



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

**BETON ELEMANLARIN YANAL GÜÇLENDİRİLMESİ İÇİN  
KULLANILAN LİF TAKVİYELİ POLİMERLERİN DURABİLİTE  
PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ**

**ZEYNEP YAMAN PÜSÜR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
KOMPOZİT MALZEME TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN  
DOÇ. DR. MEHMET EMİROĞLU**

**DÜZCE, 2019**

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

**BETON ELEMANLARIN YANAL GÜÇLENDİRİLMESİ İÇİN**  
**KULLANILAN LİF TAKVİYELİ POLİMERLERİN DURABİLİTE**  
**PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ**

Zeynep YAMAN PÜSÜR tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Doç. Dr. Mehmet EMİROĞLU  
Düzce Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Doç. Dr. Mehmet EMİROĞLU  
Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. Serkan SUBAŞI  
Düzce Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Zehra Şule GARİP  
Karabük Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 25/11/2019

## BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

25 Kasım 2019

Zeynep YAMAN PÜSÜR



*Sevgili Aileme*

## TEŐEKKÜR

Deneysel alıŐma yoğun emek, sabır ve bir hayli zaman gerektiren zorlu bir sũretir. Bu zorlu sũrete bana sonsuz desteklerini ve anlayıŐını esirgemeyen, her daim yardımcı olan, deneysel çalıŐmayı kendisine yol edinmiŐ, çok kıymetli danıŐmanım Sayın Doç. Dr. Mehmet EMİROĞLU beyfendiye en içten teŐekkũrlerimi sunarım.

Tũm yaŐamım boyunca maddi manevi her tũrlũ desteklerini eksik etmeyen canımın içi, gũzũmũn nuru çok kıymetli biricik annecim, babacım ve kardeŐlerime,

Maddi desteklerinden dolayı Fibrebeton Yapı Elemanları San. Ve İnaŐat A.Ő' ye, Yapısoy Beton Hafr. İnaŐ. Taah. San. ve Tic. Ltd. Şti.'ye, Beton Zemin ve Yapı Malz. Lab. Hiz. Ltd. Şti.'ye ve SİKA Yapı Kimyasalları A.Ő' ye, Spinteks Tekstil İnaŐ. San. Ve Tic. A.Ő.'ye teŐekkũrlerimi ve saygılarımı sunarım.

25 Kasım 2019

Zeynep YAMAN PũSũR

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
KISALTMALAR.....	x
SİMGELER .....	xi
ÖZET .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
<b>1.GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. BETON VE BETONUN TARİHÇESİ.....	2
1.2. BETONUN KALICILIĞI .....	4
1.2.1. Sertleşmiş Betonda Donma – Çözülme.....	7
1.2.2. Yüksek Sıcaklığın Betona Etkisi .....	9
1.3. BETONUN GÜÇLENDİRİLMESİ.....	11
1.4. POLİMERLER .....	12
1.4.1. Epoksi Yapıştırıcılar .....	13
1.4.2. Lif Takviyeli Polimerler .....	14
1.4.3. Bazalt Elyaf Takviyeli Polimerler .....	15
1.4.3.1. Bazaltın Kimyasal Yapısı.....	16
<b>2. MATERYAL VE METOT .....</b>	<b>18</b>
2.1. MATERYAL .....	18
2.1.1. Epoksi Esaslı Doyurma Reçinesi .....	18
2.1.2. Bazalt Kumaş .....	19
2.1.3. Çimento .....	19
2.1.4. Agregalar .....	21
2.1.4.1. Taş Tozu.....	21
2.1.4.2. İnce Ve İri Agregalar .....	22
2.2. METOT.....	23
<b>3. BULGULAR .....</b>	<b>29</b>
3.1. ISIL İŞLEME TABİ TUTULMUŞ NUMUNELERİN DENEY SONUÇLARI .....	29
3.1.1. Yüksek Sıcaklığa Maruz Bırakılmış Numunelerin Bağlı Kütle Değerleri .....	29
3.1.2. Yüksek Sıcaklığa Maruz Bırakılmış Numunelerin Rezonans Frekansı Değerleri .....	31
3.1.3. Yüksek Sıcaklığa Maruz Bırakılmış Numunelerin Dinamik Elastisite Modülü Değerleri.....	32
3.1.4. Yüksek Sıcaklığa Maruz Bırakılmış Numunelerin Basınç Dayanım Değerleri .....	34

<b>3.2. DONMA ÇÖZÜLME İŞLEMİNE TABİ TUTULMUŞ NUMUNELERİN DENEY SONUÇLARI.....</b>	<b>36</b>
<b>3.2.1. Donma Çözölmeye Maruz Bırakılmış Numunelerin Rezonans Frekans Değerleri .....</b>	<b>36</b>
<b>3.2.2. Donma Çözölmeye Maruz Bırakılmış Numunelerin Dinamik Elastisite Modülü Değerleri.....</b>	<b>37</b>
<b>3.2.3. Donma Çözölmeye Maruz Bırakılmış Numunelerin Ultrases Geçiş Hızı Değerleri .....</b>	<b>39</b>
<b>3.2.4. Donma Çözölmeye Maruz Bırakılmış Numunelerin Basınç Dayanım Değerleri .....</b>	<b>41</b>
<b>4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>44</b>
<b>5. KAYNAKLAR.....</b>	<b>46</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>49</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

Şekil 1.1.	Beton ve betonarme yapıların dış ve iç etkenlerle bozulması.....	6
Şekil 1.2.	a) ve b) Uşak eşme’de donma-çözülme hasarına uğramış betonarme temel c) Denizli’de bir betonarme döşemede oluşan taze beton hasarı.....	7
Şekil 1.3.	Çimento hamuru basınç dayanımının sıcaklık etkisi altında değişimi.....	10
Şekil 1.4.	Jeolojik bir olay sırasında üretilen kimyasal yapıyı gösteren bazalt tetrahedron diyagramı.....	17
Şekil 2.1.	Çalışmada kullanılan çimento.....	20
Şekil 2.2.	Çalışmada kullanılan taş tozu.....	21
Şekil 2.3.	Kullanılan taş tozuna ait granülometri eğrisi.....	21
Şekil 2.4.	Çalışmada kullanılan ince agrega.....	22
Şekil 2.5.	Çalışmada kullanılan iri agrega.....	22
Şekil 2.6.	Kullanılan agregalara ait granülometri eğrisi.....	23
Şekil 2.7.	a) ve b) Yükleme altındaki beton numune görselleri.....	24
Şekil 2.8.	a) Beton numuneye epoksi uygulanması b) Bazalt kumaşa epoksi uygulanması c) Bazalt kumaşın numuneye sargılanması d) Sargılanan numuneye epoksi uygulanması e) Aderansın sağlanması f) Numunenin son hali.....	25
Şekil 2.9.	a) ve b) Sıcaklığa maruz bırakılan numune görselleri.....	26
Şekil 2.10.	a) ve b) Rezonans frekansı ölçümleri yapılan numune görselleri.....	27
Şekil 2.11.	a), b) ve c)Donma-çözölmeye maruz bırakılan numune görselleri d), e) ve f) Yükleme altındaki numune görselleri.....	28
Şekil 3.1.	C16 Dayanım sınıfına ait numunelerin bağıl kütle değerleri.....	29
Şekil 3.2.	C25 Dayanım sınıfına ait numunelerin bağıl kütle değerleri.....	30
Şekil 3.3.	C16 Dayanım sınıfına ait numunelerin rezonans frekansı ölçüm değerleri .	31
Şekil 3.4.	C25 Dayanım sınıfına ait numunelerin rezonans frekansı ölçüm değerleri .	32
Şekil 3.5.	C16 Dayanım sınıfına ait numunelerin dinamik elastisite modül değerleri .	33
Şekil 3.6.	C25 Dayanım sınıfına ait numunelerin dinamik elastisite modül değerleri .	33
Şekil 3.7.	C16 Dayanım sınıfına ait numunelerin basınç dayanım değişimleri.....	34
Şekil 3.8.	C25 Dayanım sınıfına ait numunelerin basınç dayanım değişimleri.....	35
Şekil 3.9.	C16 Dayanım sınıfına ait numunelerin rezonans frekansı modül değerleri .	36
Şekil 3.10.	C25 Dayanım sınıfına ait numunelerin rezonans frekansı modül değerleri .	37
Şekil 3.11.	C16 Dayanım sınıfına ait numunelerin dinamik elastisite modül değerleri .	38
Şekil 3.12.	C25 Dayanım sınıfına ait numunelerin dinamik elastisite modül değerleri .	39
Şekil 3.13.	C16 Dayanım sınıfına ait numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri.....	40
Şekil 3.14.	C25 Dayanım sınıfına ait numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri.....	41
Şekil 3.15.	C16 Dayanım sınıfına ait numunelerin basınç dayanım değişimleri.....	42
Şekil 3.16.	C25 Dayanım sınıfına ait numunelerin basınç dayanım değişimleri.....	43

## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 1.1. En sık kullanılan lif tiplerinin özellikleri.....	16
Çizelge 2.1. Sikadur-330 2-bileşenli epoksi esaslı doyurma (laminasyon) reçinesinin teknik özellikleri .....	18
Çizelge 2.2. Bazalt kumaşın özellikleri. ....	19
Çizelge 2.3. CEM-I 42.5 R tipi çimentoğun kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	20
Çizelge 2.4. Kullanılan taş tozuna ait özellikler .....	21
Çizelge 2.5. Kullanılan agregalara ait özellikler.....	22
Çizelge 2.6. Referans numunelerin basınç dayanım değerleri.....	23



## KISALTMALAR

ABD	Amerika birleşik devletleri
BFRP	Bazalt elyaf takviyeli polimer
FRP	Elyaf takviyeli polimer
ISO	Uluslararası standartlar örgütü
TS	Türk standartları
USA	United states of amerika
vb	Ve bazı
yy	Yüzyıl



## SİMGELER

E	Elastisite modülü
GPa	Gigapaskal
Hz	Hertz
Kg	Kilogram
Km	Kilometre
MPa	Megapaskal
m	Metre
$\mu$	Mikro
$\mu\text{m}$	Mikrometre
mm	Milimetre
N	Newton
s	Saniye
$^{\circ}\text{C}$	Santigrat
cm	Santimetre
%	Yüzde

## ÖZET

### BETON ELEMANLARIN YANAL GÜÇLENDİRİLMESİ İÇİN KULLANILAN LİF TAKVİYELİ POLİMERLERİN DURABİLİTE PERFORMANSLARININ BELİRLENMESİ

Zeynep YAMAN PÜSÜR

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Kompozit Malzeme Teknolojileri Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Mehmet EMİROĞLU

Kasım 2019, 48 sayfa

Yapıların deprem öncesi veya sonrasında onarımı ve güçlendirilmesinde kullanılan tekniklerden biri de taşıyıcı elemanların elyaf takviyeli polimerlerle sargılanmasıdır. Uygun reçine karışımı ile uygulanan bu metotla taşıyıcı elemanların taşıma kapasiteleri artırılmaktadır. Sismik tehlikelere karşı etkin olarak kullanılan bu yöntemdeki amaç yapı güvenliğini artırmaktır. Ancak, özellikle dış ortama maruz kalan yapılar, gündüz ve gece sıcaklık farkları ile donma-çözülme etkilerine dayanıklı olmak zorundadırlar. Bu etkiler, yapıların ömrünü negatif yönde etkilemekte, korozyon oluşumunu hızlandırmakta deprem anında yıkım riskini artırmakta ve durabilite problemlerine yol açarak yapı performansını zayıflatmaktadır. Çevresel faktörlerin elyaf takviyeli polimer güçlendirme uygulaması üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla, bu çalışma için, C16 ve C25 sınıfında Ø100x200 mm boyutlarında silindir numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan bu numunelerin üzerine epoksi reçine tek kat olarak sürülmüş ve bazalt elyaf takviyeli polimerlerle yanal güçlendirme uygulanmıştır. Hazırlanan yanal güçlendirilmiş silindir numuneler 25 °C, 60 °C, 100 °C ve 150 °C sıcaklıklara 12 saat süresince maruz bırakılmıştır. Uygulanan ısıl işlemin ardından; aksel yük taşıma kapasitesi, rezonans frekansı ve kütle kaybı gibi testlerle performans değişimleri referans numunelerle karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Güçlendirme uygulanan diğer numunelerde benzer yöntemle 30, 60, 90, 120 çevirilerde donma-çözülme maruz bırakılmalarının ardından rezonans frekansı, elastisite modül değerleri, ultrases geçiş hızları gibi yapısal performansları referans numunelerle karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

**Anahtar sözcükler:** Bazalt elyaf, Donma-çözülme, Güçlendirme, Polimer esaslı kompozitler, Yüksek sıcaklık.

## ABSTRACT

### DETERMINING THE DURABILITY PERFORMANCE OF FIBER REINFORCED POLYMERS FOR JACKETING USING LATERAL STRENGTHENING OF CONCRETE ELEMENTS

Zeynep YAMAN PÜSÜR

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Composite Material Technologies

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet EMİROĞLU

November 2019, 48 pages

Fiber reinforced polymer jacketing of the load bearing elements is one of the techniques used in the repair and strengthening of structures before or after the earthquake. The carrying capacity of the load bearing elements is increased by this method applied with the appropriate resin mixture. The purpose of this method, which is used effectively against seismic hazards, is to increase building safety. However, especially the structures exposed to the external environment must be durable against day and night temperature differences and freeze-thaw effects. These effects negatively affect the life of the buildings, accelerate the formation of corrosion, increase the risk of destruction during an earthquake and lead to durability problems and weaken the building performance. In order to investigate the effects of environmental factors on fiber reinforced polymer reinforcement application, C16 and C25 class of concretes in Ø100x200 cylindrical samples of dimensions were prepared. On these samples, epoxy resin was applied as a single layer and lateral reinforcement was applied with basalt fiber reinforced polymers. The prepared lateral reinforced cylinder samples were exposed to temperatures of 60 °C, 100 °C and 150 °C for 12 hours. After the heat treatment, performance changes were examined with tests such as axial load carrying capacity, resonance frequency and weight loss. The structural performances such as resonance frequency, elasticity modulus values, ultrasound transition velocities were examined comparatively with the reference samples after freezing-thawing in 30, 60, 90, 120 cycles with similar method in the other samples applied fortification.

**Keywords:** Bazalt fiber, Freeze-thaw, Strengthening, Polymer based composites, Elevated temperature.

# 1. GİRİŞ

Ülkemiz topraklarının büyük bölümü birinci derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Yaşanan depremler nedeniyle birçok yapı hasar görmekte ve hasar sonrası bu yapıların onarım ve güçlendirmesi işlemleri önem kazanmaktadır. Bunun yanında özellikle son yıllarda altyapı ve üstyapı alanlarında, Ülkemiz yapmış olduğu büyük projelerle öne çıkmaktadır. Büyük maliyetlerle yapılan bu projelerde betonarme elemanların sismik aktivitelere karşı dirençlerinin artırılması amacıyla polimer esaslı elyaflarla yanall güçlendirmesi en yaygın kullanılan güçlendirme tekniğı olarak karşımıza çıkmaktadır. Güçlendirme uygulamalarında kullanılan polimer kompozitlerin çalışma sıcaklıkları genel olarak -5 °C ile +50 °C arasındadır. Fakat ülkemiz iklim şartları ve çevresel koşullar dikkate alındığında güçlendirme uygulamalarında kullanılan polimer kompozitlerin yapısal performanslarının nasıl değışeceğı ve güçlendirme etkinliğinin araştırıldığı az sayıda çalışmaya rastlanmaktadır. Özellikle son yıllarda kullanımı yaygınlaşan ve cam, karbon elyaf kompozitlere oranla farklı avantajları bulunan bazalt elyaf kompozitlerin güçlendirme uygulamalarında kullanımı ve bu kompozitlerin yüksek sıcaklık ile donma çözülme dirençlerinin nasıl değıştiği konusunda çalışmaya rastlanmamıştır.

Lif takviyeli polimerlerle güçlendirme uygulanmış ve dış ortama maruz kalabilecek yapıların durabilite performanslarının belirlenmesi bu çalışmanın amaçlarındandır. Yapıların güçlendirilmesinde çevre dostu ve maliyet açısından etkinlik son yıllarda giderek daha önem kazandığından, bu çalışmada yanall güçlendirme uygulamasında, cam elyaf ve karbon elyafa göre daha ekonomik ve doğal kayaçların eritilmesi yoluyla elde edilen, çevresel etkisi düşük olan bazalt elyaf kullanımı tercih edilmiştir. Çalışmada C16 ve C25 olmak üzere iki farklı dayanım sınıfı çalışma kapsamında tercih edilmiştir. Ülkemiz yapı stoğu düşünöldüğünde geçmiş yıllarda yapılan yapıların birçoğunun düşük dayanımlı olması nedeniyle C16 ve geçmiş yıllara kadar betonarme yapılarda kullanılacak en düşük dayanım sınıfı olması nedeniyle de C25 beton sınıfları tercih edilmiştir. Yapıların güçlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan lif takviyeli polimerlerle güçlendirme uygulamasında tercih edilen polimerlerin çalışma sıcaklıkları genel olarak -5 °C ile +50 °C aralığında olduğu bilinmektedir. Ayrıca kullanılan bu

kompozitlerin donma-çözülme etkisine karşı direnci yapı performansı açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle bu tez kapsamında, yüksek sıcaklık ve donma-çözülmenin lif takviyeli polimerlerle güçlendirme uygulanmış silindirik beton numuneleri üzerindeki etkileri araştırılmaktadır.

## **1.1. BETON VE BETONUN TARİHÇESİ**

Beton, çimento, çakıl, kum (veya kırma taş, hafif agrega vb.), su ve uygun katkı maddelerinin hesaplanmaları neticesinde, belli başlı oranlarda homojen kıvamına gelene kadar karıştırılmasıyla elde edilen, ilk başta plastik kıvamda olan, zamanla çimentonun hidrasyonu nedeniyle katılaştıran, istenilen şekli alarak sertleşen kompozit bir yapı malzemesidir [1]. Betonu diğer yapı malzemelerinden üstün kılan en önemli özelliklerinden biri istenilen biçimin verilebilmesini sağlayan plastik kıvamıdır. Betonun özellikleri, karışımında kullanılan çeşitli malzemelerin özellikleri ile yakından ilişkilidir [2].

Beton ve betondan imal edilen yapıların, insanlık tarihinde ilk olarak ortaya çıkması milattan önce 5600 yıllarına tekabül etmektedir. Çin Seddi ve Mısır Piramitleri milattan önce 3000 yıllarında inşa edilmiştir. Bu yapılarda alçı ve kireç esaslı bağlayıcıların kullanıldığı bilinmektedir [3].

Romalılar bağlayıcı malzeme olarak kireç ve volkanik küllerden oluşan karışımı kullanmışlardır. Bu karışıma da “Puzzolan Çimento” adını vermişlerdir. Bu ismi vermelerinin sebebi karışımın içerisindeki volkanik küllerin İtalya’nın Pozzuoli bölgesinde bulunmasıdır. İtalya’nın Roma bölgesinde bulunan kadim ve anıtsal yapıların çoğunluğu (Coliseum, Pantheon, Roma Hamamları ve 8.000 km’ye uzanan Roma yolu) bahsedilen bağlayıcı malzeme kullanılarak inşa edilmiştir [3]. Romalılar, günümüzdeki katkı malzemelerinden farklı olarak, buldukları çimento karışımlarına, bol miktarda at kılı koymuşlardır. Böylece bağlayıcı malzemelerini güçlendirme yoluna gitmişlerdir. Oluşturulan bu ilkel bağlayıcının prizlenme sürecinde ortaya çıkabilecek, çatlak ve sünmelerin oranı at kılı sayesinde azaltılmıştır. İnşa ettikleri yapıların, olumsuz çevre koşullarından etkilenmemesi ve daha uzun yıllar varlıklarını sürdürebilmeleri için karışımlarına az miktar da kan eklemişlerdir. Karışımlarında katkı malzemesi, olarak kullandıkları kan çimentonun boşluklu yapısını arttırmakta ve donma-çözülme dirençlerini arttırmaktadır. Günümüzdeki ismiyle hava kabarcığı sürüklenmesi işlemiyle

benzer bir mekanizma kurmak istemişlerdir. Bilindiği gibi beton, boşluklu yapıya sahip bir malzemedir. Betona katkı maddesi olarak hava kabarcığı sürüklenmesinin amacı, betondaki boşluklu yapıyı arttırmaktır. Böylece, beton içinde bulunabilecek nemin veya sonradan boşluklar içerisine girebilecek suyun, düşük sıcaklıklar altında donarak genişleşip çatlaklar oluşturmasına engel olmaktır. Romalıların kullandıkları at kılının yerini polimer fiberler alırken, kanın yerine hava sürükleyici katkıları kullanılır olmuştur [4].

Betonun özelliklerine yer veren ilk yazılı kaynaklar, Romalı Pollio Vitruvius'un mimariden bahseden kitaplarıdır. Bu kitapların tarihi milattan sonra 27 yılı olarak kayıtlara geçmiştir. İstanbul'da bulunan abide yapı Ayasofya'nın inşası bu tarihten 500 yıl sonrasına (540 yılında) tekabül etmektedir ve yapımında beton kullanılmıştır. Anadolu'daki Türklerin, Orta Asyalıların ve Perslerin 100'li yıllara doğru inşa ettiği ve varlıklarını günümüze kadar sürdüren pek çok yapı bulunmaktadır. Bu yapılar incelendiğinde ise bahsedilen bölge halkının geliştirdiği ve adına "Horasan Harcı" denilen çok güçlü bir bağlayıcının kullanıldığı kayıtlara düşülmüştür [3].

Günümüz şartlarında değerlendirildiğinde bile güçlü teknik özelliklere sahip doğal çimentonun ilk kullanımının Romalılara ait olduğu düşünülmektedir. Romalılardan 18. yüzyıla kadar, bağlayıcı malzemeler alanında kayda değer gelişmeler yaşanmamıştır. Bir İngiliz mühendis olan John Smaeton, yapımı 18. yüzyıla ait olan Eddystone fenerinin inşasında kil ve kireç taşı malzemelerinin karışımından elde ettiği bir tür çimento kullanmıştır. Bu karışımı kullanması, adının tarihe çimentoyu bulan ilk kişi olarak geçmesini sağlamıştır. Bir İngiliz duvar ustası olan John Aspdin ise günümüz çimentosunu bularak patentini almıştır. Aspdin, bulduğu bu çimentonun ismini Portland'daki taşlara benzemesi sebebiyle "Portland Çimentosu" olarak tescillendirmiştir. 1848 yılında İngiltere'nin Kent şehrinde ilk Portland çimentosu fabrikası kurulmuştur. 19. yüzyılın ikinci yarısında ise çimento imalatı ve kullanımı pek çok ülkede yaygınlaşmıştır [2].

Kumun ve çakılın su ve çimentoya ilave edilmesiyle oluşturulan betonun darbe ve çekme tesirlerine karşı zayıf olduğu tespit edilmiş ve demir çubuklarla mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi yoluna gidilmiştir. Betonun mekanik özelliklerinin, demir çubuklar vasıtasıyla rehabilite edilmesi işleminden sonra ortaya çıkan yeni ürün, "betonarme" olarak adlandırılmıştır. Bu konuda ilk patenti 1855'de Coignet ve 1857'de de Monier almıştır. Büyük bir başarı olarak tarihe geçen, 130 m<sup>3</sup> hacimli betonarme su

deposu, 1872 yılında Monier tarafından inşa edilmiştir. Parisin drenaj sistemi içinde bulunan, çapı 5 metreyi bulan borunun kaplaması Coignet tarafından, 1882 yılında betonarme olarak yapılmıştır ve betonarme yapıların hesap yöntemlerinin öncülüğünü de kendisi yapmıştır. 1892’de Percy tarafından gerçekleştirilen bir betonarme yapı sisteminin kullanıldığı Stanford Üniversitesindeki müze binasının açıklıkları 14 metreyi bulmaktadır. Bu kadar büyük açıklıklara sahip bir yapının, 1906 yılında yaşanan Kaliforniya depreminden hasarsız çıkması dikkat çekicidir [2].

1902 yılında Fransız mimar August Perret, ilk çok katlı yapıyı tasarlayıp inşa etmiştir. Bu yapının özelliği, yükü taşıyan duvarlar yerine, yükü taşıyan kolon, kiriş ve döşemelerin olmasıdır. Bu tarzda yapılan yapı inşaat bilimine önemli bir yenilik olarak kabul edilmiştir. Bu yeniliğin yaşanmasından bir sene sonra inşaat teknolojisinde çağ açan yenilik yaşanmıştır. 1903 yılında Almanya’nın Hamburg Eyalet İdaresi’nde yapı işleri sorumlusu olarak çalışan Magens, “Hazır Çimento Betonunun Bağlayıcılık Özelliğini Yitirmeden Korunması İşlemi” fikrini öne sürmüştü, bu fikrin patentini 10 Ocak 1903 yılında almıştır. Böylece Almanca’daki adıyla “Transportbeton”, yani “Taşıma Beton”, Türkçe söylenişiyle de Hazır Beton ortaya çıkmıştır. Bu buluştan yaklaşık 13 sene sonra, 1916 yılında USA’da Stephan Stephanian adlı Osmanlı göçmeni tarafından, hazır betonun taşınması için özel olarak tasarlanan ve “transmikser” adı verilen araç geliştirilmiştir. 1927 yılına gelindiğinde, Alman mühendisler Max Giese ve Fritz Hell, birlikte geliştirdikleri “Beton–Harç İletme Pompası” adlı aracın patentini almışlardır. Bu gelişmeleri takip eden yıllarda, ortaya çıkan teknolojik yeniliklerle, özellikle kimyasal katkıları, liflerin ve fiberlerin betonda kullanılmasına başlanmıştır. Bu ilerleme ile betonda değişik kullanım amaçlarına yönelik, yüksek dayanımlı yapılar inşa edilmeye başlanmıştır. Beton sadece günümüzün değil tarihte de insan yaşamının en yaygın ve ekonomik yapı malzemesi olarak, vazgeçilmez bir yere sahiptir. Karayollarından denizaltı tünellerine, köprülerden gökdelenlere kadar pek çok farklı alanda, farklı amaçlarla betondan yararlanılmaktadır [3].

## **1.2. BETONUN KALICILIĞI**

Yapı gereçlerinin davranışlarına göre, yapıların fonksiyonlarının şekillendiği ve işlevlerini, servis ömürleri boyunca deformasyona uğramadan yerine getirebilmelerine kalıcılık (dayanıklılık, durabilite) adı verilir [5].

Yapılarda kullanılan betonun dayanıklılığını etkileyen faktörleri beş ana başlık altında toplayabiliriz;

- Çimentonun etkisi,
- Agreganın etkisi,
- Suyun ve havanın etkisi,
- Su-çimento oranı (S/Ç),
- Diğer faktörler.

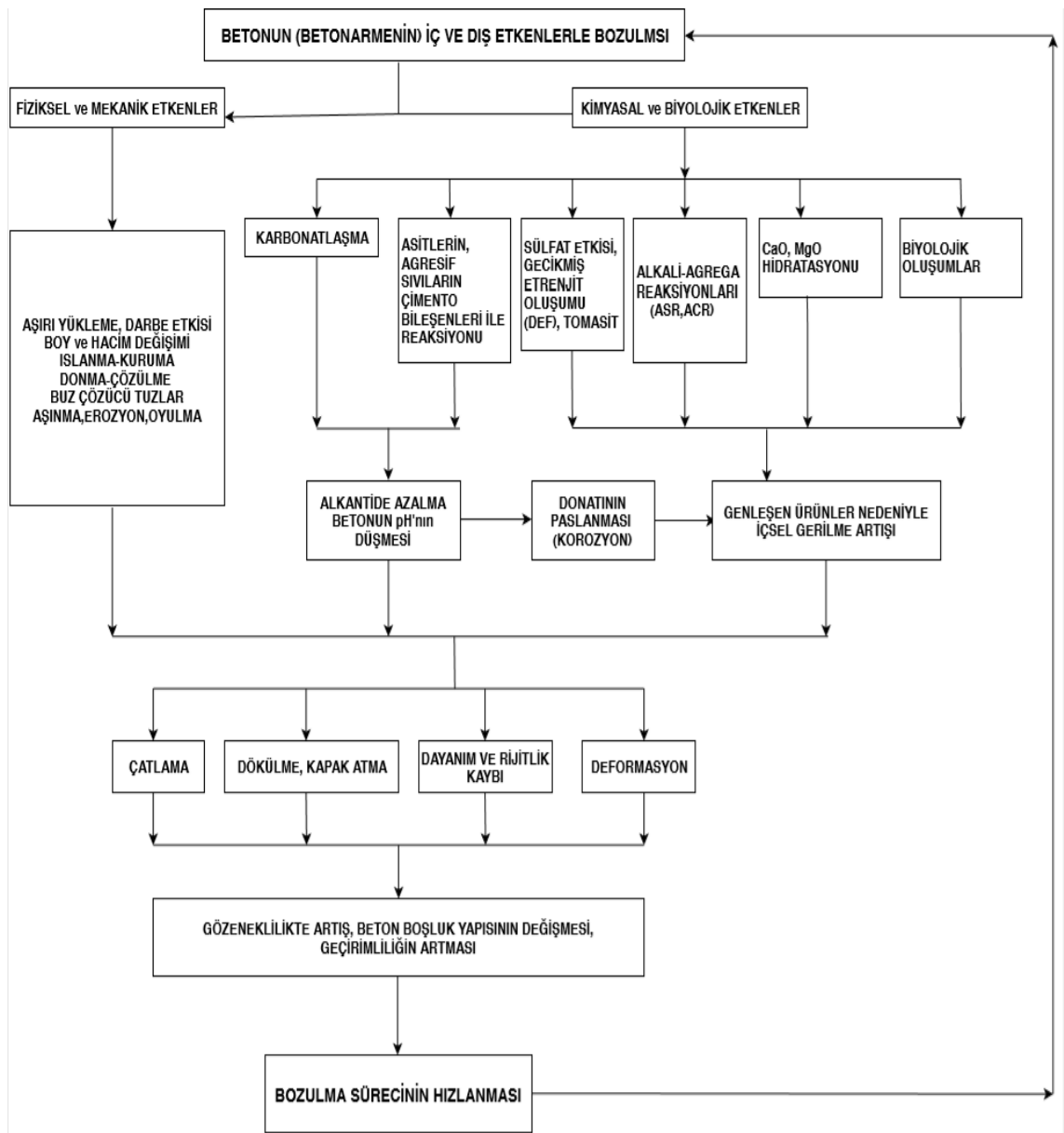
1970'lerin bitimine kadar betondan yapılan yapıların oldukça uzun ömürlü ve mukavim yapılar oldukları kabul edilirdi. Günümüzde de kabul edilen bu tanım için aslında uygun proseslerin uygulanması şartı vardır. Yani betonarme tekniklerine uygun ve beton teknolojisine göre projelendirilmiş ve üretilmiş, muhafaza edilmiş, yalıtımlı ve geçirimsiz yapılar için bu kavram doğrudur. Lakin geçtiğimiz 30 yıla bakıldığında, betondan yapılan yapıların dayanıklılığı konusunda geçmişte yeterli bilgi birikimi olmadığından bazı riskler gözlemlenmiştir. Betondan imal edilen değişik sanat yapılarının, uygulama hataları ve bilgi eksikliği sebebiyle sadece dayanımları göz önüne alınarak inşa edilmesi, büyük ölçüde hasarlara uğramalarına sebep olmuştur. İncelemelerde, birçok Amerikan yapımı film sahnelerinde gördüğümüz, 1932 yılında yapılan Los Angeles'ta bulunan Altıncı Cadde Viyadük köprüsünün, bugün büyük ölçüde hasara uğramasının sebebi geçmişte bilinmeyen Alkali silika reaksiyonu sonucunda betonda oluşan çatlaklardır. Bu reaksiyona sebep olan çimentonun yüksek oranda alkali içermesi ve bileşenlerinden biri olan agreganın aktif silis içermesidir. Bu köprünün oluşabilecek deprem etkisi altında yıkılma oranı % 70 olarak hesaplanmış, bu sebeple yerine yeni bir köprü inşa edilmesine karar verilmiştir [6]. Öngörülme yen kalıcılık problemleri sebebiyle, servis ömürleri dolan bu ve buna benzer pek çok yapı ülkemiz ve gelişmiş birçok ülkenin başlıca problemleri arasında yer almaktadır. Bu yapıların imha edilerek, yenilerinin inşa edilmesi veya güçlendirilmeleri gerekmektedir. Gelişmiş veya gelişmekte olan ülkeler, inşaata ayırdıkları bütçelerinin % 40'ını bakım/onarım işlerine sarf etmektedirler. Bu oran göz önüne alındığında konunun ciddiyeti daha iyi idrak edilebilmektedir [6].

Gün geçtikçe ilerlemelerin kaydedildiği kalıcılık (durabilite) problemleri halen açıklığa kavuşmamıştır. Günümüzde durabilite problemleri netlik kazanmamış ancak gün geçtikçe ilerlemeler kaydedilmektedir. Candlot ve Michaelis, 19. yüzyılın sonlarında sülfatların beton üzerindeki zararlı etkileri üzerine, ilk araştırmalarını yapmışlardır [7].

Sülfatların, zararlı bir spesifik etkisi olan, tomasit etkisinin ilk olarak 1962 yılında tespit edildiği bilinmekle birlikte, ABD'deki birkaç tomasit oluşumu vakalarıyla birlikte 1965 yılında kayda alınıp yayınlanmıştır. İlk olarak 1940 yılında ABD'de tespit edilen, alkali-silika reaksiyonu ülkemiz Ege bölgesinde bulunan viyadük ayaklarında ciddi hasarlara neden olmaktadır [8].

Yapıların bozulmaların sebep olan kimyasal, fiziksel, biyolojik ve mekanik kökenli faktörler Şekil 1.1'de gösterilmektedir.

Bu çalışmanın da konusu olan betonda donma-çözülme ve yüksek sıcaklık altındaki beton davranışı aşağıda ayrıntılı olarak anlatılmıştır.



Şekil 1.1. Beton ve betonarme yapıların dış ve iç etkenlerle bozulması [5].

### 1.2.1. Sertleşmiş Betonda Donma – Çözülme

Suya doymun haldeki sertleşmiş beton don etkisinde kalınca, beton içerisinde yer alan boşluklardaki su donar ve genişir. Bu olay sırasında çözülmeyi takip eden yeniden donma olayı sonunda bu genişeme miktarı kümülatif olarak artar. Ortaya çıkan genişeme sonucu oluşan gerilmelerin mertebesi beton parçaların çekme dayanımını aştığı zaman beton üzerinde bozulmalar tespit edilmiştir. Bunlar; kabuk atma, çatlama, ufalanma vb. [5].



Şekil 1.2. a) ve b) Uşak Eşme’de donma-çözülme hasarına uğramış betonarme temel c) Denizli’de bir betonarme döşemede oluşan taze beton hasarı [5].

Bilindiği üzere su 0 °C altındaki sıcaklıklarda donmaktadır lakin aynı şey beton içerisinde bulunan sular için geçerli değildir. Betonun ihtiva ettiği suyun, 0 °C’den daha düşük sıcaklıklarda yoğunlaşmasının sebebi, suyun içerisinde eriyik halde bulunan tuzlardır. Bu sıcaklıklar daha da düştüğünde donma işlemi başlamaktadır. Donma sıcaklığını etkileyen önemli bir faktör de, beton içerisinde bulunan suların boşluk çaplarıdır. Makro boşluk çaplarında bulunan su, 0 °C veya biraz daha az sıcaklıkta donma reaksiyonu gösterirken, mikro boşluk çaplarında bulunması halinde, -15 °C veya -20 °C gibi sıcaklık değerlerinde bu reaksiyonu göstermektedir. -78 °C sıcaklık değerinde donma olayının gerçekleştiği su ise, çapı çok küçük olan jel boşluklarında

bulunur. Jel boşlukları çok küçük olduğu için, bu boşluklardaki sular çok daha düşük sıcaklıkta (-78 °C) donmaktadır. Kısacası, betonun ihtiva ettiği suların tek bir donma noktası olduğu söylenemez [9].

Beton içerisindeki su düşük sıcaklıklarda aniden donma reaksiyonu göstermemekte, yani yavaş yavaş donmaktadır. Düşük sıcaklıklarda, betonun içerisindeki su yavaş yavaş donmaya başlamaktadır; yani, donma olayı aniden gerçekleşmemektedir. Kapiler boşlukların % 91'den daha büyük değerlerde veya tamamen suyla dolu olmaları halinde, donmanın başlaması ve suyun bir miktarının katılarak buz haline dönüşmesi gerçekleşmektedir. Buza dönüşen suyun hacmi % 9 oranında artarak hacim genişlemesine sebep olmaktadır. Oluşan bu genişleme, boşluklarda henüz donmamış halde bulunan su üzerinde, hidrolik basınç yaratarak suyun boşluklardan dışarıya itilmesini sağlamaktadır. Basıncın etkisiyle boşluklardan dışarıya itilen su, çimento hamurunun çatlayarak hasara uğramasına sebep olabilecek gerilmeler yaratmaktadır. Kapiler boşluklarda bulunan tamamıyla donmamış haldeki suyun, hidrolik basıncının yükselmesine neden olan boşluklarda henüz tamamen donmamış durumdaki suyun gösterdiği hidrolik basıncın yükselmesine sebep olan iki hadise daha vardır:

- Jel boşluklarının içerisinde var olan su ile buzun termodinamik dengesizliği, az miktarda da olsa jel suyunun, kapiler boşluklarda donmasına ve nihayetinde hidrolik basıncın artmasına neden olmaktadır,
- Kapiler boşluklarda mevcut olan saf suyun dışarı çıkması sonucunda, geriye kalan suda tuz ve benzeri maddelerin konsantrasyon oranları yükselmekte, bu oranların yükselmesi osmotik basıncı arttırmaktadır [9].

Sıcaklık değerinin düşük olduğu ortamlarda betonun içerisinde oluşan buzlar, sıcaklık değerinin yükselmesiyle çözülmekte, nihayetinde betonda oluşan gerilmeler ortadan kalkmaktadır. Ancak, tekrar eden koşullarda betondaki reaksiyonlarda tekrar etmekte ve deformasyona uğramaktadır [9].

Sertleşmiş betonun donma olayına karşı dayanıklılığını etkileyen en önemli iki etken, betonun doygunluk derecesi ve boşluk yapısıdır [5]. % 20 ve daha fazla oranda boşluklu yapıya sahip olan ürünler yani, doygunluk derecesi % 80 ve daha az olan malzemeler genellikle donmaya dayanıklıdır diye kabul edilebilir [10]. Hava sürükleyici katkı maddesi kullanılmasıyla, beton içinde çok küçük çaplı ortalama (50 µm) ve sık aralıklı (200-250 µm) hava baloncukları oluşturularak, buzun beton içinde patlama

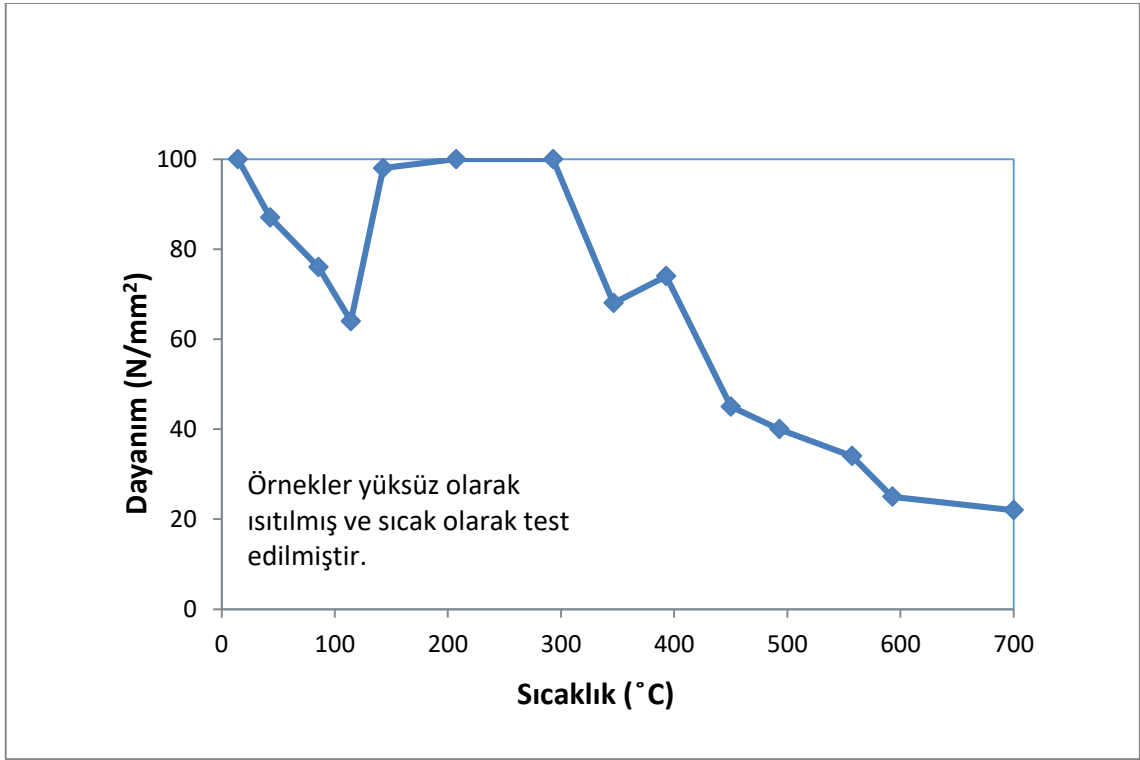
basıncına ulaştığı kritik doygunluk değerini etkisiz kılmak mümkündür [11]. Böylelikle, donmaya başlayan buzun genişmesine izin veren alan yaratarak hasar oluşumunu engeller. Geçirimsizliği azaltan tüm faktörler, dona dayanıklılığı da arttırmaktadır. Düşük su/çimento oranına sahip, çimento dozajı yüksek karışımlar don olaylarına karşı daha dirençlidirler [5].

Fiziksel bir faktör olan donma-çözülme olayı, bünyesine su alarak doygun hale gelen ve donma-çözülme etkilerine maruz kalan her betonu kısa sürede hasara uğratmaktadır. Çevresel etkilere karşı korumasız halde bulunan park alanları, hava alanları, kaldırımlar, yollar gibi yapılar da kullanılan betonlar, böyle bir hasara maruz kalabilecek betonlardır. Donma-çözülme olayına tekrar tekrar maruz kalan betonun, iç gerilmeleri artacağından beton yüzeyindeki agregalar gevşeyip kopmakta, betonun içerisinde çatlaklar oluşmakta ve bu çatlaklar giderek daha büyük çatlaklar haline gelmektedirler. Çevresel etkilerin şiddetinin büyük olduğu ortamlarda, çok sayıda donma-çözülme olaylarına maruz kalan en iyi betonlar dahi, en fazla bir-iki yıl içerisinde büyük hasarlara uğrayabilmektedirler [9].

### **1.2.2. Yüksek Sıcaklığın Betona Etkisi**

Beton birçok yapı malzemesine oranla yüksek sıcaklık faktörüne karşı daha dayanıklı bir malzemedir. Yüksek sıcaklığa maruz kalan beton, belirli bir zaman zarfına kadar önemli bir zarar uğramaz ve zehirleyici gaz veya duman salınımı gerçekleştirmez. Yüksek sıcaklıklar betonların dış yüzeylerinde ayrışmaya, kabuk halinde dökülmelere sebep olmaktadır [12]-[14].

Şiddetli sıcaklıkların çimento üzerindeki etkileri Şekil 1.3'de gösterilmiştir [15]. Şekil 1.3'de gösterilen grafiği yorumlamak gerekirse, beton dayanımının, 20 °C ile 120 °C sıcaklık aralığında düşüş göstermesi, çimento hamurundaki su tabakalarının şişmesi sebebiyle bağların zayıflaması şeklinde yorumlanabilir. Geline sıcaklık değeri sonrası dayanımın yeniden yükselmesi, termal kurumanın yararlı etkisinden kaynaklanmaktadır. Termal dehidratasyonun bu yararlı etkisi, mekanik özelliklerin bozulmasına neden olan, jelin dehidratasyonun başladığı ve mikro çatlakların oluştuğu 300 °C'nin üzerinde sona erer. Bu sıcaklık değerinin üzerinde mekanik özelliklerin deformasyona uğramasının bir sebebi de porozite artışının başlamasıdır. Sıcaklık 300 °C'ye ulaştığında C-S-H ara yüzeylerindeki suyun, C-S-H ve sülfalüminattan gelen kimyasal bağ suyunun bir miktarının kaybedilmesi mikro çatlaklara sebep olmaktadır [15].



Şekil 1.3. Çimento hamuru basınç dayanımının sıcaklık etkisi altında değişimi [15].

Mikro çatlaklar önce (yaklaşık 300 °C’de)  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ’nin toplandığı bölgelerde ve sonrasında hidrate olmamış tanelerin bulunduğu bölgelerde (yaklaşık 400 °C’de) görülür. 400 ile 600 °C arasındaki yüksek sıcaklıklar sertleşmiş çimento hamurunda boşluk sisteminin tamamen kurumasına, hidrasyon ürünlerinin ayrışmasına ve C-S-H jellerinin parçalanmasına yol açar. 400 °C’nin üzerindeki sıcaklıklarda soğutulma sonrası örneklerin parçalanması, o sıcaklıkta kalsiyum hidroksitinin ayrışması ve bu sıcaklıktan soğuma sonunda tekrar hidrate olarak genişlemesiyle açıklanmaktadır [11]-[17].

Yangın söndürme çalışmaları sırasında püskürtülen su  $\text{CaO}$ ’i tekrar  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ’ye dönüştürür ve hacimde genişleme meydana gelir. Kısa sürede büzülen ve genişleyen beton içinde oluşan parazit gerilmeler hasarın büyümesine neden olur [12].

Agrega porozitesi ve mineralojisi yüksek sıcaklığa maruz kalan betonun davranışı üzerinde önemli bir etki yapar. Yaygın olarak kullanılan agregaların birçoğu belli sıcaklıklara kadar ısıtıldığında fiziksel olarak bozulur. Kireçtaşı ve bazalt agregaları 650 °C’ye kadar ısıtıldığında kalıcı termal genişlemeler gösterir. Karbonat kökenli agregalar 700 °C’nin üzerindeki sıcaklıklarda kimyasal olarak  $\text{CaO}$  ve  $\text{CO}_2$ ’ye ayrışır. Bu nedenle

üretileen betonun yüksek sıcaklıklarda iyi performans göstermesi için kullanılan agreganın hem fiziksel hem de kimyasal olarak termal stabilitesi yüksek olmalıdır [18].

Yüksek dayanımlı betonlar geçirimsizliklerinin yüksek olmasından dolayı yüksek sıcaklık etkisinden daha fazla hasara uğrarlar. Betonun bu geçirimsiz yapısı suyun buharlaşarak dışarı çıkmasına engel olmakta, oluşan hidrostatik basınç betonun patlayarak parçalanmasına yol açmaktadır. Düşük dozajlarda polipropilen türü liflerin (hacimce % 0.1 - 0.2) kullanımı bu tür hasarların oluşumunu önlemektedir [19].

TS4065'e göre [20], betonarme veya betonarme-çelik kompozit elemanların yangına karşı 2 saat dayanıklı olabilmesi için, içerisindeki çelik profil veya donatının en dışta kalan kısımlarının (paspayı) en az 4 cm kalınlığında beton ile kaplanmış olması gerekmektedir. Bu şartın yangın riski fazla olan yapılar için sağlanması daha sağlıklı bir uygulama olur. Ayrıca yüksek sıcaklığa dayanıklı özel sıvıların kullanımı yangın riskini azaltmada büyük öneme sahiptir [5].

### **1.3. BETONUN GÜÇLENDİRİLMESİ**

Bir yapının güçlendirilmesi için yapının her zaman hasar görmesi gerekmez. Yapının kullanım amacının değişmesiyle düşey yönde etkiyen hareketli yüklerde artışın oluşması, proje aşamasında hesaba katılmayan ilave yükler, doğru detaylandırma yapılmadığında oluşan aşırı sehimler, proje veya uygulama aşamasında yetersiz donatı kullanımı, geçirimli bir beton olması durumunda donatıların uğrayacağı korozyon, yönetmeliklerin değişmesiyle yapıdaki eski deprem kuvvetlerinin hesap yönteminin yenisine uymaması, yapı elemanlarının ve malzemelerinin servis ömürlerini doldurması, kullanım esnasında ani yükleme durumları oluşturan depremler, yangınlar gibi yapıyı deformasyona uğratan sebeplerden ötürü de yapı tamir veya güçlendirme gereksinimi duyabilir [21].

Yapı ağırlığını artırmayan, kolay ve hızlı uygulanabilen, elemanların taşıma kapasitelerini önemli ölçüde artıran, güçlendirme sırasında yapının kullanımına olanak sağlayan Elyaf Takviyeli Polimer (FRP) kompozitler, betonarme yapı elemanlarının onarım ve güçlendirilmesinde uzun yıllardır kullanılmaktadır. Beton ve betonarme yapılar FRP kompozitler ile sarılarak etkili bir şekilde güçlendirilebilmektedir. Yapıların FRP kompozitler ile güçlendirilmesinde yaygın olarak karbon, buna nispeten daha az oranda Cam, Aramid, Bazalt FRP kompozitleri kullanılmaktadır. FRP

kompozitlerin tercih edilmesinde, dayanım, dayanıklılık, şekil değiştirme kapasitesi, ekonomiklik ve çevresel etki gibi faktörler etkili olmaktadır. Yapılan birçok çalışma FRP kompozitler ile güçlendirilen betonarme yapıların yük taşıma kapasitesinin önemli ölçüde artırdığını ortaya koymuştur [11]. FRP kompozitler ile güçlendirme betonarme yapıların süneklik kapasitelerini [15], [19], basınç dayanımlarını [10], [20], [22], [23] ve boyuna donatı bindirme boyunun yetersiz olduğu durumlarda donatı kenetlenme dayanımlarını artırmaktadır [24], [25]. FRP ile güçlendirilmiş kolonların, aşırı koşullarda (donma ve yangın) da iyi performans sergilemiş [26], hesap yöntemleri ve davranış modelleri üzerindeki çalışmalar gelişen teknoloji ve değişen malzemeler ile birlikte güncellenerek devam etmektedir [12], [27]-[30]. Düşük dayanımlı betonlar ile üretilen basınç elemanları FRP kompozitler ile etkili bir şekilde güçlendirilebilmektedir [11], [17], [26].

Bu çalışma kapsamında, güçlendirme tekniklerinden olan BFRP metodunun yapı elemanlarındaki etkileri beton numuneler üzerinde denenerak mukayese edilmiştir. Deneysel çalışmalarda beton numunelere, bazalt kumaş malzemesi epoksi reçineler vasıtasıyla sargılanmış, yanal güçlendirilme uygulanmıştır. Hazırlanan yanal güçlendirilmiş silindir numuneler 25 °C, 60 °C, 100 °C ve 150 °C sıcaklıklara 12 saat süresince maruz bırakılmıştır. Uygulanan ısıl işlemin ardından; eksenel yük taşıma kapasitesi, rezonans frekansı ve bağıl kütle değerleri gibi testlerle performans değişimleri referans numunelerle karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Güçlendirme uygulanan diğer numunelerde benzer yöntemle 30, 60, 90, 120 çevirimlerde donma-çözölmeye maruz bırakılmalarının ardından rezonans frekansı, elastisite modül değerleri, ultrases geçiş hızları, basınç dayanım değişimleri gibi yapısal performansları referans numunelerle karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

#### **1.4. POLİMERLER**

Polimer karışımları, amaca uygun özelliklerde polimerik malzemeler hazırlamak, var olan ürünün özelliklerini geliştirmek ve maliyeti düşürmek amacıyla üretilirler. Polimerin performansının artırılması için farklı polimerlerin karıştırılarak hazırlanması fikri Thomas Hancock'a aittir. Thomas Hancock; birbirinin izomeri olan cis-poliizopren (doğal kauçuk) ile trans-poliizopreni (gutta percha) karıştırarak su geçirmez giysilerde kullanılabilen bir polimer karışımı elde etmiştir. Geniş sıcaklık bantlarında, polimerik malzemelerle, iyi mekanik özelliklere sahip ve kütlece hafif olan bileşimler sentezlemek

mümkündür. Sentezlenen polimerik malzemelerde dayanıklılık ve sertlik arasında iyi bir balansın sağlanması beklenir. Üretilen çok sayıda polimerin sertliği, ani darbelerde çatlaklarının büyümesi ve kırılma güçlüğü ile karakterize edilir. Optimum üretimde sert plastik sağlamlaştırılırken, % 5 - % 20 oranında kauçuksu malzemenin, sert plastik matrisine dağıtılmasıyla gerçekleştirilir. Oluşan plastik karışımın kırılmaya karşı direnciyle, karışımın karakteri belirlenir. Bu şekilde sağlamlaştırılmış plastiklere örnek olarak polistiren (PS), Polivinilklorür (PVC), Polimetilmetakrilat (PMMA), Polipropilen (PP), Polikarbonat (PC), Poliamidler (PA) ve termoset reçinelerden, günümüzde sıklıkla kullanılan epoksi, doymamış polyester reçineleri ve poliimidler verilebilir [31].

Polimer karışımı oluşturmanın temel nedeni birleştirme, güçlendirme ve ekonomik sebeplerdir [31].

Polimer alaşım ve karışımlarının % 65'i reçine üreticileri tarafından % 25'i birleşim şirketleri tarafından geri kalanı ise çeviriciler tarafından üretilir [31].

Hazırlanan karışımın optimum düzeyde olması isteniyorsa, karışımı oluşturacak polimerlerin, kimyasal ve fiziksel özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Bu sebeple, karışımı oluşturan polimerin tercihi, katılacak entegrasyon maddesinin tercihi, karıştırma metodu, kullanım yeri ve amacı gibi ölçütlerin çok iyi araştırılması gerekmektedir [31].

#### **1.4.1. Epoksi Yapıştırıcılar**

Kullanım tarihi, polimer kimyasından daha eskilere dayanan epoksi reçineler, farklı farklı kullanım alanlarına sahip olan ve tek başlarına kullanılmayan ürünlerdir. Epoksi reçineler, kullanıma hazırlanırken kimyasal bir madde olan sertleştiricisiyle birlikte homojen kıvama ulaşana kadar düşük devirli matkap ile karıştırılması gereklidir. Karıştırma sırasında reçine sıcaklığı, 10-35 °C aralığında olmalıdır. Reçine ve sertleştiricinin kimyasal reaksiyonu sonucunda sert ve geri dönüşü olmayan bir malzeme oluşmaktadır. Ortam ısısı, reçinenin reaksiyon hızı ve akışkanlığı açısından oldukça önem arz etmektedir. Uygulamanın yapılacağı yüzeyde birikmiş su bulunmamalı, rutubet oranı % 6'dan yüksek olmamalıdır. Kullanılacak epoksi yapıştırıcısının sahip olması gereken özellikler aşağıda belirtilmiştir;

1. Düşük viskozite ( $\mu < 3000 \text{ MPa.s}$ )

2. Yeterli rijitlik ( $E= 5-10$  GPa)
3. Yüksek eğilme dayanımı ( $>50$ MPa,TSEN 196) [21].

#### **1.4.2. Lif Takviyeli Polimerler**

Literatürde bilinen adıyla FRP'ler yani lif takviyeli polimerler, polimer reçinelerinin içerisine gömülmüş yüksek dayanımlı liflerden oluşan kompozit elemanlardır [26]. Lif takviyeli polimerler, göçmeye ulaşınca kadar doğrusal bir gerilme deformasyon ilişkisi gösterir, kütlece hafiftir, yüksek dayanıklılık/kalıcılık gösterir, güçlü korozyon direncine sahip, makro rijitlik ve mukavemet özelliklerine sahiptirler [26].

FRP kompozit malzemeler tek ve çift yönlü kumaşlar (fabrik) ve şeritler (plaka), ankrajlar ve çubuklar halinde üretilmektedir. FRP kompozitler, inşaat sektöründe tasarım kolaylığı, farklı fiziksel değerler için farklı kompozit malzeme kullanma imkanı, uygulama ve kullanma kolaylığı sağlarken uygulandıkları yapı ve yapı elemanlarının, yük taşıma kapasitesini artırma, eğilme dayanımını artırma, durabiliteyi geliştirme, dinamik yüklerden gelen yorulma direncini güçlendirme gibi mekanik özelliklerini iyileştirmektedir. Hafif ve esnek bir malzeme olmaları sebebiyle yapıda ölü yük artışına neden olmamaktadırlar [21].

Lif takviyeli polimerlerde asıl yükü karşılayan elemanlar, bu kompozit malzemelerin içerisindeki liflerdir. Liflerin dağılmadan bir arada olmalarını sağlamak, sıralı düzenlerini sürdürmek, liflere gelen yüklerin matrisler arasında eşit dağılımlarını gerçekleştirmek ve lifleri tahribattan korumak için reçineler lifleri çevrelerler. Yaygın olarak kullanılan polimerik reçine tipleri; vinilester, polyester ve epoksidir [26].

Lif takviyeli kompozit türleri kullanım alanlarına göre değişiklik göstermekle birlikte genellikle; cam, karbon ve kevlar lif tipleri kullanılmaktadır. Bazalt lifleri diğer liflere kıyasla daha az oranda kullanılmaktadır. Bazalt lifleri volkanların püskürmeleriyle yeryüzüne çıkan bazalt kayalarından, 1500-1700 °C aralığında yapılan eritme işlemleri ile üretilerek lif haline getirilirler. Ayrıca bazalt lifleri üretimleri aşamasında herhangi bir ilave gerektirmedikleri için maliyetleri düşüktür. Bazalt lifleri, E-cam liflerine göre biraz daha iyi mekanik özelliklere sahiptirler. Bazalttan elde edilen lifler yeni olmamasına rağmen bu liflerin takviye malzemesi olarak polimer kompozitlerde kullanılması oldukça yenidir [21].

Kanada, ABD ve Suudi Arabistan'ı da kapsayan farklı ülkelerin bilim adamları, 1990'lı yılların başından beri FRP kompozitlerle ilgi tasarım, analiz, dayanıklılık ve uygulama vb. gibi özelliklerinin üzerinde çalışmalar yapmışlardır. 1990'lı yılların başından bu yana da 1500'ün üzerinde yapı FRP kompozitler vasıtasıyla güçlendirilmiştir. İlk saha uygulamalarından birisine, 1991 yılında İsviçre Lucerne'de, kutu kesitli bir beton köprü olarak inşa edilen Ibach köprüsü üzerinde yapılan uygulama örnek verilebilir [21].

#### **1.4.3. Bazalt Elyaf Takviyeli Polimerler**

1923'teki Amerika'lı bilim adamları tarafından keşfedilmesinden bu yana bazalt, askeri araştırmalar için kullanılan bir malzeme olmuştur. II. Dünya Savaşı sırasında ABD, Avrupa ve Sovyetler Birliği tarafından savunma ve havacılık uygulamalarında yaygın olarak kullanılmıştır. 1995 yılından itibaren de sivil araştırmalarda kullanılmaya başlanmıştır. Otomotiv sektörü, gemi yapımı ve yelken takviyesi olarak da kullanılmıştır [22], [32], [33].

Piyasada birçok organik ve inorganik lif bulunmaktadır, ancak çoğu yapısal sağlamlık veya dayanıklılıktan yoksundur ya da orta derecedeki yüklemeler için oldukça maliyetlidir. Bazalt lifleri; yüksek mukavemet, yüksek basınç dayanımı, yüksek sıcaklık dayanımı (1400 °C), mükemmel stabilite, ısı ve ses yalıtımı, kimyasallara karşı dayanım, düşük nem absorblama özelliği, doğal olması, çevre dostu olması, inorganik olması, asitlere/bazlara karşı dayanıklı olması, kolay işlenebilirlik, iletken olmaması ve ucuz olması gibi özelliklerinden dolayı tercih edilirler [23], [24], [34]-[37]. Ayrıca, BFRP ile rehabilite edilen çelik yapılarda galvanik korozyon endişesi de olmaz [38].

Dünyada en sağlam malzemelerden biri olarak bilinen bazalt elyaf kumaş, gömlek kumaşı kadar ince ve hafif bir malzemedir. Gerilmelere karşı çelikten 13 kat daha mukavemetli olan bu malzemenin ağırlığı, çeliğin beşte biri kadardır. Bazalt elyaf istinasız tüm yapı elemanlarına dışardan rahatlıkla uygulanabilen, güçlendirme malzemesidir. Uygulanmak istenilen boyutlarda makasla kesilebilmekte ve uygulama işleminden sonra çelik bir levha gibi katılaşmaktadır. Güçlendirme işleminden sonra uygulama yapılan yüzeyin, dışarıdan sıva veya alçıpan ile kapatılarak normal bir görüntüye kavuşturulması da mümkündür [21].

Bazalt lifi, bazalt bazlı erimiş magmatik volkanik kayadan akan lavda bulunur ve ekstrüzyon işleminden sonra elde edilir [25]. Bazalt lifinin ekstrüzyon işlemi, enerji açısından çok verimlidir ve rakip tüm elyafların ekstrüzyon işleminden daha basittir. Lif

boyutları genellikle 10-20 m arasındadır [23]-[25], [37], [38]. Üretimleri sırasında hiçbir katkı maddesi kullanılmaz yani üretim sürecinin kendisi çevre dostudur. Isıtıldıklarında kimyasal elementler salgılamazlar ve geri dönüştürülebilirler. Doğal rengi olan yeşil renktedirler [32].

Karbon, cam ve bazalt kumaşın davranışlarını araştırmak ve karşılaştırmak için yapılan bir çalışmada bazalt kumaşın yapısal özelliklerinin, E-cam, S-cam ve kevlara göre daha nitelikli karbona kıyasla daha niteliksiz olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanı sıra bazalt kumaş maliyeti, karbon kumaş maliyetinin % 20'sidir [27]. Diğer malzemeler ile karşılaştırıldığında, çoğunluğunun pahalı, ağır, kimyasal olarak dengesiz olduğu ya da işlenmesi zor olduğu ve iyi bileşikler elde etmek için daha uzun süreli kürlenmeye ihtiyaç duydukları anlaşılır. Buna karşılık bazalt, çevre dostu, toksik olmayan, hafif ve kolay taşınabilir olması nedeniyle, kompozit üretimi için ideal bir adaydır [27]. Bahsedilen veriler Çizelge 1.1'de belirtilmiştir.

Çizelge 1.1. En sık kullanılan lif tiplerinin özellikleri [26].

Teknik Özellik	Lif Tipleri				
	E-Cam	S-Cam	Kevlar	Karbon (HS)	Bazalt
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	2.54	2.49	1.45	1.8	2,70
Çekme Mukavemeti (GPa)	1.72-3.45	2.53-4.48	2.27-3.80	2.80-5.10	4,84
Elastisite Modülü (GPa)	72.5	87	117	227	89
Kırılmadaki Uzama (%)	2.5	2.9	1.8	1.1	3,15

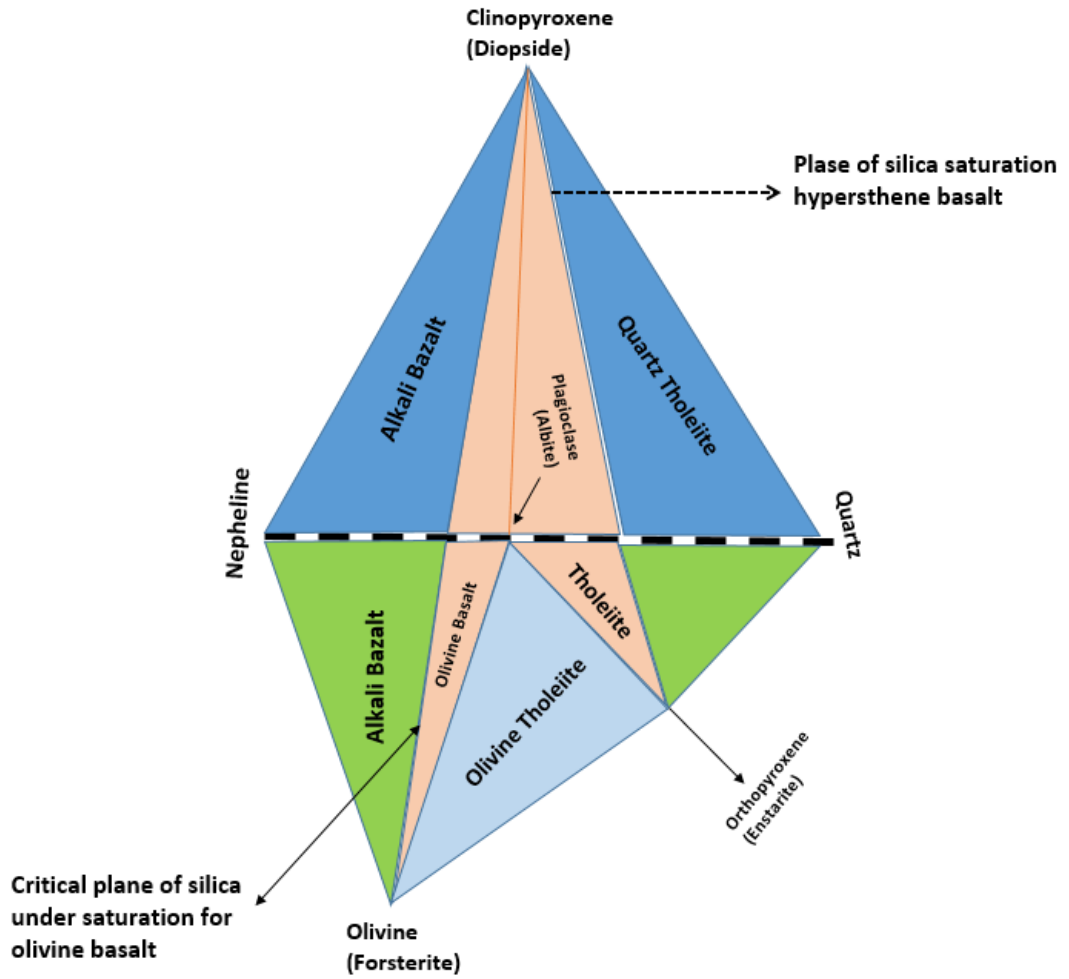
#### 1.4.3.1. Bazaltın Kimyasal Yapısı

Bazalt, alümina izleri ile birlikte magnezyum, kalsiyum, sodyum, potasyum, silikon ve demir oksitleri açısından zengindir. Kimyasal içerik coğrafi dağılıma göre farklılık gösterebilir. Dünya kabuğundaki en bol bulunan kaya türüdür ve yer kabuğunun % 33'ünü oluşturur. Bazalt lifleri, ince toz haline getirilmiş bazaltdan üretilir. Toz haline getirilmiş bazalt yaklaşık 1500-1700 °C'de eritilir, bu camsı erimiş sıvı daha sonra ince iplikler halinde sıkılır [28].

Lifler kimyasal olarak piroksen, klinopiroksen, olivin ve plajiyoklaz minerallerinden oluşur [28]. Yukarıdaki kimyaya dayanarak, bazaltın silis açısından zengin, sodyum açısından zayıf olması durumunda "toleitik bazalt" olarak sınıflandırılır. Bazaltın

sodyum bakımından zengin, silika açısından eksik olması durumunda ise “alkali bazalt” olarak sınıflandırılır. Ayrıca, mineral % 17'nin üzerinde bir konsantrasyona sahip ve alümina bakımından zenginse, bazalt, toleitik ve alkali bazalt arasında bir ara ürün olarak sınıflandırılır. Magnezyum bakımından zengin bazalt, son derece küçük titanyum ve eser miktarda metal konsantrasyonlarına sahip olan boninit olarak adlandırılır [29].

Jeolojik bir olay sırasında bazaltın kimyasal yapısını gösteren tetrahedron diyagramı Şekil 1.4'te verilmiştir.



Şekil 1.4. Jeolojik bir olay sırasında üretilen kimyasal yapıyı gösteren bazalt tetrahedron diyagramı [29].

Bazalt içeriğinde % 52.8 SiO<sub>2</sub>, % 17.5 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 10.3 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 8.59 CaO, % 4.63 MgO, % 3.34 Na<sub>2</sub>O, % 1.46 K<sub>2</sub>O, % 1.38 TiO<sub>2</sub>, % 0.28 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, % 0.16 MnO, % 0.06 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranlarında bahsedilen mineralleri sahiptir [28].



Çizelge 2.1. (devam) Sikadur-330 2-bileşenli epoksi esaslı doyurma (laminasyon) reçinesinin teknik özellikleri.

Termal Genleşme Katsayısı	$45 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ (-10 °C ile +40 °C arasında)
Termal Dayanımı	+50 °C sürekli etkiye dayanır
Yapışma Dayanımı	Kumlanmış yüzeyde beton kırılması: > 1 gün

### 2.1.2. Bazalt Kumaş

Silindir beton numunelerin yanal güçlendirilmesinde kullanılan bazalt kumaş malzemesinin teknik özellikleri Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Bazalt kumaşın özellikleri.

Ağırlık	350 g / m <sup>2</sup> ± % 5 (basalt)
Desen	Tek Yönlü
Eğrilik	3,60 /cm
Atkı	1,0 / cm (+/-5%) E Glass Hotmelt
Genişlik	50 cm, 60 cm
İplik	13 micro 800 tex
Çekme Dayanımı	2200 MPa (+/-5%)
Test Metodu	ISO 10618
Dokuma Tasarım Kalınlığı	0.35 ± % 10
Test Metodu	ISO 5084

### 2.1.3. Çimento

Çalışmada çimento olarak Bolu Çimento Sanayii A.Ş. tarafından üretilen CEM-I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır (Şekil 2.1). Temin edilen çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 2.3’te verilmiştir.



Şekil 2.1. Çalışmada kullanılan çimento.

Çizelge 2.3. CEM-I 42.5 R tipi çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri.

<b>Kimyasal Özellikler</b>	<b>Elde Edilen Değerler</b>	<b>Ts En 197-1 Sınır Değerleri</b>	<b>Deney Metotları</b>
Kükürt Trioksit (SO <sub>3</sub> ) %	3,10	Max. 4,0	TS EN 196-2
Klorür (Cl) %	0,0236	Max. 0,1000	TS EN 196-2
Kızdırma Kaybı %	3,13	Max. 5,0	TS EN 196-2
Çözünmeyen Kalıntı %	0,68	Max. 5,0	TS EN 196-2
Sodyum Oksit (Na <sub>2</sub> O) %	0,23	-	TS EN 196-2
Potasyum Oksit (K <sub>2</sub> O) %	0,55	-	TS EN 196-2
Toplam Alkali (Na <sub>2</sub> O) %	0,60	-	TS EN 196-2
<b>Fiziksel Özellikler</b>			
Özgül Ağırlık	3,18	-	TS EN 196-6
Özgül Yüzey cm <sup>2</sup> /g	4189	-	TS EN 196-6
Priz Başlangıcı dakika	134	Min. 60	TS EN 196-3
Hacim Genleşmesi mm	1	Max. 10	TS EN 196-3
2 Günlük Basınç Dayanımı MPa	31,5	Min. 20,0	TS EN 196-1
28 Günlük Basınç Dayanımı MPa	57,5	Min. 42,5-Max. 62,5	TS EN 196-1

## 2.1.4. Agregalar

### 2.1.4.1. Taş Tozu

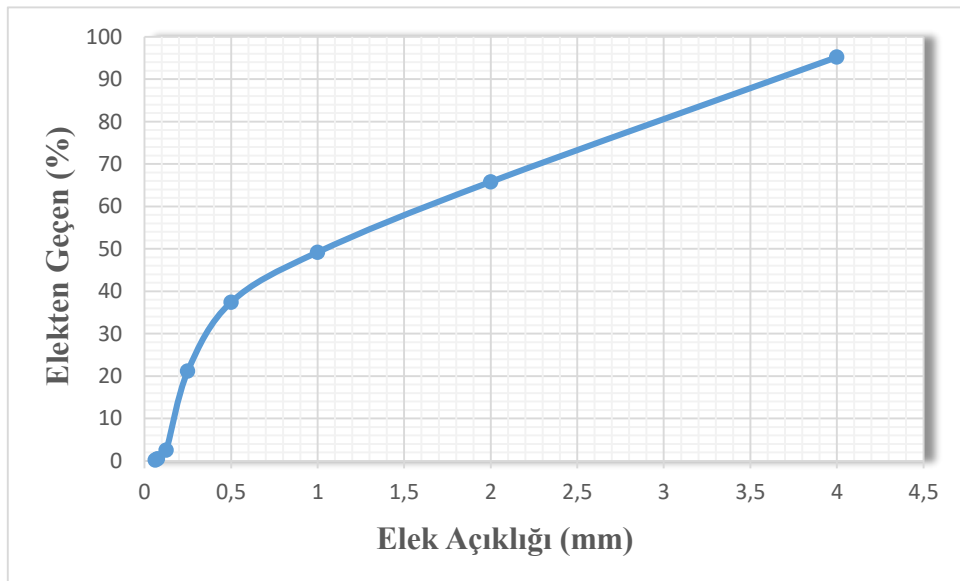
Çalışmada taş tozu olarak, Hereke yöresinden temin edilen Demirtaş Agrega Mad. San. Tic. A.Ş. firmasının üretmiş olduğu taş tozu kullanılmıştır (Şekil 2.2). Kullanılan taş tozuna ait özgül ağırlık, su emme deney sonuçları Çizelge 2.4'te agrega granülometrisi Şekil 2.3'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Çalışmada kullanılan taş tozu.

Çizelge 2.4. Kullanılan taş tozuna ait özellikler.

Özgül Ağırlık ve Su Emme Deney Sonuçları		
Numune	Özgül Ağırlık	Su Emme (%)
İnce Agrega	2,70	0,80



Şekil 2.3. Kullanılan taş tozuna ait granülometri eğrisi.

#### 2.1.4.2. İnce Ve İri Agregalar

Bu çalışmada Hereke yöresinden temin edilen Demirtaş Agregası Mad. San. Tic. A.Ş. firmasının ürettiği kırmataş kullanılmıştır (Şekil 2.4 ve Şekil 2.5). Kullanılan agregalara ait özellikler Çizelge 2.5’de agrega granülometrisi Şekil 2.6’da verilmiştir.



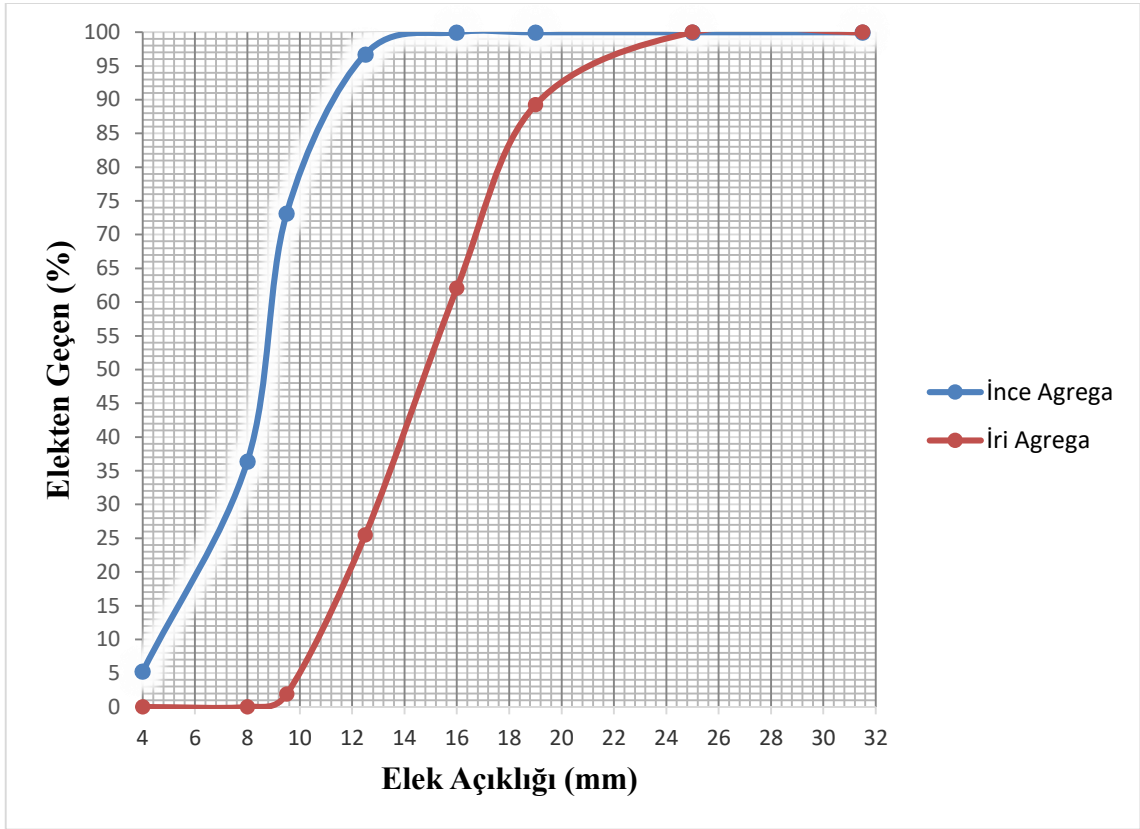
Şekil 2.4. Çalışmada kullanılan ince agrega.



Şekil 2.5. Çalışmada kullanılan iri agrega.

Çizelge 2.5. Kullanılan agregalara ait özellikler.

<b>Özgül Ağırlık ve Su Emme Deneysel Sonuçları</b>		
<b>Numune</b>	<b>Özgül Ağırlık</b>	<b>Su Emme (%)</b>
İnce Agregası	2,71	0,57
İri Agregası	2,68	0,40
<b>Agregaların Aşınmaya Karşı Direnci-Los Angeles (TS EN 1097-2:2010)</b>		
<b>Numune</b>	<b>Parçalanma Direnci</b>	<b>Kategori/Sınır Değer</b>
İri Agregası	% 16,0	LA <sub>20</sub>
<b>Yassılık Endeksi(TS EN 933-3:2012)</b>		
<b>Numune</b>	<b>Yassılık Endeksi</b>	<b>Kategori/Sınır Değer</b>
İnce Agregası	% 9,0	Fl <sub>15</sub>
İri Agregası	% 8,0	Fl <sub>15</sub>



Şekil 2.6. Kullanılan agregalara ait granülometri eğrisi.

## 2.2. METOT

Deneysel çalışmamızda referans olarak kullanılmak üzere C16 beton sınıfından 3 adet ve C25 beton sınıfından da 3 adet olmak üzere toplam 6 tane numune üretilerek basınç dayanımları Çizelge 2.6'da yükleme altındaki beton numune görselleri Şekil 2.7'de verilmiştir.

Çizelge 2.6. Referans numunelerin basınç dayanım değerleri.

Referans Numuneler	Kırılma Yüğü (kN)	Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )
C16-1	191	24,3
C16-2	183	23,3
C16-3	201	25,6
C25-1	259	33,0
C25-2	236	30,1
C25-3	229	29,2

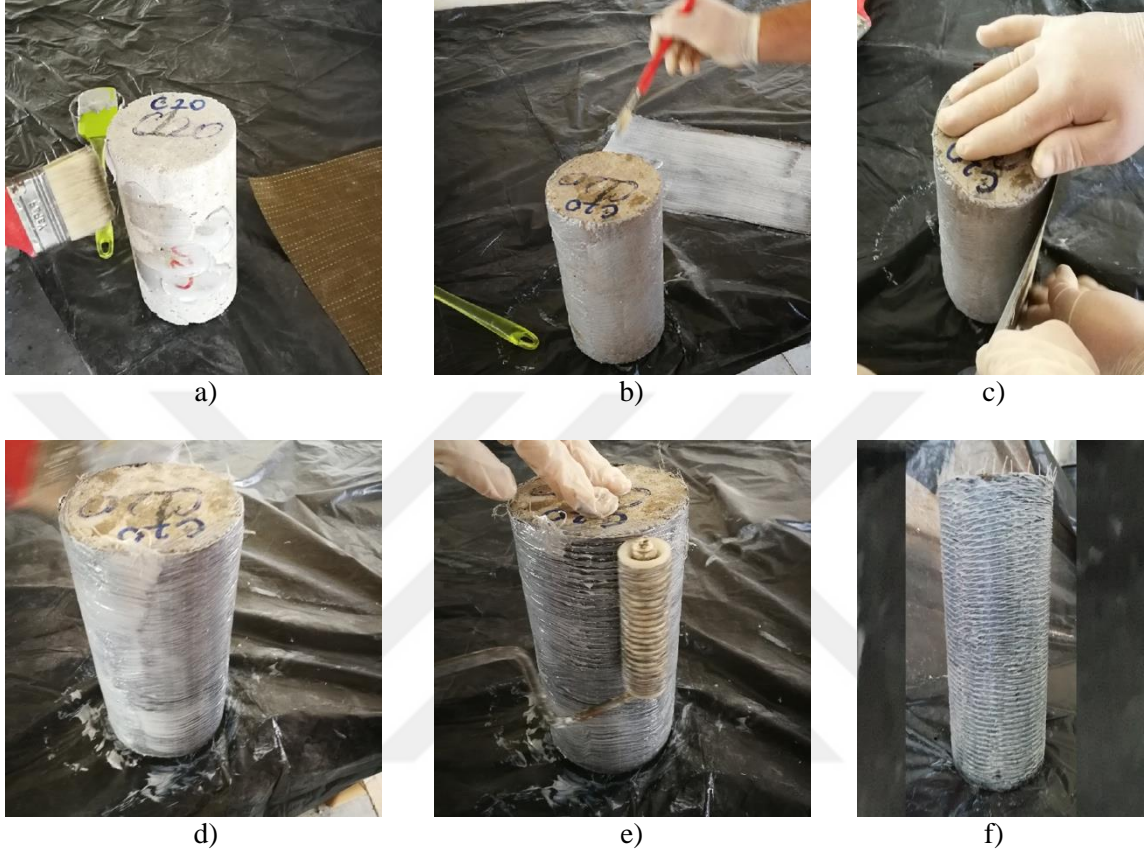


Şekil 2.7. a) ve b) Yükleme altındaki beton numune görselleri.

Geriye kalan numunelerde ise yanal güçlendirme yapılmak üzere, C16 sınıfından 27 adet ve C25 sınıfından 27 adet toplamda 54 adet silindir numunenin hava tabancası yardımıyla yüzey temizliği yapılmıştır. Sikadur-330 2-Bileşenli Epoksi Esaslı Doyurma (laminasyon) Reçinesinin A-bileşeninden 80 g, B-bileşeninden 20 g oranında el mikseri vasıtasıyla önce düşük devirde (maks. 300 dev/dak.) sonra yüksek devirde (maks. 600 dev/dak.) en az 3 dakika malzeme düzgün kıvamlı ve homojen gri renkli karışım elde edilene kadar karıştırılmıştır. Hazırlanan epoksi reçinesi fırça yardımıyla tek kat olacak şekilde silindir numunelerin yanal yüzeylerine (Şekil 2.8.a) ve bazalt kumaş malzemesinin beton numunelere temas edecek yüzeylerine lif doğrultusuna paralel yönde, reçinenin lif demetleri arasından dışarı çıkması sağlanarak metrekareye 1.20 kilogram olacak şekilde tüm dokuma yüzeyleri boyunca yayılmaları sağlanarak uygulanmıştır (Şekil 2.8.b). Bazalt kumaşın katlanması veya buruşmasına sebebiyet vermemek için doyurma işlemi sırasında fazla kuvvet uygulanmasından kaçınılmıştır.

Reçinenin kürlenip sertleşmemesi açısından hemen akabinde (+23 °C’de 60 dak.) silindir numunelerin yanal yüzeyleri boyutlarında kesilip hazırlanan 300 UD tek yönlü bazalt kumaş malzemesi 3 cm bindirme payıyla numunelerin yanal yüzeylerine sargılanmıştır (Şekil 2.8.c). Sargılanan beton numunelerin yanal yüzeylerine de epoksi

reçinesi fırça yardımıyla tek kat olacak şekilde uygulanmış (Şekil 2.8.d) ve tel rulo yardımıyla üzerlerinden geçilerek aderanslarının sağlanması gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.8.e ve Şekil 2.8.f).



Şekil 2.8. a) Beton numuneye epoksi uygulanması b) Bazalt kumaşa epoksi uygulanması c) Bazalt kumaşın numuneye sargılanması d) Sargılanan numuneye epoksi uygulanması e) Aderansın sağlanması f) Numunenin son hali.

Güçlendirme işlemi uygulanmış ve kullanılan epoksi polimerin yeterli dayanıma kavuşması için en az 7 gün süresince bekletilmiş numuneler daha sonra yüksek sıcaklığa maruz bırakılmıştır (Şekil 2.9.a ve Şekil 2.9.b). Hazırlanan numunelerden (C16 beton sınıfından 12 adet, C25 beton sınıfından 12 adet olmak üzere) 24 adet numune 25 °C, 60 °C, 100 °C ve 150 °C sıcaklıklara maruz bırakılmıştır (Şekil 2.9.a ve Şekil 2.9.b). Bu aşamadaki 25 °C'lik ısıl işlem, laboratuvar ortamında bekletilmiş güçlendirme uygulaması yapılmış referans numuneleri ifade etmektedir.



a)



b)

Şekil 2.9. a) ve b) Sıcaklığa maruz bırakılan numune görselleri.

Yüksek sıcaklık fırını içerisinde, dakikada 5 °C artacak şekilde hedef sıcaklığa ulaşılmış ve bu sıcaklıkta 12 saat süresince numuneler ilgili sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Sıcaklık fırınından alınan numuneler ortam sıcaklığına ulaşmaya kadar laboratuvar ortamında bekletilmiş ve basınç dayanımı, bağıl kütle kaybı ve rezonans frekansı (Şekil 2.10.a ve Şekil 2.10.b) testlerine tabi tutulmuştur.

Çalışmada dinamik elastisite modülü değerleri, rezonans frekansı deneyi (ASTM 215) sonucunda hesaplanmıştır. Rezonans frekansı deneyi Ø100x200 mm boyutlarındaki silindirik numuneler üzerinde boyuna rezonans ölçümleri ile gerçekleştirilmiştir. Ölçülen değerler Denklem (2.1) kullanılarak hesaplanmıştır. Burada E, dinamik elastisite modülü, L, numune uzunluğu,  $\rho$ , malzeme yoğunluğu, N, boyuna rezonans frekansı olarak verilmiştir.

$$E = 4L^2 \rho N^2 \quad (2.1)$$



a)



b)

Şekil 2.10. a) ve b) Rezonans frekansı ölçümleri yapılan numune görselleri.

Donma çözülme işlemi için de 15'şer numune olacak şekilde toplamda 30 adet numune kullanılmıştır. 3 saat  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta havada donma ve 2 saat  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  suda çözülme çevriminden oluşan ve 30, 60, 90, 120 çevrimlerde donma çözülme etkisini oluşturmak üzere test prosedürü bu tez kapsamında uygulanmıştır. Donma-çözülme işlemlerine tabi tutulan numunelerin 30, 60, 90, 120 (Şekil 2.11.a, Şekil 2.11.b, Şekil 2.11.c) çevrimler ardından rezonans frekansları, dinamik elastisite modülleri ve ultrases hızı ölçümleri gerçekleştirilmiş ve Denklem (2.2) yardımıyla ultrases geçiş hızı değerleri hesaplanmıştır.

$$V = S/t, ( km/s) \quad (2.2)$$

Son olarak 120 çevrim ardından alınan tahribatsız ölçümler sonrasında numunelerin basınç dayanımı değerlerindeki değişimler de incelenmiştir (Şekil 2.11.d, Şekil 2.11.e, Şekil 2.11.f).



a)



b)



c)



d)



e)



f)

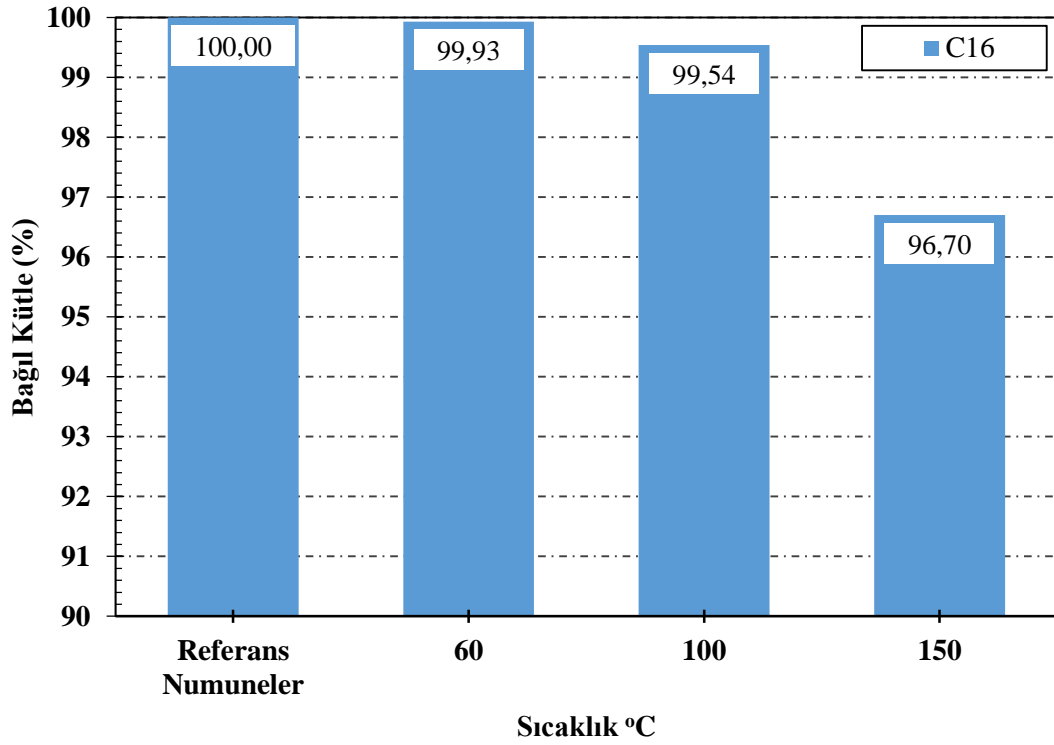
Şekil 2.11. a), b) ve c) Donma-çözölmeye maruz bırakılan numune görselleri. d), e) ve f) Yükleme altındaki numune görselleri.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. ISIL İŞLEME TABİ TUTULMUŞ NUMUNELERİN DENEY SONUÇLARI

##### 3.1.1. Yüksek Sıcaklığa Maruz Bırakılmış Numunelerin Bağlı Kütle Değerleri

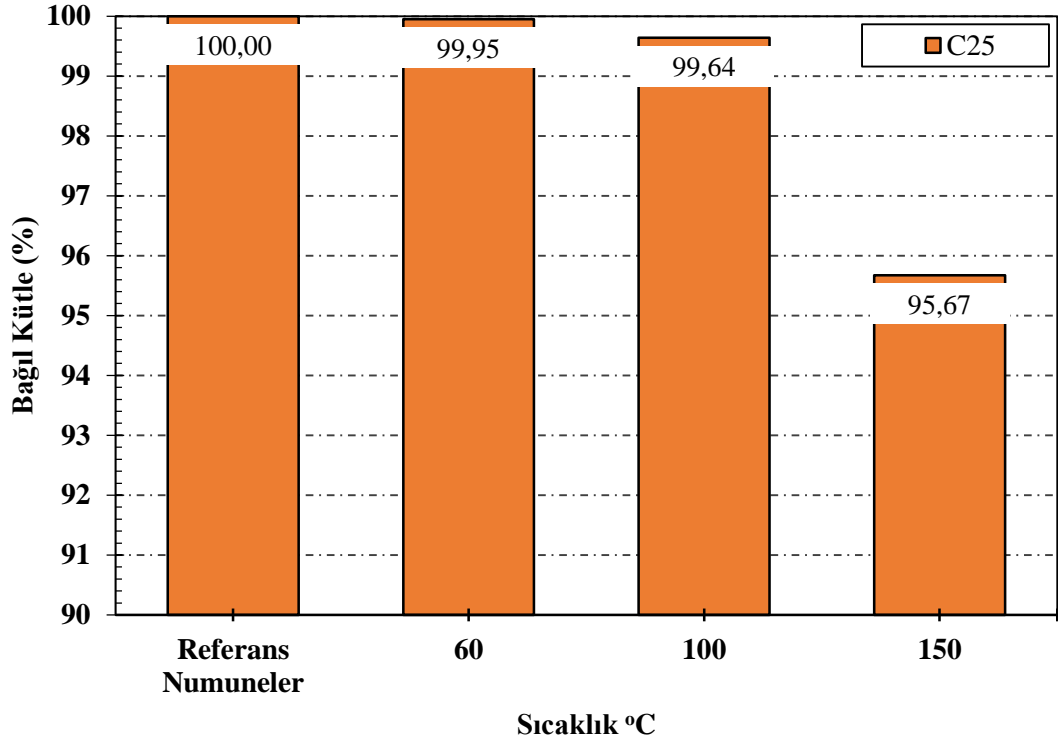
C16 sınıfındaki betonlar üzerinde sıcaklık etkisi ardından elde edilen kütle kayıpları ardından hesaplanan bağlı kütle değerleri Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. C16 Dayanım sınıfına ait numunelerin bağlı kütle değerleri.

Şekil 3.1 incelendiğinde, 100 °C’ye kadar sıcaklıklara maruz bırakılmış C16 dayanım sınıfına ait numunelerin bağlı kütle değerlerinin referans numunelere (25 °C) göre çok düşük seviyelerde kaldığı gözlenmiştir. Bilindiği üzere 60 °C ve 100 °C sıcaklıklar beton numuneler için yüksek sıcaklık olarak tanımlanmamaktadır. Ancak güçlendirme uygulamasında kullanılan polimer esaslı kompozitlerin de kütle kayıplarının düşük seviyelerde olduğu anlaşılmaktadır. 150 °C sıcaklığa maruz bırakılmış numuneler incelendiğinde kütle kaybı değerleri % 3.30 olarak ortaya çıkmıştır.

Yüksek sıcaklık etkisi ardından, C25 serilerine ait bağıl kütle değerleri Şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2. C25 Dayanım sınıfına ait numunelerin bağıl kütle değerleri.

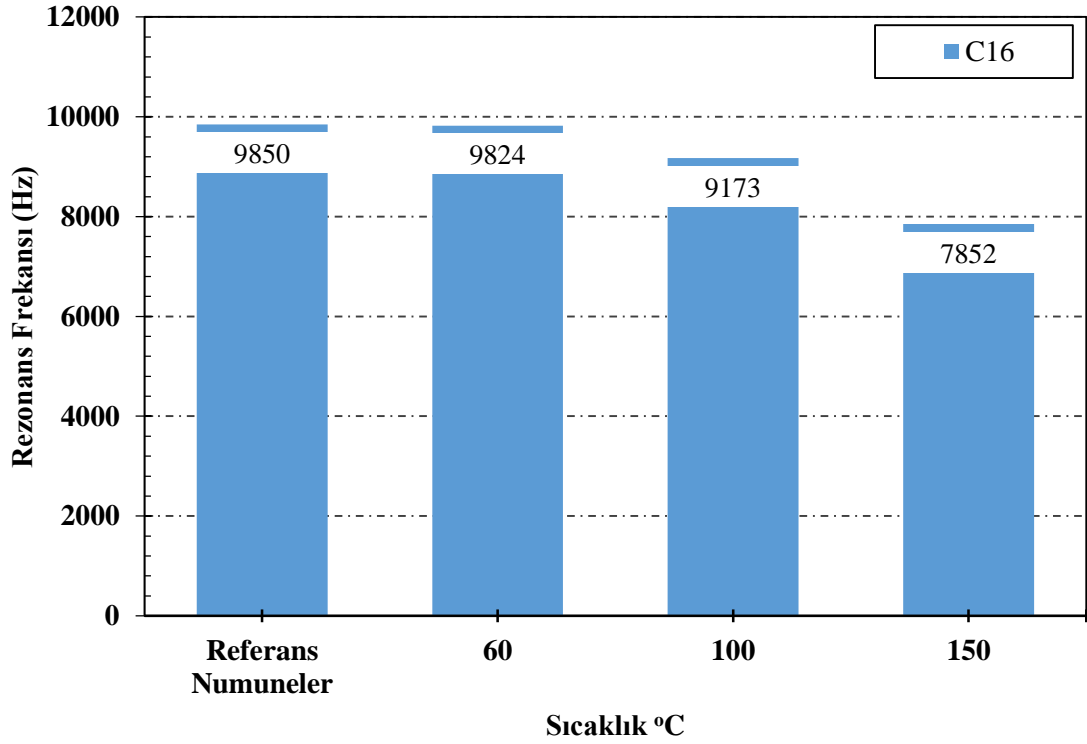
Şekil 3.2 incelendiğinde, 100 °C’ye kadar sıcaklıklara maruz bırakılmış C25 dayanım sınıfına ait numunelerin bağıl kütle kayıplarının referans numuneye (25 °C) göre çok düşük seviyelerde kaldığı gözlenmiştir. Aynı durum beklendiği üzere C16 serisi için de benzerlik göstermektedir. 150 °C sıcaklığa maruz bırakılmış numuneler incelendiğinde kütle kaybı değerleri % 4.33 olarak ortaya çıkmıştır. Böylece 100 °C’nin üzerindeki sıcaklıkların güçlendirme uygulamasında tercih edilen epoksi polimerin yapısını bozduğu ve kütle kayıplarının yaşandığı şeklinde yorumlanmaktadır. Numuneler güçlendirme işlemi öncesinde etüv kurusu duruma (105 ±5 °C) getirildiğinden ve kullanılan bazalt elyafın yüksek sıcaklığa dirençli olduğundan, güçlendirme sonrasında yapılan yüksek sıcaklık testinde 100 °C sıcaklığa kadar numunelerde gerçekleşen kütle kayıplarının daha ziyade epoksi polimerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda ise epoksiyle beraber betonun bünye suyunun da kaybı elde edilen kütle kaybının nedenleri arasında sayılabilir.

Yüksek sıcaklığa (60 °C, 100 °C ve 150 °C) maruz bırakılan C16 ve C25 dayanım sınıflarına ait beton numunelerin her bir sıcaklık değeri altındaki bağıl kütle değerlerinin

birbirine yakın olduğu görülmüştür. Bu sonuç, beton dayanım sınıfının bağıl kütle kaybına belirgin bir etkisinin olmadığını göstermektedir.

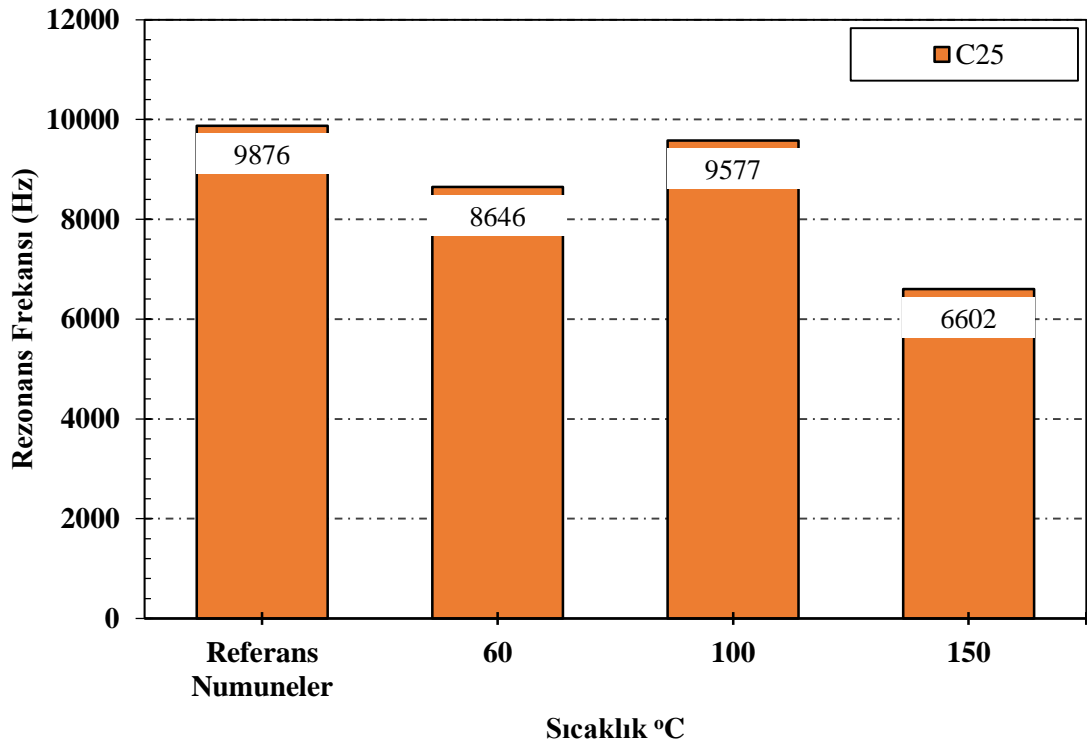
### 3.1.2. Yüksek Sıcaklığa Maruz Bırakılmış Numunelerin Rezonans Frekansı Değerleri

Yüksek sıcaklık testi sonrası C16 serisi numunelerine ait rezonans frekansı değerleri Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.3. C16 Dayanım sınıfına ait numunelerin rezonans frekansı ölçüm değerleri.

Şekil 3.3 incelendiğinde, C16 dayanım sınıfına ait numunelerin kütle kaybı değerleri ile uyumlu bir biçimde sıcaklık arttıkça rezonans frekansı değerleri azalmıştır. Benzer şekilde 60 °C ve 100 °C sıcaklıklara maruz bırakılmış numunelerin rezonans frekanslarındaki değişimlerin sınırlı kaldığı gözlenmiştir. 150 °C sıcaklığa maruz kalmış numunelerin rezonans frekansı değerleri ise % 20.28 olarak elde edilmiştir. 150 °C ve üzerindeki sıcaklık değerlerinde yaşanan kütle kayıpları sebebiyle numunelerin boşluk oranları artmış ve rezonans frekansı değerlerinde azalma gözlemlenmiştir.

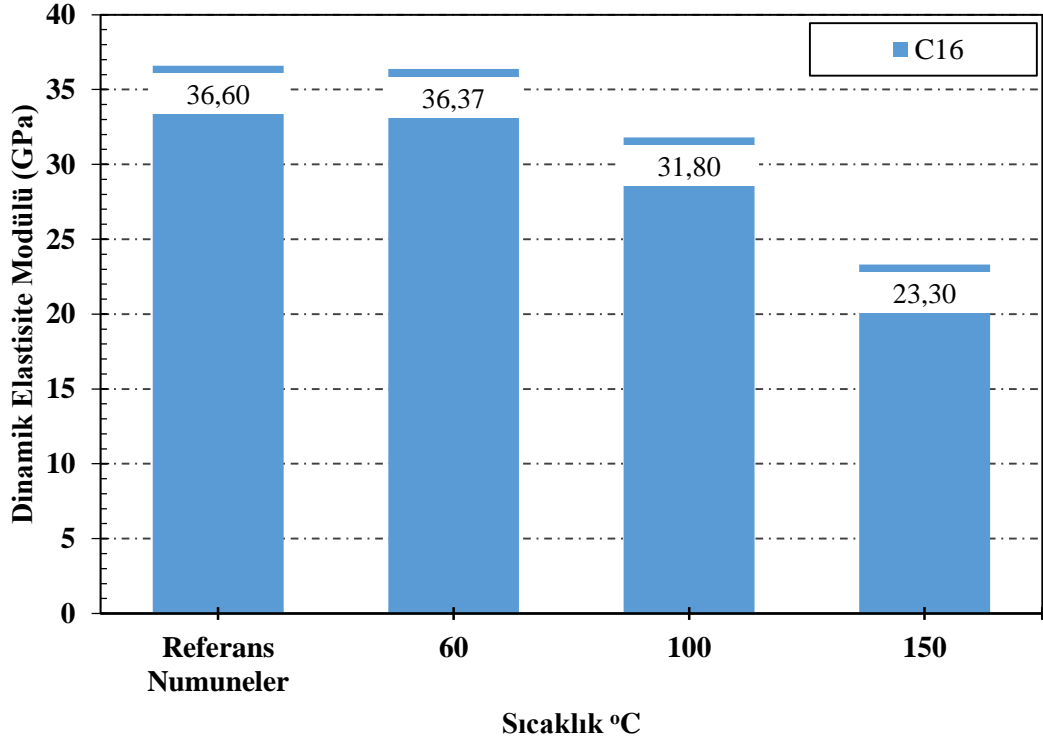


Şekil 3.4. C25 Dayanım sınıfına ait numunelerin rezonans frekansı ölçüm değerleri.

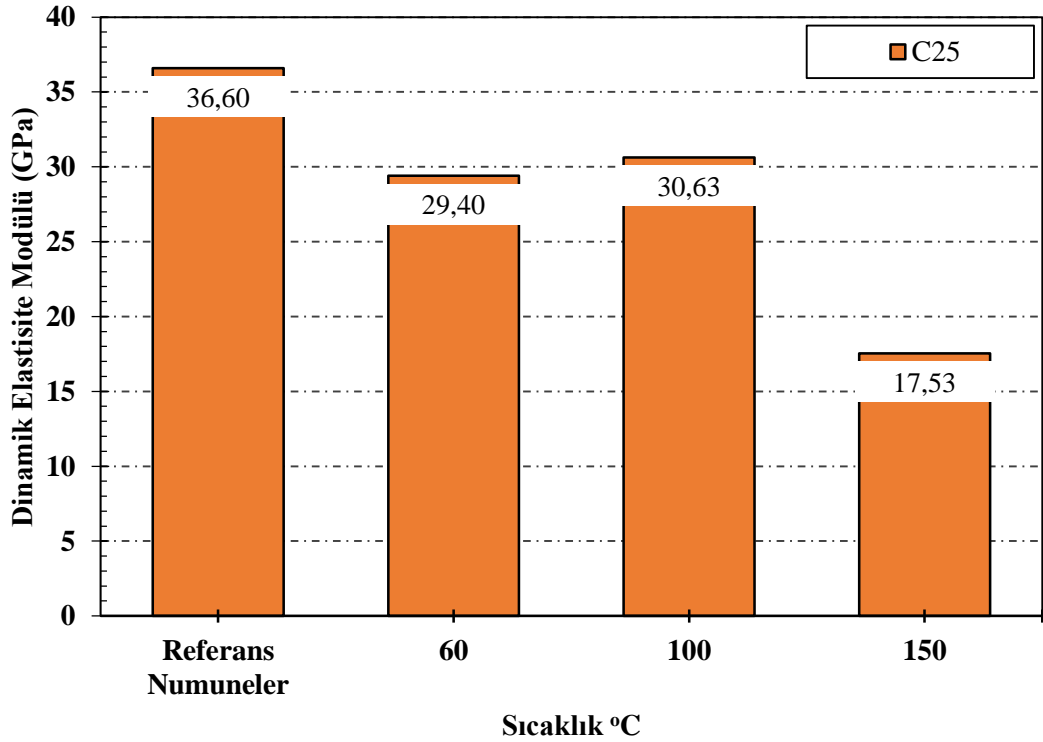
Şekil 3.4 incelendiğinde, C25 dayanım sınıfına ait numunelerin rezonans frekansı değerleri uygulanan sıcaklık değerleri ile değişim göstermiştir. 150 °C sıcaklığa maruz kalmış numunelerin rezonans frekansı değerleri % 33.15'lik bir azalma ile aşırı şekilde etkilenmiştir. Bu sıcaklıklarda hem kullanılan polimer kompozitin yapısının bozulması hem de betonun boşluk oranının artması ile rezonans frekansı değerleri aşırı bir biçimde azalmıştır.

### 3.1.3. Yüksek Sıcaklığa Maruz Bırakılmış Numunelerin Dinamik Elastisite Modülü Değerleri

Rezonans frekansı değerleri kullanılarak elde edilen dinamik elastisite modülü değerleri Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.5. C16 Dayanım sınıfına ait numunelerin dinamik elastisite modül değerleri.



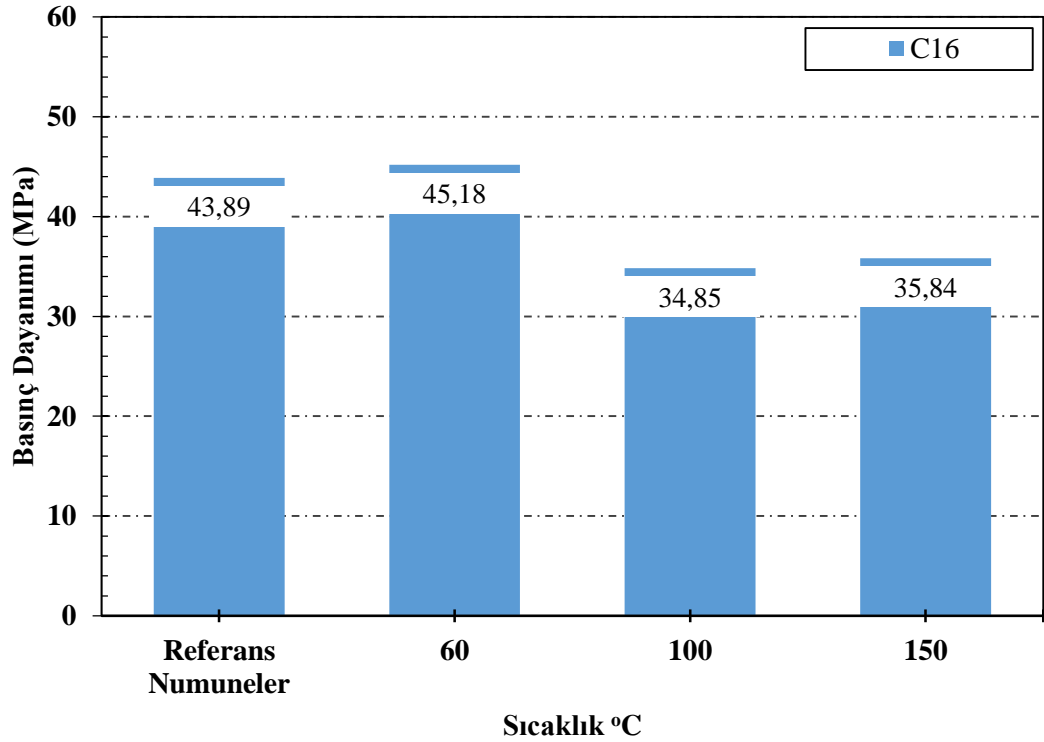
Şekil 3.6. C25 Dayanım sınıfına ait numunelerin dinamik elastisite modül değerleri.

Şekil 3.5 ve Şekil 3.6 incelendiğinde, yüksek sıcaklık işlemi ardından C25 sınıfı betonların dinamik elastisite modülü değişimlerinin C16 sınıfındaki betonlara göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Düşük dayanımlı betonun daha yüksek boşluk oranına

sahip olacağı göz önünde bulundurulduğunda sıcaklık etkisi ardından dinamik elastisite modülü değerleri daha az etkilenmiştir. Her iki beton sınıfı için de sıcaklık değerlerinin artışı ile dinamik elastisite modülü değerlerinin azaldığı gözlenmektedir.

### 3.1.4. Yüksek Sıcaklığa Maruz Bırakılmış Numunelerin Basınç Dayanım Değerleri

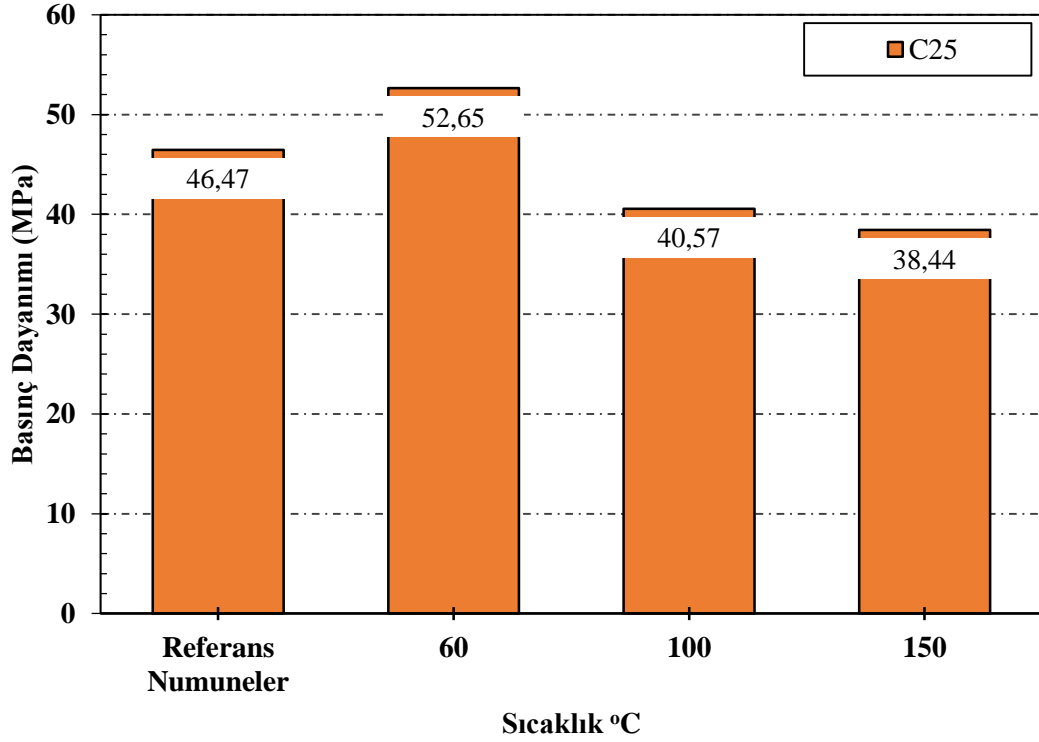
Yüksek sıcaklık işlemi ardından C16 ve C25 sınıfı betonlar üzerinde gerçekleştirilen basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 3.7 ve Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.7. C16 Dayanım sınıfına ait numunelerin basınç dayanım değişimleri.

Şekil 3.7 incelendiğinde, C16 serisi için, 100 °C ve üzerindeki sıcaklıklarda numunelerin basınç dayanımı değerleri kayda değer biçimde bir düşüş göstermiştir. 60 °C sıcaklık sonrası elde edilen basınç dayanımı değeri referans (25 °C-laboratuvar şartları) numune üretiminde kullanılan epoksi polimerin çalışma sıcaklığının henüz aşılmadığı ve güçlendirimin çalıştığı şeklinde değerlendirilmiştir. 100 °C ve üzeri sıcaklıklar ardından elde edilen basınç dayanımları ise belirgin bir biçimde azaldığından bu sıcaklıklarda polimerin yapısının bozulması ve güçlendirimin artık çalışmadığını göstermektedir. Güçlendirme uygulanmamış C16 sınıfı beton numunelerinin ortalama basınç dayanımının 24.40 MPa (Çizelge 2.6) olduğu düşünüldüğünde sargılama sonrası %79 oranında meydana gelen basınç dayanımındaki artışın, 100 °C ve 150 °C sıcaklığa

maruz bırakılma ardından sırasıyla % 43 ve % 48 değerlerine gerilediği gözlemlenmektedir. 25 °C ile karşılaştırıldığından güçlendirme uygulanmış C16 sınıfındaki numunelerin basınç dayanımı değerlerinin referans numuneye kıyasla, 100 °C ve 150 °C sıcaklıklar ardından sırasıyla % 20.60 ve % 18.34 oranlarında azaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 3.8. C25 Dayanım sınıfına ait numunelerin basınç dayanım değişimleri.

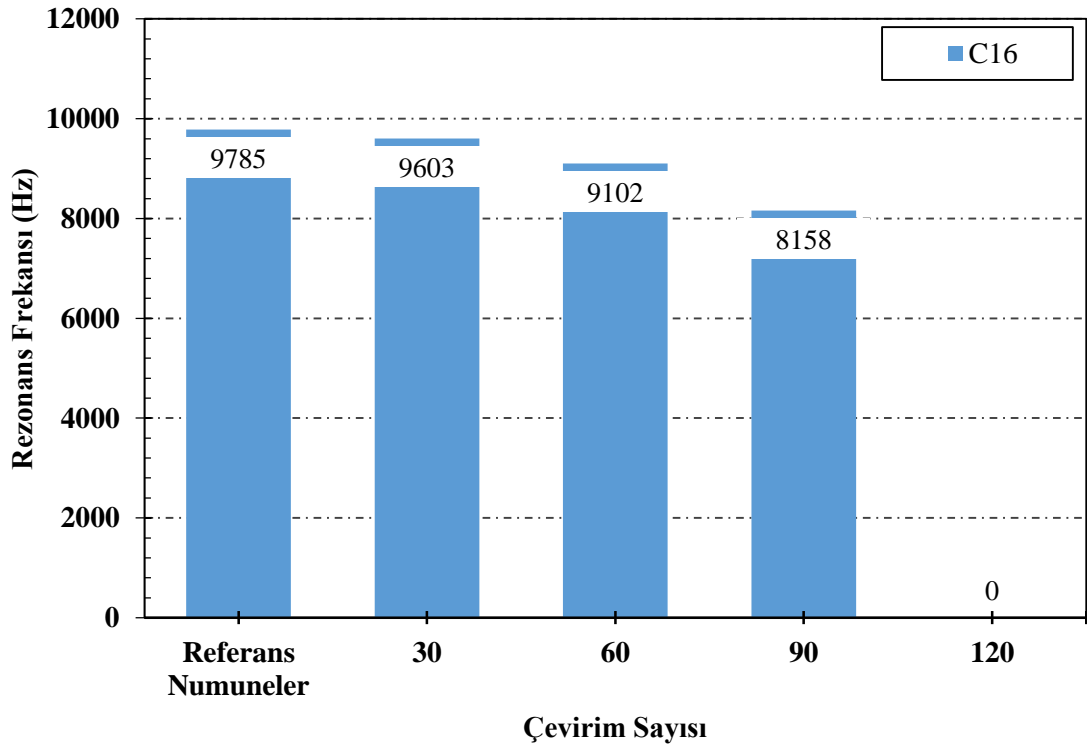
Şekil 3.8 incelendiğinde 60 °C sıcaklıkta 25 °C sıcaklığa oranla bir miktar dayanımda artış gözlenmiştir. Bu durum, daha önce bahsedildiği üzere bu sıcaklığın kullanılan polimerin çalışma sıcaklığının aşılmamasından ve güçlendirme etkisinin devam ettiğini göstermektedir. 100 °C ve 150 °C sıcaklıklarda ise C16 serisi ile benzer şekilde numunelerin basınç dayanımları azalmıştır. 25 °C sıcaklık ile kıyaslandığında C25 sınıfındaki numunelerin basınç dayanımı değerlerinin 100 °C ve 150 °C sıcaklıklar ardından sırasıyla % 12.70 ve % 17.28 oranlarında azaldığı gözlenmiştir. Güçlendirme uygulanmamış C25 sınıfı beton numunelerinin 30.77 MPa olan ortalama basınç dayanımı değeri (Çizelge 2.6) sargılama sonrası % 51 oranında artış ile 46.47 MPa değerine yükselmiştir. Ancak numunelerin 100 °C ve 150 °C sıcaklığa maruz bırakılması ardından sargılamanın basınç dayanımı üzerindeki katkısı sırasıyla % 32 ve % 25 değerlerine gerilemiştir. Tüm bu sonuçlara rağmen tüm sıcaklık değerleri için hem

C16 hem de C25 dayanım sınıflarında sargılama etkisi ile güçlendirilmiş numunelerin aksel basınç dayanımı değerleri güçlendirme uygulanmamış referans numuneye oranla daha yüksek çıkmıştır. Buna göre kullanılan epoksi polimerin çalışma sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda dahi sargılama etkisi oluşmuştur.

### 3.2. DONMA ÇÖZÜLME İŞLEMİNE TABİ TUTULMUŞ NUMUNELERİN DENEY SONUÇLARI

#### 3.2.1. Donma Çözölmeye Maruz Bırakılmış Numunelerin Rezonans Frekansı Değerleri

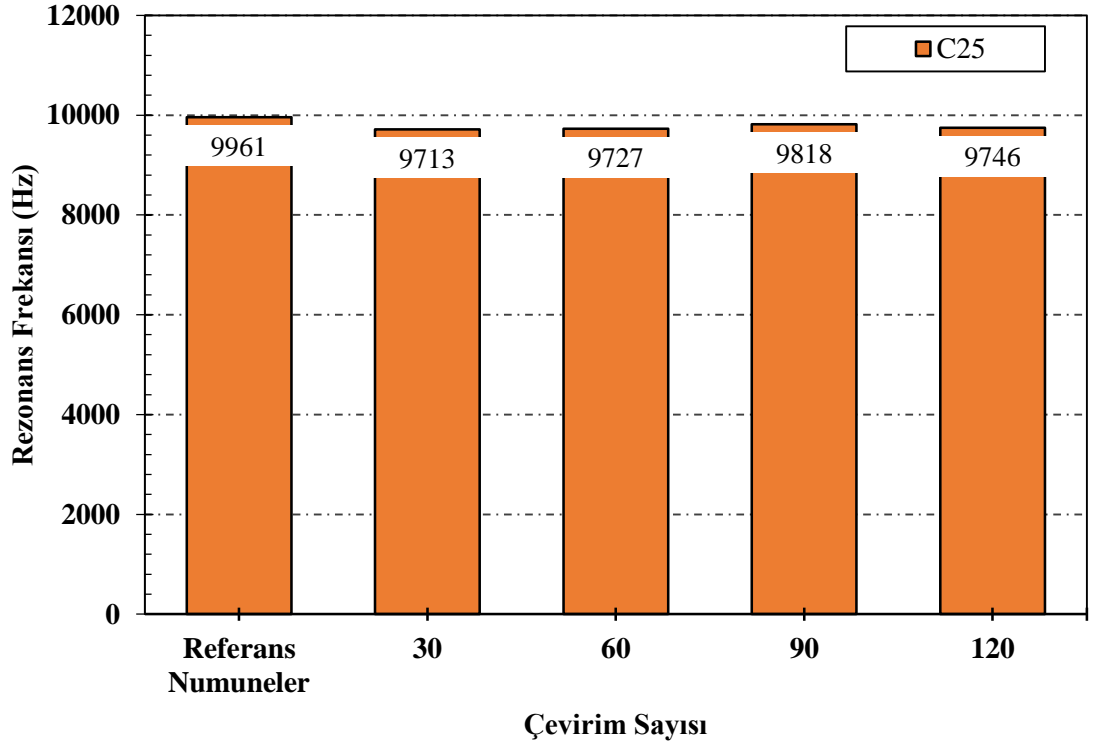
Donma-çözölme testi sonrası güçlendirme uygulanmış C16 ve C25 sınıfı betonların rezonans frekansı ölçüm değerleri Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.9. C16 Dayanım sınıfına ait numunelerin rezonans frekansı ölçüm değerleri.

Şekil 3.9 incelendiğinde, C16 dayanım sınıfına ait numunelerin çevirim sayısı arttıkça rezonans frekansı değerleri azalmıştır. Benzer şekilde 30 ve 60 çevirilere maruz bırakılmış numunelerin rezonans frekanslarındaki değişimlerin sınırlı kaldığı gözlenmiştir. 90 çevirime maruz bırakılmış numunelerin rezonans frekansı değerleri %

16.63 olarak elde edilmiştir. 120 çevirimde ise numuneler bozulmaya başladığından herhangi bir rezonans frekansı değeri tespit edilememiştir.

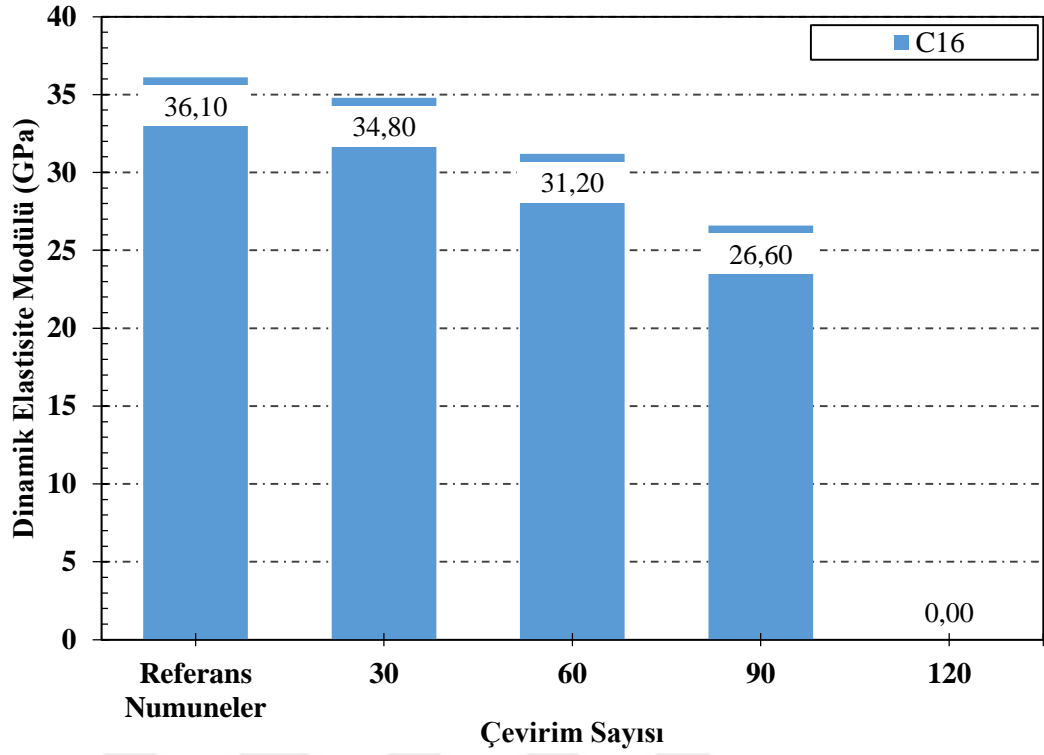


Şekil 3.10. C25 Dayanım sınıfına ait numunelerin rezonans frekansı ölçüm değerleri.

Şekil 3.10 incelendiğinde, C25 dayanım sınıfına ait numunelerin çevirim sayısı arttıkça rezonans frekansı değerleri azalmıştır. Benzer şekilde 30 ve 60 çevrimlere maruz bırakılmış numunelerin rezonans frekanslarındaki değişimlerin sınırlı kaldığı gözlenmiştir. 90 çevrimde maruz bırakılmış numunelerin rezonans frekansı değerleri % 1.44 olarak elde edilmiştir. C16 dayanım sınıfındaki numunelerden farklı olarak 120 çevrimde numuneler bozulmaya uğramamış rezonans frekansı değeri % 2.16 olarak tespit edilmiştir.

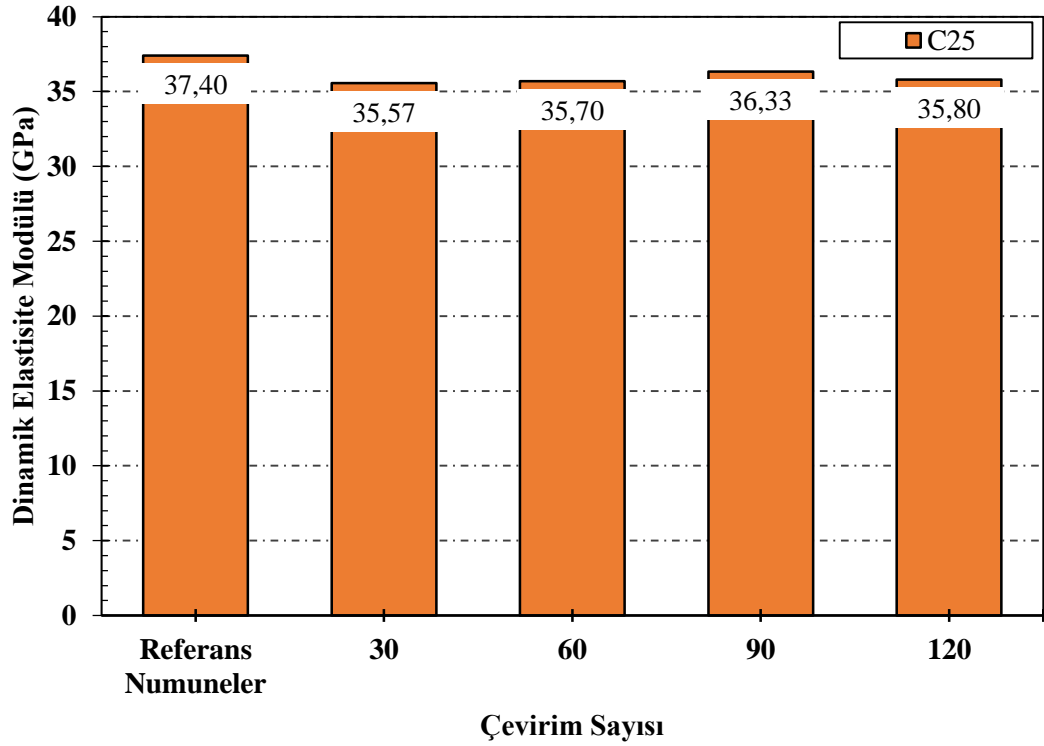
### 3.2.2. Donma Çözölmeye Maruz Bırakılmış Numunelerin Dinamik Elastisite Modül Değerleri

Donma-çözölme testi sonrası güçlendirme uygulanmış C16 ve C25 sınıfı betonların dinamik elastisite modül değerleri Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.11. C16 Dayanım sınıfına ait numunelerin dinamik elastisite modül değerleri.

Şekil 3.11 incelendiğinde, donma-çözülme çevrim işlemleri ardından C16 sınıfı betonların dinamik elastisite modül değerleri azalma göstermiştir. Numuneler üzerinde 30, 60 ve 90 çevrim ardından elde edilen dinamik elastisite modüllerindeki azalma sırasıyla % 3.60, % 13.57 ve % 26.32 oranında gerçekleşmiştir. 120 çevrimde numuneler üzerinden dinamik elastisite modül değerleri alınamamıştır. Bu durum 120 çevrim ardından numune üzerinde çatlamlar meydana gelmesi ve boşluk oranının artışıyla kaynaklandığı düşünülmektedir.

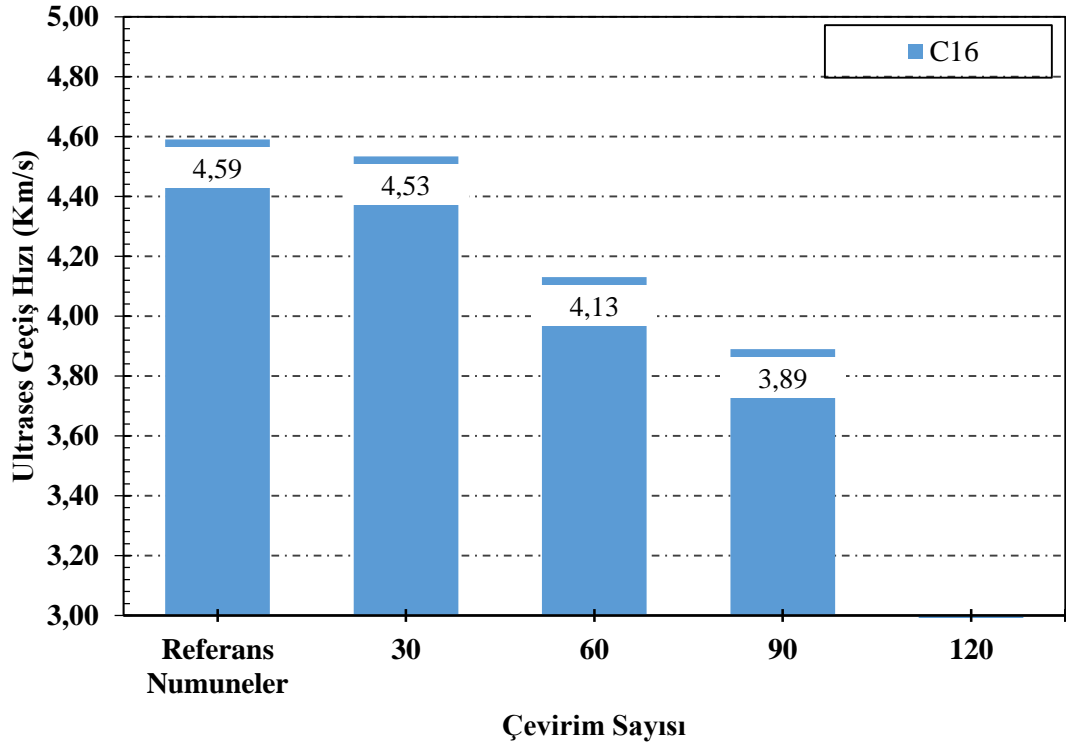


Şekil 3.12. C25 Dayanım sınıfına ait numunelerin dinamik elastisite modül değerleri.

Şekil 3.12 incelendiğinde, çevrim işlemlerinin ardından C25 sınıfı betonların dinamik elastisite modül değerlerinde meydana gelen azalmaların C16 sınıfındaki betonlara göre daha düşük kaldığı gözlenmiştir. Numunelerde 30, 60, 90 ve 120 çevrim ardından elde edilen dinamik elastisite modül değerlerindeki azalma sırasıyla % 4.89, % 4.55, % 2.86 ve % 4.28 olduğu gözlenmiştir. Yüksek dayanım sınıfındaki betonların donma-çözülme çevrimine karşı dirençleri daha yüksek çıkmıştır. ASTM C666 donma-çözülme testlerinde her 30 çevrim ardından numunelerin dinamik elastisite modüllerindeki değişimlerin gözlenmesini ve başlangıç değerinden % 40'lık bir azalma gerçekleştiğinde çevrim işlemlerinin sonlandırılmasını önermiştir. Bu bağlamda C16 sınıfı betonların donma-çözülme etkisine karşı direncinin düşük olduğu anlaşılmaktadır.

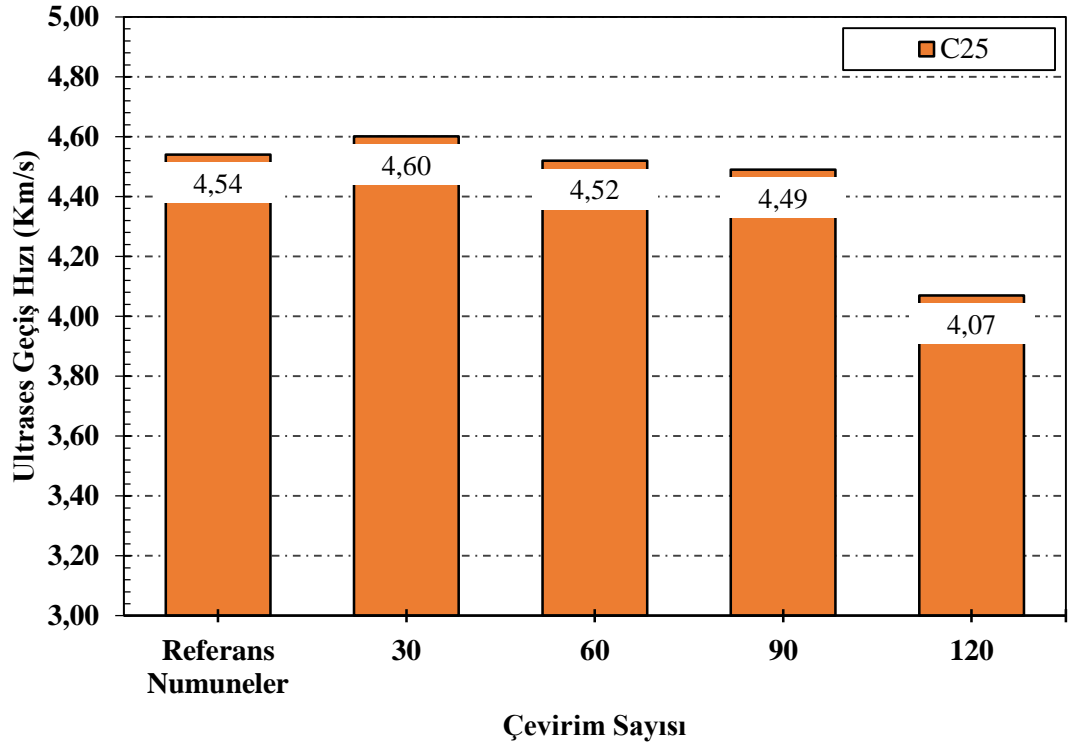
### 3.2.3. Donma Çözölmeye Maruz Bırakılmış Numunelerin Ultrases Geçiş Hızı Değerleri

Ultrases geçiş hızı ölçülen numunelerin değerleri kullanılarak hazırlanmış olan sütun grafik Şekil 3.13 ve Şekil 3.14'de verilmiştir.



Şekil 3.13. C16 Dayanım sınıfına ait numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri.

Şekil 3.13 incelendiğinde çevrim sayısı arttıkça numunelerin ultrases geçiş hızı değerleri de azalmıştır. 120 çevrimde numuneler üzerinden ultrases geçiş hızı değerleri alınamamıştır. Bu durum dinamik elastisite modülü değerleri ile uyum sağlamaktadır. 120 çevrim ardından C16 dayanım sınıfındaki güçlendirme uygulanmış numunelerin üzerinden ölçüm alınmayacak düzeyde bir bozulma olduğu anlaşılmaktadır. Havada donma ve suda çözülme şeklinde uygulanan test ardından düşük dayanımlı betonların aşırı etkilendiği anlaşılmaktadır.

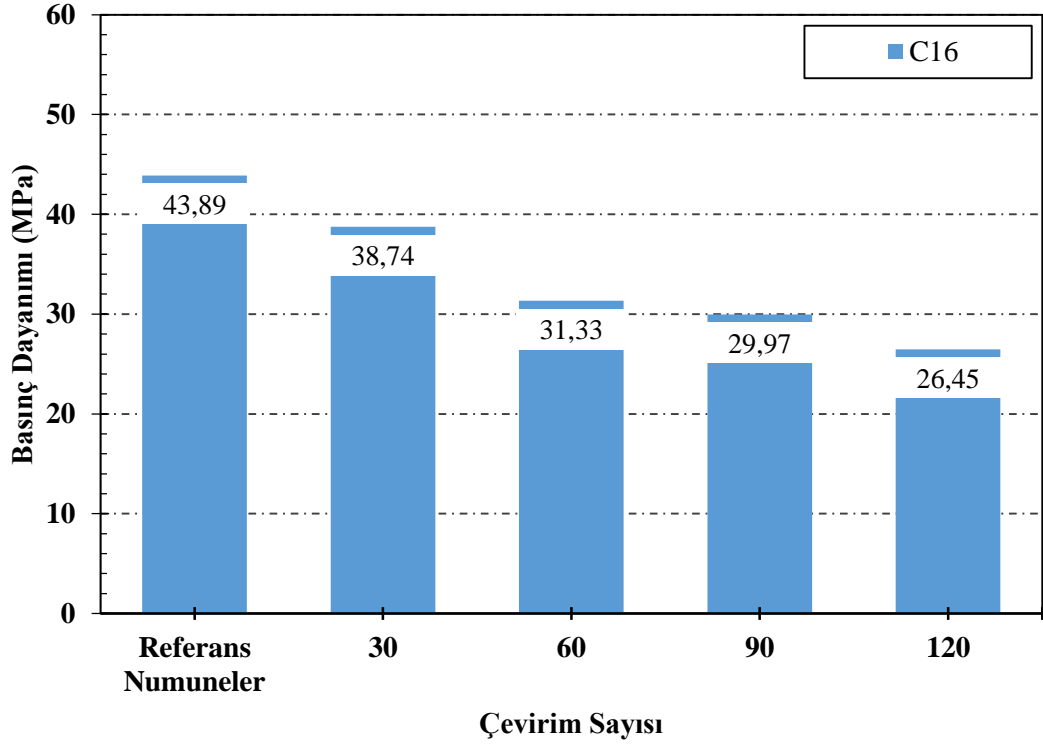


Şekil 3.14. C25 Dayanım sınıfına ait numunelerin ultras ses geçiş hızı değerleri.

C25 Dayanım sınıfına ait beton numunelerin ultras ses geçiş hızları ölçülerek hazırlanmış olan sütün grafik Şekil 3.14’de verilmiştir. Çevrim sayısı arttıkça numunelerin ultras ses geçiş hızlarındaki düşüş gözlenmektedir. Ancak bu düşüş C16 sınıfı beton numuneleri ile karşılaştırıldığında oldukça sınırlı seviyede olduğu anlaşılmaktadır. Yüksek dayanım sınıfına sahip betonların boşluk oranlarının daha düşük olması nedeniyle donma-çözülme etkisine karşı daha dirençli olduğu düşünülmektedir. 120 çevrim ardından donma-çözülme test cihazından çıkarıldıktan sonra numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı test sonuçları Şekil 3.15’de verilmiştir.

### 3.2.4. Donma Çözölmeye Maruz Bırakılmış Numunelerin Basınç Dayanımı Değerleri

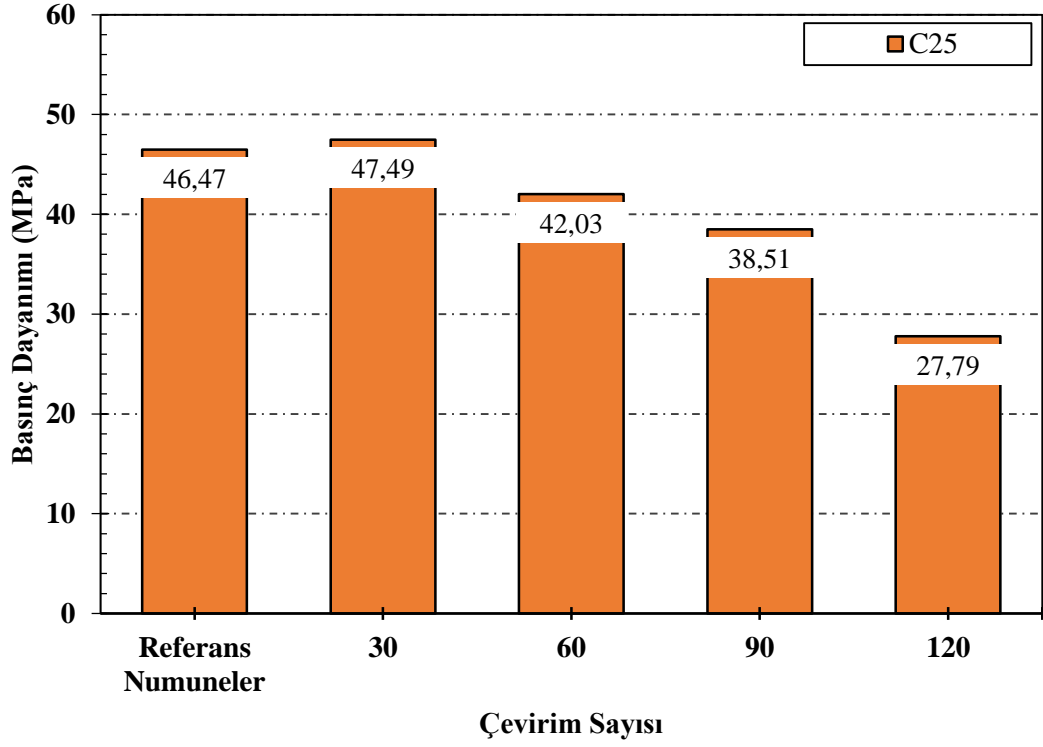
Donma-çözülme testinde 30, 60, 90 ve 120 çevrim ardından numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları C16 dayanım sınıfındaki betonlar için Şekil 3.15’de verilmiştir.



Şekil 3.15. C16 Dayanım sınıfına ait numunelerin basınç dayanım değişimleri.

Şekil 3.15 incelendiğinde elyaf takviyeli polimer uygulaması ile sargılanmış C16 sınıfı beton numunelerinin basınç dayanımı değerleri donma-çözülme çevrimine bağlı olarak azaldığı gözlenmektedir. Havada donma ve suda çözme şeklinde uygulanan donma-çözülme süreci beton numuneler için aşırı çevresel koşulları temsil ettiğinden her 30 çevrim ardından polimer elyaf uygulaması ile sargılanmış beton numunelerinin basınç dayanımları dereceli olarak azalmış ve 120 çevrim ardından % 39.74'lük bir azalma ile 26.45 MPa değerine gerilemiştir. Sargılanmamış referans beton numunesinin ortalama basınç dayanımının 24.40 MPa olduğu düşünülürse 120 çevrim donma-çözülme etkisi ardından bazalt elyaf ile güçlendirilmiş numunelerin güçlendirme öncesi elde edilen basınç dayanımına benzer dayanımları sağladığı anlaşılmaktadır.

Bazalt elyaf takviyeli polimerler ile güçlendirme uygulanmış C25 sınıfı betonların, 120 çevrim donma-çözülme etkisine maruz bırakılmasının ardından basınç dayanımlarındaki değişimler Şekil 3.16'da verilmiştir.



Şekil 3.16. C25 Dayanım sınıfına ait numunelerin basınç dayanım değişimleri.

C16 dayanım sınıfındaki betonlarla uyumlu bir şekilde donma-çözülme çevrimindeki artışa bağlı olarak bazalt elyaf takviyeli polimerlerle güçlendirilmiş C25 sınıfı betonların basınç dayanımları azalmıştır. 30 çevrim ardından basınç dayanımının azalmadığı ve donma-çözülme uygulanmamış numunelere oranla düşük miktarda olsa da bir artış gözlemlendiği görülmektedir. Bu durum üretilen betonların standart sapma değerleri arasında olduğu açıktır. Bu nedenle 30 çevrim donma-çözülme etkisinin C25 sınıfı betonların bozulması için yetersiz kaldığı söylenebilir. Ayrıca çözme sürecinin suda çözme şekliyle uygulanmasının düşük miktarda dayanımda artışa neden olduğu söylenebilir. Şekil 3.16'dan açıkça anlaşılmaktadır ki, daha yüksek derecede donma-çözülme etkisi (60, 90 ve 120 çevrim donma-çözülme) C25 sınıfı güçlendirme uygulanmış betonların basınç dayanımı değerlerinin olumsuz olarak etkilemektedir. C16 ve C25 sınıfı betonlarda 120 çevrim donma-çözülme etkisi ardından meydana gelen performans kaybının, hem kullanılan polimer esaslı kompozitin hem de betonun bozulmasından kaynaklandığı söylenebilir.

## 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapısal elemanların güçlendirme tekniklerinden biri olan elyaf takviyeli polimerlerle güçlendirilmesi yoluyla, C16 ve C25 sınıfında üretilen silindir numunelerin 25 °C, 60 °C, 100 °C ve 150 °C sıcaklıklara 12 saat süresince maruz bırakılması ve yine C16 ve C25 sınıfındaki silindir numunelerin 30, 60, 90, 120 çevirimlerde donma-çözölmeye maruz bırakılmalarının ardından rezonans frekansı, kütle kaybı, elastisite modül değerleri, basınç dayanımları ve ultrases geçiş hızları gibi yapısal performanslarının incelendiği bu çalışmada elde edilen bulgular ışığında aşağıdaki sonuç ve öneriler sıralanabilir.

- Beton için tek başına zararlı etkisi olmayan sıcaklıklar olmasına rağmen güçlendirme uygulamalarında tercih edilen lif takviyeli polimerlerin 60 °C, 100 °C ve 150 °C sıcaklıklar ardından performanslarında azalmalar gözlenmiştir.
- Rezonans frekansı ve bu değerler kullanılarak elde edilen dinamik elastisite modülü değerlerinde en büyük kayıplar 150 °C sıcaklıklarda elde edilmiştir.
- Bağlı kütle kayıpları incelendiğinde de benzer şekilde en yüksek kütle kayıpları 150 °C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerden elde edilmiştir. C16 ve C25 sınıfındaki betonlar için bağlı kütle kayıpları sırasıyla % 3.30 ve % 4.33 oranlarında gerçekleşmiştir.
- Sıcaklık değerlerindeki artışa bağlı olarak güçlendirme uygulanan numunelerin basınç dayanımı değerleri doğrusal bir biçimde azalma eğilimi göstermiştir. 100 °C sıcaklık ve üzerindeki sıcaklıklarda sargılanmış güçlendirme tekniğinin basınç dayanımı açısından yüksek oranda azalma ile sonuçlandığı tespit edilmiştir.
- Donma-çözölmeye maruz bırakılan beton numunelerin donma çözölmeye etkisi ile birlikte dinamik elastisite değerlerinin çevrim sayısının artışı ile birlikte azaldığı görölmüştür.
- Ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı değerlerinin de benzer şekilde donma-çözölmeye çevrim sayısının artışına bağlı olarak azaldığı tespit edilmiştir.

Çalışmada elde edilen bulgular ışığında aşağıdaki öneriler sıralanmıştır;

- Bu sonuçlar dikkate alındığında, güçlendirme uygulamalarının koruyucu bir çimento esaslı kaplama ile korunması önem arz etmektedir.
- Bundan sonra yapılacak çalışmalarda elyaf takviyeli polimerlerle güçlendirme uygulanmış beton numunelerinin farklı çimento harçları ile korunması ardından çevresel koşullara karşı dirençlerinin araştırılması önerilmektedir.



## 5. KAYNAKLAR

- [1] O. Şimşek, *Beton ve Beton Teknolojisi*, İstanbul, Türkiye: Seçkin Yayıncılık, 2016, ss. 18
- [2] U. Ersoy ve G. Özcebe, *Betonarme*, İstanbul, Türkiye: Evrim Yayıncılık, 2016, ss. 3.
- [3] Anonim, (2019, 3 Mayıs). *Sim beton yapı elemanları*, [Online]. Erişim: <http://www.simbeton.com.tr/p25-betonun-tarihi>.
- [4] C. Başeğmez, (2019, 3 Mayıs). [Online]. Erişim: [http://www.yapi.com.tr/haberler/beton-dunyanin-en-eski-yapi-malzemesi\\_3863.html](http://www.yapi.com.tr/haberler/beton-dunyanin-en-eski-yapi-malzemesi_3863.html).
- [5] B. Baradan, H. Yazıcı ve H. Ün, *Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite)*, İstanbul, Türkiye: Türkiye Hazır Beton Birliği Yayıncılık, 2010, ss. 53-58.
- [6] Anonim, (2019, 3 Haziran). *Movie star bridge's days are numbered* [Online]. Erişim: <https://www.enr.com/articles/5190-movie-star-bridge-s-days-are-numbered?v=preview>.
- [7] R. Brueckner, “Accelerating the thaumasite form of sulfate attack and an investigation of its effects on skin friction”, Ph. D. Dissertation, Dept. Civil Enginner, Birmingham University, 2007.
- [8] C. F. Ferraris, “Alkali-Silica Reaction and High Performance Concrete, Building and Fire”, Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD 20899, 1995.
- [9] V. Nergiz, “Yüksek dayanımlı betonlarda durabilite ve işlenebilirlik”, Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2007.
- [10] M. S. Güner, *Malzeme Bilimi-Yapı Malzemeleri ve Beton Teknolojisi*, İstanbul, Türkiye: Aktif Yayıncılık, 1999, ss. 26.
- [11] P. K. Mehta and J. M. P. Monteiro, Effect of high temperature on hydrated cement paste, *Concrete: microstructure properties and materials*, Department of Civil and Environmental Engineering University of California at Berkeley, ss. 149-153, 1997.
- [12] M. S. Akman, Betonarme yapılarda yangın hasarı ve yangın sonunda taşıyıcılığın belirlenmesi, *Sika Teknik Bülten*, c. 4, sayı 3, 2001.
- [13] A. Petzold and M. Röhrs, *Concrete for High Temperatures*, London, 1970, ss. 216-309.
- [14] H. Yazıcı, S. Türkel ve B. Baradan, “High temperature resistance of pumice mortar”, *II. International Symposium Cement and Concrete Technology in the 2000s*, 2000, ss. 11.

- [15] W. P. S. Dias, G. A. Khoury and P. J. E. Sullivan, "Mechanical properties of hardened cement paste exposed to temperature up to 700 °C", *ACI Materials Journal*, c. 87, ss. 160-166, 1990.
- [16] J. Piesta, "Heat deformations of cement paste phases and the microstructure of cement paste", *Materials and Structures*, c. 17, ss. 415-420, 1984.
- [17] W. M. Lin, T. D. Lin and L. J. Powers-Couche, "Microstructures of fire damaged concrete", *American Concrete Institute Materials Journal*, c. 93, ss. 199-205, 1996.
- [18] G. A. Khoury, "Compressive strength of concrete at high temperatures: a reassessment", *Magazine of Concrete Research*, c. 44, sayı 161, ss. 291-309, 1992.
- [19] S. Aydın, H. Yazıcı and B. Baradan, "High temperature resistance of normal strength and autoclaved high strength mortars incorporated polypropylene and steel fibers", *Construction and Building Materials*, c. 22, sayı 4, ss. 504-512, 2008.
- [20] *Yapı bileşenlerinin yanmaya dayanıklılık sınıfları*, Türk Standartlar Enstitüsü TS 4065, 2002.
- [21] K. V. Çelik ve H. Karaçın, "Karbon elyaf ile betonun güçlendirilmesi", *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, c. 5, sayı 1, ss. 3-4, 2014.
- [22] A. Ross, "Basalt fibers: alternative to glass", *Compos Technology*, c.12, sayı 4, ss. 44-48, 2006.
- [23] V. Fiore, G. D. Bella and A. Valenza, "Glass basalt/epoxy hybrid composites for marine applications", *Mater Des*, c. 32, sayı 4, ss. 2091-2099, 2011.
- [24] T. M. Borhan, "Properties of glass concrete reinforced with short basalt fiber", *Mater Des*, c. 42, ss. 265-271, 2012.
- [25] P. Banibayat and A. Patnaik, "Variability of mechanical properties of basalt fiber reinforced polymer bars manufactured by wet-layup method", *Mater Des*, c. 56, ss. 898-906, 2014.
- [26] G. C. Manos and K. V. Katakalos, "Guide for the design and strengthening of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures", *American Concrete Institute*, 1996.
- [27] I. Swentek, J. Thompson, G. Meirson, V. Ugresic and F. Henning, "Comparison of basalt, glass and carbon fiber composites using the high pressure resin transfer molding process", *Technical Report: Western University*, ss. 1-25, 2016.
- [28] D. Saravanan, "Spinning the rocks basalt fibres", *India Institue*, c. 86, ss. 39-45, 2006.
- [29] Anonim, (2019, 4 Mayıs). *Classification of igneous rocks* [Online]. Erişim: <https://web.archive.org/web/20110930102012/http://geology.csupomona.edu/alert/igneous/igclass.html>.
- [30] D. Kachlakev, B. K. Green and W. Barnes, *Behavior of Concrete Specimens Reinforced With Composite Materials*, Handbook of Materials Selection, 2000, ss. 1369-1422.
- [31] M. Taşdemir, *Polimer Karışımları ve Uygulamaları*, İstanbul, Türkiye: Seçkin Yayıncılık, 2013, ss. 25-34.

- [32] C. Colombo, L. Vergani and M. Burman “Static and fatigue characterisation of new basalt fibre reinforced composites”, *Compos Structures*, c. 94, sayı 3, ss. 1165-1174, 2012.
- [33] D. Pavlovski, B. Mislavsky and A. Antonov, “CNG cylinder manufacturers test basalt fibre reinforced plastic”, c. 51, sayı 4, ss. 36-37, 2007.
- [34] V. Lopresto, C. Leone and I. D. Iorio, “Mechanical characterisation of basalt fibre reinforced plastic”, *Compos Structures Part B*, c. 42, sayı 4, ss. 717-723, 2011.
- [35] B. Wei, H. L. Cao and S. H. Song, “Degradation of basalt fibre and glass fibre/epoxy resin composites in seawater”, *Corros Science*, c. 53, sayı 1, ss. 426-431, 2011.
- [36] X. Wang, Z. Wu, G. Wu, H. Zhu and F. Zen, “Enhancement of basalt FRP by hybridization for long span cable stayed bridge”, *Compos Structures Part B*, c. 44, sayı 1, ss. 184-192, 2013.
- [37] P. Larrinaga, C. Chastre, H. C. Biscaia and J. T. San-Jose, “Experimental and numerical modeling of basalt textile reinforced mortar behavior under uniaxial tensile stress”, *Mater Des*, c. 55, ss. 66-74, 2014.
- [38] R. Jeevanantham, V. P. Venketaramanmurthy and D. Rajeswari, “Mechanical and wear characterization of basalt fiber reinforced polyurethane composites,” *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, c. 9, ss. 79-83, 2016.

# ÖZGEÇMİŞ

## KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Zeynep YAMAN PÜSÜR  
Doğum Tarihi ve Yeri : 08.06.1986 Ankara  
Yabancı Dili : Almanca / İngilizce  
E-posta : zeynepyamanprj@gmail.com

## ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Komp. Malz. Tek.	Düzce Üniversitesi	2019
Lisans	İktisat	Anadolu Üniversitesi	2014
Ön Lisans	İnşaat	Düzce Üniversitesi	2009
Lise	Matematik-Fen	Açıköğretim Lisesi	2005

## İŞ DENEYİMLERİ

- Sebil Havuz Su ve Işık Oyunları Ltd. Şti. 2009-2010
- UZAYSAN Uzay Çatı Elemanları Ltd. Şti. 2010
- Yavuz Proje Peyzaj Ltd. Şti. 2010-2011
- Kardeş Mühendislik Müş. İnş. Tic. Ltd. Şti. 2011-2012
- Özataberk İnş. Ltd. Şti. 2012-2013
- Türk- Alman Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı – (2014- Devam)

## SERTİFİKALAR

- Has presented a paper entitled Investigation on Resistance of Lateral Strengthened Concrete Exposed to Elevated Temperatures at the VI. International Earthquake Symposium “**Special Symposium for the 20<sup>th</sup> Anniversary of Kocaeli and Düzce Earthquakes**” between 25 th and 27 th of September 2019, Kocaeli, Turkey – 2019
- Teilnahmebestätigung – Be idem Deutschkurs handelt es sich um ein Leonardo-da-Vinci Projekt im Rahmen der Europäischer in Augsburg – South East Training Academy GmbH – 2010
- Teilnahme Zertifikat – CALISIR Apparat und Werkzeugbau – ALMANYA 2010
- Working Experience on Entrepreneurship & Technology Utilization (Girişimcilik ve Teknoloji Kullanımının Çalışılarak Öğrenilmesi ) – SETA ALMANYA 2010
- Teilnahmebestätigung – Sprachforum - Internationale Deutschkurs GmbH. (Almanca Dil Sertifikası) – ALMANYA 2010
- 3DMAX – Türkiye Teknik Elemanlar Vakfı TÜTEV – 2010
- Bilgisayar Destekli Yapı Maliyeti Sertifikası – 2010
- AutoCad Sertifikası – 2010
- İngilizce Kurs Bitirme Sertifikası – 2005
- Bilgisayar İşletmenlik Sertifikası – 2004