



Farklı Çimento ile Üretilen Granül Atık Kauçuk Agregaların İkame Edilmiş Kendiliğinden Yerleşen Beton Harcının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Investigation of Mechanical Properties of Granulated Waste Rubber Aggregates Substituted Self-Compacting Concrete Mortar Produced with Different Cement

Melek Akgül¹, Orhan Doğan², Serkan Etlî³

¹ Munzur Üniversitesi Tunceli MYO, 62000, Tunceli, TÜRKİYE

² Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 71450, Kırıkkale, TÜRKİYE

³ Munzur Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 62000, Tunceli, TÜRKİYE

Başvuru/Received: 09/05/2020

Kabul / Accepted: 21/06/2020

Çevrimiçi Basım / Published Online: 30/06/2020

Son Versiyon/Final Version: 30/06/2020

Öz

Atık araç lastiklerinin depolanma ya da imha süreci zor, maliyetli ve zaman isteyen bir süreçtir. İmha edilme sürecinde kimyasal yapısı nedeni ile çevreye kirletici gazların salınımına sebep olan atık lastikler, gelişen ve ilerleyen teknoloji ile alternatif ürün bağlamında önemli bir geri dönüşüm malzemesi olarak değerlendirilmektedir. Atık araç lastikleri parçalanma aşaması sonrası belirli boyutlarda granül haline getirilmekte ve farklı birçok alanda üretime tekrar kazandırılmaktadır. Bu deneysel çalışma ile, Öğütülmüş Araç Lastiği Agregası 5 farklı oranda ince agregaya ikame edilerek, iki farklı çimento türü ile hazırlanan toplamda 12 farklı Kendiliğinden Yerleşen Harç (KYH) numunelerinin taze ve sertleşmiş özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. EFNARC'e uygun hazırlanan taze KYH numunelerin işlenebilirlik özelliklerinin değerlendirilmesi mini yayılma ve mini V-hunisi deneyleriyle yapılmıştır. Sertleşmiş KYH'nin mekanik özelliklerini belirlemek için 40x40x160mm boyutlarında prizmatik numunelerin 3., 7. ve 28. günlerinde basınç ve eğilme testleri yapılmış ve 28. gün 50x50x50mm kübik numuneler üzerinde kılcal su emme testi yapılmıştır. CEM-I 42.5R ve CEM-IV 32.5R çimento ile üretilen KYH karışımlarında Öğütülmüş Araç Lastiği Agregasının optimum kullanılabilirlik oranı grafikler ve tablolar aracılığı ile yorumlanmıştır. Bu çalışma ile KYH karışımında Öğütülmüş Araç Lastiği Agregası oranı arttığında, kılcal su emme miktarının arttığı, basınç ve eğilme kuvvetlerinin azaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler

"Kendiliğinden yerleşen harç, öğütülmüş atık lastik agregası, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, su emme kapasitesi"

Abstract

Storage or disposal of waste vehicle tires is difficult, costly and time consuming. Waste tires, which cause the release of pollutant gases to the environment due to its chemical structure in the process of destruction, are considered as an important recycling material in the context of developing and advancing technology and alternative products. Waste vehicle tires are granulated in certain sizes after the disintegration phase and reused in many different fields. With this experimental study, it is aimed to examine the fresh and hardened properties of 12 different self-compacting mortar (SCM) samples of Granulated Vehicle Tire Aggregates, which are substituted with 5 different fine aggregates and prepared with two different cement types. The evaluation of the workability properties of fresh SCM samples prepared in accordance with EFNARC was done with mini slump-flow and mini V-funnel experiments. In order to determine the mechanical properties of the hardened SCM, compressive and flexural strength tests were performed on the 3rd, 7th and 28th days of prismatic samples in 40x40x160mm dimensions, and capillary water absorption test is carried out on cubic samples in 50x50x50 mm dimensions on the 28th day. The optimum usability rate of Granulated Vehicle Tire Aggregates in SCM mixtures produced separately with CEM-I 42.5R and CEM-IV 32.5R cement is interpreted through graphs and tables. With this study, it was observed that when the rate of Granulated Vehicle Tire Aggregates was increased in the SCM mixture, the capillary water absorption amount increased, while the compressive and flexural strength decreased.

Key Words

"Self-compacting mortar, ground waste rubber aggregates, compressive strength, flexural strength, water absorption capacity"

1. Giriş

Dünya genelinde nüfus ve sanayileşme ile atık malzeme artışı, yaşam standardını iyileştirme çalışmaları ve geri dönüşümde yeni boyutları da beraberinde getirmiştir (Chang, 2008; Cao, 2007). Geri dönüştürülebilir malzemelerin büyük bir kısmı dünya genelinde atık malzeme olarak değerlendirilmektedir. Bu malzemelerin geri dönüşüm ile üretime tekrar dahil olması; doğal çevrenin korunması, doğaya verilen zararın en aza indirilmesi ülkelerin ekonomisi açısından oldukça önemlidir (Tosun ve Fırat, 2016).

Türkiye nüfusunun 2050 yılına kadar 93,47 milyona ulaşması beklenmektedir (TUİK, 2020). Gelişmiş ve gelişmekte olan birçok ülkede, ekonomik alım gücü ve refah düzeyine bağlı olarak artan araç kullanımı ve büyük bir pazara sahip olan araç lastiği üretimi; her geçen yıl atık araç lastiği ile büyük oranlarda çevre kirliliğine sebep olmaktadır (Lo Presti, 2013).

Araç lastikleri, fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozulmalara karşı dirençli olduğu için çevre dostu malzemeler sınıfına girmektedir (De vd., 2006). Çevresel açıdan çok dayanıklı yüksek molekül yapıya sahip polimer bağlarla bağlanmış kauçuklardan üretilen lastikler, kullanım ömürlerini tamamladıktan sonra geridönüşüm sürecine dahil edilmediği takdirde doğada uzun yıllar varlığını sürdürmektedir (Gönüllü, 2004; Demirel ve Öz, 2017).

Birçok ülkede atık araç lastiklerinin depolama, imha ve geri kazanım süreci önemli çevresel konuların başında gelmektedir (Lin vd., 2008; Zhang vd., 2009). İlerleyen süreç ve gelişen teknoloji ile başta Amerika Birleşik Devletleri (ABD) olmak üzere, ülkeler atık lastiklere dair yönetim politikalarını oluşturmaktadır (Ordu vd., 2017). Ayrıca Avrupa Birliği (AB), kullanılmış atık lastiklerin büyük bir çoğunluğunu yasal koşullar çerçevesinde imha ettiklerini ve depoladıklarını bildirmiştir (Lo Presti, 2013). Türkiye’de ekonomik ve çevresel faktörlerden dolayı zorunlu hale gelen atık lastiğin geri kazanımı, 25 Kasım 2006 Tarihli (Sayı:26357) Resmî Gazetede yayımlanan ve yürürlüğe giren “Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği” ile yaygınlaşmıştır (Tüzüm, 2020; ÖTLKY, 2006).

Atık araç lastiği farklı geri dönüşüm prosedürlerinden sonra birçok farklı alanda tekrar kullanılmaktadır. Geri kazanım aşamasında mekanik olarak ya da azotla parçalanarak farklı boyutlara getirilerek fiber, çelik ve diğer farklı kirleticilerden ayrılmaktadır. Geri dönüşüm sürecinde farklı boyut ve geometrik özellik kazanan atık araç lastikleri, herhangi bir işlem gerektirmeden bütün olarak, tek kademeli ve iki kademeli parçalama ile iri parçalar ve kırıntı halinde, tek kademeli ve iki kademeli öğütme ile granül ve toz halinde değerlendirilebilmektedir (Tüzüm, 2020).

Kendiliğinden yerleşen beton veya harçların en önemli sakıncalarından biri maliyettir ve son yıllarda beton teknolojisinde karışım oranlarının hesaplanmasında KYH’ların reolojik özellikleri dikkate alınmaktadır (Açıkgeç, 2013). Beton elemanlarda çok sayıda endüstriyel atık özellikle agregaya ikameli olarak beton veya harç bileşeni olarak kullanılmaktadır. Beton ya da harç karışımına atık lastiklerin farklı oran, geometri ve uygulama yöntemleri ile eklenmesi karışımın birçok özelliği üzerinde belirgin etkilere sahiptir (Güneyisi ve Gesoğlu, 2007). İnşaat mühendisliğinde bazı uygulamaların da beton elemanların birim ağırlığının düşük, tokluk ile çarpma dirençlerinin ise yüksek olması istenmektedir. Ayrıca betonun kırılma esnasındaki plastik deformasyon özelliğini arttırmak amacıyla enerji yutma kabiliyeti yüksek olan lastik alternatif ürün olarak değerlendirilmektedir (Turgut ve Yeşilata, 2009). Atık araç lastiği; farklı şekil ve boyutta, öğütülmüş ya da parçalanmış, iri ya da ince agregaya ikameli olarak, farklı katkı maddeleri ya da çimento türlerinin değişen oranlarda beton ya da harç karışımında kullanımı vb. parametreye bağlı olarak birçok araştırmada; süneklik, çökme değeri, işlenebilirlik, hava boşluğu miktarı, büzülme (rötre) çatlakları, mekanik özellikleri, kimyasal stabilite, SEM (Search Electron Microscope) verileri, sünme değeri, küre ve orta dereceli ısı koşullardaki etkisi, termomekanik özelliklere olan etkisi vb. incelenmiştir. Beton içerisinde atık otomobil lastiği parçalarının kullanılması, betonun birim ağırlığında azalma, kırılma tokluğu ve süneklik değerlerinde artma ve ses yalıtımı özelliklerinde iyileşmeler sağlamaktadır. Basınç yükü altındaki beton elemanların önemli özellikleri, gerilme-deformasyon eğrileriyle değerlendirilmektedir. Lastik parçaları içeren beton numunelerin gerilme-deformasyon eğrilerinin kullanımıyla elde edilen tokluk değerinin yüksek olduğu gözlenmiştir. Yapılan bu çalışmaların bir çoğu atık lastik malzemenin geri dönüşümündeki gerekliliği vurgular niteliktedir (Ordu vd., 2017; Etili vd., 2018; Topçu vd., 2014; Yıldırım vd., 2018; Topçu ve Demir, 2007; Argunhan, 2017; Koçak ve Alpaslan, 2011; Emiroğlu vd., 2013; Li vd., 2004; Thomas ve Gupta, 2016; Richardson vd., 2016; Siad vd., 2019; Khatib ve Bayomy, 1999; Topçu, 1995; Fedroff, 1996; Raghavan vd., 1998; Chou vd., 2010; Thakur vd., 2020).

Bu deneysel çalışmada; farklı 2 çimento türü ile 1’er kontrol karışımı ve Öğütülmüş Araç Lastiği Agregası (ÖALA)’nın ince agregaya farklı 5 oranda ikamesini esas alan toplam 12 KYH karışımı üretilmiştir. Çalışma kapsamında üretilen prizmatik numunelere 3. 7.ve 28. deney günlerinde basınç ve eğilmede çekme dayanımı deneyi ve 28. deney gününde kübik numunelere kılcal su emme deneyi yapılmıştır. Deney sonuçları tablo ve grafikler ile yorumlanmış ÖALA’nın farklı 2 çimento türü için gösterdiği değişim kaydedilmiştir. KYH karışımında ÖALA’nın kullanılabilirliği ve optimum değerleri, verileri ışığında üretilen grafik ve tablolara bağlı olarak yorumlanmıştır.

2. Materyal ve Method

2.1. Materyal

Çalışma kapsamında kendiliğinden yerleşen harç (KYH) karışımları hazırlanırken; TS EN 197-1’e uygun CEM-I 42.5R ve CEM-IV 32.5 R çimento ve doğal kum ince agregası (0-4 mm) kullanılmıştır. Karışım tasarımında kullanılan çimentoların kimyasal bileşimi Tablo 1’de yer almaktadır. Kullanılan ince agreganın elek analizi testi TS EN 933-1’e uygun olarak gerçekleştirilmiş ve Tablo 2’de verilmiştir. Çalışmada karışım suyu olarak TS EN 1008’e uygun Tunceli ili şehir şebeke suyu kullanılmıştır. KYH özelliklerinin sağlanması için TS EN 934-2+A1’e uygun ürün kodu Sika Visco Crete Hi-Tech-28 olan polikarboksilat bazlı yüksek oranda su azaltıcı (HRWR) kullanılmıştır. İnce agregası ile ikameli olarak kullanılacak olan ÖALA çapı 1-4 mm arasındadır ve Şekil 1’de görülmektedir (TS EN 197-1, 2012; TS EN 1008, 2003; TS EN 933-1, 2012; TS EN 934-2+A1, 2013).

Tablo 1. Çimento Özellikleri

	CEM-I 42.5R	CEM-IV 32.5R	
Kimyasal bileşim (%)	SiO₂	20.00	28.37
	Al₂O₃	4.92	8.87
	Fe₂O₃	3.76	6.05
	CaO	62.74	43.48
	Na₂O	0.26	1.81
	SO₃	2.65	2.82
	K₂O	0.73	1.01
	MgO	1.84	3.21
Kızdırma kaybı	2.54	3.78	
Blaine (cm²/g)	3361	4456	
Özgül ağırlık (gr/cm³)	3.15	2.96	

Tablo 2. İnce Agregada Elek Analizi

Elek göz açıklığı (mm)	Elekten Geçen (%)
4	99.20
2	74.10
1	45.80
0.5	17.40
0.25	4.20
0.125	1.00
0.063	0.10
Toplama Kabı	0.00

**Şekil 1.** Öğütülmüş Araç Lastiği Agregası (ÖALA)

2.2. Method

Çalışmada üretilen KYH karışımları 2 farklı çimento türü ile hazırlanmıştır. CEM-I 42.5R çimento türü için Tip 1, CEM-IV 32.5R çimento türü için ise Tip 2 kısaltması kullanılmıştır. Tip 1 çimento türü ile Set1 KYH karışımları, Tip 2 çimento ile Set 2 KYH karışımları hazırlanmıştır. Karışım tasarımında kullanılan ÖALA, agregaya % 5, % 10, % 15, % 20, % 25 oranlarında ikameli olarak 5 karışım ve 1 kontrol karışımı olmak üzere her çimento türü için 6, toplam da 12 farklı KYH karışımı ASTM C109/C109M-13'e uygun ekipman ile Tablo 3'te belirtilen taze KYH dizayn miktarı esas alınarak hazırlanmıştır. Tüm setlerin 1 m³ karışım tasarımı Tablo 3'de verilmiştir. 12 farklı KYH karışımının her biri için 50x50x50 mm boyutlarında 3 adet kübik ve 40x40x160 mm boyutlarında 9 adet prizmatik numune hazırlanmıştır. Kütlece su/çimento oranı tüm setlerde sabit tutulmak şartı ile 0.45 alınmıştır (ASTM C109/C109M-13, 2016).

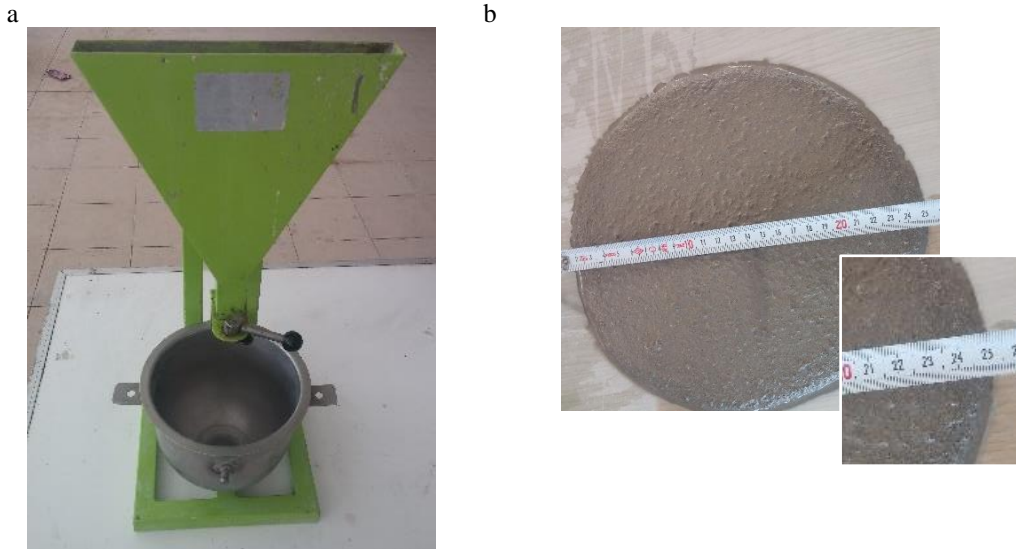
Tablo 3'te görüldüğü gibi; 12 farklı KYH karışımı; içerdikleri ÖALA oranına göre isimlendirilmiştir. Örneğin; KYH 42.5R0 (Set 1) ve KYH32.5R0 (Set 2) kontrol karışımıdır ve ÖALA kullanılmadan hazırlanmıştır. KYH 42.5R5 (Set 1) ve KYH32.5R5 (Set 2) %5 ÖALA ile üretilmiş harç karışımlarını temsil etmektedir. Karışım tasarımı her takip eden sette %5 ÖALA artacak şekilde en sonuncusu %25 ÖALA olarak tasarlanmıştır. Ayrıca ayrışma (segregasyon) değerlendirmesi, ÖALA oranı arttırarak denenmiş, daha önce yapılan deneysel çalışma verileri ve EFNARC kriterleri dikkate alınarak ince agregaya ikame oranı en fazla %25 olarak seçilmiştir (EFNARC, 2002).

Tablo 3. KYH Karışım Tasarımı

1 m ³ Dizayn (kg/m ³)						
		Çimento	Su	HRWR Visco crete	Doğal Kum	ÖALA
Set 1	KYH42.5R0	560	252	10.25	1457.5	0
	KYH42.5R5	560	252	10.75	1383.5	30.2
	KYH42.5R10	560	252	11.75	1308.4	60.4
	KYH42.5R15	560	252	12.45	1234.2	90.5
	KYH42.5R20	560	252	12.90	1160.7	120.5
	KYH42.5R25	560	252	14.00	1086.1	150.4
Set 2	KYH32.5R0	560	252	9	1430.7	0
	KYH32.5R5	560	252	10.05	1356.7	29.7
	KYH32.5R10	560	252	10.40	1284.5	59.3
	KYH32.5R15	560	252	10.85	1212.2	88.9
	KYH32.5R20	560	252	11.25	1140.1	118.4
	KYH32.5R25	560	252	11.70	1068.0	147.9

Hazırlanan 12 farklı KYH karışımı için mini çökme-yayılma konisi ve mini V hunisi işlenebilirlik deneyleri EFNARC standardına uygun olarak yapılmış elde edilen veriler EFNARC'ın sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır (EFNARC, 2002).

EFNARC'a göre hedeflenmiş yayılma çapı değerleri (240-260 mm) sağlayan harçlarda, mini V-hunisi deney düzeneğinde (Şekil 2.a) sıkıştırılmadan doldurulduktan sonra harcın huniden akma süresi ölçülmüştür. Tablo 4'te verildiği gibi kontrol harcı da dahil olmak üzere tüm karışım harçlarında V-hunisi akma süresi 7-11 sn aralığında olup, EFNARC'a göre uygun değer aralığındadır. Mini çökme konisi KYH ile sıkıştırma yapılmadan doldurulduktan sonra koni kaldırılmış ve serbest yayılma çapı birbirine dik iki doğrultuda ölçülerek aritmetik ortalaması Tablo 4'te verilmiştir. Şekil 2.b'de yapılan bir ölçüme esas olan yayılmış harcın görüntüsü yer almaktadır. (EFNARC, 2002).



Şekil 2. (a)V Hunisi Deney Düzeneği; (b) Mini Çökme-Yayılma Konisi Yayılma Deneyi

Tablo 4. V hunisi ve Mini Çökme-Yayıma Konisi Deneyi Verileri

	V-hunisi Akma Süresi (sn.)	Mini çökme-yayıma konisi Yayılma Çapı (mm)
Set 1	KYH42.5R0	7.2
	KYH42.5R5	7.9
	KYH42.5R10	8.1
	KYH42.5R15	8.8
	KYH42.5R20	9.2
	KYH42.5R25	9.8
Set 1	KYH32.5R0	8.01
	KYH32.5R5	8.79
	KYH32.5R10	9.02
	KYH32.5R15	9.79
	KYH32.5R20	10.24
	KYH32.5R25	10.91

12 farklı KYH karışımı için 3 adet küp ve 9 adet prizma numune TS EN 12390-1'e uygun olarak hazırlanmıştır. KYH karışımları 50x50x50 mm boyutlu küp ve 40x40x160 mm boyutlu prizma kalıplara sıkıştırmadan ve vibrasyon yapılmaksızın dökülmüştür. Numuneler 24±2 saat sonunda kalıptan alınmış ve 3., 7., 28. deney günlerine kadar kür havuzunda 20 ± 2 °C sıcaklık ile %100 nispi nem ortamında kür edilmiştir (TS EN 12390-1, 2013).

KYH karışımının 3., 7. ve 28. deney gününde 3'er adet prizmatik numune üzerinde eğilme çekme dayanımı deneyleri ve akabinde 2 parçaya ayrılan numune eşleri üzerinde basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Eğilme çekme dayanımı deneyi 40x40x160 mm boyutundaki prizma numuneler üzerinde 3., 7. ve 28. deney günlerinde ASTM C348-14 standardına uygun olarak mesnet açıklığı 100 mm olacak şekilde numune ortasından tek noktadan (2640 ± 110 N/dk) yükleme hızında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Deney aletinin verdiği eğilme çekme dayanımı sonuç değerleri MPa olarak kayıt edilmiştir (ASTM C348-14, 2018).

Eğilme çekme mukavemeti uygulandıktan sonra, numunenin pozisyonunu bozmadan numune üzerinde ASTM C349'a göre 3., 7. ve 28. deney günlerinde basınç dayanımı testi yapılmıştır (Şekil 4). Deney aletinin verdiği basınç dayanımı sonuç değerleri MPa olarak kayıt edilmiştir (ASTM C349, 2018). Eğilme çekme dayanımı testinden sonra kauçuk parçacık dağılımı Şekil 5'de görüldüğü gibidir. Eğilme çekme dayanımı ve basınç dayanımı deney sonuçları her KYH karışım grubuna ait numunelerin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Eğilme çekme ve basınç dayanımı deneyleri sonrası 12 KYH karışımı numunelerine ait genel görünüm Şekil 6'da verilmiştir.



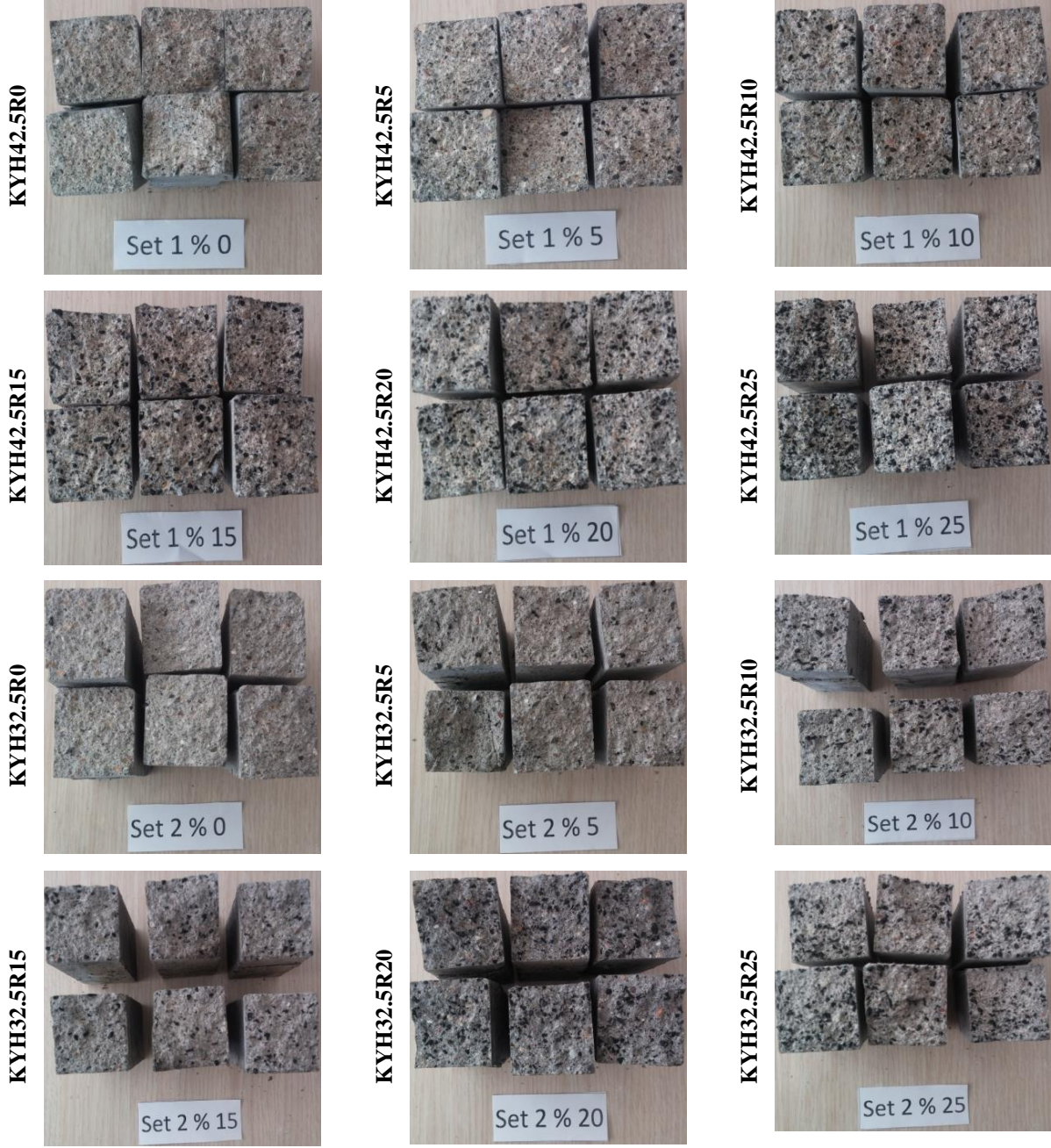
Şekil 3. Eğilme Dayanımı Deneyi



Şekil 4. Basınç Dayanımı Deneyi



Şekil 5. ÖALA Dağılımı



Şekil 6. Set 1 ve Set 2'ye ait 12 Farklı KYH Numune Yüzeylerindeki ÖALA Dağılımının Genel Görünümü

Bu çalışmada birim ağırlık değerlerindeki değişim tespit edilmiş, veriler Tablo 5'te verilmiştir. Her KYH karışımı için 3'er adet olmak üzere 50x50x50 mm boyutlu 28 günlük küp numuneler, kılcal su emme deneyine tabi tutulmuştur. Numuneler deneye tabi tutulmadan önce 105 ± 5 °C sıcaklıktaki hava sirkülasyonlu etüvde sabit ağırlığa kadar bekletilmiş ve etüv kurusu ağırlıkları alınan numunelerin yan yüzeyleri kaplanarak yalıtılmıştır. Numuneler Şekil 7'de verilen düzenek içerisine 5 mm yüksekliğinde tabandan su emecek şekilde yerleştirilmiştir ASTM C1585-11'e uygun olarak belirli zaman aralıklarında numunelere tabandan su emdirme yöntemi kullanılmıştır. Numuneler 5, 10, 30, 60, 240, 1140 dk'larda numunelerin yüzeylerindeki serbest su silinerek 0.01 g hassasiyetli bir tartı ile kütle artışları belirlenmiştir. Tartımlarda bulunan farklar zaman ile ilişkilendirilerek elde edilen bulgular Şekil 14'de görülmektedir (ASTM C642-13, 2013; ASTM C1585-11, 2013).



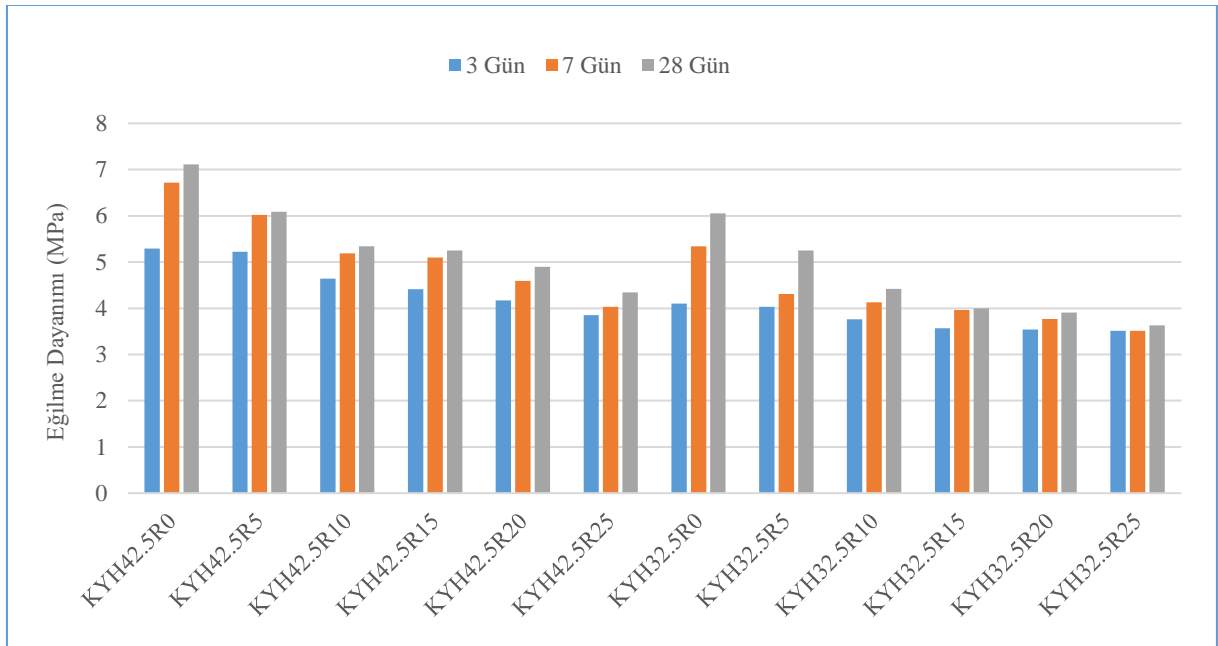
Şekil 7. Kılcal Su Emme Deneyi

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, atık otomobil lastiğinin KYH içinde agregaya ikameli olarak kullanımı sonucunda; özgül ağırlık, eğilmede çekme ve basınç dayanımı değerlerinde kaydedilen veriler daha önce birçok araştırmacı tarafından yapılan deneysel çalışmanın sonuçlarına paralellik göstermektedir (Topçu vd., 2014; Topçu, 1995; Topçu, 1995; Chou vd. 2010; Topçu ve Demir, 2009).

Üretilen 12 farklı KYH karışımına 3, 7 ve 28 günlük kür sonrası eğilmede çekme dayanımı testi yapılmıştır. Şekil 8 eğilmede çekme dayanımı test verilerini göstermektedir. En yüksek eğilmede çekme dayanımı değerleri her iki karışım setinde, 28. deney gününde, ÖALA içermeyen kontrol karışımlarında Set 1 ve Set 2 için sırasıyla 7.11 MPa ve 6.05 MPa olarak kaydedilmiştir.

28. deney gününde kontrol karışımları ve %25 oranında ÖALA içeren Set 1 ve Set 2 KYH karışımlarının eğilme dayanımı değerleri kıyaslandığında; sırasıyla %39 ve %40 oranlarında azalma tespit edilmiştir. Kontrol karışımlarından %5 oranında ÖALA içeren KYH42.5R5 ve KYH32.5R5 karışımlarına geçişte en büyük eğilmede çekme dayanımı değişimleri Set 1 için %14.3 ve Set 2 için %12,3 olarak tespit edilmiştir. Devam eden her %5 oranında ÖALA ikamesinin eğilmede çekme dayanımındaki değişimi Şekil 8'da görülmektedir. Ayrıca Set 1 ve Set 2 karışımındaki artan ÖALA'nın çekme mukavemetine (MPa) etkisi ve denklemleri Şekil 12 ve 13 de verilmiştir. Set 1 ve Set 2'nin tüm numunelerinde en düşük eğilme dayanımı değerleri 3. deney gününde KYH42.5R25 ve KYH32.5R25 için sırasıyla 3.85 MPa ve 3.51 MPa'dır.

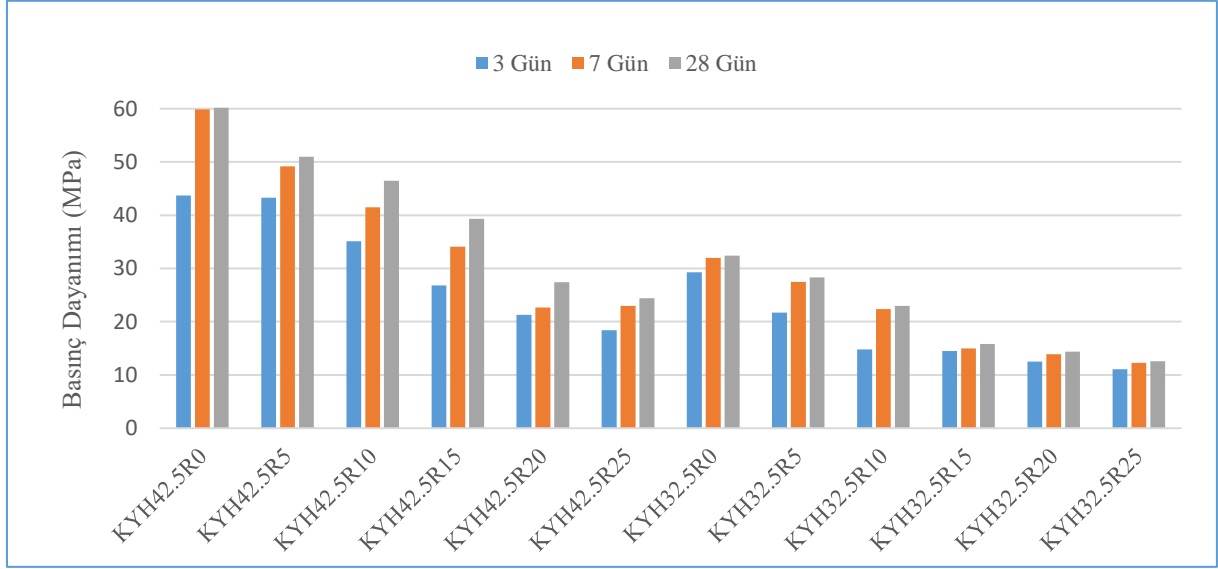


Şekil 8. Eğilme Dayanımı Deneyi Verileri

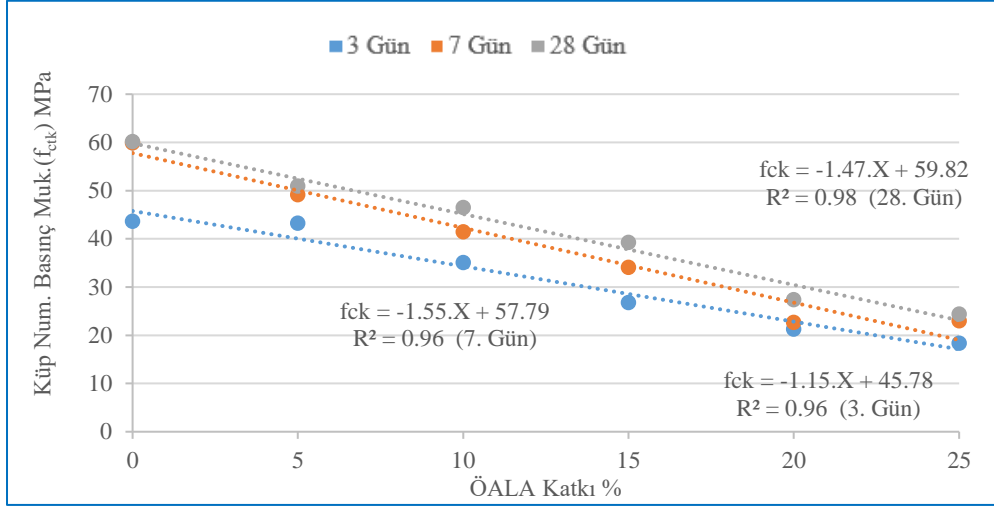
3, 7 ve 28. deney günlerinde eğilmede çekme dayanımı deneyi sonrası basınç dayanımı testi her KYH karışımı için 6 adet (3X2 adet) numunenin ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Şekil 9 basınç dayanımı verilerinin grafiksel gösterimidir. Set 1 için en yüksek basınç dayanımı değeri ÖALA içermeyen (kontrol karışımı) KYH42.5R0 karışımının 28. deney gününde 60.2 MPa olarak kaydedilmiştir. Benzer durum Set 2'de KYH32.5R0 karışımının 28. deney gününde 32.4 MPa'dır. Tüm KYH karışımlarında en düşük basınç dayanım değerleri 3. deney gününde ve %25 ÖALA içeren karışıma aittir. Kontrol karışımlarına kıyasla %25 ÖALA içeren KHY karışımlarında en büyük değişim oranları Set 1 ve Set 2 için sırasıyla 3. deney gününde %58 (43.7 MPa dan 18.4 MPa'ya)

ve %62 (29.3 MPa dan 11.1 MPa'ya); 28. deney gününde ise sırasıyla %59 (60.2 MPa dan 24.4 MPa'ya) ve %61 (32.4 MPa dan 12.6 MPa'ya) olarak tespit edilmiştir.

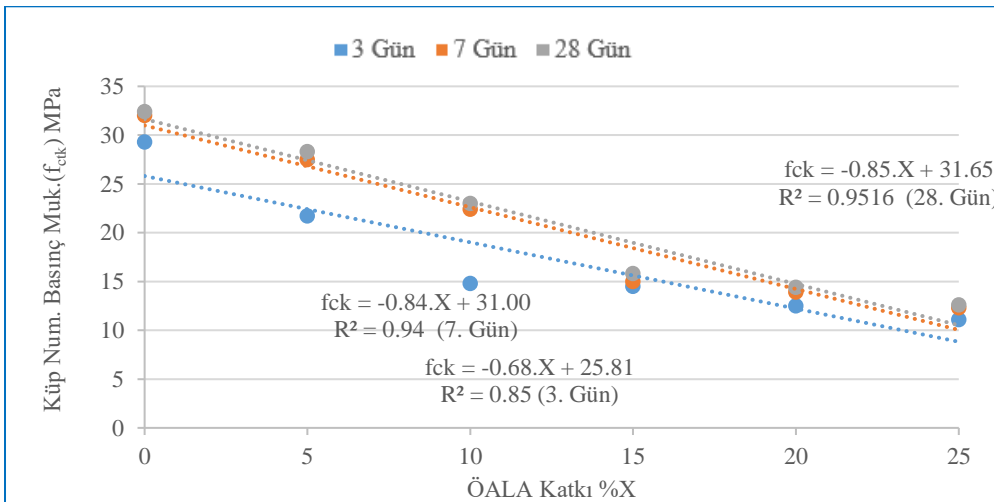
Tüm KYH karışımlarının Set 1 ve Set 2 için 28. deney günü basınç dayanım değerlerinin 3. deney günündeki kazanım oranı sırasıyla %76 ve %83'tür. Set 1 ve Set 2 karışımındaki artan ÖALA'nın basınç mukavemetine (MPa) etkisi ve denklemi Şekil 10 ile Şekil 11'de verilmiştir.



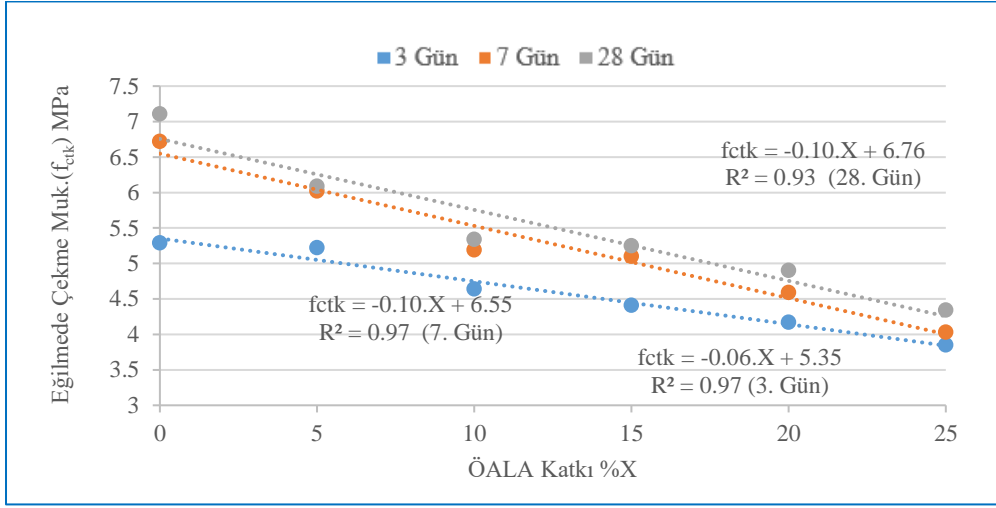
Şekil 9. Basınç Dayanımı Verileri



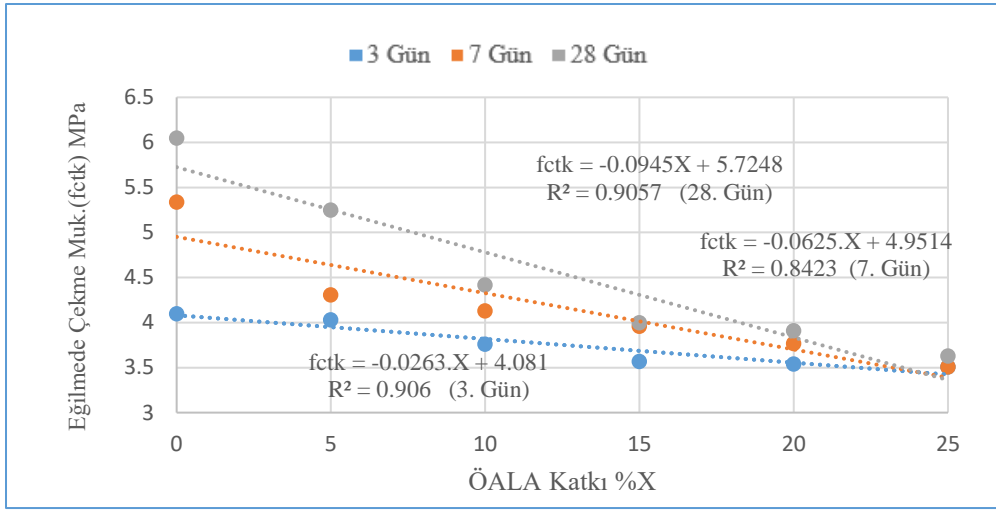
Şekil 10. Set 1 İçin ÖALA (%) Basınç Mukavemeti (MPa) Değişim Grafiği



Şekil 11. Set 2 İçin ÖALA (%) Basınç Mukavemeti (MPa) Değişim Grafiği

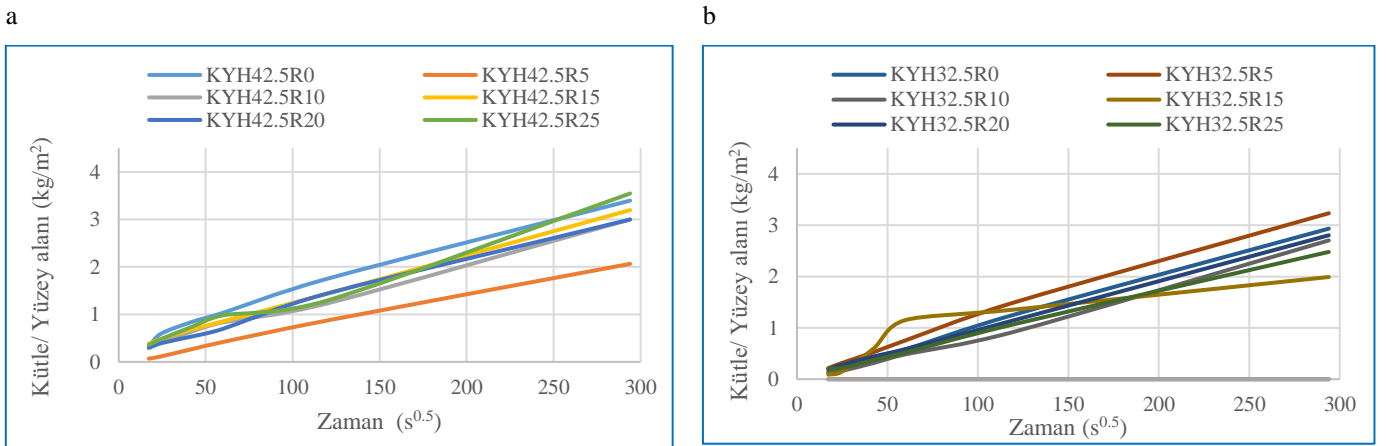


Şekil 12. Set 1 İçin ÖALA (%) Eğilmede Çekme Mukavemeti (MPa) Değişim Grafiği



Şekil 13. Set 2 İçin ÖALA (%) Eğilmede Çekme Mukavemeti (MPa) Değişim Grafiği

Beton ya da harcın su geçirirliğini etkileyen çok yönlü birçok etken vardır. Kullanılan agreganın tip, granülometrisi, boşluk yapısı ve boşluk oranı, çimento esaslı mineral katkıları ya da kimyasal katkıların varlığı ve oranı, temel bileşenlerin karışımındaki oranları, üretim ve kür koşulları vb. bunlardan sadece bir kaçıdır (Öz, 2017). Bu çalışmada üretilen 12 KYH karışımına ait 3'er adet 50x50x50 mm'lik küp numuneler ile 28 günlük kür sonrası kılcal su emme deneyi yapılmıştır. Kılcal su geçirirliğinde birim kesit alana numunenin zamanla emdiği su miktarıyla değerlendirilmiştir. Şekil 10 tüm karışımlara ait 3 adet kübik numuneden elde edilen sonuçların aritmetik ortalamasının alınarak elde edilen verileri yansıtmaktadır. Bu deneysel çalışmanın kılcal su emme deneyi verileri incelendiğinde artan ÖALA oranının kılcal su emme oranını da arttırdığı gözlemlenmiştir (Şekil 14).



Şekil 14. (a) Set 1 Kılcal Su Emme Deneyi Verileri (b) Set 2 Kılcal Su Emme Deneyi Verileri

Tablo 5. KYH Yoğunluk (kg/dm³)

		Tasarım Birim Ağırlık	Taze Birim Ağırlık	Sertleşmiş Birim Ağırlık
Set 1	KYH42.5R0	2.280	2.550	2.147
	KYH42.5R5	2.236	2.496	2.151
	KYH42.5R10	2.193	2.401	2.000
	KYH42.5R15	2.149	2.356	1.947
	KYH42.5R20	2.106	2.285	1.963
	KYH42.5R25	2.063	2.207	1.938
Set 2	KYH32.5R0	2.252	2.457	2,092
	KYH32.5R5	2.208	2.332	2.021
	KYH32.5R10	2.166	2.261	1.882
	KYH32.5R15	2.124	2.212	1.898
	KYH32.5R20	2.082	2.188	1.887
	KYH32.5R25	2.040	2.055	1.812

KYH numunelerinin birim ağırlık bulguları Tablo 5’te verilmiştir. Taze birim ağırlık değerleri 2.05 ile 2.55 kg/dm³ değerleri arasında değişmektedir. ÖALA artan oranları ile birim ağırlıklarda azalışlar belirgin şekilde artmaktadır. Set 1 ve Set 2 için en yüksek birim ağırlık değerleri sertleşmiş numunelerin kontrol karışımlarına aittir. ÖALA kullanımına bağlı olarak her iki setin KYH karışımlarında birim ağırlıklardaki azalış doğrusaldır. %25 oranında ikameli KYH karışımlarında en düşük birim ağırlıkların kaydedilmesindeki sebep ÖALP’sının özgül ağırlığının düşük ve karışımdaki kullanım oranının fazla olmasıdır. Elde edilen veriler daha önce yapılan farklı çalışmaların sonuçları ile örtüşmektedir (Topçu ve Demir, 2009).

4. Sonuç

Atık lastik malzemelerin sertliğin az, yoğununun düşük; elastikiyetinin, drenaj ve ısı yalıtım kapasitelerinin yüksek olması gibi karakteristik özellikleri, yenilikçi bir malzeme olarak, tüm dünyada ve ülkemizde özellikle beton sektöründe kullanım potansiyelini arttırmaktadır (Ordu vd., 2017).

Bu makale, ince agrega ile farklı oranlarda ve farklı iki çimento tipi ile üretilen ÖALA’lı KYH numunelerinin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmaya yöneliktir. Çalışma verilerine dayanarak elde edilen genel sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Farklı çimentolar ile artan ÖALA’nın kullanımı, birim ağırlıklarda doğrusal bir azalışa sahiptir. Artan ÖALA ile basınç dayanımında azalış, kılcal su emme de artış ile gözlenmiştir.
- 28. Deney günü basınç dayanımı verileri ışığında; KYH içinde ÖALA miktarı arttıkça kontrol karışımına oranla basınç dayanımı değerlerindeki azalmalar; %25 ÖALA ikameli harçlarda Set 1 ve Set 2 için sırasıyla %59.46 ve %61.11 ve %10 ÖALA ikameli harçlarda Set1 ve Set 2 için sırasıyla %22.75 ve %29.01’dir.
- KYH içinde ÖALA miktarının artışına bağlı eğilimde çekme dayanımındaki değişim incelendiğinde; Set 1 kontrol karışımında 3., 7., 28. deney günlerinde sırasıyla 5.29 MPa, 6.72 MPa, 7.11 MPa olarak kaydedilmiştir. Bu değerler aynı setin %25 ÖALA ikameli harçlarında kontrol karışımına göre sırasıyla %27.22, %40.02, %38.95 oranında azalma ile sırasıyla 3.85 MPa, 4.03 MPa, 4.34 MPa olarak kaydedilmiştir.
- KYH içinde ÖALA miktarı arttıkça kontrol karışımına oranla artan boşluk oranına bağlı kılcal su emme oranında belirgin artış gözlenmiştir.

Deneysel çalışma verilerine göre; KYH karışımına dahil edilen ÖALA, KYH’in bazı özelliklerini iyileştirirken, KYH’in basınç ve çekme dayanımını gibi bazı mekanik özelliklerini de olumsuz yönde etkilemektedir. KYH karışımında ÖALA’nın ikamesinde bu çalışmada elde edilen veriler ve daha önce yapılan çalışmalara paralel olarak %10 optimum değer kabul edilebilir düzeydedir. Buna göre ÖALA içeren harçlar düşük birim hacim ağırlık istenen durumlarda veya taşıyıcılık özelliği istenmeyen yerlerde kullanılabilir özelliktedir. ÖALA farklı puzolanik malzemelerle ve kimyasal katkılarla birlikte uygun oranda kullanılarak mekanik özelliklerinde iyileştirmeler kaydedilebileceği düşünülmektedir.

5. Referanslar

- Açıkgenç, M., Karataş, M., Ulucan, Z.Ç. (2013). Effects of Elazığ region waste brick and limestone powder on engineering properties of self-compacting mortar. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi*, 19(6), 249-255 doi: 10.5505/pajes.2013.24633
- Argunhan, Z. (2017). Yapı elemanlarında kullanılan atık lastiklerin ısı performansının incelenmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8 (3), 621-630. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/dumf/issue/33629/408565>
- ASTM C109/C109M-13. (2016). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C348-14 (2018). Standard Test Method for Flexural Strength of Hydraulic-Cement Mortars, American Society for Testing and Materials, ASTM International, West Conshohocken, United States.
- ASTM C349 (2018). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic-Cement Mortars (Using Portions of Prisms Broken in Flexure), American Society for Testing and Materials, ASTM International, West Conshohocken, United States.
- ASTM C642-13. (2013). Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C1585-11. (2013). Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Cao, W. (2007). Study on properties of recycled tire rubber modified asphalt mixtures using dry process. *Construction and Building Materials*, 21, 1011–1015.
- Chang N. B. (2008). Economic and policy instrument analyses in support of the scrap tire recycling program in Taiwan. *Journal of Environmental Management*, 86, 435–450. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2006.12.026>
- Chou, L.H., Yang, C.K., Lee, M.T., Shu, C.C. (2010). Effects of partial oxidation of crumb rubber on properties of rubberized mortar. *Composites: Part B*, 41, 613-616, doi: <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2010.09.009>
- De D., Das A., De D., Dey B., Debnath S. C., Roy B. C. (2006) Reclaiming of ground rubber tire (GRT) by a novel reclaiming agent. *European Polymer Journal*, 42, 917–927. doi: <https://doi.org/10.1002/pen.20790>
- Demirel, S., Öz, H. (2017). Atık Malzemelerin Kendiliğinden Yerleşen Beton Performansına Etkisi. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20 (3), 40-48. doi: 10.17780/ksujes.309442
- EFNARC. (2002). Specifications and Guidelines for Self- Compacting Concrete. EFNARC, Association House, 99 West Street, Farnham, UK, www.efnarc.org, ISBN 0 953973344, 32.
- Emiroğlu, M., Yıldız, S., Özgan, E. (2013). Lastik Agregalı Betonlarda Elastisite Modülünün Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24 (3). Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazimmfd/issue/6681/88294>
- Etili, S., Cemalgil, S., Onat, O. (2018). Mid-Temperature Thermal Effects on Properties of Mortar Produced with Waste Rubber as Fine Aggregate. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 4 (1), 10-22. doi:10.29132/ijpas.341413
- Fedroff, D. (1996). Mechanical Properties of Concrete with Ground Rubber, MSc thesis, North Carolina State University, Raleigh, 1532, 66-72. doi: <https://doi.org/10.1177/0361198196153200110>
- Gönüllü, M.T. (2004). Atık Lastiklerin Yönetimi. *Katı Atık Geri Dönüşüm Teknolojileri Semineri*, İstanbul Sanayi Odası, İstanbul.
- Güneyisi, E., Gesoğlu, M. (2007). Uçucu Kül ve Metakaolin İçeren Kendiliğinden Yerleşen Harçlar. 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, 161-172, Ankara: Türkiye.
- Khatib, Z.K., Bayomy, F.M. (1999). Rubberized Portland Cement Concrete. *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, 11, 206– 213. doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0899-1561\(1999\)11:3\(206\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0899-1561(1999)11:3(206))
- Koçak, Y., Alpaslan, L. (2011). Atık Lastiklerin Çimento ve Beton Sektöründe Kullanım Potansiyelleri. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elâzığ: Türkiye.
- Li G., Garrick G., Eggers J., Abadie C., Stubblefield M. A., Pang S. S. (2004). Waste tire fiber modified concrete, *Composites: Part B*, 35, 305–312. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2004.01.002>
- Lin C., Huang C. L., Shern C. C. (2008). Recycling waste tire powder for the recovery of oil spills. *Conservation and Recycling*, 52, 1162–1166. doi: 10.1016/j.resconrec.2008.06.003
- Lo Presti, D. (2013). Recycled Tyre Rubber Modified Bitumens for road asphalt mixtures: A literature review. *Construction and Building Materials*, 49, 863–881. doi:<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.007>
- Ordu, E., Bicer, P., Ordu, S., Abanozoglu, E. (2017). An investigation on the soil stabilization with waste tyres materials in granular soils. *Aksaray University Journal of Science and Engineering*, 1 (1), 51-61. doi:10.29002/asujse.298083

- Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği. (2006). T.C. Resmî Gazete (26357 25 Kasım 2006).
- Öz, H.Ö. (2017). Atık Cam Tozu ve Yüksek Fırın Cürufunun İçeren Kendiliğinden Yerleşen Harçların Taze, Mekanik ve Durabilite Özellikleri. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(4)
- Raghavan, D., Huynh, H., Ferraris, C.F. (1998). Geri dönüştürülmüş lastik kauçuk dolgulu çimentolu bir kompozitin işlenebilirliği, mekanik özellikleri ve kimyasal stabilitesi. *Journal of Material Science*, 33, 1745-1752. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1004372414475>
- Richardson, A., Coventry, K., Edmondson, V., Dias, E. (2016). Crumb rubber used in concrete to provide freeze–thaw protection (optimal particle size). *Elsevier, Journal of Cleaner Production*. 112 (1), 599-606, doi: 10.1016 / j.jclepro.2015.08.028
- Siad, H., Lachemi, M., Ismail, M.K, Sherir, M. AA, Sahmaran, M., Hassan A.AA. (2019). Effect of Rubber Aggregate and Binary Mineral Admixtures on Long-Term Properties of Structural Engineered Cementitious Composites. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 31(11), doi: 10.1061 /% 28ASCE% 29MT.1943-5533.0002894
- Thakur, A., Senthil, K., Sharma, R., Singh, A.P. (2020). Employment of crumb rubber tyre in concrete masonry bricks. *Materials Today: Proceedings*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.106>
- Thomas, B. S., Gupta, R. C. (2016). Properties of high strength concrete containing scrap tire rubber. *Journal of Cleaner Production*, 113, 86-92. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.019>
- Topçu, İ. B., Demir, A. (2007). Atık Lastik ve Uçucu Küllü Harçların Özellikleri. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, No:2
- Topçu, İ., Karakurt, C., Işıkdag, B. (2014). Atık Lastik Agregalı Harçların Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 17 (1), 3-7. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/politeknik/issue/33069/367997>
- Topçu, İ.B. (1995). The Properties of Rubberized Concretes. *Cement and Concrete Research*, 25, 304-310. doi: [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(95\)00014-3](https://doi.org/10.1016/0008-8846(95)00014-3)
- Topçu, İ.B. (1995). Lastik Katılmış Çimento Harçlarının Özellikleri. *Balıkesir Üniv., Müh.-Mim. Fak., III. Balıkesir Müh.-Mim. Sempozyumu*, 192-200, Balıkesir, Türkiye.
- Topçu, İ. B., Demir, A. (2009). Farklı Çimentolarla Üretilen Lastik Agregalı Harçların Bazı Özellikleri. *Politeknik Dergisi*, 12, (3) <https://hdl.handle.net/20.500.12438/917>
- Tosun, H., Fırat, F.K. (2016). Geri Dönüşümün Ekonomi Üzerine Etkileri, İnşaat Sektöründe Atık Lastik Kullanımı Örneği. *International Conference on Eurasian Economies 2016*. 503-509
- TS EN 197-1. (2012). Çimento- Bölüm 1: Genel çimentolar- Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri
- TS EN 933-1. (2012). Agregaların geometrik özellikleri için deneyler- Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımının tayini- Eleme yöntemi.
- TS EN 934-2+A1. (2013). Kimyasal katkıları- Beton, harç ve şerbet için- Bölüm 2: Beton kimyasal katkıları- Tarifler, gerekler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme
- TS EN 1008. (2003). Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları
- TS EN 12390-1.(2013). Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 1: Deneysel numunesi ve kalıplarının şekil, boyut ve diğer özellikleri
- TÜİK. (2020). Nüfus Projeksiyonları, 2013-2075. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=15844>
- Turgut, P., Yeşilata, B. (2009). Atık Lastik Katkılı Harç Plak ve Briketlerin Termo-Mekanik Davranışlarının Araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24 (4), Retrieved from: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazimmfd/issue/6682/88323>
- Tüzüm Demir, A. P. (2020). Araç lastiklerinin geri dönüşümü üzerine bir derleme. <http://www.plastik-ambalaj.com/tr>.
- Yıldırım, Z., Karacasu, M., Okur, D. (2018). Atık Lastik ve Cam Lif ile Modifiye Edilmiş Bitümün Asfalt Betonu Performansına Etkileri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18 (3), 1019-1027. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/akufemubid/issue/44157/544660>
- Zhang S. L., Xin Z. X., Zhang Z. X., Kim J. K. (2009). Characterization of the properties of thermoplastic elastomers containing waste rubber tire powder, *Waste Management*, 29, 1480-1485. doi: 10.1016/j.wasman.2008.10.004