

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Kalsine Bentonit Katkılı Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklık Etkisi**

Turgut KAYA<sup>1\*</sup>, Salih YAZICIOĞLU<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bilecik*

<sup>2</sup>*Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara*

---

### **Özet**

Bu çalışmada, kalsine edilen bentonit katkılı harçların mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine yüksek sıcaklığın etkisi araştırılmıştır. Harçlarda kullanılan çimento %10, %15 ve %20 oranlarında ağırlıkça azaltılarak yerine kalsine edilen bentonit ikame edilmiştir. Hazırlanan numunelerin 7, 28 ve 56 günlük kür yaşlarında basınç dayanımları incelenmiştir. Ayrıca 56 günlük kür yaşını tamamlayan numunelere 250, 500, 750 ve 1000°C yüksek sıcaklık uygulanmıştır. Numunelerin yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası ultra ses, su emme, porozite, ağırlık kayıpları ve basınç dayanımları ölçülüp birbirileri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası en düşük dayanım kayıpları 500°C’de referans numunesinden, 750 ve 1000°C’lerde %10 bentonit katkılı numunelerden elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bentonit, verim, harç, porozite, basınç dayanımı, yüksek sıcaklık

---

## **Effect of High Temperature on Mechanical and Physical Properties of Mortars with Calcined Bentonite Additive**

---

### **Abstract**

In this study it is investigated that the effect of high temperature on mechanical and physical properties of mortars with calcined bentonite additive. The cement used in mortars replaced with calcined bentonite in ratios with 10%, 15% and 20%. The compressive strengths are investigated on 7, 28 and 56 days cured specimens. In addition, 56 days cured specimens were subjected to high temperature at 250, 500, 750 and 1000°C. The ultrasound pulse velocity, water absorption, porosity, weight loss and compressive strength test results are compared with before and after high temperature exposure on these specimens. According to test results, the lowest strength loss is obtained with reference specimen at 500°C and 10% bentonite additive specimen at 750 and 1000 °C respectively.

**Keywords:** Bentonite, mortar, porosity, compressive strength, high temperature

---

### **1. Giriş**

Yanma olayı, yanıcı maddelerin oksijenle veya diğer oksitleyici maddelerle birlikte belirli şartlarda kararlı bir ekzotermik zincirleme reaksiyona girmesidir. Bir yanma reaksiyonunun başlaması için, yanıcı maddeyle beraber, oksijenin ve tutuşmayı sağlayan ısıl enerji kaynağının varlığı gerekir [1]. Yangından korunmak için alınması gereken önlemlerin belirlenmesinde, yapılarda kullanılan malzemelerin, yangın karşısındaki davranışlarının bilinmesi son derece önemlidir. Bir yapı malzemesinin yangın karşısındaki davranışı, yangına katılma, alev oluşumu, alev yayılım hızı, alev sürekliliği gibi performans ölçütlerine göre belirlenir. Özellikle yangın gibi yüksek sıcaklığın oluşturduğu hasarlara ülkemizde de çok sık rastlanmaktadır. Beton ve betonarme elemanlar yüksek sıcaklığa maruz kaldığında fiziksel ve mekanik özelliklerinde değişiklikler meydana gelir.

---

\*Sorumlu Yazar: [turgut.kaya@bilecik.edu.tr](mailto:turgut.kaya@bilecik.edu.tr)

Bunlar, beton basınç dayanımında ve elastisite modülünde azalma, çatlak oluşumu, parçalanma ve dağılma, çelikte ise akma dayanımı, düktilite ve çekme dayanımında azalma olarak sıralanabilir [2].

Beton bir kompozit malzeme olduğundan, genellikle içindeki bileşenlerin termal genleşmeleri birbirinden farklıdır. Bu nedenle betonda sıcaklık değişimleri, içindeki bileşenlerde, birbirinden farklı hacim değişmelerine, çatlak oluşumuna ve betonun dayanıklılığının azalmasına neden olur [3]. Yüksek sıcaklığın betonun mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisinin araştırıldığı bilimsel çalışmalarda, 250°C'nin altındaki sıcaklıklarda betonun dayanımının etkilenmediğini, 300°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise dayanım kaybının belirgin olduğunu belirtilmiştir [4]. 300°C'den itibaren alüminli ve demiroksitli bileşenler dehidratasyona başladığından basınç dayanımının azalmaya başladığı ve 400°C civarında Ca(OH)<sub>2</sub>'nin CaO'te dönüştüğünü vurgulanmış; bu sıcaklık değeri aşıldıkça bu kez silis jellerinin parçalanmaya başladığı, 600-700°C'den sonra ise beton içerisindeki tüm elemanların tahrip olduğu belirtilmiştir [5]. Mineral katkılı yüksek dayanımlı betonların yoğun yapısı ve boşluk oranının düşük olması nedeniyle yüksek sıcaklık altındaki dayanım kayıp yüzdelerinin, mineral katkısız normal dayanımlı betonlardan daha yüksek olduğunu göstermiştir [6]. Van depreminde yıkılan binaların incelenmesi sonucunda, beton, donatı ve betonu oluşturan malzemelerde hatalar tespit edilmiştir. Van ve Erciş'te altında fırın olan bütün binalar yıkılmıştır. Konutların altında ekmek, simit, lahmacun, pide fırını ya da kebab salonlarının büyük tehlike oluşturduğu tespit edilmiştir. Isı yalıtımsız fırınlardaki yüksek ısı taşıyıcı elemanlardaki betonun ve donatının dayanım gücünü düşürmektedir [7].

Büyük ölçüde montmorillonit veya iyon değişimleri ile türemiş olan berdelit, saponit, hektorit ve nontronit gibi kil minerallerini içeren maddelere "bentonit" denir. Bentonitin kullanım alanlarına bakıldığında, döküm kalıplarının yapımında döküm kumunun birbirine bağlanmasını sağlamak amacıyla, seramikçilikte ek hammadde olarak yararlanılarak üretilen seramik malzemelere mukavemet kazandırır. Alçıda donma süresini kısaltıcı madde olarak yararlanır. İnşaat sektöründe geçirimsiz tabaka ve zemin stabilizasyonunda yararlanır. Meyve suyu, şarap ve biranın berraklaştırılmasında ve yangın söndürücüler, boya sanayii ve birçok kimya sanayisinde katalizör olarak kullanılabilir [8]. Kalsine edilen bentonitin çimento harçlarında puzolanik katkı maddesi olarak kullanılabilirliğinin araştırıldığı çalışmada, kalsine edilmiş bentonitin %10 oranında mineral katkı malzemesi olarak çimento esaslı kompozitlerde kullanımının en uygun dayanım performansını verdiği görülmüştür [9]. Ancak literatürde kalsine edilen bentonit katkılı harçların fiziksel ve mekanik özelliklerine yüksek sıcaklık etkisinin araştırılması ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada kalsine edilen bentonit katkılı çimento harçlarının 250, 500, 750 ve 1000°C sıcaklık öncesi ve sonrası su emme, ultra ses, gözeneklilik, ağırlık kayıpları ve basınç dayanımlarındaki değişimler araştırılmıştır.

## 2. Malzeme ve Yöntem

### 2.1. Malzemeler

Bu çalışmada ana bağlayıcı olarak harç karışımlarının hazırlanmasında Sançim Bilecik Çimento A.Ş.'den temin edilen, TS EN 197-1 [10] ile uyumlu CEM I 42.5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. Harçlarda kullanılan çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Harçların hazırlanmasında TS EN 196-1'e [11] uygun Set Trakya Çimento Sanayi ürünü olan 1350 gr'lık poşetler halinde paketlenmiş CEN standart kumu, karışım ve kür suyu olarak Bilecik şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

Numunelerin hazırlanmasında mineral katkı olarak özgül ağırlığı  $2.5342 \text{ g/cm}^3$ , özgül yüzey alanı  $16.9930 \text{ m}^2/\text{g}$  ve Tablo 2’de kimyasal bileşimi verilen kalsine edilen bentonit kullanılmıştır.

**Tablo 1.** Kullanılan çimento özellikleri

Kimyasal Bileşim		Fiziksel ve Mekanik Özellikler	
Bileşenler (%)		Özgül Ağırlık ( $\text{g/cm}^3$ )	3.06
SiO <sub>2</sub>	18.90	Özgül Yüzey ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	3641
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.15	0.090 mm Elek Kalıntısı (%)	0.1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.36	0.045 mm Elek Kalıntısı (%)	4
CaO	63.59	Standart Kıvam Su Miktarı (%)	29.6
MgO	1.57	Priz Başlama Süresi (Dk)	190
K <sub>2</sub> O	0.77	Priz Sona Erme Süresi (Dk)	260
Na <sub>2</sub> O	0.40	Genleşme (Le Chatelier) (mm)	1
SO <sub>3</sub>	2.65	<b>Mekanik Özellikler</b>	
Cl	0.023	<b>Basınç Dayanımı <math>\text{N/mm}^2</math></b>	
TiO <sub>2</sub>		2 Gün	21.6
Mn <sub>2</sub> O <sub>2</sub>		7 Gün	42.7
Kızdırma Kaybı	3.59	28 Gün	61.5

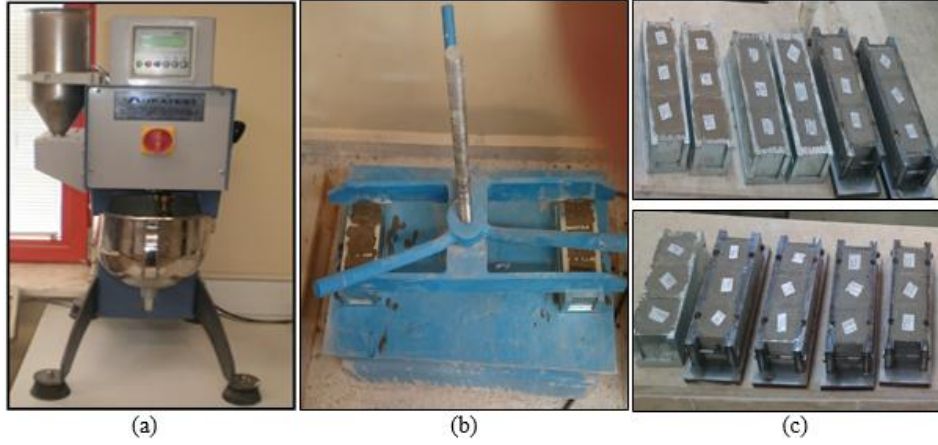
**Tablo 2.** Kalsine edilen bentonit özellikleri

Kimyasal Bileşim	
Bileşenler (%)	
SiO <sub>2</sub>	63,75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,05
FeO	7,69
CaO	5,53
MgO	1,74
MnO	0,56
ZnO	0,27
Na <sub>2</sub> O	0,86
Diğerleri	4,55

## 2.2. Yöntem

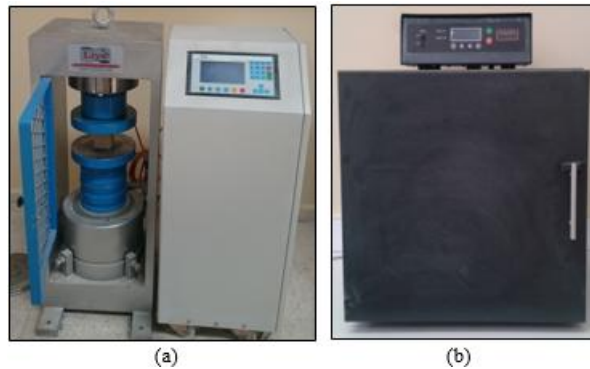
Bu çalışmada, biri referans olmak üzere farklı oranlara sahip 4 adet harç serisi TS EN 196-1’de [11] önerilen deney yöntemlerine uygun olarak ağırlıkça %10, %15 ve %20 oranlarında çimento ile ikame edilen kalsine edilmiş bentonit kullanılarak üretilmiştir. Referans numunesi için R, kalsine edilen bentonitin katkı olarak kullanıldığı numuneler için B kodu kullanılmıştır. Kil mineralleri kristal yapılu olup, killerin ve şeyllerin hammadde formları puzolanik özellik göstermez. Ancak  $700^\circ\text{C}$  ile  $900^\circ\text{C}$  arasında ısı ile işleme olurlar ve puzolanik özellik kazanırlar. Isıl işlem killerin ve şeyllerin

kristal yapılarını bozar ve yarı amorf şekle veya bozulmuş alümina silikat yapısına dönüştürür. Killer için ısıtma işlem süresi 1 ile 2 saat arasındadır [ 12]. Harçlarda ikame malzemesi olarak kullanılmak üzere kül fırınında 20°C/dk kademeli olarak artan sıcaklıkta 1 saat süreyle 900°C’de pişirilmiş ve yaklaşık 2°C/dk ile fırın içerisinde soğutulmuştur. 0.09 mm’lik elekten geçen malzeme kullanılmıştır. Harçların hazırlanmasında 450 gr (çimento+Bentonit), 1350 gr standart kum ve 225 gr su kullanılmıştır. Su / bağlayıcı oranını sabit tutmak amacıyla karışım suyu sabit alındığından bentonit katkılı numunelerin işlenebilirliklerinin de azalmaları olduğu numunelerin gözle muayenesinde görülmüştür. Karışımlar TS EN 196-1’e [11] uygun Şekil 1 (a)’da gösterilen Ankatest markalı otomatik harç mikserinde hazırlanmıştır. Harçların kalıplara yerleştirilmesinde kullanılan sarsma tablası Şekil 1 (b)’de ve Şekil 1(c)’de örnek harç kalıpları verilmiştir.



Şekil 1. a) Harç mikseri, b) Sarsma tablası c) Harç kalıpları

Hazırlanan karışımlarla 50×50×50 mm boyutlarında üretilen numuneler 24 saat sonra kalıplardan çıkartılıp test gününe kadar 22 ± 2°C sıcaklıktaki kür havuzunda bekletilmiştir. Üretilen küp numuneler 7-28-56 günlük kür yaşlarında, yüksek sıcaklık öncesi (YSÖ) ve yüksek sıcaklık sonrası (YSS) basınç dayanım deneyleri Şekil 2 (a)’da verilen 600 kN kapasiteli beton presinde yapılmıştır. Standartlara göre yangın ortamı 15-300 dk süre içerisinde ve 20-1000°C sıcaklık arasında oluşmaktadır. İlk 30dk’den sonra sıcaklık artışı 20-842°C olarak kabul edilmiştir. Ortalama ısı artış oranı 27.4°C/dk denk gelmektedir [ 13-15]. Literatürde yüksek sıcaklık ile ilgili çalışmalarda 1°C/dk [16], 2.5°C/dk [17], 6°C/dk [18] ve 10 °C/dk [15], sıcaklık artış hızları ile deneysel çalışmalar bulunmaktadır. Harçların ilerleyen yaşlarda basınç dayanımlarında artışlar meydana geldiği için 56 günlük yaşlara ulaşan numunelere Şekil 2 (b)’de verilen kül fırınında 250, 500, 750 ve 1000°C olmak üzere 20°C/dk kademeli olarak artan sıcaklıkta 1 saat süreyle yüksek sıcaklıklar uygulanmıştır.



Şekil 2. (a) Basınç presi, (b) Yüksek sıcaklık fırını

Ultras ses test yöntemi, 56 günlük kür yaşına ulaşan numunelerin YSÖ ve YSS dalga hızları (1) no'lu bağıntı ile hesaplanmıştır.

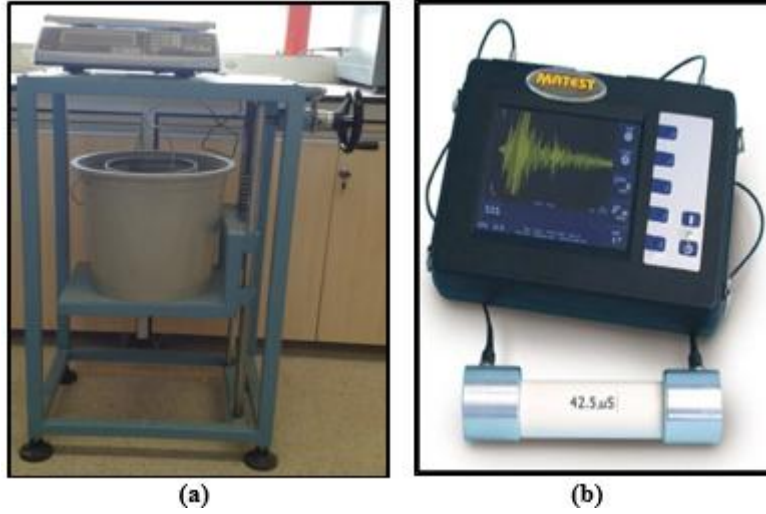
$$V = \frac{L}{t} \times 10^3 \quad (1)$$

Burada, V= Ses üstü dalga hızı, (Km/s), L= Gönderici ve alıcı proplar arasındaki mesafe, (m) ve t= Ses üstü dalganın gönderilmiş olduğu yüzeyinden alındığı yüzeye kadar geçen zaman, (µsn) dır. Yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası numunelerin su emme ve gözeneklilik değerleri 56 günlük numuneler üzerinde uygulanmıştır. Su emme (2) ve gözeneklilik değerleri (3) no'lu bağıntı ile hesaplanmıştır [3,19].

$$\text{Su emme (\%)} = \frac{W_{dyk} - W_{kuru}}{W_{kuru}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Gözeneklilik (\%)} = \frac{W_{dyk} - W_{kuru}}{W_{dyk} - W_{su}} \times 100 \quad (3)$$

Burada,  $W_{dyk}$  = Numunenin doygun yüzey kuru ağırlığı, (kg),  $W_{kuru}$  = Kuru ağırlığı, (kg),  $W_{su}$  = Numunenin su altındaki ağırlığı (kg)'dır. Numunelerin su altındaki ağırlıkların belirlenmesinde Şekil 3 (a)'da, ultra ses geçiş hızları ise Şekil 3 (b)'de verilen cihazlar kullanılmıştır.



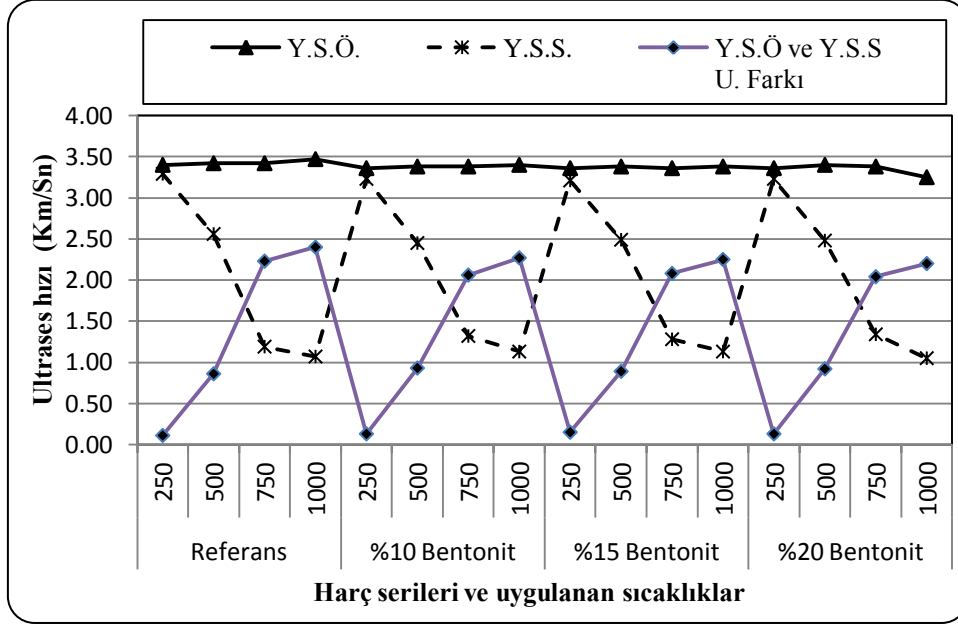
Şekil 3. (a) Özgül ağırlık deney sehpası, (b) Ultras ses test cihazı

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Ultras ses Deney Sonuçları

Ultras ses deneyinde geçiş hızının yüksek olması deney sırasında ses üstü dalgaların o kadar az boşluktan transfer edilmesiyle mümkündür. Şekil 4 incelendiğinde numunelerin YSÖ dalga geçiş hızları 3-3.5, YSS ise 2.2-2.4 Km/sn arasında değiştiği görülmektedir. Yüksek sıcaklık değerlerinin artmasıyla ultras ses dalga hızlarında azalmalar meydana gelmiştir. YSÖ ve YSS dalga hızlarının farkları incelendiğinde sıcaklık artışı ile beraber artış gösterdiği ve en büyük farkların 1000°C 'deki sıcaklıklarda meydana geldiği görülmektedir. 1000°C sıcaklık sonrası dalga geçiş hızları 1.05-1.13

Km/s arasında değiştiği ve en düşük geçiş hızı %20 B numunesinden olduğu görülmektedir. Bu durum işlenebilirliğin düşmesinden kaynaklanabilir. Ayrıca puzolan malzemelerin puzolanik tepkimeye katılması sonucunda hidrasyon ürünü ilave CSH'lar üretilir, çimento taneleri arasında bağlayıcı merkezler gibi hareket eden temas noktaları oluşturmaktadır [17]. Bu durum yüksek sıcaklıklardan daha fazla etkilenmesinden kaynaklanabilir.



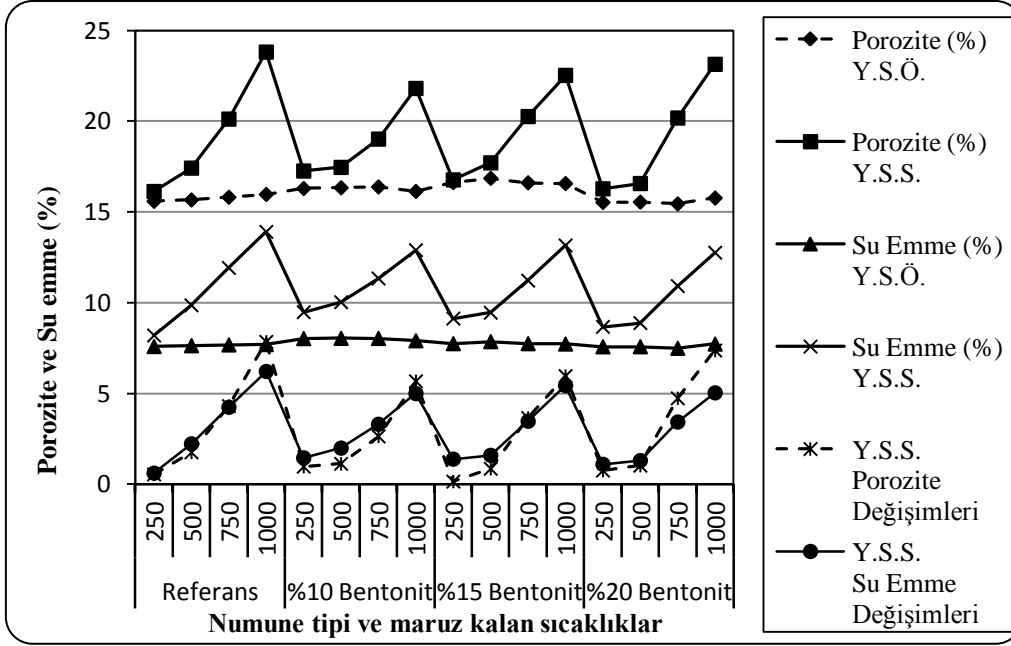
Şekil 4. Serilerin yüksek sıcaklık öncesi (Y.S.Ö), sonrası (Y.S.S.) ve ultrases farkları

### 3.2. Su emme, Gözeneklilik ve Ağırlık kayıpları Deney Sonuçları

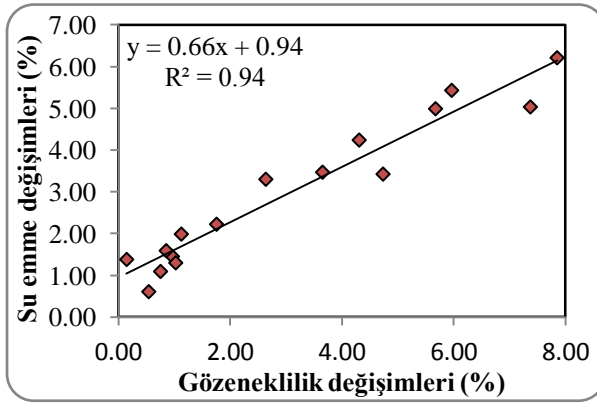
Su emme ve gözeneklilik deney sonuçları Şekil 5'te verilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere, su emme yüzdeleri Y.S.Ö. %7-8 iken 500°C'ye kadar %1'lık bir artış olurken, 750°C sonrasında su emme değerleri %10 civarında ve 1000°C'de %14'e yakın değerler aldıkları görülmektedir. En düşük ve En yüksek su emme değerleri sırasıyla 1000°C'de %20B serisinde %12.76 ve referans numuneden %13.94 olarak elde edilmiştir. Gözeneklilik değerleri incelendiğinde en düşük gözeneklilik değerleri %10B ve %15B serilerinde, en yüksek gözeneklilik değerleri ise R ve %20B katkılı 1000°C'deki numunelerden elde edilmiştir. Bunun sebebi olarak, %20B serisinin işlenebilirliğinin %10B – %15B numunelerine göre daha düşük olduğu kalıplara yerleştirme sırasında görülmüştür. Bu düşüş numunenin boşluk yapısını etkilemiştir. Ayrıca sıcaklık artışı ile gözeneklilik değerlerinde artışlar meydana gelmiş ve bu artışlar nispetinde beton dayanımlarında kayıplar oluşmaktadır [6, 20].

Sıcaklık artışı ile birlikte numunelerin gözeneklilik değerlerinde artışlar olmuştur ve bu artışlar ile birlikte su emme değerleri de artış göstermiştir. Y.S.Ö ve Y.S.S. gözeneklilik ve su emme yüzdelerindeki değişimlerin arasındaki ilişkiyi ve gözeneklilik - ultrases arasındaki ilişkiyi görmek amacıyla lineer regresyon analizleri yapılmıştır. Su emme – gözeneklilik analizi sonucunda korelasyon katsayısı 0.94 olarak bulunan bu güçlü ve doğrusal ilişki Şekil 6-a' da verilmiştir. Ultrases – gözeneklilik arasındaki korelasyon katsayısı ise 0.76 olarak bulunmuş ve Şekil 6 (b)' de gösterilmiştir.

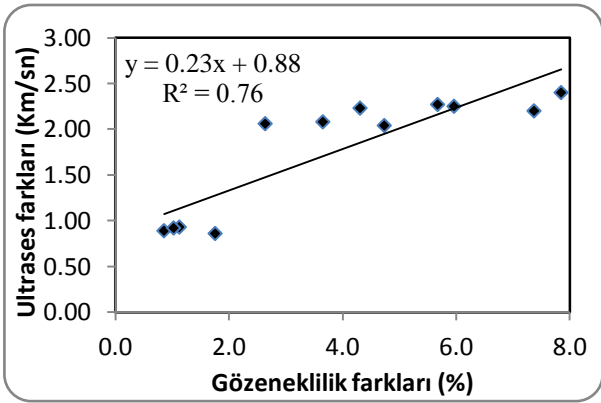
Harç numunelerinin YSS ağırlıklarının YSÖ ağırlıklarına oranı yüzdece Şekil 7'de verilmiştir. Ağırlık oranları incelendiğinde sıcaklık artışına paralel olarak ağırlık oranlarında azalmalar meydana gelmiştir. Aynı sıcaklıktaki ağırlık oranlarının birbirlerine yakın değerler aldıkları görülmektedir. Ağırlık oranları arasındaki korelasyon katsayısı 0.87 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5. Serilerin gözeneklilik, su emme deney sonuçları

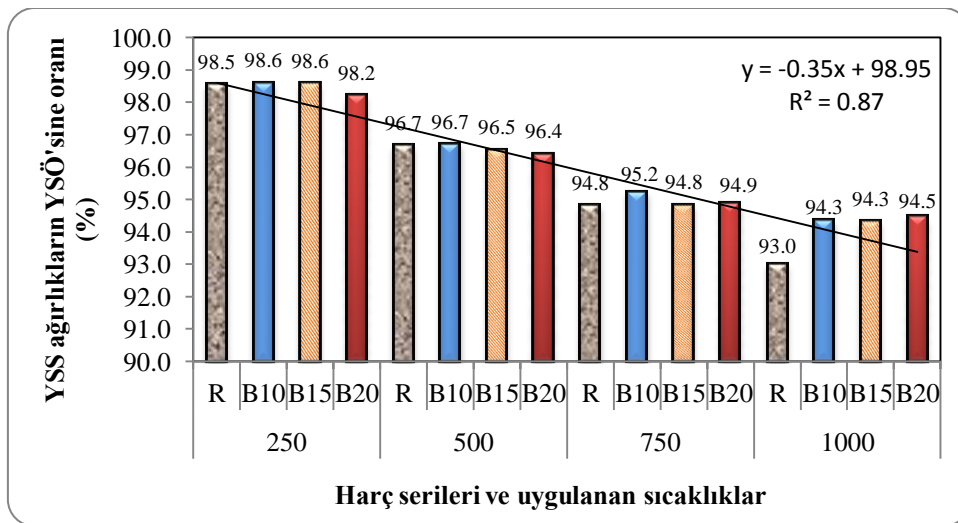


(a)



(b)

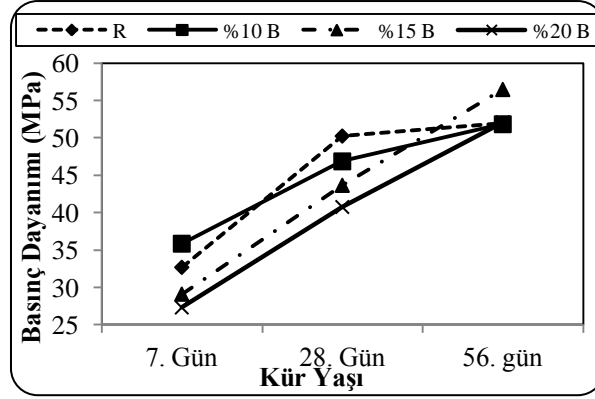
Şekil 6. (a) Su emme – gözeneklilik (b) Ultrases – gözeneklilik analizleri



Şekil 7. Sıcaklıklar sonrası numunelerin ağırlık oranlarının değişimleri

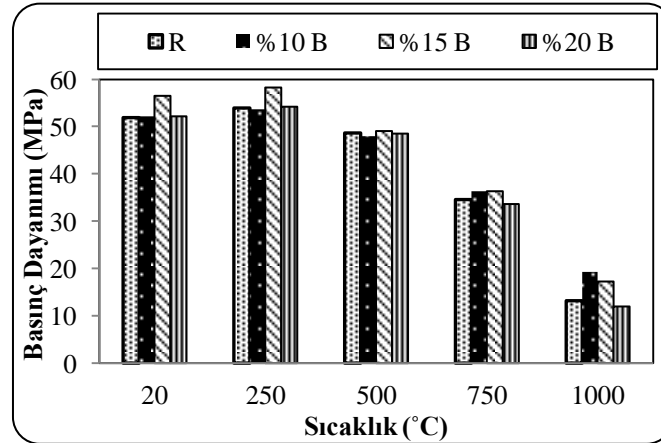
### 3.3. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Yüksek sıcaklık etkisinin araştırıldığı bu çalışmada üretilen R, %10B, 15B ve %20B numunelerin 7-28 ve 56 günlük basınç dayanımları Şekil 8’de verilmiştir. Grafik incelendiğinde 7 günlük yaşlarda %15B -20B katkılı harçların dayanımları referans numunesi değerlerinden düşük olduğu görülmektedir. İlerleyen yaşlarda katkılı numuneler referans dayanımına ulaşmışlardır. Bentonit katkılı numunelerin ilerleyen yaşlardaki basınç dayanım değerlerindeki artışın, çimento ile birlikte kullanılan bentonitin ilerleyen yaşlarda harç içerisinde açığa çıkan  $\text{Ca(OH)}_2$  ile puzolanik reaksiyona girerek ilave bağlayıcı bileşikler oluşturması olduğu düşünülmektedir [9].



Şekil 8. Basınç dayanım değerleri

56 günlük kür yaşına ulaşan numunelerin yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımları şekil 9’da gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde 250°C sıcaklığa maruz kalan bütün numunelerin basınç dayanımlarında %3-4 arasında bir artış olduğu görülmektedir. Bu durum yüksek sıcaklığa maruz bırakılan betonlar üzerine yapılan önceki birçok çalışmada 400°C sıcaklıklara kadar beton dayanımlarında bir miktar artış gözlemlenmiştir. Bu mukavemet artışları sıcaklık etkisiyle oluşan enerjinin hidrate olmamış çimento tanelerinin hidratasyonunu tamamlamasına sebep olması ile açıklanmaktadır [21]. Çalışmalarda farklı sıcaklık değerlerinde artışlar olduğu görülmektedir. Bir çalışmada dayanım değerlerinin yükseldiği sıcaklık derecesi 250 iken [22], başka bir deneysel çalışmada 200°C olarak verilmiştir [23]. Bu durum literatürde özellikle 350°C sıcaklıktan önce  $\text{Ca(OH)}_2$  bozunmasının gerçekleşmediği, bu nedenle de dayanım kaybı olmadığı şeklinde açıklanmaktadır [17, 24, 25].

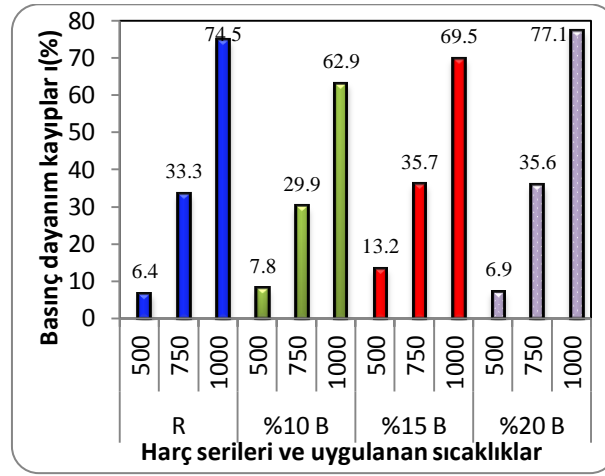


Şekil 9. Yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanım değerleri



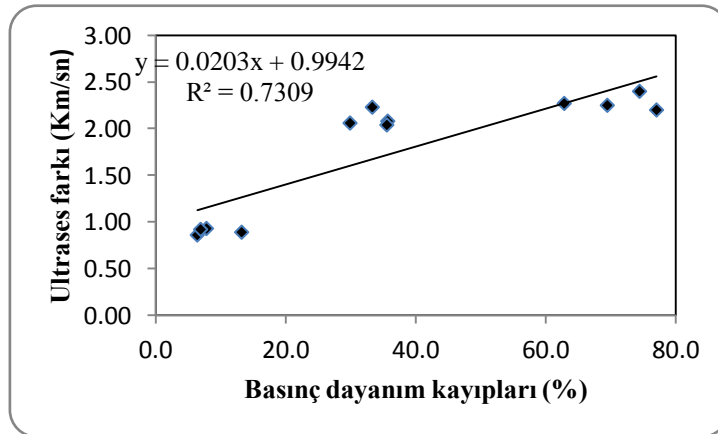
Yüksek sıcaklığın dayanım üzerindeki etkileri 500°C ve sonrasında olduğu görülmektedir. Sıcaklık artışı ile dayanımlarda kayıplar olmuştur. 500 ve 750°C’lerde kalsine edilen bentonit katkılı ve referans numunelerindeki azalmalar birbirilerine yakın iken, 1000°C’de %10B ve %15B katkılı numunelerin dayanımları daha yüksek çıkmıştır. Şekil 10’da verilen harç serilerine uygulanan yüksek sıcaklıklar ve dayanım kayıp oranları incelenmiştir. Dayanım kayıp yüzdeleri, yüksek sıcaklık sonrası dayanımın 20°C’ de aynı serideki dayanımı ile karşılaştırılıp bulunmuştur.

Grafik incelendiğinde, en düşük dayanım kayıpları 500°C’ de R, 750 ve 1000 °C’lerde %10B numunelerinden elde edilmiştir. %10B serili harçların R numunesine göre 750°C’de %3.4 ve 1000°C’de ise %11.6 gibi daha düşük dayanım kaybına uğramıştır. 1000°C’de harç serilerinin dayanım kayıp ortalaması %71 olduğu görülmüştür. Farklı sıcaklıklar altında, mineral katkılı, yüksek dayanımlı betonların mekanik davranışlarının incelendiği çalışmada betonun 700°C’de dayanım kaybının %55’e ulaştığı sonucuna varmışlardır [26]. Başka bir çalışmada ise 400°C’ye maruz kalan betonlarda %25-%42 oranları arasında dayanımlarda azalmalar olmuştur. 800°C’de basınç dayanımlarındaki kayıplar %57 - %64 arasında meydana gelmiştir [6].



Şekil 10. Yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanım kayıpları

Yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası ultrases dalga hızlarının farkları ile basınç dayanım kayıplarının arasındaki ilişki incelenmiş ve Şekil 11’de verilmiştir. Ultrases hızının düşmesi, numunelerde meydana gelen kılcal çatlak ve boşluk yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durum basınç dayanım kayıplarına da sebep olmaktadır. Y.S.Ö ve Y.S.S. ultrases değerlerindeki farklar ile basınç dayanım kayıpları arasındaki analiz sonucunda korelasyon katsayısı 0.73 olarak bulunmuştur.



Şekil 11. Ultrases farkı ve basınç dayanım kayıpları arasındaki ilişki

#### 4. Sonuçlar

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda aşağıda maddeler halinde verilen sonuçlara ulaşılmıştır.

- YSÖ ve YSS dalga hızların farkları incelendiğinde sıcaklık artışı ile beraber artış gösterdiği ve en büyük farkların 1000 °C ‘deki sıcaklıklarda meydana geldiği görülmektedir. Bentonit katkılı numunelerdeki farkların referans numunesine göre daha az olduğu görülmüştür.
- En büyük su emme değerleri 1000 °C’ de referans numuneden %13,94 olarak elde edilmiştir. Bentonit katkılı numunelerden en az su emme %10B katkılı seriden elde edilmiştir.
- En düşük porozite değerleri %10B ve %15B serilerinde, en yüksek gözeneklilik değerleri su emme deneyinde olduğu gibi R ve %20B katkılı 1000 °C’deki numunelerden elde edilmiştir.
- Su emme – gözeneklilik arasında yapılan regresyon analizi sonucunda korelasyon katsayısı 0.93 olarak bulunmuştur.
- Yüksek sıcaklık sonrası numunelerin ağırlık kayıpları incelendiğinde, bentonit katkılı numunelerin 750-1000 °C sıcaklık sonrası referans numunesine oranla ağırlıklarında daha az kayıplar olmuştur.
- 250 °C sıcaklığa maruz kalan bütün numunelerin basınç dayanımlarında %3-4 arasında artış olduğu görülmüştür.
- Yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası en düşük dayanım kayıpları 500°C’ de R, 750 ve 1000 °C ‘lerde %10B numunelerinden elde edilmiştir. %10B serili harçların R numunesine göre 750°C ‘de %3.4 ve 1000°C’ ise %11.6 gibi daha düşük dayanım kaybı olmuştur.
- Ülkemizde yaygın olarak bulunan bentonitin yüksek sıcaklık etkisine maruz kalabilecek alanlarda %10 çimento katkı malzemesi olarak kullanımı sayesinde bentonitin farklı bir kullanım alanının olabileceği görülmüştür.

#### Kaynaklar

1. Eriç M, 1994. Yapı Fiziği ve Malzemesi, Literatür Kitabevi, İstanbul, 1-367.
2. Kızılkant AB, Yüzer N, 2008. Yüksek sıcaklık etkisindeki harcın basınç dayanımı-renk değişimi ilişkisi. İMO Teknik Dergi, 289: 4381-4392.
3. Erdoğan TY, 2003. Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, 513-604.
4. Baradan B, Yazıcı H, Ün H, 2002. Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite). DEÜ Mühendislik Fak. Yayınları, İzmir.
5. Akman S, 1990. Yapı Malzemeleri, İTÜ, İstanbul.
6. Kaya T, Karakurt C, Dumangöz M, 2014. Mineral Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Porozite ve Basınç Dayanımlarına Yüksek Sıcaklığın Etkisi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 1 (1): 39-44.
7. Binici H, Temiz H, Sevinç HA, Eken M, Kara M, Şayir Z, 2013. Değişik Katkılar İçeren Betonların Yangına Dayanıklılığının İncelenmesi. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 9 (1): 1-15.
8. Anonim, 2015. <http://www.buyrukmadencilik.com/bentonit.htm>, (Erişim tarihi: 05.06.2015).
9. Kaya T, Karakurt C, Bayazıt Y, 2015. Kalsine edilmiş bentonitin çimento harçlarında puzolanik katkı maddesi olarak kullanılabilirliği, 2nd International Sustainable Buildings Symposium, pp 98-103, 28-30 Mayıs, Gazi Üniversitesi, Ankara.
10. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), 2002. Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri. TS EN 197-1, Ankara.
11. Türk Standartları Enstitüsü (TSE), 2009. Çimento Deney Metotları-Bölüm 1: Dayanım tayini. TS

- EN 196-1, Ankara.
12. Anonim, 2015. [http://hun.pamukkale.edu.tr/ders\\_notlari/yapi\\_malzemesi/Yapi\\_Malzemesi\\_2-baglayici-kirec-dogal\\_puzolan.pdf](http://hun.pamukkale.edu.tr/ders_notlari/yapi_malzemesi/Yapi_Malzemesi_2-baglayici-kirec-dogal_puzolan.pdf), pp. 1-85.
  13. British Standards Institution, 2007. BS EN 13501-1, Fire classification of construction products and building elements. Classification using data from reaction to fire tests, London: BSI.
  14. International Standard, 1975. ISO 834, Fire resistance test elements of building ISO Standard.
  15. Durmuş G, Arslan M, 2009. Yüksek Sıcaklığın Beton Boşluk Yapısına Etkileri. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 13-15 Mayıs, Karabük, Türkiye.
  16. Sarshar R, Khoury GA, 1993. Material and environmental factors influencing the compressive strength of unsealed cement paste and concrete at high temperatures. Magazine of Concrete Resource, 45 (162): 51–61.
  17. Demirel B, Gültekin E, 2015. Metakaolin katkılı taşıyıcı hafif betonun yüksek sıcaklık altındaki davranışının incelenmesi. 2nd International Sustainable Buildings Symposium, pp 138-143, 28-30 Mayıs, Gazi Üniversitesi, Ankara.
  18. Gökçer B, Yıldız S, Keleştemur O, 2013. Atık Mermer Tozu ve Cam Lif Katkılı Harç Numunelerinin Yüksek Sıcaklık Altındaki Davranışları. SDU International Technologic Science, 5 (2): 42-55.
  19. Kearsley EP, Wainwright PJ, 2001. Porosity and Permeability of Foamed Concrete. Cement and Concrete Research, 34: 805-812.
  20. Demirel B, Gönen T, 2008. Yüksek Sıcaklığın Karbon Lif Takviyeli Hafif Betonda Basınç Dayanımı ve Poroziteye Etkisi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, C.14 (2): 223-228.
  21. Bingöl AF, Gül R, 2009. Donatı-Beton Aderansı, Yüksek Sıcaklıkların Beton Dayanımına ve Aderansa Etkileri Konusunda Bir Derleme. Tübv Bilim Dergisi, 22 (2): 211-230.
  22. Morsy M, Salloum A, Abbas H, Alsayed S, 2012. Behavior of Blended Cement Mortars Containing Nano- metakaolin at elevated Temperatures, Construction and Building Materials.
  23. Nadeem A, Memon SA, Yiu Lo T, 2013. 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.
  24. Demirel B, Keleştemur O, 2010. 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.
  25. Kong Y, Daniel L, Sanjayan GJ, Crentsill SK, 2007. Comparative performance of geopolymers made with metakaolin and fly ash after exposure to elevated temperatures. Cement and Concrete Research, 37 (12): 1583-1589.
  26. Kim GY, Kim YS, Lee TG, 2009. Mechanical Properties of High-Strength Concrete Subjected to Elevated Temperature by Stressed Test. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 19: 128-133.

Geliş Tarihi: 19/06/2015

Kabul Tarihi: 27/10/2015