



**Makale
(Article)**

Pomza, Barit, Kolemanit ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Harçların Dayanımı ve Sülfat Direnci

Hanifi BİNİCİ¹, Ahmet Hayrullah SEVİNÇ², Muhammed Yasin DURGUN³

^{1,2}Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik – Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 46100, Kahramanmaraş / Türkiye, ¹E-mail: hbinici@ksu.edu.tr; ²E-mail: ahsevinc@yahoo.com

³Bartın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 74100, Bartın / Türkiye
E-mail: mydurgun@bartin.edu.tr

Özet

Bu çalışmada; bazaltik pomza, barit, kolemanit ve yüksek fırın cürufu içeren harçların mekanik dayanımı ve sülfat dayanıklılığı incelenmiştir. Çimento ve Rilem-Cembureau standart kumu yerine çeşitli oranlarda pomza, barit, kolemanit ve yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. Katkı miktarı ve çeşidinin harçlara mekanik, fiziksel ve kimyasal etkileri araştırılmıştır. Harç numunelerinin 7, 28 ve 180 günlük basınç ve eğilme dayanımları ile 180 ve 360 günlük sülfat direnci araştırılmıştır. Sonuçlar referans numunesine ve katkı çeşidine göre yorumlanmıştır.

Strength and Sulfate Resistance of Mortars Produced with Pumice, Barite, Colemanite and Blast Furnace Slag

Abstract

In this study, strength and the durability properties of basaltic pumice, barite, colemanite and blended blast furnace slag included mortars were investigated. Pumice, barite, colemanite and blast furnace slag is substituted instead of cement and Rilem-Cembureau standard sand. Physical and mechanical properties of additive type and amount were investigated. 7, 28 and 180-day compressive and bending strength and 180 and 360-day sulfate resistance of mortars were investigated. Results were discussed to reference sample and to each other.

1. GİRİŞ

Beton; kum, çakıl (veya kırma taş, hafif agrega vb.), çimento ve suyun karışımından elde edilen bir yapı malzemesidir. Sözü edilen malzemeler belirli oranda karıştırıldığında kalıptan istenilen biçimi alabilecek plastik bir malzeme elde edilir. Beton karışımlarında kullanılan en önemli malzeme çimentodur. Çimentolar, hidrolik bağlayıcı maddeler olup, su ile karıştırılıp hamur haline getirildikten sonra gerek havada gerekse suda sertleşerek dayanım kazanır [1].

Değişik fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliklere sahip katkı malzemelerinin çimentoya ilavesi çimento yapısında önemli ölçüde farklılıklara neden olmaktadır. Bu nedenle farklı çimentolar ile üretilen

Bu makaleye atf yapmak için

Binici H., Sevinç A. H., Durgun M. Y., " Pomza, Barit, Kolemanit ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Harçların Dayanımı ve Sülfat Direnci" Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi 2011, 7(1) 39-51

How to cite this article

Binici H., Sevinç A. H., Durgun M. Y. "Strength and Sulfate Resistance of Mortars Produced with Pumice, Barite, Colemanite and Blast Furnace Slag" Electronic Journal of Construction Technologies, 2011, 7(1) 39-51

betonların farklı özelliklere ve performanslara sahip olmaları kaçınılmaz olmaktadır. Aslında, katkılı çimentolar modern toplumun ihtiyaçlarını karşılayan temel bir malzeme olarak tanımlanmaktadır [2].

Çağımızın yapı dünyasında geniş bir kullanım alanı bulunan beton, üretimden uygulamaya kadar her aşamada son derece dikkat ve titizlik gerektiren temel bir yapı malzemesidir. Beton ağdaş toplumların temelini oluşturan malzemelerin içerisinde önemli bir yere sahiptir. evremize baktığımızda binalar, yollar, köprüler, barajlar, santraller, istinat duvarları, su depoları, limanlar, hava alanları vb.nin betondan yapıldığını görmekteyiz. Beton diğer yapı malzemelerine göre; daha kolay Şekil verilebilir olması, ekonomik olması, dayanıklı olması, üretiminde daha az enerji tüketilmesi, her yerde üretilbilir olması ve estetik özellikleriyle en çok kullanılan yapı malzemesidir [3].

Bununla beraber bazı durumlarda normal betonun kullanımı yetersiz kalmaktadır. Örneğin, endüstriyel gelişmelerden dolayı ortaya çıkan enerji üretim ve tüketimi her geçen gün artmakta, buna bağlı olarak daha dayanıklı ve dayanımlı beton çeşitlerine ihtiyaç duyulmaktadır [4]. Yapının bozulmasına yol açan etmenler fiziksel, kimyasal ve mekanik kökenli olabilir. Mekanik yolla oluşan hasarlar arasında darbe, aşınma, erozyon ve oyulma etkileri sayılabilir. Kimyasal etkenler, dışarıdan beton içine sızan zararlı maddelerden kaynaklanabileceği gibi, beton bileşimini oluşturan malzemelerden de kaynaklanabilir [5]. Betonun bahsi geçen zararlara karşı dayanıklı olabilmesi ve fonksiyonelliğinin artması amacıyla birçok çalışma yapılmış ve yapılmaya devam edilmektedir.

Granüle yüksek fırın cürufu ve bazaltik pomzayı ayrı ayrı veya birlikte içeren ve üç yıl deniz suyu etkisine maruz kalan betonların deniz suyuna karşı dayanıklılığı araştırılmıştır. Test sonuçları yüksek fırın cürufu ve bazaltik pomza katkısının aşınma ve deniz suyuna karşı dayanıklılığını arttırdığını göstermiştir. Yüzde 80 fırın cürufu içeren örneğin deniz suyuna karşı dayanıklılığı referans betondan daha yüksek bulunmuştur. Bu iyileştirme katkılarının deniz suyuna karşı dayanıklılığı ve örneklerin geçirgenliğinin azaltılması ile açıklanmıştır [6]. Başka bir çalışmada granüle yüksek fırın cürufu ve bazaltik pomza ayrı ayrı veya birlikte içeren betonların laboratuarda hidro-aşınma dayanımları belirlenmiştir. Beton rneklerle gönderilen deniz suyu su jetleri ile betonların mekanik aşınmaları araştırılmıştır. Çalışma bu iki katkının da olumlu sonuçlar verdiğini göstermiştir [7]. Aynı zamanda yapılan araştırmalarda yüksek fırın cürufu içeren harçların sülfat etkisine dayanıklılığı incelenmiş ve araştırma sonucunda sürekli sülfat içerisinde bulunmasına rağmen yüksek fırın cürufu katkılı harçlarda bir miktar basınç dayanımı artışı söz konusu olmuştur. [8].

Son yıllarda birçok çalışmada yüksek fırın cürufu hem çimentoda ikame malzemesi hem de betonda ince agrega olarak başarılı bir Şekilde kullanılmıştır. Bazaltik pomzanın betonda ince agrega olarak uygunluğu araştırılmış ve ince agrega olarak bazaltik pomza ile üretilen betonların aşınma dayanımı, klor girişi ve basınç dayanımlarını belirlemek için deneyler yapılmış ve sonuçları geleneksel betonla karşılaştırılmıştır [9]. Bazaltik pomza katkılı betonların iyi işlenebilmeğe sahip olduğu ve bazaltik pomza ile üretilen betonların aşınmaya karşı dayanımlarının geleneksel betona göre daha az olduğu gözlenmiştir. Betonların aşınma dayanıklılığlarını, basınç dayanımını granüle bazaltik pomza ciddi bir Şekilde etkilemiştir. Çalışma sonuçları, granüle bazaltik pomzanın zayıf aşınma ve yüksek basınç dayanımlı beton üretiminde kullanılabileceğini göstermiştir.

Ağır beton üretiminde yararlanılan özel agregalar genellikle barit, limonit ve magnetit gibi demir cevheri olan doğal agregalar ya da sanayi artıkları olan demir ve kurşun parçacıkları gibi yapay agregalar olabilmektedir. Ağır betonların geleneksel betonlardan en önemli farkı da birim kütlelerinin geleneksel betonlara göre çok daha büyük olmasıdır [10–12]. Barit katkılı betonların donma ve çözülme dayanımları geleneksel betona göre daha yüksektir [13]. Barit ile üretilen ağır betonlarda su imento oranının 0,40 ve imento miktarının 350 kg/m³ den az olması gerektiği deneysel olarak ortaya konulmuştur [14]. Boşluk oranı ve çatlama riskinin minimum olması için minimum karma suyu kullanılmalıdır.

Bor minerallerinden üretilen ara ürünlerin ekonomik katma değeri oldukça fazladır. Çeliklerin aşınma ve korozyon direncini artırmada borun etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma demir esaslı makine elemanları sürtünme çalıştıkları yerlerde yüzeyleri bor ile sertleştirildikleri takdirde aşınma ömürleri daha uzun olacağı görülmüştür [15]. Kolemanit atık katkılı çimentolarda betonlarda priz ve dayanım kazanma süresi hızlanmaktadır [16].

Yapılan bir çalışmada betonarme demirlerinin korozyonunu önlemek amacıyla beton karışımı içine değişik oranlarda kolemanit ($2CaO.3B_2O_3.5H_2O$) ikame edilmiştir. Çalışmalar 3 grup deney numunesi üzerinde yapılmıştır. Beton numuneleri içine çimento ağırlığının %0,25, %0,5, %1,0, %2,0, %5 ve %10'u oranında kolemanit katılmıştır. Kolemanit katkısının betonun fiziksel özellikleri üzerine etkisini belirlemek üzere aynı oranda kolemanit katkılı çimentoların standart fiziksel özellikleri tayin edilmiştir. Deneysel sonuçta %0,5'ten az kolemanit katkısının betonarme demirlerinin korozyonu üzerine inhibitif etki göstermediği, %2,0'den fazla kolemanit katkısının ise, çimentonun fiziksel özellikleri üzerinde bozucu etki yaptığı, en uygun kolemanit katkısının %1,0 olduğu belirlenmiştir [17].

Türkiye, bor, barit, pomza maddeleri bakımından önemli miktarda rezerve sahiptir. Bu ürünlerde rekabet gücünün yüksek olduğu değerlendirilmektedir. Aynı zamanda sanayi gücü gelişen Türkiye, sanayi yan ürünleri ve atıkları bakımından da yüksek bir potansiyele sahiptir. Bu çalışmada bor, barit, bazaltik pomza ve yüksek fırın cürufu kullanarak üretilen betonların dayanım ve durabilite özellikleri araştırılmıştır.

1. MATERYAL

1.1. Pomza

Pomza oluşumu sırasında bünyedeki gazların ani olarak bünyeyi terk etmesi ve ani soğuma nedeniyle, makro ölçekten mikro ölçeğe kadar sayısız gözenek içerir [18]. Gözenekler arası genelde bağlantısız boşluklu olduğundan hafif, suda uzun süre yüzebileen, permeabilitesi standart betona göre düşük ve yalıtımı oldukça yüksektir. Kimyasal olarak % 75'e varan silis içeriği bulunabilmektedir. Kayacın içerdiği SiO_2 oranı, kayaca abrasif özellik kazandırmaktadır. Al_2O_3 bileşimi ise ateş ve ısıya yüksek dayanım özelliği kazandırır. Türkiye'de pomza yatakları, Ürgüp Avanos ve Kayseri'nin Talas-Tomarza-Develi bölgesinde yoğunlaşmıştır. Ayrıca Bitlis, Van, Ağrı, Kars, Ankara, Isparta ve Muğla, Osmaniye illerinde bulunmaktadır. Çalışmada kullanılan pomza Osmaniye bölgesinden temin edilmiştir.

1.2. Barit

Baritin kimyasal formülü $BaSO_4$, özgül ağırlığı $4,5 \text{ gr/cm}^3$ ağır agrega, mohs sertliği 2,5–3,5, kristal yapısı ortorombiktir. Renksiz, beyaz, bazen sarı ve gri olabilir Barit, temiz, yumuşak, doğal olarak tepkisiz ve pahalı olmayan bir mineraldir. Türkiye dünya toplam barit rezervinin %2,1'ine sahiptir. Bu rezervler dövülmüş, ufalanmış veya ham, iyi kalitede barit içerir. Barit yatakları Konya, Kahramanmaraş, Osmaniye, Muş, Antalya ve Kütahya'da yer alır. Türkiye dünya barit üretiminde 120 bin ton ile %1,7'lik pay ile sekizinci sırada yer almaktadır [15]. Çalışmada kullanılan barit Osmaniye-Bahçe bölgesinden temin edilmiştir.

1.3. Kolemanit

Kristalize bor görünüm ve optik özellikleri bakımından elmasa benzer ve neredeyse elmas kadar serttir [19]. Günümüzde Dünya bor rezervlerinin ve üretiminin en fazla olduğu iki ülke olan A.B.D. ve Türkiye'dir. Önemli üretici ülkelerin bu üretimdeki payları sırasıyla, Türkiye % 33, A.B.D. % 28, Rusya % 23 ve diğer ülkeler % 16 düzeyindedir. Çalışmada kullanılan kolemanit Balıkesir Bigadiç bölgesinden temin edilmiştir.

1.4. Yüksek Fırın Cürufu

Büyük miktarda silis ve alümin içeren ve amorf yapıya sahip olan granüle yüksek fırın cürufları, öğütülerek çok ince taneli duruma getirilmeleri durumunda, puzolanik özellik göstermektedir [20]. Öğütülmüş granüle yüksek fırın cüruflarının bağlayıcı olarak görev yaptıkları değişik kullanım tarzları mevcuttur. Beton üretiminde mineral katkı maddesi olarak kullanılabilir [20].

Cürufun optimum inceliğe getirilmesi, değişik koşullarda kullanılacak beton karışımlarının hazırlanmasındaki esneklik gibi faktörler, cürufun ayrı öğütülerek beton katkısı olarak kullanımını daha avantajlı kılmaktadır [21]. Türkiye’de cürufun ayrıca öğütülerek beton katkı malzemesi olarak kullanılması son yıllarda artmıştır [22].

Çimento ve betonda katkı maddesi olarak kullanılan puzolanın, reaksiyona gireceği kalsiyum hidroksit, ortama çimentonun hidratasyonu sonucu çıkmaktadır. Beton katkı maddesi olarak puzolanların olumlu etkileri arasında çimentodan tasarruf, işlenebilme, düşük hidratasyon ısı, geçirimsizlik ve dış etkenlere karşı dayanıklılık gibi özellikler sayılabilir [20].

Deneysel çalışmada kullanılan malzemeler; öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve öğütülmüş bazaltik pomza, İskenderun Oysa çimento fabrikasından, öğütülmüş kolemanit Etimaden A.Ş. Bigadiç bor tesisinden, barit agregası ise Barit Maden Türk A.Ş. Bahçe tesisinden temin edilmiştir

Kullanılan Bazaltik Pomza (P), Barit (B), Kolemanit (K) ve Yüksek Fırın Cürufu’nun (C) kimyasal içerikleri Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Barit, pomza, kolemanit, YFC’nin kimyasal içerikleri

| Bileşenler (%) | Pomza | Barit | Kolemanit | YFC |
|------------------------------------|-------|-------|-----------|-------|
| SiO ₂ | 41.41 | 1.23 | 4 | 37.89 |
| Al ₂ O ₃ | 12.97 | 0.30 | 0.4 | 10.29 |
| Fe ₂ O ₃ | 11.41 | 0.06 | 0.08 | 0.95 |
| CaO | 13.73 | 0.12 | 26 | 35.86 |
| MgO | 7.76 | 0.3 | 3 | 7.38 |
| Na ₂ O+K ₂ O | 5.4 | 0.02 | 0.35 | 1.15 |
| SrSO | - | 1.22 | 1.5 | - |
| BaSO ₄ | - | 95 | - | - |
| MnO | - | 0.12 | - | - |
| B ₂ O ₃ | - | - | 40.00 | - |
| Kızdırma Kaybı | - | - | 24.60 | - |

1.5. Çimento

Çalışmada CEM I 42,5 çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Çimentonun kimyasal ve fiziksel analiz sonuçları

| Kimyasal analiz sonuçları | |
|-------------------------------------|-------|
| Bileşenler | % |
| SiO ₂ | 18,85 |
| Al ₂ O ₃ | 4,80 |
| Fe ₂ O ₃ | 2,40 |
| CaO | 62,80 |
| MgO | 2,50 |
| Na ₂ O+K ₂ O | 1,14 |
| SO ₃ | 3,69 |
| Serbest CAO | 0,90 |
| Kızdırma Kaybı | 3,5 |
| Fiziksel analiz sonuçları | |
| Özgül Ağırlık (kg/cm ³) | 3,12 |
| Özgül Yüzey (cm ² /g) | 3250 |
| İncelik | |
| 200 µ Elek Üzerinde Alan (%) | 0 |
| 90 µ Elek Üzerinde Kalan (%) | 2,5 |

1.6. CEN Standart Kumu

Harç numunelerinin hazırlanmasında TS EN 196-1 uygun Rilem – Cembureau standart kumu kullanılmıştır. Standart kum, Set Trakya Çimento Sanayi T.A.Ş. ürünüdür. Kumun elek analizi aşağıdaki Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. CEN standart kumunun tanecik büyüklüğü dağılımı

| Kare göz açıklığı (mm) | Kümülatif elekte kalan(%) |
|-------------------------------|-----------------------------------|
| 2,00 | 0 |
| 1,60 | 7 ± 5 |
| 1,00 | 33 ± 5 |
| 0,50 | 67 ± 5 |
| 0,16 | 87 ± 5 |
| 0,08 | 99 ± 1 |

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Harçların hazırlanması

TS EN 196-1’e uygun olarak yapılan harç karışımında çimento ve Rilem – Cembureau standart kumu yerine % 2,5, 5 ve 10 oranlarında pomza, barit, yüksek fırın cürufu ve % 0,25, 0,5 ve 0,75 oranlarında kolemanit ağırlıkça ikame edilerek üretilen kontrol örneği dâhil 13 çeşit karışım hesabı yapılmıştır. 4x4x16 cm boyutundaki numunelerin isimleri, karışım oranları ve kullanılan malzemeler Çizelge 4, 5, 6 ve 7’de verilmiştir.

Çizelge 4. Barit katkılı harçlar için karışım oranları ve numune isimleri

| Numune Adı | Harç Bileşenleri | | | | Yaş Harç zellikleri | |
|------------|------------------|-------------|---------|-----------|----------------------|-----------------|
| | Su (g) | imento (g) | Kum (g) | İKame (g) | Yayılma (cm) | Harç Isısı (°C) |
| R | 225 | 450 | 1350 | - | 13 | 19 |
| B2,5 | 225 | 438,75 | 1316,25 | 45 | 13,3 | 18,5 |
| B5 | 225 | 427,5 | 1282,5 | 90 | 14 | 18,5 |
| B10 | 225 | 405 | 1215 | 180 | 14,5 | 18,5 |

Çizelge 5. Pomza katkılı harçlar için karışım oranları ve numune isimleri

| Numune Adı | Harç Bileşenleri | | | | Yaş Harç zellikleri | |
|------------|------------------|-------------|---------|-----------|----------------------|-----------------|
| | Su (g) | imento (g) | Kum (g) | İKame (g) | Yayılma (cm) | Harç Isısı (°C) |
| R | 225 | 450 | 1350 | - | 13 | 19 |
| P2,5 | 225 | 438,75 | 1316,25 | 45 | 12,5 | 18 |
| P5 | 225 | 427,5 | 1282,5 | 90 | 12,1 | 18 |
| P10 | 225 | 405 | 1215 | 180 | 11,5 | 17,5 |

Çizelge 6. Yüksek fırın cürufu katkılı harçlar için karışım oranları ve numune isimleri

| Numune Adı | Harç Bileşenleri | | | | Yaş Harç zellikleri | |
|------------|------------------|-------------|---------|-----------|----------------------|-----------------|
| | Su (g) | imento (g) | Kum (g) | İKame (g) | Yayılma (cm) | Harç Isısı (°C) |
| R | 225 | 450 | 1350 | - | 13 | 19 |
| C2,5 | 225 | 438,75 | 1316,25 | 45 | 12,8 | 18 |
| C5 | 225 | 427,5 | 1282,5 | 90 | 12,6 | 18 |
| C10 | 225 | 405 | 1215 | 180 | 11,7 | 17,5 |

Çizelge 7. Kolemanit katkılı harçlar için karışım oranları ve numune isimleri

| Numune Adı | Harç Bileşenleri | | | | Yaş Harç zellikleri | |
|------------|------------------|-------------|----------|-----------|----------------------|-----------------|
| | Su (g) | imento (g) | Kum (g) | İKame (g) | Yayılma (cm) | Harç Isısı (°C) |
| R | 225 | 450 | 1350 | - | 13 | 19 |
| K2,5 | 225 | 448,875 | 1346,625 | 4,5 | 13,1 | 18 |
| K5 | 225 | 447,75 | 1343,25 | 9 | 13,2 | 18 |
| K10 | 225 | 446,625 | 1339,875 | 13,5 | 13,4 | 18 |

Karışım ağırlıklarına göre kullanılan malzemeler hassas bir şekilde tartılarak karılmıştır. Hazırlanan deney numuneleri aynı şartlarda, normal sıcaklıkta çeşme suyu dolu kür havuzunda saklanmıştır. Harç numunelerin işlenebilirliğini, akıcılığını tespit etmek amacıyla yayılma deneyi yapılmıştır.

Yayılma deneyinde, alt çapı 100 mm, üst çapı 70 mm ve yüksekliği 60 mm olan kesik koni kullanılmıştır (Şekil 1.). Harç, bu kesik koni içine iki tabaka halinde yerleştirilmiş ve her tabaka 25 kez tokmaklanarak sıkıştırılmıştır. Kalıp çıkarıldıktan sonra 15 saniyede 25 kez sarsılmış ve deney sonunda oluşan çap ölçülerek ortalaması alınmıştır [23]. Harçların yayılma değerleri Çizelge 4, 5, 6 ve 7’de verilmiştir.



Şekil 1. Yayılma deneyi aparatları ve yayılma deneyi

2.2. Harç numunelerin basınç dayanımı

Eğilme deneyinde iki parçaya bölünmüş olan yarım prizmalar kullanılır. Her yarım prizma basınç aleti kullanılarak yan yüzeylerinden yüklemek suretiyle deneye tâbi tutulur. Yarım prizmalar, cihazın plâkaları arasına $\pm 0,5$ mm’den fazla taşmayacak şekilde merkezlenerek ve prizmanın arka yüzü plâkadan veya yardımcı plâkalardan 10 mm taşacak şekilde uzunlamasına yerleştirilir. Yük 2400 N/s hızda olmak üzere düzgün şekilde, prizma kırılana kadar artırılır. Denklem (1) kullanılarak numunelerin basınç mukavemeti bulunur.

$$R_c = \frac{F_c}{1600} \quad (1)$$



Şekil 2. Basınç deneyi düzeneği ve basınç deneyi başlığı

7, 28, 180 günlük 13 adet numune ve her bir karışım için 3'er adet 4x4x16 cm boyutlarında üretilen harç numuneleri TS EN 196-1 standardına uygun olarak deney cihazına yerleştirilmiştir. Harç numuneler kırma başlığı içine yerleştirilerek deney için uygun hale geldikten basınç mukavemeti bulunmuştur (Şekil 2.)

2.3. Harç numunelerin eğilme dayanımı

Harç numunelerin eğilme deneyi, tek noktadan yükleme yapılacak şekilde uygulanmıştır. Yükleme hızı saniyede 50 N ± 10 N olacak şekilde ayarlanır ve eğilme dayanımı R_f , MPa olarak Denklem (2) kullanarak hesaplanır [24].

$$R_f = \frac{1,5xF_f \cdot xl}{b^3} \quad (2)$$

Burada;

R_f : Eğilme dayanımı (N/mm²),

b : Prizmanın kare kesitinin kenar uzunluğu (mm),

F_f : Prizmanın kırıldığı anda ortasına uygulanan kuvvet (N)

l : Mesnet silindirleri arası uzaklık (mm)

13 farklı karışıma ait ve her bir karışım için 3'er adet 4x4x16 cm üretilen harç numuneleri TS EN 196-1 standardına uygun olarak deney cihazına yan yüzeylerden biri üzerine ve uzunluğuna eksenine mesnet silindirlerinin eksenine dik olacak şekilde mesnet silindirleri üzerine yerleştirilir. Yük, yükleyici silindir vasıtası ile prizmanın karşı yan yüzünden dik olarak uygulanır ve düzgün olarak 50 ± 10 N/s hızında olacak şekilde prizma numune kırılıncaya kadar artırılır (Şekil 3.). Denklemdaki bağlantıda sonuçlar hesaplanır. Deney 7, 28, 180 günlük harç numuneleri için yapılmıştır.



Şekil 3. Eğilme deney cihazı ve eğilme deneyi

2.4. Harç numunelerin sülfat dayanımı

Çalışmada çimento ve ince agreganın % 2,5, 5 ve 10 oranlarında B, C ve P ve % 0,25, 0,5 ve 0,75 oranlarında K'nın ağırlıkça ikame edilmesi ile üretilen 4x4x16 cm boyutlarındaki harç numuneler sülfat ortamında bekletildikten sonra basınç dayanımları ölçülmüştür.

Üretilen numuneler 28 gün sonunda kür havuzundan çıkarılmıştır. Kür havuzundan çıkarılan numuneler 105 °C’de etüve konularak 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra numuneler hassas terazi ile tartılmıştır.%5 Na₂SO₄ çözeltisi içine konularak 180 ve 360 gün bekletilmiştir (Şekil 4.). Numuneler 180 ve 360 gün sonra %5 Na₂SO₄ çözeltisinden çıkarılarak etüvden 105 °C’de 24 saat ağırlığı değişmez hale gelinceye kadar bekletilmiştir. Etüvden çıkarılan numuneler oda sıcaklığına erişinceye kadar bekletildikten sonra ağırlıkları belirlenmiş ve basınç dayanımları bulunmuştur.

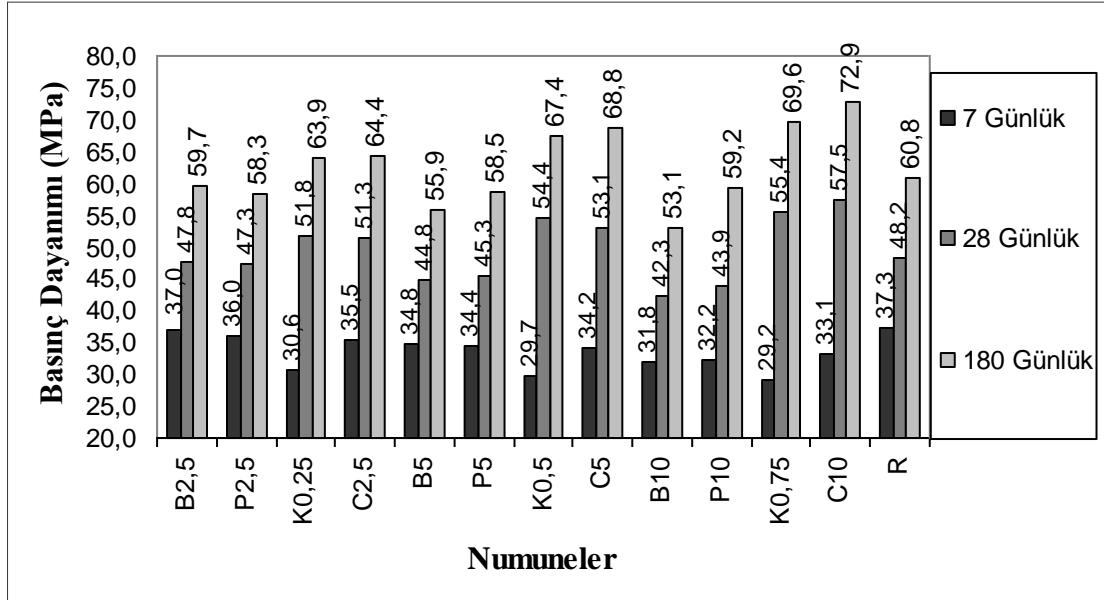


Şekil 4. 360 Gün %5 Na₂SO₄ Çözeltisinde bekletilen harç numuneleri

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Harç örneklerin basınç dayanımları

Harç numunelerin 7, 28 ve 180 günlük basınç dayanım değerleri Şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5. Harç numunelerin basınç dayanımları

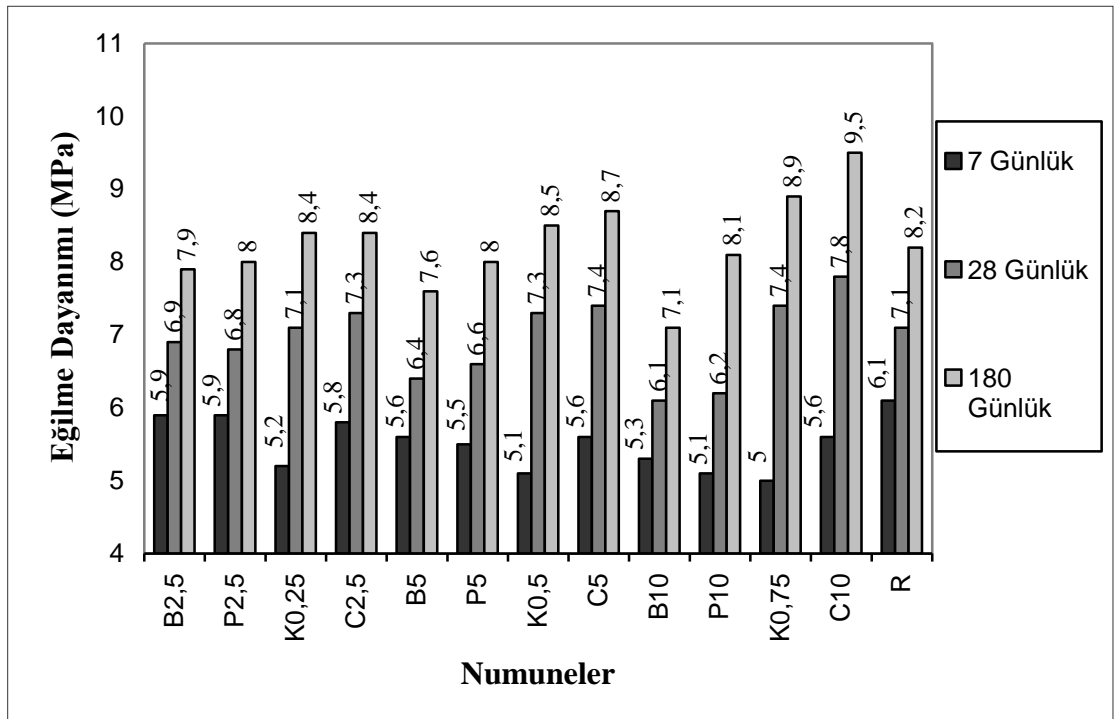
7 günlük basınç dayanımlarında, tüm katkılı numunelerde katkı oranı arttıkça dayanım azalmaktadır. Pomza ve cüruf gibi puzolanik malzemelerin genel özelliğidir. Kolemanit katkılı numunelerde hidrasyon süresinin biraz uzun olmasıdır. Barit katkılı karışımlarda ise çimento miktarının azalması ile dayanım kaybına uğramıştır.

28 günlük dayanımları için; barit ve pomza katkılı numunelerde yine katkı oranı arttıkça dayanım düşerken, kolemanit ve cüruf katkılı örneklerde tersi bir durum söz konusudur. Bu sonuçlar kolemanit ve cürufun dayanım kazanma süresinin daha hızlı olduğunu göstermektedir. Barit katkılı numunelerde ise çimento miktarının azalması ile dayanım kaybına uğramıştır. Pomza, yüksek fırın cürufuna göre 28 günlük hidrasyonu daha yavaş olması ve çimento miktarının azalmasının etkisi görülmektedir, dayanım değerleri düşmüştür.

180 günlük dayanımlarda sadece barit katkılı örneklerde katkı oranı arttıkça basınç dayanımı azalırken, diğerlerinde artmaktadır. Pomza katkılı numunelerde basınç dayanımının yükseldiği ve tanık numunesinin basınç dayanımına çok yakın değerlere ulaştığı görülmektedir. Pomza ve cürufun puzolanik özelliğe sahip olması sebebi ile yaş artışına bağlı olarak basınç dayanımının arttığı görülmektedir.

3.2. Harç örneklerin eğilme dayanımı

Harç örneklerin 7, 28 ve 180 günlük eğilme dayanımları Şekil 6'da verilmiştir.

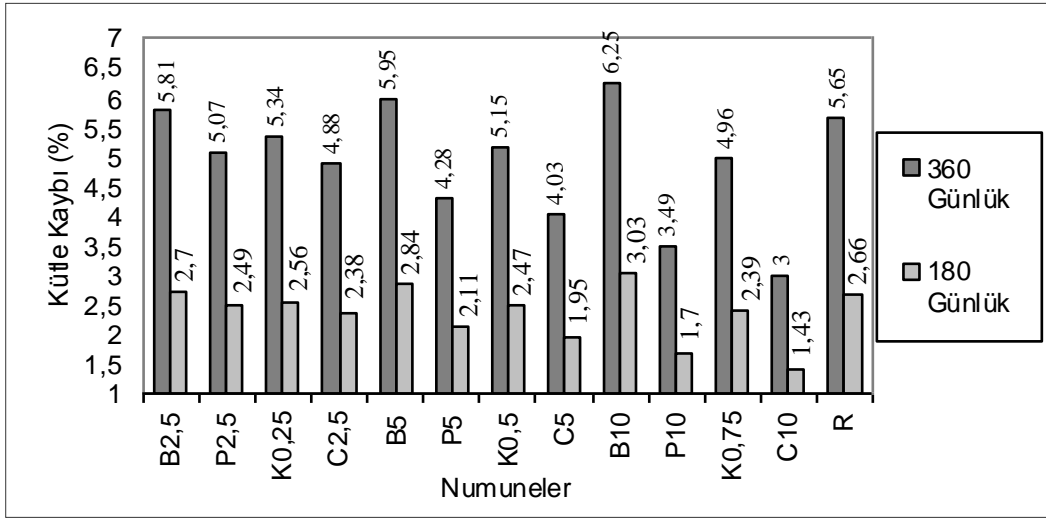


Şekil 6. Harç örneklerin eğilme dayanımları

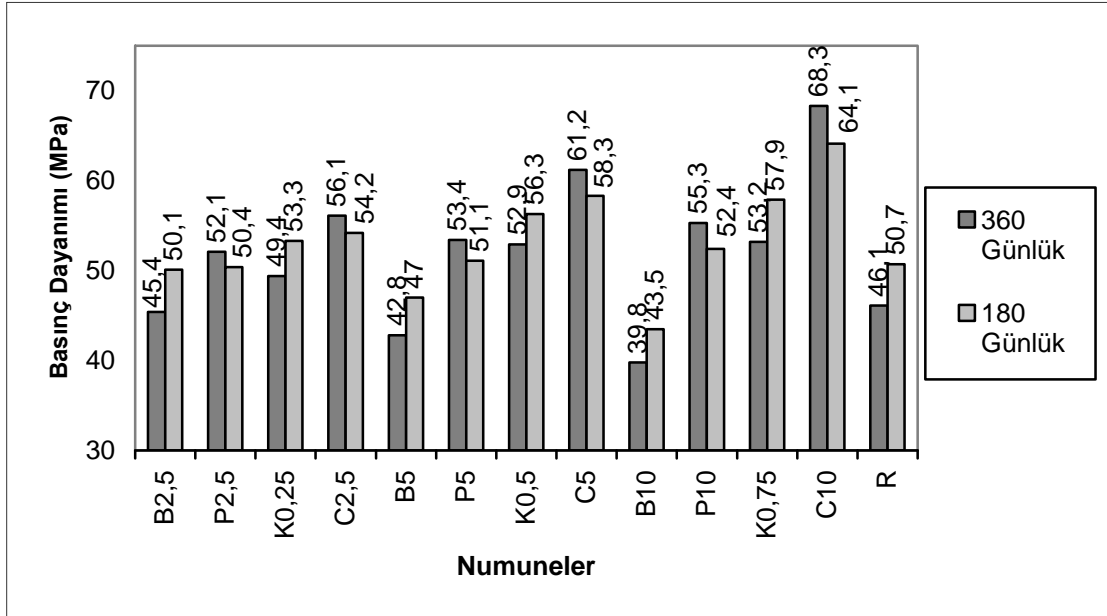
7 günlük eğilme dayanımlarında, tüm katkılı örneklerde katkı oranı arttıkça eğilme dayanımı azalmaktadır (Şekil 6.). 28 günlük eğilme dayanımları; barit ve pomza katkılı harçlarda yine katkı oranı arttıkça dayanım düşerken, kolemanit ve cüruf katkılı örneklerde tersi bir durum söz konusudur. 180 günlük eğilme dayanımı sadece barit katkılı örneklerde katkı oranı arttıkça eğilme dayanımı azalmıştır. Basınç dayanımı değeri yüksek olan numenlerin her yaş için eğilme dayanımı da yüksek çıkmıştır. 7, 28 ve 180 günlük numenlerinin eğilme dayanımı, basınç dayanımına benzer sonuçlar çıkmıştır.

3.3. Harç örneklerin sülfat dayanımları

Harç örneklerin 180 ve 360 gün süreyle %5 Na₂SO₄ çözeltisinde bekletildikten sonraki kütle kayıpları ve basınç dayanımları Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 7. Sülfat çözeltisinde bekletilen örneklerin kütle kayıpları



Şekil 8. Sülfat çözeltisinde bekletilen harç örneklerin basınç dayanımları

Hem 180 hem de 360 gün süreyle sülfat çözeltisinde bekletilen örneklerde en iyi dayanıklılığı cüruf katkılı numunelerde, en düşük dayanıklılığı barit katkılı numunelerde olmuştur. Cüruf katkılı numunelerde katkı oranı artıkça sülfatlı ortamdan kaynaklanan kütle kaybı azalmıştır. Öğütülmüş granüle yüksek fırın curufu miktarı artması nedeni ile normal portland çimentosundakinden daha az C_3A miktarı ve curufta alüminyum oksit miktarının daha az olması ile sülfata olan direnç artar. Sülfat etkisinin azalmasını sülfat iyonlarının düşük penetrasyonuna ve $Ca(OH)_2$ 'nin düşüklüğüne bağlamaktadır. Etrejite oluşumunu engelleyen nedenlerden biri elbette çözünen $Ca(OH)_2$ miktarının çok azalmasıdır ve bu durum YFC içeren çimentolarda gerçekleşen bir olgudur [25].

Barit katkılı numunelerde katkı oranı artıkça sülfatlı ortamdan kaynaklanan kütle kaybı artmıştır. Barit katkılı örneklerde katkı miktarı artıkça çimento miktarını azalmıştır. Buna bağlı olarak geçirimsizliğinin artması ile en çok kütle kaybına uğramıştır.

Kolemanit katkılı numunelerde katkı oranı artıkça sülfatlı ortamdan kaynaklanan kütle kaybı azalmıştır. Kolemanit katkısının artması bağlı olarak geçirimliliğinin azalmasıyla, sülfattan kaynaklanan etkilerin harçların iç kısmına kadar ulaşması referans numuneye göre daha uzun sürede olması ile açıklanabilir.

Sülfat çözeltilisinde bekletilen numunelerin basınç dayanımları, kütle kayıplarıyla ters sonuçlar vermiştir. Kütle kaybı fazla olan numuneler daha dayanıksız olurken, kütle kaybı az olan numuneler daha fazla basınç dayanımı göstermiştir. Kütle kaybı en fazla olan B10 örneği en düşük dayanımı verirken, sülfata en dayanıklı olan C10 örneği en yüksek dayanımı vermiştir. Bu durum cürufun sülfata karşı dayanıklı olmasından ve baritin sülfat dayanımı göstermemesi, ayrıca çimento yerine ikame edilmesi sebebiyle çimento miktarının azalmasıyla ortaya çıkmıştır.

4. SONUÇLAR

1. 7 günlük harç numunelerin en yüksek basınç dayanımı değerini referans numunesi ve en düşük basınç dayanımı değerini hidrasyon süresi uzun olan kolemanit oranı en yüksek numune vermiştir. Kolemanit erken yaş dayanımını düşürmüştür.
2. 28 ve 180 günlük harç numunelerin en yüksek basınç dayanımı değerini yüksek fırın cürufunun %10 oranında kullanıldığı numuneler verirken ve en düşük basınç dayanımı değerini çimento miktarının azalmasına bağlı olarak baritin en fazla kullanıldığı numuneler vermiştir.
3. 7 günlük harç numunelerin en yüksek eğilme dayanımı değerini referans numunesi ve en düşük eğilme dayanımı değerini kolemanitin % 0,75 oranında kullanıldığı numuneler vermiştir.
4. 28 ve 180 günlük harç numunelerde yüksek fırın cürufu katkısı eğilme dayanımını arttırmış, barit ise düşürmüştür.
5. 180 ve 360 gün sülfat çözeltilisinde bekletilen numunelerde en yüksek basınç dayanım değerleri cüruf katkılı numunelerden elde edilmiştir. İkame oranı artıkça daha yüksek değerlere ulaşılmıştır. Barit katkısında ise durum tam tersidir. İkame oranı artıkça, sülfat direnci ve basınç dayanımı düşmüştür.

KAYNAKLAR

1. Ersoy U., "Betonarme", Evrim Yayınevi, 1995, İstanbul.
2. Çelik K., "Uçucu Kül, Yüksek Fırın Cürufu ve Traslı Çimentolarla Üretilen Aynı Mukavemet Sınıfındaki Harçların Dayanım ve Dayanıklılığının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, 2005, İstanbul.
3. Özkul H., Taşdemir M.A., Tokyay M., Uyan, M. "Her Yönüyle Beton.Türkiye Hazır Beton Birliği", 2004, İstanbul.
4. Kan Yc., Pei Kc., Chang Cl. 2004. Strength And Fracture Toughness Of Heavy Concrete With Various Iron Aggregate Inclusions. Nucl. Eng. Design, Volume 228, pages 119-127.
5. Baradan B., Yazıcı H. 2003. Betonarme yapılar da durabilite ve TS EN 206-1 standardının getirdiği yenilikler, TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri,Sayı 426-4,s. 62-69.
6. Binici H., Aksogan O., Kaplan H., Gorur E.B., Bodur M.N. Performance of ground blast furnace slag (GBS) and ground basaltic pumice (GBP) concrete against seawater attack Construction and Building Materials 22 (2008) 1515–1526.
7. Binici H., Aksogan O., Kaplan H., Gorur E.B., Bodur M.N. Hydro-abrasive erosion of concrete incorporating ground blast-furnace slag and ground basaltic pumice. Construction and Building Materials. 23 (2009) 804–811.
8. Yazıcı H. 2006. Yüksek fırın cürufu katkılı harçların sülfat dayanıklılığının incelenmesi. DEÜ Müh. Fak. Fen Ve Müh. Dergisi, Cilt: 8, Sayı: 1, s. 51-58.
9. Binici H. Effect of crushed ceramic and basaltic pumice as fine aggregates on concrete mortars properties. Construction and Building Materials. 21 (2007) 1191-1197.

10. Durmuş, A. ve Gürsoy, Y. (1997) Comparative study of heavyweight concrete produced using one of the natural heavyweight aggregates present in the Eastern Blacksea Region with traditional concrete, Proceeding of the Fourth International Conference on Civil Engineering, Tehran.
11. Durmuş, A. ve Gürsoy, Y. (2000) Doğu Karadeniz Bölgesi doğal agregalarından biriyle üretilen ağır betonun başlıca özellikleri, Hazır Beton Yayın Organı, Hazır Beton Dergisi sayı:38-39-40.
12. Akgün Y. Durmuş A. Durmuş A.Y. Barit Agregasıyla Üretilen Ağır Bir Betonun Özellikleri. İMO dergisi. 465-474.
13. Akkurt I. R Altindag. C Basyigit. S Kilincarslan. The effect of barite rate on the physical and mechanical properties of concretes under F-T cycle. Materials and Design 29 (2008) 1793-1795
14. DPT, 1996. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu: Diğer Endüstri Mineralleri Çalışma Grubu Raporu, Devlet Planlama Teşkilatı Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, DPT ÖİK:480, Ankara, s. 109-130.
15. Selçuk B.. Yüksek S.. Uysal Ö.. Demir Esaslı Makine Elemanlarının Aşınma ve Korozyon Direncinin Arttırılmasında Borun Rolü. 1. Uluslararası Bor Sempozyumu. Dumlupınar Üniversitesi. Kütahya. 3-4 Ekim 2002.114-118.
16. Boncukcuoglu R., Yılmaz M.T., Kocakerim M. M., Tosunoglu V. Utilization of trommel sieve waste as an additive in Portland cement production. Cement and Concrete Research 32 (2002) 35-39.
17. Yalçın, S. 1996. Kolemanitli Çimentoların Betonarme Demirlerinin Korozyonu Üzerine İnhibitif Etkisi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Kimya Ana Bilim Dalı, Ankara, 65 s.
18. Gündüz, L., Sarıışık, A., Davraz, M., Uğur, İ., Çankıran, O., 1998. Pomza Teknolojisi Cilt-1. SDÜ Yayını, 285s. Isparta.
19. Uluköy, A., Can, A.Ç., 2006. Çeliklerin Borlanması. Mühendislik Bilimleri Dergisi 12 (2), 189-198.
20. Binici H. PÇ-GYFC-Pomza Üçlü Karışımlarının Özellikleri. Çukurova Üniversitesi. Doktora Tezi. 2002.
21. Öner, M., 2001. Yüksek Fırın Cürufklarının Çimento Üretiminde Kullanımında Öğütmeyle ilgili Parametrelerin Etkilerinin Belirlenmesi. Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, Ankara, Sayı 23, s. 61-69.
22. Erdoğan Y.,T., 2003. Beton, Metu Pres, Ankara, s. 478-512
23. TS EN 12350 – 5. Beton – Taze Beton Deneyleri – Bölüm 5: Yayılma Tablası Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2010.
24. TS EN 196 – 1, Çimento Deney Metotları – Bölüm 1: Dayanım Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2009.
25. Ludwig,U.(1980) Durability of cement mortars and concrete,Durability of Building Materials and Components,ASTM STP 691,pp.269-281