



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

## Farklı oranlarda geri dönüşüm agregası kullanılarak üretilen betonun bazı mühendislik özelliklerinin araştırılması

### *Investigation of some engineering properties of concrete made with recycled aggregate in different ratios*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Hassan POURGHADRI SEFIDEHKHAN<sup>1</sup>, Osman ŞİMŞEK<sup>2</sup>

*ORCID<sup>1</sup>:* 0000-0003-3665- 894X

*ORCID<sup>2</sup>:* 0000-0003-3842-5541

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Pourghadri S. H. ve Şimşek O. , “Farklı oranlarda geri dönüşüm agregası kullanılarak üretilen betonun bazı mühendislik özelliklerinin araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 21(1): 83-91, (2018).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.391789

# Farklı Oranlarda Geri Dönüşüm Agregası Kullanılarak Üretilen Betonun Bazı Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması

*Araştırma Makalesi / Research Article*

**Hassan POURGHADRI SEFIDEHKHAN\*, Osman ŞİMŞEK**

Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

(Geliş/Received : 31.12.2016 ; Kabul/Accepted : 18.01.2017)

## ÖZ

Beton günümüzde yaygın kullanılan bir yapı malzemesidir. Betonun %70-75'i agregası olmasından dolayı geri dönüşüm agregası (GDA)'nın beton üretiminde kullanılması konusunda birçok araştırmacı çalışma yapmaktadır. Atık beton dolayısıyla atık agregası kullanımı çevresel, ekolojik ve ekonomik etkilerinin yanı sıra enerji sarfiyatını ve doğal hammadde tüketimini de azaltmaktadır. Bu çalışmada atık betonlardan elde edilen agregası ve bu agregası ile üretilen betonun mühendislik özellikleri incelenmiştir. Araştırmada GDA % 0, 20, 40, 60, 80 ve 100 olarak kırma agregası (KTA) ile ince ve iri olarak ikame edilerek beton üretiminde kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak CEM I 42,5 R çimentosu ve çimento ağırlığının %20'si oranında uçucu kül ikame edilerek beton örnekleri üretilmiştir. GDA ikameli betonun 28 ve 90 günlük basınç dayanımı, 90 günlük betonlarda ıslanma kuruma sonrası dayanım kaybı ve aderans dayanımı belirlenmiştir. GDA'sının KTA'ya göre daha yüksek su emme oranına sahip olmasından dolayı GDA ikame oranı arttıkça taze betonda çökme değeri azalmıştır. Kontrol betonu (KB) bütün yaşlarda en yüksek dayanımı vermiş ve GDA ikame edildiğinde basınç dayanımında düşüş gözlemlenmiştir. GDA ikameli betonların aderans dayanımı ve ıslanma kuruma sonrası basınç dayanımlarının KB'a göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Geri dönüşüm agregası, atık beton, basınç dayanımı, ıslanma kuruma, donatı aderansı.

# Investigation of Some Engineering Properties of Concrete Made With Recycled Aggregate in Different Ratios

## ABSTRACT

Nowadays concrete is the most commonly used construction material. Many researchers are investigating the use of recycled aggregate in concrete because 70-75% of concrete is composed of aggregates and using aggregates produced from waste concrete has environmental, ecologic and economic impacts and reduces the energy and natural resources consumption. In this study properties of aggregates provided from crushing waste concrete and also engineering properties of concrete made from these aggregates have been investigated. Fine and coarse recycled concrete aggregates (RCA) were replaced in the ratio of 0, 20, 40, 60, 80 and 100% with fine and coarse crushed aggregates in concrete mix design. CEM I 42,5 R cement was used as a binder and replaced by 20% of the cement's weight with fly ash in all mixtures. Due to the high water absorption of the RCA in comparison to the crushed aggregates, the slump was decreased by increasing RCA substitution ratio in the mixtures. Control concrete (CC) has gained the highest compressive strength in all ages. 28 and 90-day compressive strength of normally cured concretes, the bond strength between concrete specimens and rebars and compressive strength of concretes subjected to the wetting and drying cycles were decreased by increasing RCA substitution ratio in the mixtures.

**Keywords:** Recycled concrete aggregate, waste concrete, compressive strength, wetting and drying, bond strength between rebars and concrete.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Beton günümüzde yaygın kullanılan bir yapı malzemesidir. Betondan bazı fiziksel ve mekanik özellikler beklenmektedir. Bunlar istenilen hedef dayanım, servis ömrü boyunca çevresel etkilere karşı yeterli dayanıklılığa ve hacim sabitliğine sahip olmasıdır [1, 2]. Dünyada yıllık beton ihtiyacı yaklaşık 4,5 milyar ton olduğu düşünüldüğünde, yıllık kişi başı beton

tüketimi ortalama 0,7 tondur. Geleneksel beton üretiminde genellikle doğal, kırma ve geri kazanılmış olmak üzere üç tip agregası kullanılmaktadır [3]. Betonun %70-75'ini agregası olmasından dolayı yeni arayışlar üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. GDA'sının beton üretiminde kullanılması konusunda birçok araştırmacı GDA'nın fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özellikleri üzerine inceleme yapmıştır [1].

Bir yanda tükenen agregası kaynakları, diğer yanda ise deprem, yangın, bozulma ve restorasyon gibi nedenlerle oluşan yıkıntı atıklarının büyük miktarlarda olması

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : hassan.pourghadri.sefidehkh@gazi.edu.tr

çevresel, ekolojik ve ekonomik olarak birçok problem doğurmaktadır [2, 4]. Geleneksel beton üretiminde ağırlıkça yaklaşık % 12 çimento, % 8 karışım suyu ve % 75 agrega kullanılmaktadır. Bununla birlikte büyük miktarda agrega kullanımı ekolojik sistemini de önemli derecede etkilemektedir [1, 5]. GDA kullanımını enerji ve doğal hammadde tüketimini azaltmaktadır. Bu konulara sürdürülebilir kalkınma kapsamında ilgi artmaktadır [6]. Ekonomik açıdan bakıldığında, beton hacminin yaklaşık %40'ını oluşturan iri agreganın maliyeti 1 m<sup>3</sup> hazır beton üretim maliyetinin yaklaşık %14'ü, taş unu (%5) ile birlikte alındığında %19-20'sini oluşturmaktadır. Bu büyüklük ile iri agrega toplam maliyetteki payı çimento maliyetinden (%40) sonra ikinci sıradadır ve bu konunun ekonomik boyutunun önemini ifade etmektedir [7]. GDA, doğal agregadan oldukça farklı olan birçok özelliğe sahiptir. GDA doğal agreganın yüzeyine çimento hamuru yapışması ile oluşan betonun kırılmasıyla meydana gelmektedir. Bu çimento hamuru miktarı, GDA'nın su emme, yoğunluk, aşınma direnci, aderans gibi özelliklerini etkilemektedir [8, 9].

GDA'nın boşluklu yapısı ve yüzeyine yapışmış eski harç tabakasından dolayı doğal agregaya göre su emme oranı yüksek, yoğunluğu ise az olmaktadır. Yapılan araştırmalarda GDA'nın su emme oranı %4 ila %12 arasında değişirken doğal agreganın su emme oranı %0,5 ila %1 arasında değişmektedir [10].

Köken vd. [11], çalışmalarında ince agregaların (0-4 mm) ortalama su emme değerlerini %10,64 ve iri agregaların (4-16 mm) ortalama su emme miktarını % 4,62 olarak tespit etmişlerdir. İnce agregaların yoğunluğunu 2,69 g/cm<sup>3</sup> ve iri agregaların yoğunluğunu 2,67 g/cm<sup>3</sup> olarak bulmuşlardır. Brito vd. [12], geri dönüşüm agregaları 0-10 mm ve 10-20 mm boyutunda kullanmışlar ve yoğunluklarını sırasıyla 2,65 g/cm<sup>3</sup> ve 2,66 g/cm<sup>3</sup>, su emme oranlarını ise %4,57 ve %4,66 olarak bulmuşlardır.

Hansen ve Narud [13], yaptıkları çalışmada yüksek dayanımlı ve düşük dayanımlı betondan elde edilen 8-32 mm boyutundaki geri dönüşüm agregaların aşınma kaybı yüzdesini sırasıyla % 22,4 ve % 41,4 olarak bulmuşlar ve geri dönüşüm agregalarının aşınma kaybı yüzdelerinin doğal agregaya göre çok daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir.

Doğal agreganın yerine %100 GDA konulması durumunda üretilen betonun hava içeriği biraz (%4-5,5) fazladır. Hava içeriğindeki bu fazlalık GDA'nın yüksek poroziteli olmasına dayandırılır. Dolayısıyla üretilen betonun birim hacim ağırlığının az olmasına neden olur [10, 14].

Geri dönüşüm agrega kullanılması taze betonun işlenebilirliği üzerinde olumsuz etki yapmaktadır [15]. %100 GDA ile üretilen betonlarda %25 oranında bir çökme kaybı olduğu bilinmektedir [16]. Durmuş vd. [17], iri GDA farklı oranlarda kullanarak ürettikleri betonların çökme değerlerinin 18 ile 22 cm arasında değiştiğini ve geri dönüşüm ikame oranı arttıkça çökme miktarının düştüğünü ve GDA'lı betonun özelliklerinin daha iyi

olması için 0-2 mm tane boyutundaki kısmın doğal kum olması gerektiğini belirtmişlerdir [18].

GDA'nın su emme miktarının fazla olmasından dolayı bu tip agrega içeren betonların rötre miktarı oldukça fazla olduğu bilinmektedir. Bu durum GDA yüzeyine yapışmış harcın yüksek şekil değiştirilebilirliğe sahip olmasıyla açıklanabilir. Brito vd. [12], yaptıkları çalışmada 90 günlük rötre değerlerini doğal agregalı ve %100 GDA'lı beton için sırasıyla 480 µm/m ve 560 µm/m olarak elde etmişlerdir.

Turanlı [19], çalışmasında beton atıklarını yeni beton yapımında, iri agrega olarak kullanmış ve GDA ile üretilen betonun normal betona göre basınç dayanımının % 12 daha az olduğunu görmüştür. Demirel [20] çalışmasında, kırma iri ve ince agrega yerine % 10, 20, 30, 40, 50 oranlarında geri dönüşüm agregası kullanmış ve GDA ikame yüzdesi arttıkça beton basınç dayanımının düştüğünü belirtmiştir. Tüfekçi [21], çalışmasında doğal agregayı, GDA ile %0, %25, %50 ve %100 oranlarında ikame etmiştir. Sonuç olarak GDA yer değiştirme oranı arttıkça beton basınç dayanımının benzer veya çok az değişiklik gösterdiğini belirtmiştir.

Kim vd. [22] çalışmalarında kontrol numunesi, %30, %60 ve %100 GDA ikameli betonların aderans dayanımını sırasıyla 21,67 MPa, 21,34 MPa, 21,22 MPa ve 18,73 MPa olarak bulmuşlardır. Önceki çalışmaların donatı aderans deney sonuçları incelendiğinde GDA ikame oranı arttıkça aderans dayanımının düştüğü gözlemlenmiştir. Bunun sebebi GDA dayanımının KTA dayanımından daha az olduğu şeklinde açıklanabilir [22-24].

Uçucu kül; termik santrallerde baca gazları ile taşınarak siklon veya elektro filtrelerde toplanan önemli bir yan üründür. Bu küresel şekilli kül tanecikleri çok ince (0,5-150 mikron) tanelidir [24,25]. ASTM C 618'e göre SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %70'den fazla ise F sınıfı, %70 küçük %50 büyük ise C sınıfı olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca küllerin CaO yüzdesi %10'un altında olduğu için düşük kireçli, %10'dan fazla olduğu için yüksek kireçli olarak da adlandırılırlar [26-28].

Beton karışımı içinde uçucu kül kullanımı genel olarak 90 günden küçük yaşlarda mukavemetini azaltırken daha sonraki yaşlarda artırmaktadır. Kül oranı arttıkça dayanım azalmaktadır yani kül oranı ile basınç dayanım arasında ters ilişki vardır [26].

Uçucu küllü betonun priz süresi daha uzundur. Uçucu külün priz süresine etkisi, uçucu kül karakteristiklerine ve kullanım miktarına bağlıdır [29,30]. Wang vd. [31]'nin betonun plastik rötre üzerine yaptıkları çalışmada uçucu kül içeriğinin artmasıyla su kaybı artmakta, plastik rötre çatlaklarının toplam alanının da azaldığı görülmektedir. Lee vd. [32]'nin uçucu kül kullanarak yaptıkları çalışmada, düşük su/bağlayıcı oranına sahip betonlarda uçucu kül katkısı arttıkça bünyesel rötre azalmaktadır.

İslenme kuruma etkisi betonu hem fiziksel hem de kimyasal yolla etkilemektedir. Tekrarlı islenme kuruma

ve aşınma sonucu önce ince agregaların beton kütlelerinden ayrılmaya başladığı, açığa çıkan iri agregaların da zamanla yok olduğu ve daha fazla çimento hamuru bağlayıcı matrisinin bu etkilere açık hale geldiği görülür [33].

Bu çalışmada atık betonlardan elde edilen agreganın farklı oranlarda kırmataş agrega ile ikame edilerek üretilen betonun mühendislik özellikleri kontrol beton (KB) ile karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

### 2.1. Materyal (Material)

Bu çalışmada, geri dönüşüm agregaları (GDA) daha önce dökülmüş C20 sınıfı betondan elde edilerek ve kırmataş agregası (KTA) ile belirli oranlarda ikame edilerek araştırmada kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak CEM I 42,5 R çimentosu ve çimento ağırlığının %20'si oranında uçucu kül ikame edilmiş ve beton karışım suyu olarak şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

Çalışmada kalker esaslı KTA, Ankara Limak firmasından temin edilmiştir. GDA'sı 5 yıl öce dökülmüş 210 cm×240 cm boyutunda bloklardan elde edilmiştir. İlk önce 7 adet 75 mm çapında ve 150 mm yüksekliğinde karot alınarak beton sınıfı belirlenmiş, daha sonra bloklar elektrikli kırıcı (Şekil 1) ve çeneli kırıcı ile agrega boyutuna getirilmiştir.



**Şekil 1.** Geri dönüşüm agrega elde edilmesi ve karot alınması  
(The process of producing recycled concrete aggregate and drilling core samples)

### 2.2. Metot (Method)

GDA ve KTA üzerinde Elek analizi, Tane yoğunluğu, Su emme oranı, Yassılık endeksi ve Parçalanma direnci deneyleri yapılmıştır.

Taze betonların çökme (slump) ve birim ağırlığı incelenmiştir. Sertleşmiş beton numuneler üzerinde 28 ve 90 günlük basınç dayanımı, 90 günlük numuneler üzerinde ıslanma kuruma sonrası dayanım kaybı ve donatı aderansı deneyleri yapılarak GDA'sının bu özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Deneyle ilgili çalışmalar Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Beton Laboratuvarında yapılmıştır.

GDA üretiminde kullanılan atık betonun sınıfını belirlemek üzere alınan karot numunelerinin basınç dayanımı aritmetik ortalamasının 20 MPa olduğu saptanmıştır.

Tane Büyüklüğü Dağılımı; Ögütülmüş geri dönüşüm agregaları elenip ince agrega (0-4 mm), ince çakıl (4-11,2 mm) ve iri çakıl (11,2-22,4 mm) olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır. Her bir agrega grubu için tane büyüklüğü dağılımı TS EN 933-1 esas alınarak yapılmıştır [35].

Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini; Agregalarının tane yoğunluğu ve su emme oranları TS EN 1097-6' esas alınarak [36] belirlenmiştir.

Tane Şekli Tayini- Yassılık endeksi; TS EN 933-3 esas alınarak yapılmıştır [37]. Tane büyüklüğü fraksiyonlarında  $d_i/D_i$  çubuklar arası açıklığı  $D_i/2$  olan paralel çubuklu eleklerden elenir. Her bir tane büyüklüğü fraksiyonunun  $d_i/D_i$  yassılık endeksidir.

Parçalanma Direncinin Tayini; TS EN 1097-2'de [38] belirtilen Los Angeles metodu esas alınarak, 14 mm elekten geçen ve 10 mm elekte kalan agregalara uygulanır. Aşındırma işleminden sonra agrega 1,6 mm'lik elek kullanılarak yıkanır ve elek üzerinde kalan agrega miktarı belirlenir.

Çizelge 2 incelendiğinde GDA'nın teknik özellikleri KTA'a göre daha olumsuzdur. Yani yoğunluğu daha küçük, su emmesi daha yüksek, aşınma direnci daha

**Çizelge 1.** Çimento ve uçucu külün teknik özellikleri (Technical properties of cement and fly ash)

Kimyasal Kompozisyon	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Serbest CaO	Kızdırma Kaybı	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
CEM I 42,5	20,35	5,98	3,06	63,35	1,89	2,71	0,58	0,88	1,22	0,5	3,1
UK	55,44	24,93	6,33	2,18	2,38	0,14	0,49	3,87	0,32	1,82	2,13

Çalışmada CEM I 42,5 R çimentosu ve Çatalağzı Termik Santrali'nden temin edilen F sınıfı uçucu külü kullanılmıştır. Çimento ve uçucu külü (UK)'n teknik özellikleri Ankara Limak çimento fabrikası laboratuvarında yaptırılmış ve sonuçlar Çizelge 1'de verilmiştir.

Çalışmada karışım suyu olarak Ankara ili şehir şebeke suyu ve CHRYSO FLUID PREMIA 196 adlı TS EN 934-2+A1'e uygun akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır [34].

düşük, yassılık oranı daha yüksek olduğu açık olarak görülmektedir.

Araştırmada beton tasarımında beton sınıfı C25 seçilmiştir. Karışım hesabında TS 802/2016 esas alınmıştır [39]. Beton tasarımında değişken olarak iri ve ince KTA'sı, GDA ile ağırlıkça %0, 20, 40, 60, 80 ve %100 oranlarında yer değiştirilmiştir. TS 802'ye göre S/Ç oranı 0,50 ve su miktarı 157 lt olarak seçilmiştir. Hesaplamalar sonucu çimento miktarı 314 kg/m<sup>3</sup> olarak bulunmuş. Çimentonun ağırlıkça %20'si UK ile ikame

edilmiş ve UK  $63 \text{ kg/m}^3$  olarak bulunmuştur. Yani karışımda bağlayıcı (251 kg çimento+63 kg UK ) sabit olarak alınmıştır. İşlenebilirliği artırmak için bağlayıcı ağırlığının %0,8'i oranında kimyasal katkı maddesi  $2,5 \text{ kg/m}^3$  ve hapsolmuş hava miktarı ise  $18 \text{ dm}^3/\text{m}^3$  alınmıştır. Gerekli agrega miktarının hacmi hesaplanmış

Islanma kuruma deneyi için  $10 \times 20$  cm boyutunda silindirik numuneler dökülmüştür. Öner vd.'nin [33] çalışmalarında kullandıkları yöntem esas alınarak ıslanma kuruma çevriminde, 24 saat  $105^\circ\text{C}$  etüvde kurutulan numuneler, 48 saat normal su içerisinde tam doygun hale getirilmiş, deney gününe kadar bu çevrimler

**Çizelge 2.** Agregaların teknik özellikleri (Technical properties of aggregates)

Agrega grupları	0-4 mm		4-11,2 mm		11,2-22,4 mm	
	GDA	KTA	GDA	KTA	GDA	KTA
Yoğunlukları ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ )	2,43	2,68	2,42	2,57	2,38	2,55
Su emme (%)	4,60	1,79	4,19	1,82	4,80	1,89
Yassılık endeksi	-	-	12,5	1,51	16,81	1,60
Aşınma direnci kaybı (%)	-	-	-	-	40,56	16,89

ve daha sonra ağırlıklar bulunmuştur. Agregalar oranları, %39 ince agrega (0-4 mm) ve %32 ince çakıl (4-11,2 mm) ve %29 iri çakıl (11,2-22,4 mm) kullanılmıştır. Hesaplamalar sonu, Agregalar miktarı 1834 kg olarak elde edilmiştir.

Taze beton birim ağırlığı TS EN 12350-6 standardına uygun olarak yapılmıştır [40]. Taze beton işlenebilirliğinin belirlenmesi amacıyla çökme deneyi yapılır. Çökme miktarının belirlenmesinde TS EN 12350-2 standardı esas alınmıştır [41].

Betonların basınç dayanımlarının belirlenmesinde TS EN

tekrarlanmıştır. 90 günlük numuneler üzerlerinde toplam 10 ıslanma kuruma çevrimi yapıldıktan sonra basınç testine tabi tutularak basınç dayanımları belirlenmiştir.

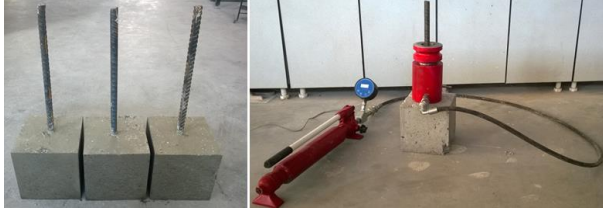
Donatı aderans testi, donatıların aderans dayanımlarını tespit etmek için kullanılır. RILEM/CEB/FIP'de donatının betona gömülü uzunluğu için 5φ alt sınır olarak belirtilmiştir. Bu çalışmada donatının betona gömülü boyu 9φ olarak seçilmiştir [43]. Numune üretiminde  $20 \times 20 \times 20$  cm küp kalıpların içine 20 mm çapında nervürlü çubuk, 18 cm'si betonda kalacak şekilde konmuştur. Donatı aderans testinde Şekil 2'de görüldüğü

**Çizelge 3.** Beton karışımlarının geri dönüşüm agrega ikame oranları (Substitution ratios of recycled concrete aggregates)

Karışım kodu	GDA İkame Oranı %	Agrega grupları					
		0-4 mm		4-11,2 mm		11,2-22,4 mm	
		GDA	KTA	GDA	KTA	GDA	KTA
KB	0	0	50	0	25	0	25
GB	100	50	0	25	0	25	0
GDA İNCE20	20	10	40	0	25	0	25
GDA İNCE40	40	20	30	0	25	0	25
GDA İNCE60	60	30	20	0	25	0	25
GDA İNCE80	80	40	10	0	25	0	25
GDA İNCE100	100	50	0	0	25	0	25
GDA İRİ20	20	0	50	5	20	5	20
GDA İRİ40	40	0	50	10	15	10	15
GDA İRİ60	60	0	50	15	10	15	10
GDA İRİ80	80	0	50	20	5	20	5
GDA İRİ100	100	0	50	25	0	25	0

12390-3 esas alınmıştır [42]. Basınç dayanımı  $10 \times 20$  cm silindirik numuneler kullanılmıştır. Her bir karışım için 28 ve 90 günlük yaşlarında basınç deneyine tabi tutulmak için ve her yaş grubundan üçer tane numune olmak üzere toplam 6 adet numune üretilmiştir.

gibi 30 ton kapasiteli dijital göstergeli hidrolik krikolar kullanılmıştır.



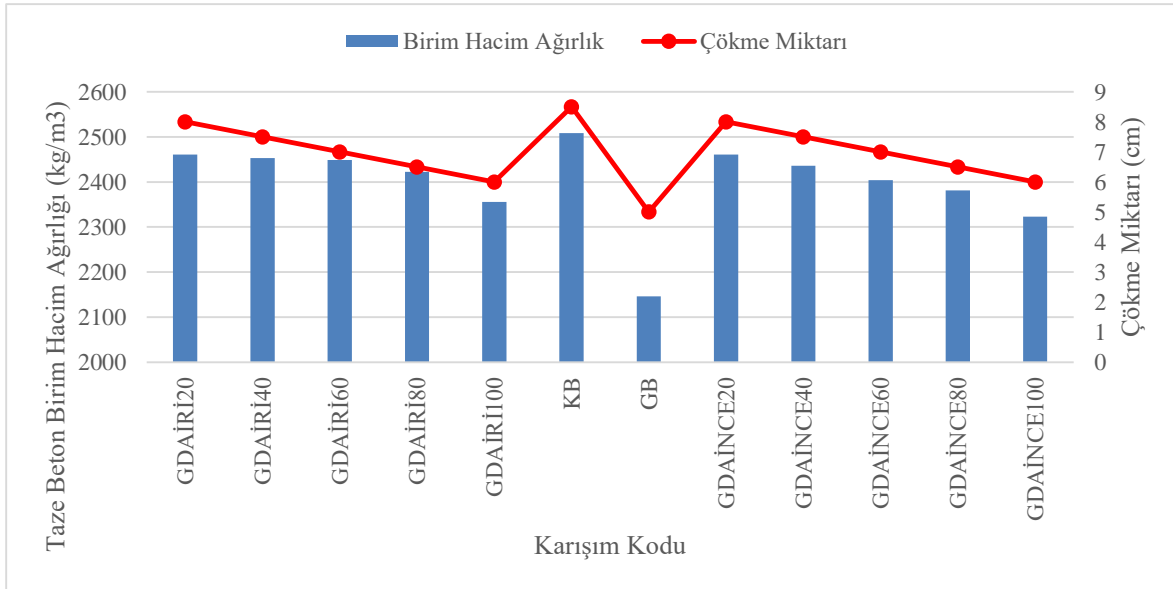
Şekil 2. Donatı aderans numuneleri ve 30 ton kapasiteli hidrolik kriko (Specimens of bond strength test and hydraulic jack with 30 tons of capacity)

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Taze beton birim hacim ağırlık deneyi basınç dayanımı için üretilen 10×20 silindir numuneler üzerinde yapılmış ve sonuçlar cm olarak Şekil 3'te, kontrol betonu (KB)'a göre yüzdelik değerleri ise Çizelge 4'te verilmiştir. Bütün karışımlarda taze beton birim hacim ağırlıkları 2146 kg/m<sup>3</sup> ile 2508 kg/m<sup>3</sup> arasında değişiklik göstermiştir.

Çizelge 4. Karışımların taze beton birim hacim ağırlık ve çökmelerinin KB'a göre yüzdelik değerleri (Percentage values of bulk densities and slump values of fresh concretes according to CC)

Karışım Kodu	GDAİRİ İkame Yüzdesi					KB	GB	GDAİNCE İkame Yüzdesi				
	20	40	60	80	100			20	40	60	80	100
Birim Hacim Ağırlık (%)	98,1	97,8	97,6	96,6	93,9	100	85,6	98,1	97,1	95,8	95,0	92,6
Çökme Miktarı (%)	94	88	82	76	71	100	59	94	88	82	76	71



Şekil 3. Karışımların birim hacim ağırlık ve çökme değerleri (Bulk densities and slump values of fresh concretes)

Çizelge 4 incelendiğinde GDA oranı arttıkça taze beton birim hacim ağırlığı (BHA) azalmaktadır. Ayrıca GDAİRİ ve GDAİNCE agregalarıyla üretilen betonun BHA karşılaştırılırsa GDAİNCE ile üretilen betonun BHA azalmaktadır. En yüksek taze beton birim hacim ağırlığını KB karışımı verirken en düşük birim hacim ağırlığını GB karışımı vermiştir. GB taze betonun birim hacim ağırlığı KB taze betonunkinden %15 daha

düşüktür. Sıkıştırma ve yerleştirme BHA'nı etkilemekte ve sonuçlarda önemli ölçüde farklılıklar göstermektedir.

Beton karışım hesabı yapılırken tüm karışımlarda s/ç oranı sabit tutulduğu için farklı çökme değerleri elde edilmiştir. Slump testi sonunda elde edilen değerler kontrol betonu (KB)'a göre yüzdelik değerleri Çizelge 4'te verilmiştir.

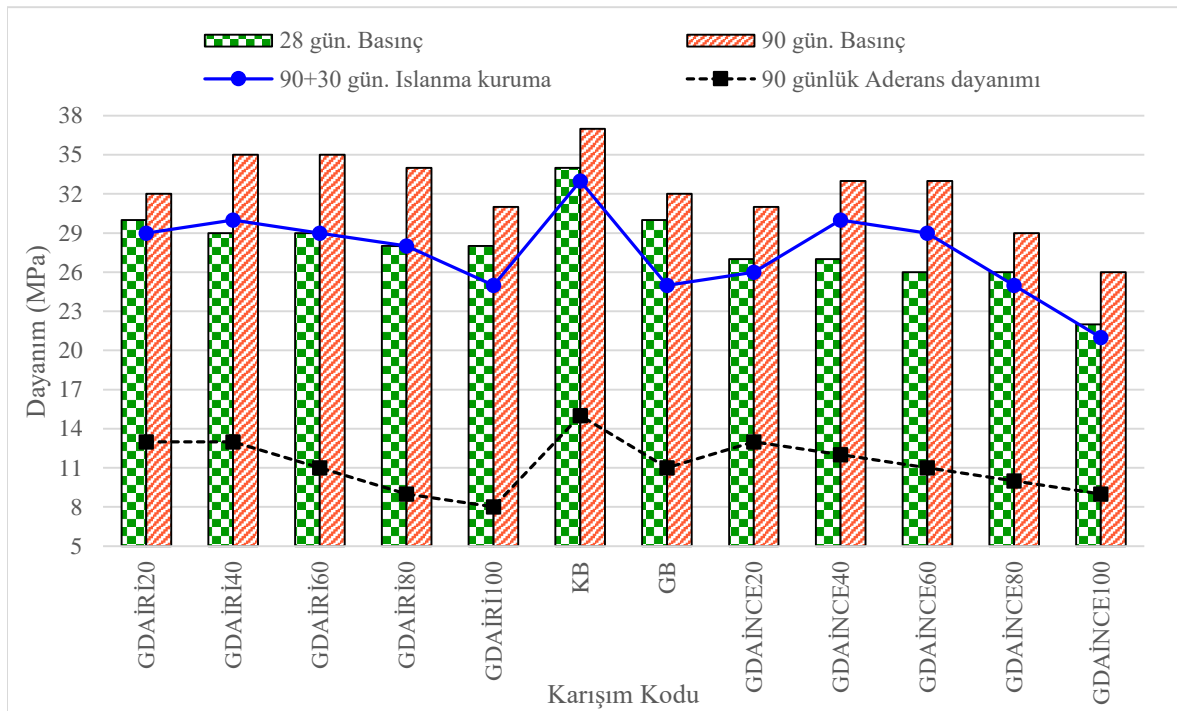
Şekil 3 incelendiğinde karışımlarda en yüksek çökmeyi KB karışımı ve en düşük çökmeyi GB vermiştir. KB kodlu betonun çökme değeri 8,5 cm iken, GB kodlu betonun çökme değeri 5 cm'dir. Bu sonuçlara göre iki karışım arasında 3,5 cm'lik bir çökme farkı vardır. GDA ince agrega yerine kullanılan karışımlar iri agrega yerine kullanılan karışımlarla aynı çökme değerini göstermiştir. GDA oranı arttıkça çökmenin azaldığı görülmektedir. GDA'lı karışımlarda su gereksinimi daha fazladır. Bunun GDA'daki eski harcım su emme oranının fazla olduğundan kaynaklandığını rahatça söyleyebiliriz.

Betonun basınç dayanımı testi 28 ve 90 günlük numuneler üzerinde yapılmış ve sonuçlar MPa olarak Şekil 4'te, kontrol betonu (KB)'a göre yüzdelik değerleri ise Çizelge 5'te verilmiştir.

Şekil 4 incelendiğinde KB betonu bütün yaşlarda en yüksek dayanımı vermiştir. GB kodlu beton 28 ve 90 günlük yaşlarda KB'dan sonra ikinci sırada yer almaktadır. GB ile KB karışımlarının 28 ve 90 günlük

**Çizelge 5.** Betonların basınç dayanımı, ıslanma kuruma ve donatı aderanslarının KB'a göre yüzdelik değerleri (Percentage values of compressive strength, wetting and drying and bond strength of concretes according to CC)

Karışım kodu	Basınç dayanımı		90+30 günlük Islanma kuruma (%)	90 günlük Aderans dayanımı (%)
	28 günlük (%)	90 günlük (%)		
GDAİRİ20	88	86	88	87
GDAİRİ40	86	95	91	87
GDAİRİ60	84	95	88	73
GDAİRİ80	83	92	85	60
GDAİRİ100	82	84	76	53
KB	100	100	100	100
GB	88	86	76	73
GDAİNCE20	79	84	79	87
GDAİNCE40	79	89	91	80
GDAİNCE60	77	89	88	73
GDAİNCE80	76	78	75	67
GDAİNCE100	66	70	64	60

**Şekil 4.** Betonların basınç dayanımları, ıslanma kuruma ve aderans dayanımları (Compressive strength, wetting and drying and bond strength of concretes)

basınç dayanımları karşılaştırıldığında 4 MPa'lık bir fark söz konusudur.

GDAİRİ ile üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımları iri oranı arttıkça azalmaktadır. GDAİRİ20 karışımıyla üretilen betonun basınç dayanımı 30 MPa ile bu grup içinde en yüksek dayanımı verirken GDAİRİ100 karışımı 28 MPa ile en düşük dayanımı sağlamıştır. Aynı betonların 90 günlük basınç dayanımlarına bakıldığında 28 güne göre belirli bir artış görülmektedir. En yüksek basınç dayanımı 35 MPa ile GDAİRİ40 ve GDAİRİ60

karışımları verirken en düşük dayanımı 31 MPa ile GDAİRİ100 vermiştir.

GDAİNCE ile üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımları ince oranı arttıkça azalmaktadır. Bu betonların arasında en yüksek dayanımı GDAİNCE20 karışımı 27 MPa ile verirken en düşük dayanımı GDAİNCE100 karışımı 22 MPa ile sağlamıştır. En düşük basınç dayanımı ile en yüksek basınç dayanımı arasında 5 MPa'lık fark söz konusudur. Aynı betonların 90 günlük basınç dayanımları ile 28 günlük basınç dayanımları



karşılaştırıldığında yaşa göre belirli artış görülmektedir. Bu artış ortalama olarak 5 MPa civarındadır. En yüksek basınç dayanımı 33 MPa ile GDAİNCE40 ve GDAİNCE60 karışımları verirken en düşük dayanımı 26 MPa ile GDAİNCE100 vermiştir. Bütün karışımların basınç dayanımları incelendiğinde GDAİRİ ile üretilen betonların daha avantajlı olduğu söylenebilir. Karışımlarda hem ince hem de iri GDA %40 ve %60 oranlarında kullanıldığında betona en yüksek dayanımı kazandırmıştır. Bütün yaşlarda GDA kullanılan bütün karışımların basınç dayanımında düşüş gözlemlenmiştir.



**Şekil 5.** Donatı aderans deneyi sonucu parçalanmış beton numunesi ve donatının koptuğu beton yüzeyleri (Separated concrete specimen after bond strength test and concrete surfaces which rebars broke off from)

90 gün sonra ıslanma kuruma çevrimlerine maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımı ile ıslanma kuruma yapılmayan numunelerin 90 günlük basınç dayanımı Çizelge 5'te verilmiştir. Çizelge 5 incelendiğinde KB kodlu betonun 90 günlük ıslanma kuruma sonunda en yüksek dayanımı verdiği ve en düşük dayanım kaybının bu betonlarda olduğu görülmektedir.

GDAİRİ ile üretilen betonların 90 gün sonra ıslanma kuruma çevrimlerine tabi tutulduktan sonraki basınç dayanımları aynı agregayla üretilen normal betonların 90 günlük basınç dayanımlarıyla paralellik göstermektedir. Bu grup içinde GDAİRİ40 normal betonlarda en yüksek dayanımı verdiği gibi ıslanma kuruma çevrimlerinden sonra da en az dayanım kaybına maruz kalmıştır. En fazla dayanım kaybı %24 ile GDAİRİ100 karışımında gözlenirken en düşük dayanım kaybı %9 ile GDAİRİ40 karışımında gözlenmiştir.

GDAİNCE ile üretilen betonların 90 gün sonra ıslanma kuruma çevrimlerine tabi tutulduktan sonraki basınç dayanımları aynı agregayla üretilen normal betonların 90 günlük basınç dayanımlarıyla paralellik göstermektedir. Bu grup içinde GDAİNCE40 normal betonlarda en yüksek dayanımı verdiği gibi ıslanma kuruma çevrimlerinden sonra da en yüksek dayanımı kazanmıştır. En fazla dayanım kaybı %36 ile GDAİNCE100 karışımında gözlenirken en düşük dayanım kaybı %9 ile GDAİNCE40 karışımında gözlenmiştir. 90 günlük ıslanma kuruma sonuçları incelendiğinde karışımlarda GDA oranı arttıkça basınç dayanımının düştüğü gözlemlenmiştir. ıslanma kuruma çevrimleri en çok GDAİNCE100 kodlu betonu etkilemiş ve %36'lık bir dayanım kaybına neden olmuştur.

Donatı aderans deneyi sonucu elde edilen tüm karışımların sıyrılma kuvvetleri Denklem 1 yardımıyla aderans dayanımına dönüştürülmüş ve Şekil 4'te

verilmiştir. Ayrıca kontrol betonu (KB)'a göre yüzdelik değerleri Çizelge 5'te verilmiştir.

$$\tau = \frac{F_u}{\pi \times \varphi \times l} \quad (1)$$

Beton numunelerinin çekme dayanımı aderans dayanımından daha az olduğu için numunelerinin hepsinde donatının sıyrılması yerine beton iki veya üç parçaya bölünerek donatı betondan ayrılmıştır. Bazı numunelerde donatı bölünen beton parçalarının birine yapışmış halde deney son bulmuştur. Şekil 5'te Deney sonucu parçalanmış bir beton numunesi görülmektedir.

Şekil 4 incelendiğinde GDA'nın ince veya iri olduğuna bakmadan GDA oranı arttıkça aderans dayanımı düşmüştür. İri GDA'nın gözenekleri çimento hamuruyla dolarken ince GDA betondaki boşlukları doldurmaktadır. Böylece betonla donatı arasında daha fazla aderans sağlanmaktadır. Buna rağmen GDA'nın KTA'ndan daha az dayanıma sahip olduğundan GDA'lı betonların aderans dayanımları KB kodlu betonunkinden daha az çıkmıştır. Bütün oranlarda GDAİNCE ile üretilen betonların aderans dayanımları GDAİRİ ile üretilen betonlarınkinden daha fazla olduğu gözlenmiştir. GDAİNCE20 betonu 13 MPa ile en yüksek aderans dayanımını verirken GDAİRİ100 betonu 9 MPa ile en yüksek aderans dayanımını sağlamıştır. GB kodlu betonun aderans dayanımı sadece ince veya iri GDA %20 ve %40 oranında kullanılarak üretilen betonların aderans dayanımından daha düşük olduğu görülmüştür.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Geri dönüşüm agregasının su emme oranı aynı boyuttaki KTA'a göre çok daha yüksek değer verirken yoğunluğu daha az olmaktadır. Bu sonuç GDA yüzeyinin daha fazla pürüzlülüğü ile boşluklu yapıda olması ve ayrıca bünyesindeki çimento hamurunun fazla su emmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

GDA'sı KTA'sına göre daha yüksek su emme oranına sahip olmasından dolayı GDA ikame oranı arttıkça çökme değeri azalmıştır.

GDA'nın KTA'sına göre daha düşük yoğunluğa sahip olmasından dolayı GDA ikame oranı arttıkça taze betonun birim hacim ağırlığı azalmıştır.

KB kodlu beton bütün yaşlarda en yüksek dayanımı vermiş ve GDA ikame edildiğinde basınç dayanımında düşüş gözlenmiştir.

28 günlük basınç dayanımlarına bakıldığında, GDA oranı arttıkça dayanım azalmıştır. En yüksek dayanımı KB kodlu beton vermiştir.

90 günlük basınç dayanımları incelendiğinde, %40 ve %60 oranlarında ince veya iri GDA kullanıldığında en yüksek değerleri verirken %100 oranında kullanıldığında kendi gruplarında en düşük basınç dayanımını vermiştir. GB kodlu beton GDA'lı betonların içinde ortalama bir dayanım kazanmıştır.

Tüm karışımlarda 90 günlük basınç dayanımları 28 günlük basınç dayanımlarıyla paralellik göstermiş ve



%20 oranında uçucu kül kullanılması dayanımların daha da yüksek çıkmasına neden olmuştur.

Bütün karışımların 90 günlük ıslanma kuruma sonrası basınç dayanımlarının normal 90 günlük basınç dayanımlarına göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Geri dönüşüm agreganın su emmesi fazla olduğundan GDA oranı arttıkça betonlar ıslanma kuruma deneyinden daha fazla etkilenmiştir. En az dayanım kaybı KB kodlu betonda ve en yüksek dayanım kaybı GDAİNCE100 kodlu betonda gözlemlenmiştir.

Donatı aderans sonuçları incelendiğinde GDA oranı arttıkça aderans dayanımı düşmüştür. GDA'lı betonlar içinde GB kodlu betonun ortalama bir aderans dayanımına sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Atık betonların geri dönüşüm agregası olarak betonda kullanılması çevre kirliliğini azalttığı gibi atık malzemeye ekonomik bir değer kazandırmış olacaktır.

#### SİMGELER VE KISALTMALAR (SYMBOLS AND ABBREVIATIONS)

Bu çalışmada kullanılan simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklamalar
KTA	Kırmataş agregası
GDA	Geri dönüşüm agregası
KB	%100 KTA ile üretilen beton (Kontrol betonu)
GB	%100 GDA ile üretilen beton
GDAİNCE20	% 20 ince GDA ikameli beton
GDAİNCE40	% 40 ince GDA ikameli beton
GDAİNCE60	% 60 ince GDA ikameli beton
GDAİNCE80	% 80 ince GDA ikameli beton
GDAİNCE100	% 100 ince GDA ikameli beton
GDAİRİ20	% 20 iri GDA ikameli beton
GDAİRİ40	% 40 iri GDA ikameli beton
GDAİRİ60	% 60 iri GDA ikameli beton
GDAİRİ80	% 80 iri GDA ikameli beton
GDAİRİ100	% 100 iri GDA ikameli beton
GDAİRİ	İri GDA ikameli beton
GDAİNCE	İnce GDA ikameli beton
RCA	Recycled concrete aggregates
CSA	Crushed stone aggregate
CC	Concrete produced with 100% CSA (Control concrete)
S/Ç	Su/çimento
BHA	Birim Hacim Ağırlık

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Mehta, K. P. "Greening of the Concrete Industry for Sustainable Development", *Concrete International*, 24: 23-28, (2002).
- [2] Erdoğan, T. "Beton (1. Baskı)", *ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş.*, Ankara, (2003).
- [3] Neville, A.M. "Properties of Concrete (Third Edition)", *Longman Scientific and Technical*, New York, (2000).
- [4] Postacıoğlu, B. "Beton bağlayıcı maddeler, Agregalar, Beton", Cilt 2, *Teknik Kitaplar Yayınevi*, İstanbul, (1987).
- [5] Öztürk, M. "İnşaat/Yıkıntı Atıkları Yönetimi", *Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara, (2005).
- [6] Chandra, S. "Implications of using recycled construction and demolition waste as aggregate in concrete", *Paper presented at International Conference on Sustainable Waste Management and Recycling*, Kingston University, London, 105-114, (2004).
- [7] Arıoğlu, E., Köylüoğlu, Ö.S. ve Arıoğlu, N. "Dünyadaki geri kazanılmış agrega üretim ve politikalarının gözden geçirilmesi ve ülkemiz açısından irdelenmesi", *1. Ulusal Kırmataş Sempozyumunda sunuldu*, İstanbul, 33-52, (1996).
- [8] Çelik, B. "Recycled Aggregate Concrete at Elevated Temperatures", *Doktora Tezi*, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, (2007).
- [9] Kou, S.C., Poon, C.S. and Chan, D.C. "Influence of fly ash as cement replacement on the properties of recycled aggregate concrete", *ASCE Journal of Material In Civil Engineering*, 9: 709-715, (2007).
- [10] Katz, A. "Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete", *Cement and Concrete Research*, 33(2): 703-711, (2003).
- [11] Köken, A., Köroğlu, M.A ve Yonar, F. "Atık Betonların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği", *Selçuk Üniversitesi Teknik-Online Dergi*, 7: 36-48, (2008).
- [12] Brito, J., Ferreira, J., Pacheco, J., Soares, D. and Guerreiro, M. "Structural, material, mechanical and durability properties and behaviour of recycled aggregates concrete", *Journal of Building Engineering*, 6: 1-16, (2016).
- [13] Hansen, T.C. and Narud, H. "Strength of Recycled Concrete Made from Crushed Concrete Coarse Aggregate", *ACI Concrete International, Design and Construction*, 5:79-83, (1983).
- [14] Topcu, B. I. and Guncan, F. N. "Using waste concrete as aggregate", *Cement and Concrete Research*, 25: 1385-1390, (1995).
- [15] Malesev, M., Radonjanin, V. and Marinkovic, S. "Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production", *Sustainability*, 2: 1204-1225, (2010).
- [16] Günçan, N.F. Eski Beton Kırığı Agregalı Betonların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, (1995).
- [17] Durmuş, G., Şimşek, O. ve Dayı, M. "Geri dönüşümlü iri agregaların beton özelliklerine etkisi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(1): 183-189, (2008).
- [18] Chen, H.J., Yen T. and Chen K.H. "Use of building rubbles as recycled aggregates", *Cement and Concrete Research*, 33: 125-132, (2003).
- [19] Turanlı, L. "Atık betonların yeni betonda kaba agrega olarak kullanılması", *Hazır Beton*, 61-66, (1998).

- [20] Demirel, C. “Yaşı ve Sınıfı Belli Geri dönüşüm Agregalarının Betonda Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2012).
- [21] Tüfekçi, M.M. “Geri Kazanılmış Agregaların Beton Üretiminde Yeniden Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, (2011).
- [22] Kim, S., Yun, H., Park, W., and Jang, Y. “Bond strength prediction for deformed steel rebar embedded in recycled coarse aggregate concrete”, *Materials & Design*, 83: 257-269, (2015).
- [23] Prince, M.J., and Singh, B. “Bond behavior of deformed steel bars embedded in recycled aggregate concrete”, *Construction and Building Materials*, 49: 852-862, (2013).
- [24] Xiao, J., and Falkner, H. “Bond behavior between recycled aggregate concrete and steel rebars”, *Construction and Building Materials*, 21: 395-401, (2007).
- [25] Guerra, M., Ceia, F., Brito, J. and Júlio, E. “Anchorage of steel rebars to recycled aggregates concrete”, *Construction and Building Materials*, 72: 113-123, (2014).
- [26] Yılmaz, Ş. “Seyitömer Termik Santrali Atık Uçucu Küllerinin Yapı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi”, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 45-66, (1992).
- [27] Şimşek, O. “Beton ve Beton Teknolojisi (5. baskı)”, *Seçkin Yayıncılık*, Ankara, 46-109, (2016).
- [28] ASTM C 618. “Standart Specification for Coal Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete”, (1998).
- [29] Atış, C., Kılıç A. and Sevim U.K. “Strength and shrinkage properties of mortar containing a nonstandard high-calcium fly ash”. *Cement and Concrete Research*, 34, 99-102, 2004.
- [30] Baradan, B. “Yapı Malzemesi II”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları*, İzmir, (1996).
- [31] Wang, K., Shah S.P. and Phuaksuk P. “Plastic shrinkage cracking in concrete materials- Influence of fly ash and fibers”. *ACI Materials Journal*, 6: 458-464, (2001).
- [32] Lee, H. K., Lee K.M., Kim B.G. “Autogenous shrinkage of high-performance concrete containing fly ash”. *Magazine of Concrete Research*, 55 (6): 507-515, (2003).
- [33] Öner, A., Direr, S. ve Sevgül, T. “İslenme Kuruma Çevrimi - Dinamik Elastisite Modülü İlişkisi”, *İzmit : Kocaeli Üniversitesi*, (2014).
- [34] TS EN 934-2+A1. “Kimyasal katkıları - Beton, harç ve şerbet için - Bölüm 2: Beton kimyasal katkıları - Tarifler, gerekler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme”, (2012).
- [35] TS EN 933-1. “Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımının tayini - Eleme yöntemi”, (2015).
- [36] TS EN 1097-6. “Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 6: Tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini”, (2015).
- [37] TS EN 933-3. “Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 3: Tane şekli tayini - Yassılık endeksi”, (2015).
- [38] TS EN 1097-2. “Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 2 : Parçalanma direncinin tayini için yöntemler”, (2015).
- [39] TS 802. “Beton karışım tasarımı hesap esasları”, (2016).
- [40] TS EN 12350-6. “Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 6: Yoğunluk”, (2016).
- [41] TS EN 12350-2. “Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi”, (2010).
- [42] TS EN 12390-3. “Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini”, (2010).
- [43] RILEM/CEB/FIP, “Recommendations on reinforcement steel for reinforced concrete. Revised edition of RC6 of bond test for reinforcement steel: (2) Pull-out test”, (1983).