

Geride Kazanılmış Agregaların Mekanik Ögütme Yöntemi ile İyileştirilmesi*

Hasan Dilbas¹, Özgür Çakır²

Özet

Bu çalışmada, yıkılan bir yapının taşıyıcı elemanlarından elde edilen ve herhangi bir kirlilik (kiremit, mermer, alçı, cam, tahta vs.) içermeyen molozlar (<10MPa) kullanılmış ve laboratuvara getirilen molozlar, laboratuvar tipi çeneli kırıcı ile kırılarak farklı dane boyutlarında geride kazanılmış agrega (RA) elde edilmiştir. Fiziksel özellikleri belirlenen RA, mekanik iyileştirme yöntemlerinden Demir Bilyeli Ögütme-İyileştirme Yöntemi (DBÖİY) ile iyileştirilerek optimizasyon çalışması yapılmıştır. DBÖİY'de, TS EN 1097-6/AC (2006)'a uygun Los Angeles Aşındırma tamburu (100-200-300-400-500 devir) ve çelik bilyeler (0-2-5-7-10-12 adet) kullanılarak RA aşındırılmış, RA üzerinde yapışmış eski harç kalıntısı azaltılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda optimum mekanik iyileştirme 500 devir/10 bilye ile %8,95 ağırlıkça su emme oranına sahip iyileştirilmemiş RA'dan, %0,84 su emme kapasiteli RA ile elde edilmiştir. İyileştirilmiş RA kullanılarak (%0-20-40-60) 350 dozlu, s/ç oranı 0,50 olan S4 işlenebilir sınıfında beton serileri üretilerek taze/sertleşmiş betonların özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, DBÖİY kullanılarak iyileştirilmiş RA ile üretilen betonların yoğunluk, su emme, basınç ve yarmada çekme dayanımlarında olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

GİRİŞ

İnsanoğlu barınma ihtiyacını gidermek amacıyla tarih boyunca

Enhancement of Recycled Aggregate Concrete Properties With Mechanical Grinding Method*

In this paper, the rubbles having compressive strength of <10MPa obtained from a demolished structural elements and contained no impurity (i.e., tile, marble, gypsum, glass, wood) are used. According to the required grain size, the rubbles are crushed by using a laboratory type jaw crusher and recycled Aggregate (RA) with various sizes are obtained. After determination of physical properties of RA, RA is improved by a mechanical enhancement method, Ball Milling Enhancement Method (DBÖİY) with an optimization process. In DBÖİY, a Los Angeles drum and steel balls in conformity with TS EN 1097-6/AC (2006) are considered and RA is abraded as a result of 100-200-300-400-500 drum rotations with 0-2-5-7-10-12 steel balls. Then, so attached old cement paste content on RA decreases due to the abrasion effect.

ca çeşitli barınaklar, kulübeler, evler, gökdelenler inşa etmiş ve günümüzde bu durum hızla artan nüfus ve gelişen teknoloji ile gün geçtikçe daha da artmıştır. Ancak yapı alanlarının sınırlı olması ve yapı ihtiyacındaki hızlı artış, mevcut yapıların yıkılıp yeniden yapılmasını zorunlu hale getirmektedir. Bununla birlikte deprem, sel vb. doğal afetler neticesinde yapılarda büyük hasarlar ve çok sayıda yıkımlar oluşmakta ve büyük miktarda yıkıntı atıkları ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan yapı-yıkıntı atıklarında (YYA) kentsel dönüşüm çalışmalarının da büyük bir paya sahip olduğu bilinmektedir. Örneğin, ülkemizde Kentsel Dönüşüm Yasası kapsamında yürütülmekte olan faaliyetler sonucu, açığa çıkan/çıkacak YYA hacminde önemli bir artış oluşmuş ve bu durum çevresel-ekonomik sürdürülebilirliğin sağlanması bakımından önlem alınmasını zorunlu hale getirmiştir. Çevresel etkileri ile beraber ekonomik ağırlığı da dikkate alındığında, inşaat sektörünün karşı karşıya kaldığı YYA

problemi (depolanması, yeniden kullanılabilirliği vb.) son yıllarda birçok araştırmaya konu olmuş, problemin çözülmesine yönelik adımlar da atılmaya başlanmıştır. Bu adımlardan en önemlisi, YYA'nın geride kazanılmış agrega (RA) olarak yeni üretilen betonlarda kullanılabilirliği ile ilgili yapılan çalışmalardır [1-7]. Bu çalışmalarda, RA'nın düşük yoğunluk, yüksek su emme değeri, yüksek miktarda eski harç kalıntısı içermesi vb. olumsuz özelliklerinden dolayı, RA ile üretilen yeni beton-

¹⁾ hdilbas@yildiz.edu.tr ²⁾ cozcgur@yildiz.edu.tr Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul

(*) Türkiye Hazır Beton Birliği tarafından düzenlenen Beton İstanbul 2017 Hazır Beton Kongresi'nde sunulmuştur.

ların performanslarının da olumsuz şekilde etkilendiği ifade edilmektedir [1-5,8].

As a results, 500 rotations - 10 steel balls is found as an optimum rotation-steel balls application in DBÖİY and %0.84 water absorption by weight of RA is obtained (before the tests, RA has %8.95 water absorption by weight). Concrete specimens included 350 kg/m³ cement, %0-20-40-60 RA, 0.5 water to binder ratio at S4 workability class are produced, fresh and hardened state properties of concrete are determined. According to the results, the properties (i.e., density, water absorption, strengths) of concretes included RA improved by using DBÖİY is better.

Elde edildiği kaynağa bağlı olarak çeşitlilik gösteren RA'nın olumsuz özellikleri, farklı yöntemlerle (fiziksel, mekanik ve kimyasal) iyileştirilerek, RA'nın en verimli şekilde yeni üretilen betonlarda kullanımı ile ilgili çalışmalar yaygınlaşmış ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir [9-11]. Yapılan iyileştirme yöntemlerinden mekanik iyileştirme yöntemlerini kapsayan çalışmalar göz önüne alındığında, bu yöntemin optimize edilerek RA'ya uygulanması ile ilgili yeterli çalışmanın bulunmadığı görülmektedir.

Bu çalışmada, literatürdeki sınırlı bilgi birikimini artırmak amacıyla mekanik iyileştirme yöntemlerinden Demir Bilyeli Öğütme İyileştirme

Yöntemi (DBÖİY) optimizasyonu yapılmıştır. Bu yöntem herhangi bir kirlilik (kiremit, mermer, alçı, cam, tahta, yalıtım malzemesi vs.) içermeyen, yıkılmış bir yapının taşıyıcı sistem elemanlarından elde edilen ve mekanik-fiziksel özellikleri belirlenmiş molozlarda gerçekleştirilmiştir. Çeşitli boyutlardaki molozlar elle çekiç yardımıyla ve sonra laboratuvar tipi çeneli kırıcı ile kırılarak farklı tane boyutlarında RA elde edilmiştir. Fiziksel özellikleri belirlenen RA, DBÖİY ile iyileştirilerek optimizasyon çalışması yapılmıştır. DBÖİY'de, TS EN 1097-6/AC (2006)'a uygun Los Angeles Aşındırma tamburu ve çelik bilyeler kullanılarak RA 100-200-300-400-500 devir ve 0-2-5-7-10-12 adet çelik bilye ile aşındırılmış, RA üzerindeki mevcut eski harç kalıntısı azaltılmıştır. İyileştirilmiş RA (%0-20-40-60) kullanılarak 350 dozlu ve s/ç oranı 0,50 olan S4 işlenebilir sınıfında beton serileri üretilerek taze/sertleşmiş betonların özellikleri belirlenmiştir.

2. YÖNTEM

2.1. Malzemeler

Beton üretiminde özellikleri Tablo 1'de verilen TS EN 197-1 (2012)'e uygun CEM I 42,5R tipi çimento, özellikleri Tablo 2 ve 3'te verilen doğal agrega (NA) ve geri kazanılmış agrega (RA) kullanılmıştır. Karışımlarda kullanılan doğal kum silis esaslı, doğal iri agregalar bazalt esaslıdır. Agrega tane dağılımları TS 706 EN 12620 (2009)'ye göre belirlenmiştir.

Tablo 1: Çimentonun özellikleri

SiO ₂ (%)	21,9
CaO (%)	65,0
SO ₃ (%)	2,6
Al ₂ O ₃ (%)	6,0
Fe ₂ O ₃ (%)	3,5
MgO (%)	0,9
Yoğunluk (g/cm ³)	3,14
Klor oranı (%)	-
Özgül yüzey alanı (m ² /kg)	3.520
Kızdırma kaybı (%)	1,1

Tablo 2: Agrega özellikleri

Agrega	Yoğunluk (g/cm ³)	Su emme-ağırlıkça (%)	LA aşınma değeri, %
NA (0-4 mm)	2,74	1,20	-
NA (11,2-22,4mm)	2,67	0,67	21
NA (4-11,2mm)	2,62	0,78	-

Geri kazanılmış agrega kaynağı ise İstanbul'da Kentsel Dönüşüm çalışmaları kapsamında yıkılmış bir yapıya aittir. Yıkımı gerçekleşen yapıdan moloz kütleleri toplanmış ve laboratuvara getirilmiştir. Araziden toplanıp laboratuvara getirilen molozlar üzerinde aşağıdaki işlemler gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak, molozun mekanik ve fiziksel özelliklerini belirlemek üzere, yıkılmış yapıya ait taşıyıcı elemanlardan alınan moloz parçaları üzerinde su emme, yoğunluk ve basınç dayanımı testleri yapılmıştır. Testler moloz parçalarından alınan 100 mm çapında ve 100 mm yüksekliğinde karotlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. RA kaynağı üzerinde mekanik ve fiziksel testlerin yapılması ardından, molozlar çekiçle kırılmış ve 35 mm altındaki çapa sahip olanlar laboratuvar tipi çeneli kırıcı ile 0,125-30 mm aralığında çapa sahip olacak şekilde küçültülmüştür. Literatürde dayanım sınıfları bakımından betonlar düşük, orta ve yüksek dayanımlı olmak üzere üçe ayrılmakta, dayanım sınıfları için sınır değerler sırasıyla; <20 MPa, 20-40 MPa ve >40 MPa olarak ifade edilmektedir [12]. Bu bağlamda, Tablo 4 incelendiğinde, RA kaynağının 8,05 MPa basınç dayanımına (düşük dayanım sınıfı) sahip olduğu görülmektedir.

İkinci olarak, 0,125-30mm aralığında üretilen RA 0-4 mm, 4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm olarak üç farklı tane sınıfına ayrılmış ve depolanmıştır. Bu çalışmada 0-4 mm aralığındaki RA'lar kullanılmamış, 4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm boyutlu RA örnekleri üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler yapılmıştır

(su emme, yoğunluk, Los Angeles Aşınma) [TS EN 1097-6/ AC (2006) ve TS EN 1097-2 (2010)]. 4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm boyutlu RA'lara ait sonuçlar Tablo 3'te verilmiştir.

Üçüncü olarak, 11,2-22,4 mm boyutlu RA numuneleri üzerinde DBÖİY optimizasyon işlemi uygulanmış ve bu işlemde Los Angeles Aşınma Deneyinde kullanılan tambur ve bilyeler kullanılmıştır [TS EN 1097-2 (2010)]. Her seferinde 5 kg RA kullanılmış, RA'ya 100-200-300-400-500 devir dönme (R) ve 0-2-5-7-10-12 bilye (SB) uygulanmış ve toplamda 30 test gerçekleştirilmiştir. Her devir-bilye uygulaması sonrasında RA tamamen tamburdan çıkartılmış ve bir torba içinde depolanmıştır. Torba üzerine numunelere uygulanan devir ve bilye sayısını belirten kodlar yazılmıştır (örneğin; **300 devir ve 2 bilye için 300R-2SB**).

Dördüncü olarak, her bir işlem uygulanmış 5 kg RA'nın nihai

dane çapı dağılımı belirlenmiş ve 0-4 mm, 4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm olarak üçe ayrılmıştır. 4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm çapa sahip RA'lar üzerinde su emme, yoğunluk testleri yapılmıştır. Bu çalışmada, 0-4 mm RA dikkate alınmamıştır. Sonuçlar Tablo 5-6'da verilmiştir. Tablo 5-6'da verilen sonuçlar dikkate alındığında, en düşük su emme değerinin 500R-10SB serilerinde sağlandığı (%0,84) görülmektedir. Buradan hareketle, 500R-10SB işleminde kullanılan devir ve bilye sayısı (500 devir ve 10 bilye) optimum devir - bilye olarak kabul edilmiştir. Ayrıca, 500R-10SB işlemi sonrası elde edilen iyileşmiş RA (RA-i) üzerinde Los Angeles aşınma testi gerçekleştirilmiş ve aşınma değeri %28 olarak bulunmuştur (Tablo 3).

Beşinci olarak, yeterli miktarda RA-i üretilmiş ve üretilen agregalar her bir elek aralığına ayrılarak depolanmıştır. Elde edilen tüm agregalar, yıkama işleminden geçirilerek tozdan arındırılmıştır.

Tablo 3: DBÖİY uygulanması öncesi ve sonrası RA'ya ait özellikler

Agrega		Su emme- ağırlıkça (%)	Yoğunluk (gr/cm ³)	LA aşınma değeri, (%)
İyileşme öncesi	RA (11,2-22,4 mm)	8,95	1,80	55
İyileşme sonrası	RA-i (4-11,2 mm)	2,00	2,49	-
	RA-i (11,2-22,4 mm)	0,84	2,47	28

Tablo 4: RA kaynağı molozlardan elde edilen 100Φ100mm karot numunelerde belirlenen mekanik ve fiziksel özellikler

Numune no	Yoğunluk (g/cm ³)	Su emme - ağırlıkça (%)	Basınç dayanımı (MPa)
1	2,01	10,2	6,12
2	2,01	10,5	6,10
3	2,18	7,4	10,95
4	2,08	8,7	12,09
5	2,08	8,6	11,77
6	2,03	9,7	8,91
7	1,91	12,5	4,35
8	1,96	11,5	5,09
9	1,81	12,2	8,60
10	1,98	9,2	7,26
11	2,05	9,7	9,22
12	1,97	11,4	6,74
13	1,92	12,9	6,19
14	1,79	11,5	4,87
15	2,08	8,9	10,23
16	2,19	6,8	10,38
Ortalama	2,00	10,11	8,05
Standart sapma	0,11	1,80	2,54

Tablo 5: DBÖİY sonrası RA yoğunluk değerleri

	RA (4-11,2mm) (g/cm ³)						RA (11,2-22,4 mm) (g/cm ³)					
	0 SB	2 SB	5 SB	7 SB	10 SB	12 SB	0 SB	2 SB	5 SB	7 SB	10 SB	12 SB
100 R	2,00	1,96	1,68	1,85	2,43	2,26	2,04	1,78	1,77	2,16	2,32	2,34
200 R	2,19	2,15	2,13	2,10	2,32	2,37	1,75	2,24	2,32	2,32	2,51	2,41
300 R	2,15	2,03	2,27	2,22	2,29	2,28	2,32	2,28	2,23	2,37	2,32	2,36
400 R	2,03	2,03	1,82	2,31	2,44	2,34	2,08	2,09	2,22	2,18	2,43	2,73
500 R	2,29	2,19	2,20	2,45	2,49	2,40	2,38	2,41	2,38	2,42	2,47	2,47

Tablo 6: DBÖİY sonrası RA ağırlıkça su emme değerleri

	RA (4-11,2mm) (%)						RA (11,2-22,4 mm) (%)					
	0 SB	2 SB	5 SB	7 SB	10 SB	12 SB	0 SB	2 SB	5 SB	7 SB	10 SB	12 SB
100 R	8,43	9,97	7,81	6,28	5,62	7,67	13,34	8,19	6,16	6,17	4,73	3,77
200 R	6,38	7,53	7,57	7,25	4,36	4,03	7,14	6,52	2,71	3,37	3,50	1,63
300 R	6,48	6,58	5,26	5,93	3,99	3,46	4,48	5,34	4,29	3,14	3,08	3,48
400 R	7,14	6,41	6,36	6,00	2,66	2,05	5,71	6,77	4,08	9,96	1,45	1,24
500 R	4,24	6,31	5,68	2,56	2,00	2,14	2,82	1,98	2,03	1,14	0,84	0,96

2.2. Beton Karışımı

350 kg/m³ dozlu, etkili su/çimento oranı 0,5 olan, NA, RA ve RA-i içeren 7 grup beton üretilmiş ve karışımlara ait kodlamalar Tablo 7'de verilmiştir. Karışım, mutlak hacim yöntemi ile tasarlanmış olup [TS 802 (2016)] karışımlarda kullanılan malzemeler Tablo 8'de verilmiştir. Beton numuneler, özellikleri Tablo 9'da verilen polikarboksilik eter esaslı hiper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı (%0,40~0,60 oranında) kullanılarak TS EN 206-1 (2002)'e uygun S4 işlenebilirlik sınıfında üretilmiştir.

Tablo 7: Beton karışımları

Grup Adı	Açıklama
NAC	NA (0-4mm, 4-11,2mm ve 11,2-22,4mm) içeren geleneksel beton
RA1C	RA (4-11,2mm) ve NA (0-4mm ve 11,2-22,4mm) içeren beton
RA2C	RA (11,2-22,4mm) ve NA (0-4mm ve 4-11,2mm) içeren beton
RA12C	RA (4-11,2mm ve 11,2-22,4mm) ve NA (0-4mm) içeren beton
RA1C-i	RA-i (4-11,2mm) ve NA (0-4mm ve 11,2-22,4mm) içeren beton
RA2C-i	RA-i (11,2-22,4mm) ve NA (0-4mm ve 4-11,2mm) içeren beton
RA12C-i	RA-i (4-11,2mm ve 11,2-22,4mm) ve NA (0-4mm) içeren beton

Tablo 8: Beton grupları ve kullanılan malzeme miktarları

Karışım	Çimento, kg/m ³	Slump sınıfı	Kim. Katkı (%)	Su, kg/m ³	NA (4-11,2mm), kg/m ³	NA (11.2-22,4mm), kg/m ³	Kırma kum, kg/m ³	Doğal kum, kg/m ³	RA, kg/m ³				
									16mm	11.2mm	8mm	4mm	2mm
NAC	350	S4	0,60	175 (179)	369	737	780	467	-	-	-	-	-
RA1C	350	S4	0,60	175 (192)	-	737	780	467	2	43	119	128	0
RA2C	350	S4	0,55	175 (203)	369	-	780	467	233	311	61	5	37
RA12C	350	S4	0,65	175 (217)	-	-	780	467	235	354	180	133	37
RA1C-i	350	S4	0,60	175 (182)	-	737	780	467	2	43	119	128	0
RA2C-i	350	S4	0,55	175 (178)	369	-	780	467	233	311	61	5	37
RA12C-i	350	S4	0,40	175 (182)	-	-	780	467	235	354	180	133	37

Tablo 9: Kimyasal katkı içeriği

İçerik	Katkı (Hiper akışkanlaştırıcı)
Yapısı	Polikarboksilik eter
Renk	Amber
Yoğunluk (kg/l)	1,08-1,14
Alkalin oranı (%)	<3
Klor oranı (%)	<0,1

2.3. Beton Numunelerin Kürü ve Testler

Üretilen 100Φ200 mm ve 150Φ300 mm boyutlu numuneler 24 saat kalıpta tutulduktan sonra kalıptan çıkartılmış ve kirece doymun suda 20±2°C'de 28 güne kadar kür edilmiştir [TS EN 12390-2 (2010)]. Sertleşmiş betonda; ağırlıkça su emme deneyi 100Φ200 mm boyutlu numuneler üzerinde, yoğunluk deneyi [TS 12390-7 (2010)] 100Φ200 mm boyutlu numuneler üzerinde suya doymun durumda, yarmada çekme dayanımı deneyi [TS EN 12390-6 (2010)] 100Φ200 mm boyutlu numuneler üzerinde ve basınç dayanımı deneyi [TS EN 12390-3 (2010)] 150Φ300 mm boyutlu numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Tüm deneyler 28. günde gerçekleştirilmiş ve deney sonuçları Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 10: Deney sonuçları

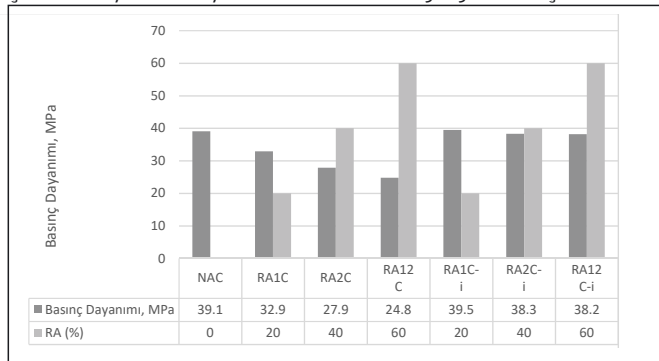
Karışım	RA (%)	Yoğunluk (g/cm ³)	Su emme - ağırlıkça (%)	Basınç dayanımı (MPa)	Yarmada çekme dayanımı (MPa)
NAC	0	2,37	3,93	39,1	2,71
RA1C	20	2,28	5,00	32,9	2,89
RA2C	40	2,20	6,92	27,9	2,14
RA12C	60	2,09	8,49	24,8	1,90
RA1C-i	20	2,34	3,77	39,5	2,64
RA2C-i	40	2,31	4,03	38,3	2,45
RA12C-i	60	2,28	4,35	38,2	2,59

3. SONUÇLAR

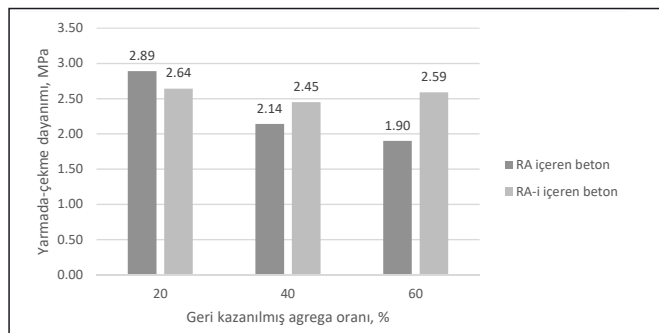
Bu çalışmada, geri kazanılmış agrega elde edildiği hali (RA) ile ve DBÖİY uygulanmış iyileştirilmiş hali (RA-i) ile %0-20-40-60 oranlarında kullanılarak beton serileri üretilmiş ve 28. günde sertleşmiş betonların mekanik ve fiziksel özellikleri belirlenmiştir.

Deney sonuçları Tablo 10 ve Şekil 1-4'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, DBÖİY kullanılarak iyileştirilmiş RA ile üretilen betonların yoğunluk, su emme, basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımlarında olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde betonda artan oranda RA kullanımında dayanımların azaldığı, fakat betonda artan oranda RA-i kullanımında dayanımların pek değişmediği görülmektedir (Şekil 1-2). Örneğin, sırasıyla %20-40-60 RA içeren RA1C, RA2C, RA12C için NAC'a göre bağıl basınç dayanımlarının sırasıyla %16, %29, %37 azaldığı elde edilirken, RA ile aynı oranlarda kullanılan RA-i içeren gruplarda (RA1C-i, RA2C-i, RA12C-i) NAC'a benzer sonuçlar elde edilmiştir (Tablo 10 ve Şekil 1). Diğer yönden, yarmada çekme dayanımları incelendiğinde sırasıyla %20-40-60 RA içeren RA1C, RA2C, RA12C için ve sırasıyla %20-40-60 RA-i içeren RA1C-i, RA2C-i, RA12C-i için NAC 'ye göre bağıl yarmada çekme dayanımları sırasıyla +%7, %-21, %-30 ve %-3, %-9, %-4 şeklindedir (Tablo 10 ve Şekil 2). Geri kazanılmış agrega kullanımına bağlı yarmada çekme dayanım kaybında azalma olduğu görülmüştür.



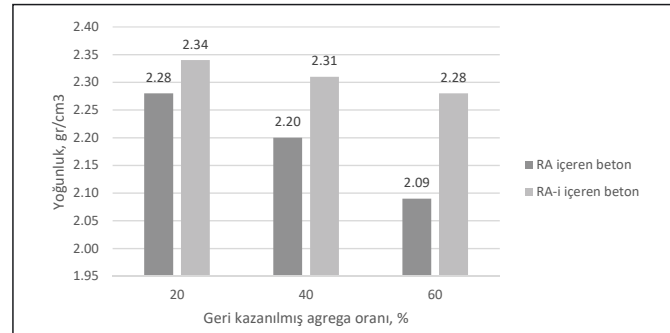
Şekil 1: Basınç dayanımı sonuçları



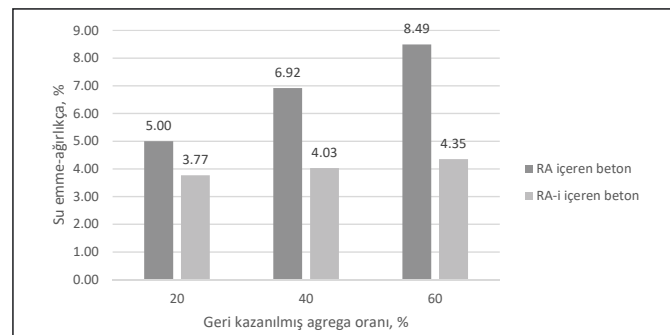
Şekil 2: Yarmada çekme dayanımı sonuçları

Literatür incelendiğinde, %30 RA kullanım oranının optimum olduğu ve dayanımları pek etkilemediği rapor edilmektedir [4]. Fakat bu çalışmada, optimize edilerek kullanılan DBÖİY ile iyileştirilmiş %60 RA-i kullanımında, dayanımların doğal agrega içeren betonlara kıyasla olumsuz etkilenmediği belirlenmiştir. Betonlara ait su emme ve yoğunluk değerleri incelendiğinde, betonda RA oranı arttıkça yoğunluk değerlerinin azaldığı, fakat RA-i oranının artması ile yoğunluk değerlerinin azalışının daha az olduğu belirlenmiştir. Örneğin, sırasıyla %20-40-60 RA içeren RA1C, RA2C ve RA12C için yoğunluk değerleri 2,28

gr/cm³, 2,20 gr/cm³ ve 2,09 gr/cm³ iken %20-40-60 RA-i içeren RA1C-i, RA2C-i ve RA12C-i için yoğunluk değerleri 2,34 gr/cm³, 2,31 gr/cm³ ve 2,28 gr/cm³'tür. Şahit betona (NAC) ait yoğunluk değeri ise 2,37 gr/cm³'tür.



Şekil 3: Yoğunluk deney sonuçları



Şekil 4: Su emme deney sonuçları

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, mekanik iyileşme yöntemi uygulanmış ve uygulanmamış geri kazanılmış agregaların farklı oranlarda kullanımının betonun mekanik ve fiziksel özellikleri üzerine etkileri araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur:

- RA'nın fiziksel ve mekanik özellikleri DBÖİY optimizasyonu ile iyileşmiş ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Örneğin %8,95 ağırlıkça su emme oranına sahip iyileştirilmemiş geri kazanılmış agrega (RA) kullanılarak, %0,84 su emme oranına sahip iyileştirilmiş geri kazanılmış agrega (RA-i) elde edilmiştir.
- RA'nın betonda kullanımı ile dayanımlar azalmış fakat RA-i'nin betonda kullanımı ile dayanımlar pek değişmemiştir. Ayrıca %60'a kadar RA-i kullanımı durumunda basınç dayanımları en fazla % -2 değişim göstermiştir.
- Literatürde, geri kazanılmış agregalı beton üretiminde yaklaşık %5-10 [13][14] ek çimento kullanımı ile doğal agregalı betonlara benzer dayanım özelliklerine sahip betonların elde edilebileceği önerilirken, bu çalışmada DBÖİY opti-

zasyonu ile elde edilen geri kazanılmış agregalı betonlarda, ilave çimento kullanılmadan yaklaşık aynı dayanımlar elde edilmiştir. Bu durum, optimize edilmiş DBÖİY kullanımının çimentodan kaynaklı ek karbon salınımına neden olmadan aynı dayanımların elde edilebileceğinin göstergesidir.

Bilgi

Bu çalışma, yazarlardan Yük. İnş. Müh. Hasan DİLBAS'ın doktora çalışmasının ön-deneysel çalışmalarının bir kısmını oluşturmaktadır.

Kaynaklar

1. Wardeh, G., Ghorbel, E., "Mechanical Properties of Recycled Concrete : An Analytical Study", **Int. Symp. Eco-Crete**, 2014.
2. Çakır, Ö., "Experimental Analysis of Properties of Recycled Coarse Aggregate (RCA) Concrete with Mineral Additives", **Constr. Build. Mater.**, No: 68, pp. 17-25, 2014.
3. Poon, C.S., Chan, D., "Effects of Contaminants on the Properties of Concrete Paving Blocks Prepared with Recycled Concrete Aggregates", **Constr. Build. Mater**, No: 21, pp. 164-175, 2007.
4. Dilbas, H., Şimşek, M., Çakır, Ö., "An Investigation on Mechanical and Physical Properties of Recycled Aggregate Concrete (RAC) with and without Silica Fume", **Constr. Build. Mater**. No: 61, pp. 50-59, 2014.
5. Dilbas, H., Çakır, Ö., "Fracture and Failure of Recycled Aggregate Concrete (RAC) - A Review", **Int. J. Concr. Technol.** No:1, pp. 31-48, 2015.
6. Dilbas, H., Çakır, Ö., Şimşek, M., "Recycled Aggregate Concretes (RACs) for Structural Use: An Evaluation on Elasticity Modulus and Energy Capacities", **Int. J. Civ. Eng.** No: 15 (2), pp. 247-261, 2016.
7. Chen, G.M., Yang, H., Lin, C.J., Chen, J.F., He, Y.H., Zhang, H.Z., "Fracture Behaviour of Steel Fibre Reinforced Recycled Aggregate Concrete After Exposure to Elevated Temperatures", **Constr. Build. Mater**. No: 128, pp. 272-286, 2016. doi:10.1016/j.conbuildmat.2016.10.072.
8. de Brito, J., Saikia, N., **Recycled Aggregate in Concrete Use of Industrial, Construction and Demolition Waste**, Springer Press, 2013.
9. Abd Elhakam, A., Mohamed, A.E., Awad, E., "Influence of Self-healing, Mixing Method and Adding Silica Fume on Mechanical Properties of Recycled Aggregates Concrete", **Constr. Build. Mater**. No: 35, pp. 421-427, 2012.
10. de Brito, J., Barra, M., Ferreira, L., "Influence of the Pre-saturation of Recycled Coarse Concrete Aggregates on Concrete Properties", **Mag. Concr. Res.** No: 63, pp. 617-627, 2011.
11. Shi, C., Li, Y., Zhang, J., Li, W., Chong, L., Xie, Z., "Performance Enhancement of Recycled Concrete Aggregate - A review", **J. Clean. Prod.**, No: 112, pp. 466-472, 2015.
12. Mehta, P.K., Monteiro, P.J.M., "**Concrete - Microstructure, Properties and Materials**, Third Edit, The McGraw-Hill", New York, 2006.
13. Marinkovic, S., Radonjanin, V., Malesev, M., Ignjatovic, I., "Comparative Environmental Assessment of Natural and Recycled Aggregate Concrete", **Waste Manag.** No: 30, pp. 2255-2264, 2010.
14. M. Etxeberria, E. Vázquez, a. Marí, M. Barra, "Influence of Amount of Recycled Coarse Aggregates and Production Process on Properties of Recycled Aggregate Concrete", **Cem. Concr. Res.** No: 37, pp. 735-742, 2007.