

Genleştirilmiş kil agregalı betonların ısıl özelliklerinin incelenmesi

Atilla G. DEVECİOĞLU*, Yaşar BİÇER

*Dicle Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, 21280, Diyarbakır
Firat Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 23279, Elazığ*

Özet

Tüketilen enerjinin büyük bölümü yapıların ısıtılması için harcanmaktadır. Bu nedenle yapı bileşenlerinin düşük ısıl iletkenliğe sahip malzemelerden üretilmesi son derece önemlidir. Yapılardaki ısı kayıplarını azaltmak için, yapı bileşenlerini, ısıl iletkenliği çok düşük malzemelerle kaplamak bir yöntem olarak uygulanmaktadır. Diğer bir yöntem de yapı elemanlarının ısıl iletkenliğini düşürmektir. Bu çalışmada yapı elamanı olarak kullanılacak betonarme malzemelerde, agrega olarak genleştirilmiş kil (GK) kullanılmış ve üretilen betonların ısıl özellikleri araştırılmıştır. Hazırlanan numunelere, 0-2 mm, 2-4 mm ve 4-8 mm tane çaplarında GK, ağırlıkça %20, %40, %60 ve %80 oranında eklenmiştir. Farklı tane çap değerleri ve oranları içeren 12 çeşit numune, ölçüm cihazı problemlerine uygun şekilde hazırlanan kalıplara dökülmüştür. Çalışmada CEM IV/B (P) 32.5 R tipi puzolanik çimento kullanılmıştır. Numuneler 28 gün kurumaya bırakılarak, bekletilmiştir. Yoğunlukları tespit edilen numunelerin, ısıl iletkenlik katsayıları ve özgül ısı değerleri ölçülmüştür. Ölçülen bu sonuçlardan ısıl yayınım katsayısı hesaplanmıştır. Ölçüm cihazı, DIN 51046 normuna göre sıcak tel metodunu kullanarak ölçüm yapmaktadır. Elde edilen bulgularda, tane çapı ve ağırlıkça GK agregasının artması sonucu, numune yoğunluğu ve ısıl iletkenliğinin azaldığı, özgül ısının ise arttığı görülmüştür. Sonuçlar, birçok yapı malzemesiyle mukayese edilmiştir. 4-8 mm tane çaplı ve %80 GK içeren numunenin ısıl iletkenlik değerinin çimento harcının ısıl iletkenlik değerinden %69 daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Genleştirilmiş kil, Isıl iletkenlik, Düşük yoğunluklu beton.

Investigation of thermal properties of the expanded clay aggregate concrete

Extended abstract

Inefficient energy consumption and energy cost increase due to inadequate insulation of structures. These increases due to missing or incorrect insulation applications can be reduced by selection and production of construction materials with low thermal conductivity. The aggregates have a great importance in the production of low-density concrete. Aggregates can be obtained as natural or artificial. Expanded clays (EC), occur as a result of sudden exposure of the clay to high temperatures. With the emergence of the gases in chemical structure, gas-filled pores appear in structures. In this way, the volume clays increase between 1.5 and 6 times of their initial volume. The products such as lime, coke and fuel-oil are added to the clay mud for increase the expansion. There is no production of EC in Turkey and it is not widely used. In the studies, compatible relationships are determined between density and thermal conductivity.

The great part of the consumed energy is used for heating of buildings. For this reason, production of building components from the materials having low thermal conductivity is extremely important. To reduce heat losses in buildings, coating of building components is applied as a method with very low thermal conductivity materials. Another method is to reduce the thermal conductivity of building components. In this study EC as aggregate were used in the concrete material as building components and thermal properties of the produced concrete were investigated. 0-2 mm, 2-4 mm and 4-8 mm grain diameter expanded clays were added to the prepared samples by weight of 20%, 40%, 60%

and 80% for prepared samples. Containing different grain size and proportions mixtures prepared as 12 different samples were poured into patterns suitable with meter probes. In the study CEM IV / B (P) 32.5 R-type pozzolanic cement was used. Samples were left to dry for 28 days. Densities of the samples were determined thermal conductivity and specific heat were measured and thermal diffusivity coefficient was obtained from these results. Measurement device performs measurements by using in accordance with DIN 51046. It was seen from the results that density and thermal conductivity decreased and the specific heat was observed to increase EC aggregate in grain size and weight.

In this study, which was conducted to produce low density concrete, it was seen that the thermal conductivity of samples decreased on the other hand specific heat values increased depending on EC grain size and amount of aggregate material. Thermal conductivity was between 0.459 W/mK and 0.222 W/mK, specific heat capacity was in the range of 867 J/kgK to 2254 J/kgK, density was changing from 1810 kg/m³ to 531 kg/m³ and the thermal diffusivity was between 2.92x10⁻⁷ m²/s and 1.86x10⁻⁷ m²/s. A good polynomial relationship was found between the density and thermal conductivity. The correlation coefficient (R²) was obtained to be 0.994, 0.999 and 0.981 for the grain size of 0-2 mm, 2-4 mm and 4-8 mm, respectively. Compared to many other similar building materials, very low thermal conductivity of EC aggregate concretes can be considered as an important advantage.

Keywords: Expanded clay, Thermal conductivity, Low density concrete.

Giriş

Yalıtımın yetersiz olduğu yapılar, enerjinin etkin olarak kullanılmaması nedeniyle enerji harcamalarını ve maliyetini olumsuz yönde etkilemektedir. Eksik ya da yanlış yalıtım uygulamalarının bu olumsuzlukları, ısı iletim katsayısı düşük olan yapı malzemesi seçimi ve üretimiyle azaltılabilir. Betonarme yapı elemanlarının ısı iletim katsayısı düşük ve hafif malzemeden üretilmesi bu nedenle önem taşımaktadır. Agregada olarak kullanılan malzemeler doğal veya yapay yolla elde edilmektedir. Bims, volkanik cüruf, perlit, çakıl taşı ve kum gibi maddeler doğal agregada olarak bilinirken, genleştirilmiş kiler (GK), uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve genleştirilmiş perlit gibi malzemeler yapay agregadadır (Gündüz vd., 2006). GK, agregada olarak kullanıldıklarında betonun yoğunluğunu azaltmaktadır. Düşük yoğunluklu ve düşük ısı iletim katsayısına sahip yapı malzemelerinin kullanımı artan şekilde tercih edilmektedir (Subaşı, 2009).

Düşük yoğunluklu beton üretimi ile ilgili çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda genelde çimentonun içine, doğal, yapay, atık ve kimyasal gibi çok çeşitli malzemeler agregada olarak eklenerek yeni yapı malzemeleri üretilmiştir. Çimento içine, genleştirilmiş kil, bims, perlit gibi porozitesi yüksek agregalar eklenerek üretilen numunelerin, ısı ve mekanik özellikleri araştırılmış ve sonuçta numunelerin yoğunluk ve ısı iletim katsayılarının düştüğü görülmüştür (Uysal vd., 2004; Biçer vd., 2011; Demirboğa ve Gül, 2003). Araç lastiği, uçucu kül, plastik gibi endüstriyel atıklar ile tarımsal organik artıkların çimentoya eklenmesiyle üretilen yapı malzemelerinde de aynı sonuçlar elde edilmiştir (Khedari vd., 2001; Benazzouk vd., 2008; Biçer ve Devcioğlu, 2011; Al Rim vd., 1999; Kamseu, 2012). Isıl iletkenlik, malzemenin porozitesi ve nem miktarına bağlı olarak değişiklik gösterir. Yapı içindeki nem miktarı arttıkça ısı iletim katsayısı da artmaktadır (Çanakçı vd., 2007). Yapılan çalışmalarda, ısı iletim katsayısı ile yoğunluk arasında uyumlu bağlantılar olduğu görülmektedir (Demirboğa ve Gül, 2003; Çanakçı vd., 2007).

Bu çalışmada, agregada olarak farklı tane çap ve GK oranında beton numuneler hazırlanarak bu numunelerin ısı iletim katsayıları ve özgül ısıları ölçülmüş, ısı iletim katsayısının GK oranı ve tespit edilen yoğunlukla değişimleri incelenmiştir.

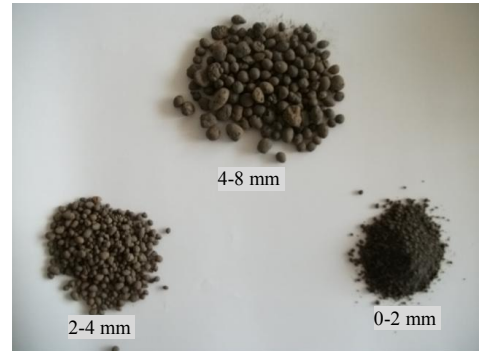
Genleştirilmiş kiler

Genleşme özelliğine sahip kilerin, ani olarak yüksek sıcaklığa maruz kalmaları neticesinde, kimyasal yapılarında bulunan gazlar açığa çıkmakta ve içi gaz dolu gözenekler meydana getirmektedir. Bu sayede hacimleri ilk hacimlerinin 1.5 ila 6 katı kadar artabilmektedir. Ani sıcaklık etkisiyle sinterlenmiş sert bir dış kabuğa sahip olurlar. Genleştirmeyi arttırmak için kil çamuruna kireç, kok kömürü ve mazot gibi ürünler eklenmektedir. Isıtma işlemi 1000 °C ila 1300 °C sıcaklıkta döner fırınlarda gerçekleştirilir (Devocioğlu, 2012).

GK Türkiye’de üretimi yoktur. Kullanımı da yaygın değildir (Arıöz vd., 2008). Çoğu gelişmiş ülkeler ve eski Doğu Bloğu ülkelerinde çok sayıda GK üretim fabrikaları bulunmaktadır. GK agregası birçok doğal agregadan daha dayanıklıdır.

Materyal ve Metot

Şekil 1’de görülen ve çalışmada kullanılan 0-2 mm, 2-4 mm ve 4-8 mm tane çaplı GK Avusturya Liapor firmasından temin edilmiştir. Bağlayıcı olarak CEM IV/B (P) 32.5 R puzolanik tip çimento kullanılmıştır.



Şekil 1. Üç farklı çaptaki genleştirilmiş kil

Kullanılan GK ve çimentonun kimyasal özellikler Tablo 1'de gösterilmiştir. Numuneler Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesinde hazırlanmış ve bu yerleşkenin şebeke suyu kullanılmıştır.

Tablo 1. Çimento ve GK kimyasal bileşenleri

Bileşenler	Çimento(%)	GK (%)
SiO ₂	23.51	54.60
CaO	58.51	3.34
Al ₂ O ₃	6.15	17.60
Fe ₂ O ₃	4.00	6.90
MgO	2.27	4.00
SO ₃	2.37	-
Cl	0.10	-
K ₂ O	-	3.58
Na ₂ O	-	0.71
Kızdırma kaybı	2.04	7.81
Tayin edilemeyen	0.72	-

0-2 mm, 2-4 mm ve 4-8 mm tane çaplı GK, çimento ile ağırlıkça %20, %40, %60 ve %80 oranında karıştırılmıştır. Her tane çapı için 4 farklı karışım hazırlanmış, Şekil 2'de görüldüğü gibi 12 farklı numune üretilmiştir. Karışımın su/çimento oranı 0.5 dir. Hazırlanan numuneler ölçüm cihazı problemlerine uygun olarak, 150 mm x 60 mm x 20 mm ebatlarındaki sac kalıplara dökülmüştür. Daha sonra kurumaları için numuneler 28 gün oda sıcaklığında bekletilmiştir.



Şekil 2. Hazırlanan numuneler

Hazırlanan numunelerin ısı iletkenlikleri (k) ve özgül ısıları (c_p), DIN 51046 normuna göre sıcak tel metodunu kullanarak ölçüm yapan, ısı transfer analiz cihazıyla ölçülmüştür. 22-25 °C oda sıcaklığında ve her numune üzerinde 5 farklı noktadan ölçümler yapılmıştır. Bu ölçümlerin aritmetik ortalamaları alınarak numunelerin k ve c_p değerleri tespit edilmiştir.



Şekil 3. Ölçüm cihazı

Şekil 3'de görülen ölçüm cihazı, ısı iletkenlik katsayısını 0.04-6 W/mK aralığında %5 hassasiyetle, hacimsel özgül ısıyı 4.0×10^4 - 4.0×10^6 J/m³K aralığında %15 hassasiyetle tespit etmektedir. Ölçüm sonucunda ortam sıcaklığı ve ısı yayılım katsayısı da cihaz ekranından okunabilmektedir. Özellikle doğal taşlar ve yapı elamanlarının ısı özelliklerinin tespit edilmesi için geliştirilmiş olan cihazın, 3 farklı katı yüzey probu bulunmaktadır. Bu problemler farklı ölçüm aralıkları için kullanılmaktadır. Hassas teraziyile kütleleri tespit edilen numunelerin, hacimlerine oranıyla yoğunlukları (ρ) tespit edilmiştir.

Deney sonuçları ve tartışma

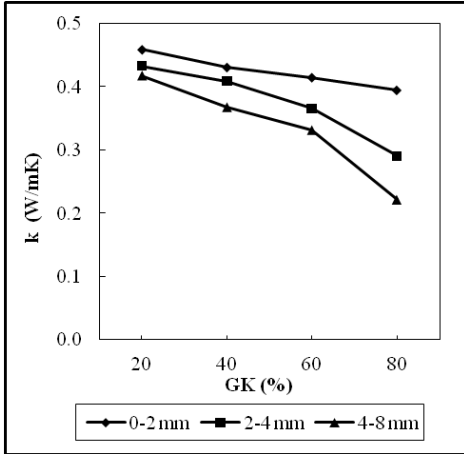
GK miktarıyla ısı iletkenlik katsayısı ilişkisi Şekil 4 de görülmektedir. Numunelerde GK miktarı arttıkça ısı iletkenlik katsayıları küçülmektedir. Küçülme miktarı 0-2 mm tane çaplarında daha az, 4-8 mm tane çaplarında ise daha fazladır. Bunun nedeni 0-2 mm tane çaplı GK agregalı beton numunelerde gözeneklilik oranının daha

az olup gözeneklerin bir bölümünün dolu olmasından kaynaklanmaktadır. GK oranı %60'ı geçtikten sonra değişim miktarı daha da artmaktadır. Tane çapının büyümesi bütün oranlar için ısı iletkenliği azaltmaktadır. En yüksek ısı iletim katsayısı 0.459 W/mK değeriyle 0-2 mm tane çaplı %20 GK içeren numunelere aiten, en düşük ısı iletim katsayısı 0.222 W/mK değeriyle 4-8 mm tane çaplı ve %80 GK içeren numunelere aittir.

Isı iletim katsayısının (k) düşük olması,

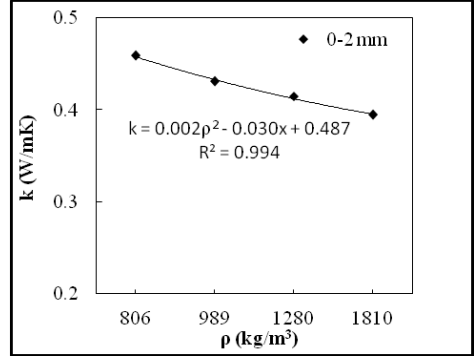
$$Q = kA(\Delta T/L) \quad (1)$$

şeklinde tanımlanan Fourier ısı iletim kanunundaki, iletilen ısı enerjisinin, dolayısıyla ısı kaybının azalması anlamına gelir. Böylece ısı kaybının azalmasıyla daha az ısınma enerjisine ihtiyaç duyulacaktır. Bu denklemde Q iletilen ısı enerjisi (W), k ısı iletim katsayısı (W/mK), A ısı transferinin gerçekleştiği alanı (m²), L malzemenin kalınlığı (m), T sıcaklık (K) olarak tanımlanmıştır.

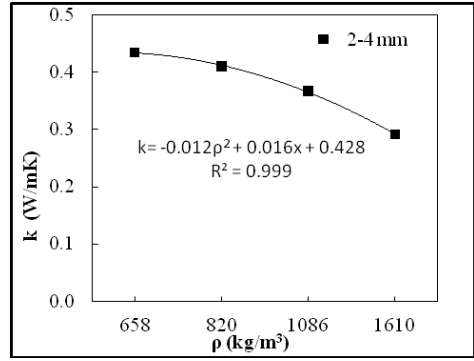


Şekil 4. Isı iletim katsayısının genleştirilmiş kil miktarıyla değişimi

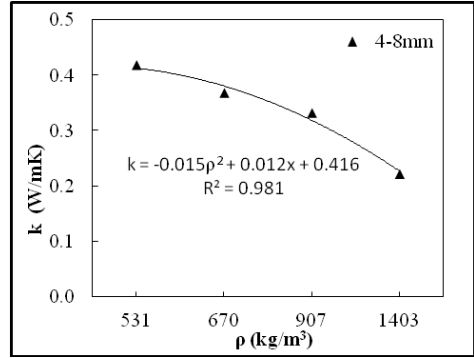
Şekil 5'de görüldüğü gibi tüm tane çapları için yoğunluğun azalmasıyla ısı iletim katsayısı azalmaktadır.



(a)



(b)

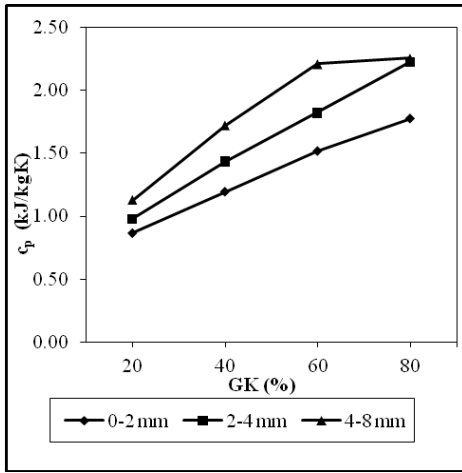


(c)

Şekil 5. Isı iletim katsayısının yoğunlukla değişimi (a) 0-2 mm (b) 2-4 mm (c) 4-8 mm

Isı iletim katsayısı ile yoğunluk arasında çok uyumlu bir polinomal bağıntı olduğu görülmüştür. Şekil 5 (b)' deki eğriden, 2-4 mm tane çapı için korelasyon katsayısı $R^2 = 0.999$ olarak tespit edilmiştir. 0-2 mm tane çapı için bu değer 0.994 ve 4-8 mm için 0.981 bulunmuştur.

Şekil 6'da görüldüğü gibi GK miktarı ve tane çapı arttıkça özgül ısı kapasitesi artmaktadır. Özgül ısı kapasiteleri 867 J/kgK ile 2254 J/kgK arasında değişmektedir.



Şekil 6. Özgül ısının GK miktarıyla değişimi

Termofiziksel bir özellik olan ısı yayılımı, ısının malzeme içinde ne kadar hızlı yayıldığını gösterir. Düşük ısı yayılımı, ısının çoğunun malzeme tarafından soğurulduğunu, çok az miktarının da iletildiği anlamını taşır (Çengel, 2011).

$$\alpha = k / \rho c_p \quad (2)$$

İfadesinde görüldüğü gibi, ısı iletimliliğinin azalması ve özgül ısının artmasıyla ısı yayılımı azalacaktır. Numunelerin ısı yayılımı değerleri Tablo 2' deki gibi tespit edilmiştir. Bu tablo incelendiğinde, belli bir GK oranı için tane çapları büyüdükçe ısı yayılımı değerlerinin küçüldüğü görülmektedir.

Tablo 2. Numunelerin ısı yayılımı katsayıları

Tane çapı (mm)	GK (%)	$\alpha \cdot 10^7$ (m ² /s)
0-2 mm	20	2.92
	40	2.82
	60	2.77
	80	2.76
2-4 mm	20	2.75
	40	2.63
	60	2.45
	80	1.99
4-8 mm	20	2.65
	40	2.36
	60	2.24
	80	1.86

Tablo 3. Bazı yapı malzemelerinin ısı iletilenlikleri (Özışık, 1985; Incropera ve DeWitt, 2001; Devecioğlu, 2012)

Malzeme	k (W/mK)	ρ (kg/m ³)	c_p (J/kgK)	$\alpha \cdot 10^7$ (m ² /s)
Çimento harcı	0.720	1860	780	0.005
Tuğla kiremit (30 cm)	0.690	-	-	-
Beton blok (kum/çakıl 20 cm)	1.000	-	-	-
Çimento-kum siva	0.720	1860	-	-
Alçı siva	0.480	1440	840	4.0
Granit	1.73-3.98	2640	820	8-18
Mermer	2.07-2.94	2500-2700	800	10-13.6
Kireç taşı	1.26-1.33	2500	900	5.6-5.9
Gazbeton	0.180	617	-	-
%20 GK 0-2 mm	0.459	1810	870	2.92
%60 GK 2-4 mm	0.366	820	182	2.45
%80 GK 4-8 mm	0.222	531	225	1.86

Bu çalışmada kullanılan numunelerin, bütün yapı malzemelerinden (gazbeton dışında) daha düşük ısı iletilenliğe sahip olduğu Tablo 3'de görülmektedir. Benzer şekilde, diğer malzemelerin yoğunluk ve özgül ısı değerleriyle karşılaştırıldığında, bina yalıtım uygulamalarında GK katkılı malzemeleri kullanmanın sağlayacağı avantaj açıkça anlaşılmaktadır. %80 GK içeren, 4-8 mm tane

çapından oluşan numune, çimento harcından yaklaşık %69 daha düşük ısı iletkenlik değerine sahiptir. %60 GK içeren, 2-4 mm tane çapına sahip olan numune %49 ve %20 GK içeren, 0-2 mm tane çapına sahip olan numune %36 daha düşük ısı iletkenlik değerlere sahiptir.

Sonuçlar

Gerek enerji tasarrufu ve gerekse depreme dayanıklı düşük yoğunluklu beton üretimi için yapılan bu çalışmada, agrega malzemesi GK tane çapı ve miktarını artmasına bağlı olarak, numunelerin ısı iletkenlik ve yoğunluk değerlerinin azaldığı, özgül ısı değerlerinin ise arttığı tespit edilmiştir. Isıl iletkenlik 0.459 W/mK ile 0.222 W/mK arasında, özgül ısı kapasiteleri 867 J/kgK ile 2254 J/kgK aralığında, yoğunluk 1810 kg/m³ ile 531 kg/m³ arasında ve ısı yayılma katsayıları 2.92x10⁻⁷ ile 1.86x10⁻⁷ m²/s aralığında bulunmuştur. Benzeri birçok yapı malzemeleriyle karşılaştırıldıklarında, GK agregalı betonların ısı iletim katsayılarının oldukça düşük olması önemli bir avantaj olarak kabul edilebilir.

Kaynaklar

- Al Rim, K., Ledhem, A., Douzane, O., Dheilily, R.M., Queneudec, M., (1999). Influence of the proportion of wood on the thermal and mechanical performance of clay-cement-wood composites, *Cement and Concrete Composites*, **21**, 269-276.
- Arıöz, O., Kılınc, K., Karasu, B., Kaya, G., Arslan, G., Tuncan, M., Tuncan A., Korkut, M., Kıvrak, S., (2008). A preliminary on the properties of lightweight expanded clay aggerate, *Journal of the Australian Ceramics Society*, **44**(1), 23-30.
- Benazzouk, A., Douzane, O., Mezreb, K., Laidoudi, B., Queneudec, M., (2008). Thermal conductivity of cement composites containing rubber waste particles: Experimental study and modelling. *Construction and Building Materials*, **22**, 573-579.
- Biçer, Y., Çelik, N., Devocioğlu, A., (2011). Investigation of thermal and mechanical properties of expanded clay mixed concrete, *17th International Conference on Thermal Engineering and Termogrammetry*, Budapest.
- Biçer, Y., Devocioğlu, A., (2011). Utilization Of Fly Ash And Polypropylene Wastes In The

- Production Of A New Porous Composite Material, *17th International Conference on Thermal Engineering and Termogrammetry*, Budapest.
- Çanakçı, H., Demirboğa, R., Karakoç, M.B., Şirin, O., (2007). Thermal conductivity of lime Stone from Gaziantep (Turkey), *Building and Environment*, **42**, 1777-1782.
- Çengel, Y., (2011). *Isı ve kütle transferi*, Güven Yayınevi, İzmir.
- Demirboğa, R., Gül, R., (2003). Thermal conductivity and compressive strength of expanded perlite aggregate with mineral admixtures, *Energy and Buildings*, **35**, 1155-1159.
- Demirboğa, R., Gül, R., (2003). The effects of expanded perlite aggregate, silica fume and fly ash on the thermal conductivity of lightweight concrete, *Cement and Concrete Research*, **33**, 723-727.
- Devocioğlu, A.G., (2012). Kitre katkılı genleştirilmiş kil agregalı betonların ısı ve mekanik özelliklerinin analizi, *Doktora tezi*, FÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Gündüz, L., Şapçı, N., Bekar, M., (2006). Genleşmiş kilin hafif agrega olarak kullanılabilirliği, *Kil Bilimi ve Teknolojisi Dergisi*, **1**(2), 43-49.
- Incropera, F.P., DeWitt, D.P., (2001). *Isı ve kütle geçişinin temelleri*, Literatür Yayıncılık Ltd. Şti., İstanbul.
- Kamseu, E., Nait-Ali, B., Bignozzi, M.C., Leonelli, C., ROssignol, S., Smith, D.S., (2012). Bulk composition and microstructure dependence of effective thermal conductivity of porous inorganic polymer cements, *Journal of the European Ceramic Society*, **32**, 1593-1603.
- Khedari, J., Suttisonk, B., Pratinthong, N., Hirunlabh, J., (2001). New lightweight composite construction materials with low thermal conductivity, *Cement and Concrete Composites*, **23**, 65-70.
- Özışık, N., (1985). *Heat transfer*, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Subaşı, S., (2009). Genleştirilmiş kil agregası ile taşıyıcı hafif beton üretimi, *Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, **24**, 559-567.
- Uysal, H., Demirboğa, R., Şahin, R., Gül, R., (2004). The effects of different cement dosages, slumps, and pumice aggregate ratios on the thermal conductivity and density of concrete, *Cement and Concrete Research*, **34**, 845-848.

mühendislik dergisi

