



KALSİNE EDİLMİŞ BENTONİTİN BETON AŞINMA DAVRANIŞI ÜZERİNE ETKİSİ

Cenk KARAKURT^{1,*} , Turgut KAYA² , Salih YAZICIOĞLU³ 

¹ Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 11210, Bilecik Türkiye

² Batman Üniversitesi, İnşaat Teknolojisi Programı, 72060, Batman Türkiye

³ Gazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06500, Ankara Türkiye

ÖZET

İnşaat mühendisliği uygulamalarında yapı malzemesi olarak betonun kullanımı ülkemizde oldukça yaygındır. Özellikle beton üretiminin ve malzeme temininin kolaylığı bu husus üzerinde etkili rol oynamaktadır. Genellikle dış ortam koşullarında ve dinamik etkiler altında kalacak olan betonlarda aşınma problemleri ile karşılaşmaktadır. Bu çalışmada; kalsine bentonit katkılı betonların mekanik davranışı ve aşınma dirençleri incelenmiştir. Beton karışımlarında çimento yerine ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında 900 °C de 90 dk süreyle kalsine edilmiş bentonit kullanılarak 4 farklı numune serisi üretilmiştir. Taze betonun işlenebilirliği çökme deneyi ile belirlenmiştir. Basınç dayanımları için 150x150x150 mm ve aşınma deneyleri için 70x70x70 mm boyutlarında küp beton numuneleri üretilmiştir. Numunelerin 7, 28, 56 ve 180 günlük basınç dayanım değerleri ve Böhme aşınma dirençleri tespit edilmiştir. Beton karışımında kullanılacak en uygun kalsine bentonit oranının % 10 olduğu basınç ve aşınma deneyi sonuçlarına göre belirlenmiştir. Sonuç olarak; B10 numunesinin R numunesine oranla % 3,7 dayanım artışı ve aşınma direnci davranışı üzerinde % 10.6 daha az aşınma kaybı ile betona olumlu kazanımlar sağladığı görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Bentonit, Kalsinasyon, Beton, Basınç dayanımı, Aşınma direnci

EFFECT OF CALCINED BENTONITE ON THE ABRASION BEHAVIOR OF CONCRETE

ABSTRACT

The use of concrete as a building material in civil engineering applications is quite common in our country. In particular, the ease of production and supply of concrete plays an important role in this fact. Abrasion problems are encountered especially in concrete that will be exposed to external conditions and dynamic effects. In this study; mechanical behavior and abrasion resistance of calcined bentonite used concretes were investigated. In concrete mixtures, 4 different specimen series were produced by using bentonite calcined for 90 minutes at 900 °C at 5%, 10% and 15% by weight against of cement. The workability of the fresh concrete was determined by the slump test. Two different types of specimens are prepared in dimension with 150x150x150 mm for compressive strength test and 70x70x70 mm for abrasion test. The compressive strength and Bohme abrasion resistance of the mixtures were determined at 7, 28, 56, and 180 days cured specimens. The most suitable calcined bentonite content to be used in the concrete mixture is determined as 10% according to the compressive and abrasion resistance test results. Consequently; it has been observed that B10 specimen showed benefits on concrete with 3.7 % strength increase and 10.6 % less abrasion loss than R specimen.

Keywords: Bentonite, Calcination, Concrete, Compressive strength, Abrasion resistance

1. GİRİŞ

Beton elemanlarının kullanım yüzeylerine çarpma veya sürtünmeye sebep olabilecek kuvvetler, beton elemanlarının yüzeylerinde deformasyonlar oluşturmakta ve yüzeylerin aşınma ile tahrip edilmesine yol açmaktadır. Malzemelerdeki aşınma olayı fiziksel ve mekanik bir olay olarak nitelendirilebilir. Yapısal uygulamalarda zamana ve etkisinde kaldığı kuvvetlere bağlı olarak ortaya çıkmakta ve genellikle, yürüyüş yolları, beton yollar ve akarsular tarafından taşınan aşındırıcı etkilerine maruz kalan su yapılarında görülmektedir [1]. Aşınma ihtimali olan yerlerde, aşınma direnci yüksek agrega ve bağlayıcı malzemelerin

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: cenk.karakurt@bilecik.edu.tr

Geliş / Recieved: 04.02.2020 Kabul / Accepted: 07.04.2020 doi: 10.28948/ngmuh.684467

kullanılması, beton elemanlarının servis ömrünü uzatacağı ve oluşabilecek şekil değiştirmelerin asgariye indirilebilmesi açısından önemlidir [2].

Beton elemanlarının aşınma direnci; karışımda kullanılan mineral katkı maddelerine, yüzey düzeltme yöntemlerine, yüzeyinin yapısal özelliklerine, kür koşullarına ve dayanım özelliklerine bağlıdır [3], [4]. Dayanımı etkileyen unsurlar incelendiğinde; su/çimento oranı, agrega ve bağlayıcı madde hamuru kalitesi ve agrega-hamur ara fazı gibi faktörler de aşınma direncini etkilemektedir [5]. Bağlayıcı olarak kullanılan çimento ile belirli oranlarda yer değiştirilen ve hidrasyon sonucu meydana gelen $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile reaksiyona girerek ilave bağlayıcı bileşenler oluşturan puzolanik malzemeler [6], betonda geçirimsizlik, işlenebilirlik ve ileri yaşlarda dayanıma katkı sağlaması gibi önemli kazanımlar sağlamaktadır [7], [8].

Bünyesinde yüksek oranda montmorillonit veya iyon değişimleri ile türemiş olan hektorit, nontronit, berdelit ve saponit gibi kil minerallerini bulduran maddelere bentonit denilmektedir [9]. Bentonit birçok alanda kullanılmaktadır. Bentonitin kullanım alanları incelendiğinde; Alçıda priz süresini kısaltma maddesi olarak değerlendirilir. Döküm sektöründe kalıpların imalatında bağlayıcı malzeme olarak, seramikçilikte katkı maddesi olarak malzemeye dayanım kazandırmak amacıyla kullanılır. İnşaat sektöründe zemin iyileştirme çalışmalarında ve geçirimsizliğin sağlanması amacıyla da kullanılmaktadır. Yangın söndürücü sistemlerde, çeşitli sıvı gıdalarda, boya sanayi sektörlerinde ve birçok kimya sanayisinde katalizör malzeme şeklinde değerlendirilmektedir [10]. Yüksek sıcaklığa maruz kalan bentonitin mineralojik ve kimyasal yapısında değişimler meydana gelmekte olup genellikle sinterleşme sıcaklığı 950-1100 °C arasında değişmektedir [11]. Puzolanik katkı maddesi olarak kalsine edilen bentonitin çimento harçlarında kullanılabilirliğinin araştırıldığı deneysel bir çalışmada, bentonitin %10 oranında mineral katkı malzemesi olarak kullanımının en iyi dayanım performansını sağladığı belirtilmiştir [12]. Kalsine bentonit katkılı harçların mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine yüksek sıcaklık etkisinin araştırıldığı bir başka çalışmada ise; mineral katkı olarak kalsine edilen bentonit kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar incelendiğinde minimum dayanım kayıpları 500 °C'de referans serisinde, 750 ve 1000 °C'lerde ise %10 bentonit katkılı serilerden elde edilmiştir [10]. Ancak literatür incelendiğinde kalsine edilen bentonit katkılı betonların aşınma direnci ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada biri referans karışımı olmak üzere %5, %10 ve %15 oranlarında çimento ile ağırlıkça kalsine edilen bentonit ikame edilerek 4 farklı beton serisi üretilmiştir. Üretilen betonların işlenebilirlik ve birim ağırlık özellikleri ile 7, 28, 56 ve 180 günlük kür süreleri sonundaki basınç dayanımı, aşınma direnci ve sertlik değerleri belirlenmiştir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Malzeme

Betonların hazırlanmasında TS EN 197-1'e uygun [13] CEM I 42.5 R Portland çimentosu ve mineral katkı olarak kalsine edilmiş bentonit kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak kullanılan çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 1'de görülmektedir. Karışımlarda Bilecik şehir şebeke suyu beton karışım suyu olarak kullanılmıştır. Kalsinasyon işleminde kullanılacak olan bentonit kili Bilecik ilinde faaliyet gösteren seramik fabrikalarından temin edilmiştir. Kalsine edilmiş bentonitin özgül yüzey alanının fazla olması nedeniyle beton karışımlarında kullanım oranındaki artışa bağlı olarak kıvam kayıpları olabilmektedir.

Tablo 1. Kullanılan çimento özellikleri

Kimyasal Bileşim		Fiziksel ve Mekanik Özellikler	
Bileşenler	(%)		
SiO ₂	19.96	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3.06
Al ₂ O ₃	5.03	Özgül Yüzey (cm ² /g)	3641
Fe ₂ O ₃	2.88	0.090 mm Elek Kalıntısı (%)	0.1
CaO	63.6	0.045 mm Elek Kalıntısı (%)	4
MgO	1.17	Kıvam Su Miktarı (%)	29.6
K ₂ O	0.8	Priz Başlama Süresi (dk)	190
Na ₂ O	0.27	Priz Sona Erme Süresi (dk)	260
SO ₃	2.79	Genleşme (Le Chatelier) (mm)	1
Cl ⁻	0.005	Mekanik Özellikler	
		Basınç Dayanımı N/mm²	
TiO ₂	-	2 Gün	21.6
Mn ₂ O ₂	-	7 Gün	42.7
Kızdırma Kaybı	3.02	28 Gün	61.5

Bu sorunun önüne geçebilmek için beton karışımlarında BASF Glenium C 303 süper akışkanlaştırıcı katkı bileşeni kullanılmıştır. Beton agregası olarak Bilecik DAĞ-İŞ Madencilik firmasından 0-4, 4-8 ve 8-16 mm boyutlarında temin edilen kalker kırmataş agregaları kullanılmıştır. Bu agregaların özgül ağırlıkları sırasıyla 2.66, 2.67 ve 2.69 olarak belirlenmiştir.

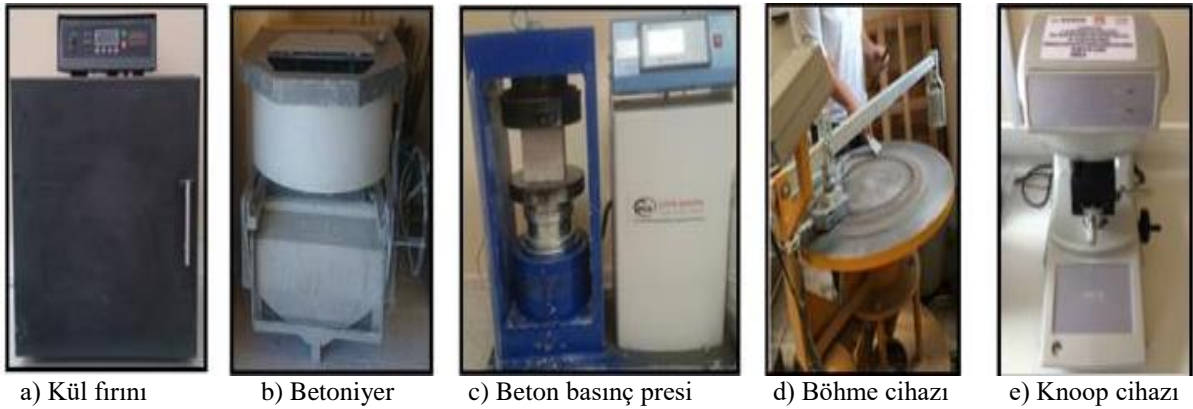
KALSİNE EDİLMİŞ BENTONİTİN BETON AŞINMA DAVRANIŞI ÜZERİNE ETKİSİ**2.2. Yöntem**

Planlanan deneysel süreçlerde dört seri beton numunesi üretilmiştir. Üretilen numunelerden biri referans olmak üzere bağlayıcı olarak kullanılan çimentodan ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranlarında kalsine edilen bentonit ile yer değiştirilip numune karışımları üretilmiştir. Numunelerin kodlanmasında R (Referans numunesi için), B kodu ise katkı (kalsine edilen bentonit kullanılan) numuneler için kullanılmıştır. Kristal yapıları kil minerallerinin hammaddeleri puzolanik özellik göstermez. Killerin kristal yapılarının bozulması, yarı amorf şekle veya bozulmuş alümina silikat yapısına dönüşmeleri ısı işleme tabii tutulmaları ile sağlanmaktadır. Bu malzemelerin 700 - 900 °C arasında kalsine edilmeleri durumunda puzolanik özellik gösterirler [14], [15]. Killerin kalsinasyonu için gerekli olan ısı işlem süresi 60 -120 dk arasındadır. Betonların üretilmesinde kullanılan bentonit Şekil 1-a'da verilen otomatik kül fırınında 20°C/dk kademeli olarak artan sıcaklıkta 900°C'ye ulaşmasının ardından 90 dk pişirilmiştir. Pişirme süresi sonunda yaklaşık 2°C/dk soğutma ile fırın içerisinde ortam sıcaklığına gelinceye kadar bekletilmiştir. Kullanılan agregaların ideal tane dağılımının belirlenmesi için her agregaya çeşidi için elek analizi yapılmış ve ideal agregaya karışım granülometrisi elde edilmeye çalışılmıştır. Beton numunelerinin hazırlanmasında kullanılan malzemeler ve karışım oranları Tablo 2'de verilmiştir. Kalsine edilmiş bentonitin kimyasal özellikleri Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında bulunan Panalytical XRF deney cihazı ile belirlenmiştir. Bentonitin yoğunluğu Micrometrics marka gaz piknometresi ve özgül yüzey alanı ise Micrometrics markalı BET cihazı ile belirlenmiştir. Kalsine edilmiş bentonitin içyapısındaki değişimler ise Zeiss Supra 40 VP marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) altında yapılan inceleme ile belirlenmiştir.

Tablo 2. 1m³ beton için karışım tasarımı

Karışımlar	Çimento (kg)	Bentonit (kg)	Su (kg)	Agregalar (kg)			Akışkanlaştırıcı (kg)
				0-4 (mm)	4-8 (mm)	8-16 (mm)	
Referans	350	-	175	687.8	613.4	613.4	1.75
B5	332	17.50	175	687.8	613.4	613.4	1.75
B10	315	35.00	175	687.8	613.4	613.4	1.75
B15	297	52.50	175	687.8	613.4	613.4	1.75

Karışım oranlarına uygun olarak Şekil 1-b'de verilen beton mikserinde hazırlanan taze beton karışımlarının kıvamları çökme deneyi yöntemiyle belirlenmiştir. Basınç dayanımlarının belirlenmesinde 150x150x150 mm ve aşınma dirençlerinin belirlenmesi için 70x70x70 mm boyutlarında beton küp numuneler üretilmiştir. Üretilen numune serileri 20±2 °C sıcaklıkta kirece doymun kür havuzunda şartlandırılmıştır. Numunelerin 7, 28, 56 ve 180 günlük yaşlarda basınç dayanımları ve 28, 56 ve 180 günlük kür yaşlarında aşınma dirençleri belirlenmiştir.

**Şekil 1.** Deneysel çalışmada kullanılan cihazlar

Basınç dayanım deneyleri TS 12390-3'e [16] uygun olarak Şekil 1-c'de ve Böhme aşınma direnci deneyleri de TS EN 14157'e uygun Şekil 1-d'de gösterilen cihazlar yardımı ile gerçekleştirilmiştir [17]. Sertleşmiş beton numunelerinden alınan ve parlatılmış beton numune kesitleri üzerinde Sürdürülebilir Doğaltaş Teknolojileri Geliştirme Merkezi Laboratuvarında bulunan Shimadzu HMV-G Knoop Sertlik Cihazı ile yüzey sertliklerindeki değişimler de belirlenmiştir [18] (Şekil 1-e).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

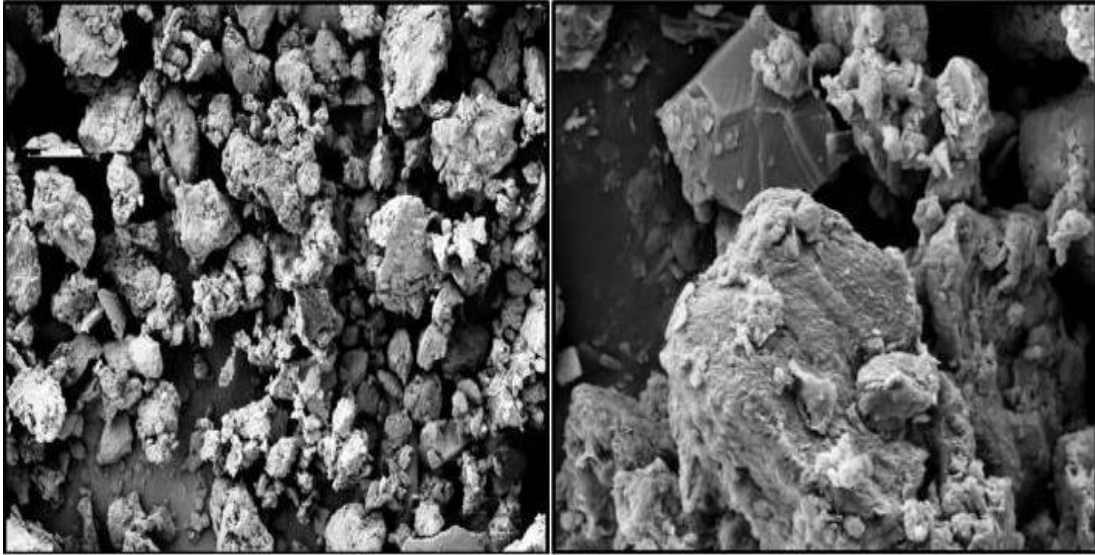
3.1. Bentonitin Karakterizasyonu

Kalsine edilmiş bentonit numuneleri üzerinde özgül ağırlık ve özgül yüzey alanının belirlenebilmesi için gaz piknometresi ve BET analizleri yapılmıştır. Elde edilen deney sonuçları Tablo 3'te sunulmuştur. Elde edilen sonuçlardan kalsine edilmiş bentonitin yoğunluğunda ve özgül yüzey alanında azalma gerçekleştiği görülmüştür. Bu azalma üzerinde kilin kalsine olması sonucunda kümeleneceği ve buna bağlı olarak özgül yüzey alanında azalmaya neden olduğu yapılan çalışmalardan da görülmüştür [19].

Tablo 3. Bentonitin fiziksel özellikleri

Numune türü	Yoğunluk gr/cm ³	Özgül yüzey alanı m ² /gr
Bentonit	2,579	33,643
Kalsine bentonit	2,534	11,261

Kalsine edilmiş bentonit numuneleri üzerinde yapılan elektron mikroskobu incelemeleri ile 1000X ve 5000X büyütme yapıldığında elde edilen görüntüler Şekil 2'de görülmektedir. SEM görüntülerinden kalsine bentonitin iri ve köşeli tanelere sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 2. Kalsine edilmiş bentonitin 1000X ve 5000X büyütmedeki içyapı görüntüleri

Beton karışımlarında kullanılan kalsine bentonitin kimyasal özellikleri XRF analizi ile belirlenmiş olup deneyden elde edilen sonuçlar Tablo 4'te sunulmuştur. Sonuçlardan SiO₂ ve Al₂O₃ içeriğinin %70 üzerinde olduğu görülmüştür. Böylece kalsine bentonitin puzolanik aktivite için gerekli olan silis ve alümin içeriğine ciddi oranda sahip olduğu belirlenmiştir.

Tablo 4. Kalsine edilen bentonit özellikleri

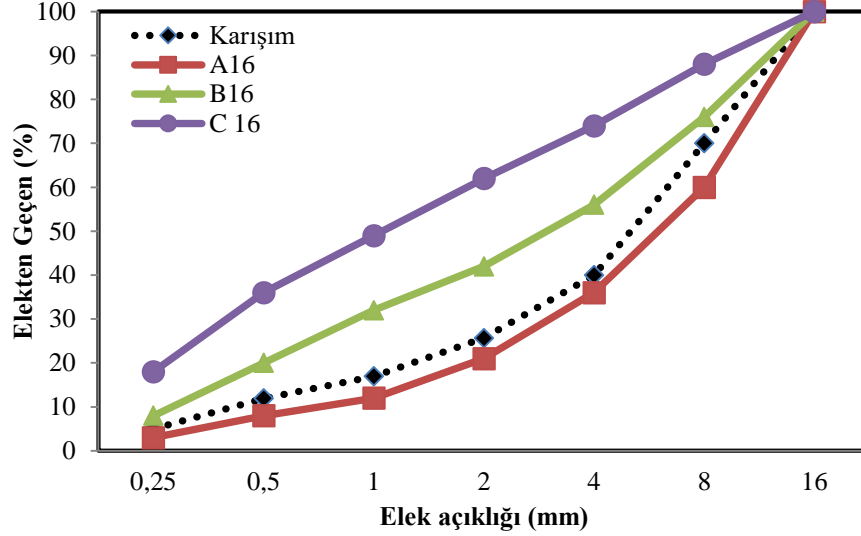
Kimyasal Bileşim	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	ZnO	Na ₂ O	Diğerleri
Bileşenler, %	63,75	15,05	7,69	5,53	1,74	0,56	0,27	0,86	4,55

3.2. Agrega Tane Dağılımı

Agrega tanelerinin granülometri hesaplamaları 0-4, 4-8 ve 8-16 mm tane çapına sahip agrega numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Elek analizi deneylerinden elde edilen sonuçlara göre belirlenen agrega granülometrisi Şekil 3'te görülmektedir. İşlenebilirlik kayıplarını azaltmak için en büyük agrega tane boyutu 16 mm olarak belirlenmiştir. Karışımın

KALSİNE EDİLMİŞ BENTONİTİN BETON AŞINMA DAVRANIŞI ÜZERİNE ETKİSİ

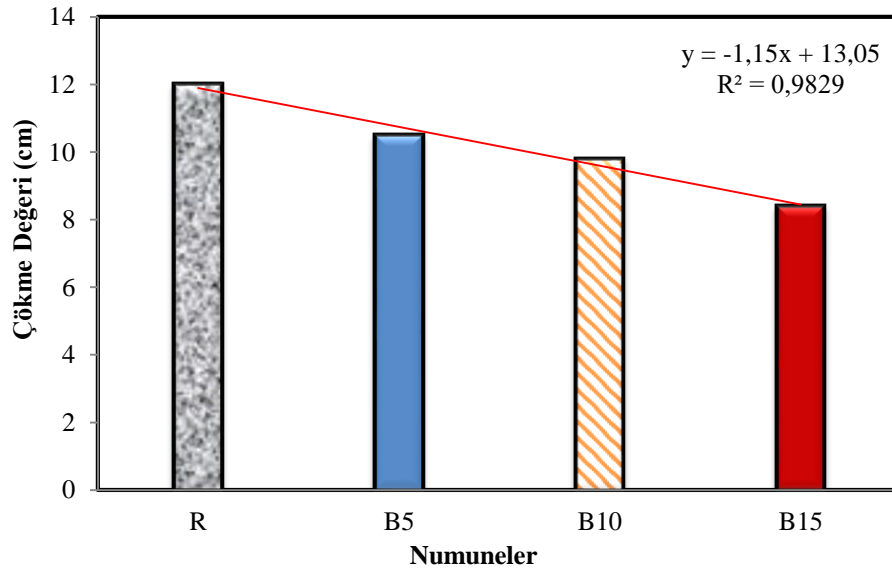
ideal granülometrisinin A₁₆ ve B₁₆ eğrilerinin arasında kalması için gerekli agrega oranlamaları yapılarak beton karışımlarında kullanılacak agrega miktarları hesaplanmıştır.



Şekil 3. Agrega granülometri eğrisi

3.3. Çökme Deneyi

Beton numunelerinin karışımlarında kullanılan malzemelerden çimento ve kalsine bentonit dışında bütün malzeme miktarları sabit tutulmuştur. Taze beton karışımlarının işlenebilirliği TS EN 12350-2'ye uygun çökme deneyi ile belirlenmiştir [20]. Elde edilen sonuçlar Şekil 4'te verilmiştir. En yüksek çökme değerinin referans numunesinden elde edildiği ve kalsine bentonit katkısının çimento yerine kullanım oranının artması ile numunelerdeki işlenebilirliğin azaldığı görülmektedir.



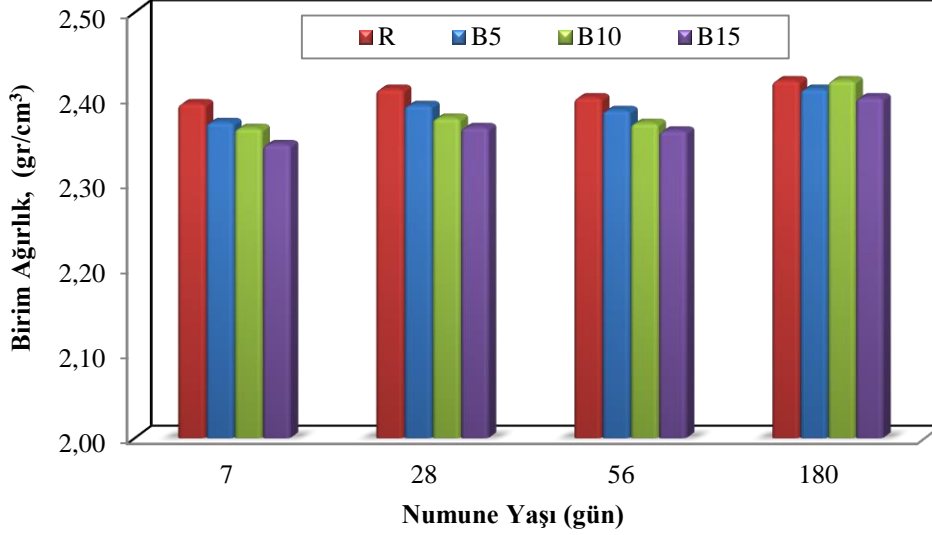
Şekil 4. Beton numunelerinin çökme deneyi sonuçları

Çökme kıvam kaybı %15 kalsine bentonit kullanılan B15 numunesinde akışkanlaştırıcı katkı kullanılmasına rağmen %33 seviyesine kadar ulaşmıştır. İşlenebilirlikteki bu azalma üzerinde, kalsine bentonit inceliğinin çimentoya göre daha yüksek olmasının etkili olduğu düşünülmektedir.

C. Karakurt, T. Kaya, S. Yazıcıoğlu

3.4. Birim Hacim Ağırlık Deneyi

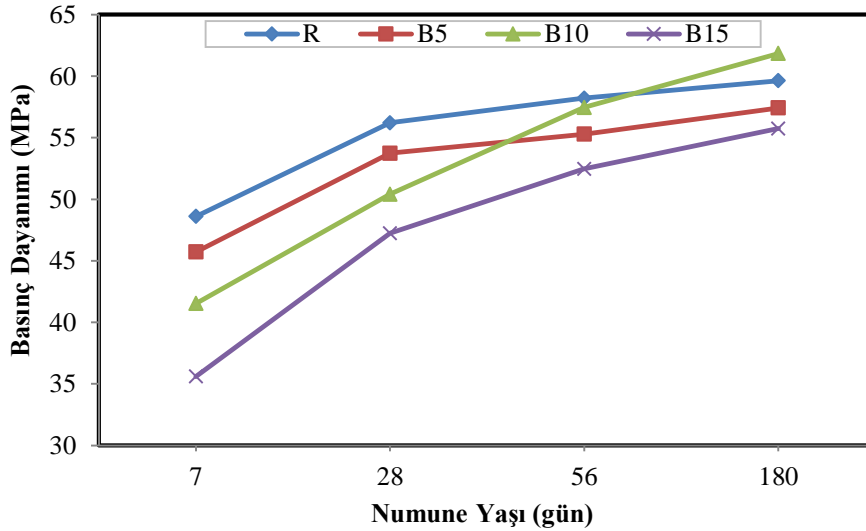
Üretilen beton numunelerinin sertleşmiş birim hacim ağırlıkları Şekil 5'te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde bentonit katkısındaki artış oranına bağlı olarak birim ağırlık sonuçlarının azaldığı ancak 180 günlük numunelerde birim ağırlıkların birbirine oldukça yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir.



Şekil 5. Beton numunelerinin birim ağırlık deneyi sonuçları

3.5. Basınç Dayanımı Deneyi

Deneyisel çalışmada üretilen betonların 7, 28, 56 ve 180 günlük yaşlara ulaşan numunelerin basınç dayanım değerleri belirlenmiştir. Basınç dayanım değerleri Şekil 6'da görülmektedir. Şekil incelendiğinde 7, 28 ve 56 günlük yaşlarda en yüksek basınç dayanım değeri R numunesinden elde edilirken 180 günlük yaşta ise B10 numunesinden elde edildiği görülmektedir. İlerleyen kür yaşlarında R numunesinin dayanım artış hızı azalırken, B katkılı numunelerin dayanımlarında artışın devamlılığını koruduğu izlenmiştir. B10 numunesinin 56 günlük yaşta R numunesinin basınç dayanımına yaklaştığı ve 180 günlük yaşta ise R numunesi oranla %3,7 dayanım artışı sağladığı görülmüştür.



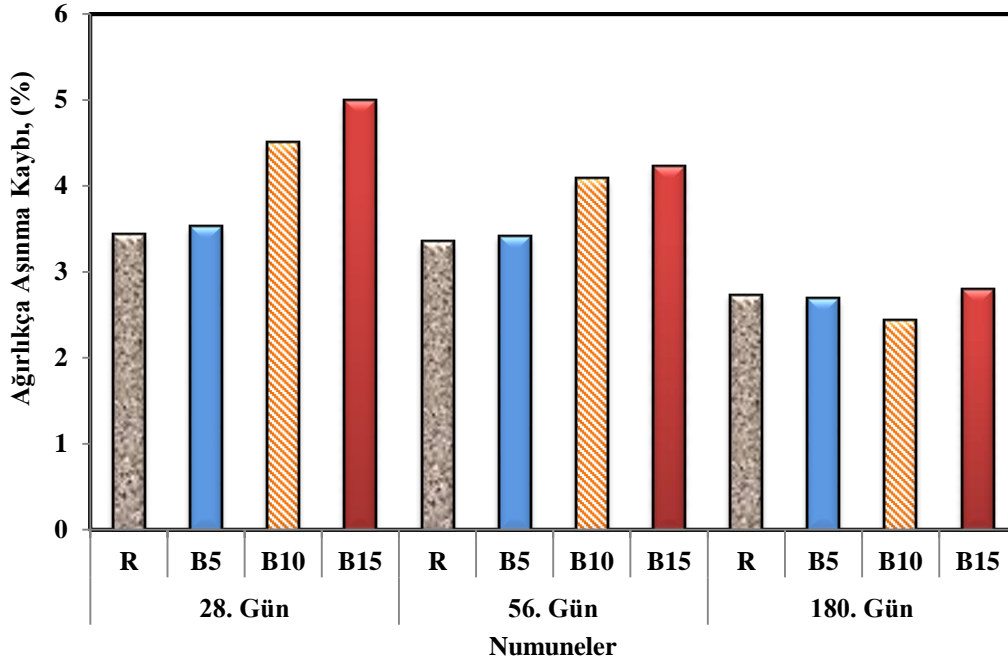
Şekil 6. Beton numunelerinin basınç dayanımı deney sonuçları

KALSİNE EDİLMİŞ BENTONİTİN BETON AŞINMA DAVRANIŞI ÜZERİNE ETKİSİ

Beton karışımlarına mineral katkı olarak katılan malzemelerin (uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu vb.) erken yaş dayanımlarını katkısız referans numuneye göre düşürdüğü, ancak 90 gün ve daha sonraki yaşlarda beton basınç dayanımını artırdığı bilinmektedir [21]-[23]. B katkılı numunelerden elde edilen sonuçlar literatürdeki mineral katkılı betonların basınç dayanımlarıyla uyumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu sonuçlardan kalsine edilmiş bentonitin 90 gün ve ötesinde puzolanik aktivite göstererek dayanım gelişimine olumlu yönde katkı sağladığı söylenebilir.

3.6. Aşınma Direnci Deneyi

Üretilen beton numunelerinin 28, 56 ve 180 günlük yaşlardaki ağırlıkça aşınma kayıp yüzdeleri Şekil 7'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde bütün yaşlarda numunelerin aşınma kayıplarının % 2.44 - % 4.99 arasında değiştiği görülmektedir.

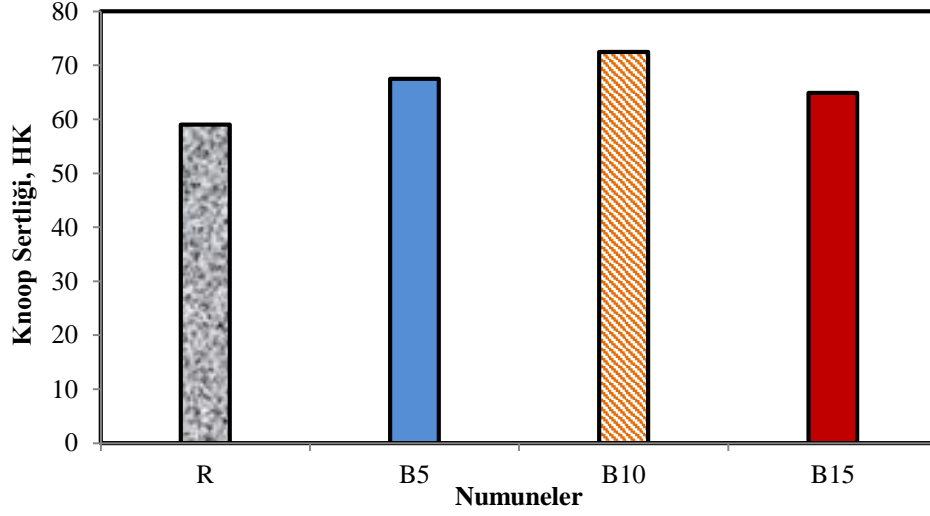


Şekil 7. Beton numunelerinin aşınma direnci deney sonuçları

B katkı oranındaki artışın erken yaşlarda aşınma dirençlerinde R numunesine göre olumsuz etki yarattığı, ancak ilerleyen kür yaşlarında ağırlıkça aşınma kayıplarının azalığı görülmüştür. Bu durumun ilerleyen yaşlarda B katkısının puzolanik aktiviteye bağlı olarak basınç dayanımlarını artırması sonucu, aşınma dirençlerinin de olumlu yönde etkilemesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Uçucu kül ve zeolit katkısının ileriki yaşlarda aşınma direnci açısından daha avantajlı olduğu literatürden bilinmektedir [2], [24]. Deneysel çalışmadan elde edilen aşınma dirençlerin literatür ile uyumlu olduğu görülmüştür.

3.7. Knoop Sertlik Deneyi

Üretilen numunelerin Knoop sertlikleri 180 günlük ve puzolanik aktivitenin etkisini gösterdiği numunelerde betonun hamur fazı üzerinde TS EN 14205'e uygun olarak belirlenmiştir [18]. Böylece iri agreganın etkisi dikkate alınmadan bağlayıcı fazın sertliğindeki değişimin belirlenmesi amaçlanmıştır. Taş yapı malzemelerde kullanıma uygun bir mikro sertlik deneyi olan Knoop sertlik deneyi, 172°30' açılı piramit şekilli batıcı bir ucun 10 N yük etkisi altında eşkenar dörtgen şeklinde bıraktığı izin genişliğinin ölçülmesiyle gerçekleştirilir. Deney 10 farklı noktaya uygulanarak ortalama değer hesaplanmasıyla neticelendirilir. Beton numunelerinden kesit alındıktan sonra bu kesitlerin yüzeyleri parlatma makinasında parlatılarak düzgün yüzeyler üzerinde deney gerçekleştirilmiştir. Sertlik deneyinden elde edilen sonuçlar Şekil 8'de görülmektedir. Elde edilen deney sonuçlarından kalsine bentonit katkılı tüm serilerin yüzey sertliklerinin referans numunesine göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Sertlikteki bu değişim, B10 numunesinin 180 gün sonunda % 22 oranında daha sert bir yapıda ve aşınma direncinin de diğer numune tiplerine göre daha iyi olmasına neden olmuştur.



Şekil 8. Beton numunelerinin Knoop sertliği deney sonuçları

4. SONUÇLAR

Kalsine bentonit katkılı betonların aşınma davranışlarının incelendiği bu çalışmadan aşağıda verilen sonuçlara ulaşılmıştır.

- Numunelerin taze haldeki çökme deneyi sonucunda en yüksek çökme değerinin R numunesinden elde edildiği ve B katkısının artması ile numunelerdeki işlenebilirliğin azaldığı görülmüştür.
- Üretilen beton numunelerinden elde edilen birim ağırlıklardan en düşük ve en yüksek değerler sırasıyla 2.35 – 2.42 g/cm³ olarak elde edilmiştir. Numunelerin bütün yaşlarda birbirilerine yakın değerler aldığı belirlenmiştir.
- Numunelerin 7, 28 ve 56 günlük yaşlardaki basınç dayanımlarında en yüksek ve düşük değerler sırası ile R ve B15 serilerinden sırasıyla 35.60 ve 58.20 MPa olarak elde edilirken, 180 günlük yaşta en yüksek dayanım değeri B10 serisinden 61.80 MPa olarak elde edilmiştir.
- Böhme deney sonucunda ağırlıkça aşınma kayıplarının ilerleyen yaşlarda düştüğü görülmüştür. En yüksek aşınma oranı 28 günlük B15 serisinden % 4.99 olarak elde edilirken en düşük kayıp ise 180 günlük yaşta B10 serisinden % 2.64 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçların Knoop sertlik deneyi sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmüştür.
- Sonuç olarak; basınç dayanımı ve aşınma direnci deney sonuçları incelendiğinde, 180 günlük yaşta betonda çimento yerine optimum olarak % 10 oranında kalsine edilmiş bentonit katkısının kullanılmasıyla R numunesine oranla % 3,7 dayanım artışı ve aşınma direnci davranışı üzerinde % 10.6 daha az aşınma kaybı ile betona olumlu kazanımlar sağladığı görülmüştür. Beton tasarımında kalsine edilmiş bentonit katkısı kullanımıyla hem çevresel etki açısından hem de beton kalıcılığı açısından faydalar elde edileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] S. Pyo, S. Y. Abate, H. K. Kim, "Abrasion resistance of ultra high performance concrete incorporating coarser aggregate," *Construction and Building Materials*, vol. 165, pp. 11-16, 2018.
- [2] C. Bilim, "Zeolit katkısının harçların aşınma direncine etkisi", in 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 2011, pp. 55-58.
- [3] A. A. Ramezani-pour, A. Haghollahi, "Investigation and modelling of abrasion in industrial concrete floors," *Amirkabir Journal of Science and Technology*, vol. 115, pp. 55-61, 2004.
- [4] C. D. Atiş, O. Karahan, K. Arı, Ö. Çelik, C. Bilim, "Relation between strength properties (flexural and compressive) and abrasion resistance of fiber (steel and polypropylene) reinforced fly ash concrete", *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 21, pp. 402-408, 2009.
- [5] S. Oymael, A. Yeğinobalı, "Bitümlü şist külü katkısının betonda aşınma dayanımına etkisi", in Proc. 4th National Concrete Conference, 1996, pp. 359-367.
- [6] A. Tironi, M. A. Trezza, A. N. Scian, E. F. Irassar, "Assessment of pozzolanic activity of different calcined clays," *Cement and Concrete Composites*, vol. 37, pp. 319-327, 2013.

KALSİNE EDİLMİŞ BENTONİTİN BETON AŞINMA DAVRANIŞI ÜZERİNE ETKİSİ

- [7] R. E. Rodriguez-Camacho, R. Uribe-Afif, "Importance of using the natural pozzolans on concrete durability," *Cement and Concrete Research*, vol. 32, pp. 1851-1858, 2002.
- [8] V. G. Papadakis, S. Tsimas, "Supplementary cementing materials in concrete: Part I: efficiency and design," *Cement and Concrete Research*, vol. 32, pp. 1525-1532, 2002.
- [9] S. C. Taylor-Lange, E. L. Lamon, K. A. Riding, M. C. G. Juenger, "Calcined kaolinite-bentonite clay blends as supplementary cementitious materials," *Applied Clay Science*, vol. 108, pp. 84-93, 2015.
- [10] T. Kaya, S. Yazıcıoğlu, "Kalsine bentonit katkı harçların fiziksel ve mekanik özelliklerine yüksek sıcaklık etkisi," *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 4, no. 2, pp. 150-160, 2015.
- [11] B. İpekoğlu, İ. Kurşun, Y. Bilge, A. Barut, "Türkiye bentonit potansiyeline genel bir bakış," in 2nd Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 1997, pp. 51-57.
- [12] T. Kaya, C. Karakurt, Y. Bayazıt, "Kalsine edilmiş bentonitin çimento harçlarında puzolanik katkı maddesi olarak kullanılabilirliği," in 2nd International Sustainable Buildings Symposium, 2015, pp 98-103.
- [13] *Çimento-genel çimentolar-bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri*, TS EN 197-1, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2012.
- [14] H. H. M. Darweesh, Z. A. Nagieb, "Hydration of calcined bentonite Portland blended cement pastes," *Indian Journal of Chemical Technology*, vol. 14, pp. 301-307, 2007.
- [15] A. Trümer, H. M. Ludwig, M. Schellhorn, R. Diedel, "Effect of calcined Westerwald bentonite as supplementary cementitious material on the long-term performance of concrete," *Applied Clay Science*, vol. 168, pp. 36-42, 2019.
- [16] *Beton-sertleşmiş beton deneyleri-deney numunelerinde basınç dayanımının tayini*, TS EN 12390-3, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2010.
- [17] *Doğal taşlar-aşınma direncinin tayini*, TS EN 14157, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2005.
- [18] *Doğal taş deney yöntemleri-Knoop sertliğinin tayini*, TS EN 14205, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2004.
- [19] E. Güneyisi, M. Gesoğlu, T. Özturan, K. Mermerdaş, "Microstructural properties and pozzolanic activity of calcined kaolins as supplementary cementing materials," *Canadian Journal of Civil Engineering*, vol. 39, pp. 1274-1284, 2012.
- [20] *Beton- taze beton deneyleri: Çökme deneyi*, TS EN 12350-2, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2019.
- [21] M. S. J. Gani, *Fiber Reinforced Cement and Concrete*, *Cement and Concrete*, London: Chapman & Hall, 1997.
- [22] O. Şimşek, *Beton ve Beton Teknolojisi*, Ankara: Seçkin Yay. San. ve Tic. A.Ş, 2004.
- [23] H. Yaprak, O. Şimşek, A. Öneş, "Cam ve çelik lifin bazı beton özelliklerine etkisi", *Politeknik Dergisi*, vol. 7, no. 4, pp. 353-358, 2004.
- [24] B. Felekoğlu, M. Y. Yardımcı, B. Baradan, "Uçucu külün ve taş tozunun kendiliğinden yerleşen betonda aşınma direncine etkileri", *Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 19, no. 1, pp. 11-22, 2006.

