

ULIBTK07-091b

## HURDA OTOMOBİL LASTİĞİ KATKILI BETONLARDA GEÇİCİ REJİMDE ISIL ÖZELLİK ÖLÇÜMÜ

Yusuf IŞIKER<sup>1</sup>, Paki TURGUT<sup>2</sup> ve Bülent YEŞİLATA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa  
Telefon: (414) 3440020/1094, Faks: (414) 3440031, e-posta: [byesilata@harran.edu.tr](mailto:byesilata@harran.edu.tr)

<sup>2</sup>Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa  
Telefon: (414) 3440020/1109, Faks: (414) 3440031, e-posta: [turgutpaki@harran.edu.tr](mailto:turgutpaki@harran.edu.tr)

### ÖZET

Katı malzemelerin ısı özelliklerinin doğru olarak belirlenmesi, malzemenin kullanıldığı uygulamada arzu edilen optimum performansa ulaşmak açısından oldukça önemlidir. Uzun yıllardır bu amaçla geliştirilen birçok ölçüm tekniği bulunmaktadır. Bu çalışmada, kompozit yapı elemanlarının geçici rejimdeki ısı testleri için geliştirilen adyabatik-hazne tekniğini kullanılarak, hurda lastik katkısının beton ısı yalıtım özelliği üzerindeki etkisi araştırılmaktadır. Elde edilen sonuçlar; hurda lastik katkı miktarına bağlı olarak, beton yalıtım özelliğinde %8 ile %25 oranında iyileşme sağlanabileceğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kompozit beton; Isıl özellik; Adyabatik hazne tekniği

### ABSTRACT

Measuring or estimating thermal properties of anisotropic building materials can be key obtaining the optimum performance for a particular application. Over the years a number of measurement techniques have been developed for this purpose. In this study, the effect of scrap tire-rubber addition on concrete insulation behavior is investigated by using the adiabatic-box technique developed for transient thermal testing of building composites. The results reveal that the percentage-wise improvement on insulation behavior varies between 8% and %25, depending on the amount of scrap-rubber added into concrete.

**Keywords:** Composite concrete; Thermal property; Adiabatic box technique

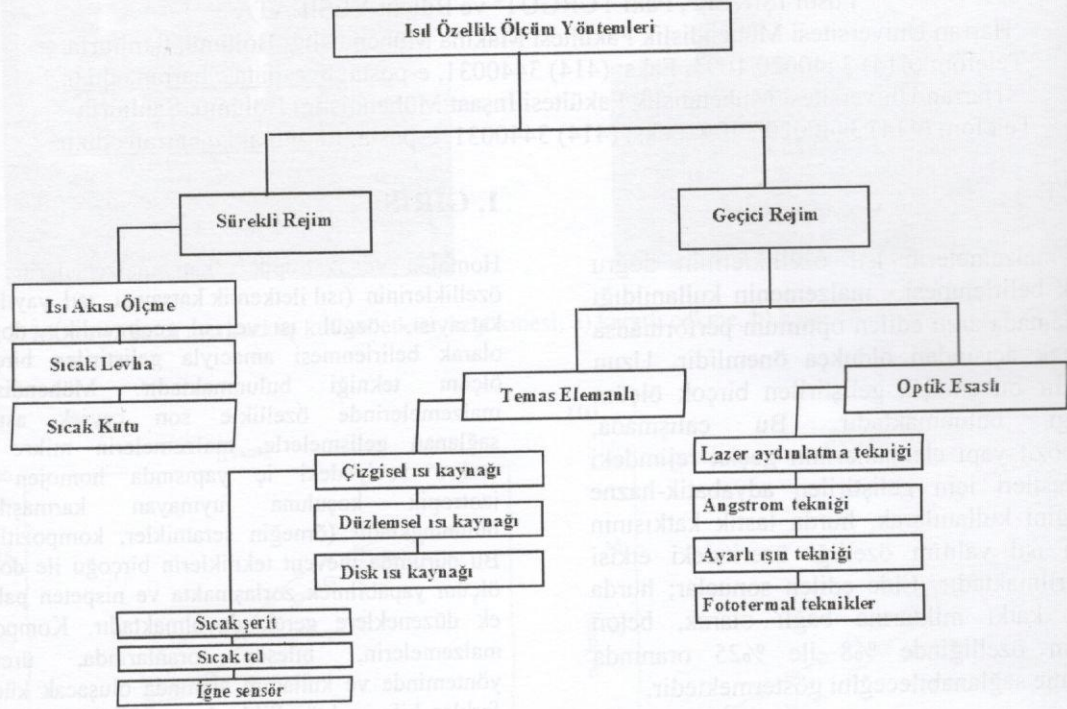
### 1. GİRİŞ

Homojen ve izotropik katı malzemelerin ısı özelliklerinin (ısı iletkenlik katsayısı, ısı yayılma katsayısı, özgül ısı ve ısı geçirgenlik) doğru olarak belirlenmesi amacıyla geliştirilen birçok ölçüm tekniği bulunmaktadır. Mühendislik malzemelerinde özellikle son çeyrek asırda sağlanan gelişmelerle, malzemelerin mikro ve makro seviyedeki iç yapısında homojen ve izotropik koşuluna uymayan karmaşıklar bulunmaktadır (örneğin seramikler, kompozitler). Bu durumda mevcut tekniklerin birçoğu ile doğru ölçüm yapabilmek zorlaşmakta ve nispeten pahalı ek düzeneklere gerek duyulmaktadır. Kompozit malzemelerin, bileşen oranlarında, üretim yönteminde ve kullanım alanında oluşacak küçük farklar bile, ısı özelliklerde önemli sayılabilecek oranda değişime sebep olabileceğinden, ısı özellikler için literatürde verilen hazır tablolardan yararlanma olanağı da yoktur. Bu nedenle, kompozit malzemelerde ısı özelliklerin doğrudan ölçümü gereklidir (Yeşilata ve Turgut, 2007).

Kompozit yapı malzemelerinin ısı özellik ölçümünde yukarıda bahsedilen zorluklara ek olarak, ısı iletim katsayılarının düşüklüğü sebebiyle, büyük boyutlarda test numunesi kullanımı gereklidir. Kompozit yapı içerisinde sıcaklık ölçüm noktalarının doğru seçimi ve yorumlanması gereklidir. Bu nedenle yapı malzemeleri için, uygulama esnasında karşılaşılan sıcaklık aralıklarındaki ısı iletim katsayısı değerinden ziyade, ısı geçirgenlik (ya da toplam ısı transfer katsayısı) değerinin ölçülmesi daha fazla tercih edilebilmektedir. Kompozit yapı elemanlarının ısı özelliklerinin belirlenmesinde, yaygın olarak kullanılan mevcut teknikleri daha etkin ve doğru uygulama yönünde çalışmalara ek olarak, yeni yöntem arayışları da güncel konular arasındadır (Yeşilata ve Turgut, 2005; Yeşilata ve vd., 2006).

İleri mühendislik malzemelerinin ısı özellik ölçümünde kullanılan yaygın tekniklere ait şematik sınıflandırma Şekil 1'de gösterilmiştir. Ölçüm teknikleri 'sürekli' ve 'geçici rejim' altında yapılan ölçümler olarak iki ana başlıkta incelenebilmektedir (Yeşilata vd., 2007). Isıl özelliklerin ölçümü için

geliştirilen yöntemlerin en eskileri genellikle 'Sürekli Rejim Yöntemleri' kapsamındadır. Söz konusu yöntemlerin önemli bir kısmı standartlaştırılmış olup, halen yaygın olarak kullanılmaktadır (ASTM 2000a ve 2000b).



Şekil 1. Kullanımı yaygın ısıl özellik ölçüm tekniklerinin şematik sınıflandırılması.

Sürekli Rejim Yöntemleri'nin temeli bir boyutlu Fourier ısı iletim denkleminin dayanmaktadır. Belirli kalınlıkta test numunesinin her iki yüzeyinde arzu edilen sıcaklık farkının yaratılması sonucu, numuneden geçen ısı akışının kontrol ve ölçümüyle, test numunesinin ısı iletim katsayısı belirlenebilmektedir. Sürekli Rejim esasına göre ölçüm yapan tekniklerin en yaygın kullanılanları Şekil 1'de gösterilen; 'Isı Akışı Ölçme', 'Sıcak Levha' ve 'Sıcak Kutu' teknikleridir (Mumaw, 1974, Mumav, 1980).

Daha yüksek sıcaklık ve ısı iletim katsayısı aralığında, daha hızlı ölçüm yapabilmek için geliştirilen tekniklerin büyük çoğunluğu ise 'Geçici Rejim Yöntemleri' kapsamına girmektedir. Söz konusu yöntemlerin temelinde dinamik (zamana göre değişen) ölçüm yaklaşımı bulunmaktadır. Ölçüm; katı hacim içerisinde ısı üretimi oluşturmak için gönderilen elektriksel sinyal ile, malzeme içerisinde belirlenen bir noktadaki sıcaklık-zaman davranışının karşılaştırılması esasına göre yapılmaktadır (Gustafsson, 1991). Bu kapsamda kullanılan tekniklerin önemli bir kısmı son dönemlerde geliştirilmiştir. Özellikle, mühendislik malzemesi teknolojisindeki hızlı gelişmeye paralel olarak, aynı hızla gelişmeyi sürdüren 'Temas Elemanlı Geçici Rejim Yöntemleri' konusunda

yoğun çalışmalar söz konusudur. Söz konusu yöntemlerle, kompozitler, seramikler ve süper iletkenler gibi homojen ve izotropik olmayan yapıdaki malzemelerin ısıl özellikleri belirlenebilmektedir. Ölçüm hızı çok yüksek olmakla birlikte, kullanılan aparatların maliyeti çok yüksektir. Ayrıca, düşük ısı iletim katsayısına sahip malzemeler için kullanımında ek tedbirlerin alınması gereklidir (Gustafsson ve Long, 1995).

Geçici Rejim Yöntemleri kapsamına giren diğer yaygın teknikler, optik esasa dayalı düzenekler içermektedir. Bu tür teknikler, hassas ölçümler yapabilmekle birlikte, çok pahalı bileşenler içermektedir. Deney numunesinin, hacim içerisinde oluşturulan periyodik enerji ya da ısıl dalgaya karşı verdiği tepki ölçümünün esasını oluşturmaktadır. Bu kapsamda en yaygın kullanılan teknik, 'Lazer Aydınlatma Tekniği' olup, çok geniş sıcaklık aralığında (170 K and 2900 K) ölçümler yapılabilmektedir. Ölçüm için, test numunesi bir fırın içerisine yerleştirilerek üniform bir sıcaklığa kadar ısıtılmakta ve numunenin bir yüzeyine kısa süreli (1ms veya daha az) bir aydınlatma sinyali lazer ile gönderilmektedir. Numunenin diğer yüzeyinde bu sinyalden dolayı oluşan dinamik sıcaklık artışı bir kızıl ötesi detektör ile belirlenerek, ısıl yayılım katsayısı

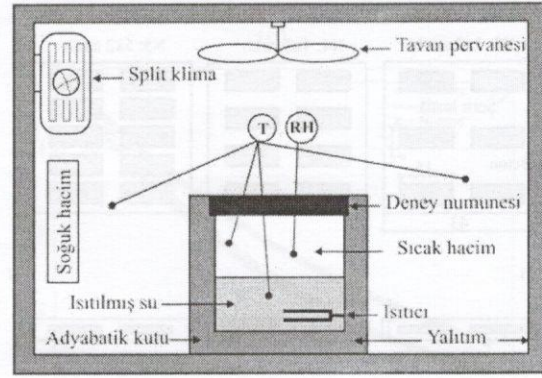
hesaplanabilmektedir. Söz konusu teknik, aşırı pahalı olması nedeniyle, çok ileri düzey uygulamalarda kullanılan malzemelerin (elmas, seramik ve çok katmanlı uçak türbini malzemeleri) ölçümünde kullanılmaktadır (Brauer ve vd., 1992).

Bu çalışmada; kompozit yapı elemanlarının geçici rejim koşullarında ısı testleri için geliştirilen 'adyabatik-hazne tekniği' kullanılarak, farklı miktar ve dizilişlerde hurda lastik katkısının beton yalıtım özelliği üzerindeki etkisi araştırılmaktadır.

## 2. MATERYAL VE METOT

Ölçümlerde kullanılan adyabatik-hazne tekniği uygulaması şematik olarak Şekil 2'de gösterilmektedir. Düzenegın temel elemanı, içinde elektrikli ısıtıcı bulunan ve üst yüzeyi dışında diğer tüm (yan ve taban) yüzeyleri çok iyi izole edilmiş (adyabatik) bir haznedir. Hazne, bir split klima sistemiyle soğutulan küçük bir hacim içerisine yerleştirilmektedir. Soğuk oda görevi yapan bu hacimde, hava sıcaklık ve neminin homojen dağılımı için klima fanına ek olarak bir de tavan pervanesi bulunmaktadır. Adyabatik haznenin cidarları, 0.4 mm kalınlığında paslanmaz çelik saclar arasında, 15 cm kalınlığında poliüretan malzeme yerleştirilerek, mükemmel bir ısı yalıtımı sağlanmıştır. Açık olan üst (tavan) yüzeye ısı geçirgenliği belirleme amacıyla deney numunesi yerleştirilmektedir. Deney numunesinin yan yüzeylerden ısı kaybını engellemek için, etrafı 13 cm yalıtım malzemesi bulunan bir çerçeve ile kapatılmaktadır. Çerçeve yüksekliği, 8 cm kalınlığa kadar olan malzemelerin testine elverişli konumdadır.

Adyabatik hazne içerisinde bulunan sabit seviyedeki su, belirlenmiş bir sıcaklığa kadar ısıtıldıktan sonra enerji kesilmekte ve üst yüzeyi kompozit deney numunesi ile kapatılarak hacim içerisinde zamana bağlı sıcaklık değişimi ölçülmektedir. Bu şekilde bir tasarım, depo içerisinde ısıtılan suyun, soğuk hacme doğru sadece deney numunesinin bulunduğu yüzeyden ısı transfer ederek soğumasına sebep olmaktadır. Aynı kalınlığa sahip farklı deney numuneleri kullanarak, suyun soğuma sürelerinin kıyaslanması, deney numunelerinin toplam ısı geçirgenliklerinin kıyaslanmasına olanak tanımaktadır (Yeşilata ve Turgut 2005, Yeşilata ve vd., 2006).

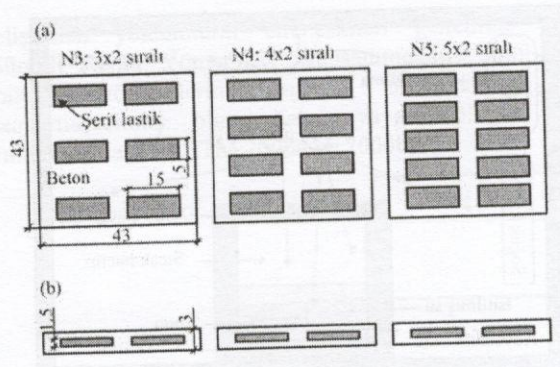


Şekil 2. Adyabatik hazne düzenegının şematik gösterimi (T: sıcaklık sensörü, RH: nem sensörü).

Deney süresince, soğuk hacim içerisinde üç farklı noktadan ve sıcak hacim içerisinde bir noktadan, ısı çift sensörleri ve çok kanallı bir sıcaklık ölçme cihazı (Consort T51) vasıtasıyla anlık sıcaklık değerleri  $\pm 1^\circ\text{C}$  doğrulukla belirlenebilmektedir. Adyabatik kutu içerisindeki su sıcaklığı için, istenilen zaman aralıklarında sıcaklık değerlerini kaydeden ve RS 132 bağlantısıyla bilgisayar ortamına aktaran çok hassas ( $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ) bir sıcaklık ölçer (Testo 171-1) kullanılmaktadır. Sıcak ve soğuk hacimdeki hava nemi çift kanallı bir nem ölçer (Testo 175-2) vasıtasıyla belirlenmektedir. Su sıcaklığı istenilen değere ulaştığı anda ısıtıcı kapatılmakta ve data ölçüm-kayıt işlemleri bu andan ( $t=0$ ) itibaren geçerli hale gelmektedir. Soğuk hacim içerisinde farklı noktadaki sıcaklık dalgalanmalarının seviyesi  $\pm 2^\circ\text{C}$  sınırları içerisinde tutulabilmektedir. Deney sırasında tüm sıcaklıklar 10 dakika aralıkla ve yaklaşık 20 saat boyunca ölçülerek, bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Deneylerin uygulanması ile ilgili geniş bilgi diğer çalışmalarda (Yeşilata vd., 2007, Turgut vd. 2007) mevcuttur.

## 3. DENEYSEL SONUÇLAR

Deneylerde kullanılan hurda lastik katkılı test numunelerine ait geometrik boyutlar Şekil 3'te gösterilmiştir. Şekilde gösterilen ve sırasıyla  $3 \times 2 \times 4$  ve  $5 \times 2$  sıralı lastik dizilimine sahip numuneler, metin içinde, N3, N4 ve N5, içerisinde lastik katkısı bulunmayan klasik beton ise N0 olarak isimlendirilmektedir. Numunelerde kullanılan agrega olarak kullanılan kumun granülometrisi TS 706'ya uygun olarak hazırlanmış olup, beton karışımına ait özellikler Tablo 1 de verilmiştir.



Şekil 3. Hurda lastik katkıli beton numunelere ait geometrik boyutlar, (a) Numune kesitleri üstten görünüş (b) Numune kesitleri yandan görünüş.

Tablo 1. Beton karışım oranları

Çimento (kg/m <sup>3</sup> )	Su (kg/m <sup>3</sup> )	S/Ç	Kum (0-7mm) (kg/m <sup>3</sup> )	Çökme (cm)
573	242	0.45	1478	1.5

Lastik katkıli beton numuneleri oluşturmak için, önce beton harcı yüksekliği 1.5 cm olacak şekilde kalıba dökülüp vibratör ve tokmak yardımıyla uygun bir şekilde sıkıştırılmaktadır. Daha sonra hurda şerit lastik parçaları, Şekil 3'te gösterilen dizilişlerde, beton harcı üzerine yerleştirilmektedir. Son aşamada ise, 1.5 cm daha harç tabakası dökülerek, arzulanan 3 cm kalınlıktaki kompozit beton yapı elde edilmektedir. Katkısız normal betonun oluşturulmasında ise, harç tek kademe kalıba döküldükten sonra, uygun şekilde sıkıştırılarak istenen 3 cm kalınlık elde edilmektedir. Bu aşamaları takiben, tüm numuneler fiskiye sulama sistemi kullanılarak arazide 28 günlük kür işlemine tabii tutulmaktadır.

Mevcut numunelerle yapılan ısıl deneylerin sonuçları Şekil 4(a)'da gösterilmektedir. Düşey ekseninde gösterilen boyutsuz sıcaklık,

$$\theta^* = \frac{T - T_o}{T_i - T_o} = \frac{\theta}{\theta_i} \quad (1)$$

denklemleri ile tanımlanmakta olup, denklemlerdeki  $T=T(t)$  ve  $T_i=T(t=0)$  sırasıyla deney başlangıcındaki

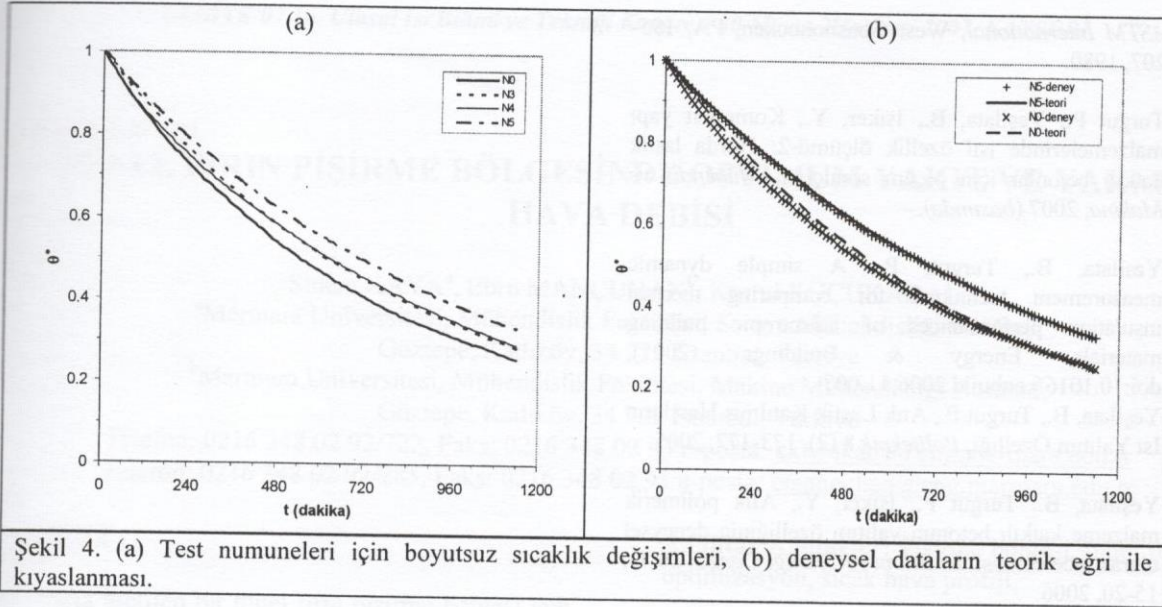
ve herhangi bir 't' anındaki hazne içi su (sıcak ortam) sıcaklığını,  $T_o$  ise soğuk ortam sıcaklığının zamansal ortalamasını temsil etmektedir. Hazne içi su sıcaklığının bir boyutlu ve zamana bağlı değişimini bulmak için; sistem enerjisindeki değişim ( $mc d\theta/dt$ ) ile soğuk odaya kaybedilen ısı enerjisinin ( $UA\theta$ ) eşitlenmesi gereklidir. Elde edilen diferansiyel denklem,  $t=0$  için  $T=T_i$  sınır şartı uygulanarak çözüldüğünde,

$$\theta^* = \exp\left(-\frac{UA}{mc}t\right) \quad (2)$$

elde edilmektedir. Denklemlerdeki  $m$  ve  $c$  sırasıyla hazne içindeki suyun kütlesi ve özgül ısısını,  $U$  ve  $A$  sırasıyla, sistemin toplam ısı transfer katsayısı ile toplam ısı transfer yüzeyini,  $t$  ise deney başlangıcından itibaren geçen zamanı göstermektedir. (1) denklemindeki tüm parametreler deneysel olarak ölçülebilmektedir. (2) denklemindeki ' $U$ ' dışındaki diğer parametrelerin değerleri de bilinmektedir. (1) ve (2) denklemlerinin eşitliğinden hareketle, her bir numune için Şekil 4'te gösterilen eğriyi en doğru şekilde temsil eden ' $U$ ' değeri bulunabilmektedir. Matlab programlama dilinde yazılan basit bir program ile tespit edilen ' $U$ ' değerleri Tablo 2'de sunulmuştur. Söz konusu ' $U$ ' değerleri kullanılarak çizilen teorik eğri ile deneysel dataların oluşturduğu eğri arasındaki standart sapma değerleri de Tablo 2'ye eklenmiştir. Teorik model ile deneysel datalar arasındaki kabul edilebilir seviyedeki uyum; Şekil 4(b)'de (N0 ve N5 numuneleri için) grafiksel olarak gösterilmiştir.

Tablo 2. Hurda lastik katkıli betonlar için denklem (2) ile hesaplanan ' $U$ ' değerleri

Numuneler	$\sigma$	$U$	$U/U_{N0}$
N0	0.009121	1.69	-
N3	0.003485	1.55	0.92
N4	0.009373	1.51	0.89
N5	0.002745	1.27	0.75



Şekil 4. (a) Test numuneleri için boyutsuz sıcaklık değişimleri, (b) deneysel dataların teorik eğri ile kıyaslanması.

#### 4. SONUÇLAR

Kompozit yapı malzemelerinin ısı geçirgenlik değerlerinin tahmin ve kıyaslanmasına yönelik olarak geliştirilen adyabatik hazne tekniği ile; farklı miktar ve dizilişlerde hurda lastik katkılı beton numunelerin toplam ısı transfer katsayısı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Uygulanan test koşulları tüm numuneler için tamamen aynı olduğundan; toplam ısı transfer katsayıları arasındaki oran, numunelerin yalıtım performansları ile direkt ilişkilidir. Bu durumda Tablo 2' deki  $U/U_{N0}$  oranlarının, yalıtım özelliğindeki yüzdesel iyileşme açısından bir ölçüt olarak değerlendirilmesi mümkündür. Numunelerin yalıtım davranışındaki iyileşme; hurda lastik katkısının artışıyla, doğrusal olmayan bir şekilde artmaktadır. Hurda lastik katkısıyla sistemin toplam ısı transfer katsayısında sağlanan iyileşme, %8 ile %25 arasında değişmektedir. Toplam ısı transfer katsayısı; haznenin yan ve taban yüzeylerinden (düşük miktarlarda da olsa) kaybedilen ısı miktarlarını da içerdiğinden, deney numunelerine ait ısı transfer katsayılarındaki yüzdesel iyileşme miktarlarının daha iyi olması beklenmektedir. Bu yöndeki hesaplama çalışmalarımız halen devam etmektedir.

Otomobil lastiği katkısının, betonların yalıtım özelliğinde sağladığı iyileşme, binalarda yaygın kullanımı için tek başına yeterli bir özellik değildir. Mevcut çalışmanın kapsamını aşan, diğer ısı (özgül ısı kapasitesi, ısı yayılma gibi), mekanik (basma ve çekme dayanımı, aşınma gibi) ve kullanılabilirlik (su emme, kuruma hızı gibi) özellikleri üzerindeki etkilerinin de araştırılması gereklidir.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya, TÜBİTAK (Proje No: 105M021) tarafından sağlanan desteğe teşekkür ederiz.

#### 5. KAYNAKLAR

ASTM 2000a, Standard test method for steady-state heat flux measurements and thermal transmission properties by means of the guarded-hot-plate apparatus, *Annual Book of ASTM Standards* (04.06), C 177-197, 2000.

ASTM. 2000b, Standard test method for steady-state thermal performance of building assemblies by means of a guarded hot box, *Annual Book of ASTM Standards* (04.06), C 236-289, 2000.

Brauer, G., Dusza, L., and Schulz, B., New Laser Flash Equipment LFA 427, *Interceram* 41, 489-492, 1992.

Gustafsson, S.E., Long, T., Transient Plane Source (TPS) Technique for Measuring Thermal Properties of Building Materials, *Fire and Material* 19, 43-49, 1995.

Gustafsson, S.E., Transient plane source technique for thermal conductivity and thermal diffusivity measurements of solid materials, *Rev Sci Instrum* 62, 797-804, 1991.

Mumaw, J.R., Heat Transmission Measurements in Thermal Insulations, ASTM STP 544, Ed. R P Tye, *ASTM International*, West Conshohocken, PA, 193-211, 1974.

Mumaw, J.R., Thermal Insulation Performance, ASTM STP 718, Eds D L McElroy and R P Tye,

ASTM International, West Conshohocken, PA, 195-207, 1980.

Turgut P., Yeşilata, B., Işiker, Y., Kompozit yapı malzemelerinde ısı özellik ölçümü-2: Hurda lastik katkılı betonlar için ölçüm sonuçları, *Mühendis ve Makina*, 2007 (basımda).

Yeşilata, B., Turgut, P., A simple dynamic measurement technique for comparing thermal insulation performances of anisotropic building materials, *Energy & Buildings* (2007), doi:10.1016/j.enbuild.2006.11.007

Yeşilata, B., Turgut P., Atık Lastik Katılmış Harçların Isı Yalıtım Özelliği, *Politeknik* 8 (2), 173-177, 2005.

Yeşilata, B., Turgut P., Işiker, Y., Atık polimerik malzeme katkılı betonun yalıtım özelliğinin deneysel olarak incelenmesi, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi* 26(1), 15-20, 2006.

Yeşilata, B., Turgut P., Işiker, Y., Kompozit yapı malzemelerinde ısı özellik ölçümü-1: Mevcut ölçüm tekniklerin irdelenmesi, *Mühendis ve Makina*, 2007 (basımda).

