

**KALKER KIRMATAŞ İLE ÜRETİLEN BETONLARIN  
YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİNE DAYANIKLILIĞI**

**İlknur BEKEM**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
YAPI EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2010  
ANKARA**



**KALKER KIRMATAŞ İLE ÜRETİLEN BETONLARIN  
YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİNE DAYANIKLILIĞI**

**İlknur BEKEM**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
YAPI EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2010  
ANKARA**

İlknur BEKEM tarafından hazırlanan KALKER KIRMATAŞ İLE ÜRETİLEN BETONLARIN YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİNE DAYANIKLILIĞI adlı bu tezin Yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Metin ARSLAN

.....

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oybirliği/oy çokluğu ile Yapı Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Metin ARSLAN

.....

Yapı Eğitimi ABD, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ

.....

Yapı Eğitimi ABD, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Serkan SUBAŞI

.....

Yapı Eğitimi ABD, Düzce Üniversitesi

Tarih:16 / 06 / 2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

İlknur BEKEM

# **KALKER KIRMATAŞ İLE ÜRETİLEN BETONLARIN YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİNE DAYANIKLILIĞI**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**İlknur BEKEM**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Haziran 2010**

## **ÖZET**

**Bu çalışmanın amacı; kalker kırmataş agregası ile üretilen betonların yüksek sıcaklık etkisi altında fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimi belirlemektir.**

**Çalışma sürecinde kalker kırma taş agregası, CEM I 42.5 R çimentosu ve süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılarak C20 sınıfı beton üretilmiştir. Taze beton, 100x100x10 cm boyutunda hazırlanan kalıplara dökülmüş ve elde edilen beton plaklara 14 gün standart kür uygulanmıştır. 28. ve 90. günde Ø5\*10 cm boyutlu silindir örnekler 3 saat süresince 20 (Ref), 150, 300, 500, 600, 700 ve 800 °C sıcaklık uygulanmıştır. Yüksek sıcaklık uygulanan örnekler havada ve suda olmak üzere iki şekilde soğutulmuştur. Soğutulan örnekler üzerinde; ultrases geçiş hızı, kapiler su emme ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir.**

**Sonuç olarak, sıcaklık yükseldikçe beton basınç dayanımının azaldığı, ultrases geçiş hızının azaldığı, kapiler su emme miktarının arttığı görülmüştür. Diğer taraftan, 20, 150 ve 300 °C'lerde havada soğutulan örneklerin suda soğutulan örneklerle göre basınç dayanımlarının daha yüksek olduğu; 20, 150 ve 300 °C'lerde havada soğutulan örneklerin ultrases geçiş hızının suda soğutulan örneklerle göre daha yüksek olduğu, 500, 600 ve 700 °C'lerde ise suda soğutulan örneklerin havada soğutulan örneklerle göre basınç dayanımlarının daha yüksek**

olduğu, 500, 600 ve 700 °C'lerde suda soğutulan örneklerin ultrases geçiş hızının havada soğutulan örneklere göre daha yüksek olduğu; havada soğutulan örneklerin kapilarite katsayılarının suda soğutulan örneklerden fazla olduğu tespit edilmiştir.

**Bilim Kodu** : 714.3.036  
**Anahtar Kelimeler** : Kalker Kırmataş Agregası, Beton, Yüksek Sıcaklık, Basınç Dayanımı, Ultrases geçiş hızı, Kapiler su emme.  
**Sayfa Adedi** : 86  
**Tez Yöneticisi** : Prof. Dr. Metin ARSLAN

**DURABILITY OF CONCRETE MADE OF LIMESTONE CRUSHED  
AGGREGATE UNDER HIGH TEMPERATURE EFFECT**

**(M.Sc. Thesis)**

**İlknur BEKEM**

**GAZI UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**June 2010**

**ABSTRACT**

**Main objective of this study is to identify the change in physical and mechanical specifications of concrete made of limestone aggregate under high temperature effect.**

**During this study, class C20 concrete has been produced by using limestone aggregate, CEM I 42,5 R cement and super plasticizer ingredient. Fresh concrete has been poured into 100\*100\*10 cm molding and a standardized cure has been applied to the prepared concrete for 14 days. On 28<sup>th</sup> and 90<sup>th</sup> days, 20, 150, 300, 500, 600, 700 and 800 °C high temperature has been exposed to cylindrical Ø5\*10 cm sized samples for 3 hours. Samples which have been exposed to high temperature were cooled in two ways, by air and water. Tests such as ultrasonic pulse velocity, capillary water absorption and compressive strength have been implemented on those cooled samples.**

**Finally, it was seemed that as heat increases, compressive strength, ultrasonic pulse velocity, of concrete decreases and capillary water absorption amount increases. On the other hand; it was found that compressive strength of the samples on 20, 150 and 300 °C temperature which were cooled by air is higher than the samples which have cooled by**

**water; ultrasonic pulse velocity of the samples on 20, 150 and 300 °C temperature which were cooled by air is higher than ones which have cooled by water; and compressive strength of samples on 500, 600 and 700 °C temperature cooled under water is higher than ones cooled by air, ultrasonic pulse velocity of the samples on 500, 600 and 700 °C temperature, cooled under water is higher than ones cooled by air; and capillarity coefficients of samples cooled by air are more than samples cooled by water.**

**Science Code : 714.3.036**

**Key Words : Limestone crushed aggregate, Concrete, High temperature, Compressive strength, Ultrasonic pulse velocity, Capillary water absorption.**

**Page Number : 86**

**Adviser : Prof. Dr. Metin ARSLAN**

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca çok değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Prof. Dr. Metin ARSLAN'a, tez çalışması boyunca tecrübelerinden yararlandığım hocalarım Yrd. Doç. Dr. Osman Şimşek ve Yrd. Doç. Dr. Gökhan Durmuş'a, işyerimde huzurlu çalışma ortamı sağlayan Yüksekokul müdürüm Prof. Dr. Ali İhsan KARAYİĞİT'e, Müdür yardımcım Yrd. Doç. Dr. Latif Onur UĞUR' a, tüm öğrencilerime, maddi ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan fedakâr aileme ve arkadaşım Cuma KARA'ya teşekkürü borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR .....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ .....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xv
HARİTALARIN LİSTESİ .....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR TARAMASI .....	4
2.1. Yüksek Sıcaklık sonucu Betonarme Yapı Elemanlarında Meydana Gelen Davranışlar .....	6
2.2. Yüksek Sıcaklığın Beton Üzerindeki Etkileri.....	7
2.3. Yüksek Sıcaklığın Agrega Türüne Etkisi .....	11
2.3.1. Kalker (Kireç taşı) agregası.....	14
3. MALZEMELER VE YÖNTEMLER.....	17
3.1. Malzemeler .....	17
3.1.1. Çimento.....	17
3.1.2. Agrega.....	17
3.1.3. Katkı maddesi.....	19
3.1.4. Beton karışım ve soğutma suyu.....	19

	<b>Sayfa</b>
3.1.5. Kalıp malzemesi .....	20
3.2. Yöntemler .....	20
3.2.1. Beton plak kalıplarının hazırlanması .....	21
3.2.2. Agrega deneyleri.....	21
3.2.3. Beton karışımının hazırlanması .....	23
3.2.4. Taze beton deneyleri.....	23
3.2.5. Beton plakların dökülmesi ve kürü.....	24
3.2.6. Karot örneklerinin hazırlanması .....	24
3.2.7. Yüksek sıcaklık uygulamaları.....	28
3.2.8. Soğutma uygulamaları.....	28
3.2.9. Sertleşmiş beton deneyleri ve gözlemler .....	29
3.2.10. İstatistikî Yöntemler .....	32
4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME .....	33
4.1. Ultrases Geçiş Hızı .....	33
4.2. Kapiler Su Emme.....	46
4.3. Basınç Dayanımı.....	56
4.4. Soğutma Suyunun pH değeri .....	64
4.5. Karot Örneklerinde Fiziksel Gözlemler.....	65
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	78
KAYNAKLAR.....	80
ÖZGEÇMİŞ.....	85



## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Ses hızı ile beton kalitesinin tahmin edilmesi .....	4
Çizelge 2.2. Farklı agrega türleri ile üretilen betonların yüksek sıcaklıklara göre basınç dayanımı .....	13
Çizelge 2.3. Kireçtaşları sınıflandırılması .....	14
Çizelge 3.1. CEM I 42,5 R çimentosuna ait fiziksel ve kimyasal özellikler .....	17
Çizelge 3.2. Süperakışkanlaştırıcı katkı maddesinin bazı özellikleri .....	19
Çizelge 3.3. Suyun kimyasal özellikleri .....	19
Çizelge 3.4. 2. sınıf sarıçam kerestesine ait fiziksel özellikler .....	20
Çizelge 3.5. Agrega örneklerine ait fiziksel özellikler .....	22
Çizelge 3.6. Beton karışımı malzemeleri ve miktarları .....	23
Çizelge 3.7. Taze beton özellikleri .....	24
Çizelge 3.8. Karot örnekleri üzerinde deneysel uygulamalar .....	27
Çizelge 4.1. Ultrases geçiş hızı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler .....	33
Çizelge 4.2. Ultrases geçiş hızı verilerine ait varyans çözümleme tablosu .....	35
Çizelge 4.3. Ultrases geçiş hızı verilerine ait duncan testi sonuçları .....	37
Çizelge 4.4. Gün, sıcaklık ve soğutma şartlarına göre beton kalite çizelgesi .....	42
Çizelge 4.5. Kapilarite değerlerine ait açıklayıcı istatistikler .....	47
Çizelge 4.6. Kapilarite katsayılarına ait varyans çözümleme tablosu .....	49
Çizelge 4.7. Sıcaklık koşuluna göre kapilarite katsayılarına ait duncan testi sonuçları .....	50
Çizelge 4.8. Soğutma koşuluna göre kapilarite katsayılarına ait duncan testi sonuçları .....	51
Çizelge 4.9. Basınç dayanımı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler .....	56

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 4.10. Basınç dayanımı verilerine ait varyans çözümleme tablosu .....	59
Çizelge 4.11. Gün ve sıcaklık şartlarında basınç dayanımı verilerine ait duncan testi sonuçları .....	60
Çizelge 4.12. Gün ve soğutma şartlarında basınç dayanımı verilerine ait duncan testi sonuçları .....	61
Çizelge 4.13. Sıcaklık ve soğutma şartlarına göre basınç dayanımı verilerine ait duncan testi sonuçları .....	62

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Sıcaklık artışının beton üzerindeki etkileri.....	10
Şekil 2.2. Agregaların özellikleri ve betona etkime biçimleri.....	12
Şekil 3.1. Kalıp görünümü .....	21
Şekil 3.2. Deneyde kullanılan agregaya ait granülometri eğrisi.....	22
Şekil 3.3. Plak kalıp ölçüleri ve karot örnekleri yerleşim planı .....	25
Şekil 3.4. Karot örnekleri kodlamaları .....	25
Şekil 3.5. Kapiler su emme deney düzeneği .....	30
Şekil 4.1. 28 günlük örneklere ait ortalama ultrases geçiş hızı değerleri .....	40
Şekil 4.2. 90 günlük örneklere ait ortalama ultrases geçiş hızı değerleri .....	41
Şekil 4.3. Havada soğutulan örneklerin 28. ve 90. günlerde beton kalitesinin karşılaştırılması .....	43
Şekil 4.4. Suda soğutulan örneklerin 28. ve 90. günlerde beton kalitesinin karşılaştırılması .....	44
Şekil 4.5. Ultrases hızı ile belirlenen 28 günlük örneklere ait beton kalitesinin soğutma şartları açısından karşılaştırılması .....	45
Şekil 4.6. Ultrases hızı ile belirlenen 90 günlük örneklere ait beton kalitesinin soğutma şartları açısından karşılaştırılması .....	46
Şekil 4.7. 300 °C’de soğutma koşuluna bağlı kapiler su emme miktarları.....	51
Şekil 4.8. 500 °C’de soğutma koşuluna bağlı kapiler su emme miktarları.....	52
Şekil 4.9. 600 °C’de soğutma koşuluna bağlı kapiler su emme miktarları.....	52
Şekil 4.10. 300 °C’de soğutma koşuluna bağlı kapiler su emme miktarları.....	53
Şekil 4.11. Suda soğutulan örneklerin kapilarite katsayılarının karşılaştırılması ...	53
Şekil 4.12. Havada soğutulan örneklerin kapilarite katsayılarının karşılaştırılması .....	54

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.13. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan örneklerin farklı soğutma koşullarında elde edilen kapilarite katsayılarının karşılaştırılması .....	55
Şekil 4.14. Havada soğutulmuş örneklere ait ortalama basınç dayanımı .....	57
Şekil 4.15. Suda soğutulmuş örneklere ait ortalama basınç dayanımı .....	58
Şekil 4.16. 28 günlük örneklerin soğutma şartlarına ait ortalama basınç dayanımları .....	63
Şekil 4.17. 90 günlük örneklerin soğutma şartlarına ait ortalama basınç dayanımları .....	63
Şekil 4.18. 28. günde soğutma suyu pH değişimi .....	64
Şekil 4.18. 90. günde soğutma suyu pH değişimi .....	65

## RESİMLERİN LİSTESİ

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 4.1. 20 °C (referans) örnekler .....	66
Resim 4.2. 20 °C (referans) örnekler .....	66
Resim 4.3. 150 °C yüksek sıcaklık uygulanarak havada soğutulan örnek .....	67
Resim 4.4. 150 °C yüksek sıcaklık uygulanarak suda soğutulan örnek .....	67
Resim 4.5. 300 °C yüksek sıcaklık uygulanarak havada soğutulan örnek .....	68
Resim 4.6. 300 °C yüksek sıcaklık uygulanarak suda soğutulan örnek .....	69
Resim 4.7. 500 °C yüksek sıcaklık uygulanarak havada soğutulan örnek .....	70
Resim 4.8. 500 °C yüksek sıcaklık uygulanarak suda soğutulan örnek .....	70
Resim 4.9. 600 °C yüksek sıcaklık uygulanarak havada soğutulan örnek .....	71
Resim 4.10. 600 °C yüksek sıcaklık uygulanarak suda soğutulan örnek .....	72
Resim 4.11. 700 °C yüksek sıcaklık uygulanarak havada soğutulan örnek .....	73
Resim 4.12. 700 °C yüksek sıcaklık uygulanarak suda soğutulan örnek .....	73
Resim 4.13. 800 °C yüksek sıcaklık uygulanarak havada soğutulan örnek .....	74
Resim 4.14. 800 °C yüksek sıcaklık uygulanarak suda soğutulan örnek .....	75
Resim 4.15. Havada soğutulan örneklerin renk değişimi.....	76
Resim 4.16. Suda soğutulan örneklerin renk değişimi.....	77

**HARİTALARIN LİSTESİ**

<b>Harita</b>	<b>Sayfa</b>
Harita 3.1. Kırşehir civarından agrega alınan Obruk taş ocağı .....	18

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
°C	Santigrat derece
CaO	Kalsiyum oksit
CaO <sub>2</sub>	Karbondioksit
CaCO <sub>3</sub>	Kalsiyum karbonat
MgCO <sub>3</sub>	Magnezyum karbonat
H <sub>2</sub> O	Su
Ca(OH) <sub>2</sub>	Kalsiyum hidroksit
<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
CEM I	Portland çimentosu
SA	Süper akışkanlaştırıcı
S/Ç	Su/çimento
DPT	Devlet Planlama Teşkilatı
ASKİ	Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi
REF	Referans

## 1. GİRİŞ

Dünyada en çok uygulanan iskelet yapım sistemlerinin başında betonarme gelmektedir. Betonarme, betonun kalıplar yardımı ile desteklenip, çelik donatı kullanılarak güçlendirilmesi sonucu elde edilen yapı ürünüdür. Uzun hizmet ömründen dolayı betonarme tercih sebebi olmuştur. Betonarmeyi oluşturan taşıyıcı elemanlar; kolonlar, kirişler, perde duvarlar, döşemeler ve temellerdir.

Betonarmenin özelliklerine etki eden iki ana yapı malzemesi ve bir yardımcı yapı malzemesi vardır. Bunlar; Beton, demir donatı ve kalıplardır. Betonarmenin en önemli bileşeni olan beton; agrega, çimento, su ve gerektiğinde katkı maddesinin homojen olarak karıştırılması sonucu elde edilen, başlangıçta plastik kıvamlı zamanla çimentonun hidrasyonu sebebiyle sertleşip istenilen kalıbın şeklini alabilen kompozit bir yapı malzemesi olarak tanımlanmaktadır [Şimşek, 2009].

Değişik türdeki yapılarda kullanılmakta olan beton, hizmet süresi boyunca, bünyesinde yıpranmaya yol açabilecek birçok kimyasal ve/veya fiziksel etkenle karşılaşmaktadır. Bu etkenler, doğa koşullarından ve/veya betonun kullanıldığı ortamdan ve/veya betondaki alkalilerle reaktif agregalar arasındaki reaksiyonlardan kaynaklanmaktadır [Erdoğan, 2007].

Yapı elemanlarının fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için gerçekleştirilen strüktürel tasarımlar, normal servis yükleri altında çeşitli gerilmelerin değerlendirilmesini gerektirmektedir. Bu yaklaşımlar, yapı elemanının kullanım sürecindeki performansını gösteren dayanıklılık faktörünün de dikkate alınması ile tamamlanabilir [Arslan, 2001].

Dayanıklılık, 20. yüzyılda tüm dünyayı ilgilendiren bir konu haline gelmiştir. Yapıların ve yapı ürünlerinin işlevlerini uzun yıllar boyu bozulmadan yerine getirmelerine “dayanıklılık (durability) veya kalıcılık” olarak tanımlanmaktadır. Betonun hizmet ömrü boyunca, dayanıklılığını etkileyen bir takım tesirler söz konusudur. Bu tesirler, gerek yapı ürünü oluşturan malzemelerin iç etkisi, gerekse



yapı ürününün maruz kaldığı dış etkilerden kaynaklanabilir. İç tesirler betonarmeyi oluşturan yapı malzemelerinin (beton, çelik donatı ve kalıpların) özelliklerinden, standartlara uygun olmayan işçilikten meydana gelebilir.

İç tesirlere örnek olarak, çimento hamurunun mikro yapısı, betonun dayanıklılık özelliklerini etkileyen en önemli parametrelerden birisidir [Güneyisi ve ark., 2004]. Betonda agrega kullanılması, sertleşen betonun hacim değişikliğini önlemekte veya azaltmakta, çevre etkilerine karşı betonun dayanıklılığını arttırmakta ve kendi dayanım gücünün yüksekliği nedeniyle betonda gerekli dayanımın sağlanmasına yardımcı olabilmektedir [Çağlayan ve ark., 1999]. Betonun dayanıklılığını ve kalitesini arttırmada kullanılan diğer yaklaşımlardan birisi de katkı maddesi kullanmaktır. Betonun özelliklerindeki değişimi, karıştırma, dökme, döküm sonrasındaki ilk bakım ve servis (kullanım) diye dört kısma ayrılırsa her bir safhanın kendine özgü önemli ve hassas kriterleri vardır [Tokyay, 1997].

Uzun tecrübe ve deneyler bazı dış tesirlerin betonun dayanıklılığını olumsuz yönde etkilediğini göstermiştir. Bunlar sülfat etkisi, alkali-agrega reaksiyonu, donma ve çözülme, aşınma ve yüksek sıcaklık olarak özetlenebilir [Erdoğan, 2007].

Zararlı kimyevi etki (sülfatlar, asitler ve deniz suları), beton veya betonarme yapı elemanlarını kimyasal yönden etkileyerek bu elemanın başta mukavemeti olmak üzere kalitesini düşüren ve hizmet süresini azaltan etkilerdir [Şimşek, 2009].

Betonun donma-çözünme olayından dolayı, betonarme elemanlarda yaygın bir şekilde dayanıklılık kaybı görülmektedir.

Alkali agrega reaksiyonu, alkali agrega reaksiyonu ve alkali silika reaksiyonu olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bileşiminde belirli mineraller bulunan agregalar, betonda oluşan alkali hidroksitlerle reaksiyona girerler. Reaksiyonun neden olduğu beton genişmesi, belirli sınırları aştığı zaman beton içerisinde potansiyel bir tehlike ve çatlaklar oluşturmaktadır [Arslan, 2001].

Yapıların sıklıkla yangın olayı ile karşılaştığı, doğrudan olduğu gibi yüksek sıcaklıktan etkilendiği bilinir. Yangın haricinde, baca, amonyak fabrikaları ve jet motorları etkisinde kalan atölyeler gibi yerlerde kullanılan beton malzemeler kısa süre için de olsa yüksek sıcaklıklara maruz kalırlar [Kamanlı ve Balık, 2003]. Dolayısıyla betonarme yapılarda beton karışım elemanlarına özellikle agregaya bağlı olarak yüksek sıcaklık etkisinin bilinmesi önemli görülmektedir.

Bu çalışmanın amacı kalker kayaçlarından elde edilen kırmataşlarla üretilen betonların yüksek sıcaklık etkisi altındaki dayanıklılığına ilişkin davranışlarını belirlemektir.

## 2. KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR TARAMASI

Bir yapının beklentileri en uygun biçimde yerine getirebilmesi için sahip olması gereken özelliklerden biri de yük, yağmur, kar, rüzgâr, deprem ve yangın gibi iç ve dış etkilere karşı koyabilecek dayanım ve dayanıklılıkta olmasıdır [Kamanlı ve Balık, 2003]

Betonun taşıyıcılığının en belirgin ölçütü basınç dayanımıdır. Genellikle, betonun kalitesi dayanımıyla temsil edilmektedir. Beton üzerinde yapılan araştırmalarda, malzemenin muhtelif özellikleri basınç dayanımı arasında ilişkiler aranmış ve bu araştırmalar sonucunda betonun çeşitli özelliklerinin, basınç mukavemeti ile aynı yönde değiştiği görülmüştür. Bu ilişkiden dolayı betonun basınç dayanımı, betonun kalite ölçütü olarak kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalara göre betonun basınç dayanımı ile çekme, eğilme ve kesme dayanımları arasında ilişkiler kurulmaktadır [Şimşek, 2009].

Betonun kalitesi hakkında bilgi edinilebilecek diğer bir yöntem ise ultrases geçiş hızının belirlenmesidir. Ultrasonik hız betonun mukavemetinin, homojenliğinin, elastisite modülünün, döküm özelliklerinin ve çatlakların varlığının belirlenmesinde kullanılabilir. Ultrasonik hız ve mukavemet arasındaki ilişkiler birçok değişkenden etkilenir. Betonun yaşı, su muhtevası, agrega çimento oranı, agrega tipi ve donatı yeri bu değişkenlerden sayılabilir Ultrases geçiş hızı ve beton kalitesi arasında Çizelge 2.1'e göre tahmin edilmektedir [Şimşek, 2010].

Çizelge 2.1. Ses hızı ile beton kalitesinin tahmin edilmesi [Şimşek, 2010]

Ses hızı (V) km/s	Beton kalitesi
>4,5	Mükemmel
3,5-4,5	İyi
3,0-3,5	Şüpheli
2,0-3,0	Zayıf
<2,0	Çok zayıf

Sertleşmiş beton da boşluk miktarı arttıkça dayanım azalmaktadır. Sertleşmiş betonun içerisinde değişik nedenlerle oluşmuş olan boşluklardan biri olan kapiler

boşluklar, çimento hamurundaki çimento tanelerinin arasında yer alan suyun oluşturduğu küçük boşluklardır. İlk zamanlarda, bu boşlukların neredeyse tümünün arasında bağlantı bulunmaktadır. Çimento hamurunun içerisinde gelişigüzel dağılım gösteren ve değişik şekillere ve boyutlara sahip olan kapiler boşlukların ortalama çapı 0,0005 mm kadardır. Kapiler boşlukların içerisindeki su kuru ve sıcak ortamda buharlaşmaktadır [Erdoğan, 2007].

Yangına karşı dayanıklılık, bir yapı bileşeni ya da elemanın yük taşıma, bütünlük ve yalıtkanlık özelliklerini belirlenen bir süre koruyarak yangına karşı dayanmasıdır [Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, 2002].

Betonarme yapıların yangın güvenliklerinin ahşap ve çelik yapılara göre daha iyi olduğu bilinmektedir. Yanmaz bir malzeme olan beton ısıyı iyi iletmediğinden çeliği sıcaklığa karşı korumakta dolayısıyla betonarme yapıların yangına karşı dayanıklılığını artırmaktadır. Bununla beraber bu dayanıklılığın sağlanabilmesi için beton ve donatı sıcaklığının bu malzemeler için kritik olan sıcaklığa ulaşmaması gerekmektedir [Burnaz ve Durmuş, 2004].

Yangın geçirdikten sonra yeniden kullanılması düşünülen binaların onarım ve güçlendirme hesaplarının yapılabilmesi için beton ve içindeki donatılarının özelliklerinin bilinmesine gerek duyulur. Betonarme binalarda çıkan yangınlardan sonra bu binaların onarım veya güçlendirmeden sonra tekrar kullanılmaları söz konusu olabilmektedir. Bu binaların tekrar kullanılabilmesi ve onarım veya güçlendirilmenin yapılabilmesi için yapının taşıma güvenliğinin bilinmesine gerek duyulur. Bunun için de yapının betonlarının yangından sonraki dayanımları ile betonarme çeliklerinin mekanik özelliklerinin bilinmesine gerek vardır. Betonarme binalarda çıkan yangınlara veya çevrenin zararlı etkilerine karşı betonarme donatıları pas payı dediğimiz beton tabakası korur. Özellikle yangınlarda ortaya çıkan yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan betonarme elemanlarda betonun basınç dayanımında ve elastisite modülünde, çeliğin de akma dayanımında, elastisite modülünde,

sünekliğinde ve çekme dayanımında azalmalar meydana geldiği belirtilmektedir [Gewain ve ark., 2003].

Yangın Dayanıklılık Sınıfı, bir yapı malzemesi ve/veya elemanını uygun ısıtma ve basınç koşulları altında TS 1263, TS 4065 ile ilgili Avrupa Standartlarında belirlenen yanmaya dayanıklılık deneyleri sonucunda saptanan yangına dayanıklılık süresini belirler.

- Yangına dayanıklılık süresi 30-59 dakika olan F30,
- Yangına dayanıklılık süresi 60-89 dakika olan F60,
- Yangına dayanıklılık süresi 90-119 dakika olan F90,
- Yangına dayanıklılık süresi 120-179 dakika olan F120,
- Yangına dayanıklılık süresi 180 dakika ve yukarısı olan F180

olarak gösterilir. [Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, 2002]

## **2.1. Yüksek Sıcaklık Sonucu Betonarme Yapı Elemanlarında Meydana Gelen Davranışlar**

Betonarme yapı malzemesinin yangın sonrası davranışlarını incelemek amacıyla, bugüne kadar çok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, yüksek sıcaklık etkisi altındaki beton, çimento, harç ve donatıların özellikleri incelenmiştir.

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 azalmadır. Yangın nedeni ile yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan betonarme bir yapının yıkım ya da onarımına karar vermek için yerinde ve laboratuarda tahribatlı ve tahribatsız deneyler yapılmalıdır. Yerinde yapılan ilk inceleme görsel incelemedir, bu aşamada betonda çatlakların, dağılmaların, renk değişiminin olup olmadığı araştırılır [Guise ve ark., 1996].

## 2.2. Yüksek Sıcaklığın Beton Üzerindeki Etkileri

Yapı malzemelerinin yanıcılık sınıflarına bakıldığında beton, A1 “Hiç yanmaz” sınıfı içerisinde yer almaktadır. Ancak, beton yüksek sıcaklığa maruz kaldığında fiziksel ve mekanik olarak değişime uğrayabilmektedir.

Yangın gibi yüksek sıcaklık uygulanmış betonun davranışı kullanılan agrega tipine, nem içeriğine, çimento/agrega oranına ve uygulanan yük miktarına bağlıdır [Butcher ve Parnell, 1983].

Yüksek sıcaklık beton yapısını önemli ölçüde değiştirir. Normal halde beton kapiler boşluklarında su jel suyu, adsorbsiyon suyu ve serbest su halinde bulunan sular, sıcaklığın yükselmesi ile buharlaşarak uzaklaşır. Yangın etkisinde kalan betonlarda bozulma önce yüzeylerde başlar. İç kısımlarda bulunan suyun buharlaşarak yüzeye kadar taşınması zaman alır. Eğer sıcaklık hızlı bir şekilde yükselirse, iç kısımlarda bulunan sular da buharlaşır ve meydana gelen buhar betonu parçalayarak yüzeye çıkar. Kristal suyu olarak bağlı suların ayrışması için beton sıcaklığının en az 300 °C’ye kadar yükselmesi gerekir. 500 °C’de kalsiyum hidroksit, 900 °C’de kalsiyum silikatlar tam olarak ayrışır [Yalçın ve Gürü, 2006].

Durmuş ve Arslan (2009), çimento harçlarını yüksek sıcaklığa maruz bıraktıktan sonra, basınç dayanımı ve boşluk yapısını incelemişlerdir. Boşluk yapısının incelenmesiyle yüksek sıcaklıklara maruz kalmış harçların dayanımdaki değerleri hakkında fikir yürütülebileceği kanısına varmışlardır [Durmuş ve Arslan, 2009].

Sancak ve Şimşek (2006), yüksek sıcaklığın, silis dumanı ve süperakışkanlaştırıcı katkılı hafif betonlara etkilerinin, normal betonla karşılaştırılmalı olarak araştırmıştır. Hafif ve normal betonlarda silis dumanı ve süperakışkanlaştırıcı kullanımı, yüksek sıcaklık etkisinde ağırlık kaybını önemli ölçüde etkilediğini görmüşlerdir. Sıcaklık 800 °C ve 1000 °C’lere çıkarıldığında, katkılı ve katkısız hafif betonlar, bağıl olarak normal betonlardan daha iyi basınç dayanımı göstermişlerdir [Sancak ve Şimşek, 2006].

Hossain (2006), farklı oranlarda volkanik kül ikamesi kullanarak ürettiği yüksek performanslı betonların yüksek sıcaklık altındaki davranışlarını incelemiştir. Hossain yaptığı çalışmada, 25-200 °C aralığında betonlarda dayanım artışı olduğunu gözlemlerken, 200 °C'den 400 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda başlangıçtaki dayanımın %4 ile %15 arasında dayanım kaybı gerçekleştiğini ve 400-600 °C sıcaklıklarda %32-48 dayanım kaybı meydana geldiğini bulmuştur [Hossain, 2006].

Hüsem ve Karaca (1997)'ya göre; yüksek sıcaklık etkisinde bırakılan hafif karot örneklerin eğilme dayanımları şahit örneklere göre sıcaklık arttıkça azalmaktadır. Ancak, bu azalma geleneksel beton ile üretilen örneklerden daha az olmaktadır. Yüksek sıcaklık etkisinde kaldıktan sonra havada ve suda soğutulan mikro betonların eğilme ve basınç dayanımları, şahit örneğine göre azalmakta, azalma hızı 400 °C'den sonra artmaktadır. 600 °C'den sonraki sıcaklıklarda havada soğutulan örneklerin dayanımları son derece azalmakta suda soğutulan örnekler ise ayrılarak dağılmaktadır. Bu da betonların yangın dayanımının üretimlerinde kullanılan agrega petrografik yapı ve mineralojik bileşimiyle yangın söndürme yönteminden bağımsız olamayacağını göstermektedir [Hüsem ve Karaca,1997].

Durmuş ve Can (2009), süperakışkanlaştırıcı katkılı betonlara 28. günde yüksek sıcaklık uygulayarak basınç dayanım değerlerini referans beton basınç dayanım değerleri ile karşılaştırmışlardır. Yüksek sıcaklık uygulanmış örneklerin basınç dayanımı, referans değerlerden düşük çıkmıştır. Sonuçta yüksek sıcaklığın süperakışkanlaştırıcı'nın üzerinde etkisinin olmadığı kanısına varılmıştır [Durmuş ve Can, 2009].

Noumowe ve arkadaşları (2009), polipropilen lif takviyeli yüksek dayanımlı betonların 200 ve 600 °C termal ısı etkisi altındaki geçirgenliğini araştırmışlardır. 200 °C termal ısı etkisi altında lif takviyeli yüksek dayanımlı betonun geçirgenliği sıcaklık etkisi süresince lifler eridiği için referans yüksek dayanımlı betona göre daha iyidir. 600 °C termal ısı etkisi altında lif takviyeli yüksek dayanımlı betonun geçirgenliği referans yüksek dayanımlı beton ile aynı bulunmuştur [Noumowe ve ark., 2009].

Yapılan bir çalışmada lif katkısız, 0.9, 1.35 ve 1.8 kg/m<sup>3</sup> polipropilen lif katkılı beton örnekler üretilmiş, örnekler laboratuvar ortamında olgunlaştırılmış, 28. günün sonunda tüm örnekler 20, 400, 600 ve 800 °C sıcaklık etkisinde bırakılmıştır. Polipropilen lifler yüksek sıcaklığa maruz bırakılan betonların basınç dayanımlarını 0.9 kg/m<sup>3</sup> miktarında kullanıldığında çok az da olsa artırmış, diğer katkı miktarlarında ise düşürmüştür [Yaprak ve Karacı, 2009].

Xiao ve König (2004)'e göre; yüksek sıcaklık betonun pek çok mekanik özelliği üzerinde aynı etkiyi göstermektedir. Genel olarak, dayanım ve elastisite modülü sıcaklık arttıkça azalmaktadır. Beton ile karşılaştığında demir yüksek sıcaklığa karşı daha hassastır. Demir için ani bozulma sıcaklık sınırı 300 °C iken beton için bu sıcaklık 400 °C'dir [Xiao ve König, 2004].

Yüksek sıcaklık etkisinde kalan betonun soğutulması hava ve su ile yapılır. Yapılan araştırmalarda betonun su ile soğutulmasının, hava ile soğutulmasına göre daha az dayanım kaybına neden olduğu görülmüştür. Burada suyla soğutma ile betonun yüksek ısıda kaybettiği suyun bir kısmı beton bünyesine alınarak mukavemet kaybı azalmaktadır [Şimşek, 2009].

Bingöl ve Gül (2009) yaptıkları çalışmada, yangın etkisinde kalan betonun mekanik özelliklerini belirleyebilmek, yüksek sıcaklığın ve soğutma türlerinin betonun eğilme ve basınç mukavemetleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Agregaların genişmesi, çimentonun büzülmesi, beton boşluklarındaki ve çimento birleşimindeki suyun dehidratasyonu gibi fiziksel ve kimyasal olaylar sonucu beton mukavemetinin azaldığı tespit edilmiştir. Yüksek sıcaklık etkisinde kalan betonun hava ve su ortamlarında soğutulmaları sonucu elde edilen mukavemetlerdeki azalmaların, su ortamında soğutulanlarda daha küçük olduğu ifade edilmiş ve bu durum beton numunelerinin su içerisinde iken yeniden hidrasyon yapabilecek ortamı bulması ve bunun sonucunda mukavemetin bir kısmının geri kazanılmasıyla açıklanmıştır [Bingöl ve Gül, 2009].



Pek çok beton türünde 200°C'ye kadar olan yüksek sıcaklık uygulamasında dayanım kaybı az olurken, 500°C ve üzerindeki yüksek sıcaklıklarda hızla bir dayanım kaybı meydana gelmektedir [Butcher ve Parnell, 1983].

Bunların dışında, yüksek sıcaklıktan doğabilecek zararı değerlendirmenin belli yöntemleri vardır. Bu yöntemlerden en kolayı gözlem yapmaktır. Betonda oluşan çatlaklar, dökülmeler ve renk değişiklikleri kolayca görülebilir [Durmuş ve Arslan, 2009]. Yüksek sıcaklıkla oluşan değişiklikler özellikle silisli agregalar ile üretilen betonlarda belirgindir [Yüzer ve ark., 2007]. Pembe veya kırmızı ise sıcaklığın 300-600°C'ye, gri ise 600- 900°C'ye, sarımtırak bej ise 900-1000°C'ye yükseldiği ifade edilmektedir [Kızılkant ve Yüzer, 2008]. Sıcaklık artışının beton üzerinde meydana getirdiği etkiler Şekil 2.1'de görülmektedir [Geogali ve Tsakiridis, 2005].

<u>Beton rengi</u>	<u>Sıcaklık</u>	<u>Olası fiziksel özellikler</u>
Bej rengi	950 °C	Tozlu, açık renkli, kurutulmuş çimento hamuru
Siyahtan griye bej rengi	900 °C	Yüzey haricinde %25 inden fazla olmayan parçalanmalar
	800 °C	
Kırmızıya dönen pembe	600 °C	Kuvars agrega parçalarının artması ve derin çatlaklar
	575 °C	
	550 °C	
Normal	300 °C	Yüzeyde çatlaklar
	40 °C	Hiçbir şey

Şekil 2.1. Sıcaklık artışının beton üzerindeki etkileri [Geogali ve Tsakiridis, 2005]

Diğer bir çalışmada pembe renkli betonun, dayanımının ve elastisite modülünün önemli derecede azaldığı, beyazımsı-gri veya sarımsı-bej renkli betonun ise zayıf ve gevrek olduğu belirtilmiştir. Renkteki bu değişimin nedeni metal içeren bileşenlere bağlanmıştır [Yüzer ve ark., 2007].

Sıcaklık 600°C'ye ulaştığında beton, dayanımının %50'sini, 800°C'ye ulaştığında ise yaklaşık %80'ini kaybettiği göz önüne alınırsa, renk incelemesi ile betonun hangi sıcaklığa maruz kaldığı, dolayısı ile basınç dayanımında meydana gelen değişim hakkında fikir edinilebilir. Buradan yüksek sıcaklık etkisinde kalan betondaki renk değişiminin önemli bir parametre olduğu anlaşılmaktadır [Kızılkant ve Yüzer, 2008].

Yüksek sıcaklık etkisinde kalan beton ve bileşenlerinin yapılarında değişimler meydana gelmektedir. Performans açısından yüksek sıcaklık sonrası betonların mekanik ve fiziksel özelliklerinde meydana gelebilecek değişimler oldukça önem taşıdığı çeşitli araştırmacılar tarafından belirlenmektedir [Topçu ve Demir, 2007].

Yüksek sıcaklıklarda beton davranışını etkileyen faktörler, ısınma oranı, bağlayıcı malzeme çeşidi, agrega ve nem durumudur. Betonun yüksek sıcaklıklara dayanıklılığı, onu oluşturan bileşenlere bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle, betonun yüksek sıcaklıklar altında davranışının anlaşılabilmesi için, betonu oluşturan bileşenlerin (bağlayıcı matris ve agrega) yüksek sıcaklıklardaki davranışının iyi bilinmesi gerekir [Çil ve ark., 2007].

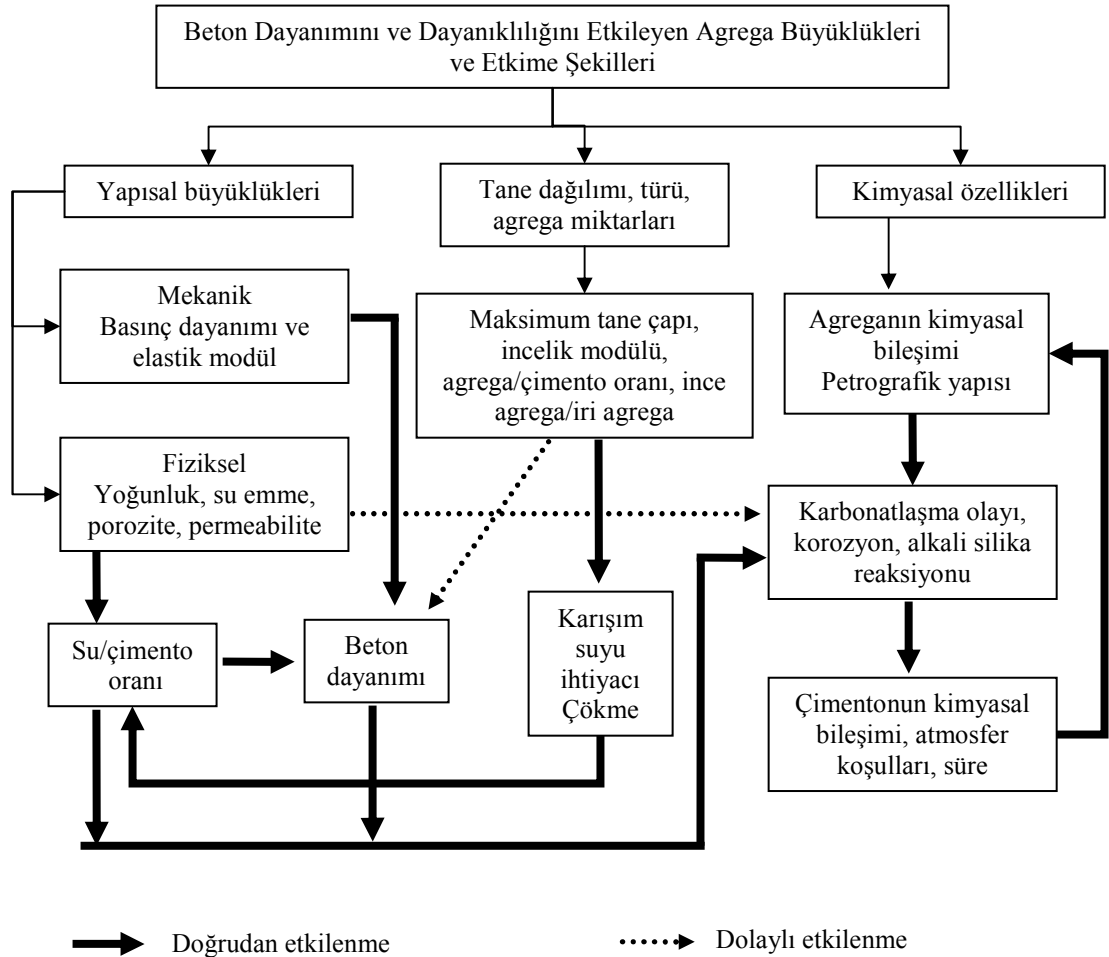
Üretilen betonun yüksek sıcaklıklarda yüksek performans göstermesi için uygun agrega seçimi çok önemlidir [Topçu ve Demir, 2006].

### **2.3. Yüksek Sıcaklığın Agrega Türüne Etkisi**

Beton hacminin %60-80'ini agrega bileşeni meydana getirdiği için, seçiminde titizlik gösterilmelidir. Agrega gereken dayanıma sahip olmalı ve dış etkilere dayanıklılık

gösterebilmelidir. Agreganın fiziki ve mekanik özellikleri istenilen şartları karşılayabilecek nitelikte olmalıdır [Erdoğan, 1993].

Agreganın kimyasal ve mineralojik bileşimi, petrografik yapısı, özgül ağırlığı, sertliği, dayanımı, fiziksel ve kimyasal kararlılığı, boşluk yapısı ve rengi gibi özellikleri kayacın özelliklerine bağlıdır. Ancak, uygulamada genellikle agreganın tane şekli ve boyutu, yüzey yapısı ve su emmesi gibi özellikleri göz önüne alınır. Tüm bu agrega özelliklerinin beton özellikleri üzerinde önemli etkisi vardır [Şengül ve ark., 2002]. Beton dayanımı ve dayanıklılığını etkileyen agrega büyüklükleri ve etkiye şekilleri Şekil 2.2’de gösterilmiştir [Arıoğlu ve ark., 2006].



Şekil 2.2. Agreganın özellikleri ve betona etkiye biçimleri [Arıoğlu ve ark., 2006]

Agrega tipi, porozitesi ve mineralojisi yüksek sıcaklığa maruz kalan betonun davranışı üzerinde önemli bir etki yapar. Agreganın olası faz dönüşümleri ve termal ayrışmasına ilaveten, betonun yangına tepkisi, agreganın mineralojisi tarafından etkilenmektedir. Agreganın mineralojisi, agreganın çimento hamuru arasındaki farklı termal genleşmeleri ve ara geçiş bölgesi dayanımını belirler [Mehta ve Monterio, 1997]. Farklı agregalarla üretilen betonların yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakıldıktan sonra, elde edilen basınç dayanımları Çizelge 2.2’de görülmektedir [Butcher ve Parnell, 1983].

Çizelge 2.2. Farklı agregalarla üretilen betonların yüksek sıcaklıklara göre basınç dayanımı

Yüksek Sıcaklık Etkisinde Kalan Betonun Basınç Dayanımı								
Beton tipi	Basınç dayanımı (ilk dayanımın %'si)							
	200°C		400°C		600°C		800°C	
	Yük altında	Yük altında olmayan	Yük altında	Yük altında olmayan	Yük altında	Yük altında olmayan	Yük altında	Yük altında olmayan
Kireç taşı	99	92	95	85	85	77	62	40
Silisli agregalar	100	97	87	81	56	34	-	20
Hafif beton	98	94	96	91	86	74	48	42
Çimento/agrega oranı 1:6	99	92	86	71	61	20	-	-
Çimento/agrega oranı 1:45	96	8	78	64	41	10	-	-

Zega ve Di Maio (2009)’a göre; düşük su/çimento oranı ile geri dönüşümlü agregalar kullanılarak üretilmiş betonlar yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıklarında geleneksel betona göre daha iyi performans göstermektedirler [Zega ve Di Maio, 2009].

Yaygın olarak kullanılan agregaların birçoğu belirli sıcaklıklarda ısıtıldığında fiziksel olarak bozulur. Örneğin, kumların büyük çoğunluğunu oluşturan kuvarz 570 °C’de polimorfik bir değişime uğrar, kireç taşı ve bazalt agregaları 650 °C’ye kadar ısıtıldığında kalıcı termal genleşmeler gösterir. Karbonat kökenli agregalar 700 °C’nin üzerindeki sıcaklıklarda CaO ve CO<sub>2</sub>’e ayrışır. Artan sıcaklıklarda agregada görülen bütün bu kimyasal ve fiziksel değişiklikler betonda önemli sorunlar yaratır [Topçu ve Demir, 2007].

Demirel ve Özkan (2003)'e göre, yüksek sıcaklık dayanım süresi; betonun içerisinde bulunan karışım oranlarına ve kullanılan agregaların tiplerine bağlıdır. Yapısal olarak içerisinde kil, arduaz gibi malzemeler kullanılan beton, normal betondan çok daha yüksek yangın dayanımına sahiptir [Demirel ve Özkan, 2003].

Boşluklu ve hafif agrega ile yapılmış olan hafif betonların yangına karşı dayanım gösterdiği de bilinmektedir. Boşluklu ve hafif agrega ile yapılmış hafif betonların sıcaklık artışlarında, kütlelerinde bir hasar olmamasına karşın, normal ağırlıktaki betonlarda 500-600°C sıcaklıklarda, kütlelerinde çöküntüler meydana gelmektedir [Özkan, 2002].

### 2.3.1. Kalker (Kireç taşı) agregası

Kirecin hammaddesi olan kalker, genellikle kalsiyum karbonat ( $\text{CaCO}_3$ )'dan oluşur. İçindeki  $\text{CaCO}_3$  oranına göre kireçtaşı türleri Çizelge 2.3'de görülmektedir. [DPT, 2001].

Çizelge 2.3. Kireçtaşları sınıflandırılması

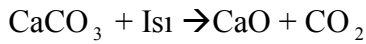
Kireçtaşı çeşidi	Karbonat cinsi	Oran
Çok yüksek kalsiyumlu kireçtaşı (KT)	$\text{CaCO}_3$	min. % 97
Yüksek kalsiyumlu KT	$\text{CaCO}_3$	min. % 95
Yüksek karbonatlı KT	$(\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3)$	min. % 95
Kalsitik KT	$\text{MgCO}_3$	% 5
Magnezyumlu KT	$\text{MgCO}_3$	% 5 - 20
Dolomitik KT (Dolomit)	$\text{MgCO}_3$	% 20 - 40
Yüksek magnezyumlu dolomit	$\text{MgCO}_3$	% 40 - 46

Kalker taşının 5-10 cm boyutlarında parçalar halinde kırılarak, 900-1000 °C sıcaklıklarda kireç fırınlarında yakılarak, içerisindeki karbondioksit ( $\text{CaO}_2$ ) gazları uçurulmuş ve kolayca ufalanabilir hale gelmiş parçalara “sönmemiş kireç (kalsiyum

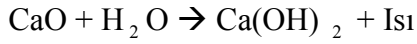
oksit, CaO)” adı verilmektedir. CaO, su ile reaksiyona girdiğinde “sönmüş kireç (kalsiyum hidroksit, Ca(OH)<sub>2</sub>)” ve “ısı” açığa çıkmaktadır [Şimşek, 2007].

Kireç üretim aşamaları aşağıda gösterilen şekilde gerçekleşmektedir:

### 1. Kalkerin pişirilmesi

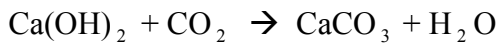


### 2. Kirecin söndürülmesi :



Kirecin hammaddesi olan ve doğada bol miktarda bulunan kalker taşı, karbonatlı tortul kayaç ve fosiller için kullanılan genel bir deyim olup, yapısında prensip olarak CaCO<sub>3</sub> veya CaCO<sub>3</sub>/ MgCO<sub>3</sub> bileşikleri kombine halde bulunur. Bunun yanı sıra içinde değişik oranlarda demir, alüminyum, silisyum, kükürt gibi safsızlıklara da rastlanabilir. Dünya’ da çok çeşitli formasyon ve tiplerde kireçtaşı mevcuttur. Bunlar orijin, jeolojik formasyon, mineralojik yapı, kristal yapısı, kimyasal bileşim, renk ve sertlik özelliklerine göre gruplandırılır [DPT, 2001].

Betonun içerisindeki Ca(OH)<sub>2</sub> betonun içerisine sızan CaO<sub>2</sub> ile reaksiyonu sonucunda karbonatlaşma meydana gelmekte, böylece su ve CaCO<sub>3</sub> oluşmaktadır [Erdoğan, 2007].



Serbest kireç havanın (karbondioksit) CO<sub>2</sub> etkisi ile betonun hava ile temas eden yüzeyinden başlayarak karbonatlaşır, beton yüzey sertliği artar ve suda çözünmez

hale gelir. Karbonatlaşmamış bölgelerdeki serbest kireç su ile karşılaştığında erir ve yeri boşluk kalır, betonun dayanımı düşer, dayanıklılığı azalır [Aköz ve ark., 1998].

Karbonatlaşma olayı sonucunda, betondaki  $\text{Ca(OH)}_2$  miktarı azalmakta, betonun pH değeri düşmektedir. Bilindiği gibi pH değeri malzemelerin asit ve bazik karakterlerini 0-14 sayıları arasında ifade eden bir değerdir. pH değeri 7 olan bir malzeme nötr malzemedir. Asitlik arttıkça pH değeri 7'den daha küçük sayılara iner. Baziklik arttıkça pH değeri 7'den büyük sayılara çıkmaktadır. Taze betonun pH değeri 12,5-13 civarındadır. Karbonatlaşma olayı beton yüzeyinde başlamakta ve yüzeyden biraz içerilerde bulunan bölgelerde etkili olmaktadır. Betonun geçirimsizliği arttıkça ve betondaki mikro çatlaklar çoğaldıkça karbonatlaşmanın etki ettiği derinlik daha fazla olmaktadır [Erdoğan, 2007].

Karbonatlaşma sonucunda sertleşmiş çimento hamuru büzülme göstermekte, dolayısıyla betonda çatlaklar oluşmaktadır. Karbonatlaşma sonucu kalsiyum hidroksitinin çözünmesi nedeniyle, betonun içerisindeki mevcut olan alkalın ortam daha düşük düzeye inmektedir. Alkalitenin azalması ile betonda karbonatlaşmanın yer aldığı bölgelerdeki betonarme demirlerinin korozyonu daha hızlı olabilmektedir [Erdoğan, 2007].

Karbonatlaşma olayı sonucunda beton dayanımında çok az artış meydana gelmektedir. Bunun nedeni, karbonatlaşma olayı sonunda bir miktar suyun serbest kalmasıdır. Serbest kalan su, çimentoda yer alan hidrasyona yardımcı olmaktadır. Karbonatlaşma nedeniyle oluşan kalsiyum karbonat kristalleri, çimento hamurundaki kapiler boşlukların içerisine yerleştikleri için, beton nispeten daha geçirimsiz olabilmektedir [Erdoğan, 2007].

### 3. MALZEME VE YÖNTEMLER

#### 3.1. Malzemeler

Bu çalışmada, CEM I 42,5 R çimento, kalker esaslı kırmataş agrega, su azaltıcı süperakışkanlaştırıcı (SA) katkısı, şehir içme suyu, sarıçam kerestesi ve kalıp yağı kullanılmıştır.

##### 3.1.1. Çimento

Araştırma sürecinde kullanılan CEM I 42,5 R çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

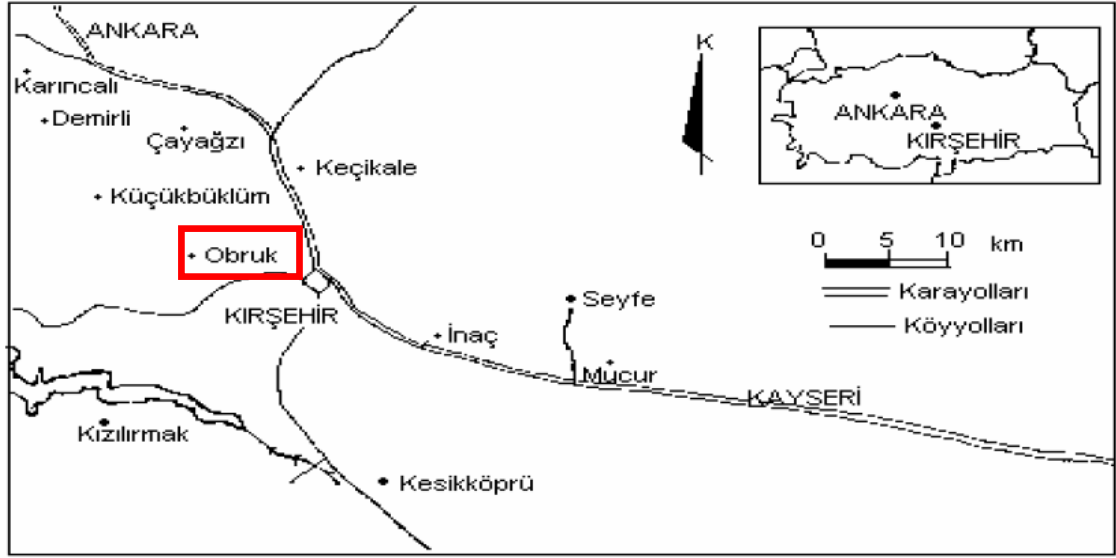
Çizelge 3.1. CEM I 42,5 R çimentosunun fiziksel özellikleri ve kimyasal kompozisyonu

Analiz	Oksit	Değer	Analiz	Deneyle	Değer
Kimyasal, %	SiO <sub>2</sub>	20,41	Fiziksel	Özgül yüzey, cm <sup>2</sup> /g	3320
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,35		Hacim Genleşme, mm	1,2
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,30		Su ihtiyacı, gr	28,5
	CaO	63,50		Priz başlama süresi, dk	163
	MgO	1,65		Priz bitiş süresi, dk.	240
	SO <sub>3</sub>	2,93		Yoğunluk, g/cm <sup>3</sup>	3,12
	Na <sub>2</sub> O	0,15	Mekanik	Gün	MPa
	K <sub>2</sub>	0,71		3. gün	28,2
	Cl	0,011		7. gün	42,7
	HCl	0,28		28. gün	51,4

##### 3.1.2. Agrega

Beton karışımında Kırşehir-Obruk kırma agrega ocağından alınan kalker agregası kullanılmıştır. Taş ocağının görünür rezervi 2 660 000 m<sup>3</sup>tür. Çıkartılan bloklardan moloz taş ve konkasörlerle kırmataş üretilmektedir. Obruk taş ocağının harita üzerindeki yeri Harita 3.1’de gösterilmiştir. Obruk taş ocağı Kırşehir’e 15 km mesafededir.





Harita 3.1. Kırşehir civarında agrega alınan Obruk taş ocağı

#### Agreganın mineralojik yapısı

Obruk taş ocağı gri renkli orta taneli kalsit kristallerden oluşan kristalize kireçtaşıdır. Esas mineral kalsitin yanında tali mineral olarak kuvars gözlemlenmiştir. Kireçtaşları kalın, kırıklı ve çatlaklıdır. Çatlaklar çoğunlukla tabakalanma yüzeyini kesecek şekilde gelişmiş olup birim içerisinde bloklar oluşturmuşlardır [Demir, 2003].

Obruk sahasından alınan örneğin ince kesitinin polarizan mikroskopla incelenmesinde aşağıda verilen bulgular gözlenmiştir. Örnekte kalsit>>kuvars>>serizit izlenmiştir. Kalsit tanelerinin boyutlarında ufalanma gözlenmekte, bu metamorfizma etkisinden olabilir. Bir deformasyon etkisinin varlığı gözlenmiştir. Kuvars ksenoblastik şekilli olup ortalama 0,11 mm boydadır. Serizitler subidioblastik şekillidir. Üçlü noktalardan dokanaklar ortalama 0,19 – 0,90 mm boydadır. Kuvars ve serizit kalsitlerin dokanaklarında yer almaktadır. Opak azdır. Boy sınıfı sparit'tir. İlerlemiş didolomitizasyon olup didolomitik kalkerdir [Demir, 2003].

### 3.1.3. Katkı maddesi

Katkı maddesi olarak kullanılan Polikarboksilik Eter Esaslı süperakışkanlaştırıcı (SA) beton katkı maddesi durumundadır. Katkı maddesinin bazı özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir. [BASF yapı kimyasalları, 2009]

Çizelge 3.2. Süperakışkanlaştırıcı katkı maddesinin bazı özellikleri

Analizler	Analiz sonuçları
Renk	Kahverengi
Yoğunluk	1,061-1,101 kg/litre
Klor içeriği % TS EN 480-10	< 0,1
Alkali içeriği % TS EN 480-12	< 3

### 3.1.4. Beton karışım ve soğutma suyu

Beton karışımı ve örneklerin soğutulması amacıyla, betona zararlı olabilecek organik madde ve madensel tuzları ihtiva etmeyen Ankara içme suyu kullanılmıştır. Karışım ve soğutma suyunun, ASKİ’nin resmi internet sitesinden alınan, kimyasal analiz sonuçları Çizelge 3.3’te verilmiştir [ASKİ, 2010].

Çizelge 3.3. Ankara şehir içme suyunun kimyasal özellikleri

Parametre	Analiz sonucu	TS 266’ca izin verilebilir değer	Sağ. Bak. İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmelik Değerleri
Bulanıklık (NTU birimi)	0,58	5	1
Koku	Yok	Yok	Yok
Bakiye Klor(mg/l)	0,6		En çok 0,5
İletkenlik(20oC,µS/m)	17,87	250	250
Amonyum(mg/l)	0,06	0,5	0,5
Nitrit(mg/l)	0,006	0,5	0,5
Sülfat ( mg / lt )		250	250
Demir ( mg / lt )	<3	200	200
Alüminyum ( mg / lt )		200	200

Çizelge 3.3. (Devam) Suyun kimyasal özellikleri

Bakteri Sayısı	100 cc deki Toplam Koliform Bakteri Sayısı	100 cc deki Toplam E-Coli Bakteri Sayısı
	0,0	0,0

Karışım suyunun ve 28. günde kullanılan soğutma suyunun pH'ı 5, 90. günde soğutma işlemi sırasında kullanılan suyun pH'ı ise 6 olarak ölçülmüştür.

### 3.1.5. Kalıp malzemesi

Beton plak kalıbı yapımında 2. sınıf sarıçam kereste kullanılmıştır. Kalıp yapımında kullanılan keresteye ait bazı özellikler Çizelge 3.4'te görülmektedir. [Arslan, 1994].

Çizelge 3.4. 2. sınıf sarıçam kerestesine ait fiziksel özellikler

Fiziksel özellik	Değer
Birim hacim ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	0,458
Yıllık halka genişliği (mm)	2,730

Kalıp yağı olarak mineral yağ bazlı sıvı kullanılmıştır.

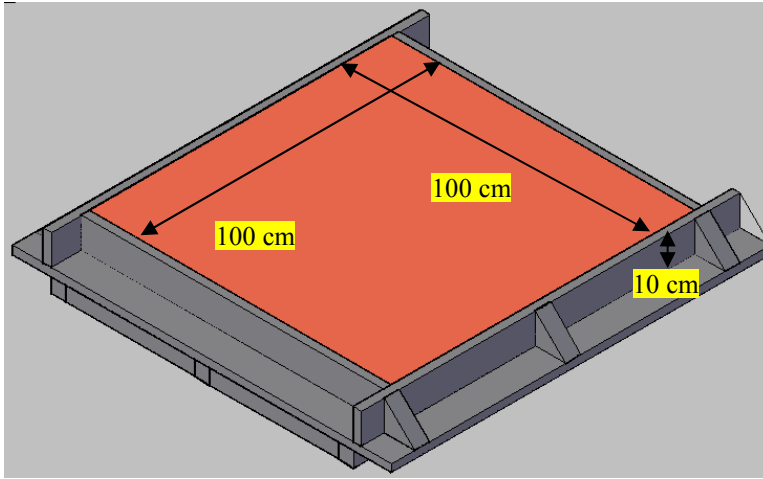
### 3.2. Yöntemler

Çalışmada kullanılan yöntemler “beton plak kalıplarının hazırlanması, agregada deneylerinin yapılması, beton karışımının hazırlanması, taze beton deneyleri, beton plakların dökülmesi ve kütü, karot örneklerinin hazırlanması, yüksek sıcaklık uygulamaları, soğutma uygulamaları, sertleşmiş beton deneyleri (ultrases geçiş hızı deneyi, kapiler su emme deneyi, basınç dayanımı deneyi), soğutma suyu pH değeri ölçümü, karot örneklerde fiziksel gözlemler ve istatistikî yöntemler” safhalarından oluşmaktadır. Agregada, çimento ve beton deneyleri için Gazi Üniversitesi Teknik

Eğitim Fakóltesi Yapı Eğitimi Bölümü yapı malzemesi ve beton laboratuvarları kullanılmıştır.

### 3.2.1. Beton plak kalıplarının hazırlanması

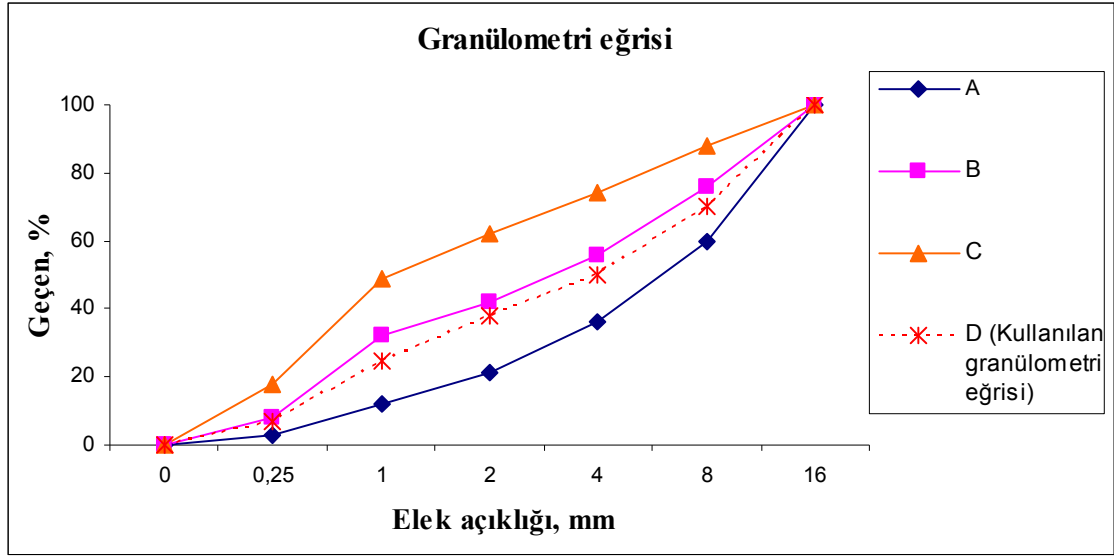
Beton üretiminin gerçekleştirilebilmesi amacıyla 2. sınıf sarıçam kerestesi kullanılarak üç adet 100 cm x 100cm x 10 cm boyutlarında kalıp hazırlanmıştır. Kalıp görünümü Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Kalıp görünümü

### 3.2.2. Agregada deneyleri

Beton karışımının hazırlanması için gerekli olan agregada tane dağılımını TS 3530 EN 933-1 “Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımını Tayini - Eleme Metodu” standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Agregada tane dağılımını eğrisi Şekil 3.2’de görölmektedir.



Şekil 3.2. Deneylede kullanılan agregaya ait granülometri eğrisi

İri ve ince agreganın birim hacim ağırlıkları TS EN 1097-6 “Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyle Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini” standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Agregaların gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlıkları TS 3529 “Agregada Gevşek ve Sıkışık Birim Ağırlık Tayini” standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Agregaya sınıflarına ait fiziksel özellikler Çizelge 3.5’te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Agregaya örneklerine ait fiziksel özellikler

Fiziksel özellik	Agregaya gurubu	Deneyle sonucu
Yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )	0-4	2,67
	4-8	2,69
	8-16	2,69
Su emme miktarı (%)	0-4	0,03
	4-8	0,42
	8-16	0,42
Gevşek Birim Hacim Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	0-4	4,34
	4-8	4,20
	8-16	4,45
Sıkışık Birim Hacim Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	0-4	5,52
	4-8	4,80
	8-16	4,80

### 3.2.3. Beton karışımının hazırlanması

Betonların karışım hesabı TS 802 “Beton Karışımı Hesap Esasları” ve TS EN 206–1 “Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk” standartlarına uygun olarak belirlenmiştir. Karışımların beton sınıfı C20 olup, hazırlanan betonun S/Ç oranı 0.54, SA çimento miktarının % 1 kadar kullanılmıştır. 1 m<sup>3</sup> beton karışımına giren malzeme miktarları Çizelge 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Beton karışımı malzemeleri ve miktarları (1 m<sup>3</sup>)

Malzemeler		Miktar
Çimento (kg)		320,0
Su (lt)		174,0
SA (kg)		32,0
Su/Çimento		0,54
Agrega (kg)	0-4	943,0
	4-8	377,0
	8-16	570,0

Beton karıştırma işlemi TS 1247 “Beton Yapım, Döküm Ve Bakım Kuralları (Normal Hava Şartlarında)” standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Agregas, çimento ve katkı maddesi  $\pm$  %3, su ise  $\pm$  %1 tolerans ile tartılmıştır. Miksere malzemeleri doldurma ve karıştırma işlemleri esnasında malzeme kaybı meydana gelmemiştir. Karışım için gerekli malzemeler 30 dm<sup>3</sup> hacmindeki laboratuvar tipi beton mikserinde TS 1247 standardında belirtilen şekilde 3 dakika sabit hızla karıştırılmıştır.

### 3.2.4. Taze beton deneyleri

Taze betonun çökme miktarı TS EN 12350-2 “Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi” standardına göre belirlenmiştir. TS EN 12350-3 “Beton- Taze Beton Deneyleri-Bölüm 3: Vebe Deneyi” ve TS EN 12350-4 “Beton-Taze Beton Deneyleri-Bölüm 4: Sıkıştırılabilirlik Derecesi” standartlarına göre taze betonun kıvam değerleri elde edilmiştir. Taze betonun kıvamının plastik olduğu tespit

edilmiştir. Hava miktarı deneyi TS EN 12350-7 “Beton- Taze Beton Deneyle- Bölüm 7: Hava İçeriğinin Tayini- Basınç Metotları” standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Taze betonun kıvamının plastik olduğu tespit edilmiştir

Çizelge 3.7. Taze beton özellikleri

Özellik	Deney sonucu
Çökme, (cm)	8
Ve-Be, (sn)	6
Hava miktarı, (%)	3,2
Sıkıştırma faktörü	0,92

### 3.2.5. Beton plakların dökülmesi ve kürü

Betonun kalıplara dökümü, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması TS 1247 “Beton Yapım, Döküm ve Bakım Kuralları (Normal Hava Koşullarında)” standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

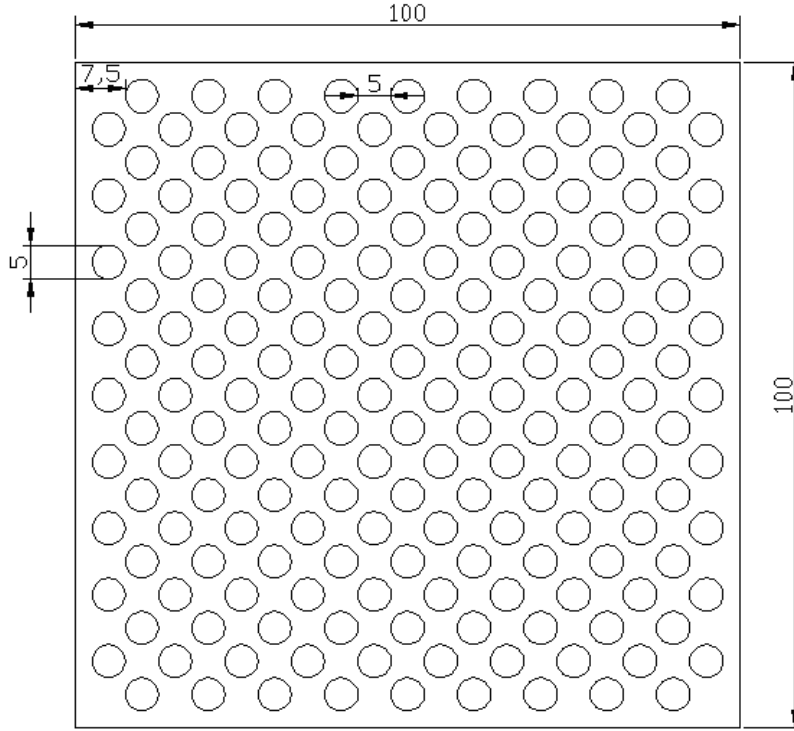
Kalıp ayırıcı olarak mineral yağ bazlı sıvı kullanılmıştır. Kalıp yüzeyleri yağlandıktan sonra, taze beton yerleştirme işlemi tek aşamada yapılmıştır. Kalıplara beton dökümü yapılmış, daldırma vibratör ile sıkıştırılmış ve yüzeyi düzeltilmiştir.

Betonun kür uygulaması TS 1247 “Beton Yapım, Döküm ve Bakım Kuralları (Normal Hava Koşullarında)” standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Betonun plak yüzeylerinin, güneş veya rüzgâr etkisiyle ani kurumasını engellemek amacıyla ıslak çuvallar serilerek 14 gün süreyle ıslak tutulmuştur. Beton plaklardan alınan karot örnekleri 28. ve 90. güne kadar kür havuzunda bekletilmişlerdir.

### 3.2.6. Karot örneklerinin alınması

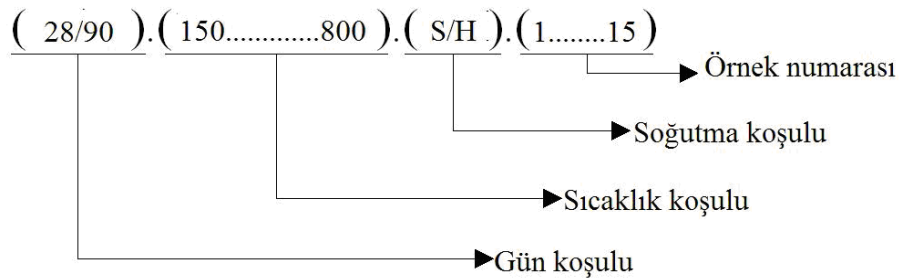
14 gün sonra kalıba dökülmüş betondan Ø5\*10 boyutlarında karotlar TS 10465 “Beton Deney Metotları- Yapı ve Yapı Bileşenlerinde Sertleşmiş Betondan Örnek Alınması ve Basınç Mukavemetinin Tayini (Tahribatlı Metot)” standardında belirtilen esaslara uygun olarak alınmıştır. Beton plaklar üzerindeki karot dağılımı

Şekil 3.3'te gösterilmiştir. 3 adet plâğın her birinden 140 adet olmak üzere, toplam 420 adet  $\text{Ø}5*10$  cm boyutlarında örnekler alınmıştır.



Şekil 3.3. Plak kalıp ölçüleri ve karot örnekleri yerleşim planı

Alınan karot örneklerine tanımlayıcı kodlar verilmiştir. Kodlama detayı Şekil 3.4'te görülmektedir.



Şekil 3.4. Karot örnekleri kodlamaları

Örnek olarak, 28.150.H.1 kodlaması 28 günlük 150 °C sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra havada soğutma uygulanmış 1 numaralı karot örneğini temsil etmektedir.



Bu çalışmada örnekler üzerinde zaman faktörünün iki seviyesi (28. ve 90. gün), soğuma faktörünün iki seviyesi (havada ve su ile soğutma) ve sıcaklık faktörünün ise (150, 300, 500, 600, 700 ve 800°C) altı seviyesi üzerinde; karot örnekleri için basınç deneyi, ultrases geçiş süresi ve kapiler su emme değeri tayini deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Sertleşmiş beton deneylerinde yüksek sıcaklık uygulamasından sonra ultrases, kapiler su emme ve basınç dayanımı testleri yapılmıştır. Karot örnekleri üzerinde gerçekleştirilmesi planlanan deneysel uygulamalar, örnek sayıları ve deney sıralaması Çizelge 3.8'de görülmektedir.



### 3.2.7. Yüksek sıcaklık uygulamaları

Karot örnekleri 28 ve 90 günlük kür sürelerinin ardından yüksek sıcaklığa maruz bırakılmadan önce (24 saat) etüvde ( $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ ) bekletilmiştir. Yüksek sıcaklık uygulamasında kullanılan fırının ısınma hızı  $10^{\circ}\text{C}/\text{dk}$   $1800^{\circ}\text{C}$  sıcaklığa kadar yükselebilmektedir. Her bir sıcaklık derecesi için Çizelge 3.8 deney planında gösterildiği şekilde 30 adet örnek fırına yerleştirilmiş ve 3 saat süre ile yüksek sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Referans örnek  $22^{\circ}\text{C}\pm 2$ 'de laboratuvar ortamında bekletilmiştir.

### 3.2.8. Soğutma uygulamaları

Yüksek sıcaklık uygulamasında 3 saat süreyle 20, 150, 300, 500, 600, 700 ve 800  $^{\circ}\text{C}$ 'lerde bekletilen 30 örnekten 15 adedi havada (laboratuvar ortamında,  $22^{\circ}\text{C}\pm 2$ ), diğer 15 adedi ise suya daldırılarak soğutulmuştur.

Havada soğumaya bırakılmış karot örnekleri sıcaklık derecesine bağlı olarak 20-150 dk arasında  $20^{\circ}\text{C}$  sıcaklığa gelinceye kadar laboratuvar ortamında bekletilmiştir.

Suya daldırılarak yapılan soğutma işleminde karot örnekleri sıcaklık derecesine bağlı olarak 30-250 dk arasında  $20^{\circ}\text{C}$  sıcaklığa gelinceye kadar laboratuvar ortamında bekletilmiştir.

Suya daldırılarak yapılan soğutma işleminde, bir miktar kalsiyum oksit in suda eriyip erimediğini belirlemek amacı ile 15 adet karot örneği aynı soğutma suyunun içine daldırılmıştır. Başlangıçta soğutma suyunun sıcaklığı ve pH değerleri ölçülmüştür. 28 günlük örneklerin soğutulmasında kullanılan suyun sıcaklığı  $22^{\circ}\text{C}$  ve pH değeri ise 5 olarak belirlenirken, 90 günlük örneklerin soğutulmasında kullanılan suyun sıcaklığı  $22^{\circ}\text{C}$ , pH değeri 6 olarak belirlenmiştir. Soğutma suyunun sıcaklık değerinin  $200^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar çıktığı görülmüştür.

Farklı derecelerde (20, 150, 300, 500, 600, 700 ve 800 °C) yüksek sıcaklığa maruz kalan karot örneklerine bir kap içerisinde bulunan başlangıç sıcaklığı ve pH değerleri bilinen su içerisinde daldırılarak 20 °C sıcaklığa gelene kadar bekletilmiştir.

Karot örneklerinin soğutma işlemlerinde kullanılan başlangıç pH değerleri (pH=5, pH=6 gibi) bilinen soğutma sularının sonuç pH değerleri her soğutma grubu için ölçülerek kayıt edilmiştir.

### 3.2.9. Sertleşmiş beton deneyleri ve gözlemler

28 ve 90 günlük karot örneklerinden yüksek sıcaklığa ve soğuma koşullarına maruz bırakılmış 30 adet (15 havada, 15 suda soğutulmuş) karot örnekleri üzerinde ultrases geçiş süresi tayini, 10 havada ve 10 suda soğutulmuş karot örnekleri üzerinde basınç dayanımı tayini deneyleri yapılmıştır. 90. günde 5 adet havada soğutulmuş ve 5 adet suda soğutulmuş karot örnekleri üzerinde ise kapiler su emme deneyi yapılmıştır.

#### Ultrases geçiş hızı deneyi

ASTM C 597 standardına göre Ultrases geçiş süresi ile belirlenen ultrases hızı değerlerinin artan sıcaklıklarda gruplarda meydana gelen değişim incelenmiştir. Her bir karot örneğine sıcaklık ve soğuma koşulu uygulandıktan sonra, ultrases geçiş süresi tayini deneyi yapılmıştır. Bu amaçla, ultrases cihazının alıcı ve gönderici uçları karşılıklı olacak şekilde seçilmiş ve cm cinsinden ölçülmüştür. Okunan ses geçiş süresi ses hızına aşağıdaki Eş. 3.1 kullanılarak çevrilmiştir.

$$V = L / t \quad (3.1)$$

Eşitlikte;

V= Ses hızı, (km/s)

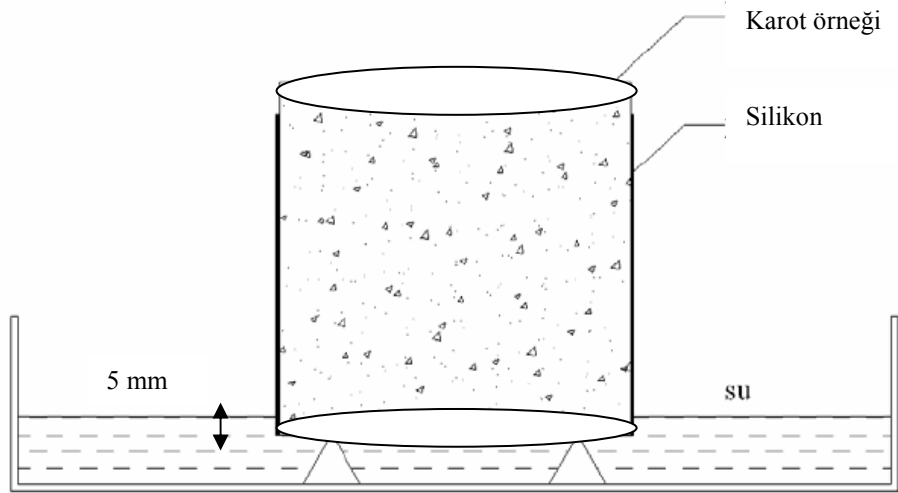
t = Ses geçiş süresi, (saniye)

L = Ölçü boyu, (km)

ifade etmektedir.

### Kapiler su emme deneyi

Karot örneklerinin kapiler su emme miktarlarının tayini TS EN 772-11 “Kâgir Birimler - Deney Metotları - Bölüm 11: Betondan, Yapay Ve Doğal Taştan Yapılmış Kâgir Birimlerde Kapiler Su Emme Ve Kil Kâgir Birimlerde İlk Su Emme Hızının Tayini” standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. 90 günlük kürünü tamamlayan örnekler, yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakıldıktan sonra, yan yüzeyleri silikon ile kaplanarak sadece alt yüzeyinden kapiler su emme işlemine tabi tutulmuştur. Numunelerin suya yerleştirilmesi Şekil 3.5’te görülmektedir. Su seviyesi deney süresince 5 mm olarak sabit tutulmuştur. Başlangıçta etüv kurusu olarak suya yerleştirilen örnekler 0, 5, 10, 20, 30, 60, 120, 180, 240, 360, 690, 1440 dk sürelerde tartılmıştır [Kocataşkın, 1975; Şimşek, 2007; Demirel ve Gönen, 2007].



Şekil 3.5. Kapiler su emme deney düzeneği

Kapiler su emme katsayıları Eş. 3.2 kullanılarak hesaplanmıştır [TS EN 772-11, 2002].

$$C_{w,s} = \frac{m_{so,s} - m_{dry,s}}{A_s \sqrt{t_{so}}} \quad (3.2)$$

Eşitlikte;

$m_{dry,s}$  = deney numunesinin kurutma sonrasındaki kütlesi (g),

$m_{s_o,s}$  = Deneş numunesinin (t) süreyle suya temas ettirildikten sonraki kütleş (g),

$A_s$  = Deneş numunesinin suya temas ettirilen yüzeyinin brüt alanı (mm<sup>2</sup>),

$t_{s_o}$  = Deneş numunesinin suya temas ettirilme süresi (s),

$C_{w,s}$  = Beton doğal taş ve yapay taş kâşir birimlerin kapiler su emme katsayısı,

[ g / (m<sup>2</sup> xs<sup>0,5</sup>) ]

ifade etmektedir.

### Basınç dayanımı deneş

Zaman faktörünün iki seviyesinde 28. ve 90. günlerde karot örneklerine yüksek sıcaklık ve soğutma işlemleri uygulamalarından sonra; her bir sıcaklık ve soğutma koşulu için 10'ar adet örnek üzerinde basınç dayanımı deneşleri gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanımı deneş TS EN 12390–3 “Beton - Sertleşmiş Beton Deneşleri - Bölüm 3: Deneş Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini” standardında belirlenen esaslara uygun olarak yapılmıştır. Basınç test cihazının yükleme hızı 2,4 kN/sn olarak alınmıştır.

### Soğutma suyu pH ölçümü

Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan karot örneklerinin 15 adeti havada, 15 adeti ise suya daldırılarak soğutulmuştur. Karot örnekleri suya daldırılmadan önce ve sudan çıkarıldıktan sonra turnusol kağıdı kullanılarak soğutma suyunun pH değeri ölçülmüştür. Karot örnekleri sudan çıkarıldıktan sonra, turnusol kağıdı ph ölçme sınırının yarısına kadar suya batırılmış ve 3 saniye suyun içinde tutulmuştur. Turnusol kâşidı çıkarıldıktan sonra, pH değışimi renk skalası kullanılarak, pH değeri belirlenmiş ve kayıt edilmiştir.

### Karot örneklerinde fiziksel gözlemler

Yüksek sıcaklık ve soğutma şartlarına maruz bırakılan karot örnekleri üzerinde;

- Karot örneklerinde çatlak olup olmadığı,
- Karot örneklerinin yüzeyinde erime olup olmadığı,
- Agregaların çimento hamurundan ayrılıp ayrılmadığı, renk değişimi
- Suda soğutulan örneklerin parçalanıp parçalanmadığını belirlemek amacıyla gözlemler yapılmıştır.

### **3.2.10. İstatistikî yöntemler**

Karot örneklerine uygulanan sekiz adet sıcaklık seviyesinde, iki adet soğutma koşulu için uygulanan üç adet deney türü için istatistikî veriler elde edilmiştir. Gruplar arasında varyans analizi ve Duncan çoklu karşılaştırma testleri gerçekleştirilmiştir. Karot örneklerinde gerçekleştirilen yedi ayrı deney türü için iki gruba ait istatistikî veriler elde edilmiştir. Gruplar arasındaki farklılık kararına varılırken  $\alpha=0,05$  anlamlılık düzeyi esas alınmıştır.

## 4. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

### 4.1. Ultrases geçiş hızı

Ultrasonik dalganın bir ortamda yayılma hızı o ortamın boşluk yapısına, dolayısı ile yoğunluğuna ve elastik özelliklerine bağlıdır. Yapılan ultrases ölçümleri ile yüksek sıcaklığın betonun boşluk yapısına etkileri değerlendirilmiştir.

Zaman faktörünün iki seviyesi (28 ve 90 gün), sıcaklık faktörünün altı seviyesi (20, 150, 300, 500, 600 ve 700 °C) ve soğutma faktörünün iki seviyesi (hava ve su) şartlarında uygulanan örneklerin ultrases geçiş hızı değerlerine ilişkin ait açıklayıcı istatistikî bilgiler Çizelge 4.1’de görülmektedir.

Çizelge 4.1. 28 günlük ultrases geçiş hızı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Gün	Koşullar		Örnek sayısı	Ultrases geçiş hızı (Km/Sn)		Referansa göre azalma miktarı
	Sıcaklık (°C)	Soğutma		Ortalama	Std. Sapma	%
28	Referans	Havada	15	3,919545	0,152620	0
	Referans	Suda	15	3,776688	0,226685	0
	150	Havada	15	3,826979	0,192998	2
	150	Suda	15	3,639302	0,165292	4
	300	Havada	15	3,144502	0,190869	20
	300	Suda	15	3,050249	0,190073	19
	500	Havada	15	2,162522	0,143146	45
	500	Suda	15	2,400130	0,346599	36
	600	Havada	15	1,639898	0,119770	58
	600	Suda	15	2,697605	0,111922	29
	700	Havada	15	0,578358	0,051901	85
	700	Suda	15	0,653180	0,075132	83
	Referans	Havada	25	4,298948	0,078765	0
	Referans	Suda	10	4,273850	0,073087	0
90	150	Havada	10	3,822866	0,096099	11
	150	Suda	10	3,706232	0,082785	13
	300	Havada	10	3,064157	0,138260	29
	300	Suda	10	3,002880	0,187638	30
	500	Havada	10	2,123924	0,176272	51
	500	Suda	10	2,320122	0,120449	46
	600	Havada	10	1,423146	0,169673	67
	600	Suda	10	1,547308	0,126848	64



Çizelge 4.1. (Devam) Ultrases geçiş hızı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Gün	Koşullar		Örnek sayısı	Ultrases geçiş hızı (Km/Sn)		Referansa göre azalma miktarı
	Sıcaklık (°C)	Soğutma		Ortalama	Std. Sapma	%
90	700	Havada	10	1,293106	0,092209	70
	700	Suda	10	1,763743	0,132060	59

Ultrases geçiş hızlarına ilişkin istatistiki bilgiler (Çizelge 4.1) incelendiğinde;

- 28. Günde 150 °C ‘de havada soğutulan örneklerde referans örneğe göre % 2, 150 °C ‘de suda soğutulan örneklerde referans örneğe göre % 4 azalma olduğu,
- 28. Günde 300 °C ‘de havada soğutulan örneklerde referans örneğe göre % 20, 300 °C ‘de suda soğutulan örneklerde referans örneğe göre % 19 azalma olduğu,
- 28. Günde 500 °C ‘de havada soğutulan örneklerde referans örneğe göre % 45, 500 °C ‘de suda soğutulan örneklerde referans örneğe göre % 36 azalma olduğu,
- 28. Günde 600 °C ‘de havada soğutulan örneklerde referans örneğe göre % 58, 150 °C ‘de suda soğutulan örneklerde referans örneğe göre % 29 azalma olduğu,
- 20. Günde 700 °C ‘de havada soğutulan örneklerde referans örneğe göre % 85, 700 °C ‘de suda soğutulan örneklerde referans örneğe göre % 85 azalma olduğu,
- 90. Günde 150 °C ‘de havada soğutulan örneklerde referans örneğe göre % 11, 150 °C ‘de suda soğutulan örneklerde referans örneğe göre % 13 azalma olduğu,
- 90. Günde 300 °C ‘de havada soğutulan örneklerde referans örneğe göre % 29, 300 °C ‘de suda soğutulan örneklerde referans örneğe göre % 30 azalma olduğu,
- 90. Günde 500 °C ‘de havada soğutulan örneklerde referans örneğe göre % 51, 500 °C ‘de suda soğutulan örneklerde referans örneğe göre % 46 azalma olduğu,

- 90. Günde 600 °C ‘de havada soğutulan örneklerde referans örneğe göre % 67, 150 °C ‘de suda soğutulan örneklerde referans örneğe göre % 64 azalma olduğu,
- 90. Günde 700 °C ‘de havada soğutulan örneklerde referans örneğe göre % 70, 700 °C ‘de suda soğutulan örneklerde referans örneğe göre % 59 azalma olduğu,
- En düşük değer 0,578358 ile 28. günde 700 °C yüksek sıcaklığa maruz kaldıktan sonra havada soğutulan karot örneklerine ait olduğu,
- En yüksek değer 4,298948 ile 90. günde referans karot örneklerine ait olduğu,
- Sıcaklık arttıkça ultrases geçiş hızının azaldığı,
- Suda ve havada soğutulan örneklerin ultrases geçiş hızları arasında fark olduğu

belirlenmiştir.

Gün, yüksek sıcaklık ve soğutma koşulları uygulanan örneklerin ultrases geçiş hızı değerlerine ait varyans analizi sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Ultrases geçiş hızı verilerine ait varyans çözümleme tablosu

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Orta. karesi	F testi	Anlamlılık düzeyi
Gün	0,663	1	0,663	26,67	<b>0,000000</b>
Sıcaklık	331,214	5	66,243	2664,52	<b>0,000000</b>
Soğutma	1,176	1	1,176	47,31	<b>0,000000</b>
Gün*Sıcaklık	17,136	5	3,427	137,86	<b>0,000000</b>
Gün*Soğutma	0,064	1	0,064	2,57	0,110046
Sıcaklık*Soğutma	4,874	5	0,975	39,21	<b>0,000000</b>
Gün*Sıcaklık*Soğutma	3,018	5	0,604	24,28	<b>0,000000</b>

Grup sayısının 2’den fazla olması dolayısıyla serbestlik derecesinin 1’den çok olması nedeniyle varyans çözümlemesinde farklı gözükten gruplardan hangileri arasında önemli farklılıklar olduğunu tartışabilmek için Duncan (çoklu karşılaştırma testi) sonuçları üzerinde tartışma ihtiyacı duyulmuştur. Dolayısıyla, Çizelge 4.1’deki

aritmetik ortalamalar arasındaki farklılıkların istatistiki açıdan da önemli olduğu görülmektedir.





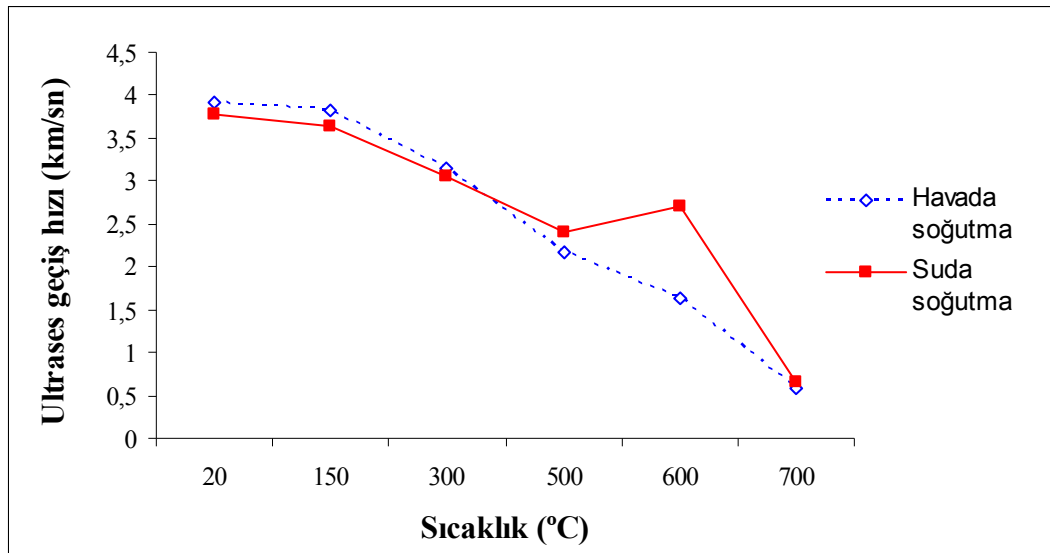
Zaman, sıcaklık ve soğutma faktörleri arasında gerçekleştirilen Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre ultrases geçiş hızı bakımından;

- 90. günde 20 °C’de suda ve havada soğumaya bırakılan örnekler arasında önemli fark olmadığı,
- 28. ve 90. günlerde 150 °C sıcaklıkta havada soğutulan örnekler ile 28. günde 20 °C’de havada soğumaya bırakılan örnekler arasında önemli fark olmadığı,
- 90. günde 150 °C’de su ve havada soğumaya bırakılan örnekler, 28. gün 150 °C’de havada soğumaya bırakılan örnekler ve 28. gün 20 °C’de suda soğumaya bırakılan örnekler arasında önemli fark olmadığı,
- 28. ve 90. günlerde 150 °C sıcaklıkta suda soğumaya bırakılan örnekler arasında önemli fark olmadığı,
- 28. gün 300 °C’de havada ve suda soğumaya bırakılan örnekler ile 90. gün 300 °C’de havada soğumaya bırakılan örnekler arasında önemli fark olmadığı,
- 90. gün 300 °C’de hava ve suda soğumaya bırakılan örnekler ile 28. gün 300 °C’de suda soğumaya bırakılan örnekler arasında önemli fark olmadığı,
- 28. ve 90. günlerde 500 °C’de havada soğumaya bırakılan örnekler arasında önemli fark olmadığı;
- 28. günde 600 °C’de havada soğumaya bırakılan örneklerin 90. günde 600 °C’de suda soğumaya bırakılan örneklerden farklı olmadığı,
- 28. günde 600 °C’de suda soğumaya bırakılan örneklerin diğer örneklerden farklı olduğu,
- 28. ve 90. günlerde 500 °C’de suda soğumaya bırakılan örnekler arasında önemli fark olmadığı; ancak bu değerlerin 500 °C’de havada soğutulan örneklerden farklı olduğu,
- 28. günde 600 °C’de havada soğumaya bırakılan örnekler ve 90. günde 700 °C’de suda soğumaya bırakılan örnekler arasında önemli fark olmadığı,
- 90. günde 600 °C’de hava ve suda soğumaya bırakılan örnekler arasında önemli fark olmadığı,
- 90. günde 700 °C’de havada soğumaya bırakılan örneklerin ultrases geçiş sürelerinin diğer gruplardan farklı olduğu,

- 28. günde 700 °C’de hava ve suda soğumaya bırakılan örnekler arasında önemli fark olmadığı; ancak diğer gün, sıcaklık ve soğutma koşullarından farklı olduğu

görülmüştür.

Duncan testine göre; yüksek sıcaklık ardından havada ve suda soğutulan örneklerin 28. ve 90. günde ultrases geçiş hızı değerleri arasında önemli fark olmadığı görülmüştür. Ancak, elde edilen değerler birbirlerinden farklılık göstermektedir. 28. günde ve 90. günde yüksek sıcaklığın artması ile havada ve suda soğutma koşullarına göre ultrases geçiş hızı değerlerinin değişimi Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de verilmiştir.

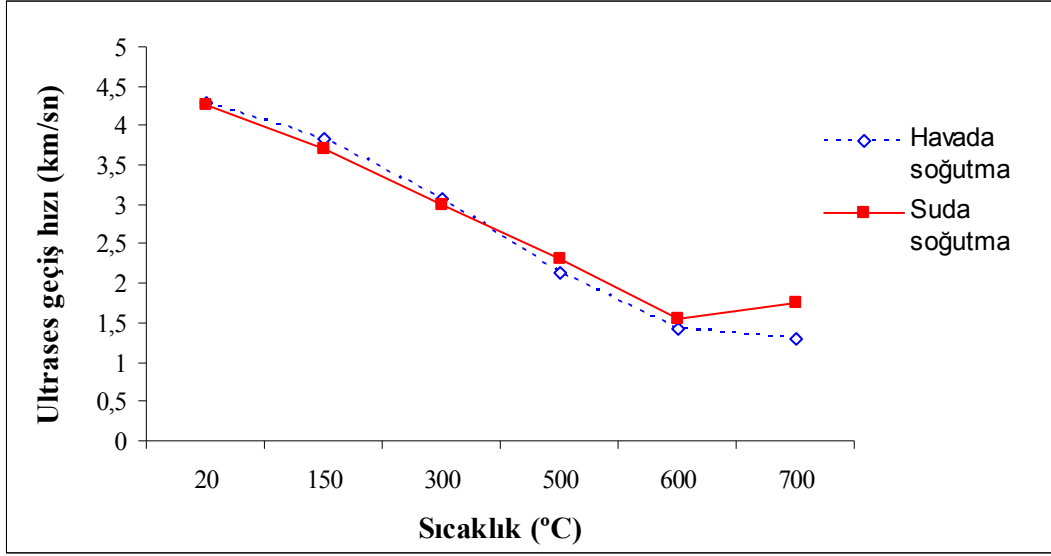


Şekil 4.1. 28 günlük örneklere ait ortalama ultrases geçiş hızı değerleri

28. günde soğutma şartlarına göre ultrases geçiş hızı değerleri incelendiğinde;

- 20, 150 ve 300 °C’de havada soğutulan örneklerin ortalama ultrases geçiş hızlarının suda soğutulan örneklere göre daha yüksek değerde olduğu,
- 500, 600 ve 700 °C’de ise suda soğutulan örneklerin ortalama ultrases geçiş hızlarının havada soğutulan örneklere göre daha yüksek değerde olduğu

görülmüştür.



Şekil 4.2. 90 günlük örneklere ait ortalama ultrases geçiş hızı değerleri

Şekil 4.2 incelendiğinde 90. günde;

- 20, 150 ve 300 °C’de havada soğutulan örneklerin ortalama ultrases geçiş hızlarının suda soğutulan örneklere göre daha yüksek değerde olduğu,
- 500, 600 ve 700 °C’de ise suda soğutulan örneklerin ortalama ultrases geçiş hızlarının havada soğutulan örneklere göre daha yüksek değerde olduğu

görülmüştür.

Deney sonuçlarında, havada ve suda soğutma koşullarına bağlı olarak ultrases geçiş hızında farklı sayısal veriler bulunmaktadır. ASTM C 597’ye göre, ultrases geçiş hızı bilinen örneklerde beton kalitesi hakkında yaklaşık bir tahmin yapılabilmektedir. Elde edilen sayısal değerlere göre sıcaklıklara göre beton kalitesi yaklaşık tahminleri Çizelge 4.4’te görülmektedir.

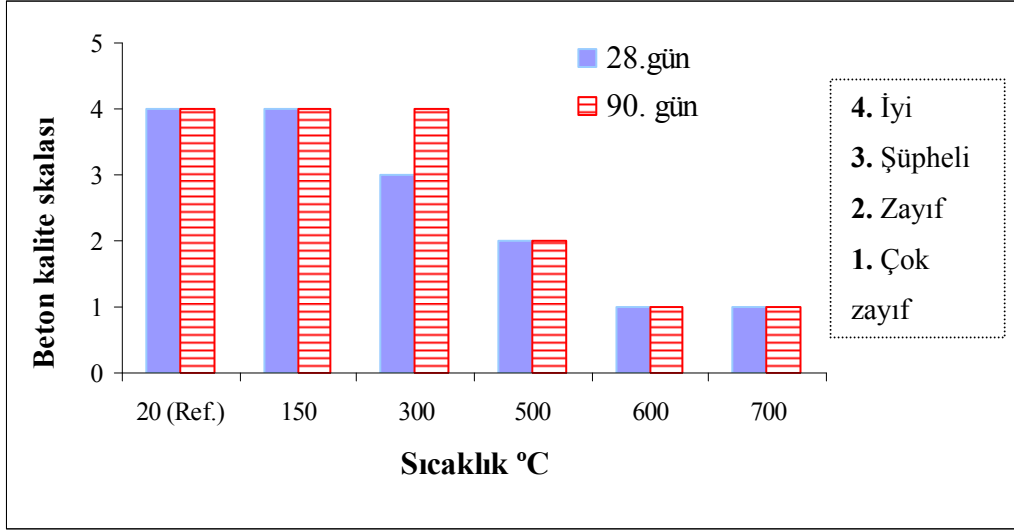


Çizelge 4.4. Gün, sıcaklık ve soğutma şartlarına göre beton kalite çizelgesi

Gün	Koşullar		Beton kalitesi	
	Sıcaklık (°C)	Soğutma		
28	Referans	Havada	İyi	
		Suda	İyi	
	150	Havada	İyi	
		Suda	İyi	
	300	Havada	Şüpheli	
		Suda	Şüpheli	
	500	Havada	Zayıf	
		Suda	Zayıf	
	600	Havada	Çok zayıf	
		Suda	Zayıf	
	700	Havada	Çok zayıf	
		Suda	Çok zayıf	
	90	Referans	Havada	İyi
			Suda	İyi
150		Havada	İyi	
		Suda	İyi	
300		Havada	İyi	
		Suda	İyi	
500		Havada	Zayıf	
		Suda	Zayıf	
600		Havada	Çok zayıf	
		Suda	Çok zayıf	
700		Havada	Çok zayıf	
		Suda	Çok zayıf	

Çizelge 4.4 incelendiğinde; 28 ve 90 günlük beton örneklerinin kalitesinin yüksek sıcaklığın artması ile düştüğü belirlenmiştir.

Yüksek sıcaklık ve soğutma şartları uygulanmış karot örneklerinin gün şartları (28. ve 90. gün) arasındaki beton kalitesi farkları Şekil 4.3 ve 4.4'te görülmektedir. Şekiller de 4 “İyi”, 3 “Şüpheli”, 2 “Zayıf”, 1 “Çok zayıf” anlamında numaralar ile derecelendirilmiştir.

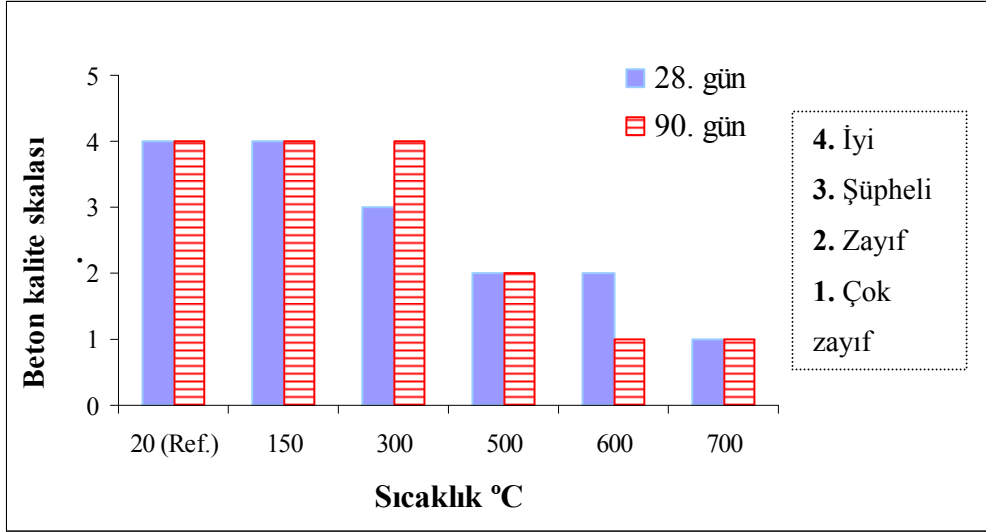


Şekil 4.3.Havada soğutulan örneklerin 28. ve 90. günlerde beton kalitesinin karşılaştırılması

Şekil 4.3 incelendiğinde;

- 20 °C’de 28. gün ve 90. günde havada soğutulan örneklerin beton kalitesinin aynı (iyi) olduğu,
- 150 °C’de 28. gün ve 90. günde havada soğutulan örneklerin beton kalitesinin aynı (iyi) olduğu,
- 300 °C’de 28. günde şüpheli olan beton kalitesinin ve 90. günde arttığı (iyi),
- 500 °C’de 28. gün ve 90. günde havada soğutulan örneklerin beton kalitesinin aynı (zayıf) olduğu,
- 600 °C’de 28. gün ve 90. günde havada soğutulan örneklerin beton kalitesinin aynı (çok zayıf) olduğu,
- 700 °C’de 28. gün ve 90. günde havada soğutulan örneklerin beton kalitesinin aynı (çok zayıf) olduğu,

görülmektedir.



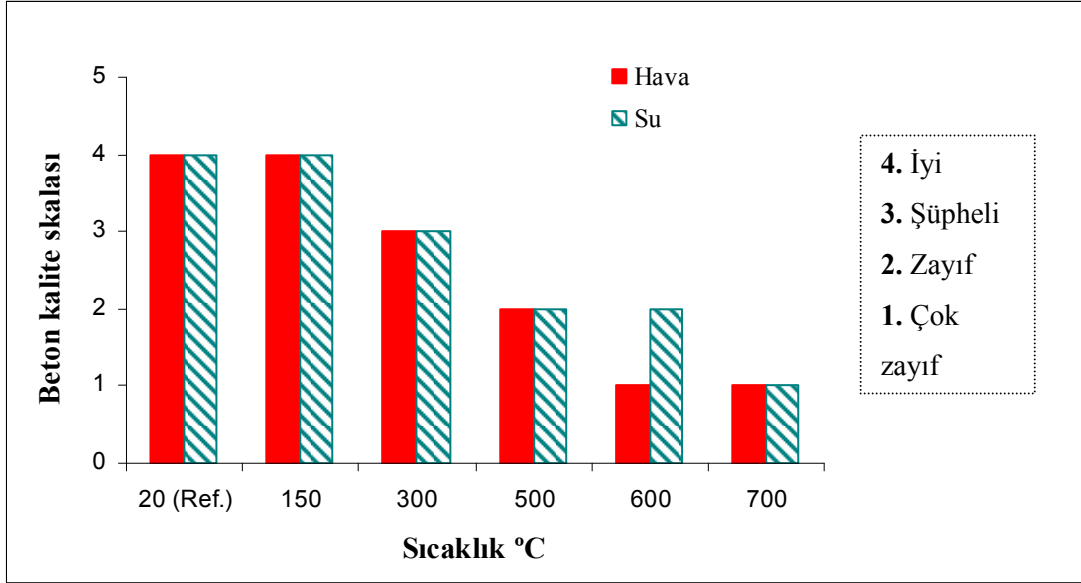
Şekil 4.4.Suda soğutulan örneklerin 28. ve 90. günlerde beton kalitesinin karşılaştırılması

Şekil 4.4 incelendiğinde;

- 20 °C’de 28. gün ve 90. günde suda soğutulan örneklerin beton kalitesinin aynı (iyi) olduğu,
- 150 °C’de 28. gün ve 90. günde suda soğutulan örneklerin beton kalitesinin aynı (iyi) olduğu,
- 300 °C’de 28. günde şüpheli olan beton kalitesinin ve 90. günde arttığı (iyi),
- 500 °C’de 28. gün ve 90. günde havada soğutulan örneklerin beton kalitesinin aynı (zayıf) olduğu,
- 600 °C’de 28. günde zayıf olan beton kalitesinin ve 90. günde düştüğü (çok zayıf),
- 700 °C’de 28. gün ve 90. günde havada soğutulan örneklerin beton kalitesinin aynı (çok zayıf) olduğu,

görülmektedir.

28. ve 90. günlerde soğutma şartları (havada ve suda) arasındaki beton kalitesi farkları ise Şekil 4.5 ve 4.6’da görülmektedir. Şekiller de 4 “İyi”, 3 “Şüpheli”, 2 “Zayıf”, 1 “Çok zayıf” anlamında numaralar ile derecelendirilmiştir.

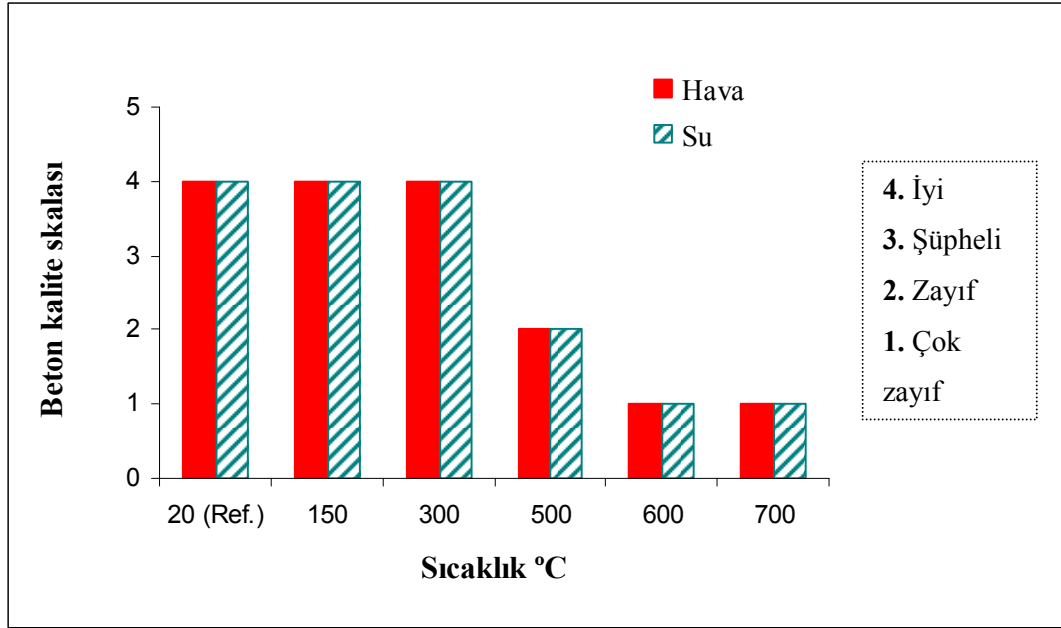


Şekil 4.5. Ultrases geçiş hızı ile belirlenen 28 günlük örneklere ait beton kalitesinin soğutma şartları açısından karşılaştırılması

28. günde farklı sıcaklık ve soğutma koşulları uygulanan örneklere ait ultrases geçiş hızı verileri ile belirlenen beton kalitesi incelendiğinde;

- 20 (Ref.) ve 150 °C’lerde hava ve suda soğutulan örneklerde beton kalitelerinin “iyi” olduğu,
- 300 °C’de havada ve suda soğutulan örneklere ait beton kalitelerinin “şüpheli” olduğu,
- 500 °C’de havada ve suda soğutulan örneklere ait beton kalitelerinin “şüpheli” olduğu,
- 600 °C’de suda soğutulan örneklerin beton kalitesinin, havada soğutulan örneklerin beton kalitesine göre daha iyi olduğu,
- 700 °C’de havada ve suda soğutulan örneklere ait beton kalitelerinin “şüpheli” olduğu,

belirlenmiştir.



Şekil 4.6. Ultrases geçiş hızı ile belirlenen 90 günlük örneklere ait beton kalitesinin soğutma şartları açısından karşılaştırılması

90. günde farklı sıcaklık ve soğutma koşulları uygulanan örneklere ait ultrases geçiş hızı verileri ile belirlenen beton kalitesi incelendiğinde;

- 20 (Ref.), 150 ve 300 °C’lerde hava ve suda soğutulan örneklerde beton kalitelerinin “iyi” olduğu,
- 500 °C’de havada ve suda soğutulan örneklere ait beton kalitelerinin “zayıf” olduğu,
- 600 ve 700 °C’lerde havada ve suda soğutulan örneklere ait beton kalitelerinin “şüpheli” olduğu,

tespit edilmiştir.

#### 4.2. Kapiler Su Emme

Zaman faktörünün iki seviyesi (28 ve 90 gün), sıcaklık faktörünün altı seviyesi (20, 300, 500, 600 ve 700 °C) ve soğutma faktörünün iki seviyesi (hava ve su) şartlarında uygulanan örneklerin su emme miktarı değerlerine ilişkin ait açıklayıcı istatistikî bilgiler Çizelge 4.5’de görülmektedir.

Çizelge 4.5. Kapilarite değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Sıcaklık (°C)	Koşul		Örnek sayısı	Kapiler su emme	
	Soğutma	Geçen süre (dak.)		Ortalama	Std. Sapma
20	Havada	0	5	0,000	0,000
20	Havada	15	5	28,317	7,913
20	Havada	30	5	27,006	7,108
20	Havada	60	5	26,339	5,947
20	Havada	120	5	25,067	4,915
20	Havada	180	5	23,998	4,497
20	Havada	240	5	23,439	4,395
20	Havada	300	5	22,902	4,309
20	Havada	360	5	22,402	4,204
20	Havada	690	5	21,326	3,860
20	Havada	1440	5	18,400	3,038
20	Suda	0	5	0,000	0,000
20	Suda	15	5	28,317	7,913
20	Suda	30	5	27,006	7,108
20	Suda	60	5	26,339	5,947
20	Suda	120	5	25,067	4,915
20	Suda	180	5	23,998	4,497
20	Suda	240	5	23,439	4,395
20	Suda	300	5	22,902	4,309
20	Suda	360	5	22,402	4,204
20	Suda	690	5	21,326	3,860
20	Suda	1440	5	18,400	3,038
300	Havada	0	5	0,000	0,000
300	Havada	15	5	35,450	14,116
300	Havada	30	5	35,139	12,166
300	Havada	60	5	31,956	9,756
300	Havada	120	5	29,271	7,916
300	Havada	180	5	28,200	7,143
300	Havada	240	5	27,449	6,623
300	Havada	300	5	26,852	6,223
300	Havada	360	5	26,295	5,867
300	Havada	690	5	23,884	4,754
300	Havada	1440	5	21,062	3,564
300	Suda	0	5	0,000	0,000
300	Suda	15	5	26,181	5,510
300	Suda	30	5	27,486	6,162
300	Suda	60	5	27,649	6,316
300	Suda	120	5	26,912	5,879
300	Suda	180	5	26,435	5,687
300	Suda	240	5	25,708	5,446
300	Suda	300	5	25,273	5,349
300	Suda	360	5	25,032	5,216
300	Suda	690	5	23,498	4,658
300	Suda	1440	5	21,431	3,980
500	Havada	0	5	0,000	0,000

Çizelge 4.5. (Devam) Kapilarite değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Sıcaklık (°C)	Koşul		Örnek sayısı	Kapiler su emme	
	Soğutma	Geçen süre (dak.)		Ortalama	Std. Sapma
500	Havada	15	5	58,672	13,731
500	Havada	30	5	52,811	11,494
500	Havada	60	5	47,643	8,839
500	Havada	120	5	43,803	7,094
500	Havada	180	5	41,698	6,048
500	Havada	240	5	40,103	5,248
500	Havada	300	5	38,826	4,759
500	Havada	360	5	37,667	4,464
500	Havada	690	5	32,388	3,339
500	Havada	1440	5	25,902	2,364
500	Suda	0	5	0,000	0,000
500	Suda	15	5	38,120	4,481
500	Suda	30	5	36,288	3,793
500	Suda	60	5	34,456	3,106
500	Suda	120	5	32,265	3,189
500	Suda	180	5	30,841	2,842
500	Suda	240	5	30,246	2,761
500	Suda	300	5	29,641	2,692
500	Suda	360	5	29,138	2,613
500	Suda	690	5	27,898	2,308
500	Suda	1440	5	24,681	2,077
600	Havada	0	5	0,000	0,000
600	Havada	15	5	126,758	31,798
600	Havada	30	5	122,265	25,322
600	Havada	60	5	111,677	18,720
600	Havada	120	5	100,072	13,742
600	Havada	180	5	92,236	10,678
600	Havada	240	5	85,732	7,572
600	Havada	300	5	79,997	5,887
600	Havada	360	5	74,458	4,646
600	Havada	690	5	55,081	3,091
600	Havada	1440	5	39,034	2,171
600	Suda	0	5	0,000	0,000
600	Suda	15	5	42,511	8,453
600	Suda	30	5	42,122	7,483
600	Suda	60	5	40,825	6,351
600	Suda	120	5	39,643	5,442
600	Suda	180	5	38,847	4,958
600	Suda	240	5	38,386	4,584
600	Suda	300	5	37,969	4,392
600	Suda	360	5	37,558	4,181
600	Suda	690	5	35,311	3,683
600	Suda	1440	5	31,196	2,489
700	Havada	0	5	0,000	0,000
700	Havada	15	5	133,503	19,346

Çizelge 4.5. (Devam) Kapilarite değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Sıcaklık (°C)	Koşul		Örnek sayısı	Kapiler su emme	
	Soğutma	Geçen süre (dak.)		Ortalama	Std. Sapma
700	Havada	30	5	119,863	14,264
700	Havada	60	5	108,025	9,944
700	Havada	120	5	96,143	7,299
700	Havada	180	5	90,100	5,366
700	Havada	240	5	85,453	4,699
700	Havada	300	5	81,521	3,471
700	Havada	360	5	77,286	2,168
700	Havada	690	5	59,156	2,417
700	Havada	1440	5	41,538	1,651
700	Suda	0	5	0,000	0,000
700	Suda	15	5	70,173	8,345
700	Suda	30	5	63,706	6,856
700	Suda	60	5	58,866	6,071
700	Suda	120	5	53,952	5,110
700	Suda	180	5	51,511	4,405
700	Suda	240	5	50,373	3,990
700	Suda	300	5	49,146	3,653
700	Suda	360	5	48,301	3,620
700	Suda	690	5	46,065	2,746
700	Suda	1440	5	35,265	2,463

Kapilarite katsayılarına ilişkin varyans analizi sonuçları Çizelge 4.6'da görülmektedir.

Çizelge 4.6. Kapilarite katsayılarına ait varyans çözümleme tablosu

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Orta. karesi	F testi	Anlamlılık düzeyi
Intercept	1264226	1	1264226	24312,86	<b>0,00</b>
Sıcaklık	228504	4	45701	878,89	<b>0,00</b>
Soğutma	40234	1	40234	773,76	<b>0,00</b>
Dakika	184301	10	18430	354,44	<b>0,00</b>
Sıcaklık*soğutma	47255	4	9451	181,76	<b>0,00</b>
Sıcaklık*dakika	47271	40	945	18,18	<b>0,00</b>
Dakika*Soğutma	13318	10	1332	25,61	<b>0,00</b>
Sıcaklık*Dakika*Soğutma	16866	40	337	6,49	<b>0,00</b>
Hata	25739	495	52		



Varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 4.6);

- Altı gruba ait kapilarite katsayılarının sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan veri farklılıklarının istatistikî açıdan önemli olduğu,
- Kapilarite katsayılarının soğutma değişimlerinden kaynaklanan veri farklılıklarının istatistikî açıdan önemli olduğu,
- Kapilarite katsayılarının geçen sürelerin değişimlerinden kaynaklanan veri farklılıklarının istatistikî açıdan önemli olduğu,
- Kapilarite katsayılarının sıcaklık ve soğutma değişimlerinden kaynaklanan veri farklılıklarının istatistikî açıdan önemli olduğu,
- Kapilarite katsayılarının sıcaklık ve geçen süre değişimlerinden kaynaklanan veri farklılıklarının istatistikî açıdan önemli olduğu,
- Kapilarite katsayılarının geçen süre ve soğutma değişimlerinden kaynaklanan veri farklılıklarının istatistikî açıdan önemli olduğu,
- Kapilarite katsayılarının sıcaklık, geçen süre ve soğutma değişimlerinden kaynaklanan veri farklılıklarının istatistikî açıdan önemli olduğu,

tespit edilmiştir.

Çizelge 4.7.Yüksek sıcaklık koşuluna göre kapilarite katsayılarına ait Duncan testi sonuçları

Sıcaklık (°C)	Kapilarite Katsayısı	Farklı olan gruplar				
		1	2	3	4	5
20 (Ref.)	21,74515	****				
300	24,59846		****			
500	33,32210			****		
600	57,80357				****	
700	64,54304					****

\*\*\*\* Birbiriyle aynı olan gruplar

Çizelge 4.7’de görüldüğü gibi, kapilarite katsayıları sıcaklık bakımından incelendiğinde, her bir sıcaklık derecesi için kullanılan örnekler arasında 0,05 anlamlılık düzeyinde fark olduğu belirlenmiştir.

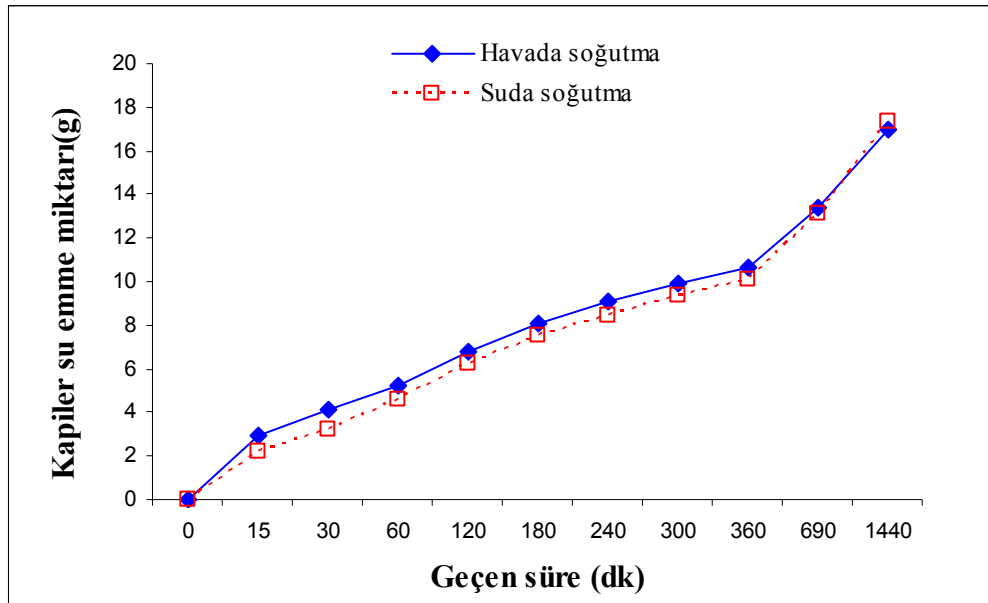
Karot örneklerine ait kapilarite katsayılarına soğutma şartlarına göre duncan testi uygulanmış ve Çizelge 4.8’de görüldüğü şekilde, Havada soğutulan ve suda soğutulan örnekler arasında fark olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.8. Soğutma koşuluna kapilarite katsayılarına ait göre Duncan testi sonuçları

Soğutma koşulu	Kapilarite Katsayısı	Gruplar	
		1	2
Suda	35,15244	****	
Havada	52,82193		****

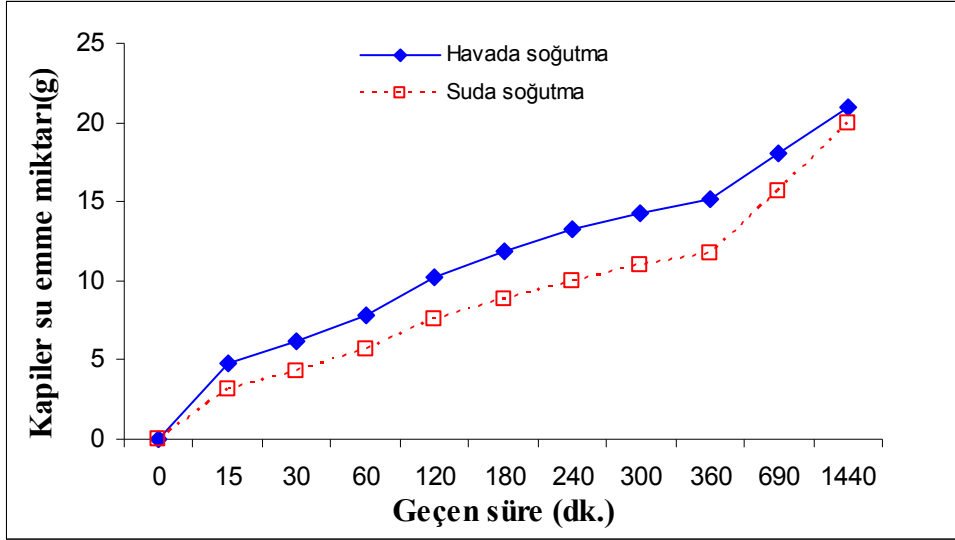
\*\*\*\* Birbiriyle aynı olan gruplar

20, 300, 500, 600 ve 700 °C’de soğutma koşuluna göre farklılık gösteren kapiler su emme miktarları ve zaman grafikleri şekil 4.7 ile şekil 4.10 arasında gösterilmektedir.



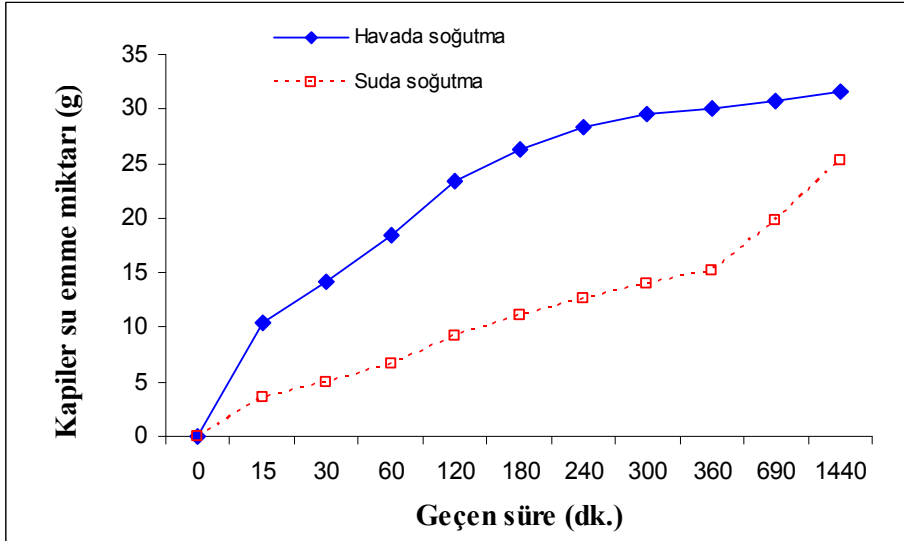
Şekil 4.7. 300 °C’de soğutma koşuluna bağlı kapiler su emme miktarı

300 °C’de havada ve suda soğutulan örneklerin kapiler su emme miktarları birbirine yakındır.



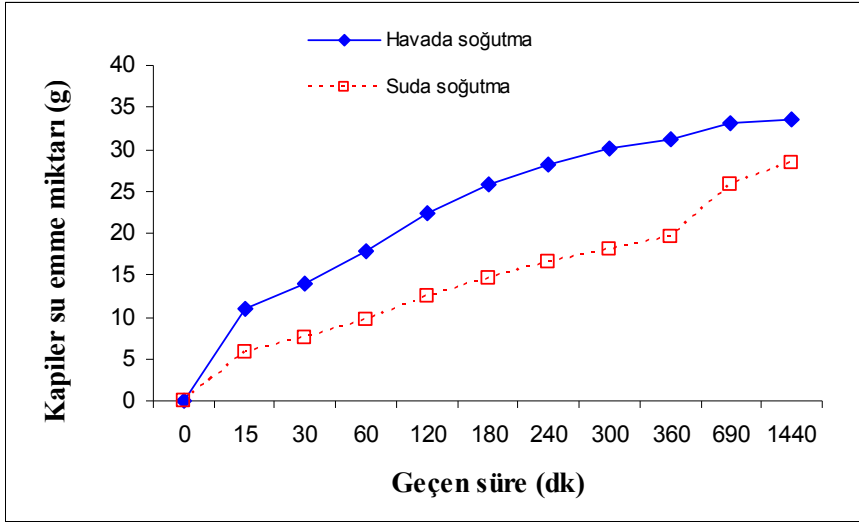
Şekil 4.8. 500 °C’de soğutma koşuluna bağlı kapiler su emme miktarı

500 °C’de suda soğutulan örneklerin kapiler su emme miktarları havada soğutulan örneklere göre daha azdır.



Şekil 4.9. 600 °C’de soğutma koşuluna bağlı kapiler su emme miktarı

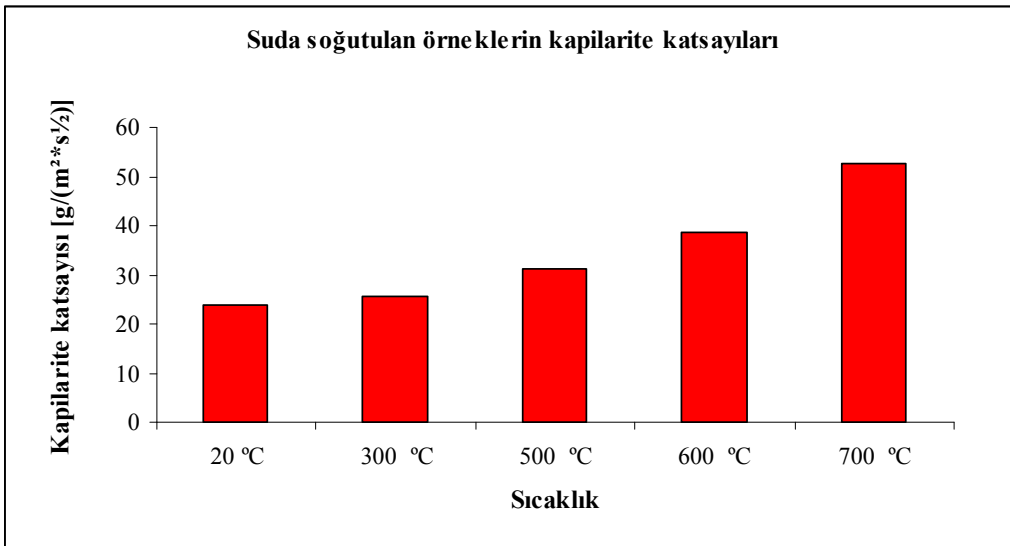
600 °C’de suda soğutulan örneklerin kapiler su emme miktarları havada soğutulan örneklere göre daha azdır.



Şekil 4.10. 700 °C’de soğutma koşuluna bağlı kapiler su emme miktarı

700 °C’de suda soğutulan örneklerin kapiler su emme miktarları havada soğutulan örneklere göre daha azdır.

Eş 3.2 kullanılarak, farklı sıcaklık dereceleri için suda soğutulan örneklerin ortalama kapilarite katsayıları hesaplanmıştır (Şekil 4.11).

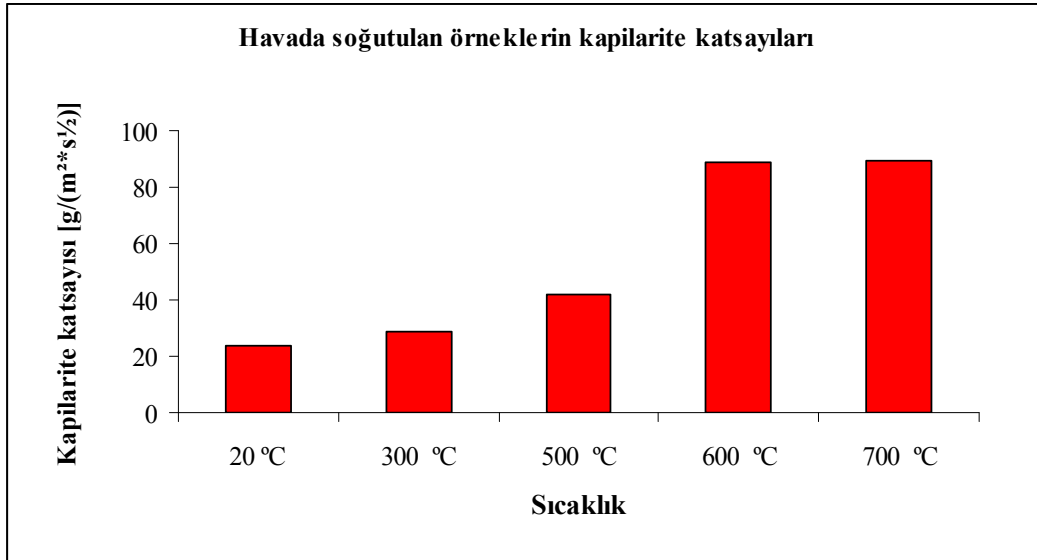


Şekil 4.11. Suda soğutulan örneklerin kapilarite katsayılarının karşılaştırılması

Şekil 4.11’de görüldüğü gibi suda soğutulan örnekler arasında;

- Kapilarite katsayısı en düşük olan örneklerin referans örnekler olduğu (20 °C),
- Kapilarite katsayısı en yüksek olan örneklerin, 700 °C yüksek sıcaklık uygulanan örnekler olduğu,
- Sıcaklık arttıkça kapilarite katsayılarının arttığı görülmüştür.

Eş 3.2 kullanılarak, farklı sıcaklık dereceleri için havada soğutulan örneklerin ortalama kapilarite katsayıları hesaplanmıştır (Şekil 4.12).

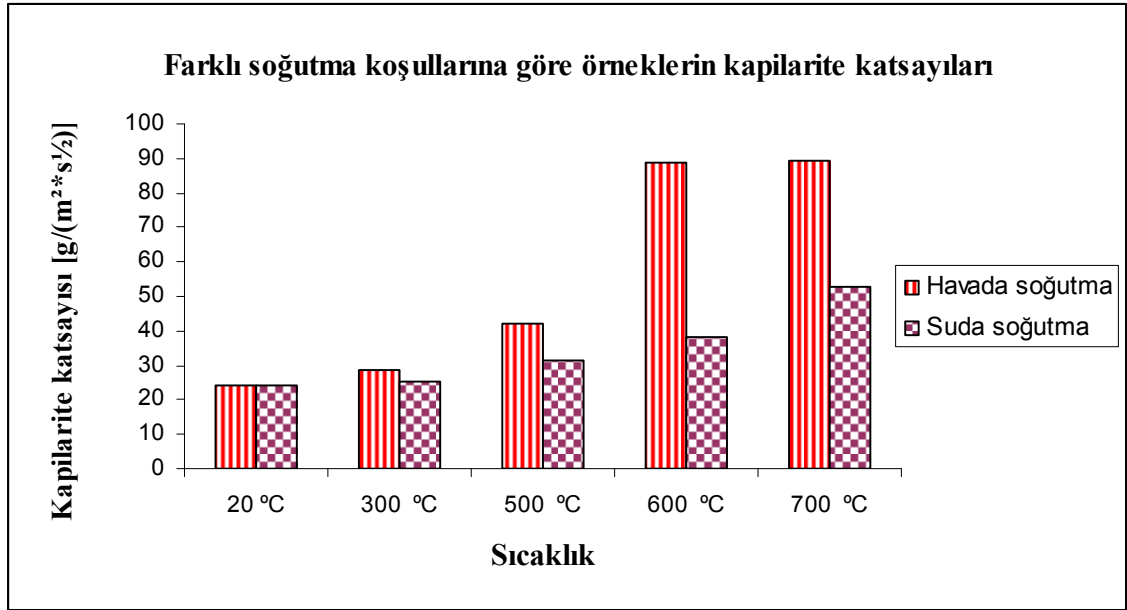


Şekil 4.12. Havada soğutulan örneklerin kapilarite katsayılarının karşılaştırılması

Havada soğutulan örnekler arasında;

- Kapilarite katsayısı en az olan örneklerin referans örnekler olduğu,
- Kapilarite katsayısı en fazla olan örneklerin, 700 °C yüksek sıcaklık uygulanan örnekler olduğu,
- 300 ve 500 °C'lerde sıcaklık arttıkça, kapilarite katsayısının arttığı, belirlenmiştir.

Havada ve suda soğutulan örneklerin kapilarite katsayıları arasında duncan testine göre farklılıklar bulunmaktadır. Elde edilen sayılar veriler Şekil 4.13 ile anlamlandırılmıştır.



Şekil 4.13. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılan örneklerin farklı soğutma koşullarında elde edilen kapilarite katsayılarının karşılaştırılması

Farklı soğutma koşullarının kapilarite katsayısına etkisini gösteren Şekil 4.14 incelendiğinde;

- Tüm sıcaklıklarda havada soğumaya bırakılan örneklerin kapilarite katsayılarının suda soğutulan örneklerin kapilarite katsayılarından yüksek değerde olduğu,
- Suda soğutma koşulunda sıcaklık arttıkça kapilarite katsayısının arttığı,
- Havada soğutma koşulunda kapilarite katsayısının 600 °C'ye kadar sıcaklık ile arttığı, 700 °C'de aynı kaldığı,
- Suda soğutulan örneklerin kapilarite katsayılarının havada soğutulan örneklerin kapilarite katsayılarından düşük olduğu

belirlenmiştir.

### 4.3. Basınç Dayanımı

Zaman faktörünün iki seviyesi (28 ve 90 gün), sıcaklık faktörünün altı seviyesi (20, 150, 300, 500, 600 ve 700 °C) ve soğutma faktörünün iki seviyesi (hava ve su) uygulanan örneklerin basınç dayanımlarına ilişkin ait açıklayıcı istatistikî bilgiler Çizelge 4.9’da görülmektedir. Basınç dayanımı değerlerini gösteren çizgi grafik Şekil 4.14’de görülmektedir.

Çizelge 4.9. Basınç dayanımı değerlerine ait açıklayıcı istatistikler

Gün	Koşullar		Örnek sayısı	Basınç Dayanımı (Mpa)		Ref.a göre Azalma %	
	Sıcaklık (°C)	Soğutma		Ortalama	Std. Sapma		
28	20 (Ref.)	Havada	10	21,38711	3,510839	0	
	20 (Ref.)	Suda	10	20,24429	3,575239	0	
	150	Havada	10	15,15238	3,169168	27	
	150	Suda	10	14,45293	2,143847	30	
	300	Havada	10	13,40473	3,444818	35	
	300	Suda	10	11,52144	2,640129	44	
	500	Havada	10	5,156	1,15603	75	
	500	Suda	10	8,827	1,464787	57	
	600	Havada	10	5,00124	1,320871	76	
	600	Suda	10	8,92362	2,606608	57	
	700	Havada	10	5,22769	1,282109	74	
	700	Suda	10	6,74792	0,948076	67	
	90	20 (Ref.)	Havada	10	25,2237	9,245454	0
		20 (Ref.)	Suda	10	25,2237	9,245454	0
150		Havada	10	18,13579	4,128492	28	
150		Suda	10	13,70634	2,773054	45	
300		Havada	10	15,54776	2,289869	38	
300		Suda	10	10,69325	2,708717	57	
500		Havada	10	12,15856	2,492474	51	
500		Suda	10	10,15342	2,689209	59	
600		Havada	10	8,03267	1,98566	68	
600		Suda	10	7,35809	1,721041	70	
700		Havada	10	7,275	0,775704	71	
700		Suda	10	7,83658	1,827538	68	

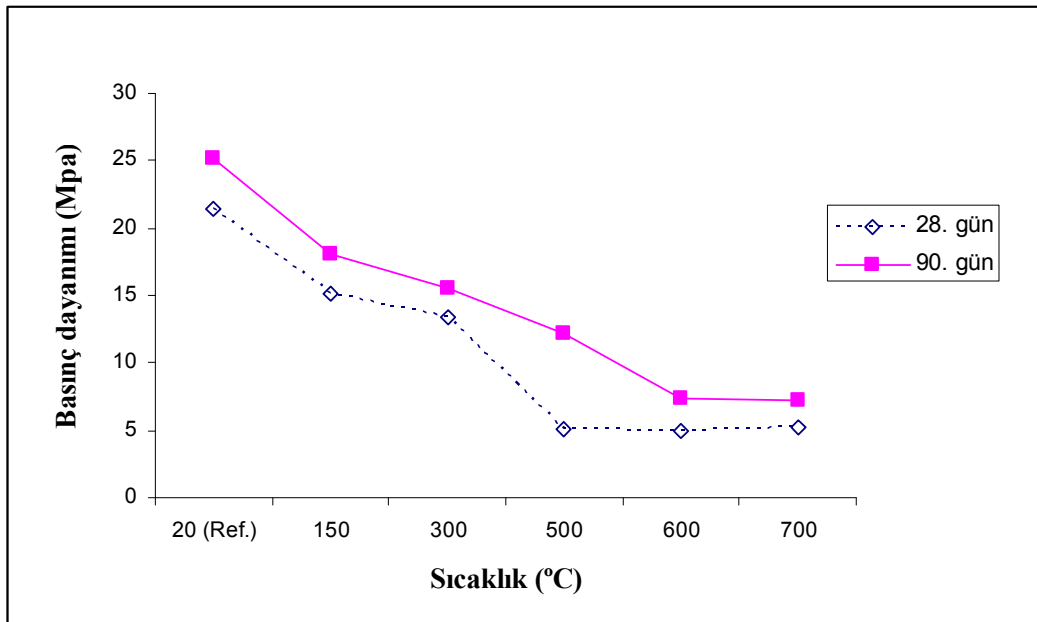
28. günde referansa göre;

- 150 °C ardından havada soğutulan örneklerde % 27; 150 °C ardından suda soğutulan örneklerde % 30 dayanım miktarının azaldığı;
- 300 °C ardından havada soğutulan örneklerde % 35; 300 °C ardından suda soğutulan örneklerde % 44 dayanım miktarının azaldığı;

- 500 °C ardından havada soğutulan örneklerde % 75; 500 °C ardından suda soğutulan örneklerde % 57 dayanım miktarının azaldığı;
- 600 °C ardından havada soğutulan örneklerde %76; 150 °C ardından suda soğutulan örneklerde %57 dayanım miktarının azaldığı;
- 700 °C ardından havada soğutulan örneklerde %74; 150 °C ardından suda soğutulan örneklerde %67 dayanım miktarının azaldığı tespit edilmiştir.

90. günde referansa göre;

- 150 °C ardından havada soğutulan örneklerde % 28; 150 °C ardından suda soğutulan örneklerde % 45 dayanım miktarının azaldığı;
- 300 °C ardından havada soğutulan örneklerde % 38; 300 °C ardından suda soğutulan örneklerde % 57 dayanım miktarının azaldığı;
- 500 °C ardından havada soğutulan örneklerde % 51; 500 °C ardından suda soğutulan örneklerde % 59 dayanım miktarının azaldığı;
- 600 °C ardından havada soğutulan örneklerde % 68; 150 °C ardından suda soğutulan örneklerde %70 dayanım miktarının azaldığı;
- 700 °C ardından havada soğutulan örneklerde %71; 150 °C ardından suda soğutulan örneklerde %68 dayanım miktarının azaldığı tespit edilmiştir.

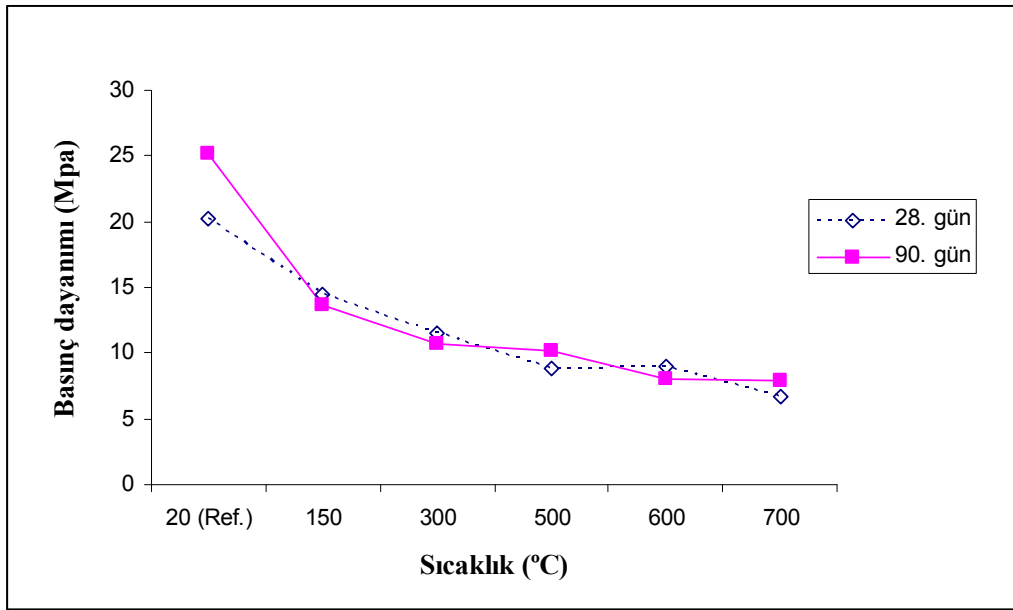


Şekil 4.14. Havada soğutulmuş örneklere ait ortalama basınç dayanımı



Havada soğutulmuş örneklerin 28. ve 90. gündeki ortalama basınç dayanımları incelendiğinde;

- Tüm sıcaklıklarda 90. güne ait basınç dayanımı değerlerinin 28. günden yüksek olduğu,
- 28. günde 300 °C ve 500 °C arasında önemli bir düşüş olduğu görülmüştür.



Şekil 4.15. Suda soğutulmuş örneklere ait ortalama basınç dayanımı

Suda soğutulmuş örneklerin 28. ve 90. gündeki ortalama basınç dayanımları incelendiğinde;

- Referans sıcaklık, 500 ve 700 °C’de 90. günde elde edilen basınç dayanımının 28. gündeki basınç dayanımından yüksek olduğu,
  - 150, 300 ve 600 °C’lerde de 28. günde elde edilen basınç dayanımlarının 90. gündeki basınç dayanımlarından yüksek olduğu,
- belirlenmiştir.

Varyans analizi sonuçları Çizelge 4.8’de ve Dun-can çoklu karşılaştırma testi ise gün ve sıcaklık, gün ve soğutma, sıcaklık ve soğutma şartlarına göre sırasıyla Çizelge 4.10, 4.11 ve 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.10. Basınç dayanımı verilerine ait varyans çözümleme tablosu

	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Orta. karesi	F testi	Anlamlılık düzeyi
Gün	24,49	1	24,49	1,923	0,17
Sıcaklık	7606,41	5	1521,28	119,429	<b>0,00</b>
Soğutma	13,96	1	13,96	1,096	0,30
Gün*Sıcaklık	390,03	5	78,01	6,124	<b>0,00</b>
Gün*Soğutma	148,05	1	148,05	11,623	<b>0,00</b>
Sıcaklık*Soğutma	230,63	5	46,13	3,621	<b>0,00</b>
Gün*Sıcaklık*Soğutma	29,82	5	5,96	0,468	0,80

- Varyans analizi sonuçlarına göre (Çizelge 4.10) altı gruba ait basınç dayanımı verilerinin sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan veri farklılıklarının istatistikî açıdan önemli olduğu,
- Basınç dayanımı verilerinin gün ve soğutma şartlarından kaynaklanan veri farklılıklarının istatistikî açıdan önemli olduğu,
- Basınç dayanımı verilerinin gün şartlarından kaynaklanan veri farklılıklarının istatistikî açıdan önemli olmadığı;
- Basınç dayanımı verilerinin gün-sıcaklık ve soğutma şartlarından kaynaklanan veri farklılıklarının istatistikî açıdan önemli olmadığı;
- Basınç dayanımı verilerinin gün ve sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan veri farklılıklarının istatistikî açıdan önemli olduğu,
- Basınç dayanımı verilerinin gün ve soğutma değişimlerinden kaynaklanan veri farklılıklarının istatistikî açıdan önemli olduğu,
- Basınç dayanımı verilerinin sıcaklık ve soğutma değişimlerinden kaynaklanan veri farklılıklarının istatistikî açıdan önemli olduğu,
- Basınç dayanımı verilerinin gün ve soğutma değişimlerinden kaynaklanan veri farklılıklarının istatistikî açıdan önemli olduğu,

tespit edilmiştir.

Varyans sonuçlarına göre 2 gruptan fazla olan basınç dayanımı verilerinin varyansla tartışılmasında gruplarının hangilerinin birbirinden farklı olduğunun görülmesi ve

büyüklik sıralaması yapılması için çoklu karşılaştırma (Duncan) çözümlemesi yapılarak gruplar arasındaki farklılıklar değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.11.Gün ve sıcaklık şartlarında basınç dayanımı verilerine ait Duncan testi sonuçları

Gün	Sıcaklık (°C)	Ortalama Basınç Day. (Mpa)	Farklı olan gruplar						
			1	2	3	4	5	6	
90	Referans	25,22370	****						
28	Referans	20,81570		****					
90	150	15,92106			****				
28	150	14,80266			****	****			
90	300	13,12051				****	****		
28	300	12,46308					****		
90	500	11,15599					****		
90	600	7,69538						****	
90	700	7,55579						****	
28	500	6,99150						****	
28	600	6,96243						****	
28	700	5,98781						****	

\*\*\*\* Birbiriyle aynı olan gruplar

Zaman ve sıcaklık seviyeleri arasında gerçekleştirilen Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre basınç dayanımı bakımından;

- 28. güne ait referans sıcaklıktaki ortalama basınç dayanımının 90. güne ait referans sıcaklıktaki ortalama basınç dayanımından farklı olduğu,
- 28. ve 90. günlerde 150 °C sıcaklıklarda önemli fark olmadığı, fakat bu değer referans değerlerden farklı olduğu,
- 28. gün 150 °C ve 90. gün 300 °C sıcaklıklar arasında önemli fark olmadığı,
- 90. gün 300, 500 °C ve 28. gün 300 °C sıcaklıklarda önemli fark olmadığı,
- 28. ve 90. gün 600 ve 700 °C sıcaklıklarda önemli fark olmadığı,
- Zaman ve sıcaklık faktörüne göre 28. gün 700 °C'de 5,98781 mPA ile en düşük, 90. gün referans örneklerin 25,22370 mPA ile en büyük değere sahip olduğu,
- 90. güne ait basınç dayanımlarının tüm sıcaklık seviyelerinde 28. güne göre daha yüksek olduğu,

- Her iki zaman seviyesinde de sıcaklık artışı ile basınç dayanımının düştüğü, görülmektedir.

Çizelge 4.12.Gün ve soğutma şartlarında basınç dayanımı verilerine ait Duncan testi sonuçları

Gün	Soğutma	Ortalama Basınç Day. (Mpa)	Farklı olan gruplar	
			1	2
28	Havada	11,52763	****	
90	Suda	11,68416	****	
28	Suda	12,61610	****	****
90	Havada	13,73731		****

\*\*\*\* Birbiriyle aynı olan gruplar

Zaman ve soğutma seviyeleri arasında gerçekleştirilen Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre basınç dayanımı bakımından;

- 28. günde her iki soğutma ve 90. günde su ile soğutma uygulanan örnekler arasında önemli fark olmadığı,
- 28. günde su ile soğutma ve 90. günde hava ile soğutma uygulanan örnekler arasında önemli fark olmadığı,
- Zaman ve soğutma faktörüne göre 28. gün havada 11,52763 mPA ile en düşük, 90. günde hava ile soğutmada 13,73731 mPA ile en büyük değere sahip olduğu,

görülmüştür.

Çizelge 4.13.Sıcaklık ve soğutma şartlarına göre basınç dayanımı verilerine ait Duncan testi sonuçları

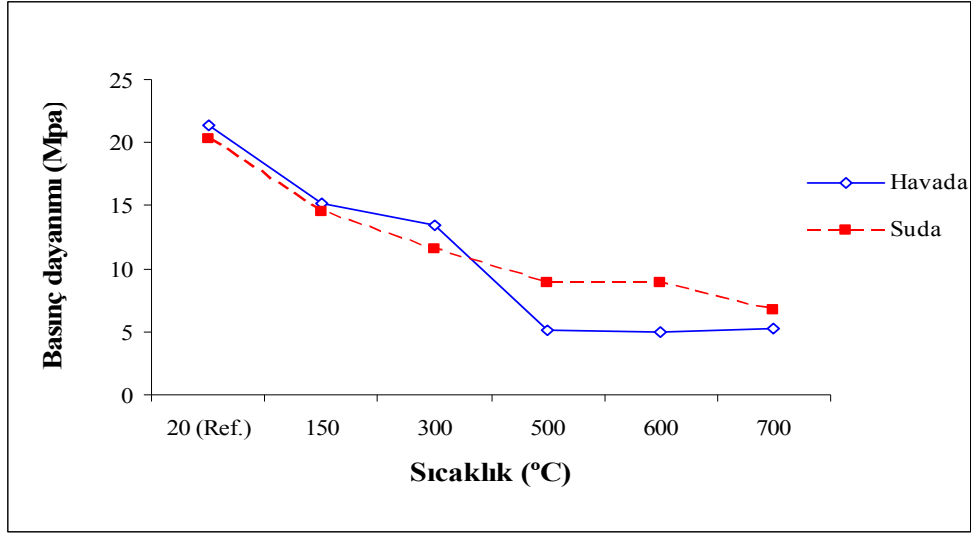
Sıcaklık (°C)	Soğutma	Ortalama Basınç Day. (Mpa)	Farklı olan gruplar							
			1	2	3	4	5	6	7	
20 (Ref.)	Havada	23,30541	****							
Referans	Suda	22,73400	****							
150	Havada	16,64409		****						
300	Havada	14,47625		****	****					
150	Suda	14,07963			****					
300	Suda	11,10734				****				
500	Suda	9,49021				****	****			

Çizelge 4.13.(Devam) Sıcaklık ve soğutma şartlarına göre basınç dayanımı verilerine ait Duncan testi sonuçları

Sıcaklık (°C)	Soğutma	Ortalama Basınç Day. (Mpa)	Farklı olan gruplar							
			1	2	3	4	5	6	7	
500	Havada	8,65728						****	****	
600	Suda	8,47815						****	****	****
700	Suda	7,01146							****	****
700	Havada	6,53214							****	****
600	Havada	6,17967								****

Sıcaklık ve soğutma seviyeleri arasında gerçekleştirilen Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre basınç dayanımı bakımından;

- 150 ve 300 °C sıcaklıklarda havada soğumaya bırakılan örnekler arasında önemli fark olmadığı, ancak bu sıcaklık ve soğutma koşuluna maruz bırakılan örneklerin ortalama basınç dayanımlarının referanstan farklı olduğu,
- 150 °C’de suda soğutulan ve 300 °C’de havada soğumaya bırakılan örnekler arasında önemli fark olmadığı, ancak bu sıcaklık ve soğutma koşuluna maruz bırakılan örneklerin ortalama basınç dayanımlarının referanstan farklı olduğu,
- 500 ve 300 °C sıcaklıklarda suda soğutulan örnekler arasında fark olmadığı,
- 600 °C’de suda soğutulan örnekler ile 500 °C’de hem suda hem de soğumaya bırakılan örnekler arasında önemli fark olmadığı,
- 600 ve 700 °C sıcaklıklarda soğutma faktörünün her iki seviyesi arasında önemli fark olmadığı,
- 700 °C’de su ve hava, 600 °C’de su ve 500 °C’de havada soğumaya bırakılan örnekler arasında önemli fark olmadığı,
- Sıcaklık ve soğuma faktörüne göre 20 °C hava 23,30541 mPA ile en yüksek, 600 °C hava 6,17967 mPA ile en düşük değere sahip olduğu,
- Sıcaklık artışı ile her iki soğutma koşuluna ait örneklerin basınç dayanımlarında düşüş olduğu, görülmektedir.

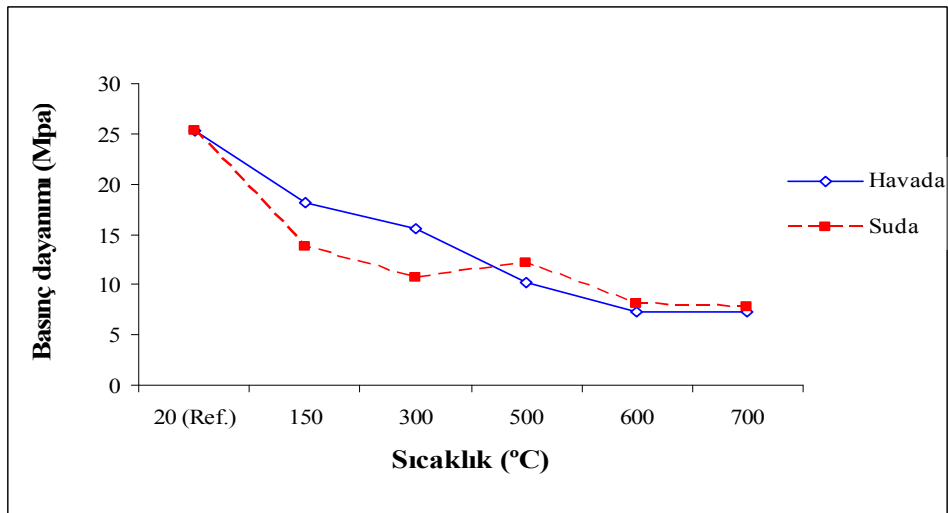


Şekil 4.16. 28 günlük örneklerin soğutma şartlarına ait ortalama basınç dayanımları

28. günde örneklerin yüksek sıcaklık uygulamasının ardından maruz bırakıldıkları soğutma şartına göre;

- 20 (Ref.), 150 ve 300 °C’lerde havada soğutulan örneklerin basınç dayanımlarının suda soğutulan örneklere göre yüksek değerde olduğu,
- 500, 600 ve 700 °C’lerde suda soğutulan örneklerin basınç dayanımlarının havada soğutulan örneklere göre yüksek değerde olduğu,

belirlenmiştir.



Şekil 4.17. 90 günlük örneklerin soğutma şartlarına ait ortalama basınç dayanımı

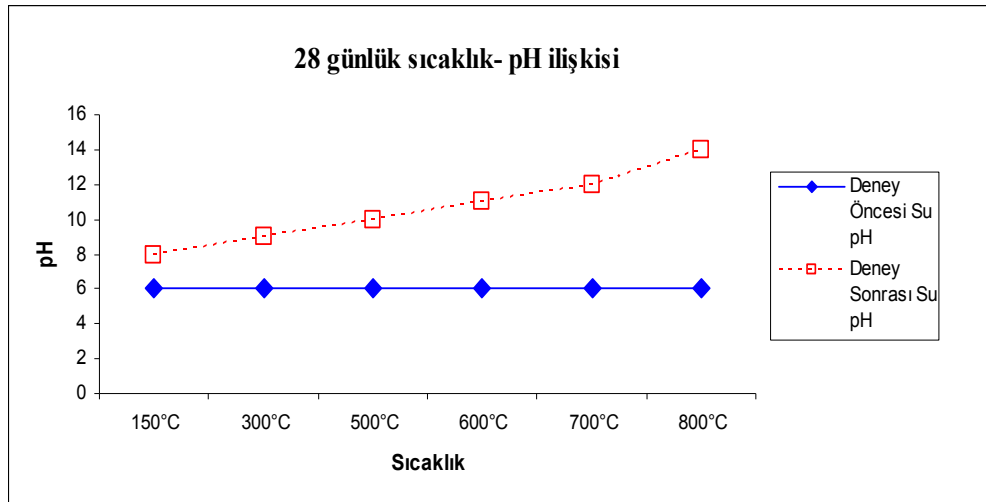
90. günde örneklerin yüksek sıcaklık uygulamasının ardından maruz bırakıldıkları soğutma şartına göre;

- Referans, 150 ve 300 °C’lerde havada soğutulan örneklerin basınç dayanımlarının suda soğutulan örneklere göre daha yüksek olduğu,
- 500, 600 ve 700 °C’de ise suda soğutulan örneklerin basınç dayanımlarının havada soğutulan örneklere göre daha yüksek olduğu,

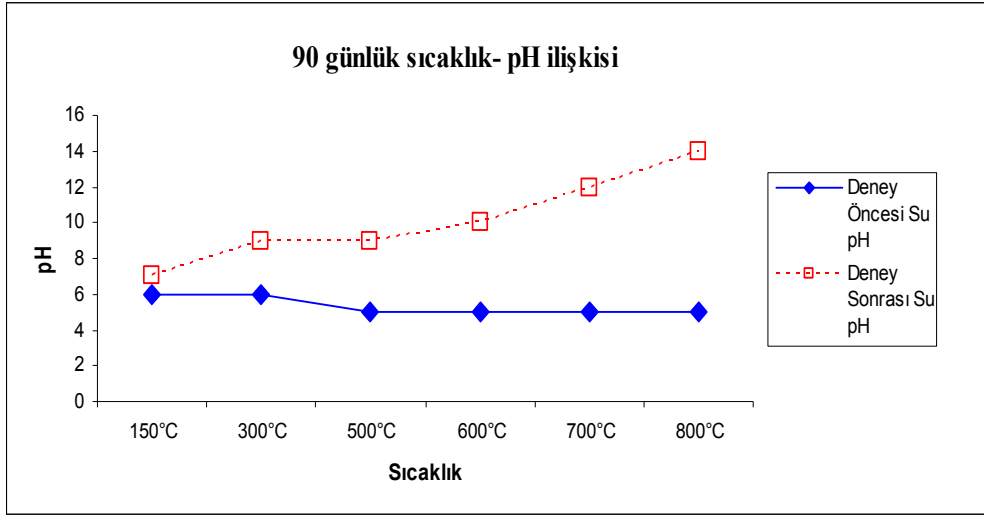
görülmüştür.

#### 4.4. Soğutma Suyunun Ph Değerinin Belirlenmesi

Yüksek sıcaklık uygulamasının ardından suda soğutma işlemi için kullanılan soğutma suyunun pH değeri; 28. günde Şekil 4.18 ve 90. günde Şekil 4.19’de görüldüğü gibi artmaktadır. PH değerinin artması kalsiyum oksitini eriyerek, suda kalsiyum hidroksit olarak çözüldüğünü göstermektedir.



Şekil 4.18. 28. günde soğutma suyu pH değişimi



Şekil 4.19. 90. günde soğutma suyu pH değişimi

#### 4.5. Karot Örneklerde Fiziksel Gözlemler

20 ve 150 °C’de yüksek sıcaklık ve soğutma koşullarından sonra örnekler üzerinde herhangi bir çatlak tespit edilmemiştir.

Referans örnekler ve 150 °C’de (her iki soğutma koşulu için) örnekler basınç dayanımı deneyi sonrası incelendiğinde, 0-4 mm ince agregalar gözle rahatça seçilebilmektedir. Dolayısıyla 20 ve 150 °C’de, havada ve suda soğutmalarda örneklerde herhangi bir bozulma olmadığı düşünülmektedir (Resim 4.1, 4.2, 4.3, 4.4).

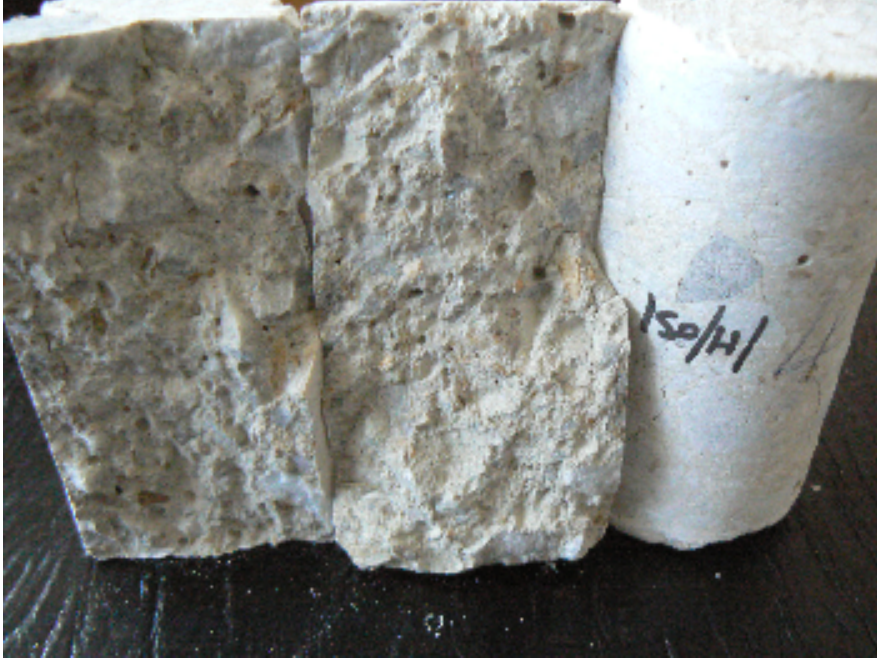




Resim 4.1. 20 °C (Referans) örnekler



Resim 4.2. 20 °C (Referans) örnek



Resim 4.3. 150 °C yüksek sıcaklık uygulanarak havada soğutulan örnek



Resim 4.4. 150 °C yüksek sıcaklık uygulanarak suda soğutulan örnek

300 °C sıcaklığa maruz bırakılan karot örnekleri üzerinde herhangi bir çatlak görülmemiştir. Basınç dayanımı deneyinden sonra karot örneklerinde 0-4 mm arası



agregalar gözle tam olarak seçilememektedir. Dolayısıyla, ince tanelerde bozulmalar olduğu düşünülmektedir (Resim 4.5, 4.6)



Resim 4.5. 300 °C yüksek sıcaklık uygulanarak havada soğutulan örnek



Resim 4.6. 300 °C yüksek sıcaklık uygulanarak suda soğutulan örnek

500 °C’de basınç dayanımı sonrası kırılan örneklerin iç yüzeyleri incelendiğinde; agrega çevrelerinin çimento hamuru ile ayrıştığı görülmektedir. Bu durumda, kaba agregaların genişleme, ince tanelerde de erime olduğu düşüncesi gelişmektedir (Resim 4.7 ve 4.8).





Resim 4.7. 500 °C yüksek sıcaklık uygulanarak havada soğutulan örnek



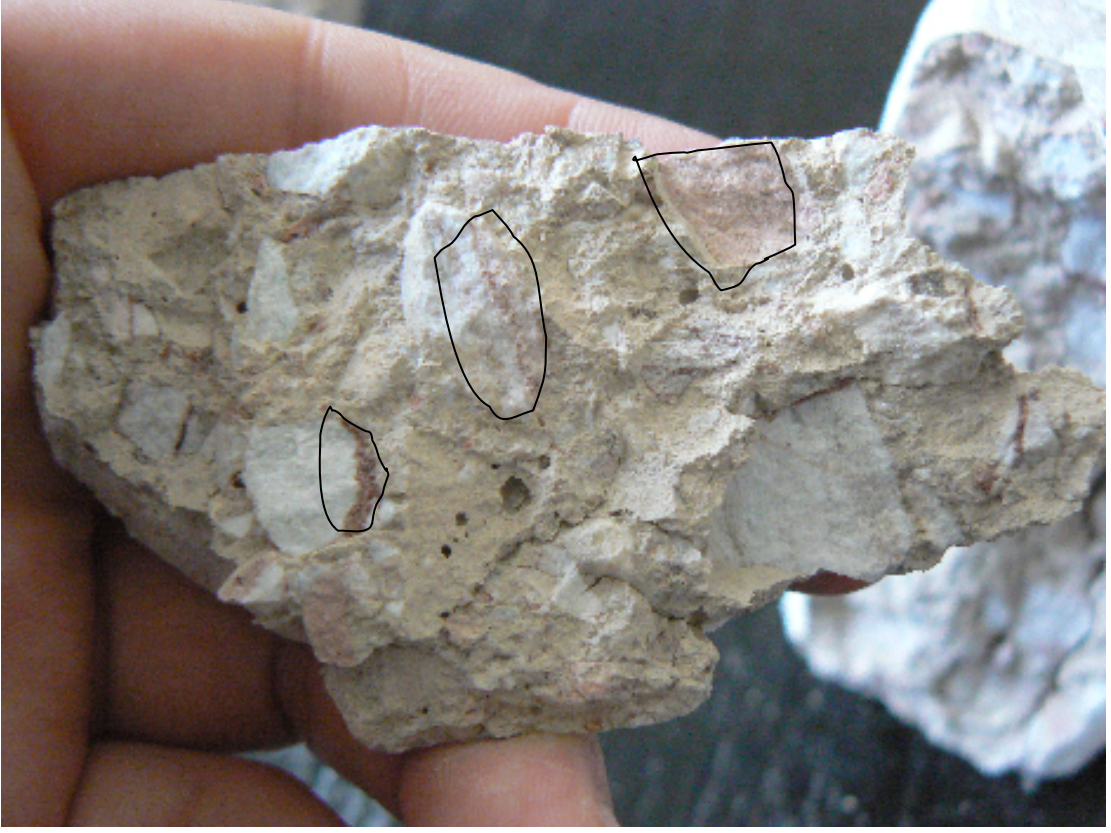
Resim 4.8. 500 °C yüksek sıcaklık uygulanarak suda soğutulan örnek

600 °C'de suda soğutulan örneklerde agregaların havada soğutulan örneklere göre daha kırmızı renkte olduğu görülmektedir (Resim 4.9 ve 4.10).



Resim 4.9. 600 °C yüksek sıcaklık uygulanarak havada soğutulan örnek





Resim 4.10. 600 °C yüksek sıcaklık uygulanarak suda soğutulan örnek

700 °C yüksek sıcaklığa maruz bırakılan karot örnekleri fırından çıkarıldığında agregalar etrafında belirli çatlaklar olduğu gözlemlenmiştir. Soğutma uygulamalarının ardından, basınç dayanımı deneyi sırasında örnekler maksimum yük ile dağılmıştır (Resim 4.11 ve 4.12).



Resim 4.11. 700 °C yüksek sıcaklık uygulanarak havada soğutulan örnek



Resim 4.12. 700 °C yüksek sıcaklık uygulanarak suda soğutulan örnek

800 °C yüksek sıcaklık uygulamasının ardından laboratuvar sıcaklığına gelinceye kadar bekletilen örnekler (havada soğutma), el ile tutulduğunda yüzeyleri



parçalanmıştır (Resim 4.13). Suya daldırılarak soğutulan örneklerden bazıları tamamen su içerisinde erimiş, bazıları ise çok büyük miktarda kesit kaybına uğramıştır (Resim 4.14). Bu nedenlerle 800 °C yüksek sıcaklık uygulanmış karot örnekleri üzerinde basınç dayanımı deneyi gerçekleştirilememiştir.

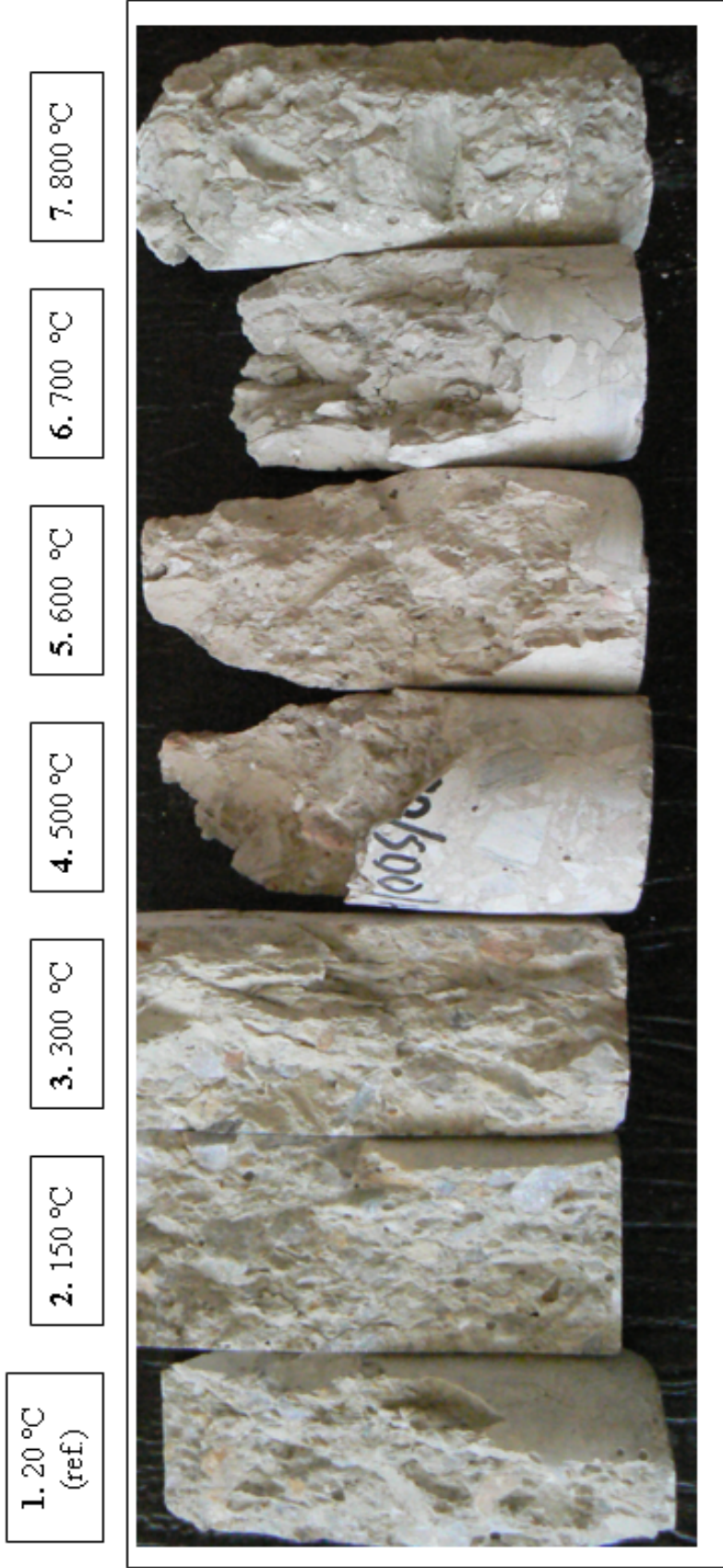


Resim 4.13. 800 °C yüksek sıcaklık uygulanarak havada soğutulan örnek



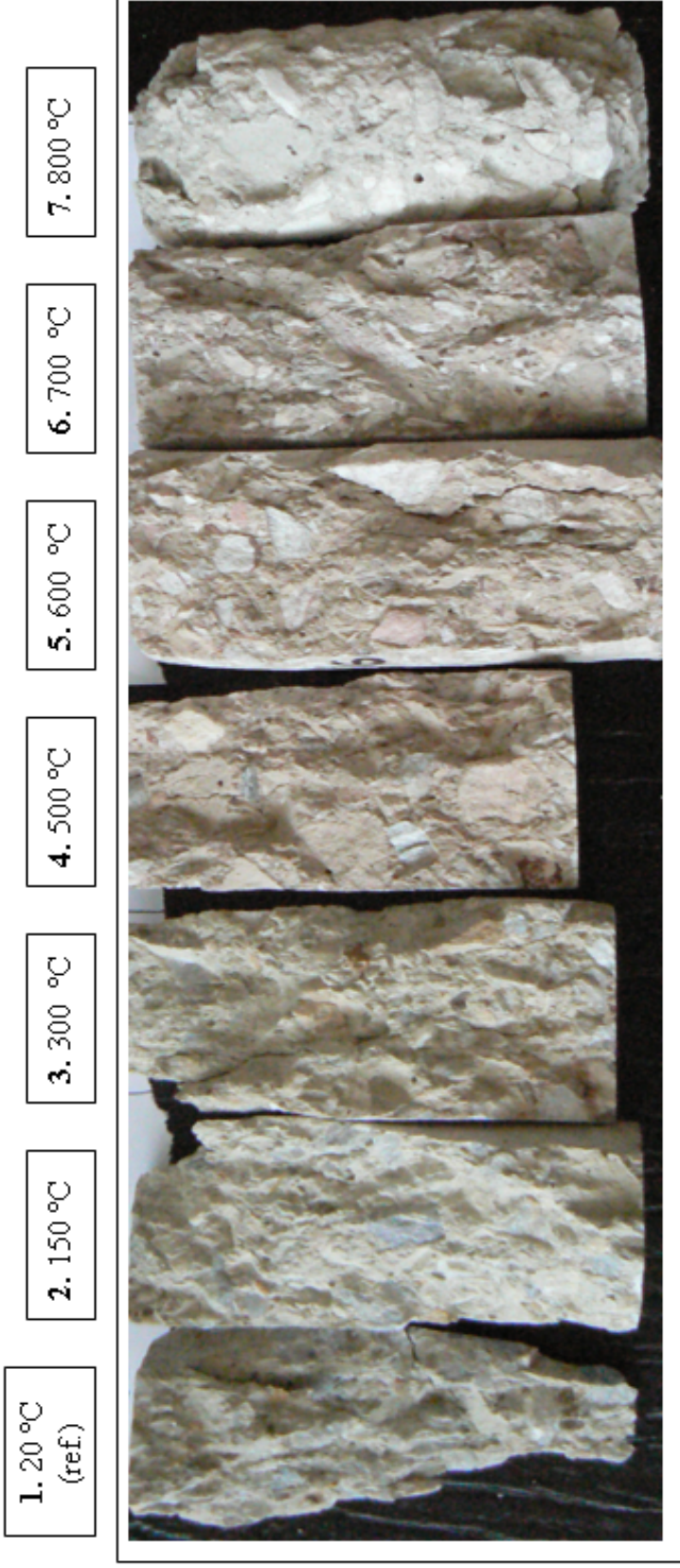
Resim 4.14. 800 °C yüksek sıcaklık uygulanarak suda soğutulan örnek

Yüksek sıcaklık ardından havada ve suda soğumaya bırakılan örnekler arasında yapılan gözlemlerde bazı farklar olduğu tespit edilmiştir. Suda soğutulan örneklerin renklerinin, havada soğutulan örneklere göre daha kırmızı renkte olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle 500 ve 600 °C’lerde karot örneklerinin kırmızıya yaklaştığı, 700 ve 800 °C’lerde ise gri olduğu tespit edilmiştir (Resim 4.15 ve 4.16 ).



Resim 4.15. Havada soğutulan örnekler





Resim 4.16. Suda soğutulan örnekler

## 5. SONUÇLAR

Kalker kırmataş ile üretilip 20, 150, 300, 500, 600, 700 ve 800 °C’lerde yüksek sıcaklığa maruz kalan örneklerin havada ve suda soğutulmalarından sonra uygulanan ultrases geçiş hızı, kapiler su emme ve basınç dayanımı testleri ve pH ölçümü sonuçlarına göre;

800 °C sıcaklığa maruz kalan örnekler havada ve suda soğutma işlemlerinin ardından çok fazla hasar gördüğünden fiziksel ve mekanik özellikleri kontrol belirlenememiştir.

Kalsiyum karbonatın 900 °C civarında kalsiyum oksite dönüştüğü düşünülürse, 700 °C altında yüksek sıcaklığa maruz kalan örneklerin suyla temas ettikten sonra kalsiyum hidroksit oluşturması gibi bir durum ortaya çıkmamıştır. Bu nedenle, üzerinde ultrases geçiş hızı, kapiler su emme ve basınç dayanımı deneyleri yapılabilen örnekler yani 700 °C ve altında (600, 500, 300, 150 ve 20 °C) sıcaklığa maruz bırakılan örneklerin su veya havada soğutulmasının test edilen veriler açısından değerlendirilmesi kalsiyum hidroksit tabanlı değerlendirme imkânını vermemiştir.

Örneklerin yüksek sıcaklık etkisi altındaki dayanıklılığı incelendiğinde sıcaklık artışı ile;

- Ultrases geçiş hızı değerlerinin azaldığı,
- Kapilarite sayısının arttığı ve
- Basınç dayanımının azaldığı

görülmüştür.

Gözle yapılan incelemelerde sıcaklığın artması ile çimento hamurunda büzülme meydana geldiği, ince agregalar erime gösterdiği ve beton içersinde yer alan boşlukların arttığı anlaşılmıştır. Boşlukların artması ile de basınç dayanımında özellikle 500 °C’den sonra %60 civarında azalma olduğu görülmüştür.

Soğutma koşulları kapsamında yapılan değerlendirmelerde;

- Havada soğutulan örneklerin 20, 150 ve 300 °C'lerde ultrases geçiş hızlarının suda soğutulan örneklere göre daha fazla olduğu, 500, 600 ve 700 °C'lerde ise bu durumun tersine olduğu,
- Havada soğutulan beton örneklerinin kapiler su emme miktarlarının suda soğutulan örneklere göre daha fazla olduğu,
- Havada soğutulan örneklerin 20, 150 ve 300 °C'lerde basınç dayanımlarının suda soğutulan örneklere göre daha fazla olduğu, 500, 600 ve 700 °C'lerde ise bu durumun tersine olduğu,

görülmüştür.

28. ve 90. günlerde 500, 600 ve 700 °C'lerde suda soğutulan örneklerin basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızlarının havada soğutulan örneklere göre daha yüksek değerde olmasının nedeninin, karot örneklerinin suyun pH'ını ölçmek amacı ile aynı soğutma suyu içerisine daldırılmış olmasından kaynaklandığı kanaatine varılmıştır.

Su ile soğutma işleminde örneklerin suda bir miktar eridikleri görülmüş, soğutma suyunun pH değerinin arttığı görülmüştür. Bu durum suda soğutulan örneklerden bir miktar kirecin suda çözündüğünü göstermektedir.

## KAYNAKLAR

8. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel ihtisas komisyonu raporu “Endüstriyel hammaddeler Alt komisyonu Yapı malzemeleri I”, **Devlet Planlama Teşkilatı**, Ankara 19-20 (2001).

Aköz, F., Yüzer, N., Çakır, Ö., Kabay, N., “Hızlı Karbonatlaşma İle Beton Dayanımının Arttırılması”  
[http://www.inm.yildiz.edu.tr/Arastirma\\_projeleri/malzeme\\_ocak98dpt\\_fa.pdf](http://www.inm.yildiz.edu.tr/Arastirma_projeleri/malzeme_ocak98dpt_fa.pdf) (1998).

Arıoğlu, E., Arıoğlu, N., Yılmaz, A.D., “Beton Agregaları, Çözümlü Problemler-Bilgi Föyleri”, **Evrin Yayınevi**, İstanbul, 13 (2006).

Arslan, M., “Beton (Dökümü, Kalıpları, Kusurları ve Dayanıklılığı)”, **Atlas Yayın Dağıtım**, İstanbul, 1-167 (2001).

Arslan, M., “Ahşap Kalıp Yüzey Malzemesinin Performansını Belirlemeye Yönelik Kriterlerin Saptanması Ve Geleneksel Yapım Çerçevesinde Karakavak Kerestesinin Kalıp Yüzey Malzemesi Olarak Kullanım Sınırlarının Belirlenmesi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-70 (1994).

ASTM C 597, “Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete”, **American Society for testing and materials**, USA (2002).

Basf Yapı Kimyasalları, “Glenium 128 Özellikleri”, **Beton Katkıları Teknik Broşürü**, Ankara (2010).

Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete, 24827 (2002).

Bingöl, A.F., Gül, R., “Donatı-Beton Aderansı, Yüksek Sıcaklıkların Beton Dayanımına ve Aderansa Etkileri Konusunda Bir Derleme”, **Tübav Bilim Dergisi**, 2(2):211-230 (2009).

Burnaz, O., Durmuş, A., “Betonarme Yapı Elamanlarının Yangın Başarımları”, **İnşaat Mühendisliği XVII. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı**, İstanbul, 100-102 (2004).

Butcher, E.G., Parnell, A.C., “Designing For Fire Safety”, **John Wiley and Sons Ltd.**, New York, 80-81 (1983).

Çağlayan, M., Haberveren, S., İpekoğlu, B., Kurşun, İ., “Beton Yapımında Kullanılan Agregaların Özellikleri ve Örnek Bir Kuruluş İstön”, **2. Ulusal Kırmataş Sempozyumu**, İstanbul, 69-79 (1999).

Çil, İ., Çakır, Ö.A., Ramyar, K., Bilgin, A. ve Karaduman, N., “Farklı Tip Çimentoların Yüksek Sıcaklıklara Direnci”, **Proje No: MAG 106M158**, İzmir,

[http://uvt.ulakbim.gov.tr/uvt/index.php?cwid=9&vtadi=TPRJ%2CTTAR%2CTTIP%2CTMUH%2CTSOS&ano=91166\\_24500826837699fbf9982e56929adc0e](http://uvt.ulakbim.gov.tr/uvt/index.php?cwid=9&vtadi=TPRJ%2CTTAR%2CTTIP%2CTMUH%2CTSOS&ano=91166_24500826837699fbf9982e56929adc0e) (2007).

Demir, İ., “Kırşehir Yöresi Kırmataş Agregalarının Mühendislik Özellikleri”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 82 (2003).

Demirel, B., Gönen, T., “Karbon Fiber Takviyeli Betonda Farklı Fiber Boyunun Kapilariteye Etkisi”, *Fırat Üniversitesi DAUM Dergisi*, 6 (1):12-15 (2007).

Demirel, F., Özkan, E., “Çelik Yapı Bileşenleri ve Yangın Güvenlik Önlemleri”, *Gazi Üniversitesi. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18 (4): 89-107 (2003).

Durmuş, G., Arslan, M., “Yüksek Sıcaklığın Beton Boşluk Yapısına Etkileri”, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, 2107-2111 (2009).

Durmuş, G., Can, Ö., “Polikarboksilat Bazlı Süperakışkanlaştırıcı Katkılı Betonun Yüksek Sıcaklıktaki Basınç Dayanımının Bulanık Mantık Yöntemiyle Tahmini”, *Selçuk Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Teknik-Online Dergisi*, ISSN 1302/6178, 8(3):272-286 (2009).

Erdoğan, M., “İstanbul Ve Dolayının Agrega Potansiyeli”, *Mühendislik Jeolojisi Milli Komitesi Bülteni*, İstanbul, 14:29-41 (1993).

Erdoğan, T.Y., “Beton”, *ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayını*, Ankara, 671-672 (2007).

Geogali, P., Tsakiridis, P.E., “Microstructure of fire-damaged concrete: A case study”, *Cement&Concrete Composites*, 27:255-259 (2005).

Gewain R.G., Iwankiw N. R., Alfawakhiri F., “Facts for Steel Buildings, Fire”, *AISC*, 51 (2003).

Guisse S.E., Short N.R. ve Purkiss J.A., “Colour Analysis for Assessment of Fire Damaged Concrete”, *Concrete Repair, Rehabilitation and Protection, Proceeding of The International Conference*, Scotland/UK, 53-63 (1996).

Güneyisi, E., Özturan, T., ve Gesoğlu, M., “Farklı Çimento Tipi Kullanımının Betonun Durabilite Özellikleri Üzerine Etkileri”, *Türkiye İnşaat Mühendisliği, XVII. Teknik Kongre ve Sergisi*, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Yıldız Teknik Üniversitesi, Kongre Salonları, İstanbul [www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/10150.pdf](http://www.e-kutuphane.imo.org.tr/pdf/10150.pdf) (2004).

Hossain, K.M.A., “High Strength Blended Cement Concrete Incorporating Volcanic Ash: Performance At High Temperatures”, *Cement & Concrete Composites*, 28:535–545 (2006).

Hüsem, M., Karaca, Z., “Hafif ve Geleneksel Beton Yangın Dayanımlarının Karşılaştırılması Olarak İncelenmesi”, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Türkiye İnşaat Mühendisliği 14. Teknik Kongresi*, İzmir, 435-496 (1997).



İnternet: Ankara Su ve Kanalizasyon İdaresi “Aralık Ayı Su Analizi”, <http://www.aski.gov.tr/m.asp?TID=48&bolge=YENIMAHALLE&PN=1&TPN=1#arsiv> (2010).

Kamanlı, M., Balık, F. S., “Beton Teknolojisi”, *Atlas Yayın Dağıtım*, İstanbul, 1-117 (2003).

Kızıllkanat, A.B ve Yüzer, N., “Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Harcın Basınç Dayanımı-Renk Değişimi İlişkisi”, *İMO Teknik Dergi*, 238:4381-4392 (2008).

Kocataşkın, F., “Yapı Malzemesi Bilimi”, *Arpaz Matbacılık* (4. baskı), İstanbul, 1-132 (1975).

Mehta, P.K., Monterio, P.J.M., “Concrete Microstructure, Properties and Materials”, *Indian Concrete Institute*, 548-549 (1997).

Noumowe, A.N., Siddique, R., Debicki, G., “Permeability of High-Performance Concrete Subjected To Elevated Temperature (600 °C)”, *Construction and Building Materials*, 23:1855–1861 (2009).

Özkan, E., “Çelik Yapı Bileşenlerinde Alınması Gereken Yangın Güvenlik Önlemleri ve Bir Uygulama Örneği”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 5-37 (2002).

Sancak, E., Şimşek, O., “Yüksek Sıcaklığın Silis Dumanı ve Süperakışkanlaştırıcı Katkılı Hafif Betona Etkileri”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21 (3):443-450 (2006).

Şengül, Ö., Taşdemir, C. ve Taşdemir, M. A., “Influence Of Aggregate Type On The Mechanical Behavior Of Normal And High Strenght Concretes”, *ACI Materials Journal*, 99 (6):528-533 (2002).

Şimşek, O., “Beton bileşenleri ve Beton Deneyleri”, *Seçkin Yayıncılık (3. baskı)*, Ankara, 1-384 (2010).

Şimşek, O., “Beton ve Beton Teknolojisi”, *Seçkin Yayıncılık (3. baskı)*, Ankara, 21,157,161-164 (2009).

Şimşek, O., “Yapı malzemeleri II”, *Seçkin Yayıncılık (3. baskı)*, Ankara, 1-234 (2007).

Tokyay, M., “Agresif Ortamlarda Çimentolu Sistemler”, *Çimento ve Beton Dünyası*, 8:13-15 (1997).

Topçu, İ.B., Demir A., “Yüksek Sıcaklık Uygulama Süresinin Harç Özelliklerine Etkisi”, *7. Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul, 455-463 (2007).

Topçu, İ.B., Demir, A., “Kiremit Kırıklı Betonlarda Yüksek Sıcaklık Etkisi”, *7th International Congress in Civil Engineering*, Yıldız Technical University, İstanbul, Turkey, Book of Abstracts, 456 (2006).

TS 10465, “Beton Deney Metotları- Yapı Ve Yapı Bileşenlerinde Sertleşmiş Betondan Numune Alınması Ve Basınç Mukavemetinin Tayini (Tahribatlı Metot)”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Kasım (1992).

TS 1247, “Beton Yapım, Döküm Ve Bakım Kuralları (Normal Hava Koşullarında)”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Mart (1984).

TS 3529, “Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Aralık (1980).

TS 3530 EN 933-1, “Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini - Eleme Metodu”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Nisan (1999).

TS 802, “Beton Karışımı Hesap Esasları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara (1985).

TS EN 1097-6, “Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Mart (2002).

TS EN 12350-2, “Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Nisan (2002).

TS EN 12350-3, “Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 3: Ve-be Deneyi”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Nisan (2002).

TS EN 12350-4, “Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 4: Sıkıştırılabilirlik Derecesi”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Nisan (2002).

TS EN 12350-7, “Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 7: Hava İçeriğinin Tayini- Basınç Metotları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Nisan (2002).

TS EN 12390-3, “Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Nisan (2003).

TS EN 206-1, “Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Nisan (2002).

TS EN 772-11, “Kâgir Birimler - Deney Metotları - Bölüm 11: Betondan, Yapay Ve Doğal Taştan Yapılmış Kâgir Birimlerde Kapiler Su Emme Ve Kil Kâgir Birimlerde İlk Su Emme Hızının Tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Nisan (2002).

Xiao, J., König, G., “Study On Concrete At High Temperature In China—An overview”, *Fire Safety Journal*, 39:89-103 (2004).

Yalçın, H., Gürü, M., “Çimento ve Beton”, *Palme Yayıncılık*, Ankara, 1-20 (2006).

Yaprak, H., Karacı, A., “Polipropilen Lifli Betonların Yüksek Sıcaklık Sonrası Basınç Dayanımlarının Yapay Sinir Ağları ile Tahmini”, *Int.J.Eng.Research & Development*, 1(2): 23-28 (2009).

Yüzer, N., Aköz, F., Öztürk, L.D., Akbaş, B., Çakır, Ö., Kızılkant, A., Kabay, N., “Yangına Maruz Kalan Yapılarda Beton Basınç Dayanımı-Renk Değişimi İlişkisinin Araştırılması”, *Proje No: 103I040*, İstanbul [http://uvt.ulakbim.gov.tr/uvt/index.php?cwid=9&vtadi=TPRJ%2CTTAR%2CTTIP%2CTMUH%2CTSOS&ano=99975\\_93235632d772fdc2fde77c7b15dfdb91](http://uvt.ulakbim.gov.tr/uvt/index.php?cwid=9&vtadi=TPRJ%2CTTAR%2CTTIP%2CTMUH%2CTSOS&ano=99975_93235632d772fdc2fde77c7b15dfdb91) (2007).

Zega, C. J., Di Maio, A. A., “Recycled Concrete Made With Different Natural Coarse Aggregates Exposed To High Temperature”, *Construction and Building Materials*, 23:2047–2052 (2009).

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BEKEM, İlknur  
 Uyuğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 09.11.1985 İstanbul  
 Medeni hali : Bekâr  
 Telefon : 0 (386) 712 64 49  
 Faks : 0 (386) 712 64 49  
 e-mail : [ilknurbekem@hotmail.com](mailto:ilknurbekem@hotmail.com) , [ibekem@ahievran.edu.tr](mailto:ibekem@ahievran.edu.tr)

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü	2007
Lise	Beyoğlu Anadolu Ticaret Meslek Lisesi	2003

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2007-.....	Ahi Evran Üniversitesi Kaman Meslek Yüksek Okulu İnşaat Programı	Öğretim Görevlisi

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

Uğur, L.O., Yüksel, E., **Bekem, İ.**, Korkmaz, S., “İnşaat Teknikerliği Eğitimi Üzerine Bir Alan Araştırması”, *Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Teknik-Online Dergi*, 7(3): 12-37 (2008).

**Bekem, İ.**, Gültekin, A.B., ve Dikmen, Ç.B., “Yapı Ürünlerinin Hizmet Ömrü Açısından İrdelenmesi: Betonarme Örneği”, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*, Karabük, 2155-2160 (2009).

Uğur, L.O. ve **Bekem, İ.**, “İnşaat Teknikerliği Eğitiminde Endüstriye Dayalı Öğretim Uygulamaları: Ahi Evran Üniversitesi Meslek Yüksekokulları Örneği”, *1. Uluslararası 5.Ulusal Meslek Yüksekokulları Sempozyumu*, Konya, 990-1000 (2009).

Uğur, L.O ve **Bekem, İ.**, “Başbakanlık Toplu Konut İdaresi Tarafından Yaptırılan Konutların Kalite Maliyetlerinin Belirlenmesine Yönelik Bir Alan Çalışması”, *5. Ulusal Yapı İşletmesi/Yapım Yönetimi Kongresi*, Eskişehir, 347-364 (2009).

**Bekem, İ.** ve Kara, C., “Yeşil Çatıların Örnek Yapılar İle Ekolojik Yönden İncelenmesi”, *Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu*, Ankara, 579-589 (2010).

Kara, C. ve **Bekem, İ.**, “Hidroelektrik Enerji Yapılarının Cansuyu ve Balık Geçitleri Açısından Çevresel Analizi”, *Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu*, Ankara, 812-817 (2010).

Uğur, L.O, **Bekem, İ.**, “Case Study Originated Education in Construction Technology”, *2nd International Symposium on Sustainable Development*, Sarajevo, 127-133 (2010).

Uğur, L.O, **Bekem, İ.**, Korkmaz, S. “Evaluation Of Vocational Education Construction Technician By Lecturers”, *2nd International Symposium on Sustainable Development*, Sarajevo, 134-144 (2010).

## **Hobiler**

Kitap okumak, seyahat etmek.