



Burdur bölgesi pomzası ve Balıkesir - Bigadiç bölgesi zeolitinin ince agrega olarak yapı malzemelerinde kullanımı

Utilization of pumice of Burdur region and zeolite of Bigadiç - Balıkesir region as fine aggregate in construction materials

Özge BEYCAN TATANOĞLU^a ve Niyazi Uğur KOÇKAL^{b*}

^aMeslek Yüksek Okulu, İnşaat Teknolojisi Programı, Antalya Akev Üniversitesi, Türkiye

^bİnşaat Mühendisliği Bölümü, Akdeniz Üniversitesi, Türkiye

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler:

Zeolit, Pomza, Mineraloji, Kimyasal bileşim, Yığın yoğunluk, Isıl iletkenlik.

ÖZ

Volkanik kökenli pomza ve zeolit agregaları, gözenekli yapıları nedeniyle düşük yoğunluğa sahiptir. Gözeneklilik genellikle yalıtım özellikleriyle bağlantılıdır. Hafif agregaların, ölü yapı yükü ve standart inşaat malzemelerinin yalıtım özellikleri üzerindeki etkilerini incelemek için, hacimce farklı oranlarda pomza ve zeolit kullanılarak numuneler üretilmiştir. Kontrol numunelerinin üretiminde ise kırma kum agregası kullanılmıştır. Farklı kür rejimlerinin numune davranışları üzerindeki etkisini gözlemlemek için numuneler, normal (standart) kür, sıcak su kürü ve buhar kürü olmak üzere üç farklı kürleme ortamında tutulmuşlardır. Numuneler üzerinde yığın yoğunluk ve termal iletkenlik testleri gerçekleştirilmiştir. Hafif harç numunelerinin hem yığın yoğunluk hem de termal iletkenlik değerlerinin, kontrol numunelerinden daha küçük olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, agrega ve çimento kimyasal bileşimleri, analizleri de yapılmıştır. Pomza ve zeolit silis içeriği kütlece sırasıyla %54,09 ve %75,14 olarak belirlenmiştir.

Geliş Tarihi: 23.10.2018

Kabul Tarihi: 19.06.2019

Keywords:

Zeolite, Pumice, mineralogy, Chemical composition, Bulk density, Thermal conductivity.

ABSTRACT

Volcanic originated pumice and zeolite aggregates have low density owing to their considerable porous structure. Porosity is usually correlated with insulation properties. In order to examine the effects of this lightweight aggregates on dead load of structure and insulation properties of standard construction materials, samples were produced by using pumice and zeolite at varying percentages by volume and control samples were manufactured with crushed sand. The samples were exposed to normal (standard) curing, hot water curing and steam curing to observe the effect of different curing regimes on their behavior. Bulk density and thermal conductivity tests were carried out on samples. Both bulk density and thermal conductivity values of the lightweight mortar samples were smaller than those of control sample. Besides, chemical compositions of aggregates and cement, analyses were also performed. Silica content of pumice and zeolite were %54,09 and %75,14 by mass respectively.

Atf bilgisi: Beycan Tatanoğlu, Ö., Koçkal, N. U. 2020. Utilization of pumice of Burdur region and zeolite of Bigadiç - Balıkesir region as fine aggregate in construction materials. Bulletin of the Mineral Research and Exploration. 161, 197-206.

<https://doi.org/10.19111/bulletinofmre.593558>

* Başvurulacak yazar: Niyazi Uğur KOÇKAL, ukockal@yahoo.com

1. Giriş

Çimento, agrega ve su, çimento bağlayıcı malzeme (CBM) olarak genelleyebileceğimiz, beton ve harcın ana bileşenleridir. CBM içerisinde agregalar hacimce %60-70 oranında olmak üzere, en büyük paya sahiptir ve agregaların yoğunluk, gözeneklilik, dayanım, dayanıklılık, kimyasal yapı gibi özelliklerinden herhangi biri CBM özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Kırma taş ve kum, faydalı özelliklerinin yanı sıra kaynaklarının fazlalığından dolayı geleneksel CBM’de yaygın olarak kullanılan agregalardır. Ancak, yoğunluk değerleri 2,60-2,70g/cm³ arasındadır ve yapı mühendisliğindeki gelişmeler ile birlikte yüksek binalar inşa edilmeye başlanmış ve ölü yük geçmişte olduğundan daha büyük bir sorun haline gelmiştir. Buna ek olarak, insan nüfusunun çoğunluğunun metropollerde yaşamaya başlamasıyla dikey mimari tasarıma sahip konutlar çoğalmıştır. Bu durum, özel alanın korunması ihtiyacını ve ses yalıtımı gerekliliğini ön plana çıkarmıştır. Çevresel açıdan bakıldığında ise, binaları ısıtmak ve soğutmak için çok fazla enerji tüketilmekte, böylece karbondioksit emisyonu artmaktadır (Koçkal, 2016). Yakın zamanlarda, ısı ve ses yalıtımı için düşük yoğunluklu ve işlevsel yapı malzemeleri üzerine araştırmalar yürütülmüştür (Patnai vd., 2015, Degrave-Lemeurs vd., 2018).

CBM’nin özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılan malzemeler oldukça çeşitlilik göstermektedir. Zhang ve Poon (2015), CBM’nin yığın yoğunluğunu düşürmek için geliştirilmiş kil agregası, ısı iletkenlik özelliklerini iyileştirmek için ise fırın taban külü kullanmışlardır. Ulaştıkları sonuçlar şu şekildedir: Fırın taban külü içeren geliştirilmiş kil agregası CBM içerisinde yapısal olarak kullanılabilir ve fırın taban külü oranının artmasıyla termal iletkenlik değerleri düşüş göstermiştir. CBM’nin termal özelliklerini geliştirmek amacıyla, bazı araştırmacılar pet şişe ve kauçuk parçacıkları gibi atık malzemeler kullanmışlardır (Yesilata vd., 2009). Başka bir çalışmada ise, güneş ısı radyasyonunun etkilerini önlemek için Hindistan cevizi liflerinin kullanılmasının etkileri araştırılmıştır (Mintorogoa vd., 2015).

Bununla birlikte, hafif agregalar, yalıtım özelliklerinin yanı sıra çoğunlukla yapısal özelliklere sahiptir. Ayrıca, bol miktarda doğal veya suni hafif agrega örneğin; pomza (Widodo vd., 2017), zeolit (Najimi vd., 2012), perlit (Şengül vd., 2011),

vermikülit (Schackow vd., 2014), sinterlenmiş uçucu kül (Koçkal ve Özturan, 2010; Koçkal ve Özturan 2011a, b; Koçkal, 2015), geliştirilmiş kil (Fantilli vd., 2016) vb. CBM özelliklerini geliştirmek için kullanılmıştır.

Bu araştırmanın amacı, volkanik kökenli pomza ve zeolit CBM altında sınıflandırılan harçların yığın yoğunluğunu ve termal özelliklerini iyileştirmek için agrega olarak kullanılabilirliğini incelemektir. Ayrıca, farklı kür rejimlerinin bu özellikleri nasıl etkilediği de tartışılmaktadır.

2. Malzemeler ve Metot

2.1. Malzemeler

Harç karışımlarında bağlayıcı olarak herhangi bir katkı maddesi içermeyen CEM-I 42.5 R Portland çimentosu kullanılmıştır ve özgül ağırlığı 3,03g/cm³ olarak tayin edilmiştir. R notasyonu, çimentonun hızlı priz alan türden olduğunu göstermektedir. Bu özellik çimentonun çok ince öğütülmesi ve çimento içerisindeki dört ana bileşenden biri olan C₃S oranının yüksek olması sayesinde kazanılmaktadır.

Pomza agregası Burdur-Ağlasun bölgesinden, zeolit agregası ise Balıkesir-Bigadiç bölgesinden elde edilmiştir. Agregaların konum haritası şekil 1’de verilmiştir. Agregaların fiziksel özellikleri ASTM C 128, ASTM C 29 ve ASTM C 97’ye göre test edilmiştir. Daha önce yapılan bir çalışmada özgül ağırlık, su emme, porozite, incelik modülü, gevşek ve sıkışık birim ağırlık deneylerinin sonuçları verilmiştir (Beycan ve Koçkal, 2017). Agregaların elek analizi TS EN 933-1 ve ASTM C-136’ya göre yapılmıştır ve sonuçlar çizelge 1’de gösterilmektedir.

Tüm agregaların 4 mm’den küçük olduğu açıkça görülmektedir. Pomza ve zeolit agregalarının ise yaklaşık olarak %80’i 1 mm’nin altında kalmıştır. Bu sebeple pomza ve zeolit ultra ince agrega olarak kabul edilebilir. Kırma kum ise, sadece %37’sinin 1 mm altında kalmasıyla en kaba agregadır. Seraj vd. (2017), pomza agregalarının farklı tanecik boyutlarında kullanıldığı bir araştırma gerçekleştirmiş ve tanecik boyutunun küçülmesinin, çimento hidrasyon hızı, puzolanik reaksiyon ve basınç dayanımı kazanım oranlarını artırırken, aynı zamanda karışım viskozitesini artırdığını belirtmişlerdir. X-ışını floresans (XRF) analizi İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Malzeme Araştırma Merkezi’nde



Şekil 1- Agregat kaynaklarının haritada gösterimi (Bigadiç ve Ağlasun).

Çizelge 1- Agregatların elek analizi sonuçları.

Kümülatif Geçen (%)	Göz açıklığı (mm)	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
	Pomza		100	91	76	63	44	26
Zeolit		100	100	77	53	27	8	1
Kırma Kum		100	62	37	25	15	9	4

Çizelge 2- Bileşenlerin kimyasal kompozisyonu (Ağırlıkça%).

Bileşenler	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	K.K. ^a	A.O.T ^b
Çimento	0,1	1,77	4,28	19,28	2,95	0,58	61,36	2,65	4,01	80,64
Pomza	8,23	1,89	21,68	54,09	0,18	6,10	4,03	2,48	3,55	75,77
Zeolit	<0,11	1,22	14,71	75,14	0,01	2,80	4,21	1,28	10,94	89,85
Kırma Kum	0,08	1,02	0,64	3,94	-	-	54,01	0,11	40,81	54,01

^a Kızdırma kaybı

^b Ana oksitlerin toplamı

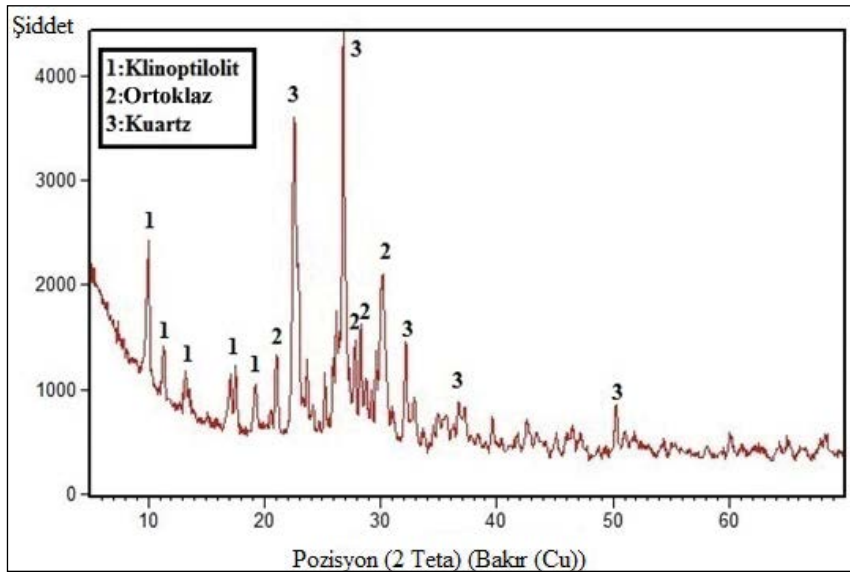
yapılmıştır. Her bir bileşen için, ortalama bir 1,5 g toz numunesi hazırlanmıştır ve SPECTRO-IQ II cihazı kullanılmıştır. X-ışını floresans (XRF) analizi ince agregaların ve çimentonun kimyasal kompozisyonu belirlemek amacıyla yapılmıştır ve sonuçlar çizelge 2'de kızdırma kaybı değerleriyle birlikte verilmektedir. Kızdırma kaybı, karbondioksit ve su gibi uçucu maddelerin kütle kaybını ölçerken aynı zamanda yüksek sıcaklığa maruz kalan malzemelerdeki değişim seviyesini de ölçer. Pomza agregasının ana oksitleri ağırlıkça sırasıyla %54,09, 21,68 oranında SiO₂ ve Al₂O₃'tür. Zeolit agregasında ölçülen ana oksitler, pomza agregasınınki ile aynıdır. Ancak, yüzdeler farklıdır ve sırasıyla %75,14 ve 14,71 şeklindedir. Her iki ince agrega da, yüksek SiO₂ içeriğine sahiptir. SiO₂ içeriği yüksek minerallerin, çimento kadar ince öğütülmeleri durumunda çimento ile yer değiştirme malzemesi olarak kullanılabilirliklerine dair birçok çalışma vardır. (Chen vd., 2017). Kırma kum agregasında gözlemlenen ana oksit ise %54,01 değerinde CaO'dur. Örneklerin kızdırma kaybı değerlerine bakıldığında ise kırma kum ve zeolitin en yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Zeolit ve kırma kumun yüksek kızdırma kaybı şu şekilde açıklanabilir: Zeolitler kimyasal olarak sulu silikatlar olarak bilinmektedir. Coombs vd. (1997) zeolitlerin klinoptilolit mineraline bağlı çok sayıda su molekülüne sahip olduğunu belirtmiştir. Yüksek sıcaklıklarda bağlı olan su buharlaşır ve bu sebeple kızdırma kaybı değeri yüksektir. Kırma kum ise kalsiyum karbonat (CaCO₃) kökenli bir agregadır ve yüksek sıcaklık etkisi altında CaCO₃ ayrışarak CaO ve CO₂ oluşturmaktadır. CO₂ çıkışının bir sonucu olarak kızdırma kaybı değeri yüksektir (Topçu ve Demir, 2007).

İnce agregaların mineral fazları, X-ışını difraksiyon yöntemi (XRD) yardımı ile belirlenmiştir. Bu yöntemde, her kristal fazın spesifik atom dizilerine bağlı olarak, karakteristik bir düzende X-ışınlarının kırılması prensibinden faydalanılmaktadır. XRD analiz sonuçları, şekil 2 ve şekil 3'te sergilenmektedir ($\text{Si}_{29,04}\text{Al}_{6,96}\text{O}_{96,40}\text{Na}_{1,92}\text{Ca}_{1,57}\text{Ba}_{0,32}\text{K}_{0,56}\text{Mg}_{0,72}$). Kimyasal olarak formüle edilmiş klinoptilolit, zeolitte görülen en belirgin mineral fazdır, kuvars (Si_3O_6) ve ortoklaz ($\text{Si}_{12}\text{Al}_4\text{K}_4\text{O}_{32}$) ise nadiren görülmektedir.

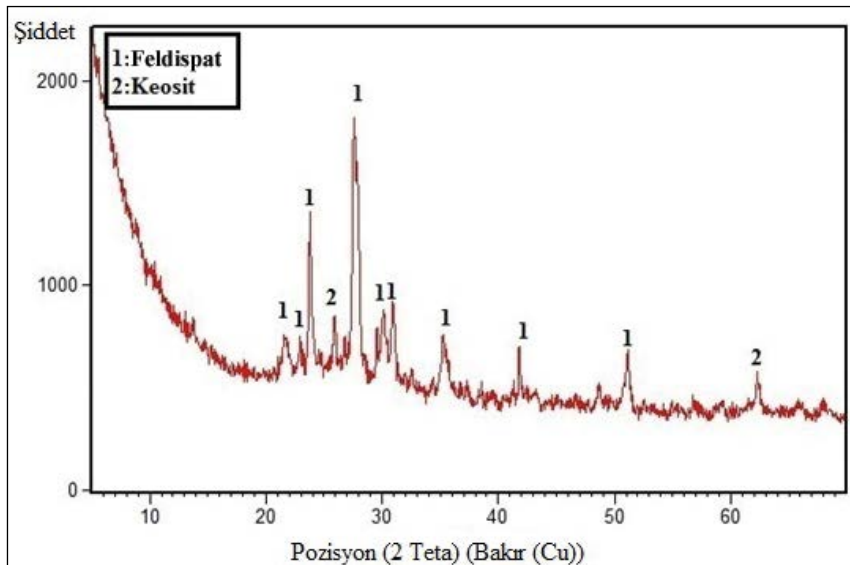
Klinoptilolit, mikro gözenekli bir yapıya ve yüksek yüzey alanına sahiptir. Klinoptilolit kristal yapısının

temel birimleri, ikincil bir yapı oluşturmak üzere birleşmiş SO_4 ve AlO_4 tetrahedralleridir. Kristal yapısı şematik olarak şekil 4'te gösterilmektedir. İkincil yapı, farklı kombinasyonlarla birleşerek gözenekli ve kanallı bir form yaratmaktadır. Bu kanallar ve gözeneklilikler %30-%35 oranında boşluk hacmi sağlayarak önemli bir yüzey alanı oluşturmaktadır (Ersoy, 2000).

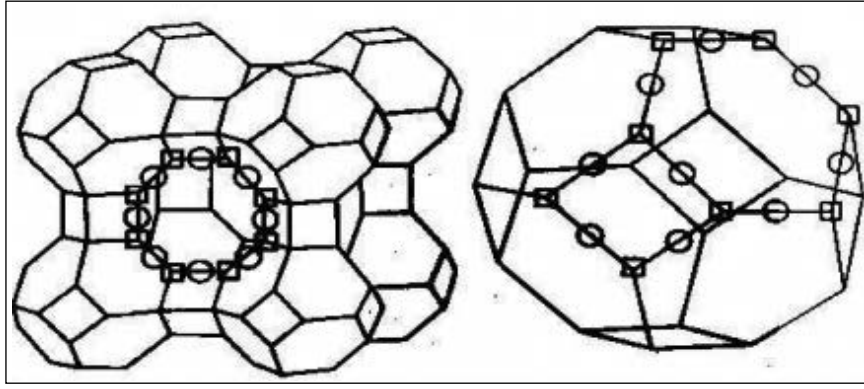
Pomzanın ana faz kristali feldispat ($\text{Si}_{9,04}\text{Al}_{6,96}\text{Sr}_{3,36}\text{Na}_{0,12}\text{O}_{32}$) olarak görülmektedir ve yapı içerisinde karşılaşılan bir diğer mineral ise keositir ($\text{Si}_{16}\text{O}_{32}$). Feldispatlar monoklinik minerallerdir ve yer



Şekil 2- Zeolit agregası XRD deseni.

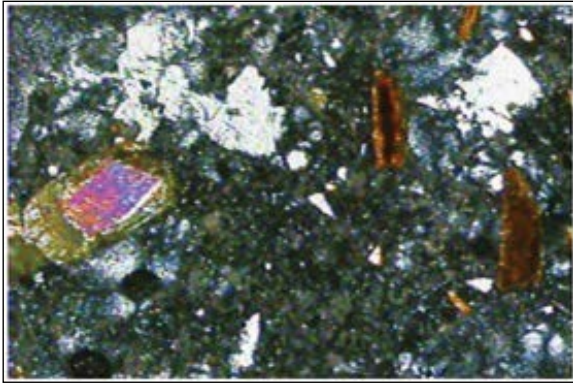


Şekil 3- Pomza agregası XRD deseni.



Şekil 4- Zeolit içerisindeki birimlerin tetrahedral bağlanması (Akay vd., 2018 Şekil 1).

kabuğunun yaklaşık olarak %60'ını oluşturmaktadırlar (Xu vd., 2017). Önceki çalışmalar incelendiğinde, Şekil 5'te verilen petrografik analize göre pomza agregasında, ana mineral fazın feldispat olduğu belirtilmiştir (Döyen ve Aksoy, 2013).



Şekil 5- Pomza örneğinde feldispat minerali (gri).

Bilgin ve Kantarcı (2018), Balıkesir - Bigadiç bölgesinde zeolit oluşumlarının teknolojik özelliklerini araştırmışlardır. İnceledikleri üç farklı zeolit örneğinin XRD analizlerinde ana mineral fazın klinoptilolit olduğunu belirtmişlerdir. Ancak petrografik analizlerde kuvars minerallerinin daha belirgin olduğu görülmektedir (Şekil 6).

Harçların üretiminde, zeolit ve pomza agregaları hacimce beş farklı ikame oranıyla kullanılmıştır (Çizelge 3). Yapılan deneme karışımları sonucunda, uygun bir işlenebilirlik elde edebilmek için, harç üretimi öncesinde pomza agregası, suya doygun kuru yüzey haline getirilmiştir. Zeolit agregası ise karıştırılmadan önce hava kuru halindedir ve agregaların emeceği su hesaplanarak karışım suyuna eklenmiştir. Su-



Şekil 6- Zeolit örneğinde kuvars minerali.

Çizelge 3- Harç karışımlarının tasarım parametreleri.

Dizayn Kodu	Hacimce yer değiştirme oranı (%)		
	Zeolit	Pomza	Kırma Kum
A	70	30	–
B	60	40	–
C	50	50	–
D	40	60	–
E	30	70	–
KN	–	–	100

çimento oranı 0,6 olarak seçilmiştir, böylece çimento hamuru agregaya yüzeyini çevreleyebilmiştir ve aynı zamanda yeterli işlenebilirlik de sağlanmıştır. Bütün harç karışımlarında çimento miktarı 300 kg/m³ olmak üzere sabit tutulmuştur.

Harçlar 40x40x160 mm prizmatik çelik kalıplara yerleştirilmiştir ve 24 saat sonra kalıptan çıkarılan numuneler üç farklı kür rejimine maruz bırakılmıştır;

normal kütleme (NK), sıcak su kürü (SK) ve buhar kürü (BK). NK kodlu numuneler, 7 gün boyunca 20 ± 2 °C’de kirece doymun su tankında tutulmuştur, SK kodlu numuneler, 2 gün boyunca 60 °C’de kirece doymun suda bekletilmiştir ve bu sıcak su küründen sonra, NK tankına yerleştirilmiştir. BK kodlu numuneler, 7 gün süresince, buhar kütleme kabiniinde %90 bağıl nemde (BN) ve 50 °C sıcaklıkta tutulmuştur.

2.2. Deney Metotları

Taze harçlar üzerinde birim ağırlık testi şu şekilde yapılmıştır: Taze harç iki aşamada hacmi bilinen bir kabin içine dökülmüştür ve her aşamada çelik bir çubukla 25 kez şişlenerek, boşluksuz bir şekilde kaba yerleştirilmiştir. Bu aşamadan sonra, kap tartılmış ve ağırlık hacme bölünerek sonuç elde edilmiştir. Harçların işlenebilirliği ASTM C230 akma tablası testi ile ölçülmüştür (Şekil 7). Harç, standartta belirtilen özel kesik koni içerisinde iki aşamada ve her aşamada 25 defa şişlenerek yerleştirilmiştir. Daha sonra koni yavaşça yukarı kaldırılmıştır ve harcı tablanın üzerine yaymak için deney aparatının kolu 15 defa çevrilerek akma tablası serbest düşürülmüştür. Yayılan harcın çapı, hem x hem de y ekseninden ölçülerek ve bunların ortalaması alınarak elde edilmiştir.



Şekil 7- İşlenebilirlik deneyi aparatları.

Yığın yoğunluk değerleri, ASTM C 642’ye göre 40x40x160 mm prizma numunelerin, Archimed terazisindeki tartım sonuçları kullanılarak hesaplanmıştır (Şekil 8). Fırın kurusu yığın yoğunluk (FK) ve suya doymun kuru yüzey (SDKY) yığın yoğunluk hesap formülleri aşağıdaki gibidir:

$$FK = W1 / (W2 - W3) \quad (1)$$

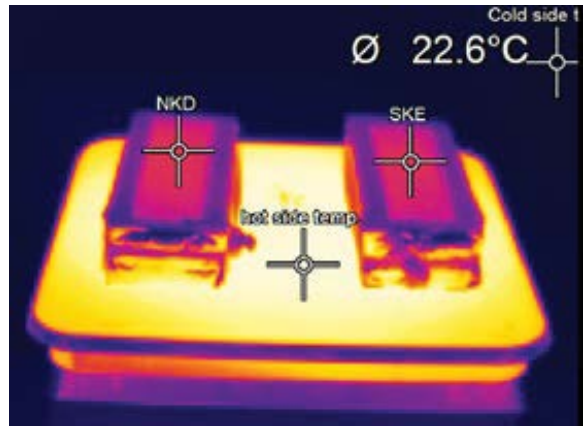
$$SDKY = W1 / (W1 - W3) \quad (2)$$



Şekil 8- Yığın yoğunluk deneyleri test düzeneği.

W1 fırın kurusu numunenin havadaki ağırlığıdır (g), W2 suya doymun kuru yüzey numunenin havadaki ağırlığıdır (g) ve W3 suya doymun kuru yüzey numunenin su içerisindeki ağırlığıdır (g) (Koçkal, 2016).

Harçların termal iletkenlik değerleri mahfazalı sıcak plaka metodu ile ASTM C 177’ye göre belirlenmiştir. Numunelerin yan yüzeyleri, ısı saçılımını önlemek için cam yünü ile kaplanmıştır. Bu deneyde, termografik kamera, termal olarak yalıtılmış numune yüzeyi sabit bir sıcaklık değerine ulaşmaya kadar, yüzeyin sıcaklık farkını izlemek için kullanılmıştır (Şekil 9).



Şekil 9- Farklı hafif agrega kombinasyonlarına sahip harçların termografik kamera görüntüsü.

Numunelerin termal iletkenlik değerleri, kontrol numunesine göre bağıl olarak aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır:

$$RTİ=((SYD-BKN) \times 100)/HN \quad (3)$$

RTİ rölatif termal iletkenlik değeridir (%), SYD sıcak yüzey sıcaklık derecesidir ve 100 °C'de sabit tutulmuştur. BKN buharla kürlenmiş kontrol numunesinin üst yüzeyinin (°C) sabit sıcaklığı, HN hafif harç numunesinin (°C) sabit üst yüzey sıcaklığıdır.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Akma tablası testi sonuçları ve birim ağırlık değerleri çizelge 4'te verilmiştir. Pomza agregası oranının artmasıyla, birim ağırlık değerleri de aynı şekilde artış göstermiş ancak yayılma çapı değerleri düşmüştür. Bununla birlikte, kontrol numunesine kıyasla, tüm hafif harç numunelerinin daha düşük birim ağırlığa ve daha iyi işlenebilirliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir. Gündüz ve Uğur (2005), ince ve kaba pomza agregasının kullanılmasının konvansiyonel CBM'nin yığın yoğunluk ve elastisite modülü değerlerini düşürdüğünü ve buna ek olarak, tokluğun yani enerji sönümlenme kapasitesinin arttığını bildirmiştir.

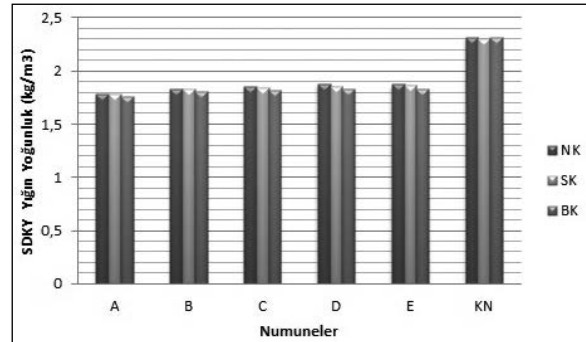
Çizelge 4- Harçların fiziksel özellikleri.

Dizayn Kodu	Birim Ağırlık (g/dm ³)	Yayımla Çapı (cm)
A	1765	>25
B	1814	15,75
C	1817	14,4
D	1843,7	14,35
E	1866,5	14,26
KN	2421,9	12,4

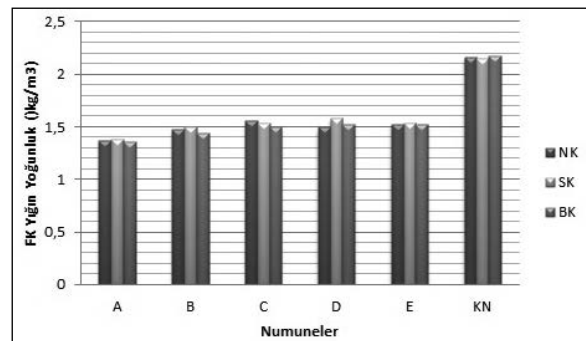
Öte yandan, artan zeolit hacmiyle birlikte daha iyi işlenebilirlik gözlemlenmesinin nedeni harçların üretim prosedürü ile açıklanabilir. Zeolit agregalarının emeceği su, karıştırma suyuna ilave edilmiştir ve bu durum, harçların taze özelliklerini doğrudan etkilemiştir. Ayrıca, bazı araştırmacılar, bazı durumlarda, zeolit agregası kullanımının, akma tablası testi ve V kutusu testi gibi CBM'nin taze işlenebilirlik özelliklerini azalttığını belirtmiştir. Ramezianpour vd. (2015) tarafından gerçekleştirilen ve doğal zeolit içeren CBM'nin işlenebilirlik özelliklerinin araştırıldığı çalışmada doğal zeolit kullanımının

CBM'nin su talebini artırdığı sonucuna varılmıştır. Ranjbar vd. (2013), zeolitın çimento ile ikame malzemesi olarak kullanılmasının, CBM'nin taze özellikleri üzerine etkisini araştırmıştır. Deney sonuçlarına göre, çimento kadar ince öğütülmüş zeolit, işlenebilirliği olumsuz yönde etkilememektedir.

SDKY yığın yoğunluğu ve FK yığın yoğunluğu değerleri, şekil 10 ve 11'de gösterilmiştir. Hafif harçların SDKY yığın yoğunlukları, 1,755 ila 1,879 arasında değişmektedir. Ayrıca, hafif agregaların pozitif etkisi, FK değeri 2,177 olan kontrol numunesi, hafif harçların, 1,358 ile 1,575 arasındaki FK değerleri ile karşılaştırıldığında mükemmel şekilde görülmektedir. BKA harcının en düşük SDKY ve FK yığın yoğunluğuna sahip olduğu görülmektedir. Aslında, aynı agrega kombinasyon oranına sahip numuneler, buhar kürende kürlendiklerinde genellikle en düşük SDKY ve FK yığın yoğunluk değerlerini göstermişlerdir. Ba vd. (2011) farklı süreler boyunca buhar kürene maruz kalan numunelerin boşluklarının ve gözenek karakteristiğinin gelişimi üzerine bir çalışma yürütmüştür. Civa porozimetresi analizi sonuçlarına göre, buhar kürlenme süresinin artmasıyla, numune içerisindeki kaba gözeneklilik oranında artış gözlemlenmiştir.



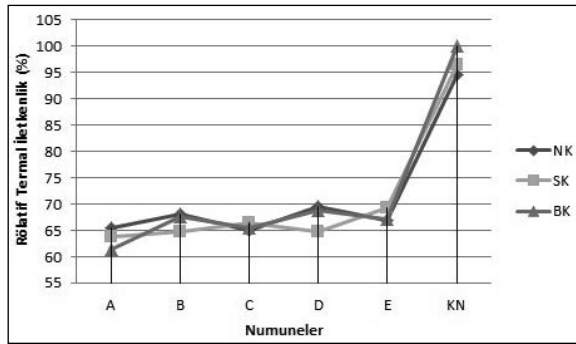
Şekil 10- SDKY yığın yoğunluk değerleri.



Şekil 11- FK yığın yoğunluk değerleri.

Harç numunelerindeki pomza agrega hacminin artmasıyla yığın yoğunluk değerleri de artış göstermiştir. Sıcak su kürü rejimi özellikle FK yığın yoğunluğunu olumlu yönde etkilemiştir. Arel (2016) sıcak su kür rejiminin, buhar ve standart kür rejimlerine göre daha belirgin olan erken basınç dayanımını etkilediğini belirtmiştir. Bu açıklamadan, sıcak su kür rejiminin daha boşluksuz yapı oluşumuna katkıda bulunduğu sonucuna varılabilir. Diğer bir paralel araştırma Koçkal vd. (2018) tarafından yürütülmüştür. Harç numunelere ait eğilme ve basınç dayanımı gibi mekanik özelliklerin, harçların FK yığın yoğunluklarının artmasıyla arttığını belirtmişlerdir.

Rölatif termal iletkenlik testi sonuçları, şekil 12’de gösterilmektedir. Isı iletkenliği nem miktarına göre (Young, 1988) yükseldiğinden, deneylerden önce, numuneler gözenek suyunu buharlaştırmak üzere 24 saat boyunca 90°C’de fırında tutulmuştur.



Şekil 12- Farklı kür koşullarına maruz kalan harçların rölatif termal iletkenlik değerleri.

FK yığın yoğunluk değerlerinin, numunelerin rölatif termal iletkenlik değerleri ile bağıntılı bir ilişki içerisinde olduğu görülmüştür. En düşük FK yığın yoğunluk değerine sahip olan BKA numunesinin en düşük rölatif termal iletkenlik değerine sahip olduğu belirlenmiştir.

En düşük ve en yüksek rölatif termal iletkenlik değerleri sırasıyla %61,30 ve %69,55 olarak ölçülmüştür. Agregata tipinin, harçların ısıl özellikleri üzerinde bir etkiye sahip olduğu ve pomza agregata konsantrasyonu artışıyla, harçların rölatif termal iletkenliğinin artmasının doğru orantılı olduğu görülebilir (Zhu vd., 2015).

Hafif harçlar arasında rölatif termal iletkenlik değeri, hacimce pomza oranının artmasına rağmen, tüm hafif harç numunelerinin rölatif termal iletkenlik

değerleri kontrol harçlarından daha küçük değerlerde ölçülmüştür. Amel vd. (2017) tarafından yürütülen bir çalışma bu gerçeği desteklemektedir. Araştırmacılar kumul kumu ve pomza agregasını değişik oranlarda yer değiştirerek hazırladıkları CBM numuneleri üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirmiştir. CBM numunelerinin ısı transferi ve yığın yoğunluk değerleri, pomza agregata oranının artmasıyla azaldığını belirtmişlerdir.

Yüksek hacimli zeolit agregası içeren numuneler daha düşük rölatif termal iletkenliğe sahiptir. Gözeneklilik genellikle termal iletkenlik ile bağıntılı bir olgudur. Nagrockiene ve Girska (2016), doğal zeolit ilavesiyle üretilen CBM özelliklerini incelemiş ve doğal zeolit kapalı gözenekliliği arttırdığı belirtilmiştir.

4. Sonuçlar

Yürütülen deneysel çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- Volkanik kaynaklı hafif agregalar, özel niteliklere sahip yapı malzemeleri üretmek için özel uygulamalarda tercih edilebilir.
- Pomza ve zeolit incele agregata olarak kullanılması, harçların taze özelliklerinde iyileşme sağlamıştır. Akma tablası testinin değerine göre, hafif agregaların işlenebilirliği iyileştirmesi sonucu, işgücü talebinde ve maliyetlerinde azalma sağlanabilir.
- Hafif harç numunelerinin hem FK hem de SDKY yığın yoğunluk değerleri, kontrol numunesininkinden daha küçüktür. Böylece, zeolit ve pomza agregasının, yapıların kendi ağırlığını azaltmak için alternatif bir inşaat malzemesi olarak kullanılabilir olduğu sonucuna varılabilir.
- FK yığın yoğunluk ile rölatif termal iletkenlik değerleri arasında benzer bir ilişki olduğu görülmüştür. En düşük FK yığın yoğunluğuna sahip olan BKA numunesi en düşük rölatif termal iletkenlik değerine sahiptir.
- Hafif harçların rölatif termal iletkenlik değerleri, kontrol numunesininkinden yaklaşık %40 daha küçüktür. Öte yandan, farklı kür rejimlerinin rölatif termal iletkenlik üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğuna dair herhangi bir kanıt bulunamamıştır.

Katkı Belirtme

Bu araştırma, 1278 proje numarası ile Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Değınilen Belgeler

- Akay, O.E., Gizlenci, Ö.S., Sönmez, K. 2018. Bir kurutma sisteminde kullanılan zeolit kurutma yatağının adsorpsiyon performansının deneysel olarak incelenmesi. *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi* 21(1):100-106.
- Amel, C.L., Kadri, E., Sebaibi, Y., Soualhi, H. 2017. Dune sand and pumice impact on mechanical and thermal lightweight concrete properties. *Construction and Building Materials* 133: 209–218.
- Arel, H.S. 2016. Effects of curing type, silica fume fineness, and fiber length on the mechanical properties and impact resistance of UHPFRC. *Results in Physics* 6: 664-674.
- ASTM C 177, Standard Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded Hot Plate Apparatus, American Society for Testing and Materials, Annual Book, West Conshohocken, PA, 2004.
- ASTM C 642, Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete, American Society for Testing and Materials, Annual Book, Pennsylvania, USA, 2013.
- ASTM C128-15, Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2015.
- ASTM C136 / C136M-14, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.
- ASTM C230, Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.
- ASTM C29 / C29M-17a, Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.
- ASTM C97 / C97M-18, Standard Test Methods for Absorption and Bulk Specific Gravity of Dimension Stone, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018.
- Ba, M., Qian, C., Guo, X., Han, X. 2011. Effects of steam curing on strength and porous structure of concrete with low water/binder ratio. *Construction and Building Materials* 25: 123–128.
- Beycan, O., Koçkal, N.U. 2017. Properties of mortars with ultrafine aggregates. *International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering* 4: 64-67.
- Bilgin, Ö., Kantarcı, S. 2018. Bigadiç (Balıkesir, Türkiye) Civarında Gözlenen Höylandit/Klinoptilolit Zeolit Oluşumlarının Teknolojik Özelliklerinin İncelenmesi. *Journal of Balıkesir University Institute of Science and Technology* 20(1):589-601.
- Chen, J.J., Li, L.G., Ng, P.L., Kwan, A.K.H. 2017. Effects of superfine zeolite on strength, flowability and cohesiveness of cementitious paste. *Cement and Concrete Composites* 83: 101-110.
- Coombs, D.S. , Alberti, A., Armbruster, T., Artioli, G., Colella, C., Galli, E., Grice, C. D., Liebau, F., Minato, H., Nickel, E.H., Passaglia, E., Peacor, D.R., Quartieri, S., Rinaldi, R., Ross, M., Sheppard, R.A., Tillmans, E., Vezzalini, G. 1997. Recommended nomenclature for zeolite minerals: Report of the subcommittee on zeolites of the international mineralogical association, commission on new minerals and mineral names. *The Canadian Mineralogist* 35:1571-1606.
- Degrave-Lemeurs, M., Glé, P., Hellouin de Menibus, A. 2018. Acoustical properties of hemp concretes for buildings thermal insulation: Application to clay and lime binders. *Construction and Building Materials* 160: 462–474.
- Döyen, A., Aksoy, E. 2013. Isparta ve Gelincik Pomza Yataklarının Jeolojisi ve Beton Yapımına Uygunluğunun Araştırılması. *Selçuk University Journal of Engineering, Science and Technology* 28:25-34.
- Ersoy, B. 2000. Clinoptilolite (Natural zeolite): properties, use and the importance of Turkey. *Afyon Kocatepe University Journal of Science* 2(1):41-52. (In Turkish, with English summary.)
- Fantilli, A.B., Chiaia, B., Gorino, A. 2016. Ecological and mechanical assessment of lightweight fiber-reinforced concrete made with rubber or expanded clay aggregates. *Construction and Building Materials* 127: 692–701.
- Gündüz, L., Uğur, I. 2005. The effects of different fine and coarse pumice aggregate/cement ratios on the structural concrete properties without using any admixtures. *Cement and Concrete Research* 35: 1859 – 1864.
- Koçkal, N.U. 2015. Optimizing production parameters of ceramic tiles incorporating fly ash using response surface methodology. *Ceramics International* 41: 14529-14536.

- Koçkal, N.U. 2016. Investigation about the effect of different fine aggregates on physical, mechanical and thermal properties of mortars. *Construction and Building Materials* 124: 816-825.
- Koçkal, N.U., Özturan, T. 2010. Effects of lightweight fly ash aggregate properties on the behavior of lightweight concretes. *Journal of Hazardous Materials* 179: 954-965.
- Koçkal, N.U., Özturan, T. 2011a. Characteristics of lightweight fly ash aggregates produced with different binders and heat treatments. *Cement and Concrete Composites* 33: 61-67.
- Koçkal, N.U., Özturan, T. 2011b. Optimization of properties of fly ash aggregates for high-strength lightweight concrete production. *Materials and Design* 32: 3586-3593.
- Koçkal, N.U., Beycan, O., Gülmez, N. 2018. Effect of binder type and content on physical and mechanical properties of geopolymer. *Sâdhanâ* 43:49.
- Mintorogoa, D.S., Widigdoa, W.K., Juniwatia, A. 2015. Application of coconut fibres as outer eco-insulation to control solar heat radiation on horizontal concrete slab rooftop. *Procedia Engineering* 125: 765 – 772.
- Nagrockiene, D., Girskas, G. 2016. Research into the properties of concrete modified with natural zeolite addition. *Construction and Building Materials*, 113: 964-969.
- Najimi, M., Sobhani, J., Ahmadi, B., Shekarchi, M. 2012. An experimental study on durability properties of concrete containing zeolite as a highly reactive natural pozzolan. *Construction and Building Materials* 35:1023-1033.
- Patnai, A., Myubu, M., Muniyasamy, S., Botha, A., Anandijwala, R.D. 2015. Thermal and sound insulation materials from waste wool and recycled polyester fibers and their biodegradation studies. *Energy and Buildings* 92: 161-169.
- Ramezaniyanpour, A.A., Mousavi, R., Kalhori, M., Sobhani, J., Najimi, M. 2015. Micro and macro level properties of natural zeolite contained concretes. *Construction and Building Materials* 101: 347-358.
- Ranjbar, M.M., Madandoust, R., Mousavi, S.Y., Yosef, S. 2013. Effects of natural zeolite on the fresh and hardened properties of self-compacted concrete. *Construction and Building Materials* 47: 806-813.
- Schackow, A., Effting, C., Folgueras, M.V., Güths, S., Mendes, G.A. 2014. Mechanical and thermal properties of lightweight concretes with vermiculite and EPS using air-entraining agent. *Construction and Building Materials* 57: 190-197.
- Şengül, O., Azizi, S., Karaosmanoğlu, F., Taşdemir, M.A. 2011. Effect of expanded perlite on the mechanical properties and thermal conductivity of lightweight concrete. *Energy and Buildings* 43: 671-676.
- Seraj, S., Cano, R., Ferron, R.D., Juenger, M.C.G. 2017. The role of particle size on the performance of pumice as a supplementary cementitious material. *Cement and Concrete Composites* 80: 135-142.
- Topçu, İ.B., Demir, A. 2007. Research of fire and high temperature effects on concretes produced with waste crushed tile. *ICSW 2007, The Twenty-Second International Congerence on Solid Waste Technolgy and Management, Philadelphia, USA.*
- TS EN 933-1 Tests for geometrical properties of aggregates - Part 1: Determination of particle size distribution - Sieving method, *Turkish Standarts* 2012.
- Widodo, S., Ma'arif, F., Gan, B.S. 2017. Thermal conductivity and compressive strength of lightweight mortar utilizing pumice breccia as fine aggregate. *Procedia Engineering*, 471: 768-773.
- Xu, L., Tian, J., Wu, H., Deng, W., Yang, Y., Sun, W., Gao, Z., Hu, Y. 2017. New insights into the oleate flotation response of feldspar particles of different sizes: Anisotropic adsorption model. *Journal of Colloid and Interface Science* 505: 500-508.
- Yeşilata, B., Işiker, Y., Turgut, P. 2009. Thermal insulation enhancement in concretes by adding waste PET and rubber pieces. *Construction and Building Materials* 23: 1878-1882.
- Young, J.F. 1988. A review of the pore structure of the cement paste and concrete and its influence on permeability, *American Concrete Institute, Detroit* pp. 1-18.
- Zhang, B., Poon, C.S. 2015. Use of Furnace Bottom Ash for producing lightweight aggregate concrete with thermal insulation properties. *Journal of Cleaner Production* 99: 94-100.
- Zhu, L., Dai, J., Bai, G., Zhang, F. 2015. Study on thermal properties of recycled aggregate concrete and recycled concrete blocks. *Construction and Building Materials* 94: 620-628.