

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

Yüksek Lisans Tezi

**YÜKSEK SICAKLIĞIN GENLEŞTİRİLMİŞ VERMİKULİT
KULLANILARAK ÜRETİLEN HAFİF HARÇLARIN
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Serdar AÇIKGÖZ

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

Yozgat 2018

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

Yüksek Lisans Tezi

**YÜKSEK SICAKLIĞIN GENLEŞTİRİLMİŞ VERMİKULİT
KULLANILARAK ÜRETİLEN HAFİF HARÇLARIN
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

Serdar AÇIKGÖZ

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

Yozgat 2018

T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAYI

Enstitümüzün İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı 70110712007 numaralı öğrencisi Serdar AÇIKGÖZ'ün hazırladığı "Yüksek Sıcaklığın Genleştirilmiş Vermikülit Kullanılarak Üretilen Hafif Harçların Özelliklerine Etkisi" başlıklı Yüksek Lisans tezi ile ilgili Tez Savunma Sınavı, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca 29/11/2018 Salı günü saat 10:00'te yapılmış, tezin onayına oy birliği ile karar verilmiştir.

Başkan: Dr. Öğr. Üyesi İsmail İsa ATABEY

Üye : Prof. Dr. Fuat KÖKSAL (Danışman)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KAYA

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 03.../01.../2019 tarih ve 01... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

i. İsmail
Fuat Köksal
Mehmet Kaya

03/01/2019

Prof. Dr. Mustafa SAÇMACI
Müdür

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	x
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	4
2.1. Hafif Betonlar	4
2.2. Vermikülit	6
2.2.1. Tanımı ve Sınıflandırma	6
2.2.2. Üretim Metodu ve Teknolojisi	8
2.2.3. Vermikülitin Kullanım Alanları	10
2.2.3.1. Hafif Beton ve Harçlar	10
2.2.3.2. Sıcaklığa Dayanıklı Sıva	11
2.2.3.3. Isı ve Ses Yalıtımı	12
2.2.3.4. Yangından Korunma	12
2.2.3.5. Yüksek Sıcaklık İzolasyonu	14
2.2.3.6. Su Yalıtımı	14
2.2.3.7. Isı ve Ses Yalıtım Levhaları	15
2.3. Refrakter Malzemeler	15
2.3.1. Refrakter Malzemelerin Tanımı	15
2.3.2. Refrakter Malzemelerin Sınıflandırılması	16
2.3.2.1. Kullanım Sıcaklığına Göre Refrakterlerin Sınıflandırılması	16
2.3.2.2. Üretim Yöntemlerine Göre Refrakterlerin Sınıflandırılması	16
2.3.2.3. Kimyasal Özelliklerine Göre Refrakterlerin Sınıflandırılması	16
2.3.2.4. Bileşen Sayısına Göre Refrakterlerin Sınıflandırılması	17
2.3.3. Refrakter Malzemelerin Kullanım Alanları	17
2.3.4. Refrakter Malzemelerden Beklenen Özellikler	17
2.3.5. Refrakterlerin Yapısı	18
2.3.6. Refrakter Mikroyapıları	18
2.4. Harçlar	19

2.4.1. Yapılarda Harç Kullanımının Temel Amacı	20
2.4.2. Harcın Bileşenleri	21
2.4.3. Harcın Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	21
2.4.3.1. Harcın Fiziksel Özellikleri	22
2.4.3.2. Harcın Mekanik Özellikleri.....	24
2.4.4. Harçta Bulunması Gereken Özellikler	25
2.4.5. Harcın Dayanıklılığı.....	26
2.5. Yüksek Sıcaklık	27
2.5.1. Yüksek Sıcaklık Kaynakları.....	28
2.5.2. Yüksek Sıcaklık Etkisi	30
2.5.2.1. Yüksek Sıcaklığın Çimento Hamurunun Özelliklerine Etkisi	30
2.5.2.2. Yüksek Sıcaklığın Agrega Üzerine Etkileri.....	32
2.5.2.3. Yüksek Sıcaklığın Harçlar Üzerine Etkileri.....	32
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	37
3.1. Kullanılan Malzemeler.....	37
3.1.1. Çimento	37
3.1.2. Genleştirilmiş Vermikülit	37
3.2. Karışım Oranları ve Üretim	41
3.2.1. Numune Üretimi	41
3.2.2. Numunelerin Sıcaklık Etkisine Konulması.....	42
3.3. Deneyler	44
3.3.1. Taze Harç Deneyleri	44
3.3.2. Sertleşmiş Harç Deneyleri	45
3.3.2.1. Fiziksel Özellik Deneyleri.....	45
3.3.2.2. Mekanik Özellik Deneyleri	49
3.3.2.3. Ultrases Geçiş Hızlarının Belirlenmesi.....	51
4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	54
4.1. Fiziksel Özellikler	54
4.1.1. Kuru Birim Hacim Ağırlık.....	54
4.1.2. Su Emme	58
4.1.3. Porozite	62
4.1.4. Ultrases Geçiş Hızı.....	66
4.2. Mekanik Özellikler.....	70
4.2.1. Eğilme Dayanımı	70
4.2.2. Basınç Dayanımı	74
5. SONUÇLAR.....	78
KAYNAKLAR	80

ÖZGEÇMİŞ..... 84



YÜKSEK SICAKLIĞIN GENLEŞTİRİLMİŞ VERMİKÜLİT KULLANILARAK ÜRETİLEN HAFİF HARÇLARIN ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Serdar AÇIKGÖZ

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

2018; Sayfa: 110

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Fuat KÖKSAL

ÖZET

Bu çalışmada genleştirilmiş vermikülit kullanılarak üretilen hafif harçların yüksek sıcaklık etkisindeki davranışları incelenmiştir. Bu amaçla 20 °C, 300 °C, 600 °C ve 900 °C sıcaklık değerleri için 5 farklı vermikülit/çimento oranı kullanılarak 40x40x160 mm boyutlarında 60 adet numune üretilmiştir. Yüksek sıcaklık fırınında, her bir sıcaklık gurubunda bulunan numuneler 6 saat süre ile sıcaklık etkisine bırakılmıştır. Soğuma sonrası numuneler üzerinde fiziksel özelliklerin belirlenmesi amacıyla kuru birim ağırlık, boşluk oranı, su emme ve ultrases geçiş hızı deneyleri yapılmıştır. Mekanik dayanımların tespiti için ise eğilme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır.

Vermikülit/çimento oranı arttıkça birim ağırlıkta azalma, porozite ve su emme değerleri ise artmıştır. Genel olarak bütün vermikülit/çimento oranları için 300 °C ve 600 °C sıcaklık sonrası ultrases hızının azaldığı, 900°C sonrası ise toparlanma gözlemlenmiştir. Bütün vermikülit/çimento oranları için 300 °C ve 600 °C sıcaklık sonrası basınç ve eğilme dayanımları belirgin azalma olmamıştır, buna karşılık 900°C sonrası dayanımlarda belirgin azalma gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Genleştirilmiş vermikülit, yüksek sıcaklık, harç.

THE EFFECT OF HIGH TEMPERATURE ON THE CHARACTERISTICS OF LIGHT MORTARS PRODUCED BY USING EXPANDED VERMICULITE

Serdar AÇIKGÖZ

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

2018; Page: 110

Thesis Supervisor: Professor Fuat KÖKSAL

ABSTRACT

In this study, the effects of light mortars produced by using expanded vermiculite in high temperature were investigated. For this purpose 60 samples with dimensions of 40x40x160 mm were produced by using 5 different vermiculite/cement ratios for temperature values of 20 °C, 300 °C, 600 °C and 900 °C. Samples in each temperature group in the high temperature furnace were left to the temperature effect for 6 hours. Dry unit weight, porosity, water absorption and ultrasound velocity tests were performed to determine the physical properties of the samples after cooling. For the determination of mechanical strength, bending and compressive strength tests were performed.

Unit weight of mortars decreased by increasing vermiculite/cement ratio, however porosity and water absorption increased. Ultrasound velocity was decreased for all vermiculite/cement ratios after temperatures of 300 °C ve 600 °C, but a recovery in ultrasound velocity was obtained after 900°C. There were no significant changes on compression and bending strength for temperatures of 300 °C ve 600 °C, however a certain decrease was observed at 900°C

Keywords: Expanded vermiculite, high temperature, mortar.

TEŞEKKÜR

Her Őeyden 6nce gerek y6ksek lisans eğitimim s6resince ve gerekse t6m tez 6alıŐmalarımın baŐından sonuna her aŐamasında bilgi ve tecr6beleri ile her konuda yardımcı olan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Fuat K6KSAL'a en i6ten teŐekk6rlerimi sunmak isterim.

Y6ksek lisans eğitim s6resi boyunca 6zerimde emekleri bulunan Bozok 6niversitesi İnaŐat M6hendisliği B6l6m6nde g6revli değerli hocalarıma, deneysel 6alıŐmalarımın tamamında yardımcı olan Dr. 6đretim 6yesi YuŐa Őahin hocama, İnaŐat Y6ksek M6h Cansu Ergin'e, İnaŐat Y6ksek M6h Elif Tuđ6e Kocabeyođlu'na, laboratuvar g6revlisi Hayrullah G6LER'e teŐekk6r ederim.

Hayatımın her aŐamasında maddi manevi her konuda t6m desteklerini esirgemedен sunan sevgili eŐim Gamze A6IKG6Z'e, rahmetli babam Muhittin A6IKG6Z'e, sevgili annem Fatma A6IKG6Z'e sonsuz teŐekk6r ederim.

TABLULAR LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1. Hafif Betonun Sınıflandırılması [21]	5
Tablo 2.2. Ticari Değerleri Olan Vermikülitin Kimyasal Analizleri	7
Tablo 2.3. Hacimce harç karışım oranları	20
Tablo 2.4. Harçların yapıda kullanım şekli ve yeri	21
Tablo 3.1. CEM I 42,5 R Portland Çimentosunun Özellikleri	37
Tablo 3.2. Genleştirilmiş Vermikülitin Fiziksel Özellikleri.....	38
Tablo 3.3. Genleştirilmiş Vermikülitin Kimyasal Özellikleri.....	38
Tablo 3.4. Genleştirilmiş Vermikülitin Elek Analizi Değerleri	39
Tablo 3.5. Karışım Oranları.....	41
Tablo 3.6. Taze Harçlara Ait Birim Hacim Ağırlık ve Yayılma Deney Sonuçları	44
Tablo 3.7. Birim Ağırlık Deney Sonuçları	46
Tablo 3.8. Su Emme Deney Sonuçları	47
Tablo 3.9. Porozite Deney Sonuçları.....	48
Tablo 3.10. Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları.....	50
Tablo 3.11. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları	51
Tablo 3.12. Ultrases Hızı Deney Sonuçları	53

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. İşlenmemiş Ham Vermikülit.	7
Şekil 2.2. Elekten Geçirilmiş Ham Vermikülit.....	8
Şekil 2.3. Genleştirilmiş Vermikülit.	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Şekil 2.4. Genleştirilmiş Vermikülit.	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Şekil 2.5. Vermikülitin Hafif Beton Uygulaması. Hata!	Yer işareti tanımlanmamış.
Şekil 2.6. Vermikülitin Hafif Beton Uygulaması. Hata!	Yer işareti tanımlanmamış.
Şekil 2.7. Vermikülitin Sıva Uygulaması [35]. Hata!	Yer işareti tanımlanmamış.
Şekil 2.8. Vermikülitin Çatı Yalıtım Uygulaması. Hata!	Yer işareti tanımlanmamış.
Şekil 2.9. Vermikülitin Çelik Elemanları Yangından Koruma Uygulaması. ... Hata!	Yer işareti tanımlanmamış.
Şekil 2.10. Vermikülitin Yangın Koridoru Uygulaması. Hata!	Yer işareti tanımlanmamış.
Şekil 2.11. Vermikülitin Üretimde İzolasyon Malzemesi Uygulaması [35] ... Hata!	Yer işareti tanımlanmamış.
Şekil 2.12. Vermikülitin Su Yalıtımı Uygulaması [35] Hata!	Yer işareti tanımlanmamış.
Şekil 2.13. Vermikülitin Isı Yalıtım Levhası Uygulaması [36] Hata!	Yer işareti tanımlanmamış.
Şekil 3.1. Çalışmada Kullanılan Vermikülitin Elek Analizi.....	39
Şekil 3.2. Çalışmada Kullanılan Genleştirilmiş Vermikülit	40
Şekil 3.3. Genleştirilmiş Vermikülitte Su ilave Edilmesi	40
Şekil 3.4. Harcın Kalıba Yerleştirilmiş Hali.....	42
Şekil 3.5. Numunelerin Sıcaklık Uygulanmadan Önceki Durumu.....	43
Şekil 3.6. Numunelerin Sıcaklık Uygulandıktan Sonraki Durumu	43
Şekil 3.7. Yayılma Deneyi	44
Şekil 3.8. Eğilme Dayanımı Tayini Deneyi	49

Şekil 3.9. Basınç Dayanımı Deneyi	49
Şekil 3.10. Ultrases Geçiş Hızının Belirlenmesi.....	53
Şekil 4.1. Numunelerin Kuru Birim Ağırlığının Sıcaklığa Bağlı Vermikülit / Çimento ile Değişimi	55
Şekil 4.2. Numunelerin Kuru Birim Ağırlığının Vermikülit / Çimento Bağlı Sıcaklık ile Değişimi	55
Şekil 4.3. Numunelerin Kuru Birim Ağırlığındaki Azalmanın Sıcaklığa Bağlı Vermikülit / Çimento ile Değişimi.....	57
Şekil 4.4. Numunelerin Kuru Birim Ağırlığındaki Azalmanın Vermikülit / Çimento Bağlı Sıcaklık ile Değişimi.....	57
Şekil 4.5. Numunelerin Su Emme Oranının Sıcaklığa Bağlı Vermikülit / Çimento ile Değişimi	59
Şekil 4.6. Numunelerin Su Emme Oranının Vermikülit / Çimento Bağlı Sıcaklık ile Değişimi	59
Şekil 4.7. Numunelerin Su Emme Oranındaki Artışın Sıcaklığa Bağlı Vermikülit / Çimento ile Değişimi	61
Şekil 4.8. Numunelerin Su Emme Oranındaki Artışın Vermikülit / Çimento Bağlı Sıcaklık ile Değişimi	61
Şekil 4.9. Numunelerin Porozitesinin Sıcaklığa Bağlı Vermikülit/Çimento ile Değişimi	63
Şekil 4.10. Numunelerin Porozitesinin Vermikülit / Çimento Bağlı Sıcaklık ile Değişimi	63
Şekil 4.11. Numunelerin Porozitesindeki Artışın Sıcaklığa Bağlı Vermikülit / Çimento ile Değişimi	65
Şekil 4.12. Numunelerin Porozitesindeki Artışın Vermikülit / Çimento Bağlı Sıcaklık ile Değişimi	65
Şekil 4.13. Numunelerin Ultrases Geçiş Hızının Sıcaklığa Bağlı Vermikülit/Çimento ile Değişimi.....	67
Şekil 4.14. Numunelerin Ultrases Geçiş Hızının Vermikülit / Çimento Bağlı Sıcaklık ile Değişimi	67
Şekil 4.15. Numunelerin Ultrases Geçiş Hızındaki Artışın Sıcaklığa Bağlı Vermikülit / Çimento ile Değişimi.....	69

Şekil 4.16. Numunelerin Ultrases Geçiş Hızındaki Artışın Vermikülit / Çimento Bağlı Sıcaklık ile Değişimi	69
Şekil 4.17. Numunelerin Eğilme Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Vermikülit/Çimento ile Değişimi.....	71
Şekil 4.18. Numunelerin Eğilme Dayanımının Vermikülit / Çimento Bağlı Sıcaklık ile Değişimi	71
Şekil 4.19. Numunelerin Eğilme Dayanımındaki Artışın Sıcaklığa Bağlı Vermikülit / Çimento ile Değişimi.....	73
Şekil 4.20. Numunelerin Eğilme Dayanımındaki Artışın Vermikülit / Çimento Bağlı Sıcaklık ile Değişimi	73
Şekil 4.21. Numunelerin Basınç Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Vermikülit/Çimento ile Değişimi	75
Şekil 4.22. Numunelerin Basınç Dayanımının Vermikülit / Çimento Bağlı Sıcaklık ile Değişimi	75
Şekil 4.23. Numunelerin Basınç Dayanımındaki Artışın Sıcaklığa Bağlı Vermikülit / Çimento ile Değişimi	77
Şekil 4.24. Numunelerin Basınç Dayanımındaki Artışın Vermikülit / Çimento Bağlı Sıcaklık ile Değişimi	77

KISALTMALAR LİSTESİ

EN	:	Avrupa Normu
TS	:	Türk Standartları
PP	:	Polipropilen
SD	:	Silis Dumanı
Si	:	Silis
YDB	:	Yüksek Dayanımlı Beton
μs	:	Mikro saniye
MPa	:	Megapascal
GPa	:	Gigapascal
S/Ç	:	Su / Çimento oranı
V/Ç	:	Vermikülit/Çimento oranı
R	:	Referans
VÇ3	:	Vermikülit/çimento oranı 3 olan numune
VÇ4	:	Vermikülit/çimento oranı 4 olan numune
VÇ5	:	Vermikülit/çimento oranı 5 olan numune
VÇ6	:	Vermikülit/çimento oranı 6 olan numune
VÇ7	:	Vermikülit/çimento oranı 7 olan numune

1. GİRİŞ

Yapı sektöründe kullanılan en önemli malzeme çimento esaslı bir kompozit olan betondur. Beton servis süresince dinamik yükler, donma-çözülme, kimyasal ortamlar, aşınma vb. etkilerle karşılaşabilmektedir. Bu etkilerden birisi de yüksek sıcaklıktır. Beton dayanımında yüksek sıcaklık durumunda önemli düşüşler olmaktadır. Beton yapısında görülen büyük hasarlar özellikle 200 °C sıcaklığın üzerine çıkılması durumunda oluşmaktadır.

Yüksek sıcaklık betonarme yapılarda durabilite problemlerine sebep olan başlıca fiziksel etkilerden biridir. 1920'lerden günümüze betona ve beton yapı elemanlarına etki eden yüksek sıcaklık kaynaklarının etkisi konusundaki araştırmalar devam etmektedir [1-2]. Yangın sırasında ve sonrasında yapılan araştırmalarda malzemelerin davranışı, yapı bütünlüğünü ve yapı güvenliğini ve konuları üzerinde çalışılmıştır [3]. Hasara yol açan yüksek sıcaklık kaynakları, yapıya ve malzemeye zarar veren, yangın, hava alanı pistlerinde sürtünmenin sebep olduğu ısınma ve özel üretimlerden dolayı endüstri fırın bacalarında görülen sıcaklık ve nükleer reaktörler olarak sıralanabilir [4].

Yüksek sıcaklığa maruz kalan betonarme elemanın mekanik ve fiziksel özelliklerinde değişiklikler görülebilir. Betonların basınç dayanımı ve elastisite modülü değerlerinde azalma, çatlak oluşumu, parçalanma ve dağılma, donatı çeliğinde ise çekme dayanımı, akma dayanımı ve duktilitede azalmalardır [5]. Yüksek sıcaklık altında çeşitli beton türleri farklı davranış gösterirler, ancak sıcaklık altında betonun davranışına agrega çeşidi, çimento tipi, çimento-agrega arasındaki aderans ve çevresel faktörler etki etmektedir [3].

Sertleşmiş çimento hamurunda sıcaklıktaki artış ile ilk önce serbest su kaybolur. Bunu fiziksel olarak absorbe edilen suyun kaybı ve son olarak hidrasyon ürünlerinin kimyasal bağ suyu izler. Aynı zamanda agreganın genişlemesinden kaynaklanan farklı termal hareketler ve çimento hamurunun büzülmesi betonda dayanımın azalmasına neden olan mikro çatlakların oluşmasına sebep olur. Daha yüksek sıcaklıklarda agregada meydana gelen fiziksel/kimyasal dönüşümler veya çimento hamurundaki

sönmüş kirecin dehidratasyonu dayanım kayıplarının daha fazla olmasına neden olmaktadır [6].

Normal betonun birim ağırlığının düşürülmesiyle kesitlerin küçülmesi, kullanılan donatının azalması, yapı yükünün azalması, düşük emniyet gerilmeli zeminlerde yapı yapılabilmesi gibi avantajlara sahip olan hafif betonların ısı iletkenlikleri normal betona göre oldukça düşüktür [7-8]. Yüksek sıcaklık altında oluşan kimyasal ve fiziksel değişimler beton taşıyıcılar üzerinde dıştan içe doğru, sıcaklık etkisine ve etkiye süresine bağlıdır. Ölçümler yangına maruz betonarme taşıyıcılarda dayanım kaybının dıştan içe doğru artış gösterdiğini ve kabuk diye adlandırabileceğimiz bir bölgenin oluştuğu göstermektedir [9]. Buradan, hafif betonlarda sıcaklığın artışıyla oluşacak dayanım kaybının daha az olacağı görülmektedir. Hafif betona göre normal betonların yangın direnci daha azdır [10].

Normal betona refrakter malzemeler katılmasıyla, enerji yutma kapasitesi, çekme dayanımı, aşınma dayanımı, yorulma dayanımı ve çatlak sonrası yük taşıma kapasitesi gibi mekanik özelliklerinde belirgin iyileştirmeler elde edilmektedir [11,12]. Refrakter takviyeli betonların yüksek sıcaklık altındaki davranışı oluşan karmaşık yapıdan dolayı tam olarak tanımlanamamaktadır. Ancak yüksek sıcaklık altında betonda oluşan dayanım kaybının normal betona oranla daha az olduğunu ifade eden çalışmalar bulunmaktadır [13].

Bu çalışma, refrakter bir malzeme olan genleştirilmiş vermikülit kullanılarak üretilen harçların yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonraki bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin deneysel olarak araştırılmasını kapsamaktadır. Bu amaçla, vermikülit/çimento hacimsel oranı 3, 4, 5, 6, ve 7 olan hafif harç numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler, 20°C, 300°C, 600°C ve 900°C'e sıcaklıklara maruz bırakıldıktan ortam sıcaklığına kadar soğutulmuş, daha sonra numuneler üzerinde deneyler yapılmıştır. Bu araştırma ile genleştirilmiş vermikülitin hafif ince agrega olarak refrakter harç üretiminde kullanılabilirliği hedeflenmiştir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1. Hafif Betonlar

Etüv kuru durumdaki hafif betonun birim hacim ağırlığı genel olarak 800-2000 kg/m³ arasında olan betonlar olarak tanımlanır [14]. Birim hacim ağırlıklarına göre hafif betonların sınıflandırılması ülkelerin standartlarına ve uluslararası kabullere göre farklılık göstermektedir. Amerika'da basınç dayanımı 17 MPa'dan fazla olan ve kuru yoğunluğu 1840 g/m³ az olan betonlar yapısal hafif beton sınıfına girmektedir [15].

Hafif beton üretimi, beton içerisindeki ince agreganın çıkarıldığı fiziksel ve kimyasal yollar ile beton içerisinde hava kabarcığı oluşturularak üretilen gaz ve köpük betonlar, normal agregaya yerine boşluklu hafif agreganın kullanılması ile üretilen hafif betonlar başlıca kullanılan yöntemleridir [10,16,17].

En yaygın olarak kullanılan hafif beton üretimi yöntemi hafif agregaya kullanılarak hafif beton üretimidir [10]. Hafif agregaya, gevşek birim ağırlığı en büyük değeri 1200 kg/m³'ü aşmayan, kırılmış ve kırılmamış tabii veya suni agregadır [14]. Hafif agregalar yüksek boşluk oranlarına sahip olduklarından düşük birim hacim ağırlıkları olup, normal agregalara göre daha yüksek su emme, daha az ısı iletimi ve düşük mukavemet gibi özellikleri vardır. Hafif beton üretimi bakımından agreganın önemli özellikleri birim ağırlığı, granülometri bileşimi, yüzey yapısı, dane yüzey şekli ve su emmesidir [18-19]. Hafif agregalar dört ana grupta toplanabilirler [20];

- i. Doğal hafif agregalar
- ii. Vermikülit, ponza taşı (bims)
- iii. Volkanik cüruf, perlit
- iv. Volkanik tüf gibi organik malzemeler.

Doğal malzemelerden üretilen yapay hafif agregalar: genişletilmiş vermikülit, genişletilmiş arduvaz, genişletilmiş şişt, genişletilmiş perlit, genişletilmiş kil ve strofor gibi polimer esaslı malzemeler.

Hafif betonlar; fırın kurusu birim ağırlıkları, basınç dayanımları ve ısı iletkenlikleri ile Avrupa Beton Komitesi (CEB) ve Beton Komitesi ve İnşaat Malzemeleri, Sistemleri ve Yapıları Laboratuvar ve Uzmanları Uluslararası Birliği (RILEM)) tarafından kullanım amaçlarına göre yapısal, yapısal-yalıtım ve yalıtım betonları şeklinde sınıflandırılmıştır. Yapısal hafif beton kategorisinin basınç dayanımı minimum 15 MPa olan ve birim ağırlığı 1600-2000 kg/m³ arasında değerler alan betonlardır. Yapısal olarak kullanılan hafif betonların ısı iletkenlik katsayısı değerleri göz önünde bulundurulmamıştır. Yapısal ve yalıtım hafif beton kategorisinin birim ağırlığı 1450-1600 kg/m³ arasında değerler alan ve basınç dayanımı minimum 3,5 MPa olan betonlardır. Yapısal-yalıtım kategorisinde ısı iletkenlik katsayısı değeri maksimum 0,75 W/mK olarak belirlenmiştir. Yalıtım hafif betonları kategorisinin birim ağırlığı maksimum 1450 kg/m³ ve basınç dayanımı minimum 0,5 MPa olan betonlardır. Yalıtım kategorisinde ısı iletkenlik katsayısı değeri maksimum 0,75 W/mK olarak belirlenmiştir [21].

Tablo 2.1. Hafif Betonun Sınıflandırılması [21]

	Sınıf ve Türü		
	I	II	III
	Taşıyıcı	Taşıyıcı/ Yalıtım	Yalıtım
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	>15.0	>3.5	>0.5
Isı İletim Katsayısı (W/mK)	-	<0.75	<0.30
Yoğunluk (kg/m ³)	1600-2000	<1600	<<1450

Teknolojinin gelişmesiyle betonun birim ağırlığındaki azalma ile getirdiği yenilikler hafif beton ve harcın kullanım alanını her geçen gün arttırmaktadır. Hafif beton ve harcın kullanılması yapı ağırlıklarının önemli ölçüde azaltmakla beraber yüksek sıcaklıklara karşı direnç, yüksek ısı ve ses yalıtımı gibi özellikleri de beraberinde getirmiştir [7-8]. Normal betonun birim ağırlığının düşürülmesiyle kullanılan donatının azalması, kesitlerin küçülmesi, yapı yükünün azalması, düşük emniyet gerilmeli zeminlerde yapı yapılabilmesi gibi avantajlarla yapı maliyetine doğrudan etki etmektedir [22-23]. Ayrıca, deprem yükünün yapıdaki etkisi yapı ağırlığı ile orantılıdır böylece hafif betonla imal edilmiş düşük ölü ağırlığa sahip yapıların depremde hasar alma riski de azaltılmaktadır [24]. Hafif betonların kullanılması ile prefabrik yapı elemanların vinç ile taşınabileceği uzaklık artmakta veya uzaklık sabit

kabul edilirse daha küçük kapasiteli vinç ve taşıyıcı vasıtalar kullanmak mümkün olmaktadır böylece enerji ve zaman bakımından kazanç sağlanmaktadır [25].

Hafif agregalarla 1–60 MPa basınç dayanıma sahip, birim ağırlığı 300–2000 kg/m³ aralığında olan 0,2–1,0 W/mK ısı iletkenlik değeri olan hafif betonlar üretilmektedir [21]. Genel olarak yapılarda; yangına karşı dayanım, ısı yalıtımı, ses yalıtımı, ve estetik gibi özelliklere sahip olmasından dolayı dış duvar uygulamalarında ve iç mekânlar da kullanılan hafif betonlar 2. Dünya Savaşından sonra yaygın olarak taşıyıcı amaçla kullanılmıştır [26]. Gelişmiş ülkelerde çok katlı bina yapımının artmasıyla hafif betonun uygulama alanı genişlemiştir. Uzun açıklıklı köprüler, viyadükler gibi ölü yükün tasarımı belirleyici olduğu yapılarda, hafif beton kullanımının birçok avantajı ortaya çıkmaktadır [27].

2.2. Vermikülit

2.2.1. Tanımı ve Sınıflandırma

Vermikülit, mineralojik olarak tek başına farklı bir grubu temsil eder, endüstriyel olarak genişleme özelliğine sahip tüm mika grubu minarelerini de (flogopit, biotit ve hidrobiotit) kapsayan genel bir terim olarak kullanılmaktadır. Vermikülit sulu magnezyum, alüminyum, demir silikat olarak tarif etmek mümkündür [28]. Vermikülit; doğada oluşumuna ve bulunduğu ortama göre, toprak, otojenik, metaformik ve makroskopik olmak üzere dört tipine rastlanmıştır [29]. Dünyadaki bazı vermikülit işletmelerine ait cevher numunelerinin kimyasal analizleri Tablo 2.2’de verilmektedir.

Monoklinik sistemde kristalleşen vermikülit muntazam dilinime sahiptir. Yeşil, sarımsı, kahve ve hatta siyah renkte olabilir. Sertliği Mohs ölçeğine göre 1,2 ile 2,0 arasında ve özgül ağırlığı ise 2,4-2,8 gr/cm³ aralığında değişmektedir [28-29]. İşlenmemiş ham vermikülit örnekleri Şekil 2.1’de verilmektedir.

Tablo 2.2. Ticari Değerleri Olan Vermikülitin Kimyasal Analizleri

	Enoree (ABD)	Virginia (ABD)	Güney Afrika	Brezilya	Çin	Kovdor (Rusya)
Li ₂ O	-	0.01	0.03	-	-	-
Na ₂ O	-	1.72	0.80	0.10	1.61	0.93
K ₂ 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 ₂ O ₃	17.36	12.85	12.08	10.20	12.68	10.01
Cr ₂ O ₃	0.50	0.23	-	-	-	0.20
Fe ₂ O ₂	8.45	8.80	5.45	5.80	4.60	1.90
SiO ₂	38.66	38.34	39.37	45.10	41.20	43.05
TiO ₂	-	1.66	1.25	0.70	1.38	1.00
H ₂ O	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

Kaynak: P. W. Harben, M. Kuzvart (1996); "Industrial Minerals" Global Geology Ind. Mins. Inf. Ltd.
Metal Bulletin, 462p., London



Şekil 2.1. İşlenmemiş Ham Vermikülit.

Yüksek sıcaklıklarda aniden ısı şokuna tabi tutulduğunda vermikülit akordion gibi uzamaktadır. Bu karakteristik genişleme yapıda bulunan kristal suyunun ani olarak buharlaşması sonucu oluşur. Bu durumun buharlaşma sonucu oluşan buhar basıncından kaynaklandığı düşünülmektedir. Isısal genişleme olayının şimdilik net olarak açıklanmamasının sebebi, ağırlıkça toplam aynı miktarda su içeren numunelerin dahi farklı oranlarda genişlebilmeleridir. Genleşme sonucunda malzemenin yığın yoğunluğu, yaklaşık 10 kat azalarak $0,8 \text{ g/cm}^3$ 'den $0,08 \text{ g/cm}^3$ 'e düşmektedir. Yığın yoğunluğundaki düşüş, vermikülitin kalitesine ve genişlemenin yapıldığı fırın performansına bağlı olmakta ve ısı işlem sonucunda yaklaşık 30 katlık bir genişleme sağlanabilmektedir [30,31,32]. Yüksek sıcaklığa maruz kalan vermikülitin renginde değişiklik olabilir.



Şekil 2.2. Elekten Geçirilmiş Ham Vermikülit

2.2.2. Üretim Metodu ve Teknolojisi

Açık ocak işletmeciliği ile vermikülit üretimi gerçekleştirilmektedir. Ocaklara en yakın bölgede kurulan cevher zenginleştirme ünitesinde zenginleştirme işlemi yapılır. Daha sonra ise genişletme işlemi uygulanır. Ocaktan çıkarılan cevher primer kırıcıdan geçirilir. Sonra yaş elek yöntemi ile harmanlama yapılarak fraksiyonlarına ayrılır. Harmanlama işleminden sonra konsantreler toplanır, kurutulur ve boyutlarına ayrılarak genişletme ünitesine gönderilir. Genleşme ünitesinde, ani ısı etkisiyle 900-

1000°C'de düşey fırınlarda 4-8 saniye bekletilerek genişletilir. Genleşmemiş kısımlar harmanlama ile genişenlerden ayrılır. Elde edilen genişmiş ürün, torbalanarak pazarlanmaya hazır hale getirilir [33]. Şekil 2.3-2.4'de geniştirilmiş ve ham vermikülit örnekleri verilmektedir [34].



Şekil 2.3. Genleştirilmiş Vermikülit.



Şekil 2.4. Genleştirilmiş Vermikülit.

2.2.3. Vermikülitin Kullanım Alanları

Dünyada birçok sektörde geliştirilmiş vermikülit uygulama alanı bulunmaktadır. Geliştirilmiş vermikülit, hafif yapı gereçlerinde agrega olarak, soğuk hava depolarının izolasyonunda, binalarda ısı ve ses yalıtımında, dekorasyon işlerinde, yüzme havuzlarının izolasyonunda, lojistik sektöründe, dökümhane gibi yüksek ısılı iş yerlerinde, kaplama türü malzemelerin üretimlerinde ve zirai uygulamalarda kullanılmaktadır.

13 ülkede 1948 yılında kurulan Vermikülit ürünlerini üreten kurumların %80'ni kapsayan The Vermiculite Association (TVA), uluslararası vermikülit ticaret birliğinden alınan uygulama örnekleri aşağıda verilmektedir [35].

2.2.3.1. Hafif Beton ve Harçlar

Yalıtımlı hafif beton üretmek için agrega yerine kullanılmaktadır. Yalıtım gerektiği yerlerde özellikle çatı ve zeminlerin yalıtımında, prekast yapı elemanlarında kullanılmaktadır. Şekil 2.5-2.6'da vermikülitin hafif beton uygulaması verilmektedir.



Şekil 2.5. Vermikülitin Hafif Beton Uygulaması.



Şekil 2.6. Vermikülitin Hafif Beton Uygulaması.

2.2.3.2. Sıcaklığa Dayanıklı Sıva

Alçı ve çimento ile karıştırılan vermikülit yangına karşı dayanıklı, su emmesi düşük, işlenebilirliği kolay olan ve yapışma kabiliyeti yüksek sıva olarak kullanılmaktadır. Vermikülit kullanılarak üretilen sıcaklığa dayanıklı sıva örneği Şekil 2.7’de verilmektedir.



Şekil 2.7. Vermikülitin Sıva Uygulaması [35]

2.2.3.3. Isı ve Ses Yalıtımı

Yalıtım yapılacak bölgeye serilen vermikülit ısı ve ses izolasyonunda da kullanılmaktadır. Çatı döşemelerinde genişletilmiş vermikülitin derzler içerisine serilmesiyle, soğuk havalarda ısıнын muhafazası ve sıcak havalarda serinlik sağlanmaktadır. Ayrıca ses yalıtımı da sağlamaktadır. Isı ve ses yalıtımı için uygulama örneği Şekil 2.8’de verilmektedir.



Şekil 2.8. Vermikülitin Çatı Yalıtım Uygulaması.

2.2.3.4. Yangından Korunma

Genleştirilmiş vermikülitin yüksek sıcaklığa karşı dayanımı bilinmektedir. Vermikülit reçine esaslı karışımlarla birlikte kullanılarak yapı elemanlarının sıcaklıktan korunması sağlanmaktadır. Yangın sırasında vermikülit içeren kompozitlerin ısı iletim katsayıları oldukça düşük olduğu için kapladığı alanı korumaktadır. Çelik yapı elemanlarının giydirme yöntemi ile yüksek sıcaklıklardan korunması sağlanmıştır. Şekil 2.9’da yangından korunma uygulamaları verilmektedir.



Şekil 2.9. Vermikülitin Çelik Elemanları Yangından Koruma Uygulaması.



Şekil 2.10. Vermikülitin Yangın Koridoru Uygulaması.

2.2.3.5. Yüksek Sıcaklık İzolasyonu

Refrakter çimento ve kil ile birleştirilen vermikülit 1100°C'ye kadar bir çok malzemenin üretilmesinde kullanılmaktadır. Üretilen malzemenin değişik şekillerde kalıplanmasıyla yüksek sıcaklık fırınlarında izole edici malzeme olarak kullanılmaktadır. Şekil 2.12'de uygulama örneği verilmektedir.



Şekil 2.11. Vermikülitin Üretimde İzolasyon Malzemesi Uygulaması [35]

2.2.3.6. Su Yalıtımı

Çimento ve reçine esaslı özel katkıları ile birleştirilen vermikülit su izolasyonunda kullanılmaktadır. Havuzlarda geçirimsiz, esnek ve sağlam bir tabaka sağlanması amacıyla kullanılır. Şekil 2.13'de su yalıtımı uygulaması verilmektedir.



Şekil 2.12. Vermikülitin Su Yalıtımı Uygulaması [35]

2.2.3.7. Isı ve Ses Yalıtım Levhaları

Genellikle genleştirilmiş vermikülitin reçine esaslı kompozitlerle birlikte kullanılmasıyla elde edilen yalıtım levhaları, ısı ve ses yalıtımında kullanılmaktadır. Farklı boyutlara ve kalınlıklara sahip yalıtım Şekil 2.14’de verilmiştir.



Şekil 2.13. Vermikülitin Isı Yalıtım Levhası Uygulaması [36]

2.3. Refrakter Malzemeler

2.3.1. Refrakter Malzemelerin Tanımı

Günlük hayatımızda kullandığımız birçok malzeme yüksek sıcaklıkta üretilmektedir. Örneğin yüksek sıcaklıkta üretilen bu malzemelere metallerin üretilmesi ve şekillendirilmesi, çimento, cam, organik ve inorganik kimyasal malzemeler, elektronik malzemelerin üretimleri sayılabilir. Refrakterler, yüksek sıcaklığa maruz kalan iç astarlarını oluşturan ve böylece metal astarın dayanamayacağı sıcaklıklarda üretimin gerçekleşebilmesini sağlayan ekonomik endüstriyel malzemelerdir. Refrakterler bu yüzden endüstriyel verimliliğin vazgeçilmez bir parçasıdır. O zaman refrakterler için şöyle bir tanım yapılabilir: “Kullanıldığı ortamda termal ve mekanik gerilmelere, yüksek basınç ve sıcaklıktaki gaz ve metal buharlarının etkilerine, sıvı metal ve cürufun reaksiyonuna karşı dayanım gösteren, yüksek ergime sıcaklığına sahip malzeme veya malzeme grubudur” [37].

2.3.2. Refrakter Malzemelerin Sınıflandırılması

Birçok şekilde refrakterleri sınıflandırmak mümkündür. Bu sınıflandırmalar refrakterin cinsi, kimyasal karakter, fiziksel şekil, sıcaklık ve kullanım yeri göz önüne alınarak yapılmaktadır. Refrakterler genel olarak kimyasal özelliklerine, kullanım sıcaklığına ve üretim yöntemine göre sınıflandırılırlar [37].

2.3.2.1. Kullanım Sıcaklığına Göre Refrakterlerin Sınıflandırılması

Refrakterlerin kullanım sıcaklığı yani ergime noktasına göre sınıflandırılması aşağıda verilmiştir.

- Normal hizmet refrakterleri (1580 – 1780°C)
- Ağır hizmet refrakterleri (1780 – 2000°C)
- Süper hizmet refrakterleri (> 2000 °C)

2.3.2.2. Üretim Yöntemlerine Göre Refrakterlerin Sınıflandırılması

Refrakter malzemeler, , üretim yöntemlerine göre;

- Şekli Refrakter Malzemeler
- Şekilsiz Refrakter Malzemeler
- Refrakter Harçlar olarak üç grupta değerlendirilmektedir.

Refrakter harçlar (derz malzemeleri) kullanıldıkları yerdeki temel yapı maddelerine uygun olmak zorundadırlar ve işlevleri tek tek tuğlaları birleştirmektir. Duvar örgüsü içindeki derzler kullanımdaki en zayıf yerler olduklarından, harç kalitesine dikkat edilmelidir. Harçlar, seramik veya kimyasal bağlayıcı niteliğe sahip olabilir. Hidrolik bağlayıcılarla soğuk sertleşme de sağlamak mümkündür. Bu gruptaki malzemeler, ateşe dayanıklı macun (düşük sıcaklıklarda sertleşir), sıvama maddeleri ve yapıştırıcı maddeler olarak ayrılırlar.

2.3.2.3. Kimyasal Özelliklerine Göre Refrakterlerin Sınıflandırılması

Refrakter malzemeler kimyasal özelliklerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılırlar.

- Asidik Refrakterler RO₂ grubu içerirler. (R grubu iki valanslı veya üç valanslı elementlerin tamamını göstermektedir).
- Bazik Refrakterler bu gruba giren refrakter tuğlalar ise başlıca RO grubu içerirler.

- Nötr Refrakterler başlıca R_2O_3 veya $RO.R_2O_3$ grubu içerirler.

2.3.2.4. Bileşen Sayısına Göre Refrakterlerin Sınıflandırılması

İçerdikleri bileşen sayısına göre refrakterlerin sınıflandırılması

- Tek oksitli refrakterler (MgO , SiO_2 , ZrO_2 , Al_2O_3)
- Birden fazla oksit içeren refrakterler ($MgO-Al_2O_3$, $MgO-Cr_2O_3$, $MgO-SiO_2$, $Al_2O_3-SiO_2$, ZrO_2-SiO_2 , $MgO-SiC$)
- Kompozit refrakterler (Al_2O_3-SiC , $Al_2O_3-grafit$, $MgO-grafit$, $ZrO_2-grafit$, MullitSiC) C içeren refrakterler çok yüksek sıcaklığa dayanıklı malzemelerdir. Ark ocaklarında çelik endüstrisinde ve BOF da (en çok aşımın cürufun bulunduğu yerlerde) sık kullanılırlar ve ömürleri uzundur.
- Üç oksitli sistemler [AZS ($Al_2O_3-ZrO_2-SiO_2$), CAS ($CaO-Al_2O_3-SiO_2$)] AZS cam ergitme fırınlarında kullanılır. Cam sıvısının yüksek sıcaklıkta korozif etkilerine karşı dayanım özelliğine sahiptir.

2.3.3. Refrakter Malzemelerin Kullanım Alanları

Refrakter malzemelerin kullanım alanları:

- Küçük sanayi işletmelerinde ve konutlarda ısı sağlayan fırınlar veya sobalar,
- Metallerin eritilmesi ve işlenmesinde kullanılan tesisler (Yüksek fırınlar, karıştırıcılar, konvertörler, elektrik ark ocakları, vb.)
- Metallerin son işleminde kullanılan fırınlar (sertleştirme, tavlama vb.)
- Yapı malzemelerinin üretiminde kullanılan fırınlar (çimento döner fırınlar, kireç yakma vb.)
- Seramik pişirme fırınları ve cam ergitme tesisleri
- Enerji sanayisinde kullanılan tesisler (kok üretim işlemleri, gaz üretimi, kazan tertibatları)
- Çöp yakma tesisleri ve benzerleri [37].

2.3.4. Refrakter Malzemelerden Beklenen Özellikler

- Yüksek sıcaklıklarda, deforme olmadan ve ergimeden, yani boyut değişikliği olmadan ve şekil değiştirmeden kararlılığını sürdürmeli ve kullanılabilirliktir.

- Fırına yapılacak şarj ve yüklenen malzemelerin ağırlığına, darbelerine, sürtünmelerine, mekanik aşınma ve tüm mekanik etkilere karşı düşük ve yüksek sıcaklıkta dayanım gösterebilmelidir.
- Termal şoka yani ani ısı değişimlerine dayanıklı olmalıdır.
- Isıtma ve ergitme sonucunda ortaya çıkan metal buharları, sıcak gazlar, sıvı metal ve cüruf ile reaksiyona girmemelidir.
- Düşük termal genleşme sağlamalıdır.
- Fırın içi astar refrakterleri için en az miktarda porozite istenirken izolasyon refrakterleri için yüksek poroziteli yapı istenir. Bunun sebebi astarta termal iletkenliğin ve korozyonun birlikte düşürülmek istenmesi, izolasyonda ise tamamen termal iletkenliğin düşük olması gerektiğindedir.
- Termal iletkenlik özelliği normalde düşük olması istenirken dışarıdan ısıtmalı pota ocaklarının refrakterlerinde özel olarak yüksek olması istenir. Kısaca, gerektiğinde düşük, gerektiğinde ise yüksek termal iletkenlik sağlayabilmelidir.
- Ucuz ve ekonomik olmalıdır [37].

2.3.5. Refrakterlerin Yapısı

Refrakterlerin yapısı taşıyıcı taneler, bağlayıcı matris ve gözenekler olmak üzere 3 temel bölümden meydana gelmektedir. Genel olarak taşıyıcı tanelerin cinsi refrakterlerin bağlı olduğu grubu tanımlar ve refrakterlerin isimlendirilmesinde kullanılır. Örnek verilecek olursa taşıyıcı taneler magnezya (MgO), mullit ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$), korund (Al_2O_3), zirkon ($ZrSiO_4$), spinel ($MgO \cdot Al_2O_3$), şamot, dolomit, boksit, sillimanit, SiC , kromit ($Fe_2O_3 \cdot Cr_2O_3$) veya silika (SiO_2) olabilir. Refrakterin temel yapısını oluşturan taşıyıcı tane, bağlayıcı matris, gözenekler ve bu bileşenlerin birbirleri ile olan ilişkileri refrakterin karşılaşacağı zorlamalara karşı göstereceği davranışı belirler [37].

2.3.6. Refrakter Mikroyapıları

Sinterleme ile üretilen geleneksel refrakterlerde seramik oksit tozları karıştırılır, preslenir, kurutulur ve sinterlenir. Sinterleme sıcaklığının bu tür refrakterlerde her zaman kullanım sıcaklığının üzerinde olması gerekmektedir. Geleneksel refrakterlerde

katı-katı sinterlemesi, reaktif sıvı sinterlemesi veya sıvı faz sinterlemesi mekanizmaları ile sinterleme gerçekleşir. Ayrıca sinterleme ile üretilen geleneksel refrakterlerin mukavemeti ve korozyon direnci daha düşüktür.

Porozite miktarı egimiş (fused) refrakterlerde max. %2 olduğundan daha yoğun refrakterler olarak nitelendirilebilir. Tane boyutları büyük olması sebebiyle reaksiyona girecek alanları azdır ve zor aşınırlar. Genel olarak ergimiş refrakterler düşük poroziteli, yüksek mukavemetli ve yüksek korozyon direncine sahip malzemelerdir [37].

2.4. Harçlar

Harç; dolgu malzemesi, bağlayıcı malzeme ve suyun belirli oranlarda karışımı ile elde edilen, katılaşma özelliğindeki hamurlara denir. Bir başka deyişle; bağlayıcı malzeme, kum, su ve gerektiğinde katı maddelerin karıştırılmasından meydana gelmiş, mukavemet, aderans, doluluk, geçirimsizlik, dış etkilere dayanıklılık gibi fiziksel ve mekanik özellikler gösteren inorganik hamurlara verilen isimdir [38].

Yapılarda bağlayıcı bir malzeme olarak kullanılan harçlar; kullanım yeri, şekli ve özelliğine göre farklılık göstermesine rağmen yapılarda kullanılan vazgeçilmez bir malzemedir. Harçlar, sıvalar yapı elemanlarını meydana getiren taş, tuğla ahşap gibi yapı malzemelerini bir arada tutucu, bütünleyici, dış etkilere karşı koruyucu ve dekoratif fonksiyonlarla kullanılmışlardır [39].

Harçlar, yapıdaki kullanılma şekli ve yerine göre ağırlıkça veya hacimce önceden tespit edilen miktarda bağlayıcı malzeme ve kumun kuru olarak karıştırılması, bu karışıma hidrasyon ve işlenebilme özelliği sağlayıcı nitelikte gerekli miktarda suyun ilave edilmesi ve tekrar karıştırılması suretiyle elde edilir. Gerekli hallerde mineral esaslı boya pigmenti ve katkı maddeleri ilave edilmesi mümkün olabilir. Tablo 2.1.'de hacimce harç karışım oranları verilmiştir [39].

Tablo 2.1. Hacimce harç karışım oranları

Harç Cinsi	Hacim Oranları					
	Kil	Tras	Kireç	Alçı	Çimento	Kum
Kil Harcı	1	-	-	-	-	-
Alçı Harcı	-	-	-	1	-	0-4
Kireç Harcı	-	-	1	-	-	3
Puzolanik Harç	-	0,5-0,7	1	-	-	3-6
Çimento Harcı	-	-	-	-	1	(3)-4-(6)
Melez Harç	-	-	1,5-(2)	-	1	8

Su bağlayıcının ağırlıkça %20-30'u yoğurma suyu kumun ağırlıkça %3-8'i kadar da ıslanma suyu olarak alınmalıdır. Agreg a çapı büyüdükçe ıslanma suyu azalır, küçüldükçe artar. Çünkü ıslanacak özgül yüzey artmaktadır. Nemli kumlardan nem kadar suyu azaltmak gerekir [40].

Harçlar yapılarına giren bağlayıcı malzeme çeşidine göre kireç, alçı, kil, çimento, melez harç olmak üzere beş grupta incelenebilir. Yapıda kullanım yerlerine göre sıva harçları, duvar harçları, şap ve şerbet olmak üzere dört grupta toplanabilir [41].

2.4.1. Yapılarda Harç Kullanımının Temel Amacı

Yapı bileşenlerini meydana getiren elemanların, birbirleri ile bağlantısını sağlayarak bir bütün oluşturmak temel amaçtır. Dolayısıyla, bileşene gelen basınç yüklerinin dağılımını gerçekleştiren harçlar, bileşenin esnemesine de yardımcı olur. Taş veya tuğladan yapılmış olan, birçok eski eserin kalın duvarlarında kullanılmış olan harçlar, sınırlı basınç dayanımına sahip olsa da, bunun bir harç için oldukça iyi olduğu bilinmektedir. Harç kullanımının bir diğer sebebi de, fiziksel dış etkilere karşı yapı elemanlarını korumaktır. Duvar harçları, kâgir elemanları birleştirmek ve yatay yükleri almak amacıyla hazırlanan çimento, kireç veya melez harçlarıdır. Tablo 2.2.'de harçların yapıda kullanım şekli ve yeri gösterilmektedir.

Yapılarda harç kullanım şekli;

- Taşıyıcı duvarlarda 300 kg çimento dozajlı harç
- Zararlı su ile temas eden yerlerde 400-600 kg çimento dozajlı harç
- Taşıyıcı niteliği çok önemli olmayan yerlerde melez harç

- Taşıyıcı niteliğinin yanında su etkisinin bulunmadığı yerlerde kireç harcı
- Duvarlarda ise iri kumlu harç tercih edilir [38].

Tablo 2.2. Harçların yapıda kullanım şekli ve yeri

Özelliği	Kullanım Yeri	Harç Çeşidi
Aderans, kolay İşlenebilme	Tavan, duvar sıvası	Kireç, Melez harçlar
Mukavemet, geçirimsizlik	Zemin kaplaması, Tecrit, Şap	Çimento harçlar
Sudan zarar görür düzgün yüzeyler, dekoratif işler	İç sıva, süsleme	Alçı harçlar

2.4.2. Harcın Bileşenleri

Harçlar isimlendirilirken bileşiminde bir katkı malzemesi bulunmadığı durumlarda çoğunlukla üretimleri için kullanılan bağlayıcıların niteliğine dikkat edilir. (örneğin çimento harç ve sıvaları, kireç harç ve sıvaları, alçı harç ve sıvaları, melez harç vb.) [41].

Genel bağlayıcı türleri: kırma taş, tuğla kırıkları, çakıl, kum gibi dolgu maddelerini birbirine bağlayarak, diğer bir anlamda yapıştırarak, yapay taş oluşumuna imkân veren malzemelere verilen addır. Bağlayıcı malzemeler genellikle toz halindedir. Bir başka deyişle ise, çimento, kireç, alçı gibi su ile karıştırıldığında plâstik bir hamur veren, bir süre katılaştıktan sonra sertleşme özelliğine sahip olan ve bundan dolayı taş ve kumu bağlamada kullanılan malzemeler olarak ta nitelendirilmişlerdir. Kimyasal özellikleri ve bağlama mekanizmaları değişik olan bağlayıcı türleri genel olarak alçı, kireç, çimento başlıkları altında toplanabilir [42].

2.4.3. Harcın Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Harç yapılırken bileşenleri ve kullanım yeri doğrultusunda harçtan beklenen farklı fiziksel ve mekanik özellikler vardır. Fiziksel ve mekanik özellikler bir harcı tanımlamaya yetecek özelliklerdir.

2.4.3.1. Harcın Fiziksel Özellikleri

Taşıyıcı malzeme olarak kullanılan yapı malzemelerinde olduğu gibi aynı zamanda sıva ve harçlar içinde malzemenin fiziksel özelliklerini bilmek büyük ölçüde önem taşır. Yapının dış kuvvetlere karşı uzun süre karşı koyması, fonksiyonlarını yerine getirmesinin bir diğer ölçüsü olan harcın fiziksel özellikleri şunlardır;

Birim hacim ağırlık ve yoğunluk: Malzemenin boşluklarını da içeren birim hacminin ağırlığına, birim hacim ağırlık denir. Birimi (g/cm^3)' tür. Malzemenin boşlukları çıktıktan sonraki, cismin ağırlığının katılar hacmine oranına yoğunluk denir. Yoğunluğun birimi ise (g/cm^3 , kg/m^3 , kg/lt)' dir. Boşluksuz bir malzemede birim hacim ağırlık ve yoğunluk birbirine eşittir [43].

Özgül ağırlık: Bir malzemenin yoğunluğunun aynı hacimdeki suyun $+4^\circ\text{C}$ deki yoğunluğuna oranı olarak tanımlanır. Malzemelerin herhangi bir birim hacimdeki toplam ağırlığını, içindeki su miktarı porozite, tanelerin ya da katı kısımların mineralojisi, kimyasal bileşimi ile ayrışma derecesi belirlemektedir. Birim hacim ağırlıkları fazla olan malzemelerin su emme değerleri ve poroziteleri düşük, özgül ağırlıkları yüksektir. Malzemede iki farklı birim hacim ağırlık ifadesi vardır. Bunlardan biri kuru birim hacim ağırlık diğeri ise suya doymun birim hacim ağırlıktır [43].

Su emme oranı ve kılcallık: Boşluklu bir malzeme, su içinde kalınca veya su ile temas halinde kaldığında dışa açık boşlukları oranında bir miktar su emer. Malzemenin fazla miktarda su emmesi birçok özelliğinin genel olarak zararlı yönde değişmesine neden olur. Malzemenin emdiği su miktarı mekanik özelliklerini ve dona dayanıklılığını önemli ölçüde etkiler. Her numune için emilen su miktarının, numunenin kuru ağırlığına oranı o numunenin ağırlıkça su emme oranını vermektedir. Aynı şekilde emilen su miktarının, numunenin hacmine oranı hacimce su emmeyi vermektedir. Malzemenin su emme miktarı veya rutubeti cismin içinde bulunduğu ortamın nem derecesi ile ilişkilidir. Malzemenin uygun seçimi durumunda; örneğin iyi bir sıva malzemesi ortamın rutubetini dengeleyici bir görev yapabilir [43].

Kılcallık (kapilarite); suyun malzemenin yüzeyinden bazı koşulların oluşmasıyla malzemenin iç kısımlarına ve üst yüzeyine çıkmasıdır. Bu olayın meydana gelme nedeni kılcal boşluklardır ve bu olay “kapilarite” olarak adlandırılır [43].

Geçirimsizlik: bir basınç farkı etkisiyle suyu veya buharı bir taraftan diğer tarafa geçirme yeteneğidir. Bu özellik harç numunelerde, belirtilen koşullarda birim alandan birim zamanda geçen su miktarı olarak tanımlanır ve permeabilite (geçirimsizlik) katsayısı ile tanımlanır. Permeabilite; agreganın granülometresine, boşlukların birbiri ile bağlantılı olmasına, harçtaki poroziteye, bağlayıcı dozajına bağlıdır. Permeabilite, buhar geçirgenliği, su geçirgenliği olarak tanımlanabilir. Buhar geçirimsizliği; değişik koşullarda iki farklı hacim arasındaki buhar basıncı da farklı değerler verir. Sıcaklık değerlerine bağlı olarak farklı değerler gösteren buhar basıncı, yüksek basınçtan alçak basınca doğru akım oluşturur. Bu buhar basıncı sonucu malzemelerin, bünyelerinden buhar akımı geçirmelerine “difüzyon” denir. Buhar akımının geçişi buhar difüzyon katsayılarına bağlıdır [42].

Su geçirimsizliği; malzemelerde basınç farklılığı nedeniyle suyun bir taraftan diğer tarafa geçme yeteneği olarak tanımlanır. Belirtilmiş koşullarda birim zamanda, birim alandan geçen suyun miktarıdır ve bir katsayıyla (permeabilite) ifade edilmektedir [42].

Hacim değişikliği ve rötre: bağlayıcı malzemenin cinsine göre harçta meydana gelen kimyasal reaksiyonlar sonucu hacim değişikliği görülebilir olup örnek olarak yağlı kireç harçları bünyesine CO₂ aldığından hacim artmasına, çimento harçları ise hidrasyon olayı sonucu hacim eksilmesine yani rötreye uğrar. Çimento harcında meydana gelen rötre değeri %0,08-0,12 arasındadır. Rötre böylece meydana gelen çatlakların geçirimsizliğini artırıcı ve mukavemeti düşürücü niteliktedir. Rötre şapta fazla, melez harçta az görülür. Çimento harcında rötre azaltılması için çimento miktarını azaltmak, kumu çoğaltmak, parafin veya havadan nem çekici tuzlar ilave etmek, ayrıca katılma bittikten sonra iki hafta kadar nemli ortamda tutmak yararlıdır [44].

2.4.3.2. Harcın Mekanik Özellikleri

Malzemenin dış kuvvetlerin etkisi altında değişik zorlamalar karşısında malzemede oluşan şekil değişiklikleri ve bu etkiler altında malzemenin gösterdiği dayanma gücü özelliklerine mekanik özellikler denir. Bunlar taşıyıcı malzeme olarak kullanılan yapı malzemelerinde olduğu gibi aynı zamanda sıva ve harçlar içinde büyük ölçüde önem taşır. Yapının dış kuvvetlere karşı uzun süre karşı koyması, fonksiyonlarını yerine getirmesi büyük ölçüde malzemenin mekanik özelliklerine bağlıdır. Harcın mekanik özellikleri şunlardır;

Basınç, çekme, eğilme dayanımı: Mekanik mukavemet hallerinin başında basit mukavemet durumları adı verilen çekme, basınç ve kayma dayanımları gelir. Malzemenin bu özelliklerini saptamak için söz konusu malzeme örneklerini yük altında denemek gerekir. Statik deneme yöntemlerinde malzemeye etkiyen dış kuvvetler arttırılır. Deneylerde yük artımı sabit bir hızda uygulanır ve her an için iç ve dış kuvvetler birbirine eşittir. Kesin sonuç elde edilene kadar yük arttırılır [42].

Yapışma dayanımı: alt tabaka üzerine uygulanmış sıva ve örgü harçlarına yüzeye dik olarak doğrudan yük uygulanmasıyla meydana gelen en büyük çekme gerilmesi olarak belirlenir. Çekme yükü, harç yüzeyindeki deney alanına yapıştırılan çekme başlıklı tanımlanmış plâka vasıtasıyla uygulanır. Elde edilen yapışma dayanımı, kopma yükünün yük uygulanan alana bölümüdür. Yapışma dayanımı harç ve sıvaların önceden hazırlanmış tabakayla ilişkili olarak tespit edilir [42].

Aşınma dayanımı: ü zerinde belirli bir hareketli yükün mevcut olduğu beton, asfalt veya harç zeminlerde aşınma kaçınılmazdır. Aşınmanın yük etkisinde olduğu, aynı zamanda çevresel ve su ile ilgili problemlerinde malzemenin aşınmasına zamanla yardımcı olduğu saptanmıştır. Sıcaklık değişimi, su emme-bırakma olaylarının birbiri ardına takibi, bağlayıcının zayıflamasına böylece de bir yük etkisinde aşınmanın artmasına sebep olur [42].

Darbe dayanımı: yapı malzemeleri bazı koşullarda, örneğin ağır bir cismin düşmesi veya darbe etkisi yaratacak diğer kuvvetlerce aşınmaya, kırılmaya, burulmaya yırtılmaya vs. maruz kalırlar. Düşey ve yatay yapı elemanlarına uygulanan sıvalarda darbeye karşı dayanım hesapları mutlak suretle yapılmaktadır. Dış cephelerde

mantolama üstü olarak tabir edilen sıva katmanlarında analizler yapılmakta ve darbe dayanım sonuçları sürekli olarak iyileştirilmektedir. Üzerinde ağır sanayi makineleri bulunan şap zeminlerde genellikle sürekli darbelerle maruz kalan bir zemin mevcuttur. Tahribat süreye, yüke ve titreşime bağlı olarak önceden test yöntemleriyle tespit edilip ona göre malzeme kullanılabilir. Aynı zamanda kuvvetin uygulama hızı, gerilme yığılmasının şiddeti, çevresel etkiler (sıcaklık gibi) darbe dayanımını etkileyen faktörlerdir [42].

2.4.4. Harçta Bulunması Gereken Özellikler

Bir harçta bulunması gereken özellikleri basınç mukavemet, aderans, geçirimsizlik, doluluk, katılma sırasında hacim değişikliği göstermemesi, aşınmaya ve dış etkilere karşı direncinin yüksek olması şeklinde sayabiliriz. Kullanılma yerine göre bu özelliklerden bazıları diğerlerine göre daha fazla önem kazanmaktadır. Bu özellikleri gerçekleştirebilmek için gerekli faktörler ise bağlayıcı cinsi ve miktarının kumun cinsinin seçimi ve granülometrisinin düzenlenmesi, yoğurma suyunun cins ve miktarının seçimi, iyi işçilik şartlarının (karıştırma, taşıma, yerleştirme, bakım) sağlanması gerekir [38].

Basınç mukavemeti: sertleşmiş harcın içine koyulan bağlayıcı malzeme miktarı ve harcın başlıca fiziksel bütünlüğü ile ilgilidir. Harcın mukavemetinin yüksek olması harcın içindeki malzemelerin uygun seçilmesi ve bağlayıcı malzemelerin optimum şekilde uygulamasının yapıldığının göstergesidir [44].

Doluluk: katılmış olan harca ortak fiziksel özellik, basınç mukavemetinde yükselme, geçirgenliğin azalması ve dış etkenlere dayanıklılık gibi özelliklerini pekiştirmesine yardımcı olur [44].

Geçirimsizlik: granülometri şartlarının iyi düzenlenmemesi ve bünyesinde fazla su bulunması harcın geçirimsizliğinin artmasında rol oynar. Bu nedenle çimento harçlarında rötreyi arttırmayacak oranda bağlayıcı miktarını yükseltmek veya kauçuk, parafin, bitüm, balmumu, sabun, kalsiyum klorür, sika, tras, silistom gibi çeşitli katkı maddeleri kullanmak suretiyle geçirimsizlik sağlamak mümkündür.

Aderans: yapıda birlikte kullanılan iki farklı malzeme, meydana gelen etkiler nedeniyle şekil değiştirir ve iki malzeme arasında gerilmelerin geçişi meydana gelir. Arada kayma olmadan bu tür geçişin ortaya çıkması olayıdır. Harçlarda aderans ise uygulandığı yüzeyin pürüzlülüğüne ve bağlayıcı miktarına göre uygulandığı yüzeye tutunma gücü olarak tanımlanır. Plastik kıvamdaki harç kurumuş ve taze haldeki harçlara oranla daha yüksek aderansa sahip olur. Harcın türleri içinde yüksek aderansa sahip olarak kireç ve melez harçlar söylenebilir [38].

Hacim değişikliği: bağlayıcının cinsine göre harçta meydana gelen kimyasal reaksiyonlar sonucu hacim değişikliği meydana gelir. Örneğin: Yağlı kireç harçları bünyesine CO₂ aldığından hacim artmasına, çimento harçları ise hidrasyon olayı sonucu hacim azalmasına (rötre) uğrar. Çimento harcında meydana gelen rötre değeri %0,08-0,12 arasındadır. Rötre böylece meydana gelen çatlakların geçirimsizliğini arttırıcı ve mukavemeti düşürücü niteliktedir. Rötre şapta fazla, melez harçta az görülür. Çimento harcında rötrenin azaltılması için çimento miktarını azaltmak, kumu çoğaltmak, parafin veya havadan nem çekici tuzlar ilave etmek, ayrıca katılaşma bittikten sonra iki hafta kadar nemli ortamda tutmak yararlıdır [44].

Dış etkilere dayanıklılık: Sertleşmiş harç ve sıvaların donmaya karşı davranışı yapısında bulunan su ve boşluklu yapısıyla ilgilidir. Don durumunda suyun malzeme içindeki ilerleyişi önemlidir. Don durumunda bağlayıcı içindeki su sıfır derecenin altında donmaz. Ancak kapiler boşluklarda bulunan su, donmaya başlayınca, jel boşluklarının içindeki suyu da çeker ve kendi hacmini artırır. Hacmi genişleyen buz, boşluğun çeperlerine basınç uygulamaya başlar ve çatlakların oluşmasına neden olur. Donmaya dayanıklılık, harç karışımı içindeki su/çimento oranına ve yapısında bulunan sürüklenmiş hava miktarına bağlıdır [38].

2.4.5. Harcın Dayanıklılığı

Harcın dış etkilere dayanıklılığını anlayabilmek için öncelikle bina cephelerini etkileyen faktörleri bilmek gereklidir. Bunlar; kimyasal faktörler, mekanik faktörler, meteorolojik faktörler ve biyolojik faktörlerdir.

Harcın sertleşmesi sırasında su, hidrasyon için olmazsa olmazdır. Ancak uzun süreli suya maruz kalan cephelerde aşınmaların meydana geldiği görülür. Kar, cephelerde donmaya sebep olur. Harcın yapısına giren su donarken genişir ve mikro çatlaklar oluşur. Bu mikro çatlaklar zamanla genişleyerek harcı çatlatır. Dolu ise mekanik darbe etkisi yaptığı için yüzeyde aşınmalar oluşturur. Güneş ve rüzgâr sertleşme sırasında gereken suyu buharlaştırdığı için hidrasyonu etkiler. Hidrasyonunu tamamlayamayan harç gereken mukavemete ulaşamaz. Ayrıca güneşin radyasyonu da cephelerde önemli kirlenmelere sebep olur. Özellikle polimer katkılı harçların radyasyona direnci zayıftır. Bunlara göre harçta bulunması gereken özellikler; geçirimsiz ve gözeneksiz, yani doluluğu yüksek olmalı, yüzeyi nefes alabilmeli, buhar geçirgenliği yüksek olmalıdır, mekanik etkilere dayanımı ve aderansı iyi olmalıdır, yüzeyi kaygan olmalı ve gelen suyu duvar bünyesine geçirmemelidir. Hacim değişikliklerinde çatlama önleyecek kadar elastik olmalıdır, ısıl değişimler karşısında hacmi değişmemelidir [41].

2.5. Yüksek Sıcaklık

Yüksek sıcaklıkların beton yapısında yarattığı etkileri incelemek çok önemlidir. Yüksek sıcaklık gerektiren süreçleri içeren üretim şartlarında kullanılan betondan etkisinde kalacağı ısı şokları nedeniyle yüksek ısıl dayanım istenir. Birçok endüstriyel uygulamada kullanılan beton yüksek sıcaklıklar yanında aşınma ve zararlı kimyasal etkilere de maruz kalmaktadır. Sıcaklıkla birlikte mekanik ve kimyasal aşınmalar bozulma mekanizmasının hızlanarak sürekliliğini sağlar. Sonuç olarak servis ömrü kısalmır ve yüksek maliyetli onarımların yapılması gerektiği görülür. Bunların gündeme gelmemesi için yüksek sıcaklığın olduğu yerlerde refrakter denilen malzemeler kullanılır.

Refrakter inatçı/dayanıklı kelime anlamı ile aside sıcaklığa dayanıklı malzemenin sanayide bilinen ismidir. -170 °C ile +2200 °C sıcaklık aralığında bu sıcaklığı ve asidi izole edebilen, bu sıcaklığa ve aside dayanabilen şekilli veya şekilsiz olarak üretilen refrakter malzemeler aslında hayatımızın büyük bir kısmında biz farkında olmasak ta soba, ekmek fırını, şömine, kazan ve tabii ki tüm endüstri tesislerinde kullanılmaktadır.

Refrakter malzemeler, ISO Uluslararası Standart Teşkilatı tarafından "Yüksek sıcaklıklara ve bu sıcaklıklarda katı, sıvı ve gazların fiziksel ve kimyasal etkilerine karşı koyabilme özelliğine sahip malzemeler" olarak tanımlanmaktadır. Isıl işlem fırınları, bacalar, rafineriler, çimento sanayinde tünel fırınlar, ön ısıtma üniteleri, seramik sanayi fırınları, cam eritme fırınları, kireç fırınları, firit fırınları, bakır ve demir haddaneleri ergitme ve tutma gibi birçok ağır sanayii fırınlarına kadar her yerde refrakter malzemelerin kullanımı söz konusudur. Refrakter malzemeler, sıcaklık altında fiziksel ve kimyasal nitelikte çeşitli aşındırıcı etkilere karşı erimeye ve fiziksel özelliklerini koruyarak dayanabildiği için yüksek sıcaklıkta çalışan bu ve benzeri ünitelerin yapımında veya içinin kaplanmasında yaygın olarak kullanılır. Günümüzde refrakter malzeme farklı kullanım yerleri nedeniyle çeşitlenmekte olup özellikleri son derece gelişmiş, türleri ve kullanım yerleri artmıştır [45].

Yüksek sıcaklık apılarda dayanıklılık problemlerine yol açan başlıca fiziksel etkilerden biridir. Bu durum yapılarda kalıcı hasarlar oluşturarak yapının servis dışı kalmasına, can ve mal kaybına neden olabilmektedir [46]. Yüksek sıcaklığın kaynaklarından biri olan yangının betona betonarme yapılara ve harçlara etkisi 1922' den günümüze kadar araştırılmaktadır. Yapılan araştırmalarda yangın sırasında ve sonrasında malzemenin karmaşık davranışı, yapısal güvenlik ve yapının bütünlüğü anlaşılmasına çalışılmıştır [47].

Ülkemizde yangın olayları sık yaşanmakta, yapılar ve yapı elemanları doğrudan olduğu gibi dolaylı olarak da yüksek sıcaklıktan etkilenmektedir. Literatürde yapı elemanlarını oluşturan beton, betonarme ve harçların yüksek sıcaklık etkisi karşısındaki dayanıklılıkları konusunda çalışmalar bulunmaktadır.

2.5.1. Yüksek Sıcaklık Kaynakları

İnşaat mühendisliği yapılarına ve malzemelerinde hasara oluşturan yüksek sıcaklık kaynakları başta yangın olmak üzere, endüstriyel fırınların bacalarında oluşan yüksek sıcaklık ve hava limanları pistinde sürtünme kaynaklı ısınma ve nükleer reaktörler olarak gösterilebilir [48]. Bu etkiler aşağıda sırası ile açıklanmıştır.

Yanma, yakacakların oksijenle hızlı bir şekilde reaksiyona girerek, yakacak içinde depolanmış bulunan enerjinin, ısı enerjisi biçiminde açığa çıktığı kimyasal bir

işlemdir. Bu işlem sırasında çıkan enerji, genellikle sıcak gazlar şeklinde olmasına rağmen, çok küçük miktarlarda elektromanyetik (ışık), elektrik (serbest iyonlar ve elektronlar) ve mekanik (ses) enerjiler şeklinde de ortaya çıkmaktadır. Yanma, yanıcı maddelerin oksijen ile kimyasal reaksiyon hızına, oksijen miktarına ve yanma bölgesindeki sıcaklığa bağlıdır [49].

Yüksek sıcaklığa neden olan yangın ise katı, sıvı ve/veya gaz halindeki maddelerin kontrol dışı yanması olayıdır. Araştırmalar, tabii bir yangının genel olarak ateşleme, yavaş yanma, ısınma ve soğuma olmak üzere dört fazdan oluştuğunu göstermektedir. Ateşleme ve yanma fazları tüm parlama öncesi, ısınma ve soğuma fazları ise tüm parlama sonrası fazları olarak adlandırılmaktadır. Tüm parlama öncesi fazı gelişmekte olan yangın, tüm parlama sonrası fazı ise gelişmiş olan yangın durumunu göstermektedir [50].

Endüstri fırın bacalarında sıcaklığın 1250-1300 °C ye ulaştığı bilinmektedir. Günümüzde bacalardaki artık ısı enerjisinin geri kazanımı için ısı eşanjörleri, ısı reküperatörleri, döner tip ısıtıcılar, ısı boruları ve ısı pompaları gibi araçlar kullanılarak sıcaklık yaklaşık 200 °C' ye kadar düşürülebilmektedir [51].

Uçakların kalkış ve inişlerindeki sürtünmeler ve jet motorlarından 260 km/saat hızla çıkan 196 °C deki egzoz gazları, hava alanı pistlerinde sıcaklığın artmasına sebep olmaktadır. İniş ve kalkışlardaki tekrarlı ısınma ve soğuma etkisi ile pistlerde aşınma ve tozlanma görülmektedir. Pistler bu durumda yük alma kapasitelerini muhafaza etseler de hava alanının işlevleri kısıtlanır [52].

Nükleer reaktörlerde, sistemin sıcak parçalarından transfer olan ısı ve nötron ve gama ışınlarının baskısı ile oluşan sıcaklık nedeniyle, reaktörü koruyan beton yüksek sıcaklığa maruz kalır. Radyasyon, koruyucu betona önemli zarar vermez ancak beton sıcaklık nedeniyle daha zayıf hale gelir ve nötron baskısına karşı etkisi azalır. Özellikle reaktör çekirdeğine yakın bölgeleri etkiler. Sodyum yakma havuzlarının etkisi ile tipik bir sodyum-beton reaksiyonu 400 °C'de başlar ve yarım saat sonra sıcaklık 800 °C'den daha yüksek bir değere ulaşır [53].

2.5.2. Yüksek Sıcaklık Etkisi

Birçok yapı ve inşaatlarda rastlanacak tehlikelerden biri de yangın kalıntılarıdır. Yapılarda beton oldukça fazla kullanılan bir yapı malzemesi olduğu için, beraberinde betonda yangın etkisini araştırma talebini de beraberinde getirmiştir. Fakat yapı elemanlarında yangın etkisini benzetmek oldukça güçtür. Çünkü betonlar yangın sırasında karmaşık, yüksek, geçici sıcaklık etkisinde kaldıklarından gerçek yangınların şiddetinin ve davranışının tahmin edilmesi zordur.

Yapılan araştırmalar da, deneysel çalışmaların artan sıcaklık şartlarında yapıldığını göstermektedir. Her ne kadar bu koşullar standart yangın koşullarından farklı olsa da, bu çalışmalar betonda yangın etkisinin önemli bir kısmının anlaşılmasını sağlayabilmiştir. Bu nedenle, betonda yangın etkisinden daha çok yüksek sıcaklık etkisi çalışmaları yapılmış ve sonuçları yorumlanmıştır [54].

2.5.2.1. Yüksek Sıcaklığın Çimento Hamurunun Özelliklerine Etkisi

Lea ve Stradling 1920'lerde betonda yüksek sıcaklık etkisi araştırmalarıyla öncü olmuştur. 800°C' de beton dayanımını etkileyen faktörleri araştırmışlardır. Agregaya ile çimento hamuru arasındaki ısıl uyumsuzluğun yıkıcı faktörlerini öne sürmüşlerdir. Agregaya ile çimento hamuru arasındaki ısıl uyumsuzluğun bozucu etkisini ilk olarak ortaya koyan da bu iki bilim adamıdır. Küresel bir toprak parçasını çimento hamuru ile sarma temeline dayalı olarak yaptıkları elastik gerilme analizi sonucu betonun 100°C civarında bozulacağını fakat bununla beraber 300°C' ye kadar dayanımında artış olabileceğini belirtmişlerdir. Lea ve Stradling kalsiyum hidroksit (Ca(OH)_2) kirece (CaO) dönüştüğünü ve soğutulduktan sonra kirecin hidratasyonda genişmesiyle ısıtma süresinde suyun betonda ciddi zararlara yol açabileceğini belirtmişlerdir. Buna ek olarak soğutma süresince çatlak gelişimine ve agregaya ile çimento hamuru arasında ayrışma olabileceğine dikkat çekmişler ve soğutma hızının etkisini ortaya koymuşlardır. Yüksek sıcaklık uygulamalarında betonun en zayıf noktasının kalsiyum hidroksit problemi olduğu görülmüştür. Bu olay sıradan uygulamalarda Portland çimentosunun, ateşe dayanıklılık gerektiren uygulamalarda da alüminli çimentonun kullanılmasına öncü olmuştur. Çünkü beton için problem teşkil eden kalsiyum hidroksit alüminli çimentolarda hidratasyonun bir ürünü değildir [54].

Kalsiyum hidroksitin ayrışması 350-400°C nin altında gerçekleşmez. Daha yüksek sıcaklık etkilerinde serbest kirecin hidratasyonuna bağlı olarak soğutmadan sonra problem ortaya çıkar. Bu nedenle konu hakkında daha fazla açıklamalara gereksinim duyulmuş ve 1950 ve 1960`larda araştırmacılar agrega ile çimento hamuru arasındaki uyumsuzluğa dikkat çekmişlerdir. Yapılan çalışmalar 400-500°C` lerinde betonda hasara neden olanın kalsiyum hidroksitin bozulması sonucuna işaret etmişlerdir, çünkü kireç soğutmadan sonra hidratasyon süresince genişlemektedir. Soğutma süresince çimento hamuru ile agrega arasındaki ayrışmadan dolayı çatlamlar meydana gelmektedir [54].

1964`de D.T Hannant ve 1967`de D. Campbell-Allen et al. sırasıyla nükleer reaktör koşulları altında 150 ile 300°C sıcaklıklarında kullanılan silindir numunelerde beton dayanımını araştırmışlardır. Campbell-Allen et al. sertleşmiş çimento hamuru ile agrega arasındaki bağın bozulması ile mekanik özelliklerin kötüleştiğini bulmuşlardır. Onlar çimento hamurundaki fiziksel ve kimyasal değişimlerin açıkça kanıtlanamadığını öne sürmüşlerdir. Agregadaki dengenin kötüleşmesinin ilerleyebileceği uyarısında bulunmuşlardır [54].

Schenieder ve Weiss (1980) çalışmalarında sertleşmiş çimento hamurundaki öncelikle yer alan reaksiyonları ve bir seri değişimleri belirtmişlerdir. Yüksek sıcaklığın çimento hamurundaki bir seri reaksiyonları etkilediğini belirtmişlerdir. Bu reaksiyonlar gözenekli sistemde kurutma tamamlandığında başlar, bundan sonra sıcaklık artışıyla hidratasyon ürünlerinin ayrışması ve jel yapısının yok olması şeklinde tamamlanır. 1970`den beri yüksek sıcaklık etkisinde kalan sertleşmiş çimento hamurunun mikro yapısı hakkında artan bilgiler geniş bir şekilde XRD ve MIP teknikleri kullanarak araştırılmıştır [54].

Crock and Murrey (1970) yüksek sıcaklığın çimento hamurundaki boşluk büyüklüğüne ve dağılımına etkisini araştırmışlardır. Yüksek sıcaklık altındaki çimento hamuru içindeki boşluklar büyümekte ve dayanım azalmasına neden olmaktadır. Ayrıca çimento hamurunun hidratasyonunun ve oluşan kılcal boşlukların dayanım azalmasına önemli etkileri vardır. Ayrıca çalışmalarında yüksek sıcaklık etkisindeki çimento hamuru ve betonun yeniden kür edilerek orijinal basınç dayanımının çoğunu

yeniden kazandığını bunun nedeninin meydana gelen karbonatlaşma olayının olduğunu belirtmişlerdir [54].

Çimento hamuru, betonun ilk ısıtma esnasında çok istikrarsız olan bir bileşendir. Çünkü önemli fiziksel ve kimyasal dönüşümler geçirir. Yapısındaki serbest su yaklaşık 100-200 °C ye varan düşük sıcaklıklarda buharlaşır. Yaklaşık 300 °C ve üzerinde yapısındaki bağlı su kaybı ve kimyasal çözülme önemlidir. Isıl etkiler yaklaşık 600°C'nin üstünde erimeyle sonuçlanarak önem kazanır. Yüksek sıcaklık etkisi altında kalmış sertleşmiş çimento hamurunun mekanik özelliklerine ilişkin bir araştırma da Dias et al. (1990a) tarafından yapılmıştır. Yaklaşık 120°C de çimento hamurunun sıcak ve bağıl dayanımları en küçük değerlerdir. Dayanımın 50-120°C aralığında en küçük düzeyde olmasının nedeni bünyesindeki suyun buharlaşma eğilimi ile hamurun şişerek aderans kaybına yol açtığı düşünülmektedir. Bundan sonra çimento hamurunun 300°C'ye kadar olan sıcaklığa kadar dayanımının iyileştiği görülmektedir. Yapılan çalışmalarda artan sıcaklıkla beraber sertleşmiş çimento hamurunda ağırlık kaybı artar. Statik ve dinamik elastisite modülleri kademeli olarak düşer [54].

2.5.2.2. Yüksek Sıcaklığın Agregaya Üzerine Etkileri

Yüksek sıcaklık etkisi altında agregaların birçoğu kimyasal ve/veya fiziksel değişimlere uğramaktadır hatta parçalanmaktadır. Beton hacminin %60-80'ini meydana getiren agregaların seçiminde titiz davranılmalıdır. Agregaların yeterli dayanıma sahip olmaları ve dış etkilere dayanıklılık gösterebilmeleri gereklidir. Agregaların mekanik ve fiziki özellikleri yeterli ve uygun durumları karşılayabilmelidir [55].

2.5.2.3. Yüksek Sıcaklığın Harçlar Üzerine Etkileri

Durmuş ve Arslan (2010) yaptıkları çalışmada, yüksek sıcaklık etkisi altında kalmış çimento harçlarının farklı soğutma koşullarında eğilmede çekme dayanımı, basınçdayanımı ve boşluk oranı değişimini incelemişlerdir. Çimento harç örneklerine 100, 300, 500, 700 ve 900 °C sıcaklıklar uygulanmışlar ve soğutma işlemini havada ve suda olmak üzere iki şekilde gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak, harç örneklerinin eğilmede çekme ve basınç dayanımlarında 100°C'de bir miktar artış olmasına rağmen

bundan sonraki sıcaklıklarda sıcaklık ortalamasına bağılı olarak azalma eğilimi görmüşlerdir. Soğutma koşullarına göre; 500°C'deki eğilimde çekme dayanımının havada soğutulmuş örneklerde % 29, suda soğutulmuş da ise % 58; basınç dayanımının havada soğutulmuş örneklerde % 10, suda soğutulmuş da ise % 35 oranında azaldığı görülmüştür. Aynı zamanda boşluk oranının havada soğutulmuş örneklerde % 3.3, suda soğutulmuş örneklerde ise % 9 oranında arttığını gözlemlemiştir [56].

Durmuş (2008) çalışmasında, Portland çimentosu ve Portland kompoze çimentosu ile üretilen harçların yüksek sıcaklıktaki mekanik dayanımlarını yapay sinir ağı ile tespit etmeye çalışmıştır. Deneysel çalışmasında, numunelerin hazırlanması ve üretilmesi, kürlenmesi, sıcaklığın etkisi, soğutma aşaması, mekanik ve fiziksel deneyleri ve yapay sinir ağı olmak üzere altı aşamada gerçekleştirmiştir. Yüksek sıcaklığın mekanik özelliklere etkilerini araştırmak için hazırladığı harç numunelerini 7, 28 ve 90. günlerde 20, 100, 300, 400, 500, 600, 700 ve 900 °C olmak üzere sekiz farklı sıcaklıkta yüksüz olarak ısıtmış ve harçların soğutma aşaması su ve hava koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Oda sıcaklığında beklemeye bırakılmış numuneler üzerinde ultrases geçiş hızı, özgül ağırlık, boşluk yüzdesi, eğilme ve basınç dayanım değerleri bulunmuştur. Yüksek sıcaklık etkisinde kalan betonlardaki bozulmaların neden olduğu içyapı değişimleri araştırılmıştır. Deney sonuçları istatistik ve yapay sinir ağlarıyla incelenmiş ve yüksek sıcaklığın harçlar üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Sonuç olarak, 300 °C' ye kadar olan basınç dayanımının kontrol numunelerine göre artış gösterdiği ve bu sıcaklıktan sonra dayanımın sürekli düştüğü görülmüştür. Ayrıca, sıcaklık uygulanmış harç örneklerinin hava ve su ile soğutulmasında istatistikî olarak fark olduğu ve yapay sinir ağı ile yapılan bir değerlendirmede en yüksek % 8 hata payı ile eğilme ve basınç dayanımının tahmin edilebileceği sonucuna varmıştır [57].

Topçu ve Demir (2007) çalışmalarında farklı çimento tipleri kullanarak ürettikleri harç örneklerinde yüksek sıcaklık sonrası meydana gelen fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimleri incelemişlerdir. Harç üretiminde kullanılan agrega aynı olması nedeniyle ortaya çıkan farklılıklar farklı çimento hamurlarının yüksek sıcaklık sonrası değişimlerine bağlıdır. Amaç deneyler sonucu ortaya çıkan farklılıkları, çimento tipi, farklı yüksek sıcaklık uygulama sürelerini ve soğutma şekli göz önünde bulundurarak ortaya koymak ve kendi aralarında bir değerlendirme sunmaktır. Havada

soğutulanlar (HS), suda soğutulanlar ise (SS) olarak kodlandıktan sonra parantez içinde yüksek sıcaklık uygulama süreleri belirtilerek üretildiği çimentonun 28 günlük basınç dayanımı bu grupların sonuna konularak toplam on iki ana grup oluşturulmuştur. Örneğin CEM II/BM (P-L) 32.5 R çimentosu ile üretilip 1 saat yüksek sıcaklık etkisinde kalan ve sonrasında suda soğutulan grubun isimlendirilmesi SS(1) 32.5 şeklinde iken; CEM I 42.5 R çimentosu ile üretilen, yüksek sıcaklık uygulama süresi 5 saat olan ve havada soğutulan grubun isimlendirilmesi HS(5) 42.5 şeklinde yapılmıştır [58].

Isıtma ve soğutma süreci, örneklerin yüksüz olarak istenilen sıcaklık derecesine kadar ısıtılması ve oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra kontrol deneylerinin yapılması prensibine göre planlanmıştır. 28. günde sudan çıkarılan örnekler önce etüvde (100 ± 5 °C) 48 saat bekletilmiş, daha sonra her gruptan üçer adet örnek TS EN 1363- 1'e göre ısınma hızı 6 °C/dak. olan fırında 150, 300, 400, 600 ve 900 °C sıcaklıklara kadar ısıtılmıştır. Bu sıcaklıklarda yüksek sıcaklık uygulama süreleri tüm gruplar için 1, 3 ve 5 saat olmak üzere üç farklı sürede yapılmıştır. Soğutma, havada yavaş ve suda hızlı olmak üzere iki grupta gerçekleştirilmiştir. Arta kalan dayanımlara 1-3 saat uygulanan yüksek sıcaklığın önemli etkisinin olduğu, uygulama süresinin artmasıyla etkinin azaldığı, bu nedenle meydana gelen büyük dayanım azalmalarının ilk iki saat içerisinde gerçekleştiği sonucu ortaya çıkmıştır. [58].

Baradan ve Aydın (2006) yaptıkları bu çalışmalarında pomza kumu, tuğla kırıkları ve uçucu kül kullanarak yüksek sıcaklıklara dayanıklı, sıva gibi çeşitli yerlerde kullanılabilecek çok amaçlı bir harç geliştirmeye uğraşmışlardır. Deneylerinde bu malzemeleri değişik oranlarda kullanarak çeşitli harç karışımları hazırlamışlardır. Agregası olarak pomza kumu ve tuğla kırıkları, bağlayıcı olarak çimento ve uçucu kül kullanılmıştır. Basınç dayanımı değerleri sırasıyla 41.6 MPa ve 39.7 MPa iken eğilme dayanımı her iki karışım içinde 6.1 MPa olarak tespit edilmiştir [59].

Topçu ve Demir (2007) çalışmalarında standart harç örneklerinde çimento yerine uçucu kül (% 0, 10, 20 ve 30 oranında) kullanmışlardır. Hazırladıkları harç serilerini TS 7748'e göre 3 saat süreyle 20, 150, 300, 400, 600 ve 900 °C' lik sıcaklıklarda tutarak ve sonrasında havada soğumaya bıraktıktan sonra fiziksel ve mekanik özellikleri her sıcaklık için belirleyip değerlendirmişlerdir. Bu çalışmalarında numune

üretilmesi, kürlenmesi, yüksek sıcaklık uygulanması, mekanik ve fiziksel deneyler gerçekleştirilmişlerdir. Numune üretiminde PÇ 42.5 çimentosu, Standart CEN kumu kullanılarak hazırladıkları çimento harçlarını TS EN 196-1'e göre üretmiş olup 1 gün sonunda kalıptan alma deney gününe (28) kadar 23 °C sıcaklıkta kirece doymuş suda bekletmişlerdir. Kür süresinin sonunda ortalama olarak 6.7°C/dak. ısıtma hızıyla ve üçer adet 40x40x160 mm boyutlu üretilen harç örneklerini yüksek sıcaklık etkisi altında bekletmişlerdir. Belirli yüzdelerde betona çimento ile beraber katılan UK' nın; yangın ve yüksek sıcaklık etkisinde betona, 600 °C' ye kadar olan sıcaklıklarda tatmin edici özellikler kazandırdığını, fakat kazandırdığı bu özellik yanında eğilme ve çekme dayanımlarında azalmalar meydana getirdiğini bu çalışma sonunda tespit etmişlerdir [58].

Türker ve ark. (2001), kuvarsit, kalker ve pomza agregaları ile üretilmiş harç örneklerinin dayanımının yüksek sıcaklıklar ile değişimini incelemişlerdir. Hazırlanan harç karışımları 28 günün sonunda, ısıtma için harcanan süre de dâhil olmak üzere 4 saat süreyle 100, 250, 500, 700 ve 850 °C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Fırın içinde yavaş olarak soğutulan örnekler üzerinde basınç deneyi yapılarak arta kalan dayanımlar kıyaslanmıştır. Deneyler sonucunda kuvarsit ve kalker agregaları ile üretilen harçlar benzer davranış gösterirken, pomza agregası ile üretilen harçlar daha farklı bir davranış sergilemiştir. Dayanım kayıplarının tüm örneklerde 250 °C' nin üzerindeki sıcaklıklarda başladığını tespit etmişlerdir [60].

Gülce (2009) hazırladığı harçlarda yüksek sıcaklık etkisine karşı çimento tipleri ve soğutma türlerini kıyasladığı bu çalışmada üretimde dört farklı tip portland çimentosu kullanılmıştır. Yüksek sıcaklığın harçların mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisini araştırmıştır. Harç örnekleri 28 günlük ve 56 günlük kür sürelerinin sonunda, 150, 300, 450, 600 ve 900 °C olmak üzere beş farklı sıcaklıkta ısıtılmış, soğutma süreci su ve hava koşulları altında 2 farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Oda sıcaklık koşullarına soğutulmuş örneklerde yoğunluk, ultrases geçiş hızı, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı değerleri belirlenmiştir. Çimento tipleri arasında büyük farklılıklar gözlenmese de yüksek sıcaklığa maruz kalacağı öngörülen yapılarda Cem III tipi çimento kullanılmasını önermektedir. Soğutma türleri açısından havada soğutmanın her dört çimento tipi içinde daha iyi sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir ve farklı

soğutma türlerinin etkilerini ayrıca incelemiştir. Deney sonuçlarından harç örneklerinin yüksek sıcaklıklarda önemli dayanım kayıplarına uğradığı görülmüştür. Özellikle kayıpların 450 °C ile 900 °C arasında daha fazla olduğu dikkat çekmiştir. [48].

Karaduman (2008) Bu çalışmasında, TS EN 197-1 standardına uygun olarak hazırladığı 7 farklı tip çimento ve alüminli çimentoyla dökülen harç örneklerinin değişen derecelerde yüksek sıcaklıklara maruz bırakılması sonucunda fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimleri incelemiştir. Yüksek sıcaklık etkisinden önce iki değişik kür rejimi uygulanmıştır. Bu amaçla, bir kısım örneğe atmosferik basınç altında 60°C 'de 24 saat sıcak su kürü uygulandıktan sonra 28 gün havada bekletilmiş ve 20, 300, 600 ve 900°C sıcaklıklara tabi tutulmuştur. Diğer bir kısım örnek ise standart kür (28 gün-suda) işlemini takiben 28 gün de havada bekletilmiştir. Bu örnekler, sırasıyla 20, 150, 300, 450, 600 ve 900 °C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Örneklerin eğilme ve basınç dayanımları, elastisite modülleri ve ağırlıklarındaki değişim tespit edilmiştir. Böylece farklı tip çimentoların yüksek sıcaklıklara karşı direnci incelenmiştir. Bu çalışmada genel olarak bakıldığında tüm örneklerin basınç dayanımları, eğilme dayanımları, elastisite modülleri ve ağırlıkları yüksek sıcaklıktan olumsuz etkilendiği tespit edilmiştir [61].

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde, deney çalışma kısmında kullanılan malzemelerin özellikleri, çalışmada üretilen harçlara ait karışım oranları, taze ve sertleşmiş haldeki fiziksel ve mekanik deneylerin yapım metotları ve deneylerden elde edilen sonuçlar verilmektedir.

3.1. Kullanılan Malzemeler

3.1.1. Çimento

Yapılan deneysel çalışmada CEM I 42.5 R tipi Portland Çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

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

Kimyasal Bileşim	
Bileşen, (%)	
MgO	2.75
SiO ₂	19.12
Al ₂ O ₃	5.63
Fe ₂ O ₃	2.39
Na ₂ O	-
CaO	63.17
SO ₃	2.74
K ₂ O	1.00
Kızdırma Kaybı	2.33
Çözünmeyen Kalıntı	0.49
Fiziksel Özellikler	
Özgül Ağırlık g/cm ³	3.09
Özgül Yüzey cm ² /g.	3114

3.1.2. Genleştirilmiş Vermikülit

Çalışmada kullanılan genleştirilmiş vermicülit Sivas ili Yıldız Eli ilçesi Demircilik köyünde bulunan vermicülit ocağından elde edilmiş ham vermicülitin 600°C’de 10sn tutularak genleştirilmesiyle elde edilmiştir.

Deneysel çalışmada kullanılan geliştirilmiş vermikülitin fiziksel özellikleri Tablo 3.2’de, kimyasal özellikleri Tablo 3.3’de, elek analizi değerleri Tablo 3.4’de, elek analizinin grafiksel gösterimi Şekil 3.1’de verilmiştir. Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de ise çalışmada kullanılan geliştirilmiş vermikülit görülmektedir.

Tablo 3.2. Geliştirilmiş Vermikülitin Fiziksel Özellikleri

Renk	Altın
Şekil	Akordeon
Su Tutma Kapasitesi	% 240 (ağırlıkça)
	% 28 (hacimsel)
Katyon Değişim Oranı	50 - 150 meg / 100 gr.
Isı İletkenliği	0,065 - 0,062 W/mK
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 ³

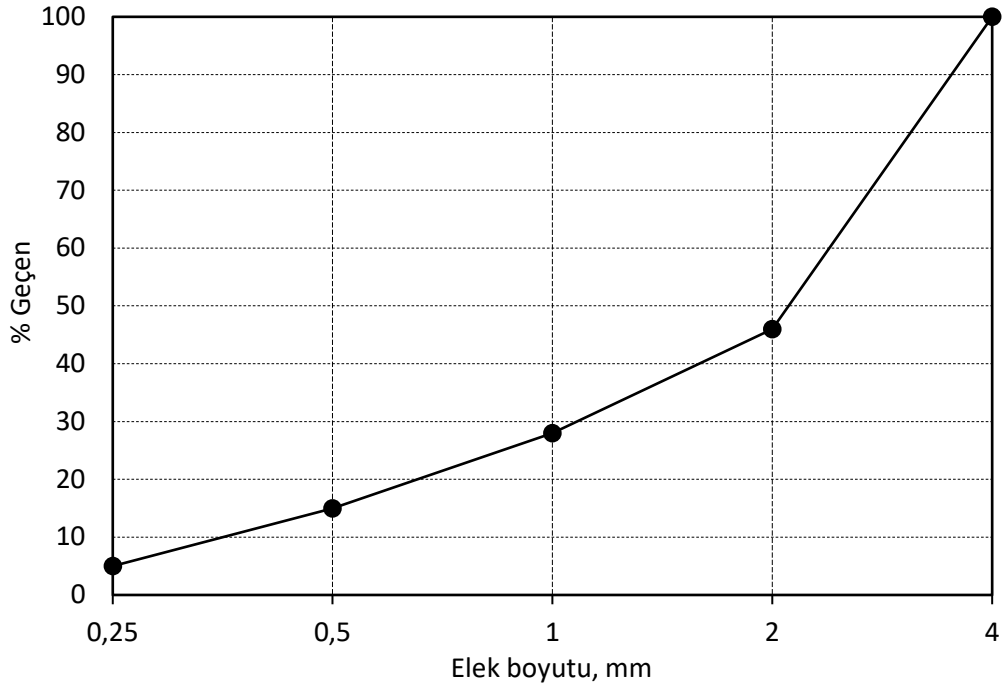
Tablo 3.3. Geliştirilmiş Vermikülitin Kimyasal Özellikleri

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

Tablo 3.4. 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

Çalışmada kullanılan genleştirilmiş vermikülitte ait tane dağılımı eğrisi Şekil 3.1' de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışmada Kullanılan Vermikülitin Elek Analizi

Şekil 3.2’ de çalışmada kullanılan genişletilmiş vermikülit gösterilmiştir. Şekil 3.3’ de ise genişletilmiş vermikülitte su ilave edilmesi verilmiştir.



Şekil 3.2. Çalışmada Kullanılan Genleştirilmiş Vermikülit



Şekil 3.3. Genleştirilmiş Vermikülitte Su ilave Edilmesi

3.2. Karışım Oranları ve Üretim

Deneysel çalışma için vermikülit/çimento hacimsel oranları 3, 4, 5, 6 ve 7 olan karışımlar hazırlanmıştır. Hazırlanan bütün karışımlarda vermikülitin karışım suyunun yarısı 1 saat öncesinden vermikülit ile karıştırılmıştır. Daha sonra ısıtılmış vermikülit çimento ve kalan su ile 3 dakika boyunca karıştırılarak karışımlar hazırlanmıştır. Karışımların tamamı çimento mikserinde yapılmıştır. Tablo 3.5' te karışım oranları gösterilmektedir.

Tablo 3.5. Karışım Oranları

Seri Kodu	Çimento (g)	Vermikülit (g)	Su (g)	Vermikülit/Çimento Oranı (Hacimsel)
VÇ3	2820	1080	3336	3
VÇ4	2280	1164	3354	4
VÇ5	1920	1226	3446	5
VÇ6	1640	1256	3372	6
VÇ7	1440	1287	3480	7

3.2.1. Numune Üretimi

Her bir vermikülit/çimento oranında, 20 °C, 300 °C, 600 °C ve 900 °C sıcaklık değerleri için 40x40x160 mm boyutlarında 12'şer adet numune üretilmiştir. Toplam olarak 40x40x160 mm boyutlarında 5 farklı vermikülit/çimento oranı için 60 adet numune üretilmiştir. Üretilen numuneler, bir gün sonra kalıptan çıkartılmış ve 28. güne kadar 20 ± 2 sıcaklıkta suyun içerisinde kür edilmiştir.

Üretilen numunelerdeki kodlama sistemi, vermikülit/çimento oranı ve deneysel sıcaklık değerlerine göre yapılmıştır. Örneğin, VÇ4-T300 numunesi; vermikülit/çimento oranı 4, olan 300 °C' de test edilecek olan numuneyi tanımlamaktadır. Şekil 3.4'de harcın kalıba yerleştirilmiş hali gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Harcın Kalıba Yerleştirilmiş Hali

3.2.2. Numunelerin Sıcaklık Etkisine Konulması

Kür süresinin ardından, numuneler 300 °C, 600 °C ve 900 °C' ye kadar değişik sıcaklıklara ulaşabilen ısınma hızı 8 ± 4 °C/dk olan yüksek sıcaklık fırınına yerleştirilmiştir. Yüksek sıcaklık fırınında, her bir sıcaklık gurubunda bulunan numuneler 6 saat süre ile sıcaklık etkisinde bırakılmıştır. Süre sonunda fırın enerjisi kapatılarak fırının sıcaklığı normal oda sıcaklığına düşünceye kadar fırın açılmamıştır. Daha sonra soğumuş numuneler üzerinde ultrases geçiş hızı, eğilme ve basınç deneyleri uygulanmıştır.

Numunelerin sıcaklık uygulanmadan önceki durumu Şekil 3.5'de, sıcaklık uygulandıktan sonraki durumu ise Şekil 3.6' da gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Numunelerin Sıcaklık Uygulanmadan Önceki Durumu



Şekil 3.6. Numunelerin Sıcaklık Uygulanmadan Sonraki Durumu

3.3. Deneyler

3.3.1. Taze Harç Deneyleri

Yayılma Tablası Deneyi

Çalışmada hazırlanan harçlar, taze halde TS EN 1015-3'te belirtilen şartlara uygun olarak yayılma tablası ölçümleri yapılmıştır. Deney sonuçları Tablo 3.6'da ve deneye ait fotoğraf Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

Tablo 3.6. Taze Harçlara Ait Birim Hacim Ağırlık ve Yayılma Deney Sonuçları.

V/Ç Oranı	Seri Kodu	Yayılma (mm)
3	VÇ3	15,1
4	VÇ4	14,0
5	VÇ5	14,5
6	VÇ6	15,5
7	VÇ7	14,0



Şekil 3.7. Yayılma Deneyi

3.3.2. Sertleşmiş Harç Deneyleri

3.3.2.1. Fiziksel Özellik Deneyleri

Deneyde üretilen 40x40x160 mm boyutlarındaki numuneler 28 gün sonunda kür havuzundan çıkarıldıktan sonra suya doymun ağırlığı, 24 saat süreyle 105 °C’ de etüv içerisinde bırakıldıktan sonra ise, etüv kurusu ağırlığı tespit edilmiştir. Ayrıca, Arşimet deneyi ile su içinde tartılarak gerçek hacimleri hesaplanan numunelerin birim hacim ağırlıkları Denklem (3.1), porozite değerleri Denklem (3.2) ve su emme değerleri Denklem (3.3) kullanılarak hesaplanmıştır.

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

$$P = \frac{W_1 - W_0}{W_1 - W_2} * 100, (\%) \quad (3.2)$$

$$S = \frac{W_1 - W_0}{W_0} * 100, (\%) \quad (3.3)$$

W_0 : Etüv kurusu ağırlık

W_1 : Suyu doymun havadaki ağırlık

W_2 : Su içerisindeki ağırlık.

olarak ifade edilmektedir.

Farklı vermikülit/çimento oranları için fiziksel özellik deney sonuçları Tablo 3.7-3.9’da verilmektedir.

Tablo 3.7. Birim Ağırlık Deney Sonuçları.

V/Ç	Karışım Kodu	Sıcaklık °C	Birim Ağırlık, kg/m ³		
			Sıcaklık Öncesi	Sıcaklık Sonrası	Değişim %
3	VÇ3-T20	20	867	867	-
	VÇ3-T300	300	867	747	13,8
	VÇ3-T600	600	867	740	14,6
	VÇ3-T900	900	867	737	15,0
4	VÇ4-T20	20	812	812	-
	VÇ4-T300	300	812	652	19,7
	VÇ4-T600	600	812	642	20,9
	VÇ4-T900	900	812	633	22,0
5	VÇ5-T20	20	769	769	-
	VÇ5-T300	300	769	585	23,1
	VÇ5-T600	600	769	583	24,2
	VÇ5-T900	900	769	569	26,0
6	VÇ6-T20	20	750	750	-
	VÇ6-T300	300	750	577	23,9
	VÇ6-T600	600	750	549	26,8
	VÇ6-T900	900	750	538	28,3
7	VÇ7-T20	20	738	738	-
	VÇ7-T300	300	738	531	28,0
	VÇ7-T600	600	738	520	29,5
	VÇ7-T900	900	738	509	31,0

Tablo 3.8. Su Emme Deney Sonuçları.

V/Ç	Karışım Kodu	Sıcaklık °C	Su emme, %		
			Sıcaklık Öncesi	Sıcaklık Sonrası	Değişim %
3	VÇ3-T20	20	44,3		-
	VÇ3-T300	300	44,3	57,5	29,9
	VÇ3-T600	600	44,3	62,4	40,9
	VÇ3-T900	900	44,3	69,7	57,3
4	VÇ4-T20	20	56,2		-
	VÇ4-T300	300	56,2	75,4	34,1
	VÇ4-T600	600	56,2	81,8	45,6
	VÇ4-T900	900	56,2	88,5	57,5
5	VÇ5-T20	20	64,4		-
	VÇ5-T300	300	64,4	88,3	37,1
	VÇ5-T600	600	64,4	94,1	46,1
	VÇ5-T900	900	64,4	103,0	59,9
6	VÇ6-T20	20	67,6		-
	VÇ6-T300	300	67,6	94,2	39,4
	VÇ6-T600	600	67,6	101,3	49,9
	VÇ6-T900	900	67,6	109,6	62,2
7	VÇ7-T20	20	70,4		-
	VÇ7-T300	300	70,4	99,4	41,2
	VÇ7-T600	600	70,4	106,7	51,5
	VÇ7-T900	900	70,4	115,6	64,2

Tablo 3.9. Porozite Deney Sonuçları.

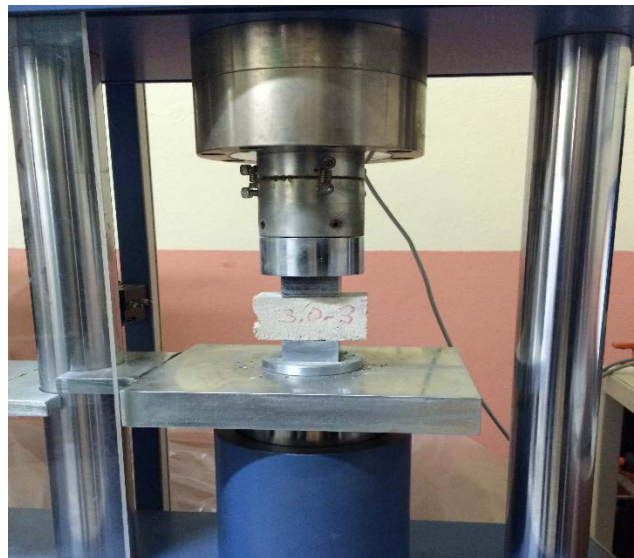
V/Ç	Karışım Kodu	Sıcaklık °C	Porozite, %		
			Sıcaklık Öncesi	Sıcaklık Sonrası	Değişim %
3	VÇ3-T20	20	39,7	39,7	-
	VÇ3-T300	300	39,7	50,2	26,4
	VÇ3-T600	600	39,7	47,0	18,4
	VÇ3-T900	900	39,7	44,9	13,1
4	VÇ4-T20	20	43,5	43,5	-
	VÇ4-T300	300	43,5	53,5	23,0
	VÇ4-T600	600	43,5	50,5	16,1
	VÇ4-T900	900	43,5	46,8	7,6
5	VÇ5-T20	20	49,9	49,9	-
	VÇ5-T300	300	49,9	57,2	14,6
	VÇ5-T600	600	49,9	54,0	8,2
	VÇ5-T900	900	49,9	51,7	3,6
6	VÇ6-T20	20	51,0	51,0	-
	VÇ6-T300	300	51,0	58,2	14,1
	VÇ6-T600	600	51,0	54,9	7,6
	VÇ6-T900	900	51,0	52,5	2,9
7	VÇ7-T20	20	52,5	52,5	-
	VÇ7-T300	300	52,5	59,2	12,8
	VÇ7-T600	600	52,5	55,0	4,8
	VÇ7-T900	900	52,5	53,0	1,0

3.3.2.2. Mekanik Özellik Deneyleri

Çalışmada üretilen 40x40x160 mm boyutundaki 60 adet numune, 28 gün boyunca 20 ± 2 °C sıcaklıktaki kür havuzunda bekletilmiştir. Daha sonra oda sıcaklığında ve 6' şar saat süreyle 300 °C, 600 °C, 900 °C sıcaklıkta yüksek sıcaklık fırını içerisinde bırakılmıştır. Oda sıcaklığına kadar soğutulan numuneler üzerinde TS EN 1015-11 sertleşmiş harcın basınç ve eğilme dayanımı tayini deneyinde belirtilen şartlara uygun olarak eğilme dayanımı deneyi yapılmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Eğilme Dayanımı Tayini Deneyi.



Şekil 3.9. Basınç Dayanımı Deneyi

Eğilme dayanımı deneyinde, yaklaşık olarak ortasından kırılan numuneler 2 parçaya ayrılmıştır. Böylece 3 adet benzer numuneden 6 adet parça elde edilmiştir. Elde edilen bu parçalar TS EN 1015-11’de belirtilen duruma uygun olarak yüklenmiştir (Şekil 3.9). Eğilme ve basınç dayanım deney sonuçları Şekil 3.10 ve 3.11’de verilmiştir.

Tablo 3.10. Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları.

V/Ç	Karışım Kodu	Sıcaklık °C	Eğilme Dayanımı, MPa		
			Sıcaklık Öncesi	Sıcaklık Sonrası	Değişim %
3	VÇ3-T20	20	1,55	1,55	-
	VÇ3-T300	300	1,55	0,80	48,3
	VÇ3-T600	600	1,55	0,57	63,2
	VÇ3-T900	900	1,55	2,02	-30,8
4	VÇ4-T20	20	0,96	0,96	0,0
	VÇ4-T300	300	0,96	0,86	10,6
	VÇ4-T600	600	0,96	0,75	22,0
	VÇ4-T900	900	0,96	1,49	-55,3
5	VÇ5-T20	20	0,69	0,69	0,0
	VÇ5-T300	300	0,69	0,63	8,0
	VÇ5-T600	600	0,69	0,59	14,8
	VÇ5-T900	900	0,69	1,03	-50,0
6	VÇ6-T20	20	0,49	0,49	0,0
	VÇ6-T300	300	0,49	0,45	8,6
	VÇ6-T600	600	0,49	0,37	25,4
	VÇ6-T900	900	0,49	0,67	-36,5
7	VÇ7-T20	20	0,40	0,38	4,6
	VÇ7-T300	300	0,40	0,36	9,8
	VÇ7-T600	600	0,40	0,34	15,7
	VÇ7-T900	900	0,40	0,45	-13,7

Tablo 3.11. Basınç Dayanımı Denev Sonuçları.

V/	Karışım Kodu	Sıcaklık °C	Basınç Dayanımı, MPa		
			Sıcaklık Öncesi	Sıcaklık Sonrası	Değişim %
3	V3-T20	20	2,66	2,66	-
	V3-T300	300	2,66	1,67	37,3
	V3-T600	600	2,66	2,21	17,0
	V3-T900	900	2,66	3,45	-29,6
4	V4-T20	20	1,71	1,71	0,1
	V4-T300	300	1,71	1,46	14,7
	V4-T600	600	1,71	1,74	-1,7
	V4-T900	900	1,71	2,54	-48,6
5	V5-T20	20	1,08	1,08	-0,3
	V5-T300	300	1,08	1,10	-2,2
	V5-T600	600	1,08	1,13	-4,2
	V5-T900	900	1,08	1,67	-54,3
6	V6-T20	20	0,80	0,80	-0,3
	V6-T300	300	0,80	0,84	-5,5
	V6-T600	600	0,80	0,86	-8,1
	V6-T900	900	0,80	1,22	-52,3
7	V7-T20	20	0,59	0,59	-0,6
	V7-T300	300	0,59	0,65	-9,5
	V7-T600	600	0,59	0,68	-14,8
	V7-T900	900	0,59	0,79	-34,2

3.3.2.3 Ultrases Geçiş Hızlarının Belirlenmesi

Bütün numunelere, sıcaklık uygulanmadan önce ve sıcaklık uygulandıktan sonra TS EN 12504-4'te belirtilen ultrases geçiş hızının tayini deneyi uygulanmıştır. Deneyde,

0,1 µs duyarlıklı ultrases aleti ile t, µs ses geçiş süreleri ölçülmüştür. Deneyde numunelerin pürüzlü yüzeylerine iletken deney sıvısı sürülerek transdüserler numunenin boyu doğrultusunda yerleştirilmiştir. Doğrudan iletim metodu ile geçiş zamanı olan t, µs değerleri kaydedilmiştir. Daha sonra transdüserler yer değiştirilerek ikinci bir okuma kaydedilmiş, her numune için bu iki okumanın ortalaması alınmıştır. Kaydedilen bu değer (3.4) bağıntısı ile ultrases geçiş hızı V_{ses} hesaplanmıştır.

$$V_{ses} = L / t \quad (3.4)$$

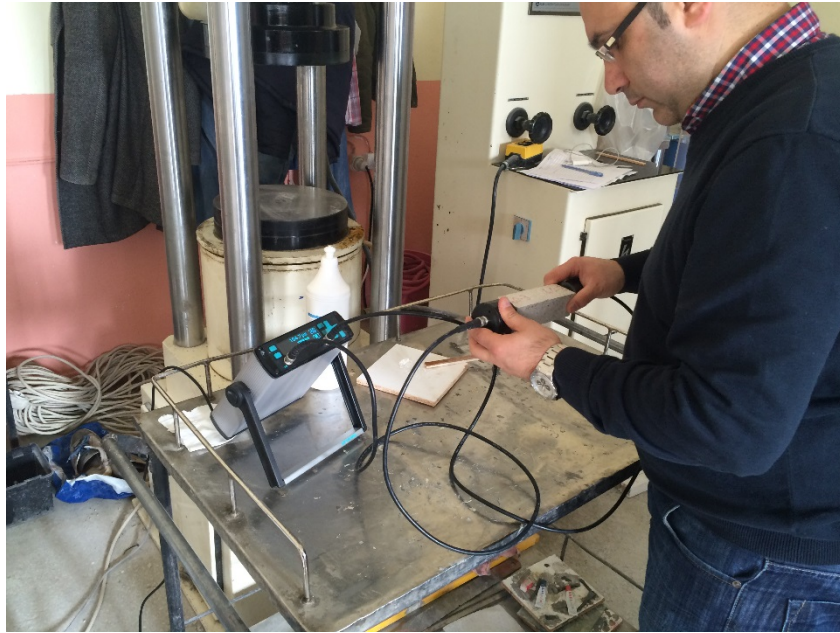
V_{ses} : Ultrases geçiş hızı (km/sn)

L : İki transdüser arası mesafe (160 mm)

t : Ultrases geçiş zamanı (µs)

olarak ifade edilmektedir.

Ultrases geçiş hızının ölçümleri Şekil 3.10'da gösterilmektedir. Farklı sıcaklıklara maruz bırakılmış numunelerin sıcaklık öncesi ve sıcaklık sonrası ultrases geçiş hızı deney sonuçları Tablo 3.12'de verilmektedir.



Şekil 3.10. Ultrases Geçiş Hızının Belirlenmesi

Tablo 3.12. Ultrases Hızı Deneş Sonuçları.

V/	Karışım Kodu	Sıcaklık °C	Ultrases Hızı, km/s		
			Sıcaklık Öncesi	Sıcaklık Sonrası	Değişim %
3	V3-T20	20	1,81	1,81	-
	V3-T300	300	1,81	1,78	-1,8
	V3-T600	600	1,81	1,66	-8,4
	V3-T900	900	1,81	1,88	3,6
4	V4-T20	20	1,56	1,56	-
	V4-T300	300	1,56	1,50	-3,9
	V4-T600	600	1,56	1,41	-9,3
	V4-T900	900	1,56	1,73	11,1
5	V5-T20	20	1,40	1,40	-
	V5-T300	300	1,40	1,34	-4,5
	V5-T600	600	1,40	1,24	-11,8
	V5-T900	900	1,40	1,60	13,8
6	V6-T20	20	1,25	1,25	-
	V6-T300	300	1,25	1,18	-5,2
	V6-T600	600	1,25	1,05	-15,5
	V6-T900	900	1,25	1,46	17,2
7	V7-T20	20	1,12	1,12	-
	V7-T300	300	1,12	1,06	-5,7
	V7-T600	600	1,12	0,90	-19,8
	V7-T900	900	1,12	1,37	21,9

4. DENEY SONUÇLARI ve DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmada üretilen 40x40x160 mm boyutundaki prizma numuneler 28 gün standart küre tabi tutulduktan sonra 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklığa maruz bırakılmışlardır. Numuneler hedef sıcaklıkta 6 saat süreyle bekletildikten sonra fırından çıkarılarak eğilme ve basınç dayanımı ile ultrases geçiş hızı testlerine tabi tutulmuşlardır. Soğuma sonrasında sıcaklık etkisine maruz bırakılan numuneler ile referans numuneler üzerinde standartlara uygun olarak kuru birim ağırlık, su emme, boşluk oranı, ultrases geçiş hızı, basınç ve eğilme deneyleri yapılmıştır.

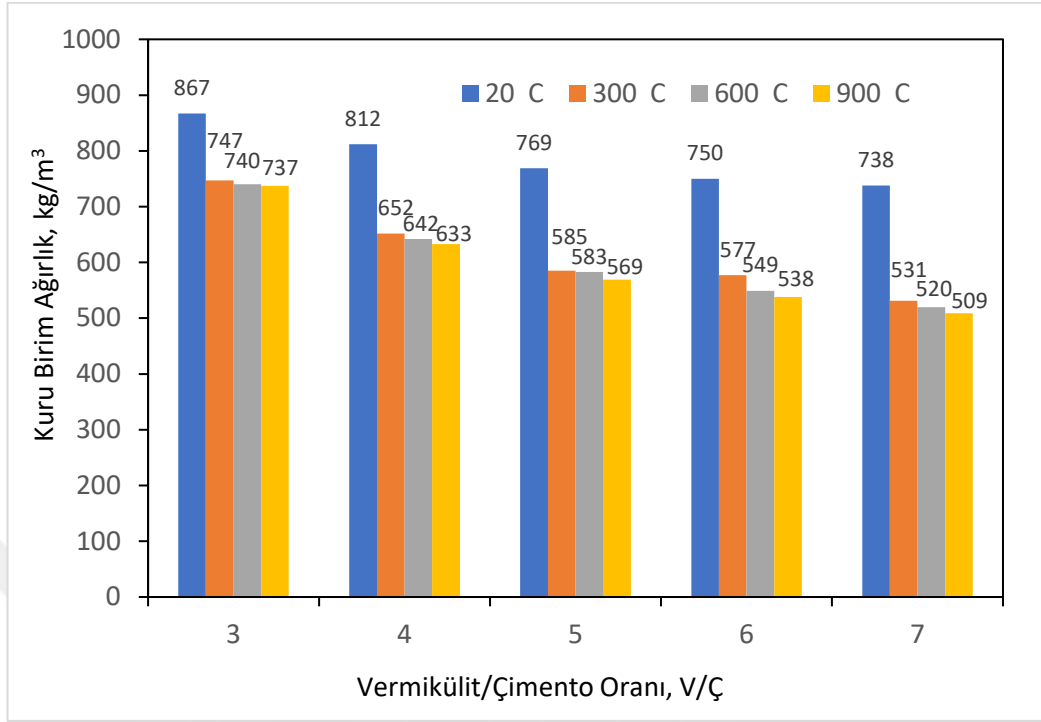
4.1. Fiziksel Özellikler

4.1.1. Kuru Birim Hacim Ağırlık

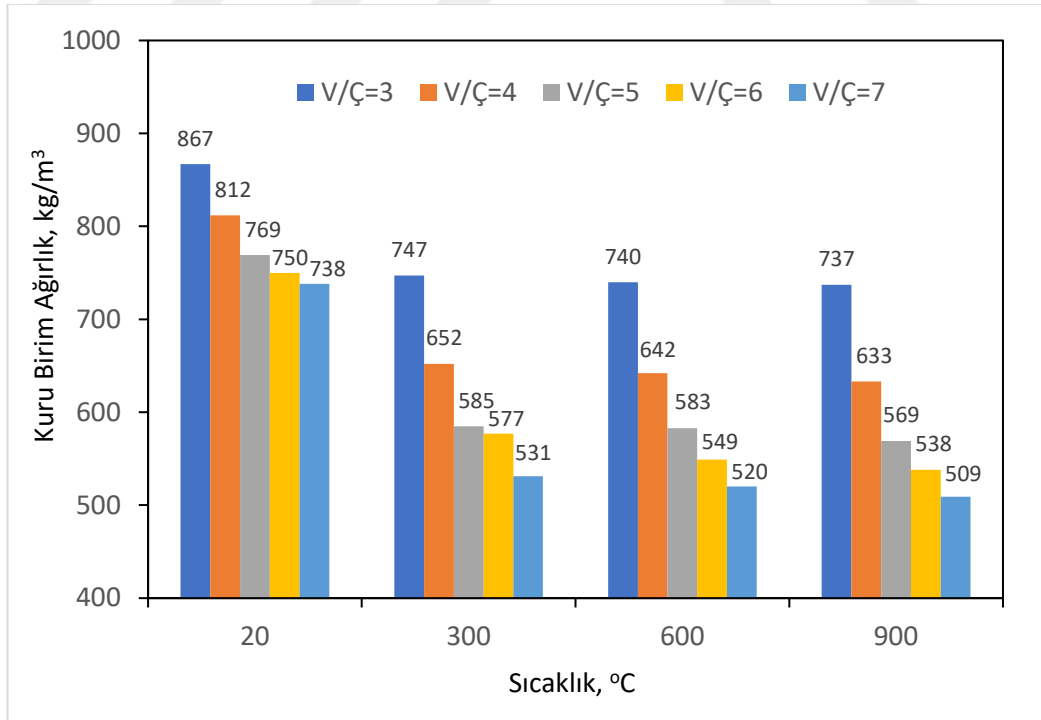
28 gün standart bakıma tabi tutulan numuneler sabit ağırlığa erişinceye kadar kurumaya bırakıldı. Daha sonra sertleşmiş harç numunelerin sıcaklık öncesindeki ve sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonraki kuru birim ağırlıkları belirlendi. Kuru birim ağırlık deney sonuçlarının grafiksel gösterimi Şekil 4.1-4.4'de verilmiştir.

Sıcaklık uygulaması öncesi kuru birim ağırlıkları $V/\zeta = 3, 4, 5, 6, 7$ olan numunelerde sırasıyla 867, 812, 769, 750, 738 kg/m^3 olduğu gözlenmiştir. V/ζ oranı arttıkça kuru birim ağırlıklarında azalma görülmüştür. En fazla kuru birim ağırlık $V/\zeta = 3$, en az kuru birim ağırlık ise $V/\zeta = 7$ olan numunelerde olduğu gözlenmiştir.

Bütün V/ζ oranlarında sıcaklık uygulaması sonrasında kuru birim ağırlıklarında azalma görülmüştür. 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde en fazla kuru birim ağırlık $V/\zeta = 3$ olan numunelerde sırasıyla 747, 740 ve 737 kg/m^3 , en az kuru birim ağırlık ise $V/\zeta = 7$ olan numunelerde sırasıyla 531, 520, 509 kg/m^3 olduğu gözlenmiştir.



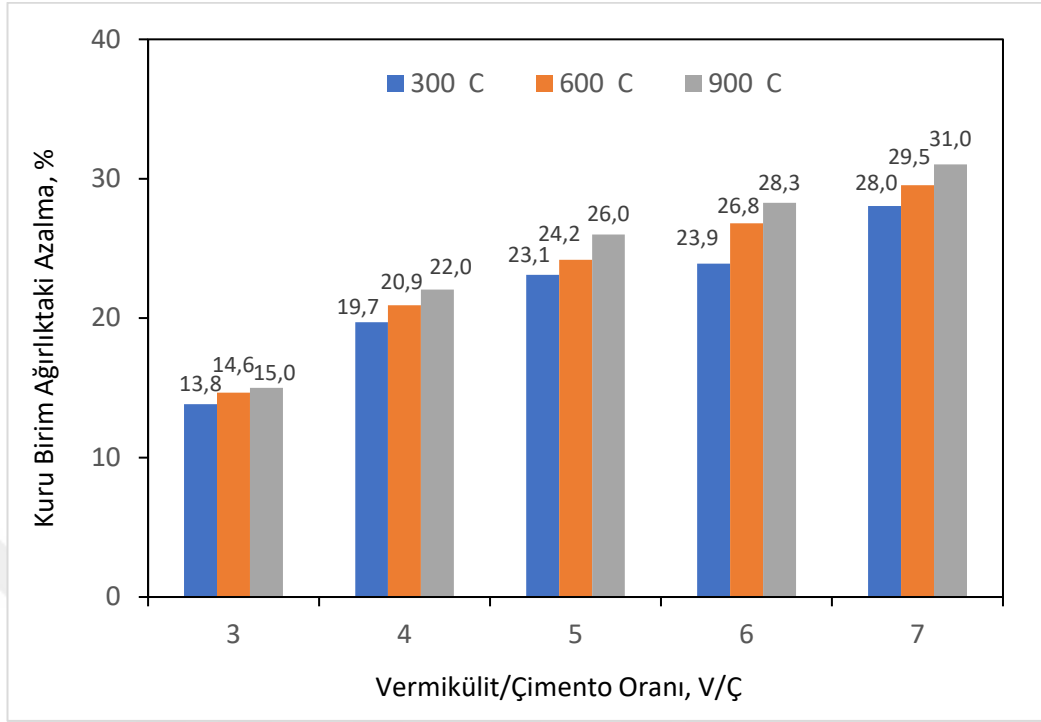
Şekil 4.1. Numunelerin Kuru Birim Ağırlığının Sıcaklığa Bağlı Vermikülit / Çimento ile Değişimi



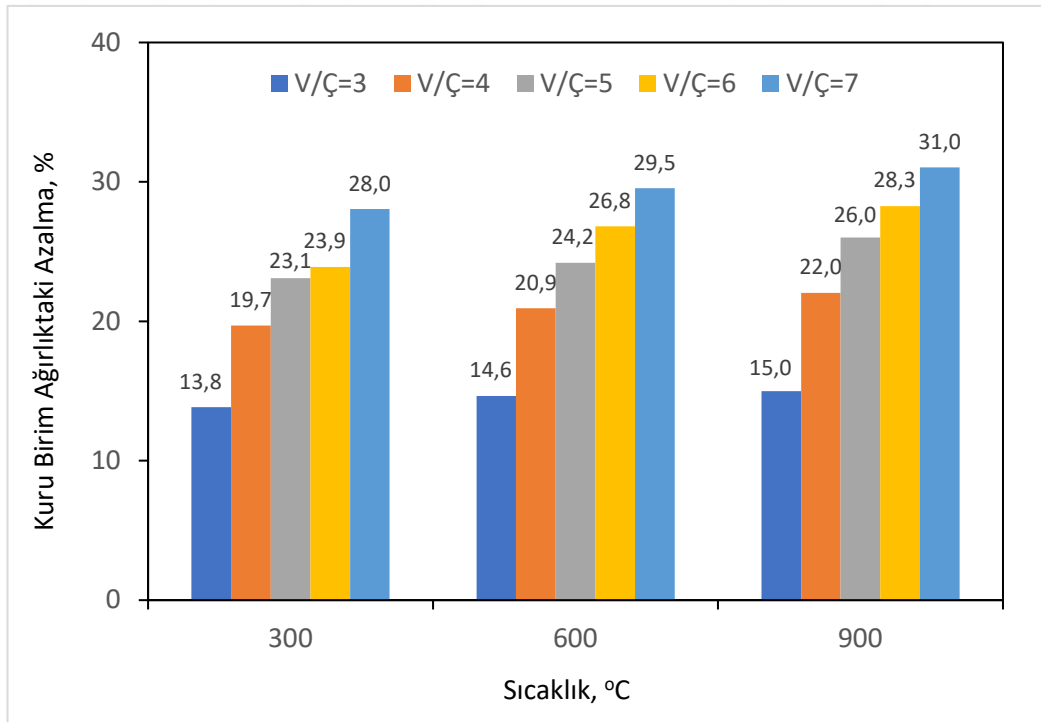
Şekil 4.2. Numunelerin Kuru Birim Ağırlığının Vermikülit / Çimento Bağlı Sıcaklık ile Değişimi

Sıcaklık uygulaması sonrasında V/Ç oranı arttıkça kuru birim ağırlıklarında azalma oranının arttığı görülmüştür. 300°C sıcaklık değerinde kuru birim ağırlık azalma oranı V/Ç = 3, 4, 5, 6, 7 olan numunelerde sırasıyla % 13,8, 19,7, 23,1, 23,9, 28,0, 600°C sıcaklık değerinde kuru birim ağırlık azalma oranı V/Ç = 3, 4, 5, 6, 7 olan numunelerde sırasıyla % 14,6, 20,9, 24,2, 26,8, 29,5, 900°C sıcaklık değerinde ise kuru birim ağırlık azalma oranı V/Ç = 3, 4, 5, 6, 7 olan numunelerde sırasıyla % 15,0, 22,0, 26,0, 28,3, 31,0 olduğu gözlenmiştir. 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde en fazla kuru birim ağırlık azalma oranı V/Ç = 7 olan numunelerde sırasıyla % 28, 29,5 ve 31,0, en az kuru birim ağırlık azalma oranı ise V/Ç = 3 olan numunelerde sırasıyla % 13,8, 14,6 ve 15,0 olduğu gözlenmiştir.

Sıcaklık uygulaması değerinin artması ile birlikte kuru birim ağırlıklarında azalma oranının da arttığı görülmüştür. Kuru birim ağırlık azalma oranı V/Ç = 3 olan numunelerde 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde sırasıyla % 13,8, 14,6, 15,0, V/Ç = 4 olan numunelerde 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde sırasıyla % 19,7, 20,9, 22,0, V/Ç = 5 olan numunelerde 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde sırasıyla % 23,1, 24,2, 26,0, V/Ç = 6 olan numunelerde 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde sırasıyla % 23,9, 26,8, 28,3, V/Ç = 7 olan numunelerde 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde sırasıyla % 28,0, 29,5, 31,0 olduğu gözlenmiştir. 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde en fazla kuru birim ağırlık azalma oranı V/Ç = 7 olan numunelerde sırasıyla % 28, 29,5, ve 31,0, en az kuru birim ağırlık azalma oranı ise V/Ç = 3 olan numunelerde sırasıyla % 13,8, 14,6 ve 15,0 olduğu görülmüştür.



Şekil 4.3. Numunelerin Kuru Birim Ağırlığındaki Azalmanın Sıcaklığa Bağlı Vermikülit / Çimento ile Değişimi



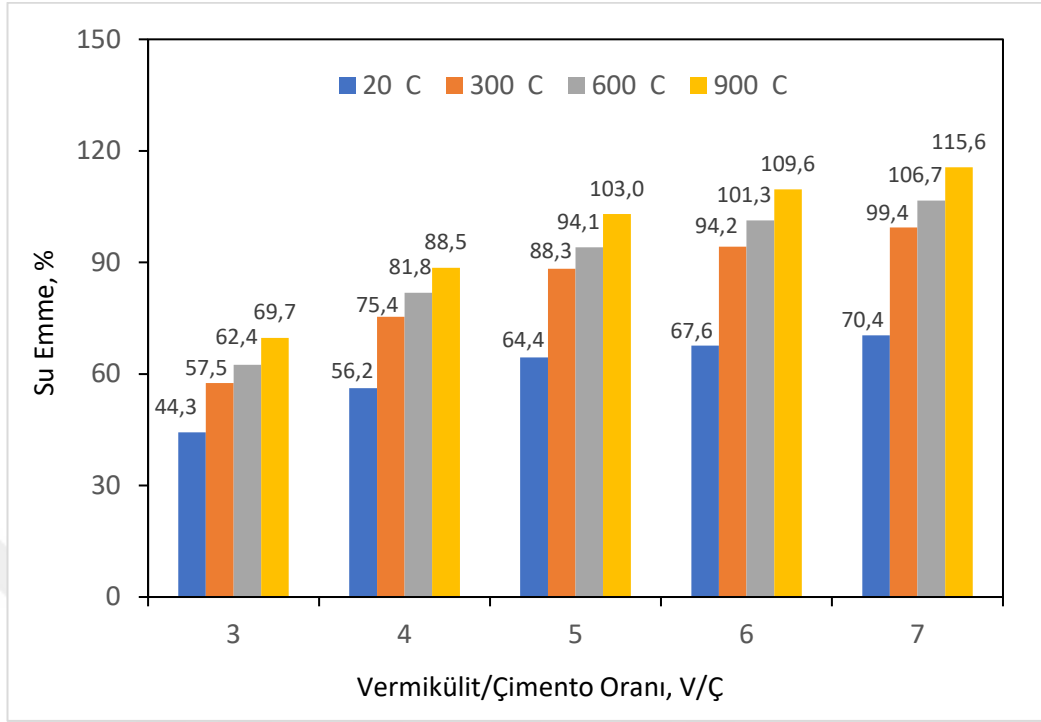
Şekil 4.4. Numunelerin Kuru Birim Ağırlığındaki Azalmanın Vermikülit / Çimento Bağlı Sıcaklık ile Değişimi

4.1.2. Su Emme

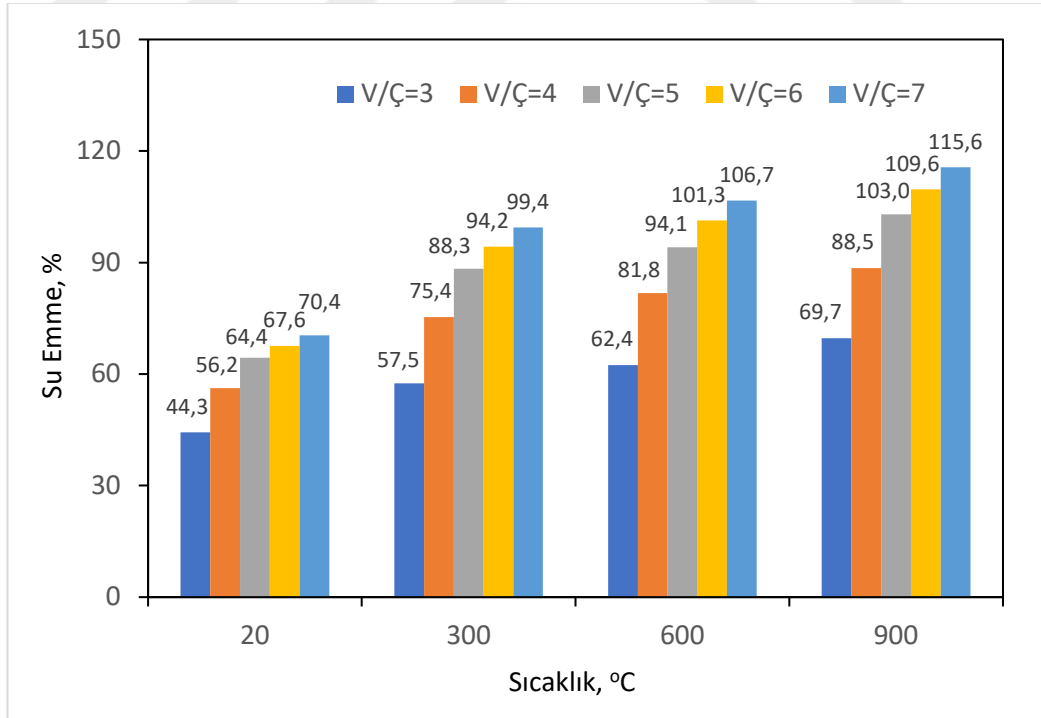
28 gün standart bakıma tabi tutulan numuneler sabit ağırlığa erişinceye kadar kurumaya bırakıldı. Daha sonra sertleşmiş harç numunelerin sıcaklık öncesindeki ve sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra su emme oranları belirlendi. Su emme deney sonuçlarının grafiksel gösterimi Şekil 4.5-4.8'de verilmiştir.

Sıcaklık uygulaması öncesi su emme oranları $V/\Ç = 3, 4, 5, 6, 7$ olan numunelerde sırasıyla % 44,3, 56,2, 64,4, 67,6, 70,4 olduğu gözlenmiştir. $V/\Ç$ oranı arttıkça su emme oranlarının arttığı görülmüştür. En fazla su emme oranı $V/\Ç = 7$, en az su emme oranı ise $V/\Ç = 3$ olan numunelerde olduğu gözlenmiştir.

Bütün $V/\Ç$ oranlarında sıcaklık uygulaması sonrasında su emme oranlarında artma görülmüştür. 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde en fazla su emme oranı $V/\Ç = 7$ olan numunelerde sırasıyla % 41,2, 51,5 ve 64,2, en az su emme oranı ise $V/\Ç = 3$ olan numunelerde sırasıyla % 29,9, 40,9, ve 57,3 olduğu gözlenmiştir.



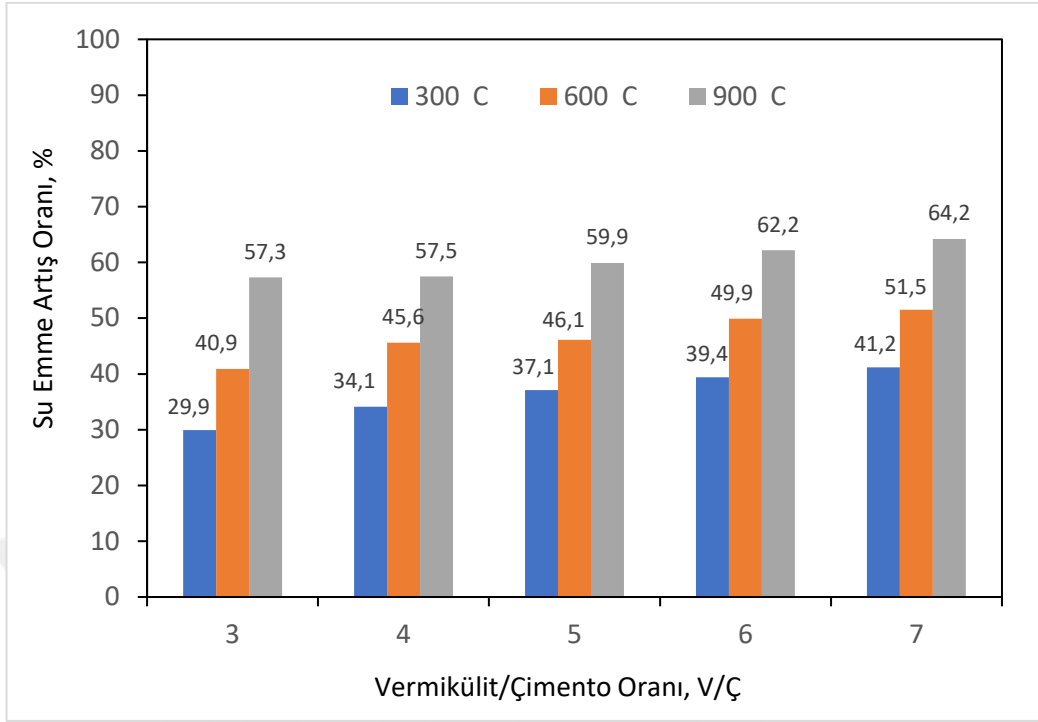
Şekil 4.5. Numunelerin Su Emme Oranının Sıcaklığa Bağlı Vermikülit / Çimento ile Değişimi



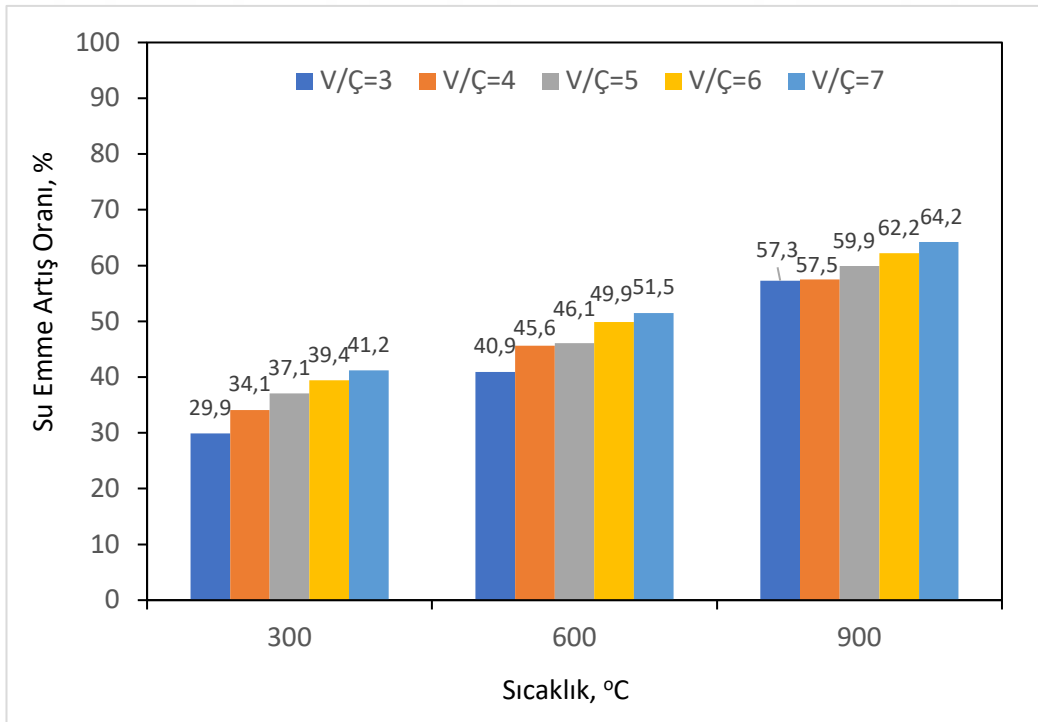
Şekil 4.6. Numunelerin Su Emme Oranının Vermikülit / Çimento Bağlı Sıcaklık ile Değişimi

Sıcaklık uygulaması sonrasında V/Ç oranı arttıkça su emme oranlarının arttığı görülmüştür. 300°C sıcaklık değerinde su emme oranındaki artış V/Ç = 3, 4, 5, 6, 7 olan numunelerde sırasıyla % 29,9, 34,1, 37,1, 39,4, 41,2, 600°C sıcaklık değerinde su emme oranındaki artış V/Ç = 3, 4, 5, 6, 7 olan numunelerde sırasıyla % 40,9, 45,6, 46,1, 49,9, 51,5, 900°C sıcaklık değerinde ise su emme oranındaki artış V/Ç = 3, 4, 5, 6, 7 olan numunelerde sırasıyla % 57,3, 57,5, 59,9, 62,2, 64,2 olduğu gözlenmiştir. 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde en fazla su emme oranındaki artış V/Ç = 7 olan numunelerde sırasıyla % 41,2, 51,5 ve 64,2, en az su emme oranındaki artış ise V/Ç = 3 olan numunelerde sırasıyla % 29,9, 40,9 ve 57,3 olduğu gözlenmiştir.

Sıcaklık uygulaması değerinin artması ile birlikte su emme oranının arttığı görülmüştür. Su emme oranındaki artış V/Ç = 3 olan numunelerde 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde sırasıyla % 29,9, 40,9, 57,3, V/Ç = 4 olan numunelerde 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde sırasıyla % 34,1, 45,6, 57,5, V/Ç = 5 olan numunelerde 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde sırasıyla % 37,1, 46,1, 59,9, V/Ç = 6 olan numunelerde 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde sırasıyla % 39,4, 49,9, 62,2, V/Ç = 7 olan numunelerde 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde sırasıyla % 41,2, 51,5, 64,2 olduğu gözlenmiştir. 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde en fazla su emme oranındaki artış V/Ç = 7 olan numunelerde sırasıyla % 41,2, 51,5, ve 64,2, en az su emme oranındaki artış ise V/Ç = 3 olan numunelerde sırasıyla % 29,9, 40,9 ve 57,3 olduğu görülmüştür.



Şekil 4.7. Numunelerin Su Emme Oranındaki Artışın Sıcaklığa Bağlı Vermikülit / Çimento ile Değişimi



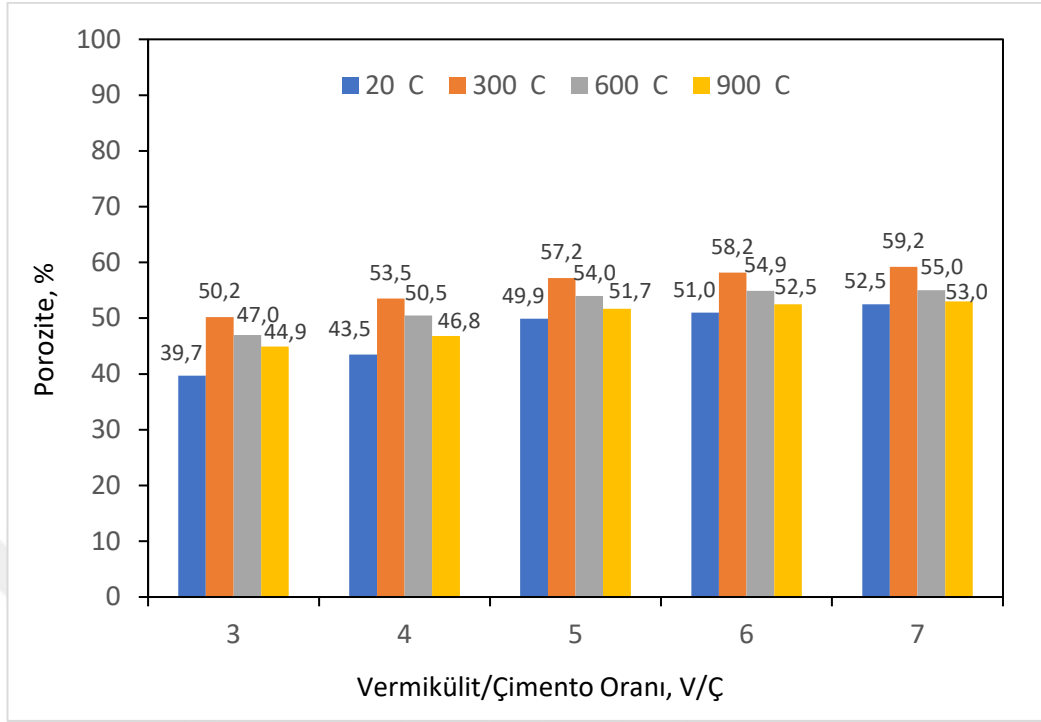
Şekil 4.8. Numunelerin Su Emme Oranındaki Artışın Vermikülit / Çimento Bağlı Sıcaklık ile Değişimi

4.1.3. Porozite

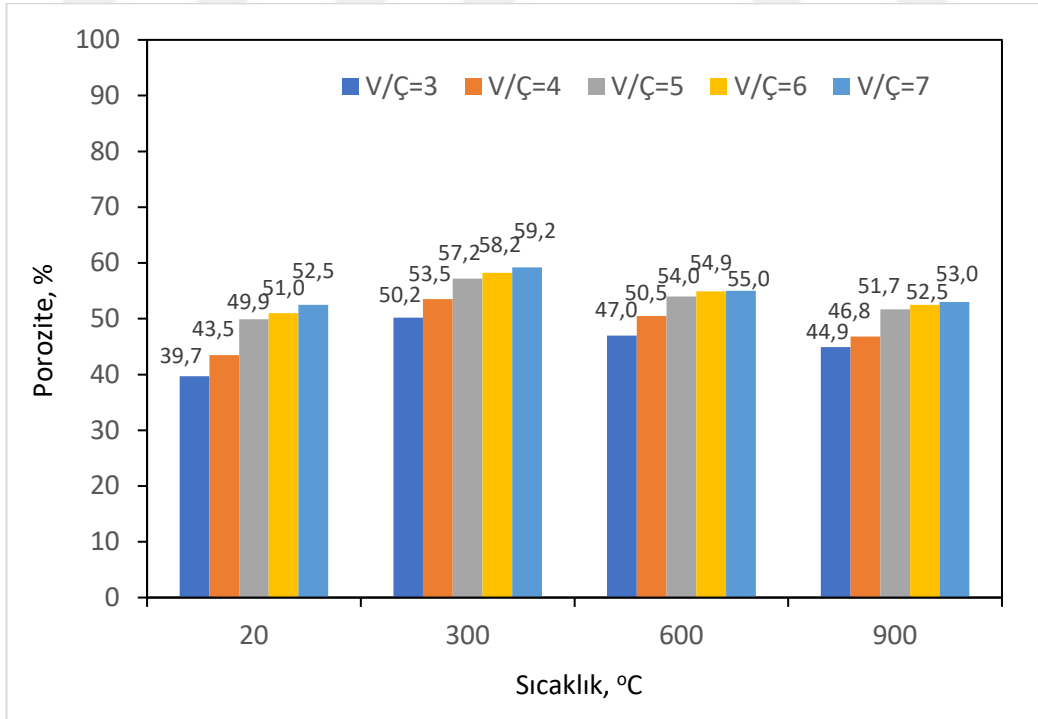
28 gün standart bakıma tabi tutulan numuneler kuru ağırlığı değişmeyinceye kadar kurumaya bırakıldı. Daha sonra sertleşmiş harç numunelerin sıcaklık öncesindeki ve sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonraki porozite değerleri belirlendi. Porozite deney sonuçlarının grafiksel gösterimi Şekil 4.9-4.12’de verilmiştir.

Sıcaklık uygulaması öncesi porozitenin $V/\Ç = 3, 4, 5, 6, 7$ olan numunelerde sırasıyla % 39,7, 43,5, 49,9, 51,0, 52,5 olduğu gözlenmiştir. $V/\Ç$ oranı arttıkça porozitenin arttığı görülmüştür. En fazla porozite $V/\Ç = 7$, en az porozite ise $V/\Ç = 3$ olan numunelerde olduğu gözlenmiştir.

Bütün $V/\Ç$ oranlarında sıcaklık uygulaması sonrasında porozitede artma görülmüştür. 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde en fazla porozite $V/\Ç = 7$ olan numunelerde sırasıyla % 59,2, 55,0 ve 53,0, en az porozite ise $V/\Ç = 3$ olan numunelerde sırasıyla % 50,2, 47,0, ve 44,9 olduğu gözlenmiştir.



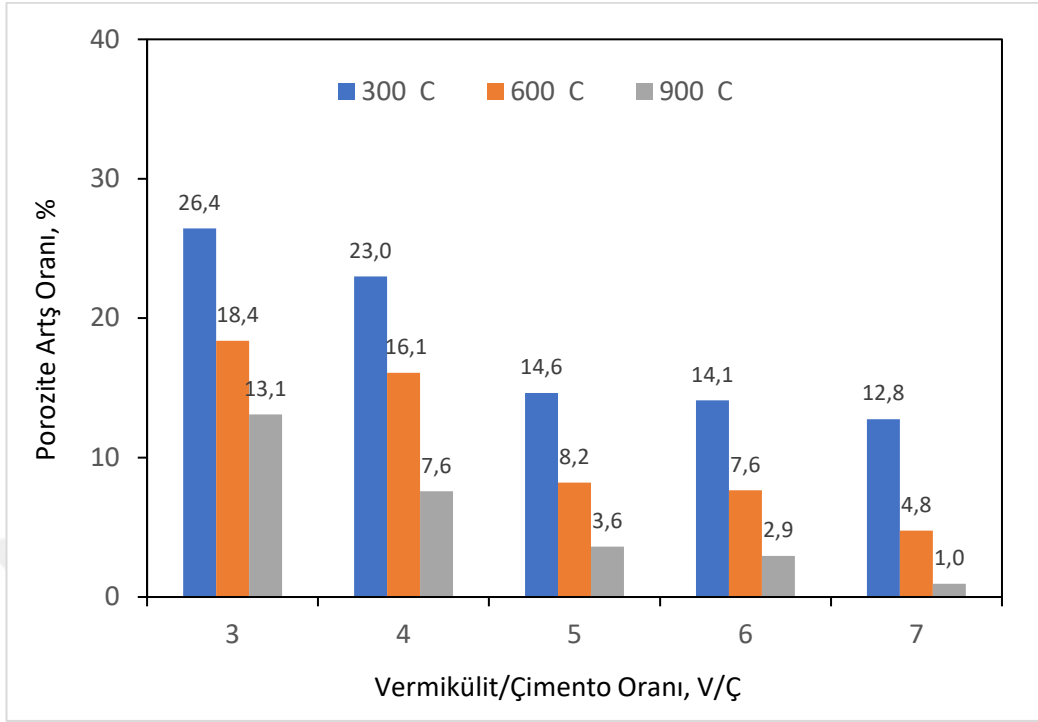
Şekil 4.9. Numunelerin Porozitesinin Sıcaklığa Bağlı Vermikülit / Çimento ile Değişimi



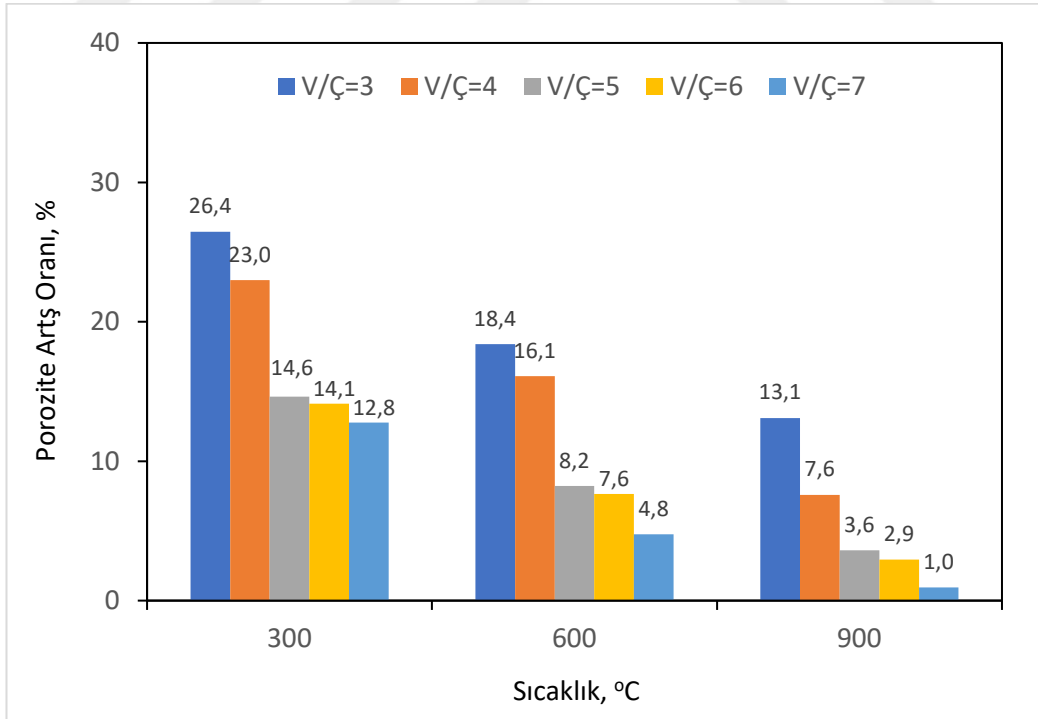
Şekil 4.10. Numunelerin Porozitesinin Vermikülit / Çimento Bağlı Sıcaklık ile Değişimi

Sıcaklık uygulaması sonrasında V/Ç oranı arttıkça porozitenin arttığı görülmüştür. 300°C sıcaklık değerinde porozitedeki artış oranı V/Ç = 3, 4, 5, 6, 7 olan numunelerde sırasıyla % 26,4, 23,0, 14,6, 14,1, 12,8, 600°C sıcaklık porozitedeki artış oranı V/Ç = 3, 4, 5, 6, 7 olan numunelerde sırasıyla % 18,4, 16,1, 8,2, 7,6, 4,8, 900°C sıcaklık değerinde ise porozitedeki artış oranı V/Ç = 3, 4, 5, 6, 7 olan numunelerde sırasıyla % 13,1, 7,6, 3,6, 2,9, 1,0 olduğu gözlenmiştir. 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde porozitedeki en fazla artış oranı V/Ç = 3 olan numunelerde sırasıyla % 26,4, 18,4 ve 13,1, porozitedeki en az artış oranı ise V/Ç = 7 olan numunelerde sırasıyla % 12,8, 4,8 ve 1,0 olduğu gözlenmiştir.

Sıcaklık uygulaması değerinin artması ile birlikte porozitenin artış oranında azalma görülmüştür. Porozitedeki artış oranı V/Ç = 3 olan numunelerde 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde sırasıyla % 26,4, 18,4, 13,1, V/Ç = 4 olan numunelerde 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde sırasıyla % 23,0, 16,1, 7,6, V/Ç = 5 olan numunelerde 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde sırasıyla % 14,6, 8,2, 3,6, V/Ç = 6 olan numunelerde 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde sırasıyla % 14,1, 7,6, 2,9, V/Ç = 7 olan numunelerde 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde sırasıyla % 12,8, 4,8, 1,0 olduğu gözlenmiştir. 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde en fazla porozitedeki artış oranı V/Ç = 3 olan numunelerde sırasıyla % 26,4, 18,4 ve 13,1, en az porozitedeki artış oranı ise V/Ç = 7 olan numunelerde sırasıyla % 12,8, 4,8 ve 1,0 olduğu görülmüştür.



Şekil 4.11. Numunelerin Porozitesindeki Artışın Sıcaklığa Bağlı Vermikülit / Çimento ile Değişimi



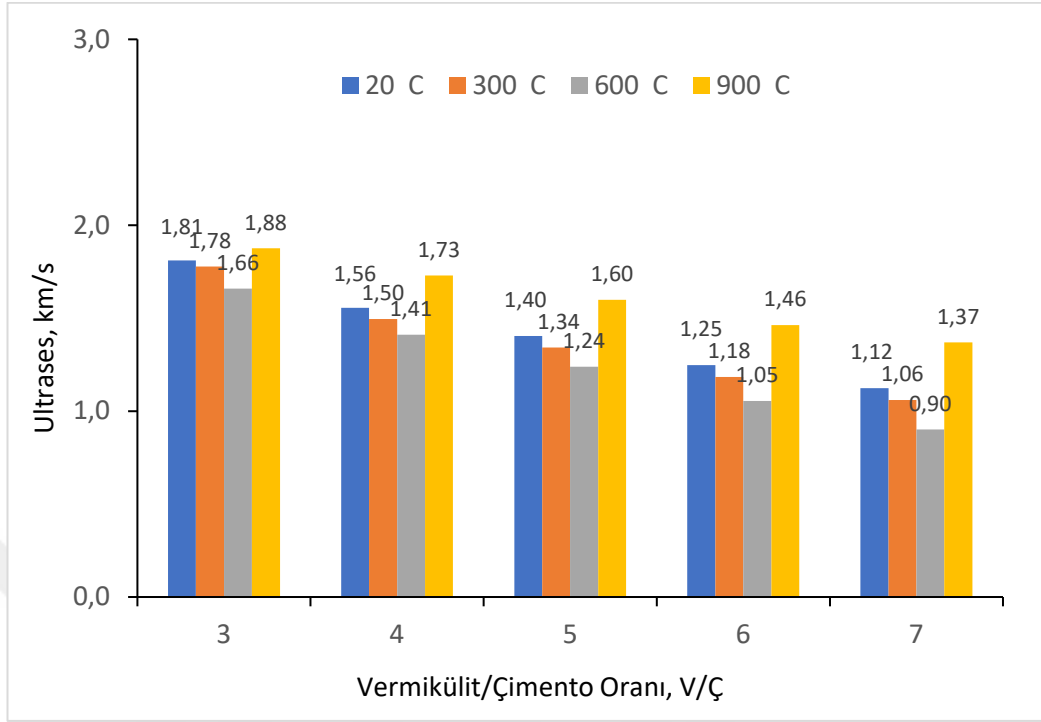
Şekil 4.12. Numunelerin Porozitesindeki Artışın Vermikülit / Çimento Bağlı Sıcaklık ile Değişimi

4.1.4. Ultrases Geçiş Hızı

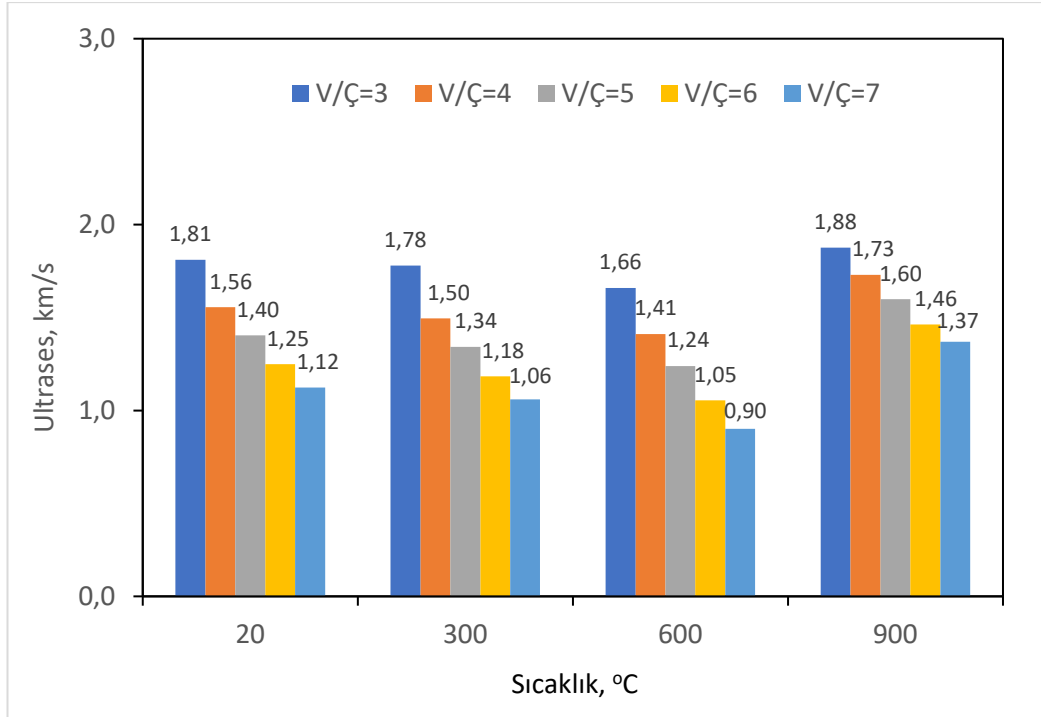
Sıcaklık uygulamasından sonra üretilen numunelerin ultrases geçiş hızlarında büyük değişiklikler meydana gelmiştir. Ultrases deney sonuçlarının grafiksel gösterimi Şekil 4.13-4.16'de verilmiştir.

Sıcaklık uygulaması öncesi ultrases geçiş hızı $V/\text{Ç} = 3, 4, 5, 6, 7$ olan numunelerde sırasıyla % 1,81, 1,56, 1,40, 1,25, 1,12 olduğu gözlenmiştir. $V/\text{Ç}$ oranı arttıkça ultrases geçiş hızının azaldığı görülmüştür. En fazla ultrases geçiş hızı $V/\text{Ç} = 3$, en az porozite ise $V/\text{Ç} = 7$ olan numunelerde olduğu gözlenmiştir.

En fazla ultrases geçiş hızı 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde $V/\text{Ç} = 3$ olan numunelerde sırasıyla 1,81, 1,78, 1,66 ve 1,88 km/s olarak gözlenmiştir. En ultrases geçiş hızı 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde $V/\text{Ç} = 7$ olan numunelerde sırasıyla 1,12, 1,06, 0,90 ve 1,37 km/s olarak görülmüştür.



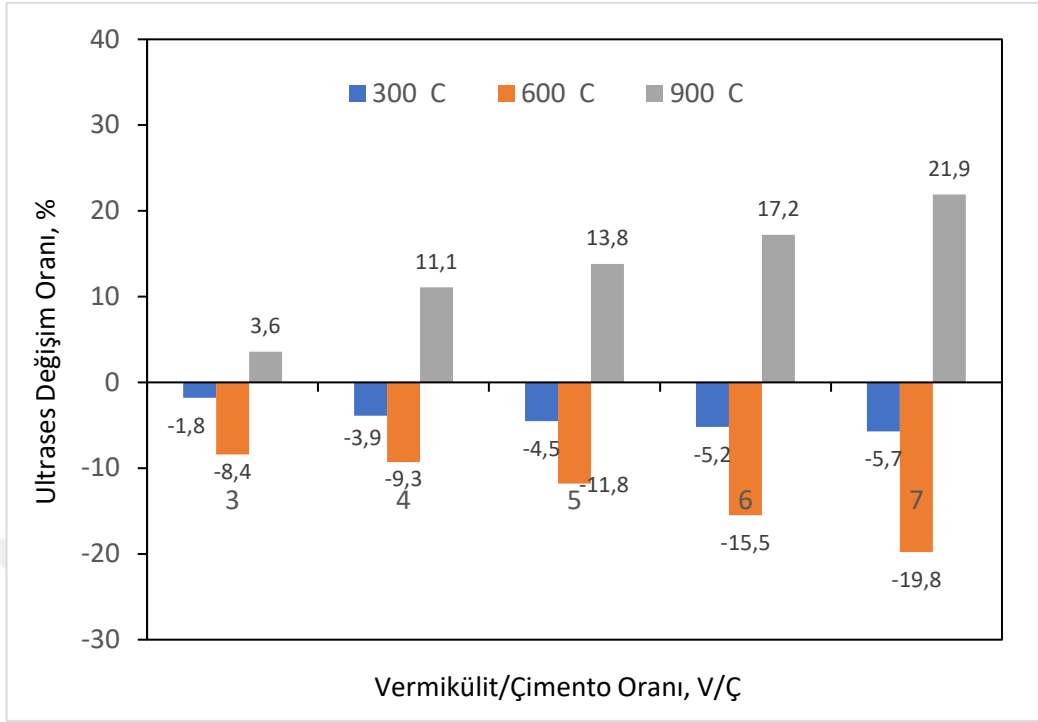
Şekil 4.13. Numunelerin Ultrases Geçiş Hızının Sıcaklığa Bağlı Vermikülit / Çimento ile Değişimi



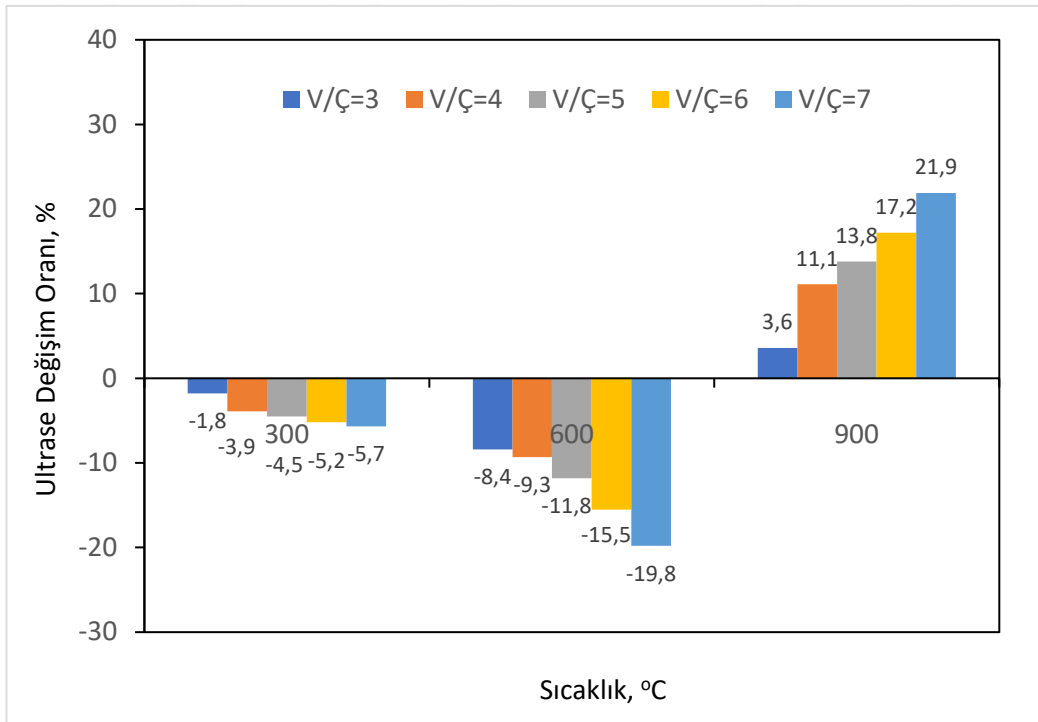
Şekil 4.14. Numunelerin Ultrases Geçiş Hızının Vermikülit / Çimento Bağlı Sıcaklık ile Değişimi

Bütün V/Ç oranlarında 300 ve 600°C sıcaklık uygulaması sonrasında ultrases geçiş hızlarında azalma, 900°C'de ultrases geçiş hızlarında artma görülmüştür. 300°C sıcaklık değerindeki ultrases geçiş hızında azalma oranı $V/\dot{C} = 3, 4, 5, 6, 7$ olan numunelerde sırasıyla % 1,8, 3,9, 4,5, 5,2, 5,7, 600°C sıcaklık değerindeki ultrases geçiş hızında azalma oranı $V/\dot{C} = 3, 4, 5, 6, 7$ olan numunelerde sırasıyla % 8,4, 9,3, 11,8, 15,5, 19,8, 900°C sıcaklık değerinde ise ultrases geçiş hızında artış oranı $V/\dot{C} = 3, 4, 5, 6, 7$ olan numunelerde sırasıyla % 3,6, 11,1, 13,8, 17,2, 21,9 olduğu gözlenmiştir.

300 ve 600°C sıcaklık uygulaması sonrasında ultrases geçiş hızında en fazla azalma $V/\dot{C} = 7$ olan numunelerde sırasıyla % 5,7 ve 19,8, en az azalma $V/\dot{C} = 3$ olan numunelerde sırasıyla % 1,8 ve 8,4, 900°C sıcaklık uygulaması sonrasında ise ultrases geçiş hızında en fazla artış $V/\dot{C} = 7$ olan numunelerde % 21,9 ve en az artış $V/\dot{C} = 3$ olan numunelerde % 3,6 olduğu görülmüştür.



Şekil 4.15. Numunelerin Ultrases Geçiş Hızındaki Artışın Sıcaklığa Bağlı Vermikülit / Çimento ile Değişimi



Şekil 4.16. Numunelerin Ultrases Geçiş Hızındaki Artışın Vermikülit / Çimento Bağlı Sıcaklık ile Değişimi

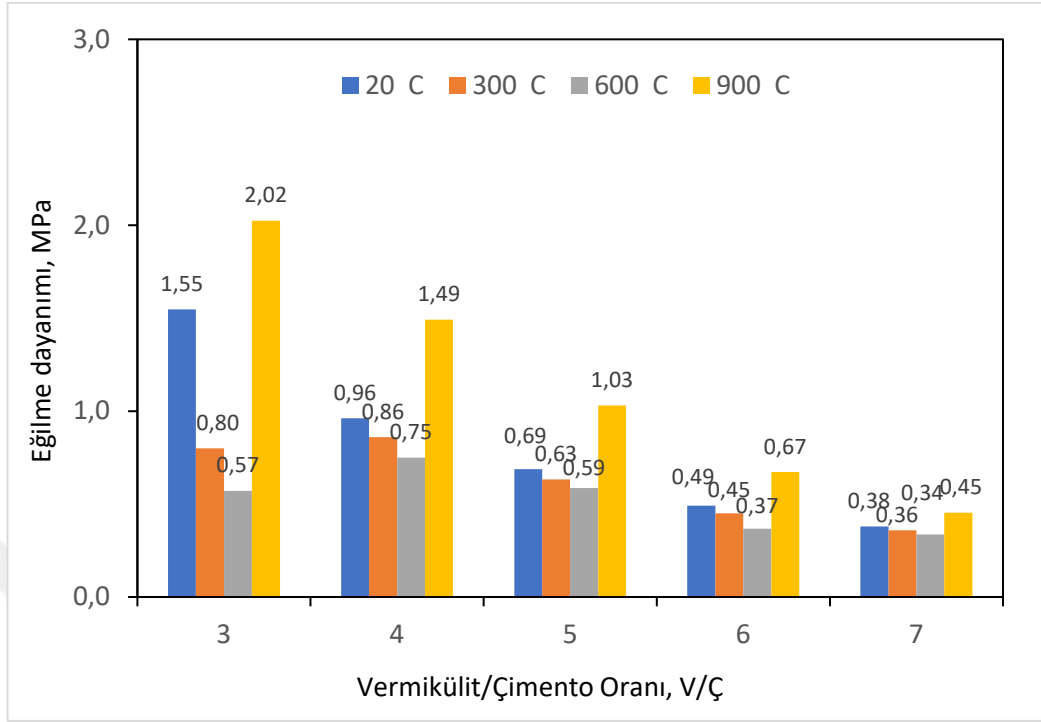
4.2. Mekanik Özellikler

4.2.1. Eğilme Dayanımı

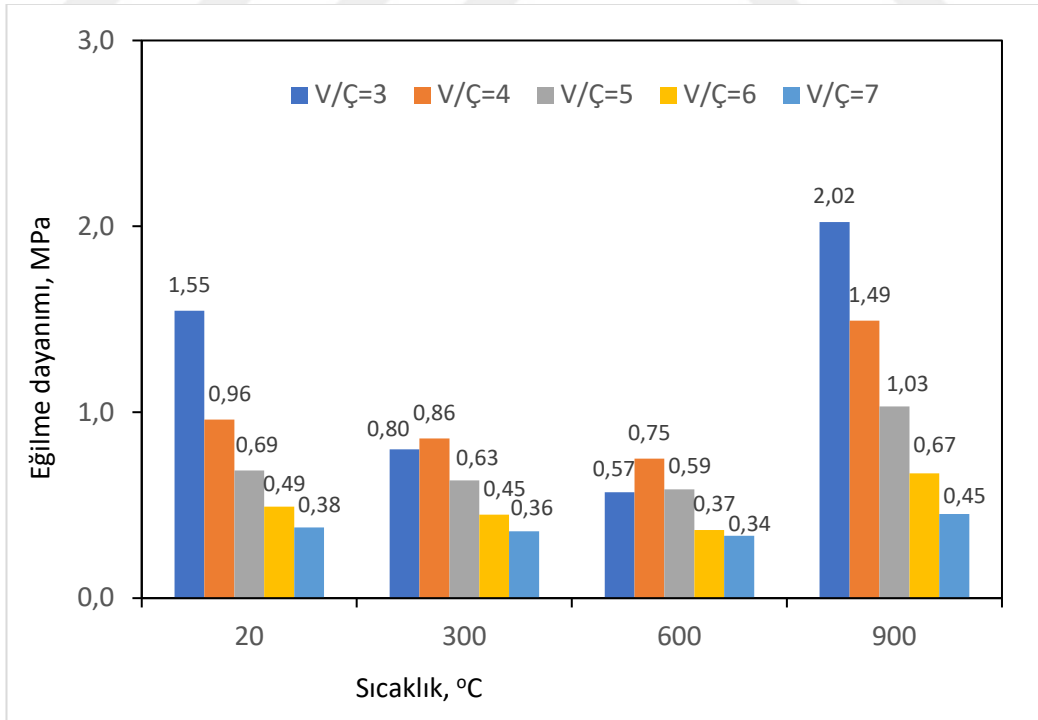
Vermikülit/çimento hacimsel oranı 3, 4, 5, 6, 7 olan VÇ3, VÇ4, VÇ5, VÇ6 ve VÇ7 karışımları için üretilen numuneler 20 °C, 300 °C, 600 °C ve 900 °C değişik sıcaklıklarda yüksek sıcaklık fırını içerisinde, hedef sıcaklıkta 3 saat süreyle bekletildikten sonra fırından çıkarılarak numuneler üzerinde üç noktalı eğilme deneyi yapılmıştır. Daha sonra numunelere eğilme testi uygulanmıştır. Harç numunelerin eğilme dayanım deney sonuçlarının grafiksel olarak gösterimi Şekil 4.17-4.20’de verilmiştir.

Sıcaklık uygulaması öncesi eğilme dayanımları $V/\Ç = 3, 4, 5, 6, 7$ olan numunelerde sırasıyla 1,55, 0,96, 0,69, 0,49, 0,38 MPa olduğu gözlenmiştir. $V/\Ç$ oranı arttıkça eğilme dayanımlarında azalma görülmüştür. En fazla eğilme dayanımı $V/\Ç = 3$, en az eğilme dayanımı ise $V/\Ç = 7$ olan numunelerde olduğu gözlenmiştir. Bütün $V/\Ç$ oranlarında en fazla eğilme dayanımı 900°C’ de görülmüştür.

En fazla eğilme dayanımı 300 ve 600°C sıcaklık değerlerinde $V/\Ç = 4$ olan numunelerde sırasıyla 0,86 ve 0,75 MPa, 900°C sıcaklık değerinde ise $V/\Ç = 3$ olan numunelerde 2,02 MPa olarak gözlenmiştir. En az eğilme dayanımı 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde $V/\Ç = 7$ olan numunelerde sırasıyla 0,38, 0,36, 0,34 ve 0,45 MPa olarak görülmüştür.



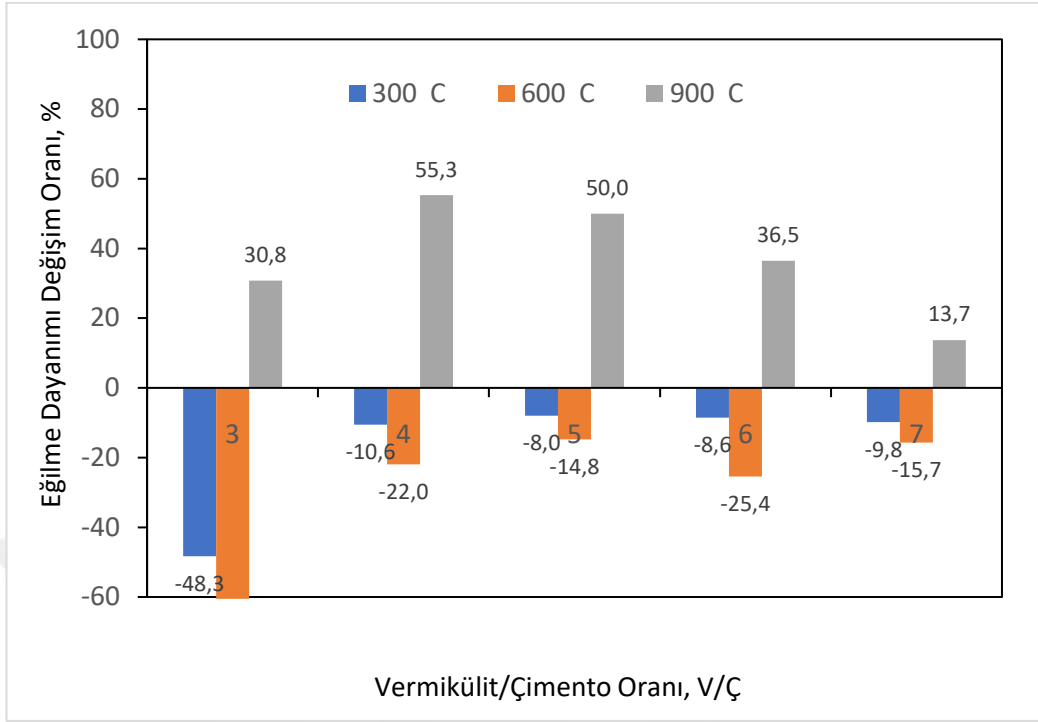
Şekil 4.17. Numunelerin Eğilme Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Vermikülit / Çimento ile Değişimi



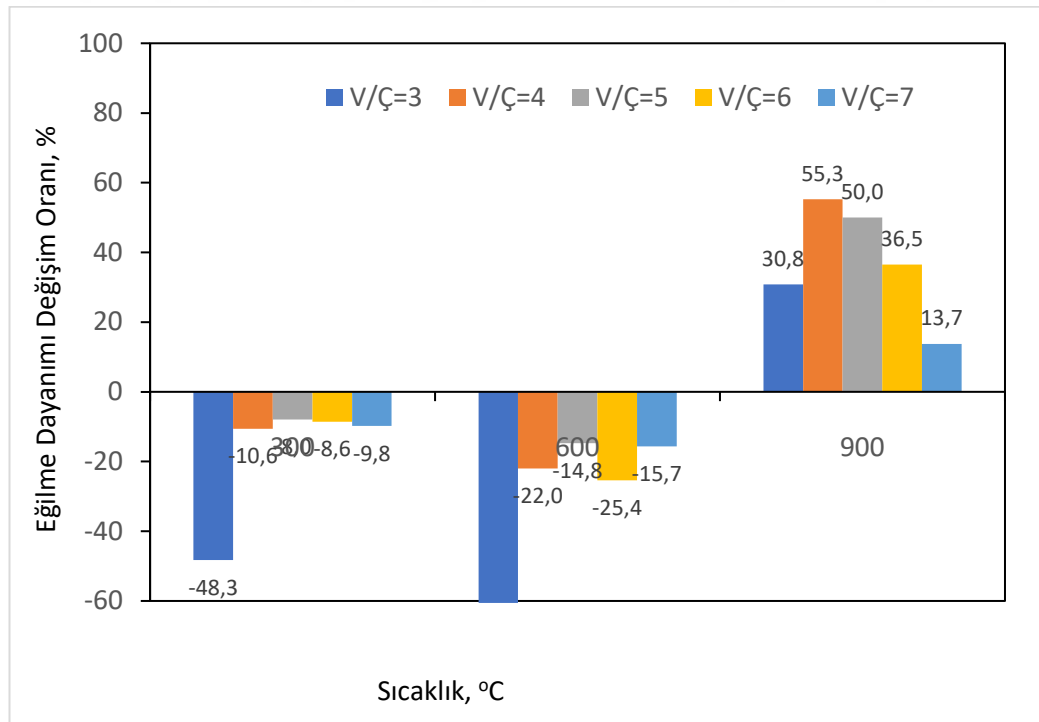
Şekil 4.18. Numunelerin Eğilme Dayanımının Vermikülit / Çimento Bağlı Sıcaklık ile Değişimi

Bütün V/Ç oranlarında 300 ve 600°C sıcaklık uygulaması sonrasında eğilme dayanımlarında azalma, 900°C’de ise eğilme dayanımlarında artma görülmüştür. 300°C sıcaklık değerindeki eğilme dayanımında azalma oranı V/Ç = 3, 4, 5, 6, 7 olan numunelerde sırasıyla % 48,3, 10,6, 8,0, 8,6, 9,8, 600°C sıcaklık değerindeki eğilme dayanımında azalma oranı V/Ç = 3, 4, 5, 6, 7 olan numunelerde sırasıyla % 63,2, 22,0, 14,8, 25,4, 15,7, 900°C sıcaklık değerinde ise eğilme dayanımında artış oranı V/Ç = 3, 4, 5, 6, 7 olan numunelerde sırasıyla % 30,8, 55,3, 50,0, 36,5, 13,7 olduğu gözlenmiştir.

300 ve 600°C sıcaklık uygulaması sonrasında eğilme dayanımında en fazla azalma V/Ç = 3 olan numunelerde sırasıyla % 48,3 ve 63,2, en az azalma V/Ç = 5 olan numunelerde sırasıyla % 8,0 ve 14,8, 900°C sıcaklık uygulaması sonrasında ise eğilme dayanımında en fazla artış V/Ç = 4 olan numunelerde % 55,3 ve en az artış V/Ç = 7 olan numunelerde % 13,7 olduğu görülmüştür.



Şekil 4.19. Numunelerin Eğilme Dayanımındaki Artışın Sıcaklığa Bağlı Vermikülit / Çimento ile Değişimi



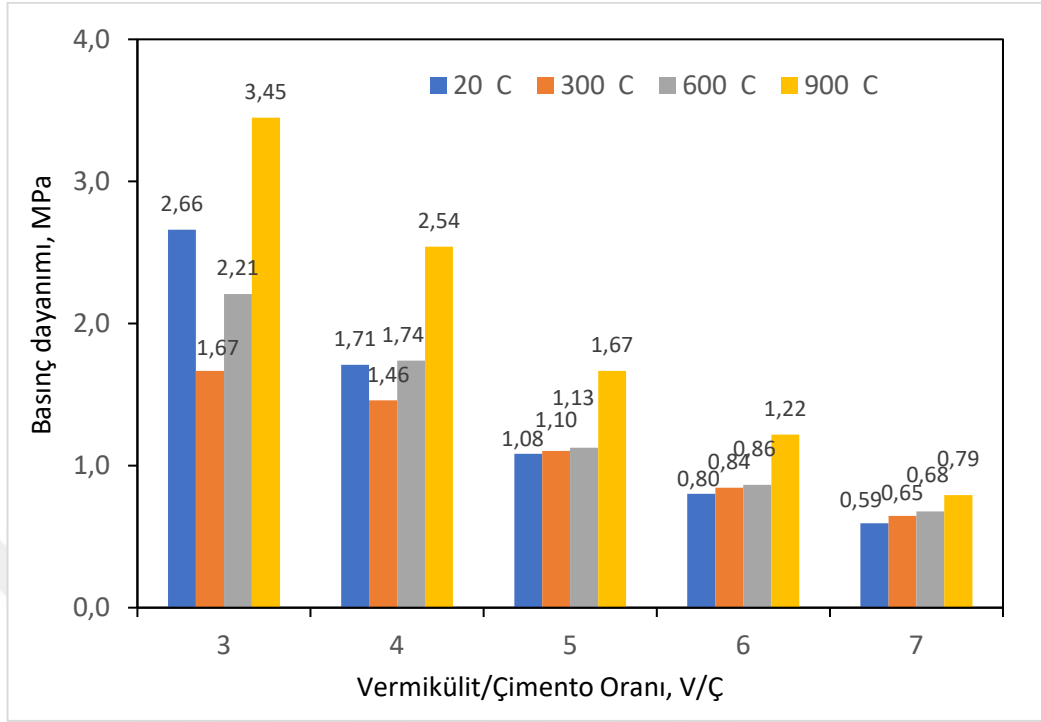
Şekil 4.20. Numunelerin Eğilme Dayanımındaki Artışın Vermikülit / Çimento Bağlı Sıcaklık ile Değişimi

4.2.2. Basınç Dayanımı

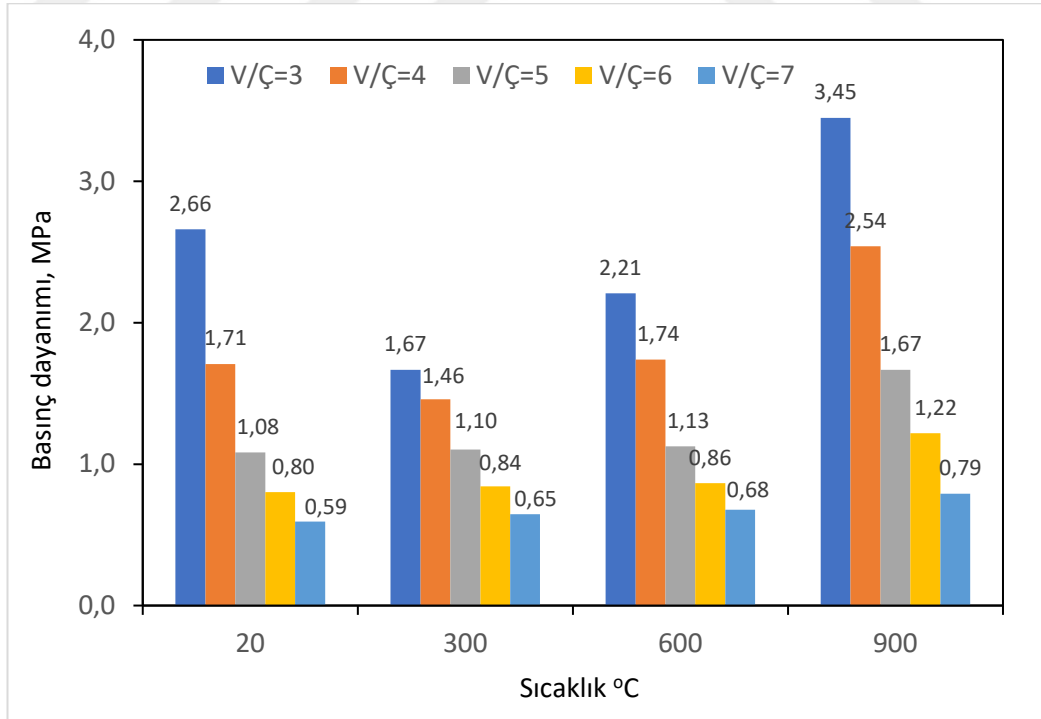
Vermikülit/çimento hacimsel oranı 3, 4, 5, 6, 7, olan VÇ3, VÇ4, VÇ5, VÇ6 ve VÇ7 karışımları için üretilen numuneler 20 °C, 300 °C, 600 °C ve 900 °C sıcaklığa maruz bırakılmışlardır. Numuneler hedef sıcaklıkta 6 saat süreyle bekletildikten sonra numunelere eğilme testi uygulanmıştır. Eğilme testinden sonra her bir numuneden elde edilen iki parça numuneye basınç dayanım testi uygulanmış ve elde edilen ortalama değerler basınç dayanım değeri olarak not edilmiştir. Harç numunelerin basınç dayanım deney sonuçlarının grafiksel olarak gösterimi Şekil 4.21-4.24'de verilmiştir.

Sıcaklık uygulaması öncesi basınç dayanımları $V/\Ç = 3, 4, 5, 6, 7$ olan numunelerde sırasıyla 2,66, 1,71, 1,08, 0,80, 0,59 MPa olduğu gözlenmiştir. $V/\Ç$ oranı arttıkça basınç dayanımlarında azalma görülmüştür. En fazla basınç dayanımı $V/\Ç = 3$, en az basınç dayanımı ise $V/\Ç = 7$ olan numunelerde olduğu gözlenmiştir.

En fazla basınç dayanımı 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde $V/\Ç = 3$ olan numunelerde sırasıyla 1,67, 2,21 ve 3,45 MPa olarak gözlenmiştir. En az basınç dayanımı 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde $V/\Ç = 7$ olan numunelerde sırasıyla 0,59, 0,65, 0,68 ve 0,79 MPa olarak görülmüştür.



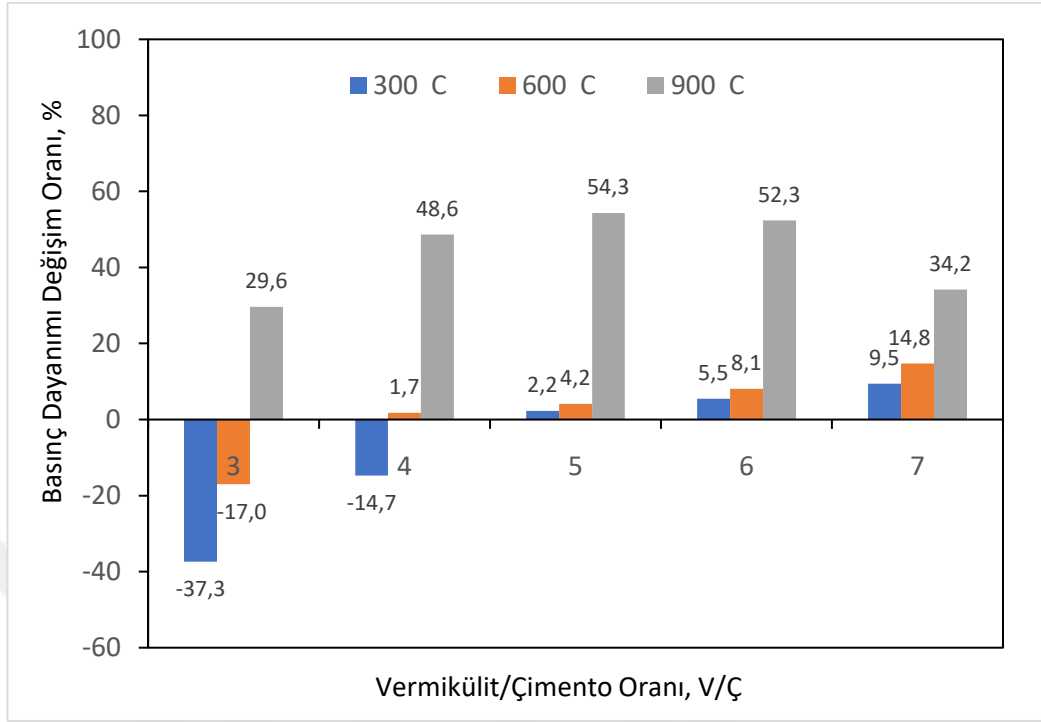
Şekil 4.21. Numunelerin Basınç Dayanımının Sıcaklığa Bağlı Vermikülit / Çimento ile Değişimi



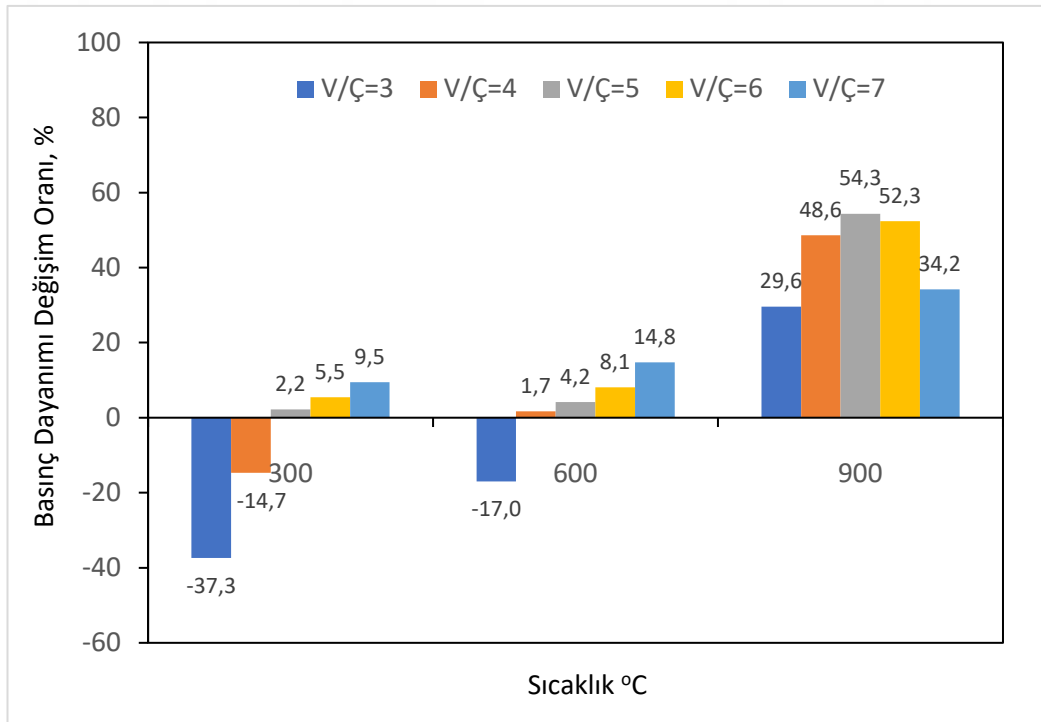
Şekil 4.22. Numunelerin Eğilme Dayanımının Vermikülit / Çimento Bağlı Sıcaklık ile Değişimi

300°C sıcaklık uygulaması sonrasında $V/\zeta = 3$ ve $V/\zeta = 4$, 600°C'de $V/\zeta = 3$ olan numunelerin basınç dayanımlarında azalma gözlenmiştir. 300°C sıcaklık değerinde $V/\zeta = 5,6,7$ ve 900°C'de ise bütün numunelerin basınç dayanımlarında artış görülmüştür.. 300°C sıcaklık değerindeki basınç dayanımında azalma oranı $V/\zeta = 3$ ve $V/\zeta = 4$ olan numunelerde sırasıyla % 37,3 ve 14,7, 600°C sıcaklık değerindeki basınç dayanımında azalma oranı $V/\zeta = 3$ olan numunelerde % 17,0, 900°C sıcaklık değerinde ise basınç dayanımında artış oranı $V/\zeta = 3, 4, 5, 6, 7$ olan numunelerde sırasıyla % 29,6, 48,6, 54,3, 52,3, 34,2 olduğu gözlenmiştir. 300°C sıcaklık değerindeki basınç dayanımında artış oranı $V/\zeta = 5,6,7$ olan numunelerde sırasıyla % 2,2, 5,5, 9,5, 600°C sıcaklık değerindeki basınç dayanımında artış oranı $V/\zeta = 4, 5, 6, 7$ % 1,7, 4,2, 8,1, 14,8 olduğu görülmüştür.

300 ve 600°C sıcaklık uygulaması sonrasında basınç dayanımında en fazla azalma $V/\zeta = 3$ olan numunelerde sırasıyla % 37,3 ve 17,0, en az azalma 300°C sıcaklık değerinde $V/\zeta = 4$ olan numunede % 14,7, 900°C sıcaklık uygulaması sonrasında ise basınç dayanımında en fazla artış $V/\zeta = 5$ olan numunelerde % 54,3 ve en az artış $V/\zeta = 3$ olan numunelerde % 29,6 olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.23. Numunelerin Basınç Dayanımındaki Artışın Sıcaklığa Bağlı Vermikülit / Çimento ile Değişimi



Şekil 4.24. Numunelerin Basınç Dayanımındaki Artışın Vermikülit / Çimento Bağlı Sıcaklık ile Değişimi

5. SONUÇLAR

Genleştirilmiş vermikülit kullanılarak üretilen çimento esaslı kompozitler üzerinde yapılan deneysel çalışmaya bağlı olarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Sıcaklık uygulaması öncesi ve sonrasında Vermikülit / Çimento oranı arttıkça kuru birim ağırlıklarında azalmalar görülmüştür. En fazla kuru birim ağırlık $V/Ç = 3$, en az kuru birim ağırlık ise $V/Ç = 7$ olan numunelerde olduğu gözlenmiştir.
- 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde en fazla kuru birim ağırlık azalma oranı $V/Ç = 7$ olan numunelerde sırasıyla % 28, 29,5, ve 31,0, en az kuru birim ağırlık azalma oranı ise $V/Ç = 3$ olan numunelerde sırasıyla % 13,8, 14,6 ve 15,0 olduğu görülmüştür.
- Sıcaklık uygulaması öncesi ve sonrasında Vermikülit / Çimento oranı arttıkça su emme oranının ve porozitenin arttığı görülmüştür. En fazla su emme oranı ve porozite $V/Ç = 7$, en az su emme oranı ve porozite ise $V/Ç = 3$ olan numunelerde olduğu gözlenmiştir.
- Vermikülit / Çimento oranı arttıkça ultrases geçiş hızının azaldığı görülmüştür. En fazla ultrases geçiş hızı $V/Ç = 3$, en az porozite ise $V/Ç = 7$ olan numunelerde olduğu gözlenmiştir.
- Yüksek sıcaklık uygulaması ile numunelerin basınç ve eğilme dayanımlarında genel olarak azalmalar gözlenmiştir. Sıcaklığa tabi tutulmayan numunelerin basınç dayanımları 0,59 - 2,66 MPa ve eğilme dayanımları 0,38-1,55 MPa arasında değişmektedir. Vermikülit / Çimento oranı arttıkça eğilme ve basınç dayanımlarında azalma görülmüştür.
- En fazla eğilme dayanımı $V/Ç = 3$, en az eğilme dayanımı ise $V/Ç = 7$ olan numunelerde olduğu gözlenmiştir. Bütün $V/Ç$ oranlarında 300 ve 600°C sıcaklık uygulaması sonrasında eğilme dayanımlarında azalma, 900°C'de ise eğilme dayanımlarında artma görülmüştür.
- En fazla eğilme dayanımı 300 ve 600°C sıcaklık değerlerinde $V/Ç = 4$ olan numunelerde sırasıyla 0,86 ve 0,75 MPa, 900°C sıcaklık değerinde ise $V/Ç = 3$

olan numunelerde 2,02 MPa olarak gözlenmiştir. En az eğilme dayanımı 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde $V/\zeta = 7$ olan numunelerde sırasıyla 0,38, 0,36, 0,34 ve 0,45 MPa olarak görülmüştür.

- 300 ve 600°C sıcaklık uygulaması sonrasında eğilme dayanımında en fazla azalma $V/\zeta = 3$ olan numunelerde sırasıyla % 48,3 ve 63,2, en az azalma $V/\zeta = 5$ olan numunelerde sırasıyla % 8,0 ve 14,8, 900°C sıcaklık uygulaması sonrasında ise eğilme dayanımında en fazla artış $V/\zeta = 4$ olan numunelerde % 55,3 ve en az artış $V/\zeta = 7$ olan numunelerde % 13,7 olduğu görülmüştür.
- En fazla basınç dayanımı $V/\zeta = 3$, en az basınç dayanımı ise $V/\zeta = 7$ olan numunelerde olduğu gözlenmiştir. En fazla basınç dayanımı 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde $V/\zeta = 3$ olan numunelerde sırasıyla 1,67, 2,21 ve 3,45 MPa olarak gözlenmiştir. En az basınç dayanımı 300, 600 ve 900°C sıcaklık değerlerinde $V/\zeta = 7$ olan numunelerde sırasıyla 0,59, 0,65, 0,68 ve 0,79 MPa olarak görülmüştür.
- 300 ve 600°C sıcaklık uygulaması sonrasında basınç dayanımında en fazla azalma $V/\zeta = 3$ olan numunelerde sırasıyla % 37,3 ve 17,0, en az azalma 300°C sıcaklık değerinde $V/\zeta = 4$ olan numunede % 14,7, 900°C sıcaklık uygulaması sonrasında ise basınç dayanımında en fazla artış $V/\zeta = 5$ olan numunelerde % 54,3 ve en az artış $V/\zeta = 3$ olan numunelerde % 29,6 olduğu gözlenmiştir.

Ülkemizde henüz yeterli sayıda araştırma ve uygulama alanı bulunmayan geliştirilmiş vermikülitin çimento esaslı yalıtım ve ısıya dayanıklı yapı malzemesi üretiminde kullanılabilirliği ile ilgili yeni çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle farklı bağlayıcı malzemeler kullanılarak üretilecek geliştirilmiş vermikülit içeren malzemelerin ısıl iletkenlik ve radyasyon geçirimsizliği konularında araştırma yapılması malzeme sektörüne katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

1. Khoury, G.A., Compressive Strength of Concrete at High Temperatures: A Reassessment, Magazine of Concrete Research, 44, 161, 291-309, 1992.
2. Lea, F.C., The Effect of Temperature on Some of the Properties of Materials, Engineering, 110, 293-298, 1920.
3. Khoury, G.A., Passive Fire Protection of Concrete Structures, Structures & Buildings, sayı 583, sayfa 135-145, 2008.
4. Aköz, F. ve Yüzer, N., Yüksek Sıcaklığın Nedenleri ve Betonarme Elemanlara Etkileri, Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, İstanbul, 1994.
5. Yüzer, N., Aköz, F., Öztürk L.D., Compressive Strength–Color Change Relation in Mortars at High Temperature, Cement and Concrete Research, 34, 1803-1807, 2004.
6. Çil, İ., et al., Farklı Tip Çimentoların Yüksek Sıcaklık Direnci, Tübitak Projesi, MAG 106M158, İzmir, 2007.
7. Topçu, İ.B., Semi-lightweight Concrete Produced by Volcanic Slags, Cement and Concrete Research, 27, 15-21, 1997.
8. Miled, K., Et al, Compressive Behavior of an Idelized EPS Lightweight Concrete: Size Effects and Failure Mode, Mechanics of Materials, 36, 1031-1046, 2003.
9. Altun, F., et al., Yangına Maruz Hasarlı Prefabrike Yapıda Malzeme Kalitesinin Belirlenmesi ve Onarım Detayları, Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu, Denizli, 159-168, 7-8 Aralık, 2006.
10. Neville, A. M., Properties of Concrete, John Wiley&Sons Inc, USA, 1996.
11. Bentur, A., Mindess, S., Fibre Reinforced Cementitious Composites, Modern Concrete Technology Series, 2007.
12. Song, P.S., Hwang, S., Mechanical Properties of High Strength Steel Fiber Reinforced Concrete, Construction and Building Materials, Volume 18, Issue 9, 669-673, 2004.
13. Lie, T.T., Kodur, V.K.R., Mechanical Properties of Fibre Reinforced Concrete at Elevated Temperatures, Institute of Research for Construction, National Research Council Canada, 657, 1995.
14. TS EN 206-1. Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.
15. ASTM C330, Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete, Annual Book of ASTM Standards, 2002.
16. Demirboğa, R., Gül, R., Örüng, İ., Effects of Expanded Perlite Aggregate and Mineral Admixtures on the Compressive Strength of Low-density Concretes, Cement and Concrete Research, 31, 1627-1632, 2001.

17. Gönen, T., Kendiliğinden Yerleşen Taşıyıcı Hafif Betonun Mekaniksel ve Durabilite Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2009.
18. Bingöl, A. F., Gül R., Compressive Strength of Lightweight Aggregate Concrete Exposed to High temperatures, Indian J. of Eng. and Materials Sciences, 1168-1172, 2004.
19. Taşdemir, M.A., Taşıyıcı Hafif Agregalı Betonların elastik ve elastik olmayan davranışları, Doktora Tezi, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul 1982.
20. Azizi, S., Perlit Katkılı Hafif Betonların Mekanik Özellikleri ve Isı Yalıtımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2007.
21. Clarke, J. L., Structural Lightweight Aggregate Concrete, Blackie Academic & Professional, London, England, 1993.
22. Lo Y. T., Tang, W. C., Cui H. Z., The Effects of Aggregate Properties on Lightweight Concrete, Building and Environment, 42, 3025-3029, 2007.
23. Kayali, O., Fly Ash Lightweight Aggregates in High Performance Concrete, Construction and Building Materials, October 2007.
24. Yaşar, E., Et al, Strength Properties of Lightweight Concrete Made With Basaltic Pumice and Fly Ash, Materials Letters, 57, 2267-2270, 2003.
25. Sancak, E., Hafif agregalı Beton Blokların Mekanik Özelliklerine Çelik Lif Kullanımının Etkisi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 2008.
26. Uygunoğlu, T., Ünal, O., Diatomitin Hafif Blok Üretiminde Kullanılması, Politeknik Dergisi, Cilt:9, Sayı:1, 65-70, 2006.
27. Düzgün, O.A., Çelik Liflerin Hafif Betonların Dayanımları Üzerindeki Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 2001.
28. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri III, Pomza-Perlit-Vermikülit-Flogopit-Genleşen Killer Çalışma Grubu Raporu, DPT: 2617 - ÖİK: 628, , Ankara, 2001.
29. Toksoy, F., Vermikülit : Mineraloji, Jeolojik Oluşum, Endüstriyel Kullanım ve Türkiye'deki Durumu, 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 16-17 Ekim, İzmir,Türkiye, 1997.
30. Strand, P. R., 1983, Vermiculite, Industrial Minerals And Rocks, ed: Lefond S. J., Vol: 2.
31. Weisman,J., <http://webmineral.com>, Photographic Guide to Mineral Species, 2018
32. Weller, R., Cochise College, Cochise Country, Arizona, <http://skywalker.cochise.edu>, 2010.

33. Loughbrough, R., 1991, Minerals in Lightweight Insulation, Industrial Minerals, October, 21-35. v7
34. Yanxi Minerals Co. Ltd., <http://www.chinavermiculite.com/>, China, 2018.
35. The Vermiculite Association, <http://vermiculite.org/>, UK, 2018.
36. Vermiculite Board VMC, <http://construction.tradepad.net/products-26664-vermiculite-boardbrick.html>, 2011
37. SAÜ. Müh. Fak. Metalurji ve Malz. Müh. Böl., “Seramik Malzemeler”, 2015-16 Güz Yarıyılı Prof. Dr. Şenol Yılmaz & Prof. Dr. H. Özkan TOPLAN & Doç. Dr. A. Şükran DEMİRKIRAN
38. Eriç, M., “Yapıda Sıva Uygulamaları ve Sorunları”, İnşaat Dergisi, Temmuz, 70-73 1992.
39. Beydemir, K., “Puzolan Katkıların Kireç Harcının Mekanik Özelliklerine Etkileri”, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2006.
40. Saraylı, M.A., "Yapı Malzemeleri Bilimi Yapı Malzemelerinin Tanımı, Üretilmesi, Sınıflandırılması, Denenmesi ve Kullanılması, İkinci Kısım Özeti, İ.D.M.M. Akademisi, 1975.
41. Mavi, Ö., “Kireç Harç ve Sıvaların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İyileştirilmesi”, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2002.
42. Ceran, A., “Polimer Esaslı Lateks Katkının Çimento Harç Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi”, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2008.
43. Bayraktar, O.Y., “Alternatif Sıva Harçlarının Yüksek Sıcaklık Etkisine Dayanıklılığı”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, 2012.
44. Babadağ, Y., “Kimyasal Katkıların Sıva Harçları Üzerindeki Etkileri”, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2008.
45. Arı, K., Haktanır, T., Altun, F., Karahan, O., “Kalsiyum Alüminatlı Çimentonun Refrakter Olarak Kullanılması”, Beton 2004/10-12 Haziran İstanbul, Türkiye 2004.
46. Aydın, S., Baradan, B., “Yüksek Sıcaklığa Dayanıklı Geliştirilmesi”, TMMOB inşaat Mühendisleri Odası 5. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, Türkiye 451-460, 2003.
47. Khoury, G., A., “Effect of fire on concrete and concrete structures”, Prog. Struct. Engng Mater. Imperial College, London, UK, 2: 429-447, 2000.
48. Gülce, C., “Farklı Çimentolarla Üretilen Harçların Yüksek Sıcaklık ve Değişik Soğutma Koşulları Altındaki Özellikleri”, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2009.
49. Mahsanlar, N., “Yüksek Sıcaklık Etkisinde Beton Davranışı”, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2006.
50. Aköz F. ve Yüzer N., “Yüksek Sıcaklığın Nedenleri ve Betonarme Elemanlara Etkileri”, Yıldız Teknik Üniversitesi Dergisi, 3, İstanbul, Türkiye 1994.

51. Avcı A.U., Dökümde enerji tasarrufu, Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları, 178, 1984.
52. Ramakrishnan V., Shafai H.F. ve Wu G., “Cyclic Heating and Cooling Effects on Concrete Durability”, Concrete Durability, 1991.
53. Sakr K. ve EL-Hakim E., “Effect of Temperature or Fire on Heavy Weight Concrete Properties”, Cement and Concrete Research, 35, 590-596, 2005.
54. Özbey, S., “Farklı Çimento Tipleri ile Üretilen Betonların Yüksek Sıcaklık ve Değişik Soğutma Koşulları Altındaki Fiziksel ve Mekanik Özellikleri”, Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2009.
55. Erdoğan, Y. T., “Beton” I. Baskı, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., 2003.
56. Durmuş, G., Arslan, M., Yüksek Sıcaklık Uygulanan Çimento Harçlarının Farklı Soğutma Koşullarındaki Bazı Fiziksel Özellikleri, Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi, 25 (3) : 541-548, 2010.
57. Durmuş, G., “Çimentolu Harç Özelliklerine Yüksek Sıcaklık Etkisinin Belirlenmesi ve Yapay Sinir Ağı İle Modellenmesi”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 64-92, 2008.
58. Topçu, İ.B., Demir A., “Yüksek Sıcaklık Uygulama Süresinin Harç Özelliklerine Etkisi”, 7. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, 455-463, 2007.
59. Baradan, B., Aydın S., “Yüksek Sıcaklığa Dayanıklı Harç Geliştirilmesi” [http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/10626 .pdf](http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/10626.pdf) 2011.
60. 8. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel ihtisas komisyonu raporu “Endüstriyel hammaddeler Alt komisyonu Yapı malzemeleri I”, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara, Türkiye,19-20, 2001.
61. Karaduman, N., “Farklı Tip Çimentoların Yüksek Sıcaklıklara Direnci”, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2008.

ÖZGEÇMİŞ

Serdar AÇIKGÖZ, 1977 yılında Yozgat'ın Merkez İlçesinde doğdu. Orta ve lise öğrenimini sırasıyla İstiklal Ortaokulu ve İstiklal Lisesinde tamamlamıştır. 1994 yılında Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde lisans eğitimi başlamış olup 2000 yılında başarıyla bitirmiştir.

2013 yılında Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yapı Mühendisliği Programında Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır.

Eğitim hayatının yanı sıra Yozgat Belediyesi'nde Başkan Yardımcısı olarak iş hayatını devam ettirmektedir.

İletişim Bilgileri:

Adres : Fatih Mah. Panorama Evleri B Blok No:55
66100 YOZGAT
Tel : 0 532 660 71 26
E-Posta : serdaracikgoz@hotmail.com