

AKÜ FEMÜBİD 20 (2020) 025601 (287-295)

AKU J. Sci. Eng. 20 (2020) 025601 (287-295)

DOI: 10.35414/akufemubid.652511

Araştırma Makalesi / Research Article

## Öğütülmüş Kolemanit Minerali İkameli Beton Yollardaki Aşınma Kaybının Araştırılması

Tuba KÜTÜK-SERT<sup>1</sup>, Cuma KARA<sup>2</sup>, Sezai KÜTÜK<sup>1</sup> Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Rize.<sup>2</sup> Artvin Çoruh Üniversitesi, Borçka Acarlar Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Artvin.<sup>3</sup> Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Turgut Kiran Denizcilik Fakültesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Bölümü, Rize.Sorumlu yazar e posta: <sup>2</sup> cumakara@artvin.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2905-4515><sup>1</sup> tuba.kutuk@erdogan.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1747-9946><sup>3</sup> sezai.kutuk@erdogan.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0159-5953>

Geliş Tarihi: 10.12.2019

Kabul Tarihi: 23.04.2020

### Öz

Nüfus artışı ile mevcut yollarda yoğunluk artmakta ve bu yüzden yeni yollara ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak yol yapımı ve bakım maliyetleri ise oldukça yüksektir. Ayrıca yol yapısının uzun hizmet ömrüne sahip olması hem güvenlik hem de ekonomik anlamda oldukça önem arz etmektedir. Beton yollar ise özellikle son yıllarda ekonomik ve uzun hizmet ömürlü olması sebebi ile ön plana çıkmaktadır. Beton yol hasarlarından aşınma ise yol yapısının uzun hizmet ömrü için tehlikeli bir durumdur. Bu çalışmada; ham öğütülmüş kolemanit minerali çimentoya ağırlıkça %1, %2, %3, %4 ve %5 oranlarda ikame malzemesi olarak kullanılmıştır. Üretimi yapılan beton numunelerin ise aşınmaya karşı dayanıklılığı Böhme deneyi belirlenmiş ve Böhme deney sonuçlarının tahribatsız bir test yöntemi olan Schmidt çekici ile ilişkisi incelenmiştir. Sonuç olarak (7. ve 28. gün) kolemanit ikamesinin aşınma miktarını arttırdığı, ancak sertleşme yaşının artmasıyla (90. gün) %3'e kadar kolemanit minerali ikamesi beton numunelerin aşınma miktarlarını azalttığı görülmüştür. Schmidt çekici ile elde edilen yaklaşık basınç dayanımı incelendiğinde ise 7. ve 28. günlerde ölçülen dayanımlar üzerinde etkisinin düzensiz olduğu, 90. gün de ise %5 kolemanit ikamesi ile dayanım değerinin referansa göre düşük olduğu belirlenmiştir. Gerçekleştirilen deneysel sonuçlara göre kolemanit minerali ikamesinin %3'e kadar kullanılmasının aşınma dayanımı ve Schmidt çekici (yaklaşık basınç dayanımını) değerlerini arttırmada etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

### Anahtar kelimeler

Beton yollar;  
Kolemanit;  
Aşınma kaybı;  
Basınç dayanımı;  
Schmidt çekici

## Investigation of Abrasion Loss on Concrete Roads with Milled Colemanite Mineral Substitution

### Abstract

With the increase in population, the density of the existing roads increases and therefore new roads are needed. However, road construction and maintenance costs are quite high. In addition, the long service life of the road structure is very important for both safety and economic. Concrete roads come to the forefront especially because of their economic and long service life in recent years. Wear from concrete road damages is dangerous for the long service life of the road structure. In this study; The raw milled colemanite mineral was used as a substitute in 1%, 2%, 3%, 4% and 5% by weight of cement. The abrasion resistance of the concrete samples produced was determined by Bohme test and also a relationship between Bohme test results and Schmidt hammer, the non-destructive test method, results was investigated. As a result, it was observed that colemanite substitution increased the wear amount (day 7 and 28), but with increasing hardening age (90<sup>th</sup> day), the colemanite substitution decreased the amount of wear of concrete samples up to 3%. When the approximate compressive strength obtained from Schmidt hammer was examined, it was found that the effect on the strengths measured on the 7<sup>th</sup> and 28<sup>th</sup> days was irregular, and besides on the 90<sup>th</sup> day the strength value was lower with 5% colemanite substitution compared to the reference. According to the experimental results, the use of colemanite mineral substitution up to 3% was concluded to be effective in increasing abrasion strength and Schmidt hammer (approximate compressive strength) values.

### Keywords

Concrete roads;  
Colemanite;  
Abrasion loss;  
Compressive strength;  
Schmidt hammer

## 1. Giriş

Hızla artan dünya nüfusu, ulaşım ağının genişlemesi zorunluluğunu da beraberinde getirmektedir. Türkiye’de en çok kullanılan ulaştırma sistemi karayollarıdır. Yol yapım maliyetinin büyük kısmının ise malzeme ve nakliye ile ilgili olduğu belirtilmektedir. Ayrıca yol yapımı kadar bu yolların hizmet ömrü boyunca bakım maliyetlerinin için de önemli maddi kaynaklar gerekmektedir (Azarijafari et al. 2016). Dolayısıyla yol yapım ve bakım işlerinin ekonomik olması önemli bir unsur olmaktadır.

Son yıllarda beton yollar uzun hizmet ömrü, yerli malzeme kullanımı, yüksek taşıma gücü, çevreci ve ekonomik olması sebebiyle öne çıkmaktadır (İyınam ve Ağar 2004, Yeğınobalı 2010, Int Kyn. 1). Ancak beton malzeme maruz kaldığı dış etkiler ile zamanla bozulmakta ve beklenen uzun hizmet ömrü kısalmaktadır (Bekem Kara and Arslan 2018). Yol ve havaalanı gibi yapılarda kullanılan beton malzeme için aşınma etkisi önemli bir dış faktördür (Szymanska et al. 2008, Şımşek 2016, Popek et al. 2016, Tugrul Tunc and Alyamac 2019). Aşınma bozulmaları acil bir güvenlik sorunu olmamasına rağmen, zamanla yol yapısı için potansiyel bir tehlike yaratan yapısal hasarların nedenleri arasında olacaktır. Ayrıca beton kaplamanın zararlı dış etmenler sonucu aşınması yol yapısının bozulma sürecini hızlandıracaktır. Bu bağlamda aşınmaya karşı dayanıklılık yol betonu için dikkat edilmesi gereken konulardan bir tanesi olmaktadır. Aşınma olayı temel de agrega taneleri ile çimento hamuru arasındaki aderans kuvvetine bağlıdır ve aşınmanın ölçütü genel olarak ağırlık kaybı veya numunelerin boyutları ile belirlenmektedir (Tugrul Tunc and Alyamac 2019).

Betonun aşınma dayanımı ile ilgili çok sayıda çalışma mevcuttur. Genel olarak, herhangi bir betonun aşınma dayanımı, agrega tipi, karışımdaki malzemelerin oranları, betonun dayanıklılığı, herhangi bir ek çimentolu malzemenin kullanımı, lif içeriği, kür ve yüzey işlemleri gibi çeşitli parametrelerden etkilenir (Yen et al. 2007, Krishna et al. 2016). Mineral veya kimyasal katkıların

kullanılması betonun aşınma dayanımını arttırılabilmektedir (Krishna et al. 2016). Ayrıca yapılan çalışmalar betonun basınç dayanımı arttıkça aşınmaya karşı direncin artarak aşınma kaybının azaldığını ve basınç dayanımı ile aşınma direnci arasında oldukça kuvvetli bir ilişkinin olduğu belirtilmektedir (Li et al. 2006, Siddique 2013, He et al. 2019).

Endüstride önemli bir yere sahip olan bor elementi birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bor elementi doğal/ham halde bor minerallerinin içerisinde bor trioksit ( $B_2O_3$ ) olarak bulunmaktadır. Dünya çapında  $B_2O_3$  rezerv dağılımı %73’lük dilim ile (955 milyon ton kapasite) Türkiye’dedir. (Kutuk and Kutuk-Sert 2017). Kolemanit ise bor mineralleri arasında en yaygın bulunan cevherlerden biridir. Cevher, konsantratör tesisinde zenginleştirilme işlemine tabi tutularak konsantre ürün elde edilmektedir. Konsantre ürün sırasıyla kırma ve öğütme işlemlerinden geçirilerek öğütülmüş ürün elde edilmekte ve paketleme ünitesinde paketlenerek satışa hazır hale getirilmektedir (Int Kyn. 2). Kolemanit minerali ise son zamanlarda beton teknolojisi sektöründe yoğun olarak araştırılmaktadır. Kolemanit mineralinin betonda kullanılması ile betonun sertleşme süresini uzattığı ancak zamanla basınç dayanımını arttırdığı belirtilmektedir (Erdoğan et al. 1998, Kula et al. 2001, Olgun et al. 2007). Kolemanitin basınç dayanımına olumlu etkisi de kolemanitin mineral yapısı ile açıklanmaktadır (Aksoğan et al. 2016).

Ayrıca beton teknolojisinde kolemanit mineralinin kullanımı ile yapılan çalışmalar arasında radyasyon geçirgenliği üzerine çalışmalar mevcuttur (Korkut et al. 2010, Demir et al. 2011). Oysaki kolemanit mineralinin yol betonu olarak kullanımı ve maruz kalacağı aşınma direnci sonucunda oluşabilecek aşınma kaybı ile alakalı çalışmalar oldukça yetersizdir. Kolemanit minerali ile yapılan çalışmalarda yüksek oranda kullanılmasının dayanıma olumsuz etki ettiği ve bu durumun mineralin yapısındaki bor oksit ( $B_2O_3$ ) ile ilişkili olduğu belirtilmektedir (Erdoğan et al. 1998).

Yapılan bu çalışmada %0, %1, %2, %3, %4 ve %5 oranlarında ham öğütülmüş kolemanit minerali çimento ile üretilen betonlarda, aşınma kaybının belirlenmesi hedeflenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1 Materyal

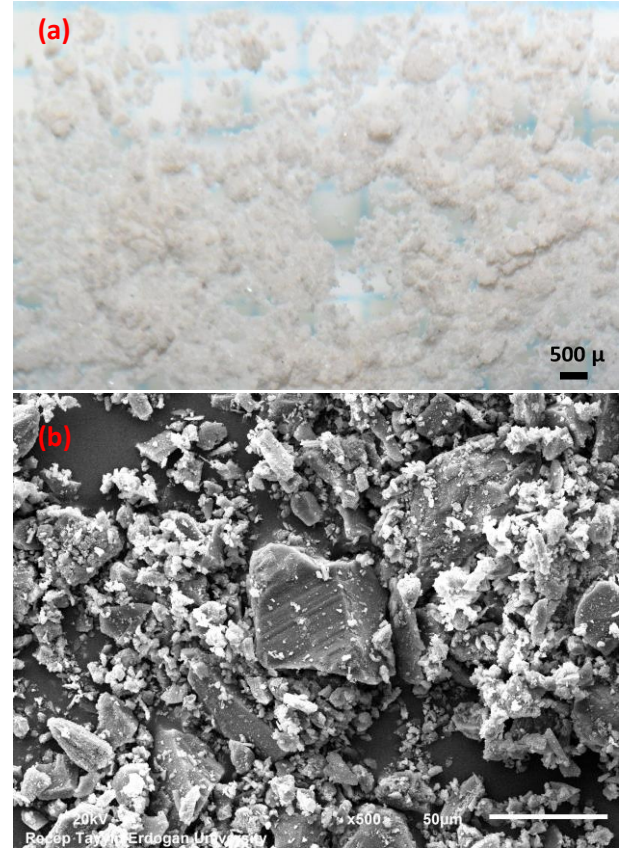
Beton numunelerin üretiminde CEM I 42.5 R portland çimentosu, Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü Bigadiç Bor İşletme Müdürlüğü maden ocağından temin edilen ham öğütülmüş kolemanit minerali, Artvin-Borçka'da bulunan taş ocağına ait agrega, süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi ve şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan çimento ve öğütülmüş kolemanit mineraline ait fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 1'de görülmektedir.

**Çizelge 1.** Çimento ve öğütülmüş kolemanit mineraline ait fiziksel ve kimyasal özellikler

Kimyasal Bileşenler (%)	Çimento	Kolemanit
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	40.00 ± 0.50
CaO	62.64	27.00 ± 1.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.56	maks. 0.40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.36	maks. 0.08
SiO <sub>2</sub>	19.05	4.00 ~ 6.50
SO <sub>3</sub>	2.88	-
SO <sub>4</sub>	-	maks. 0.60
MgO	2.98	maks. 3.00
SrO	-	maks. 1.50
Na <sub>2</sub> O	0.15	maks. 0.50
Nem	-	maks. 1.00
Kızdırma kaybı	3.02	maks. 25.00
Çözünmeyen kalıntı	0.30	-
Fiziksel Özellikler	Çimento	Kolemanit
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	3.12	2.39
Özgül yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	3269	3432
Hacim genleşmesi (mm)	2.0	-
Priz başlama süresi (dakika)	150	-
Priz bitiş süresi (dakika)	210	-

Mineralin küçük boyuta indirgenmesi ile pek çok teknik özellikte olumlu sonuçlar verdiği bilinmektedir (Kutuk 2016). 75 mikron elek altı öğütülmüş halde temin edilen kolemanit mineralinin yoğunluğu 2.39 g/cm<sup>3</sup> ve minimum %82'si 75 µm elek altıdır (Int Kyn. 2). Öğütülmüş kolemanit mineralinin optik mikroskop ve elektron mikroskop görüntüleri sırasıyla Şekil 1 (a) ve (b)'de sunulmuştur. Bu mineralin partikül boyut dağılımları, mikroskop görüntüleri, elementel ve

kristal yapı analizleri ile ilgili ayrıntılı bilgiler başka çalışmalarda mevcuttur (Kutuk-Sert 2016, Kutuk 2017).



**Şekil 1.** Öğütülmüş kolemanit mineralinin (a) x15 büyütme optik mikroskop ve (b) x500 büyütme elektron mikroskop görüntüleri

Çalışmada kullanılan agregalar 0-5 mm (Kırma kum), 5-12 mm (Kırmetaş-1) ve 12-25 mm (Kırmetaş-2) boyutlarında olup, yoğunluk, su emme ve Los Angeles aşınma kaybı değerleri belirlenerek Çizelge 2'de verilmiştir (ASTM C127-15, ASTM C128-15, ASTM C131/C131M-14).

**Çizelge 2.** Agregalara ait yoğunluk, su emme ve Los Angeles aşınma kaybı değerleri

Deneyle	Agrega (mm)	Değer	Limit
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Kırma kum	2.63	
	Kırmetaş-1	2.70	≥ 2.0
	Kırmetaş-2	2.72	
Su emme (%)	Kırma kum	2.30	ince agrega ≤ 3
	Kırmetaş-1	1.65	iri agrega ≤ 2
Los Angeles Aşınma (%)	Kırmetaş-1	100 devir: 5.9	≤ 10
	Kırmetaş-2	500 devir: 25.5	≤ 50

Beton yapının aşınma kaybını etkileyen etmenlerden birisi de kullanılan agreganın aşınmaya karşı dayanıklılığıdır. Agreganın Los Angeles aşınma

kaybı %30'dan az aşınma değerine sahip ise bu agregaların darbe gerilmelerine maruz kalan yol kaplamalarında kullanılabileceği belirtilmektedir (TS 706 EN 12620+A1, Şimşek 2016). Çalışmada kullanılan agregaların aşınma kaybı değerleri, yol betonu üretimi için uygun aşınma kaybına sahip agrega olduğunu göstermiştir.

## 2.2 Metod

Öğütülmüş kolemanit minerali çimentoya %0, %1, %2, %3, %4 ve %5 oranlarında ikame olarak kullanılmış olup, beton numunelerin karışımları standartlara uygun olarak belirlenmiştir (TS 802, TS EN 206:2013+A1). Kolemanit minerali ikamesiz (%0, referans) ve farklı oranlarda kolemanit minerali ikameli (%1, %2, %3, %4 ve %5) 6 farklı beton tasarımı, çökme miktarları belirlenerek kalıplara yerleştirilmiştir. %0, %1, %2, %3, %4 ve %5 öğütülmüş kolemanit minerali ikameli beton numuneler sırasıyla K0, K1, K2, K3, K4 ve K5 olarak etiketlenmiştir. Beton karışımına giren malzeme miktarları Çizelge 3'de verilmiştir.

**Çizelge 3.** Beton karışımına giren malzeme miktarları

Etiket İkame oranları	K0	K1	K2	K3	K4	K5
Çimento	350.0	346.5	343.0	339.5	336.0	332.5
Kolemanit	0	3.5	7.0	10.5	14.0	17.5
Su	157.5	157.5	157.5	157.5	157.5	157.5
Katkı maddesi	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
Kırma kum	925.5	925.1	924.6	924.2	923.8	923.3
Kırmataş-1	408.7	408.5	408.3	408.1	407.9	407.7
Kırmataş-2	589.0	588.7	588.4	588.2	587.9	587.6

Üretimi gerçekleştirilen taze beton numunelerin Böhme deneyi ile aşınma kaybının belirlenmesi için 71x71x71 mm ve ayrıca, tahribatsız yöntemlerden betonun yüzey sertliği ölçümlerinde yaygın olarak kullanılan Schmidt çekici ile yüzey sertliğinin belirlenmesi için ise 150x150x150 mm kalıplara yerleştirilmiştir (TS EN 13892-2, TS EN 12504-2). Üretilen sertleşmiş beton numuneler üzerinde 7., 28. ve 90. günlerde deneysel ölçümler gerçekleştirilmiştir.

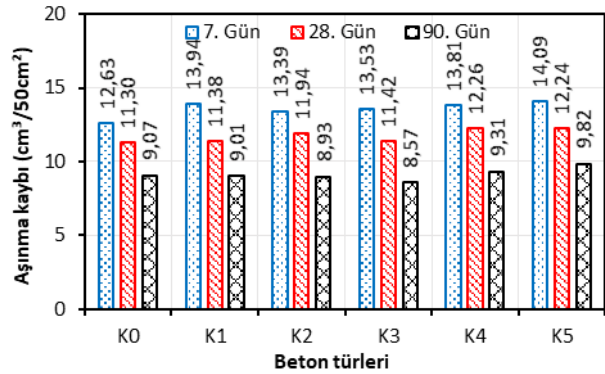
Elde edilen deneysel sonuçlardan aşınma kaybı ve Schmidt çekici ile belirlenen yaklaşık basınç dayanımı arasındaki ilişki regresyon analizi ile

belirlenmiştir. Regresyon analizi sonucunda Schmidt çekici ile tahmini aşınma kayıpları belirlenerek, deneysel aşınma kayıpları ile farkları hesaplanmıştır.

## 3. Bulgular ve Tartışma

Çimentoya kolemanit mineralinin ikame edilmesi ile üretimi yapılan taze betonların çökme miktarları 100 mm ile 150 mm aralığında ölçülmüştür. Kolemanit mineralinin %5'e kadar çimentoya ikame olarak kullanılmasının taze betonun işlenebilirliğine büyük bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

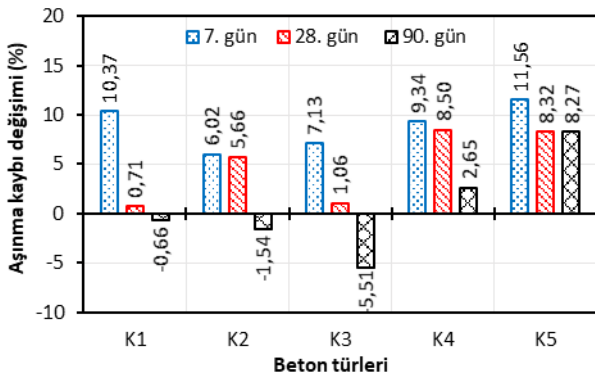
Beton numunelerin 7 ve 28 günlük aşınma kayıpları incelendiğinde tüm kolemanit minerali ikame oranlarında aşınma kaybının referans numuneden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kolemanit minerali ikameli beton numunelerde ölçülen 90. gün aşınma kayıplarına bakıldığında ise, %1, %2 ve %3 oranlarında kolemanit ikamesinin referans numuneye göre aşınma kaybını azalttığı görülmüştür. Ancak kolemanit mineralinin %4 ve %5 ikame oranlarında tüm yaşlarda en yüksek aşınma kayıplarını verdiği belirlenmiştir. Böhme deneyi ile elde edilen aşınma kayıpları Şekil 2'de verilmiştir.



**Şekil 2.** Beton numunelerin aşınma kaybı değerleri

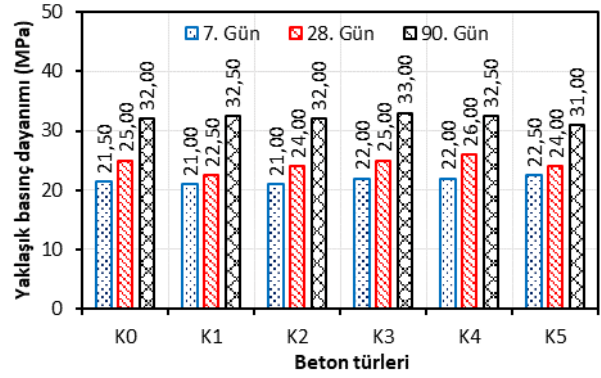
Yapılan çalışmalarda genel olarak dayanım artışı, betonun aşınma direncinde bir artışa yol açmaktadır (Singh and Siddique 2012). Mukavemeti yüksek betonların aşınma direnci yüksek, kaybı ise düşük olmaktadır. Kolemanit mineralinin beton üretiminde kullanılması, taze betonun sertleşme süresini arttırmaktadır (Erdoğan et al. 1998, Kula et al. 2001). Kolemanit minerali ikameli beton numunelerde uzayan sertleşme süresi erken yaşlarda dayanım kazanımını azaltmakta ve basınç

dayanımının düşmesine sebep olmaktadır. 7. ve 28. günlerde kolemanit minerali ikameli beton numunelerde elde edilen yüksek aşınma kaybı kolemanitin mineral yapısı ile açıklanabilmektedir (Aksoğan et al. 2016). Kolemanitin %3 ikame oranına kadar düşük aşınma kaybı sağlaması, kolemanitin puzolanik özelliği ile beton yaşı arttıkça dayanım kazanımının artmasını sağlamıştır (Kula et al. 2001, Targan vd. 2002, Olgun et al. 2007, Aksoğan et al. 2016). Kolemanit ikameli beton numunelerin referans numuneye göre zamanla aşınma kayıplarında meydana gelen değişimler Şekil 3'de görülmektedir.



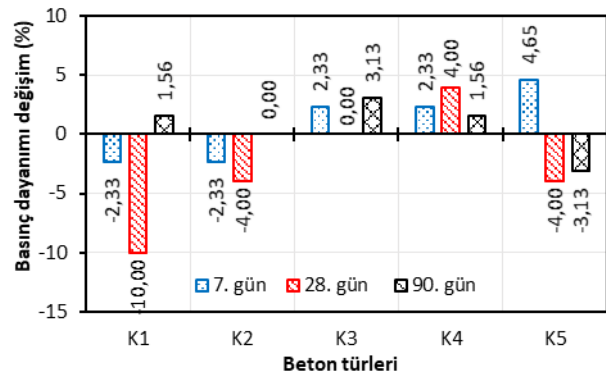
Şekil 3. Öğütülmüş kolemanit minerali ikameli beton numunelerin aşınma kayıplarının referans numuneye göre değişimleri

Yapılan deneylerin sonuçları incelendiğinde ikame oranı ile doğrusal artış veya azalışın olmadığı belirlenmiştir. Çalışmada aşınma kaybı ve yaklaşık basınç dayanımı ile kolemanit minerali ikame oranı arasında doğrusal olmayan bir ilişkinin olduğu söylenebilir. Dayanım ve ikame oranı arasında literatürde benzer ilişkinin olduğu görülmektedir (Kutuk-Sert 2016, Bekem Kara 2019). Schmidt çekici yöntemi ile elde edilen yaklaşık basınç dayanımı değerleri Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Schmidt çekici ile elde edilen yaklaşık basınç dayanımı değerleri

Şekil 4 incelendiğinde kolemanit minerali ikameli üretilen betonların erken yaş dayanımları üzerinde etkisinin düzensiz olduğu belirlenmiştir. Schmidt çekici bir yüzey sertliği test cihazı olmakla birlikte yaklaşık basınç dayanımı tahmini için sık kullanılan bir yöntemdir (Bungey et al. 2006, Malek and Kaouther 2014). Ancak kolemanit ikameli betonların basınç dayanımını belirlemede Schmidt çekici testinin özellikle erken yaşlarda sağlıklı ve gerçeği yansıtmayan veri üretimine sebep olacağını göstermektedir. Kolemanit minarelinin çimentoda ikame malzeme olarak kullanılmasıyla, beton numunelerin ileriki yaşlarında yüzeylerini sertleştirdiği söylenebilir. Kolemanit ikameli beton numunelerin Schmidt çekici ile belirlenen basınç dayanımı değerlerinin referans örneğe göre değişimleri Şekil 5'de sunulmuştur.

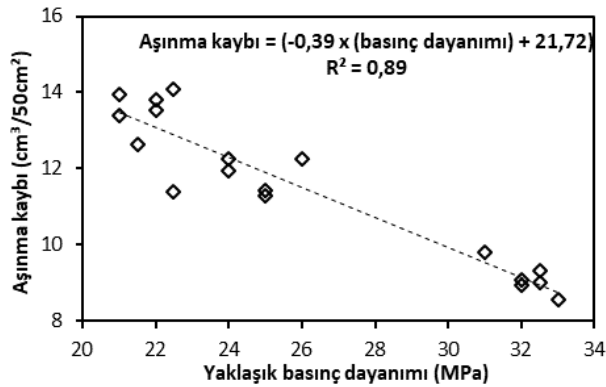


Şekil 5. Öğütülmüş kolemanit minerali ikameli beton numunelerin basınç dayanımlarının referans numuneye göre değişimleri

Schmidt çekici temel olarak bir yüzey sertliği test cihazıdır (Tchamdjoua et al. 2018) ve Schmidt çekici değeri betonun yüzey sertliğine bağlı olmakla birlikte 30~50 mm kalınlığındaki dış beton katmanını

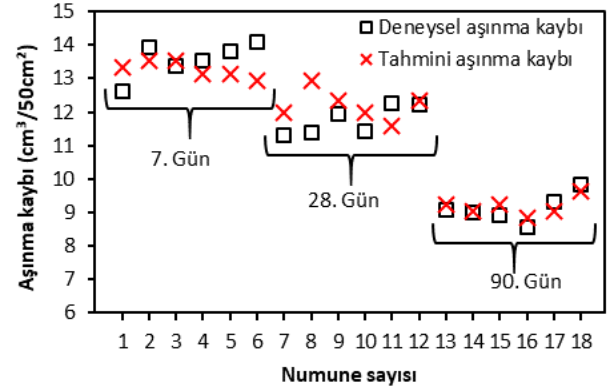
temsil etmektedir (Qasrawi 2000). Aşınma olayının ise malzemenin yüzeyinde meydana gelmesi durumu Schmidt çekici yönteminin aynı zamanda malzemenin aşınma özelliği ile ilgili fikir sahip olunabilmesi için kullanılabileceğini göstermektedir. Çeşitli numunelerden elde edilen Schmidt çekici ölçümleri ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki farklılık yaklaşık olarak %20'dir (Şimşek 2016). Ayrıca aşınma dayanımı ile basınç dayanımının yüksek ilişkisi birçok araştırmacı tarafından vurgulanmaktadır (Li et al. 2006, Siddique 2013, He et al. 2019).

Çalışmada üretilen tüm numunelerin aşınma kayıpları ile Schmidt çekiciden belirlenen basınç dayanımları arasındaki ilişkinin belirlenmesi için regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analiz neticesinde elde edilen determinasyon katsayısı ( $R^2$ ) 0.89 olarak belirlenmiştir. Aşınma kaybı ile Schmidt çekiciden bulunan basınç dayanımı arasında oldukça kuvvetli bir doğrusal ilişki bahsedilebilir. Bu ilişki Şekil 6'de verilmiştir.



Şekil 6. Aşınma kaybı ile yaklaşık basınç dayanımı ilişkisi

Yapılan analiz sonucu elde edilen aşınma kaybı formülü ile tahmini aşınma kaybı deneysel aşınma kayıpları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen deneysel aşınma kaybı ile tahmini aşınma kayıpları Şekil 7'de görülmektedir. Şekil 7 irdelendiğinde erken yaşlarda tahmini aşınma kaybı ile deneysel aşınma kaybı arasında farkların, betonun yaşı ile birlikte zamanla azaldığı anlaşılmıştır. Bu durum hidrasyon olayının devam etmesi dolayısıyla dayanım gelişiminin bir sonucudur. Beton dayanımının zamanla artış gösterdiği bilinmektedir. Özellikle kolemanit minerali beton numunelerinin dayanım gelişiminin ilerleyen zamanlarda düzene girmesi mineralin betonun sertleşmesine etkisi ile açıklanabilir.



Şekil 7. Deneysel aşınma kaybı ile tahmini aşınma kayıpları

Farklı oranlarda kolemanit ikamesinin beton üretiminde kullanımı ile elde edilen beton numunelerinin 90. gün deney sonuçları ve bu betonların maliyetlerinin referans numunesine göre değişimi Çizelge 4'de verilmiştir. Çizelge 4 incelendiğinde yaklaşık basınç dayanımı ve aşınma deney sonuçları birlikte değerlendirildiğinde K3 numunesi ile en yüksek fayda sağlandığı görülmektedir. Ancak K3 beton türü maliyetinin referans numunesinden %13.26 fazla olduğu belirlenmiştir. Betonun dayanım özelliklerinin iyileştirilmesi ve geliştirilmesi yol yapısının hizmet süresinin artmasında etkili olmaktadır. Kolemanit kullanımı ile artan aşınma dayanımı beton yolun kalitesine olumlu etkide bulunacaktır. Bu bağlamda maliyet artışının ve beton yolun hizmet süresindeki artışın birlikte değerlendirilmesinin uygun olacağı düşünülmektedir.

Çizelge 4. Beton numunelerinin 90. gün elde edilen deney sonuçları ve maliyetlerinin referans numuneye göre değişimleri

Deneyler – Maliyet (%)	K1	K2	K3	K4	K5
Yaklaşık basınç dayanımı	1.56	0.00	3.13	1.56	-3.13
Aşınma kaybı	-0.66	-1.54	-5.51	2.65	8.27
Maliyet	4.63	9.26	13.26	18.52	23.15

#### 4. Sonuç

Farklı oranlarda kolemanit ikamesinin beton yollarda kullanımının aşınma dayanımına etkisinin incelendiği bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Öğütülmüş kolemanit mineralinin tüm ikame oranları ile elde edilmiş beton numunelerinin 7. ve 28. günlerde aşınma kayıpları referans numuneden

yüksek sonuçlanmıştır. 90. günde ise sırasıyla K1, K2 ve K3 numunelerde aşınma kaybı K0 numunesinden düşük, K4 ve K5 numunelerde ise diğer yaşlarda olduğu gibi yüksek aşınma kaybı ile neticelenmiştir. Kolemanit ikameli beton karışımlarında yaşın artmasıyla birlikte aşınma kaybının azaldığı, ancak aşınma kaybına olumlu etkisinin kolemanit ikame oranının %4'ten sonra olmadığı görülmüştür.

Schmidt çekici yöntemiyle ölçülen değerler incelendiğinde 90. Günde %3 kolemanit ikamesi yaklaşık basınç dayanımını referans numuneye göre %3.13 arttırmıştır. %5 kolemanit ikameli beton türünde ise azalma meydana gelmiştir.

Aşınma kaybı ile Schmidt çekici yönteminden elde edilen yaklaşık basınç dayanımın arasında kuvvetli bir ilişki olmasına rağmen, bu ilişkinin erken yaşlarda yanıltıcı sonuçlar vereceği ve Schmidt çekici yönteminin özellikle betonun ileriki yaşlarında kullanılmasının daha doğru sonuçlar elde edilmesi için uygun olacağı kanısına varılmıştır.

Kolemanit minerali ile yapılacak sonraki çalışmalarda beton numunelerin basınç dayanımlarının belirlenmesinde yaklaşık bir sonuç veren Schmidt çekici yerine tek eksenli basınç dayanımı testinin tercih edilmesi ile daha gerçekçi veriler elde edilecektir. Ayrıca mineralin sertleşmiş beton üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için dayanım özellikleri ile birlikte dayanıklılık özelliklerinin de test edilmesi önem arz etmektedir.

## Teşekkür

Kolemanit mineralini tedarik eden Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğüne teşekkür ederiz.

## 5. Kaynaklar

Aksoğan, O., Binici, H. and Ortlek, E., 2016. Durability of concrete made by partial replacement of fine aggregate by colemanite and barite and cement by ashes of corn stalk, wheat straw and sunflower stalk ashes. *Construction and Building Materials*, **106**, 253-263.

ASTM C127-15., 2015. Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate.

ASTM C128-15., 2015. Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate.

ASTM C131 / C131M-14., 2014. Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.

AzariJafari, H., Yahia, A. and Amor, M.B., 2016. Life cycle assessment of pavements: Reviewing research challenges and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, **112**, 2187-2197.

Bekem Kara, İ., 2019. The effect of nano silica on the properties of cement mortars containing micro silica at elevated temperatures. *Revista Română de Materiale/Romanian Journal of Materials*, **49**, 518-526.

Bekem Kara, İ. and Arslan, M., 2018. Investigation of high temperature effects on concrete additive antifreeze. *Aksaray University Journal of Science and Engineering*, **2**, 1-12.

Bungey, J.H., Millard, S.G. and Grantham, M.G., 2006. Testing of Concrete in Structures. Taylor & Francis.

Demir, F., Budak, G., Sahin, R., Karabulut, A., Oltulu M. and Un, A., 2011. Determination of radiation attenuation coefficients of heavyweight- and normal-weight concretes containing colemanite and barite for 0.663 MeV  $\gamma$ -rays. *Annals of Nuclear Energy*, **38**, 1274-1278.

Erdoğan, Y., Zeybek, M.S. and Demirbaş, A., 1998. Cement mixes containing colemanite from concentrator wastes. *Cement and Concrete Research*, **28**, 605-609.

He, Z., Chena, X. and Cai, X., 2019. Influence and mechanism of micro/nano-mineral admixtures on the abrasion resistance of concrete. *Construction and Building Materials*, **197**, 91-98.

İyınam, Ş. ve Ağar, E., 2004. Kara yollarında hazır beton. Beton 2004 Kongresi, 66-72.

Korkut, T., Ün, A., Demir, F., Karabulut, A., Budak, G., Şahin, R. and Oltulu, M., 2010. Neutron dose transmission measurements for several new concrete

- samples including colemanite. *Annals of Nuclear Energy*, **37**, 996-998.
- Krishna Rao, S., Sravana, P. and Chandrasekhar Rao, T., 2016. Abrasion resistance and mechanical properties of Roller Compacted Concrete with GGBS. *Construction and Building Materials*, **114**, 925-933.
- Kula, I. Olgun, A., Erdogan, Y. and Sevinc, V., 2001. Effects of colemanite waste, coal bottom ash, and fly ash on the properties of cement, *Cement and Concrete Research*, **31**, 491-494.
- Kutuk, S. and Kutuk-Sert, T., 2017. Effect of PCA on nanosized ulexite material prepared by mechanical milling. *Arabian Journal for Science and Engineering*, **42**, 4801-4809.
- Kutuk, S., 2016. Influence of milling parameters on particle size of ulexite material. *Powder Technology*, **301**, 421-428.
- Kutuk, S., 2017. Öğütülmüş nano boyutlu kolemanit mineralinin elementel ve kristal yapı özellikleri. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c. **10**, 303-313.
- Kutuk-Sert, T., 2016. Stability analyses of submicron-boron mineral prepared by mechanical milling process in concrete roads. *Construction and Building Materials*, **121**, 255-264.
- Li, H., Zhang, M. and Ou, J., 2006. Abrasion resistance of concrete containing nano-particles for pavement. *Wear*, **260**, 1262-1266.
- Malek, J. and Kaouther, M., 2014. Destructive and non-destructive testing of concrete structures. *Jordan Journal of Civil Engineering*, **8**, 432-441.
- Olgun, A., Kavas, T., Erdogan, Y. and Once, G., 2007. Physico-chemical characteristics of chemically activated cement containing boron. *Building and Environment*, **42**, 2384-2395.
- Popek, M., Sadowski, Ł. And Szymanowski, L., 2016. Abrasion resistance of concrete containing selected mineral powders. *Procedia Engineering*, **153**, 617-622.
- Qasrawi, H.Y., 2000. Concrete strength by combined nondestructive methods simply and reliably predicted. *Cement and Concrete Research*, **30**, 739-746.
- Scott, B.D. and Safiuddin, M., 2015. Abrasion resistance of concrete – Design, construction and case study. *Concrete Research Letters*, **6,3**, 136-148.
- Siddique, R., 2013. Compressive strength, water absorption, sorptivity, abrasion resistance and permeability of self-compacting concrete containing coal bottom ash. *Construction and Building Materials*, **47**, 1444-1450.
- Singh, G. and Siddique, R., 2012. Abrasion resistance and strength properties of concrete containing waste foundry sand (WFS). *Construction and Building Materials*, **28**, 421-426.
- Szymańska, P., Pikosa, M. and Nowotarska, P., 2017. Concrete road surface with the use of cement concrete-selected results. *Procedia Engineering*, **2008**, 166-173.
- Şimşek, O., 2016. Beton ve Beton Teknolojisi. Beşinci Baskı, Seçkin Yayıncılık, 138-332.
- Targan, Ş., Erdoğan, Y., Olgun, A., Zeybek, B. ve Sevinç, V., 2002. Kula Cürufu, Bentonit ve Kolemanit Atıklarının Çimento Üretiminde Değerlendirilmesi. I. Uluslararası Bor Sempozyumu, 259-265.
- Tchamdjoua, W.H.J., Cherradia, T., Abidia, M.L. and Oliveira, L.A.P., 2018. Mechanical properties of lightweight aggregates concrete made with cameroonian volcanic scoria: Destructive and non-destructive characterization. *Journal of Building Engineering*, **16**, 134-145.
- TS 706 EN 12620+A1., 2009. Beton agregaları.
- TS 802., 2016. Beton karışım tasarımı hesap esasları.
- TS EN 12504-2., 2013 Yapılarda beton deneyleri - Bölüm 2: Tahribatsız muayene- Geri sıçrama sayısının belirlenmesi.
- TS EN 13892-2., 2015. Şap malzemeleri - Deney yöntemleri - Bölüm 3: Aşınma direncinin tayini - Böhme.
- TS EN 14157., 2015. Doğal taş - Aşınma direncinin tayini.
- TS EN 206:2013+A1., 2017. Beton- Özellik, performans, imalat ve uygunluk.
- Tugrul Tunc, E. and Alyamac, K.E., 219. A preliminary estimation method of Los Angeles abrasion value of



concrete aggregates. *Construction and Building Materials*, **222**, 437-446.

Yeğınobalı, A., 2010. Niçin Beton Yol. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birlięi/Arge Enstitüsü, Ankara, 1-28.

Yen, T., Hsu, T., Liu, Y. and Chen, S., 2007. Influence of class F fly ash on the abrasion–erosion resistance of high-strength concrete. *Construction and Building Materials*, **21**, 458-463.

#### **İnternet kaynakları**

1-[https://bmsit.ac.in/system/study\\_materials/documents/000/000/198/original/CEMENT\\_CONCRETE\\_PAVEMENTS.pdf](https://bmsit.ac.in/system/study_materials/documents/000/000/198/original/CEMENT_CONCRETE_PAVEMENTS.pdf), (10.02.2019)

2-<http://www.etimaden.gov.tr/storage/pages/March2019/5-1-ogutulmus-kolemanit.pdf>, (02.10.2019)