

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

**Yüksek Lisans Tezi**

**YÜKSEK SICAKLIĞIN GENLEŞTİRİLMİŞ  
VERMİKÜLİT KULLANILARAK ÜRETİLEN  
ÇİMENTO ESASLI HAFİF HARÇLARIN  
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**Kübra COŞAR**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Fuat KÖKSAL**

**Yozgat 2020**



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

**Yüksek Lisans Tezi**

**YÜKSEK SICAKLIĞIN GENLEŞTİRİLMİŞ VERMİKÜLİT  
KULLANILARAK ÜRETİLEN ÇİMENTO ESASLI HAFİF  
HARÇLARIN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**Kübra COŞAR**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Fuat KÖKSAL**

**Yozgat 2020**



**YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ**  
**TEZ ONAY FORMU**

**T.C.**  
**YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ**

Enstitümüzün İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Programı 70110712011 numaralı öğrencisi Kübra COŞAR'ın hazırladığı “Yüksek Sıcaklığın Genleştirilmiş Vermikülit Kullanılarak Üretilen Çimento Esaslı Hafif Harçların Özelliklerine Etkisi” başlıklı tezi ile ilgili tez savunma sınavı, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri gereğince 15/01/2020 Çarşamba günü saat 10:00'da yapılmış, tezin onayına oy birliği ile karar verilmiştir.

**Başkan** : Prof. Dr. Mustafa ŞAHMARAN

**Jüri Üyesi (Danışman)** : Prof. Dr. Fuat KÖKSAL

**Jüri Üyesi** : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KAYA

**ONAY:**

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 13.02.2020 tarih ve 7 sayılı Enstitü Yönetim Kurulu Kararı ile onaylanmıştır.

13.02.2020

**Prof. Dr. Mustafa SAÇMACI**  
**Müdür**

# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iv</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>v</b>
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>KISALTMALAR LİSTESİ</b> .....	<b>xii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI</b> .....	<b>3</b>
2.1. Hafif Harçlar .....	3
2.1.1. Hafif Harç Çeşitleri .....	7
2.1.1.1. Alkali İle Aktif Hale Getirilmiş Hafif Harçlar .....	7
2.1.1.2. Ahşap Atığı İçeren Hafif Harçlar .....	10
2.1.1.3. Eloksal Katkılı Hafif Harçlar .....	11
2.1.1.4. Mantar Katkılı Hafif Harçlar .....	12
2.1.1.5. Poliüretan Köpük Katkılı Hafif Harçlar .....	15
2.1.1.6. Köpüklü Plastik Atık Agregalardan Yapılmış Hafif Harçlar .....	16
2.1.1.7. Genleştirilmiş Perlit İçeren Hafif Harçlar .....	17
2.1.1.8. Kil Agrega Katkılı Hafif Harçlar .....	19
2.2. Vermikülit .....	19
2.2.1. Genleştirilmiş Vermikülit Üretim Yöntemleri .....	25
2.2.2. Genleştirilmiş Vermikülitin Kullanım Alanları .....	26
<b>3. DENEYSEL ÇALIŞMA</b> .....	<b>30</b>
3.1. Kullanılan Malzemeler .....	30
3.1.1. Çimento .....	30
3.1.2. Genleştirilmiş Vermikülit.....	33
3.1.3. Karışım Suyu.....	36

3.2. Karışım Oranları.....	36
3.2.1. Numunelerin Üretimi .....	37
3.3. Deneysel Yöntemler .....	39
3.3.1. Taze Harç Deneyleri .....	39
3.3.1.1. Birim Ağırlık Deneyi .....	39
3.3.1.2. Yayılma Tablası Deneyi.....	39
3.3.2. Numunelerin Sıcaklık Etkisi Uygulaması.....	40
3.3.3. Sertleşmiş Harç Deneyleri.....	41
3.3.3.1. Kuru Birim Hacim Ağırlık ve Porozite Deneyleri .....	41
3.3.3.2. Eğilme Dayanımı Tayini .....	42
3.3.3.3. Basınç Dayanımı .....	44
3.3.3.4. Ultrases Geçiş Hızlarının Belirlenmesi.....	45
<b>4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ .....</b>	<b>47</b>
4.1. Kuru Birim Hacim Ağırlık .....	48
4.2. Su Emme .....	54
4.3. Porozite.....	60
4.4. Ultrases Geçiş Hızı.....	66
4.5. Eğilme Dayanımı.....	72
4.6. Basınç Dayanımı .....	78
<b>5. SONUÇLAR .....</b>	<b>85</b>
<b>KAYNAKÇA.....</b>	<b>87</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>98</b>

**YÜKSEK SICAKLIĞIN GENLEŞTİRİLMİŞ VERMİKÜLİT  
KULLANILARAK ÜRETİLEN ÇİMENTO ESASLI HAFİF HARÇLARIN  
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**Kübra COŞAR**

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

**2020; Sayfa: 98**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fuat KÖKSAL**

**ÖZET**

Bu çalışma hafif agrega olarak geliştirilmiş vermikülitin kullanılmasıyla üretilen hafif harçların yüksek sıcaklık etkisi sonrası bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılmasını içermektedir. Bu amaçla vermikülit/çimento oranı 3, 4, 5 ve 6 karışımlara sahip standart harç numuneleri üretilmiştir. Karışımlarda portland ve alüminatlı çimento olmak üzere iki farklı çimento tipi kullanılmıştır. 28 günlük standart kür sonrası laboratuvar ortamındaki referans numuneler ile 300 °C, 600 °C, 900 °C ve 1100 °C sıcaklığa maruz bırakılan numuneler üzerinde fiziksel özelliklerin belirlenmesi için birim ağırlık, su emme, boşluk oranı ve ultra ses hızı, mekanik özellikleri tayini için ise basınç ve eğilme deneyleri yapılmıştır.

Elde edilen deney sonuçlarına bağlı olarak, geliştirilmiş vermikülitin kullanılması ile yangına dayanıklı çimento esaslı hafif kompozit kaplama malzemesi üretilebileceği, ayrıca geliştirilmiş vermikülitin yapılarda yalıtım özelliğine sahip sıva uygulamalarında hafif agrega olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.

**THE EFFECT OF HIGH TEMPERATURE ON THE PROPERTIES OF  
CEMENT BASED LIGHT MORTARS PRODUCED BY USING EXPANDED  
VERMICULITE**

**Kübra COŞAR**

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

**2020; Page: 98**

**Thesis Supervisor: Professor Fuat KÖKSAL**

**ABSTRACT**

This thesis concerns the investigation of some physical and mechanical properties of mortars produced by using expanded vermiculite as a lightweight aggregate after exposed to high temperatures. In experimental study, mortar specimens with vermiculite/cement ratios of 3, 4, 5, and 6 by volume are produced. Portland and alumina cements are the two types of cements used in mixtures. Some physical properties such as unit weight, water absorption, porosity and ultrasonic pulse velocity tests, and flexural and compressive strength tests for mechanical properties are performed on reference specimens at ambient temperature and specimens subjected to the temperatures of 300 °C, 600 °C, 900 °C ve 1100 °C.

Depending on the experimental test results, it can be concluded that expanded vermiculite can be used as a lightweight aggregate in production of refractory cement based composite tiles, and also in applications of heat insulation plaster in structures.



## TEŞEKKÜR

Her Őeyden önce gerek yüksek lisans eğitimim süresince ve gerekse tüm tez çalışmalarımın başından sonuna her aşamasında bilgi ve tecrübeleri ile her konuda yardımcı olan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Fuat KÖKSAL'a en içten teşekkürlerimi sunmak isterim.

Yüksek lisans eğitim süresi boyunca üzerimde emekleri bulunan Yozgat Bozok Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde görevli değerli hocalarıma, eğitim sürem boyunca sağladığı kolaylıklardan dolayı Sayın Prof. Dr. Sayın İsmail AKDENİZ'e, tez çalışmam boyunca desteklerini esirgemeyen Öğr. Gör. Eyyüp ORHAN'a, İnş. Yük. Müh. Turan NAZLI'ya, İnş. Yük. Müh. Eyüp TAŐKAN'a ve laboratuvar görevlisi Hayrullah GÜLER'e, teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında maddi manevi her konuda tüm desteklerini esirgemedi sunan sevgili eşim Halil İbrahim COŞAR'a, babam Niyazi KILIÇ'a, sevgili annem Fatıma KILIÇ'a ve ağabeyim Taha Çağrı KILIÇ'a sonsuz teşekkür ederim.

## TABLolar LİSTESİ

<b>Tablo 2.1</b> Ticari Değerleri Olan Vermikülitlerin Kimyasal Analizleri [118] .....	21
<b>Tablo 2.2.</b> Vermikülit Üreticilerinin Toplam Dünya Vermikülit Üretim Değerleri (Bin ton) [119].....	24
<b>Tablo 3.1</b> CEM I 42,5 R Tipi Çimento Özellikleri .....	31
<b>Tablo 3.2</b> Alüminatlı Çimento Özellikleri .....	32
<b>Tablo 3.3</b> Genleştirilmiş Vermikülitin Fiziksel Özellikleri.....	33
<b>Tablo 3.4</b> Genleştirilmiş Vermikülitin Kimyasal Özellikleri .....	34
<b>Tablo 3.5</b> Genleştirilmiş Vermikülitin Elek Analizi Değerleri .....	34
<b>Tablo 3.6</b> Portland ve Alüminatlı Çimento İçin Harç Karışım Miktarları .....	36

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 İşlenmemiş Ham Vermikülit [121].....	22
Şekil 2.2. Vermikülit Tabakasının Görünümü [122] .....	22
Şekil 2.3 Genleşmiş Vermikülit [124] .....	23
Şekil 2.4 Vermikülitin Üretim Aşamaları [128] .....	26
Şekil 2.5 Vermikülitin Seracılıkta Kullanımı [133].....	27
Şekil 2.6 Vermikülit Katkılı Hafif Sıva Uygulaması [134] .....	28
Şekil 2.7 Vermikülit ile Üretilmiş Yanmaz Panel ve Bloklar [135].....	28
Şekil 2.8 Vermikülit ile Üretilmiş Gevşek Yalıtım Dolgu İzolasyon Malzemesi [136] .....	29
Şekil 3.1 Çalışmada Kullanılan Vermikülitin Granülometrisi.....	35
Şekil 3.2 Çalışmada Kullanılan Genleştirilmiş Vermikülit .....	35
Şekil 3.3 Kalıplar Yerleştirilmiş Karışımlar .....	38
Şekil 3.4 Numunelerin 24 Saat Sonunda Kalıptan Çıkarılması.....	38
Şekil 3.5 Numunelerin 28 Gün Sonunda Kür Havuzundan Çıkarılması .....	39
Şekil 3.6 Yayılma Tablası Deneyi .....	40
Şekil 3.7 Numunelerin Sıcaklık Uygulamasından Sonraki Hali.....	41
Şekil 3.8 Arşimet Deneyi Uygulaması.....	42
Şekil 3.9 Eğilme Deney Düzeneği .....	43

<b>Şekil 3.10</b> Basınç Dayanımı Deney Düzeneği .....	44
<b>Şekil 3.11</b> Ultra Ses Geçiş Hızının Belirlenmesi .....	45
<b>Şekil 4.1</b> Numunelerin 300 °C Sıcaklığa Maruz Bırakıldıktan Sonraki Durumu.....	47
<b>Şekil 4.2</b> Numunelerin 900 °C Sıcaklığa Maruz Bırakıldıktan Sonraki Durumu.....	48
<b>Şekil 4.3</b> Numunelerin 1100 °C Sıcaklığa Maruz Bırakıldıktan Sonraki Durumu....	48
<b>Şekil 4.4</b> Vermikülit/Çimento Oranı 3 Olan Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Değişimi .....	49
<b>Şekil 4.5</b> Vermikülit/Çimento Oranı 4 Olan Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Değişimi .....	50
<b>Şekil 4.6</b> Vermikülit/Çimento Oranı 5 Olan Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Değişimi .....	51
<b>Şekil 4.7</b> Vermikülit/Çimento Oranı 6 Olan Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Değişimi .....	52
<b>Şekil 4.8</b> Numunelerin Kuru Birim Ağırlığının Sıcaklığa Bağlı Vermikülit/Çimento Oranına Göre Değişimi (Portland Çimento).....	53
<b>Şekil 4.9</b> Numunelerin Kuru Birim Ağırlığının Sıcaklığa Bağlı Vermikülit/Çimento Oranına Göre Değişimi (Alüminatlı Çimento).....	54
<b>Şekil 4.10</b> Vermikülit/Çimento Oranı 3 Olan Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Su Emmedeki Değişim.....	55
<b>Şekil 4.11</b> Vermikülit/Çimento Oranı 4 Olan Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Su Emmedeki Değişim.....	56
<b>Şekil 4.12</b> Vermikülit/Çimento Oranı 5 Olan Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Su Emmedeki Değişim.....	57

<b>Şekil 4.13</b> Vermikülit/Çimento Oranı 6 Olan Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Su Emmedeki Değişim.....	58
<b>Şekil 4.14</b> Numunelerin Su Emme Değişimleri Sıcaklığa Bağlı Vermikülit/Çimento Oranına Göre Değişimi (Portland Çimento) .....	59
<b>Şekil 4.15</b> Numunelerin Su Emme Değişimleri Sıcaklığa Bağlı Vermikülit/Çimento Oranına Göre Değişimi (Alüminatlı Çimento).....	60
<b>Şekil 4.16</b> Vermikülit/Çimento Oranı 3 Olan Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Porozite Değişim .....	61
<b>Şekil 4.17</b> Vermikülit/Çimento Oranı 4 Olan Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Porozite Değişim .....	62
<b>Şekil 4.18</b> Vermikülit/Çimento Oranı 5 Olan Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Porozite Değişim .....	63
<b>Şekil 4.19</b> Vermikülit/Çimento Oranı 6 Olan Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Porozite Değişim .....	64
<b>Şekil 4.20</b> Numunelerin Porozite Değişimleri Sıcaklığa Bağlı Vermikülit/Çimento Oranına Göre Değişimi (Portland Çimento) .....	65
<b>Şekil 4.21</b> Numunelerin Porozite Değişimleri Sıcaklığa Bağlı Vermikülit/Çimento Oranına Göre Değişimi (Alüminatlı Çimento).....	66
<b>Şekil 4.22</b> Vermikülit/Çimento Oranı 3 Olan Numunelerin Ultrases Geçiş Hızının Sıcaklığa Bağlı Değişimi.....	67
<b>Şekil 4.23</b> Vermikülit/Çimento Oranı 4 Olan Numunelerin Ultrases Geçiş Hızının Sıcaklığa Bağlı Değişimi.....	68
<b>Şekil 4.24</b> Vermikülit/Çimento Oranı 5 Olan Numunelerin Ultrases Geçiş Hızının Sıcaklığa Bağlı Değişimi.....	69

<b>Şekil 4.25</b>	Vermikülit/Çimento Oranı 6 Olan Numunelerin Ultrases Geçiş Hızının Sıcaklığa Bağlı Değişimi.....	70
<b>Şekil 4.26</b>	Numunelerin Ultrases Geçiş Hızı Değerlerinin Sıcaklığa Bağlı Vermikülit/Çimento Oranına Göre Değişimi (Portland Çimento).....	71
<b>Şekil 4.27</b>	Numunelerin Ultrases Geçiş Hızı Değerlerinin Sıcaklığa Bağlı Vermikülit/Çimento Oranına Göre Değişimi (Alüminatlı Çimento) .	72
<b>Şekil 4.28</b>	Vermikülit/Çimento Oranı 3 Olan Numunelerin Eğilme Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi .....	73
<b>Şekil 4.29</b>	Vermikülit/Çimento Oranı 4 Olan Numunelerin Eğilme Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi .....	74
<b>Şekil 4.30</b>	Vermikülit/Çimento Oranı 5 Olan Numunelerin Eğilme Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi .....	75
<b>Şekil 4.31</b>	Vermikülit/Çimento Oranı 6 Olan Numunelerin Eğilme Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi .....	76
<b>Şekil 4.32</b>	Numunelerin Eğilme Dayanımlarının Sıcaklığa Bağlı Vermikülit/Çimento Oranına Göre Değişimi (Portland Çimento) .....	77
<b>Şekil 4.33</b>	Numunelerin Eğilme Dayanımlarının Sıcaklığa Bağlı Vermikülit/Çimento Oranına Göre Değişimi (Alüminatlı Çimento).....	78
<b>Şekil 4.34</b>	Vermikülit/Çimento Oranı 3 Olan Numunelerin Basınç Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi .....	79
<b>Şekil 4.35</b>	Vermikülit/Çimento Oranı 4 Olan Numunelerin Basınç Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi .....	80
<b>Şekil 4.36</b>	Vermikülit/Çimento Oranı 5 Olan Numunelerin Basınç Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi .....	81

<b>Şekil 4.37</b> Vermikülit/Çimento Oranı 6 Olan Numunelerin Basınç Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi .....	82
<b>Şekil 4.38</b> Numunelerin Basınç Dayanımlarının Sıcaklığa Bağlı Vermikülit/Çimento Oranına Göre Değişimi (Portland Çimento) .....	83
<b>Şekil 4.39</b> Numunelerin Basınç Dayanımlarının Sıcaklığa Bağlı Vermikülit/Çimento Oranına Göre Değişimi (Alüminatlı Çimento).....	84



## KISALTMALAR LİSTESİ

<b>A</b>	: Kesit Alan
<b>ABD</b>	: Amerika Birleşik Devletleri
<b>ACI</b>	: Amerikan Beton Enstitüsü
<b>AÇ</b>	: Alüminatlı Çimento
<b>ASTM</b>	: Amerikan Malzeme Testleri Birliği
<b>BHA</b>	: Birim Hacim Ağırlık
<b>CEB</b>	: Avrupa Beton Komitesi
<b>EN</b>	: Avrupa Standardı
<b>EPS</b>	: Expanded Polystyren Foam
<b>L</b>	: Mesnetler Arası Uzaklık
<b><i>l</i></b>	: İki Transducer Arası Mesafe
<b>MTA</b>	: Maden Teknik ve Arama
<b>MPa</b>	: Megapaskal
<b>PÇ</b>	: Portland Çimento
<b>P</b>	: Gözeneklilik Değeri
<b>RILEM</b>	: Uluslararası Yapı Malzemeleri, Sistemler ve Yapılar Laboratuvarları ve Uzmanları Birliği
<b>TS</b>	: Türk Standardı
<b>TSE</b>	: Türk Standartları Enstitüsü
<b>UGS</b>	: United States Geological Survey
<b>V<sub>s</sub></b>	: Ultrases Geçiş Hızı
<b>V/Ç</b>	: Vermikülit/Çimento
<b>W<sub>0</sub></b>	: Etüv Kuru Ağırlık
<b>W<sub>1</sub></b>	: Suyu Doygun Havadaki Ağırlık
<b>W<sub>2</sub></b>	: Su İçerisindeki Ağırlık
<b><math>\sigma_b</math></b>	: Basınç Dayanımı
<b><math>\sigma_e</math></b>	: Eğilme Dayanımı
<b><math>\mu</math></b>	: Su Emme Oranı



## 1. GİRİŞ

Bağlayıcı malzeme, su ve agreganın (dolgu malzemesi) standartlarda verilen hesaplar doğrultusunda çıkan sonuçlara göre harmanlanması ile oluşan karışıma harç denir. Harçların en önemli özelliklerinden biri katılaşmasıdır. Başka bir ifade ile harç; kum, su, bağlayıcı malzeme ve eğer gerekirse farklı malzemelerin hesaplanan miktarlarda birleştirilmek suretiyle oluşan, geçirimsizlik, dış etkilerden koruma, aderans, mukavemet gibi özellikler gösteren hamurlara denir [1].

Hafif agregaya gevşek birim hacim ağırlığı maksimum  $1200 \text{ kg/m}^3$  olan doğal veya suni üretilen kırılarak oluşturulabilen veya kırılmamış halde bulunan agregalardır [2]. Hafif agregaların birim hacim ağırlıklarının düşük olma sebebi boşluk oranlarının yüksek olmasıdır. Bu durum normal agregalarla kıyaslandığında su emme oranının yüksek olması, mukavemetinin düşük olması, ısı iletiminin düşük olması gibi özellikleri ortaya koyar. Hafif agregalarda bulunan birim ağırlık, granülometri bileşimi, agregaya yüzey yapısı ve su emmesi hafif beton ve harç üretimi bakımından en önemli özellikleridir [3, 4].

1980li yıllara kadar normal dayanımlı betonların yüksek sıcaklıkta ki davranışları ve yüksek sıcaklığa dayanımları incelenmiştir. Fakat son zamanlarda endüstriyel yapılarda, tünellerde, özel hizmet amaçlı yapılarda yüksek dayanım ve performanslı betonlar için kimyasal ve mineral katkı kullanılmaktadır. Kimyasal ve mineral katkılı betonların yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonraki performansları katkısız betonlara göre daha düşüktür çünkü yapısı daha yoğundur ve boşluk oranı daha azdır [5].

Çimento, su, agreganın karıştırılması ile oluşan geleneksel betondan meydana gelen yapıların en büyük problemlerinden birisi ölü yükün fazla olmasıdır. Deprem etkisinde, ölü yük değerinin yüksek olması yapının mukavemetini azaltan en önemli unsurdur. Geleneksel beton ile oluşturulan yapıların kat sayısı arttıkça betonarme elemanların kesitleri büyümekte ve bu sebepten ötürü ölü yük artmakta ve maliyet yükselmektedir. Ölü yükün fazla olmasının en önemli sebebi geleneksel betonun yüksek birim hacim ağırlığa sahip olmasından kaynaklıdır [4].

Geleneksel betonların aynı zamanda iletkenlik katsayıları yüksektir. İletkenlik katsayılarının yüksek olmasının sebebi birim ağırlıklarının büyük olmasıdır. Betonun birim ağırlığı ve betonarme elemanların kesitleri azaltılarak yapı ağırlığı düşürülebilir. bu şekilde yapıda ekonomi sağlanmış olur. Aynı zamanda ısı iletkenlik katsayısı da küçülür [6].

Yüksek sıcaklık etkisinde kalan betonarme elemanların mekanik ve fiziksel özelliklerinde değişim görülmüştür. Bu değişiklikler çelikte çekme, akma dayanımı ve duktilitede azalma; betonda çatlama, parçalanma ve dağılmalar aynı zamanda betonun elastisite modülünde azalmalar ve basınç dayanımında ki düşüştür [7].

Çimento hamurunda sıcaklığın artmasından dolayı ilk olarak serbest su kaybolur. Ardından emilen suyun kaybolması ve hidrasyon sonucu oluşan ürünlerin bağ suyu kaybı oluşur. Bu kayıplar nedeniyle çimento hamurunun büzülmesinden kaynaklanan farklı termal hareketler sebebi ile oluşan mikro çatlaklar beton dayanımının azalmasına neden olur [8]. Kısa süre içerisinde 600 °C'ye kadar çıkan sıcaklıklarda beton %50'lik dayanım kaybına uğrarken, donatı dayanımı açısından bir değişim olmamaktadır. Yüksek sıcaklık etkisinde kalmış beton içerişindeki su buharlaşarak malzemelerin ayrışmasına neden olur. Sıcaklığın 800 °C'ye ulaştığı zaman beton %80 dayanım kaybı meydana gelir ve bu durum yapılarda yıkılma tehlikesi oluşturur [9].

Yüksek sıcaklığın sebep olduğu yapıların durabilite probleminin betona etkisi 20. yüzyılın başlarında araştırmaya başlanmıştır [10, 11]. Yüksek sıcaklık sebebi ile değişik yapıdaki beton çeşitlerinin farklı davranışlar göstermesinde; çimento-agrega arasındaki aderans, agreganın çeşidi, çimento tipi ve çevresel faktörler etkili olmaktadır. Yapılan çalışmalarda yapı güvenliği ve bütünlüğünün, yangın esnasında ve sonrasında yapıyı oluşturan malzemelerin karmaşık davranışının anlaşılması hedeflenmiştir [12].

## 2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

### 2.1. Hafif Harçlar

İnsanlar, tarih boyunca faydaları için sürekli olarak doğal kaynakları kullandılar, çevresel zararın ve yakın zamana kadar süren yıkımların nispeten farkında değillerdi. Bu anlamda inşaat sektörü, ürettiği atık miktarı nedeniyle, atıkların geri dönüşümünü teşvik etmeyi gerekli kılan başlıca kirleticilerden biridir.

Çevrenin ve doğal kaynakların korunması, günümüzde ve gelecek nesiller için çözülmesi gereken sorunlardan bazılarıdır. Atık malzemelerin faydalı ömürlerinin sonunda geri dönüşümü geliştirme ihtiyacı duyulmaktadır. Atıkları bir kaynağa dönüştürme, doğal kaynakların kullanımı nedeniyle çevresel etkilerini azaltma ve atık bertaraf sahaları üzerindeki baskıyı hafifletmek istenmektedir [13].

Harçlar yapılarda bağlayıcı malzeme olarak kullanılmaktadır. Harçlar, yapılarda vazgeçilmez olarak bilirse de bu durum harçların uygulandığı yerlere ve uygulama şekline göre değişkenlik göstermektedir. Örneğin sıvalar tuğla, ahşap, taş, fayans gibi yapı malzemelerini bütünleştirerek yapı elemanlarını oluşturan, dış etkilere karşı koruyan ve estetik amaçlı kullanılabilen bir malzemedir [14].

Harçların özellikleri bağlayıcı malzemenin miktarı ve cinsi, agreganın dane boyutu ve özelliği, karışım suyunun kimyasal yapısı ve miktarı ve harç işçisinin karıştırma, taşıma, yerleştirme ve bakım gibi konulardaki deneyimi önemli derecede etkilemektedir. Harçlarda görülmek istenen asıl özellikler aderans, mukavemet, doluluk, geçirimsizlik ve aynı zamanda dış etkilere zarar görmemesi, aşınmaması ve hacminde bir değişiklik gözlenmemesidir. Harçlarda bulunması istenen bu özelliklerden bazıları kullanım durumuna göre diğerlerinden daha büyük önem taşıyabilmektedir. Bu nedenle harçlarda bulunması gereken özellikler aşağıdaki verildiği gibidir: [10]

- i. Harcın doluluğu ancak agrega yapısı ve özellikleri ile elde edilebilir ve mukavemet, geçirimsizlik, dayanım gibi özelliklerin temelini oluşturur.

- ii. Harçların geçirimsizliği içerisinde bulunan agregaların granülometrisi ile doğrudan bağlantılıdır. Yani harçların geçirimsizliği granülometrinin iyi ayarlanmasına ve içerisinde bulunan su miktarının değişmesine bağlıdır. Geçirimsizliğin istenilen oranlarda olması için harç içerisinde bulunan çimento hamurunda rötreyi artırmayacak miktarda malzeme oranını artırmak veya içerisine katkı malzemesi (parafin, silis tozu, tras, kalsiyum klorür, kauçuk, bitüm, balmumu, sabun, sika vb.) kullanılabilir. Ancak bu türler arasında geçirimsizliği en iyi olanlar çimento ve puzolanik harçlardır.
- iii. Harç içerisinde bulunan bağlayıcıların mukavemeti ve agregaların su/çimento oranı ile granülometrisi harçların mekanik özelliklerini belirlemektedir.
- iv. Harç içerisinde bulunan bağlayıcı malzemenin cinsi harç içerisinde oluşan kimyasal reaksiyonlar açısından farklılık göstermektedir. Harç içerisinde oluşan bu kimyasal reaksiyonlar ise harçlarda hacim değişikliğine sebep olmaktadır. Hacimde değişme durumu yağlı kireç harçlarının karbondioksit ile tepkimeye girmesi sonucunda hacimde artma gözlemlenirken çimento içeren harçlarda hidratasyon sebebi ile de hacim azalması yani rötreye oluşur. Rötreye sebebi ile oluşan çatlaklar harçlarda mukavemetin azalmasına bununla birlikte geçirimsizliği artırmaktadır. Bu oluşumların azalması için ince agreganın artırılması, çimentonun azaltılması, havadan nem çekebilen tuzlar kullanılması ve katılaştıktan sonra belirli bir süre ortamın nemli olması sağlanmalıdır.
- v. Harç aderansı karışımda bulunan bağlayıcının uygulandığı alanın pürüzlülüğü ve özelliğine göre değişen yapışma durumudur. Taze ve kurumuş harçların aderansı plastik kıvamda olan harçlara göre daha düşüktür.
- vi. Taze harçlarda oluşan tepkimeler ve benzeri durumlar nedeni ile sıcaklık düşüşü harçların sertleşme süresini uzatmakta, sıcaklık artması ise sertleşme süresini azaltmaktadır. Taze harçların sertleşmesi esnasında rüzgâr ve güneş etkileri sonucu su kaybı oluşur. Bunun yanı sıra harç için gerekli olan

hidratasyon engellenir. Soğuk havaya maruz kalan harçlarda ise don oluşur. Harçlarda don etkisi alüminatlı çimentolar dışında kullanılan çimento etkisindeki harçlarda harç yapısını değiştirerek zarar görmesine sebep olur. Çimento bulunduran harçların düşük sıcaklıklı ortamlarda %2-3 oranında CaCl<sub>2</sub> (kalsiyum klorür) eklemek uygun olabilmektedir [10].

Günümüzde en çok kullanılan hafif harç üretimi hafif agrega çeşitleri kullanılarak yapılan üretimdir [15]. Doğada bulunan malzemelerin çeşitli işlemlerden geçirilmesiyle oluşan hafif agregaları genişletilmiş silt, genişletilmiş arduvaz, genişletilmiş vermikülit, genişletilmiş perlit, polimer esaslı malzemeler, genişletilmiş kil gibi malzemeler olarak sayabiliriz [16]. Hafif agregaların birim hacim ağırlıklarının düşük olma sebebi boşluk oranlarının yüksek olmasıdır. Bu durum normal agregalarla kıyaslandığında su emme oranının yüksek olması, mukavemetinin düşük olması, ısı iletiminin düşük olması gibi özellikleri ortaya koyar. Hafif agregalarda bulunan birim ağırlık, granülometri bileşimi, agrega yüzey yapısı ve su emmesi hafif beton ve harç üretimi bakımından en önemli özellikleridir [3, 4].

Hafif betonların etüvde kurutulması sonucunda birim hacim ağırlığı en düşük 800 kg/m<sup>3</sup> olan en yüksek 2000 kg/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir [2]. Birim hacim ağırlıklarına göre hafif betonların sınıflandırılması ülkeler arasında kabuller ve standardizasyonların değişiklik göstermesi sebebi ile farklılık göstermektedir. Örneğin Amerika'da kuru yoğunluğu maksimum 1840 kg/m<sup>3</sup> olan ve minimum 17 MPa basınç dayanımına sahip betonlar hafif beton kategorisinde sayılırken, Avrupa Beton Komitesi 15 MPa basınç dayanımına sahip ve 1600-2000 kg/m<sup>3</sup> birim hacim ağırlığına sahip betonları hafif beton olarak kabul etmektedir [16, 17].

Hafif harçlar ve betonlar kullanım amaçlarına göre yapısal hafif betonlar, yapısal-yalıtım hafif betonlar ve yalıtım betonları olarak üç ana sınıfta incelenmiştir. Bu sınıflandırma Avrupa Beton Komitesi (CEB), Uluslararası İnşaat Malzemeleri, Yapı Sistemleri Laboratuvarlar ve Uzmanlar Birliği (RILEM) tarafından beton ve harçların firm kurusu hacim ağırlığı, ısı iletkenlik değeri, basınç dayanımı dikkate alınarak yapılmıştır. Yalıtım hafif beton ve harçların ısı iletim katsayısı en fazla 0,30 W/mK,

basınç dayanımı 0,5 MPa'dan yüksek, birim ağırlığı ise en fazla 1450 kg/m<sup>3</sup> olarak belirlenen değerlerdir. Yapısal hafif beton ve harçlar için basınç dayanımı 15 MPa büyük olmalı, ısı iletkenlik katsayısı bu kategorideki hafif betonlar için dikkate alınmamıştır, birim ağırlığı ise 1600-2000 kg/m<sup>3</sup> değerleri arasında olması istenmektedir. Yapısal-yalıtım hafif betonlar için basınç dayanımı en az 3,5 MPa, ısı iletken katsayısı en fazla 0,75 W/mK, birim ağırlığı 1450-1600 kg/m<sup>3</sup> arası olması istenmektedir. Bu değerler çerçevesinde hafif beton sınıflandırılması yapılabilmektedir [16].

2. Dünya Savaşından önce genel olarak estetik amaçlı, ısı yalıtım, ses yalıtım, yangına dayanım amacı ile dış duvarlarda ve iç mekânlarda kullanılan hafif betonlar savaş sonrasında taşıyıcı amaçla kullanımı yaygınlaşmıştır [18]. Teknolojik gelişmeler neticesinde beton birim ağırlığında azalma olması ile oluşan yenilikler hafif harç ve betonların kullanım alanlarında gelişme ve artış sağlamaktadır. Hafif harç ve betonlar uygulandıkları yapıda bulunan ölü yük miktarındaki azalmanın yanı sıra ısıya direncin artması, ısı yalıtımı, ses ve benzeri özellikleri de yapıya kazandırmaktadır [19, 20]. Hafif harç ve betonların yapıya kazandırdıkları bu özellikler doğrultusunda gelişmiş ülkelerde artan yüksek binalarda hafif beton ve harçlar tercih edilmektedir. Bu durum hafif beton ve harçların uygulama alanlarının gelişmesine sebep olmuştur. Aynı zamanda çeşitli endüstriyel yapılarda özellikle uzun açıklıklı köprülerde ve viyadükler gibi yapı yükünün tasarım sırasında belirleyici olduğu yapılarda hafif beton ve harç kullanımı birçok avantajı beraberinde getirmektedir [16].

Hafif harç ve betonların yapı yükünde azalmalar sağlaması durumu deprem yükünün etkisini ve deprem olması durumunda hasar alma riskini azaltmaktadır [21].

Ayrıca normal betona göre birim ağırlığının azalması ile beton içerisinde bulunan donatı miktarının azalmasını, elemanların kesitlerinin küçülmesini hem hafif beton hem de eleman boyutları azaltılması ile yapı yükünün azalmasını sağlamaktadır. Yapı yükü azalması zemin emniyet gerilmesinin düşük olduğu yerlerde yapı yapılabilmesi avantajı ile yapı maliyetini azaltmaktadır [22, 23]. Hafif betonların kullanımının yaygınlaşması ile prefabrik sektöründe de kullanılmaya başlanmaktadır. Prefabrik

yapılarda ki en önemli özelliği yapı elemanlarının vinç ile taşınabileceği mesafe azalabilmekte veya tek seferde daha çok eleman taşınmasına olanak sağlayabileceklerdir [24].

Hafif beton kompozitler, binalar ve köprülerdeki yapı elemanları için uzun yıllar boyunca başarıyla kullanılmıştır. Kuzey Amerika'daki en eski uygulamalardan biri, I. Dünya Savaşı sırasında çimento harçlı gemilerin yapımında kullanılmasıdır. Yıllar boyunca, hafif kumların özenle seçilmesi ve dikkatli orantılı olarak, yüksek basınç dayanımı yüksekliğine sahip yarı hafif çimento harçları yapılmıştır. Aslında böyle bir mukavemet yapısal uygulamalarda gerekli olmasa da, sondaj platformları gibi uygulamalarda çok yüksek mukavemetli hafif çimentolu beton kullanılması durumunda avantajlar vardır. Bu tür hafif beton, daha yüksek yüzerliğe sahiptir ve dolayısıyla sığ sularda çekilmesi daha kolaydır ve kuru iskelelerin yapımında daha ağır yapılara kıyasla daha az kazı yapılması gerekir. Bu tür hafif beton petrol sondaj platformları için kullanıldığı bir örnek bulunmamaktadır. Ölü yükte tasarruf sağlayan ve hem süper yapının hem de temellerin maliyetini düşüren hafif ağırlığına ek olarak, bu beton yangına karşı daha dayanıklıdır ve normal yoğunluklu betona göre daha uygun ses ve ısı yalıtımı etkisi gösterir. Hafif beton yapılar için, normal ağırlıktaki beton yapılarda olduğu gibi, daha yüksek basınç dayanımlarının kullanılması yönünde sağlam bir eğilim vardır. Bu, daha düşük eleman boyutlarının kullanılmasına izin verir. Bu durumda, düşük maliyet ile ölü yükte daha fazla azalmaya izin verir ve pratik aralığını da genişletir [25].

### **2.1.1. Hafif Harç Çeşitleri**

#### **2.1.1.1. Alkali İle Aktif Hale Getirilmiş Hafif Harçlar**

Alkali ile aktive olan malzemeler, günümüzde geleneksel çimento bazlı malzemelere yenilikçi ve sürdürülebilir alternatif olduğu düşünülerek birçok araştırmaya ilham olmuştur. Bunlar bir alkalin aktivatörü ve bir amorf katı alüminosilikat prekürsörü arasındaki reaksiyonla elde edilir alkalin aktivatörü prekürsörü silikat ve alüminat ünitelerine ayrıştırır. Bu daha sonra esas olarak şekilsiz

ve üç boyutlu bir matris üretmek için birleştirici özelliklere sahiptir [26]. Alüminosilikat öncü (örneğin kömür uçucu kül) olarak uygun şekilde seçilmiş atık tozları kullanarak, alkali ile aktif edilmiş malzemeler sıradan Portland çimentosu yerine kullanılabilir. Bu şekilde CO<sub>2</sub> indirgeme, atmosferde emisyonu sağlar [27]. Ayrıca, alkali ile aktif edilmiş malzemeler, CO<sub>2</sub> indirgeme esaslı malzemelere göre ilginç ve bazen daha üstün performans göstermektedir. Özel olarak dizayn edilmiş bir karışım ile yüksek mekanik mukavemet ve iyi dayanıklılık elde edilebilir [28–30]. Özellikle, alkali ile aktif edilmiş malzemeler, yüksek sıcaklığa direnç gerektiğinden oldukça rekabetçi kabul edilir [31–33]. Gerçekten de sıcaklığa maruz kalan, jel içinde bulunan zayıf bağlarla bağlı suyun hızlı bir şekilde dehidrasyonu, bağlanma yapısına önemli bir zarar vermez ve bu nedenle mekanik mukavemet korunur ve yüksek sıcaklıkta önemli ölçüde stabilite oluşturur [34, 35].

Tüm bu özellikler alkali ile aktif edilmiş malzemeli harçları pasif yangından korunma sistemleri olarak kullanmaları için güçlü adaylar yapıyor. Pasif yangından korunma sistemleri, şişen boyalar veya hafif çimentolu harçlar gibi ısının substrata aktarılmasına karşı termal bariyer gibi davranan katmanlardır. Pasif yangından korunma, çelik yapıların korunmasında yaygın olarak kullanılır. Çünkü sıcaklığa maruz kaldığında, çelik hızlı ve kontrolsüz bir çökmeye yol açabilecek olan kuvvet ve elastik modülün hızlı bir şekilde bozulmasına neden olabilecek bir malzemedir. Bu nedenle, pasif yangından korunma sistemlerinin benimsenmesi güvenlik seviyelerinin ve çelik yapıların yangına dayanıklılığının artırılmasına izin verir [36, 37].

Alkali ile aktif edilmiş malzemelerin yangına dayanıklı malzemeler olarak iyi performans göstermesi, araştırmalar yakın zamanda, alkali ile aktif edilmiş malzemenin çelik koruma için olası kullanımını üzerine odaklanmıştı, bunun için cesaret verici sonuçlar vardır. En önemli parametreler arasında, yapışma kuvveti ve kaplama ile çelik substrata arasındaki ısıl uygunluk, her ikisi de öncül içindeki Si/Al oranına bağlı olarak anahtar faktörler olduğu belirtilmiştir. Özellikle, yayınlanan çalışmaların çoğunda, kaplamanın ısıl kürlenmesi gerçekleştirildi [38–42].



Dünya çapında, hafif betonun yapının ölü ağırlığının azaltılması, binalar için daha uygun ısı yalıtımı, daha düşük nakliye maliyeti ile normal ağırlıkta betondan daha avantajlı olduğu bilinmektedir[43]. Hafif betonlar genellikle binaların yapımında, köprü döşemelerinde ve tüm köprü üst yapıları için daha az alanda kullanılır. Hafif agrega kullanımı, hafif yapı malzemeleri oluşturmak amacıyla kullanılan en belirgin yöntemlerden biridir [44]. Hafif agrega betonun içindeki hava boşlukları nedeniyle iyi gerilme kuvveti, az ısıl genleşme katsayısı, üstün termal ve akustik yalıtım özelliklerinin belirgin avantajları vardır [45].

1980'lerin başında, Profesör Joseph Davidovits, jeopolimerizasyon teknolojisini daha iyi mekanik ve mukavemet özelliklerine sahip sıradan Portland çimentosuna ek malzemeler üretmek için ideal ve yeni çevre dostu bir işlem olarak sundu. Jeopolimerler sentezleme teknolojisi, nispeten düşük sıcaklıkta amorf formda alüminyum (Al), silisyum (Si) bakımından zengin olan bir kaynak malzemenin nispeten basit alkalin aktivasyonuna dayanmaktadır [46]. Elde edilen jeopolimer materyali, jeopolimer harçları ve betonları üretmek üzere farklı agrega türlerini bağlamak için portland çimento yerine bağlayıcı olarak kullanılabilir [47]. Jeopolimer malzemeleri CO<sub>2</sub> azaltılması yeteneğine sahip olduğu bildirilmiştir. Jeopolimerlerin erken dayanım, düşük geçirgenlik, kimyasal saldırılara karşı mükemmel direnç, iyi donma-çözülme döngüleri ve ağır metal iyonlarının yapılarında hareketsiz hale gelme eğiliminde olduğunu bildirmiştir [48].

Jeopolimerlerin yapımında kullanılan tipik kaynak malzemeler uçucu kül, cüruf ve kabuklu kül gibi endüstriyel atık maddelerdir. Bununla birlikte, jeopolimer malzemelerin sentezlenmesinde uçucu kül gibi endüstriyel atık öncülünün kullanılmasının nihai ürünün çevresel ve ekonomik kimlik bilgilerini artıracığı açıktır [49, 50]. Uçucu kül jeopolimerlerinin termal özelliklerini araştıran önceki çalışmalar, bu malzemelerin yüksek sıcaklıklara maruz kaldıktan sonra düşük termal büzülme ve iyi dayanım süresine sahip olduğunu bildirmiştir. Uçucu kül jeopolimerler, jeopolimer faz bileşimindeki değişiklikler incelemeksizin oda sıcaklığından 1200 °C'ye kadar sıcaklığa maruz kaldığında ve yaklaşık 600-800 °C arasında değişen sıcaklıklarda

meydana gelen mikro yapı değişimlerinde gözle görülür değişim olmamaktadır [51]. Bu değişiklikler dilatometrik analiz ile vurgulanmıştır. Bununla birlikte, yapılan çalışmalarda büyük ölçüde uçucu kül kaynaklarında veya mikro yapısal ve mekanik analizden yoksun jeopolimerlerde bulunan silikat faz konsantrasyonunun etkileri görülmektedir. Yüksek sıcaklık etkisinden bırakmadan önce ve sonra jeopolimerlerin aktivitesinde ve yapısal özelliklerinde ciddi değişim göstermiştir. Uçucu kül jeopolimer macunu ve harcı, yüksek kabul edilen aktivatör içeriğinde meydana gelen yüksek jeopolimerizasyon reaksiyon oranları nedeniyle mükemmel mekanik basınç dayanımı göstermektedir [52, 53].

#### **2.1.1.2. Ahşap Atığı İçeren Hafif Harçlar**

Dünya çapında ahşap endüstrisi büyük miktarda atık ürün üretir. Talaş, odun kütüğünden bir odun parçası kesildiğinde veya bitmiş ürünler hazırlarken kesme, frezeleme ve delme işlemlerinden üretilir. Odun tozu odun külünden farklıdır (yani odun ve ürünlerinin yakılması sonucu ortaya çıkan kalıntı). Odun tozu zımparalama veya diğer işleme işlemleri sırasında ortaya çıkan çok ince parçacıklardan oluşur ve genellikle filtre torbaları veya toz toplayıcılarda toplanır [54]. Odun tozunun fiziksel ve kimyasal özellikleri, odun ürünleri ve endüstriyel işlemler için kullanılan kütüğün coğrafi konumu ve benzeri sebeplerden dolayı değişim göstermektedir. Örneğin, sert ağaçlar genellikle yumuşak ağaçlardan daha fazla toz üretir ve kabuk ve yapraklar genellikle ağacın iç kısımlarından daha fazla odun tozu üretir. Ortalama olarak, odun kesimi ağırlıkça % 5-10 toz oluşturur [55]. Bazı durumlarda, ahşap yan ürünleri bir dereceye kadar kirlilik içerir ve ahşap yan ürünlerinin geri dönüşümü olasılığını belirleyen pazar şartlarını karşılamak için daha fazla işlem gerektirir [56]. Talaş ve odun talaşlarının depolanması sırasında, özellikle de hızlı bir şekilde ayrıştırlarsa, çok miktarda sera gazı salınabilir. Geri kazanılan ahşabın %26'sı tekrar kullanım için uygundur [57, 58].

Bazı araştırma projeleri iyi sonuçlarla beton veya harç karışımlarında çimento yerine odun külü kullanmıştır. Bazı projeler, mekanik özelliklerde büyük gelişmeler göstermemiştir [59, 60]. Öte yandan, ahşap talaşı ve kireçtaşı ile tuğla üretmenin

uygulanabilirliği birçok çalışma ile ortaya konmuştur [61, 62]. Yapılan araştırmalarda tuğlaların su emiciliğini test etmek için imento ve kil matrisinde odun yongaları (8 mm'ye kadar) kullanılmıştır. Makro-gözenekli odun agregalarının kılcal emilimini azalttığını ve iyi ısı ve yalıtım özelliklerinin elde edildiği görüldü. Ayrıca ahşap talaşların harçlara hiçbir işlem görmeden harç yoğunluğunun yanı sıra termal iletkenliği azaltarak eklenebileceği tespit edilmiştir [63, 64].

Genel olarak betonda tahta yongaları gibi hafif agregaların kullanılması ortaya çıkan gelişmiş ısı yalıtımı nedeniyle, temel ve yapı elemanlarının boyutunun küçültülmesine izin vererek bu durumu avantajlı hale getirmektedir. Bununla birlikte hafif agregaları imento esaslı malzemelerde kullanmanın en önemli avantajı, özellikle hafif agregalar olarak kullanılan hammaddenin ahşap işleme yan ürünleri kullanılarak olduğu gibi, atık malzemelerden elde edilmesi durumunda, çevresel değer de olmaktadır [65].

### **2.1.1.3. Eloksal Katkılı Hafif Harçlar**

Hafif beton yapılar için, normal ağırlıktaki beton yapılar için olduğu gibi, daha yüksek basınç dayanımlarının kullanılması yönünde güçlü bir eğilim vardır. Bu daha küçük eleman boyutlarının kullanılmasına ve düşük maliyet tasarrufuyla ölü yükte daha fazla azalmaya izin verir. Ayrıca uygulama açıklığını da artırır. [66, 67]

Martinez ve ark. yaptıkları çalışmada yapı mühendisine yüksek dayanımlı hafif çimentolu beton kompozitlerin mühendislik özellikleri hakkında faydalı bilgiler sağlanmıştır. Eloksal ile güçlendirilmiş, hafif, yüksek mukavemetli kompozitin sıkıştırma karakteristiklerini ortaya koymuşlardır. Soğutulmuş alüminyum alaşımı-kuars partikül kompozitinin mekanik ve mikroyapısal davranışı için de bir çok çalışma yapılmıştır [68].

Eloksal katı cüruf formunda tesisteki alüminyum üretimi sırasında elde edilen bir atıktır. Katkı özellikleri ve çok hızlı bağlanma ile yeterli kuvvete sahip sert bir maddedir. Eloksal ile güçlendirilmiş imento harcı, sıkıştırıcı ve mikro yapısal

davranışı bakımından değerlendirilir. Basınç dayanımı, nemin rolü ve kurutma etkileri birçok araştırmacı tarafından değerlendirilmiştir. Çeşitli mineral katkılarıyla yüksek dayanımlar elde edilebilir. Genel nem içeriğindeki nispeten küçük değişiklikler olmasına rağmen, basınç dayanımlarında önemli değişiklikler oluşturmaktadır. Bu durum yeterli hidrasyon oluşturarak, sertleştirme yönteminin, kompozit içindeki nem dağılımı yoluyla kompoziti kuvvetlendirdiğini gösterir. Mikro yapısal çalışmalar, herhangi bir ara yüzey reaksiyonu ve gözeneklilik göstermeden matriks boyunca eloksalın iyi bir şekilde bağlandığını ve dağıldığını ortaya koymaktadır. Bu kompozitin gücünün artmasının en önemli sebeplerinden biridir [25].

#### **2.1.1.4. Mantar Katkılı Hafif Harçlar**

Mantar endüstrisi inşaat endüstrisindeki uygulama için incelenen büyük miktarlarda atık üretir. Bununla birlikte, literatürde genel olarak mantar atığı (granül veya toz) olarak adlandırılmaktadır ve özellikleri hakkında yeterli bilgi bulunmamaktadır. Aynı zamanda, mantar atıkları, üretildikleri işlem aşamasına bağlı olarak farklı özelliklere sahip birkaç yan ürün içermektedir.

Cork her 9–12 yılda bir mantar meşe ağacının kabuğundan elde edilen hafif, biyolojik olarak parçalanabilir, yenilenebilir özelliklere sahip bir malzeme olarak keşfedilmiştir. Hücreler arası boşluk bırakmadan düzenli olarak düzenlenmiş ince hücre duvarları ile homojen bir hücre yapısı sunar. Bu nedenle, düşük yoğunluklu ve viskoelastik davranışa sahiptir . Ayrıca, mantar düşük ısı iletkenliği ve iyi ses emilimi gösterir [69].

Mantar meşe ormanları, toprak koruma ve karbondioksit tutma gibi diğer ekolojik fonksiyonları olan tür bakımından zengin ekosistemleri oluşturur. Mantar ekstraksiyonu değerli bir ürün elde etmeyi ve bu biyolojik sistemlerin korunmasını sağlayan bir uygulamadır [70].

Dünyada mantar üretiminin 201428 ton olarak tahmin edilmekte ve yaklaşık 2139942 hektar mantar ormanı olduğu tahmin edilmektedir. Bunlar ana üretici Portekiz, İspanya

ve Fas'tır [71]. Mantar endüstrisi iki üretim grubu sunar: doğal mantar endüstrisi (doğal mantar tıpaları ve doğal mantar diskleri) ve granül - aglomerat endüstrisi (teknik tıpalılar, pedler, levhalar, döşemeler, yalıtımlı paneller ve benzeri). İlk grup en kârlı olanıdır, ancak doğal mantar tıpa üretiminde kullanılan hammaddenin %70'inden fazlası endüstriyel yan ürünlere dönüştürüldüğü için, granül endüstrisi aynı zamanda mantar üretiminin bir çıkışı olarak ilgi çekmektedir [72].

Mantar yan ürünlerinin inşaat sektöründe kullanım için tekrar kullanılması olasılığı araştırılmıştır. Doğal veya genişmiş mantar granüllerinin, mantar tozu veya mantar tozunun beton ve harç karışımlarına ilave edilmesi, doğal agregaların aşırı tüketilmesinden kaynaklanan doğal kaynakların tükenmesini azaltır ve ayrıca inşaat ağırlığını ve enerji maliyetlerini azaltır [73]. Ayrıca, izolasyon için çimento köpüğü harçları olan yalıtım köprülerinin kullanılmaması yada en azından azaltılması; iç hava kalitesinin artmasına, enerji maliyetlerinin düşmesine ve konforun artmasına katkıda bulunabilir [74].

Çeşitli mantar atık granüllerin sınıfları (kütle yoğunlukları değerleri uyumluluk, 106, 104 kg /m<sup>3</sup> değerlendirdi, hafif imalatı için çimento ile partikül boyutları 0.04 ila 0.2 mm) ile toz çimentolu kompozitler olarak çeşitlendirilir . Büyük ebat (2–3 mm) granüller ve orta ebat (~1 mm) granüller, çimento ile ağırlıkça% 30'a kadar çimento ile uyumluyken, küçük ebatlı granüller ilave bir ön işlem veya ayar hızlandırıcı gerektirir. Bu durum betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemiştir ve farklı oranlarda mantar tozu ile yapılır [75].

Panesar ve ark. mantar tozundan elde edilmiş malzemenin çok düşük bir mekanik dayanıma sahip olduğu sonucuna varmışlardır. % 10'lık mantar tozu yüzdesi betonun en iyi özelliklerine neden olduğu öğrenilmiştir. Kum değişimi olarak kullanılan atık mantarın veya taş değişiminde taş kütlesi değişimi incelenmiştir. Mantar parçacık ebatları aralığı: plastik, mekanik, nakil, mikro yapısal ve termal özelliklerde 6-14 mm, 3-8 mm ve 2-3 mm yoğunluk değerleri ile 330-490 kg/m<sup>3</sup> olması istenmektedir. Harç ve beton için Çimento-mantar kompozitleri için optimum 28 günlük 24.3 MPa küp mukavemeti, kum yerine 0.5-1 mm mantar granüllerinin %10'u ile elde

edilebilir. Daha yüksek mantar ebadı küp kuvvetini azaltır ve toplam poroziteyi artırır [76].

Matos ve ark. granül mantarı içeren geleneksel harçtan yapılan yeni bir kompozit malzemenin döngüsel davranışının (döngüsel tek eksenli ve çapraz sıkıştırma) deneysel bir analizini çalışmışlardır. [73]. Orta büyüklükte mantar granüllerinin (2.5–4.5 mm) bir araya getirildiği kompozit malzeme, enerji yayma kapasitesi açısından gelişmiş bir davranış gösterdiğini ifade etmişlerdir.. EPS harçlara kıyasla işleme için mantar granül harçlarının, ısıl özellik açısından, yani sabit ve kararsız koşullarda, avantajını göstermiştir. Mantar granülat sunar 0.5-2 mm'lik bir tanecik boyutu ve 112.4 kg/m<sup>3</sup> aralığında bir hacim yoğunluğuna sahip kum yerine farklı mantar dozajları (% 0-80), termal iletkenlik, harçlarda artan mantar dozajı için doğrusal bir düşüş sunar. Betonarme döşemeleri kaplamak için hafif şap üretmek için genişletilmiş mantar granül atıklarının çimento esaslı karışımlarla kullanımı konusunda deneysel bir çalışma yürütmüştür. Bu karışımlarda kullanılan mantar parçacık boyutları 3-5 mm, eşit hacimde 5-10 mm ve belirgin parçacık yoğunluğu 100 ve 130 kg/m<sup>3</sup>'tür. Sırasıyla hazırlanan şap karışımları daha düşük sertleştirilmiş yoğunluk, basınç dayanımı ve termal iletkenlik gösterdiğini belirtmişlerdir. Mantar tozu (79 kg/m<sup>3</sup> partikül yoğunluğu kullanma imkanı inceledik betonun kendi kendine sıkışmasını karışımlarında ince parçacıklar için bir ikame olarak) yaygın uygulamalar için iyi dayanım seviyesine ve uygun dayanıklılığa sahip bir malzeme elde edilmiştir [74, 77, 78].

Yukarıda belirtilen tüm mantar yan ürünleri ve bunların agrega olarak kullanımına ilişkin çalışmalar göz önüne alınmaksızın, daha önce agrega ikamesi için pek düşünülmeyen mantar endüstrisinden kaynaklanan bir başka yan ürün daha vardır. Bu ürün kabuklu granül mantardır. Yukarıda sözü edilen araştırmaların çoğu, mantar yan ürünleri (doğal veya genişlemiş mantar granülleri, mantar tozu veya mantar tozu) veya genel olarak mantar atığı ile ilgilidir. Bu, yüksek yoğunluğundan dolayı yeterince kullanılmayan bir granül türüdür. Bu özellik, mantar aglomerat endüstrisinde yan ürünü dezavantajlı kılar, çünkü yeterli elastikiyet sağlamaz ve ayrıca dış kabuğunda

odunsu parçacıklar içerir. Sonuç olarak, bu mantar yan ürünün değeri düşüktür. Bu nedenle, bir beton veya harç için karakterizasyonu ve hafif agrega önemlidir. Çünkü bu yan ürüne katma değer sağlama olasılığı anlamına gelir. Kabuklu granül mantar, zorlu ticarileştirmenin doğal bir yan ürünü olan hafif agrega olarak kullanımı, diğerleri arasında çevre dostu bir kullanım olarak düşünülebilir [70, 73, 78].

#### **2.1.1.5. Poliüretan Köpük Katkılı Hafif Harçlar**

Poliüretanlar, her türlü polimerin en hızlı küresel büyümesini gösterecek şekilde büyük ticari öneme sahiptirler. Bu durum, çok farklı formlarda formüle edilip işlenmeleri koşuluyla çok yönlülüğünden kaynaklanmaktadır. Termoplastikler, yumuşak ve sert elastomerler, astar, lifler, esnek, sert ve yarı sert köpükler gibi. Tüm bu olasılıklar arasında, poliüretan köpükler; inşaat endüstrisinde yalıtım malzemesi olarak kullanılan bu özellik, yoğunluklarına ve iç hava boşluklarına bağlıdır. Bu malzemelerin ağırlığı nispeten düşük olsa da, değerler genellikle kabul edilebilir mekanik özelliklerle uyumludur [79, 80].

Poliüretan köpükler gibi bileşiklerin çeşitli miktarlardaki agregaların yerine geri dönüşümlü ve tekrar kullanılabilir bir materyal olarak dahil edilmesi bu nedenle yeni inşaat harçlarının üretiminde büyük ilgi çekmektedir. Özellikleri dikkate alınarak yapılan sonraki çalışmalar ve dayanıklılık analizleri, bu bileşiklerin zaman içinde sahip olacağı davranışı test etmek için temel oluşturmuştur. Şu anda, harçlarda çimento ile değiştirmek veya birleştirmek için farklı agregalar kullanılmaktadır [81]. Bu nedenle, birçok hafif malzeme, harçlarda, düşük yoğunluklu ve daha iyi işlenebilirliğe sahip olan agregalar olarak kullanılır. Ayrıca poliüretan; perlit, genleşmiş cam veya içi boş mikro küreler gibi diğer geleneksel hafif malzemelerden potansiyel olarak çok daha esnek ve hidrofobik olan ve daha sonraki su emme oranlarını kontrol etmek için faydalı olabilecek hafif bir malzemedir [82–84].

Soğutma endüstrisinden beyaz poliüretan köpüklü hafif harçların hazırlanması, bir yandan, büyük miktarlarda üretilen bir atık ürünün yeniden değerlendirilmesine ve diğer taraftan önemli miktarlarda kum tasarrufuna katkıda bulunmaktadır. Bu tip duvar

harcı, yapılacak olan kullanıma bağılı olarak büyük miktarlarda poliüretan köpük içerebilir. Bu durum agreganın tamamını poliüretan köpük ile değıştirilebileceğı anlamına gelir. Hafif poliüretan köpük harçlar, genel olarak işlenebilirliğı arttırmak için faydalıdır. İşleme gibi uygulamalarda faydalı olabilecek iyi bir kıvam elde etmek amacıyla gerekli olan su miktarının azalmasını sağlar [80].

#### **2.1.1.6. Köpüklü Plastik Atık Agregalardan Yapılmış Hafif Harçlar**

Doğal agregaların harç ve beton üretiminde değıştirilmesi, yapı malzemelerinin üretiminde doğal kaynakların tükenmesini azaltmak için ana sorunlardan biridir. Yol ıslahından kırılmış asfalt, dökme demir endüstrisi yan ürünleri, elektrik ark ocağı cürufu ve mermer endüstrisinden geri dönüştürülmüş kireçtaşı dolgusu çevre dostu harç ve betonların üretimi için alternatif olarak kullanılmaktadır [85]. Daha yakın zamanlarda, polimerik atık bazlı malzemelerin doğal agrega olarak betonda yer değıştirmesi amacıyla kullanılması, esas olarak inşaat endüstrisinde dikkat çekici hale gelen enerji ve çevresel kaygılar tarafından yönlendirilen yeni bir fikirdir [86]. Öte yandan, köpüklü atık plastik içeren hafif agregaların kullanımı belirli beton ve harç kütlelerinin azaltılmasında ümit vaat eden bir çözümü temsil eder [87, 88].

Çevresel açıdan bakıldığında, plastik atık yönetimi çok yönlü malzemelerin en kritik dezavantajlarından biri olduğı için, atık sonu veya tüketim sonrası malzemelerden üretilen hafif agrega kullanımı özellikle incelenir ve bunların kullanım amacı yeni uygulamalar araştırmacılar için yeni alternatifler oluşturmuştur. Bu ölçüde, son on yılda, çeşitli çalışmalar, çimentolu malzemelerde doğal agrega yerine geri dönüşümlü plastik atıkların kullanılmasından kaynaklanan sonuçları göstermiştir [82, 89]. Köpüklü atık plastik içeren hafif agregaların katılması birkaç avantaj sağlar: azaltılmış özgül kütle, iyileştirilmiş termal özellikler, darbe dayanımı, ses yalıtımı özellikleri, yangına dayanıklılık ve dayanıklılık artırma, higro-termal özellikler, sıcaklık ve bağılı nem açısından uygun yaşam koşulları gerçekleştirmek amacı ile dikkate alınması gereken önemli değerlerdir. Tüm plastik atık malzemeleri arasında, gözenekli yapıları, genişletilmiş polimerik agregalar kullanıldığında, ara yüzeysel geçiş bölgesi ve yalıtım özellikleri açısından daha iyi sonuçlar bildirilmiştir [90, 91]. Kauçuk



agregaları içeren çimento esaslı harçların çatlamaya daha az eğilimli olduğunu göstermiştir. Ayrıca, atık plastik malzemelerin, saf polimerlerin yerine harç veya beton agregaları olarak kullanılması, yalıtım malzemeleri de elde etmektir. Sebep sadece çevresel değil ekonomi açısından da fayda sağlamaktır. Araştırmalar, plastik agregalar ve çimento macunu arasında gelişmiş bir bağ olduğunu bildirmiş, aynı zamanda iyi bir dağılım göstermiştir [92, 93].

Köpüklü plastik atık agrega bulunduran hafif harcın yüksek gözenekliliği ve pürüzlü yüzeye sahip olmasından dolayı agregalar birbirine kenetlenmiş olarak bulunur. Bu sayede çimentolu karışım ile daha iyi yapışma sağlamıştır. Hafif harçlardaki gözeneklerin mikro yapısı nedeniyle, aynı zamanda termal iletkenliği ve su buharı geçirgenliğini olumlu yönde etkileyen, kılcal su emilimini azaltan makro gözeneklerde bir artış vardır. Böylece, plastik köpük varlığı harç yoğunluğunu ve termal iletkenliğini azaltır. Doğal kum değişiminin artması ile su buharı direnci önemli ölçüde azalırken, kılcal su emiliminde azalma sağlar. Ayrıca farklı gözenekler sayesinde sülfat saldırısına karşı dirençte de iyi sonuçlar elde edilmektedir. Köpüklü atık plastik içeren hafif harçların üretiminde doğal kumun değiştirilmesi ve yapay agrega üretimi için polimerik atık malzemelerin kullanılabilmesini göstermiştir. Bu değişim daha iyi hidro-termal özelliklere sahip ve kullanılabilir hafif harç oluşumu sağlamıştır [94, 95].

#### **2.1.1.7. Genleştirilmiş Perlit İçeren Hafif Harçlar**

Perlit, %2-5 oranında su içeren riolitik veya dasitik magmanın amorf bir şeklidir ve 900-1000 °C'ye kadar sıcaklık etkisinde kaldığında hafif bir hücreli malzemeye dönüşür. Yapısal elemanlarda kullanımı, dinamik reaktif kütlelerde sonuçta meydana gelen azalmanın, depremlerin etkisini sınırladığı dinamik olarak yüklenmiş elemanlarda gösterilmiştir. Çoğu uygulamada, hafif bir mikro dolgu maddesi olarak Portland çimentosunun yerine veya kumun bir bölümünü değiştirmek için kullanılmıştır. Puzolanik aktivitesi kabul edilmekle birlikte, hafif harçlardaki rolü büyük ölçüde bulunması gereken bir agregadır [96–99].

Düşük yoğunluklu çimento esaslı kompozitler iki kategoriye ayrılabilir: hafif agrega çimento esaslı kompozitler ve köpüklü çimento esaslı kompozitler. İlki ayrıca yapısal hafif beton ve yapısal olmayan harçlar (çoğunlukla yalıtım malzemesi olarak kullanılır) olarak sınıflandırılabilir. Bunlardan köpüklü çimento kompozitleri ve yapısal olmayan harçlar, enerjiyi dağıttıkları için çarpışma yastığına sahiptir. İdeal bir şok emici malzeme, ezilme mukavemetinin sadece bariyerin kalınlığına daha düşük bir limit olarak önemlidir. Yüksek deforme özelliğine sahip olmalıdır. Hücresel katıların tipik yük deformasyon tepkisini görmek mümkündür. Bu durum ezilme mukavemetinin nispeten düşük olduğu, ancak kompozitin büyük ölçüde deforme olduğu durumlarda görülür. Kırma kuvveti, hücre duvarının bükülme kuvveti ile ilgilidir. Burada genel deforme olabilirlik, hücre duvarındaki malzemenin kırılma tokluğuyla ilişkilidir. Çimento esaslı darbe zayıflatıcıların tasarımında, genişletilmiş polistiren, vermikülit ve hava kabarcıkları gibi hafif, hücresel inklüzyonlar değişen derecelerde başarı ile kullanılmıştır [100–102].

Genişletilmiş perlit ve vermikülit ile yapılan hafif agrega betonu, 1960'lı yıllara kadar şok emilimi açısından incelenmiştir. Sıkıştırma altındaki düz harçlarda, genişletilmiş perlit ilavesi, sıkıştırma altında güç ve elastik modül için bir yoğunluk ölçeği etkisine yol açar. Yarı statik yükler altında eğilmeye maruz kalan düz harçlarda, mukavemet ve kırılma tokluğu, karışımın kısmi yoğunluğu ile doğrusal olarak ölçeklenir. Bununla birlikte, darbeli yükleme altında, eğilme mukavemeti ve kırılma tokluğu karışımın yoğunluğuna daha duyarlıdır. Mukavemet ve de elastik modül, harç yoğunluğunun Portland çimentosu macun yoğunluğuna oranı olarak tanımlanan kısmi yoğunluğun küpü olarak ölçeklenir. Hafif çimento esaslı harçlarda, aynı darbe hızı altında yaşanan gerilme oranı, kompozitin yoğunluğuna kuvvetle bağlıdır. İncelenen karışım aralığı için, ağırlıkta iki kat artış, yaşanan stres oranında 20 kat artışla sonuçlandı. Polimer mikrofiberlerle genişletilmiş perlit içeren hafif harçların güçlendirilmesi, bükülme mukavemeti ve kırılma tokluğunun stres oranı hassasiyetini etkiler. Bükülme mukavemeti hızla daha duyarlı hale gelirken, ikincisi liflerin varlığında stres oranına daha az duyarlı olarak görülmüştür [102–104].

### **2.1.1.8. Kil Agregaya Katkılı Hafif Harçlar**

Geri dönüşümlü agregaların doğal agregaların yerine kullanılmasının araştırılması, ince agregaların bir kenara bırakıldığı yapısal betonlarda ve bazı agregaların birleştirilebileceği yapısal betonlarda olduğu gibi, çeşitli uygulamaların bulunduğu agregaya üzerinde yoğunlaşmıştır. İnşaat yıkım atıklarının %20 ve %50'si geri dönüştürülmüş agreganın bir başka sınıflandırmasıdır. Bu parametrenin, agregaya kalitesini belirlerken belirleyici olduğu ve bunun dahil olduğu beton ve harç üzerindeki etkisine bağlı olarak görevi belirlenir [105, 106].

Genleşmiş kil, 1200 °C'nin üzerindeki sıcaklıklara maruz kaldığında doğal olarak genişleyen bir davranış sergileyen doğal killerle üretilen, hafif harçlarda kullanılan agregalardan biridir. Şekilleri küreseldir ve oldukça gözenekli ve siyah renkli olan iç mekânın aksine kapalı ve zor gözenekli bir dış yüzeye sahiptir. Diğer işler için agregalar, geri dönüştürülmüş polimer atıklarıyla değiştirilen hafif taş duvar harçlarının imalatında ezilir [83, 107, 108].

Hafif harçlar için ek bir malzeme olarak genişletilmiş kilin eklenmesi, su-çimento oranını düşürür, geri dönüşümlü agregaya karışımları eklenerek nötrleştirilmiş olan olumlu bir etki sağlar. Geri dönüşümlü agregaya eklenirken su/çimento oranında oluşan artış, hem harç yapısını hem de özelliklerini belirleyen koşullardan olan, malzemelerinin bir fonksiyonuydu.

Genleşmiş kilin harç karışımlarına katılması, özelliklerinden dolayı hapsolmuş havanın içeriğinde bir artışa neden olur ve içeriğine havanın yapışması nedeniyle, geri dönüştürülmüş agregaya miktarında artış olmasına neden olur [13].

## **2.2. Vermikülit**

Günümüzde, özellikle bina yapılarında uygulama için, yüksek sıcaklığa dayanacak yapı malzemelerinin geliştirilmesine ilgi artmaktadır. Özellikle yangın olayları sırasında, inşaat malzemelerinin yüksek sıcaklıklarına karşı direnci çok önemlidir. Örneğin, beton veya çimento esaslı malzemelerde, yangın hasara neden

olabilir veya daha kötüsü, parçalanma riski nedeniyle bina yapılarının bozulmasına ve önemli miktarda malzeme mukavemetine neden olabilir .

Buna göre, yükseltilmiş sıcaklığa karşı arttırılmış dirençli sıva harçları, yukarıda belirtilen endişeler için bir çözüm sağlayabilir. Metotlardan biri, harca termal olarak kararlı ve gözenekli agrega eklenmesidir. Bunun nedeni, geleneksel olarak kullanılan silisli agreganın, yaklaşık 570 °C'lik bir sıcaklıkta soruna ve 700 °C'nin üzerindeki bir sıcaklıkta karbonatlaşmaya yol açması ve böylece önemli bir mukavemet kaybına neden olmasıdır [109] . Geçmişte, pomza, scoria, genişletilmiş kil, hurma yağı klinker, yağ hurma kabuğu ve plastik agrega gibi çeşitli gözenekli hafif agrega malzemeleri içeren beton yüksek sıcaklıklara maruz kaldıklarında performansı değerlendirmek amacıyla araştırılmıştır [110–113]. Son zamanlarda, yoğunluğu çok düşük olan vermikülit, perlit ve genişmiş polistiren agregaları gibi yapısal olmayan hafif agregalar, çimento bazlı harçlara kısmi kum değişimi olarak eklenmiştir. Bu malzemelerin en büyük avantajı, gözenekli yapıları nedeniyle iyi yalıtım özellikleridir . Bu agregaları içeren çimento esaslı malzemelerin gelişmiş ısı yalıtım performansı birçok çalışma ile kanıtlanmıştır [114, 115].

Buna dayanarak, gözenekli yapı nedeniyle bu malzemelerden sıva harçlarında yüksek ısı etkisinde uygulandığı bölgede sağladığı direnç etkisi ile kullanılması potansiyeli de vardır [116]. Vermikülit, mika değişimi ile oluşan ve pul şeklinde ortaya çıkan, hidratlanmış magnezyum-alüminyum-demir silikattır. 900 °C ve üstü değerlerde sıcaklığa maruz bırakılarak pul pul dökülürse, su serbest bırakılır ve pullar çok hafif gözenekli malzemeye yayılır . Elde edilen genişletilmiş vermikülit ısıya dayanıklı olarak kabul edilir ve iyi ses ve ısı yalıtımı özellikleri sergiler [117].

Mineralojik gruplar içerisinde tek başına bir temsil oluşturan vermikülit, genişleme özelliği ile endüstriyel gruplarda mika grubu olan hidrobiotit, flogopit, biotit ve benzeri mineralleri içeren malzeme olarak tanımlanmaktadır [118]. Vermikülit, aynı zamanda tabakalı bir yapıda ve yapısında sulu magnezyum, alüminyum, demir silikat bileşimi olan bir kil minerali olarak da bilinmektedir [119].

Doğada oluşma ve bulunma durumuna göre toprak vermikülit, metaformik vermikülit, otojenik vermikülit, makroskopik vermikülit olarak dört çeşit vermikülit bulunmaktadır [120]. Vermikülit renk olarak açık kahve, grimsi, yeşil ve siyah olarak görülebilen bir kayadır. Vermikülitin Dünya üzerinde bulunduğu bölgeye göre kimyasal analizi Tablo 2.1’de verilmektedir [118].

**Tablo 2.1** Ticari Değerleri Olan Vermikülitlerin Kimyasal Analizleri [118]

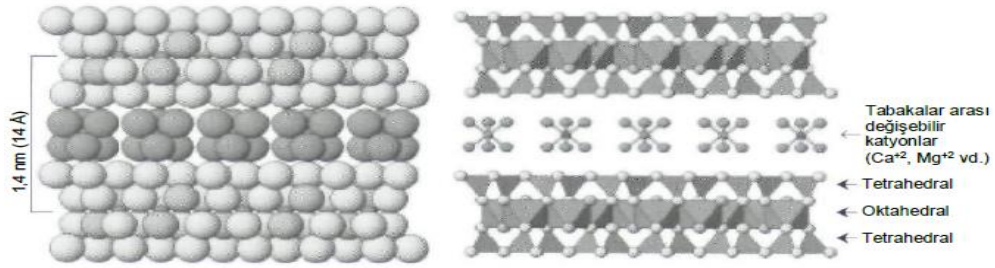
	Enoree (ABD)	Louisa, Virjinya (ABD)	Güney Afrika	Brezilya	Çin	Kovdor (Rusya)
Li <sub>2</sub> O	-	0.01	0.03	-	-	-
Na <sub>2</sub> O	-	1.72	0.80	0.10	1.61	0.03
K <sub>2</sub> O	4.42	6.63	2.46	0.50	5.97	2.56
MgO	20.04	16.38	23.37	23.60	24.22	21.39
CaO	0.75	1.12	1.46	3.80	0.93	0.20
BaO	0.12	-	-	0.20	-	0.03
MnO	0.07	0.14	0.30	-	0.05	-
FeO	-	-	1.17	-	1.54	3.56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.36	12.85	12.08	10.20	12.68	10.01
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.50	0.23	-	-	-	0.20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.45	8.80	5.45	5.80	4.60	1.90
SiO <sub>2</sub>	38.66	38.34	39.37	45.10	41.20	43.05
TiO <sub>2</sub>	-	1.66	1.25	0.70	1.38	1.00
H <sub>2</sub> O (toplam)	8.71	10.66	11.20	10.20	5.82	15.70
TOPLAM	98.61	99.34	98.97	100.00	99.99	99.40

Mohs ölçeğine göre 1,2 ile 2,0 arasında sertlik gösteren vermikülit özgül ağırlık olarak ise 2,4-2,8 gr/cm<sup>3</sup> aralığında olduğu tespit edilmiştir [118]. Şekil 2.1’de işlenmemiş ham vermikülit örneği gösterilmiştir



**Şekil 2.1** İşlenmemiş Ham Vermikülit [121]

İri taneli iyi kristallenmiş vermikülitler trioktahedral yapıda oluşmakta iken kil boyutunda toprak içerisinde bulunan vermikülitler dioktahedral ve trioktahedral yapıda oluşabilmektedir [119].



**Şekil 2.2.** Vermikülit Tabakasının Görünümü [122]

Vermikülit bünyesinde bulunan su kristallerinin ani olarak buharlaşması ile oluşan buhar basıncının neticesinde karakteristik genişleme oluşmaktadır. Bu genişlemenin sebebi ise vermikülitin yüksek ısıya maruz kalmasının ardından biranda soğutulması ile ısı şoku etkisinde kaldığı için hacimce genişerek uzamasıdır. Vermikülitte oluşan genişlemeye sebep olan başka bir parametre, vermikülitin kimyasal yapısı ve yaprakları arasında kalan suların moleküler olarak hangi bağ çeşidi ile yapraklara tutunduğudur.

Vermikülitte oluşan bu genleşmeler sonunda malzemenin yığın yoğunluğu  $0,8 \text{ g/cm}^3$ 'den  $0,08 \text{ g/cm}^3$ 'e düşmektedir. Vermikülitin genleşmesinin yapıldığı fırının performansı ve kalitesi yığın yoğunluğundaki düşüğe sebep olmakta ve sıcaklık etkisinde kaldıktan sonra 30 katlık bir genleşme görülebilmektedir [118, 123].

Yüksek sıcaklığa maruz kalan vermikülitin renginde değişiklik olabilir. Şekil 2.3'de Genleştirilmiş vermikülit verilmektedir.



**Şekil 2.3** Genleşmiş Vermikülit [124]

Dünya üzerinde bulunan vermikülit miktarlarının toplam 50-60 milyon ton olarak tahmin edilmektedir. Fakat bu miktar literatürde farklılık gösterebilmektedir [118, 125]. Bunun yanı sıra vermikülit dünya pazarında farklı kalitede, yoğunlaştırılmış veya genleşmiş olarak kedisine yer bulduğu için üretimle ilgili ülkeler ve dünya bazında farklı bilgilere çeşitli kaynaklarda rastlanmaktadır. Ayrıca farklı kalitede ve konsantre olarak ya da genleştirilmiş halleri de tercih edildiği için vermikülit üretimi ile ilgili ülkeler arasında çeşitli kaynaklar ve bu kaynaklarda farklı bilgiler yer almaktadır. USGS (United States Geological Survey) tarafından Dünya çapında önemli üreticilerden elde edilen vermikülit üretim değerlerinin yıllar içinde dağılımı Tablo 2.2.'de verilmektedir [119].



**Tablo 2.2.** Vermikülit Üreticilerinin Toplam Dünya Vermikülit Üretim Değerleri  
(Bin ton) [119]

	1994	2004	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Amerika Birleşik Devletleri	180	100	100	100	100	100	100	100
Brezilya		26	19	20	35	50	50	55
Çin		100	120	120	120	120	15	50
Hindistan					13	13	13	20
Rusya	40	25	25	25	25	25	25	25
Güney Afrika Cumhuriyeti	223	195	200	193	198	170	140	130
Uganda					4	20	8	12
Diğer ülkeler	43	64	56	46	41	44	29	30
<b>Toplam</b>	<b>486</b>	<b>510</b>	<b>520</b>	<b>504</b>	<b>536</b>	<b>542</b>	<b>380</b>	<b>422</b>

Türkiye’de vermikülitin zengin rezervlere sahip olduğu öğrenilmiştir. Ancak çalışmaların yetersizliği, ülkemizde pek bilinmemesi ve bu nedenle yatırım yapılmayı ve pazar oluşturamaması sebeplerinden dolayı bulunan rezervler henüz değerlendirilememiştir. Ülkemizde bulunan vermikülit yatakları Sivas-Yıldızeli-Karakoç, Eskişehir-Sarıcakaya, Malatya-Darende-Kuluncak ve Elazığ-Harpur-Arduçluk’ta bulunmaktadır. Malatya-Darende-Kuluncak’ta bulunan vermikülit incelendiğinde genişleme oranı düşük olduğu tespit edilmiştir. Burada bulunan rezerv miktarı 6-7 milyon ton arasında değişmektedir. Sivas-Yıldızeli-Karakoç vermikülitinin ise genişleme özelliği iki çeşit olarak tespit edilmiştir. Genişleme özelliği iyi olan vermikülit rezervi 2750000 ton olduğu ve genişleme özelliği daha düşük kaliteli muhtemel vermikülit rezervinin 2475000 ton olduğu görülmüştür. Diğer vermikülit bölgeleri hakkında detaylı bilgi bulunamamıştır. [118, 125, 126]

Genişleme oranı ortam koşullarının da etkisi ile 13-18 kat aralığında farklılık göstermektedir. Elde edilen vermikülitin sınıflandırılması elde edilen yığın yoğunluğu baz alınarak yapıldığında vermikülit kalitesinin 2. Sınıf olduğu görülmüştür. [127]

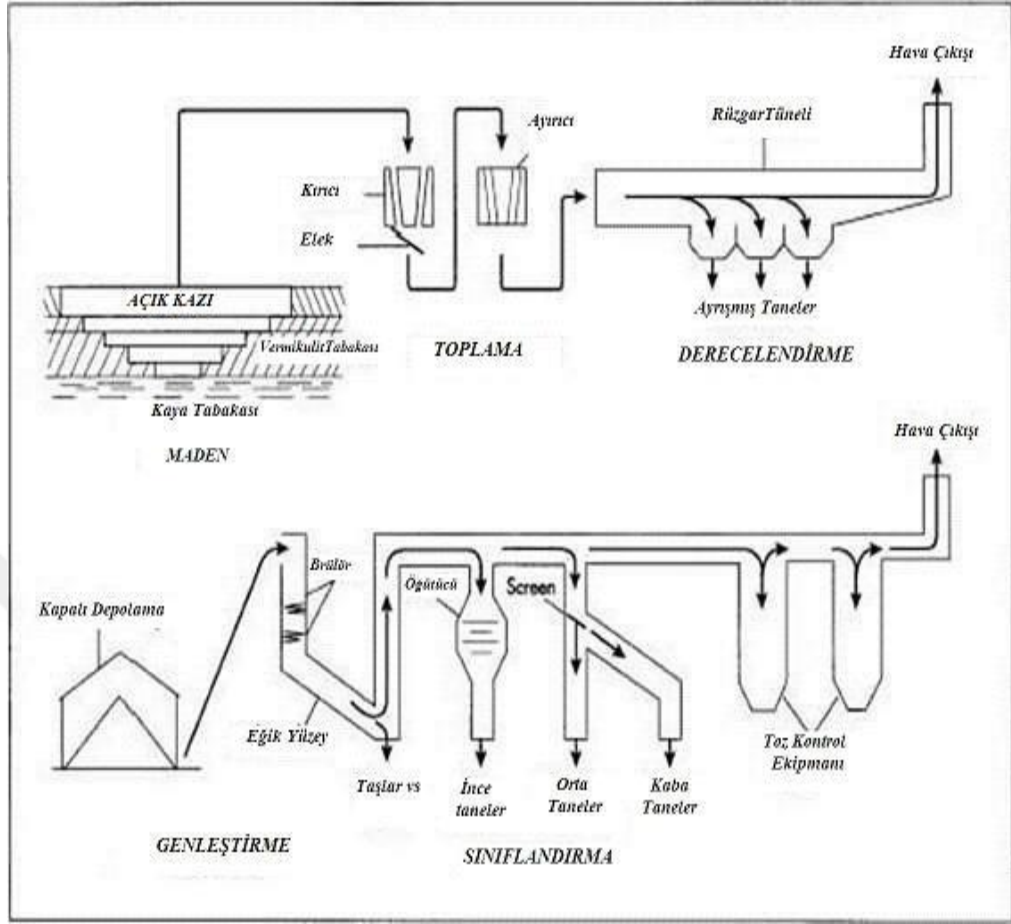


Kullanım alanlarına göre dünya üzerindeki vermikülit üretimi değerlendirildiğinde %55'i tarım malzemesi olarak, %16'sı hafif agrega olarak %23'ü yalıtım malzemesi olarak üretilmekte ve %16'sıda diğer alanlarda kullanıldığı görülmüştür. [119]

### **2.2.1. Genleştirilmiş Vermikülit Üretim Yöntemleri**

Günümüzde üretim yapılan mevcut vermikülit yataklarında üretim yöntemi olarak açık ocak işletmeciliği kullanılmaktadır. Üretim yapılan bu yataklarda vermikülit zenginleştirme işletilen ocaklara en yakın bölgelerde kurulan cevher zenginleştirme üniteleri ile yapılır. Bu işlem sonrasında ise vermikülitte genleştirme işlemi uygulanır. Ocaktan çıkarılan vermikülit cevheri primer kırıcılar yardımı ile kırılır. Kırma işleminden sonra harmanlama yapılmaktadır. Harmanlama işlemi yaş elek yöntemi ile yapılarak fraksiyonlarına ayrılmaktadır [118].

Vermikülit yaş elek yöntemi ile yapılan harmanlama işleminden sonra konsantreler bir araya getirilir, kurutulur ve tane boyutlarına göre ayrıştırılır. Boyutlarına göre ayrıştırılan vermikülitler genleştirme ünitelerine gönderilir. Vermikülit nemi içerisinde hapsedme özelliğine sahip olduğu için depolama işleminin yapılacağı mekânlar büyük önem taşımaktadır. Vermikülit depolama işleminde gerekli hassasiyet gösterilmezse şayet genleştirme işleminde maliyet artmasına sebep olur. Ham vermikülit genleştirmek amacıyla 6-7 m yüksekliğinde içi seramik veya tuğla kaplı yüksek fırınlara çıkarılmaktadır. Vermikülitin fırına ilavesi yukarıdan yapılmakta, malzeme fırın içerisindeki levhalardan düşerken malzemeye ateş etkimektedir. Bu işlem ile genişmesi sağlanan malzeme bir fan yardımı ile belirli bölgede toplanarak siklon ile ayrımı yapılmaktadır. 1000 °C'ye kadar sıcaklık etkisinde kaldığında genişleme ünitesinde 4-8 saniye bekletilmekte ve bu bekleme anında ani ısı yöntemi ile genişmesi sağlanmaktadır. Bu işlem tamamlandıktan sonra genişmiş olan malzeme genleşmemiş olan malzemedan harmanlama yöntemi ile ayrıştırılır. Genleşmemiş malzeme tekrar aynı işleme tabii tutularak işlem tekrarlanır. İşlem sonunda elde edilen genişmiş malzeme torbalama işleminden sonra alıcısına ulaşmaya hazır hale gelmiştir [118, 119]. Şekil 2.4'de vermikülitin üretim aşamaları şematik olarak gösterilmiştir. [128]



Şekil 2.4 Vermikülitin Üretim Aşamaları [128]

### 2.2.2. Genleştirilmiş Vermikülitin Kullanım Alanları

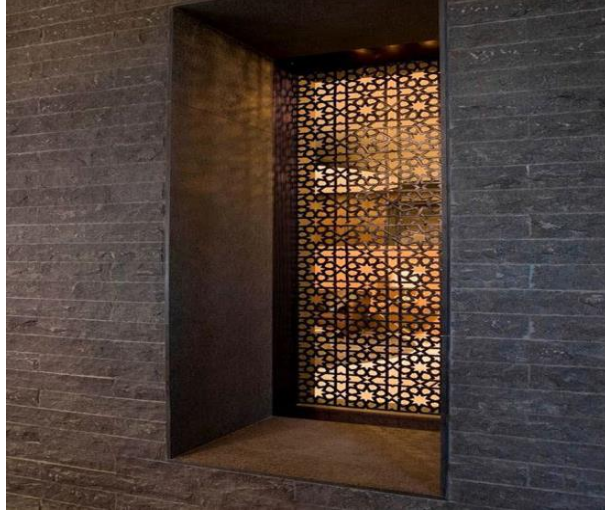
Ham hali ile kullanımı hayli zor olan Vermikülitin endüstri alanında daha çok genleştirilmiş hali tercih edilmektedir [118]. Genleştirilmiş vermiculit kimyasal açıdan bakıldığında ısı ve ses yalıtma özelliklerine sahip olduğu için ve iyon değişimi özelliği sayesinde genel olarak inşaat (boyalarda, kompozit ve seramik malzeme bileşimlerinde) ve tarım sektörlerinde kullanılmaktadırlar. Bunların yanı sıra refrakter sanayinde, ambalajlamada, otomotiv sektöründe ve hayvan yemlerinde de genleştirilmiş vermiculite rastlamak mümkündür. Aynı zamanda genleştirilmiş vermiculitin çeşitli metal iyonlarını ve yağları tutuma özelliği sayesinde atık suların

kısmen temizlenmesini de sağlamaktadır [118, 122, 129–131]. Aşağıda vermikülitin başlıca kullanım alanları ve kullanımlara ait bazı görseller verilmiştir [132].

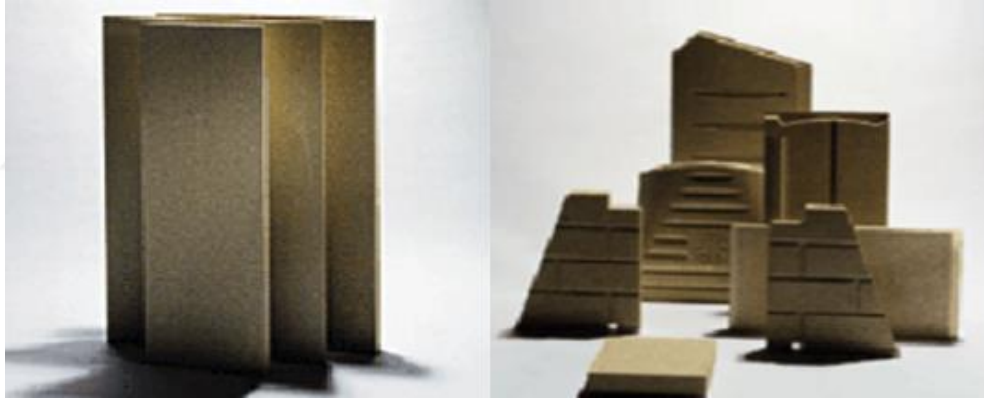
- Hafif betonlar ve harçlar
- Gevşek yalıtım dolgularında
- Vermikülit sıvalarında
- Yangına karşı koruyucu malzeme olarak
- Seracılıkta
- Sürtünme balatalarında
- Yapılandırma ve ısı yalıtımında
- Yüzme havuzu yalıtımında
- Özel kaplama conta ve keçelerde
- Paketleme makinelerinde
- Hayvan yemi olarak



**Şekil 2.5** Vermikülitin Seracılıkta Kullanımı [133]



**Şekil 2.6** Vermikülit Katkılı Hafif Sıva Uygulaması [134]



**Şekil 2.7** Vermikülit ile Üretilmiş Yanmaz Panel ve Bloklar [135]



**Şekil 2.8** Vermikülit ile Üretilmiş Gevşek Yalıtım Dolgu İzolasyon Malzemesi  
[136]

### **3. DENEYSEL ÇALIŞMA**

Genleştirilmiş vermikülitin hacimsel olarak Vermikülit/Çimento oranı 3, 4, 5 ve 6 olarak oluşturulan harçların deneysel çalışma ile yüksek sıcaklığa dayanımları araştırılmıştır. Bu çalışmada portland çimento ve alüminatlı çimento olmak üzere iki farklı çimento ile numune üretimi yapılmıştır. Aynı zamanda 20 °C, 300 °C, 600 °C, 900 °C ve 1100 °C olmak üzere 5 adet sıcaklık değeri değişken olarak alınmıştır. Her deney sıcaklığı için 4 seri portland çimento ile 4 seri alüminatlı çimento ile olmak üzere 8 seri harç üretilmiştir. 24 saat kalıpta kalan numuneler kalıptan çıkarıldıktan sonra standart kür süresi olan 28 gün boyunca su içerisinde bekletilerek gerekli ölçümler yapıldıktan sonra yüksek sıcaklık etkisinde bırakılmıştır. Yüksek ısıya maruz bırakılan numuneler laboratuvar ortamındaki referans numuneler üzerinde fiziksel özelliklerin tayini için birim ağırlık, su emme, boşluk oranı, ultrases hızı ve ısı iletkenlik deneyleri, mekanik dayanımların belirlenmesi için ise basınç ve eğilme dayanım deneyleri yapılmıştır.

#### **3.1. Kullanılan Malzemeler**

Çalışma için alüminatlı çimento ve CEM I 42,5 R Çimento olarak iki çeşit çimento kullanılmıştır. Çimento, genleştirilmiş vermikülit ve suyun karışımından oluşan hafif harçlar hazırlanmıştır.

##### **3.1.1. Çimento**

Çalışmada kullanılan CEM I 42,5 R Tipi Portland Çimentoya ait kimyasal, fiziksel ve mekanik veriler Tablo 3.1’de, Alüminatlı Çimentoya ait mekanik, kimyasal ve fiziksel veriler 3.2’de gösterilmiştir.

**Tablo 3.1** CEM I 42,5 R Tipi Çimento Özellikleri

Kimyasal Bileşim	%	Fiziksel Özellikler	
CaO	62,09	32 $\mu$ altı (%)	18,55
SiO <sub>2</sub>	18,44	45 $\mu$ altı (%)	8,12
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,50	Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	3,08
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,18	Özgül yüzey Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	3088
SO <sub>3</sub>	3,64	Priz başı, dakika	166
MgO	2,24	Priz sonu, dakika	216
K <sub>2</sub> O	1,06		
Na <sub>2</sub> O	0,12		
Çözünmeyen kalıntı	0,39		
Kızdırma kaybı	3,34		

**Tablo 3.2** Alüminatlı Çimento Özellikleri

Kimyasal Bileşim	
Bileşen	(%)
CaO	36,41
TiO <sub>2</sub>	2,36
SiO <sub>2</sub>	4,72
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	36,56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,10
SO <sub>3</sub>	0,00
MgO	1,26
K <sub>2</sub> O	0,13
Na <sub>2</sub> O	0,24
Çözünmeyen kalıntı	1,08
Kızdırma kaybı	0,14
Fiziksel Özellikler	
32µ altı (%)	37,75
45µ altı (%)	28,86
Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	3,20
Özgül yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	3053
Mekanik Özellikler	
6 saatlik basınç dayanımı	47 MPa
24 saatlik basınç dayanımı	70 MPa



### 3.1.2. Genleştirilmiş Vermikülit

Karışımlarda kullanılmak üzere alınan vermikülitin genleştirilmesi işlemi ocaktan çıkarılan ham vermikülit 600 °C sıcaklık etkisinde kalmış fırınlarda 10sn bekletilerek gerçekleştirilmiştir. Vermikülit ham halde Sivas-Yıldızeli-Demircilik yatağından çıkarılmıştır.

Çalışmada harç agregası için kullanılmış olan genleştirilmiş vermikülit fiziksel verileri Tablo 3.3’de verilmektedir. Kullanılan vermikülitin kimyasal verileri ise Tablo 3.4’de, tane dağılımı sonuçları ise Tablo 3.5’te verilmektedir.

**Tablo 3.3** Genleştirilmiş Vermikülitin Fiziksel Özellikleri

Renk	Altın
Şekil	Akordeon
Su Tutma Kapasitesi	% 240 (ağırlıkça)
	% 28 (hacimsel)
Kasyon Değişim Oranı	50 - 150 meg / 100 gr.
Isı İletkenliği	0,065 - 0,062 W/m.K
Geçirgenlik	95%
Sinterlenme Noktası	1150 °C - 1250 °C
Ateşe Dayanıklılık	Yanmaz
Spesifik Isı	0,20 - 0,26 Kcal / Kg°C
Sıkışık Birim Hacim Ağırlık	0,147 gr/cm <sup>3</sup>

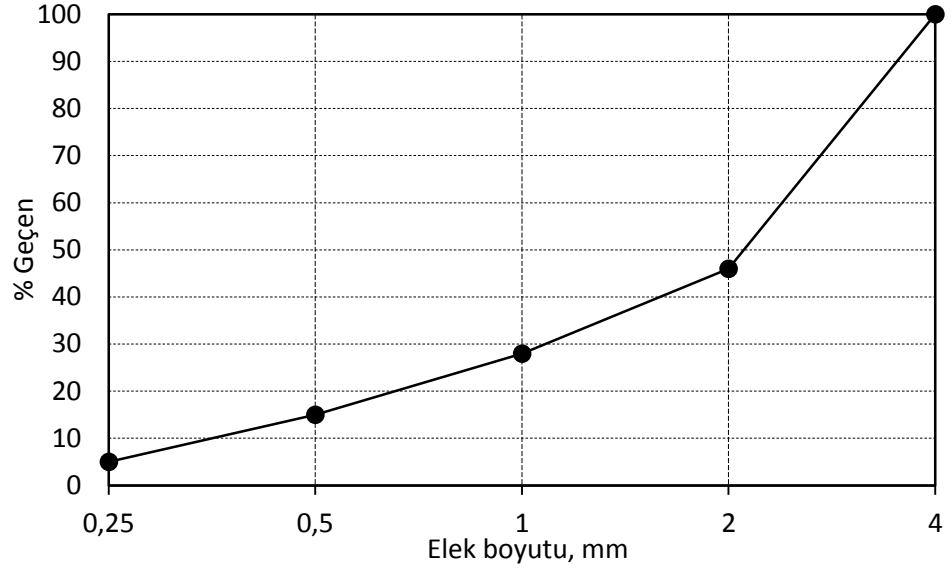
**Tablo 3.4** Genleştirilmiş Vermikülitin Kimyasal Özellikleri

Bileşik	%
Silisyum (SiO <sub>2</sub> )	35,4
Alüminyum (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	17,8
Potasyumoksit (K <sub>2</sub> O)	4,68
Kalsiyumoksit (CaO)	6,9
Magnezyum (MgO)	17,3
Demiroksit (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	16,7
Ph	8,1
Diğer	0,2-1,2

**Tablo 3.5** Genleştirilmiş Vermikülitin Elek Analizi Değerleri

Elek No.	Elekten Geçen %
4	100,0
2	24,6
1,6	11,5
1	8,1
0,5	2,4
0,25	1,4
0,125	0,2

Harç üretiminde kullanılan genleştirilmiş vermikülitin granülometrisi grafiksel olarak Şekil 3.1’de verilmiştir. Aynı zamanda genleştirilmiş vermikülit Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.1** Çalışmada Kullanılan Vermikülitin Granülometrisi



**Şekil 3.2** Çalışmada Kullanılan Genleştirilmiş Vermikülit

### 3.1.3. Karışım Suyu

Çalışmada harç içerisinde kullanılan su sıcaklık değeri +20 °C ( $\pm 3$  °C) olarak belirlenen musluk suyudur.

### 3.2. Karışım Oranları

Karışımlar oluşturulurken standartlarda verilen oranlar dikkate alınmıştır. Karışım oranlar hacimce Vermikülit/Çimento değeri 3, 4, 5 ve 6 olan numune üretimi yapılmıştır. Harçlar portland çimento ve alüminatlı çimento olmak üzere iki farklı çimento ile üretilmiştir. Belirlenen oranlarda her sıcaklık değeri için numune üretimi yapılmıştır. Her V/Ç oranında iki farklı çimento içeriği ile 5 farklı sıcaklık değeri için ve her değerde bir seri olmak üzere toplamda 40 seri harç numunesi üretilmiştir. Karışım oranları Tablo 3.5 ve 3.6’da verilmektedir

**Tablo 3.6** Portland ve Alüminatlı Çimento İçin Harç Karışım Miktarları

Karışım Kodu	Vermikülit/Çimento (Hacimce)	Çimento (g)	Su (g)	Vermikülit Tozu (g)
VÇ3-T20	3	7031	7425	1553
VÇ3-T300		7031	7425	1553
VÇ3-T600		7031	7425	1553
VÇ3-T900		7031	7425	1553
VÇ4-T20	4	5625	7830	1656
VÇ4-T300		5625	7830	1656
VÇ4-T600		5625	7830	1656
VÇ4-T900		5625	7830	1656
VÇ5-T20	5	4688	8325	1725
VÇ5-T300		4688	8325	1725
VÇ5-T600		4688	8325	1725
VÇ5-T900		4688	8325	1725
VÇ6-T20	6	4018	8357	1774
VÇ6-T300		4018	8357	1774
VÇ6-T600		4018	8357	1774
VÇ6-T900		4018	8357	1774

Her bir karışım oluşturulurken öncelikle vermikülit bir miktar su ile karıştırıldı ve daha sonra üzerine çimento eklenerek az miktarda su ilave etmek suretiyle gerekli kıvam alana kadar su eklenmeye devam edildi. Karışımlar harç mikseri ile karıştırıldı.

### **3.2.1. Numunelerin Üretimi**

Çalışma için oluşturulan bütün oranlar için yani vermikülit/çimento oranı 3,4,5,6 olan ayrı ayrı karışımlar yapılarak standart harç kalıplarına yerleştirilmiştir. Bu kalıplar 40x40x160mm ölçülerinde prizma numune üretiminde kullanılmıştır. Bu numunelerden 20 °C, 300 °C, 600 °C ve 900 °C sıcaklık değerleri için 4 grup portland çimento ile 4 grup alüminatlı çimento ile olmak üzere 8 farklı karışım oranından 40 set, toplamda ise 120 adet numune üretilmiştir.

Dökümü yapılan numuneler 1 gün sonra kalıplardan çıkarılarak 28 gün boyunca kür havuzunda  $22 \pm 3$  °C sıcaklıkta bulunan su içerisinde kür edilmiştir. Üretilen numunelerin isimlendirmesi vermikülit/çimento oranı ile numune oluşumunda kullanılan çimento ve uygulanacak sıcaklık değeri belirtilmek sureti ile yapılmıştır. Örneğin P-VÇ5-T300-2 portland çimento ile hazırlanmış vermikülit/çimento oranı 5 olan 300 °C sıcaklıkta bırakılacak 2. Numuneyi ifade etmektedir. Yine aynı şekilde A-VÇ3-T900-1 isimlendirmesi alüminatlı çimento ile hazırlanmış vermikülit/çimento oranı 3 olan 900 °C sıcaklık etkisinde kalacak olan 1 numaralı numune anlamına gelmektedir. Bu çalışmada T20 ile gösterilen numuneler oda sıcaklığında bulunan ve başka sıcaklık etkisinde bırakılmamış olan referans numunelerdir. Şekil 3.3'de harç makinasında karıştırılmış harçların kalıplara yerleştirilmiş hali görülmektedir. Şekil 3.4'de ise 1 günün sonunda numunelerin kalıptan çıkarılması gösterilmektedir.



**Şekil 3.3** Kalıplar Yerleştirilmiş Karışımlar



**Şekil 3.4** Numunelerin 24 Saat Sonunda Kalıptan Çıkarılması



**Şekil 3.5** Numunelerin 28 Gün Sonunda Kür Havuzundan Çıkarılması

### **3.3. Deneysel Yöntemler**

#### **3.3.1. Taze Harç Deneyleri**

##### **3.3.1.1. Birim Ağırlık Deneyi**

Numunelerin üretimi esnasında TS EN 12350-6’da bulunan Beton-Taze Beton Deneyleri – Bölüm 6: Yoğunluk başlığı altında belirtilen esaslara göre birim ağırlık deneyleri yapılmaktadır.

##### **3.3.1.2. Yayılma Tablası Deneyi**

Harç makinasında karıştırılan harçların kıvamlarının uygun olup olmadığını belirlemek için taze harçlar üzerinde TS EN 1015-3’te bulunan “Kargir harcı - Deney Metotları - Bölüm3: Taze harç kıvamının tayini” başlığı altında verilen bilgilere bağlı olarak yayılma tablası deneyi yapılmıştır. Yayılma tablası deneyi Şekil 3.6’da gösterilmektedir.





**Şekil 3.6** Yayılma Tablası Deneyi

### **3.3.2. Numunelerin Sıcaklık Etkisi Uygulaması**

28 gün kür havuzunda tutulan numuneler kür havuzundan çıkarılıp gerekli ölçümler yapıldıktan sonra yüksek sıcaklık fırınında 300 °C, 600 °C, 900 °C ve 1100 °C sıcaklıklarında 3 saat bekletilmiştir. Hedeflenen sıcaklıklara erişmek amacı ile sıcaklık artışı dakikada  $7\pm 3$  °C olmuştur. Yüksek sıcaklık fırını hedeflenen sıcaklıklara ulaştıktan sonra numuneler bu sıcaklık etkisinde 3 saat maruz kalmıştır. Daha sonra numuneler kendiliğinden soğumaya bırakılmıştır ve tekrar oda sıcaklığına gelen numunelere fiziksel ve kimyasal deneyler uygulanmıştır. Numunelerin fırın içerisinde sıcaklık uygulamasından sonraki hali Şekil 3.7’de verilmiştir.





**Şekil 3.7** Numunelerin Sıcaklık Uygulamasından Sonraki Hali

### 3.3.3. Sertleşmiş Harç Deneyleri

#### 3.3.3.1. Kuru Birim Hacim Ağırlık ve Porozite Deneyleri

28 gün kürde kalan oda sıcaklığında ve fırında sıcaklık etkisinde bırakıldıktan sonra laboratuvar ortam sıcaklığında soğuması için bırakılan numuneler üzerinde kuru birim hacim ağırlık, porozite ve su emme oranlarının belirlenmesi amacı Arşimet deneyi yapılmıştır. Arşimet deneyi ile aynı zamanda su içinde tartılarak gerçek hacimleri hesaplanan numunelerin birim hacim ağırlığı (BHA) 3.1 bağıntısı ile, gözeneklilik değeri (P) 3.2 bağıntısı ile, su emme oranı ( $\mu$ ) ise 3.3 bağıntısı ile hesaplanmıştır ve numunelere uygulanan Arşimet Deneyi Şekil 3.8’de verilmiştir.

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

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

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

Bu bağıntılarda bulunan,

$W_0$ : Etiv kurusu ağırlık

$W_1$ : Suya doymun havadaki ağırlık

$W_2$ : Su içerisindeki ağırlık olarak ifade edilmektedir.



Şekil 3.8 Arşimet Deneyi Uygulaması

### 3.3.3.2. Eğilme Dayanımı Tayini

Çalışmada üretilen 40x40x160 mm boyutundaki numuneler, 28 gün kür havuzunda bekletilen sonrasında yüksek sıcaklık fırınında belirtilen sıcaklıklarda 3 saat

bekletildikten sonra soğuyan numunelere TS EN 1015-11 de bulunan kür edilmiş harcın basınç ve eğilme dayanımı tayini deneyinde verilen bilgiler doğrultusunda eğilme dayanımı deneyi yapılmıştır. Şekil 3.9'da numunelere uygulanan eğilme dayanım deneyi kullanılmaktadır.



**Şekil 3.9** Eğilme Deney Düzenegi

Eğilme deneyi aleti 50 N/s hızında yükleme yapmaktadır. Üretilen her karışım oranından 3 adet numune üretilmiş ve deney bu numuneler üzerinde yapılmıştır. Aynı içeriğe sahip 3 adet numunenin deney sonuçları ortalaması alınmıştır. Bu deney sonucunda eğilme dayanımı 3.4 bağıntısı ile hesaplanmıştır.

$$\sigma_e = \frac{1.5PL}{bd^2} \quad (3.4)$$

Bu bağıntıda bulunan,

$P$  : Uygulanan kuvvet (N)

$L$  : Mesnetler arası uzaklık (100 mm)

$b$  : Numune kesitinin kısa kenar uzunluğu (40 mm)

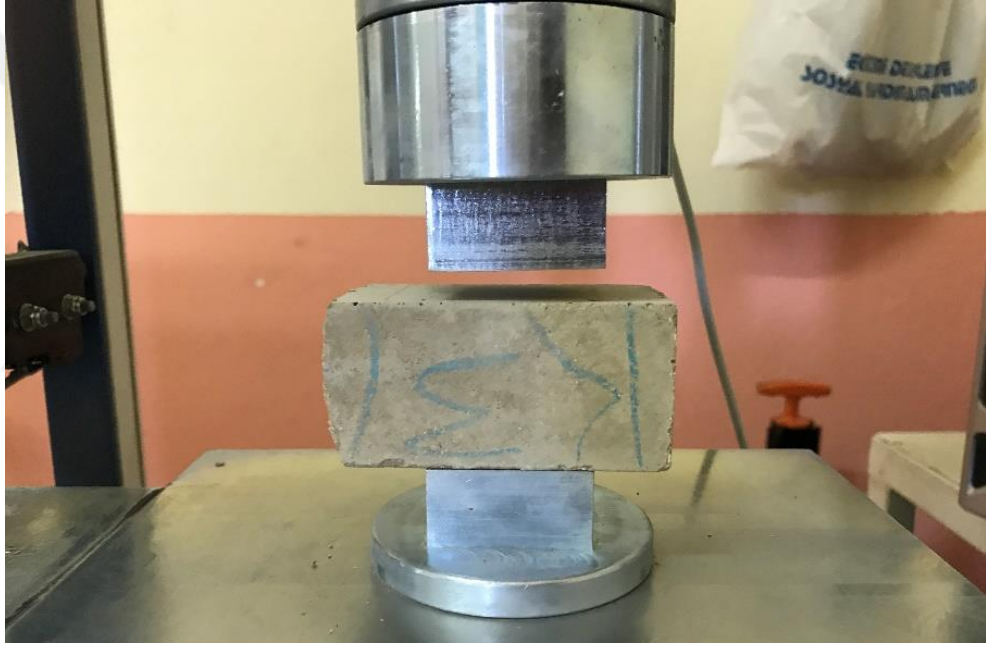
$d$  : Numune kesitinin yüksekliği (40 mm)

$\sigma_c$ : Eğilme dayanımı, MPa

ifade etmektedir.

### 3.3.3.3. Basınç Dayanımı

Çalışma için 40x40x160 mm boyutlarında üretilen numuneler eğilme deneyi sonucunda iki parçaya bölünmüş olan numuneler üzerinde yapılmıştır. Bu numuneler üzerinde TS EN 196-1’de bulunan Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini içeriğinde belirtilen standartlarına uygun olarak basınç deneyi yapılmıştır. Numunelere uygulanan basınç deneyi Şekil 3.10’da verilmiştir.



Şekil 3.10 Basınç Dayanımı Deney Düzenegi

Basınç deneyi için yükleme hızı 50 N/s ve eğilme deneyi sonucunda kırılan numunenin 2 parçaya ayrılması ile elde edilen 6 numune üzerinde uygulanmıştır. 6 adet numuneden elde edilen basınç dayanım deneyi sonuçların ortalaması alınarak 3.5 bağıntısı ile belirlenmiştir.

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

Bu bağıntıda bulunan,

$P$  : Uygulanan kuvvet (N)

$A$  : Kesit Alanı (1600 mm<sup>2</sup>)

$\sigma_b$  : Basınç Dayanımı, MPa

ifade etmektedir.

#### 3.3.2.4. Ultrases Geçiş Hızlarının Belirlenmesi

Yüksek sıcaklıklı fırınlara girmeden önce ve sıcaklık uygulamasının ardından TS EN 12504-4 “Beton deneyleri - Bölüm 4: Ultrasonik atımlı dalga hızının tayini” içeriğine uygun olarak ultrases deneyi yapılmıştır. Deney düzeneği Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.11 Ultra Ses Geçiş Hızının Belirlenmesi

Deneyde, 0,1 µs duyarlıklı ultra ses aleti ile ses geçiş süreleri ölçülmüştür. Ses geçiş hızı ölçüm yapılan numune boyunun kaydedilen geçiş süresine bölünmesiyle elde edilmiştir. Ses geçiş hızı bağıntı 3.6 ile hesaplanmıştır.

$$V_s = \frac{l}{t} \quad (3.6)$$

Bu bağıntıda kullanılan,

$V_s$  : Ultrases geçiş hızını (km/sn)

$l$  : İki tranduser arası mesafeyi (160 mm)

$t$  : Ultrases geçiş süresi ( $\mu$ s)

ifade etmektedir.





#### 4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Deneysel çalışma için üretilen prizma numuneler kür işlemine tabi tutulduktan sonra yüksek sıcaklık fırınlarında 300 °C, 600 °C, 900 °C ve 1100 °C sıcaklıkları etkisinde bırakılmıştır. Bütün sıcaklıklarda 3 saat bırakılan numuneler oda sıcaklığında soğutulmuştur. Şekil 4.1, 4.2, 4.3'te sıcaklığa maruz bırakılmış ve soğutulmuş numuneler verilmektedir. Soğutulmuş numuneler ile referans amaçlı oda sıcaklığında bekletilen numunelere standartlara uygun olarak kuru birim ağırlık, su emme, boşluk oranı, basınç deneyi, ultra ses geçiş hızı, eğilme deneyi yapılmış ve sonuçlar alınmıştır.



Şekil 4.1 Numunelerin 300 °C Sıcaklığa Maruz Bırakıldıktan Sonraki Durumu



Şekil 4.2 Numunelerin 900 °C Sıcaklığa Maruz Bırakıldıktan Sonraki Durumu

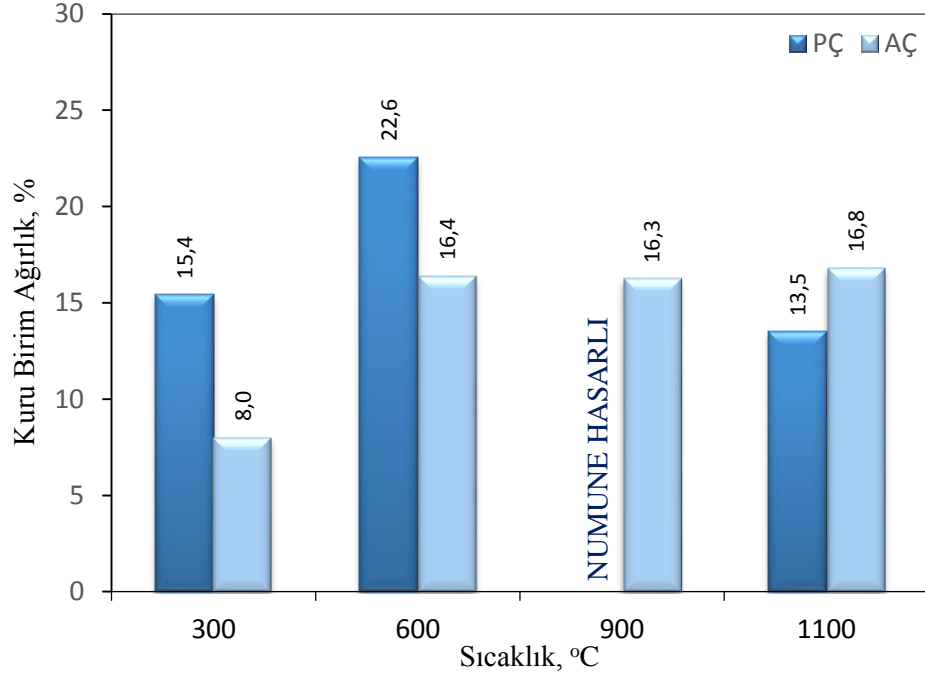


Şekil 4.3 Numunelerin 1100 °C Sıcaklığa Maruz Bırakıldıktan Sonraki Durumu

#### 4.1. Kuru Birim Hacim Ağırlık

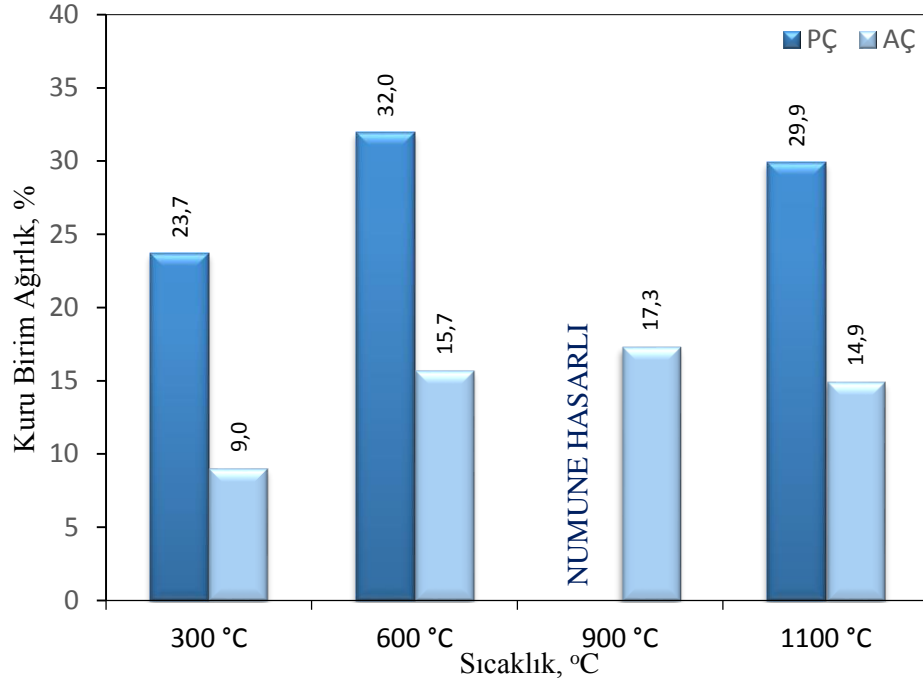
Referans ve sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin sıcaklık öncesi ve sonrası değerlerine göre kuru birim ağırlıkları vermikülit/çimento oranı 3, 4, 5 ve 6 için sırasıyla Şekil 4.4-4.7'de verilmiştir.





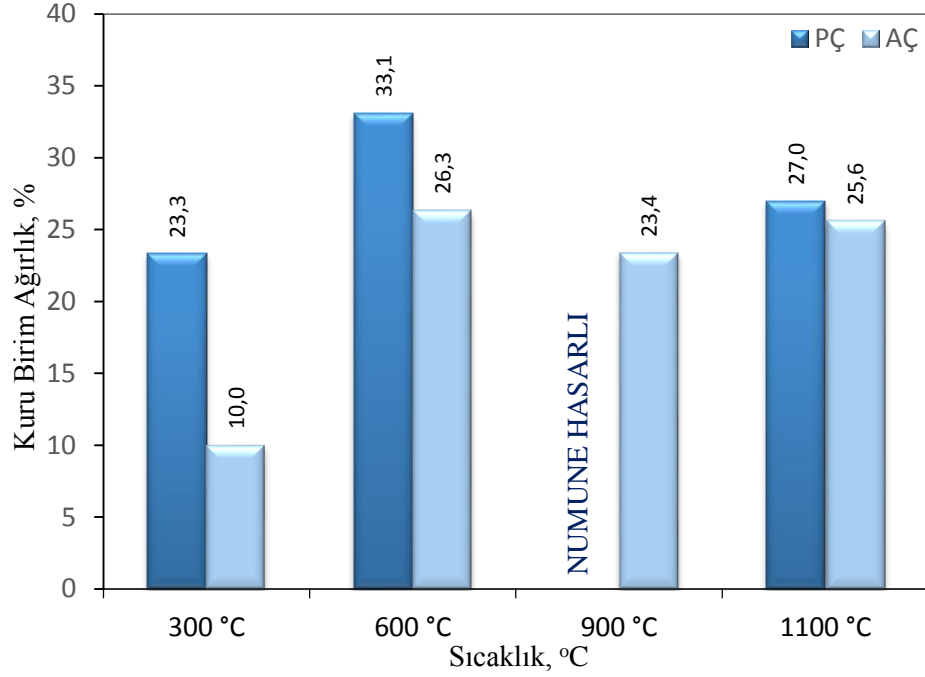
**Şekil 4.4** Vermikülit/Çimento Oranı 3 Olan Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Değişimi

Yapılan çalışmada vermicülit/çimento oranı 3 olan portland çimentolu karışımında 300 °C’de sıcaklığa maruz bırakılmış numunelerin sıcaklık öncesi ve sıcaklık sonrası elde edilen kuru birim ağırlık sonuçları karşılaştırıldığında %15,4 azalma olduğu görülürken, benzer şekilde alüminatlı çimento için ise %8,0’lük bir azalma tespit edilmiştir. 600 °C’de sıcaklığa maruz bırakılmış portland çimentolu numunelerde birim hacim ağırlığında %22,5 azalma görülürken, alüminatlı çimento ile üretilen numunelerde %16,3’lük azalma gözlemlenmiştir. 900 °C sıcaklığa maruz kalan portland çimentolu numunelerde hasar olduğu için kuru birim ağırlık değeri belirlenememiştir, alüminatlı çimento ile oluşturulan numunelerin birim hacim ağırlığı ise %16,2 azalma görülmüştür. 1100 °C sıcaklığına maruz kalan portland çimentolu numunelerde %13,5 azalma görülürken alüminatlı çimento ile hazırlanan numunelerde %16,8 değerinde azalma görülmüştür.



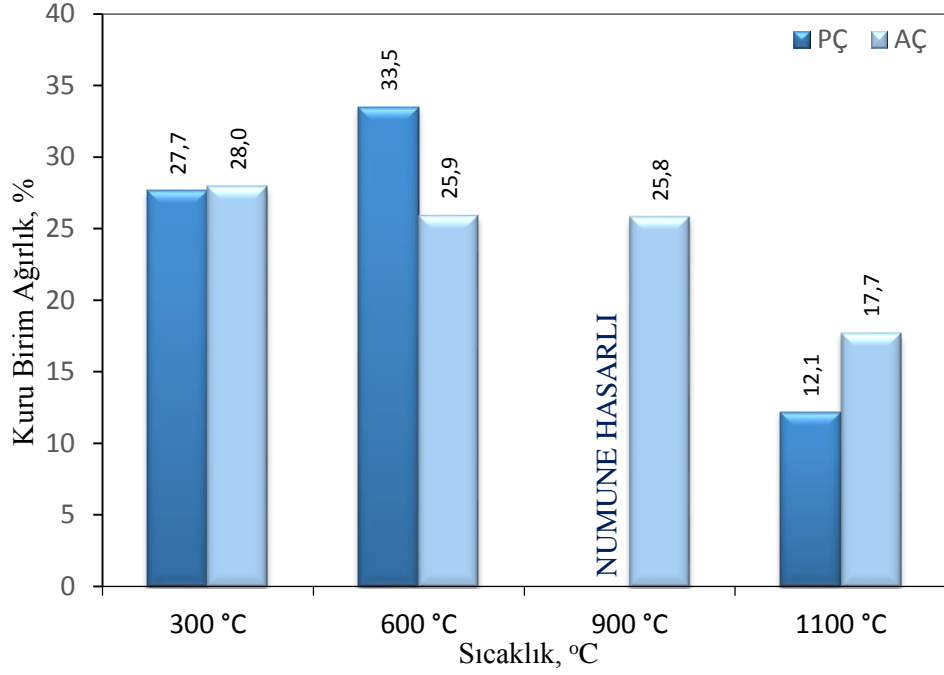
**Şekil 4.5** Vermikülit/Çimento Oranı 4 Olan Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Değişimi

Yapılan çalışmada vermicülit/çimento oranı 4 olan portland çimentolu karışımında 300 °C’de sıcaklığa maruz bırakılmış numunelerin sıcaklık öncesi ve sıcaklık sonrası elde edilen kuru birim ağırlık sonuçları karşılaştırıldığında %23,7 azalma olduğu görülürken, benzer şekilde alüminatlı çimento için ise %9,0’lük bir azalma tespit edilmiştir. 600 °C sıcaklığa maruz bırakılmış portland çimentolu numunelerde birim hacim ağırlığında %32,0 azalma görülürken, alüminatlı çimento ile üretilen numunelerde %15,7’lik azalma gözlemlenmiştir. 900 °C sıcaklığa maruz kalan portland çimentolu numunelerde hasar oluştuğu için kuru birim ağırlık değeri belirlenememiştir, alüminatlı çimento ile oluşturulan numunelerin birim hacim ağırlığı ise %17,3 azalma görülmüştür. 1100 °C’ sıcaklığına maruz kalan portland çimentolu numunelerde %29,9 azalma görülürken alüminatlı çimento ile hazırlanan numunelerde %14,9 değerinde azalma görülmüştür.



**Şekil 4.6** Vermikülit/Çimento Oranı 5 Olan Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Değişimi

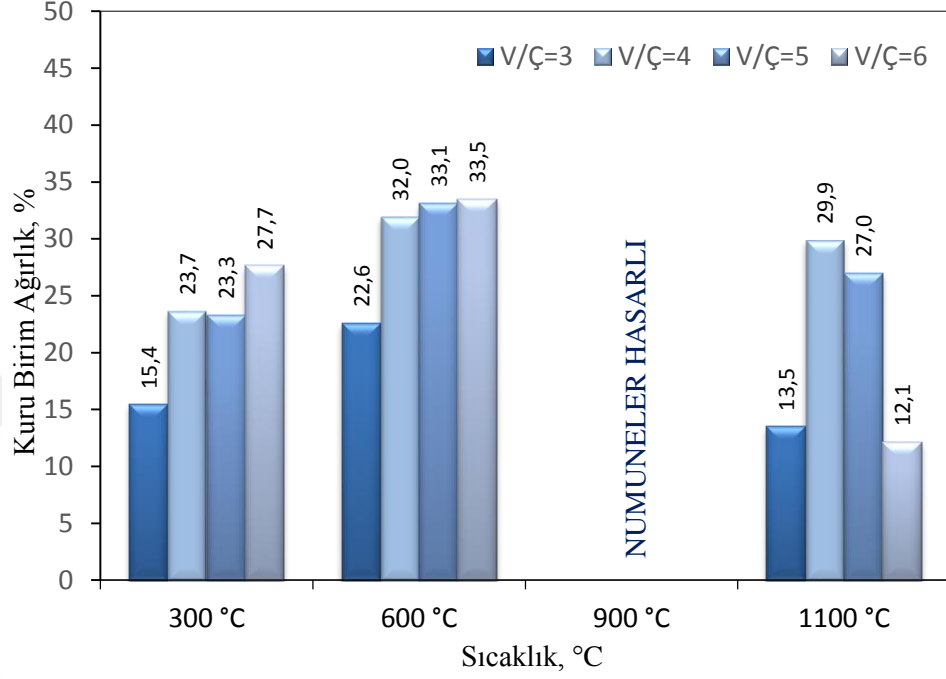
Yapılan çalışmada vermikülit/çimento oranı 5 olan portland çimentolu karışımında 300 °C’de sıcaklığa maruz bırakılmış numunelerin sıcaklık öncesi ve sıcaklık sonrası elde edilen kuru birim ağırlık sonuçları karşılaştırıldığında %23,3 azalma olduğu görülürken, benzer şekilde alüminatlı çimento için ise %10,0’lük bir azalma tespit edilmiştir. 600 °C sıcaklığa maruz bırakılmış portland çimentolu numunelerde birim hacim ağırlığında %33,1 azalma görülürken, alüminatlı çimento ile üretilen numunelerde %26,3’lük azalma gözlemlenmiştir. 900 °C sıcaklığa maruz kalan portland çimentolu numunelerde hasar oluştuğu için kuru birim ağırlık değeri belirlenememiştir, alüminatlı çimento ile oluşturulan numunelerin birim hacim ağırlığı ise %23,4 azalma görülmüştür. 1100 °C’ sıcaklığına maruz kalan portland çimentolu numunelerde %27,0 azalma görülürken alüminatlı çimento ile hazırlanan numunelerde %25,6 değerinde azalma görülmüştür.



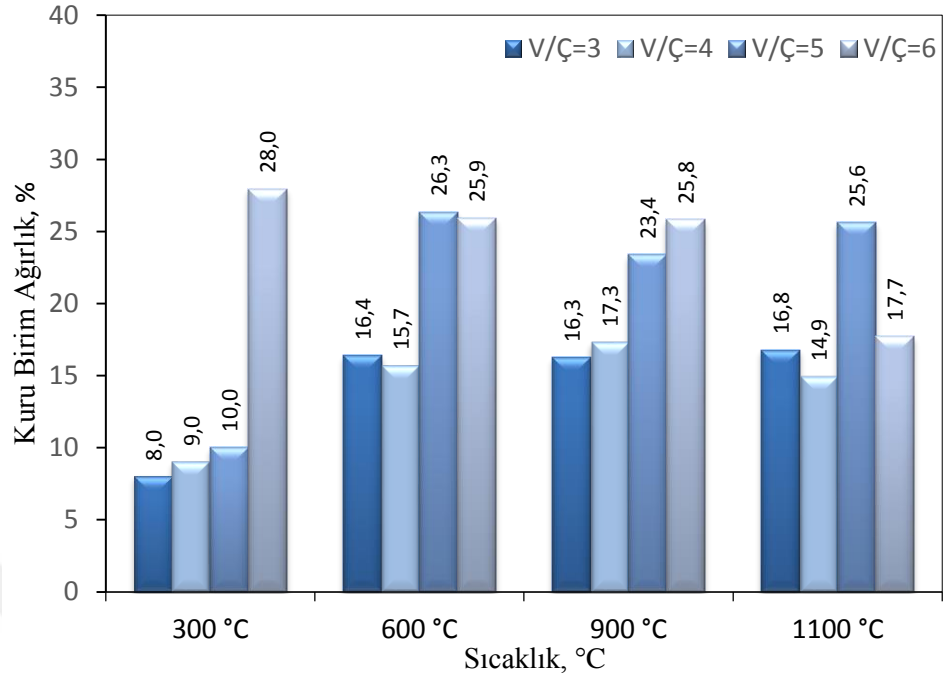
**Şekil 4.7** Vermikülit/Çimento Oranı 6 Olan Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Kuru Birim Ağırlığın Değişimi

Yapılan çalışmada vermicülit/çimento oranı 6 olan portland çimentolu karışımında 300 °C’de sıcaklığa maruz bırakılmış numunelerin sıcaklık öncesi ve sıcaklık sonrası elde edilen kuru birim ağırlık sonuçları karşılaştırıldığında %27,7 azalma olduğu görülürken, benzer şekilde alüminatlı çimento için ise %28,0’lük bir azalma tespit edilmiştir. 600 °C sıcaklığa maruz bırakılmış portland çimentolu numunelerde birim hacim ağırlığında %33,5 azalma görülürken, alüminatlı çimento ile üretilen numunelerde %25,9’lık azalma gözlemlenmiştir. 900 °C sıcaklığa maruz kalan portland çimentolu numunelerde hasar olduğu için kuru birim ağırlık değeri belirlenememiştir, alüminatlı çimento ile oluşturulan numunelerin birim hacim ağırlığı ise %25,8 azalma görülmüştür. 1100 °C sıcaklığına maruz kalan portland çimentolu numunelerde %12,1 azalma görülürken alüminatlı çimento ile hazırlanan numunelerde %17,7 değerinde azalma görülmüştür.

Çalışmada üretilmiş numunelerin vermikülit/çimento oranına ve sıcaklık değerlerine göre kuru birim ağırlıktaki azalma oranları portland çimento ve alüminatlı çimento kullanımına göre Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da verilmiştir.



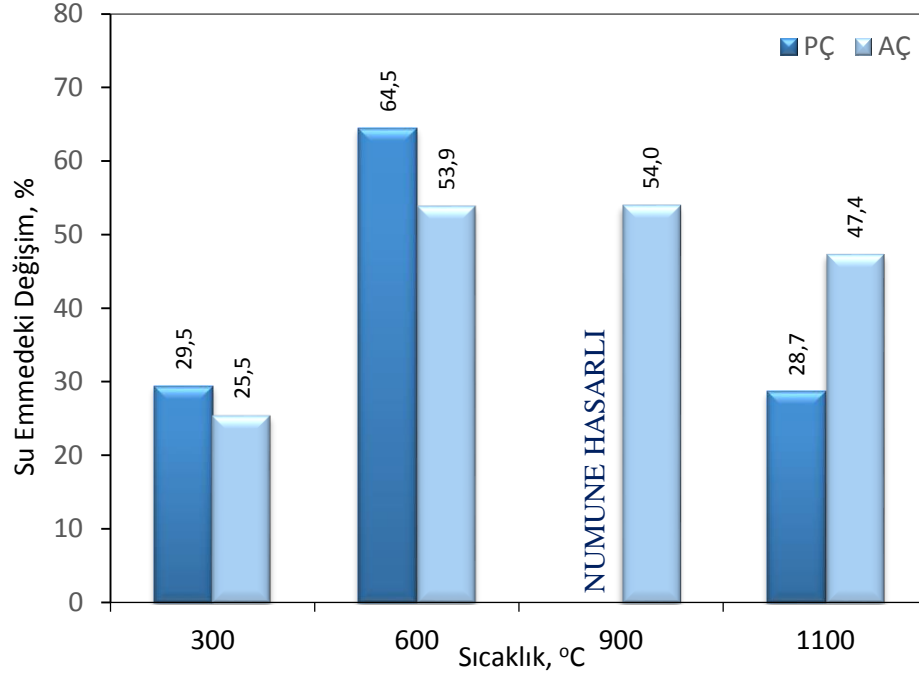
**Şekil 4.8** Numunelerin Kuru Birim Ağırlığının Sıcaklığa Bağlı Vermikülit/Çimento Oranına Göre Değişimi (Portland Çimento)



**Şekil 4.9** Numunelerin Kuru Birim Ağırlığının Sıcaklığa Bağlı Vermikülit/Çimento Oranına Göre Değişimi (Alüminatlı Çimento)

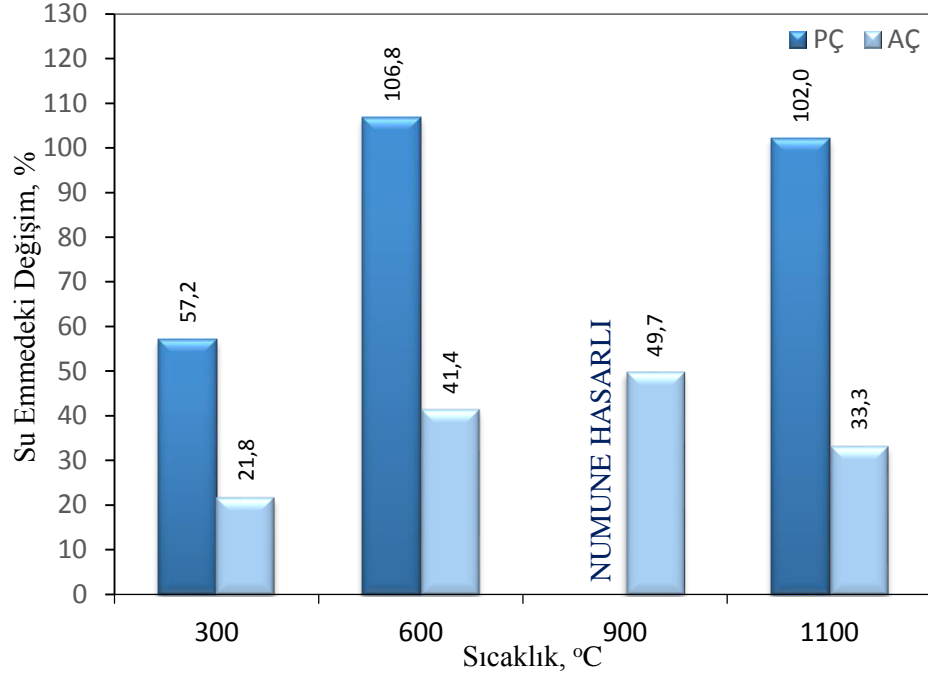
#### 4.2. Su Emme

Referans ve sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin sıcaklık öncesi ve sonrası değerlerine göre su emmedeki değişimleri vermikülit/çimento oranı 3, 4, 5 ve 6 için sırasıyla Şekil 4.10-4.13’de verilmiştir.



**Şekil 4.10** Vermikülit/Çimento Oranı 3 Olan Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Su Emmedeki Değişim

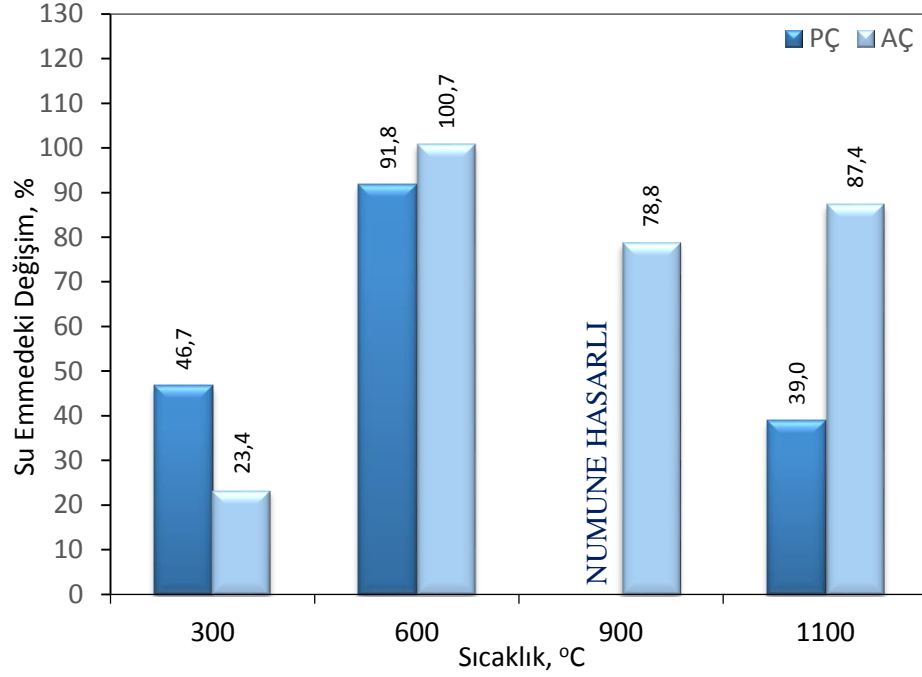
Çalışmada vermicülit/çimento oranı 3 olan numunelerde portland çimento ile yapılan karışımda 300 °C sıcaklığa maruz bırakılmış numunelerin su emme miktarı %29,5 arttığı görülürken, benzer şekilde alüminatlı çimento için ise %25,5 değerinde artış tespit edilmiştir. 600 °C sıcaklığa maruz bırakılmış portland çimentolu numunelerde su emme değişiminde %64,5 artış görülürken, alüminatlı çimento ile üretilen numunelerde %53,9 artış gözlemlenmiştir. 900 °C’de sıcaklığı etkisinde kalan portland çimentolu numunelerde hasar oluştuğu için herhangi bir değer belirlenememiştir, fakat alüminatlı çimento ile oluşturulan numunelerin su emmedeki değişimi ise %54,0’lük artış tespit edilmiştir. 1100 °C’de sıcaklığa maruz kalmış portland çimentolu numunelerde bu değer %28,7 artış olarak görülürken, alüminatlı çimento ile hazırlanan numunelerde %47,4 artış değeri görülmüştür.



**Şekil 4.11** Vermikülit/Çimento Oranı 4 Olan Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Su Emmedeki Değişim

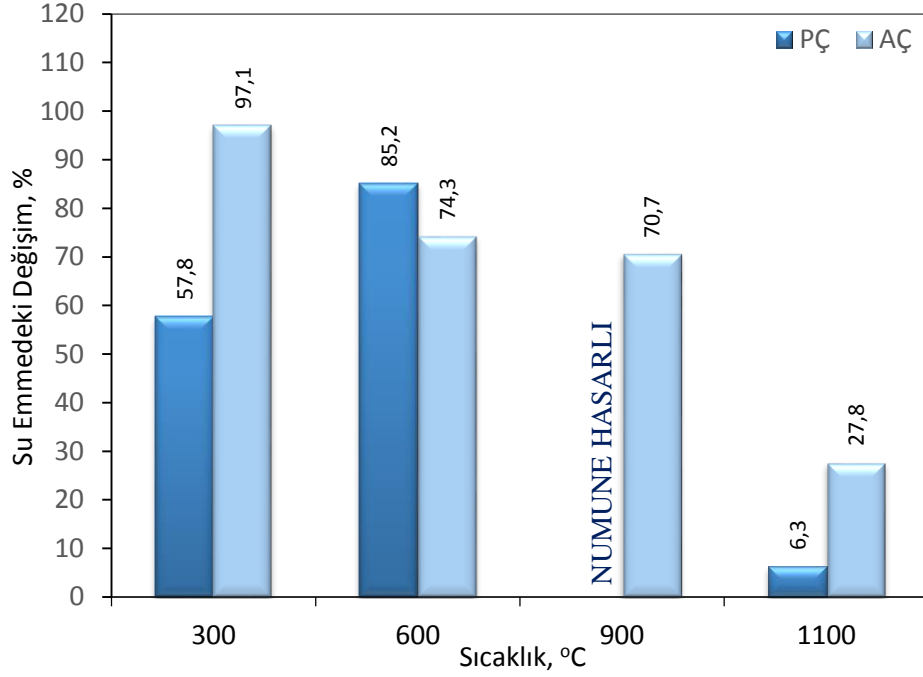
Çalışmada vermicülit/çimento oranı 4 olan numunelerde portland çimento ile yapılan karışımda 300 °C sıcaklığa maruz bırakılmış numunelerin su emme miktarı %57,2 arttığı görülürken, benzer şekilde alüminatlı çimento için ise %21,8 değerinde artış tespit edilmiştir. 600 °C sıcaklığa maruz bırakılmış portland çimentolu numunelerde su emme değişiminde %106,8 artış görülürken, alüminatlı çimento ile üretilen numunelerde %41,4 artış gözlemlenmiştir. 900 °C’de sıcaklığı etkisinde kalan portland çimentolu numunelerde hasar oluştuğu için herhangi bir değer belirlenememiştir, fakat alüminatlı çimento ile oluşturulan numunelerin su emmedeki değişimi ise %49,7’lük artış tespit edilmiştir. 1100 °C’de sıcaklığa maruz kalmış portland çimentolu numunelerde bu değer %102,0 artış olarak görülürken, alüminatlı çimento ile hazırlanan numunelerde %33,3 artış değeri görülmüştür.





**Şekil 4.12** Vermikülit/Çimento Oranı 5 Olan Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Su Emmedeki Değişim

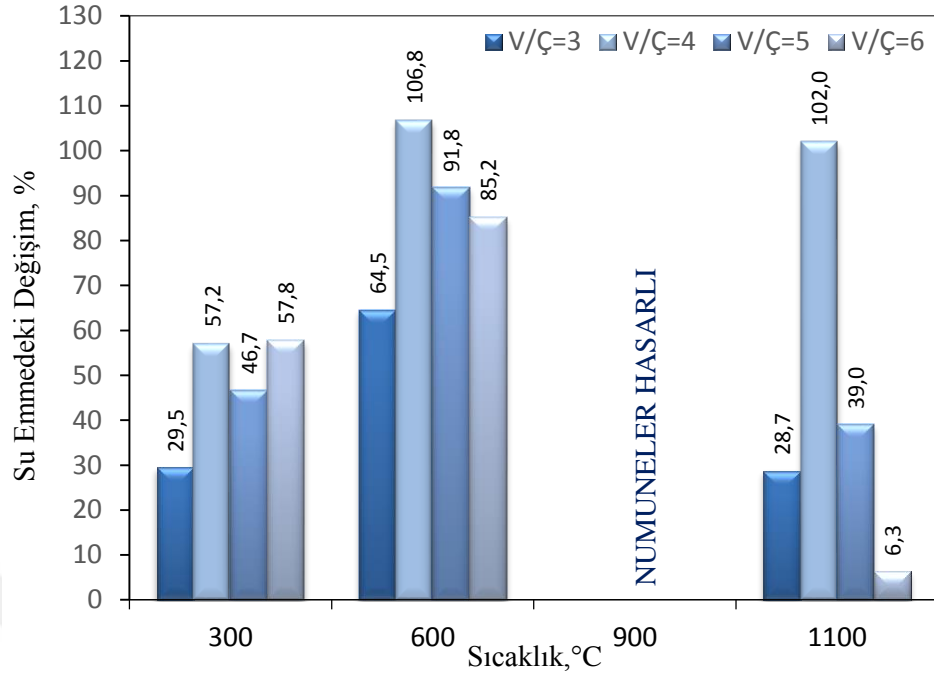
Çalışmada vermicülit/çimento oranı 5 olan numunelerde portland çimento ile yapılan karışımda 300 °C sıcaklığa maruz bırakılmış numunelerin su emme miktarı %46,7 arttığı görülürken, benzer şekilde alüminatlı çimento için ise %23,4 değerinde artış tespit edilmiştir. 600 °C sıcaklığa maruz bırakılmış portland çimentolu numunelerde su emme değişiminde %91,8 artış görülürken, alüminatlı çimento ile üretilen numunelerde %100,7 artış gözlemlenmiştir. 900 °C’de sıcaklığı etkisinde kalan portland çimentolu numunelerde hasar olduğu için herhangi bir değer belirlenememiştir, fakat alüminatlı çimento ile oluşturulan numunelerin su emmedeki değişimi ise %78,8’lük artış tespit edilmiştir. 1100 °C’de sıcaklığa maruz kalmış portland çimentolu numunelerde bu değer %39,0 artış olarak görülürken, alüminatlı çimento ile hazırlanan numunelerde %87,4 artış değeri görülmüştür.



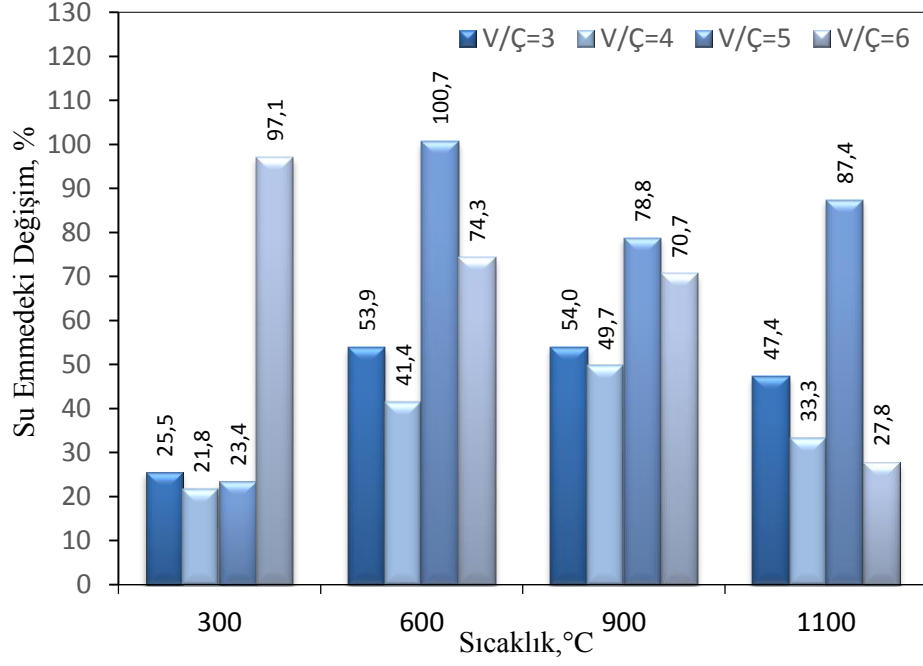
**Şekil 4.13** Vermikülit/Çimento Oranı 6 Olan Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Su Emmedeki Değişim

Çalışmada vermicülit/çimento oranı 6 olan numunelerde portland çimento ile yapılan karışımda 300 °C sıcaklığa maruz bırakılmış numunelerin su emme miktarı %57,8 arttığı görülürken, benzer şekilde alüminatlı çimento için ise %97,1 değerinde artış tespit edilmiştir. 600 °C sıcaklığa maruz bırakılmış portland çimentolu numunelerde su emme değişiminde %85,2 artış görülürken, alüminatlı çimento ile üretilen numunelerde %74,3 artış gözlemlenmiştir. 900 °C’de sıcaklığı etkisinde kalan portland çimentolu numunelerde hasar olduğu için herhangi bir değer belirlenememiştir, fakat alüminatlı çimento ile oluşturulan numunelerin su emmedeki değişimi ise %70,7’lük artış tespit edilmiştir. 1100 °C’de sıcaklığa maruz kalmış portland çimentolu numunelerde bu değer %6,3 artış olarak görülürken, alüminatlı çimento ile hazırlanan numunelerde %27,8 artış değeri görülmüştür.

Çalışmada üretilmiş numunelerin vermicülit/çimento oranına ve sıcaklık değerlerine göre su emme miktarlarındaki artış oranları portland çimento ve alüminatlı çimento kullanımına göre Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’te verilmiştir.



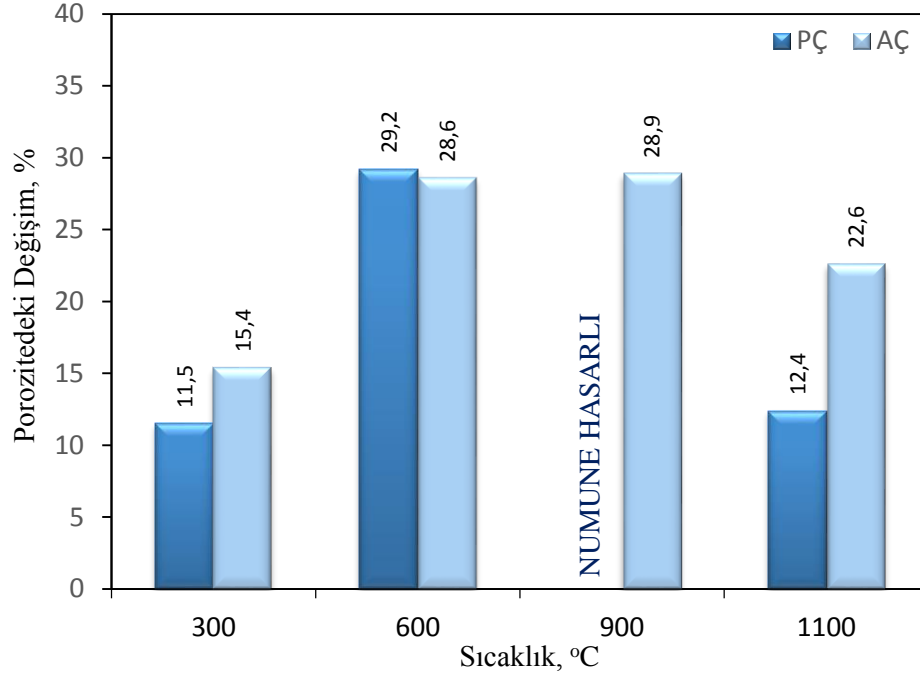
**Şekil 4.14** Numunelerin Su Emme Değişimleri Sıcaklığa Bağlı Vermikülit/Çimento Oranına Göre Değişimi (Portland Çimento)



**Şekil 4.15** Numunelerin Su Emme Değişimleri Sıcaklığa Bağlı Vermikülit/Çimento Oranına Göre Değişimi (Alüminatlı Çimento)

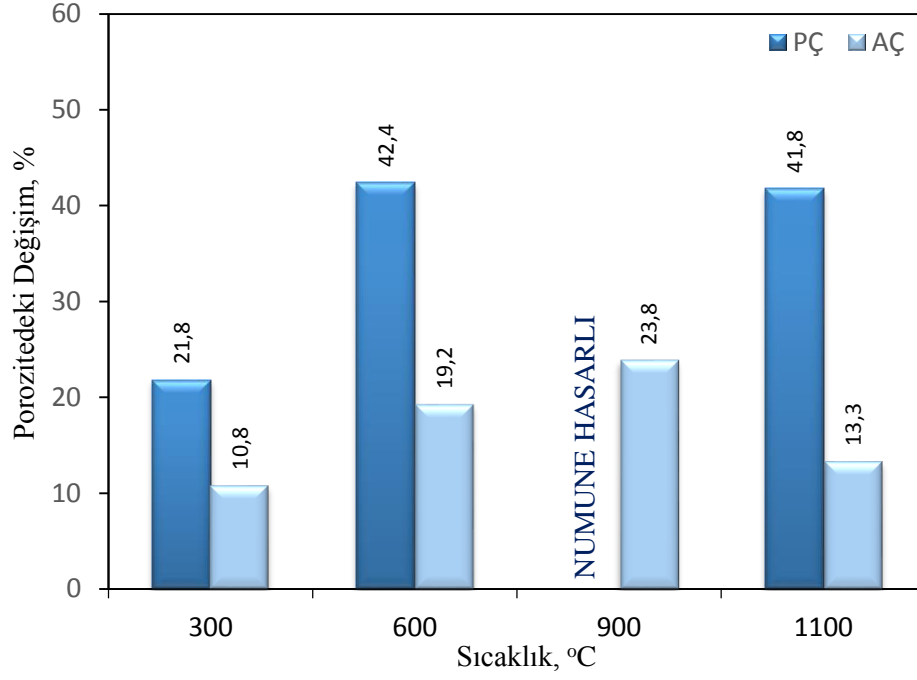
### 4.3. Porozite

Referans ve sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin sıcaklık öncesi ve sonrası değerlerine göre porozite değerlerindeki değişim vermikülit/çimento oranı 3, 4, 5 ve 6 için sırasıyla Şekil 4.16-4.19'da verilmiştir.



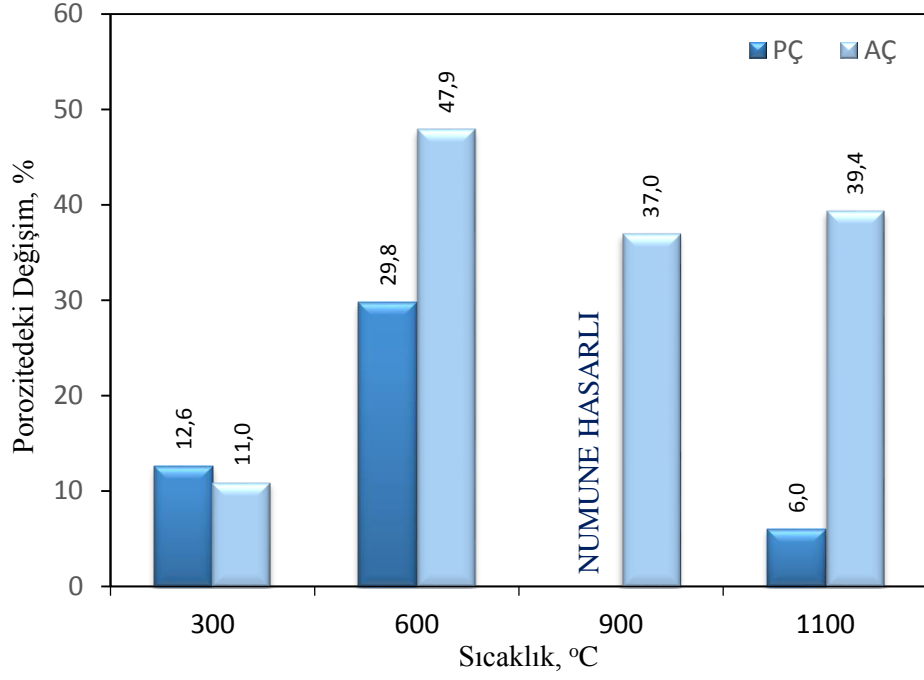
**Şekil 4.16** Vermikülit/Çimento Oranı 3 Olan Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Porozite Değişim

Çalışmada vermikülit/çimento oranı 3 olan numunelerde portland çimento ile yapılan karışımda 300 °C sıcaklığa maruz bırakılmış numunelerin porozite değeri %11,5 arttığı görülürken, benzer şekilde alüminatlı çimento için ise %15,4 değerinde artış tespit edilmiştir. 600 °C sıcaklığa maruz bırakılmış portland çimentolu numunelerde boşluk oranı değişiminde %29,2 artış görülürken, alüminatlı çimento ile üretilen numunelerde %28,6 artış gözlemlenmiştir. 900 °C’de sıcaklığı etkisinde kalan portland çimentolu numunelerde hasar olduğu için herhangi bir değer belirlenememiştir, fakat alüminatlı çimento ile oluşturulan numunelerin porozite değişimi %28,9’luk artış tespit edilmiştir. 1100 °C’de sıcaklığa maruz kalmış portland çimentolu numunelerde bu değer %12,4 artış olarak görülürken, alüminatlı çimento ile hazırlanan numunelerde %22,6 artış değeri görülmüştür.



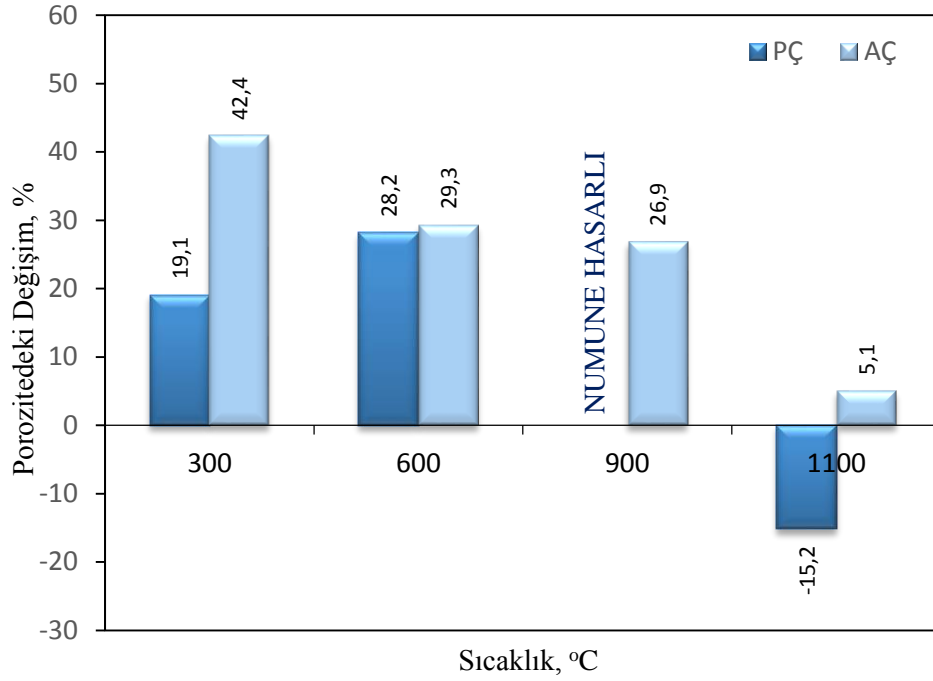
**Şekil 4.17** Vermikülit/Çimento Oranı 4 Olan Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Porozite Değişim

Çalışmada vermicülit/çimento oranı 4 olan numunelerde portland çimento ile yapılan karışımda 300 °C sıcaklığa maruz bırakılmış numunelerin porozite değeri %21,8 arttığı görülürken, benzer şekilde alüminatlı çimento için ise %10,8 değerinde artış tespit edilmiştir. 600 °C sıcaklığa maruz bırakılmış portland çimentolu numunelerde boşluk oranı değişiminde %42,4 artış görülürken, alüminatlı çimento ile üretilen numunelerde %19,2 artış gözlemlenmiştir. 900 °C’de sıcaklığı etkisinde kalan portland çimentolu numunelerde hasar olduğu için herhangi bir değer belirlenememiştir, fakat alüminatlı çimento ile oluşturulan numunelerin porozite değişimi %23,8’lik artış tespit edilmiştir. 1100 °C’de sıcaklığa maruz kalmış portland çimentolu numunelerde bu değer %41,8 artış olarak görülürken, alüminatlı çimento ile hazırlanan numunelerde %13,3 artış değeri görülmüştür.



**Şekil 4.18** Vermikülit/Çimento Oranı 5 Olan Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Porozite Değişim

Çalışmada vermikülit/çimento oranı 5 olan numunelerde portland çimento ile yapılan karışımda 300 °C sıcaklığa maruz bırakılmış numunelerin porozite değeri %12,6 arttığı görülürken, benzer şekilde alüminatlı çimento için ise %11,0 değerinde artış tespit edilmiştir. 600 °C sıcaklığa maruz bırakılmış portland çimentolu numunelerde boşluk oranı değişiminde %29,8 artış görülürken, alüminatlı çimento ile üretilen numunelerde %47,9 artış gözlemlenmiştir. 900 °C’de sıcaklığı etkisinde kalan portland çimentolu numunelerde hasar olduğu için herhangi bir değer belirlenememiştir, fakat alüminatlı çimento ile oluşturulan numunelerin porozite değişimi %37,0’lik artış tespit edilmiştir. 1100 °C’de sıcaklığa maruz kalmış portland çimentolu numunelerde bu değer %6,0 artış olarak görülürken, alüminatlı çimento ile hazırlanan numunelerde %39,4 artış değeri görülmüştür.

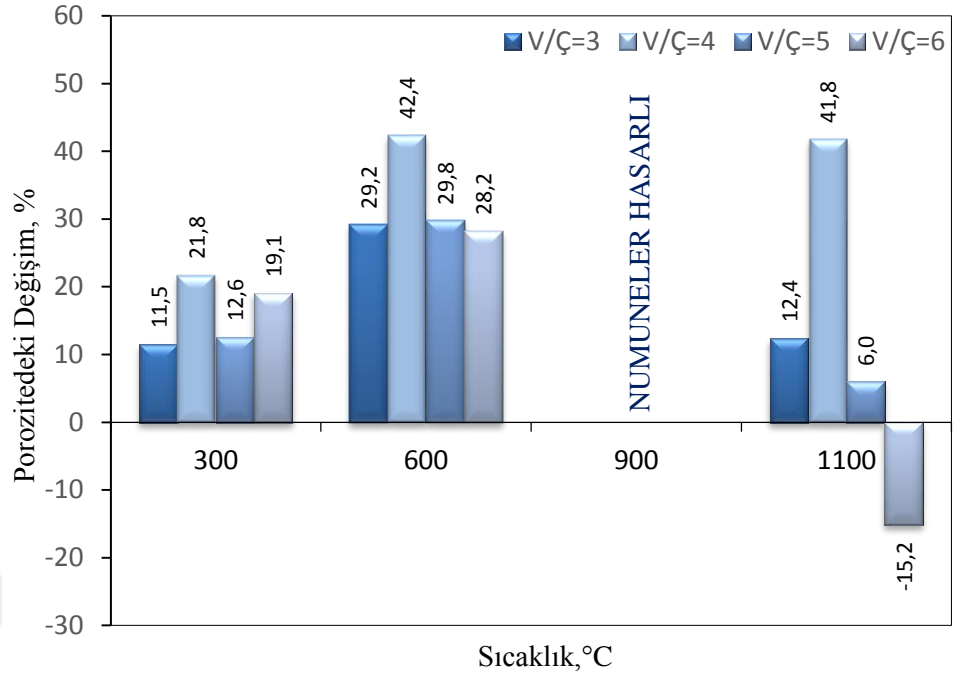


**Şekil 4.19** Vermikülit/Çimento Oranı 6 Olan Numunelerde Sıcaklığa Bağlı Porozite Değişim

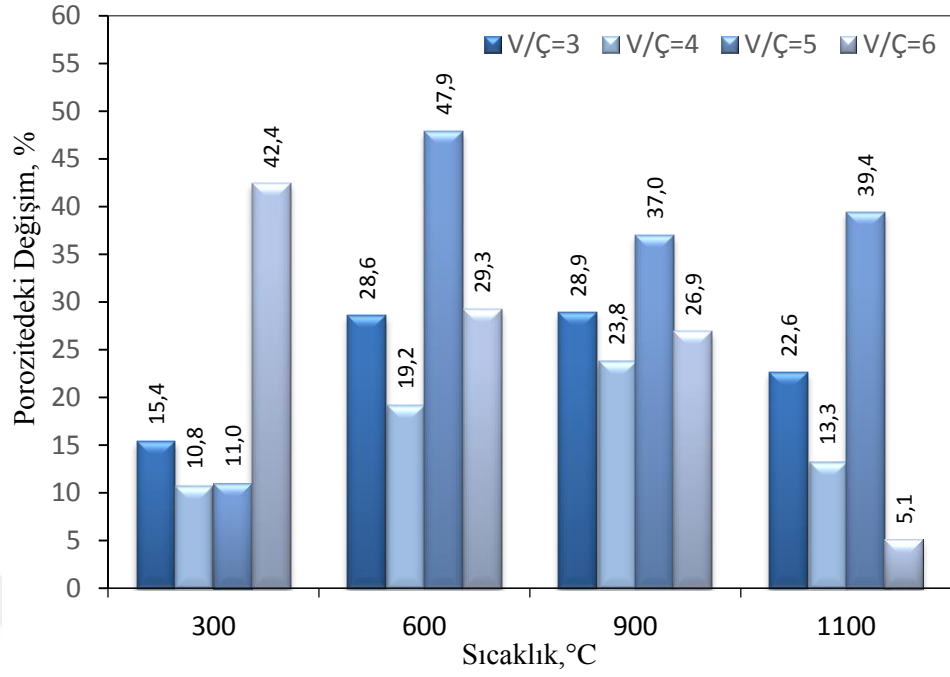
Çalışmada vermikülit/çimento oranı 6 olan numunelerde portland çimento ile yapılan karışımda 300 °C sıcaklığa maruz bırakılmış numunelerin porozite değeri %19,1 arttığı görülürken, benzer şekilde alüminatlı çimento için ise %42,4 değerinde artış tespit edilmiştir. 600 °C sıcaklığa maruz bırakılmış portland çimentolu numunelerde boşluk oranı değişiminde %28,2 artış görülürken, alüminatlı çimento ile üretilen numunelerde %29,3 artış gözlemlenmiştir. 900 °C’de sıcaklığı etkisinde kalan portland çimentolu numunelerde hasar olduğu için herhangi bir değer belirlenememiştir, fakat alüminatlı çimento ile oluşturulan numunelerin porozite değişimi %26,9’lik artış tespit edilmiştir. 1100 °C’de sıcaklığa maruz kalmış portland çimentolu numunelerde bu değer %15,2 azalma görülürken, alüminatlı çimento ile hazırlanan numunelerde %5,1 artış değeri görülmüştür.

Çalışmada üretilmiş numunelerin vermikülit/çimento oranına ve sıcaklık değerlerine göre su emme miktarlarındaki artış oranları portland çimento ve alüminatlı çimento kullanımına göre Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de verilmiştir.





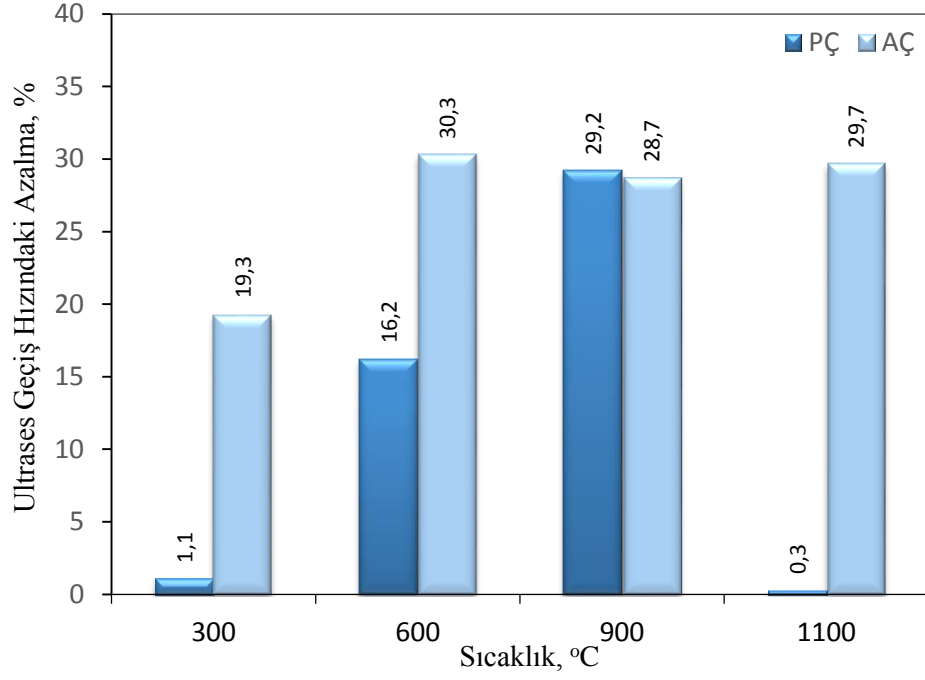
**Şekil 4.20** Numunelerin Porozite Değişimleri Sıcaklığa Bağlı Vermikülit/Çimento Oranına Göre Değişimi (Portland Çimento)



**Şekil 4.21** Numunelerin Porozite Değişimleri Sıcaklığa Bağlı Vermikülit/Çimento Oranına Göre Değişimi (Alüminatlı Çimento)

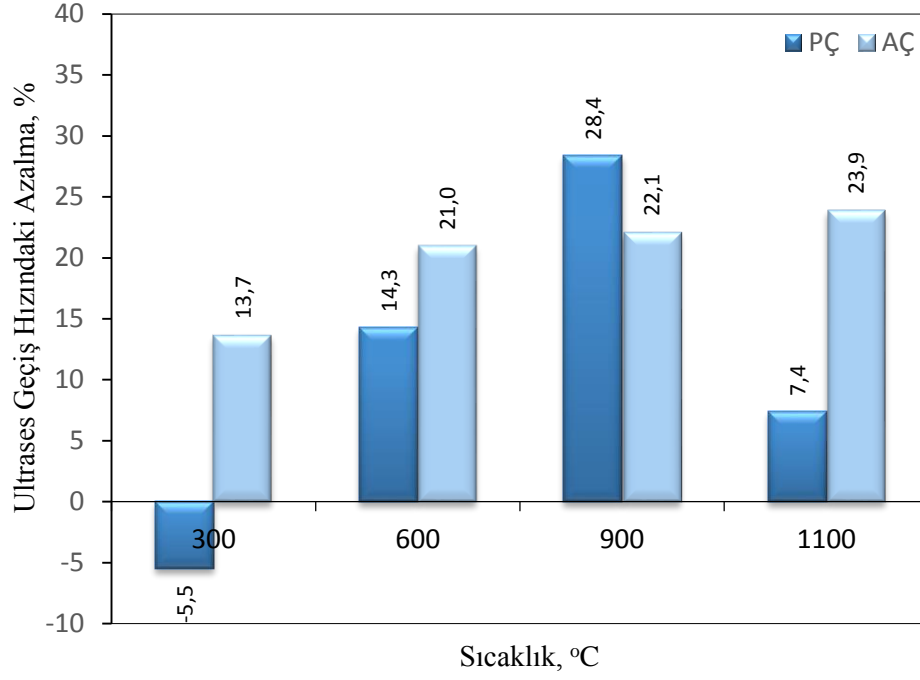
#### 4.4. Ultrases Geçiş Hızı

Referans ve sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin sıcaklık öncesi ve sonrası ultrases geçiş hızları ölçülmüştür. Bu değerlere göre değişim vermikülit/çimento oranı 3, 4, 5 ve 6 için sırasıyla Şekil 4.22-4.25’da verilmiştir.



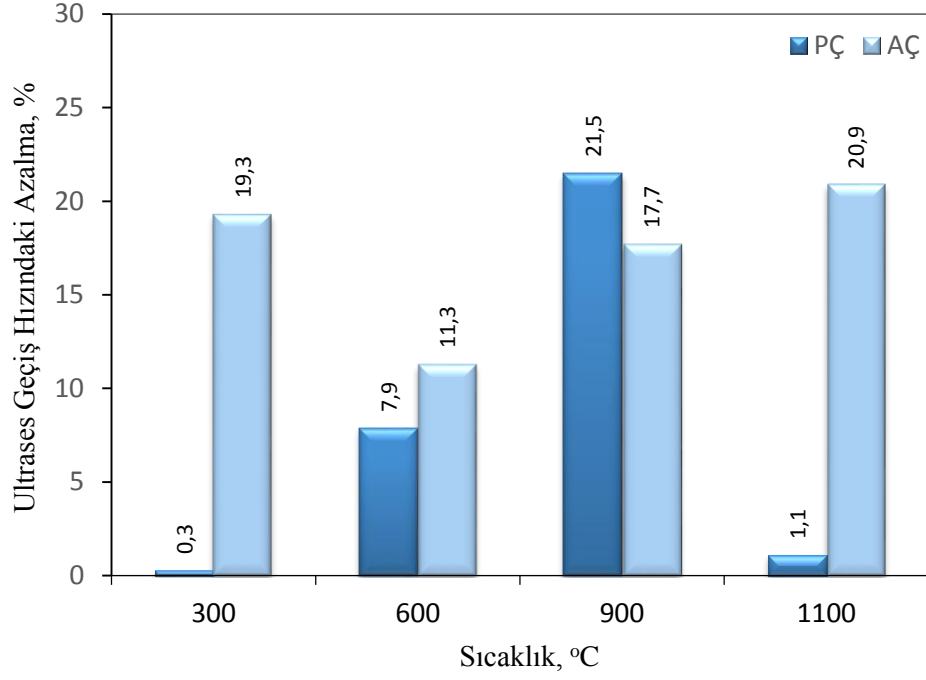
**Şekil 4.22** Vermikülit/Çimento Oranı 3 Olan Numunelerin Ultrases Geçiş Hızının Sıcaklığa Bağlı Değişimi

Vermikülit/çimento oranı 3 olan numunelerin sıcaklık öncesi ve sıcaklık sonrası ultrases geçiş hızı değerleri karşılaştırılmıştır. 300 °C sıcaklığa maruz kalan portland çimentolu numunelerin ultrases geçiş hızında %1,1 azalma gözlemlenirken, alüminatlı çimento ile üretilmiş numunelerde %19,3 değerinde azalma tespit edilmiştir. 600 °C sıcaklığa maruz kalan portland çimentolu numunelerde %16,2 azalma oluşurken, alüminatlı çimento içeren numunelerde ise azalma %30,3 değerindedir. 900 °C sıcaklık etkisinde kalmış olan portland çimentolu numunelerde ultrases geçiş hızında %29,2 azalma oluşurken, alüminatlı çimento bulunan numunelerde %28,7 değerinde azalma oluşmaktadır. 1100 °C’de bekletilmiş portland çimento katkılı numunelerde ultrases geçiş hızında %0,3 değerinde azalma oluşurken, alüminatlı çimento içeren numunelerde azalma oranı %29,7 olarak tespit edilmiştir.



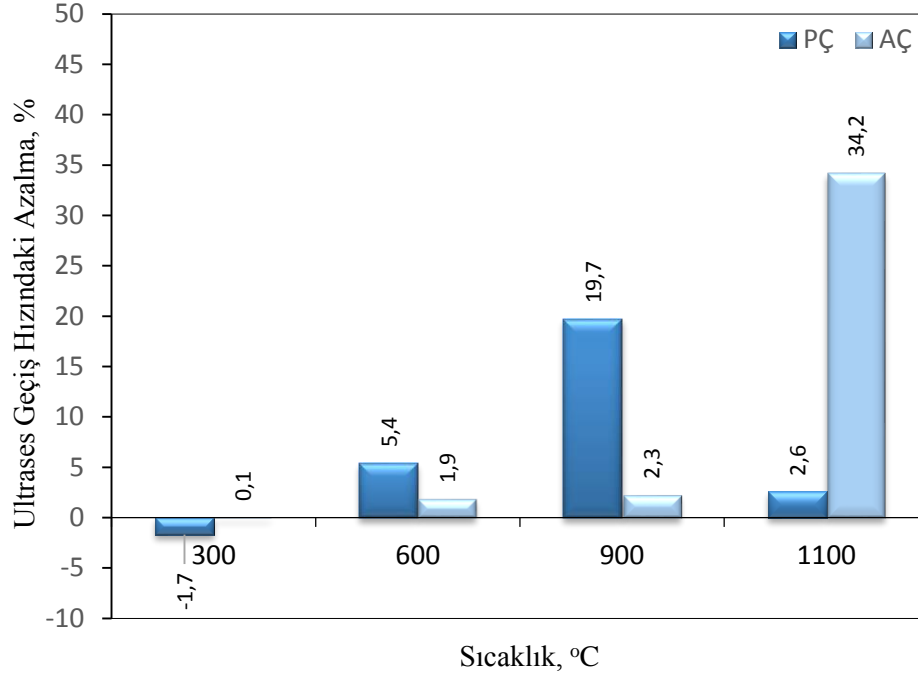
**Şekil 4.23** Vermikülit/Çimento Oranı 4 Olan Numunelerin Ultrases Geçiş Hızının Sıcaklığa Bağlı Değişimi

Vermikülit/çimento oranı 4 olan numunelerin sıcaklık öncesi ve sıcaklık sonrası ultrases geçiş hızı değerleri karşılaştırılmıştır. 300 °C sıcaklığa maruz kalan portland çimentolu numunelerin ultrases geçiş hızında %5,5 artış gözlemlenirken, alüminatlı çimento ile üretilmiş numunelerde %13,7 değerinde azalma tespit edilmiştir. 600 °C sıcaklığa maruz kalan portland çimentolu numunelerde %14,3 azalma oluşurken, alüminatlı çimento içeren numunelerde ise azalma %21,0 değerindedir. 900 °C sıcaklık etkisinde kalmış olan portland çimentolu numunelerde ultrases geçiş hızında %28,4 azalma oluşurken, alüminatlı çimento bulunan numunelerde %22,1 değerinde azalma oluşmaktadır. 1100 °C’de bekletilmiş portland çimento katkılı numunelerde ultrases geçiş hızında %7,4 değerinde azalma oluşurken, alüminatlı çimento içeren numunelerde azalma oranı %23,9 olarak tespit edilmiştir.



**Şekil 4.24** Vermikülit/Çimento Oranı 5 Olan Numunelerin Ultrases Geçiş Hızının Sıcaklığa Bağlı Değişimi

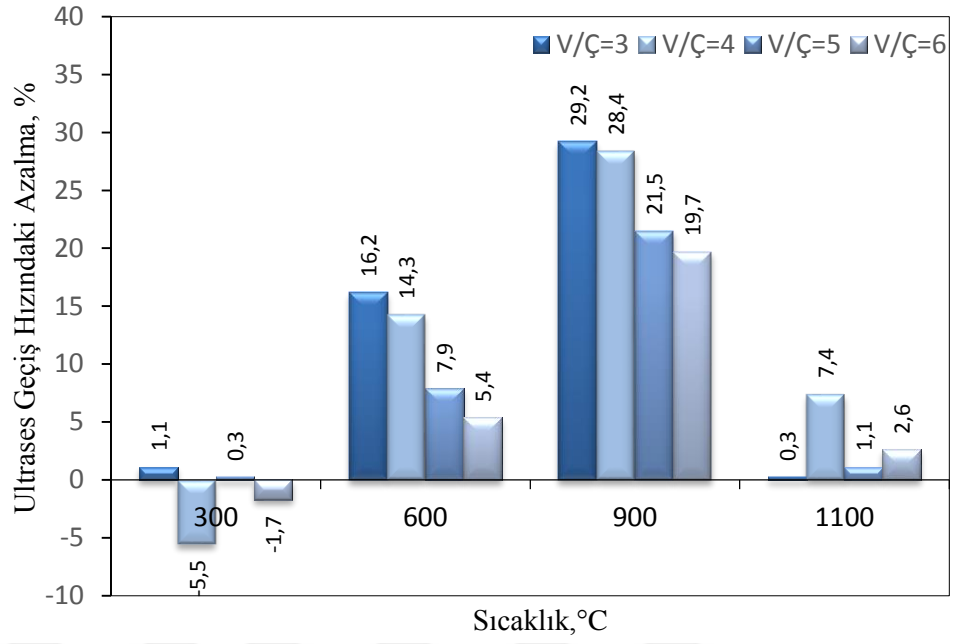
Vermikülit/çimento oranı 5 olan numunelerin sıcaklık öncesi ve sıcaklık sonrası ultrases geçiş hızı değerleri karşılaştırılmıştır. 300 °C sıcaklığa maruz kalan portland çimentolu numunelerin ultrases geçiş hızında %0,3 azalma gözlemlenirken, alüminatlı çimento ile üretilmiş numunelerde %19,3 değerinde azalma tespit edilmiştir. 600 °C sıcaklığa maruz kalan portland çimentolu numunelerde %7,9 azalma oluşurken, alüminatlı çimento içeren numunelerde ise azalma %11,3 değerindedir. 900 °C sıcaklık etkisinde kalmış olan portland çimentolu numunelerde ultrases geçiş hızında %21,5 azalma oluşurken, alüminatlı çimento bulunan numunelerde %17,7 değerinde azalma oluşmaktadır. 1100 °C’de bekletilmiş portland çimento katkılı numunelerde ultrases geçiş hızında %1,1 değerinde azalma oluşurken, alüminatlı çimento içeren numunelerde azalma oranı %20,9 olarak tespit edilmiştir.



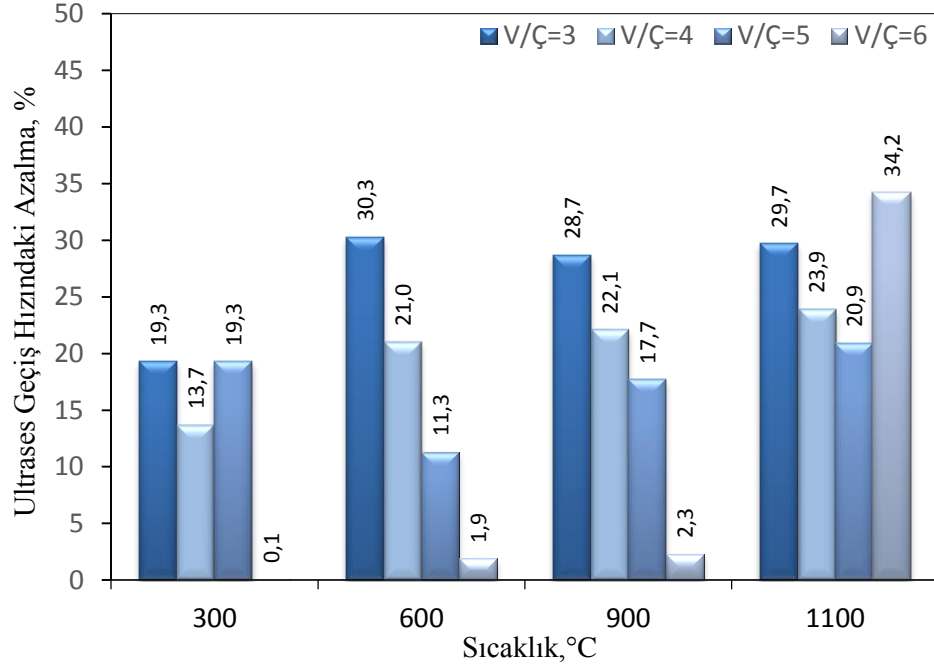
**Şekil 4.25** Vermikülit/Çimento Oranı 6 Olan Numunelerin Ultrases Geçiş Hızının Sıcaklığa Bağlı Değişimi

Vermikülit/çimento oranı 6 olan numunelerin sıcaklık öncesi ve sıcaklık sonrası ultrases geçiş hızı değerleri karşılaştırılmıştır. 300 °C sıcaklığa maruz kalan portland çimentolu numunelerin ultrases geçiş hızında %1,7 artış gözlemlenirken, alüminatlı çimento ile üretilmiş numunelerde %0,1 değerinde azalma tespit edilmiştir. 600 °C sıcaklığa maruz kalan portland çimentolu numunelerde %5,4 azalma oluşurken, alüminatlı çimento içeren numunelerde ise azalma %1,9 değerindedir. 900 °C sıcaklık etkisinde kalmış olan portland çimentolu numunelerde ultrases geçiş hızında %19,7 azalma oluşurken, alüminatlı çimento bulunan numunelerde %2,3 değerinde azalma oluşmaktadır. 1100 °C de bekletilmiş portland çimento katkılı numunelerde ultrases geçiş hızında %2,6 değerinde azalma oluşurken, alüminatlı çimento içeren numunelerde azalma oranı %34,2 olarak tespit edilmiştir.

Çalışmada üretilmiş numunelerin vermikülit/çimento oranına ve sıcaklık değerlerine göre ultrases geçiş hızındaki azalma oranları portland çimento ve alüminatlı çimento kullanımına göre Şekil 4.26 ve Şekil 4.27’de verilmiştir.



**Şekil 4.26** Numunelerin Ultrases Geçiş Hızı Değerlerinin Sıcaklığa Bağlı Vermikülit/Çimento Oranına Göre Değişimi (Portland Çimento)

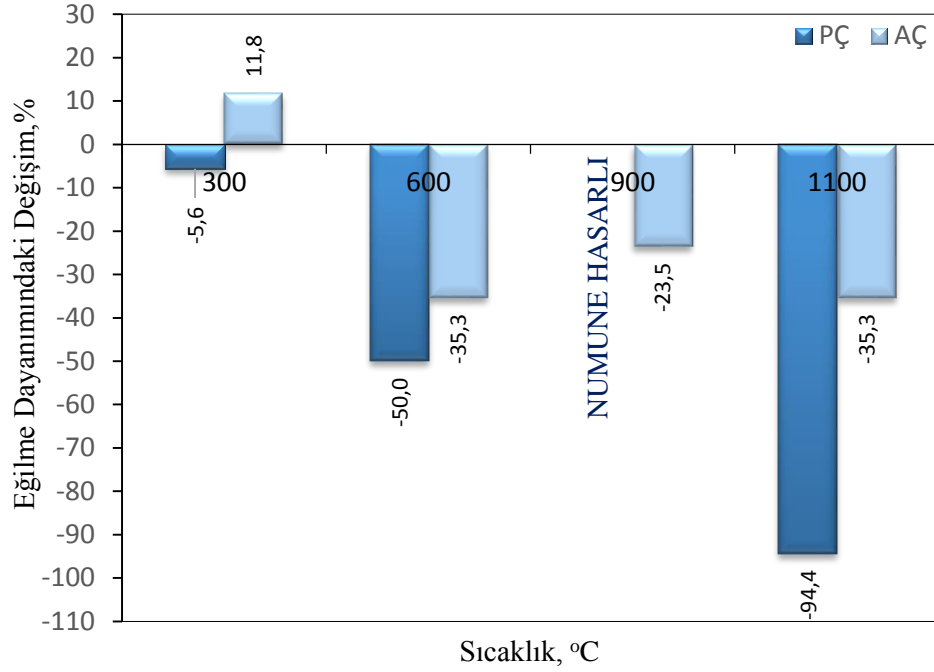


**Şekil 4.27** Numunelerin Ultras ses Geçiş Hızı Değerlerinin Sıcaklığa Bağlı Vermikülit/Çimento Oranına Göre Değişimi (Alüminatlı Çimento)

#### 4.5. Eğilme Dayanımı

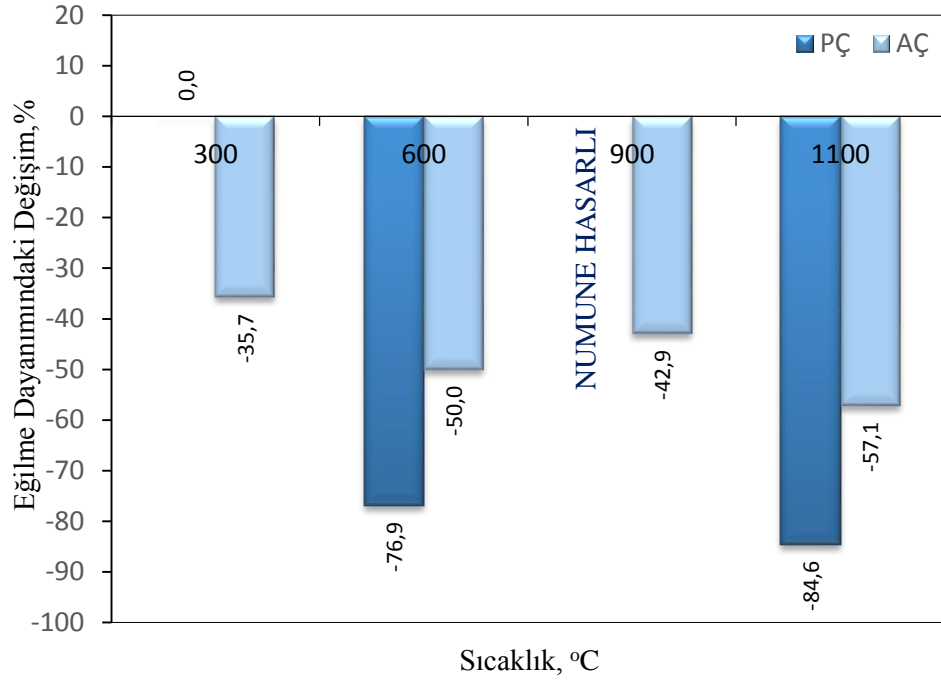
Çalışmada üretilen numuneler belirtilen sıcaklıklara maruz bırakılıp oda sıcaklığında bırakılarak soğuması sağlandıktan sonra numuneler üzerinde üç noktalı eğilme deneyi yapılmıştır. Her vermikülit/çimento oranında bulunan 3 numune üzerinde uygulanan eğilme deneyi sonuçlarının ortalaması alınarak referans numuneye göre eğilme dayanımındaki artış ve azalmalar hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucu elde edilen sonuçlar Şekil 4.28-Şekil 4.31’da gösterilmiştir.





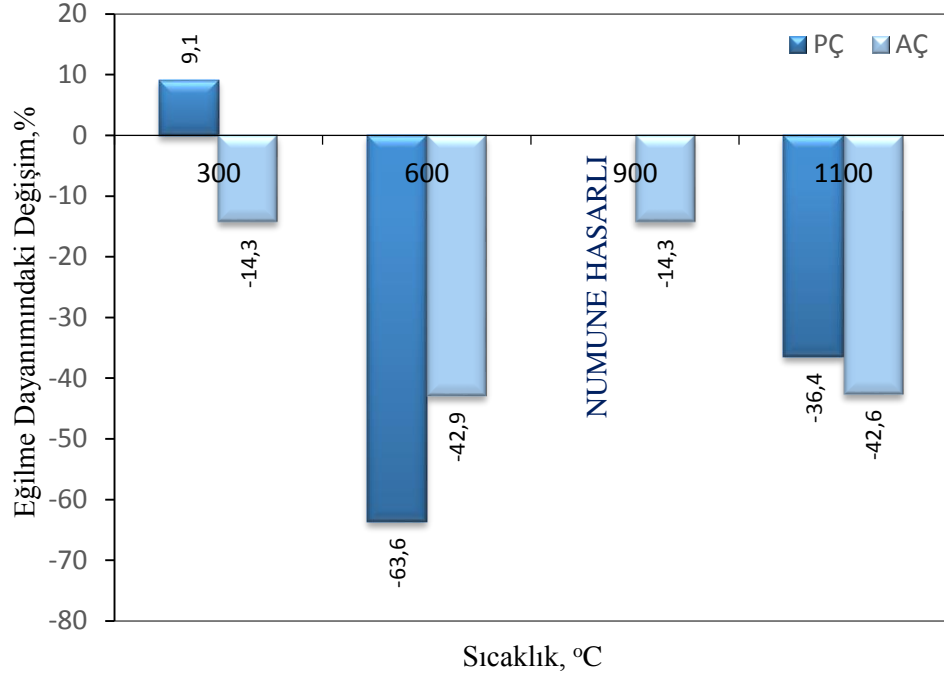
**Şekil 4.28** Vermikülit/Çimento Oranı 3 Olan Numunelerin Eğilme Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi

Çalışmada vermikülit/çimento oranı 3 olan portland çimento ile hazırlanan numunelerin sıcaklık öncesi eğilme dayanımı 1,8 MPa olarak belirlenmiş olup, 300 °C, 600 °C ve 1100 °C sıcaklıkları etkisinde kaldıktan sonraki eğilme dayanımları sırasıyla 1,7 MPa, 0,9 MPa ve 0,1 MPa olarak belirlenmiştir. 900 °C sıcaklık etkisinde bırakılan portland çimentolu numuneler hasar gördüğü için değer bulunamamıştır. Aynı orana sahip alüminatlı çimento ile hazırlanan numunelerin sıcaklık öncesi eğilme dayanımı 1,7 MPa iken 300 °C, 600 °C, 900 °C ve 1100 °C sıcaklıkları etkisinde kalan numunelerin eğilme dayanımları sırasıyla 1,9 MPa, 1,1 MPa, 1,3 MPa ve 1,1 MPa olarak belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alınarak elde edilen sıcaklık etkisi altındaki numunelerin eğilme dayanımındaki değişim yüzdeleri Şekil 4.28’de gösterilmiştir.



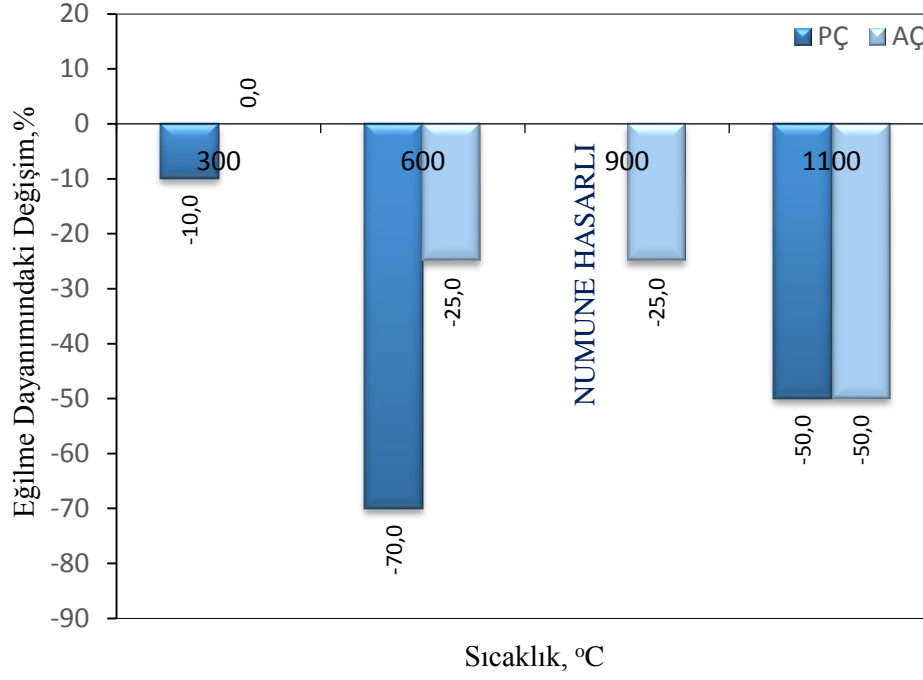
**Şekil 4.29** Vermikülit/Çimento Oranı 4 Olan Numunelerin Eğilme Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi

Çalışmada vermikülit/çimento oranı 4 olan portland çimento ile hazırlanan numunelerin sıcaklık öncesi eğilme dayanımı 1,3 MPa olarak belirlenmiş olup, 300 °C, 600 °C ve 1100 °C sıcaklıkları etkisinde kaldıktan sonraki eğilme dayanımları sırasıyla 1,3 MPa, 0,3 MPa ve 0,2 MPa olarak belirlenmiştir. 900 °C sıcaklık etkisinde bırakılan portland çimentolu numuneler hasar gördüğü için değer bulunamamıştır. Aynı orana sahip alüminatlı çimento ile hazırlanan numunelerin sıcaklık öncesi eğilme dayanımı 1,4 MPa iken 300 °C, 600 °C, 900 °C ve 1100 °C sıcaklıkları etkisinde kalan numunelerin eğilme dayanımları sırasıyla 0,9 MPa, 0,7 MPa, 0,8 MPa ve 0,6 MPa olarak belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alınarak elde edilen sıcaklık etkisi altındaki numunelerin eğilme dayanımındaki değişim yüzdeleri Şekil 4.29’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.30** Vermikülit/Çimento Oranı 5 Olan Numunelerin Eğilme Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi

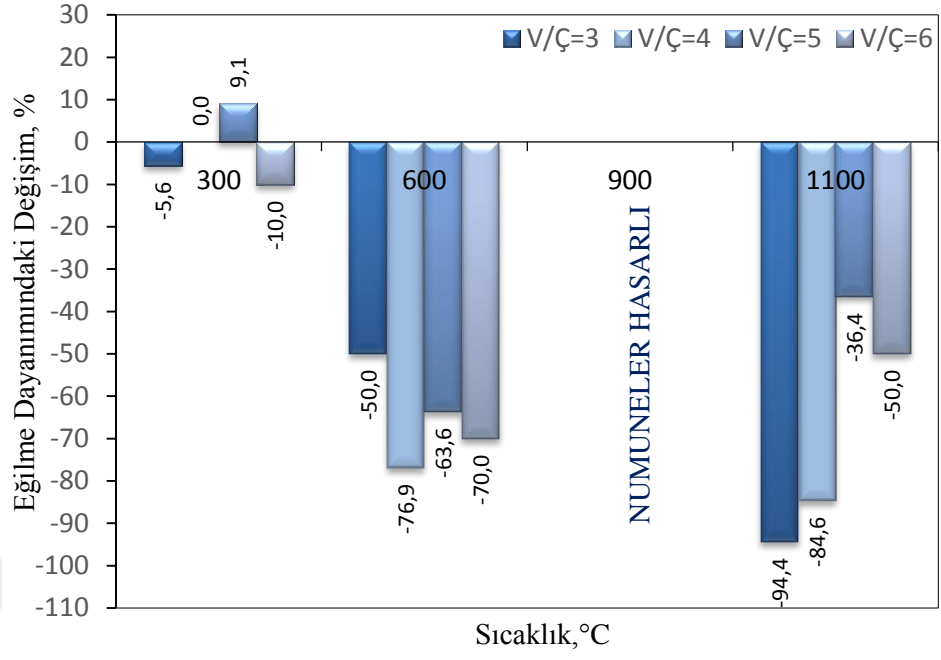
Çalışmada vermikülit/çimento oranı 5 olan portland çimento ile hazırlanan numunelerin sıcaklık öncesi eğilme dayanımı 1,0 MPa olarak belirlenmiş olup, 300 °C, 600 °C ve 1100 °C sıcaklıkları etkisinde kaldıktan sonraki eğilme dayanımları sırasıyla 1,1 MPa, 0,3 MPa ve 0,6 MPa olarak belirlenmiştir. 900 °C sıcaklık etkisinde bırakılan portland çimentolu numuneler hasar gördüğü için değer bulunamamıştır. Aynı orana sahip alüminatlı çimento ile hazırlanan numunelerin sıcaklık öncesi eğilme dayanımı 0,7 MPa iken 300 °C, 600 °C, 900 °C ve 1100 °C sıcaklıkları etkisinde kalan numunelerin eğilme dayanımları sırasıyla 0,6 MPa, 0,4 MPa, 0,6 MPa ve 0,4 MPa olarak belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alınarak elde edilen sıcaklık etkisi altındaki numunelerin eğilme dayanımındaki değişim yüzdeleri Şekil 4.30'da gösterilmiştir.



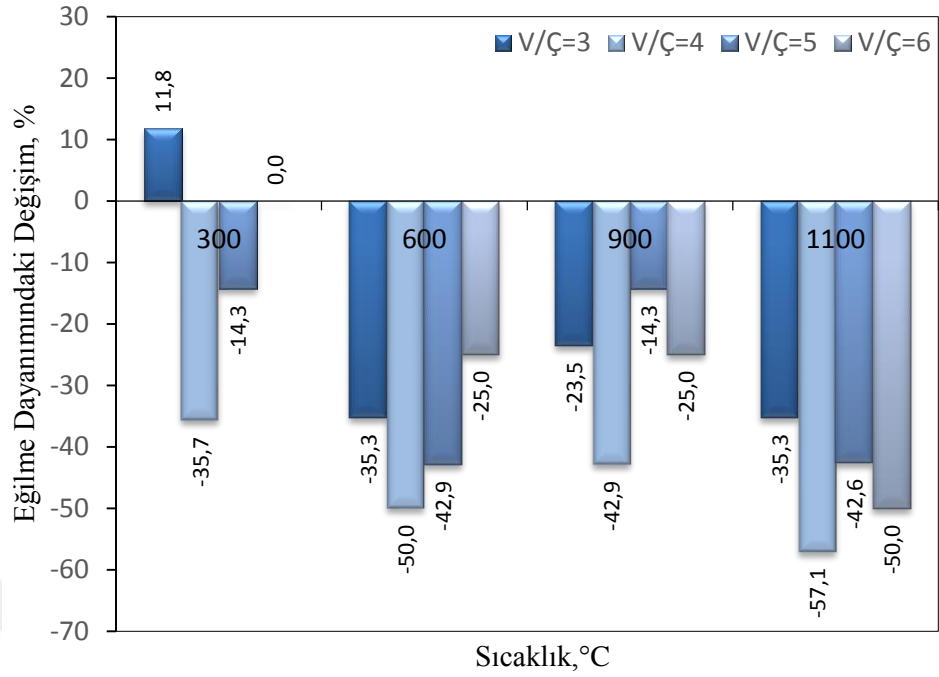
**Şekil 4.31** Vermikülit/Çimento Oranı 6 Olan Numunelerin Eğilme Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi

Çalışmada vermikülit/çimento oranı 6 olan portland çimento ile hazırlanan numunelerin sıcaklık öncesi eğilme dayanımı 1,0 MPa olarak belirlenmiş olup, 300 °C, 600 °C ve 1100 °C sıcaklıkları etkisinde kaldıktan sonraki eğilme dayanımları sırasıyla 0,9 MPa, 0,3 MPa ve 0,5 MPa olarak belirlenmiştir. 900 °C sıcaklık etkisinde bırakılan portland çimentolu numuneler hasar gördüğü için değer bulunamamıştır. Aynı orana sahip alüminatlı çimento ile hazırlanan numunelerin sıcaklık öncesi eğilme dayanımı 0,4 MPa iken 300 °C, 600 °C, 900 °C ve 1100°C sıcaklıkları etkisinde kalan numunelerin eğilme dayanımları sırasıyla 0,4 MPa, 0,3 MPa, 0,3 MPa ve 0,2 MPa olarak belirlenmiştir. Bu değerler dikkate alınarak elde edilen sıcaklık etkisi altındaki numunelerin eğilme dayanımındaki değişim yüzdeleri Şekil 4.31’de gösterilmiştir.

Çalışmada oluşturulan numunelerin vermikülit/çimento oranına ve sıcaklık değerlerine göre eğilme dayanımlarındaki değişim oranları portland çimento ve alüminatlı çimento kullanımına göre Şekil 4.32 ve Şekil 4.33’de verilmiştir.



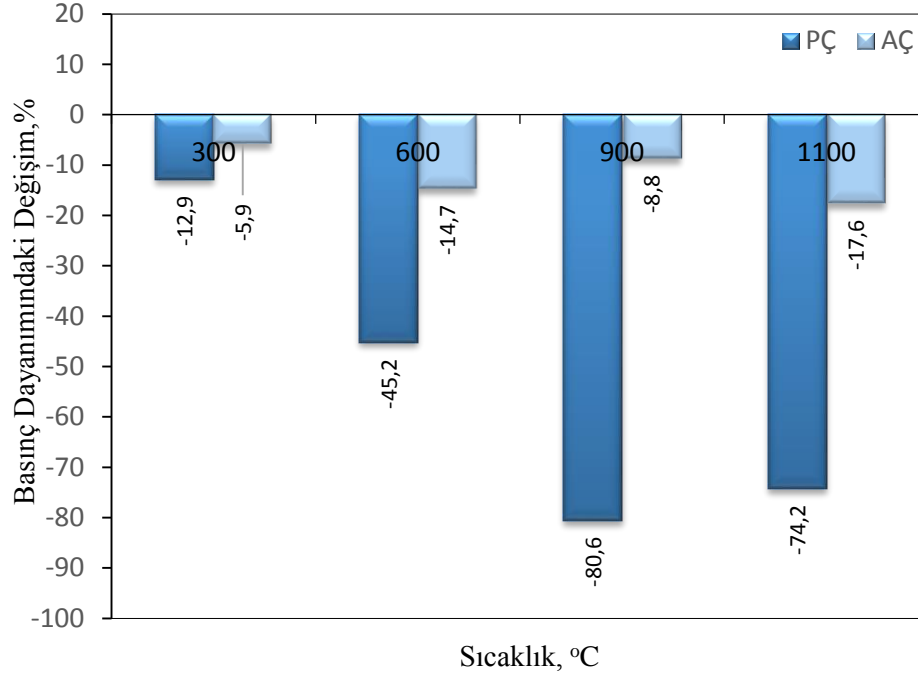
**Şekil 4.32** Numunelerin Eğilme Dayanımlarının Sıcaklığa Bağlı Vermikülit/Çimento Oranına Göre Değişimi (Portland Çimento)



**Şekil 4.33** Numunelerin Eğilme Dayanımlarının Sıcaklığa Bağlı Vermikülit/Çimento Oranına Göre Değişimi (Alüminatlı Çimento)

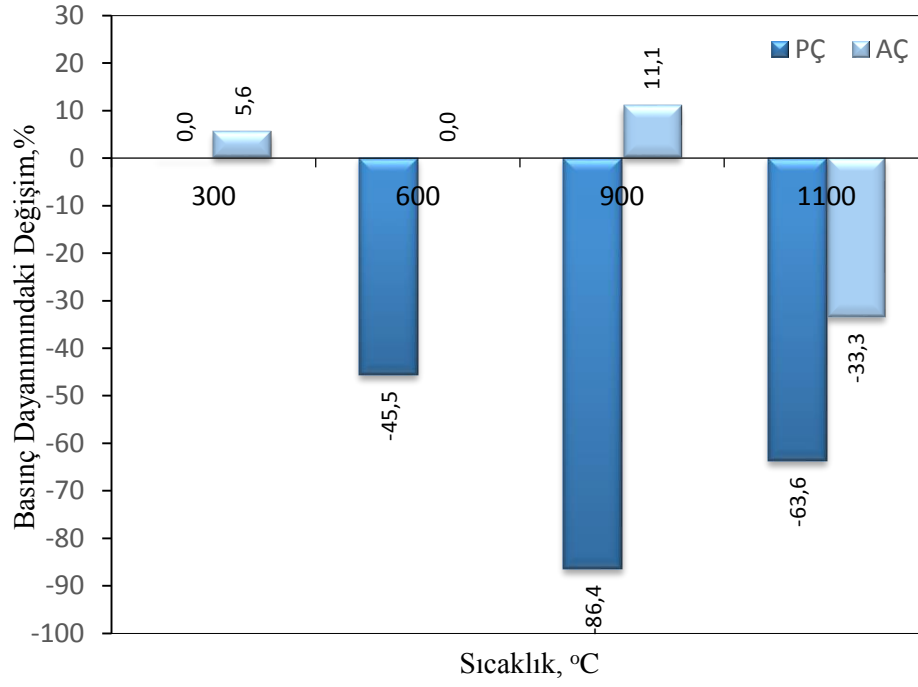
#### 4.6. Basınç Dayanımı

Çalışma için üretilen numunelere daha önce belirtilen sıcaklık öncesi ve sıcaklık sonrası deneyler uygulandıktan sonra üç noktalı eğilme testi yapılmıştır. Eğilme testi sonucunda iki parçaya ayrılan numunelere basınç testi uygulanmıştır. Daha önce belirtilen her sıcaklık etkisinde kalan 3 numuneden 6 adet numune elde edilmiş ve bu numunelerin basınç deneyi sonuçları belirlenerek ortalamaları alınmış, sıcaklık sonrası numunelerin basınç dayanımları tespit edilmiştir. Basınç dayanımları tespit edilen numunelerin referans numune baz alınarak basınç dayanımındaki artma veya azalma oranları Şekil4.34 –Şekil 4.37’de verilmektedir.



**Şekil 4.34** Vermikülit/Çimento Oranı 3 Olan Numunelerin Basınç Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi

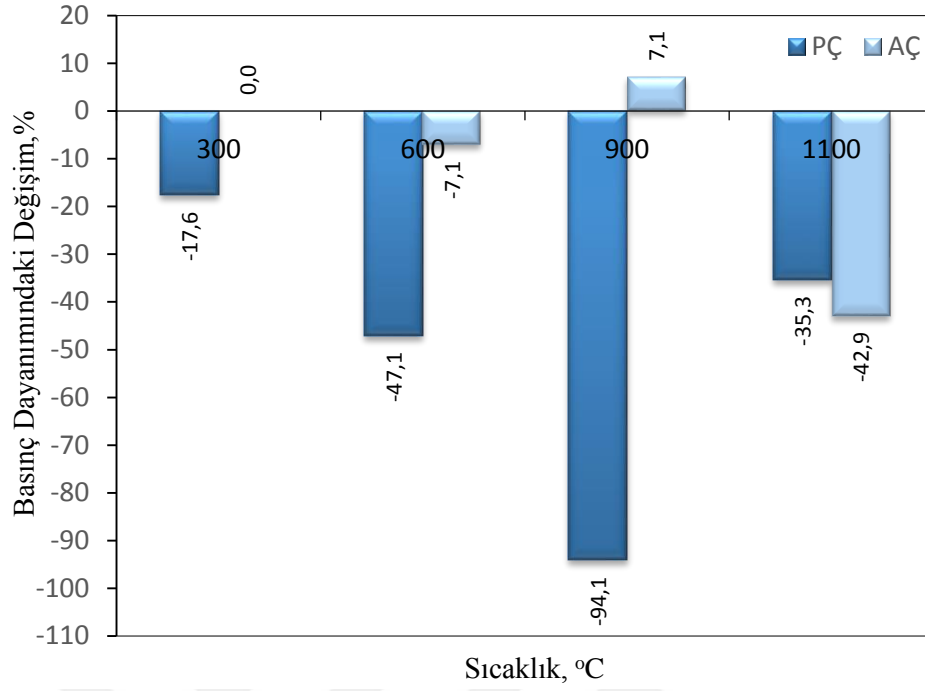
Vermikülit/çimento oranı 3 olan portland çimentolu referans numune basınç dayanımı 3,1 MPa olduğu tespit edilmiştir. Aynı karışıma sahip ve 300 °C, 600 °C, 900 °C ve 1100 °C sıcaklarına maruz kalan numunelerin basınç değerleri sırasıyla 2,7 MPa, 1,7 MPa, 0,6 MPa ve 0,8 MPa'dır. Yine vermikülit/çimento oranı 3 olan, alüminatlı çimento ile üretilmiş numuneler için referans numune basınç değeri 3,4 MPa olup, 300 °C, 600 °C, 900 °C ve 1100 °C sıcaklıklarına maruz kalmış numunelerin basınç dayanımları sırasıyla 3,2 MPa, 2,9 MPa, 3,1 MPa ve 2,8 MPa olarak bulunmuştur. Bulunan bu basınç dayanım değerlerindeki artma ve azalma oranı referans numuneler baz alınarak hesaplanmış ve Şekil 4.34'de gösterilmiştir.



**Şekil 4.35** Vermikülit/Çimento Oranı 4 Olan Numunelerin Basınç Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi

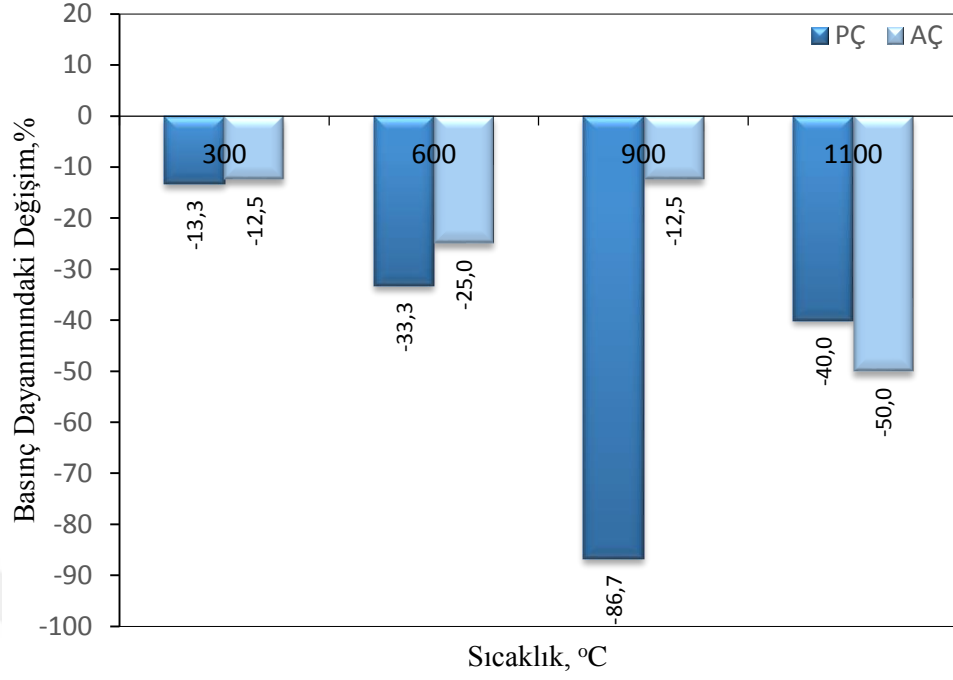
Vermikülit/çimento oranı 4 olan portland çimentolu referans numune basınç dayanımı 2,2 MPa olduğu tespit edilmiştir. Aynı karışıma sahip ve 300 °C, 600 °C, 900 °C ve 1100 °C sıcaklarına maruz kalan numunelerin basınç değerleri sırasıyla 2,2 MPa, 1,2 MPa, 0,3 MPa ve 0,8 MPa'dır. Yine vermicülit/çimento oranı 3 olup, alüminatlı çimento ile üretilmiş numuneler için referans numune basınç değeri 1,8MPa olup, 300 °C, 600 °C, 900 °C ve 1100 °C sıcaklıklarına maruz kalmış numunelerin basınç dayanımları sırasıyla 1,9 MPa, 1,8 MPa, 2,0 MPa ve 1,2 MPa olarak bulunmuştur. Bulunan bu basınç dayanım değerlerindeki artma ve azalma oranı referans numuneler baz alınarak hesaplanmış ve Şekil 4.35'de gösterilmiştir.





**Şekil 4.36** Vermikülit/Çimento Oranı 5 Olan Numunelerin Basınç Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi

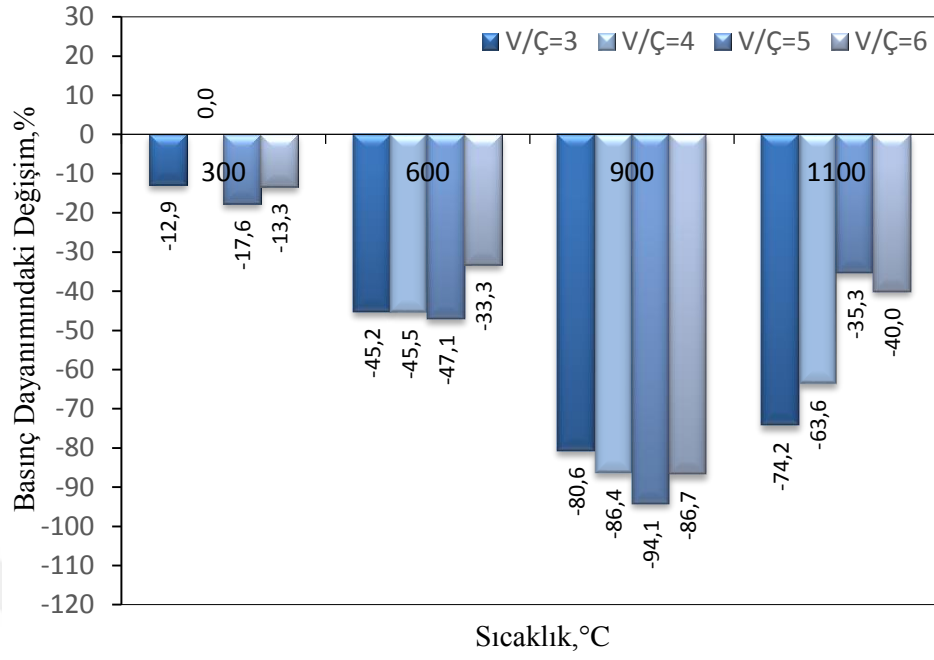
Vermikülit/çimento oranı 5 olan portland çimentolu referans numune basınç dayanımı 1,7 MPa olduğu tespit edilmiştir. Aynı karışıma sahip ve 300 °C, 600 °C, 900 °C ve 1100 °C sıcaklarına maruz kalan numunelerin basınç değerleri sırasıyla 1,4 MPa, 0,9 MPa, 0,1 MPa ve 1,1 MPa'dır. Yine vermikülit/çimento oranı 3 olan, alüminatlı çimento ile üretilmiş numuneler için referans numune basınç değeri 1,4MPa olup, 300 °C, 600 °C, 900 °C ve 1100 °C sıcaklıklarına maruz kalmış numunelerin basınç dayanımları sırasıyla 1,4 MPa, 1,3 MPa, 1,5 MPa ve 0,8 MPa olarak bulunmuştur. Bulunan bu basınç dayanım değerlerindeki artma ve azalma oranı referans numuneler baz alınarak hesaplanmış ve Şekil 4.36'de gösterilmiştir.



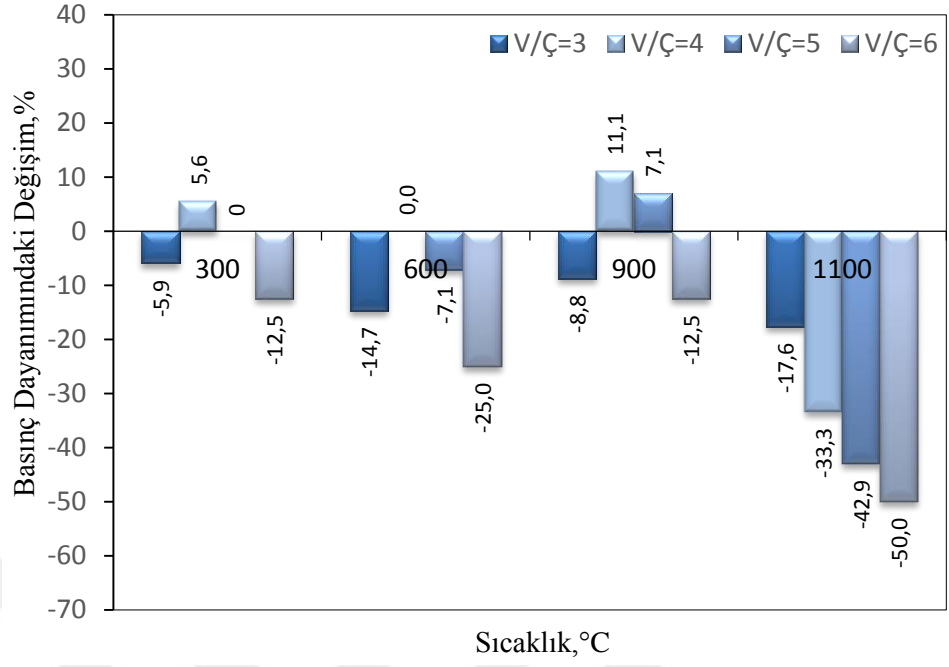
**Şekil 4.37** Vermikülit/Çimento Oranı 6 Olan Numunelerin Basınç Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Değişimi

Vermikülit/çimento oranı 6 olan portland çimentolu referans numune basınç dayanımı 1,5 MPa olduğu tespit edilmiştir. Aynı karışıma sahip ve 300 °C, 600 °C, 900 °C ve 1100 °C sıcaklarına maruz kalan numunelerin basınç değerleri sırasıyla 1,3 MPa, 1,0 MPa, 0,2 MPa ve 0,9 MPa'dır. Yine vermikülit/çimento oranı 3 olup, alüminatlı çimento ile üretilmiş numuneler için referans numune basınç değeri 0,8 MPa olup, 300 °C, 600 °C, 900 °C ve 1100 °C sıcaklıklarına maruz kalmış numunelerin basınç dayanımları sırasıyla 0,7 MPa, 0,6 MPa, 0,7 MPa ve 0,4 MPa olarak bulunmuştur. Bulunan bu basınç dayanım değerlerindeki artma ve azalma oranı referans numuneler baz alınarak hesaplanmış ve Şekil 4.37'de gösterilmiştir.

Çalışmada oluşturulan numunelerin vermikülit/çimento oranına ve sıcaklık değerlerine göre basınç dayanımlarındaki değişim oranları portland çimento ve alüminatlı çimento kullanımına göre Şekil 4.38 ve Şekil 4.39'de verilmiştir.



**Şekil 4.38** Numunelerin Basınç Dayanımlarının Sıcaklığa Bağlı Vermikülit/Çimento Oranına Göre Değişimi (Portland Çimento)



**Şekil 4.39** Numunelerin Basınç Dayanımlarının Sıcaklığa Bağlı Vermikülit/Çimento Oranına Göre Değişimi (Alüminatlı Çimento)

## 5. SONUÇLAR

Deneysel çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

1. Numunelerin kuru birim ağırlık değişimleri incelendiğinde tamamında azalma görülmüştür. Bütün numuneler incelendiğinde en çok azalma %33,5 oranında olurken, en az azalma miktarı %8,0 oranında görülmüştür. Portland çimento ile üretilen numunelerde maksimum azalma %33,5 oranında V/Ç oranı 6 olan 600 °C sıcaklığa maruz kalmış numunelerde gözlenirken, minimum azalma %12,14 oranında V/Ç oranı 6 olan 1100 °C sıcaklığa maruz bırakılmış numunelerde tespit edilmiştir. Alüminatlı çimento ile üretilen numunelere bakıldığında ise maksimum azalma %27,9 oranında V/Ç oranı 6 olan 300 °C sıcaklığa maruz kalan numunelerde gözlenirken, minimum değer %8,0 oranında V/Ç oranı 3 olan 300 °C sıcaklığa maruz kalan numunelerde tespit edilmiştir.
2. Numunelerin su emme miktarındaki değişimleri incelediğimizde su emme oranları sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra daima artış göstermiştir. Bu artış miktarları en fazla %106,8 portland çimentolu 600 °C sıcaklık etkisinde kalmış V/Ç oranı 6 olan numunelerde görülürken, en az artış miktarı %6,3 oranı ile portland çimentolu 1100 °C sıcaklığa maruz kalmış V/Ç oranı 6 olan numunelerde tespit edilmiştir. Alüminatlı çimento ile hazırlanan numunelerde ise su emme oranındaki artış miktarı %100,7-21,8 arasında değişmektedir.
3. Bu çalışmada numunelerin boşluk oranlarına bakıldığında hem artış hem azalma görülmektedir. Porozitedeki artışın maksimum değeri alüminatlı çimento ile hazırlanan 600 °C etkisinde bırakılmış V/Ç oranı 5 olan numunelerde %47,9 olarak görülmüştür. Porozite değerinde azalma sadece portland çimentolu 1100 °C sıcaklığa maruz bırakılmış V/Ç değeri 6 olan numunelerde görülmüştür. Bu değer %-15,2 oranı olarak tespit edilmiştir.
4. Ultrases geçiş hızındaki sonuçları değerlendirdiğimizde, portland çimento ile hazırlanan numune değerlerinde hem artış hem de azalma tespit edilmiştir. Maksimum azalma %29,2 değerinde olup, 900 °C sıcaklığa maruz bırakılmış ve V/Ç değeri 3 olan numunelerde görülmüştür. Maksimum artma oranı ise %5,5 değerinde olup, 300 °C sıcaklığında V/Ç oranı 4 olan numunelerde

görülmüştür. Alüminatlı çimento ile hazırlanan numunelerde ise ultra ses geçiş hızında yalnızca azalma tespit edilmiştir. Azalma değerlerindeki değişim %34,2-0,1 aralığında değişmekte olup en yüksek azalma oranı 1100 °C sıcaklığa maruz kalmış V/Ç oranı 6 olan numunelerde tespit edilmiştir.

5. Numunelerin eğilme dayanımları incelendiğinde dayanım oranlarında artış ve azalmalar tespit edilmiştir. Portland çimentolu numunelerde eğilme dayanımında en yüksek artış %9,1 oranı ile 300 °C sıcaklık etkisinde bırakılmış V/Ç oranı 5 olan numunelerde görülmüştür. Maksimum azalama oranı ise 1100 °C etkisinde V/Ç oranı 3 olan numunelerde %-94,4 oranı olarak görülmüştür. Alüminatlı çimento ile hazırlanan numunelerde en yüksek artış miktarı %11,8 oranında 300 °C etkisinde V/Ç oranı 3 olan numunelerde, en yüksek azalma oranı ise %-57,1 ile 1100 °C etkisinde V/Ç oranı 4 olan numunelerde tespit edilmiştir.
6. Basınç dayanımları incelenen numunelerin oranları incelendiğinde portland çimentolu numunelerde V/Ç oranı 4 olan 300 °C sıcaklığa maruz kalmış numunelerde basınç dayanımında değişim olmamıştır. En çok değişim oranı da 900 °C sıcaklık etkisinde V/Ç oranı 5 olan numunelerde tespit edilmiştir. Bu değişim oranı %94,1 azalma olarak tespit edilmiştir. Alüminatlı çimento katkılı numuneler incelendiğinde en çok azalma %50,0 oranında 1100 °C sıcaklık etkisinde kalan V/Ç oranı 6 olan numunede görülürken, en çok artış %11,1 oranı ile 900 °C sıcaklığa maruz kalmış V/Ç oranı 4 olan numunelerde görülmüştür.

Genleştirilmiş vermikülitin kullanılması ile yangına dayanıklı çimento esaslı hafif kompozit kaplama malzemesi üretilebileceği, ayrıca genleştirilmiş vermikülitin yapılarda geleneksel sıva harcı yerine yalıtım özelliğine sahip sıvalarda hafif agrega olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

## KAYNAKÇA

1. Eriç, M., Yapıda Sıva Uygulamaları ve Sorunları, İnşaat Derg., 70–73, 1992.
2. TS EN 206-1. Beton-Bölüm 1:Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.
3. Bingöl, A. F., Gül, R., Compressive strength of lightweight aggregate concrete exposed to high temperatures, Indian J. Eng. Mater. Sci., 11, 68–72, 2004.
4. Taşdemir, M. A., Taşıyıcı Hafif Agregalı Betonların Elastik ve Elastik Olmayan Davranışları,Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 1982.
5. Mahsanlar, N., Yüksek Sıcaklık Etkisinde Beton Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2006.
6. H. Konuk, N. Özyurt, C. Taşdemir, Z. Yüceer, R. Sönmez., Hafif Betonların Taşıyıcılık Özellikleri, 1. Ulus. Yapı Malzemesi Kongresi, İstanbul, 2002.
7. Yüzer, N., Aköz, F., Öztürk, L. D., Compressive strength-color change relation in mortars at high temperature, Cem. Concr. Res., 34, 1803–1807, 2004.
8. Çil, İ., Çakır, Ö. A., Ramyar, K., Bilgin, A., Karaduman, N., Farklı Tip Çimentoların Yüksek Sıcaklıklara Direnci, Tübitak, 2007.
9. Şimşek, O., Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yayınevi, Ankara, 2007.
10. Mavi, Ö., Kireç, Harç ve Sıvaların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2000.
11. Khoury, G. A., Compressive strength of concrete at high temperatures: A reassessment, Mag. Concr. Res., 44, 291–309, 1992.
12. Khoury, G. A., Passive fire protection of concrete structures, Proc. Inst. Civ. Eng. Struct. Build., 161, 135–145, 2008.
13. Muñoz-Ruiperez, C., Rodríguez, A., Gutiérrez-González, S., Calderón, V., Lightweight masonry mortars made with expanded clay and recycled aggregates, Constr. Build. Mater., 118, 139–145, 2016.
14. Beydemir, K., Puzolan Katkıların Kireç Harcının Mekanik Özelliklerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2006.
15. Neville, A., Properties of Concrete - 5th Edition, 2012.

16. Clarke, J. L., *Structural Lightweight Aggregate Concrete*, CRC Press, London, 1993.
17. ASTM C330., *Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete*, 2009.
18. Ünal, O., Uygunoğlu, T., Diyatomitin hafif beton üretiminde kullanılması, *Tek. Dergi/Technical J. Turkish Chamb. Civ. Eng.*, 18, 4025–4034, 2007.
19. Topçu, I. B., Semi lightweight concretes produced by volcanic slags, *Cem. Concr. Res.*, 27, 15–21, 1997.
20. Miled, K., Le Roy, R., Sab, K., Boulay, C., Compressive behavior of an idealized EPS lightweight concrete: Size effects and failure mode, *Mech. Mater.*, 36, 1031–1046, 2004.
21. Düzgün, O. A., *Çelik Liflerin Hafif Betonların Dayanımları Üzerindeki Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi*, 2001.
22. Lo, T. Y., Tang, W. C., Cui, H. Z., The effects of aggregate properties on lightweight concrete, *Build. Environ.*, 42, 3025–3029, 2007.
23. Kayali, O., Fly ash lightweight aggregates in high performance concrete, *Constr. Build. Mater.*, 22, 2393–2399, 2008.
24. Sancak, E., *Hafif agregalı Beton Blokların Mekanik Özelliklerine Çelik Lif Kullanımının Etkisi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi*, 1998.
25. Hemanth, J., Compressive strength and microstructural properties of lightweight high-strength cement mortar reinforced with eloxal, *Mater. Des.*, 27, 657–664, 2006.
26. Provis, J. L., van Deventer, J. S. J., *Alkali Activated Materials: State-of-the-Art Report, RILEM TC 224-AAM*, Springer Science & Business Media, 2013.
27. McLellan, B. C., Williams, R. P., Lay, J., Van Riessen, A., Corder, G. D., Costs and carbon emissions for geopolymer pastes in comparison to ordinary portland cement, *J. Clean. Prod.*, 19, 1080–1090, 2011.
28. Singh, B., Ishwarya, G., Gupta, M., Bhattacharyya, S. K., Geopolymer concrete: A review of some recent developments, *Constr. Build. Mater.*, 85, 78–90, 2015.
29. Part, W. K., Ramli, M., Cheah, C. B., An overview on the influence of various factors on the properties of geopolymer concrete derived from industrial by-



- products, *Constr. Build. Mater.*, 77, 370–395, 2015.
30. Carabba, L., Manzi, S., Bignozzi, M. C., Superplasticizer addition to carbon fly ash geopolymers activated at room temperature, *Materials (Basel)*, 9, 586, 2016.
  31. Sabbatini, A., Vidal, L., Pettinari, C., Sobrados, I., Rossignol, S., Control of shaping and thermal resistance of metakaolin-based geopolymers, *Mater. Des.*, 116, 374–385, 2017.
  32. Barbosa, V. F. F., MacKenzie, K. J. D., Thermal behaviour of inorganic geopolymers and composites derived from sodium polysialate, *Mater. Res. Bull.*, 38, 318–331, 2003.
  33. Kamseu, E., Rizzuti, A., Leonelli, C., Perera, D., Enhanced thermal stability in K<sub>2</sub>O-metakaolin-based geopolymer concretes by Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub> fillers addition, *J. Mater. Sci.*, 45, 1715–1724, 2010.
  34. Fan, F., Liu, Z., Xu, G., Peng, H., Cai, C. S., Mechanical and thermal properties of fly ash based geopolymers, *Constr. Build. Mater.*, 160, 66–81, 2018.
  35. Musil, S. S., Kriven, W. M., In situ mechanical properties of chamotte particulate reinforced, potassium geopolymer, *J. Am. Ceram. Soc.*, 97, 907–915, 2014.
  36. Kodur, V. K. R., Shakya, A. M., Effect of temperature on thermal properties of spray applied fire resistive materials, *Fire Saf. J.*, 61, 314–323, 2013.
  37. Carabba, L., Moricone, R., Scarponi, G. E., Tugnoli, A., Bignozzi, M. C., Alkali activated lightweight mortars for passive fire protection: A preliminary study, *Constr. Build. Mater.*, 195, 75–84, 2019.
  38. Sakkas, K., Pantias, D., Nomikos, P. P., Sofianos, A. I., Potassium based geopolymer for passive fire protection of concrete tunnels linings, *Tunn. Undergr. Sp. Technol.*, 43, 148-156, 2014.
  39. Sotiriadis, K., Guzii, S., Kumpová, I., Mácová, P., Viani, A., The effect of firing temperature on the composition and microstructure of a geocement-based binder of sodium water-glass, *Solid State Phenom.*, 58–62, Trans Tech Publications, 2017.
  40. Cheng, T. W., Chiu, J. P., Fire-resistant geopolymer produce by granulated blast furnace slag, *Miner. Eng.*, 16, 205–210, 2003.
  41. Krivenko, P. V., Pushkareva, Y. K., Sukhanevich, M. V., Guziy, S. G.,

Fireproof Coatings on the Basis of Alkaline Aluminum Silicate Systems, 29, 129-142, 2009.

42. Temuujin, J., Minjigmaa, A., Rickard, W., Lee, M., Williams, I., van Riessen, A., Fly ash based geopolymer thin coatings on metal substrates and its thermal evaluation, *J. Hazard. Mater.*, 180, 748–752, 2010.
43. Swamy, R., Jiang, E., Pore Structure and Carbonation of Lightweight Concrete After 10 Years' Exposure, 1993.
44. Swamy, R. N., Lambert, G. H., Mix design and properties of concrete made from PFA coarse aggregates and sand, *Int. J. Cem. Compos. Light. Concr.*, 5, 263–275, 1983.
45. Mouli, M., Khelafi, H., Performance characteristics of lightweight aggregate concrete containing natural pozzolan, *Build. Environ.*, 43, 31–36, 2008.
46. Hardjito, D., Rangan, B. V., Development and properties of low-calcium fly ash-based geopolymer concrete, 2005.
47. Davidovits, J., Chemistry of geopolymeric systems, terminology, Second Int. Conf. Geopolymer, 9–39, 1999.
48. Li, Z., Ding, Z., Zhang, Y., Development of sustainable cementitious materials, *Proc. Int. Work. Sustain. Dev. Concr. Technol.*, 1, 55–76, 2004.
49. Duxson, P., Fernández-Jiménez, A., Provis, J. L., Lukey, G. C., Palomo, A., Van Deventer, J. S. J., Geopolymer technology: The current state of the art, *J. Mater. Sci.*, 42, 2917–2933, 2007.
50. Detphan, S., Chindaprasirt, P., Preparation of fly ash and rice husk ash geopolymer, *Int. J. Miner. Metall. Mater.*, 16, 720–726, 2009.
51. Bakharev, T., Thermal behaviour of geopolymers prepared using class F fly ash and elevated temperature curing, *Cem. Concr. Res.*, 36, 1134–1147, 2006.
52. Rickard, W. D. A., Temuujin, J., Van Riessen, A., Thermal analysis of geopolymer pastes synthesised from five fly ashes of variable composition, *J. Non. Cryst. Solids.*, 358, 1830–1839, 2012.
53. Provis, J. L., Yong, C. Z., Duxson, P., van Deventer, J. S. J., Correlating mechanical and thermal properties of sodium silicate-fly ash geopolymers, *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.*, 336, 57–63, 2009.
54. Corinaldesi, V., Mazzoli, A., Siddique, R., Characterization of lightweight

mortars containing wood processing by-products waste, *Constr. Build. Mater.*, 123, 281–289, 2016.

55. Turgut, P., Murat Algin, H., Limestone dust and wood sawdust as brick material, *Build. Environ.*, 42, 3399–3403, 2007.
56. Bergeron, F. C., Assessment of the coherence of the Swiss waste wood management, *Resour. Conserv. Recycl.*, 91, 62–70, 2014.
57. Wihersaari, M., Evaluation of greenhouse gas emission risks from storage of wood residue, *Biomass and Bioenergy.*, 28, 444–453, 2005.
58. Höglmeier, K., Weber-Blaschke, G., Richter, K., Potentials for cascading of recovered wood from building deconstruction - A case study for south-east Germany, *Resour. Conserv. Recycl.*, 78, 81-91, 2013.
59. Cheah, C. B., Ramli, M., The implementation of wood waste ash as a partial cement replacement material in the production of structural grade concrete and mortar: An overview, *Resour. Conserv. Recycl.*, 55, 669–685, 2011.
60. Siddique, R., Utilization of wood ash in concrete manufacturing, *Resour. Conserv. Recycl.*, 67, 27–33, 2012.
61. Elinwa, A. U., Mahmood, Y. A., Ash from timber waste as cement replacement material, *Cem. Concr. Compos.*, 24, 219-222, 2002.
62. Udoeyo, F. F., Dashibil, P. U., Sawdust ash as concrete material, *J. Mater. Civ. Eng.*, 14, 173–176, 2002.
63. Bouguerra, A., Amiri, O., Aït-Mokhtar, A., Diop, M. B., Water sorptivity and pore structure of wood-cementitious composites, *Mag. Concr. Res.*, 54, 103–112, 2002.
64. Coatanlem, P., Jauberthie, R., Rendell, F., Lightweight wood chipping concrete durability, *Constr. Build. Mater.*, 20, 776–781, 2006.
65. Quiroga, A., Marzocchi, V., Rintoul, I., Influence of wood treatments on mechanical properties of wood-cement composites and of Populus Euroamericana wood fibers, *Compos. Part B Eng.*, 84, 25-32, 2016.
66. Pfeifer, D. W., Reinforced lightweight concrete columns, *Proc ASCE.*, 95, 57–82, 1969.
67. Nelson, G. H., Frei, O. C., Lightweight structural concrete proportionality and control, *ACI J.*, 54, 605–622, 1958.

68. Martinez, S., Nilson, A., Slate, F., Short term mechanical properties of high-strength lightweight cement mortar, 1982.
69. Silva, S. P., Sabino, M. A., Fernandas, E. M., Correlo, V. M., Boesel, L. F., Reis, R. L., Cork: Properties, capabilities and applications, *Int. Mater. Rev.*, 50, 345–365, 2005.
70. Pacheco Menor, M. C., Serna Ros, P., Macías García, A., Arévalo Caballero, M. J., Granulated cork with bark characterised as environment-friendly lightweight aggregate for cement based materials, *J. Clean. Prod.*, 229, 358-373, 2019.
71. [http://www.apcor.pt/wp-content/uploads/2017/12/Boletim\\_Estatistico\\_APCOR\\_17\\_18.pdf](http://www.apcor.pt/wp-content/uploads/2017/12/Boletim_Estatistico_APCOR_17_18.pdf), Apcor
72. Rives, J., Fernández-Rodríguez, I., Rieradevall, J., Gabarrell, X., Environmental analysis of the production of champagne cork stoppers, *J. Clean. Prod.*, 25, 1-13, 2012.
73. Matos, A. M., Nunes, S., Sousa-Coutinho, J., Cork waste in cement based materials, *Mater. Des.*, 85, 230-239, 2015.
74. Brás, A., Leal, M., Faria, P., Cement-cork mortars for thermal bridges correction. Comparison with cement-EPS mortars performance, *Constr. Build. Mater.*, 49, 315-327, 2013.
75. González, B., Llamas, B., Juan, A., Guerra, I., Ensayos de hormigones fabricados con polvo de corcho, *Mater. Constr.*, 57, 83-90, 2007.
76. Panesar, D. K., Shindman, B., The mechanical, transport and thermal properties of mortar and concrete containing waste cork, *Cem. Concr. Compos.*, 2012.
77. de-Carvalho, R., Teixeira-Dias, F., Varum, H., Cyclic behaviour of a lightweight mortar with cork granulate composite, *Compos. Struct.*, 95, 748-755, 2013.
78. Moreira, A., António, J., Tadeu, A., Lightweight screed containing cork granules: Mechanical and hygrothermal characterization, *Cem. Concr. Compos.*, 49, 1-8, 2014.
79. Haque, M. N., Al-Khaiat, H., Kayali, O., Strength and durability of lightweight concrete, *Cem. Concr. Compos.*, 26, 307-314, 2004.
80. Junco, C., Gadea, J., Rodríguez, A., Gutiérrez-González, S., Calderón, V.,

Durability of lightweight masonry mortars made with white recycled polyurethane foam, *Cem. Concr. Compos.*, 34(10), 1174-1179, 2012.

81. Ohama, Y., Concrete-polymer composites-the past, present and future, *Key Eng. Mater.*, 466, 1-14, 2011.
82. Siddique, R., Khatib, J., Kaur, I., Use of recycled plastic in concrete: A review, *Waste Manag.*, 28(10), 1835-1852, 2008.
83. Gadea, J., Rodríguez, A., Campos, P. L., Garabito, J., Calderón, V., Lightweight mortar made with recycled polyurethane foam, *Cem. Concr. Compos.*, 32(9), 672-679, 2010.
84. Temiz, H., Kose, M. M., Koksall, S., Effects of portland composite and composite cements on durability of mortar and permeability of concrete, *Constr. Build. Mater.*, 21(6), 1170-1176, 2007.
85. Coppola, L., Kara, P., Lorenzi, S., Concrete manufactured with crushed asphalt as partial replacement of natural aggregates, *Mater. Constr.*, 1-7, 2016.
86. Coppola, L., Lorenzi, S., Marcassoli, P., Marchese, G., Concrete production by using cast iron industry by-products, *Ind. Ital. del Cem.*, 77, 748, 2007.
87. Coppola, L., Buoso, A., Coffetti, D., Kara, P., Lorenzi, S., Electric arc furnace granulated slag for sustainable concrete, *Constr. Build. Mater.*, 123, 115-119, 2016.
88. Coppola, L., Cerulli, T., Salvioni, D., Sustainable development and durability of self-compacting concretes, 11th Int. Conf. Fract. 2005, ICF11, 29-50, 2005.
89. Saikia, N., De Brito, J., Use of plastic waste as aggregate in cement mortar and concrete preparation: A review, *Constr. Build. Mater.*, 34, 385-401, 2012.
90. Gutiérrez-González, S., Gadea, J., Rodríguez, A., Junco, C., Calderón, V., Lightweight plaster materials with enhanced thermal properties made with polyurethane foam wastes, *Constr. Build. Mater.*, 28, 653-658, 2012.
91. Mounanga, P., Gbongbon, W., Poullain, P., Turcry, P., Proportioning and characterization of lightweight concrete mixtures made with rigid polyurethane foam wastes, *Cem. Concr. Compos.*, 30, 806-814, 2008.
92. Turatsinze, A., Bonnet, S., Granju, J. L., Potential of rubber aggregates to modify properties of cement based-mortars: Improvement in cracking shrinkage resistance, *Constr. Build. Mater.*, 21, 176-181, 2007.

93. Ho, A. C., Turatsinze, A., Hameed, R., Vu, D. C., Effects of rubber aggregates from grinded used tyres on the concrete resistance to cracking, *J. Clean. Prod.*, 23, 209–215, 2012.
94. Tittarelli, F., Giosuè, C., Mobili, A., Di Perna, C., Monosi, S., Effect of Using Recycled Instead of Virgin EPS in Lightweight Mortars, *Procedia Eng.*, 660–665, 2016.
95. Coppola, B., Courard, L., Michel, F., Incarnato, L., Di Maio, L., Investigation on the use of foamed plastic waste as natural aggregates replacement in lightweight mortar, *Compos. Part B Eng.*, 99, 75–83, 2016.
96. Mladenovič, A., Šuput, J. S., Ducman, V., Škapin, A. S., Alkali-silica reactivity of some frequently used lightweight aggregates, *Cem. Concr. Res.*, 34, 1809–1816, 2004.
97. Topçu, I. B., Işikdağ, B., Effect of expanded perlite aggregate on the properties of lightweight concrete, *J. Mater. Process. Technol.*, 204, 34–38, 2008.
98. Yu, L. H., Ou, H., Lee, L. L., Investigation on pozzolanic effect of perlite powder in concrete, *Cem. Concr. Res.*, 33, 73–76, 2003.
99. Torres, M. L., García-Ruiz, P. A., Lightweight pozzolanic materials used in mortars: Evaluation of their influence on density, mechanical strength and water absorption, *Cem. Concr. Compos.*, 31, 114–119, 2009.
100. Bischoff, P. H., Yamura, K., Perry, S. H., Polystyrene aggregate concrete subjected to hard impact, *Proc. - Inst. Civ. Eng. Part 2. Res. theory.*, 89, 225–239, 1990.
101. Gibson, L. J., Cellular solids, *MRS Bull.*, 28, 270–274, 2003.
102. Kramar, D., Bindiganavile, V., Impact response of lightweight mortars containing expanded perlite, *Cem. Concr. Compos.*, 37, 205–214, 2013.
103. Le\*, J. L., Koh\*†, C. G., Wee\*, T. H., Damage modelling of lightweight high-strength concrete under impact, *Mag. Concr. Res.*, 58, 343–355, 2006.
104. Zhang, M. H., Li, L., Paramasivam, P., Flexural toughness and impact resistance of steel-fibre-reinforced lightweight concrete, *Mag. Concr. Res.*, 56, 251–262, 2004.
105. Silva, J., de Brito, J., Veiga, R., Recycled red-clay ceramic construction and demolition waste for mortars production, *J. Mater. Civ. Eng.*, 22, 236–244, 2010.

106. Angulo, S. C., Mueller, A., Determination of construction and demolition recycled aggregates composition, in considering their heterogeneity, *Mater. Struct. Constr.*, 42, 739–748, 2009.
107. Del Río Merino, M., Santa Cruz Astorqui, J., González Cortina, M., Lightweight expanded clay mortars: effect of particle size distribution and ar fibreglass fibre additions on mechanical performance, *Inf. la Construcción.*, 57, 39–46, 2005.
108. Choi, Y. W., Moon, D. J., Kim, Y. J., Lachemi, M., Characteristics of mortar and concrete containing fine aggregate manufactured from recycled waste polyethylene terephthalate bottles, *Constr. Build. Mater.*, 23, 2829–2835, 2009.
109. Aydin, S., Development of a high-temperature-resistant mortar by using slag and pumice, *Fire Saf. J.*, 43, 610–617, 2008.
110. Uygunoğlu, T., Topçu, I. B., Thermal expansion of self-consolidating normal and lightweight aggregate concrete at elevated temperature, *Constr. Build. Mater.*, 23, 3063–3069, 2009.
111. Tanyildizi, H., Coskun, A., The effect of high temperature on compressive strength and splitting tensile strength of structural lightweight concrete containing fly ash, *Constr. Build. Mater.*, 22, 2269–2275, 2008.
112. Abdulkareem, O. A., Mustafa Al Bakri, A. M., Kamarudin, H., Khairul Nizar, I., Saif, A. A., Effects of elevated temperatures on the thermal behavior and mechanical performance of fly ash geopolymer paste, mortar and lightweight concrete, *Constr. Build. Mater.*, 50, 377–387, 2014.
113. Mo, K. H., Alengaram, U. J., Jumaat, M. Z., Liu, M. Y. J., Contribution of acrylic fibre addition and ground granulated blast furnace slag on the properties of lightweight concrete, *Constr. Build. Mater.*, 95, 686–695, 2015.
114. Schackow, A., Effting, C., Folgueras, M. V., Güths, S., Mendes, G. A., Mechanical and thermal properties of lightweight concretes with vermiculite and EPS using air-entraining agent, *Constr. Build. Mater.*, 57, 190–197, 2014.
115. Sengul, O., Azizi, S., Karaosmanoglu, F., Tasdemir, M. A., Effect of expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete, *Energy Build.*, 43, 671–676, 2011.
116. Rashad, A. M., A synopsis about perlite as building material - A best practice guide for Civil Engineer, *Constr. Build. Mater.*, 121, 338–353, 2016.

117. Mo, K. H., Lee, H. J., Liu, M. Y. J., Ling, T. C., Incorporation of expanded vermiculite lightweight aggregate in cement mortar, *Constr. Build. Mater.*, 179, 302–306, 2018.
118. Toksoy, F., Vermikülit : Mineraloji, Jeolojik Oluşum, Endüstriyel Kullanım ve Türkiye’deki Durumu, 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 16–17, İzmir, Türkiye, 1997.
119. Ehsani, İ., Bir Vermikülitin Fiziksel, Kimyasal ve Isıl Özellikleri Üzerine Sülfürik Asit Liçinin Etkileri, Hacettepe Üniversitesi, 2015.
120. Strand, P. R., Vermiculite, S.J. Lefond (Ed.), *Ind. Miner. Rocks*, 1375–1381, SME, United States Loughbrough, 1983.
121. Large Ham Vermikülit, <http://www.msmadencilik.com.tr/Large-Ham-Vermikülit>, 14 Aralık 2019.
122. Malla, P. B., Vermiculite, F.J.L. G.V.Middleton, M.J.Church, M.Coniglio, L.A.Hardie (Ed.), *Encycl. Sediments Sediment. Rocks*, 766–769, Kluwer, 2003.
123. Vermiculite Mineral Data, <http://webmineral.com/data/Vermiculite.shtml#.XfUZ49UzbDc>, 14 Aralık 2019.
124. Genleşmiş Vermikülit, [https://st2.depositphotos.com/7449638/12083/i/950/depositphotos\\_120836716-stock-photo-mineral-vermiculite-samples-for-production.jpg](https://st2.depositphotos.com/7449638/12083/i/950/depositphotos_120836716-stock-photo-mineral-vermiculite-samples-for-production.jpg), 14 Aralık 2019.
125. Vermikülit-Flogopit, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Yapı Malzemeleri III (Pomza-PerlitVermikülit-Flogopit-Genleşen Killer) Çalışma Grubu Raporu, Ankara, 2001.
126. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Dokuzuncu Kalkınma Planı, Ankara, 2007.
127. C. E. Ekinci, A. Y., Silis Dumanlı Betonlarda Sürtünme Yolu ile Aşınma Kaybı, İnşaat Mühendisliğindeki gelişmeler 2. Tek. Kongre, 359–368, İstanbul, 1995.
128. Vermiculite, <http://www.madehow.com/Volume-6/Vermiculite.html>, 17 Aralık 2019.
129. Grekova, A. D., Veselovskaya, J. V., Tokarev, M. M., Krieger, T. A., Shmakov, A. N., Gordeeva, L. G., Ammonia sorption on the composites “(BaCl<sub>2</sub>+BaBr<sub>2</sub>) inside vermiculite pores”, *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.*, 448, 169–174, 2014.



- 130.** Pence, F. K., Blount, E. B., VERMICULITE AS A RAW MATERIAL IN CERAMIC MANUFACTURE, J. Am. Ceram. Soc., 27, 50–52, 1944.
- 131.** Chatterjee, K. K., Vermiculite, Uses of Industrial Minerals, Rocks and Freshwater, Nov. Sci. Publ., 445–448, 2009.
- 132.** Evans, A. M., Ore geology and industrial minerals: an introduction, John Wiley & Sons, 1992.
- 133.** Vermikülitin Seracılıkta Kullanımı, [https://blabto.com/img/perlitivermikulitvchemraznitsaichtoluchs\\_77D2AB9D.jpg](https://blabto.com/img/perlitivermikulitvchemraznitsaichtoluchs_77D2AB9D.jpg), 17 Aralık 2019.
- 134.** Vermikülit ile Üretilmiş İzolasyon Malzemesi, <http://www.msmadencilik.com.tr/Content/img/board-insaat.jpg>, 17 Aralık 2019.
- 135.** MEB., İnşaat Teknolojisi Yangın Yalıtımı, Mesleki Eğitim ve Öğrenim Sist. Güçlendirme Projesi, Ankara, 2006.
- 136.** Vermikülit Katkılı Hafif Sıva Uygulaması, <http://www.msmadencilik.com.tr/Content/img/insaat4.jpg>, 17 Aralık 2019.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Kübra COŞAR, 1989 yılında Yozgat'ın Sorgun İlçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Cumhuriyet İlköğretim Okulunda, lise öğrenimini sırasıyla Atatürk Lisesinde tamamlamıştır. 2008 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde lisans eğitimi başlamış olup 2012 yılında başarıyla bitirmiştir.

2012 yılında Yozgat Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Mühendisliği Programında Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır.

Eğitim hayatının yanı sıra Yozgat Bozok Üniversitesi Sorgun Meslek Yüksek Okulu İnşaat Bölümünde Öğretim Görevlisi olarak iş hayatını devam ettirmekte olan Kübra COŞAR evli ve 1 çocuk annesidir.

### **İletişim Bilgileri:**

**Adres** : Yozgat Bozok Üniversitesi, Sorgun Meslek Yüksekokulu, Ahmet Efendi Mah. Toki konutları Yanı 3500.Cad.No:4 66700 SORGUN/YOZGAT

**Tel** : 0 530 242 92 92

**E-Posta** : kubra.kilic@bozok.edu.tr