

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

Yüksek Lisans Tezi

**GENLEŞTİRİLMİŞ VERMİKÜLİT KULLANILARAK
ÜRETİLEN ÇELİK TEL TAKVİYELİ-ÇİMENTO
ESASLI KOMPOZİTLERİN YÜKSEK SICAKLIK
DİRENÇLERİ**

Murat ŞAHİN

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

Yozgat 2011

T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAYI

Enstitümüzün İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı 7011070006 numaralı öğrencisi Murat ŞAHİN'in hazırladığı **“Genleştirilmiş Vermikülit Kullanılarak Üretilen Çelik Tel Takviyeli-Çimento Esaslı Kompozitlerin Yüksek Sıcaklık Dirençleri”** başlıklı YÜKSEK LİSANS tezi ile ilgili TEZ SAVUNMA SINAVI, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca 04/07/2011 Pazartesi günü saat 10:00'da yapılmış, tezin onayına ~~OY ÇOKLUĞU~~ / OY BİRLİĞİYLE karar verilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Yüksel TAŞDEMİR

Üye : Yrd. Doç. Dr. Fuat KÖKSAL (Danışman)

Üye : Yrd. Doç. Dr. S. Emre GÖRKEM

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun ..12../07/2011 tarih ve ..08... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

..12../07/2011

Enstitü Müdürü
Yrd. Doç. Dr. Mustafa EROL
Bozok Üniversitesi
Fen Bil. Enst. Müdür V.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
TABLolar LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
KISALTMALAR LİSTESİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
2.1. Hafif Betonlar	3
2.1.1. Vermikulit	5
2.1.1.1. Tanımı ve Sınıflandırma	5
2.1.1.2. Üretim Metodu ve Teknolojisi	8
2.1.1.3. Vermikulitin Kullanım Alanları	10
2.1.1.3.1. Hafif Beton ve Harçlar	10
2.1.1.3.2. Sıcaklığa Dayanıklı Sıva	11
2.1.1.3.3. Isı ve Ses Yalıtımı	11
2.1.1.3.4 Yangından Korunma	12
2.1.1.3.5. Yüksek Sıcaklık İzolasyonu	13

2.1.1.3.6. Su Yalıtımı	13
2.1.1.3.7. Isı ve Ses Yalıtım Levhaları	14
2.2. Çelik Tel Donatılı Betonlar	14
2.3. Yüksek Sıcaklık Altında Beton Davranışı	16
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	24
3.1. Kullanılan Malzemeler	24
3.1.1. Çimento	24
3.1.2. Genleştirilmiş Vermikulit	24
3.1.3. Çelik Tel	28
3.1.4. Karışım Suyu	28
3.2. Harç Üretimi	29
3.2.1. Üretilen Numuneler	30
3.2.2. Numunelere Sıcaklık Uygulanması	32
3.3. Harç Deneyleri	34
3.3.1. Taze Harç Deneyleri	34
3.3.1.1. Birim Ağırlık Deneyi	34
3.3.1.2. Yayılma Tablası Deneyi	34
3.3.2. Sertleşmiş Harç Deneyleri	35
3.3.2.1. Kuru Birim Hacim Ağırlık ve Porozite	35
3.3.2.2. Eğilme Dayanımı	37
3.3.2.3. Basınç Dayanımı	39
3.3.2.4. Ultrases Geçiş Hızlarının Belirlenmesi	40
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	45

4.1. Taze Harç ile İlgili Değerlendirmeler	45
4.2. Sertleşmiş Harç Deneyleri ile İlgili Değerlendirmeler	47
4.2.1. Kuru Birim Ağırlık	47
4.2.2. Eğilme Dayanımı	50
4.2.3. Basınç Dayanımı	63
4.2.4. Ultrases Geçiş Hızı	76
SONUÇLAR ve ÖNERİLER	81
KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ	88

GENLEŞTİRİLMİŞ VERMİKÜLİT KULLANILARAK ÜRETİLEN ÇELİK TEL TAKVİYELİ-ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİTLERİN YÜKSEK SICAKLIK DİRENÇLERİ

Murat ŞAHİN

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

2011; Sayfa: 88

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Fuat KÖKSAL

ÖZET

Bu çalışma, yüksek sıcaklık altında genişletilmiş vermikülit içeren çelik tel takviyeli çimento esaslı kompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin deneysel olarak araştırılmasını kapsamaktadır. Bu amaçla, vermikülit/çimento hacimsel oranı 4, 6 ve 8 olan harçlara hacimce %0, %0,5, %1 ve %1,5 oranlarında 6 mm uzunluğunda 0,16 mm çapında çelik tel ilave edilmiş, 40x40x160 mm boyutlarında numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler, 20°C, 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonra ortam sıcaklığına kadar soğutulmuş, eğilme ve basınç dayanımları ile ultrases geçiş hızları araştırılmıştır.

Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlara bağlı olarak, genişletilmiş vermikülit ile üretilen çelik tel takviyeli çimento esaslı kompozitlerin sıcaklık altındaki mekanik dayanımlarına vermikülit/çimento oranı ve çelik tel miktarının etkisi ortaya konmuştur. Kuru birim hacim ağırlıkları 795-1295 kg/m³ arasında değişen, 20°C sıcaklıktaki basınç dayanımları 6,0-15,0 MPa ve eğilme dayanımları 2,5-6,2 MPa arasında değişen çimento esaslı hafif kompozitler üretilmiştir. Çelik tel içeriğinin sıcaklığa altında numunelerin dirençlerini çelik tel içermeyen numunelere kıyasla artırdığı görülmüştür. Sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin basınç ve eğilme dayanımlarında, ultrases geçiş hızlarında azalmalar tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Genleştirilmiş Vermikülit, Hafif Beton, Yüksek Sıcaklık, Çelik Tel.

RESISTANCE OF STEEL FIBER REINFORCED CEMENT BASED COMPOSITES PRODUCED BY EXPANDED VERMICULITE AT ELEVATED TEMPERATURES

Murat ŞAHİN

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

2011; Page: 88

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Dr. Fuat KÖKSAL

ABSTRACT

In this study, physical and mechanical properties of steel fiber reinforced cement based composites produced by expanded vermiculite at elevated temperatures were investigated. Mixtures were prepared with expanded vermiculite to cement ratios of 4, 6, and 8 by volume, volume fractions of 0%, 0,5%, 1,0%, and 1,5% for 6 mm length and 0.16 mm diameter of steel fiber were used. Dimensions of 40x40x160 mm specimens were exposed to 20°C, 300°C, 600°C and 900°C temperatures. Specimens were cooled to room temperature in air and flexure and compressive strength and ultrasonic pulse velocity of specimens were investigated.

With the results of the experiments, effect of expanded vermiculite to cement ratio and steel fiber content on the physical and mechanical properties of steel fiber reinforced cement based composites produced by expanded vermiculite at elevated temperatures. Cement based lightweight composites were produced with dry density of 795-1295 kg/m³, compressive strength of 6,0-15,0 Mpa and flexural strength of 2,5-6,2 Mpa at room temperature. Addition of steel fiber to the mixtures, resistance of specimens to temperature increased according to control mixtures. At elevated temperatures, flexure and compressive strength and ultrasonic pulse velocity of specimens were decreased.

Keywords: Expanded Vermiculite, Lightweight Concrete, Elevated Temperature, Steel Fiber.

TEŞEKKÜR

Bu tezi yöneten ve çalıőmalarım sırasında bilgi ve tecrübesi ile bana her konuda yardımcı olan değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Fuat KÖKSAL'a, ayrıca deneysel çalıőmaların tümünde benimle beraber olan İnő. Müh. Sayın Mehmet KAYA'ya en içten teőekkürlerimi sunmak isterim.

Deneylerimin bir kısmını gerçekleştirmemde Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü imkanlarını sunduğu ve gösterdiği misafirperverlik için Sayın Doç. Dr. Fatih ALTUN'a teşekkür ederim.

Çalışma hayatım boyunca her türlü destekleri ile beni yalnız bırakmayan anneme, babama ve kardeőlerime sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1 : Hafif Betonun Sınıflandırılması	4
Tablo 2.2 : Ticari Değerleri Olan Vermikülitin Kimyasal Analizleri	6
Tablo 3.1 : CEM I 42,5 R Portland Çimentosunun Özellikleri	24
Tablo 3.2 : Genleştirilmiş Vermikülitin Fiziksel Özellikleri	25
Tablo 3.3 : Genleştirilmiş Vermikülitin Kimyasal Özellikleri	25
Tablo 3.4 : Genleştirilmiş Vermikülitin Elek Analizi Değerleri	26
Tablo 3.5 : Çalışmada Kullanılan Çelik Telin Mekanik ve Fiziksel Özellikleri ...	28
Tablo 3.6 : Karışım Oranları	30
Tablo 3.7 : Taze Harçlara ait Birim Hacim Ağırlık ve Yayılma Deney Sonuçları	35
Tablo 3.8 : Sertleşmiş Harçlara ait Kuru Birim Hacim Ağırlık, Porozite ve Su Emme Deney Sonuçları	37
Tablo 3.9 : Vermikülit/Çimento Hacimsel Oranı 4 Olan Numunelerin Deney Sonuçları	42
Tablo 3.10 : Vermikülit/Çimento Hacimsel Oranı 6 Olan Numunelerin Deney Sonuçları	43
Tablo 3.11 : Vermikülit/Çimento Hacimsel Oranı 8 Olan Numunelerin Deney Sonuçları	44
Tablo 4.1 : Eğilme Dayanımı Sonuçları	51
Tablo 4.2 : Basınç Dayanımı Sonuçları	64

Tablo 4.3 : Ultrases Geçiş Hızları	77
--	----

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : İşlenmemiş Ham Vermikülit	6
Şekil 2.2 : İşlenmemiş Ham Vermikülit	7
Şekil 2.3 : İşlenmemiş Ham Vermikülit	7
Şekil 2.4 : Isıya tabi Tutulmuş Vermikülit	8
Şekil 2.5 : Elekten Geçirilmiş Ham Vermikülit	9
Şekil 2.6 : Elekten Geçirilmiş Genleştirilmiş Vermikülit	9
Şekil 2.7 : Elekten Geçirilmiş Genleştirilmiş Vermikülit	10
Şekil 2.8 : Vermikülitin Hafif Beton Uygulaması	11
Şekil 2.9 : Vermikülitin Sıva Uygulaması	11
Şekil 2.10 : Vermikülitin Çatı Yalıtım Uygulaması	12
Şekil 2.11 : Vermikülitin Yangından Koruma Uygulaması	12
Şekil 2.12 : Vermikülitin Üretimde İzolasyon Malzemesi Uygulaması	13
Şekil 2.13 : Vermikülitin Su Yalıtımı Uygulaması	13
Şekil 2.14 : Vermikülitin Isı Yalıtım Levhası Uygulaması	14
Şekil 2.13 : Farklı Lif Boyutlarının Çatlak Köprüleme Etkisi	16
Şekil 3.1 : Çalışmada Kullanılan Vermikülitin Elek Analizinin Grafikselleştirilmesi	26
Şekil 3.2 : Çalışmada Kullanılan Genleştirilmiş Vermikülit	27

Şekil 3.3 : Genleştirilmiş Vermikülite Su Verilmesi	27
Şekil 3.4 : Çalışmada Kullanılan Çelik Tel	28
Şekil 3.5 : Genleştirilmiş Vermikülit Kullanılarak Üretilen Harç	29
Şekil 3.6 : Numunenin Kalıba Yerleştirilmesi	31
Şekil 3.7 : Numunenin Kalıba Yerleştirilmiş Hali	31
Şekil 3.8 : Numunelerin Fırına Konulması	32
Şekil 3.9 : Sıcaklığa Maruz Bırakılmış Numuneler	33
Şekil 3.10 : 900°C Sıcaklık Sonrası Çelik Tel İçermeyen Numuneler	33
Şekil 3.11 : Yayılma Deneyi Düzeneği	34
Şekil 3.12 : Eğilme Deneyi	37
Şekil 3.13 : Eğilme Dayanımı Deney Düzeneği	38
Şekil 3.14 : Basınç Dayanımı Deneyi	39
Şekil 3.15 : Basınç Dayanımı Deney Düzeneği	39
Şekil 3.16 : Ultrasonik Yöntem ile Ses Geçiş Süresinin Belirlenmesi	41
Şekil 4.1 : Taze Birim Hacim Ağırlığın Çelik Tel İçeriğine Bağlı Değişimi	45
Şekil 4.2 : Çelik Tel İçermeyen Numunelere Kıyasla Üretilen Harçların Taze Birim Hacim Ağırlığı Artışı	46
Şekil 4.3 : Kuru Birim Ağırlığın Çelik Tel İçeriğine Bağlı Değişimi	47
Şekil 4.4 : Çelik Tel İçermeyen Numunelere Kıyasla Üretilen Harçların Kuru Birim Hacim Ağırlığı Değişimi	48

Şekil 4.5 : Porozitenin Çelik Tel İçeriğine Bağlı Değişimi	48
Şekil 4.6 : Su Emme Miktarının Çelik Tel İçeriğine Bağlı Değişimi	49
Şekil 4.7 : 20°C Sıcaklıktaki Harçların Eğilme Dayanımlarının Çelik Tel İçeriğine Bağlı Değişimi	51
Şekil 4.8 : Çelik Tel İçeren Harçların Eğilme Dayanımının Çelik Tel İçermeyen Harçlara Kıyasla % Değişimi (20°C)	52
Şekil 4.9 : 300°C Sıcaklıktaki Harçların Eğilme Dayanımlarının Çelik Tel İçeriğine Bağlı Değişimi	53
Şekil 4.10 : Çelik Tel İçeren Harçların Eğilme Dayanımının Çelik Tel İçermeyen Harçlara Kıyasla % Değişimi (300°C)	54
Şekil 4.11 : 600°C Sıcaklıktaki Harçların Eğilme Dayanımlarının Çelik Tel İçeriğine Bağlı Değişimi	55
Şekil 4.12 : Çelik Tel İçeren Harçların Eğilme Dayanımının Çelik Tel İçermeyen Harçlara Kıyasla % Değişimi (600°C)	56
Şekil 4.13 : 900°C Sıcaklıktaki Harçların Eğilme Dayanımlarının Çelik Tel İçeriğine Bağlı Değişimi	56
Şekil 4.14 : Çelik Tel İçeren Harçların Eğilme Dayanımının Çelik Tel İçermeyen Harçlara Kıyasla % Değişimi (900°C)	57
Şekil 4.15 : Vermikülit/çimento Oranı 4 Olan Numunelerin Bağlı Eğilme Dayanımları	58
Şekil 4.16 : Vermikülit/çimento Oranı 6 Olan Numunelerin Bağlı Eğilme Dayanımları	59
Şekil 4.17 : Vermikülit/çimento Oranı 8 Olan Numunelerin Bağlı Eğilme Dayanımları	59

Şekil 4.18 : Sıcaklığın Bağlı Eğilme Dayanıma Etkisi (Çelik Tel İçeriği=%0) ...	61
Şekil 4.19 : Sıcaklığın Bağlı Eğilme Dayanıma Etkisi (Çelik Tel İçeriği=%0,5)	61
Şekil 4.20 : Sıcaklığın Bağlı Eğilme Dayanıma Etkisi (Çelik Tel İçeriği=%1,0)	62
Şekil 4.21 Sıcaklığın Bağlı Eğilme Dayanıma Etkisi (Çelik Tel İçeriği=%1,5)	62
Şekil 4.22 : 20°C Sıcaklıktaki Harçların Basınç Dayanımlarının Çelik Tel İçeriğine Bağlı Değişimi	64
Şekil 4.23 : Çelik Tel İçeren Harçların Basınç Dayanımının Çelik Tel İçermeyen Harçlara Kıyasla % Değişimi (20°C)	65
Şekil 4.24 : 300°C Sıcaklıktaki Harçların Basınç Dayanımlarının Çelik Tel İçeriğine Bağlı Değişimi	66
Şekil 4.25 : Çelik Tel İçeren Harçların Basınç Dayanımının Çelik Tel İçermeyen Harçlara Kıyasla % Değişimi (300°C)	67
Şekil 4.26 : 600°C Sıcaklıktaki Harçların Basınç Dayanımlarının Çelik Tel İçeriğine Bağlı Değişimi	68
Şekil 4.27 : Çelik Tel İçeren Harçların Basınç Dayanımının Çelik Tel İçermeyen Harçlara Kıyasla % Değişimi (600°C)	68
Şekil 4.28 : 900°C Sıcaklıktaki Harçların Basınç Dayanımlarının Çelik Tel İçeriğine Bağlı Değişimi	69
Şekil 4.29 : Çelik Tel İçeren Harçların Basınç Dayanımının Çelik Tel İçermeyen Harçlara Kıyasla % Değişimi (900°C)	70

Şekil 4.30 : Vermikülit/çimento Oranı 4 Olan Numunelerin Bağlı Basınç Dayanımları	71
Şekil 4.31 : Vermikülit/çimento Oranı 6 Olan Numunelerin Bağlı Basınç Dayanımları	72
Şekil 4.32 : Vermikülit/çimento Oranı 8 Olan Numunelerin Bağlı Basınç Dayanımları	73
Şekil 4.33 : Sıcaklığın Bağlı Basınç Dayanıma Etkisi (Çelik Tel İçeriği=%0)	74
Şekil 4.34 : Sıcaklığın Bağlı Basınç Dayanıma Etkisi (Çelik Tel İçeriği=%0,5)	74
Şekil 4.35 : Sıcaklığın Bağlı Basınç Dayanıma Etkisi (Çelik Tel İçeriği=%1,0)	75
Şekil 4.36 : Sıcaklığın Bağlı Basınç Dayanıma Etkisi (Çelik Tel İçeriği=%1,5)	75
Şekil 4.37 : Vermikülit/çimento Oranı 4 Olan Numunelerinin Bağlı Ultrases Geçiş Hızları	78
Şekil 4.38 : Vermikülit/çimento Oranı 6 Olan Numunelerinin Bağlı Ultrases Geçiş Hızları	78
Şekil 4.39 : Vermikülit/çimento Oranı 8 Olan Numunelerinin Bağlı Ultrases Geçiş Hızları	79

KISALTMALAR LİSTESİ

TS	:	Türk Standartları
EN	:	European Norm
ACI	:	American Cement Institute
CEB	:	Euro-International Concrete Committee
RILEM	:	The International Union of Testing and Research Laboratories for Materials and Structures
d	:	Çelik Tel Çapı
VÇ	:	Vermikulit/çimento Hacimsel Oranı
BHA	:	Birim Hacim Ağırlık
GP	:	Porozite
A	:	Su Emme
W ₀	:	Etüv kurusu ağırlık
W ₁	:	Suya Doygun Havadaki Ağırlık
W ₂	:	Su İçerisindeki Ağırlık
P	:	Uygulanan Kuvvet
L	:	Mesnetler Arası Uzaklık
b	:	Numune Kesitinin Kısa Kenar Uzunluğu
d	:	Numune Kesitinin Yüksekliği
σ_e	:	Eğilme Dayanımı
σ_b	:	Basınç Dayanımı
V	:	Ultrases Geçiş Hızı
t	:	Ultrases Geçiş Süresi
μs	:	Mikrosaniye
l	:	İki Transduser Arası Mesafe

1. GİRİŞ

Yapılarda durabilite problemine yol açan başlıca fiziksel etkilerden biride yüksek sıcaklıktır. Betona ve beton yapı elemanlarına etki eden yüksek sıcaklık kaynaklarının etkisi 1920’den bu yana araştırılmaktadır [1-2]. Yapılan araştırmalarda yangın sırasında ve sonrasında malzemenin karmaşık davranışı, yapısal güvenlik ve yapının bütünlüğü anlaşılmaya çalışılmıştır [3]. Yapıya ve malzemeye zarar veren, hasara yol açan yüksek sıcaklık kaynakları, yangın, özel üretimlerden dolayı endüstri fırın bacalarında görülen sıcaklık ve hava alanı pistlerinde sürtünmenin sebep olduğu ısınma ve nükleer reaktörler olarak gösterilebilir [4].

Betonarme eleman yüksek sıcaklığa maruz kaldığında fiziksel ve mekanik özelliklerinde değişiklikler görülür. Bu değişiklikler, betonun basınç dayanımında ve elastisite modülünde azalma, çatlak oluşumu, parçalanma ve dağılma, çelikte ise akma dayanımı, duktilite ve çekme dayanımında azalmalardır [5]. Farklı beton çeşitleri yüksek sıcaklık altında farklı davranış gösterirler, ancak sıcaklık altında betonun davranışına çimento tipi, agrega çeşidi, çimento-agrega arasındaki aderans ve çevresel faktörler etki etmektedir [3].

Sıcaklıktaki artış ile sertleşmiş çimento hamurunda ilk önce serbest su kaybolur. Bunu fiziksel olarak absorbe edilen suyun kaybı ve son olarak hidrasyon ürünlerinin kimyasal bağ suyu izler. Aynı zamanda çimento hamurunun büzülmesi ve agreganın genleşmesinden kaynaklanan farklı termal hareketler betonda dayanımın azalmasına neden olan mikro çatlakların oluşturur. Daha yüksek sıcaklıklarda çimento hamurundaki sönmüş kirecin dehidrasyonu veya agregada meydana gelen fiziksel/kimyasal dönüşümler dayanım kayıplarının daha fazla olmasına neden olur [6].

Normal betonun birim ağırlığının düşürülmesiyle yapı yükünün azalması, kesitlerin küçülmesi, kullanılan donatının azalması, düşük emniyet gerilmeli zeminlerde yapı yapılabilmesi gibi avantajlara sahip olan hafif betonların ısıl iletkenlikleri normal betona göre oldukça düşüktür [7-9]. Yüksek sıcaklık altında oluşan kimyasal ve fiziksel değişimler beton taşıyıcılar üzerinde dıştan içe doğru, sıcaklık etkisine ve

etkime zamanına bağlı olarak görülmektedir. lmler yangına maruz betonarme taşıyıcılarda dayanım kaybının dıştan içe doğru artış gösterdiğini ve kabuk diye adlandırabileceğimiz bir bölgenin olduğu göstermektedir [10]. Buradan, hafif betonlarda sıcaklığın artışıyla oluşacak dayanım kaybının daha az olacağı görülmektedir. Normal betona göre hafif betonlar daha yüksek yangın direncine sahiptirler [11].

Normal betona elik tellerin katılmasıyla, çekme dayanımı, yorulma dayanımı, aşınma dayanımı, enerji yutma kapasitesi ve çatlak sonrası yük taşıma kapasitesi gibi mekanik özelliklerinde belirgin iyileştirmeler elde edilmektedir [12,13]. elik tel takviyeli betonların yüksek sıcaklık altındaki davranışı oluşan karmaşık yapıdan dolayı tam olarak tanımlanmamıştır. Ancak yüksek sıcaklık altında betonda oluşan dayanım kaybının normal betona oranla daha az olduğunu ifade eden çalışmalar bulunmaktadır [14].

Bu alışma, yüksek sıcaklık altında genleştirilmiş vermikülit içeren elik tel takviyeli imento esaslı kompozitlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin deneysel olarak araştırılmasını kapsamaktadır. Bu amaçla, vermikülit/imento hacimsel oranı 4, 6, ve 8 olan harçlara hacimce %0, %0,5, %1 ve %1,5 oranlarında 6 mm uzunluğunda ve 0,16 mm çapında elik tel ilave edilmiş, 40x40x160 mm boyutlarında numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler, 20°C, 300°C, 600°C ve 900°C'e sıcaklıklara maruz bırakıldıktan ortam sıcaklığına kadar soğutulmuş sonra eğilme ve basınç dayanımları ile ultrases geçiş hızları araştırılmıştır.

Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlara bağlı olarak, genleştirilmiş vermikülit ile üretilen elik tel takviyeli imento esaslı kompozitlerin sıcaklık altındaki mekanik dayanımlarına vermikülit/imento oranı ve elik tel miktarının etkisi ortaya konmuştur.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Hafif Betonlar

Hafif beton etüv kurusu durumdaki birim hacim ağırlığı genel olarak 800 kg/m^3 veya daha büyük olup, 2000 kg/m^3 geçmeyen betonlar olarak tanımlanır [15]. Hafif betonların birim hacim ağırlıklarına göre sınıflandırılması ülkelerin standartlarına ve uluslararası kabullere göre farklılık göstermektedir, Amerika'da etüv kurusu yoğunluğu 1840 g/m^3 az olan ve 28 günlük basınç dayanımı 17 MPa'dan fazla olan betonlar yapısal hafif beton sınıfına girmektedir [16].

Beton içerisindeki ince agreganın çıkarıldığı ince agregasız hafif beton üretimi, kimyasal ve fiziksel yollar ile beton içinde hava kabarcıklarının oluşturulmasıyla üretilen gaz ve köpük betonlar, normal agrega yerine boşluklu hafif agreganın kullanılması ile üretilen hafif agregalı betonlar başlıca kullanılan hafif beton üretim yöntemleridir [11,17,18].

Hafif beton üretiminde en yaygın yöntem hafif agrega kullanılarak hafif beton üretimidir [11]. Hafif agrega, gevşek birim ağırlığı en büyük değeri 1200 kg/m^3 'ü aşmayan, kırılmış ve kırılmamış tabii veya suni agregadır [15]. 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 granülometri bileşimi, birim ağırlığı, dane yüzey şekli, yüzey yapısı ve su emmesidir. [19-20] Hafif agregalar dört ana grupta toplanabilirler [21];

- a. Doğal hafif agregalar: Pomza taşı (bims), volkanik cüruf, volkanik tüf, vermikülit, perlit gibi organik malzemeler.
- b. Doğal malzemelerden üretilen yapay hafif agregalar: Genleştirilmiş kil, genleştirilmiş şist, genleştirilmiş arduvaz, genleştirilmiş perlit, genleştirilmiş vermikülit ve strofor gibi polimer esaslı malzemeler.
- c. Endüstriyel atıklardan üretilen hafif agregalar: Yüksek fırın cürufu, uçucu kül.

- d. Endüstriyel atıkların işlenmesiyle üretilen hafif agregalar: Genleştirilmiş yüksek fırın cürufu ve kızdırılmış uçucu kül.

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 birim ağırlığı 1600-2000 kg/m³ arasında değerler alan ve basınç dayanımı minimum 15 MPa olan 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 [22].

Tablo 2.1. Hafif Betonun Sınıflandırılması [22]

	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 betonun kullanım alanını her geçen gün arttırmaktadır. Hafif betonun kullanılması yapı ağırlıklarının önemli ölçüde azaltmakla beraber yüksek sıcaklıklara karşı direnç, yüksek ısı ve ses yalıtımı gibi özellikleride beraberinde getirmiştir [7-9]. Normal betonun birim ağırlığının düşürülmesiyle yapı yükünün azalması, kesitlerin küçülmesi, kullanılan donatının azalması, düşük emniyet gerilmeli zeminlerde yapı yapılabilmesi gibi avantajlarla yapı maliyetine doğrudan etki etmektedir [23-25].

Ayrıca, deprem yükünün yapıdaki etkisi yapı ağırlığı ile orantılıdır, hafif betonla imal edilmiş düşük ölü ağırlığa sahip yapıların depremde hasar alma riski azaltmaktadır [26]. 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 [27].

Hafif agregalarla birim ağırlığı 300–2000 kg/m³ aralığında olan 1–60 MPa basınç dayanıma sahip 0,2–1,0 W/mK ısı iletkenlik değeri olan hafif betonlar üretilmektedir [22]. Genel olarak yapılarda, ısı yalıtımı, ses yalıtımı, yangına karşı dayanım 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 [28]. Gelişmiş ülkelerde çok katlı bina yapımının artmasıyla hafif betonun uygulama alanı genişlemiştir. Uzun açıklıklı viyadükler, köprüler gibi ölü yükün tasarımı belirleyici olduğu yapılarda, hafif beton kullanımının sayısız avantajı ortaya çıkmaktadır [29].

2.1.1. Vermikülit

2.1.1.1. Tanımı ve Sınıflandırma

Mineralojik olarak tek başına farklı bir gurubu temsil eden vermikülit, endüstriyel olarak genleşme 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 [30]. Vermikülit; doğada oluşumuna ve bulunduğu ortama göre, toprak, otojenik, metaformik ve makroskopik olmak üzere dört tipine rastlanmıştır [31]. Dünyadaki bazı vermikülit işletmelerine ait cevher numunelerinin kimyasal analizleri Tablo 2.2’de verilmektedir.

Vermikülit, monoklinik sistemde kristallenir ve 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 [30-32]. İşlenmemiş ham vermikülit örnekleri Şekil 2.1-2.3’de verilmektedir [33-34].

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 [33]



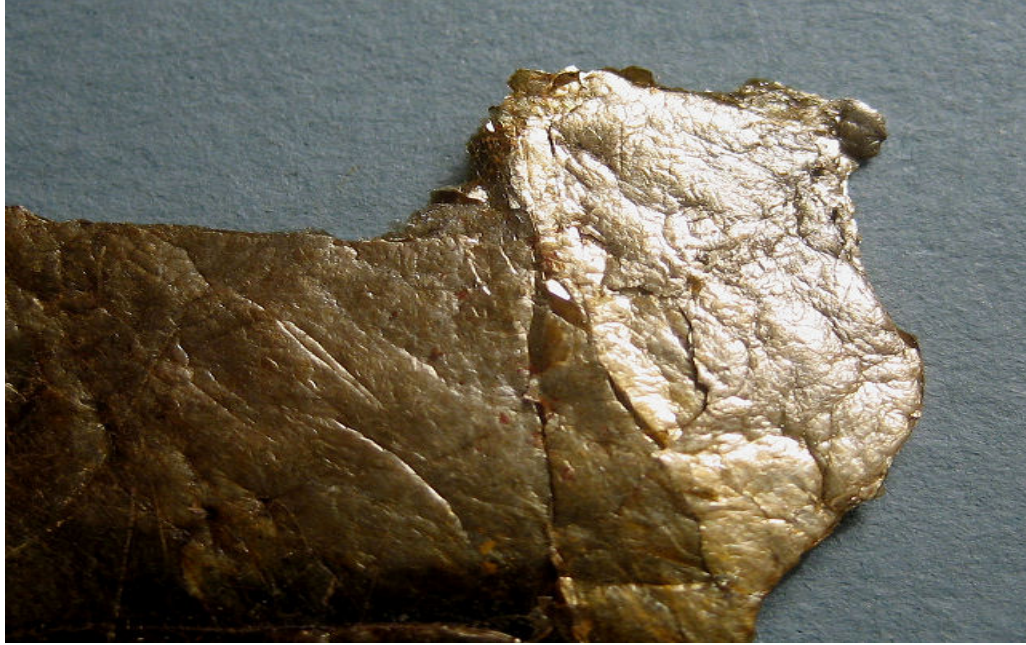
Şekil 2.2. İşlenmemiş Ham Vermikülit [33]



Şekil 2.3. İşlenmemiş Ham Vermikülit [34]

Vermikülit yüksek sıcaklıklarda aniden ısı şokuna tabi tutulduğunda akordion gibi uzamaktadır. Bu karakteristik genişlemenin yapıda bulunan kristal suyunun ani olarak buharlaşması sonucu oluşan buhar basıncından kaynaklandığı düşünülmektedir. Isısal genişleme olayının henüz tam olarak açıklanmamasının

nedeni, ağırlıkça toplam aynı miktarda su içeren numunelerin dahi farklı oranlarda genleşebilmeleridir. Kimyasal birleşim ve yapraklar arasında bulunan su moleküllerinin hangi bağlarla yapıya tutunduğu genleşme olayını etkileyen diğer önemli parametrelerdir. 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 genleşmenin yapıldığı fırın performansına bağlı olmakta ve ısıl işlem sonucunda yaklaşık 30 katlık bir genleşme sağlanabilmektedir [30,32,35]. Vermikülitin yüksek sıcaklığa maruz kalmasıyla renginde değişiklik olabilir. Şekil 2.4'de ısıya tabi tutulmuş vermikülit verilmektedir [33].



Şekil 2.4. Isıya Tabi Tutulmuş Vermikülit

2.1.1.2. Üretim Metodu ve Teknolojisi

Mevcut vermikülit ocaklarında açık ocak işletmeciliği ile üretim gerçekleştirilmektedir. Ocaklara en yakın bölgede kurulan cevher zenginleştirme ünitesinde zenginleştirme işlemi yapıldıktan sonra genleştirme işlemi uygulanır. Ocaktan çıkarılan cevher primer kırıcıdan geçirildikten sonra yaş elek yöntemi ile harmanlama yapılarak fraksiyonlarına ayrılır. Harmanlama işleminden sonra konsantreler toplanır, kurutulur ve boyutlarına ayrılarak genleştirme ünitesine

gönderilir. Genleşme ünitesinde, 900-1000°C'de düşey fırınlarda 4-8 saniye bekletilerek, ani ısı etkisiyle genişletilir ve genişmemiş kısımlar harmanlama ile genişenlerden ayrılır. Elde edilen genişmiş ürün, torbalanarak pazarlanmaya hazır hale getirilir [31]. Şekil 2.5-2.7'de genişleştirilmiş ve ham vermikülit örnekleri verilmektedir [36].



Şekil 2.5. Elekten Geçirilmiş Ham Vermikülit



Şekil 2.6. Elekten Geçirilmiş Genleştirilmiş Vermikülit



Şekil 2.7. Elekten Geçirilmiş Genleştirilmiş Vermikülit

2.1.1.3. Vermikülitin Kullanım Alanları

Genleştirilmiş vermiculit dünyada birçok sektörde uygulama alanı bulmaktadır. Genleştirilmiş vermiculit, hafif yapı gereçlerinde agrega olarak, binalarda ısı ve ses yalıtımında, soğuk hava depolarının izolasyonunda, yüzme havuzlarının izolasyonunda, dekorasyon işlerinde, dökümhane ve benzeri yüksek ısı ile çalışan yerlerde ateşe dayanıklı sıva ve kaplama malzemeleri üretiminde, lojistik sektöründe ve zirai uygulamalarda kullanılmaktadır.

1948 yılında kurulan 13 ülkede Vermikülit ürünlerini üreten kurumların %80'ni kapsayan The Vermiculite Association (TVA), uluslararası vermiculit ticaret birliğinden alınan uygulama örnekleri aşağıda verilmektedir [37].

2.1.1.3.1. 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 2.8'de vermiculit hafif beton uygulaması verilmektedir.



Şekil 2.8. Vermikülitin Hafif Beton Uygulaması [37]

2.1.1.3.2. Sıcaklığa Dayanıklı Sıva

Vermikülit; alçı ve çimento ile karıştırılarak yangına karşı dayanıklı, işlenebilirliği kolay olan, su emmesi düşük ve yapışma kabiliyeti yüksek sıva olarak kullanılmaktadır. Vermikülit kullanılarak üretilen sıcaklığa dayanıklı sıva örneği Şekil 2.9’da verilmektedir.



Şekil 2.9. Vermikülitin Sıva Uygulaması [37]

2.1.1.3.3. Isı ve Ses Yalıtımı

Vermikülit; yalıtım yapılacak bölgeye serilerek ısı ve ses izolasyonda kullanılmaktadır. Çatı döşemelerinde genişletilmiş vermicülitin derzler içerisine serilmesiyle, soğuk havalarda ısının muhafazası ve sıcak havalarda serinlik sağlanmaktadır. Ayrıca ses yalıtımı da sağlamaktadır. Isı ve ses yalıtımı için uygulama örneği Şekil 2.10’da verilmektedir.



Şekil 2.10. Vermikülitin Çatı Yalıtım Uygulaması [37]

2.1.1.3.4. Yangından Korunma

Genleştirilmiş vermikülitin yüksek sıcaklığa karşı dayanımı bilinmektedir. Reçine esaslı karışımlarla birlikte kullanılan vermikülit, yapı elemanlarının sıcaklıktan korunmasında kullanılmaktadır. Vermikülit içeren kompozitlerin ısı iletim katsayıları oldukça düşük olduğu için yangın esnasında kapladığı alanı korumaktadır. Çelik yapı elemanlarının giydirme yöntemi ile yüksek sıcaklıklardan korunması sağlanmıştır. Şekil 2.11’de yangından korunma uygulamaları verilmektedir.



Şekil 2.11. Vermikülitin Yangından Koruma Uygulaması [37]

2.1.1.3.5. Yüksek Sıcaklık İzolasyonu

Vermikülit, refrakter çimento ve kil ile birleştirilmesiyle 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 2.12. Vermikülitin Üretimde İzolasyon Malzemesi Uygulaması [37]

2.1.1.3.6. Su Yalıtımı

Vermikülit; çimento ve reçine esaslı özel katkıları ile birleştirilerek; su izolasyonunda kullanılmaktadır. Havuzlarda geçirimsiz, esnek ve sağlam bir tabaka sağlanması amacıyla kullanılır. Şekil 2.13'de su yalıtımı uygulaması verilmektedir.



Şekil 2.13. Vermikülitin Su Yalıtımı Uygulaması [37]

2.1.1.3.7. 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 yalıtım levhaları Şekil 2.14’de verilmiştir.



Şekil 2.14. Vermikülitin Isı Yalıtım Levhası Uygulaması [38]

2.2. Çelik Tel Donatılı Betonlar

Çelik tel donatılı beton, çimento, agrega ve rastgele dağılmış çelik liflerden oluşan, gerektiğinde mineral ve/veya kimyasal katkı ilavesiyle de hazırlanabilen bir kompozit malzemedir.

Betona çelik tel ilave etmekle betonun çekme mukavemetini, tokluğunu, eğilme mukavemetini, darbe etkilerine karşı dayanımını ve deformasyon yapabilme gibi mekanik özelliklerini artırmak mümkündür [39-41]. Çelik tel donatılı betonların kullanım alanları sağladığı avantajlar nedeniyle oldukça yaygınlaşmıştır. Çelik tel donatılı betonlar, püskürtme beton uygulamalarında, trafik yoğunluğunun çok fazla olduğu beton yollarda, kubbelerde ve ince kabuk yapılarda, tünel kaplamalarında, prekast elemanlarda, endüstriyel zeminlerde, dinamik yük altında bulunan yapılarda, sualtı yapılarında ve betonarme elemanların güçlendirilmesinde uygulama alanı bulmaktadır.

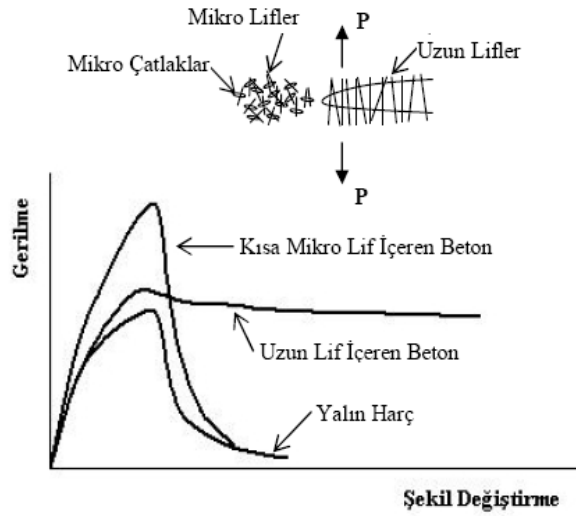
Çelik tellerin betona ilave edilmesiyle geleneksel betona göre çarpma ve aşınma direnci, yorulma ve çekme dayanımı ve çatlak yükü sonrası taşıma kapasiteleri bakımından belirgin iyileştirmeler elde edilmiştir [42,43]. Çelik tel kullanılmasıyla betonun çekme şekil değiştirmesinde artış meydana gelir ve beton yarı-sünek davranış özelliği kazanır. Buna bağlı olarak betonun çatlama dayanımı ve tokluk özellikleri iyileşmeler elde edilir [44,45].

Betonda kullanılan çelik telin tanımı, tel boyunun eşdeğer tel çapına bölünmesiyle elde edilen boy/çap oranı (narinlik) olarak kabul edilmektedir [46]. Betona katılan çelik teller genellikle daire kesitlidir, bunun yanı sıra dikdörtgen kesitli çelik teller de kullanılmaktadır. Çelik tellerin boyları 30-60. mm, çapları ise 0,5-1,0 mm. Arasında, çekme dayanımlarını ise 345 N/mm^2 - 2000 N/mm^2 arasında değişmektedir. Kancalı uçlu üretilen çelik tellerin sıyrılmaya dayanımları düz olanlara oranla daha yüksek olmaktadır [47].

Betona ilave edilen çelik telin geometrisi, narinlik oranı ve miktarı betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini etkilemektedir. Çelik tel oranının artmasıyla sertleşmiş betonun darbe etkilerine karşı dayanıklılığı, eğilme ve çekme mukavemeti, sünekliği gibi mekanik özellikleri artarken, taze betonun işlenebilirliği olumsuz yönde etkilenmektedir [48-50]. Beton karışımına katılan çelik tellerin narinlik oranı genellikle 20 ile 100 arasında ve hacimsel katılma oranları ise %0,5 ile %2,5 arasında değişebilmektedir. Katılım oranı arttıkça çelik telin karışım içerisinde topaklandığı ve homojen bir dağılım göstermediği, hatta basınç dayanımının normal betonun basınç dayanımına oranla düşük olduğu gözlenmiştir [51,52]. Betona çelik tel katılmasıyla işlenebilirliğinde yüksek oranda çelik tel kullanımı karışım içerisinde topaklaşmasına neden olmakta, ve buna bağlı olarak ise matris içerisinde zayıf bölgeler ve büyük hava boşluklarına oluşabilmektedir. Bunun sonucunda da, çelik tellerin betonların özellikleri üzerindeki beklenen iyileştirme düşük seviyelerde kalabilmektedir. Bu nedenlerden dolayı, taze beton içerisinde topaklanmayı önlemek ve işlenebilirliği istenilen düzeyde ayarlayabilmek için kullanılan çelik tel miktarı ve narinliği belirli oranların üzerinde olmaması gerekmektedir [53]. Yapılan çalışmalarda genellikle bu sınır değerler tel hacmi için %2 ve narinlik için ise 100 olarak belirtilmektedir [54].

Çelik tellerin betona katılmasıyla betonun sünekliliği ve çatlak direnci büyük ölçüde

iyileştirilir. Çelik teller betonun çatlak oluşumundan sonra yük taşımasını sağlar. Ayrıca karışım içerisinde homojen bir şekilde dağılı bulunan çelik teller, betonun sertleşmesi sırasında çekme gerilmeleri ile hamur içerisinde oluşan çok sayıda küçük boşlukları ve çatlaklara karşı köprüleme etkisi yaparak rötre çatlaklarının oluşumunu ve gelişimini büyük ölçüde azaltır [55]. Farklı lif boyutlarının çatlak köprüleme etkisi Şekil 2.15’de verilmektedir [56].



Şekil 2.15. Farklı lif boyutlarının çatlak köprüleme etkisi

2.3. Yüksek Sıcaklık Altında Beton Davranışı

Beton genellikle tutuşmazlığı ve yüksek termal yalıtım özellikleri ile yanmaz olarak anılmaktadır. Betonun ısı geçirgenlik katsayısı 1-4 W/mK aralığındaki değeri, çeliğin ısı geçirgenlik katsayısı değeri 46 W/mK’den oldukça düşüktür [3]. Beton ve çelik yanıcılık açısından hiç yanmaz sınıfı olan A1 sınıfı girerler. Buna rağmen bu malzemelerin yangın hasarı malzeme kaybı olarak değil, akma sınırı ve elastisite modülünde ki azalmalar ve içyapı değişiklikleri olarak ortaya çıkar [57].

Betonun yüksek sıcaklıktan korunmaya ihtiyacı olmasının nedenleri; yangın esnasında betonda dökülmelerin olması, yük taşıyan kesit alanının azalması ve yapı çeliğinin koruma tabakasının azalıp sıcaklığa maruz kalması olarak düşünülebilir. Sıcaklık etkisinde betonun taşıma gücünün azalmasında beton tipi belirleyici faktördür [3].

Betonun ortam sıcaklığından erime sıcaklığına kadar ısıtılması betonda termal, hidral ve mekanik özelliklerinde fiziksel ve kimyasal değişimlere neden olur. Bu değişimler birincil olarak sertleşmiş çimento hamurunda görülür ancak genişletilirse kullanılan agrega tipine göre agregada da değişimler gözlemlenebilir. Genellikle betonda kullanılan agregalar 300°C'ye kadar kararlı bir durum sergilerler, 20–300°C aralığındaki değişimler çimento hamurundaki değişimleri yansıtmaktadır [3].

Çimento ilk ısıtma esnasında oldukça kararsız bir bileşen olduğu görülmektedir çünkü sıcaklığın etkisi ile fiziksel ve kimyasal dönüşümler geçirir. Bu dönüşümlerde 100-200 °C civarındaki düşük sıcaklıklarda buharlaşabilen su etkin rol oynamaktadır. Kimyasal ayrışma ve bağ suyunun kaybı 100°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda, termal etkiler ise 600°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda önemli olmaktadır. Kimyasal ayrışma ve bağ suyunun kaybı çimento hamurunun mikro yapısında önemli değişikliklere neden olur. Çimento hamurundaki kimyasal bağlar, kohesif kuvvetler, porozite ve gözenek boyut dağılımı değişikliğe uğrar [1].

Sıcaklık altında sertleşmiş çimento hamurunda görülen fiziksel ve kimyasal dönüşümler 65-80°C aralığında tane yüzeylerindeki suyun ve 90-105°C ara yüzeylerdeki su buharlaşmasıyla başlar [1]. Sıcaklık 300°C'ye ulaştığında C-S-H (kalsiyum silikat hidrate) ara yüzeylerindeki su ile C-S-H ve sülföalüminattan gelen kimyasal bağ suyunun bir bölümü kaybolur [58]. Su kaybının etkisiyle oluşan mikro çatlaklar önce $Ca(OH)_2$ 'nin (sönmüş kireç) toplandığı bölgelerde ve daha sonra da sıcaklığın artmasıyla 400°C civarında hidrate olmamış tanelerin bulunduğu bölgede görülür [59]. 400°C sıcaklığın üzerinde, porozite artışının başlaması mekanik özelliklerin bozulmasında etkin rol oynamaktadır [60]. 400–600°C arasındaki sıcaklıklarda sertleşmiş çimento hamurunda bir dizi tepkimeler başlayabilir. Bu tepkimeler, sistemin tamamen kuruması ile başlar, bunu hidratasyon ürünlerinin ayrışması ve C-S-H jellerinin parçalanması izler. 530°C civarında $Ca(OH)_2$, sönmemiş kirece dönüşür. Bu dönüşümde %33'e varan bir büzülme oluşur [61]. C-S-H'in ise tamamen ayrışması ve kimyasal olarak bağlı suyun kaybı 900°C civarında gerçekleşmektedir [58,60]. Soğutma sürecinde fiziksel ve kimyasal değişimlerde (çatlak gelişmesi, nem absorpsiyonu, CaO hidratasyonu gibi) etkin rol oynamaktadır [3]. Sertleşmiş çimento hamurunun, 400°C'nin üzerindeki sıcaklıklar

da ani olarak su ile soğutulması ile CaO hidrate olarak Ca(OH)₂'ye dönüşür, bu olay %44 mertebesinde bir hacim artışına neden olur. Hacim artışının sonucunda yapıda ciddi çatlaklar ve parçalanmalar görülmektedir [61].

Betonun ısıtma ve soğutma sürecindeki davranışı; çimento tipine, agrega çeşidine, agrega-çimento arasındaki aderansa, arayüze bağlıdır. Buradan; farklı beton çeşitleri yüksek sıcaklıkta farklı davranış gösterir. Yüksek sıcaklıkta betonun basınç dayanımına; beton tipi, yük durumu, ısıtma/soğutma aralığı, nem durumu, basınç testinin sıcak/soğuk olarak yürütülmesi etki eder [3].

Yüksek sıcaklığa maruz kalan betonun davranışı üzerinde agrega tipi, porozitesi ve mineralojisi önemli bir etki oluşturmaktadır. Agreganın muhtemel faz dönüşümleri ve termal ayrışmasının yanında, betonun yangına karşı direnci, agreganın mineralojisi tarafından etkilenmektedir. Agreganın mineralojisi, agrega ve çimento hamuru arasındaki farklı termal genleşmeleri ve ara geçiş bölgesi betonun dayanımını belirlemektedir [6].

Beton yapımında yaygın olarak kullanılan agregaların birçoğu yüksek sıcaklık etkisinde değişime uğrar. Kireçtaşı agregaları 650°C'ye kadar ısıtıldığında kalıcı termal genleşmeler gösterir. 900°C'ye kadar durmadan genişleyen kireçtaşı bu sıcaklığa ulaştığında, CO₂'in serbest bırakılması ile CaCO₃'ün ayrışmasından dolayı büzölmeye başlar. Bu ayrışmadan dolayı, kireçtaşı agregalı betonların bu sıcaklığın üzerinde yangın dayanıklılığına sahip olmadığı göz önünde tutulmalıdır [6]. Karbonat kökenli agregalar 700 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda kimyasal olarak CaO ve CO₂'e ayrışır. Agregada görölen bütün bu kimyasal ve fiziksel değişiklikler artan sıcaklıklarda betonda ciddi dayanım azalmalarıyla sonuçlanır. [1] Silis kökenli agregalarla üretilen betonların sıcaklık altında ciddi dayanım kaybı olduğu görölmüştür. Dayanımdaki azalmanın nedeni silisli agregaların yüksek oranda termal genişmesi ve 570°C civarında α kuvarsın β kuvarsa dönüşümüdür [6]. Granit ve bazalt gibi volkanik kayalar 1000°C'ye kadar kararlı yapıda kalabilmektedirler. Ancak sıcaklığın aniden artması ve azalması parçalanmalara neden olabilir [62].

Bazalt agregalı betonların üzerinde yüksek sıcaklık etkisinin araştırıldığı çalışmada, 300 °C'ye kadar dayanımda %25 azalma görölmüştür. 300-600 °C sıcaklık aralığında

dayanım hemen hemen aynı seviyede kalırken, 600 °C'nin üzerinde dayanımda sürekli bir azalma başlamış ve nihayetinde 800 °C'de orijinal dayanımın %40'ı kalmıştır [6].

Yüksek sıcaklıkta betonun basınç dayanımı ile ilgili değerlendirmelerin yapıldığı çalışmada[1], yüksek sıcaklıkta genişletilmiş şeyl, kalker esaslı ve silis esaslı agregaların kullanılmasının beton numuneleri üzerindeki etkisinin araştırıldığı çalışmaya yer verilmiştir. 600°C'de yüksüz olarak ısıtılan numunelerden, hafif agregalı ve kalker esaslı betonların basınç dayanımının silis esaslı agregalarla üretilen betonlardan daha yüksek olduğu görülmüştür [63].

Üretilen betonun artan sıcaklıklarda yüksek performans göstermesi için uygun agreganın seçimi çok önemlidir. Yüksek sıcaklıklarda beton için bir agrega seçiminde göz önünde bulundurulması gereken ilk kriter, agreganın hem fiziksel hem de kimyasal olarak termal kararlılığıdır. Termal olarak kararlı olan agregaların seçilmesi yalnız başına yeterli bir faktör değildir. Çimento hamuru ile zayıf bir bağ oluşturan termal olarak kararlı (stabil) agregalar veya sıcaklık etkisine dayanıklı olmayan bağ ısınma esnasında betonun zayıflamasına neden olur. Bu nedenle, agregalı çimento hamuru ısıya dayanıklı güçlü bir bağ oluşturmalıdır [1].

Hafif agregalar oluşum ve üretim sürecinde kendileri yüksek sıcaklığa maruz kaldıklarından dolayı kullandıkları malzemelerin yüksek sıcaklık etkisi altındaki hacim genişmesi ve bozulmasına karşı direnç gösterirler. Bu nedenle, hafif agrega kullanılarak üretilen çimento esaslı kompozitlerin ısı dirençleri normal agregalı olanlara kıyasla daha yüksektir [63,64].

Yüksek sıcaklık altında çimento esaslı kompozitlerin davranışı üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Lif katkılı çimento esaslı kompozitler yüksek veya düşük sıcaklıklarda farklı malzeme davranışı göstermektedir.

Durmuş ve Arslan [66], 900°C'ye kadar yüksek sıcaklığa tabi tutulan harç numuneleri su ile ani ve ortam sıcaklığında soğutma şekline tabi tutulmuş yüksek sıcaklığın betonun boşluk yapısına etkisi incelemişlerdir. Boşluk yapısının belirlenmesi için civalı porozimetre cihazının kullanıldığı deneylerde, sıcaklığın

artmasıyla numunelerin içine nüfus eden civa miktarındaki artışı yüksek sıcaklık uygulama neticesinde oluşan mikro ve makro çatlakların artması olarak açıklanmıştır. 300°C’de %2 boşluk oranı değerine sahip olan numuneler C-S-H arayüzünde ki suyun buharlaşması ile 600°C’de %10 boşluk oranı ölçülmüşler, ancak 700°C üstünde su ile soğutulan numunelerin aşırı bozulması sebebiyle mekanik ve fiziksel deneyler yapılamamıştır. Su ile soğutulan numunelerin eğilme ve basınç dayanımlarında havada soğutulan numunelere kıyasla daha düşük sonuçlar elde ettiklerini ifade etmişlerdir.

Topçu ve Demir [67] yaptığı yüksek sıcaklığın harç özelliklerine etkisinin araştırıldığı çalışmada, harç numunelerin arta kalan dayanımlarında 1-3 saat uygulanan yüksek sıcaklığın önemli etkisi olduğu yüksek sıcaklık uygulama süresinin artması ile dayanımda meydana gelen azalmalarının başlangıca göre daha az olduğu sonucuna varmışlardır. Yüksek sıcaklık sonrası hidrat ve kılcal suyun buharlaşması ile birim ağırlıkta düşüşler elde etmişlerdir. Ayrıca sıcaklık sonrası yapıda meydana gelen boşluklu yapılar neticesinde ultrases geçiş hızı değerleri azaldığını ifade etmişlerdir. İki farklı çimento tipinin kullanıldığı çalışmada, Portland Çimentosu CEM I 42.5 R çimentosu ile üretilen ve havada soğutulan numunelerin daha iyi sonuç verdiği belirtmişlerdir.

Çil ve diğ. [6], farklı tip çimentoların yüksek sıcaklık dirençlerinin incelendiği çalışmada, 300-600-900°C sıcaklığa tabi tutulan havada ve buharla kür edilen harç numunelerin 300°C’den sonra dayanımlarında düşüş olduğunu belirtmişlerdir. 900°C’de ki bağıl basınç dayanımları %15 ve altı, bağıl eğilme dayanımları ise %10 azalma olduğu ifade etmişlerdir. İki farklı kür koşulunda, 600°C’ye kadar dayanım kayıplara çimento hamurundaki bozulmaların, 600°C ve üzeri sıcaklıklardaki dayanım kayıpları ise silis esaslı agreganın bozulmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Her iki kür koşulunda ve her sıcaklıkta CEM II/B-P çimentosu ile oluşturulan harçların bazı sıcaklıklardaki bağıl basınç dayanımlarındaki farklılıklar dışında, genellikle katkı çimentoların CEM I 42,5 R çimentosuna kıyasla daha iyi davranış gösterdiği sonucuna varmışlardır.

Kızıllıkanat ve Yüzer [68], yüksek sıcaklığın ve soğutma türünün silis ve kalker agregalı farklı puzolanlar kullanılarak üretilen harçların fiziksel ve mekanik

özelliklerine etkisinin incelendikleri çalışmada, numunelerin sıcaklığa tabi tutulmaları ile meydana gelen renk değişimi ile basınç dayanımı değişimi arasında paralellik gösterdiğini ifade etmişlerdir. Silis esaslı agregaların kullanıldığı numunelerin basınç dayanımında 600°C'den sonra belirgin bir azalma, kalker esaslı agregaların kullanıldığı numunelerde ise 900°C'den sonra dayanımda bir belirgin azalma olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, kalker esaslı agregaya ile üretilen numuneler 900°C'ye kadar ki sıcaklıklarda silis agregaya ile üretilen numunelere göre daha iyi performans gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Sancak ve Şimşek [69], bims agregası ve normal yoğunluklu agregaya ile üretilen silis dumani ve super akışkanlaştırıcı takviyeli taşıyıcı hafif betonların ve normal betonların 20-1000°C'e sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra kalan basınç dayanımları araştırmışlardır. Çalışma sonucunda, normal betonların birim ağırlıklarından %23'e varan oranlarda daha az birim ağırlıkları olan katkılı ve katkısız bims agregalı betonların 800°C ve 1000°C'de ki bağıl basınç dayanım değerleri normal betonlardan daha iyi olduğu ifade etmişlerdir.

Aydın ve Baradan [70] yaptıkları çalışmada; agregaya olarak daha önce yüksek sıcaklığa maruz kalmış pomza kumu ve tuğla kırıkları, bağlayıcı olarak çimento ve uçucu kül kullanılarak agregaya/bağlayıcı oranı 3 olan 4 ana karışım üzerinde yüksek sıcaklık etkisini araştırmışlardır. Karşılaştırma yapmak için doğal kum ve çimento ile de karışım hazırlanmıştır. 28 günlük kür sürecinin tamamlanmasıyla numuneler 600°C'ye kadar ısıtıldıktan sonra 3 saat süreyle bu sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Daha sonra atmosfer koşullarında soğutulan numunelere basınç ve eğilme testleri uygulanmıştır. Testler sonucunda yüksek sıcaklıktan en az oranda etkilenen karışımın pomza kumu içeren uçucu kül/çimento oranı 1 olan karışım olduğunu, en yüksek kalan dayanım değerlerinin ise agregaya olarak %50 Tuğla kırığı + %50 Pomza kumu olan karışım olduğunu ifade etmişlerdir. Yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan harçların eğilme dayanımının basınç dayanımına kıyasla daha fazla etkilendiği belirtilmiştir.

Mahsanlar [57], söndürme türünün ve yüksek sıcaklığın betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkilerinin deneysel olarak araştırıldığı çalışmada, silis esaslı agregalar ve %10 ikameli olarak katılan silis dumani, uçucu kül, cüruf gibi farklı puzolanlar

kullanılarak üretilen beton numuneleri 100, 200, 300, 600, 900 ve 1200°C gibi farklı sıcaklıklara maruz bırakılmış, soğutma işlemi havada ve suda olmak üzere iki grupta gerçekleştirmişlerdir. Oda sıcaklığına kadar soğutulan numunelerde kontrol deneyleri yapılmış, aynı numunelerde rengin bileşenleri olan tür, değer ve doymuşluk, tayfsal ışıkölçer ile sayısal olarak belirlenmişlerdir. Deney sonuçlarına bağlı olarak, yüksek sıcaklık etkisinde kalan betonun basınç dayanımında meydana gelen değişim ile rengin tür bileşeninde meydana gelen değişimin paralellik gösterdiği tespit etmişlerdir. Betonun basınç dayanımı değişimi ile renk değişimi arasında ilişki kurulmuşlar ve bu ilişkiden yararlanılarak yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan yapılarda renk ölçümü yapılarak elemanın maruz kaldığı sıcaklık derecesi ve basınç dayanımında meydana gelen kayıplar hakkında fikir edinilebileceği kanısına varmışlardır.

Tekdemir [71], yüksek sıcaklığın çelik lif katkılı betonlara etkisinin incelendiği çalışmada, 6 saat süreyle 800°C'ye kadar sıcaklığa tabi tutulan beton numunelerinin farklı tel oranlarına ve değişen sıcaklık etkilerine göre basınç dayanımı, elastisite modülleri ve tokluk değerleri karşılaştırmalı olarak araştırmışlardır. Çalışma sonucunda, sıcaklığın artmasıyla basınç dayanımı genel olarak azaldığı gözlenmiştir. Ancak, 50°C sıcaklık uygulanan çelik lif katkılı numunelerin basınç dayanımında artış görüldüğünü, 600°C ila 800°C gibi yüksek sıcaklıklarda ise %1.5 çelik lif oranlı betonların basınç dayanımında önemli bir artış gerçekleştiği gözlemişlerdir. Çelik lif katkılı betonlarda elastisite modülünün değişimi de basınç dayanımı ile paralellik gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Lie ve Kodur [14] yaptıkları çalışmada; ince agrega olarak silis kökenli agregaların, kaba agrega olarak silis ve karbon kökenli agregaların kullanıldığı çelik tel takviyeli betonların yüksek sıcaklık altındaki basınç dayanımı ve deformasyon özellikleri araştırmışlardır. Çelik tel içeren numunelerin basınç dayanımı değerlerinin normal numunelerden daha fazla olduğu, 400°C sıcaklığa kadar çelik tel içeren numunelerin basınç dayanımı artış gösterirken normal numunelerin basınç dayanımında ise sürekli azaldığını ifade etmişlerdir. Çelik telli silis kökenli agregaların kullanıldığı numunelerin termal genleşmesi karbon kökenli agregaların kullanıldığı numunelerden ise daha fazla olduğu belirtmişlerdir.

Akol [72] yaptığı çalışmada; genleştirilmiş vermikülit kullanılarak üretilen, vermikülit/çimento hacimsel oranı 3-6 arasında değişen, birim ağırlıkları 1078–1332 kg/m³, basınç dayanımları 1,5-7 MPa aralığında olan hafif betonların yüksek sıcaklık etkisi altında davranışı araştırmışlardır. 1100°C sıcaklığa kadar tabi tutulan numunelerde sıcaklığın artmasıyla basınç dayanımında ciddi kayıplar meydana gelmiştir. Vermikülit/çimento oranı 3, 4, 5 ve 6 olan numunelerin 1100°C sıcaklık uygulamasından sonraki bağıl basınç dayanımları %0, %4,9, %19,7, %14,1 olarak elde edilmiştir. Vermikülit miktarı artıkça birim ağırlık ve ısı iletkenlik katsayısı azalmıştır. Vermikülit/çimento oranı 3 ve 6 olan numunelerin 900°C sıcaklığa kadar ısı iletkenlik değerleri belirgin bir düşüş gözlemlendiğini ifade etmişlerdir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal ve fiziksel özellikleri, harç karışım oranları, taze ve kuru haldeki harcın fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi için gerçekleştirilen deneysel çalışmalara ve sonuçlarına yer verilmiştir.

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 vermikülit Sivas ili Yıldız Eli ilçesi Demircilik köyünde bulunan vermikülit ocağından elde edilmiş ham vermikülitin 600°C’de 10sn tutularak genleştirilmesiyle elde edilmiştir.

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

Tablo 3.2. Genleştirilmiş Vermikülitin Fiziksel Özellikleri

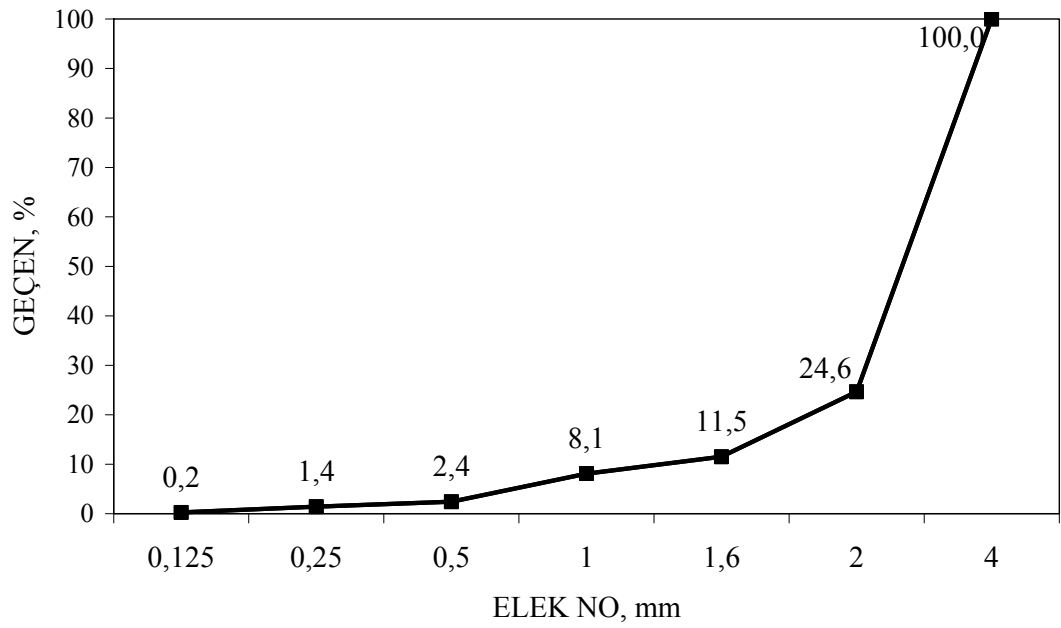
Renk	Altın
Şekil	Akordeon
Su Tutma Kapasitesi	% 240 (ağırlıkca)
	% 28 (hacimsel)
Katyon Değişim Oranı	50 - 150 meg / 100 gr.
Isı İletkenliği	0,065 - 0,062 W/mK
Geçirgenlik	95%
Sinterlenme Noktası	1150 °C - 1250 °C
Ateşe Dayanıklılık	Yanmaz
Spesifik Isı	0,20 - 0,26 Kcal / Kg°C
Sıkışık Birim Hacim Ağırlık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

Tablo 3.3. Genleştirilmiş 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



Şekil 3.1. Çalışmada Kullanılan Vermikülitin Elek Analizinin Grafıksel Gösterimi



Şekil 3.2. Çalışmada Kullanılan Genleştirilmiş Vermikülit



Şekil 3.3. Genleştirilmiş Vermikülitte Su Verilmesi

3.1.3. Çelik Tel

Deneysel çalışmada 6 mm uzunluğunda ve 0.16 mm çapında Micro OL tip çelik tel kullanılmıştır. Çelik tele ait mekanik ve fiziksel özellikler Tablo 3.5’de verilmiştir. Çalışmada kullanılan çelik tel Şekil 3.4’de verilmiştir.

Tablo 3.5. Çalışmada Kullanılan Çelik Telin Mekanik ve Fiziksel Özellikleri

	Uzunluk mm (l)	Çap mm (d)	Narinlik (l/d)	Çekme Dayanımı MPa	Özgül Ağırlık t/m ³
Micro OL	6	0.16	37.5	2000	7.17



Şekil 3.4. Çalışmada Kullanılan Çelik Tel

3.1.4. Karışım Suyu

Çalışmada karışım suyu olarak şebeke suyu kullanılmıştır.

3.2. Harç Üretimi

Çalışmada; vermikülit/çimento hacimsel oranı 4, 6 ve 8 olan harç karışımları üretilmiştir. Bütün karışımlar için karışım öncesinde kullanılacak genişletilmiş vermikülit, harç içerisindeki suyu emmemesi için karışım suyundan alınan 300 gr su ile 1 saat bekletilmiş böylece vermikülitin su emmesi sağlanmıştır. Karışım oranlarında verilen su miktarı vermikülitte önceden verilen su miktarını da kapsamaktadır. Çelik tel içeren karışımlarda, ilk önce çimento ve çelik tel mikserde karıştırılmış ve üzerine vermikülit eklenmiştir. Çelik tel içermeyen karışımlarda çimento ile önceden su emdirilmiş vermikülit karıştırılmıştır. Daha sonra oluşturulan kuru karışım bir dakika ve su ilavesiyle toplamda üç dakika boyunca çimento mikserinde karıştırılmıştır. Üretilen 12 farklı karışım için karışım oranları Tablo 3.6'da verilmektedir. Üretilen harç karışımı örneği Şekil 3.5'de verilmektedir.



Şekil 3.5. Genleştirilmiş Vermikülit Kullanılarak Üretilen Harç

Tablo 3.6. Karışım Oranları

Seri Kodu	V/Ç Oranı (Hacimsel)	Çelik Tel Oranı, % (Hacimsel)	Çimento (kg/m ³)	Vermikülit (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	Çelik Tel kg/m ³
VÇ4-F0	4	0	790	153	540	0
VÇ4-F5	4	0,5	790	153	540	35,9
VÇ4-F10	4	1,0	790	153	540	71,7
VÇ4-F15	4	1,5	790	153	540	107,6
VÇ6-F0	6	0	659	187	557	0
VÇ6-F5	6	0,5	659	187	557	35,9
VÇ6-F10	6	1,0	659	187	557	71,7
VÇ6-F15	6	1,5	659	187	557	107,6
VÇ8-F0	8	0	526	199	569	0
VÇ8-F5	8	0,5	526	199	569	35,9
VÇ8-F10	8	1,0	526	199	569	71,7
VÇ8-F15	8	1,5	526	199	569	107,6

3.2.1. Üretilen Numuneler

Her bir vermikülit/çimento oranı ve çelik tel oranı için 20°C, 300°C, 600°C ve 900°C deneysel sıcaklık değerlerini kapsayacak şekilde 40x40x160 mm boyutlarında standart çimento kalıbında 3 adet numune üretilmiştir. Üretildikten bir gün sonra kalıplardan çıkartılan numuneler 28 gün boyunca 20 ± 3 °C sıcaklıktaki su içerisinde kür edilmiştir. Toplamda 12 farklı seri için 144 adet 40x40x160 mm boyutlarında numune üretilmiştir.

Üretilen numuneler; vermikülit/çimento oranı, çelik tel oranı ve deneysel sıcaklık değerlerine göre kodlanmıştır. Örnek olarak; 4-F5-T6 numunesi; vermikülit/çimento hacimsel oranı 4, çelik tel oranı %0,5 olan 600°C sıcaklığa maruz bırakılacak olan numuneyi ifade etmektedir. Burada çelik tel içermeyen numuneler kontrol numunesi olarak tasarlanmıştır. Üretilen numunelerin sarsma tablası üzerinde kalıba yerleştirilmesi ve taze harcın kalıp içerisindeki hali Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.6. Numunenin Kalıba Yerleştirilmesi



Şekil 3.7. Numunenin Kalıba Yerleştirilmiş Hali

3.2.2. Numunelere Sıcaklık Uygulanması

Kür süresinin tamamlanmasından sonra numuneler; yüksüz olarak 300°C, 600°C ve 900°C'ye kadar ısınma hızı 8 ± 4 °C/dk olan yüksek sıcaklık fırınında 6 saat süreyle sıcaklığa tabi tutulmuştur. Yüksek sıcaklık uygulama süresinin sonunda numunelerin ani sıcaklık değişimlerinden etkilenmemesi için fırın sıcaklığı oda sıcaklığına ulaşana kadar fırın kapağı kapalı olarak soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra numunelerin ultrases geçiş hızları, eğilme ve basınç dayanımları belirlenmiştir. Sıcaklığa tabi tutulacak numunelerin fırındaki yerleşimi Şekil 3.8'de ve sıcaklığa tabi tutulduktan sonraki durumları ise Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da verilmektedir.



Şekil 3.8. Numunelerin Fırına Konulması



Şekil 3.9. Sıcaklığa Maruz Bırakılmış Numuneler



Şekil 3.10. 900°C Sıcaklık Sonrası Çelik Tel İçermeyen Numuneler

3.3. Harç Deneyleri

3.3.1. Taze Harç Deneyleri

3.3.1.1. Birim Ağırlık Deneyi

Üretilen harç numuneleri üzerinde birim ağırlık deneyi yapılmıştır. Farklı vermikülit/çimento oranları ve çelik tel içerikleri için taze harç birim hacim ağırlıkları Tablo 3.7’de verilmektedir.

3.1.1.2. Yayılma Tablası Deneyi

Üretilen harç karışımları taze haldeyken TS EN 1015-3’e uygun olarak yayılma tablası ölçümleri yapılmıştır. Farklı vermikülit/çimento oranları ve çelik tel içerikleri için yayılma deney sonuçları Tablo 3.7’de verilmektedir. Yayılma deneyi düzeneği Şekil 3.11’de verilmektedir.



Şekil 3.11. Yayılma Deneyi Düzeneği

Tablo 3.7. Taze Harçlara ait Birim Hacim Ağırlık ve Yayılma Deney Sonuçları

V/Ç Oranı*	Seri Kodu	Çelik Tel Oranı* (%)	Çimento (kg/m ³)	Vermikülit (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	Çelik Tel (kg/m ³)	Taze Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Yayılma (mm)
4	VÇ4-F0	0	790	153	540	0	1437	136
	VÇ4-F5	0,5	790	153	540	35,9	1497	131
	VÇ4-F10	1,0	790	153	540	71,7	1530	123
	VÇ4-F15	1,5	790	153	540	107,6	1583	114
6	VÇ6-F0	0	659	187	557	0	1410	140
	VÇ6-F5	0,5	659	187	557	35,9	1479	132
	VÇ6-F10	1,0	659	187	557	71,7	1513	125
	VÇ6-F15	1,5	659	187	557	107,6	1527	117
8	VÇ8-F0	0	526	199	569	0	1297	145
	VÇ8-F5	0,5	526	199	569	35,9	1325	136
	VÇ8-F10	1,0	526	199	569	71,7	1357	127
	VÇ8-F15	1,5	526	199	569	107,6	1427	120

*Hacimsel Oran

3.3.2. Sertleşmiş Harç Deneyleri

3.3.2.1. Kuru Birim Hacim Ağırlık, Su Emme ve Porozite Deneyleri

Çalışmada, 12 farklı karışıma ait 3 adet 40x40x160 mm boyutlarındaki numunelerin suya doygun ağırlığı ve 24 saat süreyle 105 °C’de etüv içerisinde kalmasından sonraki ağırlığı belirlenmiştir. Ayrıca, Arşimed yöntemiyle su içinde tartılarak gerçek hacimleri hesaplanan numunelerin birim hacim ağırlıkları, su emme ve gözeneklilik (porozite) değerleri 3.1, 3.2, ve 3.3 eşitliği ile hesaplanmıştır.

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

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

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

Burada,

BHA : Birim hacim ağırlık

P : Porozite

A : Su emme

W₀ : Etüv kuru ağırlık

W₁ : Suyu doymuş havadaki ağırlık

W₂ : Su içerisindeki ağırlık

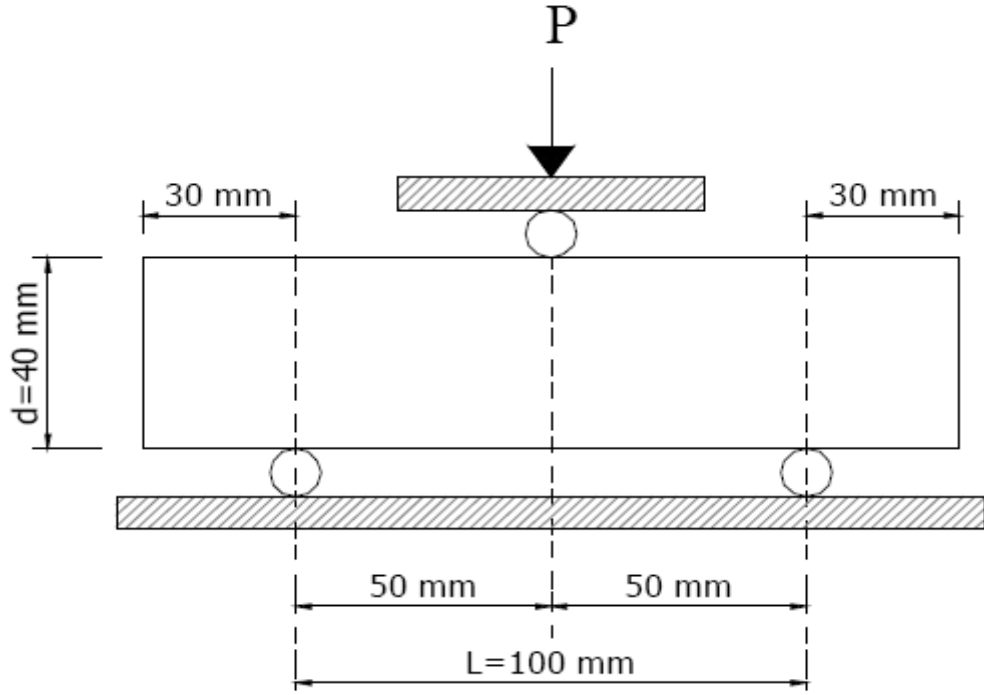
olarak ifade edilmektedir. Farklı vermikülit/çimento oranları ve çelik tel içerikleri için kuru birim ağırlık, porozite ve su emme deney sonuçları Tablo 3.8'de verilmektedir.

Tablo 3.8. Sertleşmiş Harçlara ait Kuru Birim Hacim Ağırlık, Porozite ve Su Emme Deney Sonuçları

V/Ç Oranı	Çelik Tel Oranı (%)	Çimento (kg/m ³)	Vermikülit (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	Çelik Tel (kg/m ³)	Kuru Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Porozite %	Su Emme %
4	0	790	153	540	0	1036	34,7	33,5
	0,5	790	153	540	35,9	1156	33,1	28,6
	1,0	790	153	540	71,7	1181	34,7	29,4
	1,5	790	153	540	107,6	1281	34,3	26,8
6	0	659	187	557	0	914	37,3	35,1
	0,5	659	187	557	35,9	1024	39,5	37,3
	1,0	659	187	557	71,7	1076	41,5	38,5
	1,5	659	187	557	107,6	1086	38,4	35,3
8	0	526	199	569	0	795	41	37,2
	0,5	526	199	569	35,9	850	42,7	40,2
	1,0	526	199	569	71,7	904	43,3	42,1
	1,5	526	199	569	107,6	973	43,3	41,1

3.3.2.2. Eğilme Dayanımı

Üretildikten sonra 28 gün boyunca 20 ± 3 sıcaklıkta su içerisinde küre tabii tutulan $40 \times 40 \times 160$ mm boyutlu prizmatik sertleşmiş harç numuneler oda sıcaklığında ve 6 saat süreyle 300°C , 600°C ve 900°C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Fırından çıkarılan numuneler oda sıcaklığına kadar soğumaya bırakılmış ve daha sonra eğilme dayanımı deneyine tabi tutulmuştur.



Şekil 3.12. Eğilme Deneyi (TS EN 1015-11)

Harç numunelerin belirtilen sıcaklık değerlerindeki eğilme dayanımının bulunması için üç adet prizmatik numune TS EN 1015-11'e uygun olarak üç noktadan yükleme deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 3.12). Numuneler açıklığı 100 mm olan mesnet üzerine oturtulmuş ve numunenin üst yüzeyinin orta noktasından ortalama 50 N/s yükleme hızında deney gerçekleştirilmiştir. Eğilme dayanımı deney düzeneği Şekil 3.13'de verilmektedir.



Şekil 3.13. Eğilme Dayanımı Deney Düzeneği

Elde edilen kırılma yükü değeri ile harç numunelerin eğilme dayanımları aşağıdaki formülle hesaplanmıştır:

$$\sigma_e = \frac{1.5PL}{bd^2} \quad (3.3)$$

Burada;

P : Uygulanan kuvvet (N)

L : Mesnetler arası uzaklık (100 mm)

b : Numune kesitinin kısa kenar uzunluğu (40 mm)

d : Numune kesitinin yüksekliği (40 mm)

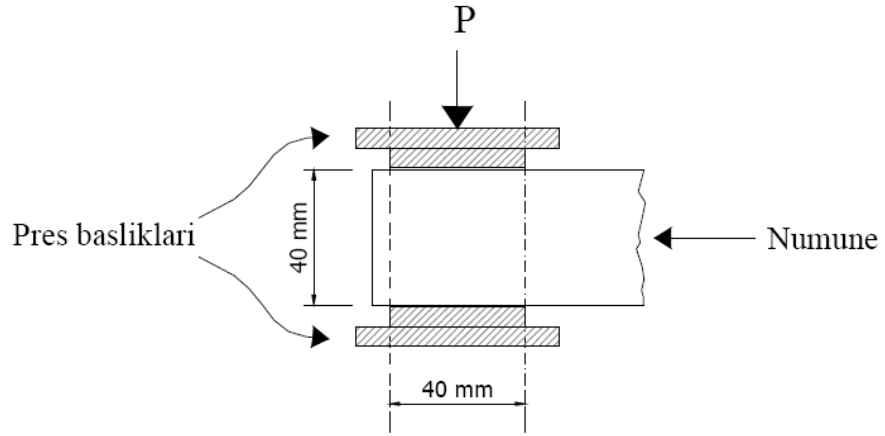
σ_e : Eğilme dayanımı, MPa

ifade etmektedir.

Vermikülit/çimento oranı 4, 6 ve 8 olan, farklı çelik tel içeriklerinde ve farklı sıcaklıklara maruz bırakılmış numunelerin eğilme dayanımı deney sonuçları sırasıyla Tablo 3.9–3.11’de verilmektedir.

3.3.2.3. Basınç Dayanımı

Eğilme dayanımına tabi tutulan 3 adet prizmatik numunenin yaklaşık olarak ortasından kırılmasıyla elde edilen 6 adet prizma şekilli numuneler basınç dayanımının belirlenmesi için kullanılmıştır. Her bir yarım prizma numunesi kırık yüzeyi yana gelecek şekilde 40x40 mm boyutlarındaki metal pres başlıklarına yerleştirilmiş ve TS EN 1015-11'e uygun olarak yüklemeye tabi tutulmuştur. Kırma başlıkları arasındaki prizma 40x40x40 mm boyutlarında bir küp görevi görmektedir (Şekil 3.14). Deney düzeneği ise Şekil 3.15'de verilmiştir.



Şekil 3.14. Basınç Dayanımı Deneyi (TS EN 1015-11)



Şekil 3.15. Basınç Dayanımı Deney Düzeneği

Bu şekilde yüklemeye tabi tutulan numunelerin basınç dayanımları aşağıdaki formül yardımı ile hesaplanmıştır;

$$\sigma_b = \frac{P}{A} \quad (3.4)$$

Burada,

P : Uygulanan kuvvet (N)

A : Kesit Alanı (1600 mm²)

σ_b : Basınç Dayanımı, MPa

ifade etmektedir.

Vermikülit/çimento oranı 4, 6 ve 8 olan, farklı çelik tel içeriklerinde ve farklı sıcaklıklara maruz bırakılmış numunelerin basınç dayanımı deney sonuçları sırasıyla Tablo 3.9–3.11’de verilmektedir.

3.3.2.4 Ultrases Geçiş Hızlarının Belirlenmesi

Sıcaklık öncesi ve sıcaklık sonrası olmak üzere bütün numunelerde TS EN 12504-4’e uygun olarak 0,1 µs duyarlıklı ultrases aleti ile ses geçiş süreleri, t (µs) ölçülmüştür. Ses geçiş sürelerinin ölçülmesinde pürüzlerin oluşturduğu boşlukları doldurmak amacı ile prizma numunelerin yan yüzeylerine vazelin sürülmüş 55 kHz’lik ses dalgaları gönderen ve alan iki transduser Şekil 3.16’da görüldüğü gibi numunenin yan yüzeylerine yerleştirilmiş, direkt iletim yöntemi uygulanarak ses geçiş süreleri okunmuştur. Transduserler yer değiştirilerek iki okuma yapılmış ve her numune için ses geçiş hızı (V_s , km/sn) elde edilen iki okumanın ortalamasının denklem 3.5 yerine konulmasıyla hesaplanmıştır.

$$V_s = \frac{l}{t} \quad (3.5)$$

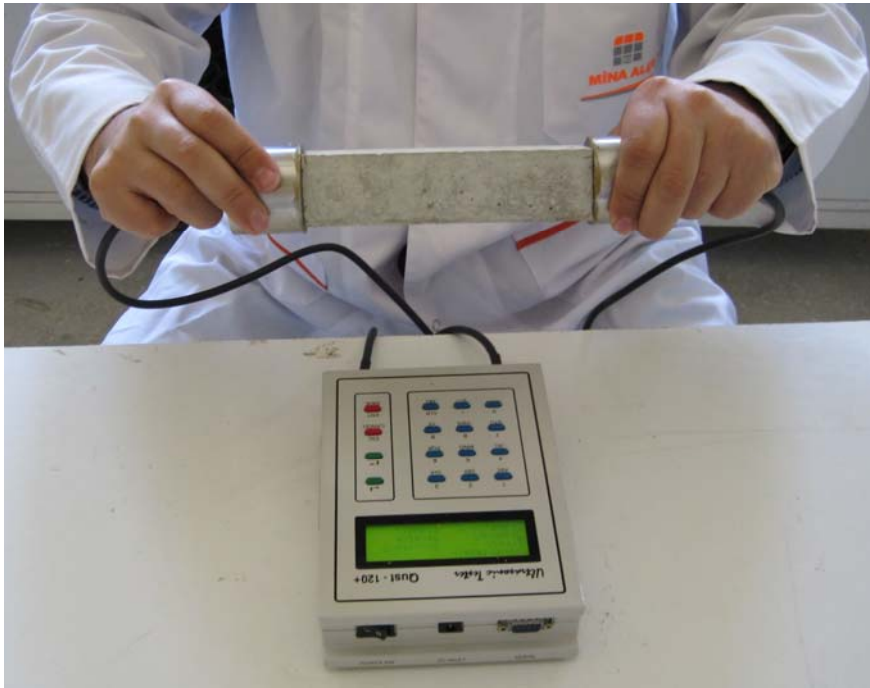
Burada,

V_s : Ultrases geçiş hızını (km/sn)

l : İki tranduser arası mesafeyi (160 mm)

t : Ultrases geçiş hızını (μ s)

ifade etmektedir.



Şekil 3.16. Ultrasonik Yöntem ile Ses Geçiş Süresinin Belirlenmesi

Her bir seriye ait ultrases geçiş hızı değeri 3 adet prizma numunenin ultrases geçiş hızı değerinin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Vermikülit/imento oranı 4, 6 ve 8 olan, farklı elik tel içeriklerinde ve farklı sıcaklıklara maruz bırakılmış numunelerin ultrases geçiş hızı deney sonuçları sırasıyla Tablo 3.9–3.11’da verilmektedir.

Tablo 3.9. Vermikülit/Çimento Oranı 4 Olan Numunelerin Deney Sonuçları

V/Ç Oranı (Hacimsel)	Çelik Tel Oranı %	Sıcaklık °C	Ultrases Geçiş Hızı km/sn	Eğilme Dayanımı MPa	Basınç Dayanımı MPa
4	0	20	2,51	2,58	12,66
		300	2,34	2,88	9,93
		600	2,10	2,64	8,45
		900	1,93	1,64	3,43
	0,5	20	2,35	3,38	12,79
		300	2,23	3,31	10,28
		600	2,13	3,34	9,76
		900	1,56	1,88	3,72
	1,0	20	2,10	4,93	13,13
		300	1,98	3,86	11,11
		600	1,63	2,91	10,91
		900	1,19	2,77	4,17
	1,5	20	2,41	6,19	14,99
		300	2,34	5,14	12,24
		600	2,06	4,59	10,13
		900	1,92	3,87	4,29

Tablo 3.10. Vermikülit/Çimento Oranı 6 Olan Numunelerin Deney Sonuçları

V/Ç Oranı (Hacimsel)	Çelik Tel Oranı %	Sıcaklık °C	Ultrases Geçiş Hızı km/sn	Eğilme Dayanımı MPa	Basınç Dayanımı MPa
6	0	20	2,28	3,13	9,17
		300	2,19	2,73	7,31
		600	2,08	2,89	7,11
		900	1,80	1,80	5,42
	0,5	20	2,30	4,14	11,11
		300	2,21	3,76	8,32
		600	2,09	3,95	8,05
		900	2,00	2,45	6,19
	1,0	20	2,18	4,52	10,04
		300	2,10	4,35	9,43
		600	1,99	3,73	7,93
		900	1,74	3,00	6,47
	1,5	20	2,34	4,95	10,82
		300	2,26	4,53	9,60
		600	1,98	3,80	7,29
		900	1,87	3,21	7,54

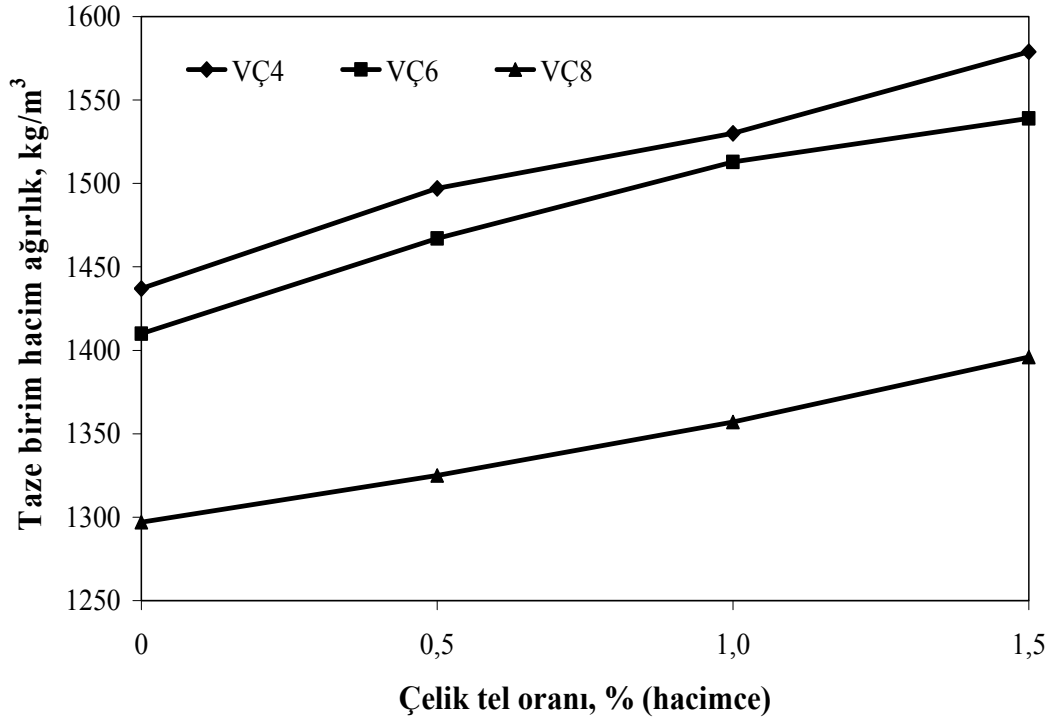
Tablo 3.11. Vermikülit/Çimento Oranı 8 Olan Numunelerin Deney Sonuçları

V/Ç Oranı (Hacimsel)	Çelik Tel Oranı %	Sıcaklık °C	Ultrases Geçiş Hızı km/sn	Eğilme Dayanımı MPa	Basınç Dayanımı MPa
8	0	20	2,12	2,59	6,08
		300	2,04	2,25	4,93
		600	1,98	2,98	5,53
		900	1,68	1,02	3,43
	0,5	20	2,14	3,02	6,48
		300	2,08	2,69	5,05
		600	1,89	3,21	6,26
		900	1,85	1,65	3,72
	1,0	20	1,91	3,51	7,65
		300	1,87	2,78	5,54
		600	1,69	2,61	4,67
		900	1,61	2,12	4,17
	1,5	20	2,06	4,02	7,53
		300	2,03	2,93	5,70
		600	1,70	2,63	5,11
		900	1,66	2,52	4,29

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

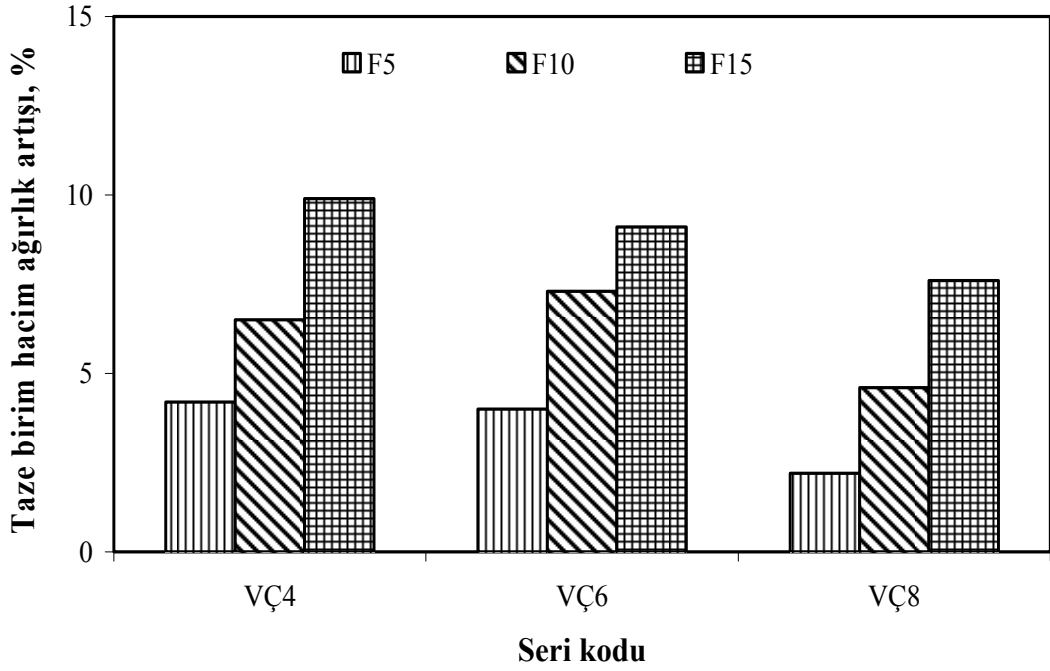
4.1. Taze Harç Deneyleri

Bu bölümde, çelik tel ilave edilmesinin taze harçların kıvam ve birim ağırlık üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Çelik tel içeriği artıkça harçların işlenebilirliğinin belirgin şekilde azaldığı, buna karşılık taze birim hacim ağırlıklarının arttığı gözlenmiştir. Çelik tel içeriğine bağlı taze birim ağırlık değişimi grafiksel olarak Şekil 4.1’de ve çelik tel içeren harçların çelik tel içermeyen harçalara kıyasla taze birim hacim ağırlıktaki artış Şekil 4.2’de verilmektedir.



Şekil 4.1. Taze Birim Hacim Ağırlığın Çelik Tel İçeriğine Bağlı Değişimi

Vermikülit/çimento oranı 4 olan ve çelik tel içermeyen harçların taze birim hacim ağırlığı 1437 kg/m^3 , hacimce %0,5, %1,0 ve %1,5 çelik tel içeren harçların taze birim hacim ağırlıkları ise sırasıyla 1497 kg/m^3 , 1530 kg/m^3 ve 1579 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0,5, %1,0 ve %1,5 çelik tel içeren numunelerin taze birim ağırlıklarında çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %4,2, %6,5 ve %9,9 artış elde edilmiştir.



Şekil 4.2. Çelik Tel İçermeyen Numunelere Kıyasla Üretilen Harçların Taze Birim Hacim Ağırlığı Artışı

Vermikülit/çimento oranı 6 olan ve çelik tel içermeyen harçların taze birim hacim ağırlığı 1410 kg/m^3 , hacimce %0,5, %1,0 ve %1,5 çelik tel içeren harçların taze birim hacim ağırlıkları ise sırasıyla 1467 kg/m^3 , 1513 kg/m^3 ve 1539 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0,5, %1,0 ve %1,5 çelik tel içeren numunelerin taze birim ağırlıklarında çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %4,0 %7,3, %9,1 artış elde edilmiştir.

Vermikülit/çimento oranı 8 olan ve çelik tel içermeyen harçların birim taze hacim ağırlığı 1297 kg/m^3 , hacimce %0,5, %1,0 ve %1,5 çelik tel içeren harçların taze birim hacim ağırlıkları ise sırasıyla 1325 kg/m^3 , 1357 kg/m^3 , 1396 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0,5, %1,0, %1,5 çelik tel içeren numunelerin taze birim ağırlıklarında çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %2,2 %4,6, %7,6 artış elde edilmiştir.

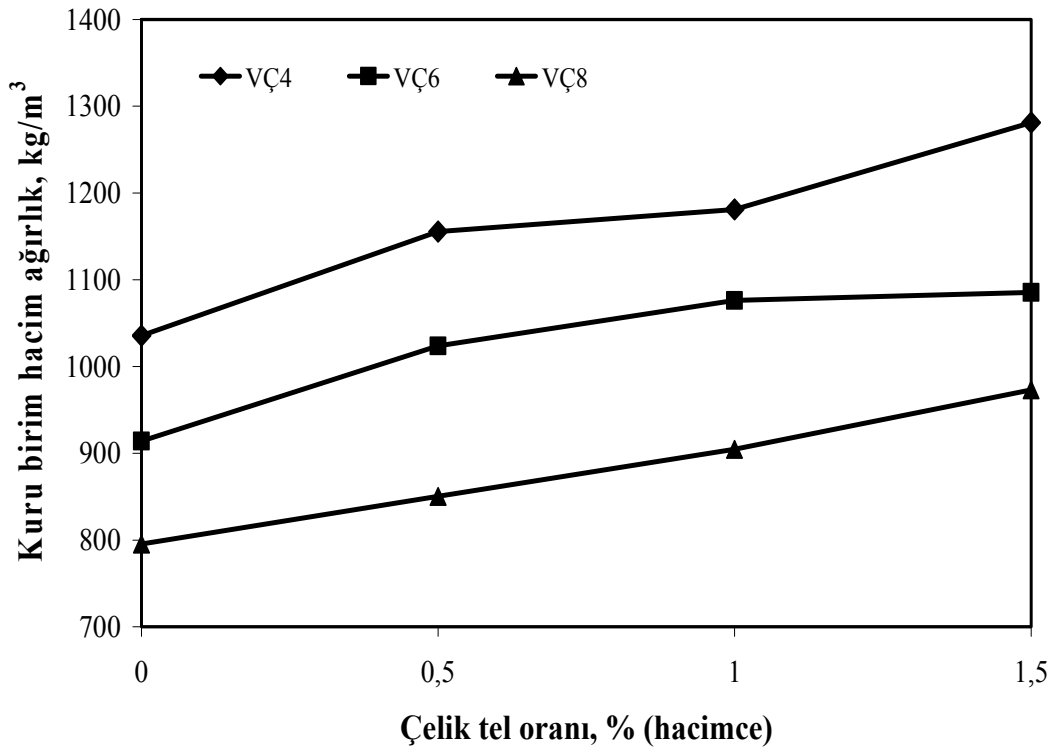
Vermikülit/çimento hacimsel oranlarına göre üretilen harçların taze birim hacim ağırlıklarında, en fazla çimento miktarı veya en az genişletilmiş vermikülit miktarı

içeren vermikülit/çimento oranı 4 olan VÇ4 serisinin taze birim ağırlık değerleri bütün çelik tel içeriklerinde en yüksek değerleri almıştır. Vermikülit miktarı en fazla veya çimento miktarı en az olan vermikülit/çimento oranı 8 olan VÇ8 serisinin taze birim ağırlık değerleri bütün çelik tel oranlarında en düşük değerleri almıştır. Karışımlarda geliştirilmiş vermikülit miktarının artmasıyla taze birim hacim ağırlık belirgin şekilde azalmıştır. Bunu nedeni geliştirilmiş vermikülitin birim hacim ağırlığının oldukça düşük olmasıdır.

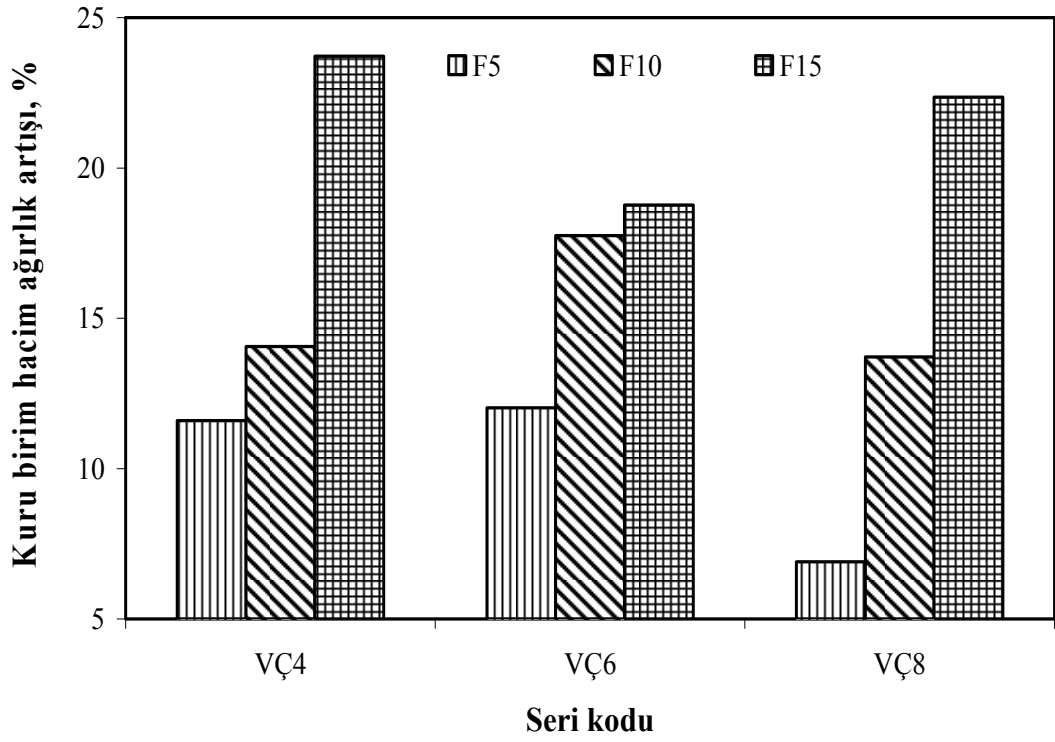
4.2. Sertleşmiş Harç Deneyleri

4.2.1. Kuru Birim Ağırlık, Su emme ve Porozite

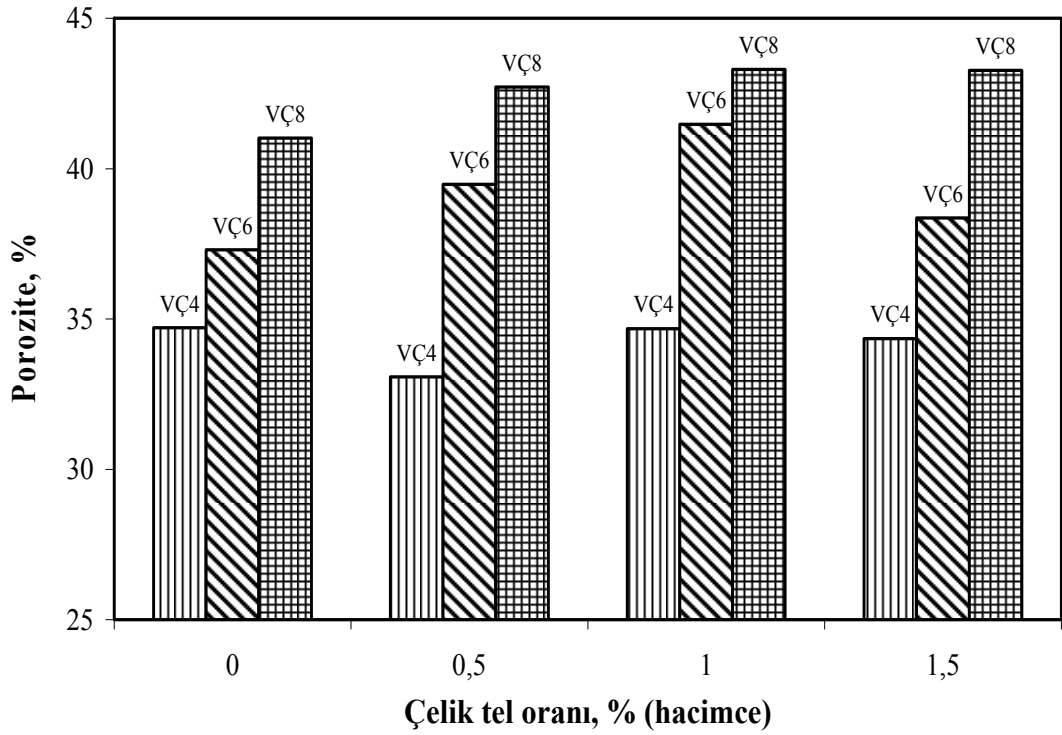
Üretilen numunelerin kuru birim ağırlıklarının grafiksel gösterimi ve çelik tel içeriğine bağlı kuru birim hacim ağırlıklarındaki değişimler sırasıyla Şekil 4.3 ve 4.4'de, su emme ve porozite değişimleri ise sırasıyla Şekil 4.5 ve 4.6'da verilmektedir.



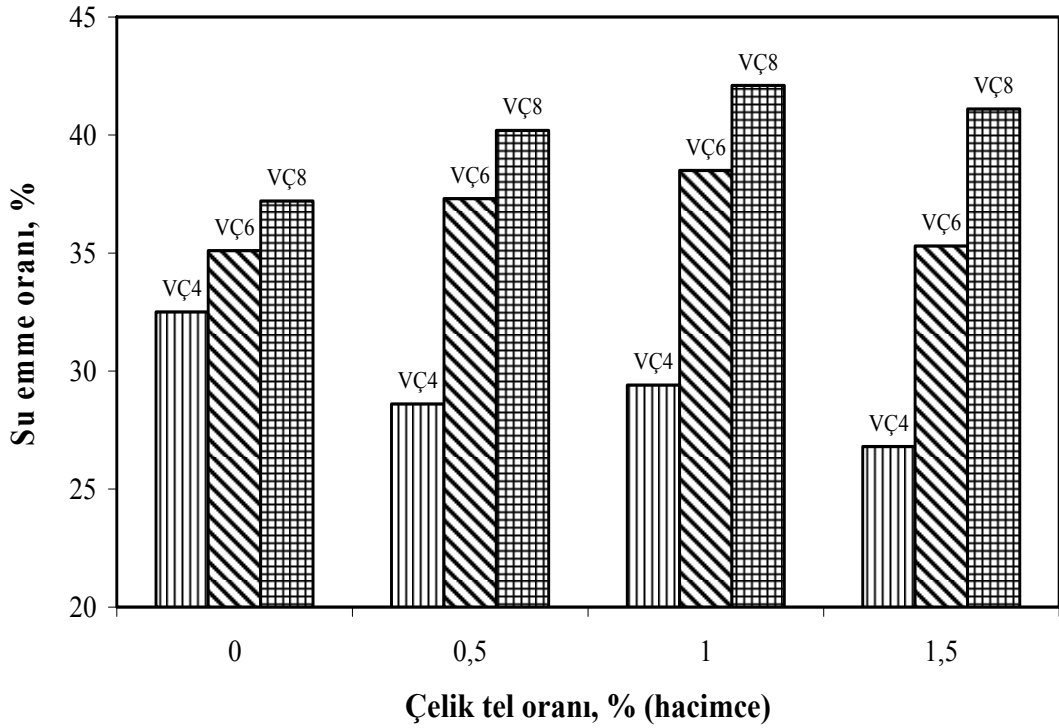
Şekil 4.3. Kuru Birim Ağırlığın Çelik Tel İçeriğine Bağlı Değişimi



Şekil 4.4. Çelik Tel İçermeyen Numunelere Kıyasla Üretilen Harçların Kuru Birim Hacim Ağırlığı Değişimi



Şekil 4.5. Porozitenin Çelik Tel İçeriğine Bağlı Değişimi



Şekil 4.6. Su Emme miktarının çelik tel içeriğine bağlı değişimi

Vermikülit/çimento oranı 4 olan ve çelik tel içermeyen harçların kuru birim hacim ağırlığı 1036 kg/m^3 , %0,5, %1,0, %1,5 oranlarında çelik tel içeren harçların kuru birim hacim ağırlıkları ise sırasıyla 1156 kg/m^3 , 1181 kg/m^3 , 1281 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0,5, %1,0, %1,5 oranlarında çelik tel içeren numunelerin kuru birim ağırlıklarında çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %11,6, %14,1, %23,7 artış elde edilmiştir. Bu serideki harçlara hacimce %0, %0,5, %1,0, %1,5 oranlarında çelik tel ilave edilmesi ile poroziteleri sırasıyla %34,7, %33,1, %34,7, %34,3 ve su emme oranları ise sırasıyla %32,5, %28,6, %29,4, %26,8 olarak belirlenmiştir.

Vermikülit/çimento oranı 6 olan ve çelik tel içermeyen harçların kuru birim hacim ağırlığı 914 kg/m^3 , hacimce %0,5, %1,0 ve %1,5 çelik tel içeren harçların kuru birim hacim ağırlıkları ise sırasıyla 1024 kg/m^3 , 1076 kg/m^3 , 1086 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0,5, %1,0, %1,5 çelik tel içeren numunelerin kuru birim hacim ağırlıklarında çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %12,0, %17,7, %18,8 artış elde edilmiştir. Bu serideki harçlara hacimce

%0, %0,5, %1,0, %1,5 oranlarında çelik tel ilave edilmesi ile poroziteleri sırasıyla %37,3, %39,5, %41,5, %38,4 ve su emme oranları ise sırasıyla %35,1, %37,3, %38,5, %35,3 olarak belirlenmiştir.

Vermikülit/çimento oranı 8 olan ve çelik tel içermeyen harçların kuru birim hacim ağırlığı 795 kg/m^3 , hacimce %0,5, %1,0 ve %1,5 çelik tel içeren harçların kuru birim ağırlık değerleri ise sırasıyla 850 kg/m^3 , 904 kg/m^3 ve 973 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0,5, %1,0, %1,5 çelik tel içeren numunelerin kuru birim hacim ağırlıklarında çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %6,9, %13,7, %22,4 artış elde edilmiştir. Bu serideki harçlara %0, %0,5, %1,0, %1,5 oranlarında çelik tel ilave edilmesi ile poroziteleri sırasıyla %41,0, %42,7, %43,3, %43,3 ve su emme oranları ise %37,2, %40,2, %42,1, %41,1 olarak belirlenmiştir.

Vermikülit/çimento hacimsel oranlarına göre üretilen harçların kuru birim hacim ağırlıklarında, en fazla çimento miktarı veya en az geniştirilmiş vermikülit miktarı içeren vermikülit/çimento oranı 4 olan VÇ4 serisinin kuru birim ağırlık değerleri bütün çelik tel içeriklerinde en yüksek değerleri almıştır. Vermikülit miktarı en fazla veya çimento miktarı en az olan vermikülit/çimento hacimsel oranı 8 olan VÇ8 serisinin kuru birim ağırlık değerleri bütün çelik tel oranlarında en düşük değerleri almıştır. Karışımlarda geniştirilmiş vermikülit miktarının artmasıyla kuru birim hacim ağırlık belirgin şekilde azalmıştır.

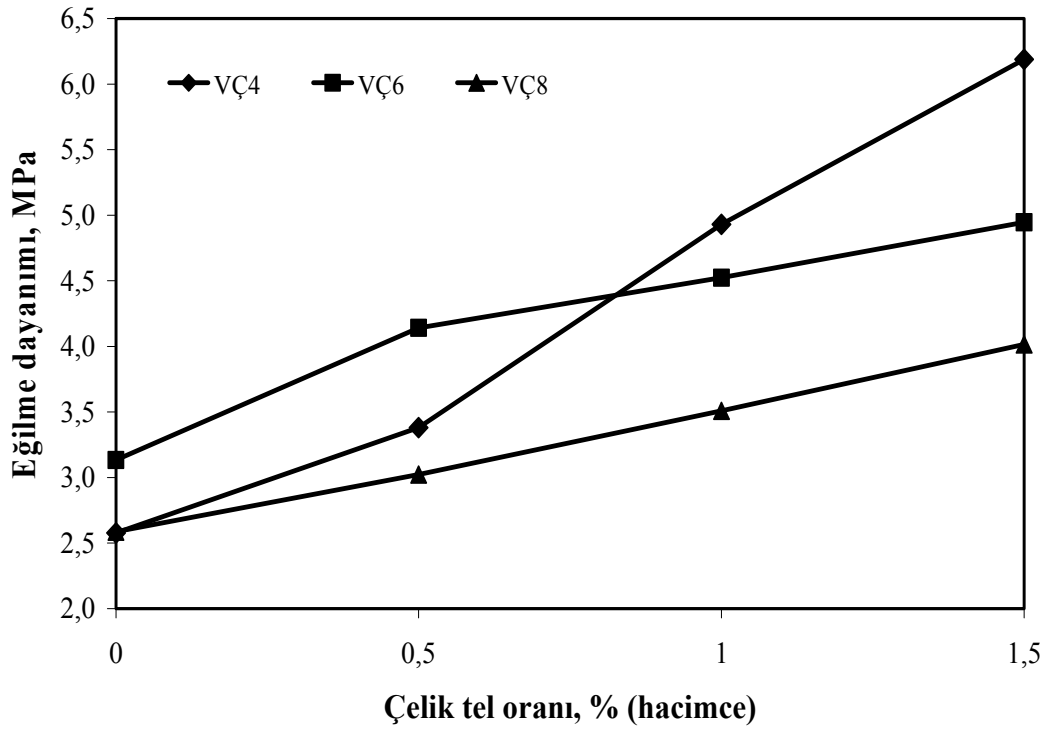
4.2.2. Eğilme Dayanımı

Üretilen harç numunelerin, 20°C , 300°C , 600°C ve 900°C sıcaklığa tabi tutulduktan sonraki eğilme dayanımı sonuçları Tablo 4.1'de verilmiştir. Harç numunelerin eğilme dayanımlarının 20°C sıcaklıkta çelik tel içeriğine bağlı değişimi Şekil 4.7'de ve dayanımlardaki % değişimler ise Şekil 4.8'de verilmektedir.

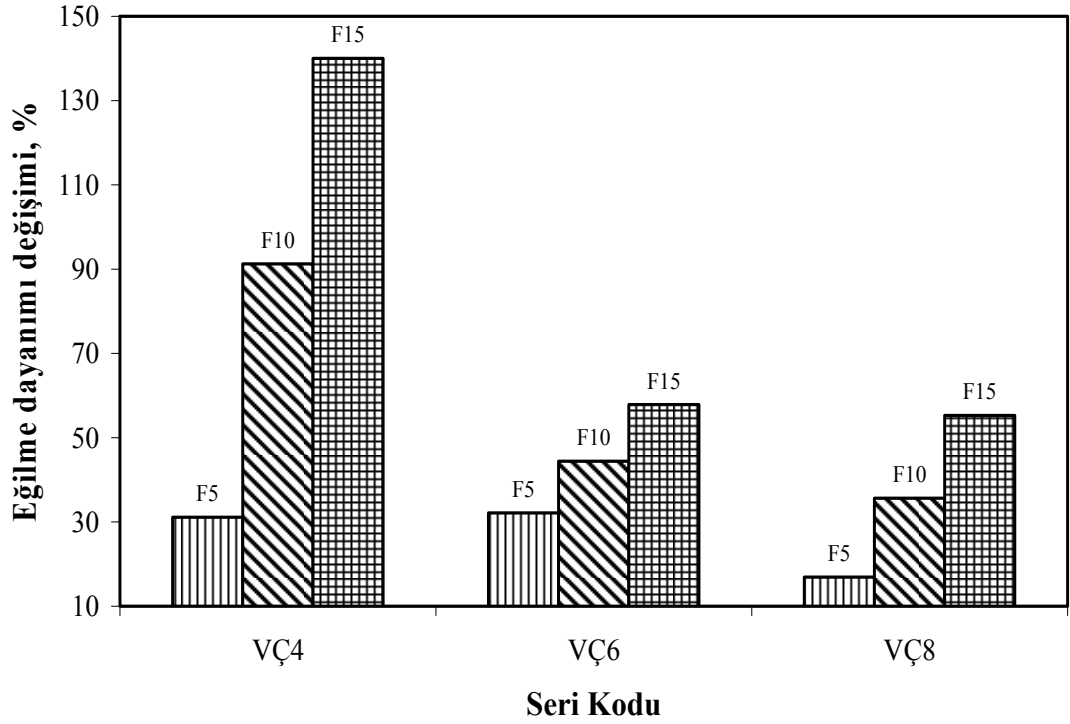
Vermikülit/çimento oranı 4 olan numunelerin 20°C sıcaklıktaki eğilme dayanımları %0, %0,5, %1,0 ve %1,5 çelik tel oranları için sırasıyla 2,58 MPa, 3,38 MPa, 4,93 MPa ve 6,19 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0,5, %1,0, %1,5 oranlarında çelik tel içeren numunelerin eğilme dayanımlarında çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %31,1, %91,2, %140,0 artış elde edilmiştir.

Tablo 4.1. Eğilme Dayanımı Sonuçları

V/Ç Oranı	Çelik Tel İçeriği %	Seri Kodu	Eğilme Dayanımı, MPa			
			Sıcaklık			
			20 °C	300 °C	600 °C	900 °C
4	0	VÇ4-F0	2,58	2,88	2,64	1,64
	0,5	VÇ4-F5	3,38	3,31	3,34	1,88
	1,0	VÇ4-F10	4,93	3,85	2,91	2,77
	1,5	VÇ4-F15	6,19	5,14	4,59	3,87
6	0	VÇ6-F0	3,13	2,73	2,89	1,80
	0,5	VÇ6-F5	4,14	3,76	3,95	2,45
	1,0	VÇ6-F10	4,52	4,35	3,73	3,00
	1,5	VÇ6-F15	4,95	4,53	3,80	3,21
8	0	VÇ8-F0	2,59	2,25	2,98	1,02
	0,5	VÇ8-F5	3,02	2,69	3,21	1,65
	1,0	VÇ8-F10	3,51	2,78	2,61	2,12
	1,5	VÇ8-F15	4,02	2,93	2,63	2,52



Şekil 4.7. 20°C Sıcaklıktaki Harçların Eğilme Dayanımlarının Çelik Tel İçeriğine Bağlı Değişimi



Şekil 4.8. Çelik Tel İçeren Harçların Eğilme Dayanımının Çelik Tel İçermeyen Harçlara Kıyasla % Değişimi (20°C).

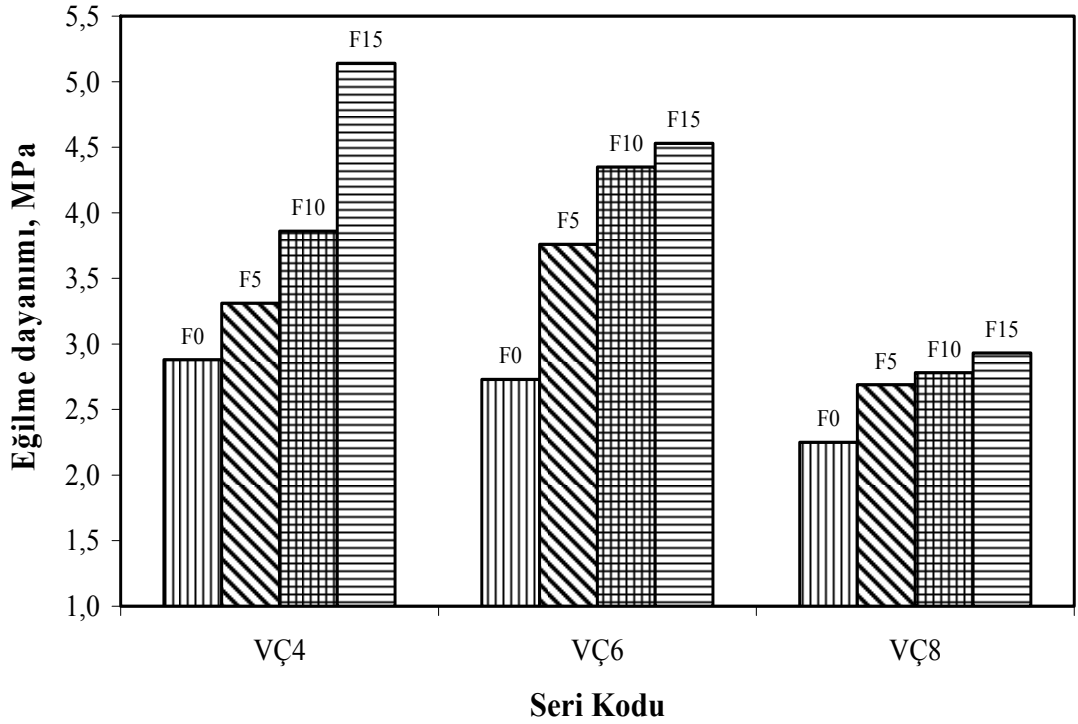
Vermikülit/çimento oranı 6 olan numunelerin 20°C sıcaklıktaki eğilme dayanımları %0, %0,5, %1,0 ve %1,5 çelik tel oranları için sırasıyla 3,13 MPa, 4,14 MPa, 4,52 MPa ve 4,95 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0,5, %1,0, %1,5 çelik tel içeren numunelerin eğilme dayanımlarında çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %32,2, %44,4, %57,9 artış elde edilmiştir.

Vermikülit/çimento oranı 8 olan numunelerin 20°C sıcaklıktaki eğilme dayanımları %0, %0,5, %1,0 ve %1,5 çelik tel oranları için sırasıyla 2,59 MPa, 3,02 MPa, 3,51 MPa ve 4,02 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0,5, %1,0, %1,5 çelik tel içeren numunelerin eğilme dayanımlarında çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %16,9, %35,6, %55,3 artış elde edilmiştir.

20°C sıcaklıktaki sıcaklıkta çelik tel içermeyen numunelerin eğilme dayanımları vermikülit/çimento oranı 4, 6 ve 8 için sırasıyla 2,58 MPa, 3,13 MPa, 2,59 MPa olarak belirlenmiştir. Eğilme dayanımı en az olan numuneler vermikülit/çimento oranı 8 olan harçlara ait numunelerdir. Vermikülit/çimento oranı 6 olan çelik tel içermeyen numunelerin ve %0,5 çelik tel içeren numunelerin eğilme dayanımları,

vermikülit/çimento oranı 4 olan numunelerin eğilme dayanımından fazla olmasına rağmen çelik tel içeriği %1,0 ve %1,5 için vermikülit/çimento hacimsel oranı 4 olan numunelerin eğilme dayanımları daha fazladır.

300°C sıcaklıktaki harçların eğilme dayanımlarının çelik tel içeriğine bağlı değişimi Şekil 4.9'da ve dayanımlardaki % değişimler ise Şekil 4.10'de verilmektedir.

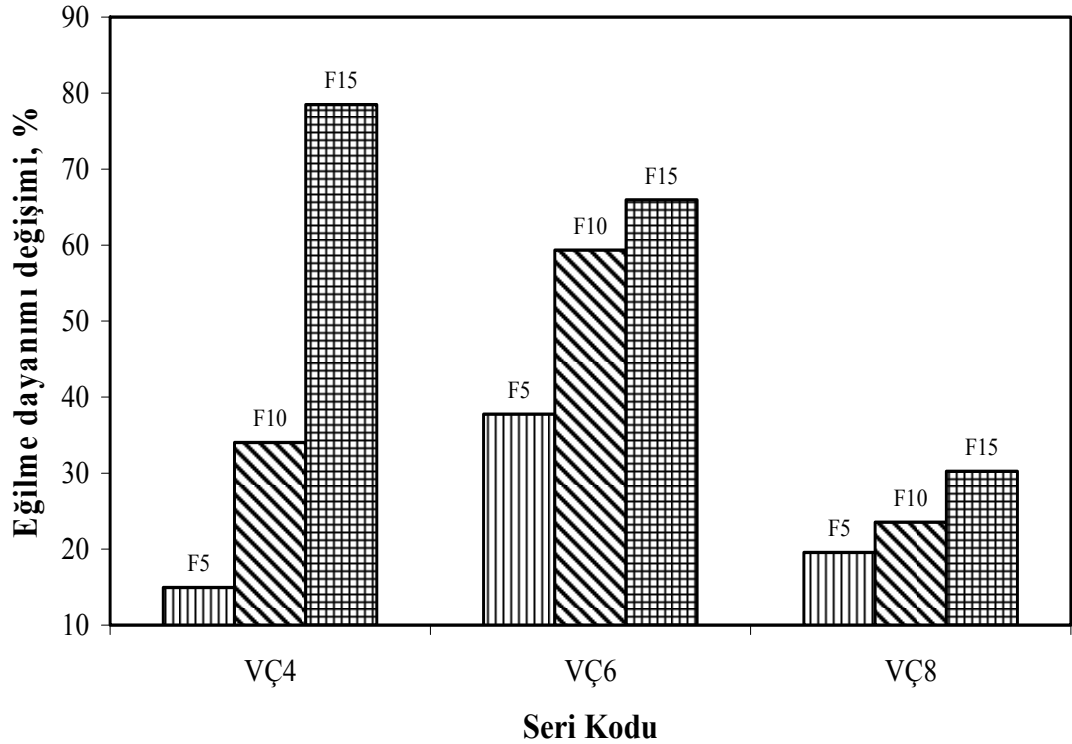


Şekil 4.9. 300°C Sıcaklıktaki Harçların Eğilme Dayanımlarının Çelik Tel İçeriğine Bağlı Değişimi

300°C sıcaklığa tabi tutulan vermikülit/çimento oranı 4 olan ve çelik tel içermeyen numunelerin eğilme dayanımı 2,88 MPa, hacimce %0,5, %1,0 ve %1,5 çelik içeriklerinde ise sırasıyla 3,31 MPa, 3,85 MPa, 5,14 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0,5, %1,0, %1,5 çelik tel içeren numunelerin eğilme dayanımlarında çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %14,9, %34,0, %78,5 artış elde edilmiştir.

300°C sıcaklığa tabi tutulan vermikülit/çimento oranı 6 olan ve çelik tel içermeyen numunelerin eğilme dayanımı 2,73 MPa, %0,5, %1,0 ve %1,5 çelik tel içeriklerinde

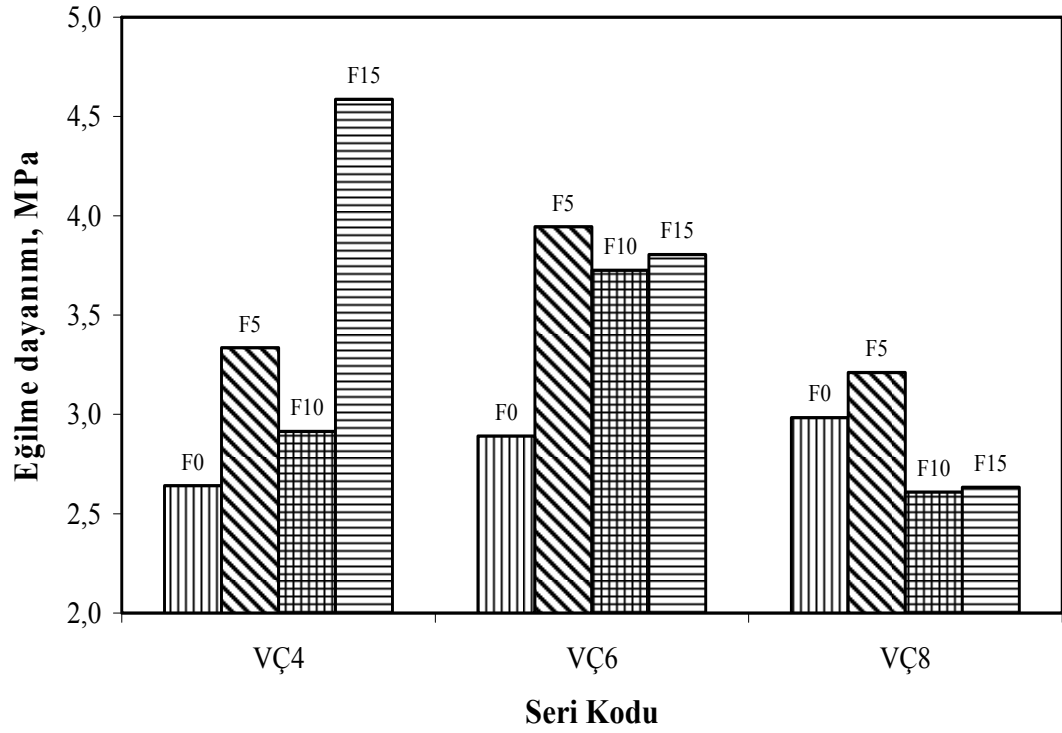
ise sırasıyla 3,76 MPa, 4,35 MPa ve 4,53 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0,5, %1,0, %1,5 çelik tel içeren numunelerin eğilme dayanımlarında çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %37,7, %59,3, %65,9 artış elde edilmiştir.



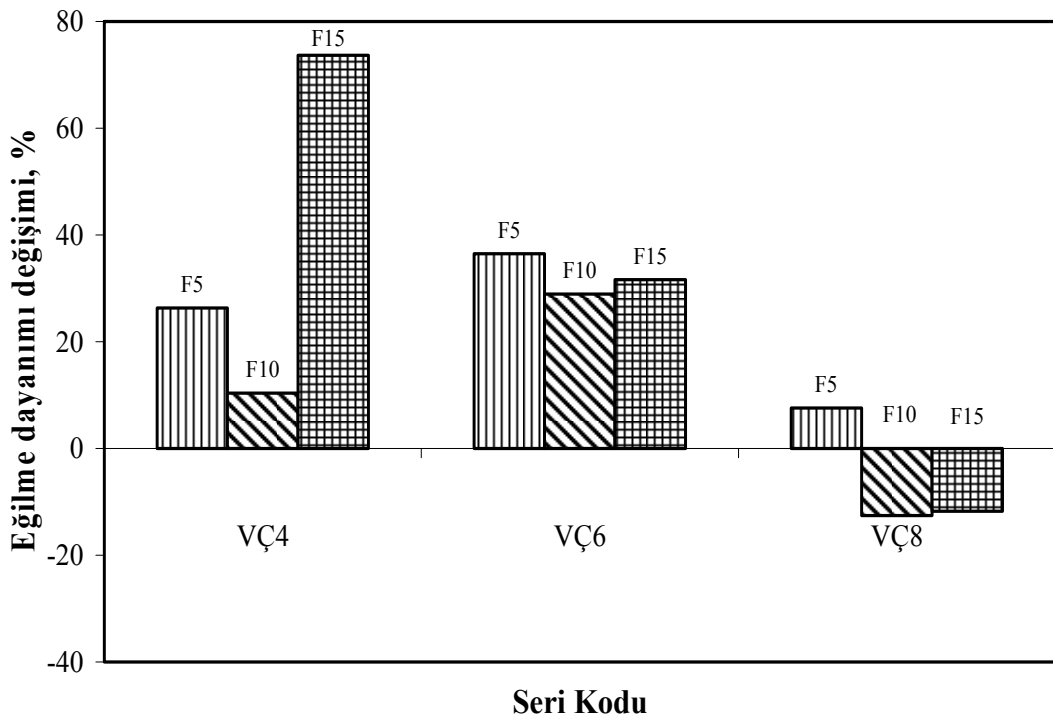
Şekil 4.10. Çelik Tel İçeren Harçların Eğilme Dayanımının Çelik Tel İçermeyen Harçlara Kıyasla % Değişimi (300°C)

300°C sıcaklığa tabi tutulan vermikülit/çimento oranı 8 olan ve çelik tel içermeyen numunelerin eğilme dayanımı 2,25 MPa, %0,5, %1,0 ve %1,5 çelik tel içeriklerinde ise sırasıyla 2,69 MPa, 2,78 MPa ve 2,93 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0,5, %1,0, %1,5 çelik tel içeren numunelerin eğilme dayanımlarında çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %19,6, %23,6, %30,2 artış elde edilmiştir.

600°C sıcaklıktaki harçların eğilme dayanımlarının çelik tel içeriğine bağlı değişimi Şekil 4.11’de ve dayanımlardaki % değişimler ise Şekil 4.12’de verilmektedir.



Şekil 4.11. 600°C Sıcaklıktaki Harçların Eğilme Dayanımlarının Çelik Tel İçeriğine Bağlı Değişimi



Şekil 4.12. Çelik Tel İçeren Harçların Eğilme Dayanımının Çelik Tel İçermeyen Harçlara Kıyasla % Değişimi (600°C)

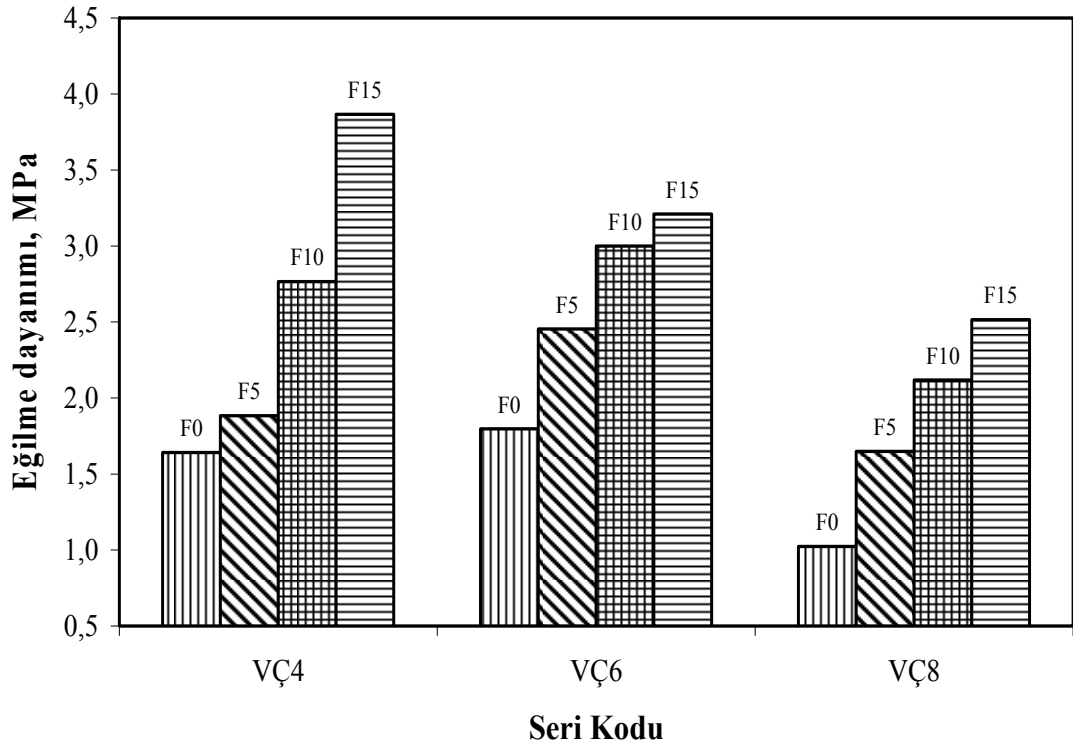
600°C sıcaklığa tabi tutulan vermikülit/çimento oranı 4 olan ve çelik tel içermeyen numunelerin eğilme dayanımı 2,64 MPa, %0,5, %1,0 ve %1,5 çelik tel içeriklerinde ise sırasıyla 3,34 MPa, 2,91 MPa ve 4,59 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0,5, %1,0, %1,5 çelik tel içeren numunelerin eğilme dayanımlarında çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %26,3, %10,4, %73,7 artış elde edilmiştir.

600°C sıcaklığa tabi tutulan vermikülit/çimento oranı 6 olan ve çelik tel içermeyen numunelerin eğilme dayanımı 2,89 MPa, %0,5, %1,0 ve %1,5 çelik tel içeriklerinde ise sırasıyla 3,95 MPa, 3,73 MPa ve 3,80 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0,5, %1,0, %1,5 oranlarında çelik tel içeren numunelerin eğilme dayanımlarında çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %36,5, %28,9, %31,6 artış elde edilmiştir.

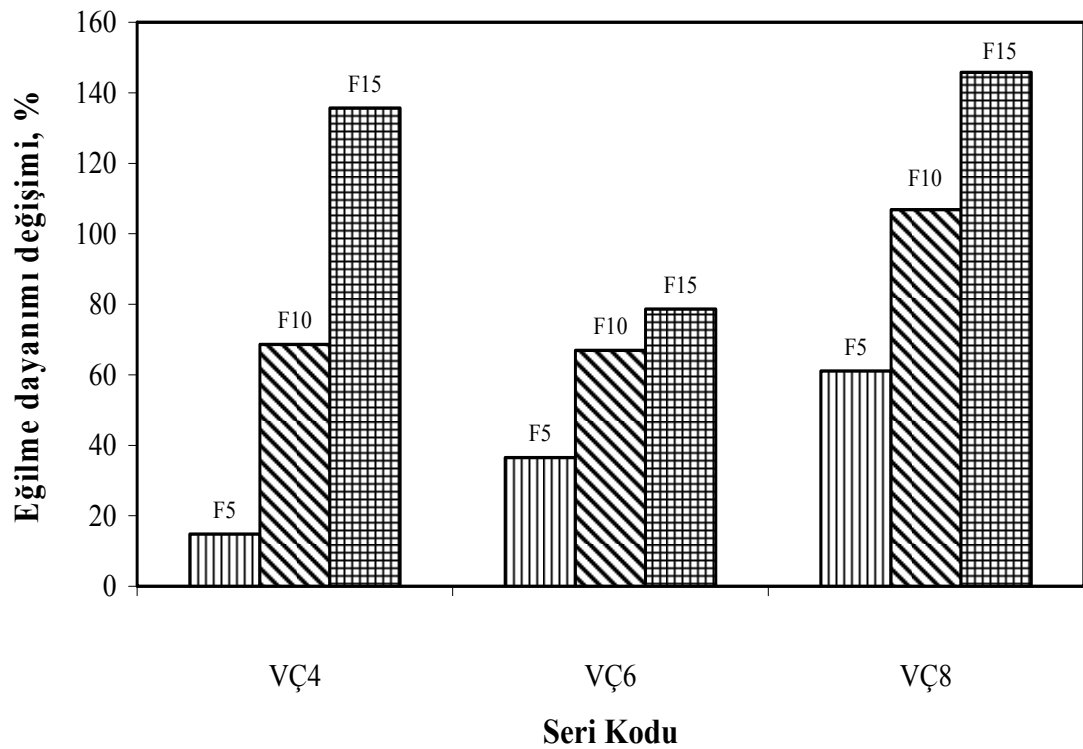
600°C sıcaklığa tabi tutulan vermikülit/çimento oranı 8 olan ve çelik tel içermeyen numunelerin eğilme dayanımı 2,98 MPa, %0,5, %1,0 ve %1,5 çelik tel içeriklerinde ise sırasıyla 3,21 MPa, 2,61 MPa, 2,63 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0,5, %1,0, %1,5 çelik tel içeren numunelerin eğilme dayanımlarında çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %7,6, %-12,6, %-11,8 değişim elde edilmiştir.

900°C sıcaklıktaki harçların eğilme dayanımlarının çelik tel içeriğine bağlı değişimi Şekil 4.13'de ve dayanımlardaki % değişimler ise Şekil 4.14'de verilmektedir.

900°C sıcaklığa tabi tutulan vermikülit/çimento oranı 4 olan ve çelik tel içermeyen numunelerin eğilme dayanımı 1,64 MPa, %0,5, %1,0 ve %1,5 çelik tel içeriklerinde ise sırasıyla 1,88 MPa, 2,77 MPa ve 3,87 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0,5, %1,0, %1,5 çelik tel içeren numunelerin eğilme dayanımlarında çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %14,8, %68,6, %135,7 artış elde edilmiştir.



Şekil 4.13. 900°C Sıcaklıktaki Harçların Eğilme Dayanımlarının Çelik Tel İçeriğine Bağlı Değişimi

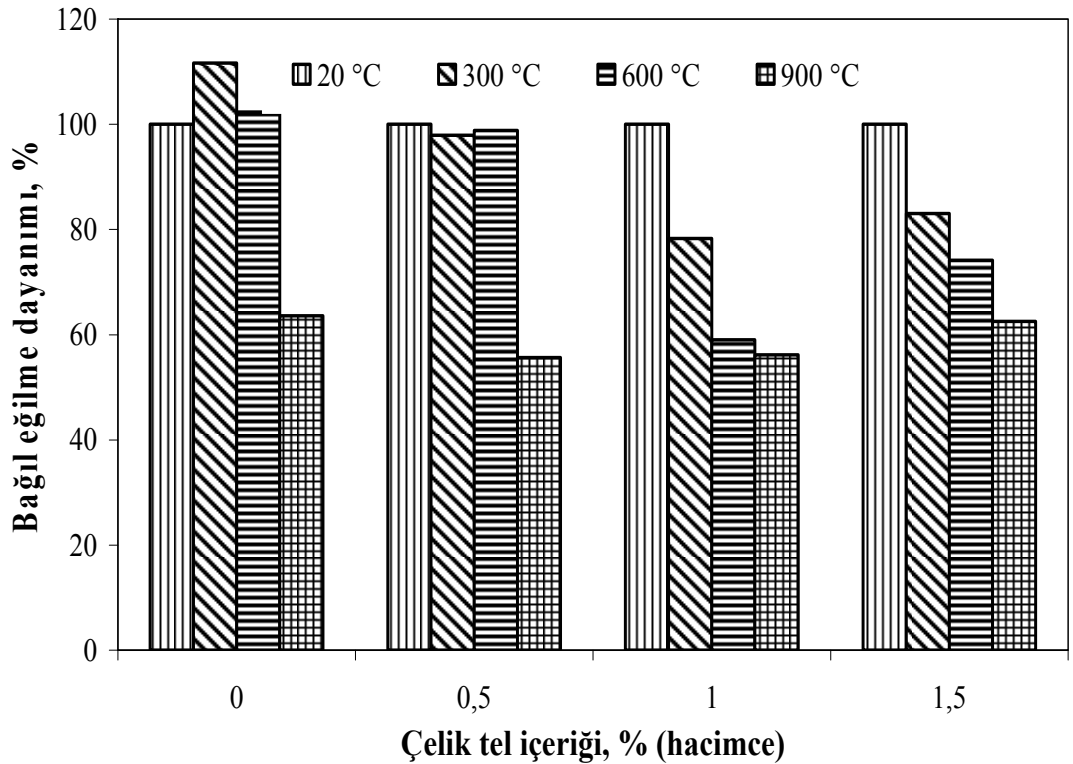


Şekil 4.14. Çelik Tel İçeren Harçların Eğilme Dayanımının Çelik Tel İçermeyen Harçlara Kıyasla % Değişimi (900°C)

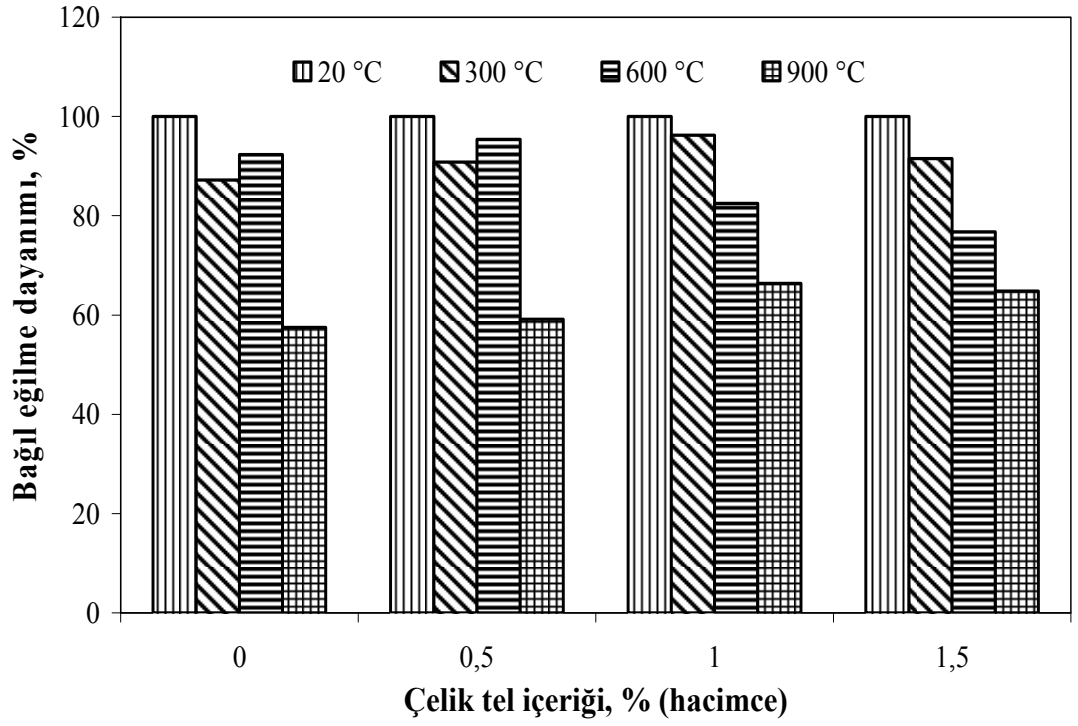
900°C sıcaklığa tabi tutulan vermikülit/çimento oranı 6 olan ve çelik tel içermeyen numunelerin eğilme dayanımı 1,80 MPa, %0,5, %1,0 ve %1,5 çelik tel içeriklerinde ise sırasıyla 2,45 MPa, 3,00 MPa ve 3,21 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0,5, %1,0, %1,5 çelik tel içeren numunelerin eğilme dayanımlarında çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %36,5, %67,0, %78,6 artış elde edilmiştir.

900°C sıcaklığa tabi tutulan vermikülit/çimento oranı 8 olan ve çelik tel içermeyen numunelerin eğilme dayanımı 1,02 MPa, %0,5, %1,0 ve %1,5 çelik tel içeriklerinde ise sırasıyla 1,65 MPa, 2,12 MPa ve 2,52 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0,5, %1,0, %1,5 çelik tel içeren numunelerin eğilme dayanımlarında çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %61,1, %106,9, %145,8 artış elde edilmiştir.

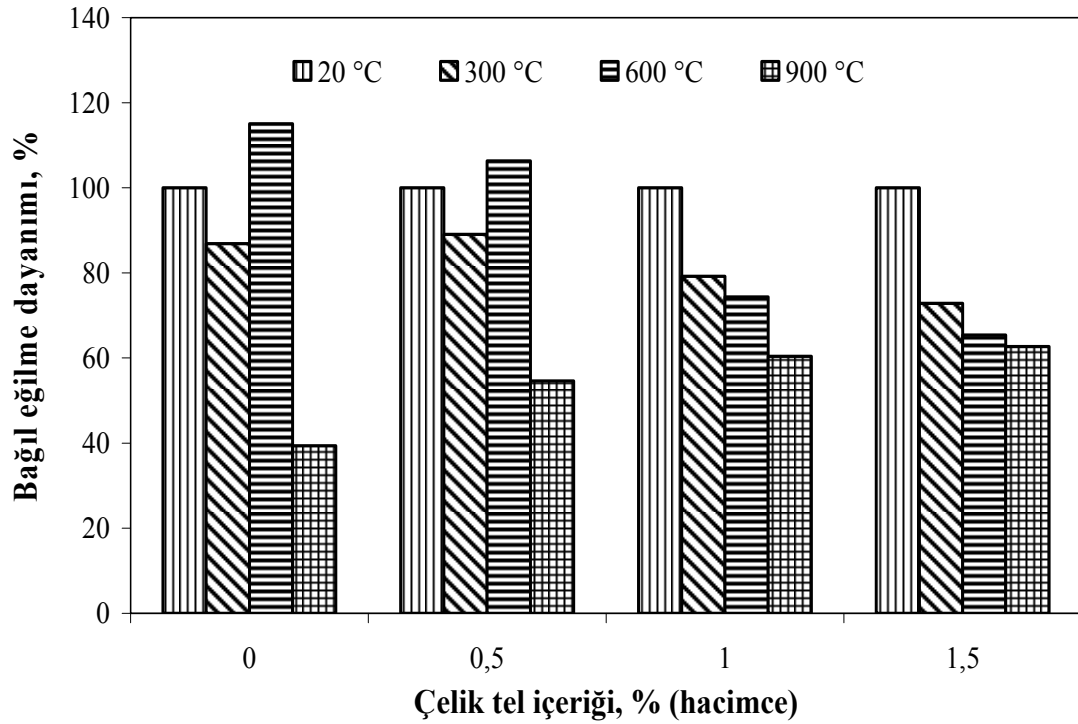
300°C, 600°C ve 900°C sıcaklıktaki numunelerin bağıl eğilme dayanımına çelik tel içeriğinin etkisi vermikülit/çimento oranına göre Şekil 4.15-4.17'de verilmektedir.



Şekil 4.15. Vermikülit/çimento Oranı 4 olan Numunelerin Bağıl Eğilme Dayanımları



Şekil 4.16. Vermikülit/çimento Oranı 6 olan Numunelerin Bağlı Eğilme Dayanımları



Şekil 4.17. Vermikülit/çimento Oranı 8 olan Numunelerin Bağlı Eğilme Dayanımları

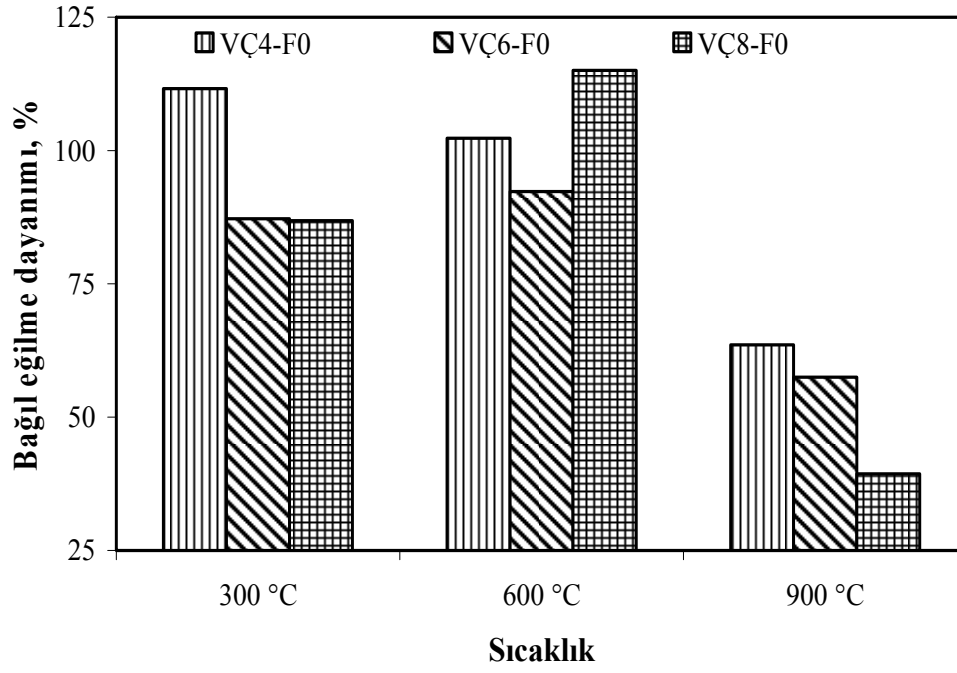
Vermikülit/çimento oranı 4 olan numunelerin 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklık uygulamasından sonra bağıl eğilme dayanımları, çelik tel içermeyen numuneler için sırasıyla %112, %102 ve %64 olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde çelik tel içeriği %0,5 olan numuneler için sırasıyla %98, %99 ve %56, çelik tel içeriği %1,0 numuneler için sırasıyla %78, %59 ve %56 ve çelik tel içeriği %1,5 için ise %83, %74 ve %63 olarak belirlenmiştir.

Vermikülit/çimento oranı 6 olan numunelerin 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklık uygulamasından sonra bağıl eğilme dayanımları, çelik tel içermeyen numuneler için sırasıyla %87, %92 ve %58 olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde çelik tel içeriği %0,5 olan numuneler için sırasıyla %91, %95 ve %59, çelik tel içeriği %1,0 numuneler için sırasıyla %96, %83 ve %66 ve çelik tel içeriği %1,5 için ise sırasıyla %92, %77 ve %65 olarak belirlenmiştir.

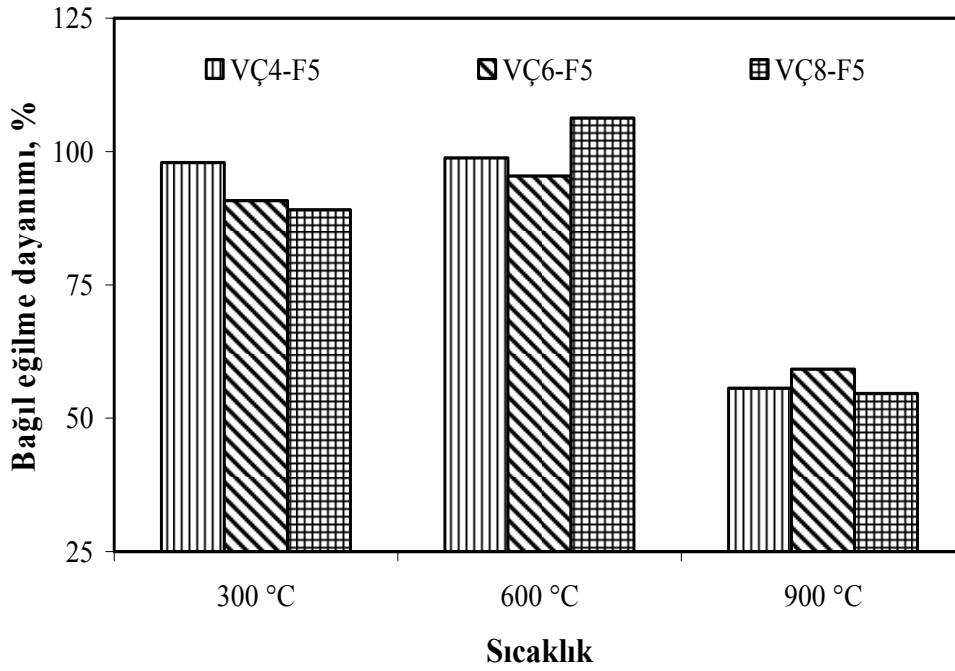
Vermikülit/çimento oranı 8 olan numunelerin 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklık uygulamasından sonra bağıl eğilme dayanımları, çelik tel içermeyen numuneler için sırasıyla %87, %115 ve %39 olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde çelik tel içeriği %0,5 olan numuneler için sırasıyla %89, %106 ve %55, çelik tel içeriği %1,0 numuneler için sırasıyla %79, %74 ve %60 ve çelik tel içeriği %1,5 olan için ise %73, %65 ve %63 olarak belirlenmiştir.

Vermikülit/çimento oranlarına göre sıcaklığın harçların bağıl eğilme dayanımı üzerindeki etkisi Şekil 4.18-4.19'de verilmektedir.

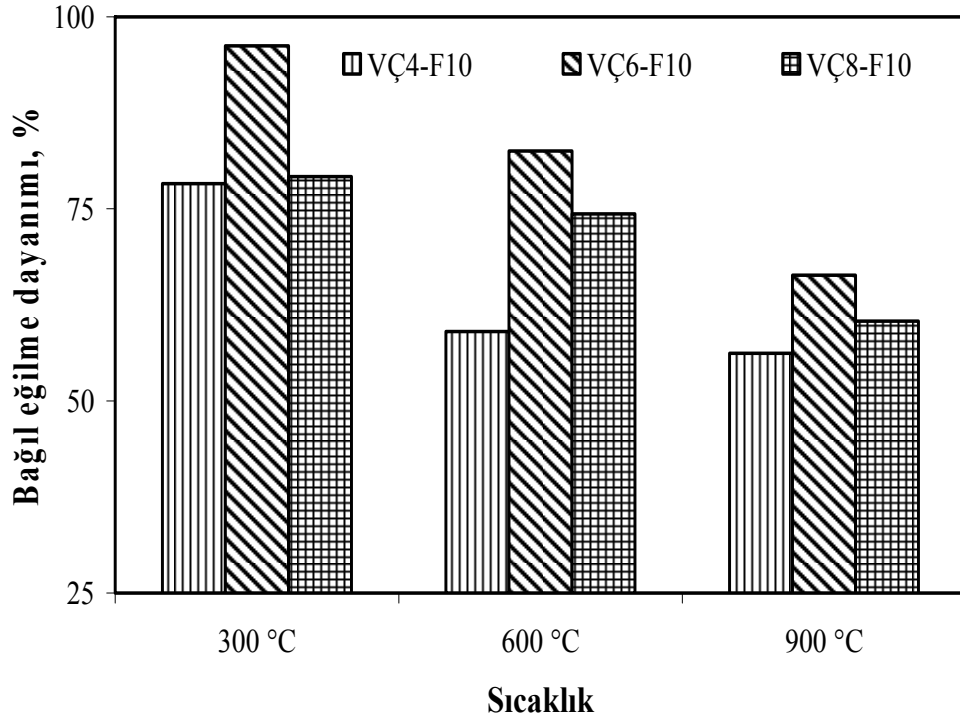
Çelik tel içermeyen numunelerin 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklığa tabi tutulduktan sonraki eğilme dayanımları, 20°C sıcaklıktaki çelik tel içermeyen numunelerin eğilme dayanımı ile karşılaştırılmıştır. 300°C sıcaklığa tabi tutulan VÇ4 serisi numunelerinin eğilme dayanımları %12 artarken, VÇ6 ve VÇ8 serilerinin eğilme dayanımları yaklaşık olarak %13 azalmıştır. 600°C sıcaklığa tabi tutulan VÇ4 ve VÇ8 serisi numunelerinin eğilme dayanımları sırasıyla %2 ve %15 artarken, VÇ6 serisinin ki ise %8 azalmıştır. 900°C sıcaklığa tutulan numunelerin eğilme dayanımları VÇ4, VÇ6 ve VÇ8 serileri için sırasıyla %36, %42 ve %39 azalmıştır.



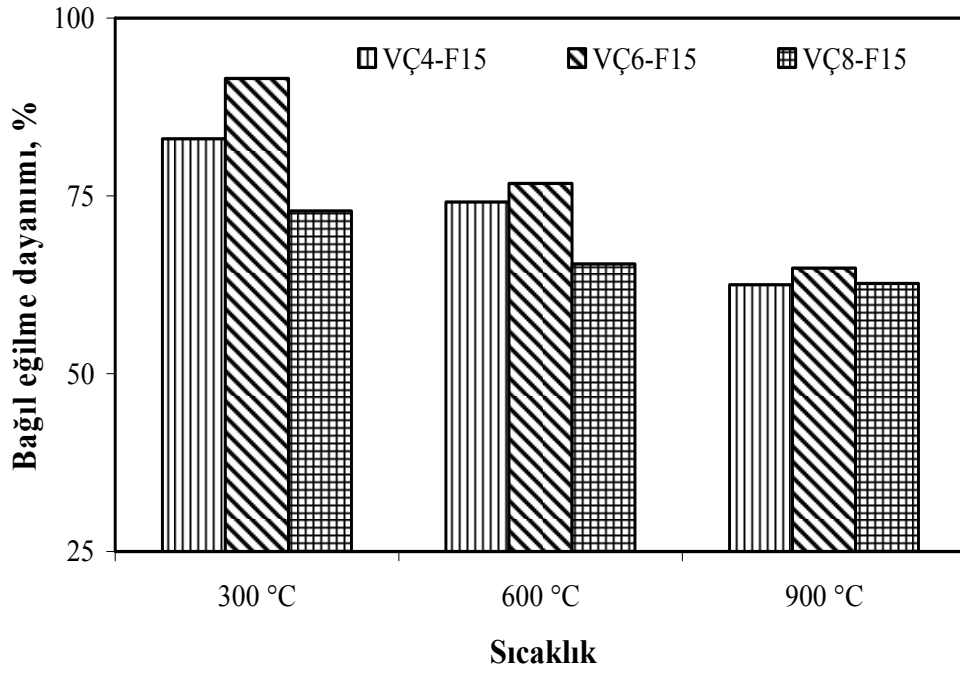
Şekil 4.18. Sıcaklığın Bağlı Eğilme Dayanıma Etkisi (Çelik Tel İçeriği=%0)



Şekil 4.19. Sıcaklığın Bağlı Eğilme Dayanıma Etkisi (Çelik Tel İçeriği=%0,5)



Şekil 4.20. Sıcaklığın Bağil Eğilme Dayanıma Etkisi (Çelik Tel İçeriği=%1,0)



Şekil 4.21. Sıcaklığın Bağil Eğilme Dayanıma Etkisi (Çelik Tel İçeriği=%1,5)

Çelik tel içeriği %0,5 olan numunelerin 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklığa tabi tutulduktan sonraki eğilme dayanımları, 20°C sıcaklıktaki çelik tel içeriği %0,5 olan numunelerin eğilme dayanımı ile karşılaştırılmıştır. 300°C sıcaklığa tabi tutulan VÇ4, VÇ6 ve VÇ8 serisi numunelerinin eğilme dayanımı sırasıyla %2, %9 ve %11 azalmıştır. 600°C sıcaklığa tabi tutulan VÇ4 ve VÇ6 serisi numunelerinin eğilme dayanımları sırasıyla %1 ve %5 azalırken, VÇ8 serisinin ki ise %6 artmıştır. 900°C sıcaklığa tutulan numunelerin eğilme dayanımları VÇ4, VÇ6 ve VÇ8 serileri için sırasıyla %44, %41 ve %45 azalmıştır.

Çelik tel içeriği %1,0 olan numunelerin 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklığa tabi tutulduktan sonraki eğilme dayanımları, 20°C sıcaklıktaki çelik tel içeriği %1,0 olan numunelerin eğilme dayanımı ile karşılaştırılmıştır. 300°C sıcaklığa tabi tutulan VÇ4, VÇ6 ve VÇ8 serisi numunelerinin eğilme dayanımları sırasıyla %22, %4, %21 azalmıştır. 600°C sıcaklığa sıcaklığa tabi tutulan VÇ4, VÇ6 ve VÇ8 serisi numunelerinin eğilme dayanımları sırasıyla %41, %17, %26 azalmıştır. 900°C sıcaklığa tutulan numunelerin eğilme dayanımları VÇ4, VÇ6 ve VÇ8 serileri için sırasıyla %44, %34 ve %40 azalmıştır.

Çelik tel içeriği %1,5 olan numunelerin 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklığa tabi tutulduktan sonraki eğilme dayanımları, 20°C sıcaklıktaki çelik tel içeriği %1,5 olan numunelerin eğilme dayanımı ile karşılaştırılmıştır. 300°C sıcaklığa tabi tutulan VÇ4, VÇ6 ve VÇ8 serisi numunelerinin eğilme dayanımları sırasıyla %17, %8, %27 azalmıştır. 600°C sıcaklığa sıcaklığa tabi tutulan VÇ4, VÇ6 ve VÇ8 serisi numunelerinin eğilme dayanımları sırasıyla %26, %23, %35 azalmıştır. 900°C sıcaklığa tutulan numunelerin eğilme dayanımları VÇ4, VÇ6 ve VÇ8 serileri için sırasıyla %37, %35 ve %37 azalmıştır.

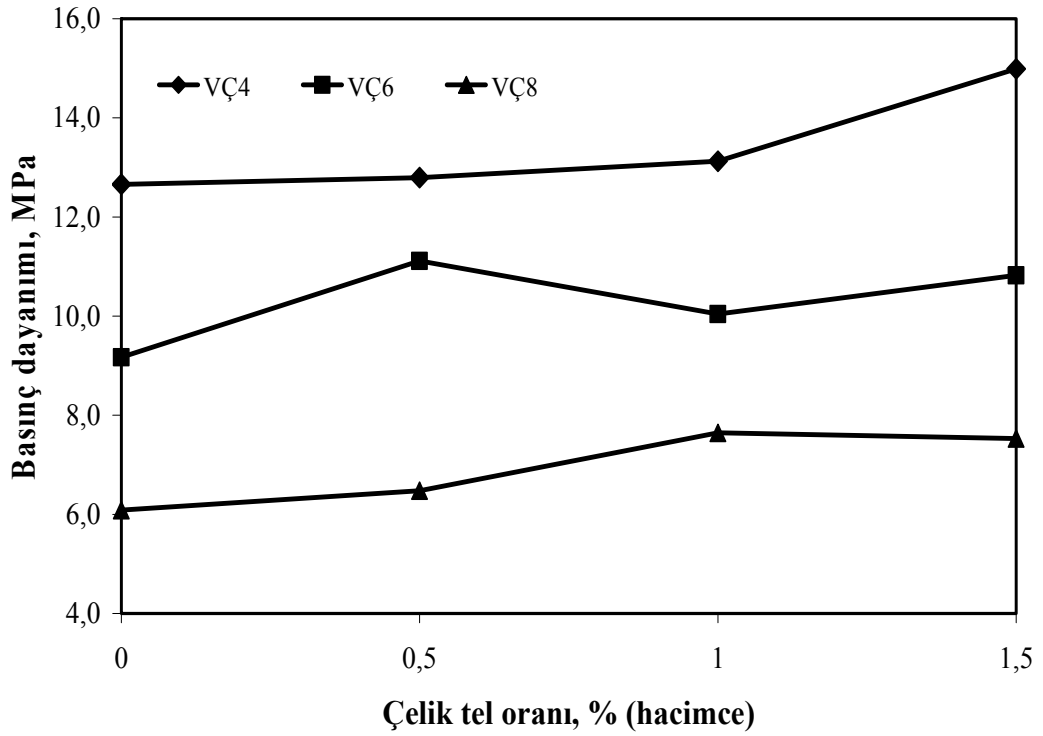
4.2.2. Basınç Dayanımı

Üretilen harç numunelerin, 20°C, 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklığa tabi tutulduktan sonraki basınç dayanımı sonuçları Tablo 4.2’de verilmiştir.

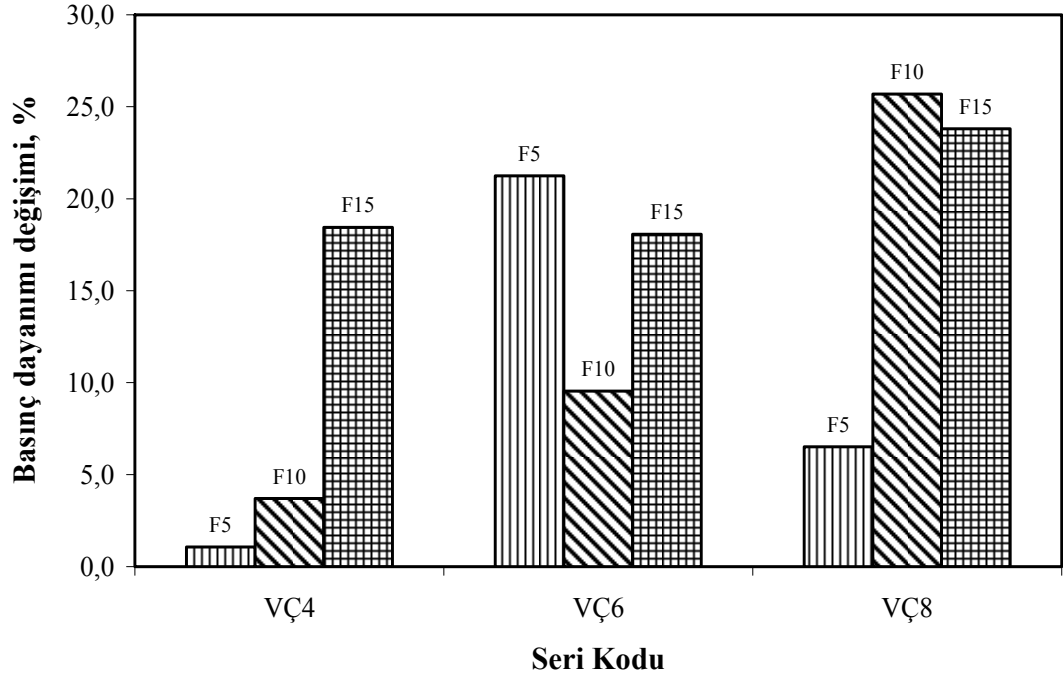
20°C sıcaklıktaki harçların basınç dayanımlarının çelik tel içeriğine bağlı değişimi Şekil 4.22’de ve dayanımlardaki % değişimler ise Şekil 4.23’de verilmektedir .

Tablo 4.2. Basınç Dayanımı Sonuçları

V/Ç Oranı	Çelik Tel İçeriği %	Seri Kodu	Basınç Dayanımı, MPa			
			Sıcaklık			
			20 °C	300 °C	600 °C	900 °C
4	0	VÇ4-F0	12,66	9,93	8,45	7,06
	0,5	VÇ4-F5	12,79	10,28	9,76	7,09
	1,0	VÇ4-F10	13,13	11,11	10,91	7,38
	1,5	VÇ4-F15	14,99	12,24	10,13	9,54
6	0	VÇ6-F0	9,17	7,31	7,11	5,42
	0,5	VÇ6-F5	11,10	8,32	8,05	6,19
	1,0	VÇ6-F10	10,40	9,43	7,93	6,47
	1,5	VÇ6-F15	10,82	9,60	7,29	7,54
8	0	VÇ8-F0	6,08	4,93	5,53	3,43
	0,5	VÇ8-F5	6,48	5,05	6,26	3,72
	1,0	VÇ8-F10	7,65	5,54	4,67	4,17
	1,5	VÇ8-F15	7,53	5,70	5,11	4,29



Şekil 4.22. 20°C Sıcaklıktaki Harçların Basınç Dayanımlarının Çelik Tel İçeriğine Bağlı Değişimi



Şekil 4.23. Çelik Tel İçeren Harçların Basınç Dayanımının Çelik Tel İçermeyen Harçlara Kıyasla % Değişimi (20°C)

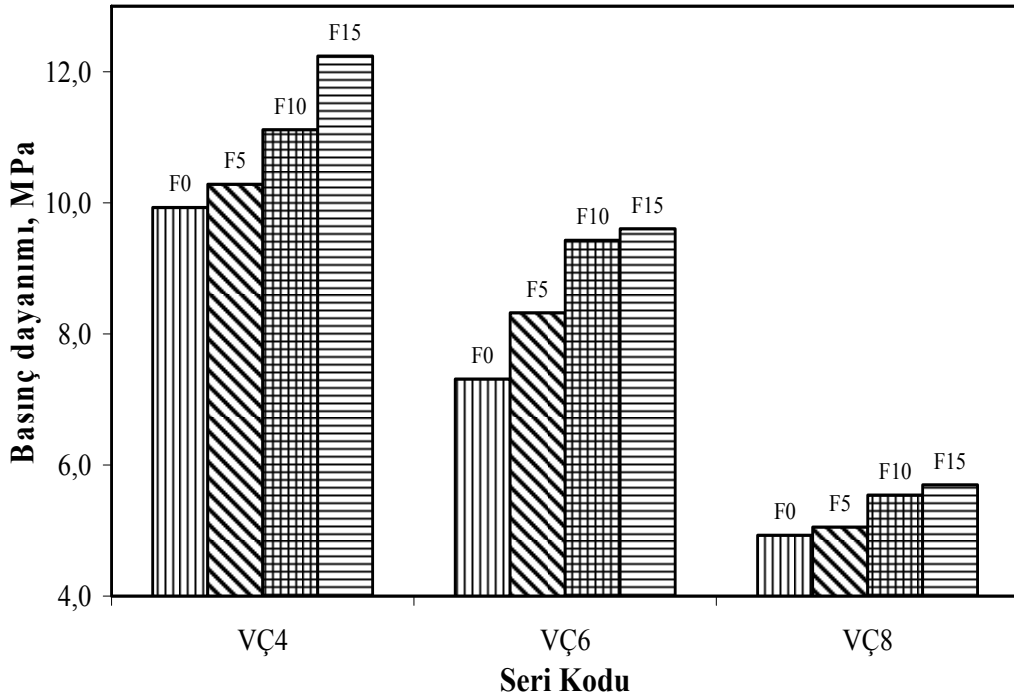
Vermikülit/çimento oranı 4 olan numunelerin 20°C sıcaklıktaki basınç dayanımları %0, %0,5, %1,0 ve %1,5 çelik tel oranları için sırasıyla 12,66 MPa, 12,79 MPa, 13,13 MPa ve 14,99 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0,5, %1,0, %1,5 çelik tel içeren numunelerin basınç dayanımlarında çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %1,1, %3,7, %18,4 artış elde edilmiştir.

Vermikülit/çimento oranı 6 olan numunelerin 20°C sıcaklıktaki basınç dayanımları %0, %0,5, %1,0 ve %1,5 çelik tel oranları için sırasıyla 9,17 MPa, 11,10 MPa, 10,40 MPa ve 10,82 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0,5, %1,0, %1,5 çelik tel içeren numunelerin basınç dayanımlarında çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %21,3, %9,5, %18,1 artış elde edilmiştir.

Vermikülit/çimento oranı 8 olan numunelerin 20°C sıcaklıktaki basınç dayanımları %0, %0,5, %1,0 ve %1,5 çelik tel oranları için sırasıyla 6,08 MPa, 6,48 MPa, 7,65 MPa ve 7,53 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0,5, %1,0, %1,5 çelik tel içeren numunelerin basınç dayanımları çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %6,5, %25,7, %23,8 artış edilmiştir.

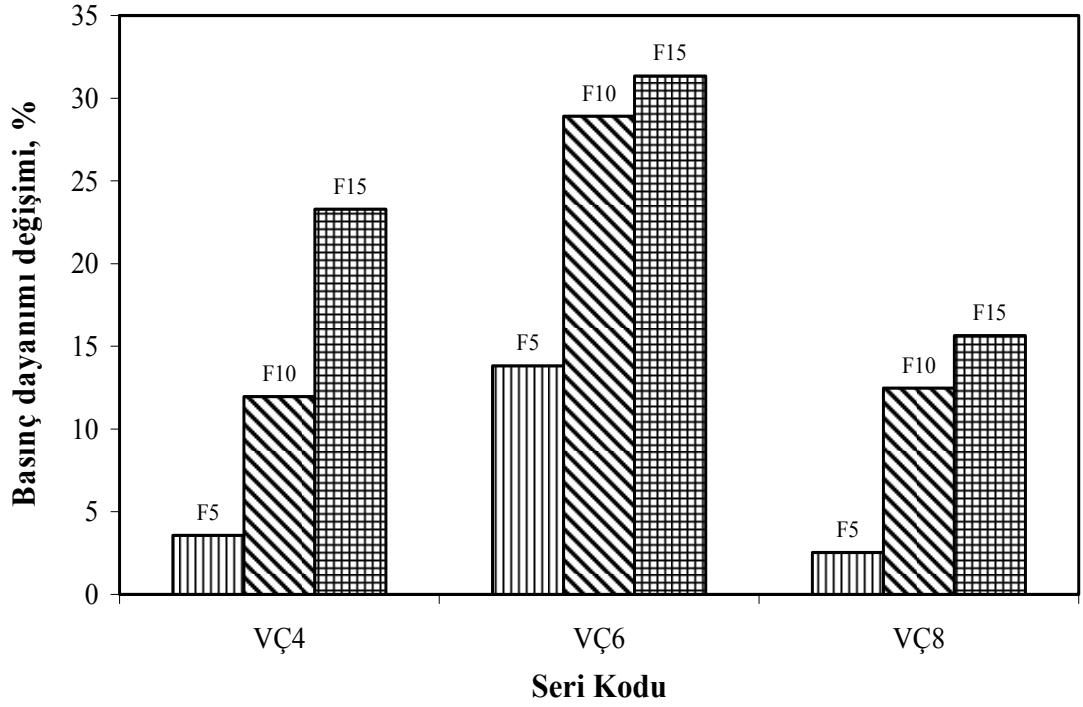
Çelik tel içermeyen numunelerin 20°C sıcaklıktaki basınç dayanımları vermikülit/çimento oranı 4, 6 ve 8 için sırasıyla 12,66 MPa, 9,17 MPa, 6,08 MPa olarak belirlenmiştir. Üretilen numunelerin basınç dayanımı incelendiğinde vermikülit/çimento oranı 4 olan numunelerin bütün çelik tel içeriklerinde basınç dayanımı en yüksek, buna karşılık ise vermikülit/çimento oranı 8 olan numunelerinde en düşük olduğu görülmektedir.

300°C sıcaklıktaki harçların eğilme dayanımlarının çelik tel içeriğine bağlı değişimi Şekil 4.24'de ve dayanımlardaki % değişimler ise Şekil 4.25'de verilmektedir.



Şekil 4.24. 300°C Sıcaklıktaki Harçların Basınç Dayanımlarının Çelik Tel İçeriğine Bağlı Değişimi

300°C sıcaklığa tabi tutulan vermikülit/çimento oranı 4 olan ve çelik tel içermeyen numunelerin basınç dayanımı 9,93 MPa, %0,5, %1,0 ve %1,5 çelik içeriklerinde ise sırasıyla 10,28 MPa, 11,11 MPa ve 12,24 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0,5, %1,0, %1,5 çelik tel içeren numunelerin basınç dayanımlarında çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %3,6, %12,0, %23,3 artış elde edilmiştir.

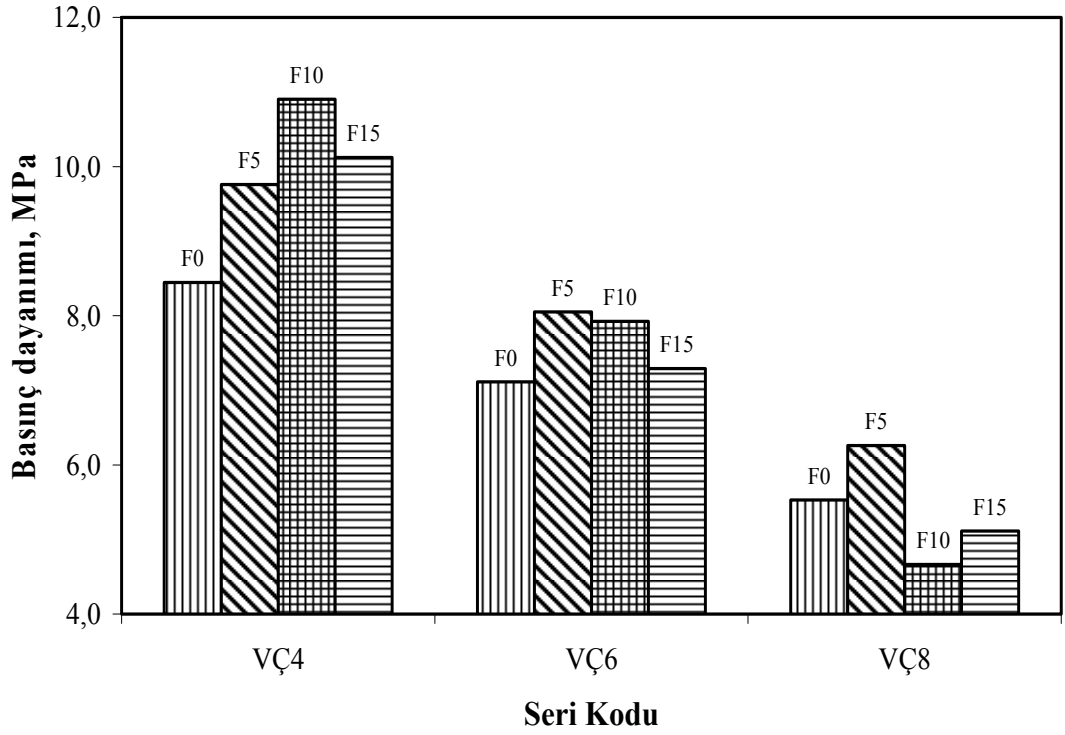


Şekil 4.25. Çelik Tel İçeren Harçların Basınç Dayanımının Çelik Tel İçermeyen Harçlara Kıyasla % Değişimi (300°C)

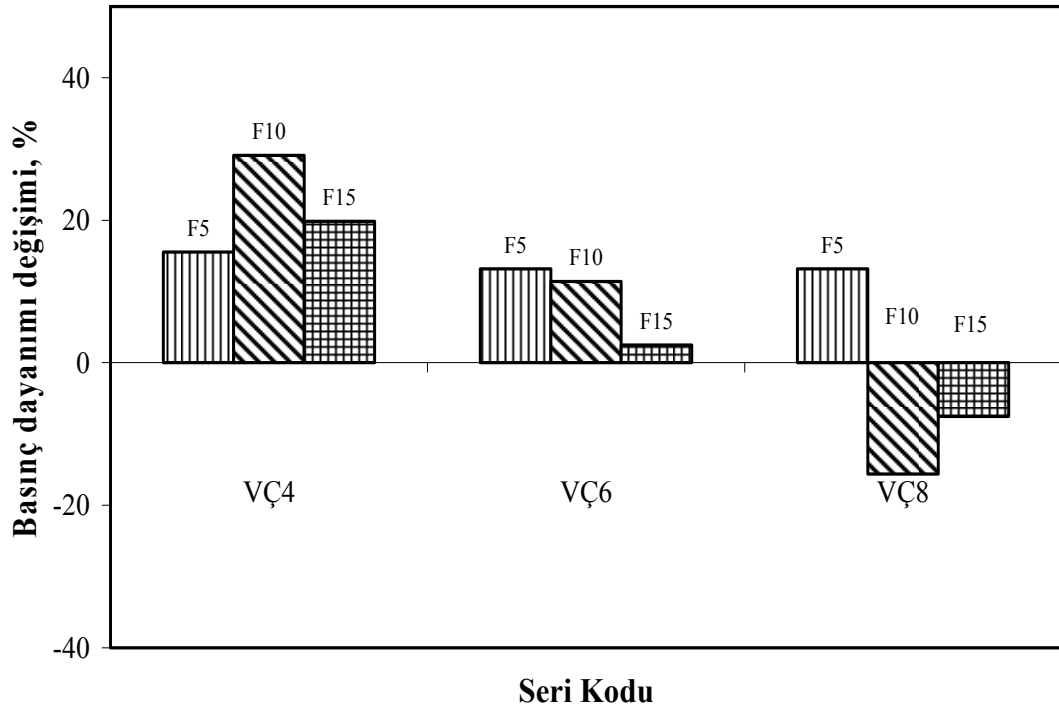
300°C sıcaklığa tabi tutulan vermikülit/çimento oranı 6 olan ve çelik tel içermeyen numunelerin basınç dayanımı 7,31 MPa, %0,5, %1,0 ve %1,5 çelik tel içeriklerinde ise sırasıyla 8,32 MPa, 9,43 MPa ve 9,60 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0,5, %1,0, %1,5 çelik tel içeren numunelerin basınç dayanımlarında çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %13,8, %28,9, %31,3 artış elde edilmiştir.

300°C sıcaklığa tabi tutulan vermikülit/çimento oranı 8 olan ve çelik tel içermeyen numunelerin basınç dayanımı 4,93 MPa, %0,5, %1,0 ve %1,5 çelik tel içeriklerinde ise sırasıyla 5,05 MPa, 5,54 MPa ve 5,70 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0,5, %1,0, %1,5 oranlarında çelik tel içeren numunelerin basınç dayanımlarında çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %2,5, %12,5, %15,6 artış elde edilmiştir.

600°C sıcaklıktaki harçların eğilme dayanımlarının çelik tel içeriğine bağlı değişimi Şekil 4.26'de ve dayanımlardaki % değişimler ise Şekil 4.27'de verilmektedir.



Şekil 4.26. 600°C Sıcaklıktaki Harçların Basınç Dayanımlarının Çelik Tel İçeriğine Bağlı Değişimi



Şekil 4.27. Çelik Tel İçeren Harçların Basınç Dayanımının Çelik Tel İçermeyen Harçlara Kıyasla % Değişimi (600°C)

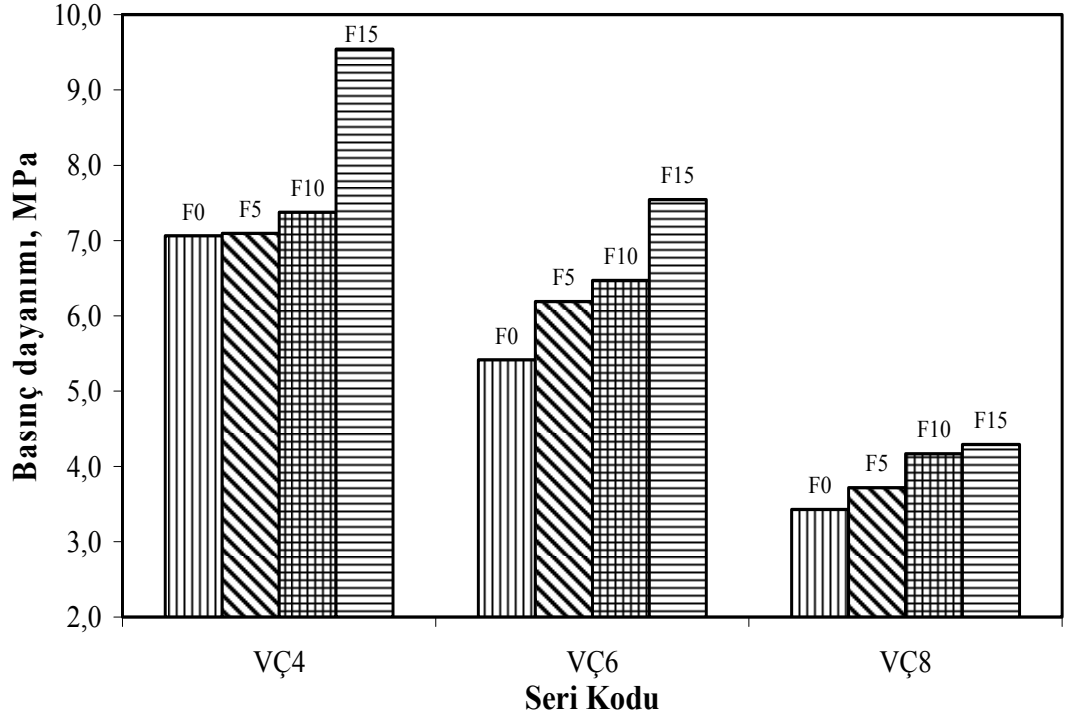
600°C sıcaklığa tabi tutulan vermikülit/çimento oranı 4 olan ve çelik tel içermeyen numunelerin basınç dayanımı 8,45 MPa, %0,5, %1,0 ve %1,5 çelik tel içeriklerinde ise sırasıyla 9,76 MPa, 10,91 MPa ve 10,13 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0,5, %1,0, %1,5 çelik tel içeren numunelerin basınç dayanımlarında çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %15,5, %29,1, %19,9 artış elde edilmiştir.

600°C sıcaklığa tabi tutulan vermikülit/çimento oranı 6 olan ve çelik tel içermeyen numunelerin basınç dayanımı 7,11 MPa, %0,5, %1,0 ve %1,5 çelik tel içeriklerinde ise sırasıyla 8,05 MPa, 7,93 MPa ve 7,29 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0,5, %1,0, %1,5 çelik tel içeren numunelerin basınç dayanımlarında çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %13,2, %11,4, %2,5 artış elde edilmiştir.

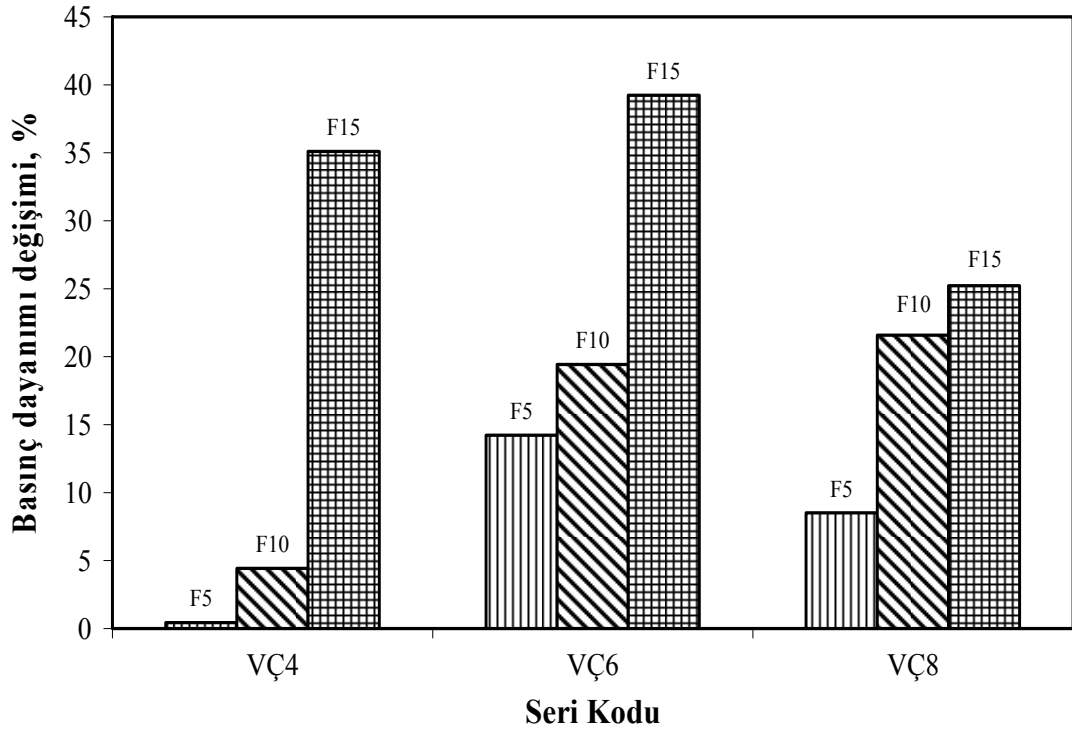
600°C sıcaklığa tabi tutulan vermikülit/çimento oranı 8 olan ve çelik tel içermeyen numunelerin basınç dayanımı 5,53 MPa, %0,5, %1,0 ve %1,5 çelik tel içeriklerinde ise sırasıyla 6,26 MPa, 4,67 MPa ve 5,11 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0,5, %1,0, %1,5 çelik tel içeren numunelerin basınç dayanımları çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %13,2, %-15,6, %-7,5 değişim elde edilmiştir.

900°C sıcaklıktaki harçların eğilme dayanımlarının çelik tel içeriğine bağlı değişimi Şekil 4.28'de ve dayanımlardaki % değişimler ise Şekil 4.29'de verilmektedir.

900°C sıcaklığa tabi tutulan vermikülit/çimento oranı 4 olan ve çelik tel içermeyen numunelerin basınç dayanımı 7,06 MPa, %0,5, %1,0 ve %1,5 çelik tel içeriklerinde ise sırasıyla 7,09 MPa, 7,38 MPa ve 9,54 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0,5, %1,0, %1,5 çelik tel içeren numunelerin basınç dayanımları çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %0,4, %4,4, %35,1 artış elde edilmiştir.



Şekil 4.28. 900°C Sıcaklıktaki Harçların Basınç Dayanımlarının Çelik Tel İçeriğine Bağlı Değişimi

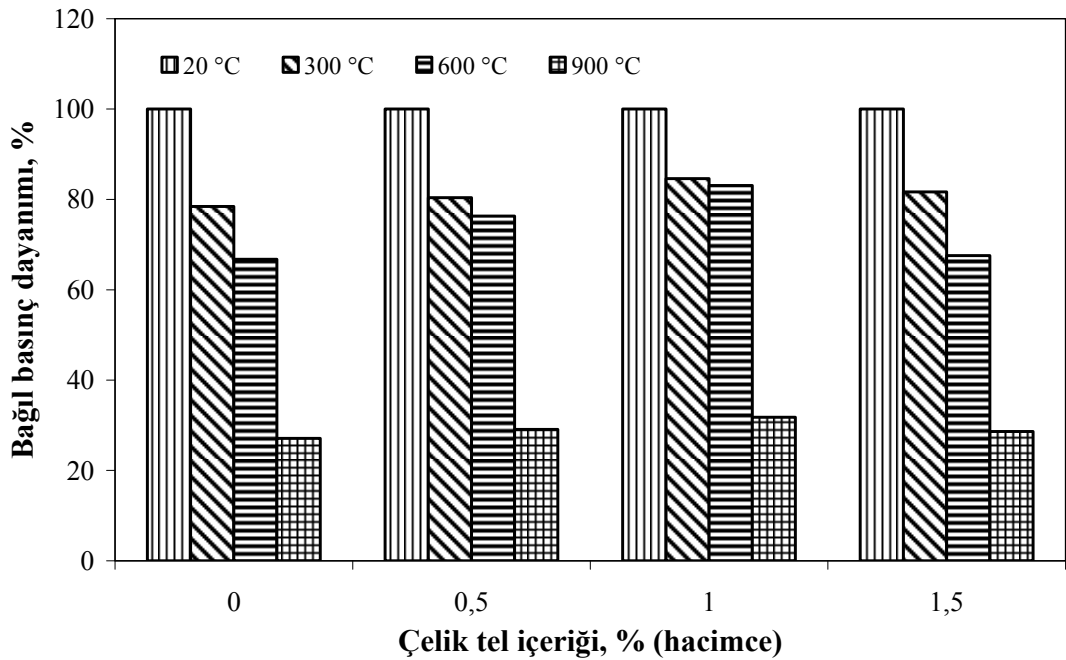


Şekil 4.29. Çelik Tel İçeren Harçların Basınç Dayanımının Çelik Tel İçermeyen Harçlara Kıyasla % Değişimi (900°C)

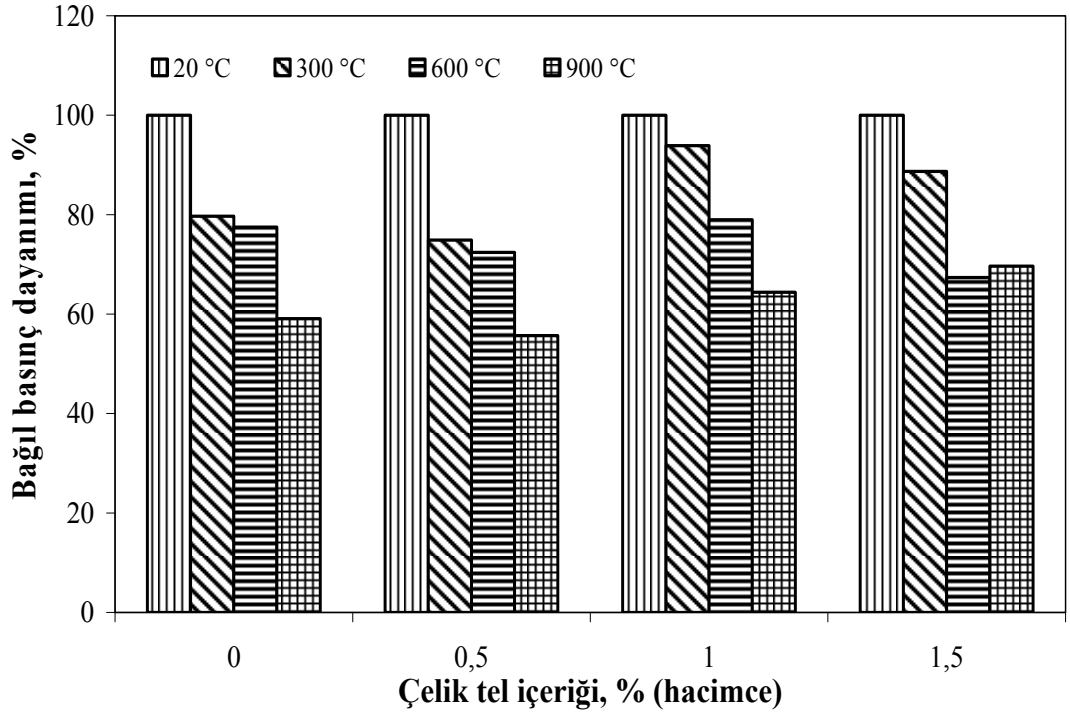
900°C sıcaklığa tabi tutulan vermikülit/çimento oranı 6 olan ve çelik tel içermeyen numunelerin basınç dayanımı 5,42 MPa, %0,5, %1,0 ve %1,5 çelik tel içeriklerinde ise sırasıyla 6,19 MPa, 6,47 MPa ve 7,54 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0,5, %1,0, %1,5 çelik tel içeren numunelerin basınç dayanımlarında çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %14,2, %19,4, %39,2 artış elde edilmiştir.

900°C sıcaklığa tabi tutulan vermikülit/çimento oranı 8 olan ve çelik tel içermeyen numunelerin basınç dayanımı 3,43 MPa, %0,5, %1,0 ve %1,5 çelik tel içeriklerinde ise sırasıyla sırasıyla 3,72 MPa, 4,17 MPa ve 4,29 MPa olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak hacimce %0,5, %1,0, %1,5 çelik tel içeren numunelerin basınç dayanımlarında çelik tel içermeyen numunelere kıyasla sırasıyla %8,5, %21,6, %25,2 artış elde edilmiştir.

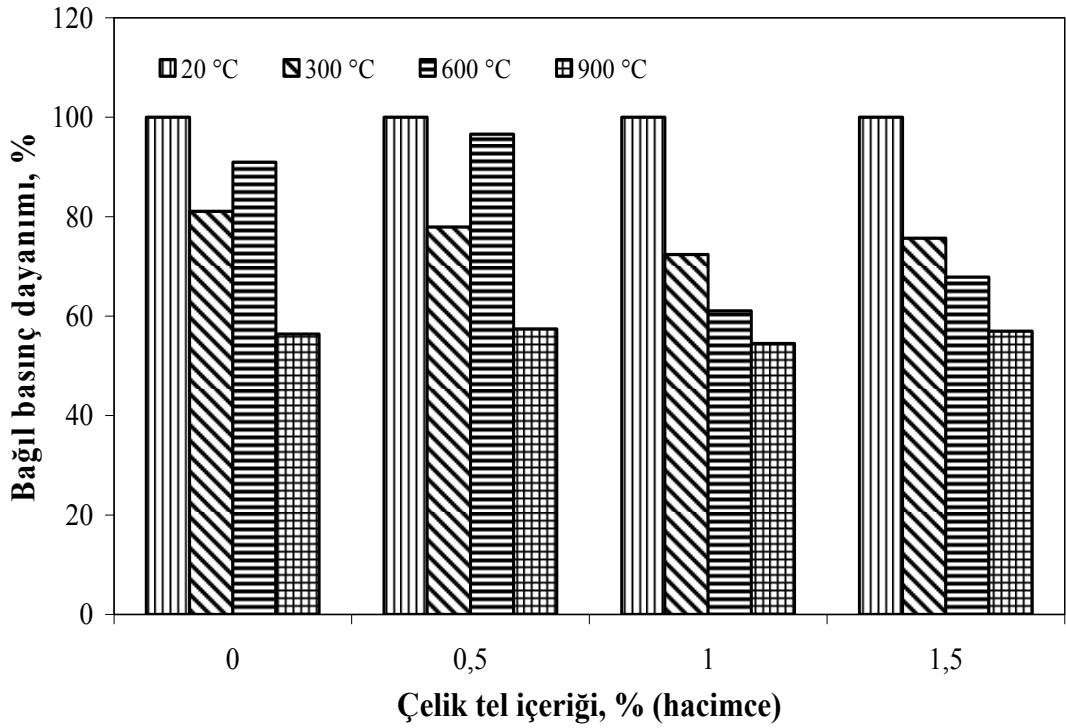
300°C, 600°C ve 900°C sıcaklıktaki numunelerin bağıl basınç dayanımına çelik tel içeriğinin etkisi vermikülit/çimento oranına göre Şekil 4.30-4.32’de verilmektedir.



Şekil 4.30. Vermikülit/çimento Oranı 4 olan Numunelerin Bağıl Basınç Dayanımları



Şekil 4.31. Vermikülit/çimento Oranı 6 olan Numunelerin Bağlı Basınç Dayanımları



Şekil 4.32. Vermikülit/çimento Oranı 8 olan Numunelerin Bağlı Basınç Dayanımları

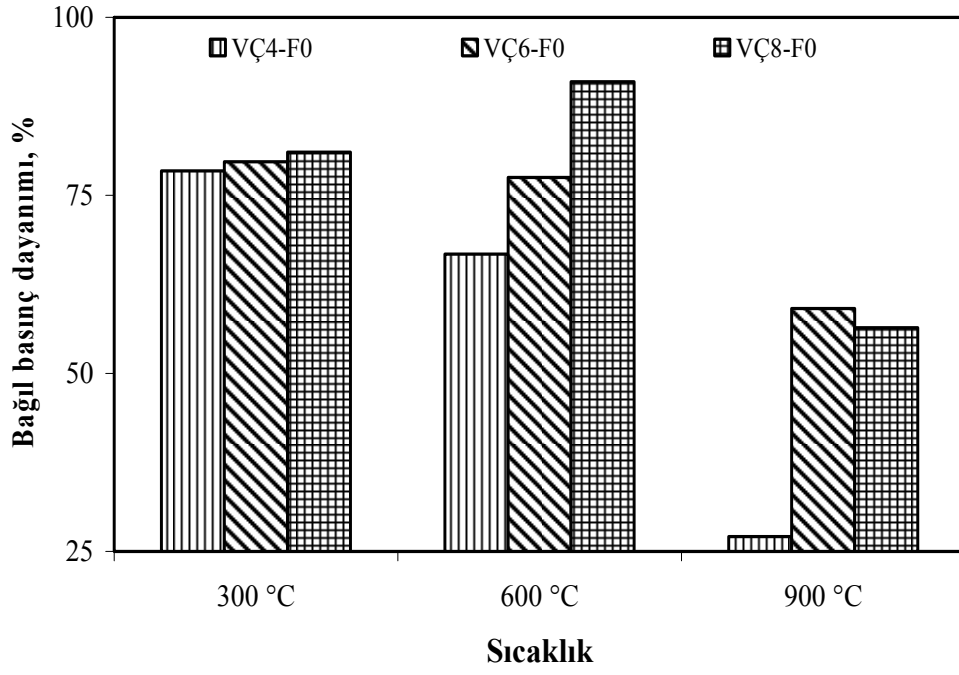
Vermikülit/çimento oranı 4 olan numunelerin 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklık uygulamasından sonra bağıl basınç dayanımları çelik tel içermeyen numuneler için sırasıyla %78, %67 ve %27 olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde çelik tel içeriği %0,5 olan numuneler için sırasıyla %80, %76 ve %29, çelik tel içeriği %1,0 numuneler için sırasıyla %85, %83 ve %32, çelik tel içeriği %1,5 için ise sırasıyla %82, %68 ve %29 olarak belirlenmiştir.

Vermikülit/çimento oranı 6 olan numunelerin 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklık uygulamasından sonra bağıl basınç dayanımları çelik tel içermeyen numuneler için sırasıyla %80, %78 ve %59 olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde çelik tel içeriği %0,5 olan numuneler için sırasıyla %75, %72 ve %56, çelik tel içeriği %1,0 numuneler için sırasıyla %94, %79 ve %64, çelik tel içeriği %1,5 için ise sırasıyla %89, %67 ve %70 olarak belirlenmiştir.

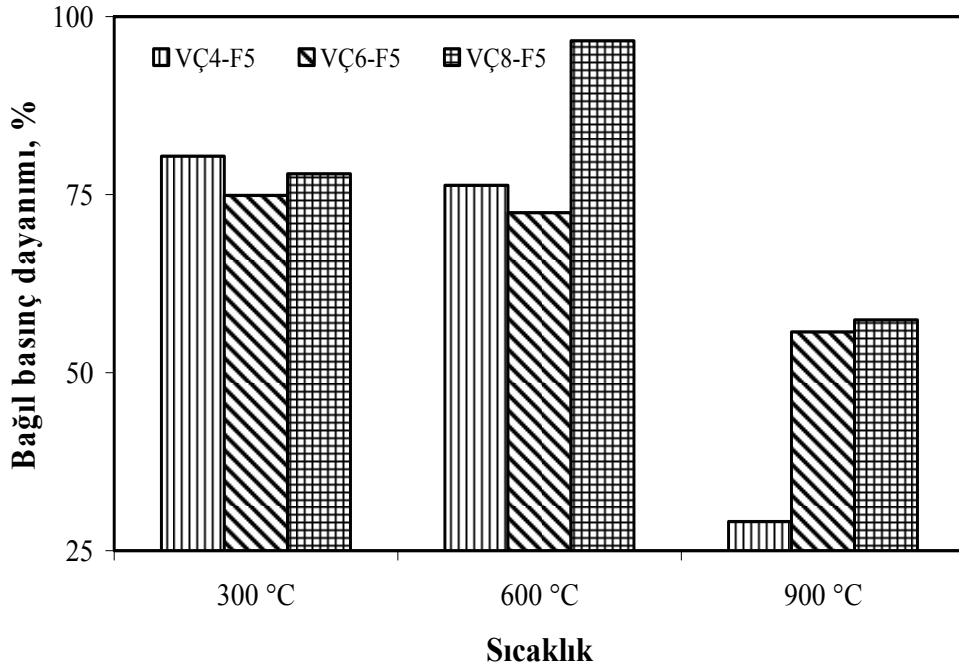
Vermikülit/çimento oranı 8 olan numunelerin 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklık uygulamasından sonra bağıl basınç dayanımları çelik tel içermeyen numuneler için sırasıyla %81, %91 ve %56 olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde çelik tel içeriği %0,5 olan numuneler için sırasıyla %78, %97 ve %57, çelik tel içeriği %1,0 numuneler için sırasıyla %72, %61 ve %55, çelik tel içeriği %1,5 için ise sırasıyla %76, %68 ve %57 olarak belirlenmiştir.

Vermikülit/çimento oranlarına göre sıcaklığın harçların bağıl basınç dayanımı üzerindeki etkisi Şekil 4.33-4.36'da verilmektedir.

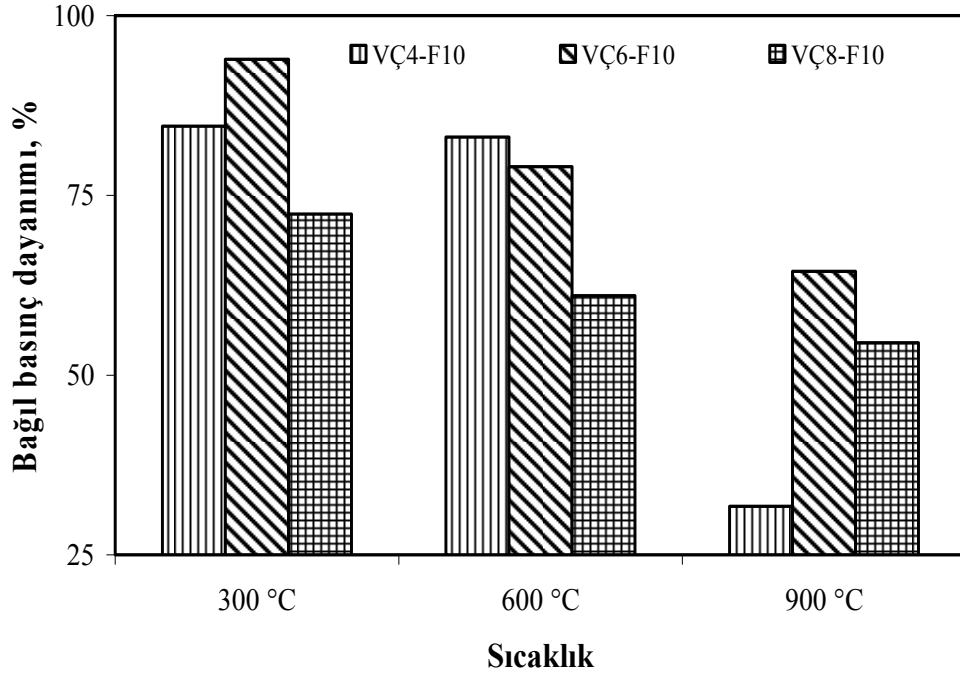
Çelik tel içermeyen numunelerin 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklığa tabi tutulduktan sonraki basınç dayanımları, 20°C sıcaklıktaki çelik tel içermeyen numunelerin olan basınç dayanımı ile karşılaştırılmıştır. 300°C sıcaklığa tabi tutulan VÇ4, VÇ6 ve VÇ8 serisi numunelerinin basınç dayanımları sırasıyla %22, %20, %19 azalmıştır. 600°C sıcaklığa sıcaklığa tabi tutulan VÇ4, VÇ6 ve VÇ8 serisi numunelerinin basınç dayanımları sırasıyla %33, %22, %9 azalmıştır. 900°C sıcaklığa tabi tutulan numunelerin basınç dayanımları VÇ4, VÇ6 ve VÇ8 serileri için sırasıyla %73, %41 ve %44 azalmıştır.



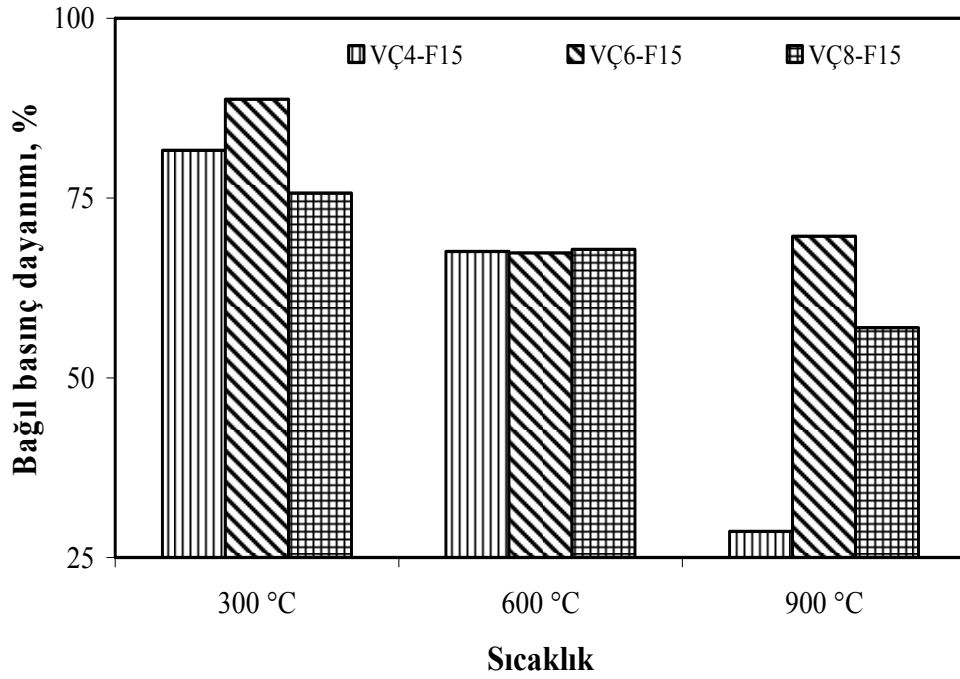
Şekil 4.33. Sıcaklığın Bağıl Basınç Dayanıma Etkisi (Çelik Tel İçeriği=%0)



Şekil 4.34. Sıcaklığın Bağıl Basınç Dayanıma Etkisi (Çelik Tel İçeriği=%0,5)



Şekil 4.35. Sıcaklığın Bağıl Basınç Dayanımına Etkisi (Çelik Tel İçeriği=%1,0)



Şekil 4.36. Sıcaklığın Bağıl Basınç Dayanımına Etkisi (Çelik Tel İçeriği=%1,5)

Çelik tel içeriği %0,5 olan numunelerin 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklığa tabi tutulduktan sonraki basınç dayanımları, 20°C sıcaklıktaki çelik tel içeriği %0,5 olan numunelerin basınç dayanımı ile karşılaştırılmıştır. 300°C sıcaklığa tabi tutulan VÇ4, VÇ6 ve VÇ8 serisi numunelerinin basınç dayanımı sırasıyla %20, %25 ve %22 azalmıştır. 600°C sıcaklığa tabi tutulan VÇ4, VÇ6 ve VÇ8 serisi numunelerinin basınç dayanımı sırasıyla %24, %28 ve %3 azalmıştır. 900°C sıcaklığa tutulan numunelerin basınç dayanımları VÇ4, VÇ6 ve VÇ8 serileri için sırasıyla %71, %44 ve %43 azalmıştır.

Çelik tel içeriği %1,0 olan numunelerin 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklığa tabi tutulduktan sonraki basınç dayanımları, 20°C sıcaklıktaki çelik tel içeriği %1,0 olan numunelerin basınç dayanımı ile karşılaştırılmıştır. 300°C sıcaklığa tabi tutulan VÇ4, VÇ6 ve VÇ8 serisi numunelerinin basınç dayanımları sırasıyla %15, %6, %28 azalmıştır. 600°C sıcaklığa sıcaklığa tabi tutulan VÇ4, VÇ6 ve VÇ8 serisi numunelerinin basınç dayanımları sırasıyla %17, %21, %39 azalmıştır. 900°C sıcaklığa tutulan numunelerin basınç dayanımları VÇ4, VÇ6 ve VÇ8 serileri için sırasıyla %68, %36 ve %45 azalmıştır.

Çelik tel içeriği %1,5 olan numunelerin 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklığa tabi tutulduktan sonraki basınç dayanımları, 20°C sıcaklıktaki çelik tel içeriği %1,5 olan numunelerin basınç dayanımı ile karşılaştırılmıştır. 300°C sıcaklığa tabi tutulan VÇ4, VÇ6 ve VÇ8 serisi numunelerinin basınç dayanımları sırasıyla %18, %11, %24 azalmıştır. 600°C sıcaklığa sıcaklığa tabi tutulan VÇ4, VÇ6 ve VÇ8 serisi numunelerinin basınç dayanımları sırasıyla %32, %33, %32 azalmıştır. 900°C sıcaklığa tutulan numunelerin basınç dayanımları VÇ4, VÇ6 ve VÇ8 serileri için sırasıyla %71, %30 ve %43 azalmıştır.

4.2.3. Ultrases Geçiş Hızı

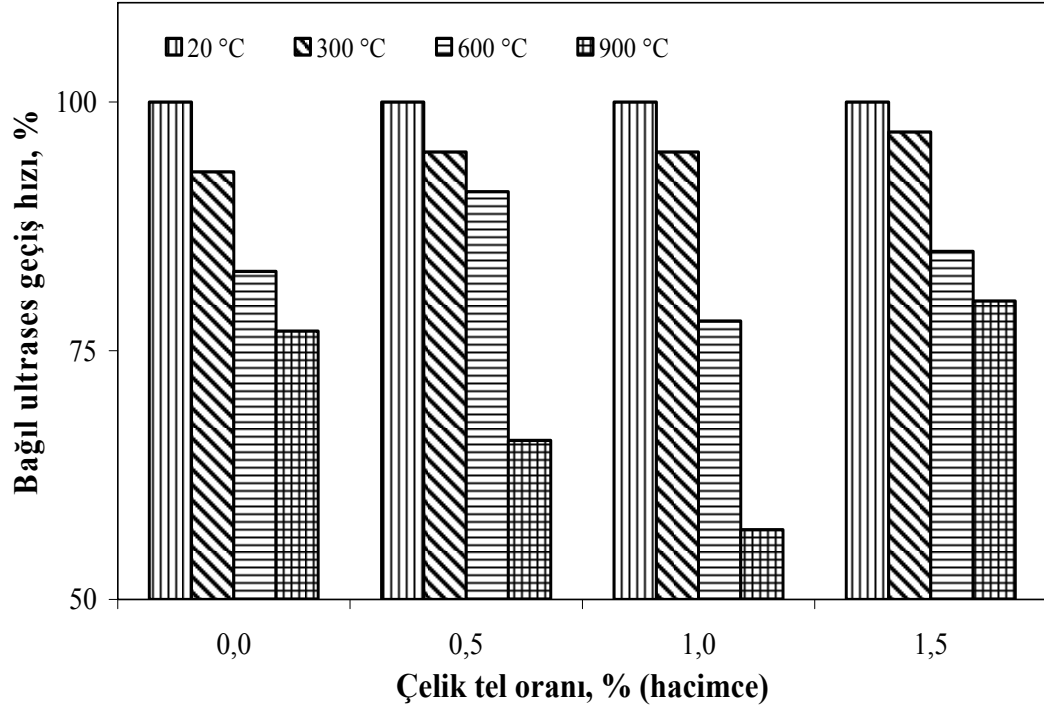
Boyuna ses geçiş dalgalarının değerlendirilmesi esasına dayanan ultrases metodu, basit ve ucuz olması nedeni ile beton numunelerinin tahribatsız deneyleri için çok kabul gören yöntemlerden biridir [11]. Ultrasonik dalganın bir ortamda yayılma hızı o ortamın boşluk yapısına, dolayısı ile yoğunluğuna ve elastik özelliklerine bağlıdır.

Tablo 4.3. Ultrases geçiş hızı deney sonuçları

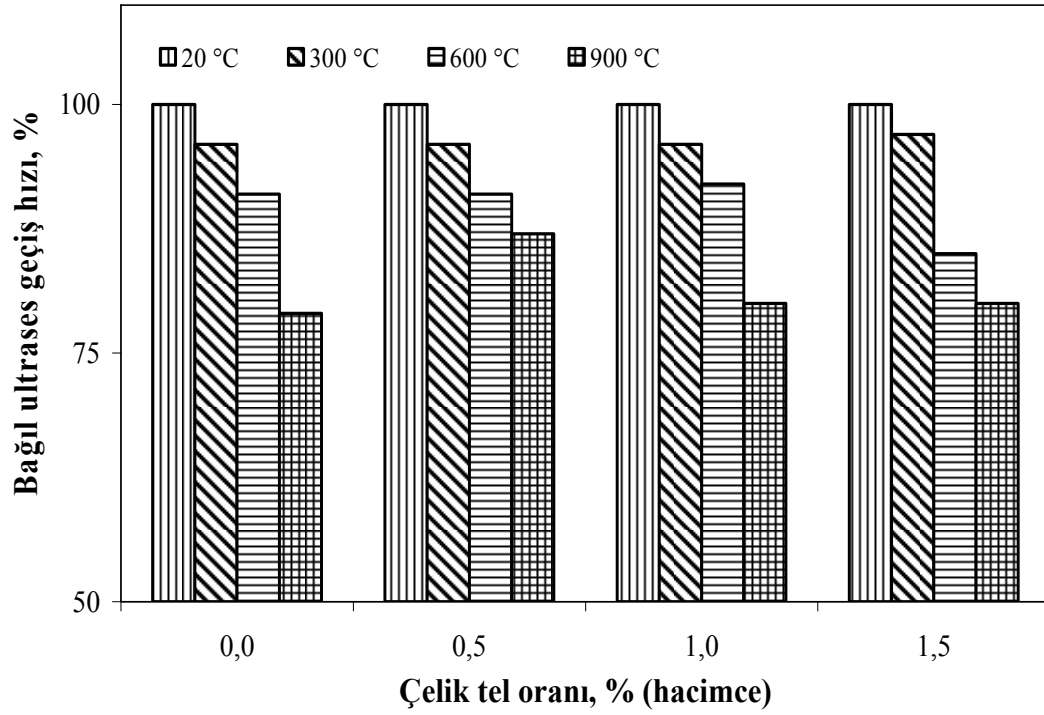
V/ Oranı	elik Tel İçeriği %	Ultrases geçiş hızları (km/sn)			
		Sıcaklık			
		20 C	300 C	600 C	900 C
4	0	2,51	2,34	2,10	1,93
	0,5	2,35	2,23	2,13	1,56
	1,0	2,10	1,98	1,63	1,19
	1,5	2,41	2,34	2,06	1,92
6	0	2,28	2,19	2,08	1,80
	0,5	2,30	2,21	2,09	2,00
	1,0	2,18	2,10	1,99	1,74
	1,5	2,34	2,26	1,98	1,87
8	0	2,12	2,04	1,98	1,68
	0,5	2,14	2,08	1,89	1,85
	1,0	1,91	1,87	1,69	1,61
	1,5	2,06	2,03	1,70	1,66

Üretilen numunelerin ultrases geçiş hızları sonuçları Tablo 4.3’de verilmektedir. Uygulama sıcaklığının artışı ile üretilen numunelerin ultrases geçiş hızlarında azalmalar meydana gelmiştir. Üretilen numunelerin bağıl ultrases geçiş hızları vermikülit/imento hacimsel oranına göre Şekil 4.37-4.39’da verilmektedir.

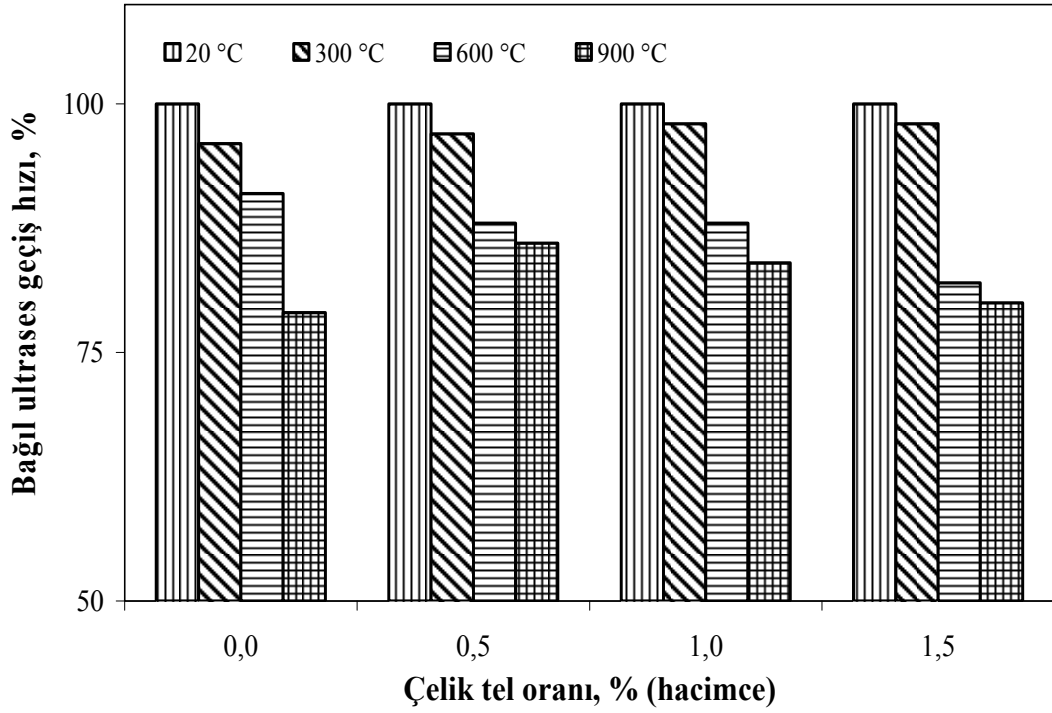
Vermikülit/imento oranı 4 olan numunelerin 300C, 600C ve 900C sıcaklık uygulamasından sonraki ultrases geçiş hızları, 20C sıcaklıktaki V4 serisi numunelerinin ultrases geçiş hızları ile karşılaştırılmıştır. elik tel içermeyen numunelerin ultrases geçiş hızları 300C, 600C ve 900C sıcaklığa tabi tutulduktan sonraki ultrases geçiş hızları sırasıyla %7, %17 ve %23 azalma gözlenmiştir. Benzer şekilde, elik tel içeriği %0,5 olan numunelerin ultrases geçiş hızları sırasıyla %5, %8 ve %34, elik tel içeriği %1,0 olan numunelerin ultrases geçiş hızları sırasıyla %5, %22 ve %43 ve elik tel içeriği %1,5 olan numunelerin ultrases geçiş hızlarının ise sırasıyla %3, %15 ve %20 azaldığı belirlenmiştir.



Şekil 4.37. Vermikülit/çimento Oranı 4 olan Numunelerinin Bağlı Ultrases Geçiş Hızları



Şekil 4.38. Vermikülit/çimento Oranı 6 olan Numunelerin Bağlı Ultrases Geçiş Hızları



Şekil 4.39. Vermikülit/çimento Oranı 8 olan Numunelerinin Bağlı Ultrases Geçiş Hızları

Vermikülit/çimento oranı 6 olan numunelerin 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklık uygulamasından sonraki ultrases geçiş hızları, 20°C sıcaklıktaki VÇ6 serisi numunelerinin ultrases geçiş hızları ile karşılaştırılmıştır. Çelik tel içermeyen numunelerin ultrases geçiş hızlarında 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklığa tabi tutulduktan sonra sırasıyla %4, %9 ve %21 azalma gözlenmiştir. Benzer şekilde, çelik tel içeriği %0,5 olan numunelerin ultrases geçiş hızlarının sırasıyla %4, %9 ve %13, çelik tel içeriği %1,0 olan numunelerin ultrases geçiş hızlarının sırasıyla %4, %8 ve %20 ve çelik tel içeriği %1,5 olan numunelerin ultrases geçiş hızlarının ise sırasıyla %3, %15 ve %20 azaldığı belirlenmiştir.

Vermikülit/çimento oranı 8 olan numunelerin 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklık uygulamasından sonraki ultrases geçiş hızları, 20°C sığağa tabi tutulan VÇ8 serisi numunelerinin ultrases geçiş hızları ile karşılaştırılmıştır. Çelik tel içermeyen numunelerin ultrases geçiş hızları 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklığa tabi tutulduktan sonraki ultrases geçiş hızları sırasıyla %4, %9 ve %21 oranında azalmıştır. Benzer

şekilde, çelik tel içeriği %0,5 olan numunelerin ultrasases geçiş hızları sırasıyla %3, %12 ve %14, çelik tel içeriği %1,0 olan numunelerin ultrasases geçiş hızlarının sırasıyla %2, %12 ve %16 ve çelik tel içeriği %1,5 olan numunelerin ultrasases geçiş hızlarının ise sırasıyla %2, %18 ve %20 azaldığı belirlenmiştir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

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

Üretilen numunelerin kuru birim hacim ağırlıkları $795-1295 \text{ kg/m}^3$, poroziteleri %33,1-43,3 arasında değiştiği belirlenmiştir. Karışımlarda genleştirilmiş vermikülit miktarının artışı ile numunelerin kuru birim ağırlık değeri azalmaktadır. Bunun yanında, çelik tel kullanılmasıyla harçların kuru birim ağırlıklarında %6,3-23,7 arasında artış elde edilmiştir.

Yüksek sıcaklık uygulaması ile numunelerin basınç ve eğilme dayanımlarında genel olarak azalmalar gözlenmiştir. Sıcaklığa tabi tutulmayan numunelerin basınç dayanımları 6,0-15,0 MPa ve eğilme dayanımları 2,5-6,2 MPa arasında değişmektedir.

Harçlara çelik tel ilave edilmesiyle elde edilen numunelerin eğilme dayanımında çelik tel içermeyen numunelere kıyasla %16,6-140 aralığında artışlar elde edilmiştir. Eğilme dayanımdaki en büyük artış vermikülit/çimento oranı 4 ve %1,5 çelik tel içeren harçlarda %140 olarak elde edilmiştir. Çelik tel içermeyen numunelerde ise en yüksek eğilme dayanımı değeri vermikülit/çimento oranı 6 olan numunelerde elde edilmiştir.

900°C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin eğilme dayanımdaki en az kayıp vermikülit/çimento oranı 6 ve çelik tel içeriği %1,0 olan numunelerde gözlenmiş ve dayanım kaybı %34 olarak belirlenmiştir. Buna karşılık, 900°C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin eğilme dayanımdaki en fazla kayıp ise vermikülit/çimento oranı 8 ve çelik tel içermeyen numunelerde gözlenmiş ve dayanım kaybı %61 olarak belirlenmiştir.

900°C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımdaki en fazla kayıp vermikülit/çimento oranı 4 ve çelik tel içermeyen numunelerde gözlenmiş ve dayanım kaybı %73 olarak belirlenmiştir. Buna karşılık, 900°C sıcaklığa maruz

bırakılan basınç dayanımdaki en az kayıp ise vermikülit/çimento oranı 6 ve çelik tel içeriği %1,5 olan numunelerde gözlenmiş ve dayanım kaybı %30 olarak belirlenmiştir.

Sıcaklığa maruz bırakılan harçların iç yapıda meydana bozulmalar nedeniyle ultrases geçiş hızları sıcaklığa tabi tutulmayan numunelere kıyasla bütün seriler için azalma gözlenmiştir. Sıcaklığa maruz bırakılan numuneler üzerinde gözle yapılan muayene sonucunda, numunelerde aşırı çatlak, kırılma ve kopma gibi aşırı bozulmalara rastlanmamıştır.

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 ısı 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. Demirboğa, R., Gül, R., The Effects of Expanded Perlite Aggregate, Silica Fume and Fly Ash on the Thermal Conductivity of Lightweight Concrete, Cement and Concrete Research, 33, 723-727, 2002.
9. Miled, K., Et al, Compressive Behavior of an Idelized EPS Lightweight Concrete: Size Effects and Failure Mode, Mechanics of Materials, 36, 1031-1046, 2003.
10. 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.
11. Neville, A. M., Properties of Concrete, John Wiley&Sons Inc, USA, 1996.
12. Bentur, A., Mindess, S., Fibre Reinforced Cementitious Composites, Modern Concrete Technology Series, 2007.
13. 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.
14. 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.

15. TS EN 206-1. Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.
16. ASTM C330, Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete, Annual Book of ASTM Standards, 2002.
17. Demirboğa, R., Gül, R., Özüng, 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.
18. Gönen, T., Kendiliğinden Yerleşen Taşıyıcı Hafif Betonun Mekaniksel ve Durabilite Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2009.
19. 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.
20. Taşdemir, M.A., Taşıyıcı Hafif Agregalı Betonların elastik ve elastik olmayan davranışları, Doktora Tezi, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul 1982.
21. Azizi, S., Perlit Katkılı Hafif Betonların Mekanik Özellikleri ve Isı Yalıtımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2007.
22. Clarke, J. L., Structural Lightweight Aggregate Concrete, Blackie Academic & Professional, London, England, 1993.
23. Lo Y. T., Tang, W. C., Cui H. Z., The Effects of Aggregate Properties on Lightweight Concrete, Building and Environment, 42, 3025-3029, 2007.
24. Shannag, M.J., Characteristic of lightweight concrete containing mineral admixtures, Construction and Building Materials, in press, 2010.
25. Kayalı, O., Fly Ash Lightweight Aggregates in High Performance Concrete, Construction and Building Materials, October 2007.
26. Yaşar, E., Et al, Strength Properties of Lightweight Concrete Made With Basaltic Pumice and Fly Ash, Materials Letters, 57, 2267-2270, 2003.
27. Sancak, E., Hafif agregalı Beton Blokların Mekanik Özelliklerine Çelik Lif Kullanımının Etkisi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 2008.
28. Uygunoğlu, T., Ünal, O., Diatomitin Hafif Blok Üretiminde Kullanılması, Politeknik Dergisi, Cilt:9, Sayı:1, 65-70, 2006.
29. Düzgün, O.A., Çelik Liflerin Hafif Betonların Dayanımları Üzerindeki Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 2001.

30. 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.
31. Toksoy, F., Vermikülit : Mineraloji, Jeolojik Oluşum, Endüstriyel Kullanım ve Türkiye'deki Durumu, 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 16-17 Ekim, İzmir,Türkiye, 1997.
32. Strand, P. R., 1983, Vermiculite, Industrial Minerals And Rocks, ed: Lefond S. J., Vol: 2.
33. Weisman,J., <http://webmineral.com>, Photographic Guide to Mineral Species, 2010
34. Weller, R., Cochise College, Cochise Country, Arizona, <http://skywalker.cochise.edu>, 2010.
35. Loughbrough, R., 1991, Minerals in Lightweight Insulation, Industrial Minerals, October, 21-35. v7
36. Yanxi Minerals Co. Ltd., <http://www.chinavermiculite.com/>, China, 2011.
37. The Vermiculite Association, <http://vermiculite.org/> , UK, 2011.
38. Vermiculite Board VMC, <http://construction.tradepad.net/products-26664-vermiculite-boardbrick.html>, 2011
39. Kayali, O. Haque, M.N., Zhu, B., Some Characteristics of High Strength Fiber Reinforced Lightweight Aggregate Concrete, Cement and Concrete Composites, 25, 207–213, 2003.
40. Yiğiter, H., Yüksek Performanslı Betonların Süneklik Özelliğine Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, D.E.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2002.
41. Altun, F., Haktanır, T., Ari, K., Effects of steel fiber addition on mechanical properties of concrete and RC beams , Construction and Building Materials, Volume 21, Issue 3, Pages 654-661, 2007.
42. Granju, J. L., Balouch, S. U., Corrosion of steel fibre reinforced concrete from the cracks, Cement and Concrete Research, Volume 35, Issue 3, Pages 572-577, 2005.
43. Yazıcı, Ş., İnan, G., Tabak, V., Effect of aspect ratio and volume fraction of steel fiber on the mechanical properties of SFRC, Construction and Building Materials, Volume 21, Issue 6, Pages 1250-1253, 2007.
44. Köksal, F., Çelik Tel Donatılı Betonların Mekanik Davranışı ve Optimum Tasarımı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2004.

45. Köksal, F., Altun, F., Yiğit, İ., Şahin, Y., Combined Effect of Silica Fume and Steel Fiber on The Mechanical Properties of High Strength Concretes, *Journal of Construction and Building Materials*, 22 (8), p.1874–1880, 2008.
46. ACI Commitee 544, Guide for specifying, mixing, placing and finishing steel fibre reinforced concrete (ACI544.3R-93), *ACI Materials Journal*, 90(1), 94-101, 1993.
47. Van Gaysel, A., A Pull-out model for hooked-end steel fibres, *High Performance Fibre Reinforced Composites (HPFRCC3)*, pp.351-359, Reinhardt, H.W., Naaman A.E.,(eds.), RILEM Publishers, 1999.
48. Atış, C. D., Karahan, O., Properties of steel fiber reinforced fly ash concrete ,*Construction and Building Materials*, Volume 23, Issue 1, Pages 392-399,2009.
49. Gencil, O., et al, Workability and mechanical performance of steel fiber-reinforced self-compacting concrete with fly ash, *Composite Interfaces* , Volume 18, Issue 2, , Pages 169-184 , 2011.
50. Uygunolu, T., Effect of fiber type and content on bleeding of steel fiber reinforced concrete, *Construction and Building Materials*, Volume 25, Issue 2, Pages 766-772, 2011.
51. Swamy, R.N. and Mangat, P.S., Influence of fibre-aggregate interaction of some properties of SFRC, *Materials and Structures*, 7(41), 307-313,1974.
52. Swamy, R.N., Fibre reinforcement of cement and concrete evaluation of fibre reinforcement cement and composites, *Materials and Structures*, 19 FRC Commitee, 8(45), 235-254,1971.
53. Erol, H., Çelik Tel İçeren Betonarme Kirişlerin Mekanik Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Bozok Üniversitesi, Yozgat 2011.
54. Bayramov F., Ilki A., Taşdemir C., Taşdemir M.A. and Yerlikaya M., SFRCs for Concrete Roads in Heavily Trafficked Situations, 9th International Symposium on Concrete Roads, 2, Istanbul, Turkey, April 4-7, 73-82, 2004.
55. Şahin Y., Çelik Tel Dayanımının Betonların Mekanik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2007.
56. Betterman, L.R., Ouyang, C. And Shah, S.P., 1995. Fiber matrix interaction in microfiber-reinforced mortar, *Advanced Cement Based Materials*, 2, 53-61.
57. Mahsanlar, N., Yüksek Sıcaklık Etkisinde Beton Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2006.

58. Mehta, P.K., Monterio, P.J.M., Concrete Microstructure, Properties and Materials, Indian Concrete Institute, 1997.
59. Piesta, J., Heat deformations of cement paste phases and the microstructure of cement paste, Materials and Structures, 17, 415-420, 1984.
60. Dias, W.P.S., Khoury, G.A., Sullivan, P.J.E., Mechanical properties of hardened cement paste exposed to temperature up to 700 °C, ACI Materials Journal, 87, No.2, 160-166, 1990.
61. Lin, W.M., Lin, T.D., Powers-Couche, L.J., Microstructures of fire-damaged concrete, ACI Materials Journal, 93, No. 3, pp. 199-205, 1996.
62. Perkins P.H., Repair, Protection and Waterproofing, of Concrete Structures, Elsevier Applied Science Publishers Ltd., England, 1986.
63. Abrams, M.S., Temperature and Concrete, ACI Publication SP-25, Compressive Strength of Concrete at Temperatures up to 1600F, 1971.
64. Abramova, N.I., Grinberg, V.Ya. and S.V. Zhebrunov Heat insulators based on expanded perlite for steel teeming technology. Ogneupory, Vol. 12, 11 – 14, 1990.
65. Jungk, E.K., et al., Porosities for the production of lightweight bricks. Tile and Brick Int. Vol. 13, No. 1, 7–12, 1997.
66. Durmuş, G., Arslan, M., Yüksek Sıcaklığın Beton Boşluk Yapısına Etkileri, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Karabük, Türkiye, 2009.
67. Topçu, İ.B., Demir, A., Yüksek Sıcaklık Uygulama Süresinin Harç Özelliklerine Etkisi, 7. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, Türkiye, 2007.
68. Kızılkant, A.B., Yüzer, N., Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Harcın Basınç Dayanımı-Renk Değişimi İlişkisi, İMO Teknik Dergi, 4381-4392, 2008.
69. Sancak, E., Şimşek O., Yüksek Sıcaklığın Silis Dumanı ve Süper Akışkanlaştırıcı Katkılı Hafif Betona Etkileri, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 21, No:3, 443-450, 2006.
70. Aydın, S., Baradan, B., Yüksek Sıcaklığa Dayanıklı Harç Geliştirilmesi, 5. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, 2003
71. Tekdemir, F., Çelik Lif Katkılı Betonlara Sıcaklık Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2007.
72. Akol, C., Genleştirilmiş Vermikülit İçeren Hafif Betonların Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Davranışı, Yüksek Lisans, Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas, 2010.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Yozgat'ta doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Yozgat'ta tamamladı. 2005 yılında Niğde Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Azerbaycan-Türkiye Doğalgaz Boru Hattı Şahdeniz Projesi Faz III (Ardahan) kapsamında ve Pearl GTL Projesinde (Katar) saha mühendisi olarak çalıştı. 2008 yılı sonunda yurt dışından döndükten sonra çeşitli yapım işlerinde saha sefi olarak çalıştı. 2009 yılı sonunda Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde uzman olarak göreve başladı. 2010 yılında araştırma görevlisi kadrosuna geçti. Halen Bozok Üniversitesinde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

Adres:

Bozok Üniversitesi
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
66200 YOZGAT

Tel : 0354 242 1001 – 2120

Fax: 0354 242 1005

E-posta: samurat@gmail.com