($V_f=0,2$) karışımında 300°C’de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi görünen boşluk oranlarında sıcaklık sonrası görünen boşluk oranlarına kıyasla %96, 600°C’de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi görünen boşluk oranlarında sıcaklık sonrası su görünen boşluk oranlarına kıyasla %301 oranında, 300°C’de ani soğuma tipine göre ise %100, 600°C’de ani soğuma tipine göre ise %214 oranında

artış olduğu belirlenmiştir. 900°C'deki normal soğumaya bırakılan bütün numunelerin 24 saat beklemek üzere suya konulduğu anda dağıldığı ve yine aynı sıcaklıkta fırından çıkarılan numunelerden ani soğumaya bırakılan bütün numunelerin suya konulduğu anda dağıldığı gözlemlenmiştir. %0,6 bazalt lifli numunelerde sıcaklığa bağlı porozite oranının bazalt lif içeriği ile değişimi Şekil 4.23'de verilmiştir.



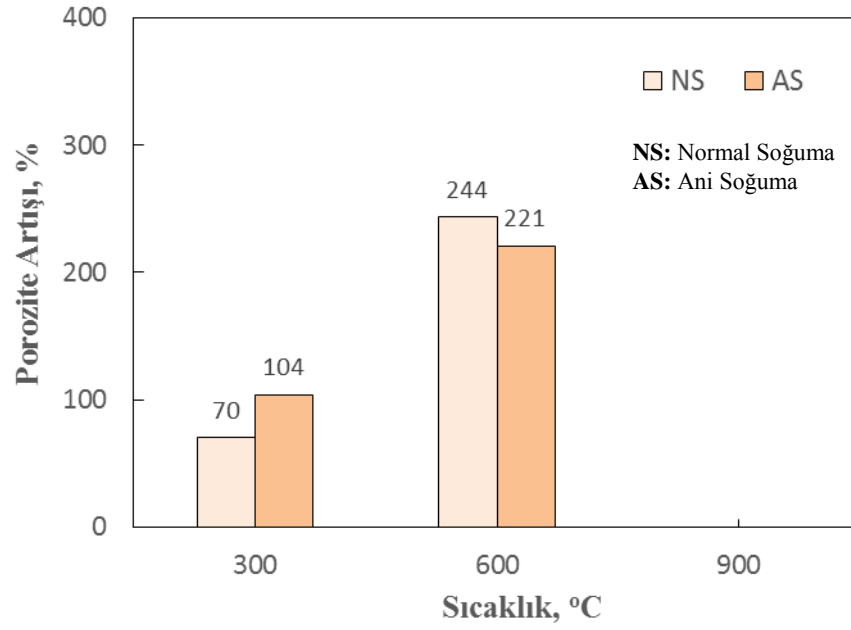
Şekil 4.23. %0,2 Bazalt Lifli Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Porozitenin Değişimi

BL4 ($V_f=0,4$) karışımında 300°C'de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi görünen boşluk oranlarında sıcaklık sonrası görünen boşluk oranlarına kıyasla %126, 600°C'de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi görünen boşluk oranlarında sıcaklık sonrası su görünen boşluk oranlarına kıyasla %329 oranında, 300°C'de ani soğuma tipine göre ise %127, 600°C'de ani soğuma tipine göre ise %302 oranında artış olduğu belirlenmiştir. 900°C'deki normal soğumaya bırakılan bütün numunelerin 24 saat beklemek üzere suya konulduğu anda dağıldığı ve fırından çıkarılan numunelerden ani soğumaya bırakılan bütün numunelerin suya konulduğu anda dağıldığı gözlemlenmiştir. %0,6 bazalt lifli numunelerde sıcaklığa bağlı porozite oranının bazalt lif içeriği ile değişimi Şekil 4.24'de verilmiştir.



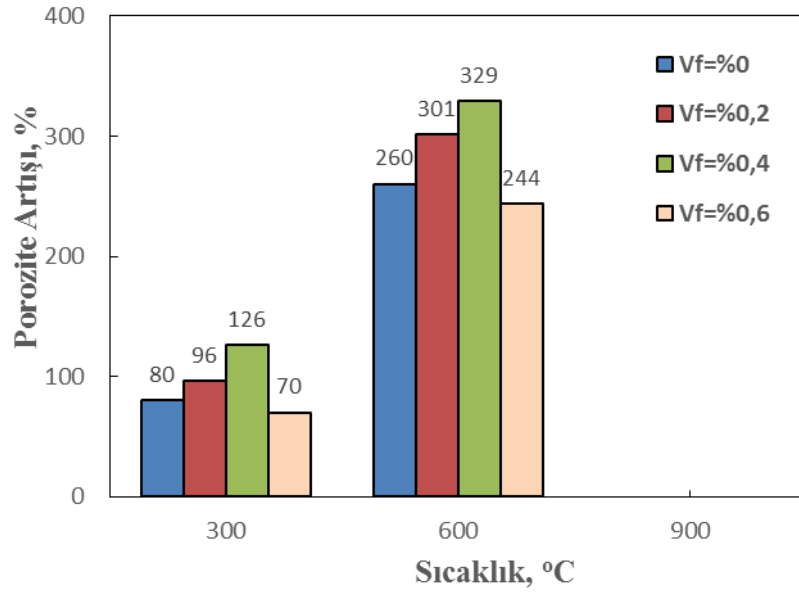
Şekil 4.24. %0,4 Bazalt Lifli Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Porozitenin Değişimi

BL6 ($V_f=0,6$) karışımında 300°C'de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi görünen boşluk oranlarında sıcaklık sonrası görünen boşluk oranlarına kıyasla %70, 600°C'de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi görünen boşluk oranlarında sıcaklık sonrası su görünen boşluk oranlarına kıyasla %244 oranında, 300°C'de ani soğuma tipine göre ise %104, 600°C'de ani soğuma şekline göre ise %221 oranında artış olduğu belirlenmiştir. 900°C'deki normal soğumaya bırakılan bütün numunelerin 24 saat beklemek üzere suya konulduğu anda dağıldığı ve yine aynı sıcaklıkta fırından çıkarılan numunelerden ani soğumaya bırakılan bütün numunelerin suya konulduğu anda dağıldığı gözlemlenmiştir. %0,6 bazalt lifli numunelerde sıcaklığa bağlı porozite oranının bazalt lif içeriği ile değişimi Şekil 4.25'de verilmiştir.

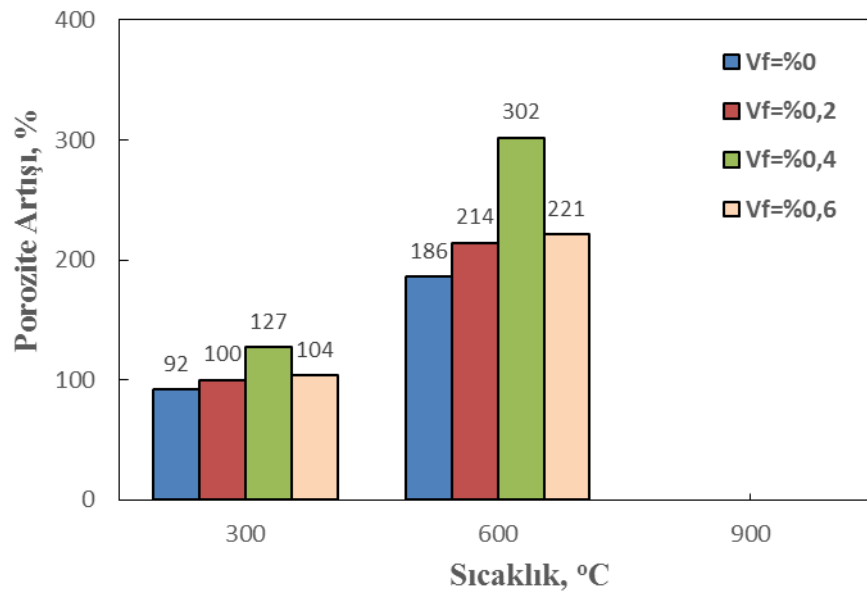


Şekil 4.25. %0,6 Bazalt Lifli Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Porozitenin Değişimi

Bütün soğuma tiplerinde sıcaklığın artmasıyla boşluk oranında artış elde edilmiştir. Normal soğuma için boşluk oranındaki artış miktarı en az bazalt lif/çimento hacimsel oranı %0,6 olan numunelerde görülürken, ani soğuma için ise bazalt lifsiz numunelerde gözlenmiştir. Bütün soğuma tiplerinde boşluk oranlarındaki en büyük artışlar %0,4 oranında bazalt lif içeren numunelerde elde edilmiştir. 900°C'deki normal soğumaya bırakılan bütün numunelerin 24 saat beklemek üzere suya konulduğu anda dağıldığı ve yine aynı sıcaklıkta fırından çıkarılan numunelerden ani soğumaya bırakılan bütün numunelerin suya konulduğu anda dağıldığı gözlemlenmiştir. Numunelerin boşluk oranının sıcaklığa bağlı bazalt lif içeriği ile değişimi normal ve ani soğuma tipi için sırasıyla Şekil 4.26 ve Şekil 4.27'de verilmiştir.



Şekil 4.26. Numunelerde Porozitenin Sıcaklığa Bağlı Bazalt Lif İçeriği İle Değişimi (Normal Soğuma)



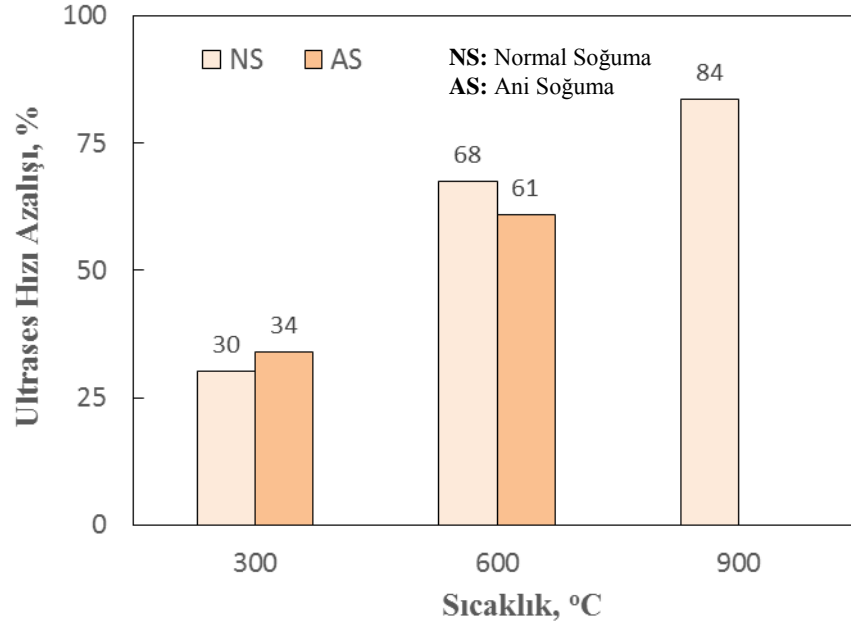
Şekil 4.27. Numunelerde Porozitenin Sıcaklığa Bağlı Bazalt Lif İçeriği İle Değişimi (Ani Soğuma)

4.4.Ultras es Geçiş Hızı

Sıcaklık uygulamasından sonra üretilen numunelerin ultras es geçiş hızlarında büyük değişiklikler meydana gelmiştir. Deneyden elde edilen numunelere ait ultras es deney sonuçları Tablo 4.4’de verilmiştir.

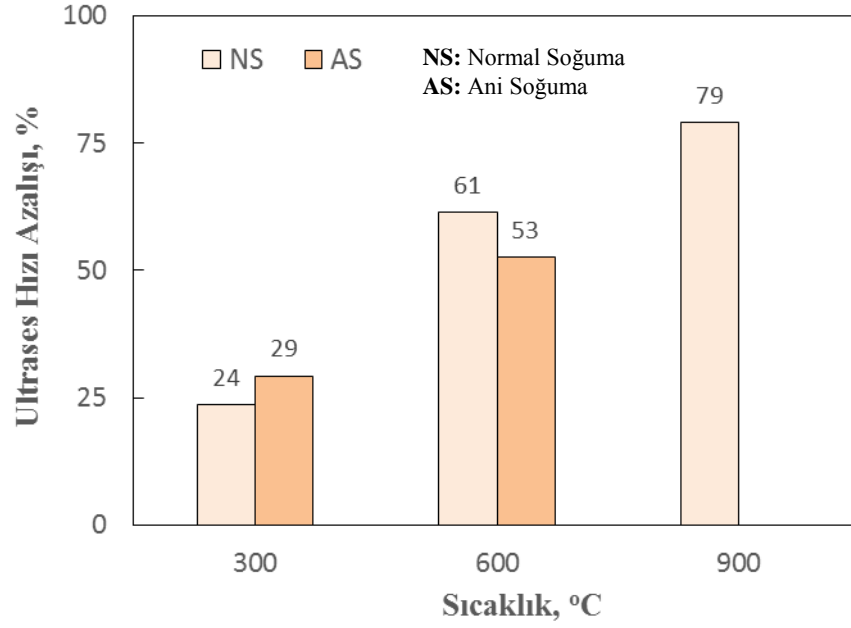
Tablo. 4.4. Numunelerin Ultras es Geçiş Hızları

Lif Oranı, V _f (%)	Karışım Kodu	Sıcaklık °C	Soğuma Tipi	Ultras es Geçiş Hızı m/s		
				Sıcaklık Öncesi	Sıcaklık Sonrası	% Azalma
0	BL0-R	20	R	4,55	-	-
	BL0-300-NS	300	NS	4,45	3,11	30
	BL0-300-AS		AS	4,47	2,95	34
	BL0-600-NS	600	NS	4,59	1,49	68
	BL0-600-AS		AS	4,57	1,79	61
	BL0-900-NS	900	NS	4,41	0,72	84
	BL0-900-AS		AS	4,32	-	-
0,2	BL2-R	20	R	4,29	-	-
	BL2-300-NS	300	NS	4,53	3,46	24
	BL2-300-AS		AS	4,34	3,07	29
	BL2-600-NS	600	NS	4,64	1,79	61
	BL2-600-AS		AS	4,57	2,17	53
	BL2-900-NS	900	NS	4,48	0,94	79
	BL2-900-AS		AS	4,53	-	-
0,4	BL4-R	20	R	4,47	-	-
	BL4-300-NS	300	NS	4,52	3,23	29
	BL4-300-AS		AS	4,32	3,05	29
	BL4-600-NS	600	NS	4,58	1,69	63
	BL4-600-AS		AS	4,64	2,04	56
	BL4-900-NS	900	NS	4,63	0,88	81
	BL4-900-AS		AS	4,42	-	-
0,6	BL6-R	20	R	4,20	-	-
	BL6-300-NS	300	NS	4,26	3,12	27
	BL6-300-AS		AS	4,49	3,27	27
	BL6-600-NS	600	NS	4,64	1,75	62
	BL6-600-AS		AS	4,64	2,25	52
	BL6-900-NS	900	NS	4,30	0,73	83
	BL6-900-AS		AS	4,58	-	-



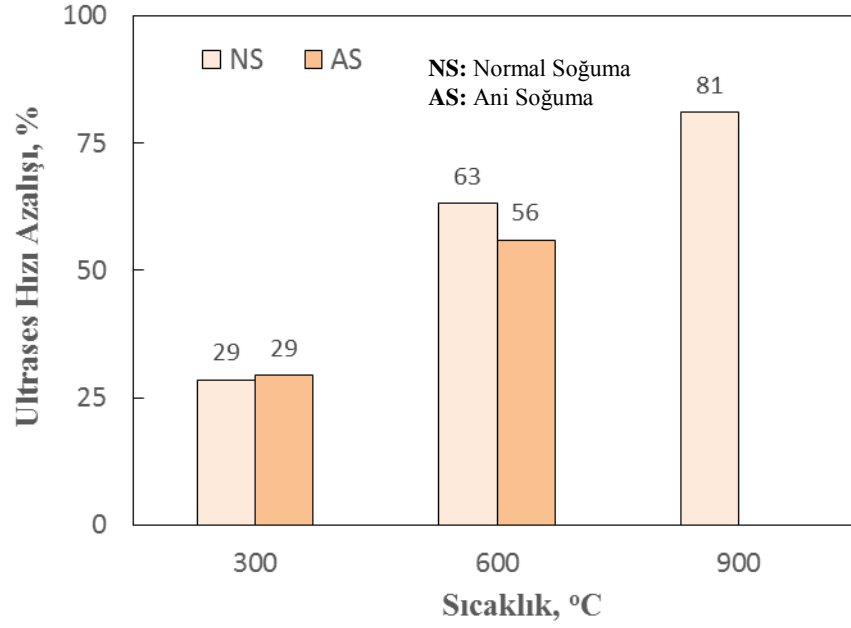
Şekil 4.28. Bazalt Lifsiz Numunelerin Normal ve Ani Soğuma Tiplerinde Ultrases Geçiş Hızının Sıcaklığa Bağlı Değişimi

Bazalt lif/çimento oranı %0 olan numunelerin 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklık uygulamasından önceki ultrases geçiş hızları numunelerinin ile sıcaklıktan sonraki ultrases geçiş hızları karşılaştırılmıştır. Bazalt lif içermeyen numunelerin sıcaklığa maruz bırakılmadan önceki ultrases geçiş hızları, 300°C sıcaklığa tabi tutulup normal soğuma tipinde soğutulduktan sonraki ölçülen ultrases geçiş hızlarına göre %30 azalmıştır. 600°C sıcaklığa tabi tutulup normal soğuma tipinde soğutulduktan sonraki ölçülen ultrases geçiş hızlarına göre %68, 900°C sıcaklığa tabi tutulduktan normal soğuma tipinde soğutulduktan sonraki ultrases geçiş hızlarına göre ise geçiş hızının %84 oranında azaldığı tespit edilmiştir. 300°C sıcaklığa tabi tutulup ani soğuma tipinde soğutulduktan sonraki ölçülen ultrases geçiş hızlarına göre %34 azalmıştır. 600°C sıcaklığa tabi tutulup normal soğuma tipinde soğutulduktan sonraki ölçülen ultrases geçiş hızlarına göre ise %61 oranında azaldığı tespit edilmiştir. 900°C'deki fırından çıkarıp ani soğumaya bırakılmak üzere suya konulan numunelerin hepsi suya konulduğu anda dağıldığından dolayı bu numunelerin ultrases geçiş hızı miktarları hesaplanamamıştır. 900°C fırından çıkarılan numunelerden ani soğumaya bırakılan numunelerin hepsi suya konulduğu anda dağıldığı görülmüştür. Bazalt lifsiz numunelerde sıcaklığa bağlı ultrases geçiş hızının değişimi Şekil 4.28'de verilmiştir.



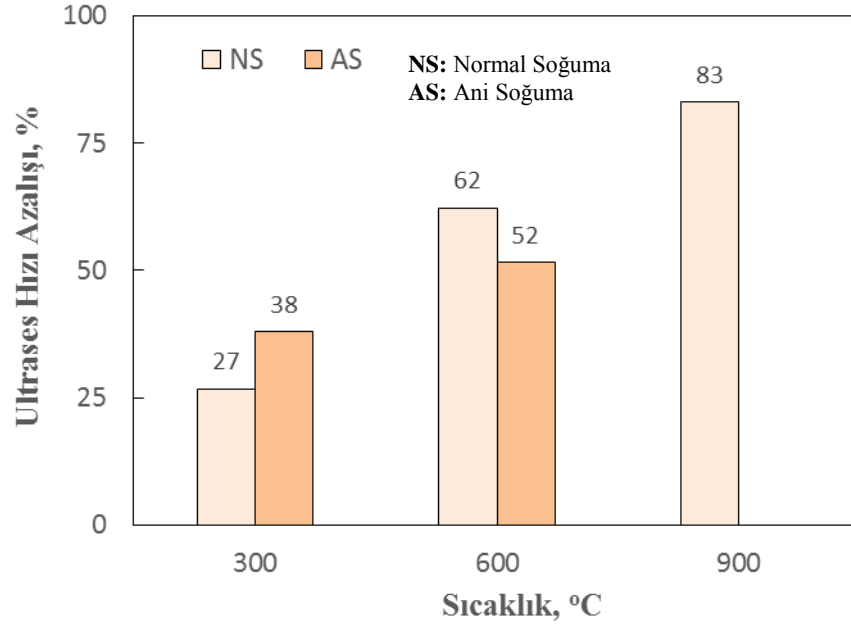
Şekil 4.29. %0,2 Oranlı Bazalt Lifli Numunelerin Normal ve Ani Soğuma Tiplerinde Ultrases Geçiş Hızının Sıcaklığa Bağlı Değişimi

Bazalt lif/çimento oranı %0,2 olan numunelerin 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklık uygulamasından önceki ultrases geçiş hızları numunelerinin ile sıcaklıktan sonraki ultrases geçiş hızları karşılaştırılmıştır. Bazalt lif içermeyen numunelerin sıcaklığa maruz bırakılmadan önceki ultrases geçiş hızları, 300°C sıcaklığa tabi tutulup normal soğuma tipinde soğutulduktan sonraki ölçülen ultrases geçiş hızlarına göre %24 azalmıştır. 600°C sıcaklığa tabi tutulup normal soğuma tipinde soğutulduktan sonraki ölçülen ultrases geçiş hızlarına göre %61, 900°C sıcaklığa tabi tutulduktan normal soğuma tipinde soğutulduktan sonraki ultrases geçiş hızlarına göre ise geçiş hızının %79 oranında azaldığı tespit edilmiştir. 300°C sıcaklığa tabi tutulup ani soğuma tipinde soğutulduktan sonraki ölçülen ultrases geçiş hızlarına göre %29 azalmıştır. 600°C sıcaklığa tabi tutulup normal soğuma tipinde soğutulduktan sonraki ölçülen ultrases geçiş hızlarına göre ise %53 oranında azaldığı tespit edilmiştir. 900°C'deki fırından çıkarıp ani soğumaya bırakılmak üzere suya konulan numunelerin suya konulduğu anda dağıldığından dolayı bu numunelerin ultrases geçiş hızı miktarları hesaplanamamıştır. 900°C fırından çıkarılan numunelerden ani soğumaya bırakılan numunelerin suya konulduğu anda dağıldığı görülmüştür. %0,2 bazalt lifli numunelerde sıcaklığa bağlı ultrases geçiş hızının değişimi Şekil 4.29'da verilmiştir.



Şekil 4.30. %0,4 Oranlı Bazalt Lifli Numunelerin Normal ve Ani Soğuma Tiplerinde Ultrases Geçiş Hızının Sıcaklığa Bağlı Değişimi

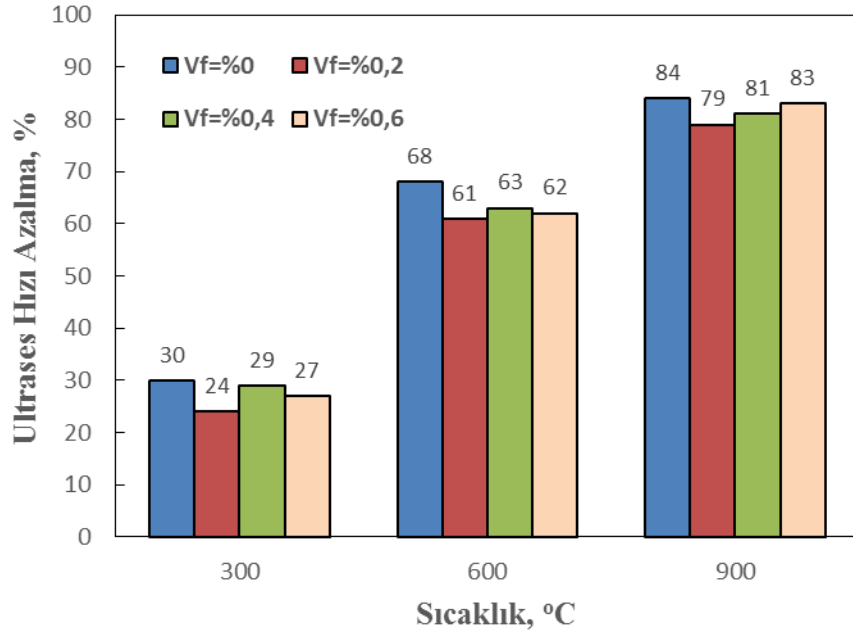
Bazalt lif/çimento oranı %0,4 olan numunelerin 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklık uygulamasından önceki ultrases geçiş hızları numunelerinin ile sıcaklıktan sonraki ultrases geçiş hızları karşılaştırılmıştır. Bazalt lif içermeyen numunelerin sıcaklığa maruz bırakılmadan önceki ultrases geçiş hızları, 300°C sıcaklığa tabi tutulup normal soğuma tipinde soğutulduktan sonraki ölçülen ultrases geçiş hızlarına göre %29 azalmıştır. 600°C sıcaklığa tabi tutulup normal soğuma tipinde soğutulduktan sonraki ölçülen ultrases geçiş hızlarına göre %63, 900°C sıcaklığa tabi tutulduktan normal soğuma tipinde soğutulduktan sonraki ultrases geçiş hızlarına göre ise geçiş hızının %81 oranında azaldığı tespit edilmiştir. 300°C sıcaklığa tabi tutulup ani soğuma tipinde soğutulduktan sonraki ölçülen ultrases geçiş hızlarına göre %29 azalmıştır. 600°C sıcaklığa tabi tutulup normal soğuma tipinde soğutulduktan sonraki ölçülen ultrases geçiş hızlarına göre ise %56 oranında azaldığı tespit edilmiştir. 900°C'deki fırından çıkarıp ani soğumaya bırakılmak üzere suya konulan numunelerin suya konulduğu anda dağıldığından dolayı bu numunelerin ultrases geçiş hızı miktarları hesaplanamamıştır. 900°C fırından çıkarılan numunelerden ani soğumaya bırakılan numunelerin suya konulduğu anda dağıldığı görülmüştür. %0,4 bazalt lifli numunelerde sıcaklığa bağlı ultrases geçiş hızının değişimi Şekil 4.30'da verilmiştir.



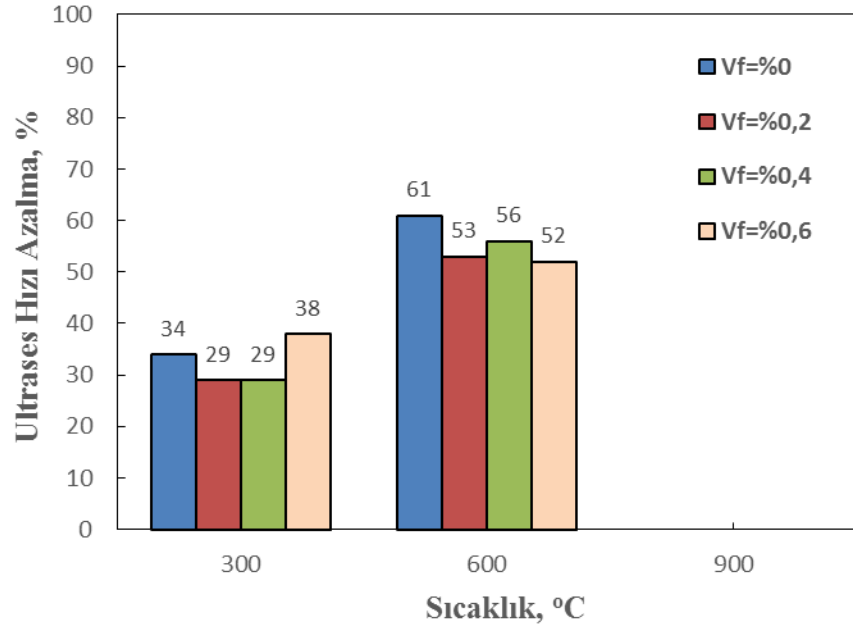
Şekil 4.31. %0,6 Oranlı Bazalt Lifli Numunelerin Normal ve Ani Soğuma Tiplerinde Ultrases Geçiş Hızının Sıcaklığa Bağlı Değişimi

Bazalt lif/çimento oranı %0,6 olan numunelerin 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklık uygulamasından önceki ultrases geçiş hızları numunelerinin ile sıcaklıktan sonraki ultrases geçiş hızları karşılaştırılmıştır. Bazalt lif içermeyen numunelerin sıcaklığa maruz bırakılmadan önceki ultrases geçiş hızları, 300°C sıcaklığa tabi tutulup normal soğuma şeklinde soğutulduktan sonraki ölçülen ultrases geçiş hızlarına göre %27 azalmıştır. 600°C sıcaklığa tabi tutulup normal soğuma tipinde soğutulduktan sonraki ölçülen ultrases geçiş hızlarına göre %62, 900°C sıcaklığa tabi tutulduktan normal soğuma tipinde soğutulduktan sonraki ultrases geçiş hızlarına göre ise geçiş hızının %83 oranında azaldığı tespit edilmiştir. 300°C sıcaklığa tabi tutulup ani soğuma tipinde soğutulduktan sonraki ölçülen ultrases geçiş hızlarına göre %38 azalmıştır. 600°C sıcaklığa tabi tutulup normal soğuma tipinde soğutulduktan sonraki ölçülen ultrases geçiş hızlarına göre ise %52 oranında azaldığı tespit edilmiştir. 900°C'deki fırından çıkarıp ani soğumaya bırakılmak üzere suya konulan numunelerin hepsi suya konulduğu anda dağıldığından dolayı bu numunelerin ultrases geçiş hızı miktarları hesaplanamamıştır. 900°C fırından çıkarılan numunelerden ani soğumaya bırakılan numunelerin suya konulduğu anda dağıldığı görülmüştür. %0,6 bazalt lifli numunelerde sıcaklığa bağlı ultrases geçiş hızının değişimi Şekil 4.31'de verilmiştir.

300°C ve 600°C sıcaklık uygulamasından sonra normal soğuma tiplerine göre soğutulan numunelerde ultrases geçiş hızındaki düşüşün en az olduğu numune %0,2 bazalt lif içeriğine sahip olan numune olduğu görülmüştür. 900°C sıcaklık etkisi sonrası ise %0,2 ve %0,4 bazalt lif içeren numunelerin geçiş hızlarında en düşük azalma elde edilmiştir 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklık uygulamalarından sonra normal soğuma için ultrases geçiş hızındaki en büyük azalma oranları lif içermeyen numunelerde olduğu tespit edilmiştir. Her iki soğuma tipi ve aynı sıcaklık etkisi için ultrases geçiş hızındaki azalmalar bütün lif içeriklerinde yaklaşık olarak birbirine yakın elde edilmiştir. 300°C sıcaklık uygulamasından sonra ani soğumaya bırakılan numunelerde ultrases geçiş hızındaki en az azalma oranı %0,2 bazalt lif içeren numunelerde görülürken, en fazla hız azalma oranı ise %0,6 bazalt lif oranında görülmüştür. 600°C sıcaklık uygulamasından sonra ani soğumaya bırakılan numunelerde ultrases geçiş hızındaki en az azalma oranı %0,6 bazalt lif içeren numunelerde görülürken, en fazla hız azalma oranı ise bazalt lif içermeyen numunelerde görülmüştür. 900°C fırından çıkarılan numunelerden ani soğumaya bırakılan numunelerin hepsi suya konulduğu anda dağıldığı görülmüştür. Numunelerin ultrases geçiş hızının sıcaklığa bağlı bazalt lif içeriği ile değişimi normal ve ani soğuma tipleri için sırasıyla Şekil 4.32 ve Şekil 4.33’de verilmiştir.



Şekil 4.32. Numunelerin Ultrases Geçiş Hızlarının Sıcaklığa Bağlı Bazalt Lif İçeriği İle Değişimi (Normal Soğuma)



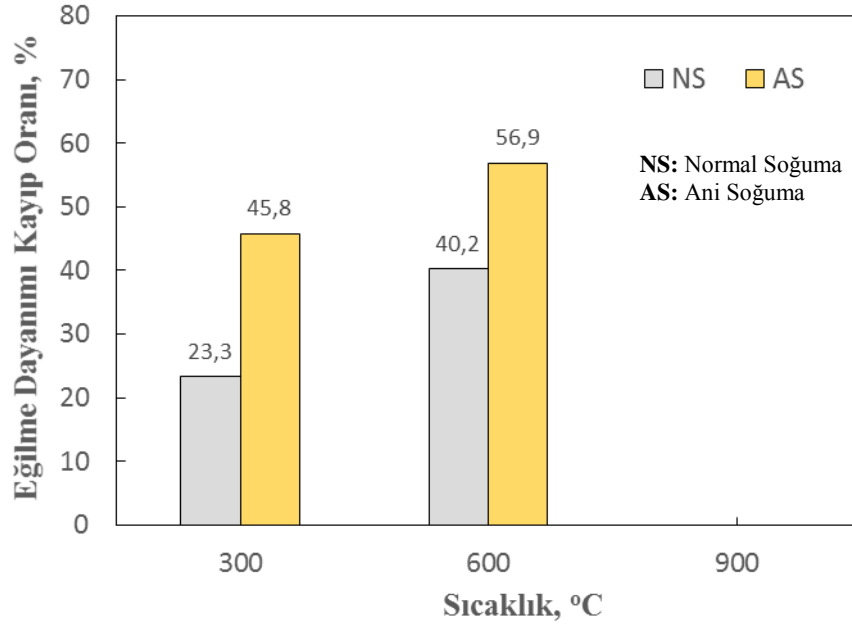
Şekil 4.33 Numunelerin Ultrases Geçiş Hızlarının Sıcaklığa Bağlı Bazalt Lif İçeriği İle Değişimi (Ani Soğuma)

4.5 Eğilme Dayanımı

Numuneler hedef sıcaklıkta 3 saat süreyle bekletildikten sonra fırından çıkarılarak oda sıcaklığında normal soğumaya ve suya konularak ani soğumaya bırakılmıştır. Ani soğuma tipi için suya bırakılan numuneler soğuduktan sonra sudan çıkartılarak kurumaları için etüve konulmuştur. Etüvden çıkarıldıktan sonra oda sıcaklığında soğumaya bırakılan numuneler üzerinde üç noktalı eğilme deneyi yapılmıştır. Deneyden elde edilen numunelere ait eğilme dayanım sonuçları Tablo 4.5’de verilmiştir.

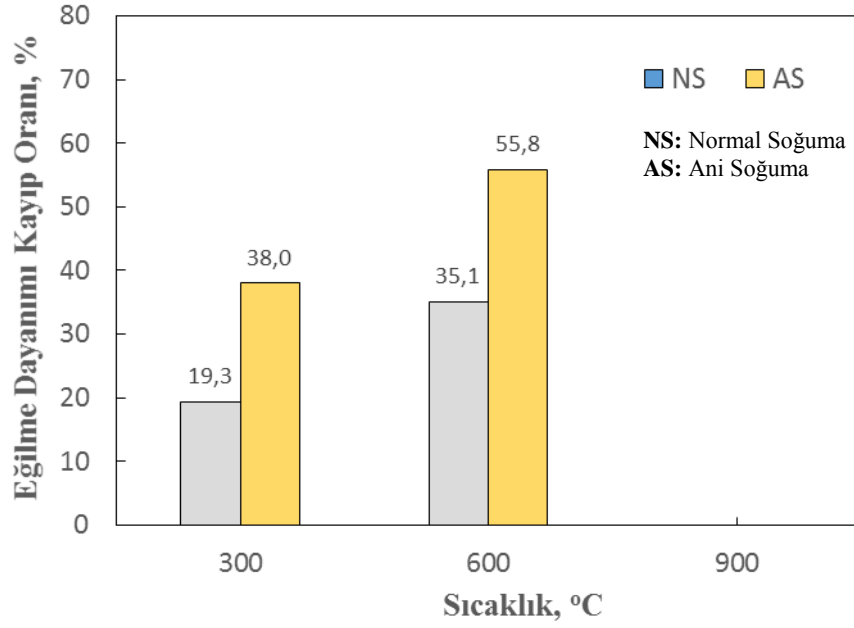
Tablo. 4.5. Numunelerin Eğilme Dayanımları

Lif Oranı V _f (%)	Karışım Kodu	Sıcaklık °C	Soğuma Tipi	Eğilme, MPa		
				Sıcaklık Öncesi	Sıcaklık Sonrası	% Azalma
0	BL0-R	20	R	5,45	-	-
	BL0-300-NS	300	NS	5,45	4,18	23,3
	BL0-300-AS		AS	5,45	3,26	40,2
	BL0-600-NS	600	NS	5,45	2,95	45,8
	BL0-600-AS		AS	5,45	2,35	56,9
	BL0-900-NS	900	NS	5,45	-	-
	BL0-900-AS		AS	5,45	-	-
0,2	BL2-R	20	R	5,97	-	-
	BL2-300-NS	300	NS	5,97	4,82	19,3
	BL2-300-AS		AS	5,97	3,87	35,1
	BL2-600-NS	600	NS	5,97	3,70	38,0
	BL2-600-AS		AS	5,97	2,64	55,8
	BL2-900-NS	900	NS	5,97	-	-
	BL2-900-AS		AS	5,97	-	-
0,4	BL4-R	20	R	6,38	-	-
	BL4-300-NS	300	NS	6,38	5,27	17,4
	BL4-300-AS		AS	6,38	4,31	32,5
	BL4-600-NS	600	NS	6,38	4,41	30,9
	BL4-600-AS		AS	6,38	3,49	45,3
	BL4-900-NS	900	NS	6,38	-	-
	BL4-900-AS		AS	6,38	-	-
0,6	BL6-R	20	R	6,52	-	-
	BL6-300-NS	300	NS	6,52	5,69	12,6
	BL6-300-AS		AS	6,52	4,77	26,8
	BL6-600-NS	600	NS	6,52	5,62	13,7
	BL6-600-AS		AS	6,52	4,08	37,4
	BL6-900-NS	900	NS	6,52	-	-
	BL6-900-AS		AS	6,52	-	-



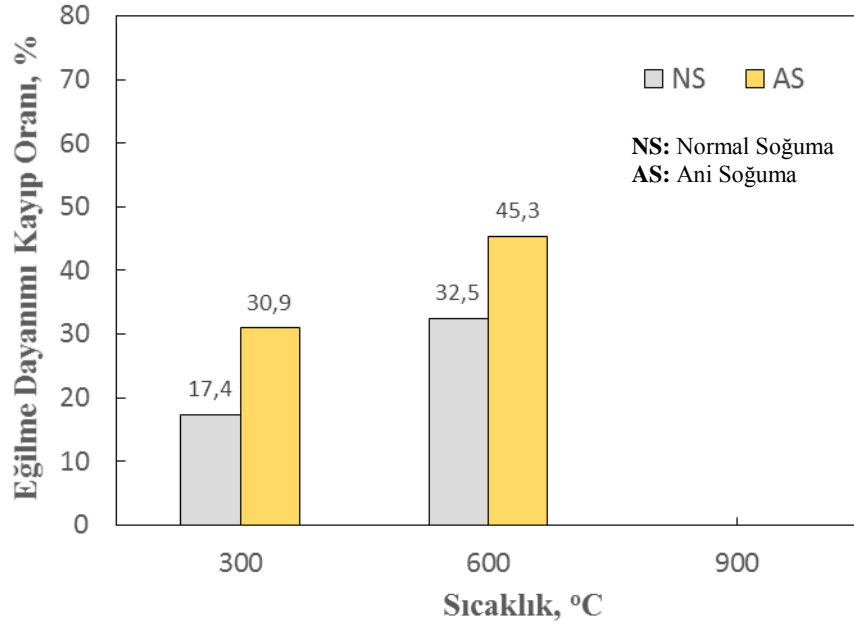
Şekil 4.34. Bazalt Lifsiz Numunelerin Normal ve Ani Soğuma Tiplerinde Eğilme Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi

BL0 ($V_f=0$) karışımında sıcaklık öncesi eğilme dayanımları 5,45 MPa, 300 ve 600°C sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra normal soğumaya bırakılan numuneler için sırasıyla 4,18 MPa, 2,95 MPa ani soğumaya bırakılan numuneler için ise sırasıyla 3,26 MPa, 2,35 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak numunelerin eğilme dayanımları BL0 karışımında 300 ve 600°C’de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi eğilme dayanımlarının sıcaklık sonrası eğilme dayanımlarına kıyasla sırasıyla %23,3, %45,8 oranında, ani soğuma tipine göre ise %40,20, %56,90 oranında düştüğü gözlenmiştir. 900°C’deki normal soğumaya bırakılan bütün numunelerin 24 saat beklemek üzere suya konulduğu anda dağıldığı ve yine aynı sıcaklıkta fırından çıkarılan numunelerden ani soğumaya bırakılan bütün numunelerin suya konulduğu anda dağıldığı gözlemlenmiştir. Bazalt lifsiz numunelerde sıcaklığa bağlı eğilme dayanımının değişimi Şekil 4.34’de verilmiştir.



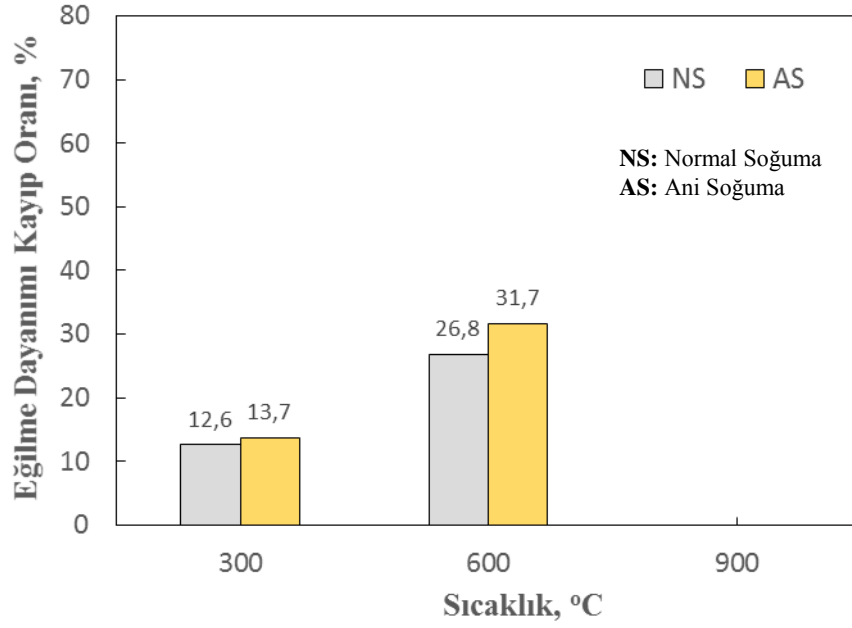
Şekil 4.35. %0,2 Oranlı Bazalt Lifli Numunelerin Normal ve Ani Soğuma Tiplerinde Eğilme Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi

BL2 ($V_f=0,2$) karışımında sıcaklık öncesi eğilme dayanımları 5,97 MPa, 300 ve 600°C sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra normal soğumaya bırakılan numuneler için sırasıyla 4,82 MPa, 3,70 MPa ani soğumaya bırakılan numuneler için ise sırasıyla 3,87 MPa, 2,64 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak numunelerin eğilme dayanımları BL2 karışımında 300 ve 600°C’de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi eğilme dayanımlarının sıcaklık sonrası eğilme dayanımlarına kıyasla sırasıyla %19,3, %38,0 oranında, ani soğuma tipine göre ise %35,10, %55,80 oranında düştüğü gözlenmiştir. 900°C’deki normal soğumaya bırakılan bütün numunelerin 24 saat beklemek üzere suya konulduğu anda dağıldığı ve yine aynı sıcaklıkta fırından çıkarılan numunelerden ani soğumaya bırakılan bütün numunelerin suya konulduğu anda dağıldığı gözlemlenmiştir. %0,2 bazalt lifli numunelerde sıcaklığa bağlı eğilme dayanımının değişimi Şekil 4.35’de verilmiştir.



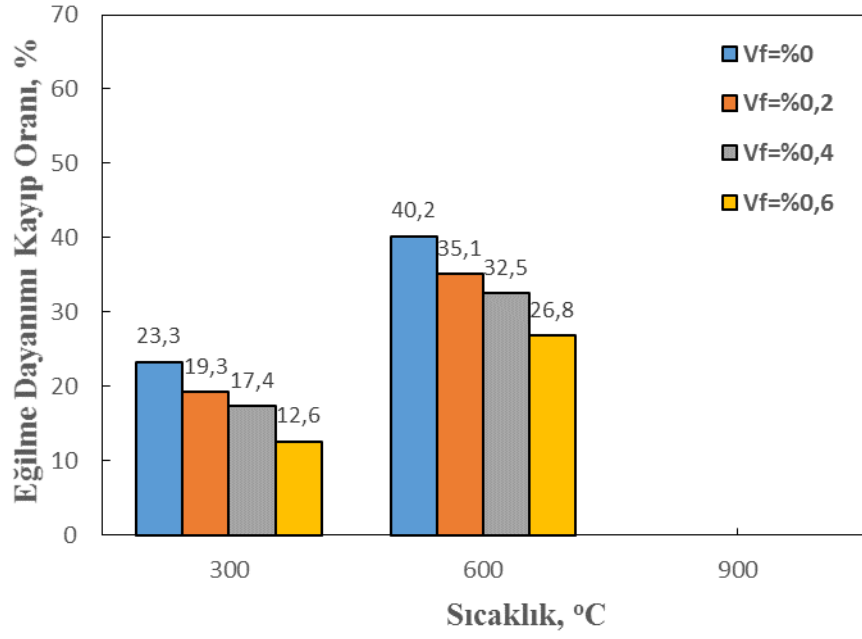
Şekil 4.36. %0,4 Oranlı Bazalt Lifli Numunelerin Normal ve Ani Soğuma Tiplerinde Eğilme Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi

BL4 ($V_f=0,4$) karışımında sıcaklık öncesi eğilme dayanımları 6,38 MPa, 300 ve 600°C sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra normal soğumaya bırakılan numuneler için sırasıyla 5,27 MPa, 4,41 MPa ani soğumaya bırakılan numuneler için ise sırasıyla 4,31 MPa, 3,49 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak numunelerin eğilme dayanımları BL4 karışımında 300 ve 600°C’de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi eğilme dayanımlarının sıcaklık sonrası eğilme dayanımlarına kıyasla sırasıyla %17,4, %30,9 oranında, ani soğuma tipine göre ise %32,50, %45,30 oranında düştüğü gözlenmiştir. 900°C’deki normal soğumaya bırakılan bütün numunelerin 24 saat beklemek üzere suya konulduğu anda dağıldığı ve yine aynı sıcaklıkta fırından çıkarılan numunelerden ani soğumaya bırakılan bütün numunelerin suya konulduğu anda dağıldığı gözlemlenmiştir. %0,4 bazalt lifli numunelerde sıcaklığa bağlı eğilme dayanımının değişimi Şekil 4.36’da verilmiştir.

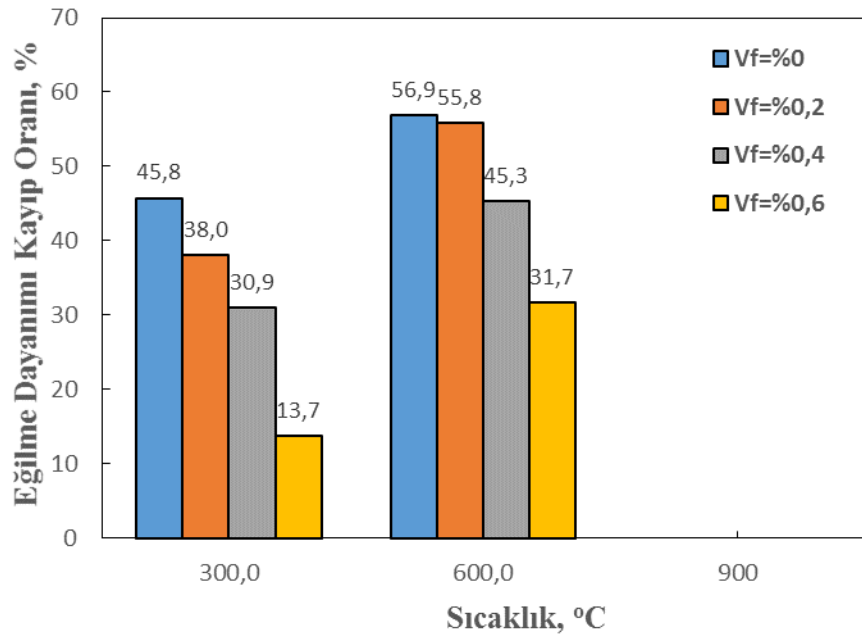


Şekil 4.37. %0,6 Oranlı Bazalt Lifli Numunelerin Normal ve Ani Soğuma Tiplerinde Eğilme Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi

BL6 ($V_f=0,6$) karışımında sıcaklık öncesi eğilme dayanımları 6,52 MPa, 300 ve 600°C sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra normal soğumaya bırakılan numuneler için sırasıyla 5,69 MPa, 5,62 MPa ani soğumaya bırakılan numuneler için ise sırasıyla 4,77 MPa, 4,08 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak numunelerin eğilme dayanımları BL6 karışımında 300 ve 600°C’de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi eğilme dayanımlarının sıcaklık sonrası eğilme dayanımlarına kıyasla sırasıyla %12,6, %13,7 oranında, ani soğuma tipine göre ise %26,80, %37,40 oranında düştüğü gözlenmiştir. 900°C’deki normal soğumaya bırakılan bütün numunelerin 24 saat beklemek üzere suya konulduğu anda dağıldığı ve yine aynı sıcaklıkta fırından çıkarılan numunelerden ani soğumaya bırakılan bütün numunelerin suya konulduğu anda dağıldığı gözlemlenmiştir. %0,6 bazalt lifli numunelerde sıcaklığa bağlı eğilme dayanımının değişimi Şekil 4.37’de verilmiştir.



Şekil 4.38. Numunelerin Eğilme Dayanımlarının Sıcaklığa Bağlı Bazalt Lif İçeriği İle Değişimi (Normal Soğuma)



Şekil 4.39. Numunelerin Eğilme Dayanımlarının Sıcaklığa Bağlı Bazalt Lif İçeriği İle Değişimi (Ani Soğuma)

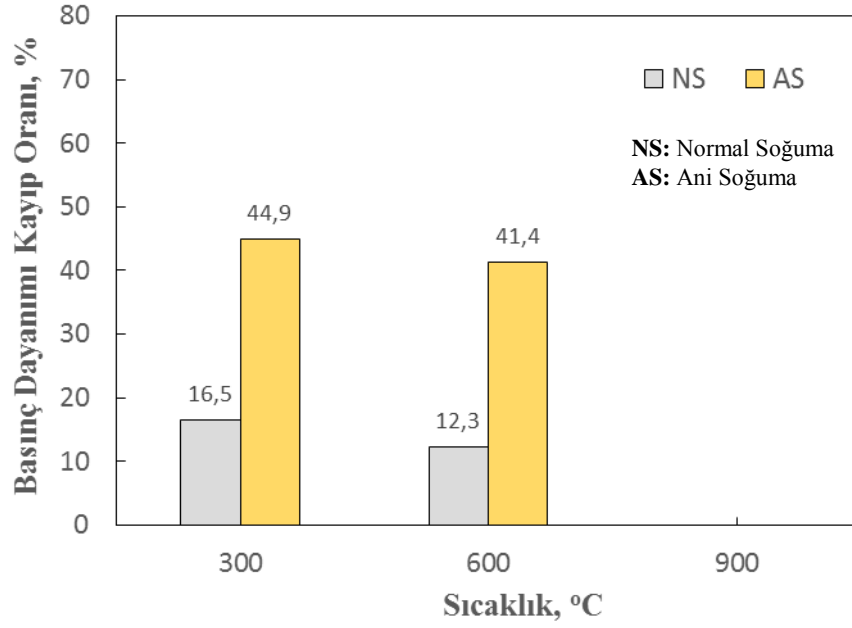
Bazalt lif oranının artmasıyla her iki soğuma tipi için de eğilme dayanımının azaldığı görülmektedir. Eğilme dayanımındaki en düşük kayıp oranı her iki soğuma tipi için de %0,6 bazalt lif içeriğinde elde edilmiştir. Eğilme dayanımındaki en fazla kayıp oranı ise her iki soğuma tipi için de bazalt lifsiz numunelerde elde edilmiştir. Sonuç olarak bazalt liflerin harç karışımlarına ilavesi ile numunelerin yüksek sıcaklık etkisi sonrası eğilme dayanımındaki kayıp oranları lifsiz harçlara göre daha az olduğu elde edilmiştir. Ayrıca bazalt liflerin harçların sıcaklık sonrası eğilme dayanımlarına etkisi belirgin şekilde gözlenmiştir. 900°C'deki normal soğumaya bırakılan bütün numunelerin 24 saat beklemek üzere suya konulduğu anda dağıldığı ve yine aynı sıcaklıkta fırından çıkarılan numunelerden ani soğumaya bırakılan bütün numunelerin suya konulduğu anda dağıldığı gözlemlenmiştir. Numunelerin eğilme dayanımının sıcaklığa bağlı bazalt lif içeriği ile değişimi normal ve ani soğuma tipi için sırasıyla Şekil 4.38 ve Şekil 4.39'da verilmiştir.

4.6. Basınç Dayanımı

Bazalt lif/çimento hacimsel oranı %0, %0,2 %0,4, %0,6 olan numuneler 28 günlük standart kür sonrası yüksek sıcaklık fırınında 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklığa maruz bırakılmışlardır. Numuneler hedef sıcaklıkta 3 saat süreyle bekletildikten sonra fırından çıkarılarak oda sıcaklığında normal soğumaya ve suya konularak ani soğumaya bırakılmıştır. Ani soğuma tipi için suya bırakılan numuneler soğuduktan sonra sudan çıkartılarak kurumaları için etüve konulmuştur. Etüvden çıkarıldıktan sonra oda sıcaklığında soğumaya bırakılan numuneler üzerinde üç noktalı eğilme deneyi yapılmıştır. Eğilme testinden sonra her bir numuneden elde edilen iki parça numuneye basınç dayanım testi uygulanmış ve elde edilen ortalama değerler basınç dayanım değeri olarak not edilmiştir. Basınç deneyi sonucu bulunan farklı karışım ve sıcaklık değerlerine ait eğilme dayanımı değerleri Tablo 4.6'da verilmiştir.

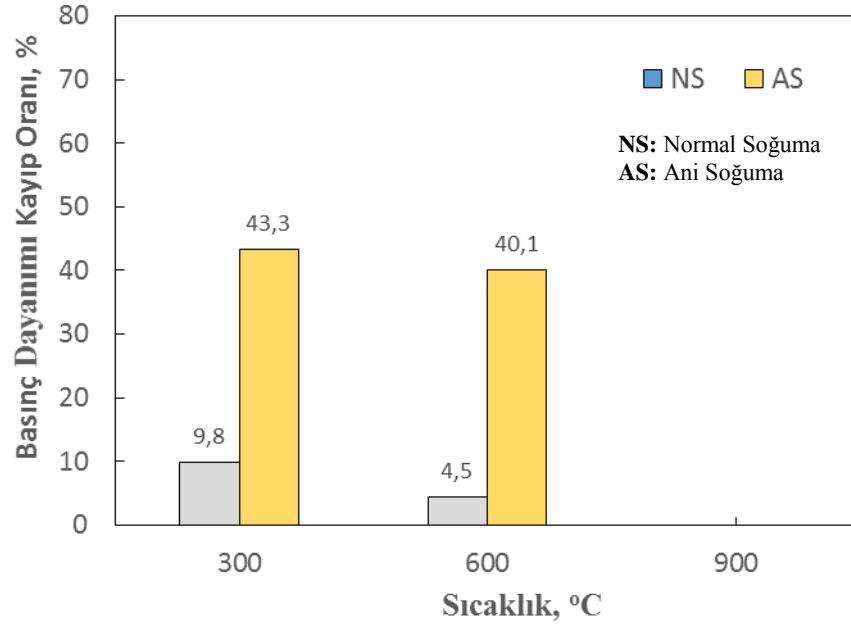
Tablo 4.6. Numunelerin Basınç Dayanımları

Lif Oranı V_f (%)	Karışım Kodu	Sıcaklık °C	Soğuma Tipi	Basınç, MPa		
				Sıcaklık Öncesi	Sıcaklık Sonrası	% Azalma
0	BL0-R	20	R	51,9	-	-
	BL0-300-NS	300	NS	51,9	43,4	16,5
	BL0-300-AS		AS	51,9	45,6	12,3
	BL0-600-NS	600	NS	51,9	28,6	44,9
	BL0-600-AS		AS	51,9	30,4	41,4
	BL0-900-NS	900	NS	51,9	-	-
	BL0-900-AS		AS	51,9	-	-
0,2	BL2-R	20	R	62,0	-	-
	BL2-300-NS	300	NS	62,0	55,9	9,8
	BL2-300-AS		AS	62,0	59,2	4,5
	BL2-600-NS	600	NS	62,0	35,2	43,3
	BL2-600-AS		AS	62,0	37,1	40,1
	BL2-900-NS	900	NS	62,0	-	-
	BL2-900-AS		AS	62,0	-	-
0,4	BL4-R	20	R	63,2	-	-
	BL4-300-NS	300	NS	63,2	59,3	6,1
	BL4-300-AS		AS	63,2	60,9	3,6
	BL4-600-NS	600	NS	63,2	38,5	39,1
	BL4-600-AS		AS	63,2	39,9	36,8
	BL4-900-NS	900	NS	63,2	-	-
	BL4-900-AS		AS	63,2	-	-
0,6	BL6-R	20	R	68,2	-	-
	BL6-300-NS	300	NS	68,2	65,9	3,4
	BL6-300-AS		AS	68,2	66,0	3,2
	BL6-600-NS	600	NS	68,2	43,5	36,2
	BL6-600-AS		AS	68,2	45,2	33,8
	BL6-900-NS	900	NS	68,2	-	-
	BL6-900-AS		AS	68,2	-	-



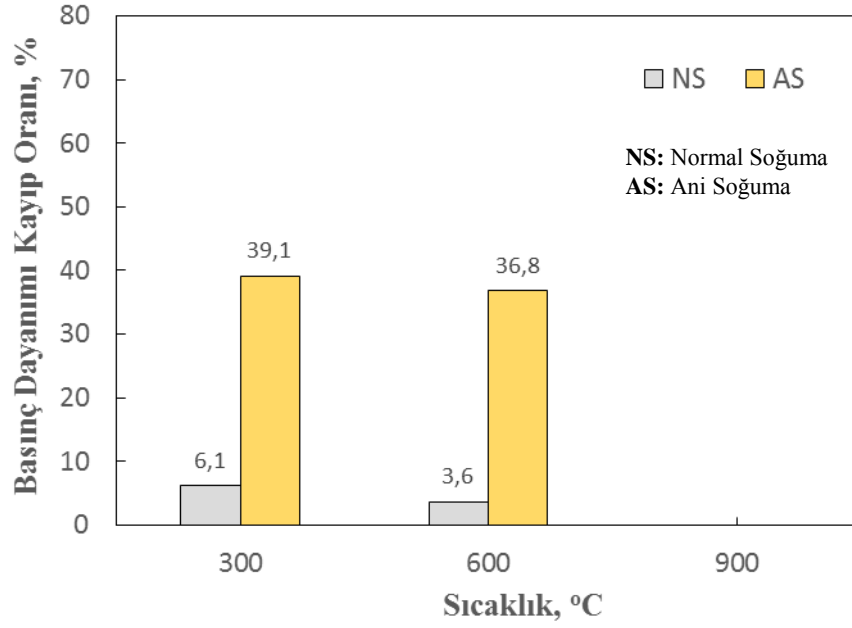
Şekil 4.40. Bazalt Lifsiz Numunelerin Normal ve Ani Soğuma Tiplerinde Basınç Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi

BL0 (%0 bazalt lif içeren) karışımında sıcaklık öncesi basınç dayanımları 51,90 MPa, 300 ve 600°C sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra normal soğumaya bırakılan numuneler için sırasıyla 43,40 MPa, 28,60 MPa ani soğumaya bırakılan numuneler için ise sırasıyla 45,60 MPa, 30,40 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak numunelerin basınç dayanımları BL0 karışımında 300 ve 600°C’de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi basınç dayanımlarının sıcaklık sonrası basınç dayanımlarına kıyasla sırasıyla %16,5, %12,3 oranında, ani soğuma şekline göre ise %44,9 , %41,4 oranında düştüğü gözlenmiştir. 900°C’deki normal soğumaya bırakılan bütün numunelerin 24 saat beklemek üzere suya konulduğu anda dağıldığı ve yine aynı sıcaklıkta fırından çıkarılan numunelerden ani soğumaya bırakılan bütün numunelerin suya konulduğu anda dağıldığı gözlemlenmiştir. Bazalt lifsiz numunelerde sıcaklığa bağlı basınç dayanımının değişimi Şekil 4.40’da verilmiştir.



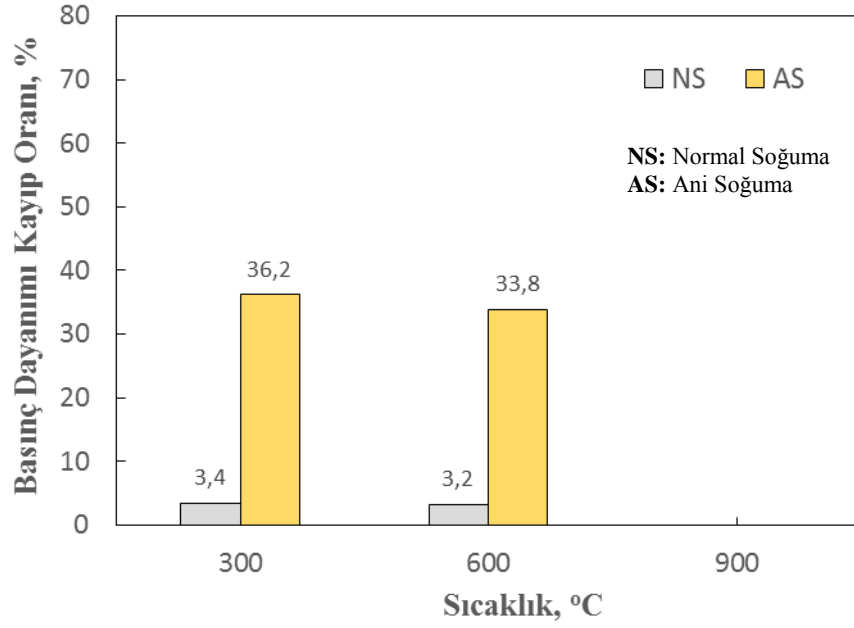
Şekil 4.41. %0,2 Oranlı Bazalt Lifli Numunelerin Normal ve Ani Soğuma Tiplerinde Basınç Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi

BL2 (%0,2 bazalt lif içeren) karışımında sıcaklık öncesi basınç dayanımları 62,00 MPa, 300 ve 600°C sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra normal soğumaya bırakılan numuneler için sırasıyla 55,90 MPa, 35,20 MPa ani soğumaya bırakılan numuneler için ise sırasıyla 59,20 MPa, 37,10 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak numunelerin basınç dayanımları BL2 karışımında 300 ve 600°C’de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi basınç dayanımlarının sıcaklık sonrası basınç dayanımlarına kıyasla sırasıyla %9,8, %4,5 oranında, ani soğuma tipine göre ise %43,3 , %40,1 oranında düştüğü gözlenmiştir. 900°C’deki normal soğumaya bırakılan bütün numunelerin 24 saat beklemek üzere suya konulduğu anda dağıldığı ve yine aynı sıcaklıkta fırından çıkarılan numunelerden ani soğumaya bırakılan bütün numunelerin suya konulduğu anda dağıldığı gözlemlenmiştir. %0,2 bazalt lifli numunelerde sıcaklığa bağlı basınç dayanımının değişimi Şekil 4.41’de verilmiştir.



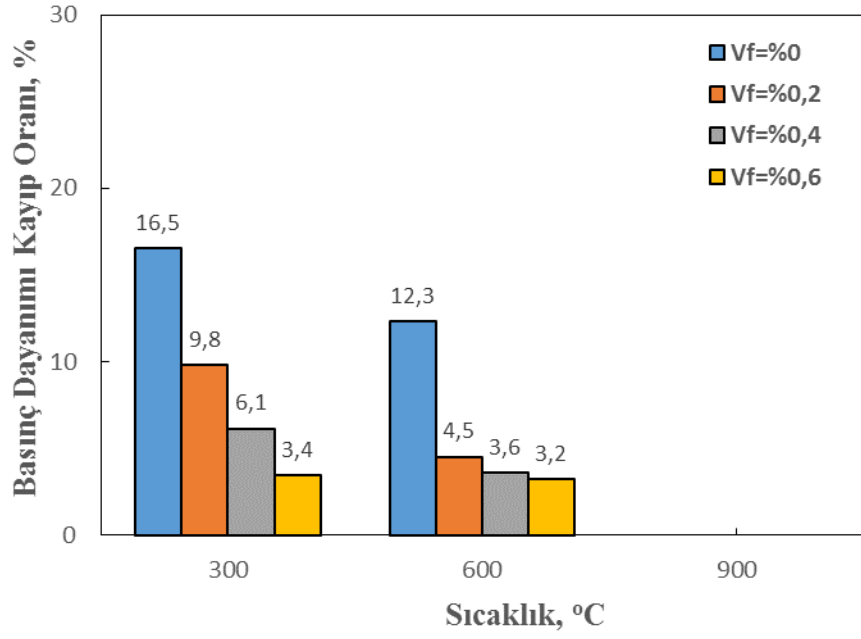
Şekil 4.42. %0,4 Oranlı Bazalt Lifli Numunelerin Normal ve Ani Soğuma Tiplerinde Basınç Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi

BL4 (%0,4 bazalt lif içeren) karışımında sıcaklık öncesi basınç dayanımları 63,20 MPa, 300 ve 600°C sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra normal soğumaya bırakılan numuneler için sırasıyla 59,30 MPa, 38,50 MPa ani soğumaya bırakılan numuneler için ise sırasıyla 60,90 MPa, 39,90 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak numunelerin basınç dayanımları BL4 karışımında 300 ve 600°C’de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi basınç dayanımlarının sıcaklık sonrası basınç dayanımlarına kıyasla sırasıyla %6,1, %3,6 oranında, ani soğuma tipine göre ise %39,1 , %36,8 oranında düştüğü gözlenmiştir. 900°C’deki normal soğumaya bırakılan bütün numunelerin 24 saat beklemek üzere suya konulduğu anda dağıldığı ve yine aynı sıcaklıkta fırından çıkarılan numunelerden ani soğumaya bırakılan bütün numunelerin suya konulduğu anda dağıldığı gözlemlenmiştir. %0,4 bazalt lifli numunelerde sıcaklığa bağlı basınç dayanımının değişimi Şekil 4.42’de verilmiştir.

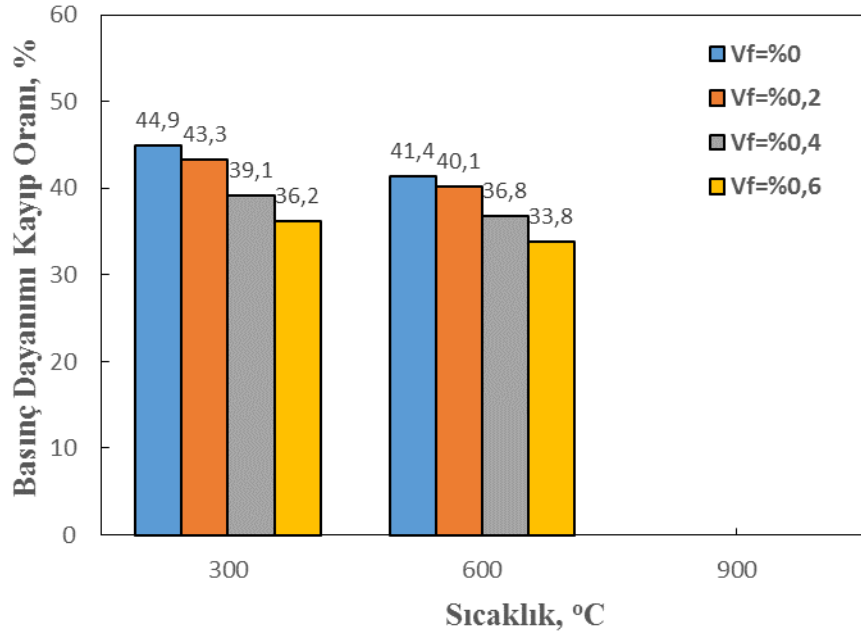


Şekil 4.43. %0,6 Oranlı Bazalt Lifli Numunelerin Normal ve Ani Soğuma Tiplerinde Basınç Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi

BL6 (%0,6 bazalt lif içeren) karışımında sıcaklık öncesi basınç dayanımları 68,20 MPa, 300 ve 600°C sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra normal soğumaya bırakılan numuneler için sırasıyla 65,90 MPa, 43,50 MPa ani soğumaya bırakılan numuneler için ise sırasıyla 66,00 MPa, 45,20 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak numunelerin basınç dayanımları BL6 karışımında 300 ve 600°C’de normal soğuma tipine göre, sıcaklık öncesi basınç dayanımlarının sıcaklık sonrası basınç dayanımlarına kıyasla sırasıyla %3,4, %3,2 oranında, ani soğuma tipine göre ise %36,2, %33,8 oranında düştüğü gözlenmiştir. 900°C’deki normal soğumaya bırakılan bütün numunelerin 24 saat beklemek üzere suya konulduğu anda dağıldığı ve yine aynı sıcaklıkta fırından çıkarılan numunelerden ani soğumaya bırakılan bütün numunelerin suya konulduğu anda dağıldığı gözlemlenmiştir. %0,2 bazalt lifli numunelerde sıcaklığa bağlı basınç dayanımının değişimi Şekil 4.43’de verilmiştir.



Şekil 4.44. Numunelerin Basınç Dayanımlarının Sıcaklığa Bağlı Bazalt Lif İçeriği İle Değişimi (Normal Soğuma)



Şekil 4.45. Numunelerin Basınç Dayanımlarının Sıcaklığa Bağlı Bazalt Lif İçeriği İle Değişimi (Ani Soğuma)

Bazalt lif oranının artmasıyla her iki soğuma tipi için de basınç dayanımının azaldığı görülmektedir. Basınç dayanımındaki en düşük kayıp oranı her iki soğuma tipi için de %0,6 bazalt lif içeriğinde elde edilmiştir. Basınç dayanımındaki en fazla kayıp oranı ise her iki soğuma tipi için de bazalt lifsiz numunelerde elde edilmiştir. Sonuç olarak bazalt liflerin harç karışımlarına ilavesi ile numunelerin yüksek sıcaklık etkisi sonrası basınç dayanımındaki kayıp oranları lifsiz harçlara göre daha az olduğu elde edilmiştir. Ayrıca bazalt liflerin harçların sıcaklık sonrası basınç dayanımlarına etkisi belirgin şekilde gözlenmiştir. 900°C'deki normal soğumaya bırakılan bütün numunelerin 24 saat beklemek üzere suya konulduğu anda dağıldığı ve yine aynı sıcaklıkta fırından çıkarılan numunelerden ani soğumaya bırakılan bütün numunelerin suya konulduğu anda dağıldığı gözlemlenmiştir. Numunelerin basınç dayanımının sıcaklığa bağlı bazalt lif içeriği ile değişimi normal ve ani soğuma tipi için sırasıyla Şekil 4.44 ve Şekil 4.45'de verilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bazalt lif kullanılarak üretilen yüksek dayanımlı harçlar üzerinde yapılan deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Numunelerin kuru birim ağırlıkları sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra azalmıştır. Sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra normal soğumaya bırakılan numunelerin kuru birim hacim ağırlıklarında %2,3-11,9 arasında, ani soğumaya bırakılan numunelerde ise kuru birim hacim ağırlıklarında %5-8,8 arasında azalma elde edilmiştir. Bütün sıcaklık etkilerinde ani soğumaya bırakılan numunelerin kuru birim hacim ağırlıklarının azalma oranlarında çok büyük bir fark gözlemlenmemiştir. Sıcaklık etkisiyle her iki soğuma tipinde de kuru birim hacim ağırlığında en fazla azalma oranı %0,6 bazalt lif oranlı numunede gerçekleşirken, en azalma oranı ise bazalt lifsiz numuneler gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Bazalt lif eklenmesi ile ve bazalt lif içeriğinin artırılmasıyla birlikte kuru birim hacim ağırlığının azalma oranı da artmıştır.
- Numunelerden normal soğumaya bırakılan numunelerin porozitelerindeki artış miktarının %70-329 arasında, ani soğumaya bırakılan numunelerin ise porozitelerindeki artış miktarının %92-302 arasında değiştiği belirlenmiştir.
- Sıcaklığın artması ile normal soğuma tipine göre karışımda bazalt lif/çimento hacimsel oranının %0,6 olması ile boşluk oranı ve su emme oranı en az artma miktarını gösterirken, ani soğuma tipine göre bazalt lifsiz olan numunelerde boşluk oranı ve su emme oranı en az artış miktarını göstermiştir. Her iki soğuma tipi için de sıcaklığın artmasıyla su emme ve boşluk oranı artışının en fazla olduğu numune ise %0,4 oranında bazalt lif içeren numuneler olduğu görülmüştür.
- Sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin, sıcaklığa tabi tutulmayan numunelere kıyasla iç yapıda meydana bozulmalar nedeniyle, ultrases geçiş hızlarında azalma tespit edilmiştir. Harcın içerisinde çatlak veya boşluk gibi kusurların olması halinde ultrases dalgası bu kusurların çevresinden dolaşmaktadır. Böylece alıcı noktaya varış süresi uzamakta ve ultrases geçiş hızı

azalmaktadır. 300°C ve 600°C sıcaklık uygulamasından sonra normal soğuma tiplerine göre soğutulan numunelerde ultrases geçiş hızındaki azalmanın en az olduğu numune %0,2 bazalt lif içeriğine sahip olan numune olduğu görülmüştür. 900°C'de sıcaklığa maruz bıraktıktan sonra ise %0,2 ve %0,4 bazalt lif içeren numunelerin geçiş hızlarında en az azalma oranı elde edilmiştir. 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklık uygulamalarından sonra normal soğuma için ultrases geçiş hızındaki en büyük azalma oranlarının lif içermeyen numunelerde olduğu tespit edilmiştir. Her iki soğuma tipi ve aynı sıcaklık uygulamasında ultrases geçiş hızındaki azalmalar bütün lif içeriklerinde yaklaşık olarak birbirine yakın elde edilmiştir. 300°C sıcaklık uygulamasından sonra ani soğumaya bırakılan numunelerde ultrases geçiş hızındaki en az azalma oranı %0,2 bazalt lif içeren numunelerde görülürken, en fazla hız azalma oranı ise %0,6 bazalt lif oranında görülmüştür. 600°C sıcaklık etkisinden sonra ani soğumaya bırakılan numunelerde ultrases geçiş hızındaki en az azalma oranı %0,6 bazalt lif içeren numunelerde görülürken, en fazla hız azalma oranı ise bazalt lif içermeyen numunelerde görülmüştür.

- Bazalt lif eklenmesiyle ile harç numunelerin basınç ve eğilme dayanımlarında genel olarak azalma gözlenirken sıcaklık etkisine maruz kalan numunelerde de sıcaklık etkisiyle eğilme ve basınç dayanımlarında düşüşler meydana gelmiştir. Sıcaklığa tabi tutulmayan referans numunelerin eğilme dayanımları 5,45 MPa-6,52 MPa arasında değişirken sıcaklığa maruz kalan normal soğumaya bırakılan numunelerin eğilme dayanımları 2,95 MPa-5,69 MPa ve ani soğumaya bırakılan numunelerin ise eğilme dayanımları 2,35 MPa-4,77 MPa arasında değişmektedir.
- Sıcaklık etkisinden sonra normal soğumaya bırakılan numunelerin eğilme dayanımında %12,6-45,8 aralığında azalma gözlemlenmiştir. Benzer şekilde sıcaklığa sonrası ani soğumaya bırakılan numunelerin eğilme dayanımında %26,8-56,9 aralığında azalma tespit edilmiştir. Bütün sıcaklık etkileri ve soğuma tipleri için numunelerin eğilme dayanımlarındaki en fazla kayıp oranı bazalt lifsiz numunelerde, en az kayıp ise bütün sıcaklıklarda ve her bir soğuma tipi için ise %0,6 bazalt lif içeren numunede elde edilmiştir.

- Bazalt lifsiz numunelerde eğilme dayanımı 5,45 MPa çıkarken, %0,2 bazalt lifli numunelerde 5,97MPa, %0,4 bazalt lifli numunelerde 6,38MPa, %0,6 bazalt lifli numunelerde ise 6,52 MPa çıkmıştır.
- %0,2, %0,4 ve 0,6 oranlarında bazalt lif içeren ve sıcaklığa maruz bırakılmayan numunelerin bazalt lifsiz numunelere göre eğilme dayanımındaki artışlar sırasıyla %9,54, %17,06, %19,63 olarak elde edilmiştir.
- Sıcaklığa tabi tutulmayan referans numunelerin basınç dayanımları 51,9 MPa-68,2 MPa arasında değişirken sıcaklığa maruz kalan normal soğumaya bırakılan numunelerin basınç dayanımları 28,6 MPa-65,9 MPa ve ani soğumaya bırakılan numunelerin ise basınç dayanımları 30,40 MPa-66 MPa arasında değişmektedir.
- Sıcaklık etkisinden sonra normal soğumaya bırakılan numunelerin basınç dayanımında %3,4-44,9 aralığında azalma gözlemlenmiştir. Aynı şekilde sıcaklığa maruz kalıp ani soğumaya bırakılan numunelerin, sıcaklığa maruz kalmayan referans numunelere kıyasla eğilme dayanımında %3,2-41,4 aralığında azalma tespit edilmiştir. Normal ve ani soğumaya bırakılan numunelerin basınç dayanımlarındaki en büyük düşüşün bazalt lifsiz numunelerde olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklığın artmasıyla ani ve normal soğuma tiplerine göre soğutulan numunelerde en az basınç dayanımı kaybının %0,6 bazalt lif oranlı numunede gerçekleştiği görülmüştür.
- Bazalt lifsiz numunelerde basınç dayanımı 51,9MPa çıkarken, %0,2 bazalt lifli numunelerde 62MPa, %0,4 bazalt lifli numunelerde 63,2MPa, %0,6 bazalt lifli numunelerde ise 68,2MPa çıkmıştır.
- %0,2, %0,4 ve 0,6 oranlarında bazalt lif içeren ve sıcaklığa maruz bırakılmayan numunelerin bazalt lifsiz numunelere göre basınç dayanımındaki artışlar sırasıyla %19,46 , %21,77, %31,41 olarak elde edilmiştir.

- Sıcaklığın artmasıyla ani ve normal soğuma şekillerine göre soğutulan numunelerde en az basınç ve eğilme dayanımı kaybının %0,6 bazalt lif oranlı numunede gerçekleştiği görülmüştür. Sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra en fazla basınç ve eğilme dayanımı kaybının ise bazalt lifsiz numunelerde görüldüğü tespit edilmiştir. Bazalt lif ilavesinin basınç ve eğilme dayanımını belirgin miktarda artırdığı tespit edilmiştir.
- Bazalt lifler sıcaklık etkisine maruz bırakılan harçların basınç ve eğilme dayanımlarındaki kayıp oranlarında olumlu bir davranış gösterdiği ve kayıp oranlarının lif içeriğinin artmasıyla azaldığı tespit edilmiştir.

Ülkemizde yeterli sayıda araştırma ve uygulama alanı bulunmayan bazalt lifler, gelecek nesillerde ısı yalıtımı ve ısıya dayanıklı yapı malzemelerin üretiminde bir alternatif olarak kullanılabilir. Farklı bağlayıcı malzemeler ve farklı lif narinliğine (lif boyu/lif çapı) sahip bazalt lif kullanılarak üretilen malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde araştırma yapılması yapı malzemesi ve diğer sanayi sektörleri için yararlı çalışmalar sağlayabilir.

KAYNAKLAR

1. Erdoğan, T. Y., Beton, METU Press Publishing Company, Ankara, 2003.
2. Ersoy, U., Betonarme Cilt: 1 - Temel ilkeler ve Taşıma Gücü. Bizim Büro Basımevi, Ankara, 1985.
3. Ersoy, H.Y., Kompozit Malzemeler, Literatür Yayınları, İstanbul, 2005.
4. Baradan, B., Yazıcı, H., Aydın, S., Beton, Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, İzmir, 2012.
5. Newman, J., Choo B.S., Advanced Concrete Technology Processes, İngiltere, 2003.
6. Çivici, F., Çelik Lif Donatılı Betonun Eğilme Tokluğu, Pamukkale J Eng Sci, 12(2), 183- 188, 2006.
7. Nataraja, M.C., Dhang, N., Gupta, A.P., Toughness Characterization of Steel Fiber Reinforced Concrete by JSCE Approach, Cement and Concrete Research, 30, 593–597, 2000.
8. Kızılkant, A. B., Kabay, N., Akyüncü, V., Erdoğan G., Bazalt Lifli Betonların Mekanik Özellikleri, Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences,32(4), 444-452, 2014
9. Kabay, N., Abrasion Resistance and Fracture Energy of Concretes with Basalt Fiber, Construction and Building Materials, 50, 95-101, 2014.
10. Hong, G.H., Shin, Y. S., Structural Performance Evaluation of Reinforced Concrete Beams with Externally Bonded FRP Sheets, J Korean Concrete Institute, 15(1), 78–86, 2003.
11. <http://www.spinteks.com/tr~urun~160~bazalt.html>, Kasım 2013.
12. <http://www.compositesworld.com/articles/basalt-fibers-alternative-to-glass>, Ağustos 2006.
13. <http://uskudar.biz/malzeme-bilgisi/bazalt-elyaf%C4%B1>, Temmuz 2013.
14. 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, 2012-2013.
15. Fibres Unlimited B.V., Test Report of Basalt Fiber Reinforced Concrete and Polypropylene Fiber Reinforced Concrete, Polyacrylonitrile Fiber Reinforced Concrete, The Netherlands.

16. Kumar, M.A., Abdul Bari, J., Flexural Behaviour of Polymer Modified Basalt Fiber Reinforced Concrete- A Review, International Journal on Applications in Civil and Environmental Engineering, 1(3),1-5, 2015.
17. Sim, J., Park, C., Moon, D.Y., Characteristics of Basalt Fiber As A Strengthening Material For Concrete Structures, Composites Part B: Engineering, 36, 504-512, 2005.
18. Militky, J., Kovacic, V., Rubnerova, J., Influence of Thermal Treatment on Tensile Failure of Basalt Fibers, Engineering Fracture Mechanics, 69, 1025-1033, 2002.
19. <http://basaltfm.com/eng/fiber/technology.html>, Ekim 2010.
20. <http://www.basfibertek.com/>, Ocak 2014.
21. Di Ludovico, M., Prota, A., Manfredi, G., Structural Upgrade Using Basalt Fibers for Concrete Confinement, Journal of Composites for Construction ASCE, 4(5), 541-552, 2010.
22. Brik, V.B., Ramakrishnan, V., Tolmare, N., Performance Evaluation of 3-D Basalt Fiber Reinforced Concrete & Basalt Rod Reinforced Concrete, Idea Program Final Report, Contract No. NCHRP-45, November, 1998.
23. 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.
24. Teresa, Z., Krasodomski, W., Study On The Properties Of Cement Mortars With Basalt Fibres, Brittle Matrix Composites 10, Publisher Elsevier, 155-166, 2012.
25. Jagadeesan, P., Palanisamy, T., Strengthening of Brick Masonry Using Basalt Fiber Reinforced Cement Mortar, International Journal of ChemTech Research, 8(10),102-108, 2015.
26. 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.
27. Fenu, L., Forni, D., Cadoni E., Dynamic Behaviour Of Cement Mortars Reinforced With Glass And Basalt Fibres, Composites Part B, 92, 142-150, 2016.
28. Dias, P. D., Thaumaturgo, C., Fracture Toughness of Geopolymeric Concretes Reinforced with Basalt Fibers, Cement and Concrete Composites, 27, 49-54, 2005.

29. Borhan, M. T., Properties of Glass Concrete Reinforced with Short Basalt Fibre, *Materials and Design*, 42, 265-271, 2012.
30. Jiang, C., Fan, K., Wu, F., Chen, D., Experimental Study On The Mechanical Properties And Microstructure Of Chopped Basalt Fibre Reinforced Concrete, *Materials & Design*, Publisher Elsevier, 58, 187-193, 2014.
31. Ayub, T., Shafiq, N., Nuruddin, M.F., Mechanical Properties of High-Performance Concrete Reinforced with Basalt Fibers, *Procedia Engineering*, 77, 131-139, 2014.
32. Elshafie, S., Whittleston, Gareth., A Review Of The Effect Of Basalt Fibre Lengths And Proportions On The Mechanical Properties Of Concrete, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 4(1), 458-465, 2015.
33. Borhan, M.T., Thermal and Mechanical Properties of Basalt Fibre Reinforced Concrete, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 76, 313-316, 2013.
34. Arivalagan, S., Study On the Compressive and Split Tensile Strength Properties of Basalt Fibre Concrete Members, Double Blind Peer Reviewed International Research Journal, *Global Journals Inc. (USA)*, 12(4), 2012.
35. Urbanski, M., Lapko, A., Garbacz, A., Investigation on Concrete Beams Reinforced with Basalt Rebars as an Effective Alternative of Conventional R/C Structures, 11th International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques, *Procedia Engineering*, 57, 1183 – 1191, 2013.
36. Branston, J., Das, S., Kenno, S. Y., Taylor, C., Influence Of Basalt Fibres On Free And Restrained Plastic Shrinkage, *Cement and Concrete Composites*, 74, 182-190, 2016.
37. Dhand, V., Mittal, G., Rhee, K. Y., Park, S. J., Hui, D., A Short Review On Basalt Fiber Reinforced Polymer Composites, *Composites Part B: Engineering*, Vol.73, 166-180, 2015.
38. 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.
39. 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.
40. 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.

- 41.** 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.
- 42.** Corinaldesi, V., Moriconi, G., Characterization of Self-Compacting Concretes Prepared with Different Fibers and Mineral Additions, *Cement and Concrete Composites*, 33(5), 596-601, 2013.



ÖZGEÇMİŞ

Elif Tuğçe KOCABEYOĞLU, 1991 yılında Amasya’da doğdu. İlkokulu Merzifon Mehmetçik İlköğretim okulunda, lise öğrenimini ise Merzifon Anadolu Lisesi’nde başlayıp Yozgat Anadolu Lisesi’nde tamamlamıştır. 2009 yılında Bozok Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde lisans eğitimini başlamış olup 2014 yılında başarıyla bitirmiştir.

2014 yılında Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yapı Mühendisliği Programında Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır.

İletişim Bilgileri:

Adres: Aşağı Nohutlu Mah. Güneş Sk. Buhara Apt. Kat:4 Daire:8
66100-Merkez/YOZGAT

Tel: 0 354 217 18 66

Gsm: 0 506 723 23 63

E-Posta: elifugcekocabeyoglu@hotmail.com

