

## PAPER DETAILS

TITLE: Lastik Küllü Harçların Özellikleri

AUTHORS: İlker Bekir TOPÇU,Mehmet Ugur TOPRAK

PAGES: 109-127

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/320375>

Makalenin Geliş Tarihi : 06.01.2009  
Makalenin Kabul Tarihi : 26.02.2009

## ***LASTİK KÜLLÜ HARÇLARIN ÖZELİKLERİ***

İlker Bekir TOPÇU<sup>1</sup>, Mehmet Uğur TOPRAK<sup>2</sup>

**ÖZET:** Bu çalışmada, harç özellikleri üzerine atık lastik külü ve uçucu külün uzun süreli etkisi araştırılmıştır. Lastik küllü, uçucu küllü-lastik küllü ve uçucu küllü olmak üzere üç farklı grup numune üretilmiştir. Lastik külü ve uçucu kül miktarlarının artması numunelerin mekanik özelliklerini, ağırlıkça su emme, ağırlık kaybı ve donma-çözülme sonuçlarını olumsuz etkilemiştir. Bu deneyler sonucunda en iyi sonuçlar çimento yerine % 10 lastik külü kullanılan numunelerde görülmüştür. Atık lastiklerin taşınması ve depolanması hem oldukça maliyetlidir hem de çevre kirliliğine neden olmaktadır. Çalışma sonucunda atık lastiklerin hafif harç yapımında kullanılması önerilmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Lastik külü; Eğilme ve basınç dayanımı; Donma-çözülme

## ***PROPERTIES OF RUBBER ASH MORTARS***

**ABSTRACT:** In this study, the long-term effect of waste tire rubber ash and fly ash on the properties of mortars was investigated. Experimental results have shown that the mechanical properties, water absorption by weight, loss in weight and freezing-thawing damage properties of the specimens have been affected negatively due to the increase in amounts of tire rubber ash and fly ash. After these experiments, it was observed that the best results were obtained from mortars produced by using 10 % of tire rubber ash instead of cement by weight. The transportation and storage of waste tires costs significantly and causes detrimental effects on environmental regime. Consequently it is recommended to utilize tire rubber ash in lightweight mortar production.

**Keywords:** Rubber ash; Flexural and compressive strength; Freeze-thaw

---

<sup>1,2</sup> Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi,  
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Batı Meşelik Kampüsü, ESKİŞEHİR

## ***I. GİRİŞ***

Dünyada, artan otomobil sayısına paralel olarak atık lastik miktarı da her geçen yıl artmaktadır. Bu atık lastiklerin yok edilmesi veya depolanması önemli çevresel problemlere neden olmaktadır. Genellikle, kullanılmış otomobil lastikleri veya katı atıkların en ucuz ve en kolay yok edilme yöntemi yakılmasıdır. Ancak, bu yakılma işlemlerinin de çevreye zarar vermeden kontrollü olarak yapılması gerekmektedir [1-4]. Yaygın olarak uygulanan diğer bir yöntem ise atık lastiklerin arazilerde depolanmasıdır. Bu yöntem de yangın tehlikesi veya böcek barınağı olma gibi birçok çevresel probleme neden olmaktadır [3]. Ayrıca atık lastiklerin taşınması ve depolanması pahalı ve zordur.

Atık lastiklerin problem oluşturmasını önlemek için yenilikçi çözümlerin geliştirilmesi zorunludur [5]. Bu yenilikçi çözümlerden birisi de atık lastiklerin beton teknolojisinde kullanılarak geri kazanılmasıdır. Atık lastiklerin bu şekilde değerlendirilmesi ile hem çevresel olarak hem de ekonomik olarak yarar sağlayacağı göz önünde bulundurulmalıdır. Son yıllarda, atık lastiklerin beton teknolojisinde kullanılması ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar, atık lastikli harç veya betonları geleneksel harç veya betonlarla karşılaştırdıklarında birim ağırlık, eğilme ve basınç dayanımı değerlerinin azaldığını belirtmişlerdir. Üretilen lastikli harç veya lastikli betonlar birim ağırlıklarının düşük olması nedeni ile hafif yapı malzemelerinin üretiminde kullanılabilirler, böylece atık lastikler de değerlendirilmiş olacaktır.

Ayrıca, bu çalışmalar, atık lastik agregalarının boyutunun da dayanım üzerinde etkili olduğunu belirtmektedir [1-3, 6]. İnce lastik agregalı betonlara göre, iri lastik agregalı betonlarda basınç dayanımı değerlerinin daha fazla azaldığı gözlenmiştir [1-3, 6-9]. Farklı oranlarda geri kazanılmış atık lastik içeren harç ve betonların fiziksel ve mekanik özellikleri ile ilgili birçok çalışma gerçekleştirilmiştir [1-3, 6-21]. Ancak atık lastik külü ve uçucu kül içeren lastikli harçlarla ilgili yapılmış çalışma çok azdır. Topçu ve Sarıdemir [10] kum yerine ağırlıkça % 0, 10, 15, 20, 30, 45 ve 50 oranlarında (0-1 ve 1-4 mm) boyutlarında atık lastik agregası kullanılarak üretilen harçların eğilme ve basınç dayanımlarını yapay sinir ağları ve bulanık mantık kullanarak incelemişlerdir.

Yapılan istatistiksel değerlendirme sonucunda kum yerine kullanılan atık lastik miktarı arttıkça eğilme ve basınç dayanımı değerlerinin azaldığı, bu azalmanın kalın lastikli harçlarda daha

yüksek olduğu belirlenmiştir [10]. Atık lastik küllü ve uçucu küllerin hafif beton yapı malzemeleri üretiminde agrega veya çimento yerine kullanılabilmesi hem çevreye zararlı endüstriyel atıkların değerlendirilmesini hem de yapı malzemelerinin ucuz ve hafif olmasını sağlaması açısından önem kazanmaktadır. Lastikli betonlar ile ilgili çalışmalarda genel olarak yoğunluklarının, donma-çözülme dayanımlarının düşük olduğu, bunlarla beraber tokluk, süneklik ve çarpma dirençlerinin, ısı ve ses yalıtımlarının yüksek olduğu belirtilmektedir [11,12].

Al-Akhras ve Smadi [4] kum yerine ağırlıkça % 2,5, 5,0, 7,5 ve 10 oranlarında lastik küllü kullanarak harç numuneleri üretmişlerdir. Lastik küllü harçlar üzerinde hava içeriği, priz süresi, eğilme ve basınç dayanımı, donma-çözülme deneyi ve aşınma deneyleri yapmışlardır. Harçlarda lastik küllü miktarı arttıkça hava içeriğinin azaldığını, priz süresinin ise arttığını gözlemişlerdir. Ayrıca, çalışmada, lastik küllü miktarı arttıkça eğilme dayanımı ve basınç dayanımı değerlerinin arttığı belirtilmiştir. Lastik küllü harçların eğilme ve basınç dayanımlarında en büyük artış erken yaşlarda (3 ve 7 günlük numunelerde) gözlemlenmiştir. Al-Akhras ve Smadi'nin çalışmalarında % 10 oranında lastik küllü içeren harçların donma-çözülme ve klor iyon geçirgenlik dirençlerinin kontrol numunesine göre ortalama % 15 ve % 70 daha yüksek olduğu görülmektedir.

## **II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

Çalışmada Al-Akhras ve Smadi'nin çalışmasına benzer olarak, atık lastikler kontrollü bir şekilde 24 saat yakıldıktan sonra 2 mm göz açıklıklı elekten elenmiştir. Daha sonra elde edilen lastik külleri ve uçucu kül farklı oranlarda çimento ve agrega yerine kullanılarak lastik küllü (LK), uçucu küllü-lastik küllü (UKLK) ve uçucu küllü (UK) olmak üzere üç farklı grup harç numunesi üretilmiştir. Ayrıca normal harç numuneleri (N) üretilmiştir. Üretilen harçların birim ağırlık, ultrases geçiş hızı, eğilme ve basınç dayanımı değerleri deneysel olarak araştırılmıştır. Çalışmada ayrıca 120 günlük harç numunelerinde ağırlıkça su emme, ağırlık kaybı ve donma-çözülme hasarı deneyleri yapılarak numunelerin dayanıklılık özellikleri değerlendirilmiştir.

Böylece atık lastik küllü kullanımının harçların dayanım ve dayanıklılık özellikleri üzerindeki etkileri detaylı olarak araştırılarak harçlarda kullanım potansiyeli belirlenmeye çalışılmıştır. Harç karışımlarında, CEM II/B-M 32,5 R tipi çimento, standart Rilem kumu, şehir şebeke suyu

(sülfat içeriği 5,8 mg/l, sertliği 3,9 mg/l ve pH değeri 6,3), 0-2 mm tane boyutlarında atık lastik külü ve Seyitömer Termik Santrali'ne ait F tipi uçucu kül kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan standart Rilem kumunun özgül ağırlığı 2,57 ve atık lastik külünün özgül ağırlığı ise 1,26 olarak belirlenmiştir. Seyitömer Termik Santrali uçucu külü ve çimentoaya ait özellikler Çizelge 1'de verilmiştir.

*Çizelge 1. Malzemelerin özellikleri*

| <b>Kimyasal bileşimi</b>       | <b>Uçucu kül</b> | <b>Çimento</b> |
|--------------------------------|------------------|----------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 54,49            | 31,53          |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 20,58            | 7,06           |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 9,27             | 3,29           |
| CaO                            | 4,26             | 48,89          |
| MgO                            | 4,48             | 1,46           |
| K <sub>2</sub> O               | 2,01             | 0,12           |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,65             | 1,33           |
| SO <sub>3</sub>                | 0,52             | 2,01           |
| KK                             | 3,01             | 6,20           |
| Çözünmeyen kalıntı             | -                | 0,27           |
| Serbest CaO                    | 0,26             | 1,31           |
| Reaktif SiO <sub>2</sub>       | 39,01            | -              |
| Reaktif CaO                    | 2,49             | -              |
| <b>Fiziksel özellikler</b>     |                  |                |
| Özgül ağırlık                  | 2,26             | 3,05           |
| Blaine (cm <sup>2</sup> /gr)   | 3215             | 3450           |
| <b>Basınç dayanımı, MPa</b>    |                  |                |
| 7 günlük                       | -                | >16            |
| 28 günlük                      | -                | >32,5          |

Harç karışımları hazırlanırken birinci grup numunelerde (LK), atık lastik külleri ağırlıkça % 10, 20 ve 30 oranlarında kum yerine kullanılmıştır. İkinci grup numunelerde (UKLK), atık lastik külleri kum yerine ağırlıkça % 10, 20 ve 30 oranlarında ve uçucu kül çimento yerine ağırlıkça % 10, 20 ve 30 oranlarında kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan atık lastik külü Şekil 1a'da ve üretilen LK ve UKLK numuneleri Şekil 1b'de görülmektedir. Üçüncü grup numunelerde ise (UK), çimento yerine ağırlıkça % 10, 20 ve 30 oranlarında uçucu kül kullanılmıştır. Normal harç numuneleri de üretilmiştir (N).



Şekil 1. a) Lastik külleri



b) LK ve UKLK harç numuneleri

Eğilme dayanımı ve basınç dayanımlarının belirlenmesi için kullanılacak numunelerin hazırlanmasında TS EN 196-1'e uygun 4x4x16 cm boyutlarında üçlü çelik harç kalıpları kullanılmıştır. TS EN 196-1 standardına göre hazırlanan harç numuneleri kalıplara yerleştirilmiştir. Kontrol numunesi ve üç farklı grupta seriler halinde üretilen harç numunelerinin (N, LK, UKLK ve UK) karışım miktarları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Lastik küllü ve uçucu küllü harçların karışım oranları

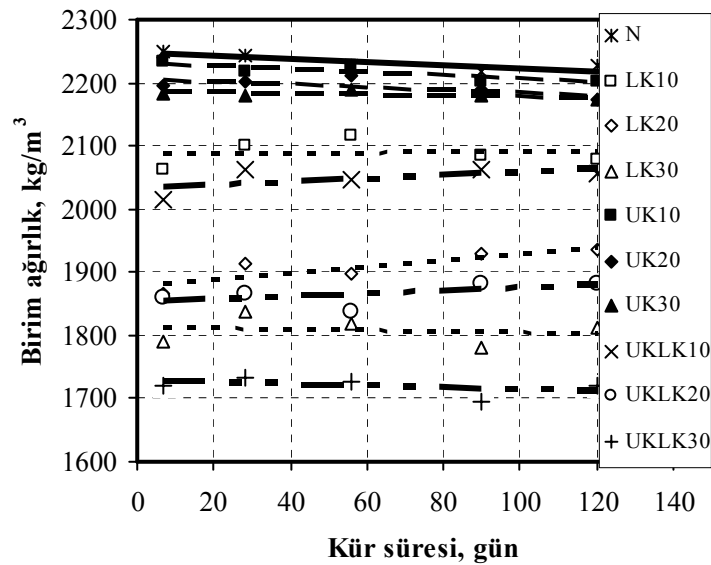
| Karışım kodu | Çimento gr | Uçucu Kül % | Kum gr | Lastik Küllü % | Su gr |
|--------------|------------|-------------|--------|----------------|-------|
| N            | 450        | -           | 1350   | -              | 225   |
| LK10         | 450        | -           | 1215   | 10             | 265   |
| LK20         | 450        | -           | 1080   | 20             | 295   |
| LK30         | 450        | -           | 945    | 30             | 320   |
| LKUK10       | 405        | 10          | 1215   | 10             | 265   |
| LKUK20       | 360        | 20          | 1080   | 20             | 295   |
| LKUK30       | 315        | 30          | 945    | 30             | 320   |
| UK10         | 405        | 10          | 1350   | 10             | 228   |
| UK20         | 360        | 20          | 1350   | 20             | 235   |
| UK30         | 315        | 30          | 1350   | 30             | 245   |

Çalışmada, üretilen harç numuneleri 24 saat sonra kalıplarından çıkarılıp kirece doygun ve  $20 \pm 3$  °C sıcaklıktaki standart koşullarda kür edilmiştir. Numuneler üzerinde 7, 28, 56, 90 ve 120. günlerde birim ağırlık, ultrases geçiş süresi, eğilme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Ayrıca 120 günlük kür süresinden sonra LK, UKLK ve UK harç numunelerinde ağırlıkça su emme ve bağıl dinamik elastisite modülü değerlerine göre donma-çözülme hasarı deneyleri gerçekleştirilmiştir.

### III. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLARI

#### III.1. Birim Ağırlıktaki Değişimler

Deneysel çalışmada LK, UK-LK ve UK olarak üretilen harçların 7, 28, 56, 90 ve 120. günlerde birim ağırlıklarındaki değişim doğrusal olarak incelenmiş sonuçlar Şekil 2 ve Çizelge 3'te verilmiştir. LK ve UKLK ile üretilen harçların birim ağırlık değerleri kullanılan LK ve UK miktarı arttıkça büyük ölçüde azalmıştır. Bu azalma LK ile üretilen harçlara göre, UK-LK ile üretilen harçlarda daha fazladır. UK numunelerinde ise artan uçucu kül kullanımı ile harçların birim ağırlıklarının azaldığı görülmektedir. Kür sürelerine göre birim ağırlıklarda önemli bir değişim gözlenmemiştir.



Şekil 2. Üretilen harçların 7, 28, 56, 90 ve 120 günlük birim ağırlık değerleri

Kontrol numunelerinde birim ağırlık değerleri ortalama  $2233 \text{ kg/m}^3$ , % 30 lastik küllü kullanılan serilerde ortalama  $1800 \text{ kg/m}^3$  olarak bulunmuştur. Deneylerde LKUK30 numunelerinde ise birim ağırlık değerleri azalarak  $1720 \text{ kg/m}^3$  olmuştur. Bu serilerde kum yerine % 30 LK kullanımının birim ağırlık değerlerini yaklaşık % 20, çimento ve kum yerine sırasıyla % 30 UK ve LK kullanımının birim ağırlık değerlerini % 23 azalttığı görülmüştür. Birim ağırlık değerlerini düşürmesi özeliğinden dolayı beton ve harçlarda kum yerine lastik küllü ancak bazı özel uygulamalarda kullanılabilecektir.

**Çizelge 3.** Birim ağırlık-kür süresi doğrusal ilişkisi  $y=ax+b$

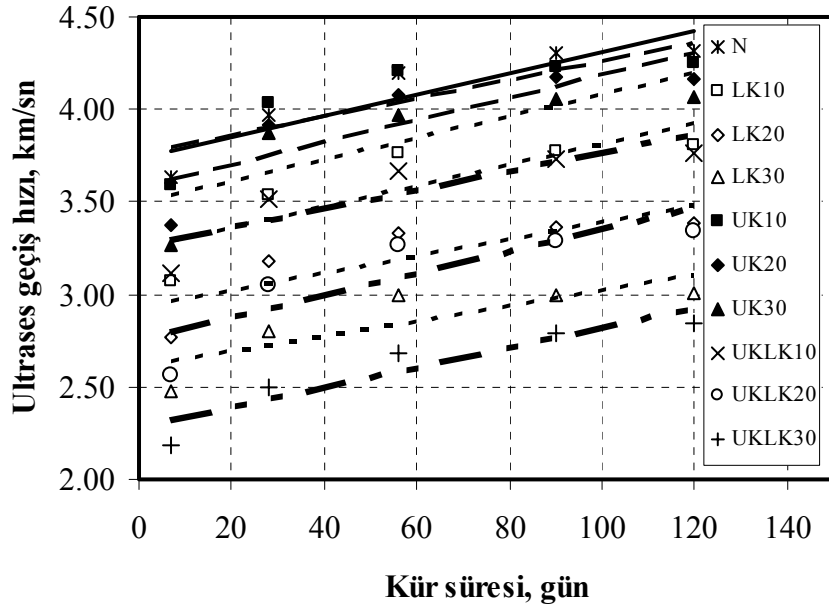
| Denklem<br>ve<br>Korelasyon<br>Katsayıları | N      | LK, % |        |        | UKLK, % |        |        | UK, %  |        |        |
|--------------------------------------------|--------|-------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                            |        | 10    | 20     | 30     | 10      | 20     | 30     | 10     | 20     | 30     |
| a                                          | -0,233 | 0,016 | 0,526  | -0,061 | 0,251   | 0,283  | -0,148 | -0,271 | -0,229 | -0,087 |
| b                                          | 2247   | 2088  | 1877,3 | 1811,3 | 2033,5  | 1851,3 | 1727,7 | 2233,5 | 2207,6 | 2186   |
| R <sup>2</sup>                             | 0,710  | 0,001 | 0,746  | 0,015  | 0,344   | 0,310  | 0,210  | 0,783  | 0,490  | 0,447  |

Çizelge 3'te LK ve UKLK numuneleri için birim ağırlık-kür süresi arasında kurulan doğrusal ilişkide korelasyon katsayılarının oldukça düşük olduğu görülmektedir. En yüksek korelasyon katsayıları N ve UK numunelerinde elde edilmiştir. Lastik küllü numunelerde birim ağırlığın kür süresiyle doğrusal ilişkisi olmadığı görülmüştür.

### III.2. Ultrases Geçiş Süresindeki Değişimler

Şekil 3'te kontrol numunelerine göre, UK numunelerinin ultrases geçiş hızı değerlerinde önemli değişimler gözlenmemiştir. LK ve UKLK'larda ultrases geçiş hızı değerleri kullanılan lastik küllü ve uçucu kül miktarı arttıkça azalmıştır. Bu azalma LK'lara göre, UKLK'larda daha fazladır. Kontrol numunelerinde ortalama ultrases geçiş hızı değerleri  $4,1 \text{ km/sn}$ , LK30 serilerinde  $2,9 \text{ km/sn}$  bulunmuştur. LK ve UKLK serilerinin ultrases geçiş hızları lastik küllü ve uçucu kül kullanım oranı arttıkça azaltmaktadır.





Şekil 3. Üretilen harçların 7, 28, 56, 90 ve 120 günlük ultrases geçiş hızı değerleri

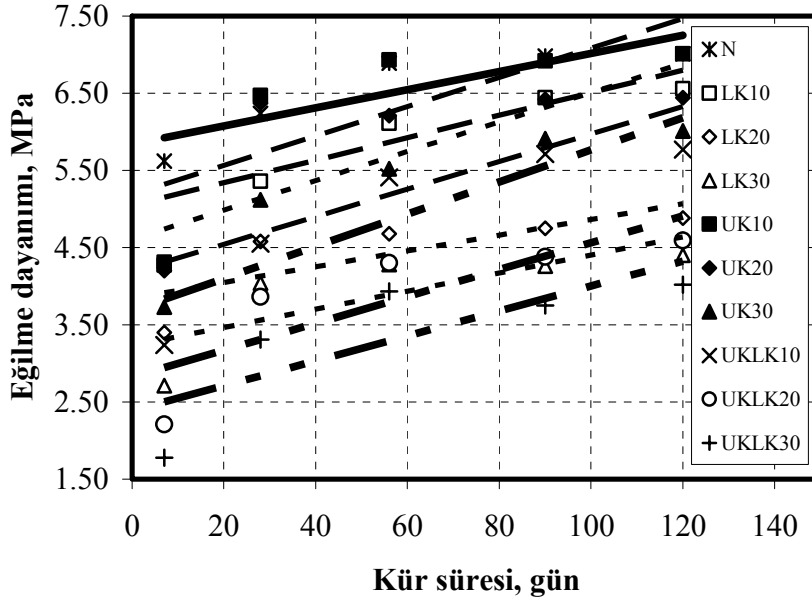
Şekil 3'te doğrusal olarak incelenen ultrases geçiş hızı-kür süresi ilişkilerinden elde edilen regresyon denklemleri Çizelge 4'te verilmiştir. Bütün numunelerde korelasyon katsayıları 0.650 ile 0.850 aralığında değişmektedir. Korelasyon katsayıları en düşük 0.652 ve en yüksek 0.856 olarak sırasıyla UK30 ve UKLK30 numunelerinde görülmektedir. Buradan uçucu kül ve lastik külü kullanılan numunelerde ultrases geçiş hızı ve kür süresi arasında korelasyon değeri yüksek bir ilişki olduğu görülmüştür.

Çizelge 4. Ultrases geçiş hızı-kür süresi doğrusal ilişkisi  $y=ax+b$

| Denklem<br>ve<br>Korelasyon<br>Katsayıları | N     | LK, %  |        |       | UKLK, % |       |       | UK, % |       |        |
|--------------------------------------------|-------|--------|--------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|--------|
|                                            |       | 10     | 20     | 30    | 10      | 20    | 30    | 10    | 20    | 30     |
| a                                          | 0,057 | 0,0056 | 0,0046 | 0,004 | 0,005   | 0,006 | 0,005 | 0,005 | 0,061 | 0,0059 |
| b                                          | 3,739 | 3,2505 | 2,926  | 2,608 | 3,252   | 2,744 | 2,278 | 3,761 | 3,577 | 3,494  |
| R <sup>2</sup>                             | 0,820 | 0,694  | 0,683  | 0,688 | 0,743   | 0,708 | 0,856 | 0,676 | 0,683 | 0,652  |

### III.3. Eğilme Dayanımındaki Değişimler

UK, UKLK ve LK numunelerinin eğilme dayanımlarının kür süresiyle değişimi ve kurulan doğrusal denklemler Şekil 4 ve Çizelge 5'te görülmektedir. Kontrol numunelerine göre, LK ve UKLK harç numunelerinin eğilme dayanımı değerleri tüm kür sürelerinde azalmıştır. UK numunelerinde ise önemli bir değişim gözlenmemiştir.



Şekil 4. Üretilen harçların 7, 28, 56, 90 ve 120 günlük eğilme dayanımları

Tüm kür süreleri için, kontrol numunelerinde ortalama eğilme dayanımı değerleri 6.55 MPa olurken, kum yerine ağırlıkça % 30 lastik küllü ile üretilen LK30 numunelerinde 4 MPa değerine düşmüştür. UK30 ve UKLK30 serilerinde ise eğilme dayanımı değerleri sırasıyla 5.25 ve 3.35 MPa olarak bulunmuştur. Uçucu kül ile üretilen harçlarda en iyi eğilme dayanımı değerleri ağırlıkça % 10 çimento yer değişim oranında gözlenmiştir. Daha yüksek UK karışım oranlarında ise eğilme dayanımı değerleri kontrol numunelerine göre azalmıştır. Deneylerde LK30 ve UKLK30 numunelerinde sırasıyla eğilme dayanımı değerlerinin yaklaşık % 40 ve % 50 azaldığı görülmektedir. Lastik küllü veya uçucu kül kullanımı harçların eğilme dayanımlarını azaltmaktadır. Eğilme dayanımlarında en büyük azalma 7, 28 ve 56 günlük UKLK'larda gözlenmiştir.

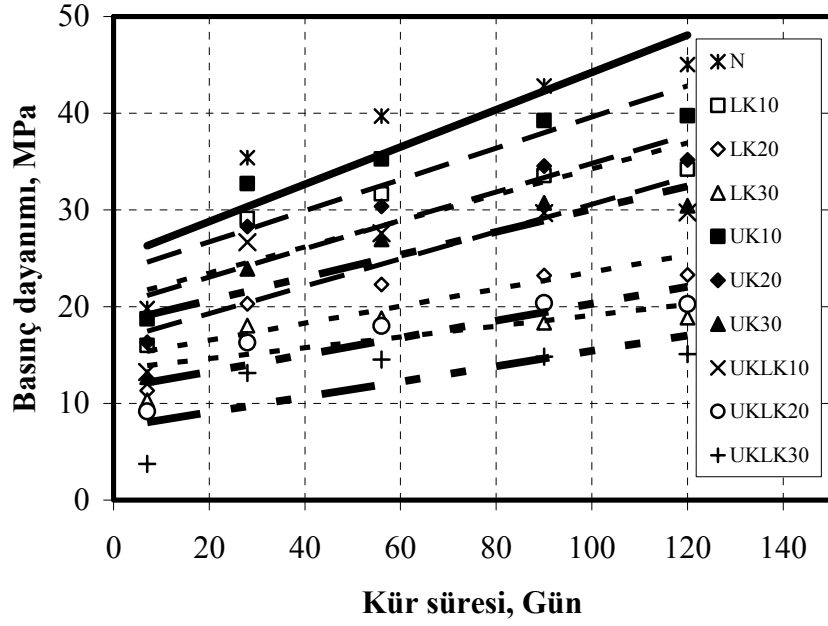
**Çizelge 5.** Eğilme dayanımı-kür süresi doğrusal ilişkisi  $y=ax+b$ 

| Denklemler ve Korelasyon Katsayıları | N     | LK, % |       |       | UKLK, % |       |        | UK, % |       |       |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|--------|-------|-------|-------|
|                                      |       | 10    | 20    | 30    | 10      | 20    | 30     | 10    | 20    | 30    |
| a                                    | 0,012 | 0,019 | 0,010 | 0,012 | 0,021   | 0,017 | 0,0161 | 0,019 | 0,015 | 0,018 |
| b                                    | 5,839 | 4,603 | 3,842 | 3,233 | 3,684   | 2,822 | 2,389  | 5,184 | 5,050 | 4,183 |
| R <sup>2</sup>                       | 0,787 | 0,838 | 0,603 | 0,587 | 0,794   | 0,678 | 0,634  | 0,572 | 0,472 | 0,780 |

Karışımlarda kullanılan lastik külü ve uçucu kül miktarı arttıkça korelasyon katsayılarının bütün numunelerde belirgin bir şekilde düştüğü görülmektedir. Bu durumda eğilme dayanımı ve kür süresi arasında kurulan doğrusal ilişki kullanılan lastik külü ve uçucu kül miktarı arttıkça anlamını kaybetmektedir.

#### **III.4. Basınç Dayanımındaki Değişimler**

Üç farklı grupta LK, UKLK ve UK ile üretilen harç numunelerinin 7, 28, 56, 90 ve 120 günlük basınç dayanımı değerleri Şekil 5'te verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi kontrol numunelerine göre, kullanılan lastik külü ve uçucu kül miktarı arttıkça harçların basınç dayanımı değerleri tüm kür sürelerinde azalmıştır. Tüm kür sürelerinde, kontrol numunelerine göre, en düşük dayanım kaybı uçucu kül içeren harçlarda, en yüksek dayanım kaybı ise UKLK numunelerinde görülmüştür. Bu sonuçlardan harçlarda atık lastik külü kullanımının Al-Akhras ve Smadi'nin çalışmasında iddia edildiği gibi basınç dayanımlarını artırmadığı, aksine belirgin miktarlarda azalttığı görülmektedir.



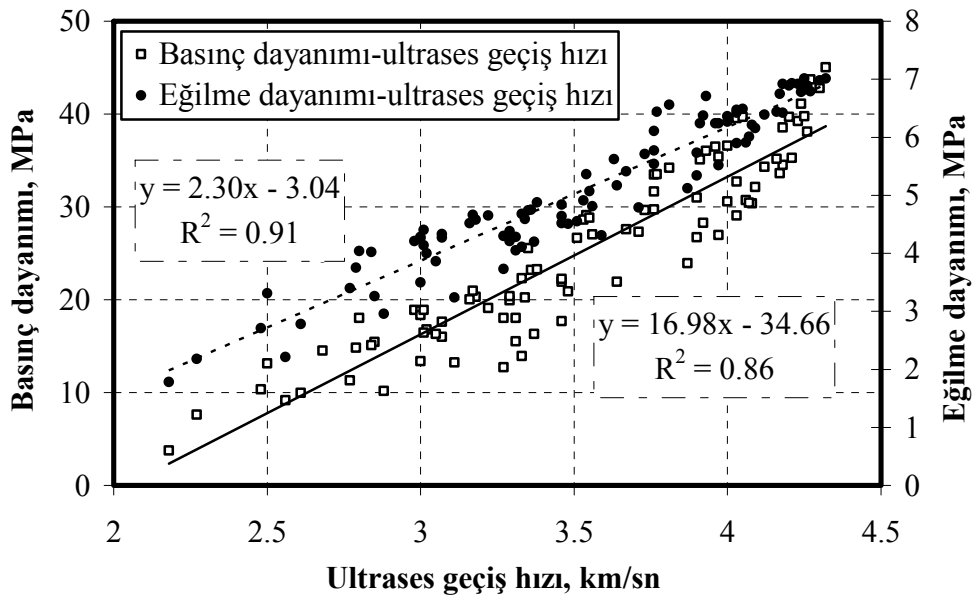
Şekil 5. Üretilen harçların 7, 28, 56, 90 ve 120 günlük basınç dayanımları

Tüm kür süreleri için, kontrol numunelerinde ortalama basınç dayanımı değerleri yaklaşık 37 MPa olurken, % 30 lastik küllü ile üretilen numunelerde yaklaşık 17 MPa değerine düşmüştür. Deneylerde UK30 ve UKLK30 numunelerinde ise basınç dayanımı değerleri sırasıyla yaklaşık 25 ve 12 MPa olarak bulunmuştur. LK30 numunelerinde basınç dayanımı değerleri yaklaşık % 54, UKLK30 numunelerinde basınç dayanımı değerleri % 68 azalmıştır. Bu sonuçlara göre lastik küllü veya uçucu küllü beraber harçların basınç dayanımı değerlerini azaltmaktadır. LK, UKLK ve UK numunelerinde basınç dayanımı değerlerindeki en büyük değişim 7 ve 28 günlük kür sürelerinde gözlenmiştir. LK numunelerine göre, UKLK ile üretilen harçların basınç dayanımının düşük çıkmasının nedeni harç ve lastik küllü arasındaki aderans eksikliği ve kum ile lastik küllü arasındaki dayanım farkından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 6. Basınç dayanımı-kür süresi doğrusal ilişkisi  $y=ax+b$ 

| Denklem<br>ve<br>Korelasyon<br>Katsayıları | N      | LK, %  |        |        | UKLK, % |        |       | UK, %  |        |        |
|--------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|-------|--------|--------|--------|
|                                            |        | 10     | 20     | 30     | 10      | 20     | 30    | 10     | 20     | 30     |
| a                                          | 0,193  | 0,135  | 0,088  | 0,056  | 0,118   | 0,087  | 0,079 | 0,162  | 0,147  | 0,141  |
| b                                          | 24,953 | 20,798 | 14,782 | 13,532 | 18,289  | 11,555 | 7,506 | 23,434 | 20,099 | 16,477 |
| R <sup>2</sup>                             | 0,770  | 0,676  | 0,635  | 0,480  | 0,606   | 0,753  | 0,563 | 0,743  | 0,775  | 0,759  |

Şekil 5'te doğrusal olarak incelenen basınç dayanımı-kür süresi ilişkilerinden elde edilen regresyon denklemleri Çizelge 6'da verilmiştir. Bütün numunelerde korelasyon katsayıları 0,480 ile 0,775 aralığında değişmektedir. Korelasyon katsayıları bazı numunelerde eğilme dayanımı-kür süresi ilişkilerinden elde edilenlerden çok daha düşüktür. Buradan uçucu kül ve lastik külü kullanılan numunelerde basınç dayanımı ve kür süresi arasında korelasyon değeri yüksek olmayan bir ilişki olduğu anlaşılmıştır.



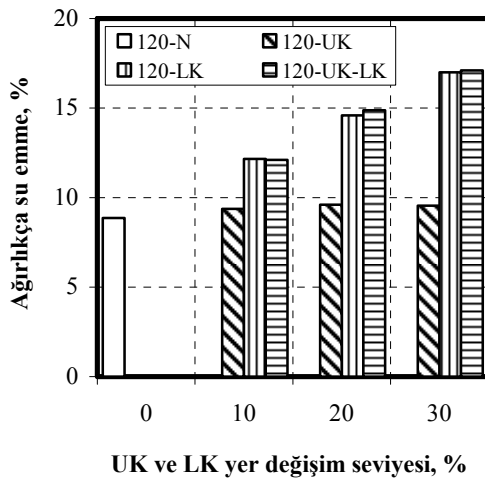
Şekil 6. Numunelerin Ultrases geçiş hızı ile mekanik özellikleri arasındaki ilişkiler

LK, UKLK ve UK numunelerinin 7, 28, 56, 90 ve 120 günlük eğilme dayanımı-ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı-ultrases geçiş hızı ilişkileri Şekil 6'da gösterilmiştir. Ayrıca, şekil üzerinde eğilme dayanımı-ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı-ultrases geçiş hızı ilişkisinin doğrusal denklemi ve  $R^2$  değerleri verilmiştir. Denklemlerden ve  $R^2$  değerlerinden görüldüğü gibi eğilme dayanımı ile ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı ile ultrases geçiş hızı arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır.

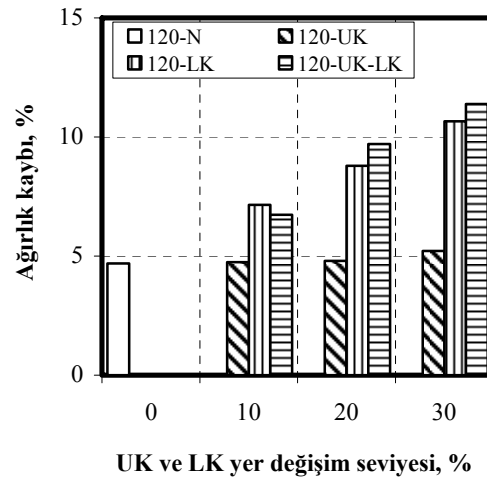
### III.5. Ağırlıkça Su Emme ve Donma-Çözülme Sonrası Ağırlık Kayıplarının İncelenmesi

Üç farklı grupta LK, UKLK ve UK harç numunelerinin 120 günlük ağırlıkça su emme oranları Şekil 7'de görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi kontrol numunelerine göre, lastik küllü ve uçucu kül miktarı arttıkça harçların ağırlıkça su emme oranı artmıştır. Kontrol numunelerinde ağırlıkça su emme oranı yaklaşık % 8 olurken LK30 ve UKLK30 numunelerinde su emme oranı yükselerek sırasıyla % 16,5 ve % 17 olmuştur.

UK numunelerinde ise uçucu kül ile çimento yer değişim oranı artıkça ağırlıkça su emme oranı değerlerinde çok az bir değişim görülmüştür. Buna göre harçlarda lastik küllü kullanımı su emme oranı değerlerini önemli ölçüde artırmaktadır.



Şekil 7. Harçların ağırlıkça su emme oranı

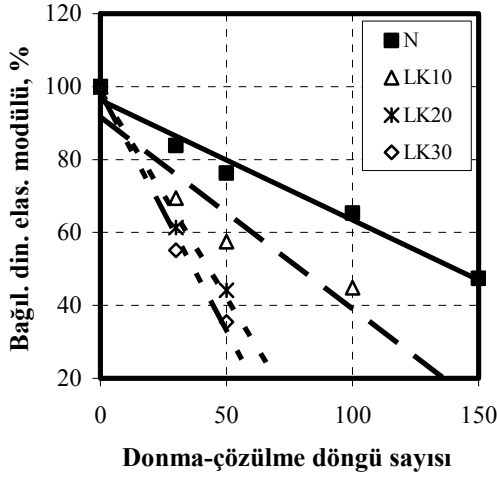


Şekil 8. Harçların ağırlık kaybı

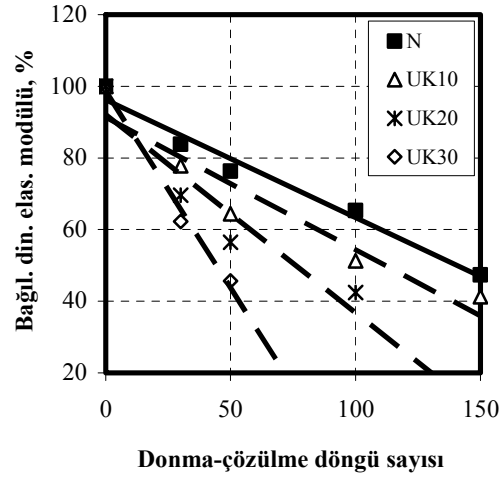
Üç farklı grupta LK, UKLK ve UK harç numunelerinin 120 günlük ağırlık kaybı oranları Şekil 8’de görülmektedir. Numunelerdeki bu ağırlık kayıpları numunelere 30 donma-çözülme çevrimi yapıldıktan sonra elde edilmiştir. LK ve UKLK harç numunelerinde Şekil 8’de görüldüğü gibi kontrol numunelerine göre, lastik külü ve uçucu kül miktarı arttıkça harçların ağırlık kaybı oranı artmıştır. UK numunelerinde ise uçucu kül yer değişim oranı arttıkça ağırlık kaybı oranı değerlerinde önemli bir değişim gözlenmemiştir. Kontrol numunelerinde ağırlık kaybı ortalama % 5 olurken, LK30 ve UKLK30 numunelerinde sırasıyla % 11 ve % 12 olarak bulunmuştur.

### III.6. Donma-Çözülme Hasarının İncelenmesi

LK, UKLK ve UK harç numunelerinde, donma-çözülme hasarları bağıl dinamik elastisite modülü değerlerine göre belirlenmiştir. Her grup için üç farklı yer değiştirme oranı (% 10, 20 ve 30) kullanılarak oluşturulan 120 günlük LK, UK ve UKLK numunelerinin farklı devirlerdeki donma-çözülme hasarları sırasıyla Şekil 9, 10 ve 11’de görülmektedir. Kontrol numunelerine göre LK, UK ve UKLK harç numunelerinin donma-çözülme hasarlarının çok daha fazla olduğu gözlenmiştir.

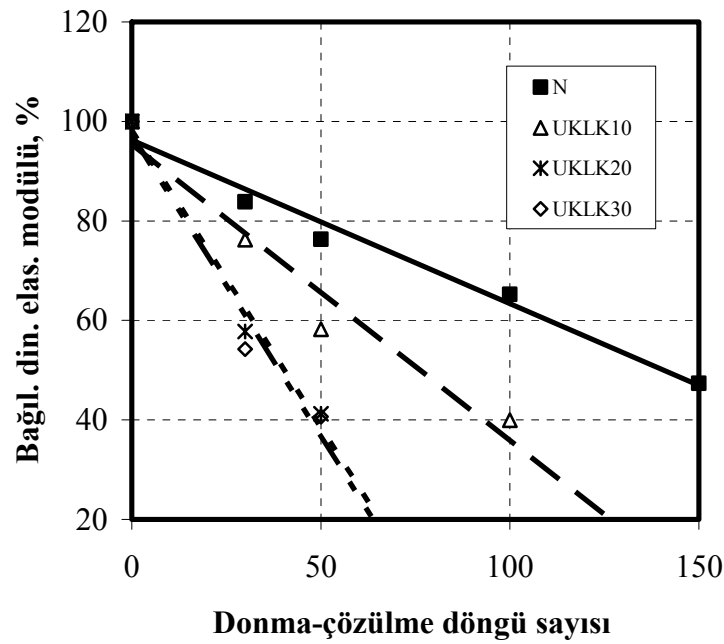


Şekil 9. LK ile üretilen harçların donma-çözülme hasarı



Şekil 10. UK ile üretilen harçların donma-çözülme hasarı

En fazla donma-çözülme hasarı UKLK numunelerinde, en az donma-çözülme hasarı ise UK numunelerinde ortaya çıkmıştır. Şekiller incelendiğinde numunelerde kullanılan uçucu kül ve lastik küllü miktarlarının artmasının bağıl dinamik elastisite modülü değerlerine göre belirlenen donma-çözülme hasarlarını arttırdığı görülmektedir. LK20 ve UKLK20 numunelerinde 50 donma-çözülme döngüsü sonucunda dinamik elastisite modülü değerlerinin önemli ölçüde düştüğü gözlenmiştir. Bu numuneler için, donma-çözülme döngüsü 50 devirde bitirilmiştir. Donma-çözülme hasarı sonuçlarına göre, harçlarda % 10'dan daha fazla lastik küllü veya uçucu külle beraber lastik küllü kullanılması, harçların dayanıklılığını oldukça olumsuz etkilemektedir.



**Şekil 11.** UK-LK ile üretilen harçların donma-çözülme hasarı

Şekil 9, 10 ve 11'de doğrusal olarak incelenen donma-çözülme hasarı-döngü sayısı ilişkilerinden elde edilen regresyon denklemleri Çizelge 7'de verilmiştir. Bütün numunelerde korelasyon katsayılarının oldukça yüksek olduğu görülmektedir.



**Tablo 7.** Donma-çözülme hasarı-döngü sayısı doğrusal ilişkisi  $y=ax+b$ 

| Denklemler ve Korelasyon Katsayıları | N      | LK, %  |        |        | UKLK, % |        |        | UK, %  |        |        |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                      |        | 10     | 20     | 30     | 10      | 20     | 30     | 10     | 20     | 30     |
| a                                    | -0,329 | -0,526 | -1,131 | -1,307 | -0,595  | -1,194 | -1,231 | -0,370 | -0,553 | -1,101 |
| b                                    | 96,251 | 91,622 | 98,646 | 98,392 | 95,381  | 98,159 | 97,330 | 91,344 | 92,011 | 98,643 |
| R <sup>2</sup>                       | 0,977  | 0,877  | 0,989  | 0,989  | 0,952   | 0,983  | 0,965  | 0,910  | 0,894  | 0,989  |

#### IV. TARTIŞMA

Agreganın bir kısmı yerine kullanılan atık lastiklerin harcın eğilme ve basınç dayanımı değerlerini azalttığı yapılmış olan birçok çalışmada belirtilmektedir. Eğilme ve basınç dayanımı değerlerinin azalmasında atık lastik boyutlarının da etkili olduğu ifade edilmiştir. İnce lastik agregalı betonlara göre, iri lastik agregalı betonların eğilme ve basınç dayanımı değerlerini daha da azalttığı görülmüştür. Yapılmış olan tüm çalışmalarda atık lastiklerin eğilme ve basınç dayanımını azalttığı gözlenmiştir. Ancak, Al-Akhras ve Smadi (2004) çalışmalarında kum yerine ağırlıkça % 2,5, 5,0, 7,5 ve 10 atık lastik külü kullanmış ve lastik külü miktarı arttıkça eğilme ve basınç dayanımı değerlerinin arttığını belirtmişlerdir. Özellikle kum yerine ağırlıkça % 10 atık lastik külü kullanılması, 28 günlük harçların eğilme ve basınç dayanımı değerlerini sırasıyla % 43 ve % 40 arttırdığı belirtilmiştir. Hem bağlayıcılık özeliği olmayan hem de kuma göre birim ağırlığı düşük olan atık lastik küllünün harçların eğilme ve basınç dayanımı değerlerini arttırması zor görülmektedir. Bu çalışmada da gözlemlendiği gibi atık lastik külleri harçların eğilme ve basınç dayanımı değerlerini önemli ölçüde azaltmaktadır.

Bağıl dinamik elastisite modülüne göre belirlenen, hızlandırılmış donma-çözülme hasarı deneyinde de, Al-Akhras ve Smadi (2004) atık lastik küllerinin, normal harçlara göre daha dayanıklı olduğunu gözlemiştir. Ayrıca kum yerine ağırlıkça % 5 atık lastik kullanılan harçlara göre, kum yerine ağırlıkça % 10 atık lastik kullanılan harçların daha yüksek dirençli olduğu belirtilmiştir. Normal harçlara göre, atık lastik küllü kullanılan harçların donma-çözülme hasarı daha fazla olmalı ve atık lastik külü miktarı arttıkça donma-çözülme hasarı artmalıdır. Bunun nedeni olarak da atık lastik küllerine göre, kumun dona karşı daha dirençli bir malzeme olması gösterilebilir. Bu durumu da donma-çözülme hasarı için çalışmada yapılan deneyler açıkça göstermektedir.

## V. SONUÇLAR

LK numuneleri için, harçlarda kum yerine ağırlıkça kullanılan atık lastik küllü ve UKLK numuneleri için uçucu kül-lastik küllü miktarlarının artması birim ağırlık, ultrases geçiş hızı, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı değerlerini azaltmıştır. UK numuneleri için çimento yerine ağırlıkça kullanılan uçucu kül miktarının artması birim ağırlık ve ultrases geçiş hızı değerlerini fazla etkilememiştir. Üçüncü grup numune için, tüm kür sürelerinde, çimento yerine ağırlıkça % 10 oranında kullanılan uçucu kül eğilme dayanımı değerlerini artırırken diğer karışım oranlarında azalmıştır. LK numunelerinde, lastik küllü miktarı ve UKLK numuneleri için, uçucu kül ve lastik küllü miktarlarının artması numunelerin ağırlıkça su emme oranını ve ağırlık kaybını arttırmıştır. UK numuneleri için, çimento yerine ağırlıkça kullanılan uçucu kül miktarlarının değişimi ile ağırlıkça su emme oranı ve ağırlık kaybı değerleri arasında önemli bir değişim gözlenmemiştir. UK, UKLK ve LK numunelerinde kullanılan lastik küllü, uçucu kül ve lastik küllü ve uçucu kül miktarlarının artması donma-çözülme hasarını arttırmıştır.

Sonuç olarak, harçlarda atık lastik küllerinin kum yerine kullanılması birim ağırlık, ultrases geçiş hızı, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı değerlerini azaltmaktadır. Bu özellikler için, en büyük azalma ise, uçucu kül-lastik küllü ile üretilen gruplarda gözlenmiştir. Lastikli betonlar ile ilgili çalışmalarda genel olarak yoğunluklarının, donma-çözülme dayanımlarının düşük olduğu, bunlarla beraber tokluk, süneklik ve çarpma dirençlerinin, ısı ve ses yalıtımlarının yüksek olduğu belirtilmektedir. Çalışmamızda atık lastik küllü ve uçucu küllerin hafif beton yapı malzemeleri üretiminde agrega veya çimento yerine kullanılarak değerlendirilebileceği ve böylece bu atıklardan kaynaklanan çevre kirliliğinin azaltılabileceği sonucuna varılmıştır.

**VI. KAYNAKLAR**

- [1] İ. B. Topçu, “The properties of rubberized concretes”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 25, No. 2, pp. 304-310, 1995.
- [2] İ. B. Topçu, “Assessment of the brittleness index of rubberized concretes”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 27, No. 2, pp. 177-183, 1997.
- [3] P. Sukontasukkul, C. Chaikaew, “Properties of concrete pedestrian block mixed with crumb rubber”, *Construction and Building Materials*, Vol. 20, No. 7, pp. 450-457, 2006.
- [4] N. M. Akhras, M. M. Smadi. “Properties of tire rubber ash mortar”, *Cement and Concrete Composites*, Vol. 36, No. 9, pp. 1727-1734, 2004.
- [5] G. Li, M. A. Stubblefield, G. Garrick, J. Eggers, C. Abadie, B. Huang, “Development of waste tire modified concrete”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 34, No. 12, pp. 2283-2289, 2004.
- [6] İ. B. Topçu, N. Avcular, “Analysis of rubberized concrete as a composite material”, *Cement and Concrete Research*, Vol. 27, No. 8, pp. 1135-1139, 1997.
- [7] N. Eldin, A. B. Senouci, “Rubber-tire particles as concrete aggregate”, ASCE, *Journal of Civil Engineering Materials*, Vol. 5, No. 4, pp. 478-496, 1993.
- [8] N. Eldin, A. B. Senouci, “Measurement and prediction of the strength of rubberized concrete”, *Cement and Concrete Composites*, Vol. 19, pp. 287-298, 1994.
- [9] N. Fattuhi, L. Clark, “Cement-based materials containing shredded scrap truck tire rubber”, *Construction and Building Materials*, Vol. 10, No. 4, pp. 478-496, 1996.
- [10] İ. B. Topçu, M. Sarıdemir, “Prediction of rubberized mortar properties using artificial neural network and fuzzy logic”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 3, pp. 108-118, 2007.
- [11] İ. B. Topçu, A. Demir, “Durability of rubberized concretes”, ASCE, *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 19, No. 2, pp. 173-178, 2007.
- [12] B. Z. Savas, S. Ahmed, D. Fedroff, “Freezing and thawing durability of concrete with ground waste tire rubber”, *Transport Recycling Research*, Vol. 8, pp. 1574-1580, 1996.

- [13] İ. B. Topçu, M. Sarıdemir, "Prediction of rubberized concrete properties using artificial neural network and fuzzy logic", *Construction and Building Materials*, Vol. 22, No. 4, pp. 532-540, 2008.
- [14] N. Segre, I. Joeke, "Use of tire rubber particles as addition to cement paste", *Cement and Concrete Research*, Vol. 30, No. 9, pp. 1421-1425, 2000.
- [15] A. Benazzouk, K. Mezreb, G. Doyen, A. Goullieux, M. Queneudec, "Effect of rubber aggregates on the physico-mechanical behaviour of cement-rubber composites-influence of the alveolar texture of rubber aggregates", *Cement and Concrete Composites*, Vol. 25, No. 7, pp. 711-720, 2003.
- [16] A. Turatsinze, S. Bonnet, J.L. Granju, "Mechanical characterisation of cement-based mortar incorporating rubber aggregates from recycled worn tyres", *Building and Environment*, Vol. 40, No. 2, pp. 221-226, 2005.
- [17] A. Turatsinze, J.L. Granju, S. Bonnet, "Positive synergy between steel-fibres and rubber aggregates: Effect on the resistance of cement-based mortars to shrinkage cracking", *Cement and Concrete Research*, Vol. 36, No. 9, pp. 1692-1697, 2006.
- [18] A. Turatsinze, S. Bonnet, J.L. Granju, "Potential of rubber aggregates to modify properties of cement based-mortars: Improvement in cracking shrinkage resistance", *Construction and Building Materials*, Vol. 21, No. 1, pp. 176-181, 2007.
- [19] E. Güneyisi, M. Gesoğlu, T. Özturan, "Properties of rubberized concretes containing silica fume", *Cement and Concrete Research*, Vol. 34, No. 12, pp. 2309-2317, 2004.
- [20] F. Hernandez-Olivares, G. Barluenga, B. Parga-Landa, M. Bollati, B. Witoszek, "Fatigue behaviour of recycled tyre rubber-filled concrete and its implications in the design of rigid pavements", *Construction and Building Materials*, Vol. 21, No. 10, pp. 1918-1927, 2007.
- [21] G. Li, G. Gregory, J. Eggers, C. Abadie, M. A. Stubblefield, "Waste tire fiber modified concrete", *Composites Part B: Engineering*, Vol. 35, No. 4, pp. 305-312, 2004.