

T.C.
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

PERLİT İLE ÜRETİLMİŞ BETONUN YÜKSEK
SICAKLIKLARDA BASINÇ VE EĞİLME DAYANIMLARININ
İNCELENMESİ

Akif Berke ÖZTÜRK

Danışman: Doç. Dr. Atila KUMBASAROĞLU

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

ERZİNCAN

2024

Her Hakkı Saklıdır.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PERLİT İLE ÜRETİLMİŞ BETONUN YÜKSEK SICAKLIKLARDA BASINÇ VE EĞİLME DAYANIMLARININ İNCELENMESİ

Akif Berke ÖZTÜRK

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Atila KUMBASAROĞLU

Çalışmanın amacı geleneksel beton yapımında kullanılan taş agregası yerine perlit agregası kullanılarak oluşturulan ve yangın deneylerine maruz bırakılan numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesidir. Bu kapsamda 10×10×40 cm boyutlarında toplamda 48 adet dikdörtgen prizma numunesi ve 15×15×15 cm boyutlarında 48 adet kübik numune toplamda 96 adet beton numune üretilmiştir. Beton numuneler 25 ve 40 MPa olmak üzere iki farklı sınıfta üretilmiş olup, 200°C, 400°C ve 600°C sıcaklık değerlerine maruz bırakılmıştır. Yanma dayanımlarının araştırılması için belirtilen sıcaklıklara maruz bırakılan numuneler üzerinde kütle kaybı, ultra ses geçiş hızı, basınç dayanımı, elastisite modülü ve basit eğilme deneyi gibi tahribatlı ve tahribatsız yöntemlerce incelenerek mekanik ve fiziksel özellikleri karşılaştırılmıştır.

2024, 36 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Basınç dayanımı, durabilite, eğilme, yanma dayanımı.

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF COMPRESSIVE AND FLEXURAL STRENGTHS OF CONCRETE PRODUCED WITH PERLITE AT HIGH TEMPERATURES

Akif Berke ÖZTÜRK

Erzincan Binali Yıldırım University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Atila KUMBASAROĞLU

When the existing literature is examined, it can be seen that many studies have been carried out to improve the mechanical properties of concrete by using waste or additive materials with different mechanical and physical properties in various proportions instead of the conventional aggregate used in concrete production. The aim of the study is to investigate the physical and mechanical properties of the specimens formed by using perlite aggregate instead of stone aggregate used in traditional concrete construction and exposed to fire tests. In this context, a total of 48 rectangular prism specimens with dimensions of 10×10×40 cm and 48 cubic specimens with dimensions of 15×15×15 cm, totaling 96 concrete specimens were produced. Concrete specimens were produced in two different grades of 25 and 40 MPa and exposed to 200°C, 400°C and 600°C temperature values. In order to investigate the combustion resistance of the specimens exposed to the specified temperatures, their mechanical and physical properties were compared by destructive and non-destructive methods such as mass loss, ultrasound transmission rate, compressive strength, modulus of elasticity and simple bending test.

2024, 36 Pages

Keywords: Bending, compressive strength, durability, fire resistance.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca desteklerini bir an olsun üzerimden esirgemeyen, bilgi ve tecrübeleriyle yolumu aydınlatıp, ufkumu açan çok değerli bilim insanı danışman hocam Sn. Doç. Dr. Atila KUMBASAROĞLU'na, çok değerli hocam Sn. Prof. Dr. Hakan YALÇINER hocama, Arş. Gör. Dr. Ahmet İhsan TURAN'a, Arş. Gör. Alper ÇELİK'e, ve maddi manevi her zaman beni destekleyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Akif Berke ÖZTÜRK

Temmuz, 2024

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	8
3. KURAMSAL TEMELLER.....	12
3.1. Hafif Beton.....	12
3.2. Betonarme ve Yangın	13
3.3. Ultrases geçiş hızı (UGH).....	15
4. MATERYAL ve YÖNTEM	16
4.1. Materyal.....	16
4.1.1. Malzeme ve kesit özellikleri	16
4.2. Yöntem	19
4.2.1. Yüksek sıcaklık deneyi	19
4.2.2. Kütle kaybı deneyi.....	20
4.2.3. Ultrases geçiş hızı (UGH) deneyi.....	20
4.2.4. Gerilme-birim şekil değiştirme deneyi	21
4.2.5. Renk değişimi.....	22
4.2.6. Dört noktadan eğilme deneyi	22
5. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	24
5.1. Betonun Malzeme ve Fiziksel Özellikleri	24
5.1.1. Kütle kaybı deneyi.....	24
5.1.2. Ultrases geçiş hızı (UGH) deneyi.....	25
5.1.3. Gerilme-birim şekil değiştirme deneyi	25
5.1.4. Dört noktadan eğilme deneyi	29
5.1.5. Renk değişimi.....	30

6. SONUÇLAR.....	31
KAYNAKLAR.....	32



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Büyük aktif fay hatlarının hareket yönlerini gösteren Türkiye tektonik haritası. (Şekil Barka (1992) ve Rockwell vd., (2001)) değiştirilmiştir.....	1
Şekil 1.2. AFAD deprem haritası (AFAD 2024).....	2
Şekil 1.3. Dünyada ve Avrupa Hazır Beton Birliği'ne (ERMCO) üye ülkelerde yıllara göre hazır beton üretimi (milyon m ³).....	3
Şekil 1.4. Korozyona maruz kalan betonarme yapının beton pas payının dökülmeye yol açması (Yalçiner vd., 2011).	6
Şekil 1.5. Yangına maruz kalan betonarme yapının kolon ve kirişlerinde betonun işlevini yitirerek dökülmesi (Sandberg, 2024).....	6
Şekil 3.1. Hafif betonların sınıflandırılması (Mindess ve Hall, 1981).	13
Şekil 3.2. Normal dayanımlı betonun sıcaklık etkisi altındayken elastisite modülü ile ilişkisi (Yamazaki vd., 1995).....	15
Şekil 4.1. (a) Üretilen deney numuneleri (b) malzeme kesit özellikleri.	16
Şekil 4.2. Ön deney çalışmalarına ait görseller (a) Doğal perlit agregasının elenmesi (b) Elenmiş perlit agregaları (c) Mikser yardımıyla betonun hazırlanması (d) Kalıba yerleştirilen betonlar (e) Dökülen betonların kürlenmesi (f) Beton basınç dayanımı testi.	17
Şekil 4.3. Üretilen numunelere ait akış şeması (a) Geleneksel beton için (b) Perlitli beton için.....	18
Şekil 4.4. Etüve yerleştirilen numuneler.....	19
Şekil 4.5. Yüksek sıcaklık için kullanılan büyük deney fırını.	19
Şekil 4.6. Isıl işlem öncesi ve sonrası tartımlar (a) Isıl işlem sonrası tartım (b) Isıl işlem sonrası tartım.	20
Şekil 4.7. UGH deneyi: (a) deney düzeneği şematik gösterimi (b) deney düzeneği.	21
Şekil 4.8. Gerilme-birim şekil değiştirme: (a) şematik gösterimi, (b) deney düzeneği..	22
Şekil 4.9. Basit eğilme deneyi: (a) şematik gösterimi, (b) deney düzeneği.	23
Şekil 5.1. Kütle kaybı deney sonuçları.	24
Şekil 5.2. Yüksek sıcaklık sonrası numunelerin basınç dayanımları: a) C25-P25 numuneleri, b) C40-P40 numuneleri.....	26

Şekil 5.3. Sıcaklık etkisiyle numunelerin basınç dayanımlarının yüzdelik azalmaları. .	27
Şekil 5.4. Oda sıcaklığındaki numunelerin deney sonuçları.	27
Şekil 5.5. 200°C'ye maruz kalmış numunelerin deney sonuçları.	28
Şekil 5.6. 400°C'ye maruz kalmış numunelerin deney sonuçları.	28
Şekil 5.7. 600°C'ye maruz kalmış numunelerin deney sonuçları.	29
Şekil 5.8. Numunelerin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası renk değişimleri.	30



TABLÖLER LİSTESİ

Sayfa

Tablo 1.1. Dünya perlit rezervleri ve dağılımları (USGS 2010-2020, 2011).....	4
Tablo 1.2. 2017 Dünya perlit üretimi verileri, perlit yataklarının durumu, işletmeciliği ve geleceği (İMİB, 2017).	4
Tablo 2.1. Yüksek sıcaklığın beton üzerindeki etkisinin araştırılması hakkındaki çalışmalar.	11
Tablo 4.1. Farklı tip betonlar için karışım oranları.	17
Tablo 5.1. Yüksek sıcaklığın beton üzerindeki etkisinin araştırılması hakkındaki çalışmalar.	25
Tablo 5.2. Eğilme dayanımı deney sonuçları.	29
Teorem 3.1. Hooke kanunu.	14
Teorem 4.1. Sıcaklığa bağlı sıcaklık değişim formülü.	20
Teorem 4.2. Ultrases geçiş hızlarının hesaplanması.	21
Teorem 4.3. Eğilme gerilmesi hesaplamaları için kullanılan teorem.	23

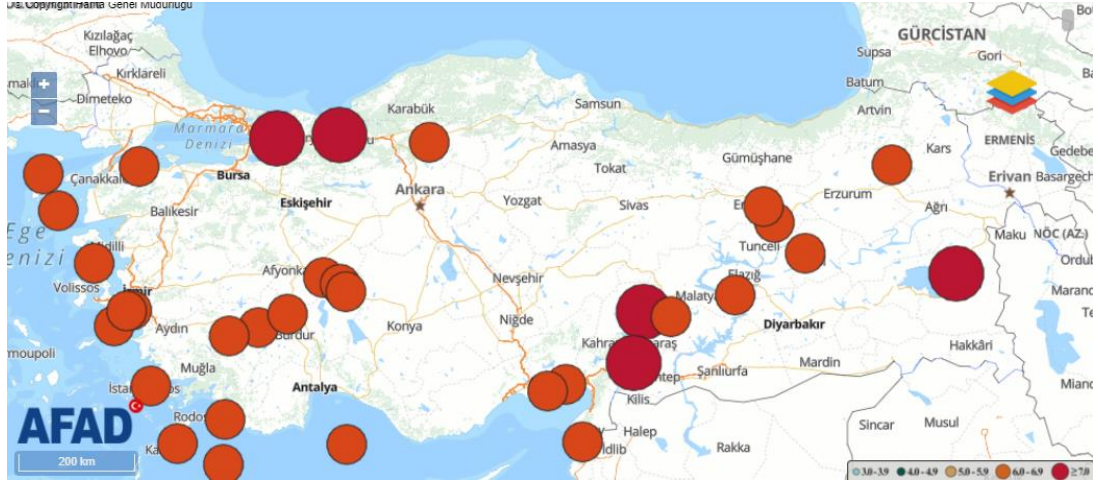
SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

W_K	Ağırlık Kaybı
σ	Gerilim
ε	Gerinim
W_i	İlk Ağırlık
$^{\circ}C$	Santigrat Derece
W_S	Son Ağırlık
E	Young Modülü
%	Yüzde

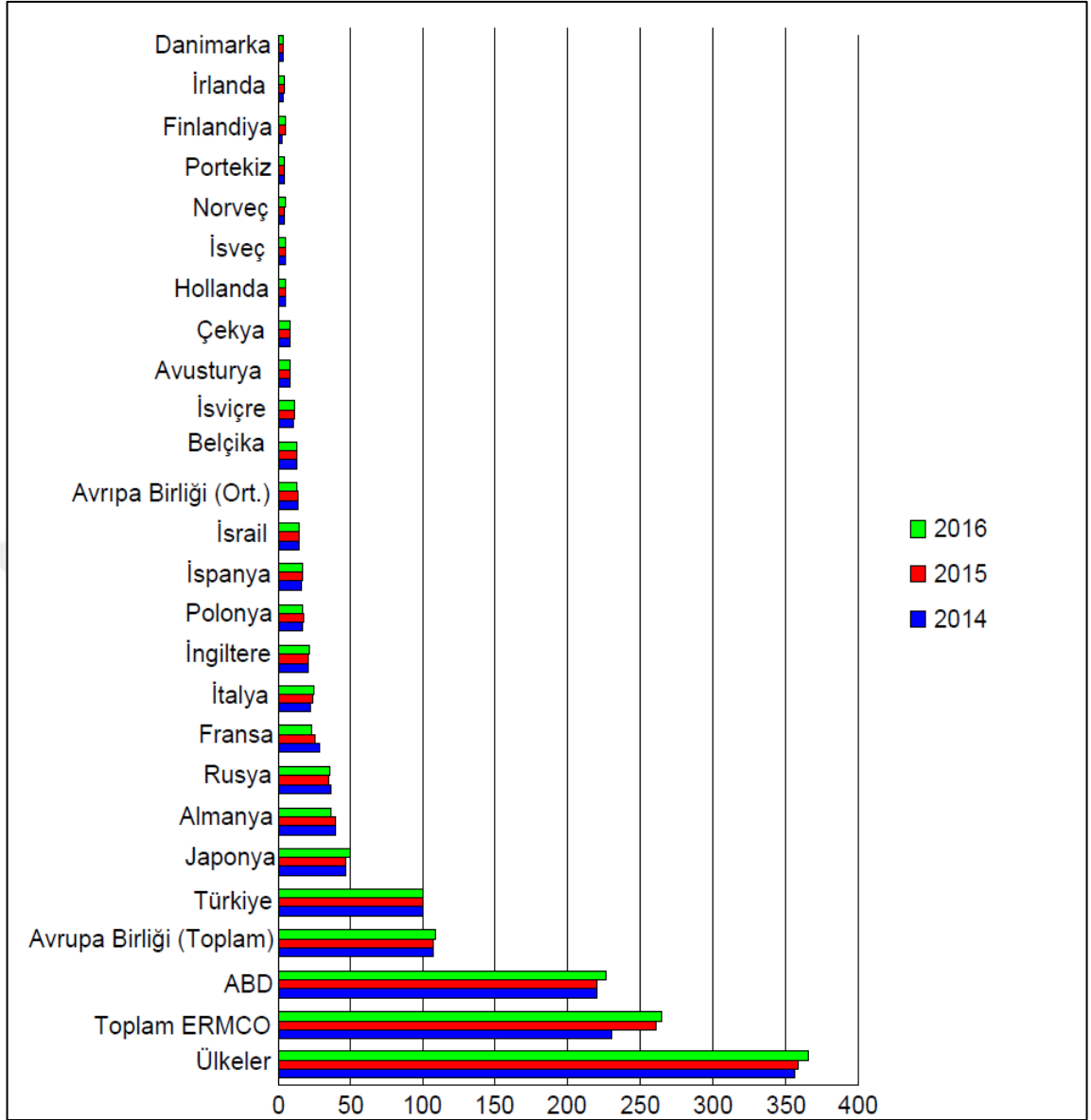
Kısaltmalar

AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı
USGS	Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırması
ACI	Amerikan Beton Enstitüsü
ASTM	Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
ERMCO	Avrupa Hazır Beton Birliği
LVDT	Doğrusal Değişken Diferansiyel Transformatörler
BS	İngiliz Standardı
İMİB	İstanbul Maden İhracatçıları Birliği
TS-EN	Türk Enstitüleri Avrupa Normu
UPV	Ultra Geçiş Hızı



Şekil 1.2. AFAD deprem haritası (AFAD 2024).

Elde edilen veriler yapıların yetersiz malzeme ve işçilik koşulları altında üretildiğini vurgulamaktadır (Filián ve Montero, 2017; Ates vd., 2013; Demir vd., 2021). Bu durum ülkemizin inşaat sektöründe kullanılacak malzemelerin özellikle beton üretimi ve yapı malzemeleri konularında hızlı gelişmeler için zemin hazırlamıştır. Bu gelişmelerin başında da beton üretiminde ekonomi ve sürdürülebilirlik olgularını temel alan, hayati bir rol oynayan geleneksel agregalara alternatif, yenilikçi malzemelerin kullanılması yer almaktadır. Bu kapsamda beton üretiminde kullanılan geleneksel agregaların yerini alabilecek ve Türkiye'nin kendi kaynaklarıyla üretilebilecek beton üretimine henüz geçilememiştir. Dünya genelinde mevcut yapı stoklarının genel olarak betonarme yapılardan oluştuğu bilinmektedir. Bu durumun doğal bir sonucu olarak da Şekil 1.3'te sayısal olarak da görüldüğü üzere beton üretimi ve kullanımı giderek artmaktadır.



Şekil 1.3. Dünyada ve Avrupa Hazır Beton Birliği'ne (ERMCO) üye ülkelerde yıllara göre hazır beton üretimi (milyon m³).

Çalışma kapsamında geleneksel agregaya alternatif olabileceği düşünülen perlit rezervlerinin büyük bir bölümünün Türkiye topraklarında olduğu bilinmektedir (Tablo 1.1). Ancak, bu yüksek rezervlere rağmen Türkiye, perlit üretim ve ithalat rakamlarına bakıldığında, dikkat çekici bir şekilde listenin üst sıralarında yer alamamaktadır. Perlit kullanımının sadece kiremit ve sıva üretimine odaklandığı algısı, perlit madeni için yenilikçi çalışmaların gelişimine engel olmuştur.

Tablo 1.1. Dünya perlit rezervleri ve dağılımları (USGS 2010-2020, 2011).

Ülkeler	Rezerv ($\times 10^6$ ton)	Pay (%)
Yunanistan	120	17.14
Türkiye	57	8.14
ABD	50	7.14
Macaristan	49	7.00
Diğer	424	60.57
Toplam	700	100

Tablo 1.1’de verilen bilgiler doğrultusunda Türkiye 2010 yılı verilerine göre dünyadaki toplam perlit maden rezervinin %8’ine sahiptir. Tablo 1.2’de verilen 2017 verilerine göre dünyada toplam 4430 katrilyon ton perlit üretimi gerçekleşmiştir.

Ülkemiz dünya perlit rezervi bakımından yüzde 8’lik bir dilime sahip olsa da perlit üretimi açısından büyük bir paya sahiptir. Dünya perlit üretimi Çin, Türkiye, Yunanistan ve ABD etrafında yoğunlaşmıştır ve toplam üretimin %95’ini bu dört ülke gerçekleştirmektedir. Kritik ülke sayısı 4 olarak tespit edilmiştir. Türkiye toplam üretimin %23’ünü sağlamaktadır.

Tablo 1.2. 2017 Dünya perlit üretimi verileri, perlit yataklarının durumu, işletmeciliği ve geleceği (İMİB, 2017).

Ülkeler	Rezerv ($\times 10^6$ ton)	Pay (%)
Çin	120	17.14
Türkiye	57	8.14
Yunanistan	50	7.14
ABD	570.00	12.87
Ermenistan	45.00	1.02
Macaristan	42.20	0.95
Yeni Zelanda	25	0.56
Iran	20	0.45

Tablo 1.2. (Devamı).

Meksika	20	0.45
Filipinler	19	0.43
Slovakya	18	0.41
Arjantin	17	0.38
Tayland	16	0.36
Bulgaristan	5.00	0.11
Avustralya	1.00	0.02
G. Afrika	1.00	0.02
Zimbabve	1.00	0.02
Toplam	4430.00	100

Betonarme yapılar servis ömürleri sürecinde sismik hareketlilik ile ortaya çıkan olumsuzluklara ek olarak birçok dış etkiye maruz kalması (korozyon, yangın vb. hasarlar) tasarım aşamasında öngörülen performans seviyelerinden uzaklaşmasına sebep olmaktadır. Şekil 1.3'te Yalçiner vd., (2011) tarafından yürütülen çalışmada tespit edilen korozyon hasarına ve Şekil 1.4'te Sandberg (2024) gerçekleştirmiş olduğu saha çalışmasındaki yangın hasarına ait görseller verilmiştir.



Şekil 1.4. Korozyona maruz kalan betonarme yapının beton pas payının dökülmeye yol açması (Yalçiner vd., 2011).



Şekil 1.5. Yangına maruz kalan betonarme yapının kolon ve kirişlerinde betonun işlevini yitirerek dökülmesi (Sandberg, 2024).

Genel olarak, yangınların yapılar üzerindeki etkileri ciddi sonuçlar doğurabilir. Bu nedenle yangın güvenliği, yapı mühendisliği ve inşaat sektöründe önemli bir öncelik haline gelmiştir. Bu alanda yapılan araştırmalar, yangın risklerini azaltarak can ve mal kayıplarının önüne geçilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

Tez çalışması kapsamında beton yapımında kullanılan geleneksel agrega yerine doğal perlit agregası kullanımının farklı sıcaklık etkileri altında mekanik ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda üretilmiş olan prizmatik kiriş ve küp numuneler yangın deneylerine ek olarak basınç dayanımı, dört noktadan eğilme

deneyi, kütle kaybı ve ultrases geçiş hızı deneylerine tabi tutularak doğal perlit agregasının geleneksel agrega yerine kullanılabilirliği incelenmiştir.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Betonun kullanım süresi boyunca çeşitli etkilere maruz kalması malzeme mekanik özelliklerinde bozulmalara sebep olmaktadır. Bu dış etkilere birisi de tasarım aşamasında dikkate alınmayan yangın etkisidir. Yapılarda olası yangın durumu dikkate alınmadan yapılan hatalı imalat ve işçilik sonucu, can ve mal kayıpları kaçınılmaz olabilir. Bu bağlamda betonarme taşıyıcı sisteme sahip yapıların yangın başarımının hesabı ve yangına göre tasarımı için halihazırda birçok standart ve yönetmelik bulunmaktadır. (TS EN 1992-1-2, 2005; BS 8110: Part2, 1989; ACI 216R-89, 1994; ACI 216.1-14, 2014; ASTM E119-08, 2008; BS476: Part20, 1987; BS 476: Part22, 1987). Belirtilen teknik raporlar/şartnameler olmasına rağmen betonarme yapıların tasarımında bu açıdan halen eksikliklerin olduğu bilinmektedir.

Beton üretiminde kullanılan ince ve iri agregaların büyük bir bölümü deniz veya nehir gibi doğal kaynaklardan karşılandığı bilinmektedir. Kentleşmeyle birlikte betona olan ihtiyacın artması ile agrega temini konusunda sıkıntılar yaşanmaktadır (Laserna ve Montero, 2016; Rashad, 2016). Bu duruma ek olarak betonun önemli bir hammaddesi konumunda olan çimentonun üretimi için yüksek enerji gereksinimi ve ekolojik anlamda meydana olumsuzluklar araştırmacıları bu duruma çözüm bulma arayışına yöneltmiştir. Bu amaçla gerçekleştirilen Tablo 2.1’de özetlenen çalışmalarda iri agrega, ince agrega ve çimento yerine çeşitli atık/katkı malzemeleri kullanılarak betonun yüksek sıcaklık etkisi altında meydana gelen mekanik ve fiziksel değişimler incelenmiştir.

Eken tarafından yürütülen çalışmada beton üretiminde kullanılan ince agrega yerine %10-20 oranında fırın cürufu, %10-20 oranında bazalt ve %1-2 oranında üleksit ilave edilmiştir. İki farklı sıcaklık (600-800 °C) etkisinde yürütülen deneyler sonucunda numuneler üzerinde basınç dayanımı ve ultrasonik dalga hızı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deney verilerinden ince agrega yerine üleksit ve fırın cürufu kullanımının yüksek sıcaklık etkilerine karşı dayanıklı olduğunu belirtilmiştir (Eken ve Avşaroğlu, 2021).

Bir diğer çalışma ise Yaltay ve Ekinci (2013) tarafından gerçekleştirilmiştir. İlgili deneysel çalışmada iri ve ince agrega olarak pomza malzemesi, çimentonun çeşitli oranları (0.4, 0.6, 0.8, 1 ve 2 %) yerine ise mineral bakımından oldukça zengin bir bor

çeşidi olan kolemanit madeni kullanılmıştır. Çalışma kapsamında üretilen küp numuneleri 400, 600 ve 800 °C yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmıştır. Yaltay ve Ekinci (2013) sıcaklık etkisinin artmasıyla birlikte tüm numunelerin hem beton basınç dayanımında azalma hem de ağırlık kaybına uğradığını belirtmiştir. Betonun yüksek sıcaklık etkisine maruz kalmasıyla meydana gelebilecek performans kayıplarının önüne geçmek amacıyla beton içeriğine çeşitli oranlarda fiber (polipropilen lif, karbon lif, plastik-cam bazlı lif ve çelik lifler) malzemeler eklenmektedir. Mevcut literatür incelendiği zaman bu amaçla gerçekleştirilen birçok deneysel çalışma yer almaktadır (Serrano vd., 2016; Shihada, 2011; Huang vd., 2022; Grubeşu vd., 2018).

Bu çalışmalardan birisi Lee vd. (2012) tarafından gerçekleştirilen deneysel çalışmadır. İlgili çalışmada polipropilen lif ve plastik lif kullanımının 200 ve 250 °C arasında değişen sıcaklık etkisine maruz kalan numunelerin basınç dayanımındaki azalma ve kabuk betondaki hasar durumları incelenmiştir. Lee vd. (2012) çalışma sonucunda her iki fiber malzemesinin %0.025 eş kombinasyon oranında kullanımının mekanik özellikler dikkate alındığında optimum sonuçlar elde edildiğini belirtmiştir. Beton karışımına lif katkısı eklenerek yangın direncinin incelendiği bir diğer çalışma da ise Shidada (2011) üretmiş olduğu numunelere 0, 0.5 ve %1 oranlarında polipropilen lif eklemiştir. Numuneler 200, 400 ve 600 °C sıcaklık etkilerine maruz bırakıldıktan sonra basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Shidada (2011) elde etmiş olduğu sonuçlara göre polipropilen lif kullanımının lif kullanılmayan numunelere göre daha avantajlı sonuçlar ortaya çıkardığını ve ek olarak segregasyon sorunlarının önüne geçilmesi amacıyla en optimum oranın ise %0,5 oranında lif kullanımı olduğunu belirtmiştir.

Moosaei vd. (2022) tarafından yürütülen deneysel çalışmada diğer çalışmalardan farklı olarak çelik lif, cam lif ve polipropilen lifler çimento ağırlığının %0.5-2'si oranında karıştırılarak numunelere eklenilmiştir. Moosaei vd. (2022) tarafından üretilen numuneler 200-800 °C aralığında değişen sıcaklık etkilerine maruz bırakılmıştır. Moosaei vd. (2022) beton basınç dayanımı ve eğilme deneyleri sonucunda elde etmiş oldukları verilerden %0.5 cam lif kullanımının en optimum sonuçları verdiğini (geleneksel numuneye göre basınç dayanımını %117 eğilme dayanımını %145 oranında arttırdığı) belirtmiştir.

Subaşı vd. (2011) tarafından deneyleri yürütülen çalışmada üretilen numunelerin çimento içeriğinin farklı oranları (%5-10-20) yerine uçucu kül ilave edilerek 40 × 40 × 160 mm

boyutlarında numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler 100-600°C arasında değişen sıcaklık etkilerine maruz bırakılmışlardır. İlgili çalışmada deney sonuçlarından %5 oranında uçucu kül kullanılması betonun mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştirdiğini belirtmiştir. Ek olarak %10 uçucu kül kullanılması ile de yüksek sıcaklıklardaki hasar düzeyini sınırladığını belirtmiştir.

Mevcut literatürde elde edilen deney sonuçlarının yapay sinir ağları modellenerek tahmin ettirmeye çalışıldığı çalışmalarda mevcuttur. Bunlarda birisi Yaprak ve Karacı (2009) tarafından gerçekleştirilmiş çalışmadır. İlgili çalışmada beton bileşenine 0.9, 1.35 ve 1,8 kg/m³ oranlarında polipropilen lif eklenmiş numuneler 20, 400, 600 ve 800 °C sıcaklık etkilerine maruz bırakılmıştır. Hasbi deneysel olarak elde etmiş oldukları basınç dayanımlarını yapay sinir ağları yöntemi kullanarak tahmin ettirmeye çalışmıştır. Analiz sonuçlarından elde edilen model verilerinin deneysel verileri tahmin etmede hata oranlarının %0-3.5 arasında değiştiğini belirtmiştir.

Genellikle uçucu kül ve fırın cürufu kullanılarak üretilen geopolimer betonların geleneksel betona göre ekolojik anlamda sağladığı avantajları vardır (Çakmak ve Uysal, 2021). Geopolimer beton üretiminde hem atık/alternatif malzemelerin kullanımı hem de diğer üretim süreçlerindeki enerji ihtiyacı sonucu ortaya çıkan karbondioksit emisyonun geleneksel betona göre 6 kat daha az olduğu belirtilmektedir (Davidotis, 2002).

Geopolimer betonların yüksek sıcaklık etkisiyle bozulan mekanik ve fiziksel özelliklerini tespit etmeye yönelik çalışmalar oldukça sınırlıdır (Gültekin vd., 2022). Bu çalışmalardan birisi Gültekin vd. (2022) tarafından farklı agrega tipleri (kireçtaşı, dere, bazalt ve cüruf agregaları) kullanılarak üretilen geopolimer betonların yüksek sıcaklık (600 ve 900°C) etkilerinin incelendiği çalışmadır. Gültekin deney verilerinden kireçtaşından üretilen numunelerin 900°C yüksek sıcaklık etkisine karşı koyamadığı, diğer numunelerin ise basınç dayanımlarının %32.9-53.6 oranında azaldığını tespit edilmiştir.

Tablo 2.1. Yüksek sıcaklığın beton üzerindeki etkisinin araştırılması hakkındaki çalışmalar.

Yazar	Araştırma Konusu	Ana Parametreler	Eleman Tipi
(Xiao vd., 2004)	Betonun yüksek sıcaklık etkisi altındaki performansının incelenmesi	Yüksek sıcaklıklarda (60°C, 200°C, 400°C, 450°C, 600°C, 800°C) betonun mekanik ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi.	Küp, prizmatik donatısız kiriş
(Sakr vd., 2005)	Yüksek sıcaklığın betonun fiziksel, mekanik ve radyasyon özelliklerine etkisinin incelenmesi	Farklı sürelerde farklı yüksek sıcaklıklar (1, 2 ve 3 saat) (250°C, 500°C, 750°C ve 950 °C)	Küp, Silindir, prizmatik donatısız kiriş
(Haddad vd., 2008)	Yangın sonrası lif katkılı beton ile betonarme donatısı arasındaki aderansın incelenmesi	Farklı yüksek sıcaklıklar 350°C - 700°C	Küp
(Cülfik vd., 2010)	Yüksek sıcaklığın normal ve yüksek dayanımlı betonlarda agrega çimento hamuru ara yüzeyine etkisinin incelenmesi	Agrega tane boyutu ve sıcaklık değerleri	Küp
(Hassanpour vd., 2012)	Yüksek sıcaklığın yüksek başarılı betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerine etkisinin incelenmesi	Beton çeşidine göre; yüksek dayanımlı beton, silis dumanlı beton, uçucu kül kullanılan beton	Küp, Silindir
(Ma vd., 2015)	Yüksek sıcaklıklarda betonun mekanik özelliklerinin araştırılması	Basınç dayanımı, elastisite modülü, çekme dayanımı testleri hakkında araştırma	Küp, Silindir
(Xiao vd., 2018)	Çin'de yüksek sıcaklıklarda yüksek performanslı beton üzerine çalışma	Yüksek sıcaklıklarda (200°C, 400°C, 600°C, 800°C, 1000°C) yüksek dayanımlı betonun mekanik ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi (Termal iletkenlik, ısıtma kapasitesi vb.).	Küp, Silindir

3. KURAMSAL TEMELLER

3.1. Hafif Beton

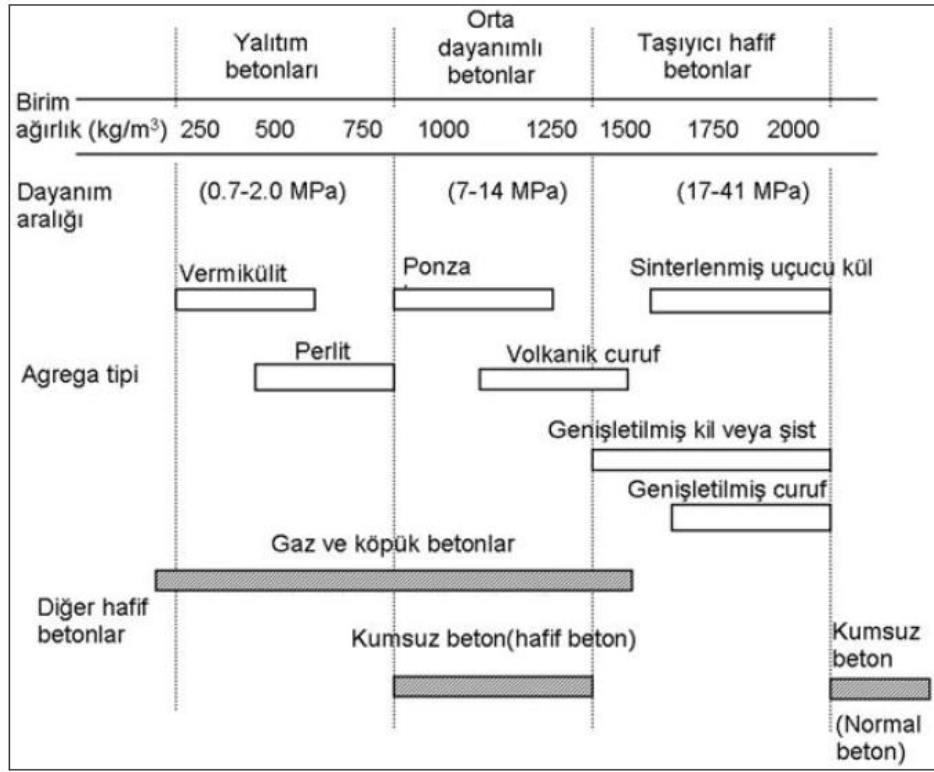
Taşıyıcı hafif betonlar, yoğunluk ve basınç dayanımı kriterlerine göre sınıflandırılır. ACI 213R (2003) yönetmeliğine göre, yoğunluğu 1120–1920 kg/m³ arasında olan ve 28 günlük basınç dayanımı 17 MPa'dan yüksek olan betonlar bu kategoriye girer. RILEM standartları ise taşıyıcı hafif betonların yoğunluğunun 1600-2000 kg/m³ arasında ve basınç dayanımının 15 MPa'dan yüksek olmasını öngörür (Clark, 1993). Bu beton türünde, genellikle ısıtıl işlem görmüş şist, kil, arduvaz, genişletilmiş cüruf ve volkanik kökenli agregalar kullanılır (Lamond ve Pielert, 2006).

Hafif betonlar, genellikle birim ağırlık ve dayanım kriterlerine göre sınıflandırılır. Bu beton türleri, yalıtım amaçlı kullanılanlardan taşıyıcı olanlara kadar çeşitli kabul standartlarına göre değerlendirilir (Neville, 1995). Taşıyıcı hafif betonların birim ağırlığı genellikle 1450-1800 kg/m³ arasında değişir, yoğunlukla ise 1600-1800 kg/m³ arasında kalır. Dayanımı 7-17 N/mm² arasında olan betonlar, yalıtım betonu ile orta dayanımlı beton sınıfına girerler (Neville, 1995).

Hafif betonları birim ağırlıklarına göre üç grupta sınıflandırmak mümkündür (Taşdemir, 1982).:

- a) Yalıtım Betonları: Birim ağırlıkları 300 kg/m³ ile 800 kg/m³ arasında olan betonlar.
- b) Orta Mukavemetli Hafif Betonlar: Birim ağırlıkları 800 kg/m³ ile 1400 kg/m³ arasında olan betonlar.
- c) Taşıyıcı Hafif Betonlar: Birim ağırlıkları 1400 kg/m³'ten büyük olan betonlar.

Şekil 3.1'de hafif betonların hangi kriterlere göre sınıflandırıldığı açıkça yer almaktadır.



Şekil 3.1. Hafif betonların sınıflandırılması (Mindess ve Hall, 1981).

3.2. Betonarme ve Yangın

Betonarme yapılar, betonun yüksek basınç dayanımı ve çeliğin yüksek çekme dayanımı özelliklerinin bir araya gelmesiyle, yapıların taşıma kapasitesini ve dayanıklılığını artırır (Baradan, 1997).

Yangın, doğal veya insan kaynaklı bir nedenle ortaya çıkan, kontrolsüz bir yanma sürecidir. Bu süreçte, yanıcı bir madde olan yakıt, oksijenle birleşerek enerji açığa çıkarır ve ısı, ışık ve duman gibi yan ürünler meydana getirir. Yangınlar, çeşitli kaynaklardan başlayabilir ve hızla yayılarak çevresindeki malzemelere ve yapısal unsurlara zarar verebilir.

Beton, aynı zamanda yüksek sıcaklıklara karşı da dayanıklı bir malzemedir. Beton genellikle yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında bile stabil kalabilirler. Betonun içindeki mineral bileşenlerin ısıya dayanıklı olması, betonun yangına karşı direncini artırır.

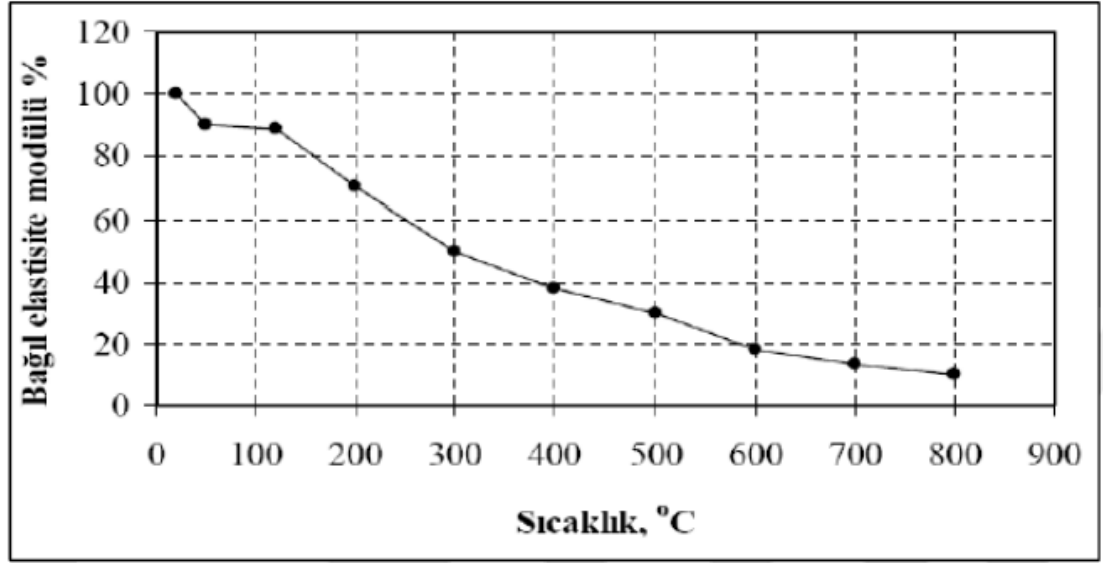
Bir malzeme yük altında şekil değişimine uğratıldığı ve sonra yük kaldırıldığı zaman ilk şekline dönebilir ya da dönememez. Gerilme kaldırıldığı zaman geri dönebilen şekil değiştirmeye elastik şekil değiştirme adı verilir. Elastik limit sınırı aşıldığında ise, malzemelerin çoğu geri dönmeyen plastik şekil değiştirme yaparlar. Elastik şekil değiştirme yapı malzemelerinin çoğunda gerilmeye orantılı veya lineer olarak bağlıdır. Elastik şekil değiştirmenin zamandan bağımsız olduğu yani gerilme uygulanır uygulanmaz ani olarak yer aldığı kabul edilir. Tek eksenli yükleme halinde bu bağıntı Teorem 3.1’de verildiği şekildedir ve elastisitenin temel kanunu teşkil eder. Bu bağıntıdaki E orantı katsayısına malzemenin elastisite modülü adı verilir (Kocataşkın, 1976).

Bir malzeme yük altında şekil değiştirdiğinde ve ardından yük kaldırıldığında, malzeme ilk haline dönebilir veya dönemeyebilir. Gerilme kaldırıldığında malzemenin eski haline dönebildiği şekil değişikliğine elastik şekil değiştirme denir. Ancak, elastik limit sınırı aşıldığında, malzemelerin çoğu geri dönmeyen plastik şekil değişikliği gösterir. Çoğu yapı malzemesinde elastik şekil değiştirme, gerilmeye orantılı veya lineer olarak gerçekleşir. Elastik şekil değiştirmenin zamandan bağımsız olduğu, yani gerilme uygulanır uygulanmaz anında meydana geldiği kabul edilir. Tek eksenli yükleme durumunda bu ilişki Teorem 3.1’de verildiği şekilde ifade edilir ve elastisitenin temel kanununu oluşturur. Bu ilişkideki E orantı katsayısına malzemenin elastisite modülü denir.

$$\sigma = E \times \varepsilon$$

Teorem 3.1. Hooke kanunu.

Yüksek sıcaklığın etkisi arttıkça betonun elastisite modülü sıcaklığa bağlı olarak azalmaktadır. Şekil 3.2’de normal dayanımlı bir betonun sıcaklık-elastisite modülü değişimi gösterilmiştir (Yamazaki vd., 1995).



Şekil 3.2. Normal dayanımlı betonun sıcaklık etkisi altındayken elastisite modülü ile ilişkisi (Yamazaki vd., 1995).

3.3. Ultrases geçiş hızı (UGH)

Ultrasonik hız yöntemi, ultrasonik dalgaların probalar aracılığıyla numune veya bina içine demetler halinde gönderilmesini ve iç yapının durumuna göre bu dalgaların değişimlerini inceleyerek kusurların veya donatıların tespit edilmesini sağlar.

Ultrasonik geçiş hızı test cihazı; alıcı ve verici arasında oluşturulan ultra ses dalgalarının beton içerisindeki geçiş süresinin belirlenmesiyle beton basınç dayanımı hakkında bilgi verir. Ultrasonik geçiş hızı test yöntemiyle, basınç dayanımı dışında betonun homojenliği, varsa betonda kusur, çatlak bilgisi ve elastisite modülünün hesaplanması için veriler de elde edilebilir.

Betonun yoğunluğu ile basınç dayanımı arasında doğru orantılı bir ilişki vardır. Su/çimento oranı yüksek olan betonlar daha çok kapiler boşluğa sahip olduğundan, yoğunluğu ve basınç dayanımları da düşük olur. Bu durumda dolaylı yoldan ultrasonik geçiş hızı yöntemiyle beton basınç dayanımı belirlenebilir.

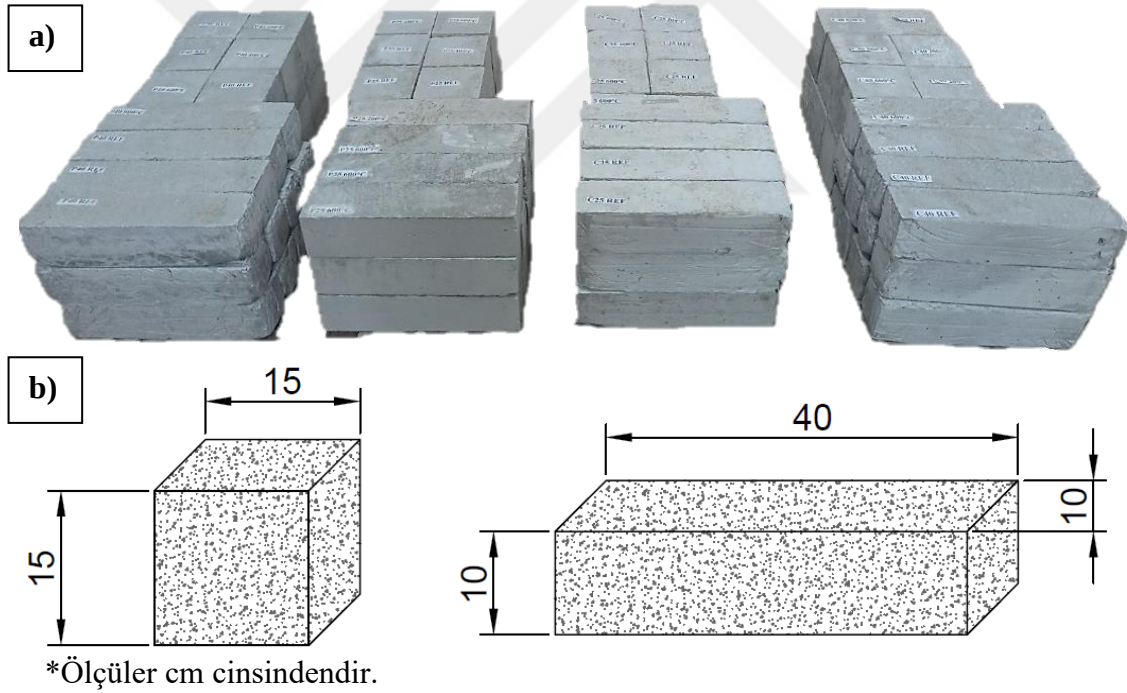
4. MATERYAL ve YÖNTEM

Tezin bu bölümünde deneysel çalışma kapsamında üretilen numunelerin malzeme-kesit özellikleri, deney ve ölçüm düzenekleri hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

4.1. Materyal

4.1.1. Malzeme ve kesit özellikleri

Gerçekleştirilen deneysel çalışma kapsamında, geleneksel agregaya yerine doğal perlit agregası kullanımının betonun yüksek sıcaklık etkisi altında değişen malzeme mekanik özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla Şekil 4.1’de gösterilen 48 adet $15 \times 15 \times 15$ cm boyutlarında küp ve 48 adet $10 \times 10 \times 40$ cm boyutlarında prizmatik kiriş numunesi üretilmiştir.



Şekil 4.1. (a) Üretilen deney numuneleri (b) malzeme kesit özellikleri.

Deneysel çalışma kapsamında üretilecek numuneler için ön çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.2). Bu çalışmalar sonucunda istenilen dayanım değerlerine ulaşılmasıyla nihai karışımlar belirlenmiştir. Karışımlara ait detaylar Tablo 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Ön deney çalışmalarına ait görseller (a) Doğal perlit agregasının elenmesi (b) Elenmiş perlit agregaları (c) Mikser yardımıyla betonun hazırlanması (d) Kalıba yerleştirilen betonlar (e) Dökülen betonların kürlenmesi (f) Beton basınç dayanımı testi.

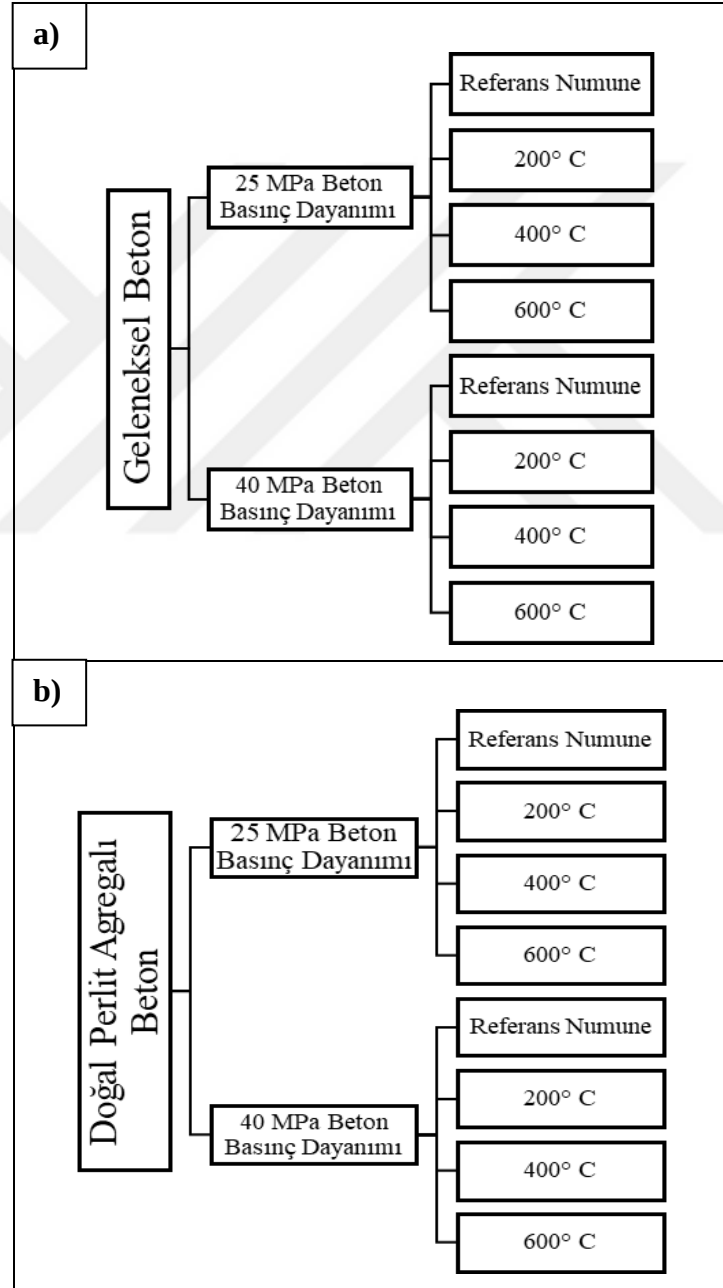
Tablo 4.1. Farklı tip betonlar için karışım oranları.

Malzemeler	Karışım 1 (C25) (S/Ç=0.55)	Karışım 2 (C40) (S/Ç =0.45)	Karışım 3 (P25) (S/Ç =0.64)	Karışım 4 (P40) (S/Ç =0.56)
Çimento (kg/m ³)	11.76	11.76	11.55	11.55
Su (kg/m ³)	6.46	5.33	7.36	6.47
0/1 mm perlit (%30) (kg/m ³)	-	-	5.91	7.35
1/2 mm perlit (%18) (kg/m ³)	-	-	3.55	4.41
2/4 mm perlit (%20) (kg/m ³)	-	-	3.92	4.87
4/8 mm perlit (%10) (kg/m ³)	-	-	2.08	2.59
8/12,5 mm perlit (%22) (kg/m ³)	-	-	4.58	5.69

Tablo 4.1. (Devamı).

Geleneksel kum	11.76	11.76	-	-
Geleneksel agregası	23.52	23.52	-	-

Şekil 4.3'te deneysel programı sunulan geleneksel ve doğal perlit agregası ile 2 farklı beton sınıfına üretilen numuneler ISO-834 standartlarına uygun şekilde 200°C, 400°C ve 600°C olmak üzere 3 farklı sıcaklık etkisine maruz bırakılmıştır.



Şekil 4.3. Üretilen numunelere ait akış şeması **(a)** Geleneksel beton için **(b)** Perlitli beton için.

4.2. Yöntem

4.2.1. Yüksek sıcaklık deneyi

Prizmatik kiriş ve küp numunelerin üretiminin ardından, yüksek sıcaklık deneylerinde beton içerisindeki nemden dolayı meydana gelecek olumsuz sonuçların önüne geçilmesi amacıyla her bir deneysel numune Şekil 4.4'te gösterilen etüvde 80 ± 5 °C sıcaklıkta 48 saat bekletilerek bünyesindeki nemin tamamen dışarı atılması sağlanmıştır.



Şekil 4.4. Etüve yerleştirilen numuneler.

Beton numunelere daha önceden belirlenen referans olacak sıcaklıklara maruz bırakılması için Şekil 4.5'te görülen yüksek sıcaklık fırını kullanılmıştır. Numuneler hedef sıcaklığa 5°C/dakika rejimiyle çıkmış olup, hedef sıcaklıkta 1 saat kaldıktan sonra fırın içerisinde soğumaya bırakılmıştır.



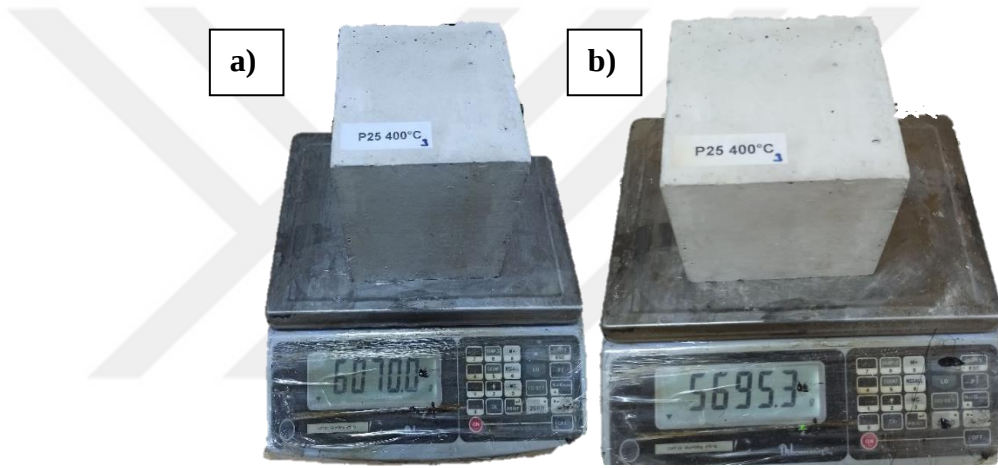
Şekil 4.5. Yüksek sıcaklık için kullanılan büyük deney fırını.

4.2.2. Kütle kaybı deneyi

Yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan beton numunelerin yüksek sıcaklığa bağlı olarak kütle değişimleri, yüksek sıcaklık deneyi öncesi ve sonrası tartılarak belirlenmiştir. Aşağıda yer alan teoreme göre ise % kütle kaybı şeklinde bulunmuştur. Burada W_K : kütle kaybı (%), W_i : ısıtıl işlem öncesi ilk kütlesi (kg), W_s : ısıtıl işlem sonrası kütlesi (kg) ifade etmektedir (Teorem 4.1).

$$W_K = \left(\frac{W_i - W_s}{W_i} \right) \times 100$$

Teorem 4.1. Sıcaklığa bağlı sıcaklık değişim formülü.



Şekil 4.6. Isıl işlem öncesi ve sonrası tartımlar (a) Isıl işlem sonrası tartım (b) Isıl işlem sonrası tartım.

4.2.3. Ultrases geçiş hızı (UGH) deneyi

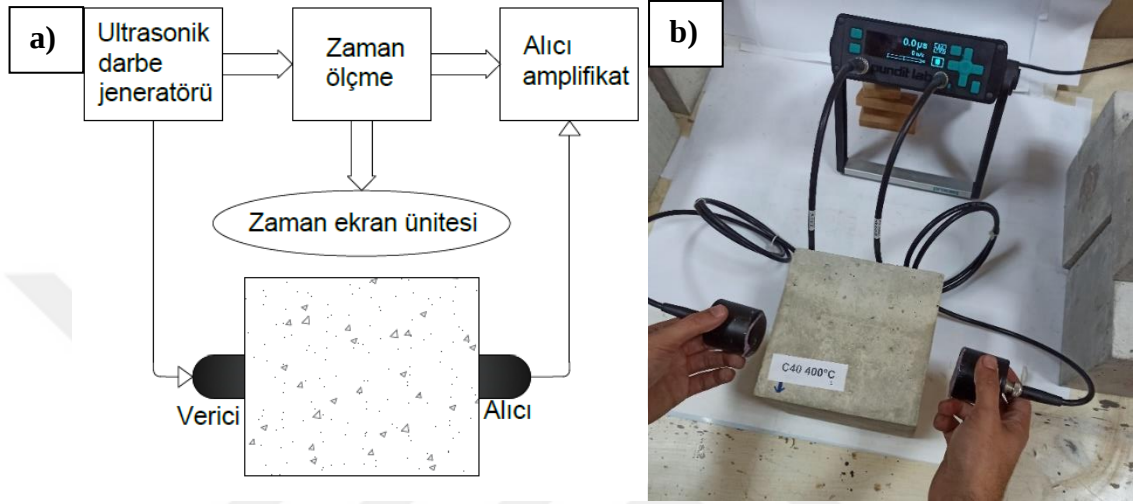
Ultrases geçiş hızı deneyi 28 gün sonra kür havuzundan çıkartılan ve etüv de içindeki fazla nemi atma işlemi gerçekleştirilen 15×15×15 cm boyutlarındaki küp numunelere uygulanmıştır. Yangın deneyi öncesinde ve yangın deneyi sonrasında ultrases geçiş hızı deneyine tabi tutulan deney numunelerinin ultrases geçiş hızları Şekil 4.6'da görüldüğü üzere ölçülmüştür.

UGH deneyi için Pundit Lab marka deney cihazı 0.1 µs duyarlılıkta 0.1-9999 µs arasında ölçüm yapabilmektedir. Kullanılan cihaz ve ölçüm yöntemi TS EN 12504-4; ASTM C 597-02; BS 1881 Part 203; ISO 1920-7:2004; IS 13311; CECS21 standartlarına

uygundur. Deneydeki ultrases geçiş hıızları Teorem 4.2'ye göre hesaplanmıştır. Burada $V: L/t$ (km/sn), L: Numune boyu (km), T: L boyunca UGH süresi (sn)'yi ifade etmektedir.

$$V = L \times T$$

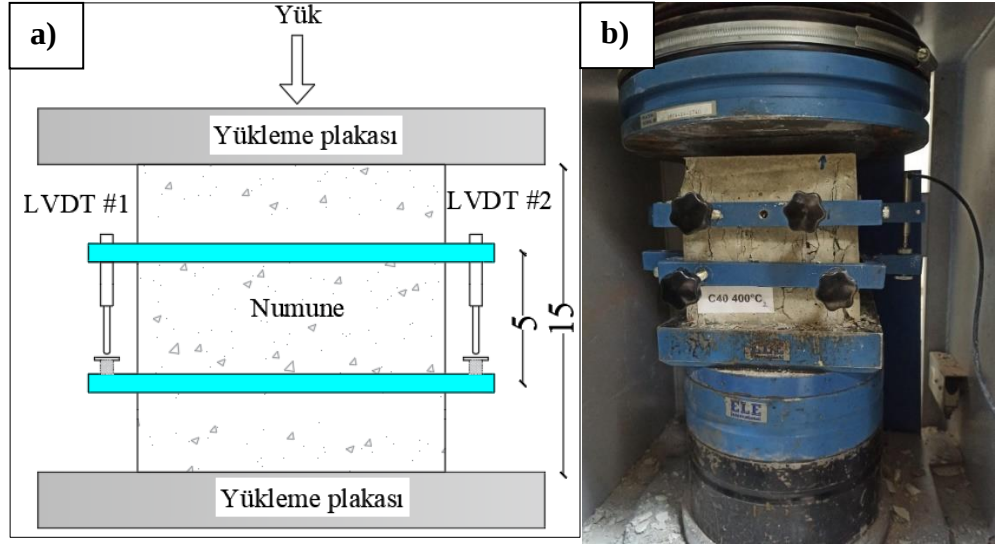
Teorem 4.2. Ultrases geçiş hıızlarının hesaplanması.



Şekil 4.7. UGH deneyi: (a) deney düzeneği şematik gösterimi (b) deney düzeneği.

4.2.4. Gerilme-birim şekil değiştirme deneyi

Elastisite modülü deneyleri, basınç deney numuneleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanımı deneyleri ASTM C39 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Basınç deneyi sırasında, düşey şekil değiştirme değerleri potansiyometrik cetvel (LVDT) aparatı ile llmştr. Elde edilen yük-düşey şekil değiştirme değerleri kullanılarak hesaplanan gerilme-birim şekil değiştirme değerlerine göre, doğrusal eğilim çizgisinin eğim değeri belirlenmiş ve her bir numunenin elastisite modülleri hesaplanmıştır. Bir malzemenin kesit bazında modellenebilmesi için karakteristik özelliklerinin belirlenmesi gereklidir. Elastisite modülü de bu karakteristik özelliklerden biridir.



Şekil 4.8. Gerilme-birim şekil değiştirme: (a) şematik gösterimi, (b) deney düzeneği.

Numunelerin elastisite modülü deneyi, şekil değiştirme kontrollü basınç deneyi sırasında, numune üzerinde iki farklı noktadan düşey şekil değiştirmeyi ölçebilen bilgisayar bağlantılı bir elastisite modülü aparatı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Numunelere ait düşey şekil değiştirme değerleri, iki farklı noktadan alınan ölçümlerin ortalaması alınarak belirlenmiştir. Şekil 4.8’de elastisite modülüne ait deney düzeneği gösterilmiştir.

4.2.5. Renk değişimi

Yüksek sıcaklık deneylerinden önce ve sonra numuneler fotoğraflanmıştır. Numunelerde meydana gelen renk değişimleri, kılcal çatlaklar ve oluşan deformasyon farkları resimlerle ortaya konulmuştur.

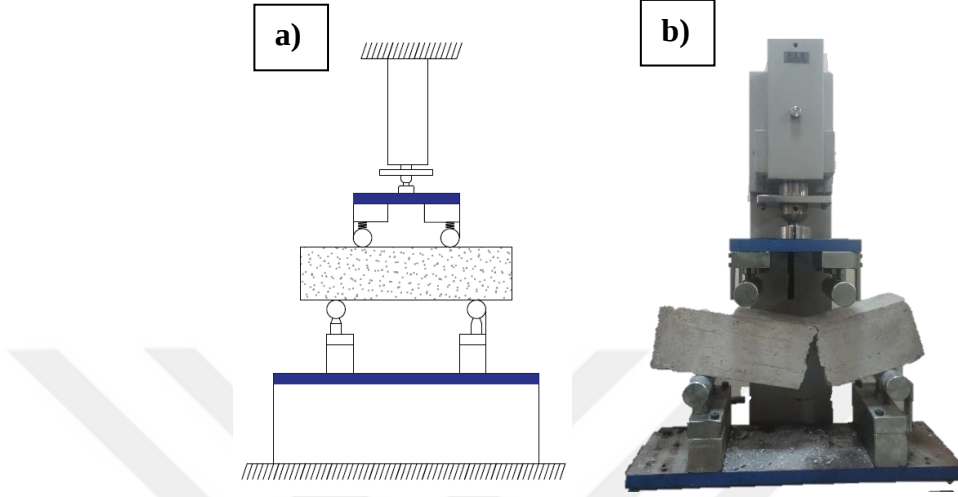
4.2.6. Dört noktadan eğilme deneyi

Dört noktadan eğilme deneyleri 100 kN kapasiteli ELE marka deney cihazında yapılmıştır. Eğilme deney sisteminin şematik gösterimi ve kiriş numunelerin deney yerleşim düzeni Şekil 4.9’da gösterilmiştir.

Dört noktalı eğilme deneyleri 10×10×40 cm boyutundaki kiriş numuneler üzerinde ASTM C78 standartına göre uygulanmıştır. Kiriş numuneler göçme moduna ulaşıncaya kadar deneye tabi tutulmuştur. Deneye tabii tutulan numunelerin eğilme gerilmeleri Teorem 4.3’e hesaplanmıştır.

$$\sigma_f = \frac{3}{4} \times \frac{F \times L}{b \times d^2}$$

Teorem 4.3. Eğilme gerilmesi hesaplamaları için kullanılan teorem.



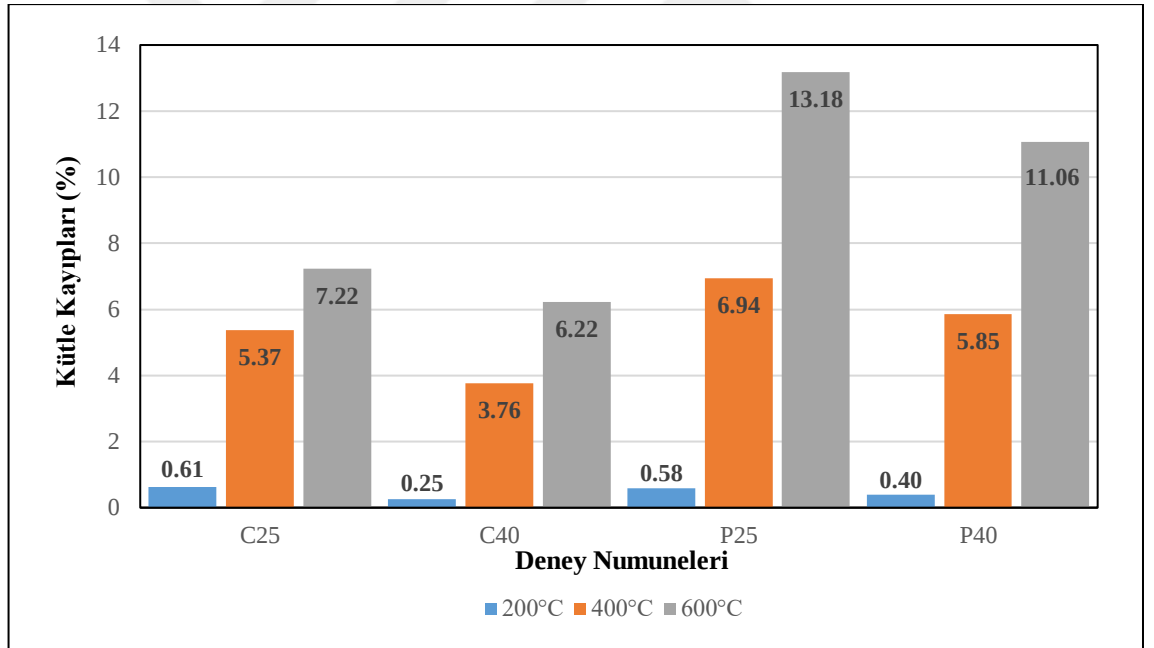
Şekil 4.9. Basit eğilme deneyi: **(a)** şematik gösterimi, **(b)** deney düzeneği.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

5.1. Betonun Malzeme ve Fiziksel Özellikleri

5.1.1. Kütle kaybı deneyi

Yapılan kütle kaybı deneyi sonucu elde edilen veriler Şekil 5.1’de verilmiştir. Aynı sıcaklıklardaki geleneksel agregası ve perlit agregalarından üretilmiş numunelerin 200°C, 400°C ve 600°C ‘deki ağırlık kayıpları sırasıyla karşılaştırdığında; C25 için %0.61, %5.37 ve %7.22 iken, P25 için %0.58, %6.94 ve %13.18’dir. C40 için %0.25, %3.76 ve %6.22 iken P40 için %0.40, %5.85 ve %11.06’dır. Elde edilen kütle kaybı deneyi sonuçlarına bakarak aynı basınç dayanımına sahip geleneksel ve perlit agregasından üretilen numunelerde, perlit agregasından üretilen numunelerdeki kütle kaybının daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.1. Kütle kaybı deney sonuçları.

5.1.2. Ultrases geçiş hızı (UGH) deneyi

Deney numuneleri için oda sıcaklığında, 200°C, 400°C ve 600°C sıcaklık etkisi altında gerçekleştirilen deneyler sonrası elde edilen UGH (ultrasonik ses dalgası yayılma hızı) değerleri Tablo 5.1’te gösterilmektedir. Tablodan da görüleceği üzere oda sıcaklığı, 200°C ve 400°C durumları için UGH değerlerinde kayda değer bir değişim olmamıştır. Fakat 600°C etkisi sonrası elde edilen değerler dikkate alındığında özellikle geleneksel agregası kullanılarak üretilen numuneler için büyük farklılıklar görülmüştür. Örneğin C25 ve C40 numuneleri dikkate alındığında 600°C için elde edilen UGH değeri 400°C için elde edilen UGH değerinden sırasıyla %118.68 ve %87.11 oranlarında artış göstermiştir. Bu karşılaştırma perlit agregası kullanılarak yapıldığında ise P25 ve P40 numuneleri için elde edilen değerler sırasıyla %10.50 ve %19.50 oranında değişmektedir.

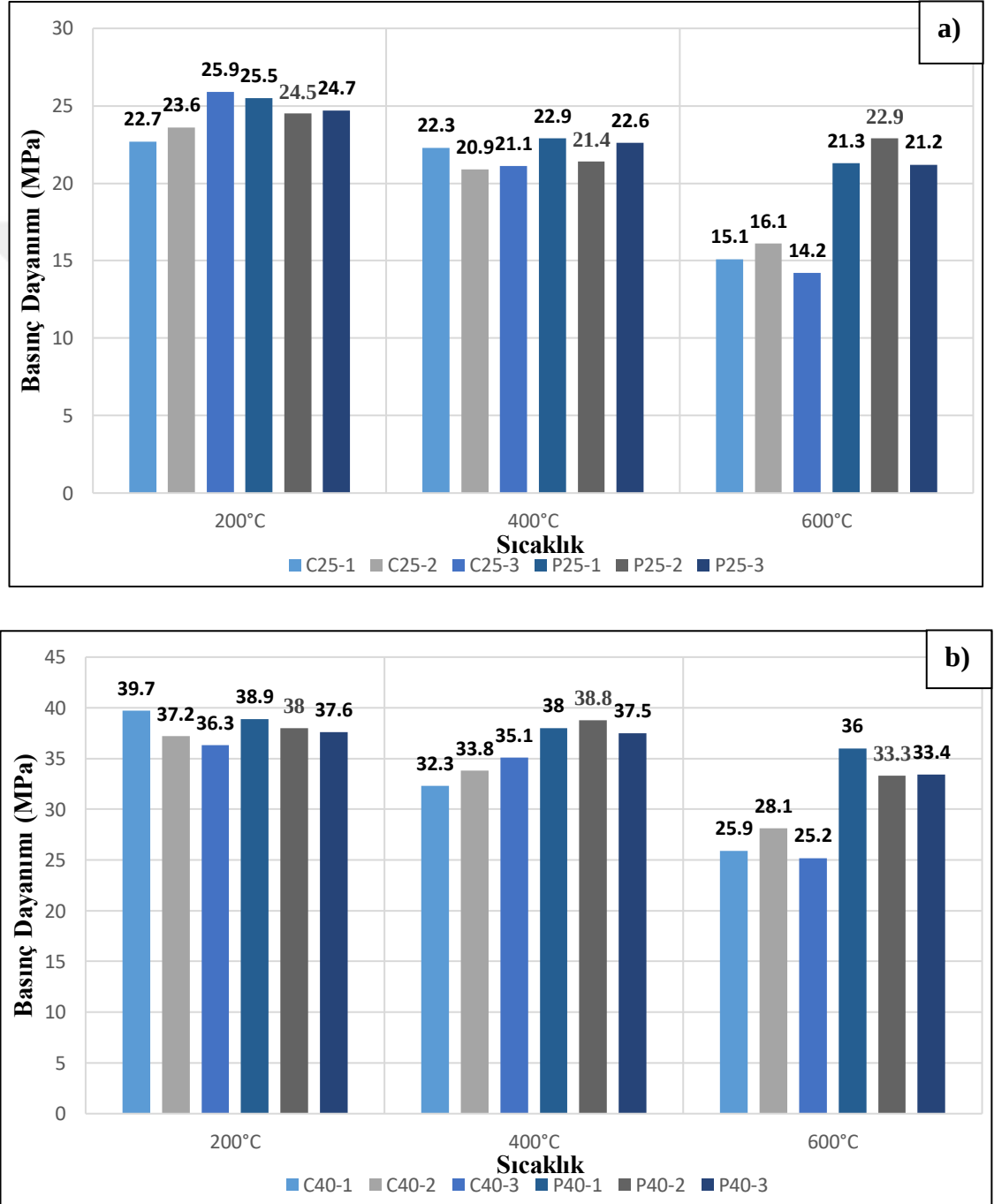
Tablo 5.1. Yüksek sıcaklığın beton üzerindeki etkisinin araştırılması hakkındaki alışmalar.

Numune	Oda Sıcaklığı (μs)	200°C (μs)	400°C (μs)	600°C (μs)
C25-1	41.2	41.1	45.9	103.4
C25-2	41.2	41.1	46	98.6
C25-3	41.2	41.2	48.3	104.6
C40-1	38.2	37.8	40.7	74.8
C40-2	38.3	37.8	41.1	69.2
C40-3	37.8	37.8	39.8	83.6
P25-1	47.4	47.4	49.3	54.7
P25-2	47.4	46.4	49.3	53.7
P25-3	46.4	46.9	49.3	55.1
P40-1	44.9	43.9	45.9	54.3
P40-2	44.4	44.4	45.9	53.7
P40-3	44.4	44.4	45.9	56.6

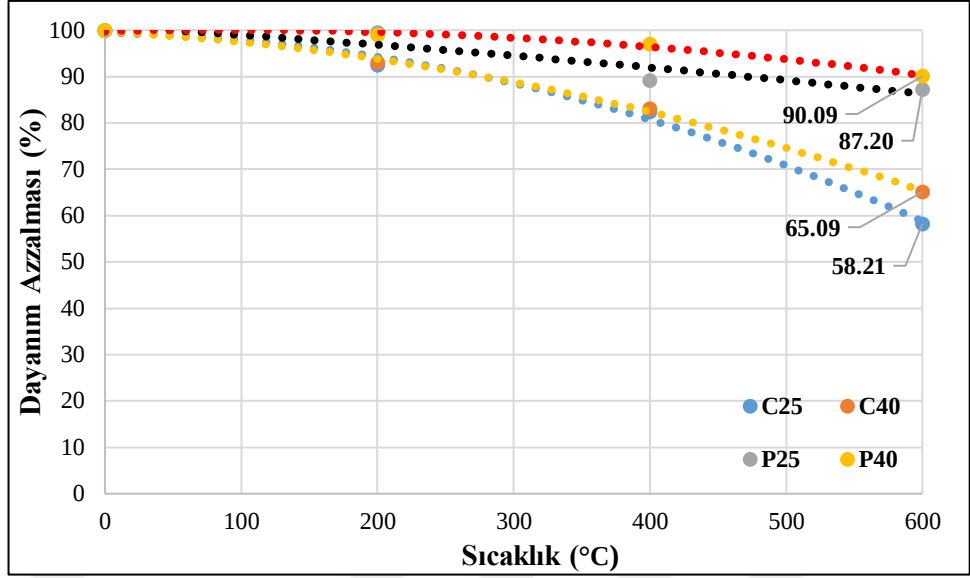
5.1.3. Gerilme-birim şekil değiştirme deneyi

Beton presinde gerçekleştirilen deneylerde C25, C40, P25 ve P40 numunelerinin referans numuneleri için ortalama basınç dayanımları sırasıyla 26, 40.56, 25 ve 38 MPa tespit

edilmiştir. Her grup için 3'er adet gerçekleştirilen yüksek sıcaklık deneyleri sonrası numunelerin basınç dayanımlarındaki değişimler Şekil 5.2'de gösterilmektedir. 600°C dikkate alındığında C25, C40, P25 ve P40 numuneleri için basınç dayanımları ilgili referans numunenin basınç dayanımına göre sırasıyla %41.79, %34.91, %12.80 ve %9.91 oranında azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 5.3).

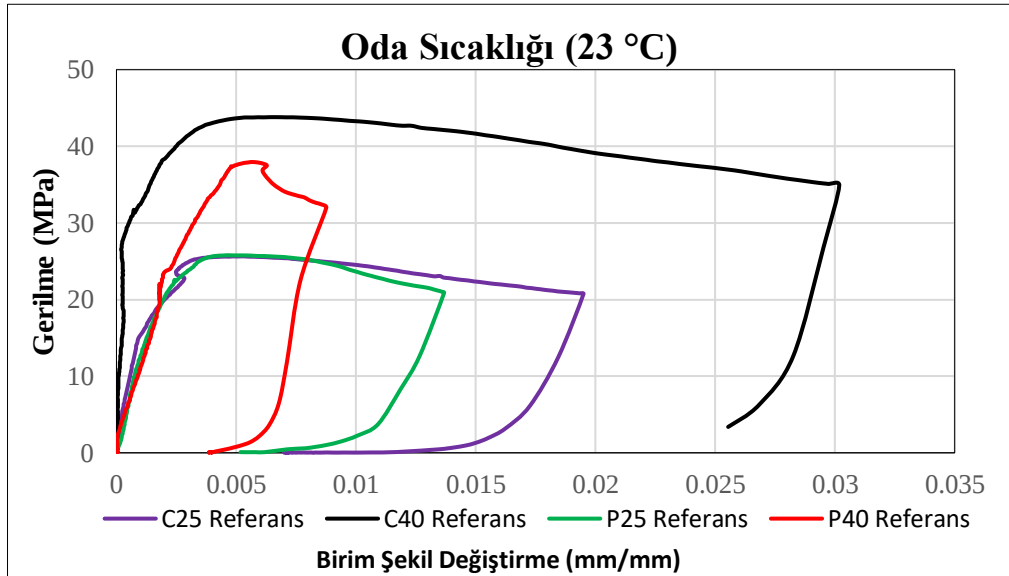


Şekil 5.2. Yüksek sıcaklık sonrası numunelerin basınç dayanımları: a) C25-P25 numuneleri, b) C40-P40 numuneleri.

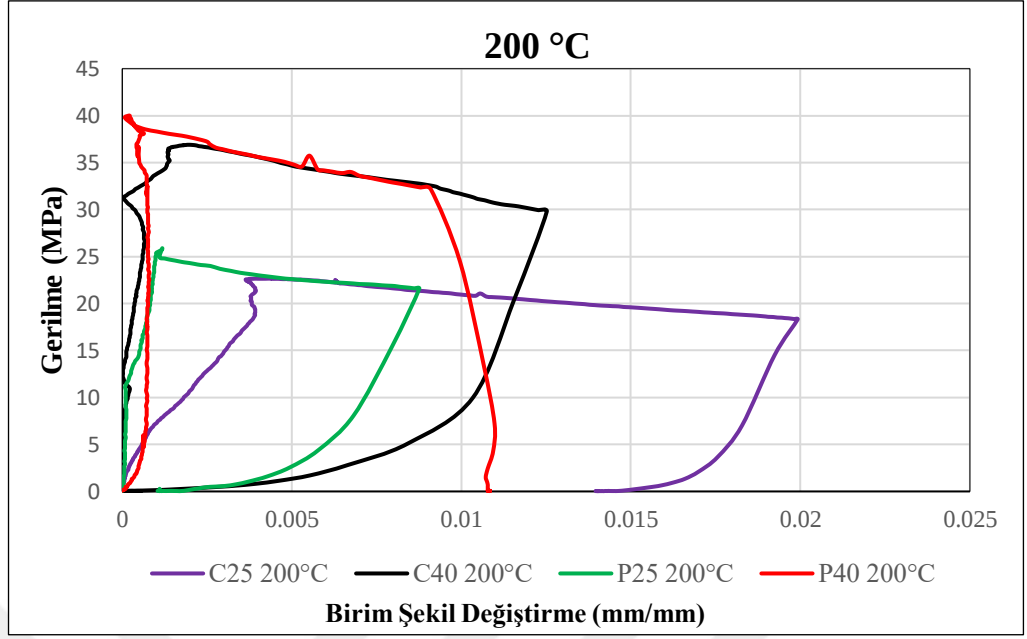


Şekil 5.3. Sıcaklık etkisiyle numunelerin basınç dayanımlarının yüzdelik azalmaları.

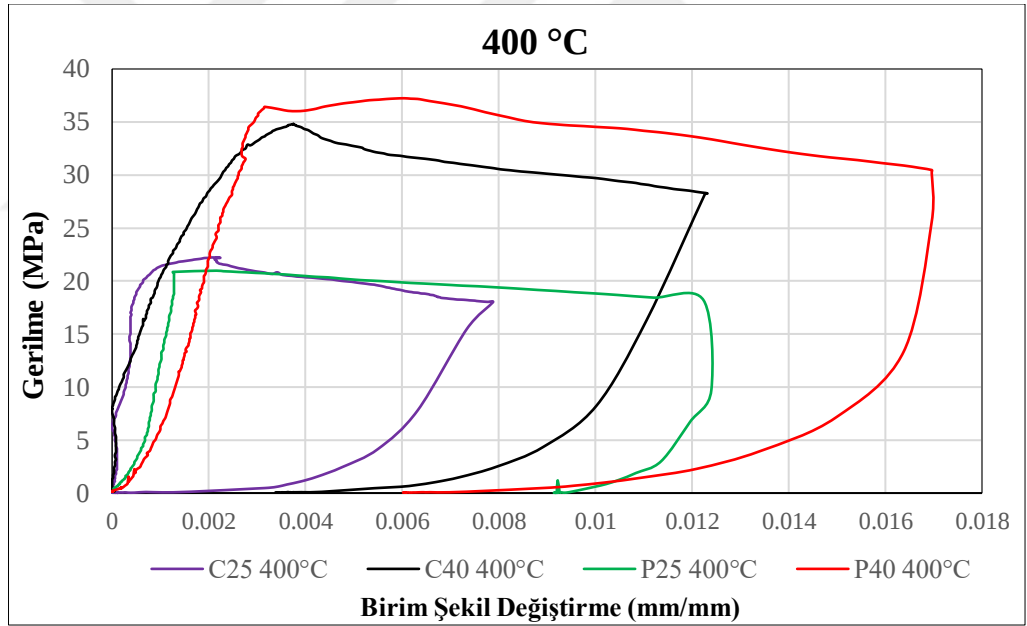
Numunelerin artan sıcaklık etkisiyle birlikte birim şekil değiştirme kapasitelerinde meydana gelen değişimler numunelere montajlanan ölçüm düzeneği ile elde edilmiştir. Şekil 5.4-5.7’de elde edilen basınç dayanımı ve birim şekil değiştirme ilişkileri gösterilmektedir. Referans numuneler (oda sıcaklığı 23 °C) dikkate alındığında geleneksel beton numunelerinin şekil değiştirme kapasitelerinin perlitli betonlara göre daha üstün olduğu görülmektedir.



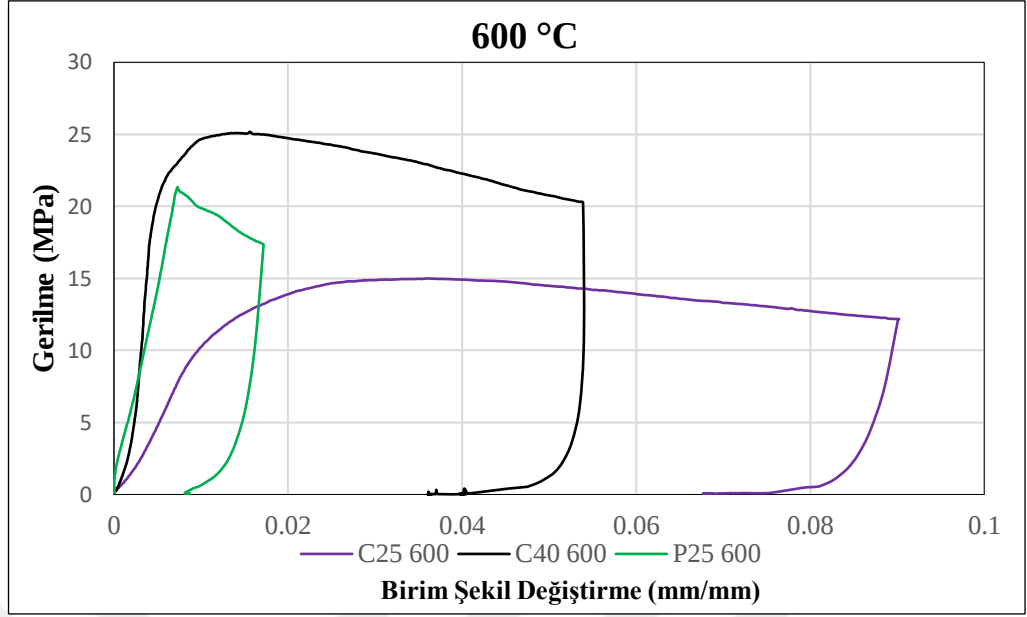
Şekil 5.4. Oda sıcaklığındaki numunelerin deney sonuçları.



Şekil 5.5. 200°C'ye maruz kalmış numunelerin deney sonuçları.



Şekil 5.6. 400°C'ye maruz kalmış numunelerin deney sonuçları.



Şekil 5.7. 600°C'ye maruz kalmış numunelerin deney sonuçları.

5.1.4. Dört noktadan eğilme deneyi

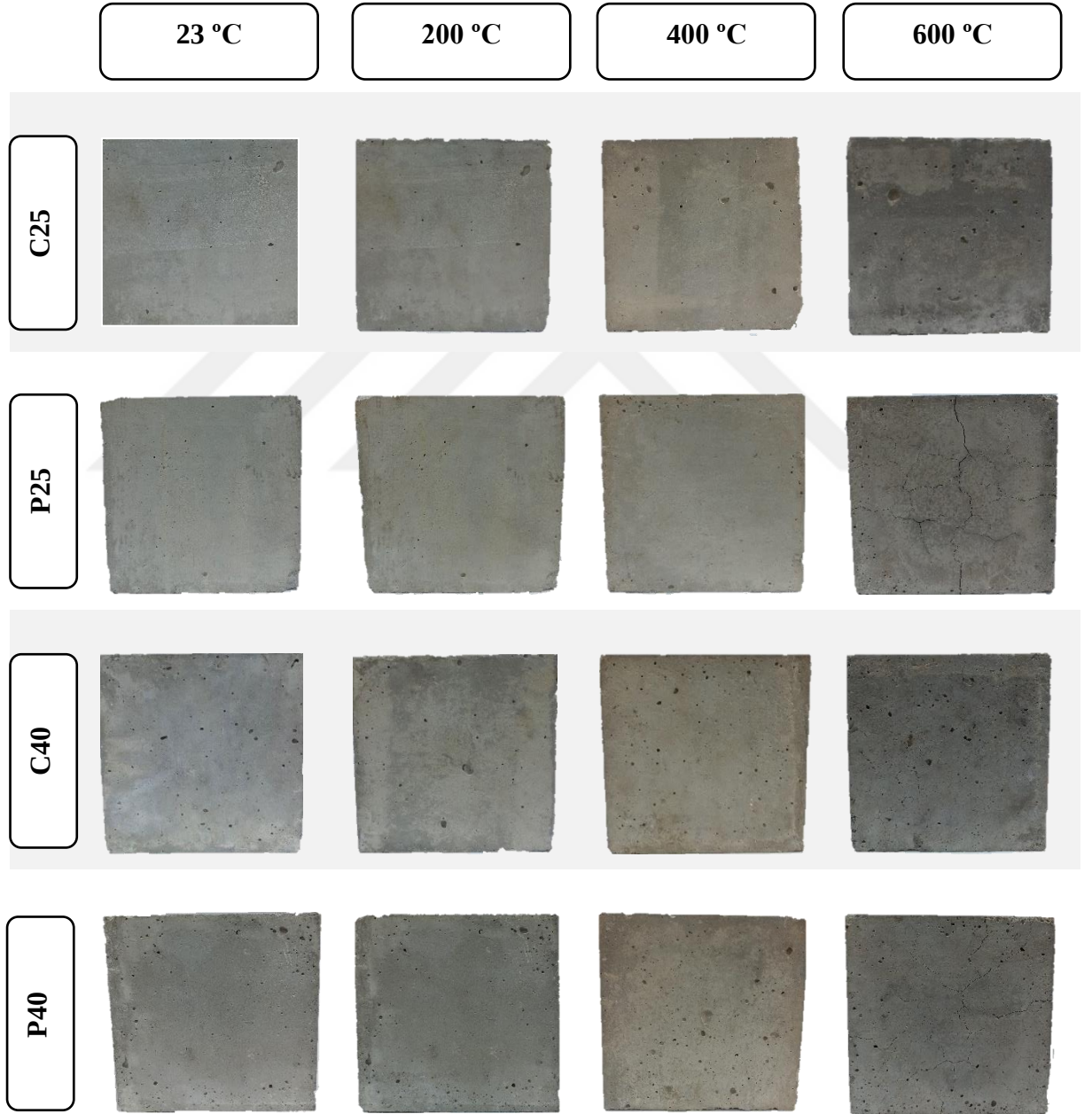
Numunelerin yüksek sıcaklık etkisine maruz kalmasının ardından dört noktadan eğilme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.2'de gösterilmektedir. Tablo 5.2'de 600°C sonrası gerçekleştirilen eğilme deneyi sonuçları incelendiğinde hem geleneksel beton ile üretilen hem de doğal perlit agregası kullanılarak üretilen numunelerin eğilme gerilme dayanımları azalmıştır. Eğilme gerilme dayanımındaki azalma C25 ve C40 numuneleri dikkate alınarak incelendiğinde ise tüm sıcaklık değerleri için numunelerin eğilme gerilmelerinin azaldığı görülmektedir. Bu durum P25 ve P40 numunelerinde farklılık göstermektedir. Örneğin P25 numunesinin 200°C sonrası eğilme gerilmesi dayanımı %25.5 artış göstermiştir.

Tablo 5.2. Eğilme dayanımı deney sonuçları.

Numune	Eğilme Gerilmeleri σ (kN/m)			
	Oda Sıcaklığı (Referans)	200°C	400°C	600°C
C25	3.91	3.51	2.71	0.93
C40	4.08	3.37	3.44	1.12
P25	2.01	2.57	2.57	0.96
P40	2.92	2.82	2.89	0.91

5.1.5. Renk değişimi

Yüksek sıcaklık deneyleri öncesinde ve sonrasında fotoğraflanan numuneler şekil 5.8’de verilmiştir. şekil 5.8’de gösterildiği üzere perlit ve geleneksel beton agregasından oluşturulan numunelerde maruz kalınan sıcaklık değeri arttıkça, numunelerdeki rengin koyulaştığı ortak olarak görölse de perlit agregasından oluşturulan numunelerdeki kılcal çatlakların oluşumu daha belirgindir.



şekil 5.8. Numunelerin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası renk değişimleri.

6. SONUÇLAR

Geleneksel ve doğal perlit agregası kullanılarak üretilen küp ve prizmatik kırış numunelerin yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakıldıktan sonra gerçekleştirilen deneyler sonucu elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- Geleneksel beton numunelerin artan sıcaklık etkisine bağlı olarak malzeme eğilme gerilme dayanımları azalmaktadır. Doğal perlit agregası ile üretilen P25 numunesinde 400°C'ye kadar eğilme dayanımı artış gösterirken 600°C etkisi sonrasında dayanımda ani bir düşüş gözlenmiştir. P40 numunesi dikkate alındığında ise 400°C'ye kadar dayanımda gözle görülür bir fark olmamasına rağmen 600°C sıcaklık etkisi P25 numunesi ile benzer şekilde dayanımda ani düşüş meydana getirmiştir.
- Beton basınç dayanımı deneyleri sonucuna göre yüksek sıcaklık etkisinin numunelerin beton basınç dayanımını genel olarak düşürdüğü tespit edilmiştir. En büyük basınç dayanım kaybının %41.68 ile C40 numunesinde gözlenmiştir.
- Gerilme – birim şekil değiştirme ilişkileri incelendiğinde 400°C'ye kadar numunelerin şekil değiştirme kapasitelerinin azaldığı, 600°C'den sonra ise arttığı gözlenmiştir. Bir yanılı olarak görülebilecek bu durum C40 numunesi özelinde değerlendirilecek olduğunda ilgili numunenin basınç dayanımında meydana gelen azalma dikkate alınarak incelenmelidir.
- Numunelerin yüksek sıcaklık deneyleri sonrasında gerçekleştirilen görsel incelemelerde en büyük hasarın P25 numunesinde meydana geldiği gözlenmiştir.
- Elde edilen tüm bulgular ışığında doğal perlit agregası kullanımının betonun yangın etkisi altındaki davranışını iyileştirdiği sonucuna ulaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- ACI/TMS 216.1-14. (2014) “Standard method for determining fire resistance of concrete and masonry construction assemblies”, **American Concrete Institute**, USA.
- ACI 216.1-97. (1997) “Standard method for determining fire resistance of concrete and masonry construction assemblies”, **American Concrete Institute**, USA.
- ACI 216R-89. (1989) “Guide for determining the fire endurance of concrete elements”, **American Concrete Institute**, USA.
- ACI Committee Report 216R-89. (1994) “Guide for determining the fire endurance of concrete elements”, **American Concrete Institute**, Framington Hills, Mich.
- American Concrete Institute – ACI. (2003) “Guide for structural lightweight aggregate concrete”, **ACI 213R-03. ACIA Manual of Concrete Practice**, Part 1, 27 p.
- Amran, M., Huang, S. S., Debbarma, S., Rashid, R. S. (2022) “Fire resistance of geopolymer concrete: A critical review”, **Construction and Building Materials**, 324, 126722.
- ASTM C 597-02. (2002) “Standard test method for pulse velocity through concrete”, **Annual book of American Society of Testing and Materials**, West Conshohocken, Pa, vol. 04-02.
- ASTM C39. (2014) **American Society For Testing And Materials**, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM C78. (2018) **American Society For Testing And Materials**, West Conshohocken, PA, USA.
- ASTM E119-08. (2008) “Standard test methods for fire test of building construction and materials”, **American Society for Testing and Materials**, West Conshohocken, Pennsylvania.
- Ates, S., Kahya, V., Yurdakul, M., Adanur, S. (2013) “Damages on reinforced concrete buildings due to consecutive earthquakes in Van”, **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, 53, 109-118.
- Baradan, S. (1997) “Çimento tipinin donatı-beton aderansına etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İzmir.
- Barka, A., & Reilinger, R. (1997). Active tectonics of the Eastern Mediterranean region: deduced from GPS, **Neotectonic and Seismicity Data**.
- Bate, S. C. C. (1989) “Reinforced and prestressed concrete design”, **In Civil Engineer's Reference Book**, Butterworth-Heinemann, pp. 12-1.

- BS 1881 Part 203. (1986) "Measurement of velocity of ultrasonic pulses in concrete", **BSI**, U.K.
- BS 476: Part 20. (1987) "Fire tests on building materials and structures, method for determination of the fire resistance of elements of construction (general principles)", **British Standards Institution**, London, UK.
- BS 476: Part 22. (1987) "Fire tests on building materials and structures, method for determination of the fire resistance of non-loadbearing elements of construction", **British Standards Institution**, London, UK.
- China Engineering Construction Standardization Association standard, technological specification for inspection of concrete defects by ultrasonic method, [CECS 21:2000], BeiJ,(2000). **Applied Mechanics and Materials**, 357, 1492-1497.
- Clarke, J.L. (1993) "Structural lightweight aggregate concrete", (**Blackie Academic**), Glasgow.
- Cülfik, M. S., Özturan, T. (2010) "Mechanical properties of normal and high strength concretes subjected to high temperatures and using image analysis to detect bond deteriorations", **Construction and building materials**, 24(8), 1486-1493.
- Çakmak, A., UYSAL, M. (2021) "Geopolimer Beton ve Geleneksel Beton Üretim Süreçlerinden Kaynaklı CO₂ Salınımının Metasezgisel Yöntemlerle Belirlenmesi", **Türk Doğa ve Fen Dergisi**, 10(1), 6-17.
- Davidovits, J. (2002) "Environmentally driven geopolymer cement applications", **In Proceedings of 2002 Geopolymer Conference**, Melbourne, Australia.
- Demir, S., Günaydin, M., Atmaca, B., Altunışık, A. C., Hüsem, M., Adanur, S., Ateş, Ş. (2021) "Performance evaluation of reinforced concrete buildings during the Sivrice-Elazığ earthquake (M_w= 6. 8, January 24, 2020) in accordance with Turkish Earthquake Code", **Journal of Earthquake and Tsunami**, 15(04), 2150018.
- Dünya perlit üretimi verileri Perlit yataklarının durumu, işletmeciliği ve geleceği, **İstanbul Maden İhracatçıları Birliği**, 2017, İstanbul, 17s.
- Eken, M., Avşaroğlu, E. (2021) "Yüksek fırın cürufu, bazalt ve üleksit katkılı beton örneklerin yüksek sıcaklık etkisi altında özelliklerinin incelenmesi", **Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 9(3), 306-320.
- EN, T. (1992). 1-1 (2009). Beton yapıların tasarımı—bölüm 1-1: genel kurallar ve binalara uygulanacak kurallar (Eurocode 2). **Türk Standartları Enstitüsü. Eurocode 2 - Design of concrete structures**, 405.
- Filián, B., Montero, D. (2017) "Effects of poor construction practices on compressive strength of concrete; an insight of the 2016 Ecuador earthquake". **ACI Projects Competition 2016**.

- Grubeša, I. N., Marković, B., Gojević, A., Brdarić, J. (2018) “Effect of hemp fibers on fire resistance of concrete”, *Construction and Building Materials*, 184, 473-484.
- Gültekin, A., Hosseinneshad, H., Ramyar, K. (2022) “Agrega türünün geopolimer betonun yüksek sıcaklık direncine etkisi”, *Politeknik Dergisi*, 26(2), 913-921.
- Haddad, R. H., Al-Saleh, R. J., Al-Akhras, N. M. (2008) “Effect of elevated temperature on bond between steel reinforcement and fiber reinforced concrete”, *Fire Safety Journal*, 43(5), 334-343.
- Hassanpour, M., Shafigh, P., Mahmud, H. B. (2012) “Lightweight aggregate concrete fiber reinforcement—A review”, *Construction and Building Materials*, 37, 452-461.
- IS 13311 (Part I) 1992 Non-Destructive Testing of Concrete Methods of test (Ultrasonic Pulse Velocity), *CED 2: Cement and Concrete*.
- IS 13311 (Part II) : 1992 Non-Destructive Testing of Concrete Methods of test (Rebound Hammer), *CED 2: Cement and Concrete*.
- ISO 1920-7. Testing of concrete—Part 7: Non-destructive tests on hardened concrete, Switzerland: *Int. Organization Standardization*, 2004.
- Kam, W. Y., Pampanin, S., Elwood, K. (2011) “Seismic performance of reinforced concrete buildings in the 22 February Christchurch (Lyttleton) earthquake”.
- Kocataşkın, F. (1976). Beton üretiminde istatistik kalite kontrolü. *İMO İstanbul Şubesi, Beton Teknolojisi ve Sorunları Semineri, İstanbul*.
- Lamond, J. F., Pielert, J. H. (2006) “Significance of tests and properties of concrete and concrete-making materials”, *ASTM international*, vol. 169.
- Laserna, S., Montero, J. (2016) “Influence of natural aggregates typology on recycled concrete strength properties”, *Construction and Building Materials*, 115, 78-86.
- Lee, G., Han, D., Han, M. C., Han, C. G., Son, H. J. (2012) “Combining polypropylene and nylon fibers to optimize fiber addition for spalling protection of high-strength concrete”, *Construction and building Materials*, 34, 313-320.
- Ma, Q., Guo, R., Zhao, Z., Lin, Z., He, K. (2015) “Mechanical properties of concrete at high temperature—A review”, *Construction and Building Materials*, 93, 371-383.
- Moosaei, H. R., Zareei, A. R., Salemi, N. (2022) “Elevated temperature performance of concrete reinforced with steel, glass, and polypropylene fibers and fire-proofed with coating”, *International Journal of Engineering*, 35(5), 917-930.
- Neville, A. M. (1975) “Properties of Concrete”, *Pitman Publishing*, London.

- Rashad, A. (2016) "Cementitious materials and agricultural wastes as natural fine aggregate replacement in conventional mortar and concrete", *Journal of Building Engineering* 5, 119-141.
- Rilem, T. C. (1994) "Recommendations for the testing and use of constructions materials", *RC*, 6, 218-220.
- Rockwell, T., Barka, A., Dawson, T., Akyuz, S., & Thorup, K. (2001). Paleoseismology of the Gazikoy-Saros segment of the North Anatolia fault, northwestern Turkey: Comparison of the historical and paleoseismic records, implications of regional seismic hazard, and models of earthquake recurrence. *Journal of Seismology*, 5, 433-448.
- SANDBERG. Spalling of concrete to beams and a column caused by fire ‘’, <https://www.sandberg.co.uk/site/inspection/fire-damaged-concrete/Son> erişim tarihi: 28.05.2024
- Serrano, R., Cobo, A., Prieto, M. I., de las Nieves González, M. (2016) "Analysis of fire resistance of concrete with polypropylene or steel fibers", *Construction and building materials*, 122, 302-309.
- Shihada, S. (2011) "Effect of polypropylene fibers on concrete fire resistance", *Journal of civil engineering and management*, 17(2), 259-264.
- Subaşı, S., İşbilir, B., Ercan, İ. (2011) "Uçucu kül ikameli çimento numunelerinin mekanik özelliklerine yüksek sıcaklığın etkisi", *Politeknik Dergisi*, 14(2), 141-148.
- TADAS 2020. Turkish Accelerometric database and analysis system (**TADAS**). Disaster and emergency management presidency (**DEMP**), Turkey
- Taşdemir, M.A. (1982) "Taşıyıcı hafif betonların elastik ve elastik olmayan davranışları", Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi*, İstanbul.
- Tian, L., Liang, F., Guo, Q., Chen, S., Xiao, S., Wu, Z., Pan, X. (2018) "The effects of interaction between particulate matter and temperature on mortality in beijing", *Environmental Science: Processes and Impacts*, China, 20(2), 395-405.
- TS EN 12504-4. (2012) Testing concrete—Part 4: determination of ultrasonic pulse velocity, *Türk Standartları Enstitüsü Dergisi*, Ankara.
- TS EN 1992-1-2: Eurocode 2, (2005) "Beton yapıların tasarımı- bölüm 1-2: genel kurallar- yapısal yangın tasarımı", *Türk Standartları Enstitüsü Dergisi*, Ankara.
- Xiao, J., Xie, Q., Xie, W. (2018) "Study on high-performance concrete at high temperatures in China 2004–2016 An updated overview", *Fire safety journal*, 95, 11-24.

- Yalciner, H., Sensoy, S., Eren, O. (2012) “Effect of corrosion damage on the performance level of a 25-year-old reinforced concrete building”, ***Shock and Vibration***, 19(5), 891-902.
- Yaltay, N., Ekinci, C. E. (2013) “Kolemanit katkılı ve pomza agregalı hafif betonların yüksek sıcaklık altındaki basınç mukavemeti özelliğinin tahribatsız yöntemle incelenmesi”, ***Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi***, 5(2), 30-41.
- Yamazaki, N., Yamazaki, M., Mochida, T., Mutoh, A., Miyashita, T., Ueda, M., Saito, K. (1995) “Structural behavior of reinforced concrete structures at high temperatures”, ***Nuclear Engineering and Design***, 156(1-2), 121-138.
- Yaprak, H., Karacı, A. (2009) “Polipropilen lifli betonların yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımlarının yapay sinir ağları ile tahmini”, ***International Journal of Engineering Research and Development***, 1(2), 23-28.