

GERİ DÖNÜŞÜM AGREGALRINDAN ÜRETİLEN ATIK TENEKE KATKILI BETONLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Mohammd Hosain AMINI^{1*}, Mehmet KAMANLI²⁺ and Alptuğ ÜNAL³

¹Civil Engineering / Graduate School of Natural Sciences, Konya Technical University, Konya, Turkey

²Civil Engineering / Graduate School of Natural Sciences, Konya Technical University, Konya, Turkey

³Civil Engineering / Graduate School of Natural Sciences, Konya Technical University, Konya, Turkey

* Corresponding author: eng.h.amini@gmail.com

+Speaker: eng.h.amini@gmail.com

Presentation/Paper Type: Oral / Abstract

Özet – Bu çalışmada, beton bileşenleri içerisinde en büyük paya sahip doğal kaynak olan agregaların geri kazanılarak beton üretiminde, maksimum düzeyde yeniden kullanılması hedeflenmiştir. Geri dönüşüm agregaların beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada doğal agrega ve geri dönüşüm agregalar %100 doğal agregalı, ince agregası %100 geri dönüşüm, iri agregası %100 geri dönüşüm ve %100 geri dönüşüm agregalı oranlar şeklinde beton serileri üretilmiştir. Betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirmek amacı ile mineral katkı olarak silis dumanı %10 oranında çimento ile ilave edilmiştir. Dökülen beton numuneler 7., 28. ve 90. günlerde fiziksel ve mekanik deneyler yapılmıştır. Karışımların su/çimento oranı 0,50 olup hedef dayanımı C30/37 betonu olarak üretilmiştir. Beton üretiminden önce hazırlanan agregalarda birim ağırlık, özgül ağırlık, su emme, granülometri ve Los Angeles aşınma deneyleri, taze betonda slump (çökme) ve sertleşmiş betonda birim ağırlık ve basınç dayanımı deneyleri araştırılmıştır. Bu çalışmada ayrıca atık teneke ambalajları beton ile karıştırılarak betonun mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Atık teneke ambalajları boy/en oranı $l/w=70mm/5mm$ olarak kestirilip $40 kg/m^3$ şeklinde karışımlarda kullanılmıştır. Sonuç olarak geri dönüşüm agregaların doğal agregalara göre su emme oranı daha yüksek olduğu, dolayısıyla işlenebilirlik açısından tamamen geri dönüşüm agrega değil de belirli oranda beton üretiminde kullanılabilir olduğu ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler – Geri Dönüşüm, Beton, kullanılabilirlik, sürdürülebilirlik, mekanik özellikler

INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF WASTE TIN ADDITIVE CONCRETE PRODUCED BY RECYCLING AGGREGATES

Abstract – In this study, it is aimed to reuse the aggregates, which are the natural resources which have a large share in the concrete components, in the production of concrete, at maximum level. In this study which investigated the usability of recycled aggregates in concrete production, natural aggregate and recycled aggregates were produced as 100% natural aggregate, fine aggregate 100% recycled, coarse aggregate 100% recycled and 100% recycled aggregate ratios as concrete series. 10% silica fume of cement weight was used as mineral additive and the water/cement ratio of mixtures is 0.50 and target strength is produced as C30/37 concrete. Physical and mechanical tests were carried out on the 7th, 28th and 90th days of concrete samples. Unit weight, specific gravity, water absorption, granulometry and Los Angeles abrasion tests in aggregates, slump in fresh concrete, unit weight and compressive strength tests in hardened concrete were investigated. Also used length/width ratio $l/w=70/5mm$ and $40kg/m^3$ of waste tin packages and the effect on the concrete was investigated. As a result, it was revealed that the recovered aggregates have a higher water absorption rate, and therefore they can be used in the production of concrete at a certain rate rather than completely recovered aggregate.

Keywords – Recycling, Concrete, Usability, Sustainability, Mechanical Properties

I. GİRİŞ

21. yüzyılın üzerinde düşünülmesi gereken çevre sorunlarından biri olan atık üretiminde inşaat sektöründe oluşan yapısal atıklar önemli bir yer tutmaktadır. İnşaat uygulamalarından sonra kurtarılan ve tekrar kullanılabilir malzemeleri elden geçirilip yeniden kullanılabilir. Yeniden kullanım için uygun değil ise, geri dönüşüm yöntemleriyle başka ürünlerin üretiminde hammadde olarak kullanılabilir. Yapılan çalışmalar sonucunda inşaat sektörü, doğal kaynakların %50'si, enerjinin %40'ı ve atıkların %50'sinin ait olduğu sektör olarak belirlenmiştir [1].

Betonun hacimsel olarak %65-75'nin agregası (kıırma taş) olduğu ve kaliteli agregası kaynaklarının tükenmekte olduğundan, geri dönüşüm ürünlerin önemi artmaktadır. Yapısal atıkta en yüksek orana sahip atık betonlar geri dönüştürülebilir ve yeniden kullanılabilir. Geri dönüşüm betonları ilgili gerekli standartları sağlandıktan sonra orijinal malzemeler ile birlikte yada ayrı olarak; beton üretiminde yol, otopark, kaldırım, drenaj çalışmaları, kanalizasyon borusu ve dolgu malzemesi olmak üzere, alt ve üst yapı inşaatlarında kullanılabilir [2].

Daha önce geri dönüşüm agregaların betonda kullanımını ve mekanik özellikleri üzerine yapılan araştırmaların sonucu olarak; genellikle su ihtiyacının artması, basınç dayanımının düşmesi ve porozitenin artması gibi olumsuz etkileri üzerinde durulmuş olsa da maliyeti düşürmesi ve çevre kirlenmesine olumlu etkileri göz ardı edilemez noktalarından birkaç tanesidir. Köken v d. (2008) yaptıkları çalışmada, birinci grup %100 geri dönüşüm agregası, ikinci grupta kum (0-4 mm) olarak kıırma taş, iri agregası olarak ise geri dönüşüm agregası, üçüncü grupta ise %100 kıırma taş kullanmıştır. Geri dönüşüm agregalarının beton üretiminde kullanımının artması sonucunda taze betonun işlenilebilirliğinin azaldığı, 7 günlük ve 28 günlük beton basınç mukavemetlerinin ve yarmada çekme dayanımlarının azaldığı tespit edilmiştir [3]. Demirel ve Şimşek (2015), yaptıkları çalışmada 14 adet farklı beton serisinin karışımları içerisinde geri dönüşüm agregaları iri ve ince olarak ağırlıkça % 0, 10, 20, 30, 40, 50 oranlarında kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, geri dönüştürülmüş agregaların aşınma kaybı daha çok, su emme miktarı fazla, geri dönüştürülmüş iri agregalarla üretilen betonların basınç dayanımlarının ince olanlara göre daha yüksek çıktığı görülmüştür [4]. Kılıç ve Kadayıfçı (2007), yaptıkları araştırmada silis dumanının geri dönüşüm agregasından üretilen betonların mekanik özellikleri üzerinde etkilerini incelemiş ve sonuç olarak silis dumanının kullanımı; betonların birim hacim ağırlık değerlerini % 2.49-5.39 azaltmış, çökme değerlerini % 22-44 artırmıştır. Basınç dayanım değerlerini ise 28. gün için % 10-19 azaltmıştır [5]. Dilbaş v d. (2015), kentsel dönüşüm sonrasında ortaya çıkan molozların geri dönüştürülerek beton içinde kullanımını üzerine yaptıkları çalışmada silis dumanı ile geri dönüşüm agregası kullanımını durumunda, %30 geri dönüşüm agregası ve %5 silis dumanının katkısı uygun karışımlar olarak tespit edilmiştir [6]. Topgül S. (2016), Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu katkısıyla geri dönüşüm agregasının beton üretiminde kullanılabilirliği adlı araştırmada; yüksek fırın cürufu kullanımını ve kullanım oranının artışı erken yaşlarda (7 ve 28 gün) basınç ve yarmada çekme dayanımını azalttıysa da, 90. günle birlikte dayanımları arttırmıştır [7]. Çakıroğlu ve ark. (2011), Atık teneke ambalajlarının beton mekanik özelliklerine etkisini araştırdığı çalışmada atık teneke

ambalajlarını 1/e=40mm/5mm (TP-1), 50mm/5mm (TP-2), 60mm/5mm (TP-3) olmak üzere üç farklı boyutta kesilmiş ve sırayla 30 kg/m³, 40 kg/m³, 60 kg/m³ şeklinde kullanılmışlardır. Sonuç olarak TP-1 için basınç dayanımı artışının az da olsa yükseldiği, TP-2 numunelerinin basınç dayanımlarının oldukça yüksek olduğu gözlenmiştir. Sadece TP-3 boyutlarındaki atık teneke ambalajların betonun basınç dayanımına pek fazla etkisi olmadığı tersine basınç dayanımı az da olsa düşürdüğü saptanmıştır [8].

Bu çalışmada, materyal olarak ANALİZ MÜŞAVİRLİK YAPI ZEMİN LABORATUVAR MÜHENDİSLİK İNŞAAT TAAHHÜT LİMİTED ŞİRKETİ tarafından C30 beton sınıfı bir yapıdan alınan numuneler 28 günlük basınç deneyinden sonra kırılarak atık beton agregası olarak kullanılmıştır. Kontrol betonu diye adlandırılan seri tamamen doğal agregadan üretilmiştir. Beton yapımında bağlayıcı malzeme olarak portland çimentosu (CEM I 42,5R) ve doğal kaynak suyu kullanılmıştır. Mineral katkı maddesi olarak silis dumanı, kimyasal katkı maddesi olarak ise süper akışkanlaştırıcı ve yüksek oranda su azaltıcı özellik gösteren katkı maddesi kullanılmıştır. Bu çalışmada ayrıca atık teneke ambalajları beton ile karıştırılarak betonun mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Atık teneke ambalajları boy/en oranı 1/e=70mm/5mm olarak kestirilip 40 kg/m³ şeklinde karışımlarda kullanılmıştır.

Söz konusu materyaller ile aşağıdaki beton örnekleri hazırlanmıştır.

- %100 doğal agregalı (N)
- %100 doğal agregalı (atık teneke katkılı) (NT)
- İnce agregası %100 geri dönüşüm olan (R1)
- İnce agregası %100 geri dönüşüm olan (atık teneke katkılı) (R1T)
- İri agregası %100 geri dönüşüm olan (R2)
- İri agregası %100 geri dönüşüm olan (atık teneke katkılı) (R2T)
- %100 geri dönüşüm agregalı (R)
- %100 geri dönüşüm agregalı (atık teneke katkılı) (RT)

Yukarıda açıklanan beton serileri 15x15x15 cm küp şeklinde 7., 28. ve 90. günlerdeki basınç dayanımları ve çekip çıkarma deneyi için üçer adet olmak üzere toplam 96 numune üretilmiştir. Bu makalenin yazıldığı tarihe kadar sadece 7. ve 28. günlerdeki basınç dayanımları elde edilmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

A. Malzemeler

a) Agregası

Kalker esaslı kıırma taş agregası (KA) ve C30 betonun 28 günlük basınç deneyinden sonar geri kazanılmış agregaları üç grup (0-4 mm, 4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm) şeklinde beton üretiminde kullanılmıştır.



Şekil 1. Geri dönüşüm agregalarının elekler yardımı ile gruplara ayrılması

b) Çimento Ve Mineral Katkı

Beton yapımında bağlayıcı malzeme olarak portland çimentosu (CEM I 42,5R, 290 kg/m³) ve mineral katkı olarak Eti Elektrometalürji İşletmesi Tesisleri'nden elde edilen silis dumanı (çimento miktarının ağırlıkça %10'u) kullanılmıştır.

c) Karışım Suyu ve Kimyasal Katkı

Çalışmada karışım suyu olarak Konya ili şehir şebeke suyu ve POLYDOS TN 343 adlı TS EN 934-2'ye uygun kahve rengi H-2723/N kodlu süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır.

B. Yöntem

Tane büyüklüğü dağılımı tayini TS EN 933-1, özgül ağırlık ve su emme oranının tayini TS EN 1097-6, gevşek ve sıkışık birim hacim ağırlık tayini TS EN 1097-3 ve Los Angeles aşınma deneyi, TS EN 1097-2 standartları esas alınarak yapılmıştır. Beton tasarımında TS 802 ve TS EN 206-1 standardına göre XC 3 etki sınıfı C30 beton üretmek için 0-4, 4-11,2 ve 11,2-22,4 agregası grupları, s/ç oranı 0,50 olarak belirlenmiştir. Karışımlarda çimentonun %10'si azaltılarak yerine silis dumanı ikame edilmiştir. Süper akışkanlaştırıcı ise çimento ağırlığının %1,2'si oranında karışım suyuna ilave edilmiştir. Beton karışım miktarları bütün seriler için aynı olup sadece geri dönüşüm ikame miktarları ve atık teneke katkı/katkısız şeklinde değişiklik göstermektedir. Beton üretiminde kullanılan malzeme miktarları 1 m³ beton baz alınarak Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Hazırlanan Betonların Karışım Miktarları (1000 dm³)

Su		145	
Çimento		84,2	
Silis Dumanı		12,45	
SA		2,9	
Hava İçeriği		18	
Agrega	Kum (%41)	302,35	737,45
	İnce Çakıl (%36,42)	267,85	
	İri Çakıl (%22,58)	166,51	

Taze beton işlenebilirlik tayini TS EN 12350-2 ve basınç dayanımı TS EN 12390-3 standartlarına göre yapılmıştır.

III. SONUÇLAR

A. Agregası Deneyleri

Kullanılan geri dönüşüm agregaların özellikleri literatür sınır değerlerine göre genelde orta sınıfta yer alırken kırma taş agregaları iyi sınıfta yer almaktadır. Geri dönüşüm agregaların yoğunlukları 2.40 ile 2.55 g/cm³ arasında iken kırma taş agregasına ait yoğunlukları 2.66 ile 2.71 g/cm³ arasında olduğu görülmektedir. Değişilmesi gereken başka bir nokta, geri dönüşüm agregaların su emme oranı kırma taş agregalara göre çok daha yüksek olmasıdır.

Literatür sınır değerlerine göre yoğunluk 2,5-2,9 (gr/cm³), su emme oranı 0,5-6,0 ve Los Angeles aşınma kaybı ise %15-%50 arasında olması gerekmektedir. Geri dönüşüm agregaların aşınma kaybı 32,506 > 30,0 olduğuna göre, aşınmaya maruz kalan yapılarda kullanılmamalıdır [9, 10].

Tablo 2. Kırma taş ve geri dönüşüm agregaların teknik özellikleri

	Agregası Deney Sonuçları			
	Geri Dönüşüm		Kırma Taş	
	(0-4)	(4- 22,4)	(0-4)	(4-22,4)
Yoğunluk (gr/cm³)	2,40	2,55	2,66	2,71
Su Emme Oranı (%)	13,84	6,57	1,40	0,50
Aşınma Deneyi (%)	-	32,506	-	27,740
Gevşek BHA (gr/cm³)	1,302	1,526	1,376	1,794
Sıkışık BHA (gr/cm³)	1,181	1,354	1,395	1,585

B. Taze ve Sertleşmiş Beton Deneyleri

Tablo 3'e bakıldığında gerin dönüşüm agregasının ikame edildiği betonların çökme değerleri daha düşük çıkmıştır. İnce geri dönüşüm agregası ile üretilen betonun çökme değeri 12 cm, iri geri dönüşüm agregalı beton için 14 cm ve %100 geri dönüşüm agregası ile üretilen betonun çökme değeri 8 cm olarak saptanmıştır. Tamamen kırma taş agregası ile üretilen betonun çökme değeri ise 17 cm olarak elde edilmiştir. Atık teneke katkı ve katkısız numuneler kıyaslandığında atık teneke katkı betonların çökme miktarı ortalama olarak 1 cm daha az olduğu görülmektedir. Bu düşük çökme değerleri geri dönüşüm agregaların su emme oranlarının yüksek olduğunu gösteren başka bir sebeptir. Bunun nedeni geri dönüşüm agregası yüzeyinin pürüzlü, keskin köşeli ve gözenekli olmasından kaynaklandığını söylemek mümkündür [11].

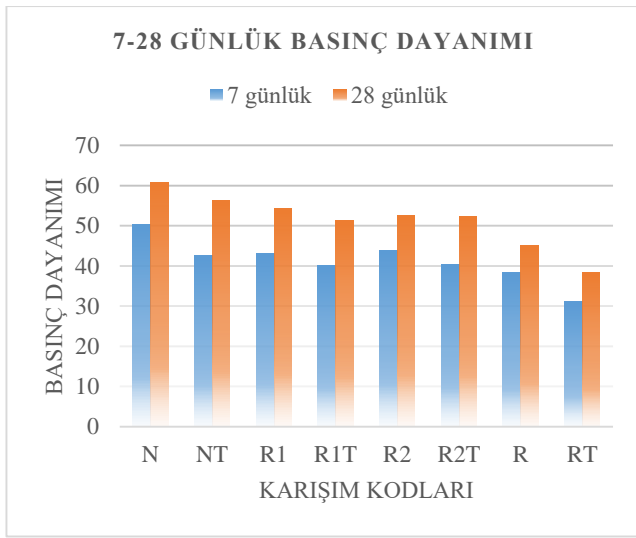
Üretilen betonların 7 ve 28 günlerdeki basınç dayanımları incelendiğinde geri dönüşüm agregaların ikamesi ile birlikte basınç dayanımında azalma yaşanmıştır. R1 ve R2 betonların dayanımlarına bakıldığında, iri agregalı betonlar ince agregalı betonlara nazaran basınç dayanımları daha düşük olduğu ortaya çıkmaktadır. Tamamen geri dönüşüm agregası ile üretilen beton serisi ise en düşük beton serisi olarak görülmektedir. Atık teneke ambalajların katılması betonların basınç dayanımına etkisi olumsuz olarak sonuçlanmıştır. Bütün serilerde Atık teneke katkı betonların basınç dayanımı atık teneke katkısız betonlara göre daha düşük çıkmıştır.

Tablo 3. Çökme miktarı ve 7 günlük basınç dayanım değerleri

Karışımlar	Slump	Yoğunluk	Dayanım	Yüzde
N	17	2,45	50,3	100,00%
NT	16	2,46	42,5	84,49%
R1	12	2,35	43,17	85,83%
R1T	12	2,36	40,17	79,86%
R2	14	2,37	43,93	87,34%
R2T	13	2,33	40,4	80,32%
R	8	2,26	38,33	76,20%
RT	7	2,20	31,03	61,69%

Tablo4. 28 günlük basınç dayanım değerleri

Karışımlar	Yoğunluk	Dayanım	Yüzde
N	2,46	60,87	100,00%
NT	2,47	56,23	92,38%
R1	2,35	54,23	89,09%
R1T	2,37	51,4	84,44%
R2	2,37	52,67	86,53%
R2T	2,34	52,3	85,92%
R	2,26	45,1	74,09%
RT	2,23	38,4	63,09%



Şekil 2. 7 ve 28 günlerdeki basınç dayanımları

IV. TARTIŞMA

Geri dönüşüm agregaların bir çok teknik özellikleri literatürle uyumluluk göstermekte fakat su emme oranı literatüre göre oldukça yüksek değerler vermiştir. Dolayısıyla katılım oranı arttıkça işlenebilirlikte azalma kaydedilmiştir. İşlenebilirlik için akışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddesi kullanılmalıdır. Geri dönüşüm agregaların aşınma kaybı kırma taş agregası aşınma kaybıyla kıyaslandığında daha fazla olsa da sınır değerden daha azdır. Fakat aşınmaya maruz kalan yapılarda kullanılamaz. Üretilen beton numunelerin yoğunluklarına bakıldığında geri kazanılmış agregaların yoğunluklarının hafif olduğu görülmüştür.

Atık teneke ambalajların kullanımı betonların basınç dayanımına ortalama %6'lık bir azalmaya sebep olmuştur. Fakat çekme dayanımına katkısı olacağı düşünülmektedir.

Geri dönüşüm agregaların oranının artması ile betonların basınç dayanımında azalma kaydedilmiştir. Basınç dayanımı, tamamen geri dönüşüm agregası ile üretilen beton serisi ile doğal agregalı beton serisi arasında %26 bir fark ile daha düşük olduğu görülmektedir. Geri dönüşüm agregaları ile üretilen betonların basınç dayanımı doğal agregalı betonlara daha düşük çıkmış olsa da yine hedef dayanım (C30 BS) değerine ulaşılmıştır.

Literatürde yapılan çalışmalara göre bu çalışmada üretilen beton serilerinin basınç dayanımlarının biraz yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi mineral ve kimyasal katkı olarak kullanılan silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımı olduğu düşünülmektedir.

V. ÖNERİLER

Yapılan deney sonuçlarına göre geri dönüşüm agregaların beton üretiminde kullanılabilirliği için en önemli nokta olarak agregaların su emme oranı, dolayısıyla s/ç oranına ve akışkanlaştırıcı katkı kullanmasına dikkat edilmelidir. Diğer sektörlerin atıkları ve yan ürünleri olan uçucu kül, fırın cürufu, ve özellikle silis dumanının beton üretiminde kullanılması, Basınç dayanımına katkısının yanında çevre kirlenmesini ve çimento üretimini azaltacak ve betonun çevre koşullarına dayanıklılığını arttıracaktır.

Son olarak bütün bu deneyler ve araştırmalar ışığında geri dönüşüm agregaların beton üretiminde belli oranlarda kullanılması (tercihen sadece iri agregası olarak) betonun durabilitesi için dezavantaj olmadığı söylenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] N. D. Oikonomou, "Recycled concrete aggregates," *Cement and concrete composites*, vol. 27, no. 2, pp. 315-318, 2005.
- [2] B. Erdal, "Geri kazanılmış agregası ile üretilen polipropilen lif katkı betonların özellikleri," Yıldız Teknik Üniversitesi, 2011.
- [3] A. Köken, M. A. Köroğlu, and F. Yonar, "Atık betonların beton agregası olarak kullanılabilirliği," 2008.
- [4] Ö. G. C. Demirel, A. G. K. TOKLU, O. ŞİMŞEK *et al.*, "Geri Dönüşüm Agregasının Beton Üretiminde Kullanılabilirliği Ve Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi," 2015.
- [5] İ. KILIÇ, and A. KADAYIFÇI, "Geri Dönüştürülmüş Atık Betonlarda Silis Dumanının Etkileri," *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, vol. 8, no. 2, pp. 115-121, 2007.
- [6] H. Dilbas, and Ö. Çakır, "Geri Kazanılmış Agregaların Mekanik Öğütme Yöntemi ile İyileştirilmesi," *HAZIR BETON*, pp. 80-86, 2018.
- [7] S. S. TOPGÜL, "Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Geri Kazanılmış Agregalı Betonların Özelliklerine Etkisi," Yüksek Lisans Tezi, yıldız teknik üniversitesi, istanbul, 2016.
- [8] M. Çakıroğlu, S. Kasap, and N. Keskin, "Beton Atık Teneke Ambalajlarının İlave Edilmesinin Basınç Dayanımına Etkisinin İncelenmesi Üzerine Deneysel Bir Çalışma," 2011.
- [9] T. S. TS500, "Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları," *Türk Standartları Enstitüsü, Ankara*, 2000.
- [10] T.-Y. Tu, Y.-Y. Chen, and C.-L. Hwang, "Properties of HPC with recycled aggregates," *Cement and concrete research*, vol. 36, no. 5, pp. 943-950, 2006.
- [11] C. Demirel, and O. Şimşek, "C30 sınıfı atık betonun geridönüşüm agregası olarak beton üretiminde kullanılabilirliği," 2014.