

Yapı Malzemelerinin Isı İletim Katsayılarının Tespitine Yönelik Yeni Bir Yöntem Geliştirilmesi

Yusuf İŞİKER¹, Bülent YEŞİLATA¹

¹Harran Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa
e-posta: yusuf47@harran.edu.tr, byesilata@harran.edu.tr

Geliş Tarihi: 10.03.2017

Kabul Tarihi: 30.04.2017

Özet

Kompozit yapı malzemelerinin ısı performansının belirlenmesinde önemli zorluklar söz konusudur. Özellikle ısı iletim katsayılarının hassas ve doğru olarak belirlenmesine yönelik standartlaştırılmış bir cihaz bulunmamaktadır. Hali hazırda homojen yapıya sahip malzemeler için kullanılan cihazlarla ölçümler yapılmakta ve düşük doğrulukta sonuçlarla yetinilmektedir. Bu çalışmada kompozit yapı malzemelerinin mutlak ısı iletim katsayısını tespit edebilmek amacıyla yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntem kullanılarak; biri klasik beton ve diğerleri farklı oranda palmye lif katkısı içeren betonlar olmak üzere üç farklı beton numune için ölçümler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, ısı performans davranışı birbirine çok yakın bu üç numuneye ait ısı iletim katsayılarının mevcut yöntemle hassas olarak tespit edilebildiği gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Isıl Özellik Ölçümü; ısı iletim katsayısı; özgül ısı değer; ısı difüzyon katsayısı

Development of a Novel Method for Determination of Heat Conduction Coefficients of Building Materials

Abstract

Significant difficulties are encountered in determining the thermal performance of composite building materials. In particular there is no standardized device for precise and accurate determination of heat transfer coefficients. Currently, measurements are made with devices used for materials with homogeneous structure and only with low accuracy results. In this study, a new method has been developed in order to determine the absolute heat transfer coefficient of composite building materials. Using the developed methods measurements were taken for three different concrete specimens, one being classical concrete and at the other containing concrete with palm-fiber content. The results show that the heat transfer coefficients of these three specimens, of which thermal performance behaviors are very close to each other, can be accurately determined by the method.

Keywords: Thermal Property Measurement; Heat transfer coefficient; Specific heat; thermal diffusion coefficient

1. Giriş

Bir yapı malzemesinin kullanılabilirlik ölçütü onun mekanik davranışı kadar bina ısı yüküne getireceği iyileştirmelerdir. Bunun tespiti ise ancak yapı malzemelerin ısı performansının tümüyle tanımlanmasıyla mümkündür. Bir malzemenin ısı performansını tanımlayan parametreler; ısı iletim katsayısı, özgül ısı ve ısı difüzyon katsayısı şeklinde sıralanabilir [1]. Yapı malzemelerinin heterojen bir yapıya sahip olması yanında, ısı performansı tanımlayan söz konusu üç parametreyi bir arada, ölçen test düzeneklerinin geliştirilmesi yapı malzemelerinin ısı performans açısından değerlendirilmesi önündeki en büyük zorluktur.

Bir binanın proses simülasyonu veya saha uygulamalarının doğru ve güvenilir yürütülebilmesi ancak malzemelerin ısı özelliklerinin doğru ölçülebilmesiyle mümkündür. Büyük çoğunlukla heterojen yapıya sahip olan yapı malzemeleriyle ilgili standartlaşmış bir yöntem olmamasına rağmen homojen katı malzemelerin ısı iletkenlikleri farklı matematiksel ve fiziksel prensip teknikleri kullanarak ölçen birçok yöntem bulunmaktadır [2]. Kompozit (heterojen) malzemeler için ısı iletim katsayısının ölçümü ilgili en eski çalışma Maxwell'in (1873) yaklaşık bir buçuk asır önce yaptığı çalışmadır [bkz 3].

Homojen katı malzemelerin ısı performans testine yönelik ölçüm tekniklerinin birçoğu şematik olarak Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere ısı özellikli ölçüm yöntemleri; sürekli rejim, geçici rejim ve kalorimetrik metotlar olarak üç ana sınıfta değerlendirilebilir [4,5,6]. Bu yöntemlerde, ölçüm numuneleri genellikle plaka, silindir ve küre şeklinde seçilmektedir [3]. Yaygın olan ve nispeten diğerlerine nazaran daha doğru sonuçlar veren sürekli rejim tekniklerinde, genellikle düz yüzeyli kalın levha geometrisindeki nispeten büyük boyutlu numuneler kullanılmaktadır. Sürekli rejimde çalışan ölçüm tekniklerinde numune boyutunun büyüklüğü ve ısı kararlılığın sağlanması gerekliliği nedeniyle test süresi genellikle uzundur. Sıcaklık değişim hızı ise numune malzemesine göre değişmekte olup, özellikle yapı/yalıtım malzemeleri için çok düşüktür [7].

Geçici rejim tekniği ise genellikle küçük numunelerin (filmler, ince levhalar ve dökümler) ölçümü için uygun olup, test süresi daha kısadır [8,9]. Kısa sürede ölçüm yapabilme avantajından dolayı, geçici rejim teknikleri endüstride ve araştırma laboratuvar ortamlarında daha fazla tercih edilebilmektedir [9]. Durağan veya sabit haldeki yöntemlerle karşılaştırıldığında, geçici yöntemlerin bir diğer avantajı ise; ısı iletim katsayısının ölçümü yanında özgül ısı değeri ve ısı yayılım katsayısı gibi termofiziksel parametreleri hakkında da tahmin yapılmasına olanak tanınmasıdır [10].

Geçici rejim tekniği; temas elemanlı ve optik esaslı olmak üzere iki farklı kategoride değerlendirilebilmektedir. Temas elemanlı tekniğin kullanıldığı ölçümlerde, ısı kaynağının geometri ve pozisyonuna bağlı olarak; çizgisel ısı kaynağı (sıcak şerit metodu, sıcak tel metodu ve iğne sensör metodu), düzlemsel ısı kaynağı (doğrusal sinyal, sıcak plaka-doğrusal sinyal ve periyodik sinyal metotları) ve disk ısı kaynağı gibi farklı tekniklerdir.

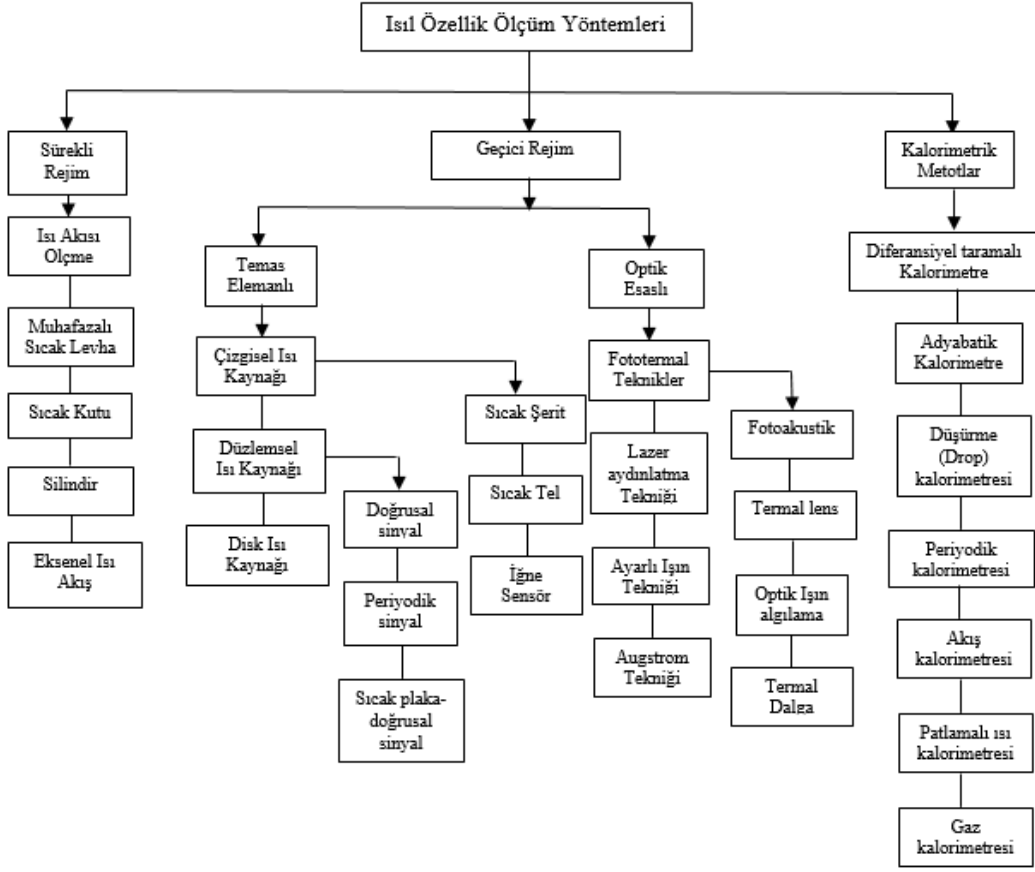
Geçici rejim yöntemleri kapsamına giren optik esaslı ölçüm tekniklerinde ise; test malzemesinin, hacim içerisinde oluşturulan periyodik enerji yada ısı dalgaya karşılık verdiği tepki esasına dayalı ölçüm yapılmaktadır [4].

Katı malzemelerin ısı iletim katsayısını ölçen ve yukarıda kısaca açıklanan tekniklere ek olarak, özgül ısı değerlerinin ölçümüne olanak sağlayan kalorimetrik teknikler ayrı bir kategoride değerlendirilmektedir. Bu amaçla kullanılan başlıca ölçüm cihazları arasında, diferansiyel taramalı kalorimetre, adyabatik kalorimetre, düşüş esaslı kalorimetre, periyodik kalorimetre, Akış kalorimetresi, patlamalı ısı kalorimetresi ve gaz kalorimetresi bulunmaktadır [6].

Yukarıda tanımlanan ölçüm teknikleri homojen morfolojiye sahip izotropik malzemelerde doğru sonuçlar vermektedir. Ancak başta beton esaslı yapı malzemeleri olmak üzere; izotropik olmayan kompozit morfolojiye sahip malzemelerde doğru sonuçlar elde edilememektedir. Bu duruma neden olan en önemli faktörlerden biri, numune boyutunun büyük olması nedeniyle özel sensör dizaynı gerekmektedir. Sensör ile tek bölgede alınan değerler malzemeye ait ortalama değeri temsil etmemektedir. Çok sayıda bölgede ardışık olarak alınması gerekli ölçümler sırasında dış faktörlerin sabit korunamaması gibi riskler söz konusudur.

Söz konusu ölçüm alma ve doğru sonuç elde etme zorluklarını aşmak için çalışma grubumuz tarafından Adyabatik Hazne tekniği geliştirilmiştir [4, 5, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19]. Aynı zaman aralığında deneye tabi tutulan iki yapı malzemesinin ısı performanslarının doğru ve hassas olarak kıyaslanmasına olanak sağlayan yöntemin en büyük eksikliği mutlak sonuç vermemesidir.

Bu çalışmada söz konusu kıyaslamalı yöntem; yeni deneysel ve sayısal prosedürler kullanılarak geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında geliştirilen yeni yöntemin en çarpıcı özelliği karmaşık/kompozit morfolojik yapıya sahip yapı malzemelerinin ısı iletim katsayısını, mutlak olarak hassas bir biçimde belirleyebilmesidir. Deneysel yönetime yönelik açıklamalar ve palmiye lif katkılı kompozit beton kullanılarak yapılan ölçümlere yönelik bulgular aşağıda sunulmuştur.



Şekil 1. Isıl Özellik Ölçüm Yöntemleri [4,5,6,11,12].

2. Materyal ve Yöntem

2.1 Palmiye Lif Katkılı Kompozit Beton Numunelerin Hazırlanması

Kompozit yapı malzemesi olarak Tablo 1'de malzeme oranları verilen betona ek olarak, klasik agregaya iki farklı yüzdesel oranlarda (%1 ve %2) eklenmiş palmiye lif katkılı beton malzeme kullanılmıştır. Dolayısıyla ölçümü yapılan numune sayısı bir adet katkısız ve iki adet katkılı (katkı oranları sırasıyla %0, %1 ve %2) olmak üzere, üç adettir.

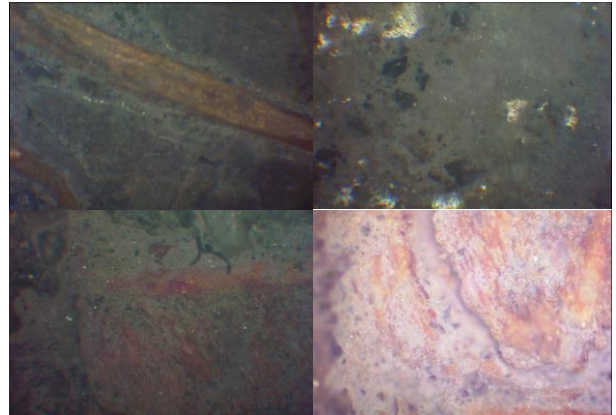
Tablo 1. Beton malzeme oranları ve betonun özellikleri [15].

Çimento (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	S/Ç	Kum (kg/m ³)	Toplam (kg/m ³)
573	242	0.45	1478	2293

Beton numunelerin hazırlanması sırasında kullanılan palmiye lifi ve 43x43x3 cm boyutlarındaki kalıp kullanarak elde edilen son numuneye yönelik görüntüler Şekil 2'de gösterilmiştir.



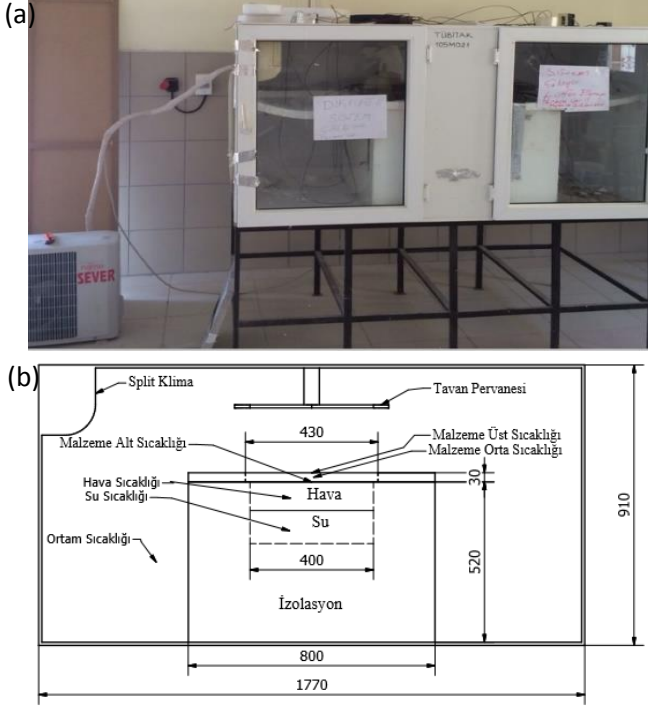
Şekil 2. Numunelerin hazırlanmasına yönelik görüntü. Kompozit yapıya sahip numunelerin yüzey morfolojisi (5X Mikroskopik görüntü alınarak) incelenmiştir. Şekil 3'te sunulan görüntülerden palmiye lif katkısının beton içerisindeki homojen dağılımı teyit edilmiştir.



Şekil 3. Mikroskop görüntüsü.

2.2 Deneysel Düzenek ve Yöntem

Birinci aşamada deneyin yapılacağı ortamın sıcaklığının sabit olması için 1770x885x910 mm boyutlarına sahip bir kontrol odası oluşturulmuştur. Şekil 4'te gösterilen kontrol odasının içerisinde; sabit sıcaklığa ayarlı bir split klima ve odadaki havanın düzgün dağılımını sağlamak için bir adet tavan pervanesi bulunmaktadır.

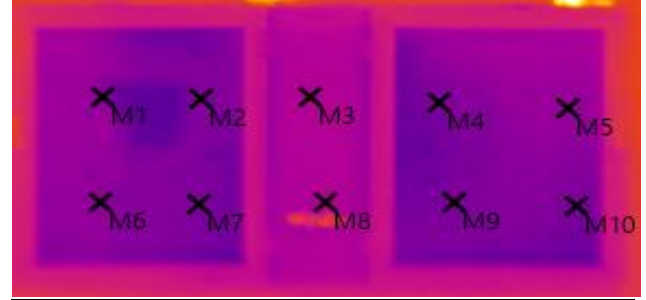


Şekil 4. Kontrol odası ve bileşenlerine ait a.) fotoğraf b.) şematik gösterim.

Kontrol odasının üniform sıcaklık dağılımı deneyler açısından kritik bir öneme sahiptir. Yapılan düzenlemeler sonucunda üniform sıcaklık dağılımı elde edilmiştir. Şekil 5'te kontrol odasına ait termal kamera görüntüleri gösterilmiştir. Görüldüğü üzere üniform sıcaklık dağılımı söz konusudur. Verilen sayısal değerlerden anlaşılacağı üzere; sıcaklık değerlerinde kontrol odasındaki ortalama sıcaklığa kıyasla oluşan sapmalar % 2'nin altında kalmaktadır. Ölçüm cihazının hassasiyeti ($\pm 2^{\circ}\text{C}$) göz önüne alındığında sıcaklık dağılımının üniform kabulü yapılabilir.

Numunelerin ısı performansını belirlemek için kullanılan adyabatik hazne/kutu Şekil 4.b' da şematik olarak gösterilmiştir. Adyabatik hazne yapımı için 80x80x52 cm ebatlarına sahip poliüretan ısı yalıtım bloğu kullanılmıştır. Poliüretan bloğun tam orta noktası merkez alınarak, 20 cm derinliğinde ve

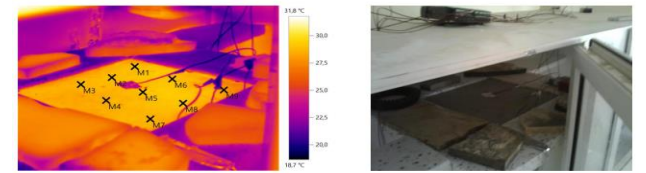
40x40 cm ebatlarında dikdörtgen prizma şeklinde bir hazne oluşturulmuştur. Açılan bu hacim içerisine sıcak su ilave edileceğinden dolayı, aynı boyutlarda ince saçtan oluşan dikdörtgen prizma sıkı geçme ile yerleştirilerek hazne oluşturulmuştur. Bu şartlardaki hazne yanlardan ve alt taraftan iyi bir şekilde izole edildiğinden dolayı, bir boyutlu ısı transferi ilkesine uygun ölçüm yapılmaktadır.



Ölçüm Noktaları	Sıcaklık °C	Ölçüm Noktaları	Sıcaklık °C	Ölçüm Noktaları	Sıcaklık °C
M1	19.0	M5	19.3	M8	20.1
M2	19.0	M6	19.3	M9	18.9
M3	20.0	M7	18.9	M10	18.8
M4	19.0				

Şekil 5. Kontrol odası içerisindeki sıcaklık dağılımına ait termal kamera görüntüsü ve farklı noktalardaki sıcaklık değerleri.

imalatı yapılan adyabatik hazneye yerleştirilen numune yüzeyinde her bölgede kabul edilebilir dengeli bir sıcaklık dağılımının temini gereklidir. Bu nedenle termal kamera ile doğrulama yapılmaktadır. Bu doğrulamaya yönelik görüntü ve farklı noktalardaki sıcaklık değerleri Şekil 6' da gösterilmiştir. Termal görüntü ile ölçülen sayısal değerlerden; sıcaklık dağılımının yüzey üzerinde yeterince homojen olduğu gözlemlenmiştir.



Resim parametreleri:					
Emisyon derecesi: 0.95					
Yans. sic. [°C]: 10.0					
Ölçüm Noktaları	Sıcaklık °C	Ölçüm Noktaları	Sıcaklık °C	Ölçüm Noktaları	Sıcaklık °C
M1	29.0	M4	28.4	M7	28.4
M2	28.9	M5	29.2	M8	28.9
M3	28.7	M6	28.9	M9	28.1

Şekil 6. Adyabatik hazne üst yüzeyindeki sıcaklık dağılımına ait termal kamera görüntüsü ve yüzeyin farklı noktalarındaki sıcaklık değerleri.

2.3. Sayısal Yöntem

İmal edilen adyabatik hazne yanlardan ve alt taraftan iyi bir şekilde izole edildiğinden dolayı bir boyutlu ısı transferi ilkesine uygun ölçüm yapılmaktadır. Genel ısı iletim,

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

eşitliği kullanıldığında; y ve z yönündeki ısı transferinin ihmal edilmesi uygun olacaktır. Ayrıca hazne içerisinde ısı üretimi bulunmadığından eşitlik (1),

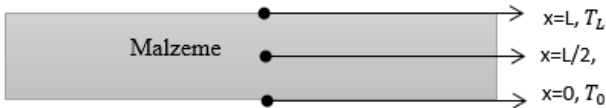
$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2)$$

şeklinde bir boyutlu ve zamana bağlı nispeten çok daha basit forma indirgenmiş olur. Bu eşitliğin genel çözümü,

$$T(x, t) = T_o + \left(\frac{T_1 - T_o}{L}\right)x + \sum_{n=1}^{\infty} c_n e^{-\frac{\alpha n^2 \pi^2 t}{L^2}} \sin\left(\frac{n\pi}{L}x\right) \quad (3)$$

$$c_n = \frac{2}{L} \int_0^L F(x) \sin\left(\frac{n\pi}{L}x\right) dx \quad (4)$$

şeklindedir [20]. Eşitlik (4)' te bilinmeyen F(x) değeri çözüm esnasında T(x,0)=F(x) sınır şartı olarak kullanılarak T(x,t) değerine ulaşılmaktadır. Bu amaçla Şekil 7'de gösterildiği üzere, numune üzerinde x-yönü doğrultusunda üç noktada sıcaklık ölçümü yapılmaktadır. Sıcaklık ölçümleri T-tipi ısı çiftleri (termo-kupl) vasıtasıyla yapılmış olup, çok kanallı veri-kayıt cihazı (Hioki LR8400-20) ile kayıt altına alınmıştır.



Şekil 7. Numune sıcaklık değerlerinin ölçüm noktaları.

Ölçülen sıcaklık değerleri Newton interpolasyon yöntemi için geçerli

$$F(x) = a_0 + a_1(x - x_0) + a_2(x - x_0)(x - x_1) + \dots + a_n(x - x_0)(x - x_1) \dots (x - x_{n-1}) \quad (5)$$

eşitliği kullanılarak f(x) değeri bulunmuştur [21]. Bu değer T(x,t) eşitliğine aktarılarak ısı difüzyon katsayısı (α) belirlenmiştir.

Numunenin mutlak ısı iletim katsayısını belirleyebilmek amacıyla,

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p} \quad (6)$$

eşitliğinde yoğunluk (ρ) ve özgül ısı değerinin (c_p) bilinmesi gereklidir. Yoğunluk, malzemenin hassas tartı ile belirlenen ağırlığının, hacmine bölünmesiyle bulunmaktadır. Yoğunluk belirlemesinden önce numunedeki olası nemin tam elimine edilmesi için etüv içerisinde yaklaşık 4 saatlik yavaş bir ısıtma işlemi uygulanmıştır.

Özgül ısı değerinin bulunması için ise yalıtımlı bir kalorimetre kabı kullanılmıştır. Kalorimetre kabı 21x16.5 cm ebatlarında ve 12 cm derinliğinde poliüretan malzemeden oluşmaktadır. Özgül ısının belirlenmesi için öncelikle kalorimetrenin ısı kapasitesi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır [22-23].

$$H_f = \frac{M_{cw}C_w(T_e - T_{cw}) - M_{hw}C_w(T_{hw} - T_e)}{(T_{hw} - T_e)} \quad (7)$$

Eşitlikte; H_f : Kalorimetrenin ısı kapasitesi (kJ/°C), M_{cw} : soğuk suyun kütlesi (kg), C_w : Suyun özgül ısısı (kJ/kg°C), T_e : Denge sıcaklığı in (°C), T_{cw} : Soğuk suyun sıcaklığı (°C), M_{hw} : Soğuk suyun kütlesi (kg) ve T_{hw} : Sıcak suyun sıcaklığı (°C), parametrelerini göstermektedir.

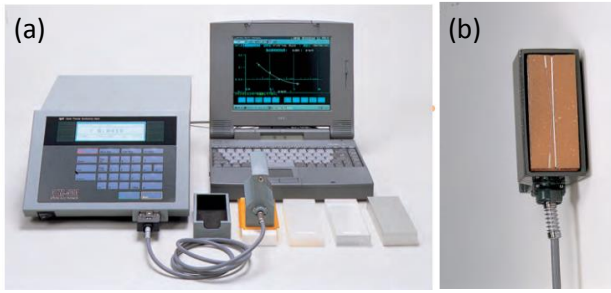
Bu aşamayı takiben numunenin özgül ısı değeri;

$$C_p = \frac{(H_f + M_{cw}C_w)(T_e - T_{cw}) - H_c(T_s - T_e)}{M_s(T_m - T_e)} \quad (8)$$

eşitliğiyle belirlenmiştir [22-24]. eşitlikte T_s : Numune sıcaklığı (°C) ve M_s : Numune kütlesi (kg) parametrelerini göstermektedir.

2.4 Direkt Isı İletim Katsayısı Ölçümü

Numunelerin ısı iletim katsayısı değerleri standart ölçüm cihazı ile ölçülerek, bu çalışma kapsamında geliştirilen yöntem kullanılarak elde edilen değerlerle kıyaslanmıştır. Kullanılan cihaz (Kem QTM 500) ve ölçüm sensörü Şekil 8' de gösterilmiştir. Cihaz Sıcak Tel Yöntemi ile ölçüm yapmakta olup, ASTM 1113-90 standardına sahiptir. Homojen morfolojiye sahip malzemelerde yüksek doğrulukta sonuç vermektedir.



Şekil 8. a. Isı iletkenlik katsayısı ölçüm cihazı, b. Ölçüm sensörü [25].

3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

Numunelerin ısıl performans parametrelerini belirlemek amacıyla adyabatik kutu/hazne yöntemi ile elde edilen zamana bağlı sıcaklık değerleri Şekil 9'da gösterilmiştir. Deney başlangıcında adyabatik hazne içerisindeki su sıcaklığı 50°C, test odası sıcaklığı ise 18-20 °C aralığındadır. Farklı numunelerin farklı zamanlardaki deneyleri sırasında belirtilen başlangıç sıcaklık değerlerinden küçük sapmalar ($\pm 2^\circ\text{C}$) olabilmektedir.

Bu sapmaların direkt kıyaslamaları etkilememesi amacıyla boyutsuz sıcaklık değerleri (θ^*) kullanılmaktadır. Boyutsuz sıcaklık,

$$\theta^* = \frac{T(t) - T_0}{T(t=0) - T_0} = \frac{\theta}{\theta_i} \quad (9)$$

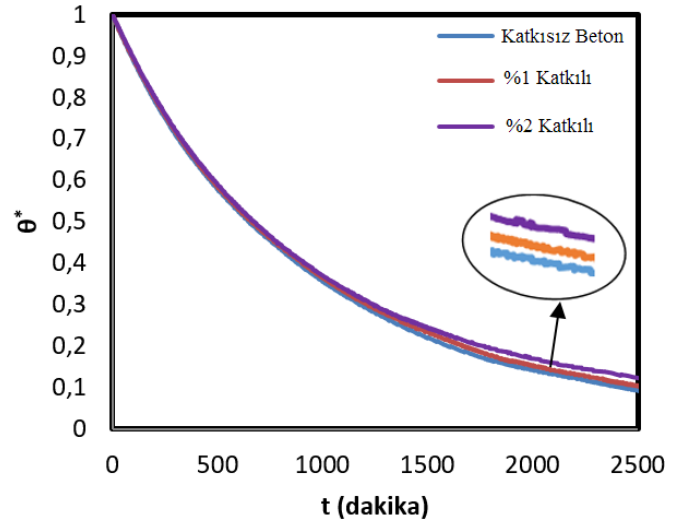
eşitliği ile tanımlanmış olup; $T(t)$: Anlık sıcaklık değeri, T_0 : Kontrol odası ortalama sıcaklık değeri ve $T(t=0)$: test başlangıcındaki su sıcaklık değerini göstermektedir.

Beton yapı malzemelerinin kompozit morfolojiye ve nispeten düşük ısı iletim katsayısına sahip olmaları nedeniyle ısıl performans parametrelerinin ölçümleri genellikle 24 saatten fazla sürmektedir. Bu çalışmada ısıl performans davranışı birbirine yakın numuneler arasındaki ayrımı yüksek doğrulukta sağlamak amacıyla deney süreleri daha uzun tutulmuştur.

Şekil 9'dan görüleceği üzere, palmiye lif katkılı beton numuneler kullanıldığında, adyabatik haznedeki kontrol odasına ısının transfer hızı daha yavaştır. Benzer şekilde daha yüksek oranda palmiye lif katkısı ısı transfer hızını yavaşlatmaktadır. Bu grafik, numunelerin ısı iletim katsayıları arasında niteliksel kıyaslama olanağı sunmakta olup, ölçümü yapılan üç numune arasında en yüksek ısı iletim katsayısı

katkısız betona, en düşük ısı iletim katsayısı ile %2 palmiye lifi katkılı betona aittir.

Bu çalışmada sunulan yöntemin en çarpıcı özelliği karmaşık/kompozit morfolojik yapıya sahip yapı malzemelerinin ısı iletim katsayısını mutlak olarak hassas bir biçimde belirleyebilmesidir. Kompozit yapı malzemelerinin ısı iletim katsayısını belirlemeye yönelik standartlaştırılmış bir cihaz ticari pazarda bulunmadığından, homojen morfolojiye sahip malzemelerin ölçümünü yapan cihazlar kullanılarak yaklaşık doğrulukta sonuçlara ulaşılmaktadır.



Şekil 9. Numunelere ait boyutsuz sıcaklık değişimleri

Bu çalışmada da numunelerin ısı iletim katsayıları arasındaki niteliksel trendi kontrol etmek amacıyla benzer yaklaşım sergilenmiştir. Öncelikle Bölüm 2.2 ve 2.3'te belirtilen aşamalar kullanılarak teste tabi tutulan her üç numunenin de ısı iletim katsayısı belirlenmiş ve daha sonra Bölüm 2.4'te tanımlanan ısı iletim katsayısı ölçme cihazı ile elde edilen değerlerin kıyaslaması yapılmıştır. Bu kıyaslamaya yönelik değerler Tablo 2' de verilmiştir. Yapılan kıyaslamada geliştirilen yöntem ile alınan ölçümler standart ölçüm cihazı ile alınan ölçümlerde katkısız betonda %5.4, %1 palmiye lifi katkılı betonda %11.45 ve %2 palmiye lifi katkılı betonda ise %12.91 sapma meydana gelmektedir.

Tablo 2. Isı iletim katsayısı ölçüm sonuçlarının kıyaslanması

Numune adı	Adyabatik Hazne Yöntemi (W/mK)	Cihaz ile direkt ölçümü (W/mK)	sapma (%)
Palmiye %0 Katkılı	1.4502	1.533	5.4
Palmiye %1 Katkılı	1.284	1.450	11.45
Palmiye %2 Katkılı	1.2079	1.387	12.91

Elde edilen sonuçlar; bu çalışmada önerilen yöntemin numunelerin ısı performans trendlerini doğru yönde belirlediğini göstermektedir. Sayısal değerler açısından değerlendirildiğinde, %1 ve %2 palmiye lifli beton numunelerin ısı iletim katsayıları arasındaki çok küçük farkı belirleyebilecek düzeyde hassas ölçüme olanak vermektedir. Direkt ısı iletim katsayısı ölçüm cihazı ile elde edilen sonuçlara kıyasla oluşan sapmaların düzeyi, palmiye lif katkılı betonlarda daha yüksektir. Palmiye lif katkısı numune morfolojisini daha karmaşık/kompozit yapıya sürüklediğinden, söz konusu ticari cihaz ile istenen seviyede ölçüm doğruluğu/hassasiyeti sağlanamamaktadır.

4. Bulguların Değerlendirilmesi

Kompozit yapı malzemelerinin ısı performansının belirlenmesinde önemli zorluklar söz konusudur. Özellikle ısı iletim katsayılarının hassas ve doğru olarak belirlenmesine yönelik standartlaştırılmış bir cihaz bulunmamaktadır. Hali hazırda homojen yapıya sahip malzemeler için kullanılan cihazlarla ölçümler yapılmakta ve düşük doğrulukta sonuçlarla yetinilmektedir. Söz konusu bu ticari cihazların temin edilme maliyeti de çok yüksektir (kullanılan yöntemle bağlı olarak 30,000 – 100,000 USD aralığında). Ülkemizde yapı malzemeleri eğitim ve araştırma çalışmaları yürüten birçok laboratuvar bu dezavantajlardan etkilenmektedir.

Bu çalışmada geliştirilen özgün bir yöntem vasıtasıyla, adyabatik hazne tekniği kullanılarak, kompozit yapı malzemelerinin mutlak ısı iletim katsayısı tespit edilebilmektedir. Önerilen yöntem vasıtasıyla ısı performans davranışı birbirine yakın üç numunenin ısı iletim katsayıları yüksek bir hassasiyetle belirlenebilmiştir. Kullanılan test düzeneğinin basit imal edilebilmesi ve ekonomik olması, önerilen yöntemin diğer önemli avantajları arasındadır.

Mevcut yöntemin standart bir ölçüm cihazına dönüştürülebilme potansiyeli yüksek olup, bu konudaki çalışmalarımız devam etmektedir. Belirtilen hedefe ulaşıldığı takdirde ithal ölçüm cihazlarına bağımlılık azalabileceği gibi, kompozit yapı malzemelerinin ölçümleri daha yüksek doğrulukta yapılabilecektir.

Teşekkür

Makina Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Zeynel A. Fıratoglu'na bu çalışmaya sağladığı teknik katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1]. A. Bouguerra, A. Ait-Mokhtar, O. Amiri, M. B. Diop, "Measurement of thermal conductivity, thermal diffusivity and heat capacity of highly porous building materials using transient plane source technique" *Int. Comm Heat Mass Transfer*: vol. 28, NO. 8, pp. 1065-1078, 2001.
- [2]. V. Kocí, J. Madera, M. Jerman, A. Trník, R. Cerný, "Determination of the equivalent thermal conductivity of complex material systems with large-scale heterogeneities", *International Journal of Thermal Sciences*, pp. 365-373, 2014.
- [3]. I. Andrianov, V. Danishevskiy, S. Tokarzewski, "Two-point quasifractional approximants for effective conductivity of a simple cubic lattice of spheres", *J. Heat Mass Transfer*, vol. 39, No. 11 pp. 2349-2352, 1996.
- [4]. B. Yeşilata, P. Turgut, Y. İşiker, "Kompozit yapı malzemelerinde ısı özellik ölçümü-1: Mevcut ölçüm tekniklerinin irdelenmesi", *Mühendis ve Makina*, 48 (654), 2-9, 2007.
- [5]. Y. İşiker, P. Turgut, B. Yeşilata, "Hurda otomobil lastiği katkılı betonlarda geçici rejimde ısı özellik ölçümü", *ULIBTK'07 16. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, Kayseri, 2007.
- [6]. H. Czichos, T. Saito, L. Smith (Eds.), "Springer handbook of metrology and testing", *Springer Handbook*, 2011.
- [7]. M. Rides, J. Morikawa, L. Halldahl, B. Hay, H. Lobo, A. Dawson, C. Allen, "Intercomparison of thermal conductivity and thermal diffusivity methods for plastics" *Polymer Testing*, vol. 28, pp. 480-489, 2009.
- [8]. W. Nunes dos Santos, *Advances on the hot wire technique*, *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 28, pp. 15-20, 2008.
- [9]. C. Jensen · C. Xing · C. Folsom · H. Ban · J. Phillip, "Design and validation of a high-temperature comparative thermal-conductivity measurement system", *International Journal of Thermophysics* vol. 33, pp. 311-329, 2012.
- [10]. V. Boháč, M. Gustavsson*, L. Kubičár, V. Vretenár, "Measurements of building materials by transient methods", *Proceedings of the meeting of the Thermophysical Society—Working Group of the Slovak Physical Society*, pp 58-66, 2003
- [11]. K. S. Sekhu and P. Singh, "Various methods for measuring thermal conductivity-a review, *IJRDO-Journal Of Mechanical And Civil Engineering*, vol. 1 Issue 5, pp. 17, 2015.
- [12]. C. F. Eithun, "Development of a thermal conductivity apparatus: Analysis and design" *Master of Science in*

- Product Design and Manufacturing, Norwegian University of Science and Technology Department of Energy and Process Engineering, 2012.
- [13]. B. Yesilata, Y. Isiker, P. Turgut, "Thermal insulation enhancement in concretes by adding waste PET and rubber pieces", *Construction and Building Materials*, vol. 23, Issue. 5, pp. 1878-1882, 2009.
- [14]. P. Turgut, B. Yesilata, "Physico-mechanical and thermal performances of newly developed rubber-added bricks", *Energy and Buildings*, vol. 40, Issue 5, pp. 679-688, 2008.
- [15]. P. Turgut, Y. Işiker, B. Yeşilata, "Kompozit yapı malzemelerinde ısı özellik ölçümü-2: Hurda lastik katkıli betonlar için ısı özellik ölçümü", *Mühendis ve Makina*, cilt 48, sayı 565, sy. 33-39, 2007.
- [16]. P. Turgut, B. Yeşilata, "Atık Lastik katılmış harçların Isı Yalıtım Özelliği", *Politeknik Dergisi*, cilt 8, sayı 2, sy. 173-177, 2005.
- [17]. B. Yesilata, Y. Isiker, P. Turgut, "Thermal insulation enhancement in concretes by adding waste PET and rubber pieces", *Construction and Building Materials*, vol. 23, Issue 5, pp.1878-1882, 2009.
- [18]. B. Yesilata, P. Turgut, "A simple dynamic measurement technique for comparing thermal insulation performances of anisotropic building materials", *Energy and Buildings*, vol. 39, Issue 9, pp. 1027-1034, 2007.
- [19]. B. Yeşilata, P. Turgut, Y. Işiker, , "Atık polimerik malzeme katkıli betonun yalıtım özelliğinin deneysel olarak incelenmesi", *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, cilt 26, sayı 1, sy. 15-20, 2006.
- [20]. <http://www.ewp.rpi.edu/hartford/~wallj2/CHT/Notes/ch05.pdf> (Erişim tarihi: 02/01/2017)
- [21]. <http://nptel.ac.in/courses/122104019/numerical-analysis/Rathish-kumar/rathish-ct31/fratnode5.html> (Erişim tarihi: 02/01/2017).
- [22]. R. İnce, "Bazi Yağlı Tohumların Isısal Özelliklerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma" Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2008.
- [23]. S. M. A.Razavi, M. Taghizadeh, "The Specific Heat of Pistachio Nuts as Affected by Moisture Content, temperature and variety". *Journal of Food Engineering*, vol. 79, pp. 158-167, 2007.
- [24]. N. N. Mohsenin, "Thermal properties of food and agricultural materials", Gordon and Breach Science Publishers Inc. ISBN 0 677054505. New York. s: 407, 1980.
- [25]. <http://www.kyoto-kem.com/en/pdf/catalog/QTM-500.pdf> (Erişim tarihi: 02/01/2017)