



## Türk Bilim ve Mühendislik Dergisi Turkish Journal of Science and Engineering

www.dergipark.org.tr/tjse

### Lastik Agregalı Betonun Darbe Dayanımının Araştırılması

Celalettin BAŞYİĞİT<sup>1</sup>, Ayşe ELYİĞİT<sup>1</sup>, Mehmet Hanifi ALKAYIŞ<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü – Isparta-Türkiye

\*Sorumlu yazar: mehmethanifalkayis@gmail.com

#### MAKALE BİLGİSİ

Alınış tarihi: 05/12/2023

Kabul tarihi: 21/12/2023

**Anahtar Kelimeler:** Atık lastik, Beton, Darbe dayanımı, Kauçuk, Lastik agrega

DOI: 10.55979/tjse.1400490

#### ÖZET

Bu çalışmada atık taşıt lastiklerden elde edilen granül agregaların beton harcının içerisine katılmasının betonun darbe dayanımlarına etkileri gerekli literatür taraması yapılarak yapı malzemelerinde kauçuk agrega olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Ayrıca atık taşıt lastiklerinin geri dönüşümü ile ülke ekonomisine tekrar kazandırılması, dünyada ve ülkemizde yaşanan ani çarpma, patlama gibi darbe etkisi yaratacak olaylar nedeniyle oluşan hasarların can kaybına yol açmaması için yapılarda darbe dayanımının artırılması ve inşaat sektöründe sürdürülebilirlik ilkelerine katkı sağlanması amaçlanmıştır. Bu amaçla çalışmada ince agregaların hacimce %10, %15 ve %20 oranlarında lastik agregalar ile ikame edilmesiyle üretilen serilerin s/ç oranı 0.40 olarak deneyler için hazırlanmıştır. Numunelerin darbe dayanımını belirlemek amacıyla kalıplanmış numunelere uygun olan ağırlık düşürme metodu kullanılmıştır. Çalışma sonucunda numunelere uygulanan darbe deneyi sonuçları incelendiğinde lastik agrega oranı arttıkça darbe dayanımlarının arttığı belirlenmiştir.

### Investigation of Impact Strength of Rubber Aggregate Concrete

#### ARTICLE INFO

Received: 05/12/2023

Accepted: 21/12/2023

**Keywords:** Waste tire, Concrete, Impact resistance, Rubber, Tire aggregate

DOI: 10.55979/tjse.1400490

#### ABSTRACT

In this study, the effects of adding granular aggregates obtained from waste vehicle tires into concrete mortar on the impact strength of concrete were investigated and their usability as rubber aggregate in building materials was investigated by conducting the necessary literature review. In addition, it is aimed to recycle waste vehicle tires and reintroduce them to the country's economy, to increase the impact resistance of buildings in order to prevent loss of life due to events that will cause impact such as sudden crashes and explosions in the world and in our country, and to contribute to the principles of sustainability in the construction industry. For this purpose, in the study, the series prepared by substituting fine aggregates at 10%, 15% and 20% by volume were prepared for experiments with a w/c ratio of 0.40. In order to determine the impact strength of the samples, the weight reduction method suitable for molded samples was used. And when the impact test results applied to the samples were examined, it was determined that as the rubber aggregate ratio increased, the impact resistance increased.

#### 1. Giriş

Beton; agrega, çimento, su ve kimyasal katkılarla belli oranlarda homojen bir şekilde karıştırılarak elde edilen yapı malzemesidir (Ünsal & Şen, 2008). Beton tarihi önce farklı malzemelerin (kireç, alçı, kil vb.) bir araya getirilmesiyle başlamıştır. 12000 yıl önce inşa edilen Göbeklitepe tabanında beton harcına benzeyen karışımlara rastlanmasıyla beton tarihi yeniden yazılmıştır. Göbeklitepe kalıntılarında bulunan bu karışımlarda kireç ile alçının birlikte kullanıldığı tespit edilmiştir (Patlak, 2019). Çamurdan yapılan harçlar ise M. Ö. 9600 yıllarında Mardin Çemka Höyük'teki kalıntılarda bulunmuştur (İpek & Çiftçi, 2020). Mısır piramitleri ve Çin Seddi'nin yapımında kireç ve alçı esaslı harçlar kullanılmıştır (Tülay & Güleç, 2014). Romalılar, volkanik kül ile kireci karıştırıp bağlayıcı malzeme olarak kullanmışlardır (Yeğinobalı, 2001). Milâd'tan sonra 500'lü yıllarda beton harcı Ayasofya'nın yapımında kullanılmıştır (Taşdemir, 1982). 1000'li yıllara doğru ise

Orta Asya ve Anadolu'da Türkler ve Persler, "Horasan Harcı" adlı bir bağlayıcı geliştirdiler (Çetin, 2012). Modern beton ise 19. Yüzyılda portland çimentosunun bulunmasıyla ortaya çıkmıştır (Kocataşkın, 1965). Günümüz betonu farklı tiplerde üretilmeye devam etmektedir. Araştırmacılar tarafından betonun içerisine farklı malzemeler ilave edilerek kompozit yapısı zenginleştirilmiştir. Bu sayede betonun mekanik özelliklerini de iyileştirilmeye çalışılmıştır. Özellikle son yıllarda beton içerisinde plastik malzemelerin yer almasının etkileri yapılan çalışmalarla araştırılmaya başlanmıştır. Betondan istenen özellikler; düşük birim ağırlığa sahip, darbe dayanımına dirençli ve yüksek mukavemetli olarak sıralayabiliriz. Betonun sıralanan bu özellikleri taşıyabilmesi için çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Beton malzemesi olan agregaların belirlenen oranlarda atık lastiklerinden elde edilen agregalar ile ikame edilerek kullanılması bu çalışmalardan biridir.

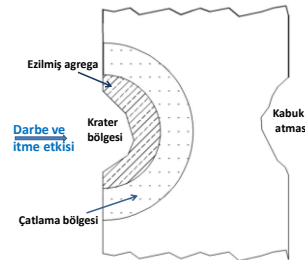
### 1.1. Atık lastik

Atık taşıt lastiklerinin yapısı beş bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler; polyester kord bezinden üretilen karkas bölümü, çelik ve bezden oluşan kuşak bölümü, lastiğin iç yüzeyindeki ince kauçuk katman astar bölümü, lastiğe esneklik sağlayan yanak bölümü, kalın kauçuktan yapılmış yanak ile sırtın birleştiği bölge omuz bölümü olarak adlandırılır (Yakaboylu, 2010). Araç lastikleri, ağırlıkça %60-65'ine kadar kauçuk, %25-35'ine kadar karbon siyahı ve kalan kısmı ise hızlandırıcılar ve dolgu maddeleri olacak şekilde tasarlanmaktadır (İpek vd., 2022). Sanayileşme ve şehirleşmenin artmasıyla gelişmekte olan ülkelerde kullanılan taşıtların sayısında da artış olmuştur. Taşıt sayısının artışı ile taşıtların lastik talebi de artmıştır. Üretilen lastikler kullanım süresini doldurduktan sonra ya çevreye atılmakta ya da açık alanlarda yığın şekilde istiflenmektedir (Adhikari vd., 2000). Depolama sorunu olan atık lastikler bir yılda yaklaşık 1.5 milyar ton atık oluşturabileceği öngörülmektedir (Mashiri vd., 2015). Son yıllarda atık taşıt lastiklerinin yapı malzemelerinde kullanımı yapılan araştırmalarla incelenmeye başlanmıştır. Yapılan araştırmalarda köpük betonun içerisine atık lastik liflerinin katılması sonucunda betonun termal özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür (Bayraktar & Kaplan, 2021). Atık lastiklerin farklı biçimlerde kullanılması oluşan çevre sorununu ortadan kaldırması ve ekonomiye tekrar kazandırılması sağlanmış olur. Atık lastiklerden elde edilen kırıntı ve parçalar dolgu malzemesi olarak geri dönüştürülebilir. Kırıntı halinde elde edilmek istenen atık lastikler iki şekilde yapılmaktadır. Çoğunlukla mekanik olarak uygulanan bu iki yöntem doğrama ve kriyojenik öğütmedir (Karger-Kocsis vd., 2013). Atık lastiklerden elde edilen granüller birçok alanda kullanılmaktadır. Atık lastikleri geri dönüştürme işlemleri piroliz yöntemi ve kriyojenik öğütme yöntemi ile de yapılabilmektedir. Katı atıkların kimyasal olaylarla geri dönüştürülmesinde kullanılan işlem piroliz yöntemidir. Piroliz yöntemi yüksek sıcaklıklarda eritilen atık lastiğin karbon siyahı elde edilmesiyle yapılır (Bostancı, 2017). Kriyojenik öğütme yöntemi ise küçük boyutlara getirilen atık lastikler  $-80^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar soğutulmuş malzemenin kırılma hale getirilerek çift başlı kırıcılarla istenen boyutlarda kırılarak öğütülmesi işlemidir (Balbay, 2017). Bu yöntemle az enerjiyle çok iş yapılmış olur ancak malzemeyi soğutma işleminde kullanılan malzemeler hem tehlikeli hem de maliyetli olduğu için çok tercih edilmemektedir (Sugözü & Mutlu, 2009). Mekanik öğütme yöntemi doğrama yapılarak malzeme küçültme işlemidir. Bu işlem hem ekonomik hem de malzemede herhangi bir değişime yol açmamaktadır. Mekanik öğütmede atık lastik rendelenerek küçük parçalara ayrılır daha sonra içerisindeki elyaflar dönen bıçaklar yardımıyla parçalardan temizlenir. Atık lastik içerisinde bulunan çelikler ise mıknatıs yardımıyla lastikten ayrılır (Karger-Kocsis vd., 2013). Son zamanlarda ince veya kaba agrega boyutuna getirilmiş lastik parçaları ile birlikte elyaf takviye ederek beton içerisinde kullanımı çalışmalarda incelenmeye başlanmıştır. Yapılan çalışmalarda lastik agreganın belli oranlarda ikame edilmesinde olumlu sonuçlar alınmıştır. Ancak atık lastik katkılı betonların

kauçuk miktarı arttıkça betondaki basınç ve çekme dayanımları hacimce kaba agrega yerine kullanımında düşmüş, ince agrega yerine kullanımında ise artmıştır (Alwesabi vd., 2021). Kaba agrega olarak en büyük dane çapı 20mm olan lastik parçaları ve ince agrega olarak kırıntı formunda lastikler kullanılarak beton numuneler elde edilmiştir. Üretilen numunelerde kum ve çakıl, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında hacimce lastik agregalar ile yer değiştirilmiştir. Yapılan basınç, çekme ve eğilme dayanımı testlerinde atık lastikli betonların, normal betondan daha düşük mukavemet değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ancak numuneler elastik kırılma davranışı göstermelerine karşın tamamen göçmemiştir (Almaleeh vd., 2017). İnce agrega yerine farklı oranlarda lastik agrega ikame edilen beton numunelerde, betonun mekanik özellikleri incelenmiştir. İncelemelerde taze betonun çökme ve su emme değerlerinin kırıntı kauçuk yüzdelerinin artması ile yükseldiği fakat su emme değerlerinde hacimce %10'dan daha fazla oranlarda düşüş olduğu tespit edilmiştir. Lastik agrega katılan betonlarda enerji sönümü 3 kat arttığı gözlemlenmiştir (Xue & Shinozuka., 2013). İnşaat mühendisliğinde atık lastiğin kullanımı ve sürdürülebilirliğinin araştırılması için ekonomik, depreme dayanıklı, temel-toprak sisteminde esneklik sağlayan kauçuk radye temeli oluşturma projesi yürütülmüştür. Çalışmada eko-kauçuk sismik izolasyon sistemi uygun maliyetli olacak bir jeo-yapısal çözüm olarak temel sistemi tasarımında atık lastiklerin yeniden kullanımı konut binalarının sismik performansını artıracak etkili bir geri dönüştürme yolu olarak yorumlanmıştır (Chiaro vd., 2021).

### 1.2. Darbe dayanımı

Betonarme yapılar veya yapı elemanları kullanım ömrü süresince basınç, çekme ve eğilme gibi çeşitli dış yüklerin etkisine maruz kalmaktadırlar. Mukavemeti yüksek ve faydalı ömrü daha verimli beton elde etmek için betonun söz konusu dış yüklere karşı dayanımının yüksek olması gerekmektedir. Darbe dayanımı, betonlara ani olarak etki eden tekrarlı dinamik yükler altında betonun gösterdiği direnç olarak tarif edilmektedir (Oltulu & Altun, 2018). Darbe etkisinin görülebileceği yerler; Havayolu pistleri, taşıt yolları, betonarme döşemeler, kazık ve istinat yapılar, askeri yapılar, savunma yapıları, kamu yapıları vb. (Alkayış & Başyigit, 2021). Betonda darbe hasarı Şekil 1'de görüldüğü üzere hızla gelen bir parçanın itme etkisiyle beton yüzeyini parçalaması ve çarptığı yerde krater oluşturmasıdır. Çarpmanın etkisi betonun arka tarafında kabuk atmasına neden olur (Zhang vd., 2007).



Şekil 1. Betonda darbe hasarı (Zhang vd., 2007)

Figure 1. Impact damage in concrete (Zhang et al., 2007)

Malzemenin ani darbelere karşı dayanımı tokluğu ile yakından ilişkilidir. Tokluk bir malzemeyi kırmak için gerekli enerji miktarıdır. Darbe deneyi süresince malzeme tarafından soğurulan enerji, malzemenin dayanımının ve tokluğunun bir ölçüsüdür (Şahin, 2011).

## 2. Materyal ve Metot

Çalışmada, geri dönüştürülmüş atık taşıt lastiklerden elde edilen agregaların beton harcı içerisinde ince agrega ile ikame edilmesi betonun darbe dayanımı problemi için ele alınmıştır. Bu amaçla, betonlarda darbe dayanımı problemi deneysel verilerle analitik olarak çözülmüştür. Bu bağlamda beton içerisine konulacak atık lastik agregalar gerekli elek analizi yapılarak uygun görülen 40 Mpa basınç için agrega boyutu seçilmiştir. Agregaya boyutu seçildikten sonra belirlenmiş olan basınca göre beton reçetesi standartlara uygun şekilde analitik olarak hesaplanmıştır. Beton reçetesi aşamasından sonra lastik agregalı beton numunelerinin üretimi için su, çimento, ince agrega (0-4)mm, kaba agrega (8-16)mm, ince lastik agrega (0-4)mm, akışkanlaştırıcı ve silis dumanı kullanılarak TS 802'ye uygun olarak hazırlanmıştır. Beton numuneleri (150 x 150 x 150)mm kübik ve (100 x 100 x 400)mm boyutlarında prizmatik olarak üretilmiştir. Üretilen betonlarda ince agregalar yerine ince lastik agregalar hacimsel olarak, %10, %15 ve %20 oranlarında ikame edilmiştir. Üretilen beton numuneler gerekli kür koşulları sağlanarak 7 günlük ve 28 günlük basınç dayanımları ve darbe dayanımlarını belirlemek için deneye tabii tutulmuştur. Kullanılacak darbe deneyi ölçüm yöntemleri arasında en kolay ve ekonomik olan ağırlık düşürme deneyi uygulanmıştır. Ağırlık düşürme deneyinde yükseklik tayini belirlenip numune ilk çatlamada ve kırılmada vuruş sayıları belirlenmiştir. Deney sonucunda alınan veriler darbe dayanımı belirlemek için denklem bağlantılarında kullanılmıştır. Araştırma için kullanılan malzemelerden çimento, agrega ve atık lastikler Isparta yöresinden temin edilmiştir. Deney numune reçetesi TS 802'ye uygun olarak hazırlanıp Çizelge 1'deki gibi hazırlanmıştır. Deney numuneleri Seri 1'de atık lastik oranı %10, Seri 2'de %15 ve Seri 3'de %20 olarak karışıma katılmıştır.

Çizelge 1. Deney Numune Karışım Miktarları  
Table 1. Experimental Sample Mixture Amounts

Seri mm <sup>3</sup>	Malzeme	Referans	Seri 1	Seri 2	Seri 3
150x150x150	Çimento (Kg)	9.545	9.545	9.545	9.545
	Su (Lt)	3.817	3.817	3.817	3.817
	İnce Agregaya (Kg)	13.647	12.959	12.282	11.60
	Kaba Agregaya (Kg)	20.471	20.471	20.471	20.471
	Lastik Agregaya (Kg)	-	0.218	0.433	0.650
	Akışkanlaştırıcı (Lt)	0.095	0.095	0.095	0.095
	S/Ç	0.40	0.40	0.40	0.40
100x100x400	Çimento (Kg)	11.34	11.34	11.34	11.34
	Su (Lt)	4.536	4.536	4.536	4.536
	İnce Agregaya (Kg)	16.214	15.403	14.593	13.782
	Kaba Agregaya (Kg)	24.322	24.322	24.322	24.322
	Lastik Agregaya (Kg)	-	0.257	0.515	0.772
	Akışkanlaştırıcı (Lt)	0.113	0.113	0.113	0.113
	S/Ç	0.40	0.40	0.40	0.40

## 2.1. Agregaya

Araştırma için üretilen betonlarda Isparta Bozanönü yöresinden temin edilen agrega kullanılmıştır. Agregaların bazı fiziksel özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir. Araştırmada agregalar TS 706'ya uygun olarak seçilmiştir. Dmax 16 olarak alınmıştır.

Çizelge 2. Kullanılan agregaların fiziksel özellikleri  
Table 2. Physical properties of the aggregates used

Agregaya	Tane Yoğunluğu (Mg/m <sup>3</sup> )	Su Emme (%)	Sülfat (%)	Kükürt (%)	Klorür (%)
İnce Agregaya	qa= 2.696	1.06	0.0042	0.0031	0.0057
	qrd= 2.621				
	qsd= 2.649				
Kaba Agregaya	qa= 2.692	0.37	-	-	-
	qrd= 2.682				
	qsd= 2.686				

## 2.2. Çimento

Deney için hazırlanan numunelerde piyasadan temin edilen CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Kullanılan çimentonun özellikleri  
Table 3. Properties of the cement used

Çimento Türü	CI (%)	SO <sub>2</sub> (%)	Priz başl. (dk)	Priz bitiş. (dk)	Basınç dayanımı (MPa)		
					2 (gün)	7 (gün)	28 (gün)
CEM II/A-M (P-LL) 42.5 R	0.012	2.77	169	230	23.9	-	48.1

## 2.3. Süper akışkanlaştırıcı

Çalışmada TS EN 934-2'e uygun süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

## 2.4. Numune serileri

Numune karışımlarına giren atık lastikten elde edilen lastik agrega belirlenen yüzdelere göre dört seri ve her bir seriden (150x150x150) mm'lik küp numunelerden 3'er adet (100x100x400) mm'lik prizma numunelerden de 3'er adet hazırlanmıştır. Seriler Çizelge 4'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. Hazırlanan numune serileri  
Table 4. Prepared sample series

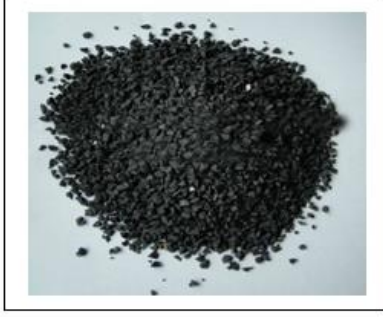
Seri Adı	Seri No	İkame Edilen Agregaya Cinsi	Lastik Agregaya Yüzdesi
Referans	R	-	0
Seri 1	L10	İnce Agregaya	10
Seri 2	L15	İnce Agregaya	15
Seri 3	L20	İnce Agregaya	20

## 2.5. Su

Araştırma için hazırlanan numunelerde karıştırma suyu için Süleyman Demirel Üniversitesi Batı Yerleşkesi şebekesinin suyu kullanılmıştır.

## 2.6. Çalışmada kullanılan atık lastik

Çalışmada kullanılan lastik agregalar piyasadan temin edilmiştir. Şekil 2’de kullanılan granül lastik gösterilmektedir. Atık lastiğin kimyasal özellikleri Çizelge 5’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Çalışmada kullanılan granül lastik  
Figure 2. Granulated rubber used in the study

Çizelge 5. Atık lastiğin fiziksel ve kimyasal özellikleri  
Table 5. Physical and chemical properties of waste tire

C (%)	H (%)	N (%)	S (%)	O (%)	Isıl Değer (MJ/kg)	Su emme (%)
74.2	5.8	0.3	1.5	4.7	32	2-4

## 2.7. Deney numunelerinin hazırlanışı

Araştırma için beton bileşenlerini hazırlanan beton reçetesine göre Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarı’nda agregalar ayrı ayrı Şekil 3’de görüldüğü gibi tartılarak beton mikserine konulup karıştırılmış ve harç haline getirilmiştir. Şekil 4’de görülen kalıplanmış numuneler önceden yağlanan kalıplara üç aşamada 25 kez şişlenerek yerleştirilmiştir. Kalıplardan çıkarılan numuneler laboratuvarında küre alınmıştır.



Şekil 3. İnce, kaba ve lastik agrega  
Figure 3. Fine, coarse and rubber aggregate



Şekil 4. Numuneler  
Figure 4. Samples

Araştırmada kullanılan agregalar ve lastik agregalar serbest eleme yöntemi ile elek analizleri yapılmıştır. Betonun kıvam sınıfını belirlemek amacıyla beton harcına TS EN 12350-2’ye uygun şekilde slump deneyi yapılmıştır. (150x150x150)mm küp numunelere taze birim ağırlık deneyi yapılmıştır. Araştırma için hazırlanan (150x150x150)mm küp numune serileri 7 ve 28 günlük külden çıkarılarak basınç deneyine tabi tutulmuştur. Çalışmada (100x100x400)mm prizma şeklindeki numune serileri 28 günlük külden çıkarılarak darbe deneyine tabi tutulmuştur. Darbe dayanımı deneyi düşen ağırlık darbe metodu ile geliştirilen Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Laboratuvarı’nda bulunan Şekil 5’de görülen darbe deney aletinde gerçekleştirilmiştir.

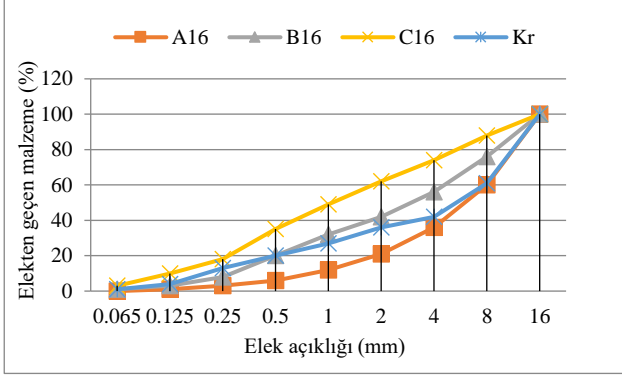


Şekil 5. Darbe deneyi aleti  
Figure 5. Impact test device

## 3. Bulgular ve Tartışma

### 3.1. Agrega tane boyutu

Çalışmada elek analizi yapıp granülometri eğrisi çıkarılan agregaların maksimum dane çapı 16 mm olarak belirlenmiştir. TS 706’ya göre karışıma giren agregaların uygun olduğu tespit edilmiştir. Yapılan elek analizi deneyinde kullanılan agregaların Şekil 6’de görüldüğü üzere TS 802’de öngörülen granülometri eğrileri içerisinde yer aldığı tespit edilmiştir. Deneylerde kullanılan lastik agregalar 0-4 mm ince lastik agrega sınıfı olarak belirlenmiştir.



Şekil 6. Agrega granülometri eğrisi  
Figure 6. Aggregate granulometry curve

### 3.2. Çökme değerleri

Slump deneyi sonucunda beton harçları tamamen, hakiki ve kayma göçmesi olarak üç şekilde çökme gösterirler. Tamamen çökmede harç sıvıya yakın şekilde deney düzeneğinin tabanına yayılır. Kayma çökmesinde beton harcının bir tarafı az çökme yaparken diğer tarafı fazla çökme yapar. Hakiki çökmede beton harcının kütleinde bozulma olmadan üst kısmı aynı oranda çöker (Deşik & Ustabaş, 2019). Hazırlanan beton serilerine uygulanan slump deneyi Çizelge 6'ya göre tüm numunelerde kıvam sınıfı S3 olarak belirlenmiştir. Gerçekleştirilen slump deneyinde Şekil 7'da görüldüğü üzere harçların çökme şekilleri hakiki çökme tarzında olduğu tüm serilerde gözlenmiştir.

Çizelge 7. Beton kıvam sınıfı ve değerleri (TS EN 206-1)  
Table 7. Concrete consistency class and values

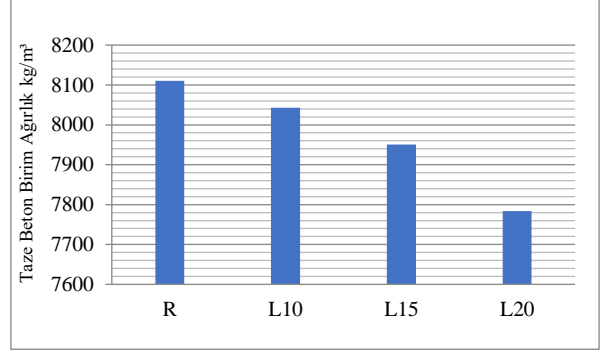
Kıvam Sınıfı	Çökme (mm)
S1	10-90
S2	50-90
S3	100-150
S4	160-210
S5	≤220



Şekil 7. Numunelerin slump deneyi  
Figure 7. Slump test of samples

### 3.3. Taze beton birim ağırlığı

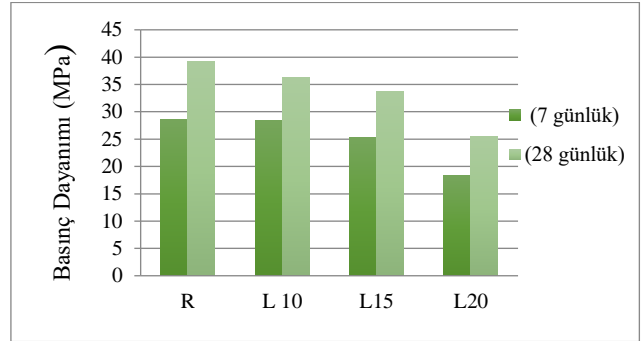
Deney küp numune serilerine TS EN 12350-6'ya uygun şekilde birim ağırlık deneyi yapılmıştır. Taze beton birim ağırlık değerleri Şekil 8'de gösterilmiştir.



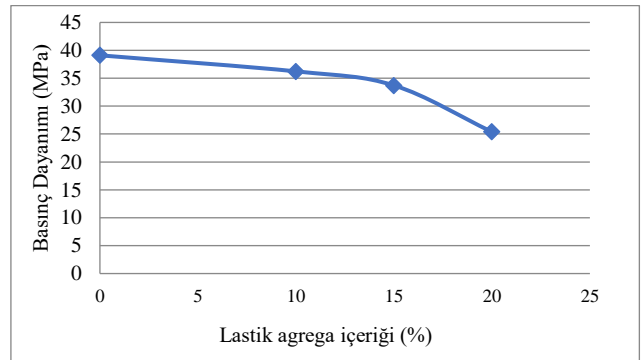
Şekil 8. Küp numunelerin Taze beton birim ağırlık değerleri  
Figure 8. Fresh concrete unit weight values of cube samples

### 3.4. Basınç dayanımı

Çalışmada basınç dayanımının belirlenmesinde TS EN 12390-3'e uygun beton numune basınçlarını ölçer cihaz kullanılmıştır. Numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları belirlenmiş olup grafiği Şekil 9'de gösterilmiştir. Serilerin 28 günlük basınç dayanımı değerlerinin lastik agrega içeriğine göre değişimi Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 9. Deney numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları  
Figure 9. 7 and 28-day compressive strengths of the test samples



Şekil 10. Deney numunelerinin 28 günlük basınç değerlerinin lastik agrega içeriğine göre değişimi  
Figure 10. Change of 28-day pressure values of test samples according to tire aggregate content

Şekil 11'de (150x150x150)mm küp numune serilerinin basınç deneyinden sonra oluşan hasarları gösterilmiştir. Deney sonrası oluşan çatlaklar incelendiğinde referans

betonlarda deformasyon daha belirgindir ve numune etrafında dağılmalar görülmüştür. Lastik agregaya katkılı serilerde ise çatlaklar ve dağılmaların daha az olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebi olarak lastik agregaya katkılı betonlarda lastik agreganın beton bileşenleriyle aderansının daha iyi olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Lastik agregalı serilerde çatlaklar ve dağılmalar referans betona göre az olmasına rağmen numunelerde lastik oranı arttıkça basınç değerlerinde azalma olmuştur. Beton basıncını etki eden bu azalmanın sebebi ince agregaya yerine lastik agreganın ikame edilmesiyle beton hacminin artması ve bağlayıcı olan çimentonun artan yüzey alanına yeterli olamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 11. Küp numunelerin basınç deneyi sonrası kırılma tipleri

Figure 11. Fracture types of cube samples after the pressure test

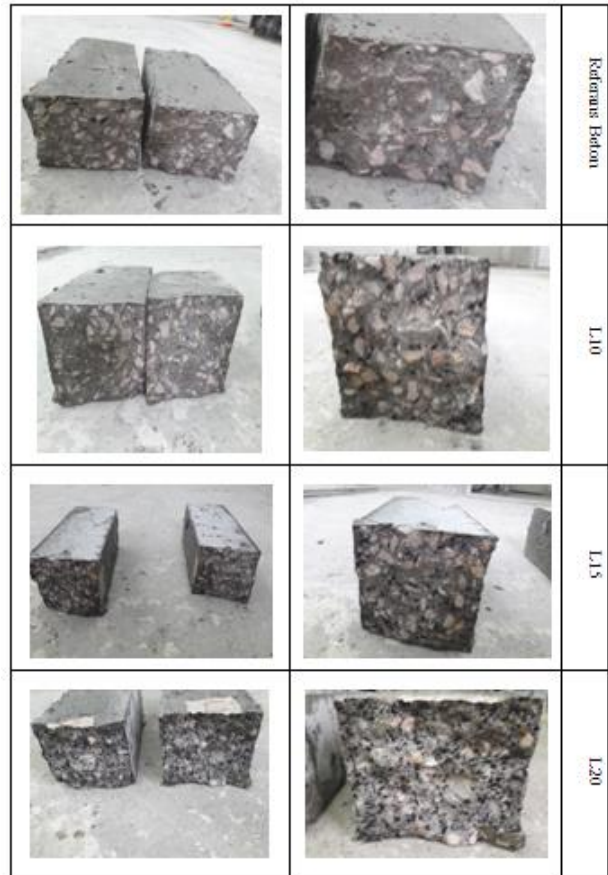
### 3.5. Darbe deneyi

Araştırmada darbe deneyi olarak düşen ağırlık darbe metodu kullanılmıştır. Darbe deneyi düzeneği 5000 gr ağırlığı iki boru arasında kaydırılması suretiyle kurulmuştur. Düşen ağırlık 200 mm yükseklikten numune üzerine serbest düşürülme yöntemiyle uygulanmıştır.

Oluşan ilk çatlaktaki düşüş sayıları belirlenerek darbe dayanımları hesaplanmıştır. Ağırlık düşürme darbe deneyi her seriden 3'er adet olmak üzere toplam 12 adet numunede gerçekleştirilmiştir. Bulunan darbe dayanımı değerleri Çizelge 7'de gösterilmiştir. Şekil 12'de deney numune serilerine uygulanan darbe deneyi ve Şekil 13'de prizma numunelerin darbe sonucu kırılma tipleri gösterilmektedir.



Şekil 12. Prizma seri numunelerin darbe deneyi  
Figure 12. Impact test of prism series samples



Şekil 13. Prizma numunelerinin darbe deneyi sonucu kırılma tipleri

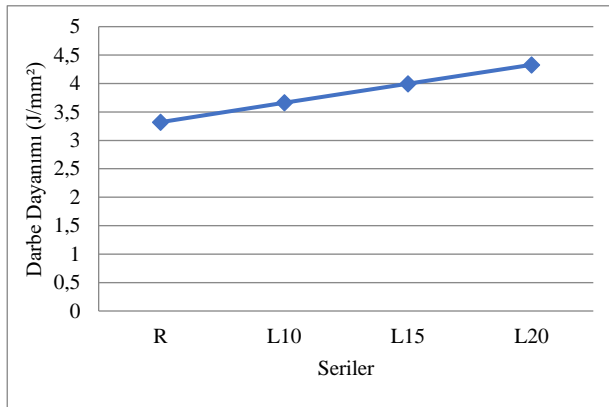
Figure 13. Fracture types of prism samples as a result of impact test

Çizelge 7. Deney numune serilerinin darbe dayanım değerleri

Table 7. Impact strength values of test sample series

Seri No	Darbe Dayanımı (J/mm <sup>2</sup> )	Darbe Dayanımı ortalamaları (J/mm <sup>2</sup> )
R1	2.990	3.320
R2	2.990	
R3	3.996	
L10-1	3.996	3.661
L10-2	3.996	
L10-3	2.990	
L15-1	3.996	3.996
L15-2	3.996	
L15-3	3.996	
L20-1	4.995	4.329
L20-2	3.996	
L20-3	3.996	

Prizma numunelerinin darbe dayanımları ortalamalarının lastik agregaya içeriğine göre değişimleri Şekil 14'de gösterilmiştir. Çalışmada gerçekleştirilen deneylerin sonuçları Çizelge 8'de toplu olarak verilmiştir. Çizelgede (%) olarak basınç ve darbe dayanımlarında düşüş (-) artış (+) ile gösterilmiştir. Şekil 15'te ise serilerin basınç ve darbe dayanımlarının değişimi (%) olarak gösterilmiştir



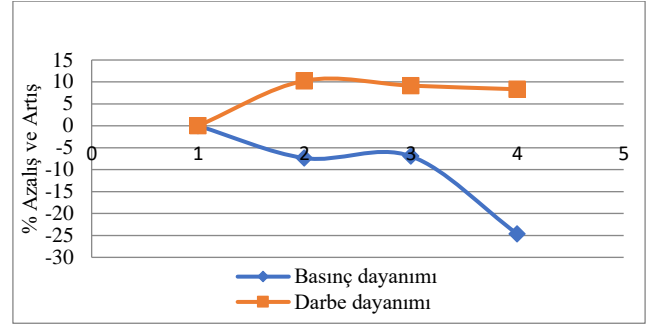
Şekil 14. Prizma numunelerin darbe dayanımı ortalamalarının lastik agregaya içeriğine göre değişim grafiği

Figure 14. Change graph of average impact resistance of prism samples according to rubber aggregate content

Çizelge 8. Çalışmada yapılan deneylerin değerleri

Table 8. Values of the experiments performed in the study

Seri	Basınç Dayanımı		Darbe Dayanımı	
	$\sigma_{ort}$ MPa	%	$D_{ort}$ J/mm <sup>2</sup>	%
R	39.11	-7.36	3.320	+10.27
L10	36.23		3.661	
L15	33.71	-6.95	3.996	+9.15
L20	25.40		4.329	



Şekil 15. Serilerin basınç ve darbe dayanımlarının değerlerinin grafiği

Figure 15. Graph of pressure and impact strength values of the series

#### 4. Sonuç

Atık lastiklerden elde edilen lastik agregaların betonun darbe dayanımına etkisinin incelenmesi amacıyla yapılan deneylerin analizinden aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

1. Çalışmada yapılan slump deneylerinde çökme şekilleri beton harcının kütesinde bozulma olmadan üst kısmının aynı oranda çökme (hakiki çökme) olduğu tüm serilerde gözlenmiştir. Taze betonların eşit miktarda çökme yapması lastik agregalı betonların işlenebilirliğini ve yeterli koheziona sahip olduğunu göstermiştir.
2. Küp numunelerin taze beton birim ağırlık verileri lastik agregaya oranı arttıkça azaldığı belirlenmiştir. Bu durum lastik agregaların özgül ağırlıklarının kullanılan agregalara göre küçük değerlerde olmasından kaynaklanmaktadır ve bu durumda olası bir sonuçtur.
3. Yapılan beton basınç dayanımı deneyinde serilerin lastik agregaya miktarı arttıkça basınç değerlerinin azaldığı görülmüştür. Bu azalma Referans beton ile Seri 1 arasında %7.36, Seri 1 ve Seri 2 arasında %6.95, Seri 2 ve Seri 3 arasında ise %24.65 kadar olmuştur. Yüzde olarak beton basınç değerlerinde azalma olduğunun görülmesi basınç dayanım değerlerinin tüm lastik agregaya oranlarında standartların altında kaldığı görülmüştür. Lastik agregaya oranı arttıkça yüzde olarak basınç değerleri belirgin şekilde azalmıştır. Beton basıncına etki eden bu azalmanın sebebi ince agregaya yerine lastik agreganın ikame edilmesiyle beton hacminin artması ve bağlayıcı olan çimentonun artan yüzey alanına yeterli olamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. İlerde yapılacak çalışmalarda lastik agregaya oranı arttıkça çimento dozajının artırılıp basınca etkisi incelenebilir.
4. Prizma numunelerinde lastik agregaya oranı arttıkça darbe dayanımı arttığı belirlenmiştir. Bu artış referans beton ile seri 1 arasında %10.27, seri 1 ve seri 2 arasında %9.15, seri 2 ve seri 3 arasında ise %8.33 kadar olmuştur. Numunelerde artış olmasına rağmen lastik agregaya oranı arttıkça artışa bağlı azalma görülmüştür. İdeal lastik agregaya oranı darbe deneyi sonuçlarına göre %10 olarak belirlenmiştir. Çalışmada

ağırlık düşürme deneyinde ağırlık 20cm yükseklikten düşürülmüştür ve tüm numunelere bu yükseklik uygulanmıştır. Darbe deneyi verilerinin arttığı ancak artan değerler içerisinde % olarak artışın azaldığı görülmüştür. Bu azalmanın ağırlık düşürme deneyinde farklı yüksekliklerde vereceği sonuçlar incelendiğinde daha iyi yorumlanacağı düşünülmektedir.

## 5. Teşekkür

Yazarlar, TUBİTAK 2211 ve YÖK 100/2000 projesi kapsamında desteklendiği için ilgili kurumlara teşekkürü borç bilmektedir.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

## Araştırmacıların Katkı Oranı Beyanı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

## 6. Kaynaklar

- Adhikari, B., Debapriya, D., & Maiti, S. (2000). Reclamation and Recycling of Waste Rubber. *Princess in Polymer Science*, 25(7), 909-948
- Alkayış, M. H., & Başyigit, C. (2021). Lif katkısının beton darbe dayanımına etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Özel Sayı(24)*, 455-462.
- Almaleeh, A. M., Shitote, S. M., & Nyomboi, T. (2017). Use of waste rubber tyres as aggregate in concrete. *Journal of Civil Engineering and Construction Technology*, 8(2), 11-19.
- Alwasebi, E. A. H., Bakar, B. H., Alshaikh, M. H., Ziyad, A. M., & Altheeb, A. (2021). Experimental investigation on characteristics of plain and rubberized concrete containing hibrid steel-polypropylene. *Fiber Structures*, 33, 621-630.
- Balbay, Ş. (2017). *Atık Lastiklerin Kimyasal Yöntemle Bozundurulması Ve Elde Edilen Ürünlerin Değerlendirilmesi*. (Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi ve Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Bayraktar, O. Y., & Kaplan, G. (2021). Farklı çimentolardan üretilen köpük betonlarda atık lastiklerin hafif agrega olarak kullanımı. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(3), 692-703.
- Bostancı, V. M. (2017). *Lastik-Kauçuk Atıklarından Piroлиз Yöntemi İle Elde Edilen Karbon Ürünlerinin Mgo-Karbon Refrakter Tuğlalarda Kullanılabilirliğinin Araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Chiaro, G., Tasalotti, A., Palermo, A., Granello, G., & Banasiak, L. (2021). Reuse of waste tires to develop eco-rubber seismic-isolation foundation systems: Preliminary results. In *Advances in Sustainable Construction and Resource Management*. (pp. 159-169)
- Çetin, Y. (2012). Ağrı Eyüp Paşa (Pazı) Kalesi üzerine bazı notlar. *Journal of International Social Research*, 5(21).
- Deşik, F., & Ustabaş, İ. (2019). Kireçtaşı kökenli kırma kumdaki ince madde oranının beton kıvamına ve dayanımına etkisi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(2), 262-271.
- İpek, B., & Çiftçi, Y. (2020). Boncuklu tarla doğu alanı çanak çömlüksüz neolitik dönem mimarisi ve köy-mekan organizasyonu. *Mukaddime*, 11(1), 212-234.
- İpek, S., Mermerdaş, K., Ulusoy, A., & Işiker, Y. (2022). Atık lastiklerin, beton üretiminde agrega olarak kullanımının betonun taze ve mekanik özelliklerine etkisinin araştırılması. *GUFB/GUJS*, 12(3), 982-999.
- Karger-Kocsis, J., Meszaros, L., & Barany, T. (2013). Ground tyre rubber (GTR) in thermo plastics, thermo sets, and rubbers. *Journal of Materials Science*, 48(1), 1-38.
- Kocataşkın, F. (1965). *Çimento özellikleri hakkında ne biliyoruz?*, İstanbul Teknik Üniversitesi yayımları.

- Mashiri, M., Vinod, J., NeazSheikh, M., & Tsang, H. H. (2015). Susar strength and dilatancy behaviour of sand-tyre chip mixtures. *Soils and Foundations*, 55(3), 517-528.
- Oltulu, M., & Altun, M. G. (2018). Betonun darbe dayanımının tespitinde ağırlık düşürme deney yöntemi ve yapılan çalışmalar. *GÜLBED/GUSTIJ*, 8(1), 155-16.
- Patlak, G. (2019). *Batı Anadolu'da Neolitik Çağ'da Kırmızı Boyalı Tabanlar*. (Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Arkeoloji Enstitüsü)
- Sugözü, İ., & Mutlu, İ. (2009). Atık taşı lastikleri ve değerlendirme yöntemleri. *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 1(1), 35-46.
- Şahin, E. (2011). *AlMg<sup>3</sup>/SiCp Kompozit Malzemelerinin Darbe Davranışının Takviye Oranı ile Değişiminin İncelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Taşdemir, M. A. (1982). Taşıyıcı hafif agregalı betonların elastik ve elastik olmayan davranışları. İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi.
- TS 802 (2009). Beton karışım tasarımı hesap esasları, TSE, Ankara.
- TS EN 206-1 (2014). Beton, Özellik, Performans, İmalat, Uygunluk, TSE, Ankara.
- TS EN 934-2+A1 (2014). Kimyasal Katkılar- Beton, Harç ve Şerbet İçin- Bölüm 2: Beton Katkıları- Tarifler ve Özellikler, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme, TSE, Ankara.
- TS 706 EN 12620+A1 (2009). Beton agregaları, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS EN 12390-3 (2010). Beton, Sertleşmiş beton deneyleri. Bölüm 3: Deneysel numunelerinin basınç dayanımının tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 12350-2 (2019). Beton- Taze beton deneyleri-Bölüm 2: Çökme (slamp) deneyi, TSE, Ankara.
- Tülay, U., & Güleç, A. (2014). Harç, sıva ve diğer kompozit malzemelerde kullanılan bağlayıcılar ve özellikleri. *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi*, 77-91.
- Ünsal, A., & Şen, H. (2008). Beton ve beton malzemeleri laboratuvar deneyleri. T.C. Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü. Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Malzeme Laboratuvarı Şubesi Müdürlüğü.
- Yakaboylu, O. (2010). *Atık Lastik Yönetimi ve Atık Lastik Piroлиз Model Tesisi İçin Yapılabilirlik Çalışması*. (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- Yeğinobalı, A. (2001). 21. Yüzyılın çimentoları. *Çimento ve Beton Dünyası*, 30, 36-39.
- Zhang, M. H., Sharif, M. S. H., & Lu, G. (2007). Impact resistans of high-strength fibre reinforced concrete. *Magazine of Concrete Research*, 59(3), 199-210.
- Xue, J., & Shinozuka, M. (2013). Rubberized concrete: A green structural material with enhanced energy-dissipation capability. *Construction and Building Materials*, 42, 196-204.