

Kentsel Dönüşüm Özelinde Kendiliğinden Yerleşen Betonun Akışkanlık-Geçirgenlik Dengesi Üzerine Maksimum Agrega Boyutunun Etkisi

Erkan KANTAR¹ , Ebubekir ÇUBUK^{2*} , Altay ERBULAK² 

¹Manisa Celal Bayar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye

²Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Yapı Denetimi Programı, Manisa, Türkiye

Anahtar Kelimeler:

Kendiliğinden
yerleşen beton
(KYB),
Akıcılık,
Geçiş yeteneği,
Kentsel dönüşüm

Özet

Kentsel dönüşüm projelerinde, özellikle yoğun donatı içeren taşıyıcı sistemlerde yüksek akışkanlığa sahip, vibrasyon gerektirmeyen ve homojen yerleşme kabiliyeti sunan betonlara ihtiyaç duyulmaktadır. Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), bu gereksinimleri karşılayan yenilikçi bir beton türü olarak öne çıkmaktadır. Ancak KYB tasarımı maksimum agrega çapının (D_{max}) taze ve sertleşmiş beton performansları üzerindeki etkisi, kentsel dönüşüm yapılarının özel gereksinimleri bağlamında yeterince bütüncül olarak incelenmemiştir. Bu çalışmada yalnızca maksimum agrega çapı değiştirilen iki farklı KYB serisi ($D_{max}=22$ mm ve $D_{max}=8$ mm) üretilmiş, diğer tüm karışım parametreleri sabit tutulmuştur. Taze beton performansı; yayılma çapı, T_{500} süresi, V-hunisi, L-kutusu ve U-kutusu deneyleri ile değerlendirilmiştir. Sertleşmiş beton özelliklerini belirlemek amacıyla 7 ve 28 günlük basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar; maksimum agrega çapındaki artışın betonun akıcılığını ve basınç dayanımını artırdığını, buna karşılık geçiş yeteneğini olumsuz etkilediğini göstermiştir. Küçük agrega boyutlarının dar donatı aralıklarından geçiş açısından daha avantajlı olduğu belirlenmiştir. Bu durum, kendiliğinden yerleşen beton performansının akıcılık ve geçiş yeteneği arasında bir dengeye bağlı olduğunu ortaya koymaktadır. Sonuç olarak maksimum agrega çapının seçiminin tek bir performans kriterine göre değil, uygulama koşulları dikkate alınarak çok parametrelili bir yaklaşımla yapılması gerektiği saptanmıştır. Çalışma, özellikle kentsel dönüşüm projelerinde kullanılacak KYB karışımlarının performansa dayalı olarak optimize edilmesine yönelik önemli mühendislik çıktıları sunmaktadır.

*e-posta: ebubekir.cubuk@cbu.edu.tr

Bu makaleye atıf yapmak için:

Erkan KANTAR, Ebubekir ÇUBUK, Altay ERBULAK, "Kentsel Dönüşüm Özelinde Kendiliğinden Yerleşen Betonun Akışkanlık-Geçirgenlik Dengesi Üzerine Maksimum Agrega Boyutunun Etkisi", Bayburt Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, C. 9, s 1, ss. 66-76

How to cite this article:

Erkan KANTAR, Ebubekir ÇUBUK, Altay ERBULAK, "The Effect of Maximum Aggregate Size on the Fluidity-Permeability Equilibrium of Self-Compacting Concrete in the Context of Urban Regeneration", Bayburt University Journal of Science, vol. 9, no 1, pp. 66-76

The Effect of Maximum Aggregate Size on the Fluidity-Permeability Equilibrium of Self-Compacting Concrete in the Context of Urban Regeneration

Keywords:

Self-compacting
concrete (SCC),
Flowability,
Passing ability,
Urban regeneration

Abstract

In urban regeneration projects, especially in structural systems with dense reinforcement, there is a need for concrete with high flowability, self-compacting capability without vibration, and the ability to ensure homogeneous placement. Self-compacting concrete (SCC) stands out as an innovative concrete type that meets these requirements. However, the effect of maximum aggregate size (D_{max}) on the fresh and hardened properties of SCC has not been comprehensively investigated within the specific context of urban regeneration structures. In this study, two different SCC series ($D_{max}=22$ mm and $D_{max}=8$ mm), in which only the maximum aggregate size was varied while all other mix parameters were kept constant, were produced. Fresh concrete performance was evaluated through slump-flow diameter, T_{500} time, V-funnel, L-box, and U-box tests. In order to determine hardened concrete properties, compressive strength tests were conducted at 7 and 28 days. The results indicated that an increase in maximum aggregate size improves the flowability and compressive strength of the concrete, while negatively affecting its passing ability. It was determined that smaller aggregate sizes provide better performance in passing through narrow reinforcement spacing. These findings reveal that the performance of self-compacting concrete depends on a balance between flowability and passing ability. As a result, it was concluded that the selection of maximum aggregate size should not be based on a single performance criterion, but rather on a multi-parameter approach considering the application conditions. The study provides important engineering insights for the performance-based optimization of SCC mixtures to be used in urban regeneration projects.

1 GİRİŞ

Kentsel dönüşüm uygulamaları, mevcut yapı stokunun yenilenmesini ve özellikle deprem riski altındaki bölgelerde güvenli taşıyıcı sistemlerin oluşturulmasını hedeflemektedir. Türkiye gibi yüksek deprem riski taşıyan ülkelerde yapı güvenliğinin artırılması ve afet risklerinin azaltılması amacıyla kentsel dönüşüm çalışmaları büyük önem taşımaktadır [1,2]. Bu süreç yalnızca fiziksel yapıların yenilenmesini değil, aynı zamanda yapı kalitesinin artırılmasını ve sürdürülebilir şehirleşmenin sağlanmasını da kapsamaktadır [3]. Bu yapılarda kolon, perde ve kiriş gibi taşıyıcı elemanlarda yoğun donatı kullanımı yaygın olup betonun bu tür kesitlerde boşluksuz ve homojen şekilde yerleşmesi yapısal güvenlik açısından kritik öneme sahiptir.

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), vibrasyon gerektirmeksizin kendi ağırlığı ile kalıp içerisine yerleşebilen yüksek akışkanlığa ve ayrışma direncine sahip özel bir beton türüdür [4]. İlk olarak 1980'li yılların sonlarında Japonya'da geliştirilen KYB, günümüzde modern beton teknolojisinin önemli bir bileşeni haline gelmiştir [5-8]. Düşük boşluk oranı sayesinde geleneksel vibrasyonlu betona kıyasla daha yüksek dayanım ve dayanıklılık performansı sunduğu bilinmektedir [8-10]. Nitekim boşluk oranındaki küçük değişimlerin dahi beton dayanımı üzerinde önemli etkiler oluşturduğu ifade edilmektedir [11].

Betonun performansını belirleyen temel bileşenlerden biri agregadır. Agreganın boyutu, yüzey özellikleri ve gradasyonu; betonun işlenebilirliği, iç sürtünmesi ve yük aktarım mekanizması üzerinde doğrudan etkilidir. Özellikle maksimum agreg çapı (D_{max}), KYB'nin reolojik davranışını ve mekanik performansını belirleyen kritik bir parametre olarak öne çıkmaktadır [12,13].

Literatürde KYB üzerine çok sayıda çalışma bulunmakla birlikte, mikro lif kullanımı [14], kendiliğinden yerleşen betonda atık beton tozunun etkisinin incelenmesi [15], geri dönüştürülmüş agregalar [16,17] ve mineral katkıların etkileri [18] gibi konulara yoğunlaşmıştır. KYB'de agreg çapı etkisi araştırılmıştır [21,22] ancak maksimum agreg çapının özellikle kentsel dönüşüm projelerinde karşılaşılan yoğun donatı koşulları altında betonun akıcılık ve geçiş yeteneği arasındaki denge üzerindeki etkisinin sistematik olarak incelendiği çalışmalar sınırlıdır. Mevcut çalışmalar, çoğunlukla genel performans değerlendirmelerine odaklanmakta olup saha koşullarını temsil eden karmaşık ve yüksek donatılı kesitlerde performans temelli analizler yeterince ele alınmamıştır.

Bu çalışma, söz konusu boşluğu doldurmayı amaçlamakta olup maksimum agreganın KYB performansı üzerindeki etkisini akıcılık-geçiş yeteneği dengesi çerçevesinde bütüncül bir yaklaşımla incelemektedir. Bu kapsamda karışım tasarımında diğer tüm parametreler, sabit tutulmuş ve yalnızca agreganın çapı değiştirilerek (0–22 mm ve 0–8 mm) bu parametrenin etkisi izole biçimde değerlendirilmiştir. Betonların akıcılığı, geçiş yeteneği, donatı aralarından geçebilme kapasitesi ve ayrışma direnci, EFNARC standartlarında tanımlanan taze beton deneyleri ile belirlenmiştir.

Bu yönüyle çalışma, yalnızca deneysel sonuçlar sunmakla kalmayıp aynı zamanda maksimum agreganın KYB tasarımındaki rolünü performans temelli bir yaklaşımla ortaya koyarak literatüre katkı sağlamaktadır. Elde edilen bulgular, özellikle yoğun donatı içeren kentsel dönüşüm yapılarında kullanılacak beton karışımlarının optimize edilmesine yönelik pratik ve uygulanabilir öneriler sunmaktadır. Ayrıca maksimum agreganın boyutunun seçiminde yalnızca akıcılığın veya dayanımın değil, geçiş yeteneği ve yerleşme performansının da birlikte değerlendirilmesi gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır.

2 MATERYAL VE METOT

2.1 Materyal

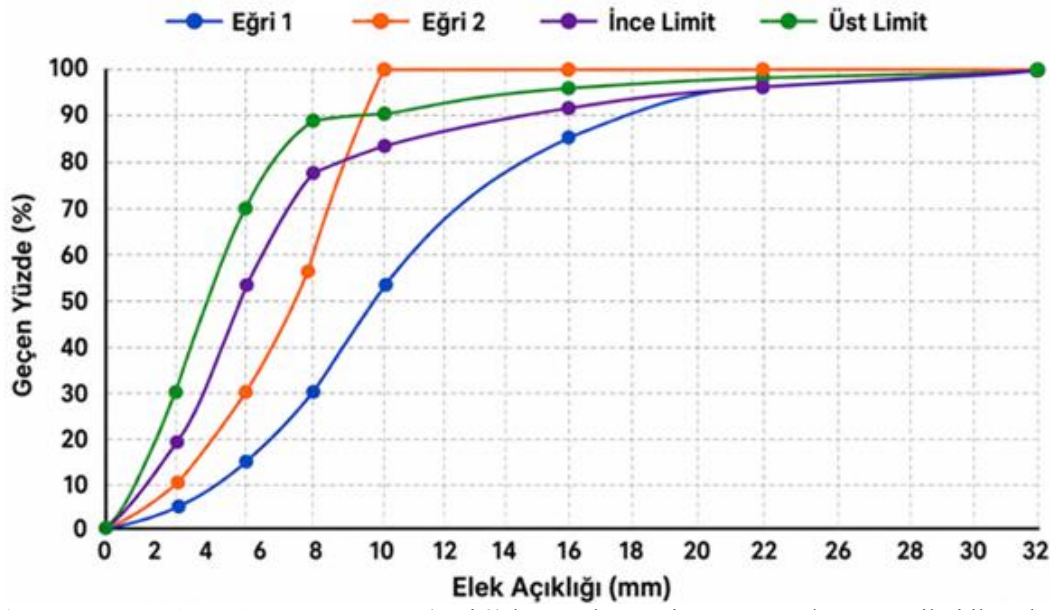
Deneysel çalışmalarda kullanılan başlıca malzemeler: çimento, uçucu kül, kum, agreganın kimyasal katkı ve sudur. Çalışmamızda seçilen agreganın betonun taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerine etkisini anlamak için $D_{max}=22$ mm ve $D_{max}=8$ mm olan 2 farklı KYB üretimi yapılmıştır. KYB serileri $D_{max}=22$ mm 1. seri, $D_{max}=8$ mm ise 2. seri isimleri ile numaralandırılmıştır. Bu serilerde malzeme miktarları eşittir. Değişken olarak sadece agreganın çapı kullanılmıştır. Bu iki seri kendiliğinden yerleşen beton için malzeme miktarları Tablo 1’de gösterildiği gibidir.

Tablo 1. 1 m³ için malzeme miktarları

Seriler	Seri 1	Seri 2
Çimento(kg)	350	350
Kum(kg)	865	865
Agrega(kg)	707	707
Su(kg)	154	154
Kimyasal(kg)	8,09	8,09
Uçucu Kül(kg)	35	35

Kendiliğinden yerleşen betonda kullanılan agreganın çapı genelde $D_{max}=11$ mm ve $D_{max}=16$ mm olmaktadır [7,19]. Üretimde genellikle tercih edilen agreganın çapları $D_{max}=11$ mm ve $D_{max}=22$ mm çaplarıdır [8]. Beton üreticileri, bu çaplar arasında kendi gradasyonlarını seçerler [12]. Bir bilgi vermesi açısından geleneksel betonda $D_{max}=32$ mm olan incelik ve kalınlık sınırlarını gösteren bir granülometri eğrisi ve seri 1 ve seri 2’nin KYB’nin granülometrisi Şekil 1’de verilmiştir [20]. Şekil 1’de görüldüğü gibi KYB gradasyon eğrisi, incelik açısından geleneksel beton gradasyon eğrisinin dışındadır. Bu durum, ince (toz) malzeme kullanımının daha fazla olduğunu göstermektedir. Şekil 1’de eğri 1, $D_{max}=22$ mm karışımını; eğri 2 ise $D_{max}=8$ mm karışımını temsil etmektedir.

Kendiliğinden yerleşen betonda kullanılan agreganın tipleri ve boyutları Şekil 2’de gösterildiği gibidir [12]. Şekilde küçükten büyüğe doğru 4-8-12-16 mm elek çaplarının üstünde kalan agregaların görselleri verilmiştir.



Şekil 1. $D_{max}=22$ mm (Seri 1) ve $D_{max}=8$ mm (Seri 2) karışımlarına ait agrega gradasyon eğrileri ile geleneksel beton sınır eğrilerinin karşılaştırılması



Şekil 2. Agrega çapları

2.2 Metot

Her bir seri; doldurma, geçme ve ayrışma direnci karakteristiklerini ölçen taze beton deneyleri olan T_{500} , yayılma, V hunisi, L kutusu, U kutusu deneyleri yapılmıştır. Sertleşmiş beton deneyi olarak da 7 ve 28 günlük basınç deneyleri yapılmıştır. Tüm deneyler $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ laboratuvar sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Her test için üç numune hazırlanmış ve bildirilen değerler ortalama ölçümlere karşılık gelmektedir.

Kendiliğinden yerleşen betonların performans değerlendirilmesinde EFNARC [19] ve TS EN 12350 [28] serisi standartlarında tanımlanan çeşitli deney yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada betonların doldurma yeteneği, viskozitesi ve geçiş kabiliyeti T_{500} , yayılma çapı, V hunisi, L kutusu ve U kutusu deneyleri ile değerlendirilmiştir.

- 1-Akıcılık, Doldurma Yeteneği
- 2-Viskozite Akışkanlığı

3-Geçiş Yeteneği

4-Ayrışmaya Karşı Direnç

Bu 4 temel özellik bir veya birkaç deney ile ölçülebilir. Bu deneyler, deney yöntemleri ve ölçülen parametreler Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Deneylerden elde edilen özellikler



Deney sonuçları için belirli aralıklar ve bu aralıklara göre sınıflandırmalar Tablo 3, 4, 5 ve 6’da gösterildiği gibidir.

Tablo 3. Akıcılık ölçmek için sınırlar ve sınıflar

Sınıf	Slump- Yayılma mm	Kullanım Yerleri
SF1	550- 650	Hafif donatılı sistemler, tünel enjeksiyonları, kazık dökümlerinde
SF2	660-750	Kolon, perde, döşeme betonları ve genel uygulamalarda
SF3	760-850	Zor şekil ve kesitlerin dökümünde, aşırı donatılı kesitlerde

Tablo 4. Vizkozite, akışkanlık için sınırlar ve sınıflar

Sınıf	T ₅₀₀ , süresi	V-hunisi süresi
VS1/ VF1	≤ 2	≤ 8
VS2/ VF2	> 2	9 ile 25 arası

Tablo 5. Geçiş yeteneği için sınırlar ve sınıflar

Sınıf	Geçiş yeteneği
PA1	≥ 0,80 2 parmaklık
PA2	≥ 0,80 3 parmaklık

Tablo 6. Ayrışmaya karşı direnç için sınırlar ve sınıflar

Sınıf	Ayrışma yüzdesi %
SR1	≤ 20
SR2	≤ 15

Üretilen iki seride kendiliğinden yerleşen beton (KYB) karışımları için 5 adet taze beton deneyi ve 2 adet sertleşmiş beton deneyi yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında tasarlanan KYB serileri üzerinde T₅₀₀ süresi, yayılma çapı, V hunisi, L kutusu, U kutusu ile 7 ve 28 günlük basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerin kısaca tarifi aşağıda anlatılmıştır.

2.2.1 T₅₀₀ süresi deneyi

Bu deneyde Şekil 3'te gösterildiği gibi taze haldeki beton, standart Abraham hunisine konulur ve huninin kaldırılması ile beton yayılmaya başlar. Yayılmanın 500 mm çapına ulaştığı süre kayıt altına alınır. Bu deney, betonun viskozitesi ve akışkanlığı hakkında bilgi verir. Deney EFNARC [19] rehberinde belirtilen yöntemle gerçekleştirilmiştir.

2.2.2 Yayılma çapı deneyi

Bu deneyde beton, Şekil 4'te gösterildiği gibi Abraham hunisine yerleştirilir ve huninin kaldırılması ile yayılma başlar. Betonun ulaştığı maksimum yayılma çapı ölçülür. Ölçüm, birbirine dik iki çapın ortalaması alınarak belirlenir. Bu deney, KYB'nin doldurma yeteneğini değerlendirmede kullanılır. Deney, EFNARC [19] rehberinde belirtilen yöntemle gerçekleştirilmiştir.

2.2.3 V hunisi deneyi

Bu deneyde beton Şekil 5'te gösterildiği gibi V şeklindeki huniye dökülür. Alt kapak açıldıktan sonra betonun huniyi tamamen boşaltma süresi ölçülür. Bu süre, betonun akışkanlığı ve viskozitesi hakkında bilgi verir. Deney, EFNARC [19] rehberinde belirtilen yöntemle gerçekleştirilmiştir.

2.2.4 L kutusu deneyi

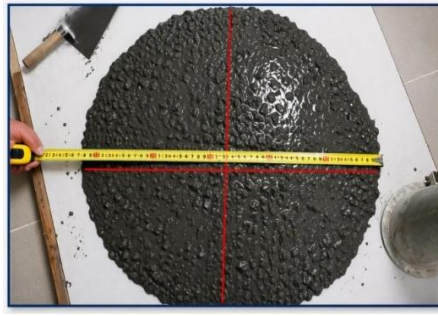
Bu deneyde Şekil 6'da gösterildiği gibi taze beton, L şeklindeki kutuya dökülür. Kapak açıldığında beton donatı, benzeri engeller arasından geçerek yatay yönde ilerler. İlk yükseklik H_1 ve son yükseklik H_2 ölçülerek H_2/H_1 oranı hesaplanır. Bu deney, betonun geçiş kabiliyetini değerlendirmede kullanılır. Deney, EFNARC [19] rehberinde belirtilen yöntemle gerçekleştirilmiştir.

2.2.5 U kutusu deneyi

Bu deneyde Şekil 7'de gösterildiği gibi beton U şeklindeki kutuya yerleştirilir. Alt kapak açıldığında betonun diğer bölmeye geçerek ne kadar seviyelendiği ölçülür. Seviye farkı betonun geçiş yeteneğini ve ayrışma direncini gösterir. Deney, EFNARC [19] rehberinde belirtilen yöntemle gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. T₅₀₀ süresi deneyi



Şekil 4. Yayılma çapı deneyi



Şekil 5. V hunisi deneyi



Şekil 6. L hunisi deneyi



Şekil 7. U kutusu deneyi

2.2.6 Basınç dayanım deneyi

Taze betonlar, Şekil 8’de gösterilen 15×15×15 cm küp kalıplara dökülür. Numuneler, Şekil 9’da gösterilen kür havuzunda 7 ve 28 gün bekletildikten sonra Şekil 10’da gösterilen basınç presinde kırılarak dayanımları MPa cinsinden ölçülür. Basınç dayanımı deneyleri, TS EN 12390-3 [29] standardına uygun olarak gerçekleştirilmiş ve sonuçlar MPa cinsinden değerlendirilmiştir.



Şekil 8. Beton kalıplarda



Şekil 9. Kür havuzu



Şekil 10. Kür sonrası kırılması

3 BULGULAR

3.1 T₅₀₀ deneyi sonuçları

Deney sonuçları, Tablo 7’de verilmiştir. D_{max}=22 mm serisi, D_{max}=8 mm serisine göre daha düşük T₅₀₀ süresi göstermiştir. Bu durum, iri agregaların toplam özgül yüzey alanını azaltması ve karışım içindeki iç sürtünmenin düşmesiyle açıklanabilir.

Tablo 7. T₅₀₀ süresi sonuçları ve EFNARC sınırları karşılaştırması

Beton Serileri	Yayılma Süresi (sn)	EFNARC Sınırları (sn)	
		VS1≤ 2	VS2>2
Seri 1	4,03	-	+
Seri 2	4,75	-	+

3.2 Yayılma çapı deneyi sonuçları

Deney sonuçları, Tablo 8’de verilmiştir. D_{max}=22 mm serisi 800 mm yayılma çapı ile SF3 sınıfına girerken, D_{max}=8 mm serisi 600 mm yayılma çapı ile SF1 sınıfında kalmıştır. Sonuçlar, iri agregalı karışımların daha yüksek akıcılık sağladığını göstermektedir.

Tablo 8. Yayılma çapı deneyi sonuçları ve EFNARC sınırları karşılaştırması

Beton Serileri	Ölçülen Yayılma Çapı (mm)	EFNARC Sınırları (mm)		
		SF1 550-650	SF2 660-750	SF3 760-850
Seri 1	800	-	-	+
Seri 2	600	+	-	-

3.3 V hunisi deneyi sonuçları

Deney sonuçları, Tablo 9’da verilmiştir. D_{max}=22 mm serisinde ölçülen daha düşük V hunisi süresi, karışımın daha düşük viskoziteye sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 9. Yayılma süresi sonuçları ve EFNARC sınırları karşılaştırması

Beton Serileri	Yayılma Süresi (sn)	EFNARC Sınırları (sn)	
		VF1 ≤ 8	VF2 $\leq 9-25$
Seri 1	22,96	-	+
Seri 2	35,28	-	+

3.4 L kutusu deneyi sonuçları

Deney sonuçları, Tablo 10'da verilmiştir. Her iki seri de EFNARC kriterlerini sağlamıştır. Ancak $D_{\max}=8$ mm serisi daha yüksek H_2/H_1 oranı ile donatılar arasından geçişte daha avantajlı performans göstermiştir.

Tablo 10. L kutusu deneyi sonuçları ve EFNARC sınırları karşılaştırması

Beton Serileri	H_1 cm	H_2 cm	H_2/H_1	EFNARC Sınırları H_2/H_1 0,8-1
Seri 1	6,5	5,9	0,91	+
Seri 2	7,5	7	0,93	+

3.5 U kutusu deneyi sonuçları

Deney sonuçları, Tablo 11'de verilmiştir. $D_{\max}=8$ mm serisi 30 cm seviye farkı ile sınır değeri sağlarken, $D_{\max}=22$ mm serisi sınır değerin üzerinde kalmıştır. Bu durum, küçük agregaların dar boşluklardan geçiş kabiliyetini artırdığını göstermektedir.

Tablo 11. U kutusu deneyi sonuçları ve EFNARC sınırları karşılaştırması

Beton Serileri	Seviye Farkı (cm)	EFNARC Sınırları 0-30 (cm)
1	32	-
2	30	+

3.6 Basınç deneyi sonuçları

Yapılan deneyde 7 ve 28 günlük basınç dayanımları bulunmuştur. Basınç, dayanımı en iyi olan her çaptan agregaya barındıran 1.seri olmuştur. Deney sonuçları, Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12. Basınç deneyi sonuçları

Beton Serileri	7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)
Seri 1	53	63
Seri 2	52	60

Yapılan tüm deneylerin sonucunda alınan bulgular Tablo 13'de gösterilmiştir.

Tablo 13. Tüm deneylerin tüm gruplardaki sonuçları

Özellik	Birim	$D_{\max}=22$ mm	$D_{\max}=8$ mm
T_{500}	sn	4,03	4,75
Yayılma çapı	mm	800	600
V hunisi süresi	sn	22,96	35,28
L kutusu (h_2/h_1)	-	0,91	0,93
U kutusu	cm	32	30
7 günlük basınç dayanımı	MPa	53	52
28 günlük basınç dayanımı	MPa	63	60

4 SONUÇLAR

Kentsel dönüşüm uygulamalarında özellikle yoğun donatı içeren düşey taşıyıcı elemanlarda betonun yalnızca yüksek dayanım sağlaması yeterli olmayıp aynı zamanda üstün akıcılık ve geçiş yeteneğine sahip olması da büyük önem taşımaktadır. Bu tür yapılarda betonun donatı aralarından boşluksuz ve homojen şekilde yerleşebilmesi, yapısal güvenlik açısından kritik bir gerekliliktir. Ayrıca günümüz mühendislik yaklaşımında beton tasarımı yalnızca mekanik performans açısından değil, sürdürülebilirlik ve çevresel etkiler bakımından da değerlendirilmektedir. Bu bağlamda maksimum agrega çapının seçimi, eleman geometrisi ve donatı yoğunluğu dikkate alınarak performans temelli bir yaklaşımla belirlenmelidir.

Elde edilen bulgular, birtakım çalışmalar tarafından [12,13] bildirilen sonuçlarla uyumludur. Söz konusu çalışmalarda da maksimum agrega boyutunun artmasıyla akıcılığın arttığı ancak donatılar arasından geçiş performansının azaldığı belirtilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, özellikle kentsel dönüşüm yapılarında karşılaşılan yoğun donatı koşulları altında bu eğilimi doğrulamaktadır.

Deneyisel bulgular, maksimum agrega çapının kendiliğinden yerleşen betonun (KYB) taze hal özellikleri üzerinde belirleyici bir etkisi olduğunu göstermektedir. T_{500} yayılma süresi ve V hunisi deney sonuçlarına göre daha büyük maksimum agrega çapına sahip karışımların daha hızlı yayılma ve akış gösterdiği belirlenmiştir. Bu durum, agrega boyutunun artmasıyla birlikte sistemdeki özgül yüzey alanının azalmasına ve buna bağlı olarak taneler arası mekanik kilitlenme (interlocking) mekanizmasının zayıflamasına bağlanabilir. Literatürde büyük agrega boyutlarının birim hacimde daha az temas noktası yarattığı ve matris içerisindeki iç sürtünme direncini düşürebileceği belirtilmektedir [23,24]. Benzer şekilde agrega gradasyonunun ve özgül yüzey alanının karışımın iç direncini doğrudan yönettiği bilinmektedir [25-27]. Dolayısıyla iri agregalı karışımların daha düşük viskoziteye sahip olduğu ve yatay doğrultuda akıcılığı arttırdığı anlaşılmaktadır.

Buna karşılık geçiş yeteneğini değerlendiren U kutusu deney sonuçları, daha küçük maksimum agrega çapına sahip karışımların daha iyi performans sergilediğini ortaya koymuştur. Bu bulgu, iri agregaların özellikle dar kesitlerde ve yoğun donatı aralıklarında yukarı yönlü hareketi zorlaştırdığını göstermektedir. L kutusu deneyinde gözlenen farklı davranışlar ise iri agregaların yatay akışta avantaj sağlarken dar boşluklardan geçişte dezavantaj oluşturduğunu desteklemektedir. Bu durum, KYB performansının yalnızca akıcılığa değil; aynı zamanda geçiş yeteneğine de bağlı olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde, maksimum agrega çapının artmasıyla birlikte mekanik performansta sınırlı bir artış gözlenmiştir. Bu durum, iri agregaların beton içerisindeki yük aktarım mekanizmasını iyileştirmesi ve daha iyi bir iç yapı oluşturması ile ilişkilendirilebilir. Ayrıca elde edilen yüksek erken yaş dayanımı değerleri, KYB'nin dayanım gelişimi açısından da avantajlı bir malzeme olduğunu göstermektedir.

Elde edilen tüm bulgular birlikte değerlendirildiğinde, kendiliğinden yerleşen beton performansının akıcılık ve geçiş yeteneği arasında hassas bir dengeye bağlı olduğu anlaşılmaktadır. Maksimum agrega çapının artması, akıcılığı ve yayılma kabiliyetini artırırken geçiş yeteneğini olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu nedenle KYB tasarımında agrega çapı seçimi, tek bir performans kriterine göre değil; uygulama koşulları dikkate alınarak bütüncül bir yaklaşımla yapılmalıdır.

Bu kapsamda yoğun donatı içeren kentsel dönüşüm yapılarında betonun homojen yerleşmesini sağlamak amacıyla daha küçük maksimum agrega çaplarının tercih edilmesi önerilmektedir. Buna karşılık akıcılık ve mekanik dayanımın ön planda olduğu uygulamalarda daha büyük agrega boyutları avantaj sağlayabilmektedir.

Sonuç olarak bu çalışma, maksimum agrega çapının KYB performansı üzerindeki etkisini akıcılık-geçiş yeteneği dengesi çerçevesinde ortaya koyarak kentsel dönüşüm projelerinde kullanılacak beton karışımlarının performans temelli olarak optimize edilmesine yönelik önemli bulgular sunmaktadır. Elde edilen sonuçlar, mühendislik uygulamalarında daha güvenli, kontrollü ve sürdürülebilir beton üretimi için yol gösterici niteliktedir.

Gelecek çalışmalarda farklı agrega boyutlarının daha geniş aralıklarda incelenmesi, reolojik parametrelerin detaylı analizi ve mikro yapı özelliklerinin değerlendirilmesi, kendiliğinden yerleşen beton tasarımına daha kapsamlı bir yaklaşım kazandıracaktır.

Yazar Katkıları

Erkan KANTAR: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Yazılım, Doğrulama, Biçimsel analiz, Araştırma, Kaynaklar, Veri düzenleme, Yazım-Özgün taslak, Yazım-Gözden geçirme & Düzenleme, Görselleştirme, Denetim, Proje yönetimi, Finansman temini

Ebubekir ÇUBUK: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Yazılım, Doğrulama, Biçimsel analiz, Araştırma, Kaynaklar, Veri düzenleme, Yazım-Özgün taslak, Yazım-Gözden geçirme & Düzenleme, Görselleştirme, Denetim, Proje yönetimi, Finansman temini

Altay ERBULAK: Kavramsallaştırma, Metodoloji, Yazılım, Doğrulama, Biçimsel analiz, Araştırma, Kaynaklar, Veri düzenleme, Yazım-Özgün taslak, Yazım-Gözden geçirme & Düzenleme, Görselleştirme, Denetim, Proje yönetimi, Finansman temini

Yazarlar makalenin son halini okuyup onaylamışlardır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynakça

- [1] AFAD, “2020 Yılı İdare Faaliyet Raporu,” T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Feb. 2021.
- [2] E. Ateş, “Mikrotremor, deprem ve yüzey dalgalarının çok kanallı analiz yöntemi kayıtları kullanılarak zemin özelliklerinin belirlenmesi: Afad kampüsünden örnek bir uygulama” *Doğ. Afet Çev. Derg.*, 7(2), pp. 240–251, Jul. 2021.
- [3] UN-Habitat, “World Cities Report 2020: The Value of Sustainable Urbanization,” United Nations Human Settlements Programme, 2020.
- [4] A. Sağlam, and M. Özkul, “Kendiliğinden yerleşen betonların reolojik özelliklerine bileşim parametrelerinin etkisi”, *ITU Muh. Derg.*, 5, 1, pp. 239-250, Feb. 2006.
- [5] İ. Topçu, T. Bilir, and H. Baylavlı, “Kendiliğinden yerleşen betonun özellikleri”, *Eskişehir Osmangazi Univ. Muh. Mim. Fak. Derg.*, pp. 68-73, Jun. 2008.
- [6] B. Felekoğlu, and B. Baradan “Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekanik Özellikleri”, in *Beton 2004 Kongresi Bildirileri*, pp. 234-235, 2004.
- [7] G. De Schutter, J. Peter, M. Bartons, P. Domane, and J. Gibbs, *Self-Compacting Concrete*, Usa: Crc Press, Taylor And Francis Group usa isbn 978-1-4200-6833-7, 296s, 2008.
- [8] K. Ozawa, and M. Ouchi, “Self-compacting concrete: Development, applications and future”, *J. Adv. Concr. Technol.*, 17(9), pp. 435–456, 2019.
- [9] M. Şahmaran, Christianto, and İ. Yaman, “Durability properties of self-compacting concrete”, *Cem. Concr. Compos.*, 76, pp. 1–13, Feb. 2017.
- [10] Z. Wu, K. H. Khayat, and C. Shi, “Rheological behavior of SCC with varying aggregate sizes”, *Cem. Concr. Compos.*, 118, 103963, 2021.
- [11] K. Yılmaz, and P. Canpolat, “Etkin vibrasyonun beton kalitesindeki önemi”, *Eskişehir Osmangazi Univ. Muh. Mim. Fak. Derg.*, 16, 2, Dec. 2002.
- [12] K. Hayat, “Effect of aggregate characteristics on flow and stability of SCC”, *Mater. Struct.*, 52, pp. 1–14, 2019.
- [13] H. Liu, Q. Zhang, and D. Wang, “Effect of maximum aggregate size on workability and mechanical properties of SCC”, *Constr. Build. Mater.*, 344, 128182, Aug. 2022.

- [14] V. Koby, "Farklı Lif Oranlarına Sahip Kendiliğinden Yerleşen Betonda Çarpma Etkisinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Mıhçı Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 142s. 2016.
- [15] R. Koçkar, "Kendiliğinden yerleşen betonda atık beton tozu etkisinin incelenmesi", *Bayburt Univ. Fen Bilim Der.* Cilt 3 Sayı 1, Jun. 2020.
- [16] M. Omrane, S. Kenai, H. Kadri, and A. Mokhtar, "Performance and durability of self compacting concrete using recycled concrete aggregates and natural pozzolan", *J. Clean. Prod.*, 165, 415-430, Nov. 2017.
- [17] K. Panda, and P. Bal, "Properties of SCC using recycled aggregates", *Procedia Eng.*, 51, pp. 159–164, 2013.
- [18] R. Siddique, "Properties of self-compacting concrete containing Class F fly ash", *Mater. Des.*, 32(3), 1501–1507, Mar. 2011.
- [19] EFNARC, "The European Guidelines for Self-Compacting Concrete: Specification, Production and Use," Brussels, Belgium: EFNARC, 2005.
- [20] T. Yılmaz, "Agrega elek analizi ve granüloometri eğrisi," Maden İşletme Laboratuvarı Deney Föyü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 2017.
- [21] E. Çubuk, "Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Agregat Çapı Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Mıhçı Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa, 69s. 2010.
- [22] A. U. Öztürk, and H. Yaprak, "Kendiliğinden yerleşen beton özellikleri üzerinde agregat maksimum tane boyutunun etkisi," *USMTD*, 1(2), 45-53, 2017.
- [23] A. M. Neville, *Properties of Concrete*, 5th ed. London, U.K.: Pearson, 2011.
- [24] P. K. Mehta and P. J. M. Monteiro, *Concrete: Microstructure, Properties, and Materials*, 4th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill Education, 2014.
- [25] S. Mindess, J. F. Young, and D. Darwin, *Concrete*, 2nd ed. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 2003.
- [26] F. L. Roberts, P. S. Kandhal, E. R. Brown, D. Y. Lee, and T. W. Kennedy, *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction*, 2nd ed. Lanham, MD, USA: NAPA Research and Education Foundation, 1996.
- [27] J. Wang, X. Liu, and T. Chu, "Effect of aggregate size and specific surface area on the internal friction of granular mixtures," *Constr. Build. Mater.*, vol. 221, pp. 412–423, Oct. 2019.
- [28] Türk Standardları Enstitüsü, *TS EN 12350: Taze beton deneyleri*, Ankara, Türkiye: TSE, 2020.
- [29] Türk Standardları Enstitüsü, *Sertleşmiş beton deneyleri — Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini*, TS EN 12390-3, Ankara, Türkiye: TSE, 2019.