



Research Article

## Use of Recycled Aggregate Concretes in Road and Site Concretes Subject to Freeze-Thaw Effect

Yeşim Tarhan<sup>1</sup> , Remzi Şahin<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Department of Construction, Ardahan Vocational School of Technical Sciences, Ardahan University, 75002 Ardahan, Türkiye

<sup>2</sup> Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Atatürk University, 25240 Erzurum, Türkiye

\* Correspondence: [yesimtarhan@ardahan.edu.tr](mailto:yesimtarhan@ardahan.edu.tr)

Received: 6 November 2023; Accepted: 7 December 2023; Published: 31 December 2023

**Abstract:** This study investigated the freeze-thaw resistance of concretes containing recycled aggregate (RCA) derived from construction industry waste. In the study, 0%, 30% and 60% RCA was used as a replacement for normal aggregate. Two different maximum aggregate grain sizes (16 mm and 22.4 mm) were selected and two different (0.06% and 0.20%) proportions of air-entraining admixture (AEA) were used. The freeze-thaw resistance of the concrete specimens under de-icing salt (3% NaCl solution) was determined. The experimental results showed that the use of AEA increased the freeze-thaw resistance of the concrete by providing additional voids in the concrete and reducing the capillary permeability of the concrete. As a result, it was concluded that RCA can be used in road and site concretes that are exposed to severe winter conditions.

**Keywords:** recycled aggregate, de-icing salt, concrete road, site concrete

Araştırma Makalesi

## Geri Kazanılmış Agregalı Betonların Donma-Çözülme Etkisi Altındaki Yol ve Saha Betonlarında Kullanımı

**Öz:** Bu çalışmada inşaat sektörünün ürettiği yapısal atıklardan elde edilen geri kazanılmış agrega (GKA) içeren betonların donma-çözülme dirençleri araştırılmıştır. Çalışmada %0, %30 ve %60 oranlarında GKA normal agrega ile yer değiştirilerek kullanılmıştır. İki farklı maksimum agrega tane boyutunun (16 mm ve 22,4 mm) seçildiği çalışmada yine iki farklı (%0,06 ve %0,20) oranda hava sürükleyici katkı maddesi (AEA) kullanılmıştır. Çalışmada beton örneklerin buz çözücü tuz (%3'lük NaCl çözeltisi) altındaki donma-çözülme dirençleri belirlenmiştir. Deney sonuçları GKA kullanımının, betonda ekstra boşluklar sağladığı ve betonun kapiler geçirgenliğini azalttığı için betonun donma-çözülme direncini arttırdığını göstermiştir. Sonuç olarak, yoğun kış koşullarının yaşandığı yol ve saha betonlarında GKA kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** geri kazanılmış agrega, donma-buz çözücü tuz, beton yol, saha betonu.

**Citation:** Y. Tarhan and R. Şahin "Use of Recycled Aggregate Concretes in Road and Site Concretes Subject to Freeze-Thaw Effect", *Journal of Studies in Advanced Technologies*, vol. 1, no. 2, pp. 84-93, Dec 2023, doi: 10.5281/zenodo.10445086

## 1. Giriş

Dünya nüfusunda ve kentleşme potansiyelindeki hızlı artış, birçok alanda gerçekleşen teknolojik gelişmeler, endüstriyel alanlardaki yenilikler, insan gereksinimlerinin hızla değişmesi gibi birçok nedenden dolayı inşaat sektörüne olan ilgi her geçen gün çığ gibi artmaktadır. Bu ilginin karşılanabilmesi doğal hammadde kaynaklarının tüketilmesi ve ortaya çıkan atıkların yol açtığı bir takım ekolojik sorunları beraberinde getirmiştir [1]. Geri kazanım, bu sorunların çözümü için ekolojik ve ekonomik bir çözüm yöntemi olarak öne çıkmaktadır. Geri kazanım atık yönetimi içerisinde değerlendirilen bir işlemdir [2]. Nitekim atık yönetimi; atığın kaynağında azaltılması, özelliğine göre ayrılması, toplanması, geçici depolanması, ara depolanması, geri kazanılması, taşınması, bertarafı ve bertaraf işlemleri sonrası kontrolü ve benzeri işlemleri içeren bir yönetim biçimi olarak tarif edilmektedir [3].

İnşaat sektörü, ham maddesinin %50'sini doğadan sağlar, toplam enerjinin %40'unu tüketir ve toplam atıkların %50'sinin de oluşumuna neden olur [4]. Çevre kirliliğine sebep olan atıkların büyük bir bölümüne yapısal inşaat atıkları sebep olmaktadır. Yapısal inşaat atıklarının da yaklaşık %40'unu beton atıkları oluşturmaktadır [5]. Diğer taraftan, bilindiği üzere dünyada kişi başına en çok düşen malzeme, sudan sonra, betondur. Günümüzde dünyada tahminen 10 milyar metreküp hazır beton üretilmektedir [6]. Bu da dünya nüfusunun 8 milyar olduğu varsayıldığında, kişi başına yaklaşık 1.25 metreküp (yaklaşık 3 ton) hazır beton tüketildiği anlamına gelmektedir.

Bir bina ya da yapının yıkılması ile elde edilen eski beton, kırılarak beton agregası ya da yollarda zemin altı malzemesi olarak yeniden kullanılabilir [7]. Betonun ağır matrisi onu, aynen veya çok az güç ve performans kaybına uğrayarak kullanılabilen ideal bir geri dönüşümlü malzeme yapar. Ancak bu konuda henüz yeterince farkındalık oluşturulamamıştır. Geri kazanılmış agreganın kullanımı oldukça sınırlıdır ve genelde taşıyıcı olmayan alanlarda kullanılmaktadır [8]. Yukarıda verilen bilgilerden hareketle inşaat ve yıkıntı atıklarından elde edilen betonların yeniden kullanımının çevreye ve ekonomiye büyük oranlarda katkısı olacağı net olarak söylenebilir. Agreganın üretimi sırasında kırma, eleme ve nakliye için tüketilen zaman ve enerji miktarındaki azalma da göz önünde bulundurulduğunda sağlanan ekonomik katkının miktarının daha da artacağı ileri sürülebilir [9], [10]. Rao vd. [11]'de de geri kazanılmış agregaların doğal agregalara göre çok daha ucuz olduğu belirtilmiştir.

Literatürde geri dönüşümlü agreganın betonun donma-çözülme direnci üzerine etkisinin araştırıldığı sınırlı sayıda çalışmanın bulunduğu belirlenmiştir [12]. Çelik [13], 50 çevrimlik donma çözülme deneyleri sonucunda geri kazanılmış agregalı betonların donma çözülme-dirençlerinin normal agregalı betonlara göre oldukça yüksek performanslı sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir. Richardson vd. [14] yaptıkları çalışmada bu agregaların olumsuz özelliklerini iyileştirmek için hava sürükleyici katkı ve polipropilen lif katkısı kullanmışlardır. Sonuçta geri kazanılmış agregalı betonların normal agregalı betonlara nazaran donma-çözülme çevrimlerine daha dirençli olduğu görülmüş ve eklenen katkıların da bu direnci olumlu yönde etkilediğini belirtilmişlerdir. Petkovic vd. [15] tarafından çalışmada ise söz konusu agregalarla üretilen betonların donma-çözülme dirençleri açısından uygun olduğunu gösterse de buz çözücü tuzlara maruz bırakılan betonların donma-çözülme dayanımlarının zor şartlarda yeterli olmadığını göstermiştir. Zaharieva vd. [16] ve Medina vd. [17] tarafından yapılan çalışmalarda ise geri kazanılmış agregaların düşük donma-çözülme dirençleri nedeniyle değişken iklimlerde kullanılmaması gerektiği vurgulanmıştır.

Literatürde genel olarak GKA'ların betonların dayanımını düşürdüğü [10], [11], [18]-[20] ve bu nedenle yol ve saha betonlarında kullanılması gerektiği önerilmektedir. Öte yandan, kış aylarında yollardaki buzlanmayı gidermek için yapılan tuzlama çalışmalarının yol kaplamasına zarar verebileceği bilinmektedir. Bu bağlamda bu çalışma, GKA'lar ile üretilen betonların yol kaplaması olarak kullanıldığında buz çözücü bir tuz olan NaCl çözeltisi etkisi altında donma-çözülme direncini araştırmayı amaçlamaktadır. GKA'ların kış koşullarında beton yolların dayanıklılığını artırma potansiyelini anlamak için bu malzemelerin buzlanmayı önleyici tedbirlere nasıl katkı sağlayabileceği ortaya konulmaya çalışılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Kullanılan Malzemeler

Deneylerde Normal Portland Çimentosu (CEM I 42.5R), ince agrega olarak dere kumu, doğal iri agrega olarak kalker esaslı kırma taş ve filler malzeme olarak 0-0.125 mm boyutlu kalker tozu kullanılmıştır. Mineral katkı malzemesi olarak F sınıfı uçucu kül, kimyasal katkı olarak modifiye sentetik karboksilat polimer esaslı yeni nesil süper akışkanlaştırıcı beton katkısı (özgül ağırlığı 1.085) ve hava sürükleyici beton katkısı (AEA, özgül ağırlığı 1.010) kullanılmıştır. Kullanılan çimento ve uçucu külün kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

GKA olarak İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Atık Maddeleri Değerlendirme AŞ (İSTAÇ)’a ait geri kazanım tesisinden temin edilen 4-22.4 mm boyutlarındaki agregalar kullanılmıştır. Tüm agregaların ilgili Türk Standartlarına göre belirlenen bazı fiziksel özellikleri ve özgül ağırlıkları Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Kullanılan çimento ve uçucu külün kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Kompozisyon (%)	Çimento (CEM I 42.5R)				Uçucu Kül (F)			
		SiO <sub>2</sub>	18.72	SO <sub>3</sub>	2.98	SiO <sub>2</sub>	53.69	SO <sub>3</sub>
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.54	Na <sub>2</sub> O	0.19	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.29	Na <sub>2</sub> O	-
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.43	K <sub>2</sub> O	0.68	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.83	K <sub>2</sub> O	2.53
	CaO	62.25	Cl	0.0098	CaO	3.40	Cl	-
	MgO	3.34	Çöz. Kalıntı	0.95	MgO	4.09	Kız. Kaybı	2.01
Fiziksel Karakteristikler	Blaine(cm <sup>2</sup> /g)	3812		4020				
	Özgül Ağırlık	3.13		1.98				
	28-günlük	57.9		-				
	Bas.Day.(MPa)							

**Tablo 2.** Agregaların fiziksel özellikleri

	Tane Yoğ. (g/cm <sup>3</sup> )	Su Emme (%)	Aşınma Oranı (%)	Donma-Çöz. Kütle Kaybı (%)
İnce Agrega	2.44	4.99	-	-
İri Agrega (Kırma Kalker)	2.68	0.96	15.4	0.95
GKA	2.37	6.94	38.04	13.75

Karışımlarda; su/çimento oranı 0.53, bağlayıcı dozajı 350 kg/m<sup>3</sup>, uçucu kül oranı %15 (çimento ile ikame edilerek) ve süperakışkanlaştırıcı oranı % 1.5 olarak sabit tutulmuştur. Buna karşın GKA oranı üç (%0, %30, ve %60), maksimum agrega tane çapı (d<sub>max</sub>) iki (16 mm ve 22.4 mm) ve sürüklenmiş hava miktarı yine iki (0.06% ve 0.20%) farklı seviyede incelenmiştir. Bu parametre ve seviyelerine göre toplam 12 adet karışım üretilmiştir. Agrega oranları ise şu şekilde belirlenmiştir:

- i- Toplam agrega hacminin %5’i oranındaki filler malzeme bütün karışımlar için 93.4 kg/m<sup>3</sup> olarak sabit alınmıştır.
- ii- Daha sonra kalan agrega hacmi her bir tane sınıfı için (yani 0/2, 2/4, 4/8 ve 8/dmax) eşit olacak şekilde (%25 oranında) dağıtılmıştır.
- iii- İnce agrega oranları sabit alınmıştır. Buna göre 0/2 tane sınıfı 392 kg/m<sup>3</sup>, 2/4 tane sınıfı ise 408 kg/m<sup>3</sup> olarak bütün karışımlar için sabit alınmıştır.
- iv- İri agregalar ise karışımlara maksimum tane sınıflarına göre farklı şekillerde konulmuştur. Buna göre; dmax =16 mm olan seriler için iki tane sınıfı (4/8 ve 8/16), dmax =22.4 mm olan seriler için üç tane sınıfı (4/8, 8/16 ve 16/22.4) belirlenmiştir. 4/8 tane sınıfı için tüm karışımlarda NA+GKA oranı %25’dir. 8/dmax için ise ikili (8/16 ve 16/22.4) tane sınıfları için NA+GKA oranı toplamı %25’tir. Çalışmada sadece normal iri agrega aynı boyuttaki GKA ile %0, %30 ve %60 oranlarında yer değiştirilmiştir.

Çalışmada kodlamalarla ilgili olarak aşağıdaki yol izlenmiştir: ilk üç karakter maksimum agrega çapını, ondan sonraki üç (kontrol numunelerinde iki) karakter GKA oranını (yüzde olarak), en son iki ya da üç karakter ise AEA oranını (on binde olarak) göstermektedir. Buna göre örneğin 16D60G20A; 16 mm maksimum agrega çapı, %60 GKA oranı ve %0.20 oranında AEA içeren betonu göstermektedir.

## 2.2. Deneysel Çalışma

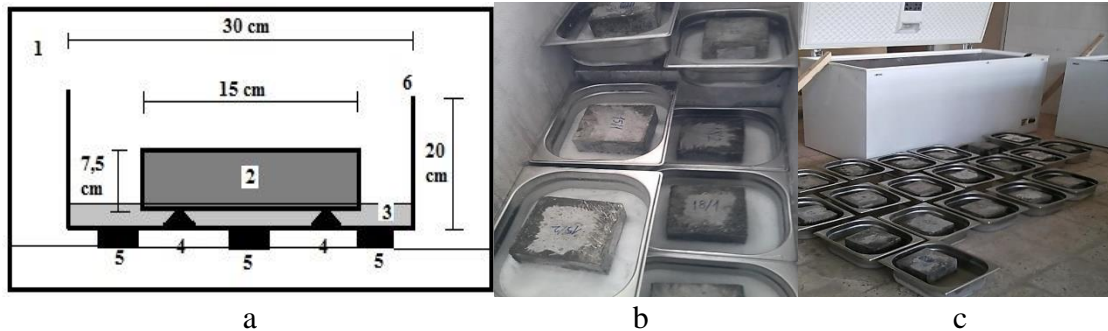
Beton numuneler 60 dm<sup>3</sup> kapasiteli, 25 devir/dk karıştırma hızına sahip, düşey eksenli laboratuvar tipi mikserle karıştırılarak üretilmiştir. Uzun süren ön deneylerden sonra karışıma önce iri agregalar ve toz maddeler (çimento, uçucu kül ve filler malzeme) eklenerek bir ön karıştırma işlemi yapılmıştır. İnce agregaların da eklenmesiyle oluşan karışım 1dk kuru olarak karıştırıldıktan sonra suyun yaklaşık %60'lık kısmı eklenerek 1.5 dk daha karıştırılmaya devam edilmiştir. Ardından kalan suyun yaklaşık %70'lik kısmına süperakışkanlaştırıcı eklenerek 1.5 dk ve kalan yaklaşık %30'luk kısma da AEA eklenerek 1dk daha karıştırılmıştır. Karışım 1dk dinlendirildikten sonra 2 dk daha karıştırılarak beton üretimi tamamlanmıştır.

Beton karışım hesapları TS 802 (Beton karışım tasarımı hesap esasları) [21] standardına göre yapılmıştır. Beton üretimi ise TS EN 206+A2 (Beton-Özellik, performans, imalât ve uygunluk) [22]'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Kontrol betonu (16D0G6A)'na ve 22D60G20A grubuna ait karışım hesapları Tablo 3'de (1 m<sup>3</sup> teki kilogramları olarak) verilmiştir. Karışımlarda başlangıçta çimento dozajı 350 kg/m<sup>3</sup> olarak alınmış, ancak çimento miktarının %15'i kadar (52.5 kg) kullanılan uçucu kül çimento miktarından düşülmüştür. Bu nedenle net çimento dozajı 297.5 kg/m<sup>3</sup> olarak verilmiştir.

**Tablo 3.** Beton karışım hesapları

Grup	Çim ento	Su	Uçucu Kül	Süp. Ak.	AE A	Agrega								
						Filler	0-2 mm	2-4 mm	4-8 NA	8-16 NA	16-22.4 NA	4-8 GKA	8-16 GKA	16-22.4 GKA
16D0G6A	297.5	185.5	52.5	5.3	0.2	93	392	408	426	434	-	-	-	-
22D60G20A	297.5	185.5	52.5	5.3	0.7	93	392	408	170	87	87	219	112	115

GKA ile üretilen betonların donma-çözülme direncinin araştırıldığı bu çalışmada donma- çözülme deneyleri TSE CEN/TS 12390-9 (Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 9: Donma çözülme direnci- Yüzeysel kabuk atma (yüzeysel yıpranma)) [23]'e göre yapılmıştır. Bu standartta betonun donma-çözülmesi için Referans Yöntem ve Alternatif Yöntemler olmak üzere iki farklı ana metottan bahsedilmektedir. Bu çalışmada Alternatif Yöntemlerden CDF deneyi esas alınmıştır. Bu yöntem; numune üretim yönteminin kolaylığı, deney süresinin kısalığı ve de uluslararası bilinirliği nedeniyle seçilmiştir. Bu yöntemde 15x15x15 cm<sup>3</sup> boyutlarındaki kalıbın içine merkezlenmiş politetrafloroetilen (PTFE) plakasının ikiye böldüğü (15cmx15cmx7.5 cm) numunelerin %3'lük NaCl çözeltisi içine kısmen batırılması sonucu oluşan hasarın incelenmesi ile betonların donma-çözülme dirençlerinin tayini yapılmıştır. Bu yöntemde donma-çözülme etkisiyle betonda oluşan hasar, 28 donma-çözülme döngüsü sonunda kabuk atma yoluyla uzaklaşan kütlelerin ölçülmesiyle değerlendirilmiştir. Her numunenin deneye tabi tutulan yüzeyi 150x150 mm<sup>2</sup>'dir. Donma-çözülme deneyi, deney numunesi doymun hale getirilip 28 günlük olunca başlatılmıştır. Kuru halde saklamayı müteakip numuneler Şekil 1(a)'da gösterildiği gibi (5±0.1) mm yükseklikteki takozlar üzerinde deney yüzeyleri aşağıya gelecek şekilde deney kaplarına yerleştirilmiştir. Daha sonra donma sıvısı, numunenin üst yüzeyleri ıslatılmadan (10±1) mm yüksekliğine kadar deney kabı içine dökülmüştür [24]. Şekil 1(b) ve (c)'de CDF yöntemine göre dondurulan ve çözdürülen numunelerin görüntüleri verilmiştir.



**Şekil 1.** CDF Yöntemi' ne göre oluşturulan donma-çözülme deney düzeneği [1: Dondurucu ortam. 2: Numune. 3: Donma sıvısı (%3 NaCl). 4: Takoz (5 mm). 5: Kapların üzerine oturtulduğu mesnetler. 6: Numunenin ve donma sıvısının konulduğu kap] (a), Numunelerin donma tuz çözeltisinde dondurucu ortam içinde dondurulması (b), Numunelerin çözdürülmesi (c).

Donma-çözülme deneylerinde numunelerin maruz kaldığı sıcaklıkların zamanla değişiminin belirlenmesi önem arz etmektedir. Dondurucu ortam tam dolu iken ve numune ile %3'lük NaCl çözeltisinin temas yüzeyine konulan bir termofit yardımıyla okunan sıcaklıklar ölçülerek donma çözülme rejimi belirlenmiştir. Donma-çözülme sıcaklık aralığı (+20°C) / (-20°C), dondurma süresi 16 saat çözülme süresi ise 8 saat olarak belirlenmiştir. Deney esnasında yapılan dondurma ve çözülme görüntüleri Şekil 1' de verilmiştir. Şekil 1 (a)'dan görülebileceği üzere dondurma ortamı havadır. Şekil 2 (a)' donma çözülme çevrimlerinden sonra en çok kabuk atan karışım ile en az kabuk atan karışımın (b) karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 2. Donma-çözülme sonrası en çok kabuk atan karışım (16D0G6A) (a) ve en az kabuk atan karışım (22D30G20A) (b).

### 3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada üretilen beton numuneler üzerinde gerçekleştirilen donma-çözülme deneylerinden elde edilen bulgular Tablo 4' te verilmiştir.

Tablo 4. Betonların yüzeysel kabuk atma miktarlarının çevrim sayısına göre değişimi

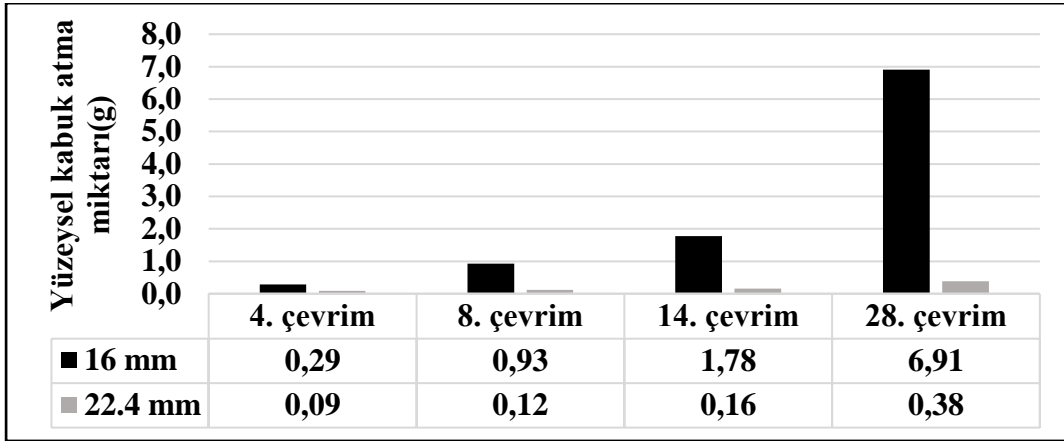
KOD	Pullanma Miktarı (kg/m <sup>2</sup> )				S <sub>n</sub> * (kg/m <sup>2</sup> )
	4. çevrim	8. çevrim	14.çevrim	28. çevrim	
16D0G6A	0.12	0.67	1.49	6.27	8.55
16D0G20A	0.09	0.12	0.15	0.34	0.7
16D30G6A	0.02	0.04	0.06	0.09	0.21
16D30G20A	0.02	0.03	0.03	0.04	0.12
16D60G6A	0.02	0.04	0.02	0.05	0.13
16D60G20A	0.02	0.03	0.03	0.12	0.2
22D0G6A	0.01	0.02	0.03	0.14	0.2
22D0G20A	0.01	0.01	0.01	0.02	0.05
22D30G6A	0.01	0.01	0.01	0.03	0.06
22D30G20A	0.04	0.06	0.02	0.07	0.19
22D60G6A	0.01	0.01	0.04	0.06	0.12
22D60G20A	0.01	0.01	0.05	0.06	0.13

Tablo 4'te verilen bulgulardan hareketle seçilen parametrelerin betonun donma-çözülme davranışı üzerindeki etkisi aşağıda değerlendirilmiştir.

#### 3.1. Maksimum Agrega Çapının Betonların Yüzeysel Kabuk Atma Direnci Üzerindeki Etkileri

Deneylerden elde edilen bulgulardan hareketle maksimum agrega tane çapına göre betonların ortalama yüzeysel kabuk atma miktarları da belirlenmiştir. Elde edilen grafik Şekil 3'de verilmiştir. Grafikten de görülebileceği üzere bütün donma-çözülme deneyleri boyunca (yani tüm çevrimlerde) en fazla kabuk atma miktarı 16 mm' lik maksimum agrega çapına sahip olan betonlarda görülmüştür. Buna karşın en az kabuk atmanın da 22.4mm'lik maksimum agrega çapına sahip olan betonlarda görüldüğü yine aynı grafikten

görülmektedir. Dolayısıyla maksimum agrega tane çapı arttıkça betondaki boşluk miktarı ve buna paralel olarak donma-çözülme direncinin de arttığını savunmak mümkündür.

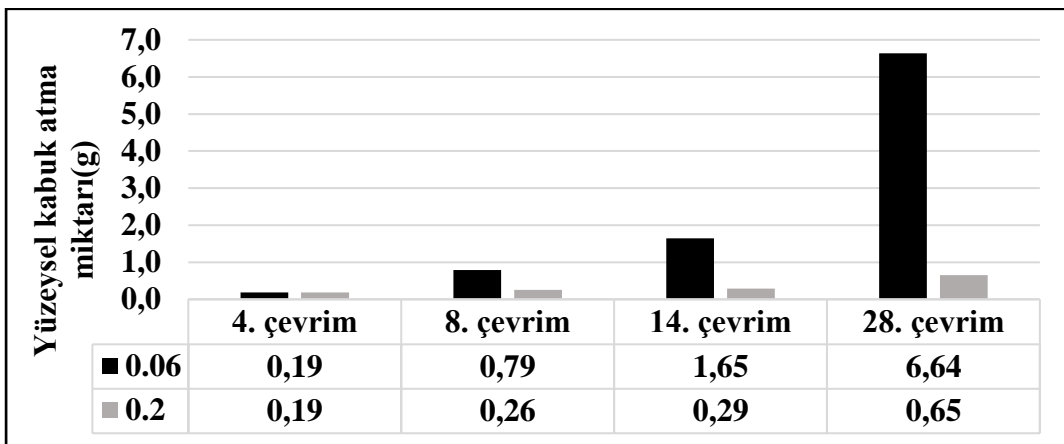


Şekil 3. Maksimum agrega tane çapının karışımların yüzeysel kabuk atmaları üzerindeki etkisi.

Şekil 3' teki grafikten ve Tablo 4'den görülebileceği üzere bütün donma-çözümeye deneyleri boyunca en fazla kabuk atma miktarı 16 mm' lik maksimum agrega çapına sahip olan ve GKA içermeyen betonlarda görülmüştür. Maksimum tane çapı 16 mm olan gruplarda karşına GKA katılması ile kabuk atma miktarının. %0 oranında GKA içeren kontrol betonuna göre kayda değer oranlarda azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Öyle ki, genel olarak GKA miktarının artması ile kabuk atmalarının da azaldığı söylenebilir. GKA oranının artması ile betonların donma-çözülme kaynaklı yüzeysel kabuk atma dirençlerinin arttığı (yani yüzeysel kabuk atma miktarının azaldığı) net olarak görülmüştür. Bu grupta hemen hemen bütün çevrimlerde en iyi sonucu %60 oranında GKA içeren karışımlar vermiştir.

### 3.2. AEA Oranının GKA İçeren Betonların Yüzeysel Kabuk Atma Direnci Üzerindeki Etkileri

DeneySEL çalışma kapsamında üretilen tüm karışımlara iki farklı oranda (%0.06 ve %0.20) hava sürükleyici katkı maddesi katılmıştır. CDF Yöntemi' ne göre gerçekleştirilen donma-çözülme deneyleri sonucunda betonların yüzeylerinden olan ortalama kabuk atma miktarları belirlenerek Şekil 4' de verilmiştir. Belirtilen şekildeki grafikler, karışımların GKA içerikleri ve çevrim sayısına göre ölçülen ortalama kabuk atma miktarlarını göstermektedir.



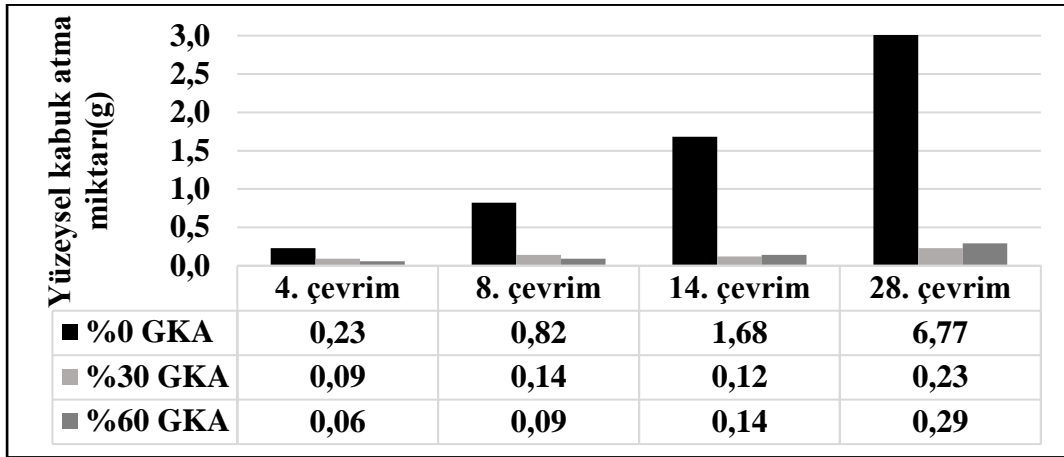
Şekil 4. Hava sürükleyici katkı oranının karışımların yüzeysel kabuk atmaları üzerindeki etkisi.

Şekil 4' den betonların yüzeysel kabuk atmaları üzerinde hava sürükleyici katkı oranının etkisi net olarak görülmektedir. Çevrim sayısı ilerledikçe hava sürükleyici katkı dozajının artmasının betonun yüzeysel kabuk atma direncini yükselttiği tespit edilmiştir. Nitekim ilk dört çevrim boyunca örneklerin kabuk atma miktarlarında hemen hemen bir farklılık yokken 8. çevrimden sonra farkın görülmeye başlandığı 14. özellikle de 28. çevrimden sonra etkinin belirgin olarak ortaya çıktığı yine verilen grafiklerde açıkça görülmektedir. Buradan özellikle tekrar sayısı arttıkça hava sürükleyici katkı miktarının artmasıyla betonun donma-çözülme direncinin de artıracığı sonucu çıkmaktadır.

Hava sürükleyici katkı maddeleri ile beton içinde oluşturulan küçük, kapalı ve ayırık haldeki milyarlarca hava boşluğunun; malzemeyi daha elastiki yaparak buz basınçlarına karşı dayanımını artırması, kılcal kanalları keserek kılcal su emmeyi azaltması ve suyun kolay boşalmasına dolayısı ile hidrostatik basınçların azalmasına imkân vermesi nedenlerinden dolayı betonların donma-çözülme ve donma-buz çözücü tuz dirençlerini artırdığı belirtilmektedir [25], [26]. Beton numunelere hava sürükleyici katkı ve GKA katılmasıyla beton içerisinde birbirinden bağımsız boşluklar oluşturulmuş ve donma çözülme çevrimlerine karşı daha dirençli olmuştur.

### 3.3. Geri Kazanılmış Agregata (GKA) Oranının Betonların Yüzeysel Kabuk Atma Direnci Üzerindeki Etkileri Doğrusal Regresyon modeli

GKA oranının karışımların toplam yüzeysel kabuk atmaları üzerindeki etkileri Şekil 5' te verilmiştir. Bu grafikten de görülebileceği üzere GKA katılması ile betonların donma-çözülme dirençleri artmıştır. Nitekim grafikte görüldüğü gibi GKA ilave edilmeyen karışımların yüzeysel kabuk atma miktarları diğerlerine göre çok daha fazladır. GKA içermeyen betonlarda çevrim sayısı ilerledikçe toplam kabuk atma miktarı da artmıştır. Diğer taraftan, GKA içeren karışımlarda GKA oranının artması ile betonların donma-çözülme dirençleri de artmıştır. Bu artış, donma-çözülme çevriminin artması ile daha da belirgin hale gelmiştir. Nitekim ilk sekiz çevrimde tam olarak görülemezse de. 14 ve 28. çevrimlerden sonra karışımdaki GKA oranı arttıkça kabuk atma miktarının sürekli düştüğü Şekil 5'teki grafikten net olarak görülmektedir. Grafik %0 GKA dışındaki grupların değişiminin net olarak görülebilmesi için yüzeysel kabuk atma miktarı değeri maksimum 3 olacak şekilde çizilmiştir fakat grafiğin altındaki verilerden de görüleceği üzere 28. çevrimde %0 GKA içeren grubun yüzeysel kabuk atma miktarı 6.77 dir.



Şekil 5. GKA oranının betonun yüzeysel kabuk atma direnci üzerindeki etkisinin donma-çözülme çevrimine göre değişimi.

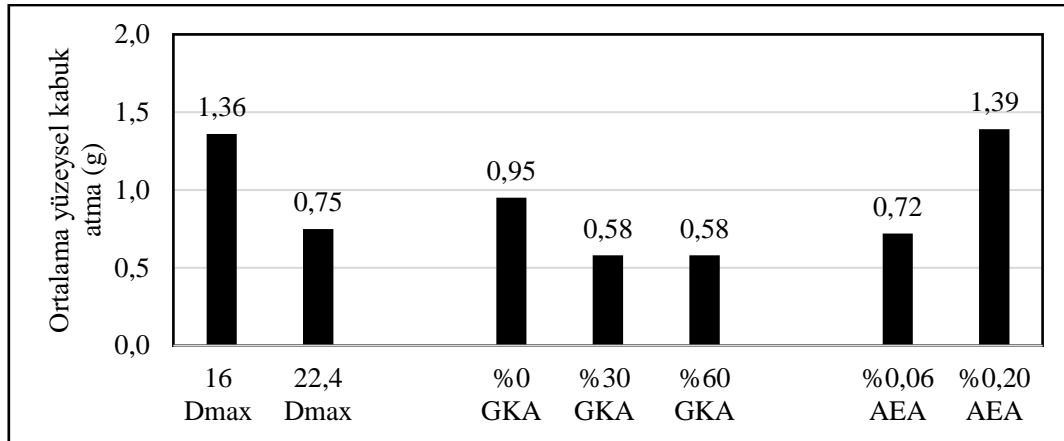
Betonun donma-çözülme direnci üzerinde geri kazanılmış agreganın olumlu yönde etkisinin olduğu kesindir. Nitekim Şekil 5' den de görüldüğü gibi GKA ilave edilmeyen veya kullanılmayan karışımların yüzeysel kabuk atma miktarları diğerlerine göre çok daha fazladır. GKA' ların betonların donma-çözülme dirençlerini artırmaları donma-çözülme çevriminin artması ile daha da belirgin hale gelmektedir. GKA oranının artması ile betonların kabuk atma dirençleri de artmaktadır. Nitekim ilk sekiz çevrimde tam olarak görülemezse de 14 ve 28. çevrimlerden sonra karışımdaki GKA oranı arttıkça kabuk atma miktarının sürekli düştüğü grafikten net olarak görülmektedir.

Bu durum, literatürde belirtilen sonuçlardan farklılık arz etmektedir. Örneğin Topçu and Şengel [27], Oikonomou [4]. Çakır and Sofyanlı [28] betonda kullanılacak GKA oranının optimum değeri olarak %30 değerini işaretlemişlerdir. Ancak, bu çalışmada elde edilen bulgulardan hareketle donma-çözülme direnci açısından bu oranının çok bağlayıcı olmadığı, %60 gibi daha yüksek oranların da kullanılabileceği söylenebilir. Bu sonucun çalışmanın ana temasını oluşturan donma-çözülme açısından olduğunu vurgulamak gerekir. Uygulamada ise birçok zaman betonun durabilite özellikleri yanında mekanik özelliklerinin de belli değerlerden yukarıda olması gözetilir. Diğer taraftan, bu paragrafta yapılan değerlendirmelerin bu çalışmanın sınırları içinde geçerli olduğunu da belirtmek gerekir. Bu çalışmada GKA ile donma-çözülme direnci üzerinde

olumlu etkisi olduğu literatürde açık olarak belirtilen hava sürükleyici katkı maddesinin betonun yüzeysel kabuk atması üzerindeki etkisi birlikte incelenmiştir.

### 3.4. Tüm Parametrelerin Betonların Yüzeysel Kabuk Atma Direnci Üzerindeki Etkileri

Karışımlara ilave edilen GKA oranı ile diğer parametreler olan maksimum agrega çapı ve hava sürükleyici katkı oranının betonların ortalama yüzeysel kabuk atmaları üzerindeki etkileri Şekil 6' da verilmiştir. Şekil 6' daki grafik tüm parametrelerin etkisinin net olarak gözükmesi için yüzeysel pullanma miktarının Tablo 4' de verildiği gibi 8.55 gramla diğer gruplardan çok fazla olduğu kontrol grubu (%0 GKA, 16 Dmax, %0.06 AEA) hariç tutularak çizilmiştir.



Şekil 6. Seçilen parametrelere göre ortalama yüzeysel kabuk atma grafiği.

Şekildeki grafikte de görüldüğü üzere; maksimum agrega çapı küçük olan, GKA içermeyen ve AEA miktarı en az olan numunelerin donma-çözülme çevrimleri sonucu yüzeysel kabuk atma miktarları fazladır. Maksimum agrega tane çapı için optimum değer 22.4 mm olarak bulunmuştur. Yukarıda da belirtildiği gibi kullanılan GKA miktarı arttıkça da yüzeysel kabuk atma direnci de artmıştır. GKA oranının optimum değeri ise bu çalışma kapsamında %60 olarak belirlenmiştir. Yine hava sürükleyici katkı için optimum oran yüzeysel pullanma miktarının daha az olduğu %0.06 olarak belirlenmiştir.

## 4. Sonuç

%3'lük NaCl çözeltisi içerisinde yapılan donma-çözülme deneylerinde AEA kullanılmasının, beton içerisinde bağımsız hava boşlukları oluşturduğundan, üretilen beton numunelerin donma-çözülme direncini artırdığı belirlenmiştir. Buna ek olarak GKA kullanılmasının, beton içerisinde ekstra boşluklar ortaya çıkmasını sağladığı ve kılcal geçirimsizliği düşürdüğü için, betonların yüzeysel kabuk atma direncini artırdığı belirlenmiştir. GKA oranının artışı da yüzeysel kabuk atma direncini artırmıştır. 16 mm ve 22.4 mm olarak seçilen maksimum tane çaplarından donma çözülme direnci için en uygun sonuç 22.4 mm olan serilerden elde edilmiştir. %30 ve %60 oranlarında GKA normal agrega ile yer değiştirilerek oluşturulan beton numunelerin yüzeysel kabuk atma dirençleri birbirine yakın bulunmuştur. Ayrıca AEA malzemesinin %0.06 olarak kullanılmasının beton numunelerin donma-çözülme direnci açısından olumlu sonuçlar ortaya çıkaracağı söylenebilir. Buna göre betonların donma-çözülme direnci için en uygun değerler olarak dmax= 22.4 mm, GKA = %60 ve AEA = %0.06 oranları önerilir. Belirtilen oranlara sahip betonların donma-çözülme direncinin yüksek olacak olması nedeniyle geri kazanılmış agregaların iklim koşullarının sert geçtiği bölgelerdeki yol ve saha betonları ile kaldırım kaplamalarında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

## Kaynakça

- [1] W. Schmidt, M. Commeh, K. Olonade, G. L. Schiewer, D. Dodoo-Arhin, R. Dauda, ... & A. Rogge, "Sustainable circular value chains: From rural waste to feasible urban construction materials solutions", *Developments in the Built Environment*, 6, 100047, 2021, doi.org/10.1016/j.dibe.2021.100047.
- [2] W. Lu, H. Yuan, "A framework for understanding waste management studies in construction", *Waste management*, 31(6), 1252-1260, 2011, doi.org/10.1016/j.wasman.2011.01.018.



- [3] S. Bayram, M. E. Öcal, and E. L. Oral, "İnşaat Atıkları Kavramının Yasal Düzenlemesi Ve Hazır Beton Tesisinde Örnek Uygulama", *Engineering Sciences*, vol. 7, no. 1, pp. 106–118, 2012, doi: 10.12739/nwsaes.v7i1.5000066872.
- [4] N. D. Oikonomou, "Recycled concrete aggregates", *Cement and concrete composites* 27.2 (2005): 315-318, doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.02.020.
- [5] B. Salgın, C. A. İpekçi, N. Coşgun, N., T. Karadayı, "Enerji ve Ham Madde Korunumu Açısından Yapısal Atıkların Yeniden Kullanımına/Geri Dönüşümüne Yönelik Bir Değerlendirme", *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 6(2), 526-537, 2021, https://doi.org/10.30785/mbud.92798.
- [6] THBB, <http://www.thbb.org/sector/dunyada-sektor/>, Erişim Tarihi: Nisan 2019.
- [7] A. J. Roque, P.F. da Silva, and R.P.M. de Almeida, "Recycling of crushed concrete and steel slag in drainage structures of geotechnical works and road pavements", *J Mater Cycles Waste Manag* 24, 2385–2400, 2022, https://doi.org/10.1007/s10163-022-01486-7.
- [8] J. L. Zhao, T. Yu, and J. G. Teng. "Stress-strain behavior of FRP-confined recycled aggregate concrete." *Journal of composites for construction* 19.3 (2015): 04014054, doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000513.
- [9] G. Durmuş, O. Şimşek, M. Dayi, "Geri Dönüşümlü İri Agregaların Beton Özelliklerine Etkisi", *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University / Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2009; 24(1):183-189. Accessed December 27, 2023.
- [10] B. Erdal, "Geri Kazanılmış Agregata ile Üretilen Polipropilen Lif Katkılı Betonların Özellikleri", Y. Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.
- [11] A. Rao, N. J. Kumar, and M. Sudhir, "Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete." *Resources, conservation and Recycling* 50.1 (2007): 71-81, doi.org/10.1016/j.resconrec.2006.05.010.
- [12] Y. Tarhan, and R. Şahin, "Effect of recycled concrete aggregate, air entraining admixture and maximum aggregate particle size on the behavior of concrete under freeze-thaw cycles", *Journal of Green Building*, 16(2), 217-233, 2021, https://doi.org/10.3992/jgb.16.2.217.
- [13] B. Çelik, "Recycled Aggregate Concrete at Elevated Temperatures", Doktora Tezi, Graduate Program in Civil Engineering Boğaziçi University, 2007, İstanbul.
- [14] A. Richardson, K. Coventry, and J. Bacon. "Freeze/thaw durability of concrete with recycled demolition aggregate compared to virgin aggregate concrete." *Journal of Cleaner Production* 19.2-3 (2011): 272-277, doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.09.014.
- [15] G. Petkovic, J. Mehus, and S. Myren. "Recycled concrete aggregate–Durability aspects." Overview of research conducted as a part of the Norwegian Roads Recycled Materials R&D Program (2003).
- [16] R. Zaharieva, F. Buyle-Bodin, and E. Wirquin. "Frost resistance of recycled aggregate concrete." *Cement and concrete research* 34.10 (2004): 1927-1932, doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.02.025.
- [17] C. Medina, M. I. S. de Rojas, and M. Frías. "Freeze-thaw durability of recycled concrete containing ceramic aggregate." *Journal of Cleaner Production* 40 (2013): 151-160, doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.08.042.
- [18] T. Park, "Application of construction and building debris as base and subbase materials in rigid pavement." *Journal of Transportation Engineering* 129.5 (2003): 558-563, doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2003)129:5(558).
- [19] E. Mulder, T. PR de Jong, and L. Feenstra. "Closed Cycle Construction: An integrated process for the separation and reuse of C&D waste." *Waste management* 27.10 (2007): 1408-1415, doi.org/10.1016/j.wasman.2007.03.013.
- [20] M. Ozturk, "İnşaat yığıntı atıkları", (Construction wastes), [publication of Ministry of Environment and Urbanisation]. Retrieved from: <http://tucev.org/dosyalar/files/insaat-yikinti-atiklari.pdf>, (2017).
- [21] TS 802 (Beton karışım tasarımı hesap esasları), 2016, TSE, Ankara.
- [22] TS EN 206+A2 (Beton-Özellik, performans, imalat ve uygunluk), 2021, TSE, Ankara.
- [23] TSE CEN/TS 12390-9., Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 9: donma çözülme direnci - yüzeysel kabuk atma (yüzeysel yıpranma), 2017, TSE, Ankara.
- [24] Y. Tosun, "Geri kazanılmış agregalı betonların cdf yöntemi ile donma-çözülme (yüzeysel kabuk atma) dirençlerinin belirlenmesi (Determination of freeze-thaw (surface scaling) resistance of recycled concrete aggregate by CDF method)", Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, 2014, Erzurum.

- [25] R. Şahin, "Normal Portland Çimentolu Betonların Don Direncinin Taguchi Yöntemi ile Optimizasyonu ve Hasar Analizi", Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003, Erzurum.
- [26] B. Baradan, H. Yazıcı, S.Aydın, "Durabilite" Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 334, 825 s, 2012, İzmir.
- [27] İ.B. Topcu, and S. Şengel. "Properties of concretes produced with waste concrete aggregate." *Cement and concrete research* 34.8 (2004): 1307-1312, doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.12.019.
- [28] Ö. Çakır, and Ö. Ö. Sofyanlı. "Influence of silica fume on mechanical and physical properties of recycled aggregate concrete." *HBRC journal* 11.2 (2015): 157-166, doi.org/10.1016/j.hbrcj.2014.06.002.