

Farklı Tip Sıvalarla Kaplı Betonun Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklık Etkisi

High Temperature Influence on The Mechanical Properties of Concrete Which Covered With Different Type Plasters

Turgut KAYA^{1*}, Salih YAZICIOĞLU²

Özet- Bu çalışmada, yüksek sıcaklığa maruz kalan sıva kaplamalı betonların mekanik özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla maksimum tane çapı (d_{max}) 8 mm olan agregaya ve 400 kg/m³ beton ile 50x50x50 mm küp numuneler üretilmiştir. Numuneler 20±2 °C’ de 28 gün standart su banyosu küründe tutulmuştur. Kür yaşını tamamlayan numuneler 100x100x100 mm ölçülerinde küp kalıplar içerisine sıva kalınlığı 25 mm olacak şekilde ortalanarak yerleştirilmiştir. Kaplanan numuneler 180 gün boyunca laboratuvar koşullarında bekletilmiştir. Referans (sıva kaplamasız) ve üç farklı sıva malzemesi ile kaplanmış numunelere 60 dakika 350, 550, 700 ve 1000 °C yüksek sıcaklık uygulanmıştır. Yüksek sıcaklık sonrası sıvalar temizlenip beton numunelerin ultrases geçiş hızı ve basınç dayanım değerleri belirlenmiştir. Sonuç olarak sıcaklık artışıyla beraber basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızlarında azalmalar görülmektedir. 1000 °C sıcaklıkta tüm numunelerde dağılmalar meydana geldiği için dayanım tespit edilmemiştir. 350, 550, 700 °C sıcaklıklar sonrasında en iyi dayanım ve ultrases değerleri alçı sıva kaplamalı numunelerden elde edilmiştir. En yüksek dayanım kayıpları 700 °C’de sırayla referans, ısı yalıtım sıvası, çimento esaslı ve alçı sıvalarda meydana gelmiştir. Basınç dayanım kayıpları ve ultrases geçiş hızı arasındaki korelasyon katsayısı 0,92 olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler- Sıvalar, Alçı sıva, Yüksek sıcaklık, Beton

Abstract- In this study, it is investigated that the mechanical properties of the plaster coated concretes exposed to high temperature. For this reason, 50x50x50 mm cube specimens were produced with maximum aggregate size (d_{max}) of 8 mm and 400 kg/m³ cement dosage. The specimens were cured in water bath for 28 days at 20 ± 2 °C. At the end of the curing period, the specimens were located at the center of the 100x100x100 mm cubic molds for obtaining a 25 mm plaster coating thickness. The coated specimens were placed for 180 days in the laboratory conditions. The reference (without plaster) and three different type of plaster coated specimens were subjected to high temperature effect at 350, 550, 700 and 1000 °C for 60 minutes. The ultrasound pulse velocity and compressive strength values were determined on the plaster removed surfaces of the specimens after high temperature exposure. As a result, the compressive strength and ultrasound pulse velocity of the specimens are reduced with the increased exposure temperatures. No strength value is obtained from the specimens at 1000 °C due to the whole destruction of the specimens. The best strength and ultrasound pulse velocity results are obtained from gypsum plaster coated specimens for 350, 550, 700 °C exposures. The highest strength losses for 700 °C exposure are determined as reference, thermal insulation plaster, cement and gypsum based plasters respectively. The correlation coefficient between the compressive strength loss and ultrasound pulse velocity was found as 0.92.

Keywords- Plasters, Gypsum plaster, High temperatures, Concrete

I. GİRİŞ

Yangın olayı geçmişten günümüze kadar insanları daima etkilemiştir. İlk çağlarda ateşi keşfeden insanlar ateşten faydalanmayı öğrenmişler ve ateşten korkmuşlardır. Kontrollü bir şekilde kullanıldığında enerji ve ısısından yararlanan ateşin kontrol dışına çıkınca da depreme benzer ve hatta sık olma olasılığı olan bir afettir. Yangın tehlikesi insanların küçük gruplar şeklinde yaşadığı dönemlerde daha azdı. Medeniyetin gelişmesi ile beraber şehirlerin inşa edilmesi, insanların toplu bir biçimde yaşamaları, yanmaya elverişli gereçlerden oluşan konutlarda oturmaya başlamaları ile yangın tehlikesinde artışlar meydana gelmiştir. Buna rağmen insanlar eski dönemlerden beri bazı uyarılara bağlı kalarak yangın tehlikesinin azaltılabileceğini öğrenmişlerdir. Zamanla gelişen teknoloji ile yanmaya karşı dirençli yapı malzemelerinin kullanımı ön plana çıkmıştır. Yapılarda yanmaya karşı önlemler alınıp taşıyıcı sistem olarak kagir, betonarme ve çelik taşıyıcı sistem kullanılmaktadır [1]. Betonarme yapılarının en önemli bileşenlerinden biri olan beton; agregaya, su, çimento ve ihtiyaç halinde belirli oranlarda katkı maddesinin bir arada karıştırılmasıyla üretilen başlangıçta plastik halde olup zamanla sertleşen kompozit bir yapı malzemesidir [2]. Beton yangına dayanıklılık açısından; A1 sınıfındadır [3]. Beton

^{1*}Sorumlu yazar iletişim: turgut.kaya@bilecik.edu.tr

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

²İletişim: syazicioglu@gazi.edu.tr

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi

yüksek sıcaklıktan etkilenen yapı malzemelerine kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Yavaş termal iletkenliğe sahip olması malzemenin içerisinde tutulan ısı, dış ortamın farklı sıcaklıklara sahip olmasından dolayı su buharına dönüşüp yüzeyde çatlamlar oluşturmaktadır [4,5].

Beton yüzeyindeki çatlaklar 200 ve 300 °C’ de başlar ve sıcaklığın yükselmesiyle artış göstermektedir. Buna rağmen dayanıklılığın sağlanabilmesi için donatı ve beton sıcaklığının bu malzemeler için kritik olan sıcaklık derecesine ulaşması engellenmelidir [6,7]. Beton dayanım kaybının %50’si 600°C’de, %80’ini de 800°C sıcaklığa ulaştığında kaybettiği bilinmektedir[8,9]. Kalker esaslı kırma agrega ile üretilmiş beton dayanımının farklı derecelerdeki sıcaklık ve alternatif söndürme-soğutma işlemlerinden sonra betonun nasıl etkileneceğinin araştırıldığı çalışmada, sıcaklığın yükselmesi ile beton dayanımında ve kalitesinde azalmalar, su ile soğutma işlemine tabii tutulan örneklerin hava ile soğutulan örneklerle göre daha yüksek basınç dayanımları elde edilmiştir. Ayrıca referans numuneye oranla 400 °C’de dayanımda % 50 düşüş, 700 °C ve daha yüksek sıcaklıklarda $CaO_2 + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$ ’e dönüşmesi ile basınçta % 82 dayanım kaybı olmuştur [10].

Alçı taşının (jips: $CaSO_4 \cdot 2H_2O$) çeşitli derecelerde pişirilmesi sonucu elde edilen, su ile karıştırıldığında malzeme özelliklerine bağlı farklı sürelerde katılaşma özelliği gösteren inorganik ve beyaz renkli bir bağlayıcı çeşididir [11]. Bioklimatik bir malzeme olan Alçı, yapının çok çeşitli kısımlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Alçının ses yalıtımı özelliği mevcuttur bunu da bünyesinde bulunan küçük boşluklar sayesinde sağlamaktadır [12]. Alçı yanmaz çünkü İnorganik bir malzemedir. Alçının yapısındaki boşluklarda bulunan nem ve bünyesinde mevcut kristal su yangın sırasında kristal suyu ayrıştırmak için ısı enerjisinin büyük bir kısmını absorbe etmektedir. Yangında alev ile alçı elemanın arasında bir buhar tabakası oluşturan ayrışan ve buharlaşan sudur. Suyun buharlaşma sürecinde alçı elemanın yüzeyindeki sıcaklık 140 °C üzerine çıkmaz. Yüz yirmi dakika yoğun olarak ateşe maruz bırakılan 150 mm genişliğindeki bir alçı elemanın iç yüzeyinde 55 °C iken, dış yüzeyindeki sıcaklık 1000 °C dir. Alçı, yanmaya karşı direnci ve dayanıklılığı ile bütün dünyada bina ve yangın sigorta otoriteleri tarafından kabul görmektedir [13].

Beton birçok inşaat malzemesine oranla yüksek sıcaklık etkisine karşı daha dayanıklı bir yapı malzemesidir. Yüksek sıcaklığa maruz kalan beton belirli bir zaman diliminde önemli bir zarar görmediği gibi gaz ve duman oluşturmaz. Betonun termik iletkenliğinin düşük olmasıyla betonarme yapılarda, betonarme donatısını yüksek sıcaklık etkisine karşı korumaktadır. Fakat bu dayanıklılık belirli sıcaklık derecelerinde ve sınırlı süreler içindir. Yüksek sıcaklıklar betonda, kabuk halinde dökülmeye ve dış yüzeylerde ayrışmaya neden olmaktadır. Betonarme elemanların ek yerlerinde çatlakların oluşmasına, betonun iyi yerleştirilmeyen ve donatıların bulunduğu bölgelerde görülür. Betonarme elemanlarında özellikle pas payının az bırakıldığı veya çeliğin açıkta olduğu durumlarda, çelik ısıyı çok iyi iletmediği için zararın derecesini artırır[14-15]. Beton ve harçlar üzerinde yüksek sıcaklık etkisinin araştırıldığı birçok bilimsel çalışma mevcuttur. Bu çalışmalardan bazıları; mineral katkılı kendiliğinden yerleşen betonlar [16], yüksek dayanımlı betonlar [17,18], farklı tel takviyeli betonlar [19,20], alternatif sıva harçlarının yüksek sıcaklık etkisine dayanıklılığı [1] ve hafif agregalar üzerinde [21,22] yüksek sıcaklık etkisi vb. şeklindedir. Ancak literatürde farklı tip sıva harçları ile kaplanmış betonun yüksek sıcaklık sonrası mekanik özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada, alçı sıva, ısı yalıtım ve çimento esaslı hazır sıva ile kaplanan betonların mekanik özelliklerine yüksek sıcaklığın etkisi incelenmiştir.

II. MALZEME VE YÖMTEM

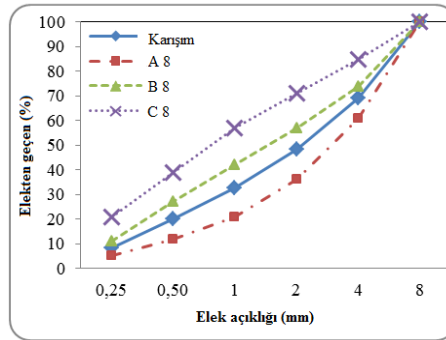
A. Malzemeler

Araştırmada; bağlayıcı olarak kullanılan Çimento Bilecik Sançim A.Ş. fabrikasından temin edilen TS EN 197-1’de CEM I 42.5 R Portland çimentosu kullanılmıştır[23]. Numunelerin üretilmesinde kullanılan çimentonun mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Kullanılan çimentoya ait özellikleri

| Kimyasal Bileşim | | Fiziksel ve Mekanik Özellikler | |
|--------------------------------|-------|------------------------------------|------|
| Bileşenler (%) | | Özgül Ağırlık (g/cm ³) | 3.06 |
| SiO ₂ | 19.96 | Özgül Yüzey (cm ² /g) | 3641 |
| Al ₂ O ₃ | 5.03 | 0.090 mm Elek Kalıntısı (%) | 0.1 |
| Fe ₂ O ₃ | 2.88 | 0.045 mm Elek Kalıntısı (%) | 4 |
| CaO | 63.6 | Kıvam Su Miktarı (%) | 29.6 |
| MgO | 1.17 | Priz Başlama Süresi (dk) | 190 |
| K ₂ O | 0.8 | Priz Sona Erme Süresi (dk) | 260 |
| Na ₂ O | 0.27 | Genleşme (Le Chatelier) (mm) | 1 |
| SO ₃ | 2.79 | Mekanik Özellikler | |
| Cl | 0.005 | Basınç Dayanımı N/mm ² | |
| TiO ₂ | - | 2 Gün | 21.6 |
| Mn ₂ O ₂ | - | 7 Gün | 42.7 |
| Kızdırma Kaybı | 3.02 | 28 Gün | 61.5 |

Bilecik ili Dağış taş ocağından temin edilen ve sırasıyla tane sınıfları 0-4, 4-8 mm ve özgül ağırlıkları 2.66, 2.69 gr/cm³ olan kırmataş agregalar kullanılmıştır. Beton karışımında kullanılan agregalara ait agregatane dağılımı eğrisi Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Agregatane dağılımı eğrisi

Beton numuneleri ve sıva harçlarının üretiminde kullanılan karışım suyuna ait analiz değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Suyun kimyasal analizi

| Parametre | Değerler |
|-----------------------------|-------------------|
| Alüminyum | < 2µg./L. |
| Amonyum | < 0.02mg/L. |
| Klorür | 0.43 mg/L. |
| İletkenlik | 20° C’de 160µS/cm |
| pH | 8.15 |
| Demir | < 1µg./L. |
| Mangan | < 1µg./L. |
| Oksitlenebilirlik | 0.64 mg/L. 02 |
| Sülfat | 2.71 mg/L. |
| Sodyum | 0.78 mg/L. |
| Renk, Koku, Tat, Bulanıklık | Uygun |
| 22 °C’de koloni sayımı | 0/ml. |
| Koliform Bakteri | 0/ml. |

Kaplama olarak, TS EN 998-1’e [24] uygun ısı yalıtım, çimento esaslı ve TS EN 13279-1’e uygun alçı sıva [25] kullanılmıştır. Sıvalara ait teknik özellikleri Tablo 3’ te verilmiştir.

Tablo 3. Kullanılan sıvalara ait teknik özellikler

| Isı Yalıtım Sıvası | | Çimento Esaslı Hazır Sıva | | Alçı Sıva | |
|-------------------------------------|----------------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| Görünüş | Beyaz | Görünüm | Toz halde | Karışım Suyu (10 kg alçıya) | 6.0-6.5 lt su. |
| Kuru Yoğunluk | 400 ±150 kg/m ³ | Renk | Beyaz- Gri | Donma Sonu | 150 Dakika |
| Isı İletkenlik | T1 Sınıfı | Karışım oranları | Su ve Kuru malzemenin %20-25 | Kullanım Süresi | 60 Dakika |
| Tek Katta Uygulama Kalınlığı | CS I | Tüketim | 1 m2 için ortalama 2-3 kg. | Tüketim Miktarı (1 cm) | 10 kg/m ² |
| Bağ Dayanımı | Kopma şekli FP.B | Kabuklaşma süresi | 60 Dakika | Kuruma Süresi | max. 4 gün |
| Su Emme | W1 | Tane boyutu | 0-1900 Mikron | Su Absorpsiyonu | Ağırlığın %32'si |
| Buhar Difüzyonu | %U=6.0 (120 Gün) | Erken dayanım | 48 saat | Yüzey Sertliği | 40 Shore D |
| Yangın Dayanımı | A1 Sınıfı | Nihai Dayanım | 28 gün | Kuru Birim Hacim Ağırlığı | 1.150 kg/m ³ |
| Boyaya Hazır olma | Uygun ortamda 52 Saat | Su dayanımı | Su itici özelliğe sahiptir. | Eğilme Mukavemeti | min. 1.0 N/mm ² |
| Ses Yutuculuk | 15 db (4 cm için) | | Hava Şartlarına dayanıklıdır. | Basınç Mukavemeti | min. 2.5 N/mm ² |
| Saklama süresi | 12 ay (Uygun ortamda) | | İç ve dış şartlarda kullanılır. | Isı İletkenliği | 0.30W/mK |

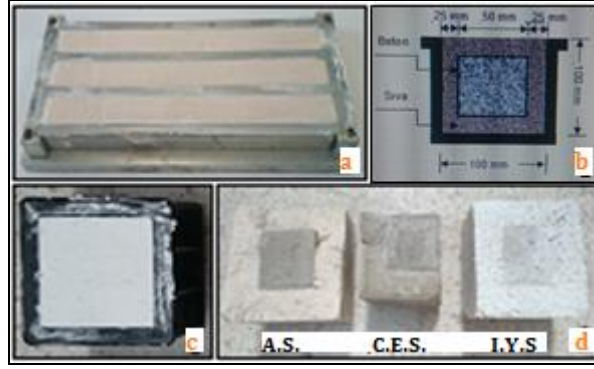
B. Yöntem

Bu çalışmada farklı tip sıvalarla kaplı betonların mekanik özelliklerine yüksek sıcaklık etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Kaplamasız referans numunesi için R, ısı yalıtım sıvası I.Y.S., alçı sıva A.S. ve çimento esaslı hazır sıva için Ç.E.S. kodları kullanılmıştır. Beton numunelerinin üretilmesinde kullanılan malzemeler ve karışım miktarları ile sıvaların su bağlayıcı oranları Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. 1m³ beton ve sıva karışım miktarları

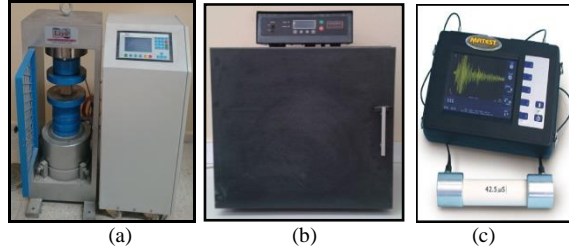
| Çimento (kg) | 400 | Malzeme | Su / Bağlayıcı |
|--------------|-----|---------|----------------|
| Su (kg) | 250 | A.S. | 0.65 |
| Agrega (mm) | 0-4 | Ç.E.S | 0.25 |
| | 4-8 | I.Y.S | 1 |

Karışım oranlarına uygun olarak 50x50x50 mm³ boyutlarında üretilen betonlar 20±2 °C sıcaklık ve %55-65 bağıl neme sahip laboratuvar ortamında 24 saat bekletilmiştir. 24 saat sonra kalıptan çıkarılarak 28 gün standart kür havuzunda tutulmuşlardır. Beton numuneler 100x100x100mm³lük kalıplarda her kenardan 25mm olacak şekilde ortalanmıştır. Numunelerin ortalanmasında Şekil 2-a'da verilen 25x25x285mm'lik 3 gözlü kalıplara üretici firmaların önerileri dikkate alınarak hazırlanan sıvalar kalıplara yerleştirilmiştir. 24 saat sonra kalıptan alınan sıva anoları 25 mm uzunluğunda kesilip 1 gün sonra Şekil 2-b'de gösterildiği gibi betonların kalıplar içerisinde ortalanmasında kullanılmıştır. 28 günlük standart kür sonunda beton numuneleri anolar yardımı ile kalıplarda ortalanmıştır. Sıva harçları üretici firmaların önerilerine uygun karışım oranlarında harç mikserinde hazırlanmıştır. Hazırlanan harçlar iki kademe 30 sn süre ile sarsma tablasında kalıplara yerleştirilmiştir. Şekil 2-c'de görüldüğü gibi kalıp yüzeyleri düzelterek 24 saat laboratuvar ortamında bekletilmiştir. 24 saat sonunda kalıplardan alınan numuneler 180 gün laboratuvar ortamında açık havada tutulmuştur.



Şekil 2. Numunelere ait örnekler

Üretilen kaplamasız betonun 7-28-180 günlük yaşlardaki ve yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanım deneyleri Şekil 3. (a)'da verilen 600 kN kapasiteli beton presinde yapılmıştır. 180 günlük yaşlara ulaşan numunelere Şekil 3. (b)'de verilen kül fırınında 350, 550, 700 ve 1000 °C olmak üzere 20°C/dk sıcaklık artışıyla istenilen sıcaklık derecesine ulaştıktan sonra 60 dk yüksek sıcaklık uygulanmıştır. Yüksek sıcaklık sonrası numuneler cihazın sahip olduğu otomatik soğutma sistemi ile 2°C/dk soğutma hızında oda sıcaklığına gelinceye kadar bekletilmiştir. Numunelerin ultrases geçiş hızları Şekil 3-c'de verilen cihaz ile bulunmuştur. Yüksek sıcaklık sonrası Şekil 2-d'de gösterildiği gibi ıspatula ile betona zarar vermeden ultrases geçiş hızı ve basınç dayanım deneylerine tabi tutulan bütün numunelerin üzerindeki sıvalar temizlenmiştir. Sıcaklık sonrası elde edilen basınç dayanımları 20°C'deki numunelerin dayanımları ile karşılaştırılmıştır. Yüksek sıcaklık ile ilgili birçok çalışmada 400 °C sıcaklıklara kadar beton dayanımlarında bir miktar artış gözlemlenmiştir. Çalışmalarda farklı sıcaklık değerlerinde artışlar olduğu görülmektedir. Bir çalışmada dayanım değerlerinin yükseldiği sıcaklık derecesi 250°C iken [26], başka bir deneysel çalışmada 200 °C olarak verilmiştir[27]. Bu durum literatürde özellikle 350°C sıcaklıktan önce Ca(OH)₂ bozunmasının gerçekleşmediği, bu nedenle de dayanım kaybı olmadığı şeklinde açıklanmaktadır [28,29]. Bu nedenle ilk sıcaklık değeri 350°C olarak alınmıştır.



Şekil 3. (a) Basınç presi, (b) Kül fırını, (c) Ultrases cihazı

Ultrasonik test yöntemi; TS EN 12504-4'e [30] uygun olarak 180 günlük kür yaşına ulaşan beton ve yüksek sıcaklık sonrası numunelerin dalga hızları (1) no'lu bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$V = \frac{L}{t} \quad (1)$$

Burada; V= Dalga hızı(Km/sn), L= Proplar arasındaki mesafe, (Km) ve t= Proplar arasında geçen zaman(sn) dır.

III. BULGULAR VE TARTIŞMA

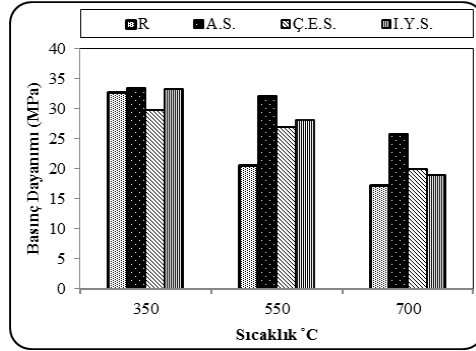
A. Basınç dayanımı deney sonuçları

Farklı tip sıvalarla kaplı betonun mekanik özelliklerine yüksek sıcaklık etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla üretilen betonların 7-28 ve 180 günlük basınç dayanımları Tablo 5'te verilmiştir. Beton 180 günlük yaşta 40 MPa basınç dayanım değerine ulaştığı görülmektedir.

Tablo 5. Beton numunelerine ait basınç dayanımları

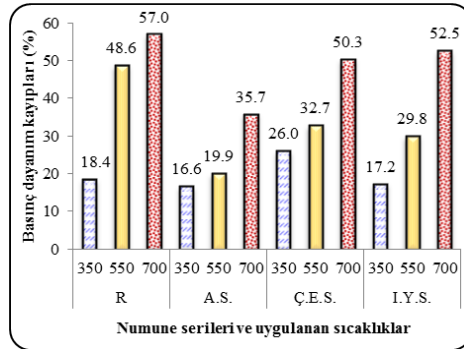
| Basınç Dayanımı (MPa) | | |
|-----------------------|---------|----------|
| 7. Gün | 28. Gün | 180. Gün |
| 25.26 | 38.75 | 40.19 |

Yüksek sıcaklık sonrası numunelerin basınç dayanım değerleri Şekil 5'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde 350 °C'de çimento esaslı sıva kaplamalı serilerin dışında kalan kontrol ve diğer kaplamalı numunelerin dayanımları birbirlerine yakın oldukları görülmektedir. Sıcaklık artışı ile beraber dayanımlarda azalmalar oldu görülmektedir.



Şekil 4. Yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanım değerleri

Numune serilerine uygulanan yüksek sıcaklıklar sonrası dayanım kayıpları Şekil 5'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde en büyük dayanım kayıpları R kodlu kaplamasız seri, Ç.E.S. ve I.Y.S. kodlu serilerde meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 5. Yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanım kayıpları

Dayanım kayıpları bütün sıcaklıklarda en az A.S. serilerinde meydana gelmiştir. A.S. serisinin R serisi ile kıyaslandığında 350 °C'de % 1.8, 550 °C'de % 28.7 ve 700 °C'de ise %21.3 gibi daha az dayanım kaybına uğradığı görülmektedir. Alçı yanmaz çünkü inorganik bir malzemedir. Yangın anında alevle karşılaşan alçı, elemanın boşluklarındaki nem ile bünyesindeki suyu ayrıştırmak için ısı enerjisini absorbe eder [13]. 550 ve 700°C sıcaklıklarda Ç.E.S. ve I.Y.S. sıvalarındaki dayanım kayıpları R kodlu seriden daha düşük ve birbirlerine %2 gibi yakın değerler aldıkları görülmüştür. Farklı sıcaklıklara maruz bırakılan, yüksek dayanıma sahip mineral katkı kullanılan betonların mekanik özelliklerinin araştırıldığı çalışmada 700 °C'de beton dayanım kaybı %55 olduğunu belirtmişlerdir [31]. Bir diğer çalışmada 400°C sıcaklıkta beton dayanımlarında %25 - %42 arasında düşüşler meydana gelmiştir. 800°C 'de basınç dayanımlarındaki kayıplar %57 - %64 arasında meydana gelmiştir [16].

1000 °C yüksek sıcaklık uygulanan numunelerde soğutma sonrası Şekil 6'da görüldüğü gibi dağılmalar meydana geldiği için basınç dayanımları tespit edilememiştir. Agrega porozitesi ve mineralojisi yüksek sıcaklığa maruz kalan betonun davranışı üzerinde önemli bir etki yapar. Yaygın olarak kullanılan agregaların birçoğu belli sıcaklıklara kadar ısıtıldığında fiziksel olarak bozulur. Kireçtaşı ve bazalt agregaları 650 °C'ye kadar ısıtıldığında

kalıcı termal genleşmeler gösterir [32]. Ayrıca 400 ile 600 °C arasındaki yüksek sıcaklıklar sertleşmiş çimento hamurunda boşluk sisteminin tamamen kurummasına, hidrasyon ürünlerinin ayrışmasına ve C-S-H jellerinin parçalanmasına yol açar. 400 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda soğutulma sonrası örneklerin parçalanması, o sıcaklıkta kalsiyum hidroksit ayrışması ve bu sıcaklıktan soğuma sonunda tekrar hidrate olarak genleşmesi ile açıklanmaktadır [33].

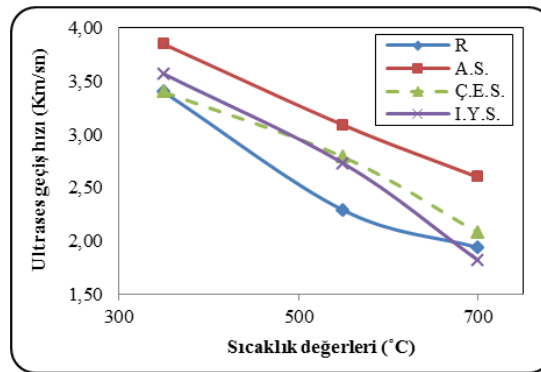


Şekil 6. 1000 °C sonrası dağılan numune örneği

B. Ultrases deney sonuçları

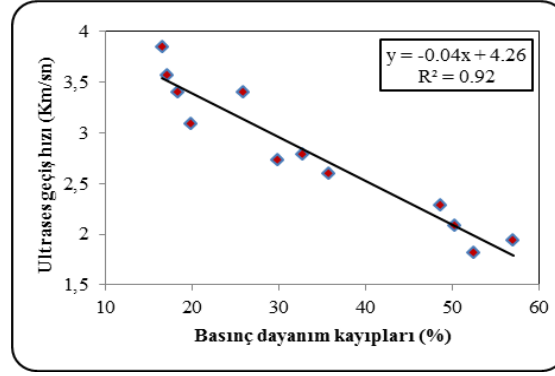
Ultrases geçiş hızı malzemenin boşluk miktarı ile ters oranlı olarak artış göstermektedir. Şekil 7'de yüksek sıcaklık sonrası numunelerin ultrases geçiş hızları verilmiştir. Grafik incelendiğinde sıcaklığın artması ile geçiş hızlarında azalmalar olduğu görülmektedir. Bu azalmalar basınç dayanım kayıplarında olduğu gibi en az A.S. serilerinde meydana gelmiştir. 350 - 750°C sıcaklıklarda R, Ç.E.S. ve I.Y.S. serilerinin ultrases geçiş hızları birbirilerine yakın oldukları görülmektedir. Ancak 550 °C'de kaplamalı betonların Referans betondan daha iyi sonuçlar verdikleri görülmektedir.

Beton numunelerinde sıcaklığın 300 °C'ye ulaşmasında C-S-H ara yüzeylerindeki su, C-S-H ve sülfalüminattan gelen kimyasal bağ suyunun bir bölümünün kaybedilmesi mikro çatlaklara yol açmaktadır. Mikro çatlaklar önce (yaklaşık 300 °C'de) Ca(OH)₂'nin toplandığı bölgelerde ve daha sonra hidrate olmamış tanelerin bulunduğu bölgede (yaklaşık 400 °C'de) görülür. 400 ile 600 °C arasındaki yüksek sıcaklıklar sertleşmiş çimento hamurunda boşluk sisteminin tamamen kurummasına, hidrasyon ürünlerinin ayrışmasına ve C-S-H jellerinin parçalanmasına yol açar [33-35].



Şekil 7. Ultrases deney sonuçları

Yüksek sıcaklık sonrası ultrases geçiş hızının düşmesi, numunelerde meydana gelen kılcal çatlak ve boşluk yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durum basınç dayanım kayıplarını da etkilemektedir. Ultrases geçiş hızları ile basınç dayanım kayıpları arasındaki ilişki incelenmiş ve Şekil 8'de verilmiştir. Ultrases ile basınç dayanım kayıpları arasındaki analiz sonucunda korelasyon katsayısı 0.92 olarak bulunmuştur.



Şekil 8. Ultras ses – Basınç dayanım kayıpları ilişkisi

IV. SONUÇLAR

Farklı tip sıvalarla kaplı betonun mekanik özelliklerine yüksek sıcaklık etkisinin araştırıldığı bu çalışmada aşağıda maddeler halinde verilen sonuçlara ulaşılmıştır.

- Dayanım kayıpları bütün sıcaklıklarda en az A.S. (Alçı Sıva) serilerinde meydana gelmiştir. A.S. serisinin R (kaplamasız) serisi ile kıyaslandığında 350 °C’de %1.8, 550 °C’de % 28.7 ve 700 °C’de ise %21.3 gibi daha az dayanım kaybına uğradığı görülmektedir.
- En büyük dayanım kayıpları R kodlu kaplamasız serilerden elde edilmiştir. Ç.E.S. kodlu çimento esaslı seriler ve I.Y.S. kodlu ısı yalıtım sıvası ile kaplı serilerde meydana gelen dayanım kayıpları birbirlerine yakın değerler aldığı görülmüştür.
- 350°C sıcaklıktan sonraki bütün sıcaklıklarda sıva kaplamalı numunelerin basınç dayanım kayıpları referans numunelere göre daha az olduğu görülmüştür. 700 °C’de minimum dayanım kaybı avantajı I.Y.S. serisinden % 4.5 olarak elde edilmiştir.
- 1000 °C’ye maruz kalan numunelerin tamamı soğutma işleminden sonra dağıldıkları görülmüştür. Bu durumun; kireçtaşı ve bazalt agregaları 650 °C’ye kadar ısıtıldığında kalıcı termal genleşmeler göstermesi ve 400 C’nin üzerindeki sıcaklıklarda kalsiyum hidroksitin ayrışması ve soğuma sonunda tekrar hidrate olarak genleşmesi ile açıklanabilir.
- Bütün serilerde, yüksek sıcaklık değerlerinin artmasıyla ultras ses geçiş hızlarında azalmalar meydana gelmiştir. En yüksek geçiş hızları basınç dayanımlarında olduğu gibi A.S. kodlu numunelerden elde edilmiştir.
- Yüksek sıcaklığa maruz kalabilecek yapılarda kaplama malzemesi olarak alçı sıva seçilmesinin, beton dayanım kayıpları açısından daha yararlı olabileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Bayraktar O.Y. Alternatif Sıva Harçlarının Yüksek Sıcaklık Etkisine Dayanıklılığı. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, 2012
- [2] Durmuş G, Subaşı S. “Betonarme Kalıp Maliyetinin Bilgisayar Ortamında Tasarımı”. *Ulusal Teknik Eğitim, Mühendislik ve Eğitim Bilimleri Genç Araştırmacılar Sempozyumu*, Kocaeli, Türkiye, 20-22 Haziran 2007.
- [3] Türk Standartları Enstitüsü. “Yapı mamulleri ve yapı elemanları – Yangın sınıflandırması – Bölüm 3: Bina hizmet tesisatlarında kullanılan mamuller ve elemanlar üzerinde yapılan yangına dayanıklılık deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak sınıflandırma: Yangına dayanıklı hava kanalları ve yangın damperleri”. TS EN 13501-3+A1, Ankara, Türkiye, 2012.
- [4] Hossain K.M.A. “Macro and Microstructural Investigations on Strength And Durability of Purmice Concrete at High Temperature”. *Journal of Materials in civil Engineering*, 18(4), 527-536, 2006.
- [5] Topçu İ.B, Demir A. “Yüksek Sıcaklık Uygulama Süresinin Harç Özelliklerine Etkisi”. *7. Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 28-30 Kasım 2007.
- [6] Guise S.E, Short N.R, Purkiss J.A. “Colour Analysis for Assessment of Fire Damaged Concrete” *Concrete Repair, Rehabilitation and Protection, Proceeding of The International Conference Held at The University. Dundee, Scotland/UK*, 1996.
- [7] Burnaz O, Durmuş, A. “Betonarme Yapı Elemanlarının Yangın Başarımları”. *Türkiye inşaat Mühendisliği XVII. Teknik Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 14-17 Nisan 2004.
- [8] Kızılkınat A.B. Yüzer N. “Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Harcın Basınç Dayanımı- Renk Değişimi İlişkisi”. *İMO Teknik Dergi*, 4381-4392, 2008.

- [9] Topçu, İ.B, Demir, A. “Kiremit Kırıklı Betonlarda Yüksek Sıcaklık Etkisi”. *7th International Congress in Civil Engineering*, Yıldız Technical University, İstanbul, Turkey, 11-13 October 2006.
- [10] Durmuş G, Bekem İ. “Yüksek Sıcaklığın ve Farklı Soğutma Koşulunun Kalker Agregalı betonlar Üzerindeki etkilerinin araştırılması”. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(4), 741-748, 2010.
- [11] Eriç M, “Yapıda Sıva Uygulamaları ve Sorunları”, *İnşaat Dergisi*, 70-73, (1992).
- [12] Ersoy H.Y. *Alçı, Sünger Taşı ve Cam Liği Kompoziti*. İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınevi, 1985.
- [13] Gürdal E. Kuzey ve Orta Anadolu Alçıları Üzerine Bir Araştırma. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 44-48, 1976.
- [14] Akman M.S. “Betonarme Yapılarda Yangın Hasarı ve Yangın Sonunda Taşıyıcılığın Belirlenmesi”, *Sika Teknik Bülten*, İstanbul, Türkiye, 2001.
- [15] Yazıcı H, Türkel S, Baradan B. “High Temperature Resistance of Pumice Mortar”, *II. International Symposium Cement and Concrete Technology in the 2000s*, İstanbul, Türkiye, 6-10 September 2000.
- [16] Kaya T, Karakurt C, Dumangöz M. “Mineral Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Porozite ve Basınç Dayanımlarına Yüksek Sıcaklığın Etkisi”, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1(1), 39-44, 2014.
- [17] Chan Y.N, Lou, X, Sun W. “The Compressive Strength and Pore Structure of High Performance Concrete After High Temperature up to 800 °C”. *Cement and Concrete Research*, 30, 247-251, 2000.
- [18] Piasta J, “Heat Deformation of Cement Paste Phases and Micro structure of cement paste”, *Mater. Struc.*, 17(102) 415-420, 1984
- [19] Aydın S, Yazıcı H, Baradan B. “High Temperature Resistance of Normal Strength and Autoclaved High Strength Mortar Incorporated Polypropylene and Steel Fibers”. *Cons. and Build Mater.* 22(4) 504-512, 2008
- [20] Xiao j, Falkner H, “On Residual Strength of High-Performance Concrete With and Without Polypropylene Fibres at Elevated Temperatures”, *Fire Safety Journal*, 41 115-121, 2006.
- [21] Sancak E, Sarı Y.D, Şimşek O. "Effects Of Elevated Temperature On Compressive Strength and Weight Loss of The Light weight Concrete With Silica Fume and Superplasticizer". *Cement and Concrete Composites*, 30: 715-721 2008.
- [22] Bingöl A.F, Gül R. “Compressive Strength of Lightweight Aggregate Concrete Exposed of High Temperature” *Indian J.Eng. and Mater. Sci*, 11, 68-72, 2004.
- [23] Türk Standartları Enstitüsü. “Çimento - Bölüm 1: Genel Çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri”, TS EN 197-1, Ankara. Türkiye, 2002.
- [24] Türk Standartları Enstitüsü. “Kagir harcı-özellikler – Bölüm 1: Kaba ve ince sıva harcı”. TS EN 998-1. Ankara, Türkiye, 2011.
- [25] Türk Standartları Enstitüsü. “Yapı ve sıva alçıları – Bölüm 1: Tarifler ve gerekler”. TS EN 13279-1. Ankara, Türkiye, 2014.
- [26] Morsy M, Salloum A, Abbas H, Alsayed S. “Behavior of Blended Cement Mortars Containing Nano-metakaolin at elevated Temperatures”. *Construction and Building Materials*. 2012.
- [27] Nadeem A, Memon S.A, Yiu Lo T. “Qualitative and quantitative analysis and identification of flaws in the microstructure of fly ash and metakaolin blended high performance concrete after exposure to elevated temperatures”. *Construction and Building Materials*, (38), 731-741. 2013
- [28] Demirel B, Keleştemur O. “Effect of elevated temperature on the mechanical properties of concrete produced with finely ground pumice and silica fume”. *Fire Safety Journal*, (45) 6–8, 385-391. 2010.
- [29] Kong Y, Daniel L, Sanjayan G.J, Crentsill S.K. “Comparative performance of geopolymers made with metakaolin and fly ash after exposure to elevated temperatures”. *Cement and Concrete Research*,(37) 12, 1583-1589. 2007.
- [30] Türk Standartları Enstitüsü. “Beton Deneylemi-Bölüm 4:Ultras Ses Geçiş Hızının Tayini”. TS EN 12504-4, Ankara, Türkiye, 2004.
- [31] Kim G.Y, Kim Y.S, Lee T.G, “Mechanical Properties of High-Strength Concrete Subjected to Elevated Temperature by Stressed Test” *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, No: 19, pp.128-133, 2009.
- [32] Khoury, G.A., “Compressive Strength of Concrete at High Temperatures: a Reassessment”, *Magazine of Concrete Research*, No. 44 (161), pp. 291-309, 1992.
- [33] Baradan İ.B, Aydın S. "Betonun Durabilitesi", *Beton 2013 Hazır Beton Kongresi*, İstanbul, 21-23 Şubat 2013.
- [34] Piasta J. “Heat Deformations of Cement Paste Phases and the Microstructure of Cement Paste”. *Materials and Structures*, No. 17, 415-420, 1984.
- [35] Lin W.M, Lin T.D, Powers-Couche L.J, “Microstructures of Fire-Damaged Concrete”, *American Concrete Institute Materials Journal*, No. 93, 199-205, 1996.

