

Atf İçin: Şimşek B, Polat R, Gül R, 2022. Atık Lastik Katkılı Betonlarda Uçucu kül Kullanımının Aderans ve Basınç Dayanımına Etkisi. İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(4): 2290 - 2301.

To Cite: Şimşek B, Polat R, Gül R, 2022. The Effect of Fly Ash on Adhesion and Compressive Strength of Waste Tire Additive Concretes. Journal of the Institute of Science and Technology, 12(4): 2290 – 2301.

Atık Lastik Katkılı Betonlarda Uçucu kül Kullanımının Aderans ve Basınç Dayanımına Etkisi

Bülent ŞİMŞEK¹, Rıza POLAT^{2*}, Rüstem GÜL¹

ÖZET: Beton teknolojisine, çevreye ve ekonomiye sağladığı faydalardan dolayı uçucu kül ve atık araç lastikleri gibi endüstriyel yan ürün ve atık malzemelerin inşaat sektöründe kullanımı büyük kabul görmüştür. Bu çalışmada ise atık otomobil lastiğinin ince agrega yerine hacimce %5, %10 ve %15 olarak kullanıldığı betonlarda bağlayıcı olarak çimento yerine %5, %10 ve %15 oranında uçucu kül kullanımının taze ve sertleşmiş beton özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Taze halde birim hacim ağırlık ve kıvam özellikleri, sertleşmiş halde ise basınç ve eğilme dayanımı ve pull-out yöntemiyle aderans dayanımı tespit edilmiştir. Sonuç olarak, lastik miktarındaki artışa bağlı olarak taze betonun birim hacim ağırlığı azalmış ve çökme miktarı ise artmıştır, sertleşmiş betonda ise basınç, aderans ve eğilme dayanımları ve elastisite modülü azalmıştır. Ancak uçucu kül ikamesi, basınç dayanımında iyileşme sağlayarak dayanım kayıplarını önlemiştir. %10 uçucu kül kullanımı, %10 ve %15 lastik katkılı betonlarda yaklaşık %30 oranında basınç dayanımını arttırmıştır. Uçucu kül, %10 ve %15 oranında lastik katkısında sırasıyla %16 ve %25 oranlarında aderans dayanımını arttırmıştır. Genel olarak %10 uçucu kül, lastik katkılı betonlarda dayanım kayıplarını azaltarak iyileşme sağlamıştır. Uygun oranlarda uçucu kül ve atık lastiğin birlikte kullanımı lastik katkılı betonların fiziksel ve mekanik özelliklerinde iyileşme sağlayarak beton teknolojisinde lastik katkılı betonların kullanılabilirliğine katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Atık lastik, uçucu kül, basınç dayanımı, aderans dayanımı, pull-out

The Effect of Fly Ash on Adhesion and Compressive Strength of Waste Tire Additive Concretes

ABSTRACT: Due to the benefits it provides to concrete technology, environment and economy, the use of industrial by-products and waste materials such as fly ash and waste vehicle tires has been widely accepted in the construction sector. In this study, the effect of using 5%, 10% and 15% fly ash instead of cement as binder on the fresh and hardened properties of concretes where waste tire is used as 5%, 10% and 15% by volume instead of fine aggregate was investigated. Unit volume weight and consistency properties were determined in the fresh state, and adherence by the pull-out method, compressive and bending strength were determined in the hardened state. As a result, depending on the increase in the amount of tire, the unit weight of fresh concrete decreased and the amount of slump increased, while the compressive, adherence and flexural strengths and modulus of elasticity decreased in hardened concrete. However, fly ash substitution provided an improvement in compressive strength and prevented strength losses. The use of 10% fly ash increased the compressive strength by approximately 30% in concretes with 10% and 15% tire additives. Fly ash increased the adherence strength by 16% and 25%, respectively, in 10% and 15% tire additives. In general, 10% fly ash provided improvement by reducing strength losses in tire-added concretes. The use of fly ash and waste tire in optimum proportions contributes to the usability of tire additives in concrete technology by improving the physical and mechanical properties of tire-added concretes.

Keywords: Waste tire, fly ash, compressive strength, adherence strength, pull-out

¹Bülent ŞİMŞEK (Orcid ID: 0000-0002-3274-3584), Rüstem GÜL (Orcid ID: 0000-0003-1827-9137), İğdır Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İğdır, Türkiye

²Rıza POLAT (Orcid ID: 0000-0002-8990-035X), Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Rıza POLAT, e-mail: rizapolat@atauni.edu.tr

Bu çalışma Bülent Şimşek' in Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

GİRİŞ

Beton, agrega, çimento, su ve gerektiğinde bazı katkı maddelerinin birlikte kullanılması ile üretilen çimentonun hidratasyonu ile gerekli özellikleri kazanan kompozit yapı malzemesidir. Betonda olması istenilen başlıca özellikler; düşük birim ağırlık, işlenebilme, yüksek basınç ve aderans dayanımı, kırılma tokluğu, çarpma dayanımı ve dış etkilere karşı dayanıklılık olarak sıralanabilir. Beton, inşaat sektörünün temel malzemesi olmasına rağmen, bazı durumlarda istenilen özelliklere tek başına sahip olamamaktadır. Bundan dolayı özelliklerini iyileştirmek için, beton içerisinde ilave malzemelerin kullanılması fikri son yıllarda hızlı bir şekilde yayılmıştır. Son yıllarda beton teknolojisinde birçok endüstriyel atıklar, çimento ve beton üretiminde kullanılmaktadır. Beton bileşenleri arasındaki etkileşim ve bağlayıcılık göz önüne alındığında, kauçuk, plastik, seramik, cam, geri dönüştürülmüş agregalar, küller vb. atıklar, betonda kullanılabilir malzemelerdir (Topçu ve Demir, 2007; Turgut ve Yeşilata, 2009; Emiroğlu, 2012; Li ve ark., 2019).

Çevre açısından oldukça dayanıklı yüksek molekül yapı, polimer esaslı doğal ve sentetik kauçuklardan üretilen ürünlerin kullanılmasına müteakip, faydalı ömürlerini tamamlamaları ile doğal ortamda çözümleri güç ve zaman alan, “atık lastikler” oluşmaktadır (Gönüllü, 2004). Son yıllarda, otomobil endüstrisinin dünya çapında büyümesi, artan otomobil sayısına paralel olarak atık lastik miktarını da her geçen yıl artırmaktadır (Topçu ve ark., 2014). 2030 yılında motorlu taşıt sayısının 1.2 milyara çıkması ile birlikte düzenli olarak yaklaşık 5 milyar lastiğin atık olması beklenmektedir (Hansu, 2014). Miktarın sürekli artması nedeniyle atık lastiklerin geri kazanılması yöntemleri günümüzde giderek çeşitlenerek yaygınlaşmaktadır. Atık lastiklerin geri kazanılması bütün halden-toz hale kadar çeşitli boyutlar için yapılmaktadır (Gönüllü, 2004).

Endüstriyel atıklar, betonun durabilite ve mekanik özellikleri açısından iyileşmeler sağlamaktadır. Uçucu kül yaygın olarak kullanılan ve inşaat sektörüne önemli katkı sunan atıkların başında gelir (Kesler, 2009). Çok ince yapıda olan uçucu küller puzolanik özelliklerinden dolayı erken yaşlarda dayanımı çok etkilemez iken ileri yaşlarda dayanımı arttırmaktadırlar (Kesler, 2009). Uçucu külün ince yapısı kohezyonu artırarak ayrışmayı önler, agregaların ve donatı çubuklarının alt kısımlarında oluşan boşluk ve su miktarını azaltırlar. Yapışkan ve daha sıkı halde olan taze beton, donatı çubuklarını, agregayı daha sıkı sarararak aradaki bağ kuvvetini güçlendirir (Yeğınobalı, 2009). Çimento yerine %15 uçucu kül ikame ederek farklı kür sürelerinde aderans ve basınç dayanımlarının ölçüldüğü çalışmada, %15 uçucu kül katkılı betonlar kontrol betonuna göre 3 gün sonunda daha düşük dayanım göstermiş, ileri yaş dayanımlarının daha yüksek olduğu ifade edilmiştir (Tanyıldızı ve Yazıcıoğlu, 2006). Erten (2009), %20 oranında uçucu kül ve %10+%10 silis dumanı+uçucu kül kullanılan çalışmada, silis dumanı ve uçucu kül ikamesinin basınç ve aderans dayanımını arttırdığı, ayrıca betonun basınç dayanımının artmasının aderans ve donatı çekme dayanımını büyük oranda etkilediği belirtilmiştir (Erten, 2009). Uçucu külün uygun oranlarda (genellikle %10-%20 arası) kadar çimento yerine kullanılmasının aderans kuvvetlerini arttırdığı birçok araştırmacı tarafından ifade edilmiştir (Gül ve Bingöl, 2009). Topçu ve Toprak (2009), uçucu kül ile lastik külünün birlikte ve ayrı kullanıldığı karışımlarda, uçucu kül ve lastik külünün birlikte kullanıldığı harçlar en yüksek eğilme dayanımını sağlamıştır. Yılmaz ve Değirmenci (2009), atık lastiğin duvar uygulamalarında kompozit malzeme olarak kullanılabilirliğini araştırdıkları çalışmada uçucu kül ikamesi basınç ve eğilme dayanımını sağlamıştır. Vikram ve Kalaivanan (2017), tarafından çimento yerine %5, %10 ve %15 lastik tozu kullanılmış ve bütün karışımlarda uçucu kül oranı sabit tutulmuştur. Artan lastik miktarına bağlı olarak basınç dayanımı azalmış ve sıkışan hava buna sebep olarak gösterilmiştir. Lastik ikamesiyle birim ağırlık azalmış ve azalma mineral katkı ikamesine göre daha fazla olmuştur. Assas

(2016), 1-3.5 mm arası tane büyüklüğünde atık lastiği %5, %10 ve %15 oranında hacimce kum ile yer değiştirmiş ve çimento ağırlığının %30'u oranında mineral bağlayıcı kullandıkları çalışmada betonun durabilite özelliklerini araştırmıştır (%10 silis dumanı +%10 uçucu kül+%10 yüksek fırın cürufu). Lastik oranı arttıkça su emme oranı, klorür iyonu penetrasyonu artmıştır. Sülfürik asit lastik miktarındaki artışa bağlı olarak kütle kaybını arttırmıştır ve üçlü mineral katkı ikamesi basınç dayanım kaybını azaltmıştır. Adamu ve ark. (2017), atık lastiği, kum yerine %0, %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirerek kullanmışlardır. Lastik oranının artmasıyla taze yoğunluk, basınç, yarma ve eğilme dayanımları azalmıştır. Mineral dolgu maddesi olarak uçucu kül ikamesi, %10'a kadar lastik için mukavemet kaybını hafifletmiştir. Tüm mineral dolgu türleri için %10 lastik ile eğilme mukavemetinin arttığı görülmüştür. Najmi ve ark. (2020), 1-3 mm aralığında atık lastiği NaOH çözeltisine maruz bırakarak, ince agrega ağırlığının %5, %10, %15 ve %20 oranlarında yer değiştirmiş ve çimento ağırlığının %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül kullanmışlardır. %10 uçucu kül kullanımı, basınç, eğilme ve yarmada çekme dayanımında iyileşme göstermiştir ancak yine de dayanım kontrol numunesine göre daha düşüktür. Dayanımda önemli bir azalmayı önlemek için optimum lastik değişimi %5 ve uçucu külün ise %10 olması gerektiği ifade edilmiştir. Basınç dayanımındaki azalmanın, daha yumuşak ve daha düşük yoğunluklu lastiğin ve lastik ile çimento matrisinin temas bölgesinde çatlamaya neden olan daha yüksek hava boşluğu içeriğinden kaynaklandığı belirtilmiştir.

Betonarme, betonla çeliğin birlikte çalıştığı kompozit bir malzemedir. Bir yapı elemanının betonarme olarak davranabilmesi için donatı çubukların betona kenetlenmesi, sıyrılmaması gerekir. Kenetlenmeyi sağlayan, betonarmenin en önemli ve faydalı özelliklerinden biri olan aderans, çelik çubuk ile beton arasındaki kayma gerilmelerini ifade eder (Tanyıldızı ve Yazıcıoğlu, 2006; Gül ve Bingöl, 2009). Aderans sayesinde bu iki malzemenin birlikte kullanılması mümkün olur. Aderans birçok değişkenden etkilenir; betonun çekme dayanımı, çeliğin akma dayanımı, çubuğun yüzey geometrisi, donatı çapı, kenetlenme boyu, donatının beton içerisindeki konumu, donatı etrafındaki beton örtü kalınlığı, kullanılan agreganın cinsi ve katkı maddeleri başlıca etkenlerdir (Erten, 2009; Gül ve Bingöl, 2009; Emiroğlu, 2012).

Yapılan literatür araştırmasında lastik katkılı betonlarda uçucu kül kullanımının donatı ve beton arasındaki aderans dayanımına etkisinin araştırıldığı özellikle de pull-out yöntemi ile tespitine ilişkin benzer çalışmaya rastlanmamıştır. Lastik katkılı betonlarda uçucu kül kullanımının donatı ve beton arasındaki aderans dayanımına etkisi incelenerek betonarme yapılarda atık lastiğin kullanılabilirliği çalışmanın temel amacını oluşturmaktadır. Bu kapsamda ince agrega yerine ağırlıkça %5, %10 ve %15 araç atık lastiği ve çimento yerine ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında uçucu kül kullanılarak taze ve sertleşmiş betonun özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Taze halde birim hacim ağırlık ve işlenebilirlik deneyleri, sertleşmiş betonlarda ise basınç ve eğilme dayanımı, pull-out yöntemiyle aderans dayanımı tespit edilerek elastisite modülü değerlendirilmiştir.

MATERYAL ve METOT

Materyal

DeneySEL çalışmada Aşkale Çimento fabrikasından TS 197-1'e uygun temin edilen CEM I 42.5 R tipi çimentosu kullanılmıştır. F-sınıfı uçucu kül İskenderun Enerji Üretim ve Ticaret A.Ş Sugözü enerji santralinden temin edilmiştir. Uçucu kül ortalama tane boyutu 25-30 μ arasında değişmekte olup ve özgül yüzey 2840 gr cm²'dir. Çimento ve uçucu külün özgül ağırlıkları sırasıyla 3.12 gr cm⁻³ ve 2.34 gr cm⁻³ olup kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Çimento ve uçucu külün kimyasal özellikleri

Kimyasal Birleşim (%)									
Oksit	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Kızdırma Kaybı
Çimento	18.1	4.48	3.09	63.65	2.5	0.62	0.21	2.84	3.9
Uçucu kül	52.5	22.82	5.34	7.16	2.4	0.99	0.48	0.2	3.35

Çalışmada 0-4 mm aralığında ince agrega (dere kumu) ve iri agrega olarak 4-8 mm ve 8-16 mm aralığında kırma taş kullanılmıştır. 0-4 mm kum %47, 4-8 mm kırma taş %33 ve 8-16 mm kırma taş %20 oranlarında olmak üzere, agrega granolümetrisi TS 802'de en büyük tane çapı 16 mm olan agregalar için tavsiye edilen aralığa uyacak şekilde belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan agregalara ait özellikler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Agregaların özgül ağırlık ve su emme değerleri

	Kuru özgül ağırlık (gr cm ⁻³)	Doygun kuru yüzey özgül ağırlık (gr cm ⁻³)	Su Emme Oranı (%)
0-4 mm	2.43	2.5	3.04
4-8 mm	2.67	2.7	0.83
8-16 mm	2.66	2.68	0.65

Çalışmada dolgu malzemesi 0-4 mm kum ile yer değiştireceği için atık lastik 0-4 mm çaplarında seçilmiş ve tedarik edilmiştir. Beton numunelerinin üretiminde kullanılan atık otomobil lastiği ve lastiğe ait özellikler Anı Grup Otomotiv ve Sanayi Tic. Ltd. Şti ve Kâhya Rejenere Kauçuk firmalarından alınmıştır. Atık lastiğe ait özellikler, tedarik edilen firmalardan alınmış olup Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Atık lastiğe ait özellikler

Teknik Özellikler	Sıkıştırılmış Yoğunluk (t m ⁻³)	Porozite (%)	Permabilite (cm s ⁻¹)	Elastisite Modülü (MPa)	Poisson Oranı	Termal (W m. K ⁻¹)	İletkenlik
Değer	1.16	50	5	1	0,3	0.15-0.30	

Bu çalışmada beton kıvamını dengeleyebilmek için her karışım grubu için çimento ağırlığının %1-%1.5 oranında TS EN 934-2 standardında üretilmiş yüksek performanslı modifiye polikarbosilat esaslı polimer süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır.

Aderans dayanımı deneyinde 12 mm çapında B420C betonarme donatısı kullanılmıştır. Kullanılan donatı ve özellikleri Samsun'da bulunan Yeşil Yurt Demir Çelik Endüstri ve Liman İşletmeleri firmasından temin edilmiştir. Çalışmada beton karışım hesabı TS 802 ve TS EN 206'ya göre yapılarak hedef dayanım karakteristik silindirik basınç dayanımı 35 N mm⁻² olacak şekilde hesaplamalar yapılmıştır.

Yöntem

Çalışma kapsamında üretilen betonların karışım oranları Çizelge 4'te verilmiştir. Beton karışımı 60 dm³ kapasiteli laboratuvar tipi mikser ile yapılmıştır. Çalışmada basınç dayanımı ve aderans dayanımı deneyi için 100×200 mm plastik silindirik kalıplar ve eğilme dayanımı deneyi için 70×70×280 mm çelik prizma kalıplar kullanılmıştır. Prizma numunelerde 28 günlük kür sonunda orta noktasından yüklenmiş basit kiriş yöntemi ile eğilme dayanımı deneyi TS EN 12390-5 standardına göre yapılmıştır. Aşağıda belirtilen (1) nolu formül ile eğilme dayanımı değerleri hesaplanmıştır (Emiroğlu, 2006).

$$\sigma_e = (3 \times P \times L) / (b \times d^2) \quad (1)$$

σ_e = Eğilmede dayanımı, P= Yük değeri, L= Kiriş uzunluğu, b=Kiriş kesitinin eni ve d= Kiriş kesitinin yüksekliği

Aderans dayanımları, (2) nolu formül ile hesaplanmıştır (Tanyıldızı ve Yazıcıoğlu, 2006).

$$\tau = \text{Aderans Kuvveti} / (\pi \times \text{Ø} \times L) \quad (2)$$

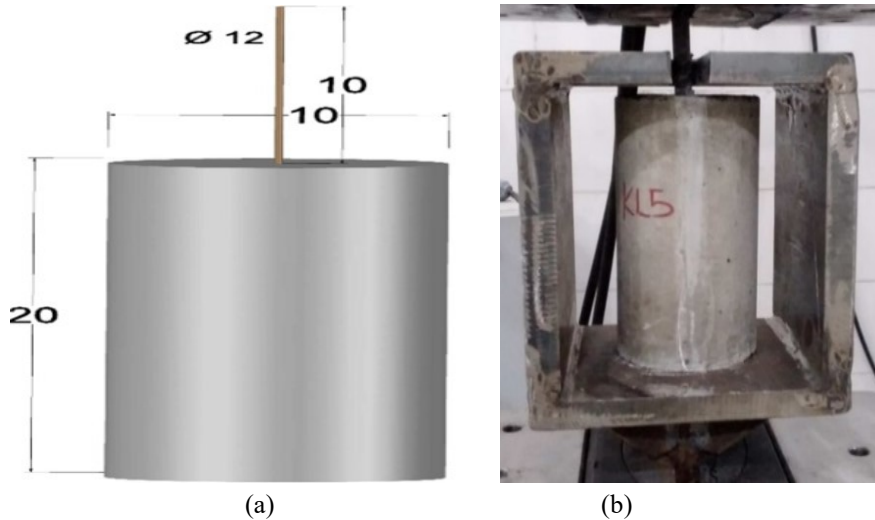
τ = Aderans dayanımı (MPa), Aderans Kuvveti = Maksimum yük (N), L = Donatı ile beton arasındaki temas boyu (mm), Ø = Donatı çapıdır (mm)

Aderans dayanımı deneyi ASTM C 234-9 standardına göre çekip çıkarma (pull-out) yöntemi kullanılarak yapılmıştır (Tanyıldızı ve Yazıcıoğlu, 2006). Aderans dayanımı tespitinde bütün numune gruplarında Ø12 mm çapında nervürlü donatı kullanılmıştır. Bütün numune gruplarında donatı sabit 20 cm beton içerisine gömülerek ve 10 cm dışarıda kalacak şekilde toplam 30 cm olarak alınmıştır (Şekil 1a). Bu deneysel çalışmaya özgün tasarlanmış, çelik çekme kalıbı, yükün dengeli etkisini sağlamak için çekme çenesini ortalayacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 1 b).

Çizelge 4. 1 m³ beton için karışım miktarları (kg m⁻³)

Karışım Kodu*	Normal (mm)			Agrega (kg)	Çimento (kg)	Uçucu Kül (UK) (kg)	Atık Lastik (kg)	Su (kg)	Toplam (kg)	Ağırlık
	0-4	4-8	8-16							
K	804.7	565	343	419.0	-	-	-	184	2315.7	
L5	764.4	565	343	419.0	-	17.9	-	184	2293.4	
L10	724.2	565	343	419.0	-	35.9	-	184	2271.1	
L15	684.0	565	343	419.0	-	53.8	-	184	2248.8	
KU5	804.7	565	343	398.0	21	-	-	184	2315.7	
U5L5	764.4	565	343	398.0	21	17.9	-	184	2293.4	
U5L10	724.2	565	343	398.0	21	35.9	-	184	2271.1	
U5L15	684.0	565	343	398.0	21	53.8	-	184	2248.8	
KU10	804.7	565	343	377.1	41.9	-	-	184	2315.7	
U10L5	764.4	565	343	377.1	41.9	17.9	-	184	2293.4	
U10L10	724.2	565	343	377.1	41.9	35.9	-	184	2271.1	
U10L15	684.0	565	343	377.1	41.9	53.8	-	184	2248.8	
U15	804.7	565	343	356.1	62.9	-	-	184	2315.6	
U15L5	764.4	565	343	356.1	62.9	17.9	-	184	2293.3	
U15L10	724.2	565	343	356.1	62.9	35.9	-	184	2271.0	
U15L15	684.0	565	343	356.1	62.9	53.8	-	184	2248.8	

*K, atık lastik ve mineral katkı içermeyen karışım, L ve yanındaki sayı, lastik içeriği ve oranını ve U uçucu külü ve oranını belirtir.



Şekil 1. Aderans dayanımı deney numunesi tasarımı (a, b)

100×200 mm silindir numunelerde 28 günlük kür sonunda TS EN 12390-3 standartlarında basınç dayanımı deneyinde numune gövdesine bağlanan beton silindir kompressometre ile gerilme ve şekil değiştirme eğrileri elde edilmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Birim Ağırlık ve Çökme Deneyi Sonuçları

Atık lastik ve mineral katkı ilaveli üretilen betonların taze haldeki birim ağırlık ve çökme deney sonuçları Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 5. Karışımlara ait birim ağırlık (gr cm^{-3}) ve çökme değerleri (cm)

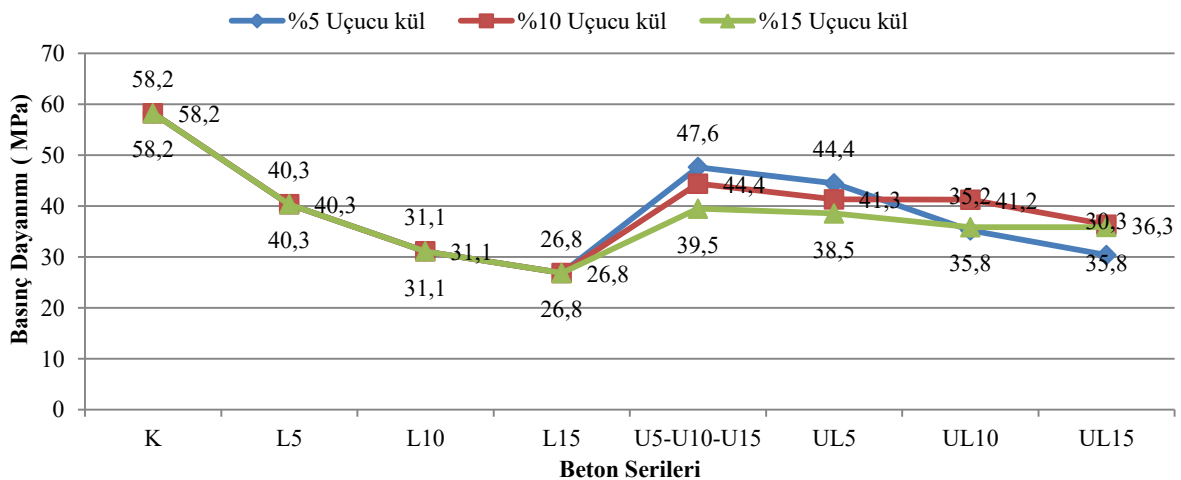
Numune	K	L5	L10	L15	U5	U5L5	U5L10	U5L15	U10	U10L5	U10L10	U10L15	U15	U15L5	U15L10	U15L15
Birim Ağırlık	2.51	2.44	2.39	2.31	2.5	2.46	2.39	2.43	2.48	2.48	2.47	2.43	2.48	2.47	2.46	2.42
Çökme	14	13	18	19	13	12	19	12	14	17	18	17	16	15.5	15	13

Atık lastik miktarındaki artışa bağlı olarak çökme değerleri artmıştır (Kumar ve ark., 2014; Vıkrım ve Kalaivanan, 2017). Katkıların filler yapıları ve puzolanik etkilerinden dolayı işlenebilirlik üzerinde oluşacak olumsuz etkilere karşı süper akışkanlaştırıcı kullanarak beton kıvamı dengelenmeye çalışmıştır. Farklı oranlarda lastik ve mineral katkı kullanımı ile çökme değerleri yine de farklılık göstermiştir (Kesler, 2009; Yeğınobalı, 2009; Kumar ve ark., 2009; Topçu ve ark., 2014).

Lastiğin birim ağırlığının doğal agreganınkinden daha düşük olmasından dolayı kontrol betonuna göre atık lastik miktarındaki artışa bağlı olarak birim ağırlıkta azalmıştır. Çimento yerine bağlayıcı olarak kullanılan mineral katkıların birim ağırlığının çimentoya göre daha düşük olması betonların özelliklerine de yansımaktadır (Yeğınobalı, 2009). Kullanılan mineral katkının fiziksel ve kimyasal özellikleri kendi aralarında farklılıklar göstermektedir (Najimi ve Marivana, 2020). Uçucu kül, lastik katkılı betonlara göre birim ağırlıkta %1-4 oranında artış sağlamıştır (Emiroğlu, 2006; Kumar ve ark., 201; Adamu ve ark., 2017).

Basınç dayanımı

Çalışma kapsamında üretilen atık lastik ve uçucu kül ikameli karışımların basınç dayanımı sonuçları Şekil 2'de verilmiştir. Genel olarak atık lastik kullanımı basınç dayanımını %30-54 aralığında azaltmakta iken uçucu külün basınç dayanımı üzerinde etkisi belirgin olup dayanım kayıplarını %23-%37 seviyelerine kadar azaltarak lastik katkılı betonlarda dayanım artışı sağlamıştır.



Şekil 2. Basınç dayanımında atık lastik ve uçucu kül kullanımının etkisi

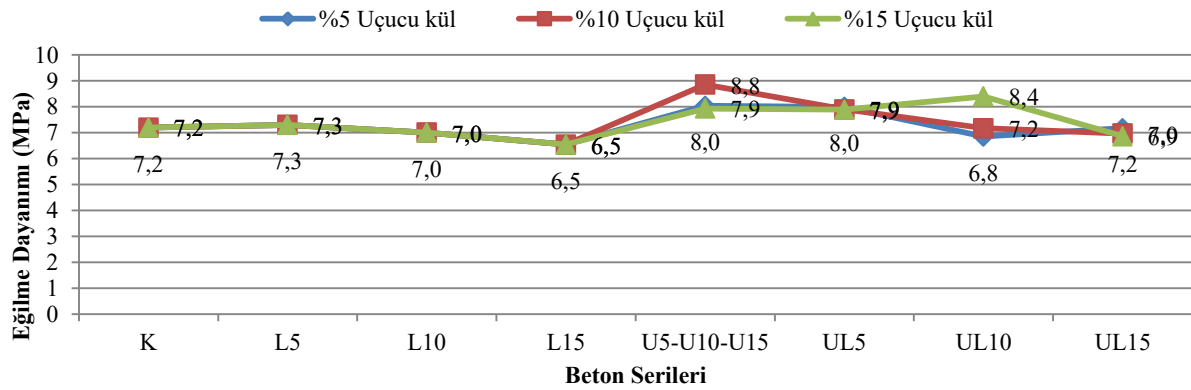
%5 uçucu kül kullanılan lastik katkılı betonlarda bütün oranlarda basınç dayanımında artış sağlamış olup ortalama %13 oranında dayanımda artış göstermiştir. %10 oranında uçucu kül kullanımı

L5 serisinde önemli bir dayanım artışı sağlamaz iken L10 ve L15 serilerinde (U10L10 ve U10L15 numune gruplarında) sırasıyla %32 ve %35 oranlarında dayanım artmıştır. %15 oranında uçucu kül kullanımı L5 serisinin dayanımında kısmi düşüğe neden olsa da L10 ve L15 serilerinde sırasıyla %15 ve %33 oranında dayanım artışı sağlamıştır. Uçucu külün lastik ikameli betonlarda bütün oranlarda dayanım artışı sağlamıştır. %10 oranında uçucu kül kullanımı ile basınç dayanımı en yüksek değerlere ulaşmıştır. Genel olarak çimento yerine uçucu kül ikamesinde uygun karışım oranının %0-10 arasında olmasının çimentoya yakın dayanım değerleri sağladığı, daha yüksek oranlarda ikame edilen uçucu külün dayanım değerlerini çimentoya göre aynı yaşta düşürdüğü ve ileri yaşlarda dayanım değerinin normal betonun dayanım değerlerine daha yakın olduğu belirtilmiştir (Günindi, 2005; Deli Korkut ve Sevim U K, 2015; Najmi ve ark. 2020). Najmi ve ark. (2020), %10, %20 ve %30 oranlarında uçucu kül kullandıkları çalışmada %10 uçucu kül kullanımının, basınç dayanımında iyileşme gösterdiğini ve dayanımda önemli düzeyde azalmayı önlemek için optimum lastik oranının %5 ve uçucu külün ise %10 olması gerektiğini belirtmişlerdir. Adamu ve ark. (2017), farklı oranda atık lastik ve mineral katkı kullandıkları çalışmada uçucu külün %10'a kadar lastik için dayanım kaybını azalttığını belirtmişlerdir. Uçucu kül, filler yapısı ile betonda boşlukları doldurarak ve ihtiyaç duyulan su miktarını azaltarak dayanımda iyileşme sağlamıştır. Puzolanik aktivitesinden dolayı erken yaş dayanımları biraz daha düşük olan uçucu kül içeren karışımların ileri yaş dayanımları daha yüksektir (Topçu ve Demir, 2007; Yeğinobalı, 2009; Topçu ve Toprak, 2009; Yılmaz ve Değirmenci, 2009).

Eğilme dayanımı

Çalışma kapsamında üretilen atık lastik ve uçucu kül ikameli karışımların eğilme dayanımı sonuçları Şekil 3'te verilmiştir. Atık lastik kullanılmayan betonlarda, en yüksek eğilme dayanımı sonuçları %10 oranında uçucu kül kullanımında elde edilmiştir (Yeğinobalı, 2009; Topçu ve Toprak, 2009). Diğer taraftan basınç dayanımı sonuçlarına nispeten eğilme dayanımlarının uçucu kül kullanımında daha yüksek olduğu görülmektedir (Dündar ve Çınar 2020). Atık lastik miktarı arttıkça kontrol betonuna göre eğilme dayanımı azalmıştır. L15 serisinde %10'a yakın dayanım düşüşü olmuştur. Hansu (2014), farklı boyutlarda ve oranlarda atık lastik kullandığı çalışmada lastik artışının eğilme dayanımını azalttığını ifade etmiştir.

Kontrol betonuna göre uçucu kül kullanımı eğilme dayanımını ortalama %14 oranında arttırmış ve %15 uçucu kül ikamesi %10 oranında atık lastik kullanımı ile en yüksek eğilme dayanımı değerini sağlamıştır.



Şekil 3. Eğilme dayanımında atık lastik ve uçucu kül kullanımının etkisi

%5 oranında atık lastik kullanılan karışımlarda, uçucu kül yaklaşık %8 oranında eğilme dayanımını arttırmıştır. %10 oranında atık lastik kullanımında %5 uçucu kül ikamesi kısmen düşüş sağlarken diğer oranlarda dayanımda artış olmuş ve %15 uçucu kül ikamesinde ise %20 oranında

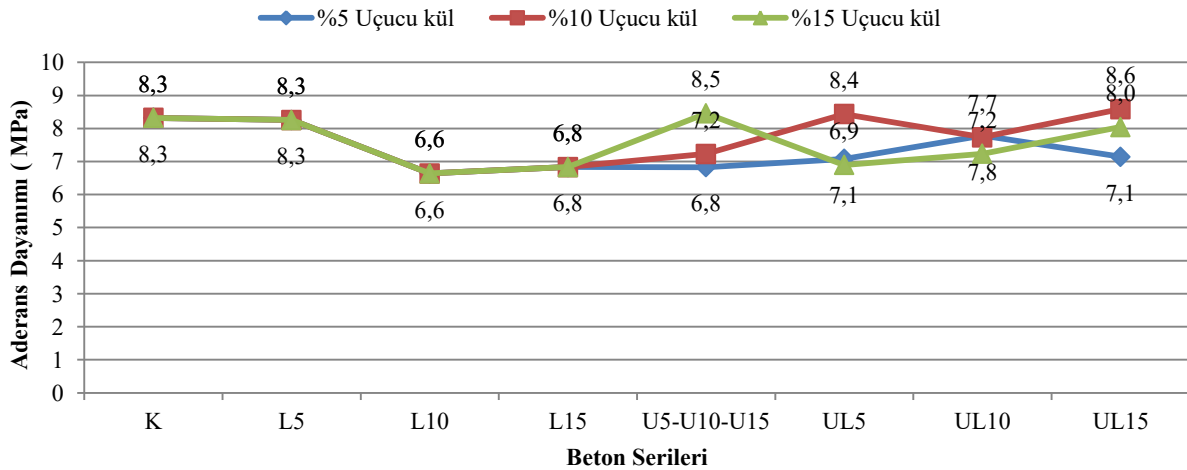
belirgin dayanım artışı olmuştur. %15 oranında atık lastik kullanımında ise uçucu kül ikamesi ile eğilme dayanımı yaklaşık %8 oranında artmıştır. Yılmaz ve Değirmenci, (2009), atık lastiğin duvar uygulamalarında kompozit malzeme olarak kullanılabilirliğinin araştırdıkları çalışmada uçucu kül ve atık lastiğin birlikte kullanımı eğilme dayanımını arttırmıştır. Adamu ve ark. (2017), uçucu külün %10 lastik içeriğine kadar eğilme dayanımını arttırdığını belirtmiştir. Najmi ve ark. (2020), atık lastikleri, ön işleme tabi tutarak ince agrega yerine kullandıkları betonlarda %5 ve %10 uçucu kül kullanımı, eğilme dayanımını arttırdığını ve dayanımda önemli bir azalmayı önlemek için uygun lastik değişimi %5 ve uçucu külün ise %10 olması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Lastik miktarına göre genellikle eğilme dayanımı düşüş göstermiş ve yapılan benzer çalışmalarda uçucu külün eğilme dayanımını arttırdığı görülmüştür. Filler yapıda olan uçucu küller lastik katkısından dolayı oluşan boşlukları doldurarak daha yoğun bir çimento matrisi oluşturarak ve çimento hamuru ile agrega arasında puzolanik etkiden dolayı daha sıkı bağlanma sağlayarak dayanımı arttırmışlar (Yeğınobalı, 2009; Yılmaz ve Değirmenci, 2009; Erten, 2009; Adamu ve ark., 2017)

Aderans dayanımı

%5 oranında atık lastik ikamesi, aderans dayanımını etkilememiş olup normal beton ile aynı bağlanma performansı göstermiştir. %10 ve %15 atık lastik ikamesi yaklaşık olarak %20 oranında dayanımda düşüş meydana getirmiştir. Lastik katkılı betonlarda beton ile donatı arasındaki bağlanma kuvvetinin zayıf olmasının sebebi için lastiğin yumuşak olması ve sürtünmeyi azalttığı birçok araştırmacı tarafından belirtilmiştir (Erten, 2009; Hansu, 2014; Strukar ve ark., 2020).

L5 serisinde kontrol betonuna yakın sonuçlar elde edilmiş ve uçucu külün olumlu bir etkisi görülmemiş ve yaklaşık %10 oranında aderans dayanımında düşüş olmuştur. Sadece %10 oranında uçucu kül ikamesi yaklaşık %2 oranında bir dayanım artışı göstermiştir.



Şekil 4. Aderans dayanımında atık lastik ve uçucu kül kullanımının etkisi

Uçucu kül ikamesi kontrol betonuna göre aderans dayanımını olumlu etkilememiş ve yaklaşık olarak %10 oranında dayanım düşüşü göstermiştir. Artan lastik oranına bağlı olarak uçucu kül miktarındaki artış bağlanma kuvvetini güçlendirerek aderans dayanımını arttırmıştır. %10 ve %15 uçucu kül ikamesi L10 ve L15 serilerinde ortalama sırasıyla %18 ve %22 oranında dayanım artışı sağlamıştır. %10 uçucu külün beton ile donatı arasındaki bağlanma kuvvetine etkisi bütün lastik oranlarında daha yüksek olmuştur.

Çok daha ince yapıda olan uçucu kül, lastik miktarına bağlı olarak artan boşlukları doldurarak kohezyonu arttırmıştır. Agregaların ve donatı çubuklarının alt kısımlarında biriken su miktarını azaltarak daha sıkı halde olan taze beton donatı çubuklarını, agregayı daha sıkı sarmış ve aradaki bağ

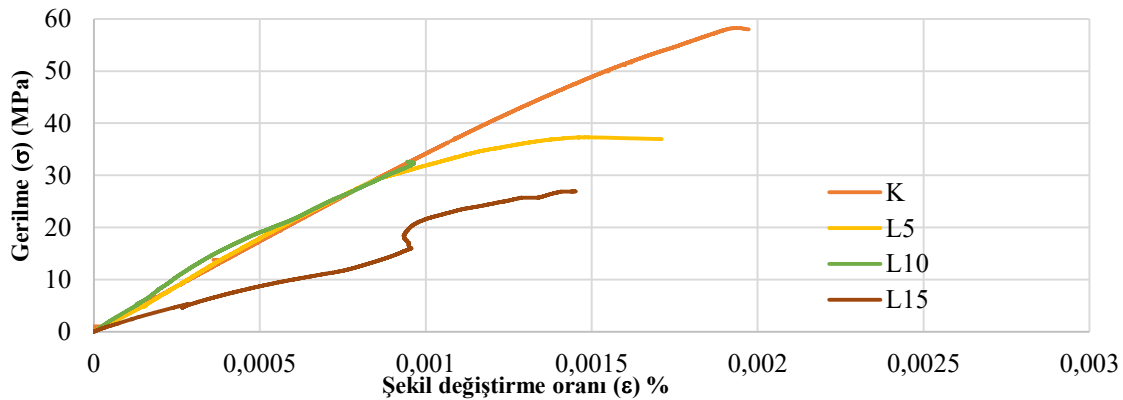
kuvvetini güçlendirmiştir (Yeğınobalı, 2009). Uçucu külün aderans dayanımını arttırdığı birçok çalışma sonucunda doğrulanmıştır (Tanyıldızı ve Yazıcıoğlu, 2006; Erten, 2009; Vikram ve Kalaivanan, 2017). Atık lastik üzerine yapılan birçok çalışmada genel olarak sertleşmiş beton özellikleri üzerinde yapılan araştırmalarda basınç dayanımı, eğilme dayanımı, yarmada çekme dayanımı testleri yapılmışken aderans dayanımı özelliğinin yeterli sayıda araştırılmadığı tespit edilmiş ve yapılan araştırmalarda uçucu külün lastik katkılı betonlarda aderans dayanımı üzerindeki etkisi üzerine yapılan çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışma ile uçucu külün lastik katkılı betonlarda aderans dayanımını arttırdığı yapılan deneysel çalışmalar sonucunda ortaya çıkmıştır.

Gerilme ve şekil değiştirme oranı (σ - ϵ) ilişkisi

Yapı malzemelerinin en temel özellikleri arasında, kuvvet etkisinde ve kırılmadan/parçalanmadan önceki mekanik ve şekil değiştirme davranışları bulunur. Kuvvet etkisinde malzemeler genellikle önce elastik daha sonra ise plastik şekil değiştirerek kırılır ya da koparlar. Kırılmadan önceki şekil değiştirme kapasitesi (elastik ve plastik), malzemenin kullanım limitlerini belirlediğinden dolayı önem arz etmektedir. Bu çalışmada ise atık lastik katkılı betonlarda mineral katkıların bu özelliklere etkisini araştırmak için kuvvet etkisindeki şekil değiştirme davranışları tespit edilmiştir.

Elastik şekil değiştirme bölgesi tek eksenli yükleme durumunda bu bağıntı $\sigma=E \cdot \epsilon$. E Hooke kanunıyla ifade edilir. Bu bağıntıda σ yük altında oluşan gerilmeyi, ϵ birim şekil değiştirme oranını ifade eder ve eşitlikte E orantı katsayısı malzemenin elastisite modülünü verir (Türkel, 2002).

Gerilme ile ilişkili olan elastisite modülünün, basınç ve eğilme dayanımı sonuçlarında da olduğu gibi atık lastik miktarındaki artışa bağlı olarak azaldığı Şekil 5'te görülmektedir. Atık lastik kullanımının gerilmeyi düşürdüğü ve şekil değişimini arttırdığı birçok araştırmacı tarafından ifade edilmiştir (Güneyisi ve ark., 2004; Emiroğlu, 2006; Erten, 2009; Kumar ve ark., 2014). Kumar ve ark. (2014), kaba ve ince agrega olarak atık lastik kullandıkları çalışmada, atık lastik oranı arttıkça şekil değiştirmenin arttığını belirtmişlerdir. %15 oranında atık lastik kullanımında bu azalma öne çıkmaktadır. Gerilme ve şekil değişimi incelendiğinde normal betona göre artan atık lastik oranına bağlı olarak gerilme değeri yaklaşık %50 oranında azalırken şekil değişimi %30 seviyesindedir. Uçucu kül kullanımı ile gerilme değeri %8-10 seviyesi aralığında artmaktadır. Artan lastik ve uçucu kül oranına göre farklı oranlarda artış olduğu görülmektedir.



Şekil 5. Atık lastik katkılı (uçucu kül katkısız) betonun gerilme ve şekil değiştirme grafiği

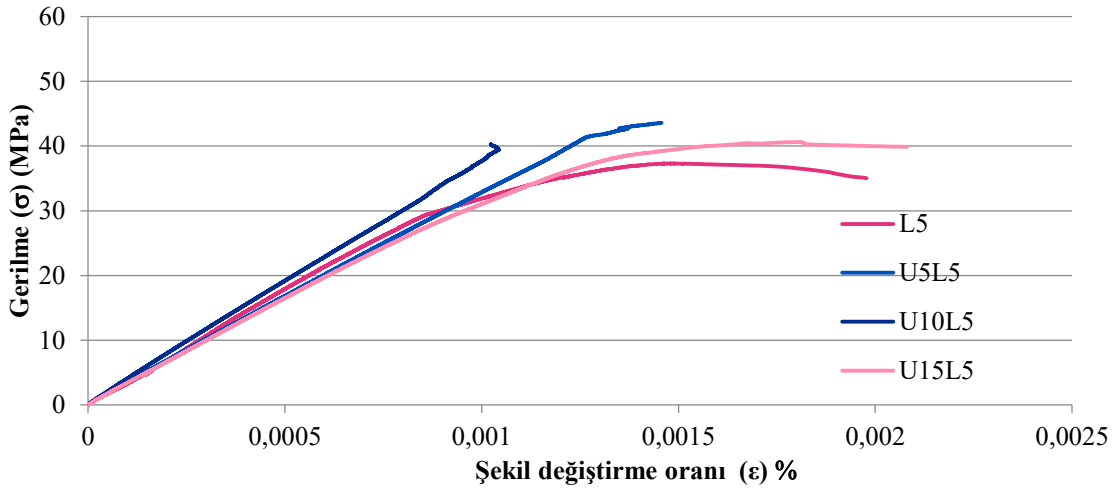
Atık lastik miktarının artması ile betonların sünekliği artmış ve kırılma anında yüksek plastik deformasyon göstermiştir. Lastik katkısıyla daha sünek bir hal alan betonunun lastik oranına göre kırılma şekilleri de farklılık göstermiştir. Kontrol betonunda kırılmalar parçalanma şeklinde oluşurken lastik katkıyla betonlarda çatlaklar oluşmuş ve çatlak derinlikleri lastik miktarına göre farklılıklar

göstermiştir. Kontrol betonunda ve %5, %10 ve %15 lastik katkısında kırılma şekilleri Şekil 6'da gösterilmiştir. Lastik miktarı arttıkça kırılmalar daha ince çatlaklar şeklinde gerçekleşmiştir.

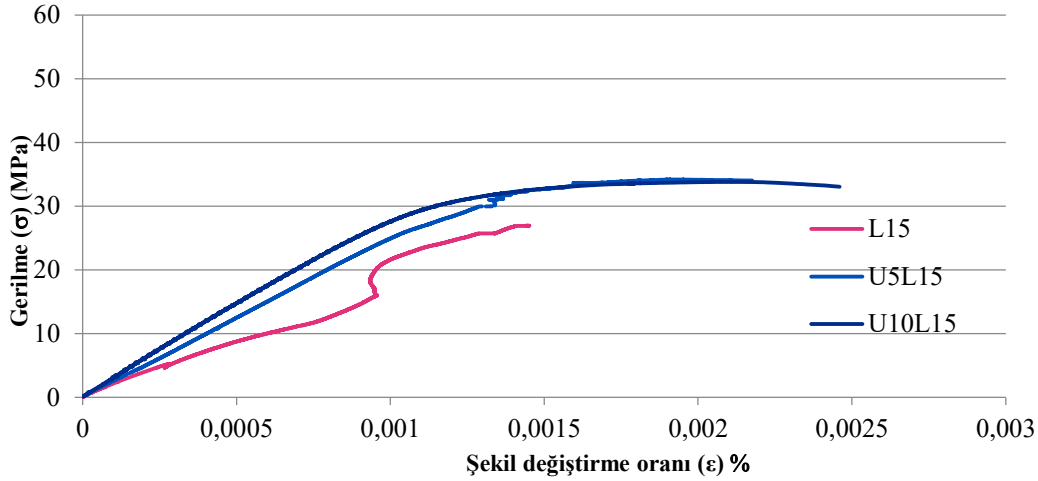


Şekil 6. Lastik katkılı betonlarda kırılma şekilleri (K, KL5, KL10 ve KL15)

Uçucu kül kullanımı ile gerilme değerleri artmış ve buna bağlı olarak elastisite modülü artmıştır (Şekil 7 ve Şekil 8). Lastik katkılı betonlarda oluşan boşlukları, mikro yapıda olan uçucu kül doldurarak çimento hamuru ile agrega arasında daha sıkı bir ara yüzey oluşturur. Aradaki bağlanma kuvvetini arttırmaları mekanik özelliklerin de iyileşmesinde en önemli sebeptir.



Şekil 7. Uçucu kül ve %5 atık lastik katkılı betonların gerilme ve şekil değiştirme grafiği



Şekil 8. Uçucu kül ve %15 atık lastik katkılı betonların gerilme ve şekil değiştirme grafiği

SONUÇ

Yapılan deneysel çalışma sonucunda;

- %5 ve %10 oranında uçucu kül kullanımı ile basınç dayanımı belirgin seviyede artmıştır. %15 oranında uçucu kül kullanımının basınç dayanımına etkisinin daha az olduğu görülmüştür. %10 oranında uçucu kül, lastik katkılı betonlarda daha yüksek basınç dayanımı sonuçları vermiş ve bütün lastik oranlarında dayanım kayıplarını önleyerek dayanımda artış sağlamıştır.

- Uçucu kül filler yapısından ve puzolanik etkisinden dolayı betondaki kohezyonu artırarak beton ile donatı arasındaki bağ kuvvetini güçlendirmiş ve genel olarak aderans dayanımını arttırmıştır. %10 oranında uçucu kül kullanımı bütün lastik oranlarında en iyi performansı göstermiştir.

- Eğilme dayanımında uçucu kül olumlu etki göstermiş ve bütün oranlarda eğilme dayanımda artış sağlamıştır.

- Atık lastik miktarındaki artışa paralel olarak betonda dayanım azalmış ve süneklik artmıştır. Lastik miktarına bağlı olarak dayanım değerleri düşerken kırılmalar daha esnek ve çatlaklar şeklinde olmuştur. Uçucu kül dayanım kayıplarının önleyerek gerilme değerlerinde artış sağlamış ve daha sünek hale gelen betonda elastisite modülünde de iyileşmeler sağlanmıştır.

Çıkar Çatışması

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

KAYNAKLAR

- Adamu M, Mohammed B, Shafiq N, 2017. Mechanical Performance of Roller Compacted Rubbercrete With Different Mineral Filler. Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering) ,79(6) :75-88.
- Assas M, 2016. Durability of Green Concrete with Ternary Cementitious System Containing Recycled Aggregate Concrete and Tire Rubber Wastes. Journal of Engineering Science and Technology, 11(6): 899 – 915.
- Deli Korkut B C, Sevim U K, 2015. Sugözü Uçucu Külünün Betonun Mekanik Ve Durabilite Özelliklerine Etkisi, Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 4(2): 47-58.
- Dündar B, Çınar E, 2020. Farklı Mineral Katkılı Hafif Harçların Mekanik ve Fiziksel Özelliklerine Yüksek Sıcaklığın Etkisi. Türk Doğa ve Fen Dergisi, 9(2): 42-49.
- Emiroğlu M, 2006. Atık Taşı Lastiğin Beton İçerisinde Kullanımı ve Betonun Karakteristiklerine Etkisi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).

- Emiroğlu M, 2012. Lastik Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi (Basılmış).
- Erten M K, 2009. Katkılı Betonların Aderans Dayanımının İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Gönüllü M T, 2004. Atık Lastiklerin Yönetimi. Katı Atık Geri Dönüşüm Teknolojileri Semineri, İstanbul Sanayi Odası, 2004, İstanbul.
- Gül R, Bingöl F, 2009. Donatı-Beton Aderansı, Yüksek Sıcaklıkların Beton Dayanımına ve Aderansa Etkileri Konusunda Bir Derleme. Türk Bilim Vakfı Araştırma Dergisi, 2(2) :211-230.
- Güneyisi E, Gesoğlu M, Özturan T, 2004. Properties of Rubberized Concretes Containing Silica Fume. Cement and Concrete Research, 34(12) :2309-2317.
- Günindi İ, 2005. Yumurtalık Sugözü Uçucu Küllü İçeren Betonların Basınç, Eğilme ve Aşınma Dayanımlarının Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Hansu O, 2014. Investigating the Mechanical and Fracture Properties of Rubberized Concretes, Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Kesler Y E, 2009. Kalsit Katkılı Betonların Erken Yaş Dayanımı Özellikleri, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Koçak Y, Alparslan L, 2015. International Sustainable Buildings Symposium, 2015, Ankara.
- Kumar G N, Sandeep V, Sudharani C, 2014. Using Tyres Wastes as Aggregates in Concrete to Form Rubcrete– Mix for Engineering Applications. International Journal of Research in Engineering and technology, 3(11): 500-509.
- Li H, l Xu Y, Chen P, Ge J j, Wu F, 2019. Impact Energy Consumption of High-Volume Rubber Concrete with Silica Fume. Advances in Civil Engineering, 2019.
- Mishra M, Panda K, 2015. An Experimental Study on Fresh and Hardened Properties of Self Compacting Rubberized Concrete. Indian J. Sci. Technol, 8: 1-10.
- Najmi A, Mariyana A, Shek P, Nurizaty Z, 2020. Hardened Properties of Concrete with Different Proportion Of Crumb Rubber And Fly Ash. IOP Materials Science and Engineering, 849(2020): 1-8.
- Strukar K, Jelec M, Sipos T, Grubisic M, Lukic S, 2020. Experimental investigation on bond-slip behavior of self-consolidating rubberized concrete. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Materials Science and Engineering, 2020, Croatia.
- Tanyıldızı H, Yazıcıoğlu S, 2006. Betonarme Demiri ve Beton Arasındaki Aderans Dayanımına Mineral Katkıların Etkisi. Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18(3): 351-357.
- Topçu İ B, Demir A, 2007. Atık Lastik Ve Uçucu Küllü Harçların Özellikler. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 20(2), 189-200
- Topçu İ B, Karakurt C, Işıkdag B, 2014. Atık Lastik Agregalı Harçların Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi. Politeknik Dergisi, 17(1) :3-7.
- Topçu İ B, Toprak M U, 2009. Lastik Küllü Harçların Özellikleri. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22(1) :109-127.
- Turgut P, Yeşilata B, 2009. Atık Lastik Katkılı Harç Plak ve Briketlerin Termo-Mekanik Davranışlarının Araştırılması. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 24(4): 651-658.
- Türkel E B, 2002. Betonda Basınç Dayanımı ile Elastisite Modülü Arasındaki İlişkiler, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Yakaboylu O, 2010. Atık Lastik Yönetimi ve Atık Lastik Pirolyzisi Model Tesisi İçin Yapılabilirlik Çalışması, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).
- Yeğınobalı A, 2009. Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve özellikleri. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, 2009, Ankara.
- Yılmaz A, Değirmenci N, 2009. Possibility of Using Waste Tire Rubber and Fly Ash with Portland Cement as Construction Materials. Waste management, 29(5) :1541-1546.