

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİNDE KROMİT KATKILI BETONLARIN
BASINÇ DAYANIMLARININ İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Yusuf PARLAYAN

HAZİRAN 2019
TRABZON



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİNDE KROMİT KATKILI BETONLARIN
BASINÇ DAYANIMLARININ İNCELENMESİ**

İnş. Müh. Yusuf PARLAYAN

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21.05.2019
Tezin Savunma Tarihi : 20.06.2019**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Metin HÜSEM

Trabzon 2019

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Yusuf PARLAYAN Tarafından Hazırlanan

YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİNDE KROMİT KATKILI BETONLARIN
BASINÇ DAYANIMLARININ İNCELENMESİ




başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 28 / 05 / 2019 gün ve 1806 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Metin HÜSEM

Üye : Prof. Dr. Korhan ÖZGAN

Üye : Prof. Dr. Şükrü YETGİN

Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

“Yüksek Sıcaklık Etkisinde Kromit Katkılı Betonların Basınç Dayanımlarının İncelenmesi” başlıklı bu tez çalışmasını bana öneren, çalışmanın her aşamasında beni yönlendiren, engin bilgi ve deneyimini paylaşan, vakit gözetmeksizin yardımcı olan danışman Hocam Sayın Prof. Dr. Metin HÜSEM'e sonsuz teşekkürlerimi borç bilirim.

Tez çalışmalarım boyunca bilgi ve görüşlerinden faydalandığım Sayın Dr. Öğr.Üyesi Hasan KOLAYLI, Arş. Gör. Sebahat KARACA ve İnş. Yük. Müh. Serhan KARSLIOĞLU'na, deneysel çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Safa NAYIR, Arş. Gör. Memduh NAS, Arş. Gör. Fırat AHLATCI, arkadaşlarım Orhan KAHRAMAN ve İnş. Yük. Müh. Burak EKİCİ, kuzenim İbrahim PARLAYAN'a ayrı ayrı teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında yanımda olan, maddi ve manevi kaynaklarını eğitim ve gelişimim için seferber ederken kendi kararlarımı verme özgürlüğümü bana tanıyıp bir birey olmamı sağlayan, üzerimde ödenmeyecek hakları bulunan ebeveynlerim Sonay ve Muhammet Parlayan'a ithaf olunur.

Yusuf PARLAYAN
Trabzon, 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Yüksek Sıcaklık Etkisinde Kromit Katkılı Betonların Basınç Dayanımlarının İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Metin HÜSEM’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 20/06/2019

Yusuf PARLAYAN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Beton Davranışı.....	1
1.2.1. Betona Etki Eden Yüksek Sıcaklık Kaynakları	3
1.2.2. Yüksek Sıcaklığın Betona Etkileri.....	5
1.2.2.1. Çimento Hamuru	5
1.2.2.2. Agrega.....	8
1.2.2.3. Mineral Katkılar.....	9
1.2.3. Yüksek Sıcaklığın Betonun Fiziksel Özelliklerine Etkileri.....	9
1.2.3.1. Renk.....	9
1.2.3.2. Isıl Genleşme Katsayısı	10
1.2.3.3. Isıl İletkenlik Katsayısı	11
1.2.3.5. Özgül Isı.....	12
1.2.3.6. Ağırlık Kaybı.....	12
1.2.4. Yüksek Sıcaklığın Betonun Mekanik Özelliklerine Etkileri	13
1.2.4.1. Basınç Dayanımı.....	14
1.2.4.2. Çekme Dayanımı	15
1.2.4.3. Elastisite Modülü.....	16
1.3. Beton Üretiminde Kullanılan Mineral Katkı Maddeleri.....	17
1.3.1. Doğal Puzolanlar	18
1.3.1.1. Volkanik Puzolanlar	18
1.3.1.2. Diatomlu Topraklar	18
1.3.2. Yapay Puzolanlar.....	19

1.3.2.1.	Uçucu Kül.....	19
1.3.2.2.	Metakolin.....	19
1.3.2.3.	Silis Dumanı	19
1.3.2.4.	Yüksek Fırın Cürufu	20
1.4.	Kromit.....	20
1.4.1.	Kromit Mineralinin Oluşumu ve Özellikleri	20
1.4.2.	Kromit Mineralinin Kullanım Alanları.....	21
1.4.3.	Kromit Mineralinin Dünya ve Türkiye’deki Rezerv Durumu	22
1.5.	Konu ile İlgili Literatür Çalışmaları	24
1.6.	Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	32
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	34
2.1.	Giriş	34
2.2.	Beton Üretiminde Kullanılan Malzemeler.....	34
2.2.1.	Çimento.....	34
2.2.2.	Su	35
2.2.3.	Agrega.....	35
2.2.4.	Kromit.....	37
2.3.	Beton Karışım Hesabı.....	39
2.4.	Betonların Üretimi ve Bakımı	41
2.5.	Betonlar Üzerinde Yapılan Deneyler.....	44
2.5.1.	Isıl İşlemler	44
2.5.2.	Beton Basınç Dayanımlarının Belirlenmesi	46
3.	BULGULAR.....	48
3.1.	Giriş	48
3.2.	Beton Basınç Dayanımları.....	48
4.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	62
5.	KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans

ÖZET

YÜKSEK SICAKLIK ETKİSİNDE KROMİT KATKILI BETONLARIN
BASINÇ DAYANIMLARININ İNCELENMESİ

Yusuf PARLAYAN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Metin HÜSEM
2019, 70 Sayfa

Bu tez çalışmasında, yüksek sıcaklık etkisinde kromit katkılı betonların basınç dayanımları incelenmiştir. Bu amaçla farklı kromit katkı oranlarında beton numuneleri üretilerek farklı sıcaklıklara maruz bırakılmış ve basınç dayanımları karşılaştırılmıştır. Çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, yüksek sıcaklık etkisindeki beton davranışı, beton üretiminde kullanılan mineral katkı maddeleri ve kromit mineral katkısı hakkında genel bilgiler verilmiş, konu ile ilgili literatür çalışmalarına değinilmiştir. İkinci bölümde, çalışmanın amaç ve kapsamı doğrultusunda gerçekleştirilen deneysel çalışmalara yer verilmiştir. Katkısız ve çimento kütlelerinin %5, %10, %15, %20, %25 ve %30 oranlarında kromit katkısı ile oluşturulmuş betonların bir kısmı ortam sıcaklığında bekletilirken, geriye kalan numuneler 200°C, 400°C ve 600°C sıcaklıklara 2 saat süreyle maruz bırakılmıştır. Sonrasında ortam sıcaklığına kadar yavaşça soğutulan numunelerin basınç dayanımları hesaplanmıştır. Çalışmanın üçüncü bölümünde beton numunelerin basınç dayanım sonuçları verilmiş ve bu sonuçlar ışığında irdelemeler yapılmıştır. Dördüncü bölümde ise tez çalışmasından elde edilen sonuçlar ile çalışmanın devamı ve geliştirilmesi yönünde öneriler sunulmuştur. Çalışma sonucunda, %5, %10, %15, %20 ve %25 oranlarında kromit katkılı betonların 400°C ve üzeri yüksek sıcaklıklarda katkısız betondan daha yüksek basınç dayanımı gösterdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kromit, Beton, Yüksek Sıcaklık, Mineral Katkı, Basınç Dayanımı.

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION ON THE COMPRESSIVE STRENGTH OF CHROMITE ADMIXTURED
CONCRETE UNDER HIGH TEMPERATURE

Yusuf PARLAYAN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Metin HUSEM
2019, 70 Pages

In this thesis study, compressive strength of chromite admixed concrete under high temperature was investigated. For this purpose, concrete samples with different ratios of chromite were produced and exposed to different temperatures, then compressive strengths of these concrete samples were compared. This study consists of four chapters. In the first chapter, general information about high temperature effect on concrete behavior, mineral admixture used in concrete production and chromite mineral admixture were given, and previous studies about this subject were referred. In the second chapter, experimental studies which were conducted in accordance with the purpose and extent of this study were given. Concrete without chromite admixture and with 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30% chromite addition to weight of cement were produced. While some samples were put on ambient temperature, the rest were exposed to 200°C, 400°C and 600°C for 2 hours. Then, the concrete samples were gradually cooled to ambient temperature and their compressive strengths were calculated. In the third chapter of this study, the results of the compressive strength of concrete samples were given and the results were examined. In the fourth chapter, results of this thesis study and suggestions for further studies were given. Experimental results showed that concrete with 5%, 10%, 15%, 20% and 25% chromite admixture performed better compressive strength results in 400°C and higher temperatures compared to control sample.

Key Words: Chromite, Concrete, High Temperature, Mineral Admixture, Compressive Strength.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Dünya Ticaret Merkezi (solda) ve Asch Binası'nda (sağda) gerçekleşen yangınlar	2
Şekil 1.2.	Standart sıcaklık-zaman eğrisi	3
Şekil 1.3.	Yapılar için standart yangın senaryoları.....	4
Şekil 1.4.	Boşluk suyu transferi.....	6
Şekil 1.5.	Sıcaklık ile boşluk oranı ve boyutu değişimi	7
Şekil 1.6.	Doygun buhar basıncı ile sıcaklık arasındaki ilişki.....	8
Şekil 1.7.	Sertleşmiş çimento hamurunun yükselen sıcaklıkla boyut değişimi.....	10
Şekil 1.8.	Çeşitli betonlar için ısı yayılım katsayısı-sıcaklık ilişkisi	12
Şekil 1.9.	Farklı agregalardan oluşan betonların sıcaklık-ağırlık kaybı ilişkisi.....	13
Şekil 1.10.	Betonun basınç dayanımının sıcaklığa göre değişimi [33]	14
Şekil 1.11.	Betonda basınç dayanımının sıcaklıkla değişimi	15
Şekil 1.12.	Kireçtaşı ve kumtaşı agregalı betonların yükselen sıcaklıkla elastisite modüllerindeki değişim.....	17
Şekil 1.13.	Dünya üzerindeki kromit yatakları.....	23
Şekil 1.14.	Türkiye krom yatakları.....	24
Şekil 1.15.	Tasarım eğrileri ile deneysel dayanım azalma eğrilerinin karşılaştırması.....	25
Şekil 1.16.	Sıcaklık ile göreceli basınç dayanımının değişimi	26
Şekil 1.17.	Tepe sıcaklığın uçucu kül katkılı betonların basınç dayanımına etkisi.....	27
Şekil 2.1.	İnce agregata tane dağılımı	36
Şekil 2.2.	İri agregata tane dağılımı	36
Şekil 2.3.	Agregaların granülometrik bileşimi ve sınır eğrileri.....	37
Şekil 2.4.	Çubuklu silindire konulan kromit minerali	38
Şekil 2.5.	Kromitin çubuklu silindirde öğütülmesi	38
Şekil 2.6.	Öğütülmüş kromit	39
Şekil 2.7.	Beton üretiminde kullanılan 60 litre kapasiteli betoniyer	41
Şekil 2.8.	Beton karışımının çökme deneyinden geçirilmesi	42
Şekil 2.9.	Küp kalıplara titreşim masasında beton yerleştirilmesi	42
Şekil 2.10.	150mm küp kalıplardaki beton numuneleri	43
Şekil 2.11.	Kür sonrasında numunelerden bir görünüm.....	43

Şekil 2.12.	Betonların yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakıldıkları fırın düzeneği	44
Şekil 2.13.	200°C için sıcaklık-zaman grafiği.....	45
Şekil 2.14.	400°C için sıcaklık-zaman grafiği.....	45
Şekil 2.15.	600°C için sıcaklık-zaman grafiği.....	46
Şekil 2.16.	Basınç dayanım deneyi düzeneği	46
Şekil 2.17.	Basınç dayanım deneyinde kırılmış numunelerden örnekler	47
Şekil 3.1.	Katkısız beton için basınç dayanımı-sıcaklık grafiği	49
Şekil 3.2.	%5 kromit katkılı beton için basınç dayanımı-sıcaklık grafiği	50
Şekil 3.3.	%10 kromit katkılı beton için basınç dayanımı-sıcaklık grafiği	51
Şekil 3.4.	%15 kromit katkılı beton için basınç dayanımı-sıcaklık grafiği	53
Şekil 3.5.	%20 kromit katkılı beton için basınç dayanımı-sıcaklık grafiği	54
Şekil 3.6.	%25 kromit katkılı beton için basınç dayanımı-sıcaklık grafiği	55
Şekil 3.7.	%30 kromit katkılı beton için basınç dayanımı-sıcaklık grafiği	57
Şekil 3.8.	Ortam sıcaklığında basınç dayanımının kromit katkı oranı ile değişimi	58
Şekil 3.9.	200°C’de basınç dayanımının kromit katkı oranı ile değişimi.....	59
Şekil 3.10.	400°C’de basınç dayanımının kromit katkı oranı ile değişimi.....	60
Şekil 3.11.	600°C’de basınç dayanımının kromit katkı oranı ile değişimi.....	61

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Yüksek sıcaklıkta betonun ısı iletkenliği	11
Tablo 2.1. Kullanılan çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri.....	34
Tablo 2.2. Kullanılan çimentonun kimyasal özellikleri	35
Tablo 2.3. Agregaların elek analiz tablosu	35
Tablo 2. 4. Agregaların su emme oranları ve birim hacim kütleleri	37
Tablo 2.5. Çalışmada kullanılan beton bileşimi	40
Tablo 2.6. Çalışmada 1m ³ karışıma ilave edilen kromit miktarları.....	41
Tablo 3.1. Katkısız beton için basınç dayanım deneyi sonuçları	48
Tablo 3.2. %5 kromit katkılı beton için basınç dayanım deneyi sonuçları	49
Tablo 3.3. %10 kromit katkılı beton için basınç dayanım deneyi sonuçları	51
Tablo 3.4. %15 kromit katkılı beton için basınç dayanım deneyi sonuçları	52
Tablo 3.5. %20 kromit katkılı beton için basınç dayanım deneyi sonuçları	53
Tablo 3.6. %25 kromit katkılı beton için basınç dayanım deneyi sonuçları	55
Tablo 3.7. %30 kromit katkılı beton için basınç dayanım deneyi sonuçları	56

SEMBOLLER DİZİNİ

a	: Isı yayılım katsayısı
c	: Özgül ısı
cm	: Santimetre
°C	: Sıcaklık (Celsius)
dk	: Dakika
dm ³	: Desimetre küp
gr	: Gram
k	: Ortalama ısı iletkenlik
°K	: Sıcaklık (Kelvin)
kg	: Kilogram
km	: Kilometre
kN	: Kilonewton
log	: Logaritma
M	: Molarite
m ³	: Metre küp
mm	: Milimetre
MPa	: Megapascal
s	: Saniye
T	: Yangın sırasındaki ortalama yangın gazı sıcaklığı
T ₀	: Başlangıç sıcaklığı
t	: Yangın süresi
V _a	: Agregat hacmi
V _h	: Hapsedilmiş hava hacmi
V _w	: Su hacmi
W _a	: Agregat kütlesi
W _c	: Çimento kütlesi
β	: Birim ağırlık
β _i	: Agregatın kütlece oranı
λ	: Isıl iletkenlik katsayısı
γ _a	: Agregat doygun kuru yüzeyli birim kütle
γ _c	: Çimento birim kütlesi
γ _{ai}	: Agregat kuru yüzeyli birim kütlesi

Kısaltmalar

Al	: Alüminyum
Al ₂ O ₃	: Alüminyum oksit
CaCO ₃	: Kalsiyum karbonat
CaO	: Kalsiyum oksit
Ca(OH) ₂	: Kalsiyum hidroksit
CEM I	: Portland Çimentosu
CIB	: International Council for Research and Innovation in Building and Construction
Cl	: Klor
Co	: Kobalt
CO	: Karbon monoksit
CO ₂	: Karbon dioksit
Cr	: Krom
Cr ₂ O ₃	: Kromyum oksit
C-S-H	: Kalsiyum silikat hidrat
DN	: Doğal nem
DS	: Doyma suyu
Fe	: Demir
FeO	: Demir (II) oksit
Fe ₂ O ₃	: Demir (III) oksit
ISO	: International Organization for Standardization
K ₂ O	: Potasyum oksit
Mg	: Magnezyum
MgO	: Magnezyum oksit
NaOH	: Sodyum hidroksit
Na ₂ O	: Sodyum oksit
Ni	: Nikel
SE	: Su emme oranı
SCaO	: Serbest kalsiyum oksit
SiO ₂	: Silikon Dioksit
SO ₃	: Kükürt trioksit
TS	: Türk standardı
W14	: Working Commussion 14
YFC	: Yüksek fırın cürufu

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yüksek sıcaklık etkisinde kromit katkılı betonun basınç dayanımının incelenmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmanın bu bölümünde yüksek sıcaklık etkisindeki beton davranışı, betona etki eden yüksek sıcaklık kaynakları, yüksek sıcaklığın betona, betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkileri, beton üretiminde kullanılan mineral katkı maddeleri, doğal ve yapay puzolanlar, kromit, kromit mineralinin oluşumu, özellikleri, kullanım alanları, dünya ve ülkemizdeki rezerv durumuna yer verilmektedir.

1.2. Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Beton Davranışı

Yüksek sıcaklık etkisindeki beton davranışının araştırılmasının başlıca nedeni betonarme binalarda meydana gelen yangınlardır. Yangınlarda sıcaklığın 1200°C'ye kadar ulaştığı bilinmektedir [1]. Bu durum yapılarda durabilite problemine yol açmakta ve kalıcı hasarlar oluşturarak yapıların kullanım dışı kalmasına ve böylelikle can ve mal kaybına sebep olmaktadır.

11 Eylül 2001'de Dünya Ticaret Merkezi'ne yapılan saldırıda uçakların çarpması sonucu oluşan hasar ve yangın sonucunda "İkiz Kuleler" olarak tanımlanan gökdelenler çökmüş ve toplamda 2752 kişinin ölümüne yol açmıştır (Şekil 1.1.). 1 Şubat 1974'te Sao Paulo, Brezilya'da 25 katlı Joelma Binası'nda elektrik devresinden kaynaklanan yangında binadaki yüksek miktardaki yanıcı materyalden dolayı yangın hızlıca yayılmış ve 179 kişi hayatını kaybetmiştir. 25 Mart 1911'de New York'taki 10 katlı Asch Binası'nda meydana gelen yangında ise 146 işçi hayatını kaybetmiştir (Şekil 1.1.) Bu yangın sonrasında ABD'de bina projelendirmesinde yangın etkisinin dikkate alınması için yönetmelik çalışmaları başlatılmıştır [2].



Şekil 1.1. Dünya Ticaret Merkezi (solda) ve Asch Binası'nda (sağda) gerçekleşen yangınlar [2,3].

Yukarıda verilen örnekler gibi mal ve can kaybına sebep olan yangınlara karşı önlem olmak adına günümüzde birçok ülkenin yangından koruma yönetmelikleri bulunmaktadır. Bunların en ilkellerinden biri, 1212 yılında meydana gelen büyük bir yangından sonra Londra'da saman çatı örtüsünün yasaklanmasıdır [4]. Ülkemizde hâlihazırda kullanılan 2007 yılında hazırlanıp sonrasında güncellemelerden geçen "Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik" mevcuttur [5].

Beton, yüksek sıcaklık altında kendi özelliklerini korumakta yeterlilik gösteren bir yapı malzemesi olarak kabul edilmektedir. Betonun düşük ısı iletkenliği sebebiyle ısının beton içerisindeki iletimi yavaş olmakta ve yüksek sıcaklığa karşı daha hassas olan donatı çeliği beton tarafından uzunca bir süre korunmaktadır. Ancak bu ısı iletimi uzun sürdüğünde betonun dış tabakası ile iç tabakası arasında sıcaklık farkları oluşmakta ve bu durum elemana ayrıca zarar verebilmektedir.

Beton, diğer yapı malzemelerine göre yangına karşı daha iyi performans gösterse de yapılan çalışmalarda yüksek sıcaklıklarda betonun ciddi anlamda hasar gördüğü anlaşılmaktadır. Yapılan çalışmalarda betonun, sıcaklık 600°C'ye vardığında dayanımının yaklaşık %50'sini, 800°C'ye vardığında ise %80'ini kaybettiği görülmüştür [6].

1.2.1. Betona Etki Eden Yüksek Sıcaklık Kaynakları

Yangın başlamasına sebep olan yanma en genel anlamda yakacak maddenin oksijenle hızlı bir reaksiyona girerek enerjisinin ısı biçiminde açığa çıktığı kimyasal bir olay olarak tanımlanmaktadır. Yanma olayı, ortamdaki oksijen miktarına, bölgedeki sıcaklığa ve reaksiyon hızına bağlıdır [7].

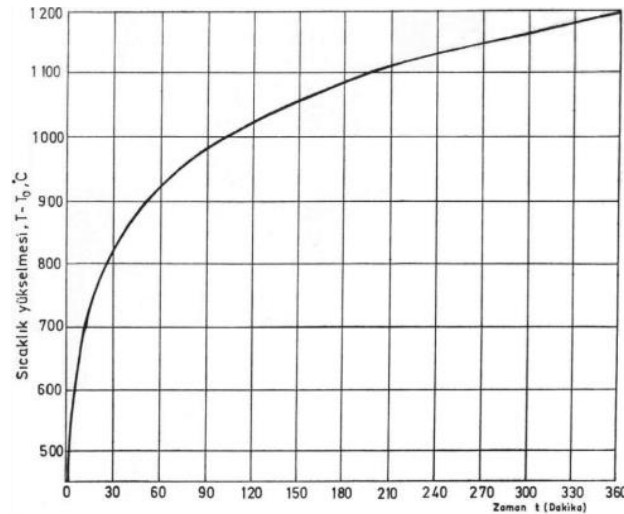
Katı, sıvı veya gaz halindeki maddelerin kontrol dışı bir şekilde yanması yangın olarak adlandırılmakta ve ateşleme, yavaş yanma, ısınma, soğuma gibi dört aşamadan oluşmaktadır [7].

Yangın birçok bina ve yapı için en ciddi potansiyel riskler arasındadır. Betonun yaygın şekilde yapı malzemesi olarak kullanılması betonun yangın durumundaki direncini anlamayı mecbur kılmıştır.

Şekil 1.2.'de verilen standart sıcaklık-zaman eğrisinden de görüldüğü gibi, yangınlarda sıcaklık 10 dakika gibi kısa bir sürede 650°C'ye yükselmekte ve yangın süresince de 1200°C'ye ulaşabilmektedir. ISO-834 yangın eğrisi olarak tanımlanan bu eğri (1.1.) bağıntısı ile ifade edilmektedir [8].

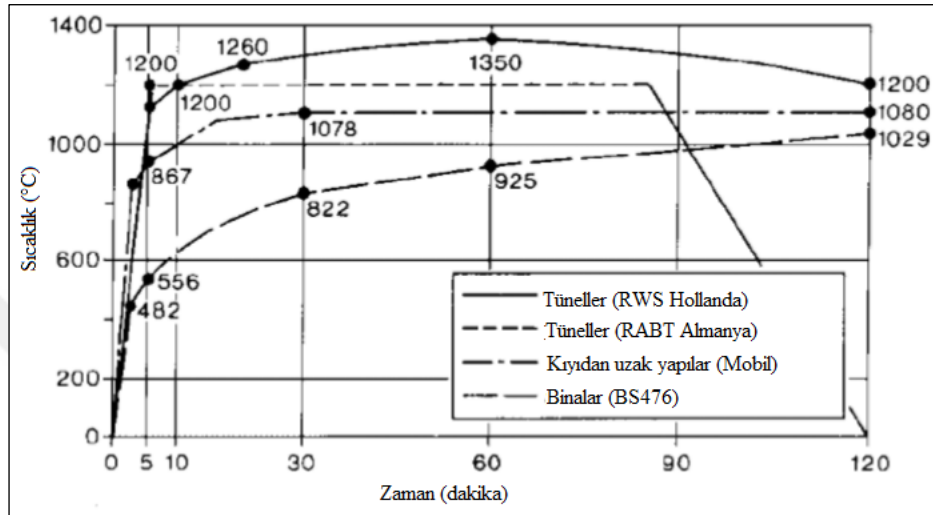
$$T - T_0 = 345 \log(8t + 1) \quad (1.1.)$$

Bağıntıda T yangın sırasındaki ortalama yangın gazı sıcaklığını (°C), T₀ başlangıç sıcaklığını (°C) ve t yangın süresini (dk) göstermektedir.



Şekil 1.2. Standart sıcaklık-zaman eğrisi [9].

Khoury [10] yapmış olduğu çalışmada gerçek yangın deneyimlerine dayanan test, tasarım, analiz ve uygulama farklılıklarını araştırarak yapıları binalar, kıyıdan uzak yapılar ve tüneller olarak üç ana kategoriye ayırmış ve bunlar için Şekil 1.2.'de verilen standart yangın senaryosunu oluşturmuştur.



Şekil 1.3. Yapılar için standart yangın senaryoları [10].

Yangın etkisi dışında, havaalanı pistlerinde uçakların kalkış ve inişlerindeki sürtünmeler ve saatte 260km hızla çıkan 196°C'deki egzoz gazları sebebiyle yüksek sıcaklıklar oluşmaktadır. Yapılan araştırmalardan betonun sıcaklık artışıyla genişleşip sıcaklık azalmasıyla büzüldüğü bilinmektedir [11]. Bu tekrarlı ısınma ve soğuma etkisinden dolayı pistlerde aşınma ve tozlanmalar da görülmektedir [12].

Bununla birlikte, nükleer reaktörlerdeki işlemlerden dolayı reaktörü koruyan betonlar 1000-1100°C'lere varan sıcaklıklara ve 900°C'lere varan sıcaklık farklarına maruz kalmaktadır [13]. Nükleer santrallerdeki herhangi bir olumsuzlukta açığa çıkabilecek radyoaktif maddeler de gözönüne alınacak olursa kullanılacak betonun bu sıcaklık ve sıcaklık farkına karşı dayanım göstermesi, ayrıca nötron ve gama ışınlarına karşı kalkan olması, izin verilen deformasyon ve sızdırma oranlarını sağlaması gerekmektedir.

1.2.2. Yüksek Sıcaklığın Betona Etkileri

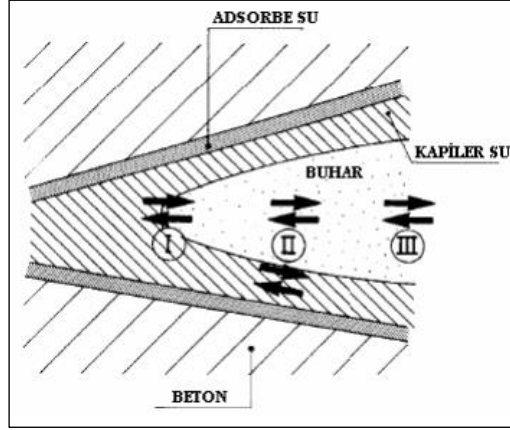
Betonun yüksek sıcaklığa karşı dayanımı doğal olarak beton karışımı içerisinde bulunan materyaller ile ilişkilidir. Bilindiği gibi; çimento, agrega, su ve gerektiğinde kimyasal ve mineral katkıları beton bileşiminde kullanılmaktadır. Aşağıda bu elemanların yüksek sıcaklık altındaki davranışı incelenecektir.

1.2.2.1. Çimento Hamuru

Çimento bazlı materyal genel olarak yanmazdır ve bu yönüyle ahşap ve plastiğe göre önemli bir güvenlik avantajına sahiptir. Yapısal beton donatı çeliğini korumaya yardımcı olmaktadır. Ancak yangın veya yüksek sıcaklığa maruz kalma durumunda çimento bazlı materyal önemli hasara uğramaktadır.

Çimento hamuru, sıcaklık etkisi ile önemli fiziksel ve kimyasal değişimlere uğradığı için ilk ısıtma boyunca kararsız bir bileşendir. Su, beton bünyesinde üç değişik şekilde bulunur: Çimento hamuru içerisindeki kalsiyum silikat hidratın (C-S-H) katı ögelerini birbirine bağlayan absorpsiyon suyu, hidratlardaki kimyasal bağlı su ve kılcal boşluklardaki serbest su. 100°C'ye kadar olan sıcaklıklarda serbest halde bulunan su buharlaşmakta, daha yüksek sıcaklıklarda ise bağlı suların kaybıyla kimyasal bozulmalar gerçekleşmektedir [14]. Bu suların kaybıyla oluşan büzülme ve beton içerisinde gelişen buhar basıncı beton örtüsüne hasar vermekte, çatlamasına ve parçalanmasına sebep olabilmektedir [15].

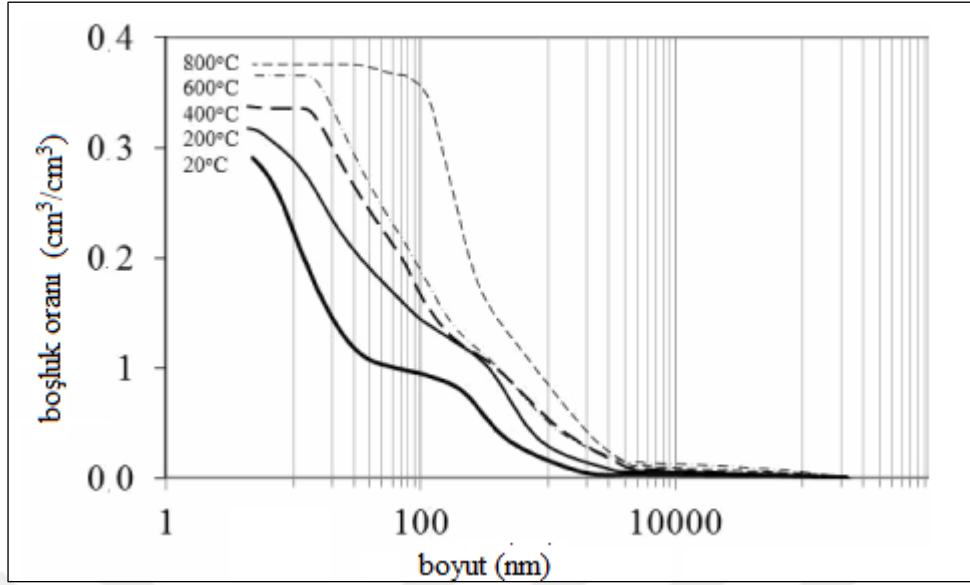
Şekil 1.4.'de basitleştirilmiş biçimde boşluk suyu transferi görülebilmektedir. (I) suyun buharlaşması/yoğuşmasını, (II) beton içine olan su transferini, (III) ise suyun dışarıya, çevreye geçişini temsil etmektedir.



Şekil 1.4. Boşluk suyu transferi [16].

Betonun boşluk oranı arttıkça basınç dayanımının azaldığı bilinmektedir. Beton bünyesindeki boşluklar, C-S-H jeli boşlukları, kapiler boşluklar ve hava boşlukları olmak üzere üç farklı şekilde oluşmaktadır. Yüksek sıcaklık etkisinde çimento hamuru ve agregada meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişiklikler porozite, gözenek boyutu ve dağılımında değişmelere sebep olur. Sertleşmiş çimento hamuru 20°C sıcaklıktan itibaren yükselen sıcaklıkla 200°C'lere dek genişir. 200°C üzerindeki sıcaklıklarda ise farklı yoğunluklar ve mekanizmalar sebebiyle büzölmeye başlar. Bu sırada agregalar genişlemeye başlar ve tüm bu değişiklikler gözenek boyutunu büyütür [17]. Boşluk hacminde önemli bir artışa yol açan kapiler ve jel suyunun ayrışması 500°C'ye kadar gerçekleşir [18]. Toplam boşluk hacmi artışı 600°C sıcaklığa dek sürer. Arabölme duvarların büzölmesi ve mikroçatlaklar sebebiyle bu sıcaklıklardaki hacim artışı beklenenden fazla gerçekleşmiş olabilir. Yüksek sıcaklıklarda küçük boşlukların oranı azalır ve bu durum 900°C üstü sıcaklıklarda sinterleşmeye sebep olabilir [17].

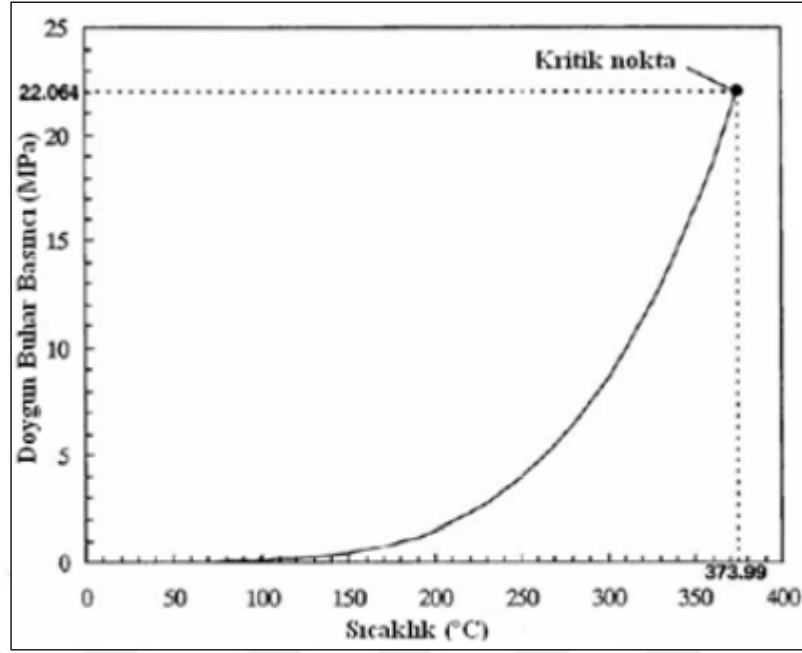
Şekil 1.5.'te göröleceği üzere, sıcaklık arttıkça toplam boşluk oranı ve ortalama boşluk boyutu artmaktadır.



Şekil 1.5. Sıcaklık ile boşluk oranı ve boyutu değişimi [19].

Yüksek sıcaklık, dolayısıyla yüksek ısıl gerilmeler altında kalmış betondaki çatlak oluşumunun birçok sebebi vardır. Başlangıç mikro çatlaklar rötre sonucu meydana gelmektedir. Bu mikro çatlaklar yükselen sıcaklıkla kolayca ilerlerler. Bunların bazıları 200°C altı sıcaklıklarda yok da olabilirler ancak sonuçta daha büyük çatlaklar meydana getirmektedirler. Anhidrit tanelerin etrafındaki mikro çatlaklar da bu sıcaklık civarında gelişmeye başlar. 300°C civarında çimento fazını geçip agregayı çevrelemeye başlarlar. 500°C'yi aşan sıcaklıklarda çimento hamurundaki çatlaklar 0,01mm'den büyük hale gelirler. Buradan sonra agregayı da çatlatırlar ve bu çatlakların boyutu 0,05mm'den büyüktür, yani gözle dahi görülebilir hale gelir [17].

Şekil 1.6.'da boşluk suyu basıncı ile sıcaklık arasındaki ilişki gösterilmiştir. 373,99°C'de 22,064 MPa kritik su basıncı oluşmaktadır. Kritik noktanın üzerinde suyun gaz halde, kritik noktanın altında ise sıvı halde olduğu kabul edilir [20].



Şekil 1.6. Doygun buhar basıncı ile sıcaklık arasındaki ilişki [20].

1.2.2.2. Agregalar

Agregalar beton hacminin %70 kadarını oluşturur ve bu nedenle yüksek sıcaklığa maruz kalmış betonun davranışında önemli bir etken olması beklenir. Agregalar özelliklerindeki farklılıklar ısıtma esnasında betonun ısıl genleşme katsayısını, ısıl iletkenliğini ve performansını önemli derecede etkiler. Çeşitli çalışmalarda agregaların betonun yüksek sıcaklık altındaki davranışını etkilediği açıkça ortaya konmuştur [19,21]

Silisli agregalar, 573°C sıcaklıkta iç gerilmelere sebep olan kuartz α - β dönüşümünden dolayı genleşmeye ve ısıl bozunmaya uğrarlar [22]. Silisli agregalar kendi içlerinde farklı davranışlar sergilemektedir, SiO_2 'den oluşan çakmaktaşıları 300 °C'den sonra ısıl kararsızlıklara maruz kalıp yüzey çatlamları geçirirken, yine SiO_2 'den oluşan kuvarsit agregalar 750 °C gibi sıcaklıklara dek kararlıdırlar [23].

Kalker ve dolomit esaslı agregalar 700°C'ye kadar kararlıdırlar [24]. Bu eşik sıcaklık değerinden sonra kalsiyum karbonatın (CaCO_3) dekarbonizasyonu ve sonrasında kalsiyum oksidin (CaO) hidrasyonu kalkerli agregalar için ana etkiyi oluşturmaktadır [25]. Bu olgu önemli hacim değişikliklerine (%44 genleşme) sebep olup agregaların ve betonun yapısını değiştirir [19].

1.2.2.3. Mineral Katkılar

Mineral katkıları beton uygulamalarında daha iyi performans beklentisiyle kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda mineral katkı kullanılarak yüksek dayanımlı betonlar üretilmektedir [26,27]. Yüksek performanslı betonlar dayanım açısından fayda sağlamaktadır ancak gevrek yapısı en zayıf yönüdür [28]. Yüksek sıcaklık altında yüksek performanslı betonlarda normal betona göre parçalanma ve dağılma gibi ciddi hasarlar oluşmaktadır. Bunun en büyük sebebi yüksek performanslı betonun yoğunluğudur. İç yapıdaki yoğunluğun fazla olması yangın direncini azaltır ve yüksek performanslı betonu yangın gibi yüksek sıcaklık etkilerine karşı daha riskli hale getirir [26,29]. Yüksek sıcaklık etkisinde mineral katkılardan beklenen, kalsiyum hidroksitleri tüketerek CSH oluşumuna katkıda bulunmalarıdır [18].

1.2.3. Yüksek Sıcaklığın Betonun Fiziksel Özelliklerine Etkileri

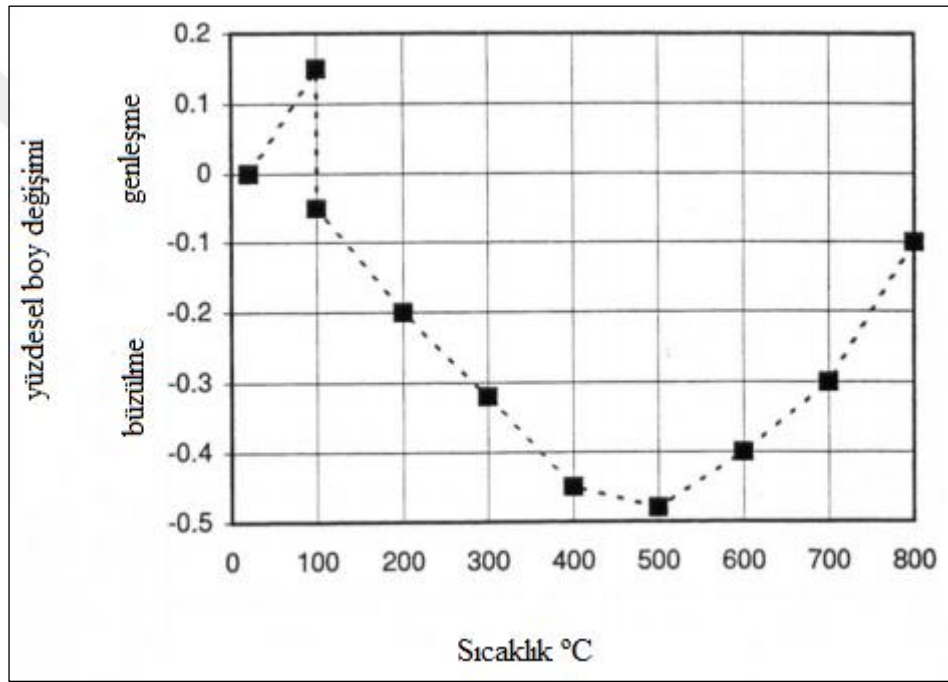
1.2.3.1. Renk

Silis agregalı betonların yükselen sıcaklıkla renk değiştiği bilinmektedir. 300 °C sıcaklıkta pembeleşme başlamaktadır. Bu renk değişim durumu 300°C eşsıcaklığını belirlemede kullanılmaktadır. 300°C civarında betonun basınç dayanımının %25'ini kaybettiği bilinmektedir. 300°C'den daha yüksek sıcaklıklarda beton basınç dayanımını daha hızlı kaybetmekte ve 600°C'ye maruz kaldığında yalnızca %25 kadarı kalmaktadır. Bundan dolayı pembeleşen bir beton görüldüğünde yapısal bütünlüğünü kaybettiği söylenebilir. Silis agregalı betonların 600°C'de beyazımsı gri, 900°C'de ise deve tüyü rengine büründüğü bilinmektedir [30].

Silisli agrega bulunmayan betonlarda renk değişimi pek olmamaktadır. Kireçtaşı agregalı betonlar 750°C'ye ısıtıldıklarında tebeşir beyazı rengine sahip olmaktadır. Daha düşük sıcaklıklarda ise belirgin bir değişim yaşamamaktadırlar [31].

1.2.3.2. Isıl Genleşme Katsayısı

Yükselen sıcaklıkla birlikte çimento hamuru, agrega, harç ve betonun ısıl genleşme katsayısı hakkında çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Çimento hamuru 200°C sıcaklıkta %0,18 civarında genleşmektedir ancak bu derecede uzun süre kaldığında büzülme göstermektedir. 200 °C'den daha yüksek sıcaklıklarda, 500°C'ye dek çimento hamuru büzülme ve büzülme oranı %0,5 olmaktadır. 500°C'den daha yüksek sıcaklıklarda büzülme azalmakta ve 900°C civarında genleşme yeniden başlamaktadır (Şekil 1.7.) [32].



Şekil 1.7. Sertleşmiş çimento hamurunun yükselen sıcaklıkla boyut değişimi [32].

Agreganın ısıl genleşme katsayısı agreganın bileşimine ve kristalleşme derecesine bağlıdır. Kuvars kristalleşmesi ne kadar fazlaysa ısıl genleşme katsayısı da o kadar yüksektir. Ayrıca, 573°C'den yüksek sıcaklıklarda kuvars içeren taşların ısıl genleşme katsayıları daha hızlı yükselmektedir. Bu yükselme kuvarstaki α - β dönüşmesi ve hacim artması sebeplidir. 573°C sıcaklıkta kuvarsin ısıl genleşmesi %1,25 olarak not edilmiştir. Kireçtaşı için aynı sıcaklıktaki genleşme ise %0.6 olarak belirtilmiştir [32].

Betonun ısıl genleşme katsayısı beton bileşenlerinin tipine ve karışımdaki oranına bağlıdır. Silisli ve karbonlu agregalı betonların yüksek sıcaklıklardaki doğrusal ısıl genleşmeleri bileşenlerinde kullanılan agregaların özelliklerine benzerlik gösterdiği rapor

edilmiştir [32]. Yapılan bir çalışmada silisli ve karbonlu agregalı betonların 573°C sıcaklığa dek benzer doğrusal ısı genleşme gösterdiği görülmüştür. Daha yüksek sıcaklıklarda kuvarstaki α - β dönüşmesi sebebiyle silisli betonlarda daha yüksek genleşme görülmüştür [33].

1.2.3.3. Isıl İletkenlik Katsayısı

Yüksek sıcaklıklarda betonun ısı iletkenlik katsayısı beton bileşenlerinin ısı iletkenlik katsayısına, bunların karışım oranına, sıkıştırma derecesine ve su miktarına bağlıdır [32].

Yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında betonun su kaybettiği ve bunun sonucunda ısı iletkenliğinde düşüş olduğu çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir. 400 °C civarında kimyasal bağlı suyun çoğu kaybedilmektedir ve hidratların parçalanması ısı iletkenlikte düşüğe neden olmaktadır [34]. Yüksek sıcaklıkta betonun ısı iletkenliği Tablo 1.1’de verilmiştir.

Tablo 1.1. Yüksek sıcaklıkta betonun ısı iletkenliği [34].

Sıcaklık (°C)	Ortalama ısı iletkenlik (k, W/m. °K)
20 (Oda sıcaklığı)	1.75
300	1.2
800	0.5

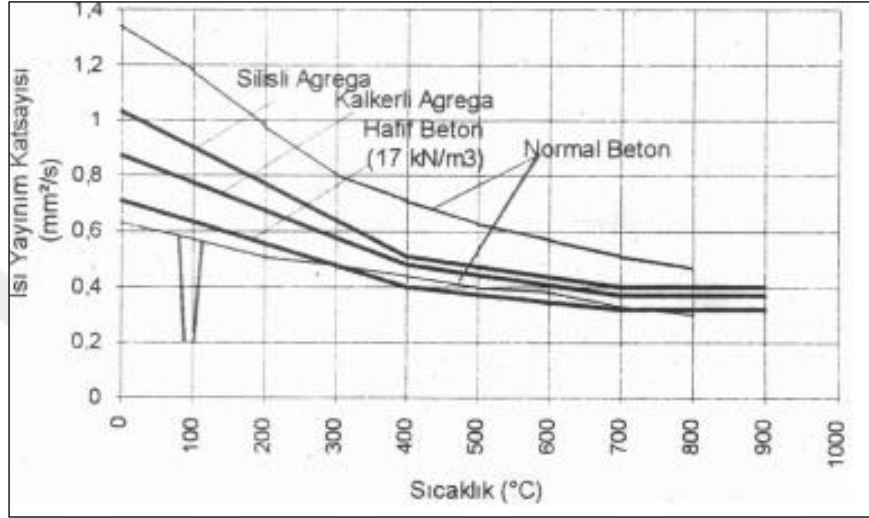
Betonun yüksek sıcaklıklara maruz kaldığındaki düşük ısı iletkenliği beton bileşenleri içinde daha yüksek ısı eğimlere neden olmaktadır. Dıştaki katmanlar şiddetli ısınırken iç kısımlar daha serin kalmakta ve bu durum katmanlı hasara yol açmaktadır. Isıl eğim dış katmanlarda yüksekken iç kısımlarda düşmektedir [30].

1.2.3.4. Isı Yayınım Katsayısı

Bu parametre materyalin ısınma oranını göstermektedir. Isı yayınım katsayısı malzemenin ısı iletkenlik katsayısına, özgül ısısına ve birim kütlesine bağlı olarak hesaplanır [35].

$$a = \lambda / c \cdot \beta \quad (1.2.)$$

Isı yayılım katsayısı yükselen sıcaklıkla azalmaktadır. Bu azalma özellikle 100°C civarında suyun buharlaşması nedeniyle olmaktadır [35]. Farklı agregalı betonlar için ısı yayılım katsayısının yüksek sıcaklıkla değişimi Şekil 1.8.'de verilmiştir.



Şekil 1.8. Çeşitli betonlar için ısı yayılım katsayısı-sıcaklık ilişkisi [35].

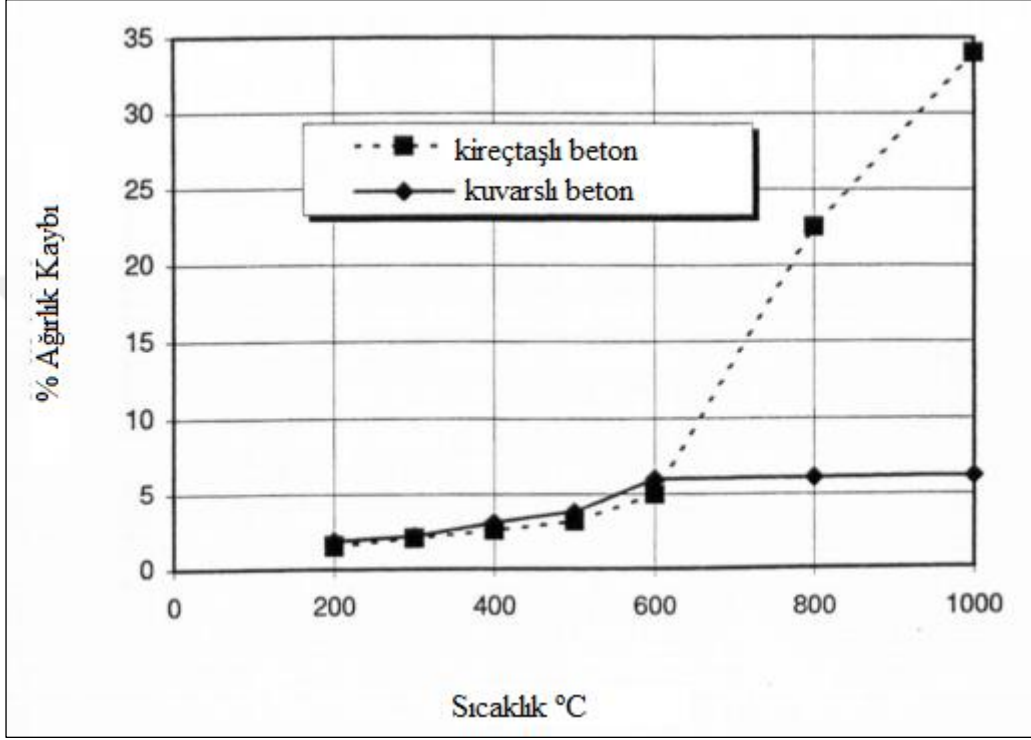
1.2.3.5. Özgül Isı

Oda sıcaklığında (20°C), silisli betonun özgül ısı 840J/kg.°K kadardır. Beton ısıtıldığında, sıcaklık yükselmeden önce ısı enerjisi öncelikle betondaki nemi buharlaştırır. Bundan dolayı analitik modellerde basitleştirme adına özgül ısı 100°C-200°C arasında nem oranı dikkate alınarak değiştirilir. Ayrıca, yapılan bir çalışmada özgül ısının yükselen sıcaklıkla yavaşça arttığı ve 800°C'de başlangıç değerinin 1.5 katına çıktığı gösterilmiştir [36].

1.2.3.6. Ağırlık Kaybı

Yüksek sıcaklık altındaki betonda ağırlık kaybı boşluk suyunun buharlaşması, hidratların su kaybı ve 600°C'den sonra kireçtaşlarının dekarbonizasyonu şeklinde gerçekleşmektedir. Khennane ve Baker [37] yaptıkları çalışmada hem kuvarslı hem de

kireçtaşı agreganın 600°C'ye dek olan sıcaklıklarda benzer ağırlık kayıpları yaşadıklarını göstermiştir. Ancak daha yüksek sıcaklıklarda Şekil 1.9.'da görüleceği gibi kireçtaşı betonlar daha fazla ağırlık kaybı yaşamaktadır, 800°C'de ağırlık kaybı %34 oranına ulaşmaktadır.



Şekil 1.9. Farklı agregalardan oluşan betonların sıcaklık–ağırlık kaybı ilişkisi [37].

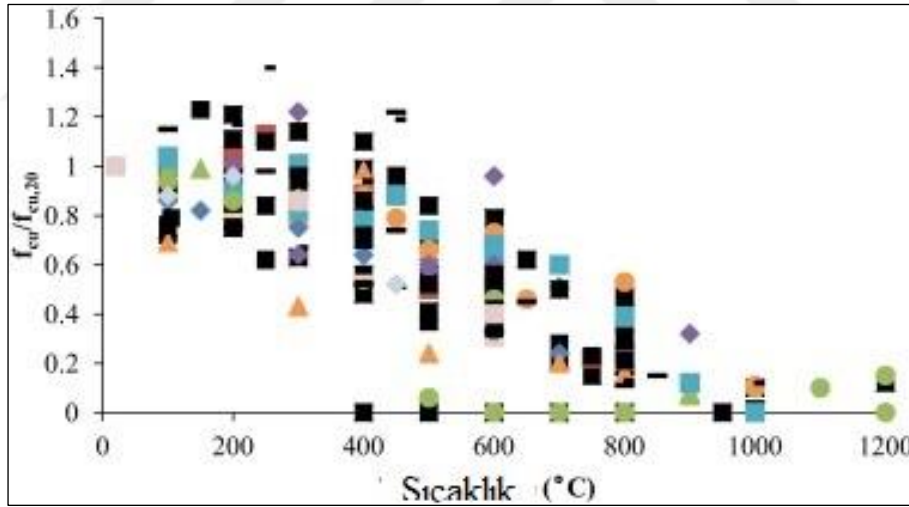
1.2.4. Yüksek Sıcaklığın Betonun Mekanik Özelliklerine Etkileri

Yüksek sıcaklık dolayısıyla beton elemanlarda önemli hasarlar oluşabilmektedir. Bunlar ısınma sırasında betonun mekanik özelliklerinin değişmesinden kaynaklıdır. Yangın gibi olumsuz şartlardan veya kullanım amacından dolayı ısınmalara maruz kalan betonun yüksek sıcaklıktaki mekanik özelliklerinin iyi bilinmesi gerekir. Betonun yüksek sıcaklık altında basınç dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite modülünde meydana gelen değişiklikler ayrı ayrı incelenecektir.

1.2.4.1. Basınç Dayanımı

Betonarme taşıyıcı yapıların yangın dayanıklılığı tasarımı için yüksek sıcaklık altında betonun basınç dayanım davranışı birincil önemlidir. Betonun basınç dayanımı su/çimento oranına, agrega-harç arayüzeyi geçiş bölgesine, kür koşullarına, agrega tipi ve boyutuna, katkı malzemesine ve basınç çeşidine bağlıdır. Betonun yüksek sıcaklıktaki basınç dayanımı ise ısıtma ve soğutma koşullarından ve beton karışımında kullanılan bağlayıcı maddelerden etkilenmektedir [38].

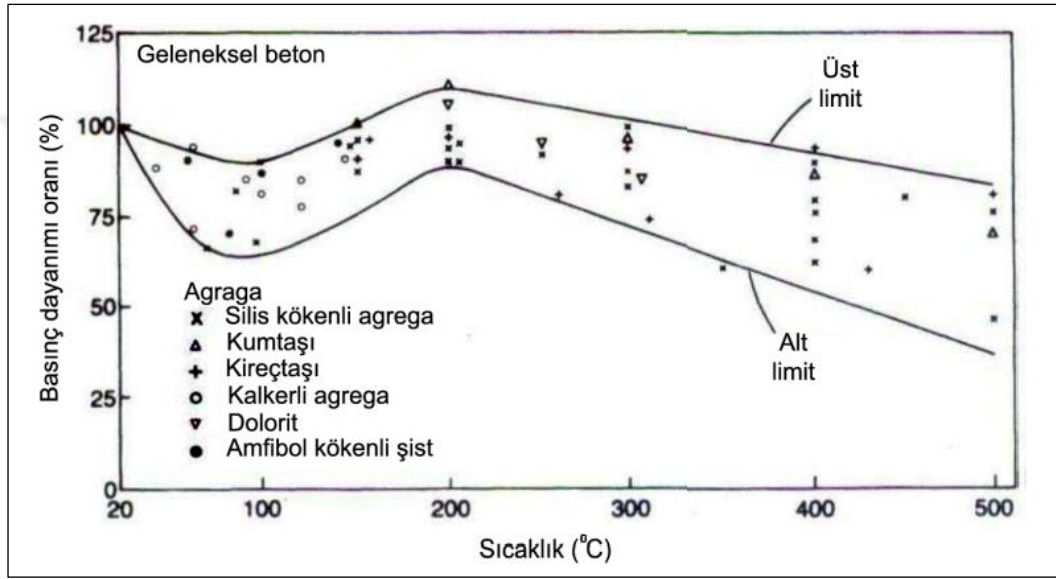
Ma vd. [39] yapmış oldukları sentez çalışmasında yüksek sıcaklık altındaki betonun basınç dayanımında meydana gelen değişiklikleri üç aşamada özetlemişlerdir. Oda sıcaklığı ile 300°C arasında betonun basınç dayanımı aynı kalmakta hatta biraz yükselmektedir. 300°C ile 800 °C arasında betonun basınç dayanımı önemli derecede azalmaktadır. 800°C'den sonra betonun basınç dayanımından geriye neredeyse hiçbir şey kalmamaktadır. Aşağıdaki Şekil 1.10.'da çalışmaları özetlenmiştir.



Şekil 1.10. Betonun basınç dayanımının sıcaklığa göre değişimi [33].

Bazant ve Kaplan [40] betonun basınç dayanımının sıcaklıkla değişimini incelemişlerdir. 90 °C civarında basınç dayanımının %10-35 oranında azaldığını not etmişlerdir. Şekil 1.11.'den de görülebileceği gibi bu sıcaklıktan sonra 200°C'ye dek dayanımda artış gözlenmiştir. 200°C'den sonra ise dayanım sürekli düşmüştür. Agrega tipi ve oranının yüksek sıcaklıktaki basınç dayanımını doğrudan etkilediği belirtilmiştir. Kalker esaslı agregalar silisli agregalara göre yüksek sıcaklık altında daha iyi dayanım gösterirler.

Betondaki agregaya oranı ile de dayanımın genellikle doğru orantılı olduğu gösterilmiştir. Farklı su/çimento oranları normal şartlardaki betonun basınç dayanımına etki ederken, yüksek sıcaklık altındaki basınç dayanım değişimine önemli bir etkisi olmadığı not edilmiştir. Isıtma ve soğutma hızının basınç dayanımına etki ettiği, soğutma hızı arttıkça betondaki dayanımın azaldığı belirtilmiştir. Deneysel çalışmalarla yüksek sıcaklığa yüklü durumda maruz kalan beton numunelerinin yüksüz olanlara göre dayanımlarını daha iyi korudukları tespit edilmiştir.



Şekil 1.11. Betonda basınç dayanımının sıcaklıkla değişimi [40].

1.2.4.2. Çekme Dayanımı

Betonun çekme dayanımı basınç dayanımına kıyasla çok küçüktür. Bundan dolayı normal ve yüksek sıcaklıklardaki tasarım hesaplarında ihmal edilirler. Ancak, betonun çekme dayanımı önemli bir özelliktir çünkü betondaki kırılmalar genellikle çekme kuvveti kaynaklıdır ve çekme kuvveti altındaki elemanın yapısal hasarı genellikle mikroçatlakların ilerlemesi şeklinde gerçekleşmektedir [41]. Taşıyıcı beton elemanlarda yüksek sıcaklık etkisiyle kabarıp dökülmeler olması durumunda betonun çekme dayanımı daha kritik öneme sahip olmaktadır [42]. Bu dökülmeler boşluklarda oluşan hidrostatik basıncın betonun çekme dayanımını aşması sebebiyle oluşmaktadır [43]. Betonun çekme dayanımı basınç dayanımı ile aynı faktörlere bağlıdır [27,44].

Betonun çekme dayanımı 400 °C'lere dek basınç dayanımının yükselen sıcaklıkla olan değişimine benzer davranış gösterse de bu sıcaklıktan sonra çekme dayanımındaki düşüş daha hızlı olmaktadır. Bu durum çekme dayanımının çatlama ve kırılmaya karşı basınç dayanımına kıyasla daha hassas olmasından kaynaklanmaktadır [45]. Betondaki boşluk basıncı 8MPa kadar yüksek olabilmektedir [46]. Bu basıncın çekme dayanımını aşması halinde betonun ısıl parçalanması olarak bilinen kırılmalar yaşanmaktadır.

1.2.4.3. Elastisite Modülü

Betonun davranışını belirleyen elastisite modülü, yüksek sıcaklıklardan etkilenmektedir. Aşağıda, yüksek sıcaklık şartlarında elastisite modülünün değişimini inceleyen çalışmalara yer verilmiştir.

Lankard vd. [47] özellikle 320°C altındaki sıcaklıklarda elastisite modülünün basınç dayanımına göre ısıl etkilenmeye karşı daha hassas olduğunu belirtmiştir.

Harmathy [34] 700°C'ye kadar olan sıcaklıklarda betonun elastisite modülündeki değişimi araştırmıştır. Beton numunesinin gerçek deformasyon koşulunu oluşturmakta problem yaşadığını ifade ederek, 200°C'ye dek olan sıcaklıkların beton sertliğinde bir değişim oluşturmadığı yargısına varmıştır. Daha yüksek sıcaklıklarda ise elastisite modülünde hızlı bir düşüş olduğunu ifade etmiştir.

CIB W14 raporunda [48] 100°C civarındaki sıcaklıklarda fiziksel bağlı suyun kaybı nedeniyle elastisite modülünde %10-20 oranında bir düşüş olduğu belirtilmiştir.

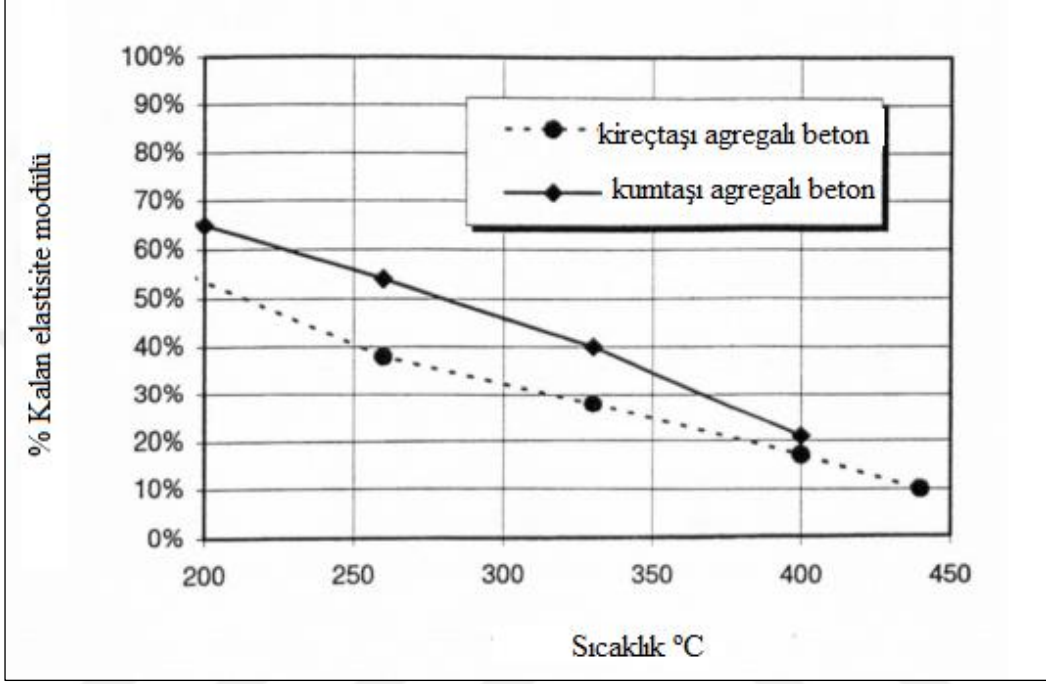
Purkiss [49] 1950 ve 1960'lardaki çalışmalarını özetlediği çalışmasında yüksek sıcaklığın Young modülü üzerindeki etkisini incelemiştir. 400°C sıcaklıkta elastisite modülünde %50 oranında bir düşüş olurken, 600 °C'de bu oran %75'e ulaşmaktadır.

Lie [50] 300 °C'de elastisite modülünde %40, 600°C'de ise %85 oranında bir azalma bulmuştur. Cruz [33] da benzer sonuçlar bulmuş, betonun elastik özelliklerinin yüksek sıcaklıklarda önemli derecede düştüğünü not ederken bu düşüşün sıcaklık artışıyla orantılı olduğunu belirtmiştir.

Sullivan [51] elastisite modülünün 150°C'ye dek düşüş gösterdikten sonra 300 °C civarına dek sabit kaldığını ve bu sıcaklıktan sonra hızlı düşüş yaşadığını saptamıştır. Ayrıca 650°C'de elastisite modülünün %30'una dek azaldığını belirtmiştir.

Harada vd. [52] kumtaşı ve kireçtaşı agregalı betonun elastisite modülünün yükselen sıcaklıkla değişimini incelemiştir. Bu sonuçlar Şekil 1.12.'de verilmiştir. Bu sonuçlardan

hareketle agreganın da kalan elastisite modülü üzerinde etkisi olduğu görülmektedir. Kireçtaşı agregalı beton kumtaşı agregalı betona göre elastisite modülünde daha fazla kayba uğramıştır.



Şekil 1.12. Kireçtaşı ve kumtaşı agregalı betonların yükselen sıcaklıkla elastisite modüllerindeki değişim [52].

Yangın gibi bir vakanın ardından rijitlikte yaşanan bu derece azalmalar tüm yapının yapısal davranışı üzerinde ciddi etkilere neden olabilir. Sertlik matrisi değişime uğrayacak, iç kuvvetler ve momentler yeniden dağıtılacaktır. Parçalanarak kopma sebebiyle meydana gelecek kesit alanı küçülmesinin de rijitlik kaybını artıracığı ayrıca not edilmelidir.

1.3. Beton Üretiminde Kullanılan Mineral Katkı Maddeleri

Puzolanlar, kendi kendine bağlayıcılık özelliği çok az olan veya hiç olmayan ancak uygun nem koşullarında kireç ile kimyasal reaksiyona girip bağlayıcı özelliği olan ürünler oluşturan, ince tane yapıdaki silisli veya silis ve alüminli maddelerdir [53]. Bu tanıma uyan ve puzolan olarak kabul edilen birçok doğal malzeme olduğu gibi, endüstri atığı bazı mineral maddeler de benzer karakter göstermektedirler.

Mineral katkı maddeleri betonda işlenebilirliği artırmak, terlemeyi ve egregasyonu azaltmak, hidrasyon ısısını azaltmak, alkali-silika reaksiyonu nedeniyle oluşacak genleşmeyi azaltmak, su geçirgenliğini azaltmak, nihai dayanımı artırmak, sülfatlara karşı dayanıklılığı artırmak ve daha ekonomik bir beton elde etmek gibi amaçlarla kullanılmaktadırlar [54].

1.3.1. Doğal Puzolanlar

1.3.1.1. Volkanik Puzolanlar

Doğal puzolanların çoğu volkanik kökenlidir. Volkanik faaliyet sırasında silisli ve alüminli malzemelerden oluşan magma, yüzeye lav olarak çıkıp çok çabuk soğuyarak camsı amorf bir yapıya sahip olmaktadır. Püskürme sırasında gazların da bulunması malzemenin gözenekli yapıya ve geniş yüzey alanına sahip olmasını sağlamaktadır. Yüzey alanının büyük olması ve düzensiz yerleşim göstermesinden dolayı alüminli silisler sulu ortamda kalsiyum iyonlarıyla kolayca reaksiyona girebilmektedir. Bu volkanik sürecin gerçekleştiği hız arttıkça malzeme daha amorf yapıya ve daha yüksek puzolanik aktiviteye sahip olmaktadır [55]. Volkanik camlar, volkanik tüfler, traslar ve volkanik küller en çok kullanılan volkanik puzolanlardır.

1.3.1.2. Diatomlu Topraklar

Diatomlar, silisli hücrelerden oluşan mikroskobik büyüklükte tek hücreli su bitkileridir. Bu tek hücreli varlıkların organik kalıntıları buldukları topraklarda amorf yapıda büyük miktarda silis olmasını sağlamaktadır. Bu tip topraklara diatomlu topraklar denilmektedir. Diatomlu topraklar puzolanik katkı maddesi olarak kullanılabilir. Puzolanik aktivitelerini artırmak için bu tür topraklar öncelikle 760-1000 °C sıcaklığa kadar pişirilip sonrasında ince taneli duruma getirilmektedirler [55].

1.3.2. Yapay Puzolanlar

1.3.2.1. Uçucu Kül

Uçucu kül, kömürle çalışan termik santrallerin baca çıkışlarından elektrofiltreler vasıtasıyla elde edilen çok ince taneli yapıda, puzolanik özelliğe sahip bir malzemedir. Kömürün özellikleri ve yanma sistemi uçucu külün fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirebilmektedir. Genellikle gri renktedirler. İçlerinde yanmamış kömür partikülleri varsa renkleri kahverengi de olabilmektedir. Genel olarak yapısında %85 ve daha fazla oranda SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve MgO bulunur ancak bazılarında önemli miktarda CaO bulunabilmektedir. Uçucu kül hem beton hem çimentoda mineral katkı maddesi olarak kullanılabilir. Uçucu külün katkı maddesi olarak kullanılabilirliği geçen yüzyılın başından beri bilinmektedir [56]. Ancak yine de Kaliforniya Üniversitesi'nde yürütülen öncü çalışmalara, yani geçen yüzyılın ortalarına dek uçucu külün betonda önemli derecede bir kullanımı yoktu [57].

1.3.2.2. Metakolin

Metakolin, reaktif bir alümino-silikat puzolandır. Arındırılmış kaolin veya kaolin kilinin belli bir sıcaklık aralığında yakılmasıyla elde edilir. Kalsiyumla birleşerek hidratlar oluşturabilir. Bu durum harç ve betonun özelliklerine katkı sağlar. Metakolinin reaksiyon kapasitesi mineral bileşimine, kaolin kaynağına ve üretim koşullarına bağlıdır [58].

1960'ların ortasında Brezilya'da yapılan bir çalışmada Portland çimentosu kısmi olarak metakolin ile değiştirilmiştir. Betonun durabilitesine artırıcı etkisi görülmüş, çimento ve betondaki kullanımı yaygınlaşmıştır. Günümüzde yüksek performanslı harç ve betonlarda tercih edilmektedir [59].

1.3.2.3. Silis Dumanı

Silis dumanı, elektrik ark fırınlarında silisyum ve ferrosilisyum alaşımlarının üretimi sırasında yüksek saflıktaki kuvarsın kömürle indirgenmesi sonucu elde edilen çok ince

taneli baca tozudur. Silis dumanı, çok ince taneli olmasının yanında amorf yapıya sahip olduğundan ve yüksek miktarda SiO₂ içerdiği için çok iyi bir puzolanik malzemedir.

Silis dumanı, beton katkısı olarak kullanılmasının yanında silika fümeli çimento üretiminde de kullanılmaktadır. Beton yapımında çimento miktarının yaklaşık %10 kadarı yerine silis dumanı eklenmektedir. Silis dumanının puzolanik aktivitesi çok yüksek olduğu için bu malzemeyle çok yüksek dayanımlı betonlar elde edilebilmektedir [60].

1.3.2.4. Yüksek Fırın Cürufu

Yüksek fırın cürufu (YFC), kök kömürün karbonu ve cevherin demir oksitindeki oksijen birleşerek CO ve CO₂ gazları olarak fırını terk ederken, 1400-1600°C sıcaklıkta bir eriyik halinde meydana gelir. Eriyik haldeki YFC, fırından çıkartılıp hızla soğutulduğunda akışkanlığındaki ani azalma kristal yapılaşmayı engeller ve camsı yapıda olması sağlanır. Bu camsı malzemeye NaOH veya Ca(OH)₂ gibi aktivatörler kullanılarak ince tane öğütülmesiyle puzolanik karakter kazandırılır.

1.4. Kromit

1.4.1. Kromit Mineralinin Oluşumu ve Özellikleri

Krom periyodik cetvelde VI A grubunda yer almaktadır. Atom numarası 24, kütle numarası 51,996'dır. Kaynama sıcaklığı 2665°C, erime sıcaklığı 1875°C ve yoğunluğu 7,19 olan metalik bir elementtir. Hava temasına karşı oldukça dayanıklıdır. Cr⁺², Cr³⁺ ve Cr⁶⁺ olmak üzere 3 farklı değerlikli atomu vardır. Doğada en çok bulunan ve en kararlı olanı Cr³⁺ iyonudur. Doğada en fazla ultramafik kayalar içerisinde bulunurlar [61].

Krom içeren 25'e yakın mineral vardır. Bunların en önemlileri kromit, uvarovit ve kemerittir. Kromit en yaygın bulunan krom mineralidir. Kromitin bileşimindeki farklılıklar fiziksel yapısını pek değiştirmedeği için tenör hesaplamada tahminden ziyade analiz yapılması gerekir.

Kromit, siyah-koyu kahve renkli, kübik sisteme sahip, yoğunluğu 4,5-5,09, metalik parlaklığı, zayıf magnetik özellikli, radyoaktif olmayan, ergime ısısı 1850-2200°C olan, orta derecede ısıl genişlemeye sahip bir endüstriyel mineraldir. Benzer minerallerin çizgisinin

veya tozlarının kahverengi oluşu ve tabiattaki bulunuş şekliyle ayrılır. Teorik olarak %68 Cr_2O_3 ve %32 FeO içermektedir. Ancak tabiatta durum farklı olup kromit kimyasal yapısında Cr ve Fe yanında Mg , Al , Ni , Co da mevcuttur. Bu nedenle kromit kimyasal formülü $(Fe, Mg)_0 (Cr, Al, Fe)_2 O_3$ şeklindedir.

Kromit cevheri jeolojik anlamda Alpin ve Stratiform olmak üzere iki tiptir. Alpin tip kromitler rezervi az ve düzensiz yataklara, Stratiform tipte olanlar ise rezervi fazla olup daha düzenli yataklara sahiptir. Buna karşın Alpin kromitlerde Cr/Fe oranı 2 ila 3 arasındayken, Stratiform tiplerde 1,6'dan daha düşüktür.

Yeryüzündeki krom yatakları incelendiğinde kromitin peridotitler içinde kristalleşmenin başlangıç aşamasında farklılaşma sonucu ayrılarak kristalleştiği saptanmıştır. Birbiri içinde erimiş, yüksek basınç ve sıcaklıkta dengede olan ve doğada bulunan bütüm elementleri içeren ve fizikokimyasal bakımdan akışkan karakterdeki magmanın sıcaklık ve basınç düşmesiyle stabilitesi düşer ve böylelikle refraktör mineraller meydana gelir. Kromit gibi mineraller magma içinde yerçekiminin etkisiyle hareket ederek magma-mineral yoğunluğunun dengede olduğu kısımlarda stratiform yataklar denen belirli seviyeler oluştururlar. Eğer Stratiform tabakalar magmanın katılaşmasından sonra tektonik olaylar sonucu kırılıp parçalanıp mercerler oluştururlarsa Alpin tipi yatakları meydana getirirler [62].

1.4.2. Kromit Mineralinin Kullanım Alanları

Krom cevheri sanayide genel olarak metalurji, refrakter (döküm) ve kimya sanayisi olmak üzere 3 farklı alanda kullanılmaktadır.

Metalurji sanayisinde kullanılan krom cevherlerinde tenör Cr_2O_3 %46-48 oranında, Cr/Fe oranı 2-3/1 aralığında, SiO_2 oranı %8'in altında, $(Al_2O_3 + MgO)$ ise %25'ten az olmalıdır. Metalurji sanayisi krom cevherlerinin en fazla harcandığı sanayi koludur. Krom ihtiva eden alaşımlar yüksek ısıya, aşınmaya, oksidasyona ve deformasyona dayanıklıdır. Dünyada üretilen kromit cevherinin %90'ından fazlası metalurji sanayisinde ferrokrom üretiminde, üretilen ferrokromun da yaklaşık %90'ı paslanmaz çelik sektöründe kullanılmaktadır. Dolayısıyla, kromit cevherinin büyük bir kısmı (yaklaşık %85'i) paslanmaz çelik elde etmek için kullanılmaktadır [63]. En iyi kaliteli metalurjik cevherler Türkiye, İran ve Zimbabve'de bulunmaktadır.

Kromit, kimyasal bakımdan nötr ve ergime noktası yüksek bir mineraldir. Yüksek sıcaklıkta asidik ve bazik ortamda mukavemetlidir. Bu özelliklerinden dolayı refrakter kromit izabe fırınlarının iç yüzeylerinin kaplanmasında, refrakter tuğla ve harçların imalinde ve döküm kalıplarında kullanılır. Refrakter krom cevherlerinde Cr_2O_3 tenörü %30-40 arasında, Cr/Fe oranı 3'ten fazla, SiO_2 oranı %5'in altında ve CaO oranı %2'nin altında olmalıdır. Refrakter karakterli cevherler esas olarak Filipinler, Küba, Yunanistan, İran ve Türkiye'de çıkartılmaktadır.

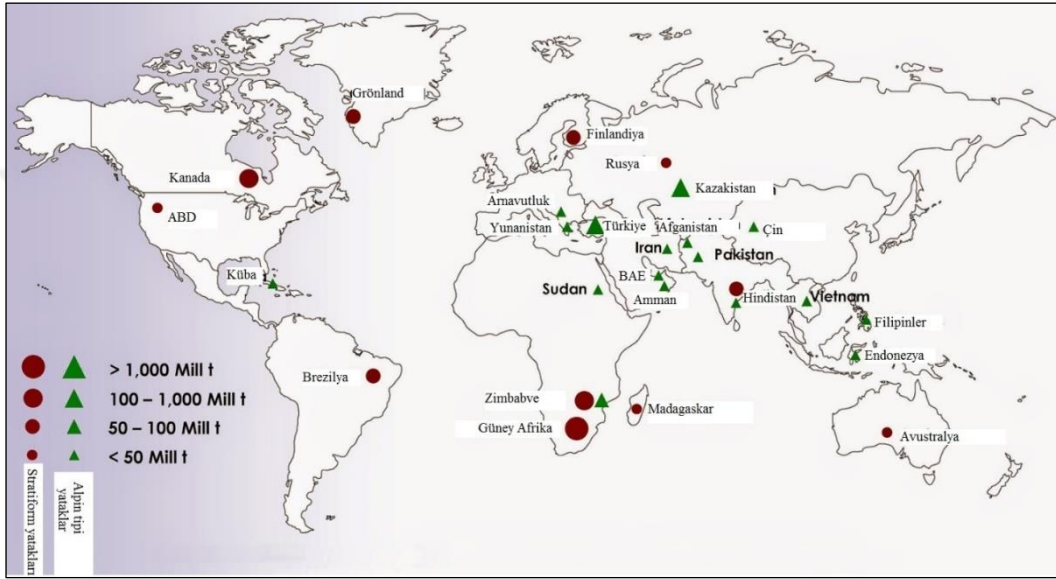
Kimya sanayisinde kullanılan kromit cevherleri çeşitli kromat, bikromat ve krom ihtiva eden diğer kimyevi bileşiklerin imalinde kullanılır. Bu tip kromitlerde yabancı bileşik ve gang içeriği çok düşük olmalıdır. Cr_2O_3 %44-46 oranında, SiO_2 oranı %8'in altında, FeO %19'un altında ve Cr/Fe oranı ise 1.5 olmalıdır. Bu tip cevherler Güney Afrika'da bulunmaktadır.

1.4.3. Kromit Mineralinin Dünya ve Türkiye'deki Rezerv Durumu

Krom elementi 1797 yılında Fransız kimyacı Nicolas-Louis Vauquelin tarafından bulunmuştur. Krom madenciliği ise bu buluşun ardından Ural Dağları (Rusya) ve Maryland (ABD)'de başlamıştır. Ülkemizde ise ilk kez, Amerikalı jeolog Laurance Smith tarafından 1848 yılında Bursa Harmancık yöresinde yüksek tenörlü krom yatakları bulunmuştur. 1860'larda Maryland yataklarının tükenmesinden sonra 1868 yılında Türkiye topraklarında krom madenciliği başlamıştır. 19.yy'da krom başlıca kimya sanayisinde boya pigmenti ve dericilikte serpileme tuzları olarak kullanılmıştır. 20.yy'ın başlarında paslanmaz çelik yapımında ferrokromun kullanılmasıyla krom cevheri gittikçe daha çok metalurji sanayisinde tüketilmeye başlamıştır [64].

Türkiye, krom cevheri üreticisi ülkelerin başında gelmektedir. 20.yy başına dek Türkiye dünya krom cevheri piyasasında neredeyse tekel konumunda olmuş, o dönemde yılda birkaç bin tonu geçmeyen krom cevheri talebi hemen hemen tümüyle Türkiye topraklarından karşılanmıştır. Günümüzde yıllık krom üretimi 22 milyon ton civarındadır. Krom cevheri üretiminde Güney Afrika %40 gibi bir yüzdeyle başı çekmektedir. Bu ülkeyi %15 ile Kazakistan ve %13 ile Hindistan izlemektedir. Ülkemizin üretimdeki payı ise %10'dur. Güney Afrika'nın krom pazarında büyük paya sahip olmasının sebebi stratiform yatakların alpin yataklara göre çok fazla boyutlarda olmasıdır [61].

Dünya kromit rezervi 3,6 milyar ton civarındadır. Dünya ham kromit cevheri üretimi yıllık ortalama 15 milyon tonun üzerinde olup, üretim (dolayısıyla cevher tüketimi) her yıl %5 civarında artmaktadır. Bunun %90'ından fazlası Güney Afrika, Zimbabve ve Kazakistan'da bulunmaktadır. Güney Afrika dünya kromit rezervinin büyük bir bölümünü elinde bulundurmasına rağmen Stratiform karakterli olmaları nedeniyle daha az tercih edilmektedirler. Dünya üzerindeki kromit yatakları Şekil 1.13.'te verilmiştir.



Şekil 1.13. Dünya üzerindeki kromit yatakları [65].

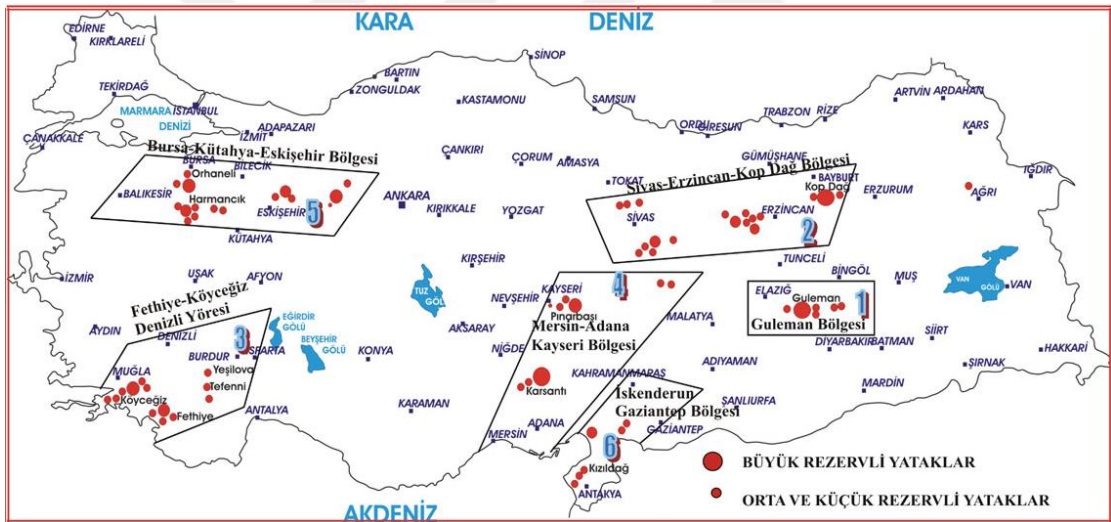
Türkiye dünyada kromit cevher üretimi açısından önemli bir yere sahiptir. Ülkemizdeki ham kromit cevheri üretimi yıldan yıla değişse de yılda 1 ila 2,5 milyon ton arasındadır. Ham cevher üretiminin %80'i ihraç edilmektedir. Az bir bölümü ferrokrom ünitelerinde işlenerek yarı mamül hale getirilmektedir. Türkiye'de Elazığ ve Antalya'da olmak üzere iki ferrokrom ünitesi mevcuttur.

Türkiye potansiyel kromit rezervi (görünür, muhtemel, mümkün) 250 milyon tonun üzerindedir (%5-56 Cr₂O₃). Türkiye'de ilk bulunduğu 1848 yılından beri 50 milyon tonun üzerinde üretim yapılmıştır. Türkiye'nin en önemli kromit havzası Kop dağları ve Ergani bölgesidir [66]. Bu iki bölgeden yıllık ortalama 2 milyon ton cevher üretimi yapılabilmektedir. Bu üretilen cevherin tamamına yakını parça cevher niteliğindedir (tenörü %38 Cr₂O₃'ten fazla). Dolayısıyla uzun yıllar tenörü %38 Cr₂O₃'ten daha düşük olan cevherin önemli bir kısmı pasa olarak yan/örtü kayaç ile birlikte atılmıştır. Kromitin

her geçen gün değer kazanmasıyla çok düşük tenörlü (%4'e kadar) tüvenan kromit cevheri artık ekonomik durumdadır. Uygun krom konsantre tesislerinde düşük tenörlü kromit cevheri zenginleştirilmektedir.

Ülkemizdeki kromit yatakları Alpin tiplidir. Bu yataklar genellikle düzensiz dış şekilli, masif, saçınımlı-bantlı iç yapılar gösteren şekilde gelişmiştir. Şekil 1.14.'ten görüleceği gibi ülkemizdeki krom yatakları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Elazığ (Guleman) Bölgesi
2. Sivas-Erzincan-Kop Dağ Bölgesi
3. Fethiye-Köyceğiz-Denizli Yöresi
4. Mersin-Adana-Kayseri Bölgesi
5. Bursa-Kütahya-Eskişehir Bölgesi
6. İskenderun-Gaziantep Bölgesi

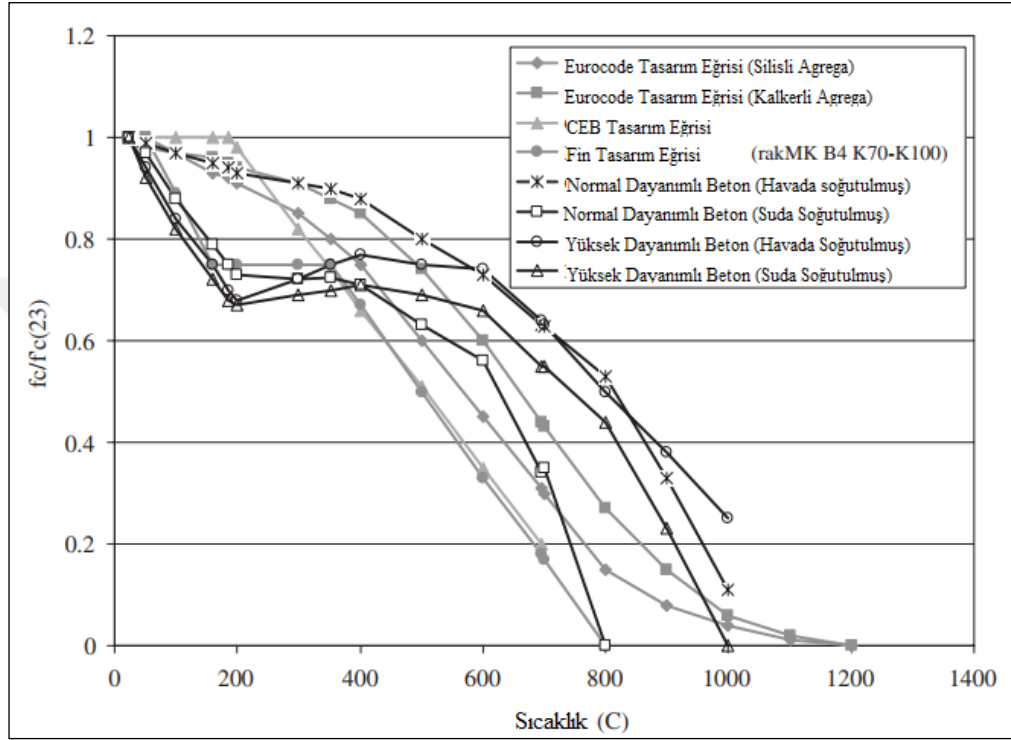


Şekil 1.14. Türkiye krom yatakları [67].

1.5. Konu ile İlgili Literatür Çalışmaları

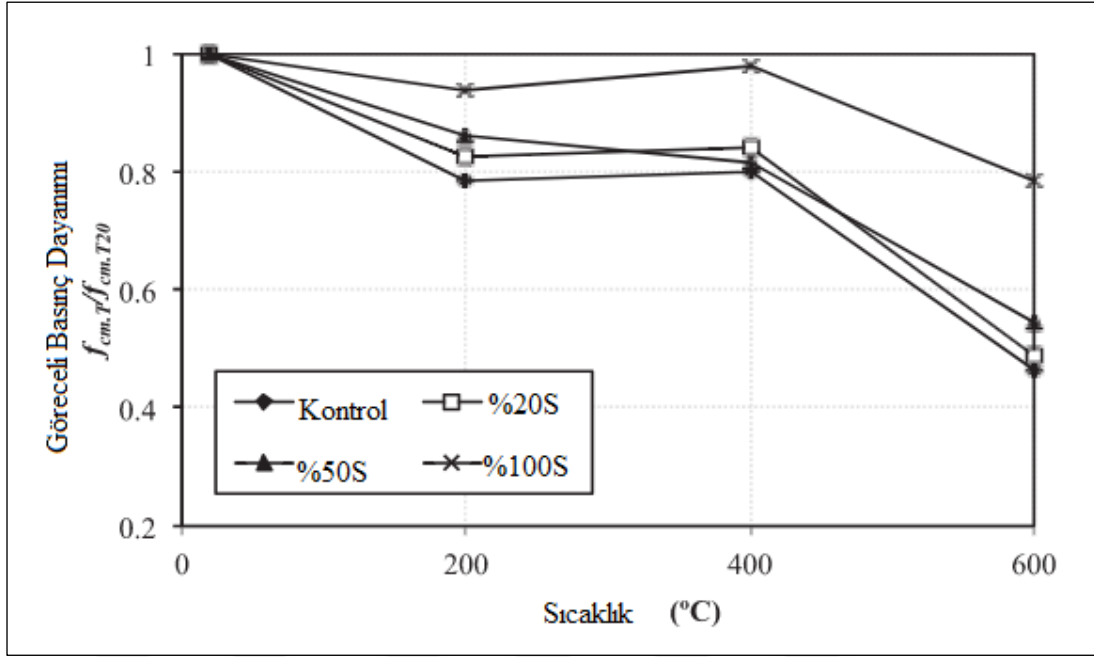
Hüsem [68] gerçekleştirdiği çalışmada normal ve yüksek performanslı mikro-betonun yüksek sıcaklık altında basınç ve eğilme dayanımlarını incelemiştir. Çalışmadaki numuneler 200°C, 400°C, 600°C, 800°C ve 1000°C' sıcaklığa kadar çıkartılmış ve sonrasında havada ve suda olmak üzere iki farklı şekilde soğutulmuşlardır. Deneysel sonuçlar, yükselen sıcaklık ile betonun dayanımının azaldığını ve bu dayanım azalmasının

normal betonda yüksek performanslı betondan daha fazla olduğunu göstermiştir. Soğutma tipinin kalan basınç ve eğilme dayanımını etkilediği ve sıcaklık arttıkça bu etkinin arttığı not edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen dayanım azalma eğrileri, Fin Kodu'nda verilen dayanım azalma eğrileriyle uyushmaktadır (Şekil 1.15).



Şekil 1.15. Tasarım eğrileri ile deneysel dayanım azalma eğrilerinin karşılaştırması [68].

Martins vd. [45] geri dönüştürülmüş seramik agregada kullanılan betonların yüksek sıcaklık altında mekanik performansını incelemiştir. Bunun için bir kontrol betonu ve doğal agreganın %20, %50, %100 oranlarında geri dönüştürülmüş seramik agregada ile değiştirildiği betonlar hazırlanmıştır. Numuneler 200°C, 400°C ve 600°C sıcaklıkta birer saat bekletilmiştir. Oda sıcaklığında, normal agreganın geri dönüştürülmüş seramik agregada ile değiştirilmesi mekanik performansta düşüğe neden olmuştur. Yüksek sıcaklıklarda ise özellikle 400°C ve 600°C'de geri dönüştürülmüş seramik agregadan oluşan betonlar daha iyi sonuçlar göstermiştir. Ancak 600°C sıcaklıkta geri dönüştürülmüş seramik agregada bulunan numunelerde parçalanmalar saptanmıştır.



Şekil 1.16. Sıcaklık ile göreceli basınç dayanımının değişimi [45].

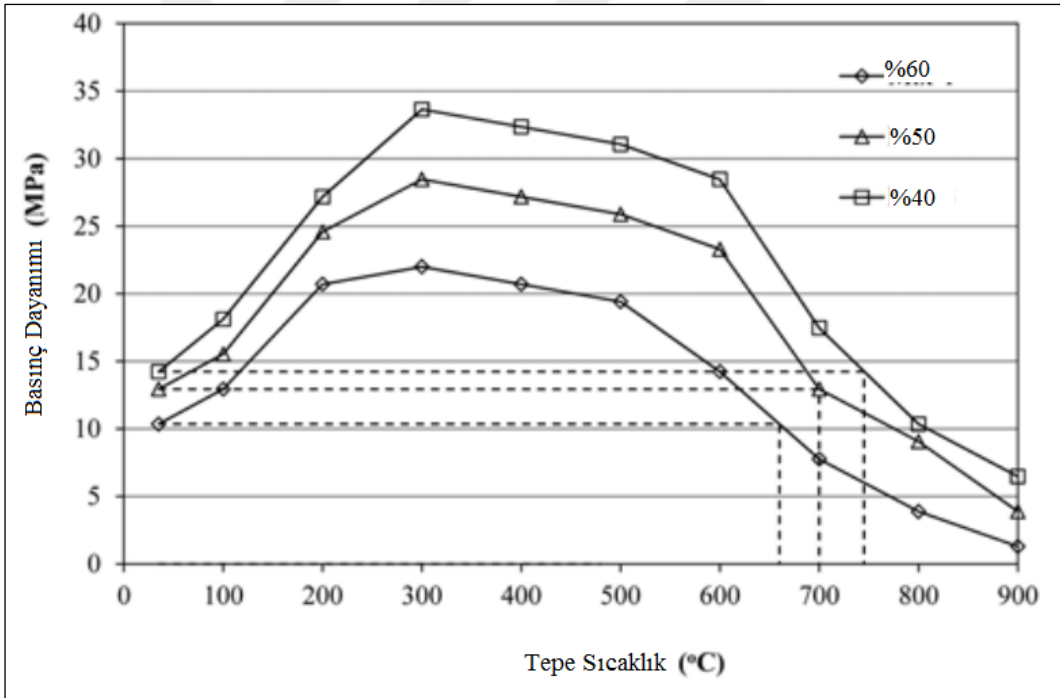
Sancak vd. [69] gerçekleştirdikleri çalışmada silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı katkılı hafif betonların yüksek sıcaklık altında basınç dayanımlarını incelemiştir. Silis dumanı ağırlıkça %0, %5, %10 oranlarında Portland çimentosu ile değiştirilerek 12 farklı numune üretilmiştir. Numunelerin yarısında süper akışkanlaştırıcı ağırlığın %2'si oranında kullanılmıştır. Numuneler oda sıcaklığına (20°C), 100°C, 400°C, 800°C ve 1000°C sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonra test edilmiştir. Hafif betonlar normal betona göre ağırlıkça %23 daha düşüktür. Hafif betonun yükselen sıcaklığa karşı basınç dayanımındaki değişim normal betona göre daha iyi olmuştur. Özellikle 800°C ve sonrasında ise silis dumanı oranı arttıkça basınç dayanımında düşüş görülmüştür.

Dubrovskii vd. [13] çalışmalarında kromit ve ateş tuğlası kili kullanılarak oluşturulan ısıya dayanıklı betonların nükleer reaktörler için ısı kalkan olabilme olasılığını incelemiştir. Nötron emisyonunu, gama akışını ve kalkan betonunun ısı emisyonunu hesaplamışlardır. Çeşitli nötron akışları, kalkan betonu kalınlığı ve soğutma koşulları için sıcaklık hesapları yapmışlardır. Isıya dayanımlı betonarmeden oluşan kalkanların ısı gerilmelerini istatistiksel olarak hesaplamışlardır. Sonuç olarak kromit katkılı Portland çimentosundan yapılan betonun mükemmel kalkan özellikleri sağladığını not etmişlerdir.

Khandaker [70] yapmış olduğu çalışmada volkanik kül içeren yüksek dayanımlı betonların yüksek sıcaklıklardaki performansını incelemiştir. Bunun için %20 orana kadar

volkanik kül katkılı betonları 800°C'ye varan sıcaklıklarda denemiş ve dayanım ile durabilitelerini incelenmiştir. Volkanik kül katkılı betonlar yüksek sıcaklıklarda katkısız beton örneğine kıyasla daha iyi performans göstermişlerdir. Ancak numunelerin genel dayanım ve durabilitesi yükselen sıcaklıkla azalmıştır.

Khan vd. [71] gerçekleştirdikleri çalışmada yüksek sıcaklığın yüksek oranda uçucu kül katkılı betonlara etkisini araştırmışlardır. Bu araştırmada çimento, ağırlıkça %40, %50 ve %60 oranlarda uçucu kül ile değiştirilmiştir. Beton numuneleri, 28 günlük kürün ardından 100°C'den 900°C'ye değişen sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. 300°C'ye dek olan sıcaklıklarda, artan sıcaklıkla birlikte betonun basınç dayanımının arttığı gözlenmiştir. Ancak bu sıcaklıktan sonra dayanım azalmaya başlamıştır. 700°C'de oda sıcaklığındaki dayanımın altına düşmüştür. Yüksek sıcaklıklarda uçucu kül katkılı betonlar normal betona göre daha düşük dayanımlar göstermiştir.



Şekil 1.17. Tepe sıcaklığın uçucu kül katkılı betonların basınç dayanımına etkisi [65].

Jawed vd. [72] yüksek sıcaklığın uçucu kül katkılı betonlara etkisini incelemişlerdir. Ağırlıkça %10 – 20 oranında çimento yerine uçucu kül kullanılan çalışmada oda sıcaklığı ve 100°C- 600°C arası sıcaklıklarda denenen nünunelerin basınç dayanımında oda

sıcaklığındaki baz değere göre 100°C’de %5,3, 200°C’de %10,35, 300°C’de %25,42, 400°C’de %35,43, 500°C’de %42,96 ve 600°C’de %60,1 oranında düşüş gözlenmiştir.

Justice vd. [73] %8 oranındaki çimento-yu metakolin ve silis dumanı ile değiştirerek karşılaştırıcı bir çalışma gerçekleştirmiştir. Metakolin ilavesinin faydalı olduğu görülmüştür, normal karışıma göre daha yüksek mukavemet değerleri ve durabilite göstermiştir. Daha ince halde metakolin kullanımının daha kalın metakolin kullanımına göre beton özelliklerini arttırmakta daha etkili olduğu görülmüştür. Metakolin ilavesi süper akışkanlaştırıcı kullanımını arttırmıştır. Metakolin ilavesi büzülme, durabilite ve diğer mukavemet özelliklerinde iyileşme sağlatmıştır.

Murali ve Sruthee [74] betonda çimento yerine kısmi olarak metakolin kullanılmasını deneysel olarak çalışmışlardır. Bu çalışmada betonda metakolin kullanımı betonun mukavemet özelliklerini artırdığı görülmüştür. Optimum değişim seviyesi %7,5 olarak bulunmuştur. %7,5 oranında metakolin katkısının betonun basınç dayanımını %14,2, çekme dayanımını %7,9 ve eğilme dayanımını %9,3 artırdığı gözlenmiştir.

Ibrahim [75] silis dumanı katkılı betonların yüksek sıcaklık altındaki performansını incelemiştir. Çalışmada çimentodan %0, %5, %10 ve %15 oranlarında eksiltilecek eklenen silis dumanıyla oluşturulan numuneler oda sıcaklığı, 150°C ve 350°C’ye maruz bırakılarak basınç dayanımlarındaki farklılıkları incelenmiştir. Oda sıcaklığında, %5, %10, %15 silis dumanı eklentisi için basınç dayanımında sırasıyla %14, %20 ve %28 oranında artış gözlenmiştir. 150°C’de 2 saat bekletilen tüm numunelerin basınç dayanımında artış görülmesine karşın 4 saat bekletilenlerde silis dumanı içeren numunelerde içermeyene göre sırasıyla %4, %17 ve %14’lük azalış saptanmıştır. 350°C’de ise tüm numunelerin basınç dayanımında sırasıyla %6, %9, %18 ve %24 oranlarında azalma görülmüştür.

Khalid vd. [76] yüksek sıcaklığın silis dumanı katkılı beton üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmada %0, %5, %10 oranında çimento yerine eklenen silis dumanlı numuneler oda sıcaklığı, 300°C ve 600°C’de test edilmiştir. Oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıklarda silis dumanı katkılı betonlar katkısız betona göre daha yüksek basınç dayanımı göstermiştir. 300°C’de oda sıcaklığına göre artış gözlenmiş, 600°C’de ise basınç dayanımında önemli derecede azalma saptanmıştır.

Siddique ve Kaur [77] çalışmalarında YFC katkılı betonların yüksek sıcaklık altındaki davranışını araştırmışlardır. Çimento yerine kısmi olarak %20, %40 ve %60 oranlarında YFC katılan numuneler 100°C, 200°C ve 350°C’de test edilmiştir. Oda sıcaklığında (27°C) %20, %40 ve %60 oranında YFC katkılı betonların basınç dayanımı

katkısız betona göre sırasıyla %16,8, %23,9 ve %28,5 daha düşük çıkmıştır. Katkısız referans betonun basınç dayanımı 100°C'de %28,6 oranında azalmış, 200°C'de bir miktar artış gösterse de oda sıcaklığındaki değerin altında kalmıştır. Ancak 350°C sıcaklıkta referans değerin üzerine çıkmıştır. Bunun sebebi de kuruyan betonun mukavemetinin artması olarak gösterilmiştir. %20 YFC katkılı beton için 100°C'de basınç dayanımı azalmasına karşın referans betonun aynı sıcaklıktaki dayanımından daha iyi bir sonuç göstermiştir. %40 ve %60 katkılı beton numunelerinin basınç dayanımları sıcaklıkla önemli derecede değişmemiştir.

Esen ve Kurt [78] çalışmalarında çeşitli mineral katkılı betonların yüksek sıcaklık altındaki davranışını incelemiştir. Bu amaçla barit, diatomit, silis dumanı ve uçucu kül mineralleri CEM I 42,5 çimento ile hacimce %10, %20, %30, %40 oranında ikameli olarak kullanılmıştır. 200°C, 400°C, 600°C ve 800°C sıcaklıklarda test edilen numunelerde %10 barit katkılı olanların tüm sıcaklıklardaki dayanımları kontrol betonundan yüksek çıkmıştır. Diatomit ve uçucu kül katkılı betonların dayanımı normal betona göre oldukça düşük çıkarken, silis dumanı katkılı betonun dayanımı kontrol betonuna daha yakın çıkmıştır.

Mesci ve Elevli [79] çalışmalarında geri dönüştürülmüş krom artığının betonda kullanımının etkilerini araştırmışlardır. Kromit ve kromit ile süperakışkanlaştırıcı olmak üzere iki seviyede %5-%15 arasında oranlarda kullanımın betonun basınç dayanımına etkileri incelenmiştir. Analiz sonrasında, naftalin sülfanatın kromit artığı ile betona eklendiği %5 seviyesinde, 28 günün ardından basınç dayanımının yeteri kadar iyi olacağı ortaya konmuştur. Sonuçlar, kromit artığının nötralizasyon sonrasında inşaat endüstrisinde kullanılabilirliğini göstermiştir.

Reddy ve Ramaswamy [80] çalışmalarında farklı betonların yüksek sıcaklık etkisindeki davranışlarını incelemiştir. Bunun için altı farklı beton karışımı hazırlamışlardır. Bunların üçü kendiliğinden yerleşen beton (35 MPa, 55 MPa ve 70 MPa), biri uçucu kül katkılı beton (45 MPa), biri kendiliğinden yerleşen beton (45 MPa) ve biri de yüksek yoğunluklu beton (25 MPa) karışımıdır. Zaman etkisini araştırmak için bu betonlar 28 ve 365 gün sonrasında test edilmiştir. Maruz bırakılan sıcaklık değerleri ise 25°C ile 800°C arasındadır. Karışımlar hem yüksüz halde hem de yüklü halde test edilmiştir. Çalışmanın sonucunda uçucu kül katkılı beton ve yüksek yoğunluklu betonun yüksek sıcaklık etkisinde daha iyi sonuçlar gösterdiği tespit edilmiştir.

Anand vd. [81] yüksek sıcaklık altında mineral katkıların kendiliğinden yerleşen betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Silis dumanı, uçucu kül ve

metakolin katkılı betonlar 900°C sıcaklığa maruz bırakılmış, sonrasında havada ve suda olmak üzere iki farklı yöntemle soğutulmuşlardır. Metakolin katkılı betonların basınç, çekme ve eğilme dayanımlarında havada ve suda soğutulma durumlarına göre sırasıyla %73,18, %65,05, %63,2 ve %85,2, %83,52, %83,56 oranlarında azalma meydana gelmiştir. Silis dumanı ve uçucu kül katkılı betonlarda da benzer dayanım azalmaları olmuştur.

Xuan vd. [82] yüksek sıcaklıklara maruz kalmış, geri dönüştürülmüş, karbonlaşmış ve karbonlaşmamış agregalardan oluşan betonların ısı etki altında mekanik performansını araştırmışlardır. Çalışma sonucunda doğal granit agregasının yangın dayanımının yüksek olmasına rağmen 600°C'ye maruz kalan geleneksel betonun ısı bozulmaya uğradığı görülmüştür. Normal agrega kullanılan betonlarda oluşan çatlaklar geri dönüştürülmüş agrega kullanılan betonlara göre agrega ile harç arasındaki ısı uyumsuzluğu dolayısıyla daha ciddi derecede oluşmuştur. Karbonlaşmış geri dönüştürülmüş agrega kullanılan betonlarda çatlakların boyutu daha küçük olmuştur. %20-%40 oranında karbonlaşmış agrega kullanarak 600°C'ye maruz bırakılan betonun mekanik özelliklerini iyileştirmenin mümkün olduğunu ortaya koymuşlardır.

Shaikh [83] çalışmasında yüksek sıcaklığa maruz kalmış geri dönüştürülmüş iri agregalı betonların yüksek sıcaklıkta ve ortam sıcaklığına soğuduğundaki mekanik özelliklerini araştırmıştır. Bunun için %50 ve %100 geri dönüştürülmüş agregalı betonları 600°C ve 800°C'de test etmiş ve yüksek sıcaklığın basınç dayanımı ile elastisite modülüne olan etkisini incelemiştir. Polipropilen fiberlerin yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış geri dönüştürülmüş agregalı betonların basınç dayanımına ve kırılma davranışına etkisi de ayrıca incelenmiştir. Sonuçlar, 600°C ve 800°C'ye maruz bırakılmış geri dönüştürülmüş agregalı betonun normal agregalı betona göre %10 kadar daha düşük basınç dayanımına sahip olduğunu göstermiştir. 800°C sıcaklıkta %100 oranda geri dönüştürülmüş agregadan oluşan betonun basınç dayanımının %50 kadarını kaybetmiştir ve böylelikle %50 geri dönüştürülmüş agregalı betondan %25 kadar az dayanım göstermiştir. Ortam sıcaklığına soğutulmuş numunelerde basınç dayanımı hem geri dönüştürülmüş agregalı betonda hem de kontrol betonunda daha yüksek olmuştur. Geri dönüştürülmüş agregalı betonlarda kontrol betonuna benzer elastisite modülü azalması meydana gelmiştir. Polipropilen fiberler her iki sıcaklığa maruz kalmış %100 geri dönüştürülmüş agregalı betonun basınç dayanımını azaltmıştır ancak %50 geri dönüştürülmüş agregalı beton için farklı sonuçlar

vermiştir. Polipropilen içeren ve içermeyen numuneler basınç dayanımlarına benzer kırılma biçimi sergilemiştir.

Al-Jabri vd. [84] çalışmalarında agrega ve su/çimento oranının yüksek sıcaklıklardaki beton özelliklerine etkilerini incelemiştir. Çalışmadaki betonlarda agrega olarak iki yerel tip agrega (kıırma agrega ve dere agregası) ve 0,50 ve 0,70 su/çimento oranı kullanılmıştır. Betonların maruz bırakıldıkları sıcaklıklar ise 200°C'lik aralıklarla 200°C'den 1000°C'ye kadardır. Sonuçlar betonun ağırlığının yükselen sıcaklıkla azaldığını ve bu azalmanın 800°C'den sonra daha fazla olduğunu göstermiştir. 800°C'den sonra dere agregalı betonlarda küçük kabarıp dökülmeler görülmüştür. Sonuçlar ayrıca yükselen sıcaklıkla basınç dayanımının azaldığını göstermiştir. Yüksek sıcaklığın basınç dayanımına etkisi dere agregalı betonda daha belirgin olmuştur. Yüksek sıcaklıklara maruz kalan betonların su/çimento oranı ağırlık kaybına önemsiz derecede etki etmiştir ancak agregadan bağımsız olarak basınç dayanım azalmasını artırmıştır.

Hager I. vd. [85] çalışmalarında agrega çeşidinin yüksek sıcaklığa maruz kalmış yüksek performanslı betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini araştırmıştır. Bazalt, granit, dolomit ve dereyatağı agregası olmak üzere dört farklı agrega kullanılmıştır. Karışım kompozisyonları ve granülometri, kıyaslamayı daha iyi yapmak adına her 4 agrega tipi için de aynı ayarlanmıştır. 200°C'de yalnızca granit agregalı betonun basınç dayanımı artmıştır, 600°C'de ise tüm betonlar benzer dayanım göstermiştir. Daha yüksek sıcaklıklarda benzer malzeme özellikleri görülmüştür. Yükselen sıcaklıkla basınç dayanımı genel olarak düşmüştür ancak bu düşüş çekme dayanımında daha belirgindir. Başlangıçtaki elastisite modülü değerleri farklı olmasına rağmen yüksek sıcaklık altındaki değişimleri benzer özellik göstermiştir.

Bingöl ve Gül [86] çalışmalarında yüksek sıcaklığın ve soğuma biçiminin normal dayanımlı beton üzerindeki etkisini incelemiştir. Bu amaçla 20 MPa ve 35 MPa dayanımlı dere kumu, normal agrega ve Portland çimentosundan oluşan iki farklı karışım hazırlanmıştır. 50°C'den 700°C'ye kadar 13 farklı sıcaklık belirlenmiş ve numuneler bu sıcaklıklarda 3 saat süreyle bekletilmiştir. Isıtmadan sonra numuneler ya suda ani olarak ya da laboratuvar koşullarında ortam sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Sıcaklıkla birlikte betonun mekanik özelliklerinin gerilediği, yalnızca 50°C ile 100°C arasında dayanımın yükseldiği gözlenmiştir. Suda soğutulan numunelerde dayanım kaybı daha fazla olmuştur. 700°C sıcaklıkta iki karışım betonu da dayanımlarının ciddi bir kısmını (%55-68) kaybetmiştir.

Shaikh ve Vimonsatit [87] çalışmalarında uçucu kül bazlı jeopolimer betonların 200°C, 400°C, 600°C ve 800°C'deki basınç dayanımını incelemiştir. Jeopolimer betonda kullanılan malzeme sodyum silikat ve sodyum hidroksit solüsyonuyla aktive edilmiş düşük-kalsiyumlu uçucu küldür. Sodyum hidroksit molaritesinin, iri agrega boyutunun, buhar kürü süresinin ve fazladan eklenen suyun uçucu kül bazlı jeopolimer betonun yüksek sıcaklıklardaki basınç dayanımına etkisi ayrıca incelenmiştir. Sonuçlar uçucu kül bazlı jeopolimer betonların molaritesine ve agrega boyutundan bağımsız, 400°C'ye kadar olan sıcaklıklarda artan sıcaklıkla basınç dayanımında düşüş olduğunu göstermiştir. 600°C'de tüm jeopolimer betonların basınç dayanımında 400°C'ye göre iyileşme gözlenmiştir. 800°C'de basınç dayanımında iyileşme görülen tek numune 10 M NaOH bulunan olmuştur. Daha fazla molaritede NaOH barındıran numunelerin basınç dayanımında azalma görülmüştür. Daha küçük boyutta agregaya sahip jeopolimer betonlar yüksek sıcaklıklarda basınç dayanımlarını daha iyi korumuştur. Fazladan su ilavesi2 tüm jeopolimer betonun tüm sıcaklıklardaki basınç dayanımını azaltmıştır. Ancak daha uzun süreli buhar kürü yüksek sıcaklıklardaki basınç dayanımını artırmıştır.

Arioz [88] çalışmasında numune boyutunun betonun yüksek sıcaklıklardaki özelliklerine etkisini incelemiştir. Farklı boyutlardaki küp numuneler (100x100x100 mm, 150x150x150 mm, 200x200x200 mm) 200°C'den 1200°C'ye kadar değişen sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Sonuçlar yükselen sıcaklıkla basınç dayanımının önemli derecede azaldığını ortaya koymuştur. Ancak numune boyutunun basınç dayanımında belirgin bir etken olduğu görülmemiştir. Numunelerin yarma çekme dayanımı yükselen sıcaklıkla azalmıştır. 400°C'ye dek olan sıcaklıklarda numune boyutu önemli bir rol oynamıştır. 100x100x100 mm küp betonlar diğer boyuttaki betonlara göre 400°C'ye dek daha düşük yarma çekme dayanımı göstermiştir. 600°C'den sonra ise tüm numuneler benzer sonuçlar göstermiştir.

1.6. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Günümüzde betonarme yapılar farklı nedenlerle yüksek sıcaklık etkisine maruz kalmaktadır. Betonların yüksek sıcaklık altındaki mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştirmek amacıyla teknik literatürde farklı mineral katkıları kullanılarak hazırlanmış birçok çalışma mevcuttur. Yapılan literatür çalışmalarında kromit katkıları betonların yüksek sıcaklık etkisi altındaki davranışını inceleyen çalışmalar oldukça sınırlı sayıda. Bu

amaçla, bu çalışmada kromit katkılı betonların yüksek sıcaklık etkisindeki basınç dayanımının incelenmesi amaçlanmıştır. Bunun için %5, %10, %15, %20, %25 ve %30 oranlarında kromit katkılı betonlar üretilmiştir. Betonlar 28 günlük kürün ardından 200°C, 400°C ve 600°C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Kromit katkılı ve katkısız betonların basınç dayanımları belirlenmiş ve karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Çalışmanın bu bölümünde kromit katkılı betonların yüksek sıcaklık etkisindeki basınç dayanımlarını incelemek üzere yapılan laboratuvar çalışmalarına, bu çalışmalarda başvurulan hesaplama yöntemlerine, çalışmalarda kullanılan malzemelerin ve ekipmanların özelliklerine yer verilmiştir.

2.2. Beton Üretiminde Kullanılan Malzemeler

2.2.1. Çimento

Beton üretiminde Aşkale Çimento Sanayii T.A.Ş. tarafından üretilen CEM I 42,5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 2.1.'de, kimyasal özellikleri ise Tablo 2.2.'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Kullanılan çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri

CEM I 42,5 R		
Fiziksel özellikler		
Öz kütle (g/cm^3)		3,15
Özgül yüzey (cm^2/gr)		3675
200 μ elek üstünde kalan		-
90 μ elek üstünde kalan		1,05
Priz süresi (saat) (vicat indisi)	Başlangıç	2:25
	Bitiş	4:15
Toplam hacim genişlemesi (mm)		0,9
Mekanik özellikler		
7 gün	Eğilme dayanımı (MPa)	6,9
	Basınç dayanımı (MPa)	45,8
28 gün	Eğilme dayanımı (MPa)	8,7
	Basınç dayanımı (MPa)	52,5

Tablo 2.2. Kullanılan çimentonun kimyasal özellikleri

Bileşenler	CEM I 42,5 R
SiO ₂	18,40
Al ₂ O ₃	5,71
Fe ₂ O ₃	3,06
CaO	63,06
MgO	0,89
SO ₃	2,53
Na ₂ O	0,26
K ₂ O	0,53
Cl ⁻	0,012
Kızdırma kaybı	3,22
SCaO	1,18
Katkı	-
Çözünmeyen kalıntı	0,29

2.2.2. Su

KTÜ İnşaat Mühendisliği Yapı Malzeme Laboratuvarı'nda mevcut olan içme suyu kullanılmıştır.

2.2.3. Agrega

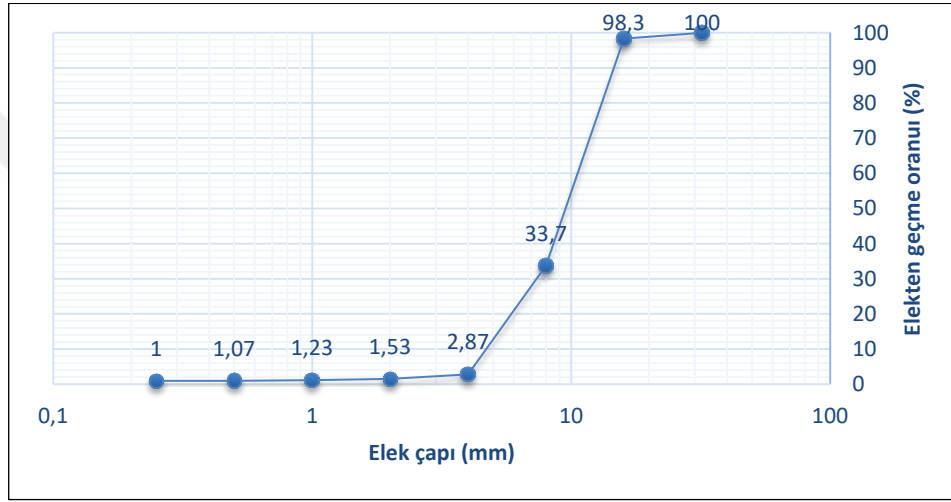
Beton üretiminde maksimum agrega çapı 16 mm olarak belirlenmiştir. Bunun için Yapı Malzeme Laboratuvarı'nda bulunan iki farklı agrega kullanılmıştır. Bu agregalar tane çaplarındaki farklılıktan dolayı iri ve ince agrega olarak adlandırılmıştır. Bu agregaların tane dağılımı Tablo 2.3'te, beton üretiminde kullanılacak iri ve ince agrega oranlarının belirlenmesi için yapılan elek analizi sonunda elde edilen tane dağılım eğrileri Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.3. Agregaların elek analiz tablosu

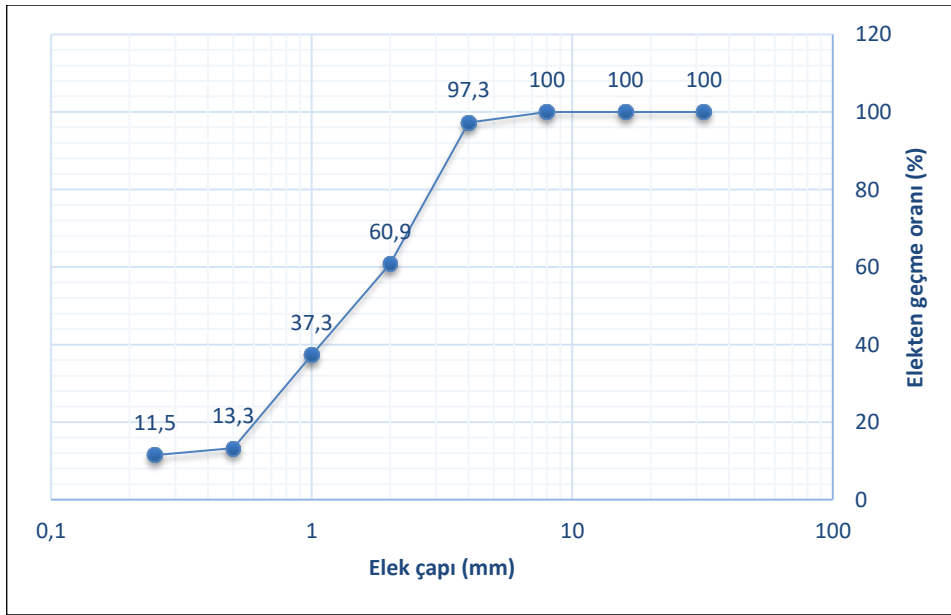
Elek çapı(mm)	Elekte biriken toplam agrega (gr)		Elekten geçme oranı (%)	
	İri agrega	İnce agrega	İri agrega	İnce agrega
32	-	-	100	100
16	50	-	98,3	100
8	1989	-	33,7	100
4	2914	81	2,87	97,3

Tablo 2.3.'ün devamı

Elek çapı(mm)	Elekte biriken toplam agrega (gr)		Elekten geçme oranı (%)	
	İri agrega	İnce agrega	İri agrega	İnce agrega
2	2954	1174	1,53	60,9
1	2963	1880	1,23	37,3
0,5	2968	2601	1,07	13,3
0,25	2970	2655	1	11,5

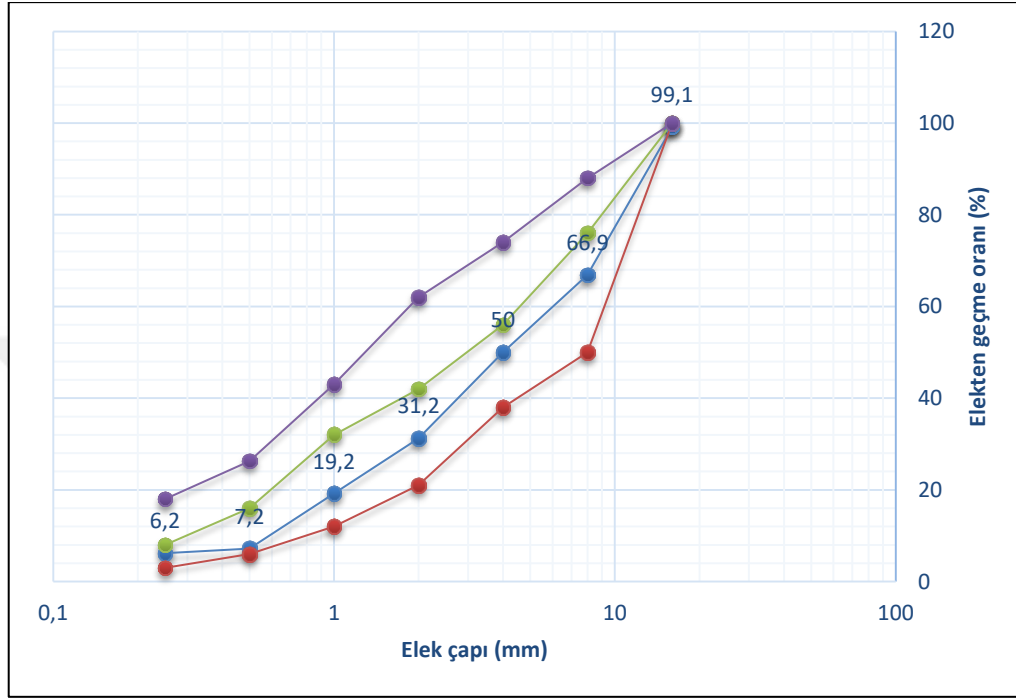


Şekil 2.1. İri agrega tane dağılımı



Şekil 2.2. İnce agrega tane dağılımı

Bu iki agreganın %50-%50 olacak şekilde granülometrik bileşimi ve TS 706 [89]'da verilen 16 mm maksimum tane çapı için sınır değerler Şekil 2.3.'te gösterilmiştir. İyi bölgeye denk gelen bu agrega birleşiminin çalışmada kullanılmasına karar verilmiştir.



Şekil 2.3. Agregaların granülometrik bileşimi ve sınır eğrileri

DeneySEL çalışmalarda kullanılan agregaların su emme oranları ve birim hacim kütleleri belirlenmiş ve Tablo 2.4.'te verilmiştir.

Tablo 2. 4. Agregaların su emme oranları ve birim hacim kütleleri

Agrega tipi	Su emme oranı (%)	Birim hacim kütle (gr/cm^3)
İri agrega	0,94	2,81
İnce agrega	2,01	2,78

2.2.4. Kromit

Bu çalışmadaki deneylerde kullanılan konsantre kromit cevheri %46-48 oranında Cr_2O_3 tenörüne sahip olup Mercan-Tercan (Erzincan) krom konsantre tesislerinden sağlanmıştır. Çalışmada kullanılan kromit cevheri kumu "Türkiye Kromit Cevheri"

sınıflandırmasına uygun olup Alpin tip kromit sınıfına girmektedir. Alpin tip cevherler, Cr/Fe oranları daha yüksek, silis içeriği ve ergime ısısı düşük olup yüksek metalurjik kaliteye sahiptir. Ancak tane çapı betonda mineral katkı olarak kullanmaya elverişli olmadığı için öncelikle Maden Mühendisliği Bölümü'nde bulunan Sınıflandırma Laboratuvarı'ndaki çubuklu değirmen kullanılarak maksimum tane çapı 0,25 mm olacak şekilde öğütülmüştür (Şekil 2.4., Şekil 2.5. ve Şekil 2.6.)



Şekil 2. 4. Çubuklu silindire konulan kromit minerali



Şekil 2. 5. Kromitin çubuklu silindirde öğütülmesi



Şekil 2.6. Öğütülmüş kromit

2.3. Beton Karışım Hesabı

Küp beton numunelerinin karışım hesaplamasında mutlak hacim metodu kullanılmıştır [90]. 1 m³ beton için toplam agregaya mutlak hacmi (2.1.) bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

$$V_a = W_a / \gamma_a = 1000 - (W_c / \gamma_c + V_w + V_h) \quad (2.1)$$

Bu bağıntıda, V_a agregaya hacmini (m³), W_a agregaya kütlelerini (kg/m³), γ_a agregaya doygun kuru yüzeyli birim kütlelerini (kg/m³), W_c çimento kütlelerini (kg/m³), γ_c çimento birim kütlelerini (kg/m³), V_w su hacmini (dm³), V_h hapsedilmiş hava hacmini (dm³) göstermektedir.

Birden fazla agregaya kullanılması durumunda, agregaların birim kütleleri ve karışımındaki kütlece oranları farklı olacağından böyle bir durumda (2.2.) bağıntısının kullanılması uygun olacaktır.

$$\sum(\beta_i \cdot W_a / \gamma_{ai}) = 1000 - (W_c / \gamma_c + V_w + V_h) \quad (2.2)$$

Burada β_i agreganın kütlece oranını, γ_{ai} ise agreganın doygun kuru yüzeyli birim kütesini göstermektedir.

Agregaların ayrı ayrı kütlelerine toplam agrega kütleleri (W_a) ile agreganın kütlece oranının (β_i) çarpımıyla ulaşılabilir.

$$W_{ai} = \beta_i \cdot W_a \quad (2.3)$$

Burada hesaplanan doygun kuru yüzeyli agrega kütleleridir. Her bir agrega için doyma suyunu hesaplamak adına (2.4) bağıntısı kullanılır.

$$DS_i = (SE_i - DN_i) \cdot W_{ai} \quad (2.4)$$

Burada SE_i agreganın su emme oranı ve DN_i ise agreganın doğal nemidir. Toplam doyma suyu ise her bir agrega için gereken doyma sularının toplanmasıyla (2.5) ifadesinden elde edilir.

$$DS = \sum DS_i \quad (2.5)$$

Yukarıda ayrıntıları verilen mutlak hacim metodu ile küp beton numunelerde kullanılacak olan beton bileşenlerinin hesabı yapılmıştır. Karışımdaki su/çimento oranı 0,6 olarak belirlenmiş ve çimento miktarı 350 kg/m^3 olarak alınmıştır. Beton için hesaplanan malzeme miktarları Tablo 2.5.'te verilmiştir.

Tablo 2.5. Çalışmada kullanılan beton bileşimi

Malzeme	Miktar
Çimento	350 kg/m^3
Su	210 kg/m^3
Doyma Suyu	$38,67 \text{ kg/m}^3$
Hava	15 dm^3
İri Agrega	$900,5 \text{ kg/m}^3$
İnce Agrega	$900,5 \text{ kg/m}^3$

Çalışmada kullanılan kromit miktarı, çimento miktarına %5, %10, %15, %20, %25 ve %30 oranlarında ilave edilecek şekilde hesaplanmıştır. Kromit katkılı betonlarda kullanılan kromit miktarları Tablo 2.6.'da verilmiştir.

Tablo 2.6. Çalışmada 1m³ karışıma ilave edilen kromit miktarları

Kromit oranı	Kromit miktarı
%5	17,5 kg
%10	35 kg
%15	52,5 kg
%20	70 kg
%25	87,5 kg
%30	105 kg

2.4. Betonların Üretimi ve Bakımı

Beton üretimi için miktarı belirlenen malzemeler öncelikle 1 gr hassasiyetli terazide tartılarak hazırlanmıştır. 60 litre kapasiteli betonyer (Şekil 2.7.) nemlendirilmiş ve iri agrega ile ince agrega eklenmiştir. Doyma suyu da ilave edilip 3 dakika boyunca karılmıştır. Sonrasında katkısız beton için çimento, kromit katkılı beton için ise çimento ve kromit eklenerek 3 dakika daha karılmıştır. Bu sürenin sonunda betonyer çalışır haldeyken karma suyu da eklenmiş ve 3 dakika daha karılmaya devam edilmiştir.



Şekil 2.7. Beton üretiminde kullanılan 60 litre kapasiteli betonyer

Üretilen taze betonun işlenebilirliğinin belirlenmesi için öncelikle çökme deneyi yapılmıştır (Şekil 2.8.). Çalışmada hedeflenen 7-10 cm'lik çökme değerini sağlayacak şekilde beton üretilmiştir.



Şekil 2.8. Beton karışımının çökme deneyinden geçirilmesi

Kıvamı kontrol edilen beton, frekansı 2800 devir/dk olan titreşim masası üzerine konulan 150x150x150 mm boyutlara sahip küp kalıplara yerleştirilmiştir (Şekil 2.9.)



Şekil 2.9. Küp kalıplara titreşim masasında beton yerleştirilmesi

Kalıpları içinde bir gün bekletilen betonlar (Şekil 2.10.), kalıplarından çıkartılıp sıcaklığı $22^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ olan kür havuzunda 28 gün bekletilmiştir. Bu süre sonunda kür havuzundan çıkartılan numuneler ortam sıcaklığında ($20\text{-}23^{\circ}\text{C}$) bir hafta bekletilmiştir (Şekil 2.11.).

Bu çalışma kapsamında, ortam sıcaklığında 3 adet, 200°C , 400°C ve 600°C 'de 3'er adet olmak üzere her bir karışımdan toplam 12 adet numune üretilmiştir. Bu çalışmada, kromit katkısız ve %5, %10, %15, %20, %25 ve %30 oranlarında kromit katkısı kullanılmıştır. Çalışmada toplam 84 numune üretilmiştir.



Şekil 2.10. 150mm küp kalıplardaki beton numuneleri



Şekil 2.11. Kür sonrasında numunelerden bir görünüm

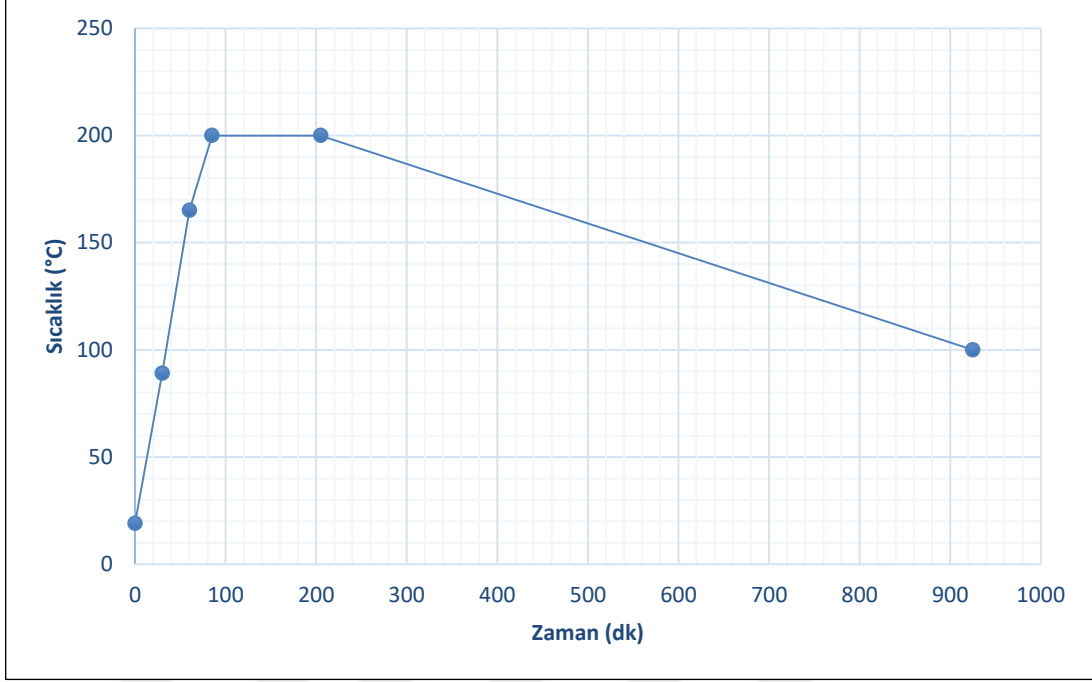
2.5. Betonlar Üzerinde Yapılan Deneyler

2.5.1. Isıl İşlemler

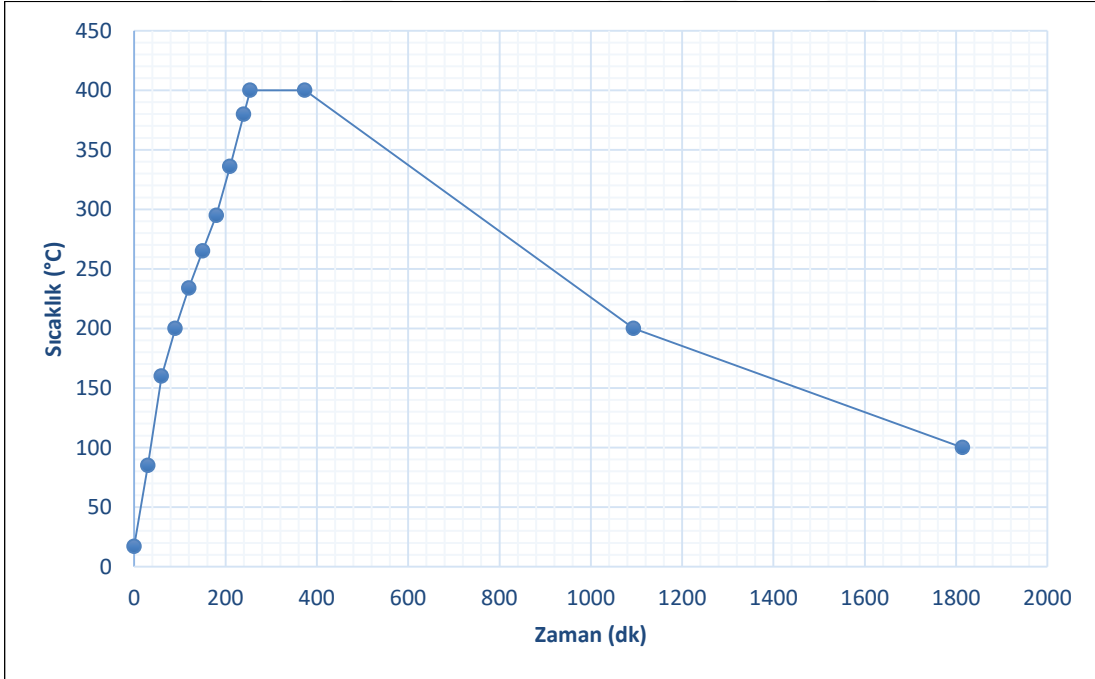
28 günlük kür sürelerini tamamlayan betonlar 4 gruba ayrılmıştır. Bunların bir kısmı ortam sıcaklığında bekletilirken, geriye kalan numuneler 200°C, 400°C ve 600°C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Numunelerin 200°C'ye çıkması 85 dk, 400°C'ye çıkması 254 dk ve 600°C'ye çıkması 444 dk sürmüştür. Numunelerin sıcaklıkları 2 saat boyunca bu sıcaklıklarda sabit tutulmuştur. Sonrasında fırın kapatılarak ve kapağı kapalı şekilde bırakılarak 100°C'ye dek soğumaları beklenmiştir (Şekil 2.12.). Ardından, fırından dışarıya çıkartılmışlardır. Her üç yüksek sıcaklığa ait sıcaklık-zaman grafikleri Şekil 2.13., Şekil 2.14. ve Şekil 2.15'te verilmiştir.



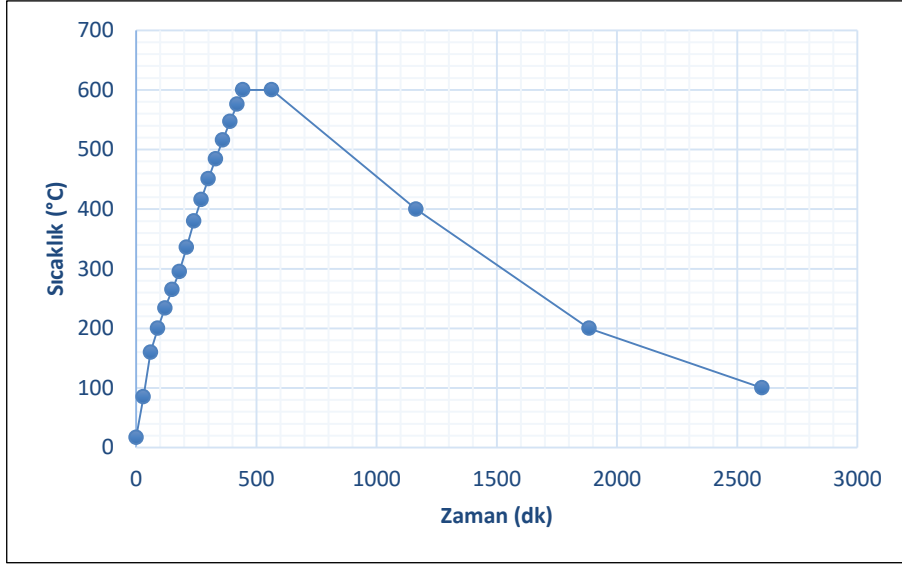
Şekil 2.12. Betonların yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakıldıkları fırın düzeneği



Şekil 2.13. 200°C için sıcaklık-zaman grafiği



Şekil 2.14. 400°C için sıcaklık-zaman grafiği



Şekil 2.15. 600°C için sıcaklık-zaman grafiği

2.5.2. Beton Basınç Dayanımlarının Belirlenmesi

Ortam sıcaklığına ve yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan kromit katkılı ve katkısız küp beton numuneleri TS EN 12390-3 [91]'e uygun tek eksenli basınç deneyine tabi tutulmuştur. Tüm beton numuneleri otomatik yükleme yapabilen, bilgisayar kontrollü, 2500kN yükleme kapasiteli Dinç Makine markalı hidrolik pres (Şekil 2.16.) kullanılarak 0,15 MPa/s sabit yükleme hızıyla test edilerek basınç dayanımları belirlenmiştir. Deney numunelerinden bir görünüm Şekil 2.17.'de verilmiştir.



Şekil 2.16. Basınç dayanım deneyi düzeneği



Şekil 2.17. Basınç dayanım deneyinde kırılmış numunelerden örnekler

3. BULGULAR

3.1. Giriş

Çalışmanın bu bölümünde, yüksek sıcaklıklara maruz bırakılan ve bırakılmayan kromit katkılı ve katkısız betonların basınç dayanım deneylerinin sonuçları verilmiş ve bu sonuçlar sıcaklığa ve kromit katkı oranlarına bağlı olarak irdelenmiştir.

3.2. Beton Basınç Dayanımları

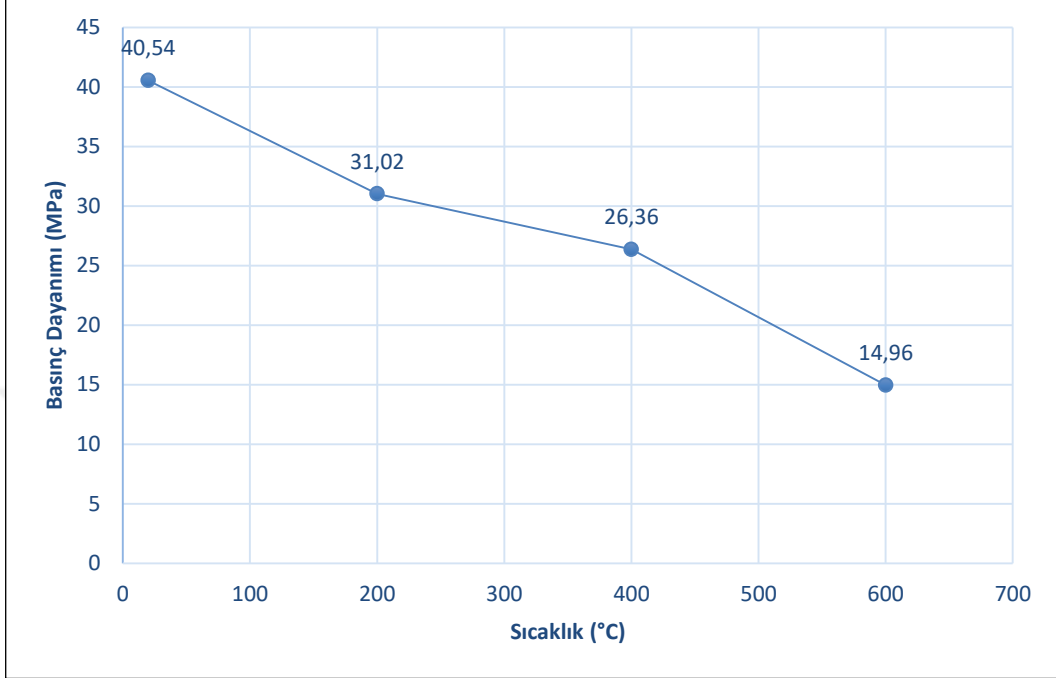
Katkısız beton için toplam 12 adet numune üretilmiştir. Bu numunelerin 3 adedi ortam sıcaklığında, 3'er adedi ise 200°C, 400°C ve 600°C'de test edilmiştir. Bu numunelerin basınç dayanımları Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Katkısız beton için basınç dayanım deneyi sonuçları

Sıcaklık (°C)	Basınç Dayanımı (MPa)			
	1. Numune	2. Numune	3. Numune	Ortalama
20	40,23	43,19	38,19	40,54
200	33,59	30,57	28,91	31,02
400	23,15	23,86	32,07	26,36
600	14,27	15,33	15,27	14,96

Bu tabloda görüldüğü gibi, ortam sıcaklığındaki numunelerin basınç dayanım ortalaması 40,54 MPa olarak bulunmuştur. 200°C'ye maruz bırakılan numunelerin ise ortalama basınç dayanımı 31,02 MPa olmuştur. Böylelikle katkısız beton için ortam sıcaklığından 200°C'ye çıkıldığında basınç dayanımında %23,5 oranında bir azalma olmuştur. 400°C'de ise ortalama basınç dayanımı 26,36 MPa olarak elde edilmiştir. Böylelikle ortam sıcaklığındaki numunelere göre basınç dayanımında %35, 200°C'dekilere göre ise %15 oranında bir düşüş meydana gelmiştir. 600°C sıcaklıkta ise, basınç dayanımı 14,96 MPa'a kadar düşmüştür. Böylelikle, 600°C'deki basınç dayanımında ortam sıcaklığındakilere göre %63,1, 200°C sıcaklıktakilere göre %51,8, 400°C sıcaklığa maruz

bırakılan numunelere göre ise %43,2 oranında bir düşüş olmuştur. Katkısız betonun ortalama basınç dayanımının sıcaklığa göre değişimi Şekil 3.1.'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Katkısız beton için basınç dayanımı-sıcaklık grafiği

Şekil 3.1'de görüldüğü gibi, katkısız betonlarda sıcaklığın artmasıyla beton basınç dayanımında önemli oranda azalma olmaktadır.

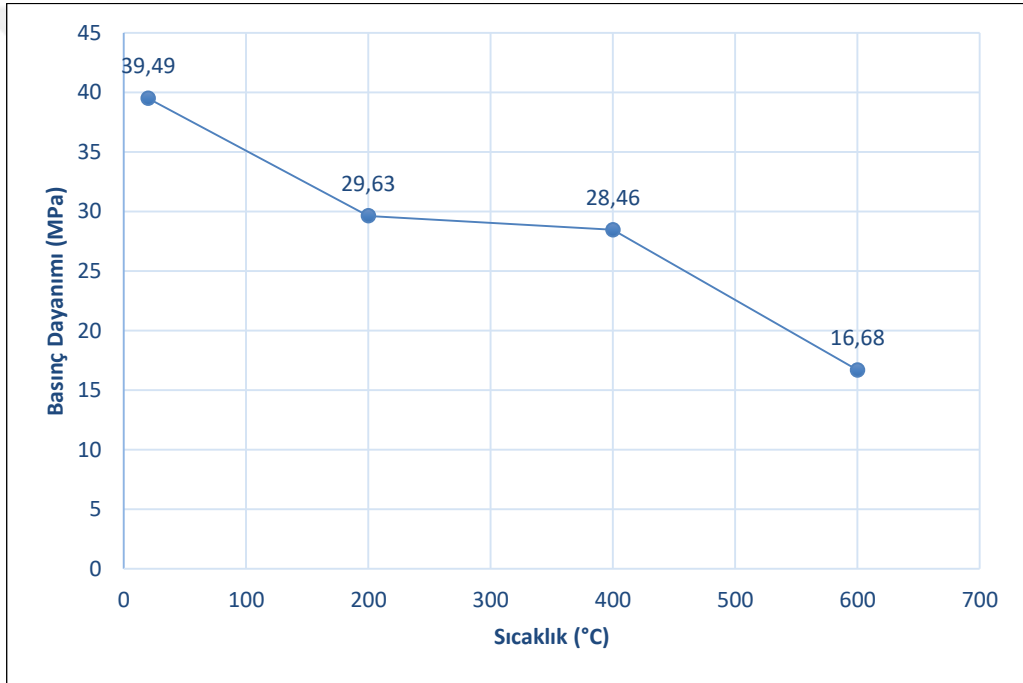
Beton karışımında %5 kromit katkısı kullanılan toplam 12 adet numune üretilmiştir. Bu numunelerin 3 adedi ortam sıcaklığında, 3'er adedi ise 200°C, 400°C ve 600°C'de test edilmiştir. Bu numunelerin basınç dayanımları Tablo 3.2.'de verilmiştir.

Tablo 3.2. %5 kromit katkılı beton için basınç dayanım deneyi sonuçları

Sıcaklık (°C)	Basınç Dayanımı (MPa)			
	1. Numune	2. Numune	3. Numune	Ortalama
20	38,97	39,22	40,28	39,49
200	28,84	29,41	30,63	29,63
400	27,13	28,59	29,65	28,46
600	16,71	16,50	16,83	16,68

Bu tabloda görüldüğü gibi, ortam sıcaklığındaki numunelerin basınç dayanım ortalaması 39,49 MPa olarak belirlenmiştir. 200°C'ye maruz bırakılan numunelerin

ortalama basınç dayanımı ise 29,63 MPa olmuştur. Böylece %5 kromit katkılı beton ortam sıcaklığından 200°C'ye çıkarıldığında basınç dayanımında %25 oranında bir azalma meydana gelmiştir. 400°C sıcaklıkta ise ortalama basınç dayanımı 28,46 MPa olarak bulunmuştur. Dolayısıyla 400°C sıcaklıkta ortam sıcaklığındaki numunelere göre basınç dayanımında %27,9, 200°C'dekilere göre ise %3,9 oranında bir düşüş saptanmıştır. 600°C'de ise basınç dayanımı 16,68 MPa olmuştur. Böylece, 600°C'de basınç dayanımında ortam sıcaklığındakilere göre %57,8, 200°C sıcaklıktakilere göre %43,7, 400°C'dekilere göre ise %41,4 oranında bir düşüş olmuştur. %5 kromit katkılı betonun basınç dayanımının sıcaklığa göre değişimi Şekil 3.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.2. %5 kromit katkılı beton için basınç dayanımı-sıcaklık grafiği

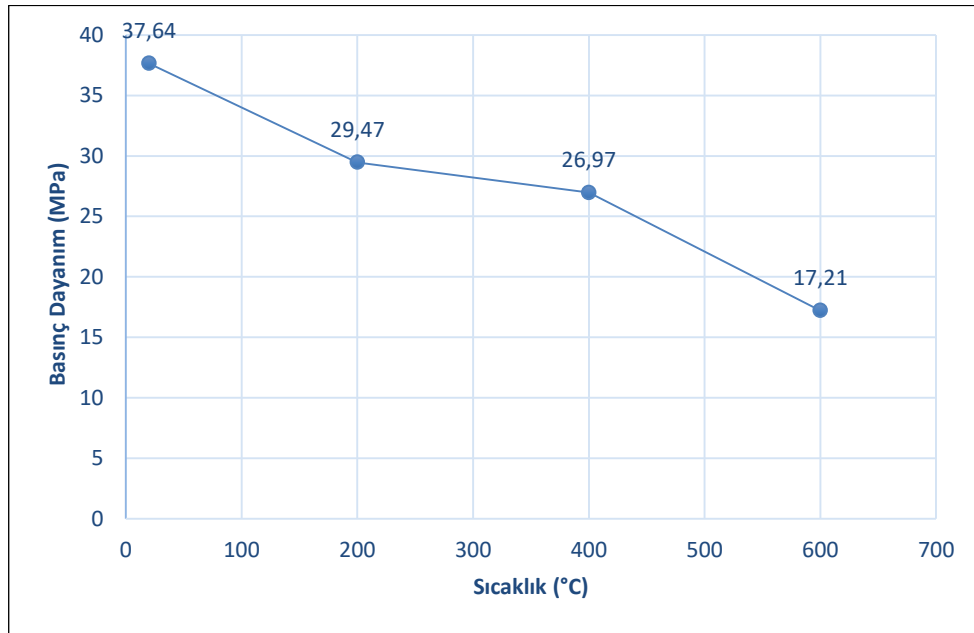
Şekil 3.2'de görüldüğü gibi, %5 kromit katkılı betonlarda sıcaklık artışıyla birlikte basınç dayanımında azalma olmaktadır. Ancak bu azalma, katkısız betona kıyasla daha düşük seviyede olmuştur. 200°C-400°C aralığında basınç dayanımındaki azalma ise diğer sıcaklık aralıklarından daha az olmuştur.

Beton karışımında %10 kromit katkısı kullanılan toplam 12 adet numune üretilmiştir. Bu numunelerin 3 adedi ortam sıcaklığında, 3'er adedi ise 200°C, 400°C ve 600°C'de test edilmiştir. Bu numunelerin basınç dayanımları Tablo 3.4.'te verilmiştir.

Tablo 3.3. %10 kromit katkılı beton için basınç dayanım deneyi sonuçları

Sıcaklık (°C)	Basınç Dayanımı (MPa)			
	1. Numune	2. Numune	3. Numune	Ortalama
20	35,68	36,47	40,77	37,64
200	31,37	28,82	28,21	29,47
400	25,84	29,74	25,32	26,97
600	17,90	16,89	16,84	17,21

Bu tabloda görüldüğü gibi, ortam sıcaklığındaki numunelerin basınç dayanımlarının ortalaması 37,64 MPa olarak bulunmuştur. 200°C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin ortalama basınç dayanımı ise 29,47 MPa olmuştur. Böylelikle, 200°C sıcaklığa maruz bırakılan %10 kromit katkılı betonda, ortam sıcaklığına göre basınç dayanımında %21,7 oranında bir azalma meydana gelmiştir. 400°C’de ortalama basınç dayanımı 28,46 MPa olarak bulunmuştur. Böylece, 400°C sıcaklıkta ortam sıcaklığındaki numunelere göre basınç dayanımında %28,3, 200°C’dekilere göre ise %8,5 oranında bir azalma görülmüştür. 600°C sıcaklıkta basınç dayanımı 17,21 MPa’ya gerilemiştir. Böylelikle, 600°C’de basınç dayanımında ortam sıcaklığındaki numunelere göre %54,3, 200°C sıcaklıktakilere göre %41,6, 400°C’dekilere göre ise %36,2 oranında bir düşüş olmuştur. %10 kromit katkılı betonun basınç dayanımının sıcaklığa göre değişimi Şekil 3.3.’te verilmiştir.



Şekil 3.3. %10 kromit katkılı beton için basınç dayanımı-sıcaklık grafiği

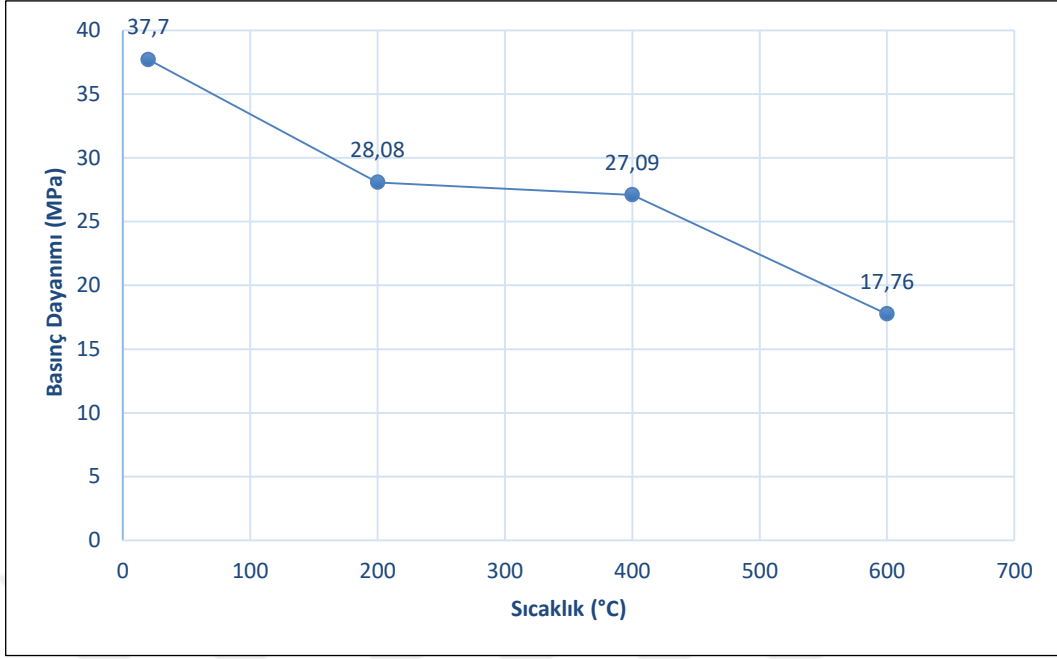
Şekil 3.3'te görüldüğü gibi %10 kromit katkıli betonlarda sıcaklık yükseldikçe basınç dayanımı düşmektedir. Basınç dayanımındaki azalma eğilimi %5 kromit katkıli beton ile benzer özellik göstermiştir.

Beton karışımında %15 kromit katkısı kullanılan toplam 12 adet numune üretilmiştir. Bu numunelerin 3 adedi ortam sıcaklığında, 3'er adedi ise 200°C, 400°C ve 600°C'de test edilmiştir. Bu numunelerin basınç dayanımları Tablo 3.4.'te verilmiştir.

Tablo 3.4. %15 kromit katkıli beton için basınç dayanım deneyi sonuçları

Sıcaklık (°C)	Basınç Dayanımı (MPa)			
	1. Numune	2. Numune	3. Numune	Ortalama
20	35,77	37,24	40,08	37,70
200	27,90	28,44	27,89	28,08
400	28,20	27,98	25,09	27,09
600	17,31	18,44	17,52	17,76

Bu tabloda görüldüğü gibi, ortam sıcaklığındaki numunelerin basınç dayanım ortalaması 37,70 MPa olarak bulunmuştur. 200°C'ye maruz bırakılan numunelerin ortalama basınç dayanımı ise 28,08 MPa olarak elde edilmiştir. Böylece, 200°C sıcaklığa maruz bırakılan %15 kromit katkıli beton, ortam sıcaklığındaki basınç dayanımına göre %25,5 oranında azalmıştır. 400°C sıcaklıkta basınç dayanımı ortalaması 27,09 MPa olarak bulunmuştur. Böylelikle, 400°C sıcaklıkta basınç dayanımında ortam sıcaklığındaki numunelere göre %28,1, 200°C'dekilere göre ise %3,5 oranında bir azalma görülmüştür. 600°C sıcaklıkta basınç dayanımı 17,76 MPa'a düşmüştür. Dolayısıyla, 600°C sıcaklıkta basınç dayanımında ortam sıcaklığındaki numunelere göre %52,9, 200°C sıcaklıktakilere göre %36,8, 400°C'dekilere göre ise %34,4 oranında bir azalma meydana gelmiştir. %15 oranında kromit katkıli betonun basınç dayanımının sıcaklığa göre değişimi Şekil 3.4.'te verilmiştir.



Şekil 3.4. %15 kromit katkılı beton için basınç dayanımı-sıcaklık grafiği

Şekil 3.4'te görüleceği gibi %15 kromit katkılı beton için sıcaklık arttıkça basınç dayanımında düşüş meydana gelmiştir. Ancak bu düşüş %5 ve %10 kromit katkılı betona benzer özellik göstermiş, 200°C-400°C arasında basınç dayanımında %3,5 oranında bir azalma görülmüştür.

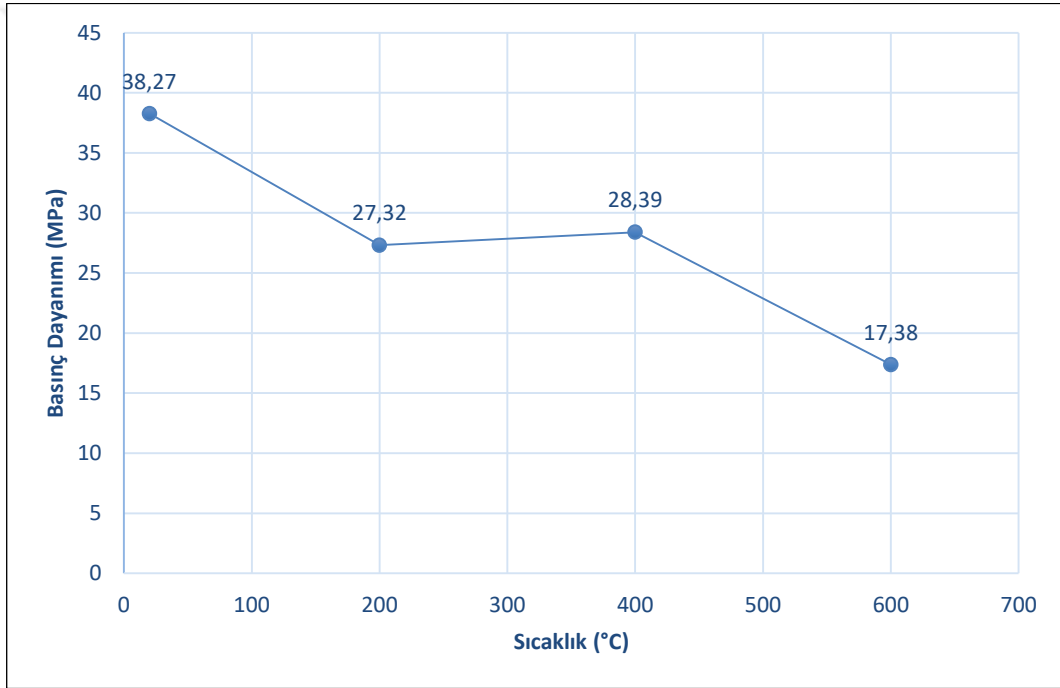
Beton karışımında %20 kromit katkısı kullanılan toplam 12 adet numune üretilmiştir. Bu numunelerin 3 adedi ortam sıcaklığında, 3'er adedi ise 200°C, 400°C ve 600°C'de test edilmiştir. Bu numunelerin basınç dayanımları Tablo 3.5.'te verilmiştir.

Tablo 3.5. %20 kromit katkılı beton için basınç dayanım deneyi sonuçları

Sıcaklık (°C)	Basınç Dayanımı (MPa)			
	1. Numune	2. Numune	3. Numune	Ortalama
20	38,22	37,28	39,32	38,27
200	26,80	27,91	27,25	27,32
400	27,16	29,35	28,65	28,39
600	17,39	16,96	17,79	17,38

Bu tabloda görüldüğü gibi, ortam sıcaklığındaki numunelerin basınç dayanım ortalaması 38,27 MPa olarak hesaplanmıştır. 200°C sıcaklıktaki numunelerin ortalama basınç dayanımı ise 27,32 MPa olarak bulunmuştur. Böylelikle, 200°C sıcaklığa maruz

bırakılan %20 kromit katkılı beton, ortam sıcaklığındaki basınç dayanımına oranla %28,6 azalmıştır. 400°C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerde basınç dayanım ortalaması 28,39 MPa olarak elde edilmiştir. Böylece, 400°C sıcaklıkta basınç dayanımında ortam sıcaklığındakilere göre %25,8 oranında bir azalma görülürken, 200°C'deki numunelere göre %3,9 oranında bir artış saptanmıştır. 600°C sıcaklıkta ise basınç dayanımı 17,38 MPa'a gerilemiştir. Böylece, 600°C sıcaklıkta basınç dayanımında ortam sıcaklığındaki numunelere göre %54,6, 200°C sıcaklıktakilere göre %36,4, 400°C'dekilere göre ise %38,8 oranında bir azalma meydana gelmiştir. %20 oranında kromit katkılı betonun basınç dayanımının sıcaklığa göre değişimi Şekil 3.5.'te verilmiştir.



Şekil 3.5. %20 kromit katkılı beton için basınç dayanımı-sıcaklık grafiği

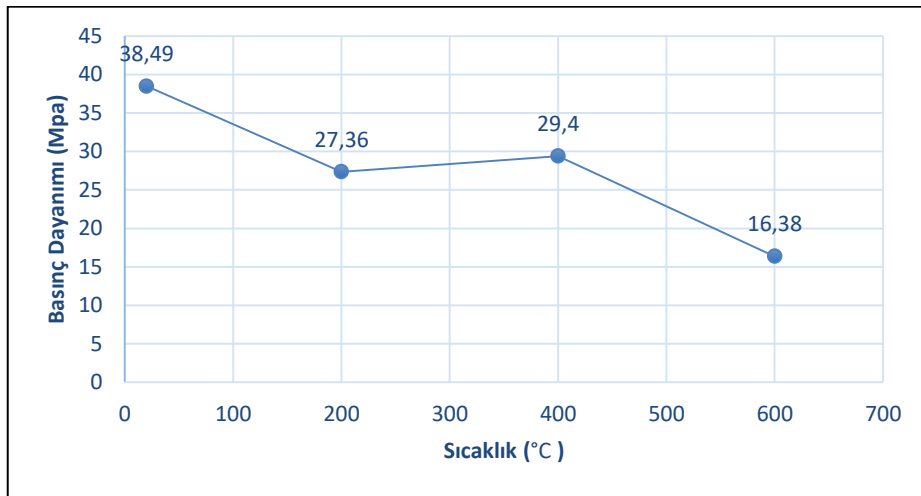
Şekil 3.5'te görüldüğü gibi, %20 kromit katkılı betonda sıcaklık ortam sıcaklığından 200°C'ye çıkarken ve 400°C'den 600°C'ye çıkarken basınç dayanımı azalırken; sıcaklık 200°C'den 400°C'ye çıkarken basınç dayanımı artmıştır. Böylelikle 200°C-400°C aralığında daha düşük oranlarda kromit katkılı betonlara göre daha farklı bir özellik göstermiştir.

Beton karışımında %25 kromit katkısı kullanılan toplam 12 adet numune üretilmiştir. Bu numunelerin 3 adedi ortam sıcaklığında, 3'er adedi ise 200°C, 400°C ve 600°C'de test edilmiştir. Bu numunelerin basınç dayanımları Tablo 3.6.'da verilmiştir.

Tablo 3.6. %25 kromit katkılı beton için basınç dayanım deneyi sonuçları

Sıcaklık (°C)	Basınç Dayanımı (MPa)			
	1. Numune	2. Numune	3. Numune	Ortalama
20	35,12	42,87	37,48	38,49
200	26,95	27,48	27,64	27,36
400	29,39	29,38	29,43	29,40
600	17,03	16,10	16,00	16,38

Bu tabloda görüldüğü gibi, ortam sıcaklığındaki numunelerin basınç dayanım ortalaması 38,49 MPa olarak bulunmuştur. 200°C sıcaklığa maruz kalan numunelerin ortalama basınç dayanımı ise 27,36 MPa olarak belirlenmiştir. Böylece, 200°C sıcaklığa maruz bırakılan %25 kromit katkılı betonun basınç dayanımı, ortam sıcaklığındaki basınç dayanımına kıyasla %28,9 oranında azalmıştır. 400°C sıcaklıkta ise numunelerin basınç dayanım ortalaması 29,40 MPa olarak bulunmuştur. Dolayısıyla, 400°C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımında ortam sıcaklığındakilere göre %23,6 oranında bir düşüş görülürken, 200°C'deki numunelere göre %7,5 oranında bir yükselme görülmüştür. 600°C'de ise basınç dayanımı 16,38 MPa'a düşmüştür. Böylelikle, 600°C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımında ortam sıcaklığındaki numunelere göre %57,4, 200°C sıcaklıktakilere göre %40,1, 400°C sıcaklıktakilere göre ise %44,3 oranında bir azalma meydana gelmiştir. %25 oranında kromit katkılı betonun basınç dayanımının sıcaklığa göre değişimi Şekil 3.6.'da verilmiştir.



Şekil 3.6. %25 kromit katkılı beton için basınç dayanımı-sıcaklık grafiği

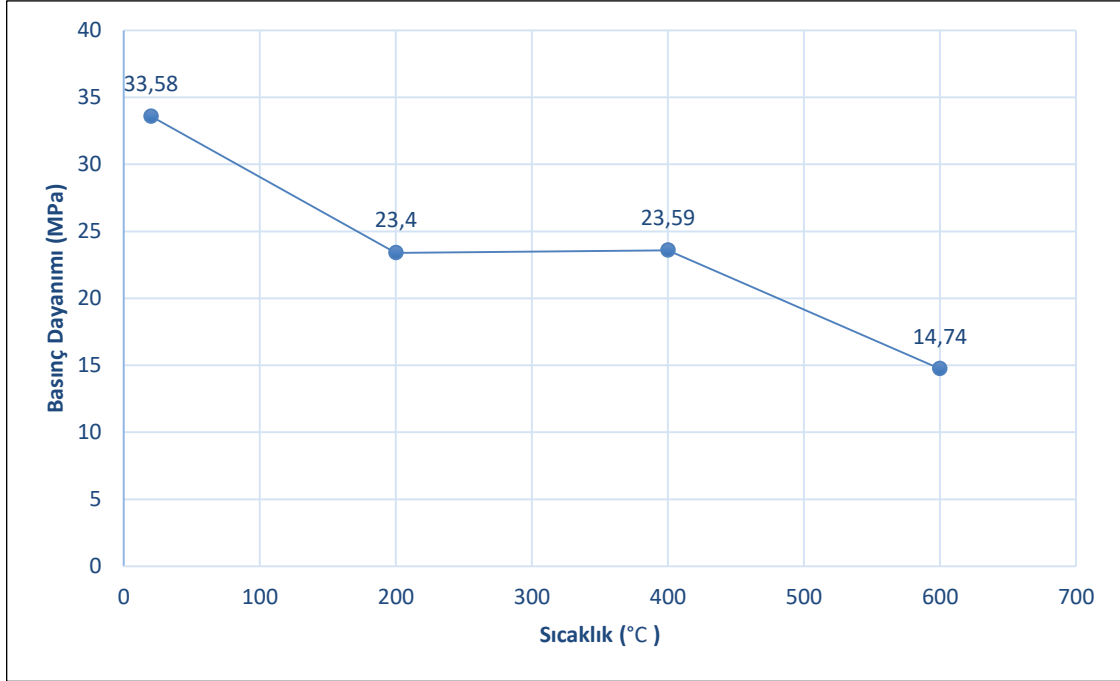
Şekil 3.6'da görüldüğü gibi, %25 katkılı betonda sıcaklık ortam sıcaklığından 200°C'ye çıkarken ve 400°C'den 600°C'ye çıkarken basınç dayanımı azalırken; sıcaklık 200°C'den 400°C'ye çıkarken basınç dayanımı artmıştır. Böylelikle yüksek sıcaklık etkisinde %20 kromit katkılı betona oldukça benzer bir davranış göstermiştir.

Beton karışımında %30 kromit katkısı kullanılan toplam 12 adet numune üretilmiştir. Bu numunelerin 3 adedi ortam sıcaklığında, 3'er adedi ise 200°C, 400°C ve 600°C'de test edilmiştir. Bu numunelerin basınç dayanımları Tablo 3.7.'de verilmiştir.

Tablo 3.7. %30 kromit katkılı beton için basınç dayanım deneyi sonuçları

Sıcaklık (°C)	Basınç Dayanımı (MPa)			
	1. Numune	2. Numune	3. Numune	Ortalama
20	32,85	35,48	32,42	33,58
200	24,17	22,39	23,64	23,40
400	24,08	22,90	23,79	23,59
600	14,56	14,43	15,24	14,74

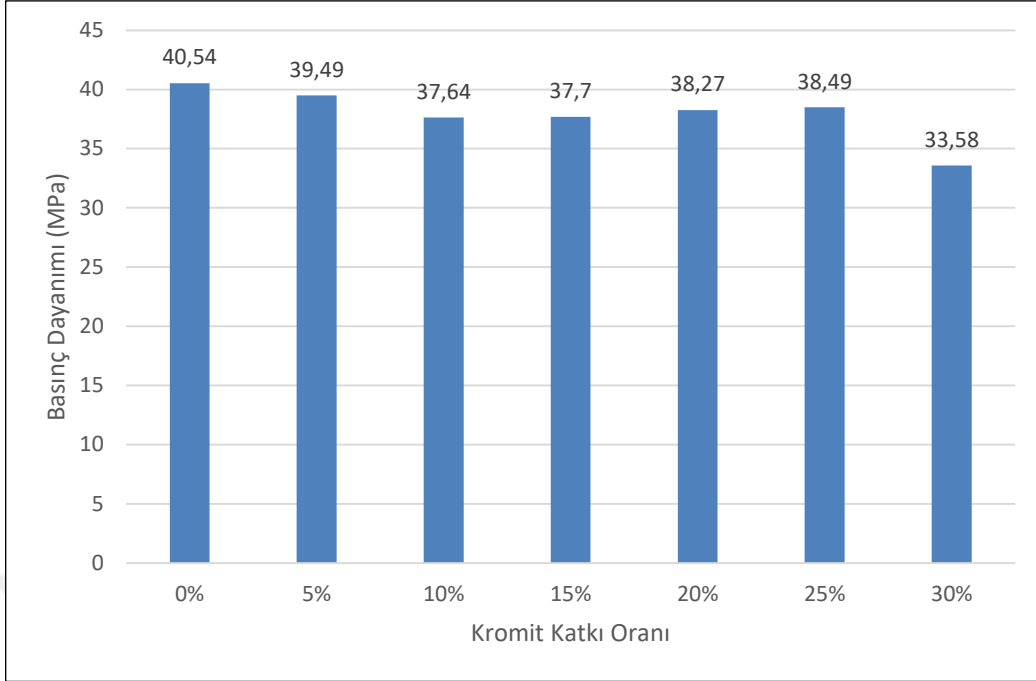
Bu tabloda görüldüğü gibi, ortam sıcaklığındaki numunelerin basınç dayanım ortalaması 33,58 MPa olarak hesaplanmıştır. 200°C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin ortalama basınç dayanımı ise 23,40 MPa olarak bulunmuştur. Böylelikle, 200°C sıcaklığa maruz bırakılan %30 kromit katkılı beton, ortam sıcaklığındaki numunelere göre basınç dayanımında %30,3 oranında düşüğe uğramıştır. 400°C'de ise numunelerin basınç dayanım ortalaması 23,59 MPa olarak saptanmıştır. Böylece, 400°C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımında ortam sıcaklığındakilere göre %29,7 oranında bir düşüş görülürken, 200°C'deki numunelere göre %0,8 oranında küçük bir yükselme meydana gelmiştir. 600°C sıcaklıkta ise basınç dayanımı 14,74 MPa olmuştur. Dolayısıyla, 600°C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımında ortam sıcaklığındaki numunelere göre %56,1, 200°C sıcaklıktakilere göre %37, 400°C sıcaklıktakilere göre ise %37,5 oranında bir azalma görülmüştür. %30 oranında kromit katkılı betonun basınç dayanımının sıcaklığa göre değişimi Şekil 3.7.'de verilmiştir.



Şekil 3.7. %30 kromit katkılı beton için basınç dayanımı-sıcaklık grafiği

Şekil 3.7’de görüldüğü gibi, %30 katkılı betonda sıcaklık ortam sıcaklığından 200°C’ye ve 400°C’den 600°C’ye yükselirken basınç dayanımı azalırken; sıcaklık 200°C’den 400°C’ye çıkarken basınç dayanımı az da olsa artmıştır. Böylelikle %20 ve %25 oranda kromit katkılı betona benzer davranış göstermiştir ancak her bir sıcaklık değeri için basınç dayanımı %30 kromit katkılı betonda daha düşük olmuştur.

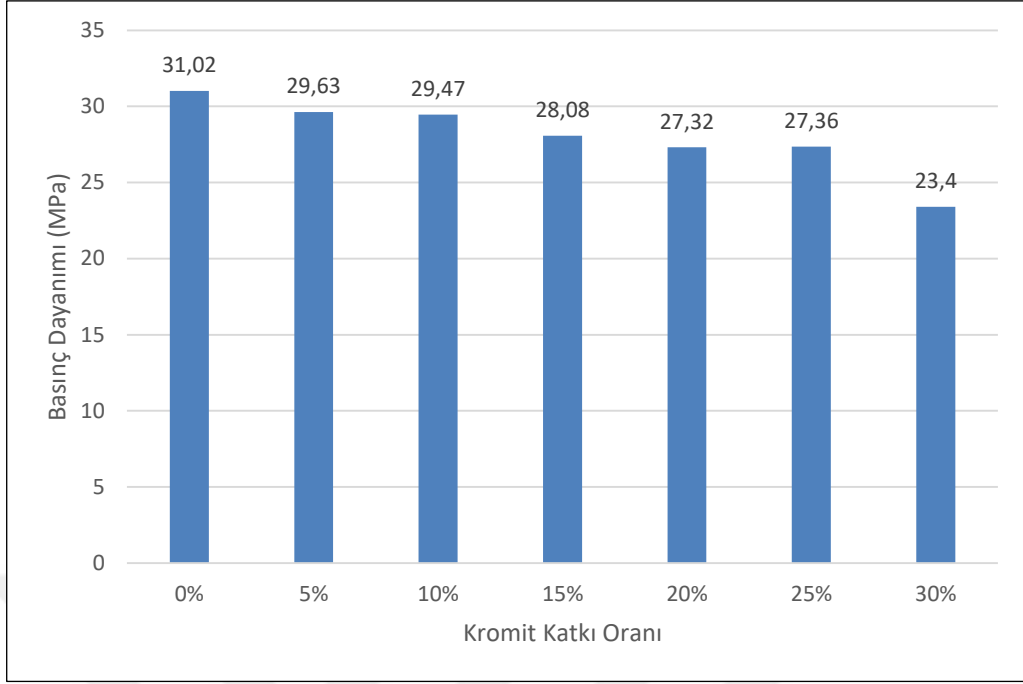
Ortam sıcaklığında kromit katkısına göre basınç dayanımındaki değişim Şekil 3.8.’de verilmiştir. En yüksek basınç dayanımı 40,54 MPa ile katkısız betonda görülürken en düşük dayanım 33,58 MPa ile %30 kromit katkılı betonda olmuştur. Ortam sıcaklığındaki numunelerde kontrol betonunun basınç dayanımına kıyasla %5 kromit katkılı betonda %2,6, %10 kromit katkılı betonda %7,2, %15 kromit katkılı betonda %7, %20 kromit katkılı betonda %5,6, %25 kromit katkılı betonda %5 ve %30 kromit katkılı betonda %17,2 oranında azalma olmuştur. Katkısız betondan %10 kromit katkılı betona kadar dayanımda azalma meydana gelmiş, %15 kromit katkılı betondan %25 katkılı betona kadar yükselme gözlenmiştir. %30 kromit katkılı betonda ise basınç dayanımı oldukça azalmıştır.



Şekil 3.8. Ortam sıcaklığında basınç dayanımının kromit katkı oranı ile değişimi

Bu şekilde, ortam sıcaklığında bekletilen betonlarda, kromit katkı oranı arttıkça basınç dayanımında azalma olduğu, dolayısıyla da kromit katkısının ortam sıcaklığındaki betonun basınç dayanımı açısından olumlu bir etki sağlamadığı görülmüştür.

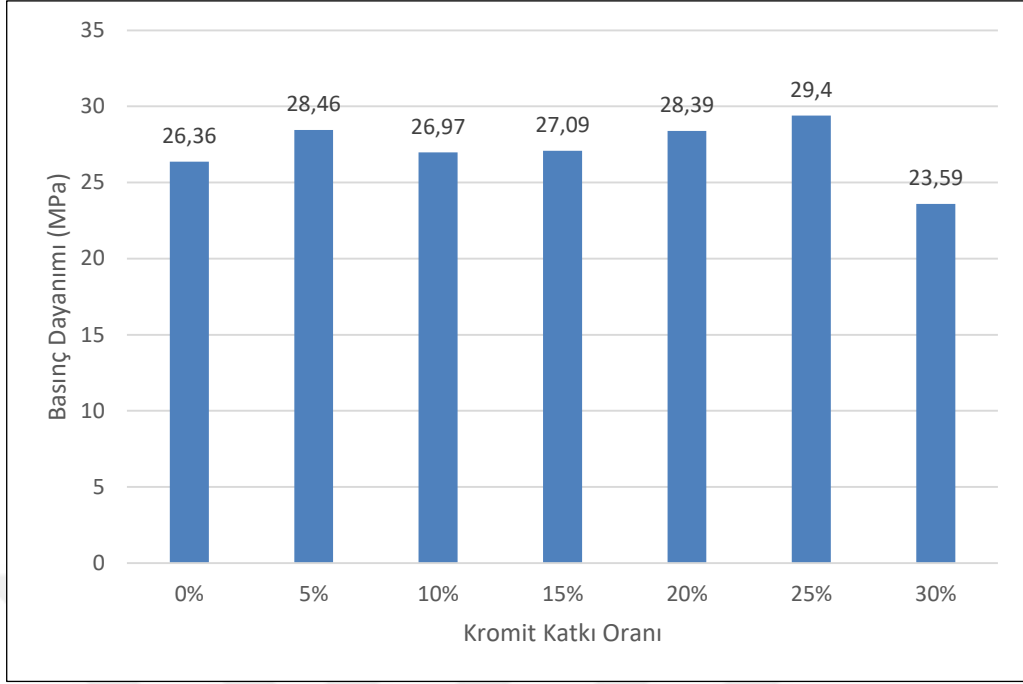
200°C sıcaklıkta kromit katkısına göre basınç dayanımındaki değişim Şekil 3.9.'da verilmiştir. Bu sıcaklıktaki en yüksek basınç dayanımı 31,02 MPa ile katkısız betonda görülürken en düşük dayanım 23,4 MPa ile %30 kromit katkılı betonda olmuştur. 200°C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerde kontrol betonunun basınç dayanımına kıyasla %5 kromit katkılı betonda %4,5, %10 kromit katkılı betonda %5, %15 kromit katkılı betonda %9,5, %20 kromit katkılı betonda %11,9, %25 kromit katkılı betonda %11,8 ve %30 kromit katkılı betonda %24,6 oranında bir azalma yaşanmıştır. 200°C sıcaklıkta artan kromit oranı ile birlikte basınç dayanımı azalmıştır. En fazla basınç dayanım azalması %25 kromit katkısından %30 kromit katkısına geçişte görülmüştür.



Şekil 3.9. 200°C’de basınç dayanımının kromit katkı oranı ile değişimi

Bu şekilde, farklı kromit katkı oranları kullanılarak üretilen betonların 200°C sıcaklıkta bekletilmesi sonucunda kromit katkısının bu sıcaklıkta betonun basınç dayanımına olumlu bir iyileştirme yapmadığı, katkı oranı arttıkça basınç dayanımının önemli oranda azaldığı görülmüştür.

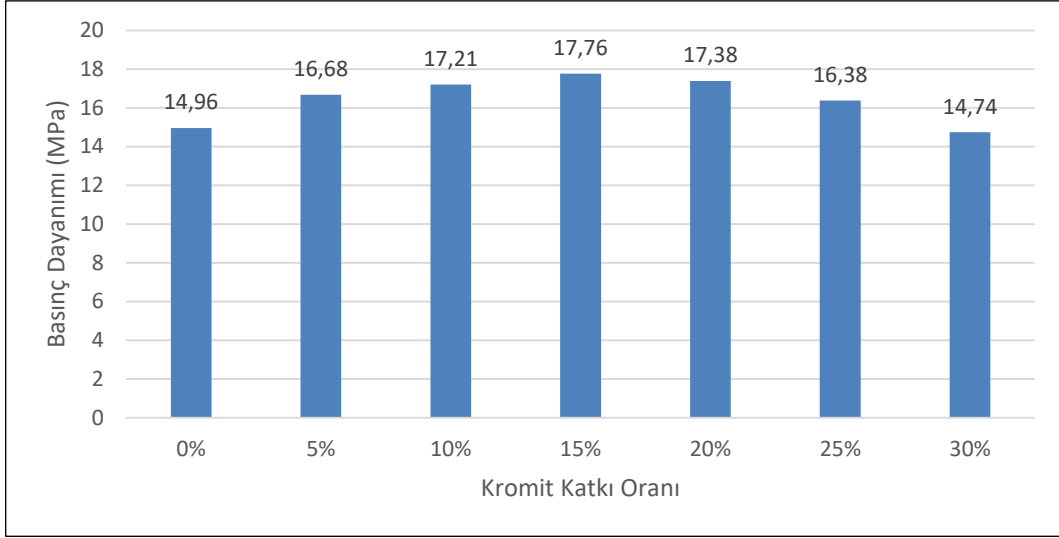
400°C sıcaklıkta kromit katkısına göre basınç dayanımındaki değişim Şekil 3.10.’da verilmiştir. Bu sıcaklıktaki en yüksek basınç dayanımı 29,4 MPa ile %25 kromit katkılı betonda görülürken en düşük basınç dayanımı 23,59 MPa ile %30 kromit katkılı betonda olmuştur. 400°C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerde kontrol betonunun basınç dayanımına kıyasla %5 kromit katkılı betonda %8, %10 kromit katkılı betonda %2,3, %15 kromit katkılı betonda %2,8, %20 kromit katkılı betonda %7,7 ve %25 kromit katkılı betonda %11,5 oranında yükselme meydana gelmiştir. %30 kromit katkılı betonda ise katkısız kontrol betonuna göre %10,5 oranında azalma görülmüştür. 400°C sıcaklıkta %25 kromit katkı oranına dek kromit katkılı betonlar katkısız kontrol betonundan daha iyi basınç dayanımı sergilemişlerdir. Yalnızca %30 kromit katkılı betonda basınç dayanımı kontrol betonunununkinden daha düşük çıkmıştır.



Şekil 3.10. 400°C’de basınç dayanımının kromit katkı oranı ile değişimi

Bu şekilde, farklı kromit katkı oranları kullanılarak üretilen betonların 400°C sıcaklığa maruz bırakılması sonucunda, %5, %10, %15, %20 ve %25 kromit katkısının betonun basınç dayanımına olumlu bir etkide bulunduğu ve en iyi performansın %25 kromit katkısı ile sağlandığı görülmüştür.

600°C sıcaklıkta kromit katkısına göre basınç dayanımındaki değişim Şekil 3.11.’de verilmiştir. Bu sıcaklıktaki en yüksek basınç dayanımı 17,76 MPa ile %15 kromit katkılı betonda görülürken en düşük basınç dayanımı 14,74 MPa ile %30 kromit katkılı betonda olmuştur. 600°C sıcaklığa maruz bırakılan numunelerde kontrol betonunun basınç dayanımına kıyasla %5 kromit katkılı betonda %11,5, %10 kromit katkılı betonda %15, %15 kromit katkılı betonda %18,7, %20 kromit katkılı betonda %16,2 ve %25 kromit katkılı betonda %9,5 oranında artış saptanmıştır. %30 kromit katkılı betonda ise katkısız kontrol betonuna göre %1,5 oranında düşüş görülmüştür. 600°C sıcaklıkta %25 kromit katkı oranına dek kromit katkılı betonlar katkısız kontrol betonundan daha iyi basınç dayanımı sergilemişlerdir. %15 kromit katkı oranına dek basınç dayanımı sürekli artmış, bu orandan sonra azalmaya başlamıştır. %30 kromit katkılı betonun basınç dayanımı ise katkısız betonun basınç dayanımına yaklaşık olarak eşit olmuştur. Bu da 600°C sıcaklıkta %30 kromit katkısının betonun basınç dayanımına herhangi bir olumlu etkisinin olmadığını göstermektedir.



Şekil 3.11. 600°C’de basınç dayanımının kromit katkı oranı ile değişimi

Bu şekilde, farklı kromit katkı oranları kullanılarak üretilen betonların 600°C sıcaklıkta bekletilmesi sonucunda, %5, %10, %15, %20 ve %25 kromit katkısının betonun basınç dayanımını iyileştirdiği ve en iyi performansın %15 kromit katkısı ile sağlandığı görülmüştür.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yüksek sıcaklık etkisinde kromit katkılı betonların basınç dayanımlarının incelenmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında; katkısız, %5, %10, %15, %20, %25 ve %30 kromit katkı ilavesiyle üretilen betonların 200°C, 400°C ve 600°C sıcaklığa maruz bırakılarak basınç dayanımlarındaki değişim incelenmiştir. Çalışmanın bütününden çıkartılabilecek bazı sonuç ve öneriler aşağıda özetlenmiştir.

- Kromit katkısız ve %5, %10, %15 kromit katkılı beton numunelerinde sıcaklık artışıyla basınç dayanımı azalmaktadır. Ortam sıcaklığı-200°C ve 400°C-600°C sıcaklık aralıklarına kıyasla 200°C-400°C arasındaki beton numunelerinin basınç dayanımı azalması düşük seviyede olmuştur. %20, %25 ve %30 kromit katkılı beton numunelerinde ortam sıcaklığı-200°C ve 400°C-600°C sıcaklık aralıkları arasında basınç dayanım azalması görülürken 200°C-400°C sıcaklık aralığında basınç dayanımının arttığı gözlenmiştir. Beton numunelerinin tümünde 400°C-600°C arasındaki sıcaklıklarda basınç dayanımı azalması ortam sıcaklığı-200°C arasındaki basınç dayanımı azalmasına kıyasla daha yüksek seviyede olmuştur.
- Ortam sıcaklığında en yüksek basınç dayanımı kromit katkısız numunelerde görülmüştür. Ancak %5, %10, %15, %20 ve %25 kromit katkılı beton numuneleri katkısız betona yakın değerlerde basınç dayanımları sağlamıştır. Kromit katkısı %30 olduğunda basınç dayanımı önemli derecede azalmıştır.
- 200°C sıcaklıkta, ortam sıcaklığındakine benzer şekilde en yüksek basınç dayanımı kromit katkısız numunelerde gözlenmiştir. Yine ortam sıcaklığındakine benzer şekilde %5, %10, %15, %20 ve %25 kromit katkılı beton numuneleri katkısız betona yakın değerlerde basınç dayanımları göstermiştir. %30 kromit katkılı betonun basınç dayanım değeri oldukça düşük olmuştur.
- 400°C sıcaklıkta en yüksek basınç dayanımı, %25 kromit katkılı betonda görülmüştür. %5, %10, %15 ve %20 kromit katkılı numuneler de katkısız betona göre daha iyi basınç dayanımı göstermiştir. Yalnızca %30 kromit katkılı betonun basınç dayanımı kontrol betondan düşük çıkmıştır. Ancak bu sıcaklıktaki azalma oda sıcaklığı ve 200°C'ye kıyasla daha düşük seviyede olmuştur.

- 600°C sıcaklıkta en yüksek basınç dayanımı %15 kromit katkıli betonda olmuştur. 400°C sıcaklıktaki numunelere benzer şekilde %5, %10, %20 ve %25 kromit katkıli betonlar, katkisiz betondan daha iyi basınç dayanımı göstermiştir. %30 kromit katkıli beton ise katkisiz beton ile aynı düzeyde basınç dayanımı sağlamıştır.
- Bu çalışma ortam sıcaklığı ve 200°C, 400°C, 600°C sıcaklıklara maruz bırakılan numuneler ile gerçekleştirilmiştir. Yükselen sıcaklıkla kromit katkıli betonun basınç dayanımını daha iyi incelemek için gelecek bir çalışmada sıcaklık aralıkları 100°C olarak belirlenebilir. Ayrıca daha yüksek sıcaklıklardaki dayanım özelliğini görmek adına bu çalışma 1200°C'ye kadar geliştirilebilir.
- Bu çalışmada en fazla %30 oranında kromit katkısı kullanılmıştır. Daha yüksek oranlarda kromit katkısının etkileri ayrı bir çalışmada incelenebilir.
- Bu çalışmada beton numuneleri çimento miktarı oranınca kromit katkısı ilavesi şeklinde hazırlanmıştır. Kromit katkı miktarınca çimento külesinden eksilterek oluşturulacak kromit ikameli betonların yüksek sıcaklık etkisindeki basınç dayanımı incelenebilir.
- Beton karışımında kromit ile birlikte zeolit gibi katkı maddeleri farklı oranlarda kullanılarak karışımındaki oranların yüksek sıcaklık etkisindeki betonun basınç dayanımına etkileri araştırılabilir.
- Özetle, bu çalışma kapsamında kromit katkısının betonun basınç dayanımına 400°C ve 600°C sıcaklıklarda olumlu etkisinin olduğu, katkı oranının %25'ten daha fazla olması durumunda betonun basınç dayanımında her sıcaklık kademesinde önemli oranda azalma olduğu gözlenmiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Kocataşkın, F., Yapı Malzemesi Bilimi, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000.
2. Center, K., The 1911 Triangle Factory Fire, <http://www.ilr.cornell.edu/index.html>, 22 Kasım 2017.
3. <https://shop.nationalgeographic.com/html/catalog/photogalleries/placesRemembrance/images/12.jpg>, 22 Kasım 2017.
4. Jeater, M., <https://www.museumoflondon.org.uk/discover/three-myths-you-believe-about-great-fire-london>, 12 Aralık 2017.
5. T.C. Resmi Gazete, Binaların yangından korunması hakkında yönetmelik, 26735, 19.12.2007.
6. Kızılkant, A.B. ve Yüzer, N., Compressive strength-color change relationship in mortars subjected to high temperatures, Teknik Dergi, 19,2 (2008) 4381-4392.
7. Ashrae Fundamentals, Yakacaklar ve Yanma, Tesisat Mühendisleri Derneği Teknik Yayınları:2, Bölüm 15, 1997.
8. TS EN 13501-2, Yapı Mamulleri ve Bina Elemanları – Yangın Sınıflandırması Bölüm 2: Yangına Dayanım Deneylerinden Elde Edilen Veriler Kullanılarak Sınıflandırma (Havalandırma Tesisatları Hariç), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2009.
9. TS 1263, Yapı Elemanlarının yanmaya Dayanıklılık Sınıfları ve Yanmaya Dayanıklılık Deney Metodları, 1983.
10. Khoury, G. A., Effect of fire on concrete and concrete structures. Progress in Structural Engineering and Materials, 2 (2000) 429–447.
11. Kim, S. H. ve Jeong, J. H., Measurement and prediction of coefficient of thermal expansion of concrete pavement in Georgia, Proceedings of the 92nd Transportation Research Board Annual Meeting, TRB, Washington, D.C., USA, 2013.
12. Ramakrishnan, V., Shafai, H.F. and Wu, G., Cyclic Heating and Cooling Effects on Concrete Durability, Concrete Durability, 126 (1991) 1285-1304.
13. Dubrovskii, V.B., Krasnoyarov, N.V., Kulakovskii, M.Y., Pergamenschik, B.K., Pinkhasik M.S. ve Savitskii, V.I., Use of Concretes for High-temperature Shielding of Nuclear Reactors, Atomnaya Energiya, 19,6 (1965) 524-529.

14. Khoury, G.A., Compressive Strength of Concrete at High Temperatures: A Reassessment, Magazine of Concrete Research, 44 (1992) 291-309.
15. Akman, M.S., Yapı Hasarları ve Onarım İlkeleri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, 2000.
16. Andrade, C., Alonso, C. and Khoury, G.A., Microstructure & Moisture, International Centre of Mechanical Sciences, Course on Effect of Heat on Concrete, Udine/Italy, 2003b.
17. Alonso, C., Andrade, C., Castellote, M. ve Khoury G.A., Microstructure-Solid Phases, International Centre for Mechanical Sciences, Course on Effect of Heat on Concrete, Udine/Italy, 2003a.
18. Haddad, R.H. ve Shannis, L., "Post-fire Behavior of Bond Between High Strength Pozzolanic Concrete and Reinforcing Steel," Construction and Building Materials, 18 (2004) 425-435.
19. Hager, I., Behavior of cement concrete at high temperature, Bulletin of The Polish Academy of Sciences Technical Services, 61,1, 2013.
20. Khoury, G.A., "Fire & Assessment," International Centre of Mechanical Sciences, Course on Effect of Heat on Concrete, Udine/Italy, 2003.
21. Mindeguia, J.C., Pimienta, P., Carre, H. ve Borderie C.L., On the influence of aggregate nature on concrete behavior at high temperature, European Journal of Environmental and Civil Engineering, 16,2 (2012) 236-253.
22. Robert, F. ve Colina, H., The influence of aggregates on the mechanical characteristics of concrete exposed to fire, Magazine of Concrete Research, 61,5 (2009) 11.
23. Xing, Z., Hebert, R., Beaucour, A.L., Ledesert, B. ve Noumowe, A., Influence of chemical and mineralogical composition of concrete aggregates on their behavior at elevated temperature, Materials and Structures, 2013, 1-20.
24. Alonso C., Andrade C. and Khoury G.A., Porosity and microcracking, International Centre for Mechanical Sciences, Course on Effect of Heat on Concrete, Udine/Italy, 2003b.
25. Razafinjato, R.N., Beaucour, A.L., Hebert, R.L., Ledesert, B., Bodet, R. ve Noumowe, A., High temperature behaviour of a wide petrographic range of siliceous and calcareous aggregates for concretes, In Construction and Building Materials, 123 (2016) 261-273.
26. Kalifa, P., Menneteau, F.D. and Quenard D., "Spalling and Pore Pressure in HPC at High Temperatures," Cement and Concrete Research, 30 (2000) 1915-1927.

27. Neville, A.M., Properties of Concrete, Fourth Edition, Longman Scientific and Technical, New York/USA, 2000.
28. Poon, C.S., Shui, Z.H. and Lam, L., "Compressive Behavior of Fiber Reinforced High Performance Concrete Subjected to Elevated Temperatures," Cement and Concrete Research, 34 (2004) 2215-2222.
29. Chan, Y.N., Lou, X. and Sun, W., "Compressive Strength and Pore Structure of High Performance Concrete after Exposure to High Temperature up to 800°C," Cement and Concrete Research, 30 (2000) 247-251.
30. Concrete Society, Assessment and repair of fire-damaged concrete structures, Technical Report No.33, 1990.
31. Riley, M.A., "Possible New Method for the Assessment of Fire Damaged Concrete," Magazine of Concrete Research, 43 (1991) 87-92.
32. Zoldners, N.G., Effect of High Temperatures on Concrete Incorporating Different Aggregates, Proceedings, ASTM, 60 (1960) 1087-1108.
33. Cruz, C.R., Apparatus for measuring creep of concrete at high temperatures, Journal of the PCA Research and Development Laboratories, 10,3 (1968) 36-42.
34. Harmathy, T.Z., Thermal properties of concrete at elevated temperatures, Journal of Materials, 5, 1 (1960) 47-74.
35. CEB, Bulletin D'Information, Fire Design of Concrete Structures, Lausanne, 1991.
36. Hossler, D., Dorn, T. ve Richter, E., Evaluation of simplified calculation methods for structural fire design, Fire Safety Journal, 22,3 (1994) 249-304.
37. Khennane A. ve Baker, G., A uniaxial model for the thermo-mechanical behavior of concrete at elevated temperatures, Research Report No.CE104, University of Queensland, Australia, 1989.
38. Mehta, P.K. ve Monterio, P.J.M., Concrete: microstructure, properties, and materials, McGraw-Hill, New York, NY, USA, 2006.
39. Ma, Q., Guo, R., Zhao, Z., Lin, Z. ve He, K., mechanical properties of concrete at high temperature-a review, Construction and Building Materials, 93, (2015) 371-383.
40. Bazant, Z.P. ve Kaplan, M.F., Concrete at High Temperatures, Longman Group Limited, London, 1996.
41. Mindess, S., Young, J.F. ve Darwin, D., Concrete, Pearson Education, Upper Saddle River, NJ, USA, 2003.

42. Khaliq, W. ve Kodur, V., High temperature mechanical properties of high strength fly ash concrete with and without fibers, ACI Materials Journal, 109 (2012) 665-674.
43. Reddy, D.H. ve Ramaswamy, A., "Influence of Mineral Admixtures and Aggregates on Properties of Different Concretes under High Temperature Conditions I: Experimental Study, Journal of Building Engineering, 14 (2017) 103-114.
44. Shah, S.P., Do fibers increase the tensile strength of cement-based matrixes?, ACI Materials Journal, 88 (1991) 595-602.
45. Martins, D.J., Correia, J.R. ve Brito, J. "The effect of high temperature on the residual mechanical performance of concrete made with recycled ceramic coarse aggregates," Fire and Materials, 40 (2016) 289-304.
46. Kodur, V.K.R., Behavior of high strength concrete-filled steel columns exposed to fire, Proceedings, Annual Conference-Canadian Society of Civil Engineering, 7 (1997) 183-192.
47. Lankard, D.R., Birkimer, D.L., Fondriest, F.F. ve Snyder, M.J., Effect of moisture content on the structural properties of portland cement concrete exposed to temperatures up to 500°F, ACI, Special Publication, 25 (1971) 58-102.
48. CIB W14 Report, Reparability of fire damaged structures, Fire Safety Journal, 1990, 16,4.
49. Purkiss, J.A., A study of the behavior of concrete heated to high temperatures under restraint or compressive load, Doktora Tezi, University of London, 1972.
50. Lie, T.T., Fire resistance of buildings, Natural Research Council of Canada, Ottawa, Technical translation No.1334, 1968.
51. Sullivan, P.J.E. ve Sharshar, R., The performance of concrete at elevated temperatures (as measured by the reduction in the compressive strength), Fire Technology, 1992, 240-250.
52. Harada, T., Takeda, J., Yamane, S. ve Furumura, F., Strength, elasticity and thermal properties of concrete subjected to elevated temperatures, ACI, Special Publication 34 (1971) 377-406.
53. ASTM C618-12, "Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.
54. Erdoğan, T.Y., Beton, ODTÜ Yayıncılık, Ankara, 2003.
55. Ramachandran, V.S., Concrete Admixtures Handbook, Noyes Publication, New Jersey, USA, 1995.

56. Anon, "An Investigation of the Pozzolanic Nature of Coal Ashes," Engineering News, 71, 24 (1914) 1334-1335.
57. Davis, R.E., Carlson, R.W., Kelly, J.W. and Davis, H.E., "Properties of Cements and Concretes Containing Fly Ash," Journal of the American Concrete Institute, 33 (1937) 577-611.
58. Vu, D.D., "Strength Properties of Metakaolin-blended Paste, Mortar and Concrete," Doctoral Thesis, Hanoi Polytechnic University Civil Engineering and Geosciences Faculty, Vietnam, 2002.
59. Kostuch, J.A., Walters, G.V and Jones, T.R., "High Performance Concretes Incorporating Metakaolin – a review," Concrete 2000, University of Dundee, 1993, 1799–1811.
60. Malhotra, V.M. and Carette, G.G., "Silica Fume Concrete – Properties, Applications, and Limitations," Concrete International, 5 (1983) 40-46.
61. Daş, B., Arık, F., Öztürk, A. ve Altay, O., "Krom Madenciliği ve Geçmişten Günümüze İnsanlık Tarihi Üzerindeki Etkileri," Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, 1, 2, 2012.
62. Burut, Y., Kırıkoğlu, S. ve Suner, F., Maden Yatakları El Kitabı, İTÜ, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Maden Yatakları – Jeokimya ABD, İstanbul, 1990.
63. Tahtakıran, E., Kromit, Ferrokrom ve Paslanmaz Çelik Sektörlerine Genel bir bakış, Ulaşımında yer altı kazıları sempozyumu, 2007, İstanbul.
64. Karahan, S. ve Özkan, Y.Z., "Türkiye Krom Madenciliğinde Güncel Eğilimler ve Yeni Arayışlar," Türkiye 22. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, Ankara, 2011.
65. Pariser, H.H., Global chromite resources map, Department of Mineral Resources, South Africa, http://mininggeology.blogspot.com.tr/2015/05/igneous_5.html, 23 Kasım 2017.
66. Kolaylı, H., Kop Dağları (Erzincan, Erzurum, Bayburt) ultramafik ve mafik kayalarının jeolojik, petralojik ve metallojenik incelemesi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1996.
67. http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b_h/krom.jpg, 1 Aralık 2017.
68. Hüsem, M., "The Effects of High Temperature on Compressive and Flexural Strengths of Ordinary and High-Performance Concrete," Fire Safety Journal, 41 (2006) 155-163

69. Sancak, E., Sarı, Y.D. ve Şimşek, O., "Effect of elevated temperature on compressive strength and weight loss of the light-weight concrete with silica fume and superplasticizer," Cement and Concrete Composites, 30,8 (2008) 715-721.
70. Khandaker, M.A.H., "High Strength Blended Cement Incorporating Volcanic Ash: Performance at High Temperatures," Cement and Concrete Composites, 28, 6 (2006) 535 – 545.
71. Khan, M.S., Prasad, J. and Abbas, H., "Effect of High Temperature on High – Volume Fly Ash Concrete," Arabian Journal for Science and Engineering, 38,6 (2013) 1369-1378.
72. Jawed, A., Vashsith, V. and Sharma, B., "Effect of High Temperature on Fly Ash Concrete," SSRG International Journal of Civil Engineering (SSRG – IJCE), 4,6 (2017) 50-53.
73. Justice J.M, Kennison L.H, Mohr B.J., Beckwith S.L, McCormick L.E, Wiggins B., Zhang Z.Z, and Kurtis K.E, "Comparison of Two Metakaolins and a Silica Fume Used as Supplementary Cementitious Materials," ACI Special Publication, 228 (2005) 213-236.
74. Murali G, Sruthee P, "Experimental Study of Concrete with Metakaolin as Partial Replacement of Cement," International Journal Emerging Trends in Engineering and Development, 2,4 (2012) 344-348.
75. Ibrahim, K.I.M., "The Effect of Heat on the Compressive Strength of Silica Fume Concrete (SFC)," IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR – JMCE), 13 (2016) 24-28.
76. Khalid, R., Ramyar, K., Hamid, R. and Taha, M., "The Effect of High Temperature on Mortars Containing Silica Fume," Journal of Applied Sciences, 11 (2011)2666-2669.
77. Siddique, R. and Kaur, D., "Properties of Concrete Containing Ground Blast Furnace Slag (GGBFS) at Elevated Temperatures," Journal of Advanced Research, 3,1, (2012) 45 – 51.
78. Esen, Y. and Kurt, A., "Effect of High Temperature in Concrete for Different Mineral Additives and Rates," KSCE Journal of Engineering 22,4 (2017) 1-7.
79. Mesci, B. ve Eleveli, S., "Recycling of Chromite Waste for Concrete: Full Factorial Design Approach," International Journal of Enviromental Research, 6,1 (2011) 145-150.
80. Reddy, D.H. ve Ramaswamy, A., Influence of mineral admixtures and aggregates on properties of different concretes under high temperature conditions I: experimental study, Journal of Building Engineering, 14 (2017) 103-114.

81. Anand, N., Antony, G.I. ve Prince, A.G., "Influence of Mineral Admixtures on Mechanical Properties of Selc-Compacting Concrete under Elevated Temperature," Fire and Materials, 40, 7, (2016) 940-958.
82. Xuan, D., Zhan, B. ve Poon C.S., "Thermal and residual mechanical profile of recycled aggregate concrete prepared with carbonated concrete aggregates after exposure to elevated temperatures," Fire and Materials, 42,1 (2017) 134-142.
83. Shaikh, F.U.A., "Mechanical properties of concrete containing recycled coarse aggregate at and after exposure to elevated temperatures," Structural Concrete, 19,2 (2018) 400-410.
84. Al-Jabri, K.S., Waris, M.B. ve Al-Saidy, A.H., "Effect of aggregate and water cement ratio on concrete properties at elevated temperature," Fire and Materials, 40,7 (2016) 913-925.
85. Hager, I., Tracz, T., Sliwinski, J. ve Krzemien, K., "The influence of aggregate type on physical and mechanical properties of high performance concrete subjected to high temperature," Fire and Materials, 40,5 (2016) 668-682.
86. Bingöl, A.F. ve Gül, R., "Effect of elevated temperatures and cooling regimes on normal strength concrete," Fire and Materials, 33 (2009) 79-88.
87. Shaikh, F.U.A. ve Vimonsatit, V., "Compressive strength of fly-ash-based geopolymer concrete at elevated temperatures," Fire and Materials, 39 (2015) 174-188.
88. Arioç, O., "Retained properties of concrete exposed to high temperatures: Size effect," Fire and Materials, 33 (2009) 211-222.
89. TS 706 Beton Agregaları, TSE, Ankara, 2009.
90. TS 802 Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, TSE, Ankara, 2009.
91. TS EN 12390-3 Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, TSE, Ankara, 2003.

ÖZGEÇMİŞ

Yusuf PARLAYAN 1989'da Trabzon'da doğdu. İlköğretim ve lise eğitimini Trabzon'da tamamladı. 2012 yılında Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 2014 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans yapmaya hak kazandı. İyi derecede İngilizce bilmektedir.

