



ATIK POLİMERİK MALZEME KATKILI BETONUN YALITIM ÖZELLİĞİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Bülent YEŞİLATA*, Paki TURGUT** ve Yusuf İŞİKER*

*Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü
63000 Şanlıurfa, byesilata@harran.edu.tr; yusuf47@harran.edu.tr

** Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
63000 Şanlıurfa, turgutpaki@yahoo.com

(Geliş Tarihi: 11.11.2005)

Özet: Bu çalışmada, kullanılmış ya da atık haldeki polimerik esaslı malzemelerin beton harçlarına ilavesi ile yalıtım özelliklerindeki bağlı değişim deneysel bir yöntemle araştırılmaktadır. Polimerik esaslı atık malzeme olarak, temini çok kolay ve ucuz olan polietilen (PET) şişe ve otomobil lastiği parçaları kullanılmıştır. Deneysel sonuçlarında, atık polietilen ya da lastik malzeme takviyesi ile katkısız normal betona kıyasla, ısı kaybının azaldığı gözlenmiştir. Isı kaybındaki azalma miktarı, beton içerisine yerleştirilen malzemenin türü ve geometrisiyle değişmektedir.

Anahtar kelimeler: Polimer katkılı beton harcı, Atık polietilen, Atık lastik, Yalıtım

AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON THERMAL INSULATION CHARACTERISTIC OF CONCRETE WITH WASTED-POLYMERIC-ADDITIVE

Abstract: The relative change on insulation property of the fabricated-mortar due to adding used or wasted polymeric material is experimentally investigated here. The shredded polyethylene (PET) bottle and automobile tire, which can easily be obtained from the environment with almost no cost, are used as polymeric based waste material. The experimental results reveal that waste material additive reduce heat loss. The decrease in heat loss rate depends on both the material of additive and geometry of shredded-additive.

Keywords: Polymer-added-mortar, Wasted-polyethylene, Wasted-rubber, Insulation

GİRİŞ

Kullanılmış ya da atık haldeki polimerik esaslı malzemelerin yeniden değerlendirilmesi konusunda tüm dünyada yoğun bir arayış söz konusudur. Çünkü, bu tür malzemelerin depolanması veya yok edilmesinde yerel yönetimler önemli çevresel sorunlarla ve güçlüklerle karşılaşmaktadır. Söz konusu malzemelerin ısı iletim katsayılarının düşüklüğü sebebiyle, yalıtım amaçlı olarak binalarda kullanımı en iyi alternatiflerden biri konumundadır (Yeşilata ve Turgut 2005). Bu sayede, bir taraftan çevre sorunlarına katkıda bulunulurken, diğer taraftan bina yalıtımı daha düşük maliyet ile gerçekleştirilebilecektir.

Düşük maliyetli yalıtım, ülkemizin inşaat sektöründe en önemli gereksinimlerinden biridir. Çünkü, ülkemizde bina yalıtımındaki yetersizliklerin en önemli sebebi, yalıtım maliyetlerinin bina sahiplerince yüksek bulunmasıdır. Yalıtım kullanımındaki yetersizlikler sebebiyle, ısıl konfor çok yüksek bedel ile temin edilebilmektedir. Örneğin ülkemizde, merkezi ısıtma sistemlerinin kullanıldığı binalarda, bir m² alanın ısıtılması amacıyla yılda ortalama 250-350 kWh enerji harcanmakta iken, gelişmiş ülkelerde bu değer 50-100 kWh arasında değişmektedir (Işık, 1999). Halen

yürürlükte olan “TS 825 Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” (TS 825, 1998) uyarınca, ısıtma için bir m² başına harcanan enerjinin; 4. iklim bölgesi hariç olmak üzere, 64-120 kWh seviyelerine indirilmesi amaçlanmış olmakla birlikte, uygulamaya zorunlu olarak geçirilmesi aradan geçen uzun süreye karşın mümkün olamamıştır. Yalıtım kullanımından kaynaklanan ek maliyetin, uzun yıllar bazında işletme masrafındaki azalma ile telafi edilebileceği konusunu, bina sahipleri ısrarla ikinci plana atmaktadır. Kısacası, yalıtım malzemesi seçiminde ekonomiklik en önemli etken olma özelliğini halen sürdürmektedir (Aktacı vd. 2000)

Atık haldeki polimerik esaslı malzemelerin, beton harçlarına ilavesi sonrasında oluşan kompozit yapıdaki betonun, bazı özelliklerinde iyileşme sağlanırken, basınç ve çekme dayanımını gibi bazı mekanik özelliklerinin de olumsuz yönde etkilendiği daha önceki çalışmalardan bilinmektedir (Topçu ve Avcular 1997; Tery 2004). Bu konuda en fazla araştırılan katkı maddesi otomobil dış lastiği olup, parçalanmış veya öğütülmüş beton içerisine katılmış atık lastiklerin taze ve sertleşmiş beton özellikleri üzerine etkisi değişik araştırmacılar tarafından incelenmiştir (son literatürler

için, Bknz: Terry, 2004; Pierce ve Blackwell, 2003; Guogiang vd, 2004).

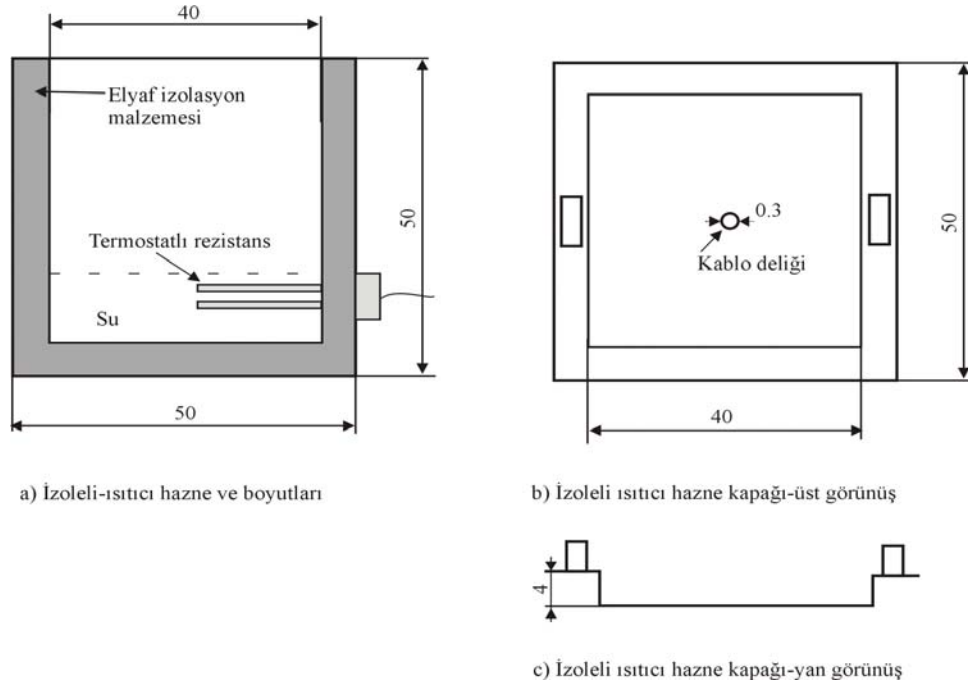
Atık malzeme takviyesinin, betonun mekanik ve mukavemet özellikleri üzerindeki etkisi, mevcut makalenin kapsamı dışında olup, sadece yalıtım özelliğindeki değişim göz önüne alınmaktadır. Bu amaçla, beton harcı içerisine çeşitli miktar ve geometrilerde, atık polietilen (PET) şişe ve otomobil iç lastik parçaları eklenmiş ve betonun yalıtım özelliği üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Literatürde, atık polimerik malzemelerin, yapıların yalıtım özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanımına yönelik, somut ölçümler içeren çalışmalarda ciddi bir yetersizlik söz konusudur (Nehdi ve Khan 2001). Yeşilata ve Turgut (2005) yakın zamanda yaptıkları bir çalışmada, farklı geometrideki atık lastiklerle betonun yalıtım özelliğinde %15-25 oranında bir iyileşme elde etmişlerdir. Bu makalede ise, beton harcı içerisine farklı geometrilerde polietilen ve lastik malzeme ilave edilerek, beton yalıtım özelliğindeki bağıl değişim araştırılmaktadır.

DENEY DÜZENEGİ

Deneylerde kullanılan düzenek ve ölçüm yöntemi, ilk kez Yeşilata ve Turgut (2005) tarafından kullanılmış olup, özgün bir sistemdir. Düzenegın temel elemanı, içinde elektrikli ısıtıcı bulunan ve üst yüzeyi dışında diğer tüm (yan ve taban) yüzeyleri çok iyi izole edilmiş küp geometrisinde bir haznedir. Deney düzenegının şematik detayları Şekil 1’ de gösterilmektedir. Haznenin içerisinde bulunan sabit seviyedeki su,

belirlenmiş bir sıcaklığa kadar ısıtıldıktan sonra, üst kapağı (yüzeyi) farklı kompozisyonlarda polietilen ve lastik malzeme içeren sertleşmiş beton harcı malzemesi ile kapatılarak zamana bağılı sıcaklık değişimi ölçülmektedir. Isıtıcı hazne, demir sacdan imal edilmiştir. Dış boyutları 50x50x50 cm³, iç boyutları ise 40x40x40 cm³ ebatlarında olup, dış sac kalınlığı 1 mm, iç sac kalınlığı ise 3 mm dir. Bu iki sac arasında 4 cm kalınlığında elyaf izole malzemesi yerleştirilmiştir. Tabandan 10 cm yüksekliğe 1500 Watt’lık termostatlı bir rezistans monte edilmiştir. Isıtıcı haznenin üst kapağı; Şekil 1(b) ve (c)’de görüldüğü üzere, hem kapak, hem de kalıp görevi göreceğ şekilde tasarlanmıştır. Kapak haznenin içine girecek şekilde 4 cm derinlikte olup, orta noktasında ısıl çift kablosunun yerleştirilebileceği şekilde 3 mm çapında delik açılmıştır. Sac kalınlığı 1 mm olup kapağın üst yanakları üzerine, karşılıklı iki kulp monte edilmiştir.

Deneyler için gerekli üst kapak boyutlarındaki polietilen ve lastik takviyeli betonu oluşturmak için; öncelikle beton harcı, yüksekliği 1.5 cm olacak şekilde, kalıba dökülüp bir tokmak ile uygun bir şekilde sıkıştırılmaktadır. Daha sonra belirlenen geometride kesilen polietilen ve lastik malzemeler, Şekil 2’de gösterilen dizilişlerde, beton harcı üzerine yerleştirilmektedir. Son aşamada, 1.5 cm daha beton harcı dökülerek, arzulanan 3 cm. kalınlıktaki kompozit beton yapı elde edilmektedir. Katkısız normal betonun oluşturulmasında ise, harç tek kademedeki kalıba döküldükten sonra, bir tokmak ile uygun şekilde sıkıştırılarak istenen 3 cm. kalınlık elde edilmektedir.

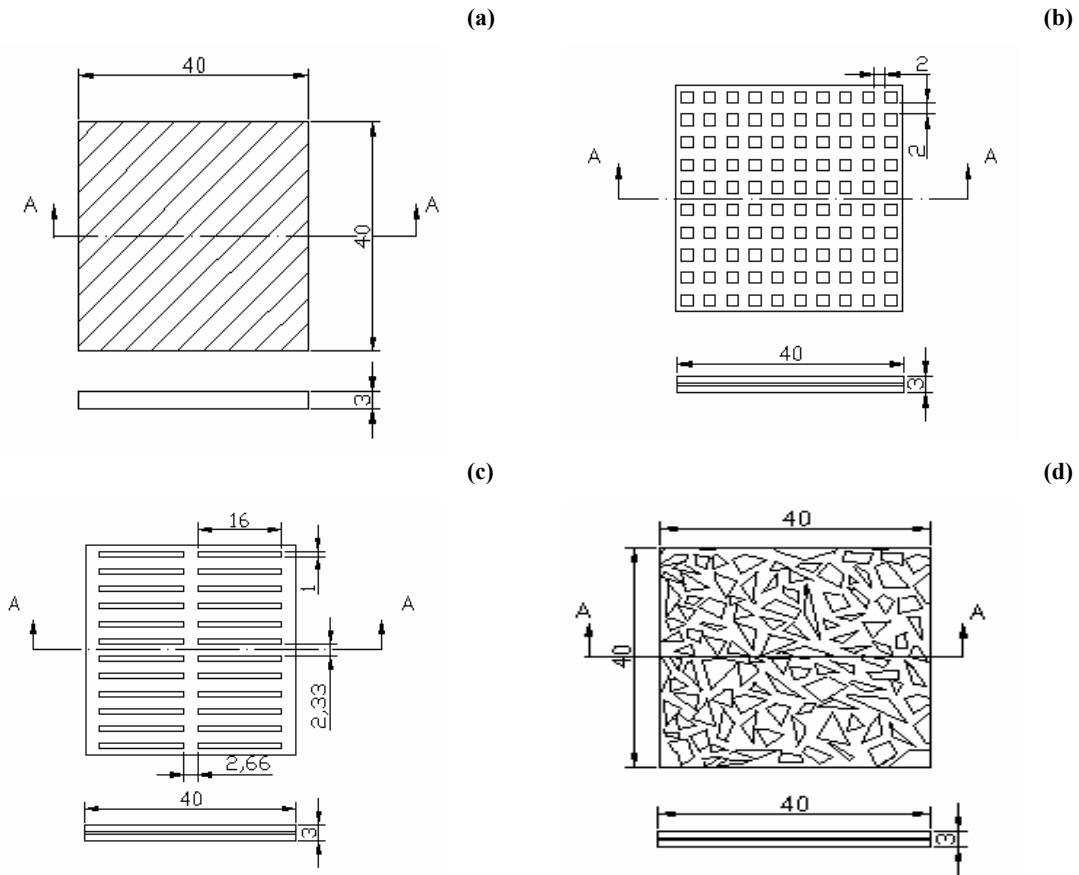


Şekil 1. İzoleli ve elektrikli ısıtıcısı bulunan hazne ile kapağının boyutları.

Bu aşamaları takiben, tüm numuneler için; kalıp düz bir yüzeye bırakılarak, beton harcının düzgün bir geometride sertleşmesi sağlanmaktadır. Beton harcının hidratasyonunu tamamlaması için, her gün olmak üzere, bir hafta boyunca nemli ortamda kür işlemi yapılmakta ve beton ile kalıp yan yüzeyleri arasındaki olası çok küçük boşluklar önlenmektedir. Yaklaşık 10 günlük bir kuruma süresi geçtikten sonra, beton numune ile bütünleşmiş üst kapak, deneylerin yapılabilmesi için ısıtıcı hazne üzerine yerleştirilmektedir.

Deneylerde kullanılan malzemeler hazır beton harcı ile farklı geometrilerde kesilmiş polietilen (PET) şişe ve lastik parçalarıdır. Kullanılan harcın ağırlıkça karışım oranları çimento/çimento, kum/çimento ve su/çimento

olarak sırasıyla 1:2.75:0.5 dir. Kullanılan çimentonun cinsi KPÇ 32.5 ve ince agreganın maksimum dane çapı 5 mm'dir. Öncelikle sadece normal hazır beton harcı kullanılarak, belirli zaman aralığında sıcaklık değişimi incelenmiştir. Daha sonra beton harcının arasına yerleştirilen değişik geometrilere sahip PET ve lastik malzeme ile deneyler tekrarlanmıştır. Deneyler; ağırlıklı olarak PET katkısının etkisini görmek amacıyla yapılmış olup, sadece bir numunede, lastik katkısının etkisi kıyaslama amacıyla araştırılmıştır. Tüm araştırılan numuneler için, betona ilave edilen 1 mm kalınlığındaki PET malzemenin hacmi (dolayısıyla kütlesi) yaklaşık aynıdır ($40 \text{ cm}^3 \pm 1.5 \text{ cm}^3$). Numunelere ait geometrik detaylar Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Deneylerde kullanılan numunelere ait geometrik detaylar; a) katkısız beton, b) kare-PET ve kare-lastik katkılı beton, c) şerit-PET katkılı beton, d) düzensiz-PET katkılı beton.

BULGULAR

Deneyler sırasında çevre sıcaklığı ve haznenin iç hacminin sıcaklığı çift kanallı dijital ısı çift termometre ile, su sıcaklığı ise periyodik zaman aralıklı ve zamana bağlı sıcaklık değişimlerini otomatik olarak bilgisayar ortamına aktaran Testostor 171 termometre ile ölçülmüştür. Deney başlangıcında izoleli haznenin hacminin $\frac{1}{4}$ 'lük kısmı su ile doldurulur. Su kullanılmasının temel nedeni; ısıtıcı yüzey sıcaklığının sadece hava bulunan ortamlarda çok çabuk yükselmesi ve homojen sıcaklık dağılımına sahip olmamasındandır.

Isıtma işlemi başlar başlamaz deney numunesinin bulunduğu üst kapak yerine yerleştirilmektedir. Su sıcaklığı istenilen değere ulaştığı anda ısıtıcı kapatılmakta ve data ölçüm-kayıt işlemleri bu andan ($t=0$) itibaren geçerli hale gelmektedir. Deneyler süresince, laboratuvar ortam (çevre) sıcaklığı $\pm 1^\circ\text{C}$ doğruluk ile sabit bir değerde tutulmaktadır. Tüm deney numuneleri için, su sıcaklığındaki değişim 5 dakika aralıklarla ve yaklaşık 40 saat boyunca ölçülerek, bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

Deneylerde öncelikle katkısız beton ile kare-PET katkıli beton numunelerin kullanılması sonucu, hazne içindeki suyun zamana bağlı sıcaklık azalmaları incelenmiş ve elde edilen sonuçlar, boyutlu ve boyutsuz formda, Şekil 3(a) ve 3(b)'de verilmiştir. Şekil 3(b)' da gösterilen boyutsuz sıcaklık (θ^*),

$$\theta^* = \frac{T(t) - T_o}{T(t=0) - T_o} = \frac{\theta}{\theta_i} \quad (1)$$

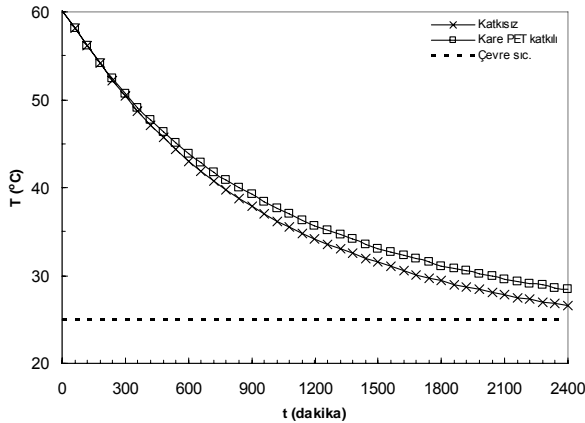
(1) denklemi ile tanımlanmış olup, denklemdeki $T(t)$ ve $T(t=0)=T_i$ sırasıyla herhangi bir 't' anındaki (anlık) hazne içi su sıcaklığını ve deney başlangıcındaki su sıcaklığını, T_o ise çevre sıcaklığını temsil etmektedir. Bu parametre, farklı çevre sıcaklığında denenen numuneler arasında kıyaslama yapma olanağı sağlaması açısından oldukça kullanışlıdır (Yeşilata ve Turgut 2005).

Boyutsuz sıcaklık parametresinin fiziksel anlamı; hazne içerisindeki suyun herhangi bir anda çevreye kıyasla sahip olduğu enerji (diğer bir ifadeyle, ekserji) potansiyelinin, $t=0$ anındaki ekserji potansiyeline oranıdır. Kütle (m) ve özgül ısı (c_p) bilinen suyun, belli bir anda çevre havasına kıyasla sahip olduğu ısı tutumlarının oranı yazıldığında,

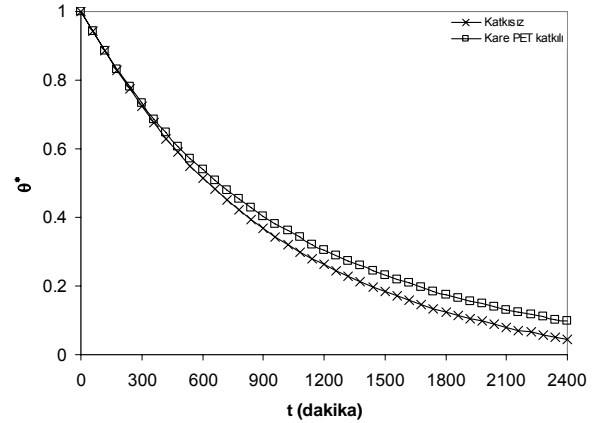
$$\theta^* = \frac{Q}{Q_i} = \frac{mc_p(T - T_o)}{mc_p(T_i - T_o)} = \frac{\theta}{\theta_i} \quad (2)$$

(2) denklemi elde edilir. Bu nedenle, farklı numunelerin, deney süresi boyunca θ^* değerleri arasında oluşan fark, yalıtım özelliklerinin kıyaslanmasına olanak tanımaktadır.

(a)



(b)



Şekil 3. a) boyutlu sıcaklık ve b) boyutsuz sıcaklık, değerlerinin katkısız ve kare-PET katkıli beton numuneler için zamanla değişimi.

Şekil 3(a)'daki grafikten anlaşılacağı üzere, deneylerin yapıldığı laboratuvarın ortalama sıcaklığı olan 24 °C ile termal denge şartlarına, toplam deney süresinin uzunluğuna (40 saat) karşın ulaşamamıştır. Ancak mevcut veriler bu denge sıcaklığına ulaşma gereksinimi olmadan kullanılan numuneler arasında yalıtım özelliğinin kıyaslanabilmesi için yeterli gözükmektedir. Her iki numuneye ait eğrilerde, hazne içindeki su sıcaklığı başlangıçta hızla düşerken, daha sonra sıcaklık değişim eğrisi yaklaşık sabit kalacak şekilde bu düşüş hızı azalmaktadır. Katkısız beton ile kare-PET malzeme katkıli betonun ısıyı çevreye transfer etme hızları arasındaki fark başlangıçta çok küçüktür. Belli bir süre geçtikten sonra ise, katkısız betonun ısıyı transfer etme hızında belirgin bir artış oluşmaktadır. Dolayısıyla, kare-PET malzeme katkıli beton kullanımıyla daha geç bir soğuma gerçekleşmektedir. Bu durum, yapı malzemesinin yalıtım özelliğinin iyileştiğinin direkt bir göstergesidir. Kare-PET malzeme katkısıyla toplam deney süresi boyunca sağlanan yüzdesel iyileşme

miktarının hesabı için Şekil 3(b)'de gösterilen iki eğrinin altında kalan alan farkları,

$$X(\%) = 100. \left[\frac{\left(\sum_{t=0}^{t=t_d} \theta_t^* \right)_1}{\left(\sum_{t=0}^{t=t_d} \theta_t^* \right)_2} - 1 \right] \quad (3)$$

denklemleri yardımıyla hesaplanmıştır. Denklemde, t_d toplam deney süresini, '1' indisi kare-PET katkıli betonu, '2' indisi ise katkısız betonu temsil etmektedir. Denklem (3) kullanılarak, kare-PET malzeme katkısı ile yalıtımda sağlanan iyileşmenin %10.27 olduğu tespit edilmiştir.

Kullanılan atık malzemenin geometrik diziliş ve türünün etkisini araştırmak için yapılan deneylerin sonuçları Şekil 4(a) ve 4(b)'de gösterilmiştir. Şekil 4(a)'dan

görülebileceği üzere, şerit ve parçalanmış PET katkıli betonlarla, kare-PET katkıli betonun yalıtım davranışları arasında önemli bir fark oluşmamaktadır. Ancak, şekildedeki küçük grafikten görüleceği üzere, çevre sıcaklığı ile sıcaklık farkı azaldıkça, şerit veya parçalanmış PET katkıli betonlarda daha geç soğuma elde edilebilmektedir. Bu farkın gerçek nedeni tam olarak tespit edilememiş olmakla birlikte, şerit geometrideki PET malzemelerin betona daha iyi tutundukları, yönünde gözlemlerimiz söz konusudur. Bu gözlem, deneyler tamamlandıktan sonra, numunelerin kırılması sırasında oluşmuş ve şerit-PET malzemelerin betonun ayrılmadıkları görülmüştür. Kare-PET katkıli betonda ise, hidratasyon işlemi süresince yoğun mikro çatlak oluşumu gözlemlendiği gibi, numunenin deneyler sonrası kırılması sırasında da çok kolayca küçük parçalara ayrıldığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle, kare-PET katkıli betonla oluşturulan kompozit yapıdaki ısıl direnç değerinin, diğer kompozit numunelerden daha az olduğu düşünülmektedir.

Şekil 4(b)'de kare-PET ve kare-lastik malzeme katkıli betonların yalıtım davranışları kıyaslanmıştır. Kullanılan atık otomobil iç lastiğinin yoğunluğu 0.84 gr/cm³ ve kalınlığı 2 mm' dir. Kare-lastik katkıli beton

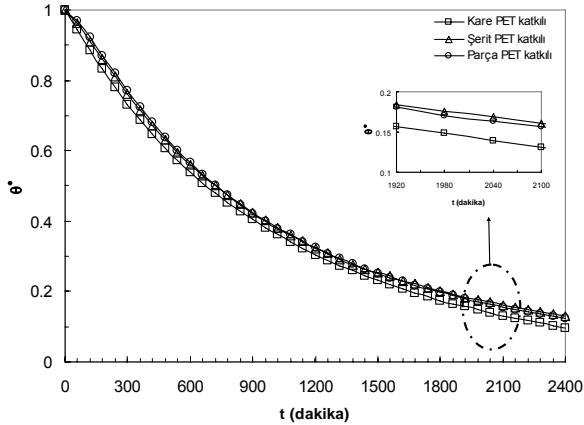
kullanımıyla soğuma hızı, kare-PET katkıli betona kıyasla belirgin derecede azalmaktadır. İki malzemenin ısı iletim katsayıları arasındaki fark çok küçük olduğundan, yalıtım davranışlarındaki belirgin fark için ilk akla gelen neden; kullanılan malzemelerin kalınlıkları arasındaki farktır. Bu sonuç, kullanılan malzeme miktarının geometrik dizilişten daha etkili olduğunu göstermektedir. Mevcut deneyler sırasında, PET malzeme ile aynı kalınlıkta atık lastik temini mümkün olmadığından, bu farkın gerçek nedeni, yakın gelecekte yapılması planlanan deneysel çalışmalarda (Yeşilata vd. 2005) araştırılacaktır.

Bu çalışmada araştırılan numunelerle sağlanan yalıtım iyileştirme miktarları; deneysel ölçümler kullanılarak Denklem (3) ile hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

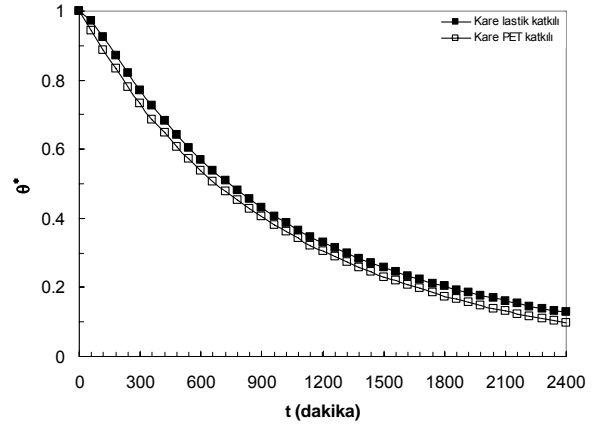
Tablo 1. Farklı geometrideki PET ve lastik katkıli betonlarla sağlanan yalıtım iyileştirme yüzdeleri.

Numune	kare-PET	şerit-PET	Parça-PET	kare-lastik*
X (%)	10.27	17.11	17.16	18.52
* kalınlık 2mm (PET numunelerde 1mm)				

(a)



(b)



Şekil 4. Boyutsuz sıcaklık değerlerinin zamanla değişimi; a) farklı geometrik dizilişteki PET katkıli beton numuneler için, b) kare-PET ve kare-lastik katkıli beton numuneler için.

SONUÇLAR

Bu çalışmada, beton harcı içerisine çeşitli miktar ve geometrilerde, atık polietilen (PET) şişe ve otomobil iç lastik parçaları eklenmiş ve betonun yalıtım özelliği üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Sonuçlar, atık polimerik malzeme takviyesinin bina yapı elemanlarının yalıtım özelliklerinde iyileşme ve dolayısıyla çevreye kaybedilen ısı miktarlarında bir azalma sağlanabileceğini göstermektedir. Atık polietilen malzeme katkısıyla %17.1, atık otomobil iç lastiği ile

%18.5 oranında yalıtım iyileşmesi sağlanmıştır. Kullanılan katkı malzemelerinin atık olması nedeniyle, sağlanan yalıtım iyileştirmeleri düşük bir ek maliyetle gerçekleştirilebilecektir. Atık polimerik esaslı malzeme ilavesinin, betonun mekanik ve mukavemet özellikleri üzerindeki etkisi, bu çalışmanın kapsamı dışında olduğundan, elde edilen sonuçların hali hazırda, binanın en azından yük taşımayan dış panelleri ve tavan yalıtımı açısından önemli olduğu göz önüne alınmalıdır.

Teşekkür

Bu deneysel çalışmanın alt yapısının oluşmasında, farklı seviyelerde katkısı olan aşağıdaki kişilere, BY tarafından teşekkür edilmektedir:

Arş.Gör. Z. Abidin Fıratöglü, Mak. Müh. Mehmet İrmak, Mak. Müh. Abdurrahim Çınar, Mak. Müh. Uğur İynen ve Mak.Müh. Hüseyin Canöztürk.

KAYNAKLAR

Aktacir A, Yeşilata B , Açiker Ş.M., Binalarda Yalıtım Kullanımının Ekonomik Analizi Üzerine Bir Çalışma, 3. Gap Mühendislik Kongresi (24-26 Mayıs 2000, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa) Bildiriler Kitabı, 65-70, 2000.

Guoqiang L., Gregory G., John E., Christopher A., Michael A.S., Su S.P., Waste tire fiber modified concrete, *Composites: Part B* 35, 305–312, 2004.

Işık K., Yeni TS 825 ve Enerjiyi Verimli Kullanan Binalar, *İzolasyon Dünyası*, 18, 15-18, 1999.

Nehdi, M. and Khan, A., Cementitious Composites Containing Recycled Tire Rubber: An Overview of Engineering Properties and Potential Applications *Cement, Concrete, and Aggregates* 23, 1, 3–10, 2001.

Pierce, C.E., Blackwell, M.C., Potential of scrap tire rubber as lightweight aggregate in flowable fill, *Waste Management* , 23, 197–208, 2003.

Terry, A.G., *Designing Building Products Made With Recycled Tires*, Contractor's Report to the Board, Integrated Waste Management Board, California, USA, 2004.

Topçu, İ. B. ve Avcular, N., Analysis of Rubberized Concrete as a Composite Material, *Cement and Concrete Research* 27, 8, 1135–1139, 1997.

Topçu, İ. B. ve Avcular, N., Collision Behaviors of Rubberized Concretes, *Cement and Concrete Research.*, 27, 12, 1893–1898, 1997.

TS 825, *Binalarda Isı Yalıtımı Kuralları*, 1998.

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

Yeşilata, B., Turgut, P., Bulut, H. ve Demir, F., *Atık Otomobil Lastiklerinin Bina Yapı Elemanlarında Yalıtım İyileştirme Amacıyla Kullanılabilirliğinin Araştırılması*, TUBİTAK-MAG Projesi, Başlangıç tarihi: 1 Eylül 2005.