

İKİ FARKLI DOĞAL ZEOLİT KATKISININ ÇİMENTO HARÇ AŞINMA DAYANIMINA ETKİSİ

Yasemin AKGÜN^{1*}, Ömer Fatih YAZICIOĞLU²

¹Ordu Üniversitesi, TBMYO, İnşaat Bölümü, Ordu, TÜRKİYE

²Ordu Üniversitesi, Fen Bil. Enst., Yenilenebilir Enerji Anabilim Dalı, Ordu, TÜRKİYE

ÖZET

Bu deneysel çalışmada, klinoptilolit ve analsim türü iki farklı doğal zeolit katkısının çimento harç aşınma dayanımına olan etkisi incelenmiştir. Farklı çimento değiştirme oranlarıyla (%0, %10, %30 ve %50) üretilen yedi seri çimento harç numuneleri üzerinde Böhme yüzey aşınma, puzolanik aktivite ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney serilerinden elde edilen sonuçlar, kendi aralarında ve geleneksel numunelerle karşılaştırılmıştır. Deneysel bulgular, doğal zeolit katkılı çimento harçlarının aşınma kayıplarının geleneksel harçlara göre, klinoptilolit ve analsim için sırasıyla %15 ve %25 civarında azaldığını göstermektedir. Doğal zeolit kullanılan her iki katkılı çimento harcı (klinoptilolit ve analsim) için optimum değiştirme değeri ise %30 olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Doğal Zeolit, Klinoptilolit, Analsim, Aşınma, Çimento Harcı

THE EFFECT OF TWO DIFFERENT NATURAL ZEOLITE ADDITIONS ON THE ABRASION RESISTANCE OF CEMENT MORTAR

ABSTRACT

In this study, the effect of two different natural zeolite additions (clinoptilolite and analcime) on the abrasion strength of cement mortar was investigated. Böhme surface abrasion, compressive strength and pozzolanic activity tests were carried out to seven series cement mortar samples produced with different cement replacement ratio (0%, 10%, 50% and 30%). Results obtained from the test series were compared with among themselves and traditional mortar samples. The test results showed that, abrasion losses of cement mortar with natural zeolite addition for clinoptilolite and analcime were lower than traditional cement mortar as 15% and 25% respectively. The optimum replacement ratio for each mortar mixture used natural zeolite addition (clinoptilolite and analcime) was determined as 30%.

Key Words: Natural Zeolite, Clinoptilolite, Analcime, Abrasion, Cement Mortar

*yakgun@odu.edu.tr

1. GİRİŞ

İnşaat sektöründe önceleri boyutlandırılmış yapı taşı olarak kullanılan doğal zeolitler, bol miktarda silis ve alümin içermesi, çimento ile belli oranlarda değiştirme yapıldıklarında hidrasyon sonucu ortaya çıkan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile reaksiyona girerek ilave bağlayıcı bileşenler oluşturarak dayanım ve dayanıklılık artırması sayesinde son yıllarda çimento ve beton üretimlerinde katkı malzemesi olarak kullanımı daha yaygın hale gelmeye başlamıştır (Özen, 2016). Çimento ile değiştirme yapılarak doğal zeolit katkısı kullanılan uygulamalarda, portland çimentosu tüketiminin azalması sonucu çevresel zararların azalması (CO_2 emisyonları) ve doğal malzeme kullanımı sayesinde de ekonomik avantajlar sağlanmaktadır.

Doğal zeolitlerin dünya ölçeğinde yüz milyarlarca ton olarak ifade edilecek rezervi bulunmaktadır (Esenli, 1997). Ülkemizde, özellikle Batı Anadolu ve Trakya'da 1970'li yıllardan itibaren yapılan çalışmalar ile geniş yayımlı çeşitli zeolit oluşumları ortaya konmuştur. Ülkemizin kesin zeolit rezerv tespit çalışması bulunmamaktadır. Bunun başlıca nedeni henüz bilinen zeolit oluşumlarının birçoğunda volkanikler içerisindeki zeolitli zonların sınırlarının belirlenmemiş olmasıdır. Ancak, bazı bölgeler için (Gördes, Bigadiç, Emet, Kırka, Karamürsel) gerek zeolitli zonlar gerekse kayalar içerisindeki zeolit oranları ile ilgili yapılan ayrıntılı çalışmalar oldukça yüksek (yalnızca Balıkesir Bigadiç yöresinde 50 milyar ton) zeolitli tuf rezervini ortaya koymuştur (Esenli, 1998), (Bilim, 2008;2009;2011). Bu büyüklükteki zeolit rezervlerinin inşaat endüstrisinde kullanılarak ekonomiye kazandırılabilmesi mevcut zeolitlerin teknik verilerle tanımlı hale getirilmesine bağlıdır.

Aşınma, yavaş tempoda olan fiziksel ve mekanik bir olaydır. Birbirine temas eden ve birbirine göre izafi hareket yapan cisimlerin yüzeylerindeki aşındırıcı maddelerin sürtünmesiyle oluşan boyutça ve kütlece azalma aşınma kaybı olarak tanımlanır. Genel olarak aşınmanın miktarı; malzemenin türü, aşınma yüzeyinin durumu, sürtünme koşulları (devir sayısı, kuvvetin şiddeti v.b.) ve çevrenin kimyasal etkilerine bağlıdır. Beton bileşenlerinin tümü üzerinde gerçekleştirilen optimizasyonlar sonucunda aşınma dayanımının istenilen düzeye çıkartılabileceği bilinmektedir. Buradan, bir beton bileşeni olan çimentonun tek başına aşınma dayanımı özelliklerinin iyileştirilmesi son ürün olan betonun aşınma dayanımına katkı sağlayacağı anlaşılmaktadır. Dolayısıyla, aşınma dayanımı beklentisi olan yapılarda (*araç ve yaya trafiği, iş makineleri, ağır cisimlerin sürüklenmesinden doğan kuru sürtünme etkisi görülen kaldırım, beton yollar, fabrika taban yüzeyleri ile içinde askı halinde yüzer maddelerin bulunduğu sıvıların beton yüzeyini çizerek aşındırıcı etkilerine maruz su yapıları, külün sürtünmesi ile oluşan aşınma etkisinin görüldüğü duman bacaları v.b.*) çimento harçlarının aşınma

dayanımının artırılması ile aşınmanın meydana getireceği hasarların minimize edilmesi hususuna dikkat edilmektedir.

Başlıca zeolit minerali klinoptilolit' dir. Analsim, zeolitın diğer önemli minerali olarak anılmaktadır. Doğal zeolit türü klinoptilolit katkısıyla çimento üretimleri üzerine çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Ancak, diğer zeolit türü olan analsim ile yapılan çalışma sayısı hem oldukça kısıtlıdır hem de analsim katkısı içeren harç ya da beton numuneler üzerinde aşınma dayanımlarının incelenmesine yönelik çalışmalar mevcut değildir. Dolayısıyla, literatürdeki bu eksikliğin giderilmesine yönelik olarak, bölgemizdeki mevcut rezervlerden elde edilen analsim türü zeolit ile üretilmiş katkılı çimento harçlarının aşınma dayanımı üzerine etkisinin incelendiği bu deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Farklı çimento yer değiştirme oranlarıyla (%0, %10, %30 ve %50) üretilen yedi seri çimento harç numuneleri üzerinde aşınma dayanımı deneylerinin yanı sıra puzolanik aktivite ve basınç dayanımı deneyleri de gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırma numuneleri olarak klinoptilolit katkılı ve geleneksel çimentolu harç numuneler kullanılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan deneysel çalışmada, TS EN 197-1, (2002) ile uyumlu CEM I 42.5 R Portland çimentosu ile mineral katkı malzemesi olarak Manisa/Gördes bölgesinden temin edilen klinoptilolit türü doğal zeolit ve Ordu/Perşembe bölgesinden temin edilen analsim türü doğal zeolit öğütülmüş olarak kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan çimentonun ve doğal zeolitlerin kimyasal kompozisyonu ve fiziksel özellikleri Çizelge 1' de verilmiştir. Klinoptilolit numunesinin elde edildiği Gördes Zeolite Mad. San. Ve Tic. A.Ş. tarafından gönderilen rapor bilgileri, analsim numunesinin MTA Genel Müdürlüğü laboratuvarlarında yaptırılan X-Işınları difraksiyon (XRD) analiz sonuçları sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmektedir.

Harç karışımlarının hazırlanmasında ince agrega olarak, TS EN 196-1, (2009) ile uyumlu CEN standart kumu, karışım suyu olarak da içme suyu kullanılmıştır. Çalışmada, öğütülmüş doğal zeolitler, çimento ile ağırlıkça %0 (kontrol), %10(düşük), %30 (orta) ve %50 (yüksek) oranlarında değiştirilerek kullanılmıştır. Çimento harçlarının etiket isimleri ve açıklamaları Çizelge 2' de verilmektedir.

Harç karışımlarının su/bağlayıcı oranı 0.5 ve kum/bağlayıcı oranı 3.0 olarak seçilmiştir. Su ve kum miktarlarının sabit tutulduğu harç karışımlarında, doğal zeolitlerin harç kıvamında meydana getireceği olumsuz etkiyi telafi etmek için zeolit içeren harçlara TS EN 934-2, (2013) standardına uygun melamin esaslı modifiye polimer süper akışkanlaştırıcı katkı malzemesi karışım suyuna ilave edilerek kullanılmıştır. Bunun için

toplam 450 gr bağlayıcı malzeme (PÇ+öğütülmüş doğal zeolit), 1375 gr standart kum ve 225 ml su kullanılarak harç karışımları hazırlanmıştır.

TS EN 196-1, (2009)' e uygun olarak hazırlanan numune boyutları 70.7x70.7x70.7 mm' dir. 24 saat sonunda kalıplarından çıkartılan numuneler, 28 gün boyunca 21±1°C sıcaklıktaki kür tankında bekletilmiştir. Harç karışımlarının 28 gün sonundaki sürtünme yolu ile aşınma kayıpları, TS 2824 EN 1338, (2005)' e uygun olarak, Böhme yüzey aşınması deneyleri ile belirlenmiş ve her bir karışım için 3 adet 70.7 mm küp numune kullanılmıştır. Deneyde başlangıç hacimleri ve ağırlıkları belirlenerek Böhme cihazının döner diski üzerine yerleştirilen numunelere 294 N'luk aşındırma kuvveti uygulanmıştır. Cihazın çalıştırılmasıyla birlikte sürtünme yolu üzerine dökülen 20 g korundum tozunun aşındırıcı etkisine maruz bırakılan numuneler, her biri 22 devirden meydana gelen toplam 16 periyotluk aşınma testine tabi tutulmuştur. Deney sonunda (352 devir sonunda) numunelerdeki hacimsel aşınma kayıpları (ΔV) belirlenmiştir. Hesaplamalarda, $\Delta V(\text{cm}^3/50\text{cm}^2)$; hacimsel aşınma kaybını, $\Delta m(\text{gr})$; 16 periyot sonundaki ağırlık kaybı farkını, $\rho(\text{g/cm}^3)$; birim hacim ağırlığını göstermek üzere (1) no' lu bağıntı kullanılmıştır.

$$\Delta V = \Delta m / \rho \quad (1)$$
Klinoptilolit ve analsimin puzolanik aktivite deneyleri TS 25, (2008)'e uygun olarak yapılmıştır.

Doğal zeolitlerin belli yaşlardaki etkisini görmek için hazırlanan çimento harç numunelerinin 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarına ilişkin deneyler de TS 196-1, (2009)' a uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

3.BULGULAR VE TARTIŞMA

Hazırlanan karışımlardan üretilen harç numunelerinin Böhme deneyi ile elde edilen sürtünme yolu ile 352 devir sonundaki hacimsel aşınma kayıpları $\Delta V (\text{cm}^3/50\text{cm}^2)$, harçların 2, 7, 28 günlük basınç dayanımları (MPa), birim hacim ağırlıkları (gr/cm^3) ve kireç-zeolit karışımı için 7 günlük basınç dayanımları (MPa) cinsinden puzolanik aktivite değerleri Çizelge 3' de, çimento etiket isimlerine göre hacimsel aşınma kaybı değişim grafiği Şekil 3'de ve çimento harçları aşınma kaybı ve basınç dayanımları ilişkisi ise Şekil 4' de verilmektedir.

Çizelge 3' deki büyüklükler incelendiğinde, her iki zeolit türünün de Blaine değerleri (bkz. Çizelge 1) geleneksel çimentoya göre daha yüksek olmasına rağmen katkılı çimentoların Blaine değerleri, karışım oranlarının artmasıyla, düşmektedir. Bu düşüş klinoptilolitde daha büyük, analsimde ise daha küçük olmuştur. Dolayısıyla analsimli

karışımların aşınma kaybı, klinoptilolitli karışımli olanlara göre yaklaşık %11, geleneksel harçlara göre de %25 civarında daha az olmuştur. Diğer bir deyişle, artan zeolit içeriği ile birlikte, karışımlarda aşınmaya karşı bir direncin meydana geldiğini ve zeolit katkılı harç karışımlarına ait aşınma kayıplarının, bütün yer değişim oranları için, geleneksel harçlara kıyasla daha az olduğu tespit edilmiştir. Aşınma dayanımının gelişmesinde doğal zeolit in sağladığı bu olumlu etkinin, puzolanik reaksiyonların hamur yapısı ve agrega-hamur ara yüzeyinde meydana getirdiği iyileşmenin muhtemel sonucu olduğu düşünülmektedir. Analsim katkılı harçların basınç dayanımları klinoptilolit katkılı olanlara göre özgül yüzey alanlarına bağlı olarak bir miktar artmasına rağmen geleneksel çimento olanlara göre karışım oranları arttıkça geleneksel çimento miktarının azalmasına bağlı olarak düşmüştür.

Her iki doğal zeolit katkı türünün birim hacim ağırlıklarının düşüklüğü nedeniyle, katkılı çimento harçlarının birim hacim ağırlıklarını da katkı miktarlarındaki artışla azalmaktadır.

Klinoptilolit ve analsim katkılı çimento harçların erken yaş dayanımlarında belirgin farklar gözükürken, 28 günlük dayanımlarda bu fark azalmıştır. Tablo 3’de, analsim türü zeolit in dayanım kazanma hızının klinoptilolit türü zeolite oranla yüksek olduğu görülebilmektedir.

Deney numunelerinin puzolanik aktiviteleri TS 25, (2008)’e uygun olarak belirlenmiştir. TS 25’de puzolanların uygunluk kriterleri tanımlanırken doğal puzolanın puzolanik aktivite deneyi yapıldığında, kireç-doğal puzolan karışımı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük basınç dayanımı göz önüne alınmaktadır. Bu değer için en az 4 MPa sınır değeri verilmiştir. Klinoptilolit için yapılan deneysel çalışmada kireç-zeolit karışımı numune için basınç dayanımı değeri 9.02 MPa olarak bulunmuştur. Analsim için ise bu değer 6.30 MPa olarak tespit edilmiştir.

Ayrıca, yine TS 25’de $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ toplamının kütlece en az %70 olması gerektiği vurgulanmıştır. Bu toplamın değeri klinoptilolit için %77.30, analsim için ise %73.16 olarak tespit edilmiştir (bkz. Çizelge 1). Elde edilen bu değerler her iki doğal zeolit in de puzolanik aktivite sınır değerlerinin üzerinde kaldığını ve bu çalışmada kullanılan her iki doğal zeolit türünün de puzolan olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

4. SONUÇLAR

Çimento harç numuneler üzerinde gerçekleştirilen aşınma, basınç dayanımı ve puzolanik aktivite deneylerinden elde edilen bazı önemli sonuçlar aşağıdaki gibidir.

- 1) Çalışmada kullanılan her iki doğal zeolit türünün silis-alümin içerikleri ve puzolanik aktivite değerleri, düşük özgül ağırlıkları, yüksek özgül yüzeyleri, kolay öğütülebilir oluşları ve yeterli basınç dayanımları sayesinde katkılı çimento üretiminde kullanılabilmesi belirlenmiştir.
- 2) Literatürde var olan aşınma dayanımının artırılması amaçlı kullanılan minerel katkıları gibi optimum %30 değiştirme oranıyla klinoptilolit ve analsim türü doğal zeolitlerin aynı amaçla kullanılabilmesi de tespit edilmiştir.
- 3) Çalışmaya konu olan doğal zeolitler, 28 günlük harç numunelerinin sürtünme yolu ile aşınma dayanımlarını arttırmıştır. Blaine değerlerine bağlı olarak, klinoptilolitli karışımların aşınma kaybı geleneksel harçlarınkine göre %15, anasimli karışımların aşınma kaybı geleneksel harçlarınkine göre %25 azalmıştır. Aynı şekilde, analsimli karışımların aşınma kaybı klinoptilolitli karışım olanlara göre de yaklaşık %11 daha az olmuştur.
- 4) Analsim katkıli harçların basınç dayanımları, klinoptilolit katkıli olanlara göre özgül yüzey alanlarına bağlı olarak artmıştır. Ancak, geleneksel harçlara göre karışım oranları arttıkça basınç dayanımları (geleneksel çimento miktarının azalmasıyla) düşmüştür.
- 5)Katkılı çimento harçlarının birim hacim ağırlıkları her iki doğal zeolit katkı kullanımında da katkı miktarı artış oranınca azalmaktadır.
- 6) Kullanılacak çimento miktarını azaltmak ve çimentonun performanslarının iyileştirilmesini sağlamak amacıyla klinoptilolit türü doğal zeolitlere değiştirme malzemesi olarak alternatif olabilecek, farklı bölgelerden elde edilecek analsim türü zeolitler üzerinde yapılacak olan çalışmaların yoğunlaştırılmasının isabetli olacağı düşünülmektedir.

İki Farklı Doğal Zeolit Katkısının, Çimento Harç Aşınma Direncine Etkisi

Çizelge 1: Çimento ve doğal zeolitlerin kimyasal ve fiziksel özellikleri

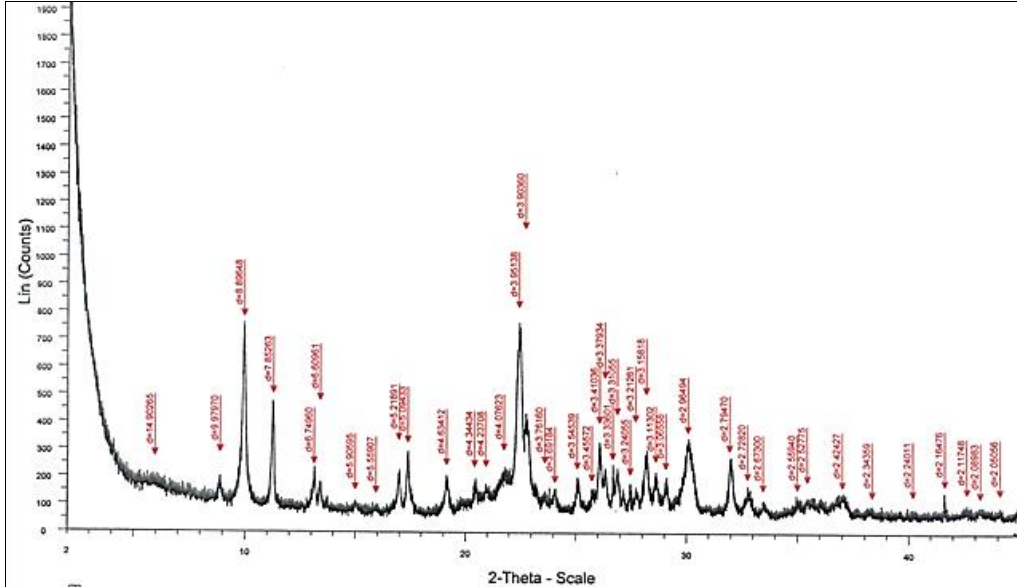
Kimyasal Kompozisyon	Çimento (%) ağırlıkça	Klinoptilolit (%) ağırlıkça	Analsim (%) ağırlıkça	Çimentonun Fiziksel Özellikleri	
SiO ₂	19.53	64.70	46.71	Özgül ağırlık, (g/cm ³)	3.12
Al ₂ O ₃	5.33	11.21	17.24	Priz başlangıcı, dk.	176
Fe ₂ O ₃	3.56	1.38	9.21	Priz sonu, dk.	238
CaO	62.26	2.08	3.03	Hacim genişmesi, mm	2
MgO	0.99	0.79	5.29	Blaine özgül yüzey (cm ² /g)	3210
Na ₂ O	-	0.38	4.84	2 gün. basınç dayanımı, MPa	32.3
K ₂ O	-	3.78	4.08	7 gün. basınç dayanımı, MPa	44.6
SO ₃	3.02	-	-	28 gün. basınç dayanımı, MPa	53
Kızdırma kaybı	3.06	11.80	7	Doğal Zeolitlerin Fiziksel Özellikleri	
Toplam SiO ₂	20.22	-	45.18	Klinoptilolit	Analsim
				Özgül Ağırlık (g/cm ³)	2.11
				Blaine özgül yüzey (cm ² /g)	4079
					2.28
					4780

Çizelge 2: Çimento harçlarının etiket isimleri ve açıklamaları

Çimento	Açıklama
G	CEM I 42.5 R tipi Portland çimentosu (geleneksel)
K10	Ağırlıkça % 10 oranında Klinoptilolit ikameli çimento
K30	Ağırlıkça % 30 oranında Klinoptilolit ikameli çimento
K50	Ağırlıkça % 50 oranında Klinoptilolit ikameli çimento
A10	Ağırlıkça % 10 oranında Analsim ikameli çimento
A30	Ağırlıkça % 30 oranında Analsim ikameli çimento
A50	Ağırlıkça % 50 oranında Analsim ikameli çimento

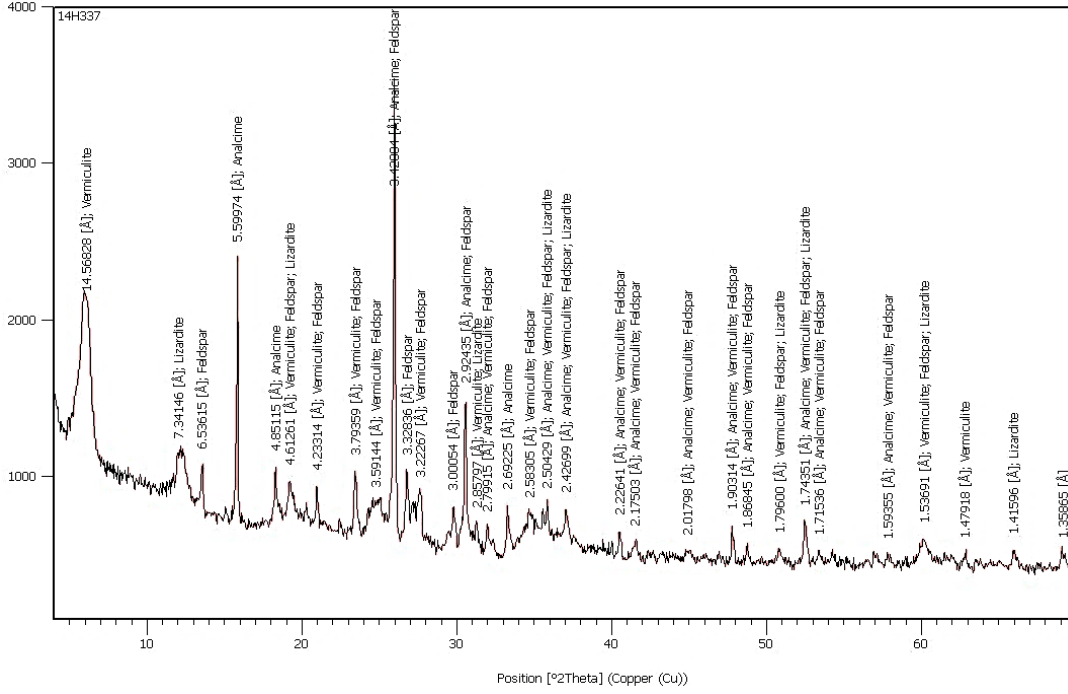
Çizelge 3: Harçların hacimsel aşınma kayıpları, basınç dayanımları ve puzolanik aktivite değerleri

Çimento Etiket İsimleri	Birim Hacim Ağırlıklar (gr/cm ³)	Hacimsel Aşınma Kayıpları ΔV (cm ³ /50cm ²)	Basınç Dayanımları (MPa)		
			2 günlük	7 günlük	28 günlük
G	2.42	11.84	36.83	45.35	54.96
K10	2.14	9.41	29.79	42.00	50.79
K30	2.11	10.27	21.11	27.56	41.08
K50	1.91	11.62	11.80	14.35	24.97
A10	2.16	8.97	41.84	45.64	52.72
A30	2.11	9.17	28.84	35.49	41.96
A50	2.10	10.23	12.63	20.04	25.52
Puzolanik Aktivite Değerleri, (Kireç-Zeolit Karışımı İçin 7 Günlük Basınç Dayanımları) (MPa)					
Klinoptilolit					9.02
Analsim					6.30

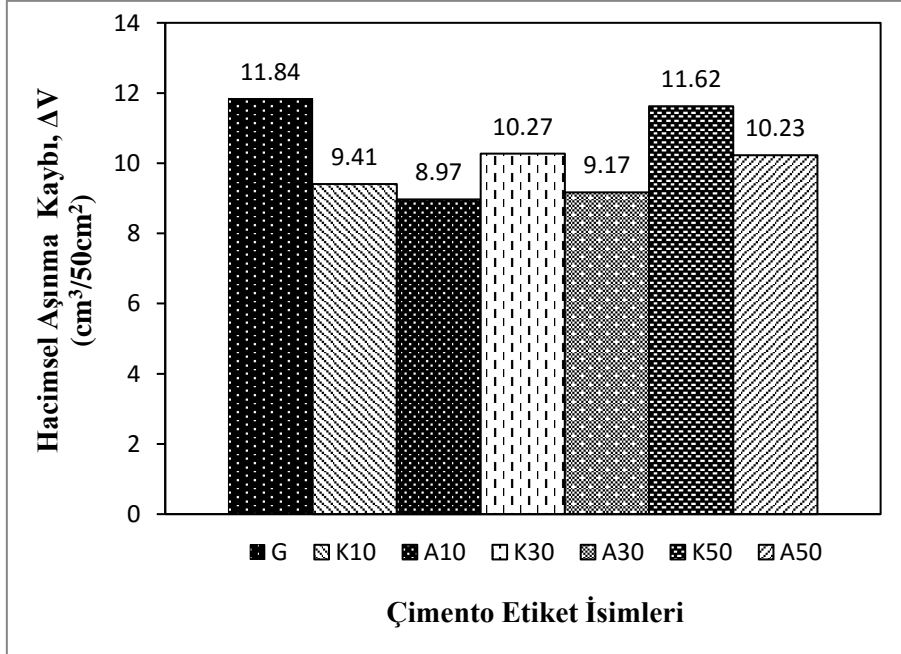


Şekil 1: Klinoptilolit örneğinin XRD kırınım desenleri

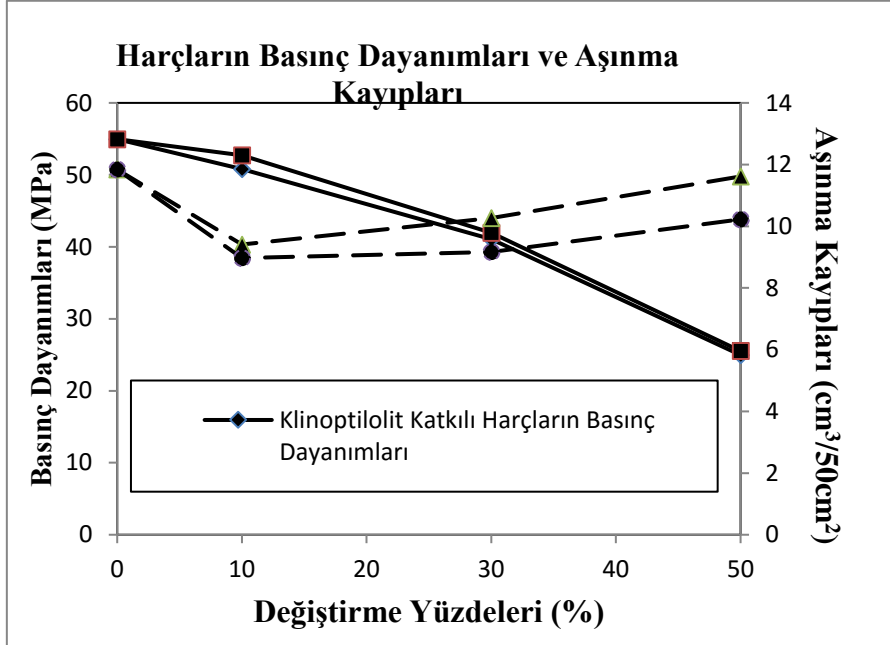
İki Farklı Doğal Zeolit Katkısının, Çimento Harç Aşınma Direncine Etkisi



Şekil 2: Analsim örneğinin XRD kırınım desenleri



Şekil 3: Çimento etiket isimlerine göre hacimsel aşınma kaybı değişimleri



Şekil 4: Çimento harçları aşınma kaybı ve basınç dayanımları ilişkisi

TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya destek sağlayan Ordu Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje birimine desteklerinden dolayı teşekkür ederiz. (BAP Proje No: TF-1521)

5. KAYNAKLAR

Özen, S., Göncüoğlu, M. C., Liguori, B., Gennaro, B., Cappelletti, P., Gatt, G. D., Iucolano, F., Colella, C., (2016), "A comprehensive evaluation of sedimentary zeolites from Turkey as pozzolanic addition of cement- and lime- based binders", Construction and Building Materials, Vol: 105, 46-61

Esenli, F., Uz, B., Eren, R.H., Çoban, F., Manav, H., Yavuz, O., Kumbasar, I., (1997), "Alteration products of pyroclastic rocks in Thrace, Turkey. Mineral Deposits", (Ed. H Papuen), Proc. Of the 4. Biennial SGA Meeting, Turku A.A. Balkema, 713-716.

Esenli, F., Uz, B., Kumbasar, I., (1998), "Şile Bölgesi (İstanbul) üst kretase volkaniklerinde Mordenit türü zeolit oluşumu", Türkiye Jeoloji Bülteni, 40/1, 49-56

Kılıç, A., Atiş, C.D., Teymen, A., Karahan, O., Özcan, F., Bilimi C., Özdemir, M., (2008), "The influence of aggregate type on the strength and abrasion resistance of high strength concrete", Cement & Concrete Composites, Vol: 30, 290-296

İki Farklı Doğal Zeolit Katkısının, Çimento Harç Aşınma Direncine Etkisi

Atış, C.D., Karahan, O., Arı, K., Çelik, Ö., and Bilim, C., (2009), “Relation between strength properties (flexural and compressive) and abrasion resistance of fiber (steel and polypropylene) reinforced fly ash concrete,” J. Mater. Civil Eng, vol. 21, pp. 402–408

Bilim, C., (2011), “Zeolit Katkısının Harçların Aşınma Direncine Etkisi”, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), Elazığ, Turkey

TS EN 197–1, (2002), Çimento - Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü

TS EN 196–1, (2009) Çimento Deney Metotları - Bölüm 1: Dayanım Tayini. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü

TS EN 934-2, (2013), Kimyasal Katkılar - Beton, Harç ve Şerbet için - Bölüm 2: Beton Kimyasal Katkıları - Tarifler, Gereklere, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme, Ankara: Türk Standartları Enstitüsü

TS 2824 EN 1338, (2005), Zemin Döşemesi için Beton Kaplama Blokları-Gerekli Şartlar ve Deney Metotları. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü

TS 25, (2008), Doğal Puzolan (Tras)-Çimento ve Betonda Kullanılan-Tarifler, Gereklere ve Uygunluk Kriterleri. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü