

# ATIK LASTİK KATKILI HARÇ PLAK VE BRİKETLERİN TERMO-MEKANİK DAVRANIŞLARININ ARAŞTIRILMASI

**Paki TURGUT ve Bülent YEŞİLATA**

Mühendislik Fakültesi, Harran Üniversitesi Şanlıurfa  
[turgutpaki@yahoo.com](mailto:turgutpaki@yahoo.com), [byesilata@harran.edu.tr](mailto:byesilata@harran.edu.tr)

(Geliş/Received: 21.01.2008 ; Kabul/Accepted: 02.11.2009)

## ÖZET

Bu çalışmada; atık otomobil lastiklerinin uygun geometri ve koşullarda harç içerisine ilavesinin termo-mekanik özellikler üzerindeki etkisi araştırılmaktadır. Atık bir otomobil lastiğinin, çelik telli alın yüzeyi ile çelik tel bulunmayan yanal yüzeyleri farklı amaçlarla kullanılmıştır. Çelik telli lastikler, şerit biçiminde kesilerek harç içerisine döşenmişlerdir. Çelik tel bulunmayan lastikler ise, granül boyutuna getirilerek briket içerisinde agrega olarak kullanılmıştır. Harç numunelerde; farklı miktar ve dizilişin harç numunenin ısı yalıtım performansı üzerinde etkisi araştırılmıştır. Briket numunelerde ise ilave edilen atık lastik miktarının, ısı yalıtım performansı ile fiziko-mekanik özellikler üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Atık lastik katkı miktarına bağlı olarak yalıtımda sağlanan minimum iyileşme aralıkları; harç numuneler için % 6.5–13.3 ve briket numuneler için ise % 4.5 – 10.8 olarak bulunmuştur. Diğer taraftan, atık lastik katkısı ile briket numunelerin mekanik özelliklerinde önemli seviyede azalmalar, fiziksel özelliklerde ise bazı iyileşmeler söz konusudur. En çarpıcı iyileşme; briket ağırlığının % 29'a varan oranlarda azalmasıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Hurda lastik, harç, briket, ısı yalıtım, fiziko-mekanik özellikler.

## INVESTIGATION OF THERMO-MECHANICAL BEHAVIORS OF SCRAP RUBBER ADDED MORTAR PLATE AND BRICKS

### ABSTRACT

In this study, the effect of adding scrap automobile tire pieces at appropriate conditions and geometries on the thermo-mechanical properties of mortars are investigated. The front surface with steel belt and the side surface without steel belt of a scrap automobile tire are used with the different purposes. The tire parts with steel belt are placed into mortar after cutting them in stripe form. The tire parts without steel belt are used as aggregate in bricks after grinding into granule dimensions. The effect of different amounts and arrangements of strip rubbers on the thermal insulation performance are investigated for mortar specimens. The amount of added-granule rubbers on thermal insulation performance and physico-mechanical properties are examined for the bricks. The percentage-wise improvements in thermal insulation performance have nearly varied between 6.5-13.3 % and 5-11 % for mortar and brick specimens, respectively, depending on the amount of rubber used. The addition of scrap rubber has significantly decreased the mechanical properties but provided some degree of improvements in physical properties. The most striking improvement in physical properties is the decrease of the unit weight of bricks up to % 29.

**Keywords:** Scrap tire, mortar, brick, thermal insulation, physico-mechanical properties.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Atık lastiklerin beton içerisinde kullanılması, betonun birçok özelliği değiştirmektedir. Bazı araştırmacılar [1–2], beton içerisine katılan atık otomobil lastik parçacıklarının, betonun sünekliliğine olan etkisini

incelemişlerdir. İnşaat mühendisliğinin bazı uygulamalarında, beton elemanların birim ağırlığının düşük, tokluk ve çarpma dirençlerinin yüksek olması istenmektedir. Ancak beton çok yaygın olarak kullanılan bir inşaat malzemesi olmasına rağmen, çoğunlukla belirtilen bu özellikleri tek başına

karşılayamamaktadır. Bu nedenle, betonun bazı özelliklerini iyileştirmek için, beton içerisinde atık malzemelerin kullanılması fikri son yıllarda hızlı bir şekilde yayılmıştır. Rad [3] tarafından yapılan çalışmada, içerisine atık lastik katılmış betonun basınç dayanımının, katkısız normal betonun basınç dayanımının % 35'i kadar olduğu bulunmuş ve yapıların genellikle taşıyıcı olmayan kısımlarında bu tip betonların kullanılmasını tavsiye edilmiştir. Atık lastik katkılı betonlarda, beton içerisinde yükü taşıyan nehir agregasındaki miktarın azalması ve lastik ile agreganın birbirine temas ettiği yüzeylerdeki gerilme yığılmaları dayanımın azalmasına neden olmaktadır. Lastiğin enerji yutma kabiliyeti oldukça yüksek olduğundan, betonun kırılma esnasındaki plastik deformasyonları artmaktadır.

Basınç yükü altındaki bir betonun önemli özellikleri, o betona ait olan gerilme-deformasyon eğrileriyle değerlendirilmektedir. Bir malzemenin kırılması için gerekli olan enerjinin toplamına tokluk ismi verilmektedir. Malzemeye ait tokluğun bulunmasında, gerilme-deformasyon eğrileri kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda, lastik parçaları içeren beton numunelerin tokluk değerinin yüksek olduğu gözlenmiştir. Beton içerisinde atık otomobil lastiği parçalarının kullanılması, betonun birim ağırlığında azalma, kırılma tokluğu ve süneklik değerlerinde artma ve ses yalıtımı özelliklerinde iyileşmeler sağlamaktadır. Lastik parçalarının beton içerisinde agrega olarak kullanılması durumunda, hem doğal kaynaklara olan ihtiyaç azalacak hem de ekosistem korunacaktır.

Taze beton içerisindeki iri nehir agregası yerine katılmış olan atık lastik parçalarının, betonun çökme değerini azalttığını ve buna bağlı olarak betonun işlenebilirliğini de zorlaştırdığını bulunmuştur. Ancak taze beton içerisine öğütüldükten sonra katılmış lastik parçacıklarının, iri lastik parçalarına kıyasla işlenebilirliği kolaylaştırdığı belirtilmiştir [4]. Toplam agrega hacminin % 10 ile 20'si kadar atık lastiğin beton içerisinde kullanılması durumunda, betonun birim ağırlığında önemli bir azalma meydana gelmemektedir. Parçalanarak beton içerisine katılmış olan atık lastikler, betonun içerisindeki hava boşluğu miktarını artırmaktadır [4,5]. Beton içerisine katılmış olan atık lastik parçaları, betonda oluşması muhtemel büzülme (rötre) çatlaklarını önlemektedir [7].

Beton içerisinde kullanılacak olan iri nehir agregası yerine, sadece parçalanmış atık lastik kullanılması, betonun basınç ve çekme dayanımını sırasıyla % 85 ve % 50 civarında azaltmaktadır [8]. Fakat beton içerisinde iri agrega olarak kullanılmış lastik parçalarına kıyasla, öğütülmüş lastik parçaları katılmış betonun basınç ve eğilme dayanımlarındaki azalma daha azdır [2,4]. Birçok araştırmacı [8,9,10] lastik katkılı betonun basınç ve çekme dayanımının, beton içerisine katılan atık lastik miktarı ile orantılı

olarak azaldıkları fikrinde birleşmişlerdir. Beton içerisine katılan atık lastiğin miktarı arttıkça, betonun dinamik elastisite modülü ile rijitliğinin azalması yanında betonda daha kolay kırılan bir yapı oluşmaktadır [11]. Demiryolu rayları altında atık lastik içeren betonların kullanılması, gürültü ve titreşime karşı çok iyi bir yalıtım sağladığından, yolculuk konforunu artırmaktadır [10,12]. Beton içerisinde atık lastik miktarının artması hem statik hem de dinamik elastisite modülü değerlerini azaltmaktadır [11]. Değişik araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda [13,14, 15,16], beton içerisine katılmış atık lastik parçacıklarının, betonun kırılma tokluğunu önemli derecede iyileştirdiği bulunmuştur. Ayrıca, otoyol kenarlarında bulunan ses sönmüleyici bariyerlerin, içerisinde atık lastik bulunan betonlardan yapılması oldukça faydalı bir uygulamadır [17]. İçerisinde hacimsel olarak % 10, 20 ve 30 oranlarında atık lastik kullanılmış betonların, donma-çözölmeye karşı dirençlerinde önemli bir değişikliğin olmayacağı ileri sürülmüştür [18]. Fakat atık lastik katılmış betonların içerisindeki hava miktarı oldukça fazladır. Atık lastik katkılı beton içerisinde hava boşluğunun bulunması, donma-çözölme direncini önemli derecede iyileştirdiği Turgut ve Yeşilata [19] tarafından bulunmuştur.

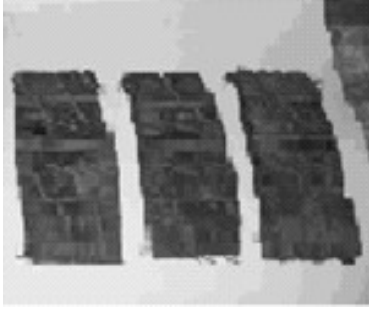
Özet olarak, beton içerisine atık otomobil lastiklerini parçalayarak katmak, betonun bazı özelliklerini iyileştirirken, özellikle betonun basınç ve çekme dayanımını gibi bazı mekanik özellikleri de olumsuz yönde etkilemektedir. Atık otomobil lastiğinin tamamının parçalanarak beton içerisinde kullanılması, başkaca sorunları da beraberinde getirmektedir. Örneğin, atık otomobil lastiklerinin orta kısmında bulunan çelik teller nedeniyle; lastikle birlikte kesilerek parçalanması, kesici giyotin bıçaklara zarar vererek masrafları önemli derecede arttırmakta ve lastik işleme süresini uzatmaktadır [20].

Bu çalışmada sözü edilen sorunların önüne geçmek ve hurda otomobil lastiğinin tüm bölümlerini kullanmak için özgün bir yaklaşım ortaya konmaktadır. Atık bir otomobil lastiğinin uygun şekilde kesilmesi sonucu ortaya, üst yüzeyden çelik telli düzlemsel bir parça ve yan yüzeylerden ise iki adet halkasal parça çıkmaktadır. Mevcut yaklaşıma göre; çelik telli düzlemsel parçanın yapıların taban ve tavan döşemeleri içine, uygun aralıklarla direkt olarak serilmesi; yan yüzeylerden elde edilen çelik telsiz halkasal yüzeylerin ise; harç içerisinde kullanılan kum boyutlarında parçalanarak briket yapımında kullanılması hedeflenmektedir. Bu yaklaşımın uygulanmasına yönelik olarak yapılan deneysel çalışma ve sonuçları aşağıda sunulmuştur.

## 2. ATIK LASTİK KATKILI NUMUNELERİN HAZIRLANMA AŞAMALARI (PREPARING STAGES OF THE WASTE RUBBER ADDED SAMPLES)

### 2.1. Şerit Lastik Katkılı Plaka Numuneler (Strip Rubber Added Plate Samples)

Bu çalışmada kullanılan lastik katkılı harç plak numuneler, hurda otomobil lastiğinin çelik tel içeren kısmından şerit şeklinde kesilmiş parçalar içermektedir (Şekil 1).

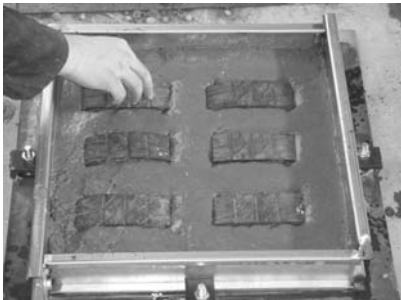


Şekil 1. Şerit lastik (Strip rubber)

Lastik ile harç arasında iyi bir yapışma yüzeyi oluşturmak için, seçilen kumun en büyük tane çapı 4.75 mm olarak alınmıştır. Numunelerde kullanılan kumun tane dağılımı TS 706 [21]'ya uygun olup, suya doygun birim ağırlığı  $2.73 \text{ gr/cm}^3$  tür. Karışımda kullanılan çimentonun cinsi CEM I 32,5 N dir. Karışım içerisindeki çimento, su ve kum oranları sırasıyla 1:0.45:2.58 olarak alınmıştır. Harç karışımını oluşturan malzemeler, 50 litrelik düşey karıştırıcı betonier içerisinde 3 dakika karıştırılmıştır. Taze harç karışımının çökme miktarı 1.5 cm ve sıkışma faktörü değeri 0.84 tür. Sertleşmiş harcın 28 günlük küp basınç dayanımı ortalama 29 MPa'dır. Çelik telli şerit şeklindeki lastiğin suya doygun birim ağırlığı  $1.35 \text{ gr/cm}^3$  tür.

İçerisinde lastik şerit içeren harç plakların yapımında şu aşamalar takip edilmiştir: Alt tabakadaki harç, yüksekliği 1.5 cm olacak şekilde kalıba döküldükten sonra, vibratör ve tokmak kullanılarak sıkıştırılmıştır. Daha sonra harç üzerine, şerit lastik parçaları farklı dizilişlerde yerleştirilmiştir (Şekil 2).

Son aşamada ise, şerit lastik üzerine 1.5 cm daha harç tabakası dökülerek, arzulanan 3 cm kalınlıktaki



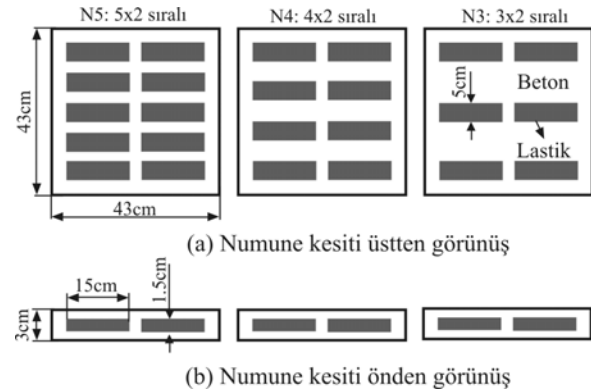
Şekil 2. Şerit lastiğin yerleştirilmesi (Placement of strip rubber)

kompozit harç plak elde edilmiştir. Şerit lastik içermeyen normal plak numunelerde ise, harç tek kademede kalıba dökülmüş ve sıkıştırılmıştır. Numuneler 24 saat oda sıcaklığında, üstü naylonla kapalı olarak bekletilmiş ve bu sürenin sonunda kalıptan çıkarılmışlardır. Daha sonra, tüm numuneler fiskeye sulama sistemi kullanılarak 28 günlük kür işlemine tabii tutulmuştur. Kullanılan hurda lastik katkılı test numunelerine ait geometrik boyutlar Şekil 3'de gösterilmektedir. Şekil 3'de gösterilen ve sırasıyla 5x2, 4x2 ve 3x2 sıralı lastik dizilimine sahip numuneler sırasıyla N5, N4 ve N3 olarak, içerisinde şerit lastik bulunmayan harç plak numune ise, N0 olarak adlandırılmıştır.

### 2.2. Granül Lastik Katkılı Briket Numuneler (Granular Rubber Added Brick Samples)

Bu çalışmada, üretilen briket numunelerin boyutları  $105 \times 75 \times 225 \text{ mm}^3$  dir. Yığılma yapılarında taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan kısımlarda dolgu duvar malzemesi olarak kullanılacak briketlerin, standartlarda verilen mekanik ve fiziksel özelliklerini sağlayacak optimum karışım miktarının bulunması ve lastik katkısının mekanik-fiziksel özellikler üzerindeki etkisini araştırmak için, bir adet lastiksiz (R-0) ve 7 adet lastikli (R-10, ..., R-70) olmak üzere toplam sekiz adet farklı harç karışımı tasarlanmış ve numuneler üretilmiştir. Karışımlardaki malzeme miktarları hacim esasına göre bulunmuştur. Örneğin, R-10 karışımında, kumun hacmi % 10 azaltılmış ve bunun yerini, hacimsel olarak % 10 atık lastik almıştır. Tablo 1'de, her bir numuneye ait malzeme miktarları verilmektedir.

Atık lastik miktarının, briket numunelerin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerindeki etkisini bulmak için, numunelerin hepsinde su ve çimento miktarları eşit alınmıştır. Briket numunelerinde kullanılan atık lastik ve kumun en büyük tane çapı 4.75 mm olup, tane dağılımları TS 706 [21]'de belirtilen sınırlar arasında yer almaktadır. Şekil 4'te, atık lastik ve kumun granülometri eğrisi gösterilmektedir. Karışımlarda



Şekil 3. Hurda lastik katkılı harç numunelere ait geometrik boyutlar (N5: 5x2 sıralı; N4: 4x2 sıralı ve N3: 3x2 sıralı). (Geometric dimensions of scrap tire added mortar slabs (N5: 5x2 arrangement; N4: 4x2 arrangement and N3: 3x2 arrangement))

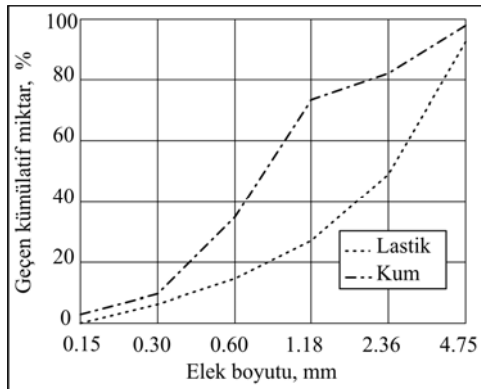
kullanılan kum ve atık lastiğin yüzey kuru suya doygun birim ağırlıkları sırasıyla 2.73 ve 1.05 gr/cm<sup>3</sup> tür. Karışımda kullanılan çimentonun cinsi CEM I 32,5 N dir. Tablo 1’de verilen karışım miktarları kullanılarak, çimento, kum ve atık lastik taneleri betonyer içerisinde 2 dakika kuru olarak karıştırılmıştır.

**Tablo 1.** Karışım miktarları (Mixture proportions)

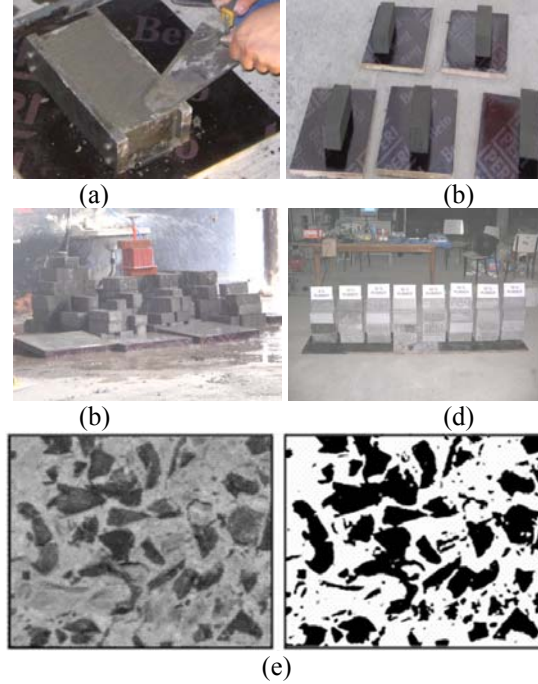
Karışım no	Çimento (kg/m <sup>3</sup> )	Su (kg/m <sup>3</sup> )	Kum (kg/m <sup>3</sup> )	Lastik (kg/m <sup>3</sup> )
R-0	537	242	1478	0
R-10	537	242	1330	57
R-20	537	242	1182	114
R-30	537	242	1034	170
R-40	537	242	887	227
R-50	537	242	739	284
R-60	537	242	591	341
R-70	537	242	444	398

Karışım suyu, betonyer dönerken kuru karışım üzerine yavaşça dökülmüş ve 3 dakika sonunda betonyer durdurulmuştur. Elde edilen taze karışım, boyutları 105×75×225 mm<sup>3</sup> olan çelik kalıp içerisine iki tabaka halinde sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma işleminde, 16 mm çapında çelik çubuk kullanıldı ve her tabakanın farklı yerlerine 25 vuruş yapıldı. Sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra, kalıp içerisindeki taze karışımın üst yüzeyi bir masterla düzeltildi (Şekil 5a). Taze karışımın kalıba yerleştirilmesi ve sıkıştırılması işlemlerinde, herhangi bir güçlük karşılaşılmadı.

Harcın sıkıştırılması esnasında lastik malzemenin esneme özelliğinden dolayı, harç ile lastik arasında bir miktar boşluk oluşmuştur. Briket numuneler 8 saat süreyle normal oda sıcaklığında bekletilmiş ve bu sürenin sonunda kalıptan çıkarılmıştır (Şekil 5b). Kalıptan çıkarılan numuneler, 7 gün boyunca su fiskeyi altında küre maruz bırakılmıştır (Şekil 5c). Toplam 28 gün boyunca belirli aralıklarla fiskeye yardımıyla sulandıktan sonra, tüm numuneler yapılacak olan fiziksel, mekaniksel ve ısı testlere hazır duruma getirilmiştir (Şekil 5d). Briket numunelerin dış yüzeyinden alınan ve Şekil 5e’de verilen görüntüde; lastiğin numune içerisindeki dağılımının homojen olarak gerçekleştiğini görülmektedir.



**Şekil 4.** Atık lastik ve kumun granülometri eğrileri (Granulometric curves of waste rubber and sand)

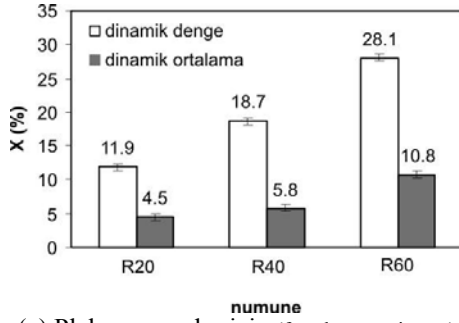


**Şekil 5.** a) Briket yüzeyinin düzeltilmesi (Surface handling of the brick) b) oda sıcaklığında numuneler (brick specimens at room temperature) c) briket numunelerin fiskeye sulamayla kürünün yapılması (sprayed water curing of brick specimens) d) kür işlemi sonrası briketler (bricks after curing) e) Briket içerisindeki lastiğin dağılımına ait yüzey görüntüleri (siyah kısımların tamamı lastik) (Surface appearances of rubber pieces in a brick (black colors are for rubbers))

### 3. ATIK LASTİK KATKISININ ISIL YALITIM DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI (INVESTIGATION OF EFFECT ON THE THERMAL INSULATION OF THE WASTE RUBBER ADDITIVE)

Isıl deneylerde numunelerin ısı yalıtım davranışlarını kıyaslamak amacıyla; ölçüm prosedürü daha önceki çalışmalarda geniş bir şekilde tanıtılmış [22–23] ‘adyabatik hazne tekniği’ kullanılmıştır. Söz konusu tekniğin temel elemanı olan ve sabit sıcaklık koşullarındaki soğuk hacme yerleştirilen adyabatik haznelerin üst yüzeyleri test uygulanacak numunelerle kapatılmaktadır. Isıl testlerde; plaka numunelerle aynı kalınlıkta (30 mm), fakat farklı ısı transfer yüzeyi boyutlarına sahip (105mm×225mm) briket numuneler kullanılmıştır. Şekil 6’da gösterildiği gibi, şerit lastik katkılı plak ve granüle lastik katkılı briket numuneler için imal edilen adyabatik hazne boyutları farklıdır.

Harç plaklar ve briket numunelerde atık lastik katkısının, katkısız kontrol numunelerine kıyasla, yalıtım davranışlarında sağladığı iyileşme yüzdeleri Şekil 7’de gösterilmiştir. Grafiklerde belirtilen ‘dinamik ortalama ve dinamik denge’ terimleri; numunelerin sırasıyla iklimlendirilmeyen ve iklimlendirilen ortamlardaki yalıtım davranışlarının yaklaşık bir ölçüsü olarak ifade edilmiştir [24]. Grafiklerden anlaşılacağı üzere, lastik katkısının artırılmasıyla,



(a) Plak numuneler için (for plate specimens)



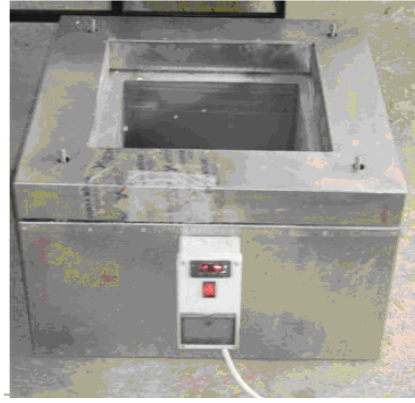
(b) Briket numuneler için (for brick specimens)

**Şekil 6.** Isıl testte kullanılan adyabatik haznelere ait görüntüler (The adiabatic boxes used in thermal tests)

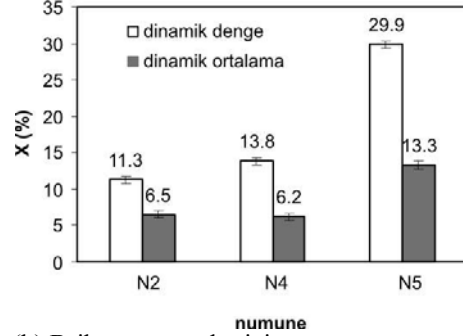
plak ve briket numunelerin her ikisinde de, yalıtım açısından sağlanan iyileşme artmaktadır. Atık lastik miktarına bağlı olarak, yalıtımda sağlanan minimum iyileşme aralıkları % 6.5–13.3 ve briket numuneler için ise, % 4.5–10.8 olarak bulunmuştur. Harç malzemesine kıyasla, çok daha düşük ısı iletim katsayısına sahip lastik katkısının ısı tutumu açısından bu olumlu etkisine karşın, briketin mekanik dayanımını düşürmesi gibi olumsuz etkileri söz konusudur. Bu nedenle lastik katkı miktarının bir üst sınır değeri vardır ve bu sınır değeri belirleyen mekanik test sonuçları aşağıda tartışılmaktadır.

#### 4. ATIK LASTİK KATKISININ MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI (INVESTIGATION OF THE EFFECT ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF WASTE RUBBER ADDITIVE)

Şerit lastik katkılı plak numunelerde homojen olmayan bir yapı söz konusu olduğundan, sadece briket numunelerin fiziksel ve mekanik testleri yapılmıştır. Numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesinde, ASTM C 67 [25] standardı kullanılmıştır. Basınç ve eğilme testlerinde, 80 ton kapasiteli servo kontrollü pres kullanılmıştır. Yarıma testlerinde kullanılan pres servo kontrollü olup, kapasitesi 20 tondur. Basınç dayanımı testlerinde,  $105 \times 75 \times 100 \text{ mm}^3$  boyutunda numuneler kullanılmış olup, basınç yükü  $105 \times 100 \text{ mm}^2$  alan üzerine uygulanmıştır. Eğilme dayanımı testlerinde kullanılan numunenin boyutları ise,  $105 \times 75 \times 225 \text{ mm}^3$



(a) Plak numuneler için (for plate specimens)



(b) Briket numuneler için (for brick specimens)

**Şekil 7.** Isıl testler sonucunda atık lastik katkısıyla elde edilen yalıtım iyileşme yüzdeleri (The percentage-wise improvements in thermal insulation after thermal tests)

olup, üç noktalı kiriş yükleme deneyi yapılmıştır. İki mesnet arasındaki mesafe, yani kiriş açıklığı 180 mm dir. Mekanik testlerde (ısıl testlerden farklı olarak) kalınlığı 75 mm olan briket numuneler kullanılmıştır. Ultrason hızı ölçümlerinde, eğilme testi için üretilen briketler kullanılmış olup, alıcı-verici uçları arasındaki mesafe 225 mm dir.

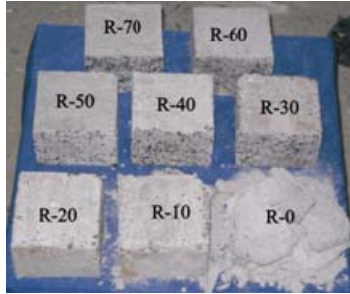
Briket numunelerin mekanik ve fiziksel testlerinin sonuçları Tablo 2'de gösterilmektedir. Her test için toplam 3 numune kullanılmış olup, ortalama değerler ve standart sapmalar Tablo 2'de verilmektedir. Karışım içerisindeki lastik oranının artmasıyla orantılı olarak basınç dayanımında önemli bir azalma görülmektedir. % 10, 20, 30, 40, 50, 60 ve 70 lastik oranlarında, basınç dayanımlarındaki azalma miktarları, lastiksiz numuneyle kıyaslandığında sırasıyla % 12, 33, 58, 69, 76, 81 ve 85 olmuştur. Karışım içerisindeki kum ile lastiğin hacimsel olarak % 50 yer değiştirmesi durumunda, numunenin basınç dayanımı 6.9 MPa olarak bulunmuştur. Yığma yapıların yük taşıyan duvarlarında kullanılacak beton briketlerin en az basınç dayanımın değerlerinin, BS 6073 [26] ve TS 705 [27] standardına göre sırasıyla 7.0 ve 5.0 MPa olması istenmektedir. Bu basınç dayanımı değerinin, ilgili standartlarda verilen sınır değerleri sağladığı kabul edilebilir. ASTM C 129 [28] standardında, yığma yapıların yük taşımayan duvarlarında kullanılacak beton briketlerin en az basınç dayanımının 3.5 MPa olması öngörülmekte olup, % 70'lik lastik oranında elde edilen 4.4 MPa

basınç dayanımını bu sınır değeri sağlamaktadır. Basınç dayanımı testlerinde, göze çarpan bir diğer önemli durum ise, lastiksiz briket numune (% 0), basınç yükü altında tamamen kırılıp dağılmasına rağmen, lastikli briketlerin dağılmadan bir arada tek parça olarak durabilmesidir. (Bknz: Şekil 8a). Bu durum, harç içerisinde bulunan lastiğin, harcın sünekliliğini artırdığı söylenebilir. Topraklarının % 98'i deprem kuşağında yer alan ülkemizde, bu tür yapı malzemelerinin yaygınlaştırılması ve teşvik edilmesi adına önemli bir sonuçtur.

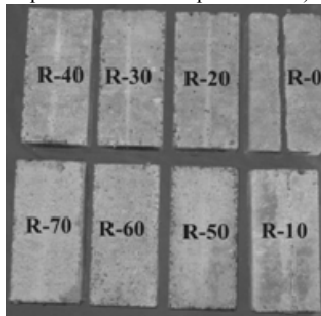
**Tablo 2.** Fiziksel test sonuçları (Physical test results)

Numune No	Birim ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	Ağırlıkça Su emme (%)	Porozite (%)	UPV (km/sn)
Kontrol	2.17±0.03	3.05±0.77	6.6±1.4	4.04±0.01
R-10	2.11±0.02	3.81±0.80	8.0±1.6	3.86±0.03
R-20	2.03±0.02	4.64±0.40	9.4±0.7	3.72±0.03
R-30	1.95±0.02	5.00±0.41	9.7±0.7	3.40±0.04
R-40	1.84±0.02	5.95±0.88	10.9±1.5	3.16±0.06
R-50	1.73±0.04	6.48±0.87	11.2±1.2	2.74±0.03
R-60	1.60±0.05	6.77±1.51	10.9±2.6	2.48±0.09
R-70	1.53±0.04	7.41±0.39	11.4±0.4	2.26±0.05

% 60 ve % 70 lastik oranlarında lastik içeren briket numunelerin, lastik içermeyen briket numuneye kıyasla eğilme dayanımlarındaki azalma sırasıyla % 65 ve % 66 olmuştur. % 70 lastik oranında elde edilen eğilme dayanımı 1.91 MPa olup, bu değer BS 6073 [26] standardında öngörülen 0.65 MPa sınır değerinden yüksektir. % 30 lastik oranına kadar, eğilme dayanımında keskin bir düşüş olmasına rağmen, bu orandan sonraki kısımda eğilme



(a) Basınç testinden sonra numuneler (The appearances of specimens after compression test)



(b)Yarıma testinden sonra numuneler (The appearances of specimens after splitting test)

**Şekil 8.** Basınç ve yarıma testinden sonra numune görünüşleri (The appearances of specimens after compressive and splitting tests)

dayanımındaki azalma daha düşüktür. Numuneye katılan lastik oranı ile yarıma dayanımı arasında da doğrusal bir ilişkinin olduğu gözlenmektedir. % 60 lastik oranından sonra yarıma dayanımında çok büyük bir azalma gözlenmemiştir. Yarıma dayanımı testlerinde ortaya çıkan en önemli sonuçlardan birisi de, yarıma testinden sonra lastiksiz briket numuneler tam ortadan ikiye bölünmesine karşın % 10 lastik oranında dahi, bu briketlerin yarıma testi tamamlandıktan sonra da birbirini tutabilmesidir (Bknz: Şekil 8b).

**Tablo 3.** Mekanik test sonuçları (Mechanical test results)

Numune No	Basınç dayanımı (MPa)	Eğilme dayanımı (MPa)	Yarıma dayanımı (MPa)
Kontrol	28.7±3.3	5.61±0.83	2.90±0.01
R-10	25.1±2.5	4.94±0.07	2.46±0.01
R-20	19.2±2.5	4.31±0.35	1.90±0.04
R-30	12.2±1.8	2.93±0.62	1.67±0.41
R-40	8.8±0.9	2.47±0.68	1.36±0.12
R-50	6.9±0.4	2.21±0.19	0.87±0.01
R-60	5.4±0.1	1.95±0.13	0.43±0.03
R-70	4.4±0.3	1.91±0.03	0.41±0.01

Tablo 2'de verildiği gibi, briket numune içerisindeki lastik oranı ile birim ağırlık arasında ters bir orantı olduğu görülmektedir. Lastik içeren numunelerin birim ağırlıkları, briketin içerisinde bulunan lastik yüzdesine bağlı olarak azalmaktadır. % 70 lastik oranında, briketin birim ağırlığı 1.53 gr/cm<sup>3</sup> dür. Lastiksiz briketin birim ağırlığının 2.17 gr/cm<sup>3</sup> olduğu göz önüne alındığında, % 70 lastik oranında birim ağırlıktaki yaklaşık % 29 azalma oldukça önemlidir.

Bu çalışmada ortaya çıkan en olumsuz durum, lastik içeren briket numunelerinin su emme yüzdelерinin lastik yüzdesi arttıkça artmasıdır. Normalde lastik su emmesi oldukça düşük olan bir malzemedir. Ancak taze karışımın kalıplara sıkıştırılması esnasında, lastikte meydana gelen esnemelerden dolayı, harç ile lastik arasında boşluklar oluşmaktadır. Daha sonra bu boşluklar su ile dolmaktadır. Bu durumda, lastik yüzdesi ne kadar fazla ise, boşluk oranı da o kadar fazla olacak ve böylece su emme yüzdesi de fazla olacaktır. Tablo 3'de, briket numunelerinin mekanik test sonuçları verilmektedir. ASTM C 140 [29] standardında, yük taşıyan veya taşımayan yığma yapı duvarlarında kullanılacak briketlerin su emme değerinin 0.288 gr/cm<sup>3</sup> ile sınırlandırılması öngörülmektedir. % 70 lastik oranında, briket numunesinin su emme değeri 0.113 olmuştur ve bu değer ilgili standarttaki en büyük değerden daha küçük olmuştur. Briket içerisindeki lastik oranının artmasıyla, ultrason hızında da azalma olduğu gözlenmiştir. Ultrason hızı, numunenin boşluk oranı ve lastiğin yoğunluğuyla ilgili olduğundan, ultrason

hızın azalması yalıtım özelliklerinde iyileşmenin bir göstergesi olabilir.

## 5. SONUÇLAR (RESULTS)

Atık lastik içeren briket numunelerinin testlerinden şu sonuçlar çıkarılabilir.

1. Hacimsel olarak % 70 atık lastik ile kum yer değiştirilerek üretilen briketin fiziksel ve mekanik özellikleri yük taşımayan yığma yapı duvarları için gerekli sınır değerleri sağladığından, yığma yapıların yük taşımayan kısımlarında kullanılabilir.
2. Kum ile atık lastiğin hacimsel olarak % 50 yer değiştirmesi sonucunda üretilen briket, yığma yapıların yük taşıyan duvarlarında kullanılabilir.
3. Briket içerisinde hacimsel olarak % 50 ile 70 oranında atık lastik kullanılması, duvar malzemesi olarak kullanılacak bu briketlerin birim ağırlık değerini % 29'a varan oranlarda azaltmaktadır. Böylece briketlerin taşınması işlerindeki nakliye masraflarında büyük tasarruflar sağlayacaktır.
4. Atık lastik içeren briketlerin üretimi oldukça kolaydır ve mevcut üretim teknikleri kullanılarak yapılabilir.

## TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmaya, TÜBİTAK-MAG tarafından 105M021 nolu proje kapsamında destek sağlanmıştır.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Fontana, J. ve Bartholomew, J., "Use of Concrete Polymer Materials in the Transportation Industry, Applications of Polymer Concrete", **American Concrete Institute**, SP-69Detroit, 21-30, 1981.
2. Topçu, İ.B., "The Properties of Rubberized Concretes", **Cement and Concrete Research**, Cilt 25, 304-310, 1995.
3. Rad, F., **Rubberized Concrete**, New Horizons in Construction Materials, Envo Publishing Company, No:1, 287-292, 1992.
4. Khatib, Z.K., Bayomy, F.M., "Rubberized Portland Cement Concrete", **ASCE Journal of Materials in Civil Engineering**, Cilt 11, 206-213, 1999.
5. Fedroff, D., **Mechanical Properties of Concrete with Ground Rubber**, MSc thesis, North Carolina State University, Raleigh, 1995.
6. Fedroff, D., Ahmad, S. ve Savas, B.Z., "Mechanical Properties of Concrete with Ground Waste Tire Rubber", **Transportation Research Record**, No. 1532, 66-72, 1996.
7. D. Raghavan, H. ve Ferraris, C.F., "Workability, Mechanical Properties and Chemical Stability of A Recycled Tire Rubber-Filled Cementitious Composite", **Journal of Materials Science**, Cilt 33, 1745-1752, 1998.
8. Eldin, N.N. ve Senouci, A.B., "Rubber-Tire Particles as Concrete Aggregates", **ASCE Journal of Materials in Civil Engineering**, Cilt 5, 478-496, 1993.
9. Ali, N.A., Amos, A. ve Roberts, M., "Use of Ground Rubber Tyres in Portland Cement Concrete," **Proc. Int. Conf. Concrete 2000**, University of Dundee, UK, 379-390, 1993.
10. Fattuhi, N.I. ve Clark, L.A., "Cement-based Materials Containing Shredded Scrap Truck Tyre Rubber," **Journal of Construction and Building Materials**, Cilt 10, 229-236, 1996.
11. Goulias, D.G. and Ali, NA., "Non-destructive Evaluation of Rubber Modified Concrete," **In Proceedings, Special Conference ASCE**, New York, 111-120, 1997.
12. Topcu, I.B. ve Avcular, N., "Analysis of Rubberized Concrete as A Composite Material", **Cement and Concrete Research**, Cilt 27, 1135-1139, 1997.
13. Topcu, I.B. ve Avcular, N., "Collision Behaviors of Rubberized Concrete", **Cement and Concrete Research**, Cilt 27, 1893-1898, 1997.
14. Topcu, I.B., ve Ozcelikors, Y., "Rubberised Concrete," **Akdeniz University, Isparta Engineering Faculty, 7th Engineering Week**, Isparta, Turkey, 1991.
15. Guoqiang, L., Gregory, G., John, E., Christopher, A., Michael, A.S. ve Su, S.P., "Waste Tire Fiber Modified Concrete", **Composites: Part B**, Cilt 35, 305-312, 2004.
16. Pierce, C.E. ve Blackwell, M.C., "Potential of Scrap Tire Rubber as Lightweight Aggregate in Flowable Fill", **Waste Management**, Cilt 23, 197-208, 2003.
17. Tantala, M.W., Lepore, J.A. and Zandi, I., "Quasi-elastic Behaviour of Rubber Included Concrete," **In Proceedings, 12th International Conference on Solid Waste Technology and Management**, 1996.
18. Savas, B. Z., Ahmad, S. ve Fedroff, D., "Freeze-thaw Durability of Concrete with Ground Waste Tire Rubber," **Transportation Research Record**, No. 1574, 80-88, 1996.
19. Turgut, P. ve Yeşilata, B., "Physico-Mechanical and Thermal Performances of Newly Developed Rubber-Added Bricks", **Energy and Buildings**, Cilt 40, 679-688, 2008.
20. Terry, A.G., "Designing of Building Products Made with Recycled Tires", **Contractor's Report to the Integrated Waste Management Board**, 2004.
21. TS 706 EN 12620, **Beton Agregaları**, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2003.
22. Yeşilata, B. ve Turgut, P., "A Simple Dynamic Measurement Technique for Comparing Thermal Insulation Performances of Anisotropic Building Materials", **Energy and Buildings**, Cilt 39, 1027-1034, 2007.

23. Yeşilata, B., Turgut, P. ve Işiker, Y., “Kompozit Yapı Malzemelerinde Isıl Özellik Ölçümü-1: Mevcut Ölçüm Tekniklerin İrdelenmesi”, **Mühendis ve Makina**, Cilt 48, 2-9, 2007.
24. Turgut P., Yeşilata B. ve Işiker, Y., “Kompozit Yapı Malzemelerinde Isıl Özellik Ölçümü-2: Hurda Lastik Katkılı Betonlar için Ölçüm Sonuçları”, **Mühendis ve Makina**, Cilt 48, 33-39, 2007.
25. ASTM C 67, 2003, **Standard Test Methods for Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile**, ASTM Standards, Philadelphia.
26. BS 6073: Part 1, 1981, **Precast Concrete Masonry Units: Specification for Precast Concrete Masonry Units**. British Standards Institution.
27. TS 705, **Solid Brick and Vertically Perforated Bricks**, Turkish Standard Institution, Ankara, 1985.
28. ASTM C 129, 2006, **Standard Specification for Non-Load-Bearing Concrete Masonry Units**, ASTM Standards, Philadelphia.
29. ASTM C 140, 2006, **Methods of Sampling and Testing Concrete Masonry Units**, ASTM Standards, Philadelphia.