

Gerİ Dönüşümlü Agreganın Beton Üretiminde Kullanılabilirliği*

İrfan KADİROĞLU¹, Erdem ÖZ¹,
Oğuzhan TEZCAN¹, Efe Behlül KURU¹

Özet

Dünyada ve ülkemizde çeşitli sektörlerde ortaya çıkan atıkların tekrar üretimde kullanımı çevre ve ekonomiye katkı açısından önemlidir. Türkiye’de inşaat atıklarının miktarı düşünüldüğünde, geri dönüşüm agregasının (GDA) kullanımının çevresel ve ekonomik çerçevede ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Halen yürürlükte olan kentsel dönüşüm süreci sonucu ortaya çıkan inşaat atıklarının da yine çevresel ve ekonomik açıdan kazanımı konuyu daha önemli kılmaktadır. Bu nedenle önümüzdeki dönemde çeşitli yollarla elde edilen geri dönüşüm agregalarının kullanımı kaçınılmaz olacaktır.

Bu çalışmada %0 ile %25 arasında değişen oranlarda geri dönüşüm agregasının doğal agrega ile ikamesinin, üretilen beton karışımlarındaki taze ve sertleşmiş beton üzerine etkileri incelenmiştir. İkame olarak kullanılan geri dönüşüm agregası iki ayrı grupta çalışmaya tabi tutulmuştur. Birinci grup çalışmada yalnızca doğal agregaların yanında geri dönüşüm agregaları kullanılmıştır. İkinci grup çalışmada ise geri dönüşüm agregaları yanında yıkılan binaların atıkları kullanılmıştır. Yapılan bu çalışma sonucunda karışım dizaynlarında önemli bir değişiklik yapılmadan %5 oranında geri dönüşüm agregası kullanılabileceği belirlenmiştir.

1. Giriş

Son yıllarda hızla artan nüfus ve kaynak yetersizliği dünyanın yüzleştiği ve etkili çözüm arayışlarına girdiği en önemli konulardan bir tanesidir. Bu çözümlerin arayışlarında yalnızca kaynakların en verimli şekillerde kullanılması değil aynı zamanda; hâlihazırda enerji ve doğal kaynak tüketilerek üretilmiş ve atık haline gelmiş malzemelerin geri dönüşüm, geri kazanım veya tekrar kullanım yollarıyla yeniden değerlendirilmeleri de ciddi önem taşımaktadır. Oikonomou [1] yaptığı çalışmada inşaat sektörünü, doğal kaynakların %50’sini, enerjinin %40’ını kullanan, atıkların %50’sinin ait olduğu sektör olarak tanımlamıştır.

Avrupa Çevre Ajansı ve Eurostat’ın verilerine göre, Türkiye’nin de içinde bulunduğu Avrupa’daki 28 ülkenin 2012 yılında ürettiği toplam atık miktarı 2.514 Gt (10⁹ ton) olup inşaat sektörünün payı 8.212 Mt (10⁶ ton) olarak belirtilmiştir [2, 3]. Genel olarak inşaat sektöründen kaynaklanan atık üretimiyle ilgili detaylı ve sağlıklı istatistikî bilgiler bulunmadığından, Türkiye Hazır Beton Birliği’nin derlediği 2012 yılına ait hazır beton üretiminin 93 milyon m³’ten fazla olduğu göz önüne alındığında geri dönüşüm konusunun önemi daha iyi anlaşılmaktadır [4]. İnşaat atıklarının dolayısıyla geri dönüşüm agregası (GDA) kullanımının çevre ve ekonomi üzerindeki direkt etkilerinin yanında dolaylı bir etkisi de ciddi önem arz etmektedir. Kentsel dönüşüm 2005 yılında ilk kez eskiyen kent kısımlarının yeniden inşası ve restorasyonu, daha sonra ise afet riski altındaki alanların dönüştürülmesi olarak karşımıza çıkmıştır.

Utility of Recycled Aggregate in Concrete Production

The reuse of the wastes, incl. construction demolition wastes, arise from variety of national and global sectors gains importance with regards to enviromental and economical points of view. The recovery of construction demolition wastes due to the current urban renewal procedure also makes this issue important. Depending on these reasons, the usage of recycled aggregates obtained by means of different recycling procedures is expected to be inevitable.

(1) Batı Beton Sanayi A.Ş., İzmir (irfankadiroglu@batibeton.com.tr , erdemoz@batibeton.com.tr , oguzhantezcan@batibeton.com.tr , efekuru@batibeton.com.tr)

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

Önümüzdeki 20 yıl boyunca birinci derece deprem bölgesinde bulunan şehirlerimizdeki riskli ilan edilen alanların ve yapıların dönüşümünün tamamlanacağı söylenebilir. Bu dönüşüm neticesinde iki milyar tona yakın inşaat atığı ortaya çıkacaktır. Açığa çıkan bu inşaat atıkları dolgu malzemesi olarak, agrega ve zemin güçlendirme malzemesi olarak kullanılabilir. [5]

Pek çok çalışmada, GDA kullanımının taze beton ve mekanik özellikler üzerinde genellikle su ihtiyacını artırması, basınç dayanımında düşüşe neden olması, poroziteyi artırması gibi olumsuz etkileri bildirilmiş olsa da, maliyet üzerinde %34-41, CO₂ salınımında ise %23-28 düşüşe olanak tanınması dikkate değer bir noktadır [6, 7]. Literatürde genellikle, betonda GDA kullanımının fiziksel ve mekanik özellikler üzerinde olumsuz etkisi olduğundan bahsedilmiştir. Öte yandan, Libachiya vd. (2000), yaptığı çalışmada iri agreganın %30'unun, ince agreganın ise %20'sinin üstündeki GDA kullanımının dayanım üzerinde daha dikkate değer etki gözlemlendiğini ve yüksek dayanımlı betonlarda bu durumun daha geçerli olduğunu bildirmiştir [8]. GDA özgül ağırlıkları standart agregaların özgül ağırlıklarına göre düşük olduğu için sadece kaba, sadece ince ve her iki agreganın da GDA ile ikame edildiği deney gruplarının birim hacim ağırlıklarının referans karışımlara kıyasla %8-17 arasında bir düşüş gösterdiği bilinmektedir. Bu durumun yanı sıra, Poon vd.'nin 2004'te yaptığı çalışmada yüksek çimento dozajlı beton karışımlarında GDA kullanımının yüzey pürüzlülükleri dolayısıyla şahit karışımlara göre daha olumlu sonuç verebileceği bildirilmiştir [9]. Numunelerin basınç dayanım gelişmelerinin şahit numunelere benzer özellik gösterdiği ancak dayanım değerlerinin artan GDA miktarına bağlı düşüş gösterdiği bildirilmiştir [10]. Grondin, 2011 yılında tamamladığı çalışmada, aynı işlenebilirlik özellikleri için GDA kullanılan karışımın su ihtiyacının ortalama %15 arttığını bildirmiştir [7].

Birbirinden farklı atıkların beton içerisinde değerlendirilmesi pek çok çalışmayla incelenmiş de olsa, literatürdeki çalışmalar genellikle spesifik bir atık üzerine yoğunlaşmış olup çalışmalar bu spesifik atık üzerinde devam etmiş görülmektedir. Kırılmış

tuğla agregası, tuğla tozu, cam agregası, cam tozu vb. pek çok malzeme ayrı ayrı betonda değerlendirilmiş ve birbirinden pek çok anlamda farklı sonuçlar sunmuş da olsa yıkım artıklarının bir bütün halinde olduğu şekliyle betonda kullanımı literatür açısından önemli bir çalışmadır.

Yukarıdaki bilgiler ışığında, ilk deney grubunda çalışmada beton atıkları kırıcıda kırılarak betonda agreganın ağırlığına %5, %10, %15, %20 ve %25'i oranlarda şahit beton dizaynının incelik modülünü sağlayacak şekilde iri ve ince agregaların yerine ikame edilerek kullanılmıştır. İkinci deney grubunda ise beton, siva, şap, seramik, fayans, cam, boya, mermer ve tuğla içeren inşaat moloz atıkları agreganın ağırlığına %5, %10, %15, %20 ve %25'i oranlarında ikame edilerek kullanılmıştır. Her iki deney grubunda da, taze ve sertleşmiş beton özellikleri incelenmiştir. Taze beton özelliklerinden, başlangıç ve 45. dakika sonunda çökme değerleri, birim hacim kütle, başlangıç ve 45. dakika sonunda kimyasal katkı ihtiyacı tespit edilmiştir.

Sertleşmiş beton özelliklerinden ise basınç dayanımı, elastisite modülü, hızlı klor iyon geçiririliği, birim hacim ağırlık değerleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürdeki pek çok çalışmayla benzerlik göstermekte olup, taze beton ve mekanik özelliklerde genellikle olumsuz etkiler gözlenmiştir. Çalışmada geri dönüşüm agregası kullanılan deneylerde, bekleme süresi sonunda betonda oluşan kıvam kayıpları, basınç dayanımının daha fazla azalmaması amacıyla su yerine kimyasal katkı kullanılarak iyileştirilmiş, kıvam hedeflenen değerlerine getirilmiştir.

2. Üretilen Betonlarda Kullanılan Bileşenler ve Özellikleri

2.1. Çimento

Deneyisel çalışmada kullanılan çimento, Batıçim Batı Anadolu Çimento San. A.Ş. tarafından üretilen TS EN 197-1'e uygun CEM II / B-M (L-W) 42,5 R çimentosu olup bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri sırasıyla Tablo 1 ve 2'de verilmiştir:

Tablo 1: Çimentonun fiziksel özellikleri

Malzeme	FİZİKSEL ÖZELLİKLER							
	Özgül Ağır. gr/cm ³	Blaine cm ² /gr	Priz Süresi		Hacim Gen. (mm)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)		
			Baş.	Bit.		2 Gün	7 Gün	28 Gün
Çimento	2,98	3.985	2h 44'	3h 29'	1,56	23,8	40,2	51,7

Tablo 2: Çimento kimyasal özellikleri

Malzeme	KİMYASAL ÖZELLİKLER(%)									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	SO ₃	FCaO	Cl ⁻
Çimento	21,59	7,80	2,41	56,34	0,32	0,88	1,51	3,31	2,02	0,009

2.2. Agregat

Deneysel çalışmada kullanılan agregalar, İzmir Bornova'da üretilen kireçtaşı esaslı 0/4 mm kırmakum, 4/16 mm ve 11/22 mm kırmataş agregalarıdır. Agreganın üretiminde kullanılan kireçtaşının kimyasal özellikleri Tablo 3'te, her bir tane sınıfındaki agreganın fiziksel özellikleri Tablo 4'te verilmiştir.

Deneysel çalışmada kullanılan geri dönüşümlü agregalar iki ayrı şekilde gruplandırılmıştır. Yalnızca geri dönüşümden elde edilen betonların kırılmasıyla oluşturulan agregalar Geri Dönüşümlü Agregat (GDA), inşaat moloz atıkları ile ortaya çıkan beton, sıva, şap, seramik, fayans, cam, boya, mermer ve tuğladan elde edilen karışımın oluşturduğu atıklar ise İnşaat Molozu Agregası (İMA) olarak tanımlanmıştır. Oluşturulan bu GDA ve İMA agregaları küp basınç dayanımı 10-15 Mpa arasında olan betonlardan elde edilmiştir.

Tablo 3: Agreganın kimyasal özellikleri

Malzeme	KİMYASAL ÖZELLİKLER (%)									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	SO ₃	KK	Cl ⁻
Kireçtaşı	1,19	0,62	0,09	54,01	0,15	0,05	0,27	0,03	42,98	0,0078

Tablo 4: Agreganın fiziksel özellikleri

Agregat Tane Sınıfı	DYK Özgöl Ağırlık (gr/cm ³)	Su Emme Oranı (%)	0,063 mm'den Geçen İnce Malz. Oranı (%)	Metilen Mavisini Oranı	Parç. Karşı Dir. (%)	Aşın. Karşı Direnç (%)	Tane Dağılımı							
							Elekten Geçen (%)							
							31,5 mm	16 mm	8 mm	4 mm	2 mm	1 mm	0,5 mm	0,25 mm
0-4 (MB1.1)	2,70	0,90	12,13	0,25	-	-	100	100	100	99	75	51	32	22
0-4 (MB2.5)	2,68	0,84	11,34	1,20	-	-	100	100	100	98	73	49	31	20
GDA	2,40	1,21	-	-	-	-	100	100	72	35	20	8	4	2
İMA	2,33	1,57	-	-	-	-	100	100	70	37	23	10	6	3
4-16	2,70	0,31	1,14	-	24	13	100	99	43	6	2	1	1	1
11-22	2,70	0,27	0,53	-			100	33	1	1	1	-	-	-

2.3. Kimyasal Katkı

Beton karışımlarında, yeni nesil süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılmıştır. Kimyasal katkının yoğunluğu 1,068 g/cm³, pH'ı 5,69 olarak tespit edilmiştir.

2.4. Su

Beton karışımlarında TS EN 1008'e uygun beton karma suyu kullanılmıştır.

3. Beton Karışım Dizaynı

Deneyisel çalışmada kullanılan doğal agregası bir grupta kütlece %5, %10, %15, %20 ve %25 yalnızca GDA ve İnşaat Molozu Agregası (İMA) ile ikame edilmiştir. Özellikle yıkım sonrasında oluşan inşaat atıklarının içeriğindeki farklı bileşenlerin yüzdesi yapının inşa edildiği ülke hatta aynı ülkedeki farklı bölgelere göre değişiklik gösterebilmekte olup yaklaşık olarak kullanılan içerikler Tablo 5'te verilmiştir:

Tablo 5: İnşaat Moloz Atığı (İMA) Bileşen İçerikleri

	Beton	Sıva	Şap	Boya	Seramik+Fayans	Cam	Mermer	Tuğla
Pay (%)	75	5	4	0,06	3,2	0,16	0,08	12,5

Deneyisel çalışmada, karışımı suyu miktarı 170 kg/m³ olarak sabit tutulmuş, çimento dozajları ise 280, 320, 360 ve 400 kg/m³ alınarak yapılan deneylerle taze ve sertleşmiş beton özellikleri tespit edilmiştir. Karışımın su miktarlarının 170kg/m³ olarak sabit tutulmasına karşılık kıvam (S4) değerleri bütün karışımlarda aynı olacak şekilde (Çökme 200mm ±20mm) kimyasal katkı ile elde edilmiştir.

Tablo 6'da verilen deney gruplarında her takım için, taze betonda ilk çökme ve 45 dakika sonra çökme, birim hacim kütle (BHK) belirlenmiş olup sertleşmiş betonda ise basınç dayanımı, elastisite modülü tayini, su işleme derinliği ve klor iyon geçirimsizliği tayini deneyleri yapılmıştır.

Tablo 6: Deney grupları ve karışım içerikleri

Deney Grupları			0,4mm (MB 1,1) (%)	0,4mm (MB 2,5) (%)	4/16mm (%)	11/22mm (%)	GDA veya İMA (%)	GDA Başl. Katkı (kg/m³)	İMA Başl. Katkı (kg/m³)
170 kg/m³ Su İçeriği	280	Kontrol	36,5	21	20	22,5	-	3,1	3,1
		5%	36,5	20	16	22,5	5	3,0	3,5
		10%	36,5	19	12	22,5	10	3,2	3,7
		15%	36,5	17	9	22,5	15	3,3	3,7
		20%	36,5	16	5	22,5	20	3,7	4,9
		25%	36,5	16	0	22,5	25	4,0	4,6
	320	Kontrol	34,5	20	21,5	24	-	3,5	3,5
		5%	34,5	19	17,5	24	5	3,5	3,5
		10%	34,5	17,6	13,1	24	10,8	3,6	3,6
		15%	34,5	16,2	9	24	16,3	4,0	4,0
		20%	34,5	15,1	5,1	24	21,3	4,3	4,3
		25%	34,5	13,8		24	27,7	4,9	4,9
	360	Kontrol	32	19,5	23	25,5	-	4,1	4,1
		5%	32	18,3	18,6	25,5	5,6	3,9	3,9
		10%	31,2	18,4	13,7	26	10,7	4,1	4,1
		15%	30	18	10	26	16	4,7	4,7
		20%	29,6	17,4	5,7	26	21,3	5,1	5,1
		25%	28,5	17	3	25	26,5	5,4	5,4
	400	Kontrol	29	17	26	28	-	4,6	4,6
		5%	28,1	16,7	21,8	28	5,4	4,8	4,8
		10%	27,5	16	17,7	28	10,8	5,0	5,1
		15%	26,8	15,5	13,5	28	16,2	5,9	5,2
		20%	25,8	15,2	9,4	28	21,6	6,1	6,6
		25%	25	14,7	5,3	28,3	27	6,7	6,4

Üretilen betonlardan basınç dayanımı için toplam 135 adet 100x100x100 mm küp numune, elastisite modülü tayini için toplam 60 adet 150x300 mm silindir numune, hızlı klor iyon geçirirliği tayini için toplam 40 adet 100x200 mm silindir numune, 60 adet 150x150x150 mm küp numune su işleme derinliği için TS EN 12350-1 standardına uygun bir şekilde oluşturulmuştur. Numune kalıpları TS EN 12390-1'e uygundur. Elastisite modülü Dokuz Eylül Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Laboratuvarında Chord Yöntemi ile tayin edilmiştir. Çökme tayini TS EN 12350-2, taze beton yoğunluğu TS EN 12350-6'ya göre tayin edilmiştir. Deneysel olarak elde edilen beton özellikleri Tablo 7 ve Tablo 8'de verilmiştir.

Tablo 7: GDA ile üretilen betonların taze ve sertleşmiş beton deney sonuçları

DENEY GRUPLARI			GDA Baş. Kıvam (mm)	GDA 45. Dk. Kıvam (mm)	GDA 45. Dk. R.S. Kıvam (mm)	GDA Baş. Kim. Katkı (Kg/m ³)	GDA 45. Dk. Redoz (Kg/m ³)	GDA 28 Gün Bas.Day. (MPa)	GDA BHK. (Kg/m ³)	GDA Elas. Modulu (GPa)	GDA Hızlı Klor Geçir. (Coulomb)
170 kg/m ³ Karışım Suyu Sabit	Çimento dozajı 280 (kg/m ³)	Kontrol	220	210	-	3,1	0,0	39,5	2381	31,6	2986
		5%	210	100	200	3,0	0,4	37,1	2322		
		10%	210	100	210	3,2	0,6	35,5	2321	29,3	2210
		15%	200	70	220	3,3	1,0	34,5	2295		
		20%	220	90	210	3,7	0,7	33,0	2261	26,6	1898
		25%	210	80	205	4,0	0,9	31,2	2241		
	Çimento dozajı 320 (kg/m ³)	Kontrol	230	215	-	3,5	0,1	45,3	2389	35,4	2253
		5%	210	170	210	3,5	0,2	44,9	2358		
		10%	210	120	205	3,6	0,4	41,1	2327	30,5	2187
		15%	210	110	210	4,0	0,7	39,4	2310		
		20%	225	75	215	4,3	0,7	36,0	2298	31,0	2075
		25%	210	60	205	4,9	1,1	34,7	2279		
	Çimento dozajı 360 (kg/m ³)	Kontrol	225	185	215	4,1	0,1	53,0	2408	36,7	2190
		5%	210	175	205	3,9	0,3	52,5	2373		
		10%	220	150	210	4,1	0,4	50,1	2361	32,7	2120
		15%	215	165	205	4,7	0,6	49,1	2350		
		20%	215	120	200	5,1	0,6	47,3	2325	32,0	2017
		25%	205	135	205	5,4	0,5	50,1	2329		
	Çimento dozajı 400 (kg/m ³)	Kontrol	225	195	215	4,6	0,1	62,3	2425	36,7	1790
		5%	210	153	210	4,8	0,3	59,6	2391		
		10%	220	100	215	5,0	0,8	56,3	2390	32,9	1722
		15%	215	125	205	5,9	0,4	59,2	2373		
		20%	220	90	220	6,1	1,1	57,3	2374	35,8	1144
		25%	215	85	210	6,7	0,9	56,5	2368		

*Su işleme derinliği deneyinden tutarlı sonuçlar elde edilemediğinden bu deneye ait sonuçlar çalışmaya eklenmemiştir.

Tablo 8: İMA ile üretilen betonların taze ve sertleşmiş beton deney sonuçları

DENEY GRUPLARI			İMA Baş. Kıvam (mm)	İMA 45. Dk. Kıvam (mm)	İMA Baş. Kıvam (mm)	İMA Baş. Kim. Katkı (Kg/m ³)	İMA 45. Dk. Redoz (Kg/m ³)	İMA 28 Gün Bas.Day. (MPa)	İMA BHK. (Kg/m ³)	İMA Elas. Modülü (GPa)	İMA Hızlı Klor Geçir. (Coulomb)
170 kg/m ³ Karışım Suyu Sabit	Çimento dozajı 280 (kg/m ³)	Kontrol	225	220	-	3,1	0,0	39,1	2381	31,6	2986
		5%	225	215	-	3,5	0,0	40,2	2385		
		10%	220	210	-	3,7	0,0	43,3	2350		
		15%	220	195	210	3,7	0,4	40,2	2305	31,7	1627
		20%	225	150	210	4,9	0,3	40,1	2283		
		25%	220	120	210	4,6	0,6	40,4	2293	31,2	1846
	Çimento dozajı 320 (kg/m ³)	Kontrol	225	235	-	3,5	0,1	45,9	2389	35,4	2253
		5%	225	225	-	3,8	0,0	47,3	2376		
		10%	220	215	-	3,8	0,0	42,9	2344		
		15%	220	120	220	4,1	0,6	38,3	2343	32,8	1161
		20%	225	110	210	4,5	0,7	39,7	2272		
		25%	230	90	220	4,5	1,2	42,1	2284	29,9	1250
	Çimento dozajı 360 (kg/m ³)	Kontrol	225	235	-	4,1	0,1	54,4	2408	36,7	
		5%	225	215	-	4,3	0,0	50,6	2395		2190
		10%	225	215	-	4,3	0,0	52,1	2395		
		15%	220	200	-	4,6	0,5	46,2	2358	33,9	1429
		20%	230	140	210	5,5	0,7	44,7	2332		
		25%	225	85	210	5,4	0,9	51,5	2315	32,2	1875
	Çimento dozajı 400 (kg/m ³)	Kontrol	230	235	-	4,6	0,1	59,8	2425	36,7	1790
		5%	230	230	-	4,8	0,0	58,6	2414		
		10%	220	210	-	5,1	0,0	56,9	2410		
		15%	215	115	205	5,2	0,8	56,5	2338	32,2	1133
		20%	225	190	220	6,6	0,4	54,3	2372		
		25%	230	105	215	6,4	1,2	56,8	2353	34,9	1145

*Su işleme derinliği deneyinden tutarlı sonuçlar elde edilemediğinden bu deneye ait sonuçlar çalışmaya eklenmemiştir.

4. Deney Sonuçlarının İrdelenmesi

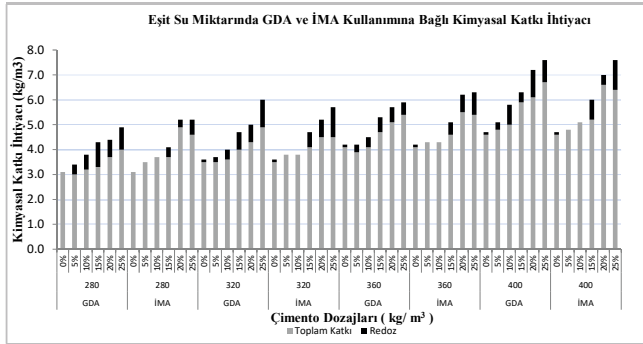
4.1. Taze Beton Özellikleri

4.1.1. Kıvam

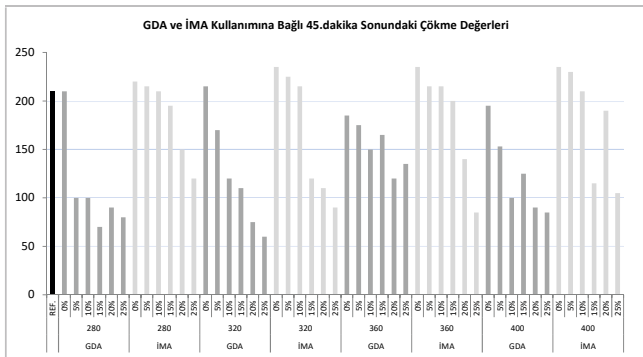
Çalışmada, GDA ve İMA kullanımıyla kıvam kayıplarının arttığı görülmüştür. Dolayısıyla GDA ve İMA kullanım oranının artmasıyla birlikte kaybolan kıvamı başlangıca getirmek için gereken redoz kimyasal katkı miktarı artmıştır.

GDA ve İMA kullanımının, çalışmada hem başlangıç kimyasal katkı oranı hem de 45 dakika sonra oluşan kıvam kaybının iyileştirilmesi amacıyla redoz ihtiyacı ortaya çıkmış olup sonuçlar Şekil 1'de verilmiştir. Ortaya çıkan bu durum, yüzey pürüzlülüğü yüksek olan agregaların aynı işlenebilirlik düzeyi için karışım suyu ihtiyacının artmasına benzer bir durumdan kaynaklanmaktadır. Sonuçlar değerlendirildiğinde, GDA kullanım oranı arttıkça kıvam kayıpları da benzer şekilde artmıştır.

İnşaat molozundan elde edilen İMA kullanımının kıvam kaybına neden olan etkilerine bakıldığında, tüm dozaj gruplarında %20 ve %25 İMA kullanılan karışımlarda hem toplam katkı hem de redoz miktarı tüm deney gruplarına kıyasla daha ciddi artışlar göstermiştir. Bu bağlamda yüksek oranda İMA kullanımının ve GDA kullanımının işlenebilirlik üzerinde olumsuz etkisi olduğu söylenebilir.



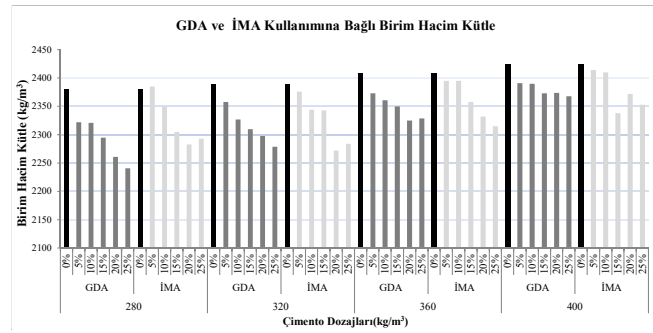
Şekil 1: Eşit Su Miktarında GDA Kullanımına Bağlı Kimyasal Katkı İhtiyacı



Şekil 2: GDA Kullanımına Bağlı 45. Dakika Sonundaki Çökme Değeri

4.1.2. Birim Hacim Kütle

Yalnızca betonların kırılmasıyla elde edilen GDA'nın özgül ağırlığının yaklaşık 2,40 gr/cm³ ve çalışmada kullanılan doğal agregaların özgül ağırlığının 2,70 gr/cm³ olduğu göz önünde bulundurulduğunda artan oranlarda GDA kullanımının birim hacim kütlelerin azalacağı beklenen bir sonuçtur. Şekil 3'te görüleceği üzere, dozaj artışıyla beraber kontrol numunelerinin birim hacim kütlelerindeki artış ve aynı dozaj grubunda artan GDA oranıyla birim hacim kütlelerinde genellikle bir düşüş olduğu görülmektedir.

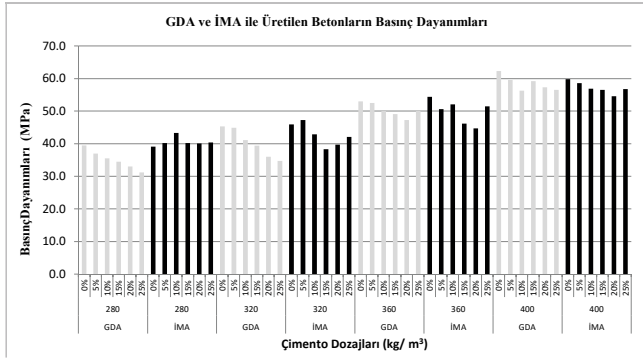


Şekil 3: Kontrol ve deney numunelerinin birim hacim kütleleri

4.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri

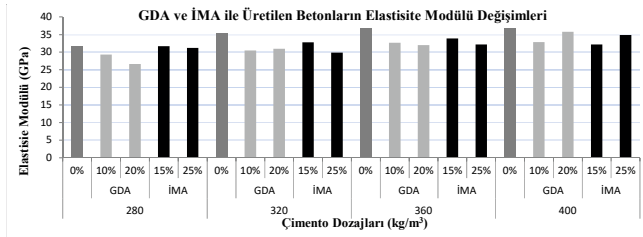
4.2.1. Basınç Dayanımı ve Elastisite Modülü

Bu çalışmada artan GDA içeriğinin basınç dayanımı ve elastisite modülü üzerinde olumsuz etkisi olduğu gözlenmektedir. Şekil 4-5'de görüldüğü gibi, GDA kullanımına bağlı olarak değişen basınç dayanımlarıyla elastisite modülleri benzer şekilde değişiklik göstermiştir. İMA'lı karışım gruplarında basınç dayanımları ve elastisite modüllerinde kontrol numunelerine göre bir düşüş görülmüştür. Fakat basınç dayanımları ve elastisite modüllerindeki düşüş trendi birbirine paralel değildir. Literatürdeki sonuçlara benzer olarak, bu çalışmada da düşük oranda GDA kullanımındaki basınç dayanımı kaybının daha düşük olduğu görülmüştür. 280 ve 320 dozlu GDA karışımlarında %20'lik bir düşüş, 360 ve 400 dozlu GDA karışımlarında %10'luk bir basınç dayanımı düşüşü tespit edilmiştir. %25 GDA ve %25 İMA oranlı 360 ve 400 dozlu karışımlarda basınç dayanımlarında beklenenden daha az bir basınç dayanımı azalması görülmüştür.



Şekil 4: GDA ve İMA ile Üretilen Betonların Basınç Dayanımları

Çalışmada elde edilen ilginç sonuçlardan bir tanesi, İMA kullanılan karışımlarda %15 İMA içeriğine sahip olanların basınç dayanımlarında bir düşüş gözlemlendiği ancak İMA oranının %25'e çıktığında karışımlarda ise %15 İMA içeren karışımlara kıyasla bir artışın söz konusu olduğudur.



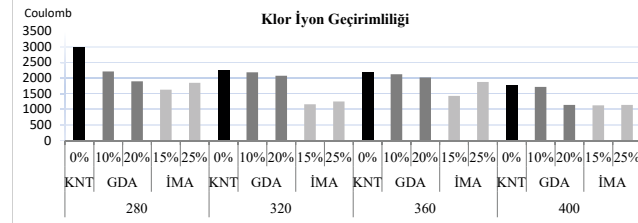
Şekil 5: GDA ve İMA ile Üretilen Betonların Elastisite Modülü Değişimleri

4.2.2. Klor İyon Geçirirliiliği

Betonun dürabilitesinin artırılmasının en etkin yollarından bir tanesi ise betona istenmeyen bileşenlerin girmesini engellemek amacıyla daha az boşluklu, geçirimsizliği yüksek betonların üretilmesidir. Betonun bazik yapısının, çelik donatılar etrafında korozyona karşı bir çeşit koruma kalkını gibi görev aldığı düşünülebilir. Ancak özellikle klor iyonları birbirine bağlı boşluklar vasıtasıyla donatıya taşındığı zaman donatı korozyonu hızlanmaktadır. Klor iyon geçirirliiliği ile ilgili olarak, ASTM C-1202'ye göre geçen yük değeri 100 coulombun altındaysa ihmal edilebilir, 100-1000 C arasındaysa çok düşük, 1000-2000 C arasındaysa düşük, 2000-4000 C arasındaysa orta ve 4000 C'dan büyükse numune yüksek klor iyon geçirirliiliğine sahiptir denmektedir.

Bilindiği üzere çimento dozajı arttıkça s/ç oranı düşmekte ve kapiler boşluklar azalmaktadır. Şekil 6'da dozaj arttıkça ve buna bağlı olarak s/ç oranı azaldıkça klor iyon geçirirliiliği azaldığı görülmektedir. Kontrol numunelerine kıyasla klor iyon geçirirliiliği değerlerinde %4,2 ile %36,1 arasında de-

ğişen oranlarda düşüş gözlenmiştir. Boşluklu yapısı dolayısıyla birim hacim ağırlığında ve dayanımında düşüş meydana gelen GDA içeren karışımların benzer şekilde klor iyon geçirirliiliği değerlerinde bir artış beklense de çalışmada beklenenden farklı bir sonuç elde edilmiştir. Bu durumun, GDA kullanılan beton karışımlarında oluşan boşlukların iletkenliğe olan olumsuz etkisinden kaynaklanması şeklinde yorumlanmıştır.



Şekil 6: GDA ve İMA İçeren Beton Karışımlarının Klor İyon Geçirirliiliği Değerleri

İMA ikamesi ile üretilen beton karışımlarının beklendiği üzere artan dozajlarda daha düşük klor iyon geçirirliiliğine sahip olduğu gözlenmiştir. Ancak basınç dayanımı sonuçlarının tam tersi şekilde; %15 İMA içeren karışımlar beklenenin aksine, %25 oranında İMA içeren karışımlara kıyasla daha düşük klor iyon geçirirliiliği değerleri göstermiştir. Mevcut sonuçlar ışığında, İMA ikamesiyle üretilen beton karışımları için optimum bir ikame yüzdesi söz konusu olabileceği ve bu optimum değer aşıldıktan sonra mekanik özelliklerde olumsuz etkiler ortaya çıkabileceği düşünülmektedir. Bu anlamda İMA ikamesinin miktarı, klor iyon geçirirliiliği ve basınç dayanımı arasında bir ilişki kurulabilmesi, optimum atık malzeme miktarının tayin edilebilmesi adına ileri çalışmalar gerekmektedir.

5. Sonuçlar

- Genel olarak betonun karışım dizaynlarında önemli bir değişiklik yapılmadan %5 oranında geri dönüşüm agregası kullanılabileceği belirlenmiştir. Karışıma %5'ten fazla GDA veya İMA eklenmek istendiğinde, kullanım oranına bağlı olarak karışım dizaynında iyileştirme yapılmalıdır. Elde edilen verilerden düşük dozajlı karışımlarda kontrol betonlarında bulunan basınç dayanım değerini sağlayabilmek için, %15 GDA ya da İMA kullanma durumunda çimento dozajının da yaklaşık %15 artırılması gerekliliği ortaya çıkmıştır.
- Genel olarak betonda GDA ve İMA kullanımının kıvam ve işlenebilirlik üzerinde olumsuz etkisi nedeniyle eşit su miktarları için kimyasal katkı miktarlarında önemli artışa neden olduğu sonucu elde edilmiştir. İMA kullanımının, GDA kullanımına kıyasla işlenebilirliği daha fazla etkilediği, toplam kimyasal

katkı ihtiyacını daha çok artırdığı sonucu elde edilmiştir.

- GDA ve İMA kullanımı beton birim hacim ağılıklarını düşürmektedir.
- GDA ve İMA kullanımının genel olarak mekanik özellikleri olumsuz etkilediği görülmektedir. Ancak GDA ve İMA kullanımında yüksek çimento dozajlı karışımlarda basınç dayanımı kaybının daha az olduğu görülmüştür. Özellikle İMA'lı betonlarda basınç dayanım kaybının daha az olması dikkat çekicidir.
- Doğal agreganın ağırlıkça %25'i oranında İMA ile ikame edilmesiyle elde edilen karışımlar, %15 ile ikame edilmiş karışımlara kıyasla daha yüksek dayanım sonucu verirken, İMA kullanımının elastisite modülünün değişimiyle düzenli bir ilişkisine rastlanmamıştır.
- Klor iyon geçirimliliğinin beklendiği üzere, artan çimento dozajıyla azaldığı ve beklenmedik şekilde artan miktarlarda GDA ikamesiyle azalmaya devam ettiği sonucuna varılmıştır.
- GDA ve İMA kullanımının klor iyon geçirimliliği üzerine etkisi basınç dayanımına olan etkisinin tam tersi şeklinde görülmüştür.

Kaynaklar

- [1] Oikonomou, N., "Recycled Concrete Aggregates", Cement & Concrete Composites, 27, 315-318, 2005.
- [2] European Environment Agency, Waste-State Impact (Turkey), <http://www.eea.europa.eu/soer/countries/tr/waste-state-and-impacts-turkey>, Erişim Tarihi (12.01.2017).
- [3] European Union, File: Waste generation by economic activity and households, 2012 (1000 tonnes), [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Waste_generation_by_economic_activity_and_households_2012_\(1000_tonnes\).png](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Waste_generation_by_economic_activity_and_households_2012_(1000_tonnes).png), Erişim Tarihi (12.01.2017)
- [4] Türkiye Hazır Beton Birliği, Türkiye Hazır Beton Üretiminde Avrupa Birincisi ve Dünya Üçüncüsü, <http://www.thbb.org/media/2084/etkinlikler116.pdf>, Erişim Tarihi (12.01.2017).
- [5] Yürek, C.S., "Kentsel Dönüşüm Uygulamaları-Hukuki, İdari ve Teknik Altyapısı"-İnşaat Mühendisleri Odası -TMH - 478 - 2013/4
- [6] Sonawane, T.R., Pimplikar, S.S., "Use of Recycled Aggregate Concrete", Journal of Mechanical and Civil Engineering, 2278-1684, pp: 52-59.
- [7] Grondin, S., Valorisation des granulats recyclés de béton: étude des caractéristiques physiques et mécaniques de bétons de granulats recyclés de béton, Mémoire Projet, INSA, Strasbourg, 2011.
- [8] Limbachiya, M. C., Leelawat, T. and Dhir, R. K., "RCA Concrete: A study of properties in the fresh state, strength development and durability", Proceedings of an International Symposium, 1998.
- [9] Poon, C. S., Shui, Z. H., Lam, L., Kou, S. C., "Influence of Moisture States of Natural and Recycled Aggregates On The Slump and Compressive Strength of Concrete", Cement and Concrete Research, Vol 34, pp 31-36, 2004.
- [10] Kenai, S., "Performance des Bétons à Base de Granulats Recyclés", Chantiers du Maroc, N°112, 2013.