



HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

Geri Dönüştürülmüş Beton Agregasının Kendiliğinden Yerleşen Betonun Performansına Etkisi

Effect of Recycled Concrete Aggregate on The Performance of Self-Compacting Concrete

Yazar(lar) (Author(s)): Ahmad ALGHADER¹, Ali SARIŞIK², Songül CAN³

¹ ORCID ID: 0000-0001-5045-974X

² ORCID ID: 0000-0001-7698-6134

³ ORCID ID: 0000-0001-9590-5504

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Alghader A., Sarışık A., Can S., “Geri Dönüştürülmüş Beton Agregasının Kendiliğinden Yerleşen Betonun Performansına Etkisi”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 8(2): 91-107, (2023).

DOI: 10.46578/humder.1235972



Geri Dönüştürülmüş Beton Agregasının Kendiliğinden Yerleşen Betonun Performansına Etkisi

Ahmad ALGHADER¹, Ali SARIİŞİK^{2*}, Songül CAN³

¹ Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 63290, Haliliye /ŞANLIURFA

² Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 63290, Haliliye /ŞANLIURFA

³ Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 63290, Haliliye /ŞANLIURFA

Öz

Bu çalışma, kendiliğinden yerleşen betonda geri dönüştürülmüş beton agregası kullanarak çevre dostu beton üretmeyi amaçlamıştır. Laboratuvar dışına atılan numunelerden elde edilen 4-16 mm tane boyutuna sahip geri dönüştürülmüş beton agregaları kullanılmıştır. Naftalin sülfonat bazlı süper akışkanlaştırıcı, çimento ağırlığının %1'i oranında karışıma ilave edilmiştir. Geri dönüştürülmüş beton agregası %0, %10, %20, %30, %40, %50 ve %100 oranlarında doğal agrega ile yer değiştirerek kullanılmıştır. Kendiliğinden yerleşen betonun taze özelliklerini incelemek için; çökme-yayılma, T₅₀₀ süresi, V-hunisi, L kutusu testleri uygulanmıştır. Her karışım için 150 x 150 x 150 mm boyutlarında 6 adet kübik numune ve 100 x 100 x 500 mm boyutlarında 6 adet prizmatik numune üretilmiştir. 7 ve 28 günlük kür süreleri sonunda; ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak; geri dönüşüm agregasının %50 oranında ikame edilmesi ile işlenebilirlikte iyileşme olduğu gözlemlenmiştir. Geri dönüşüm agregasının %30 oranında ikame edilmesi ile dayanım performansını iyileştirdiği görülmüştür.

Effect of Recycled Concrete Aggregate on The Performance of Self-Compacting Concrete

Abstract

This study aimed to produce environmentally friendly concrete using recycled concrete aggregate in self-compacting concrete. Recycled concrete aggregates with a grain size of 4-16 mm obtained from the crushing process of samples thrown outside the laboratory were used. Naphthalene sulfonate-based superplasticizer was added to the mixture at 1% of the cement weight. Recycled concrete aggregate was replaced by natural aggregate at 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, and 100%. Slump-flow, T₅₀₀ time, V-funnel, and L-box tests were applied to the self-compacting fresh concrete. It produced six cubic samples of 150 x 150 x 150 mm and six prismatic samples of 100 x 100 x 500 mm for each mixture. At the end of 7 and 28-day curing periods, Ultrasonic pulse velocity, compressive strength, and tensile strength tests were carried out. In conclusion, It has been observed that there is an improvement in workability with the 50% substitution of the recycling aggregate. Furthermore, it has been observed that the 30% substitution of the recycling aggregate improves the strength performance.

Makale Bilgisi

Başvuru: 18/01/2023

Yayın: 31/08/2023

Anahtar Kelimeler

Kendiliğinden yerleşen beton
Geri dönüştürülmüş beton agregası
Beton atıkları
Mekanik özellikler

Keywords

Self-compacting concrete
Recycled concrete aggregate
Concrete waste
Mechanical properties

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Doğal kaynakların yüksek oranda tüketilmesi nedeniyle, ister aktarıldıkları alanda ister başka bir alanda bu kaynakların kullanımını azaltan, yeniden kullanan veya kullanılabilir malzemelere dönüştüren teknolojilere ihtiyaç doğmuştur. Binalar ve tesisler için yapılan inşaat ve yıkım atıkları, bertaraf edilen atık miktarının %13 ila %29'unu oluşturmaktadır [1]. Büyük miktarlarda inşaat ve yıkım atıklarının düzenli depolama alanlarında bertaraf edilmesi, doğal çevreye birçok yönden zarar vermektedir. Örneğin ABD'de yayınlanan

*İletişim yazarı, sariisik@harran.edu.tr

2005 raporuna göre yılda yaklaşık 130 milyon ton inşaat atığı üretilmektedir. Bu nedenle bu atığın geri dönüşüm ve yeniden kullanım olanaklarının değerlendirilmesi çok önemlidir. Aksi takdirde bu atıklar çok büyük doğal depolama alanlarının tahrip olmasına neden olacaktır [2]. ABD, Almanya, Hollanda, İngiltere ve Danimarka gibi bazı ülkelerde yıkım ve inşaat artıklarının yeraltı sularının kirlenmesine neden olduğuna dikkat çekilmektedir. Bu atıklar içme suyu kaynaklarının bulunduğu alanlarda depolanmamalı, bu nedenle depolanırken özen gösterilmelidir [3]. Doğal agrega üretimi geniş alanlarda doğal çevreye zarar vermektedir. Doğal agregaların üretildiği tesislerden kaynaklanan toz emisyonları, görüntü kirliliği ve gürültü gibi etkiler dikkate alınmalıdır [2]. Bu atıkların çevre üzerindeki önemli etkisini göstermektedir. Bu atıkların %65'inin beton atığı ve iri agrega olduğu tespit edilmiştir. Bu, beton üretiminde kullanılan hammaddelerin tükenmesini azaltmanın bir yolunu bulmak anlamına gelir. Bu, üç yoldan biriyle olmalıdır: (1) beton kullanımının azaltılması, (2) aynı betonun yeniden kullanılması veya (3) betonun geri dönüştürülmesi. Bu konu, çeşitli silahlarla bombalama sonucunda tonlarca inşaat ve yıkım atığı üreten savaştan etkilenen ülkelerde özellikle önemlidir. Yapılan araştırmalar sonucunda, beton atıkları da dahil olmak üzere yıkım atıklarının %80 ila %90'ının geri dönüştürülebildiği tespit edilmiştir [4]. Beton geri dönüşüm süreci şunları sağlar:

- Doğal kaynakların kullanımının azaltılması,
- Bu hammaddelerin üretim ve nakliye maliyetlerini azaltılması,
- Bertaraf için taşınan malzeme miktarının azalması.

Beton iki yoldan biriyle geri dönüştürülebilir:

- Yeni beton üretiminde kaba ve ince agrega olarak kullanılabilir [5-6], atık betondan yapılan agreganın %30'unun yeni betonda kullanılabileceğini göstermektedir,
- Yol kaplamalarının alt tabakasında kullanılmaktadır.

Çalışmalar, geri dönüştürülmüş beton agregasının (GDBA) inşaat işlerinde, özellikle yeni beton üretim süreçlerinde iyi dayanım ve yüksek işlenebilirlik ile yeniden kullanılabileceğini göstermiştir. Kullanılabilen beton atıkları geri dönüşüm için ; yıkılan eski yapılardan, doğal afet molozlarından, yangın molozlarından, ulaşım sistemi ile ilgili işlerden, kalite kontrol numunelerinden, kusurlu beton ürünlerinden, prefabrik ürün atıklarından ve düşük kaliteli ürünlerden elde edilmektedirler [3]. Oikonomou [7], geri dönüştürülmüş beton agregası ile ilgili yaptığı çalışmada, yıkımdan elde edilebilecek maksimum beton miktarının %40 civarında olduğunu bildirmiştir.

Beton kullanımı sürekli olarak yaygınlaşmakta ve birçok yönü içerecek şekilde hızla büyümektedir. Beton kullanımındaki artışın yanı sıra, daha iyi performans, direnç ve kalıcılık olacak şekilde sürekli olarak geliştirilmektedir. Betonun özelliklerinden biri de dayanım ve dayanıklılıktır. Bu niteliklerin elde edilmesi için dökülen betonun döküm sırasında şartlara ve koşullara göre sıkıştırılması gerekir. Geleneksel beton vibratör kullanılarak yerine oturtulur ve işçilik yetersizliğinden dolayı standartlara göre yeterince sıkıştırılmaz ve bunun sonucunda betonun kalitesi düşer. Japon bilim adamları, beton yapıların zayıf performansından sorumlu olan ana faktörün, düzgün ve eksiksiz bir titreşim sürecinin olmaması olduğunu düşünmüşler. 1983 yılından itibaren iç ve dış vibratör kullanımına ihtiyaç duymayan iyi performanslı beton elde etmek için çalışmalar başlatılmıştır [8]. Kendiliğinden yerleşen beton (KYB) kavramı 1986 yılında Profesör Okamura tarafından önerilmiştir. Kendiliğinden yerleşen beton prototip olarak 1988 yılında Tokyo Üniversitesi'nden Profesör Ozawa tarafından Japonya'da geliştirilmiştir [9]. Bu tip betonu geliştirmenin amacı, beton yapıların dayanıklılığını artırmaktır. KYB, Japonya'daki bazı tesislerde büyük inşaat şirketleri tarafından pratikte kullanılmıştır. Karışım oranlarını tasarlamak için standart yöntemler geliştirilmiştir. KYB'nu test etmek için referans yöntemlerden yola çıkılarak çeşitli testler ve çalışmalar yapılmıştır. Kendiliğinden yerleşen beton, iç veya dış vibratör kullanılmadan dökülür, kendi kendine akar ve döküldükten sonra pürüzsüz bir yüzeye sahiptir. Kendiliğinden yerleşen beton, geleneksel betonda bulunan aynı bileşenlerden oluşur: çimento, agrega, kum, su, mineral ve kimyasal katkıların eklenmesiyle

oluşmaktadır. Genellikle kullanılan kimyasal katkı maddeleri, betonun reolojik özelliklerini (viskozitesini) değiştiren, su azaltıcılar (yüksek performanslı akışkanlaştırıcılar), viskozite değiştiriciler ve mineral katkıları olarak tanımlanmaktadır. Literatürde KYB için birden fazla isim kullanılmaktadır. Bu isimler şunlardır : Self-Consolidating Concrete, Self-Compacting Concrete ve Self-Leveling Concrete. KYB için en yaygın kullanılan isim Self- Compacting Concrete [10]. KYB'nin geliştirilmesi, beton dökümü ile ilgili sorunların üstesinden gelmek için inşaat alanında bir başarı olarak kabul edilmektedir. KYB, döküm işlemi sırasında işçilerin becerisinden (insan faktörü hariç) etkilenmez. Yüksek akış özelliği ve ayrılma direnci nedeniyle kalıplara yerleştirilir, donatı çubuklarının şeklinden ve miktarından, kalıpların şeklinden etkilenmez. Bu da daha uzun mesafelerde pompalanmasını sağlar [8]. KYB'nin özellikleri aşağıdaki hususlarda özetlenebilir:

- KYB, mekanik vibratör gerektiren normal betondan daha hızlı dökülebilir,
- KYB, beton yüzeyinin tesviye edilmesini gerektirmez,
- Bu beton, normal betona kıyasla ulaşılması zor yerlere kolaylıkla ulaşır ve doldurur,
- Çeşitli döküm yerlerinde homojen beton elde edilmesini sağlar,
- Yüksek pompalanabilirlik ve yüksek işlenebilirliğe sahiptir,
- Proje maliyetini düşüren tesislerin tamamlanma sürelerinin kısaltılmasını sağlar,
- Vibratör kullanımından kaynaklanan gürültüyü azaltır.

KYB'da geri dönüştürülmüş agregaların kullanımı oldukça yeni bir araştırma alanıdır. KYB üretiminde doğal agregaya alternatif olarak geri dönüştürülmüş agrega kullanma imkanı araştırılmıştır. GDBA, doğal agregadan daha az yoğun olduğu ve doğal agregaya göre su emme değeri daha yüksek olduğu için kalitesi doğal agregadan daha düşüktür. Bu konuda birçok uluslararası çalışma yapılmıştır. Çoğu çalışma, GDBA içeriğinin dikkate değer bir etkisi ile geri dönüştürülmüş betonların mekanik özelliklerinde azalma olduğunu belirtmiştir. Bu, geri dönüştürülmüş iri agrega ile ikame oranının artmasıyla mekanik mukavemetin düştüğü anlamına gelir [11]. Bu nedenle, GDBA esaslı betonun istenen özelliklerini elde etmek için beton karışımını dikkatli bir şekilde tasarlamak gerekir.

Bu makalede, laboratuvarında üretilen kırma beton numunelerinden geri dönüşümlü iri beton agregası elde edilmiştir. Doğal agrega içeren KYB karışımları kontrol betonu olarak tasarlanmıştır. GDBA'sı hacimce %0, %10, %20, %30, %40, %50 ve %100 oranlarında doğal agrega ile yer değiştirerek üretim gerçekleştirilmiştir. Ön denemelerde su/çimento oranı 0,36'dan düşük seçildiğinde, çökme-yayılmada EFNARC kriterlerine göre gerekli şartları sağlayamamıştır. Su/çimento oranı 0,36'dan daha yüksek olduğunda çökme-yayılmada ayrışma gözlemlenmiştir. Bundan dolayı, su/çimento oranının 0,36 seçilmesine karar verilmiştir. Çimento miktarı 550 kg/m³ olacak şekilde tüm karışımlarda sabit tutulmuştur. Su/çimento oranını azaltmak ve karışıma daha iyi işlenebilirlik kazandırmak için kimyasal katkı maddesi olarak naftalin sülfonat çimento ağırlığının %1'i oranında karışıma ilave edilmiştir. KYB'nin taze ve sertleşmiş özelliklerini kontrol etmek için 7 farklı GDBA karışımı üretilmiştir. Çökme-yayıma, T₅₀₀ süresi, V hunisi ve L kutusu testleri yapılmıştır. Hazırlanan kendiliğinden yerleşen beton numuneler 7 ve 28 gün boyunca su küresine maruz bırakılmıştır. KYB numuneleri kür süreleri sonunda sudan çıkarılmış ve sertleşmiş beton deneyleri gerçekleştirilmiştir (Ultras ses geçiş hızı, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı).

2. MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

2.1. Materyal

Bu çalışmada, geri dönüştürülmüş beton agregası doğal agrega ile kütlece %0, %10, %20, %30, %40, %50 ve %100 oranında yer değiştirilerek kullanılmıştır. Geri dönüştürülmüş beton agregaları, Harran

Üniversitesi inşaat mühendisliği bölüm laboratuvarındaki atık beton numunelerinden elde edilmiştir. Kendiliğinden yerleşen beton üretimi Avrupa Rehberi EFNARC [12] standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Karışımda çimento, normal agrega, geri dönüştürülmüş beton agregası, kum ve kimyasal katkı kullanılmıştır.

2.1.1. Çimento

KYB üretimlerinde bağlayıcı olarak LİMAK Şanlıurfa çimento fabrikası tarafından temin edilen TS EN 197-1 [13] standardına uygun olarak üretilen CEM I 42,5 R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentonun özgül ağırlığı 3,15'tir. Çalışma kapsamında, 550 kg/m³ çimento kullanılarak tüm karışımlarda sabit tutulmuştur.

2.1.2. Süper akışkanlaştırıcı katkı

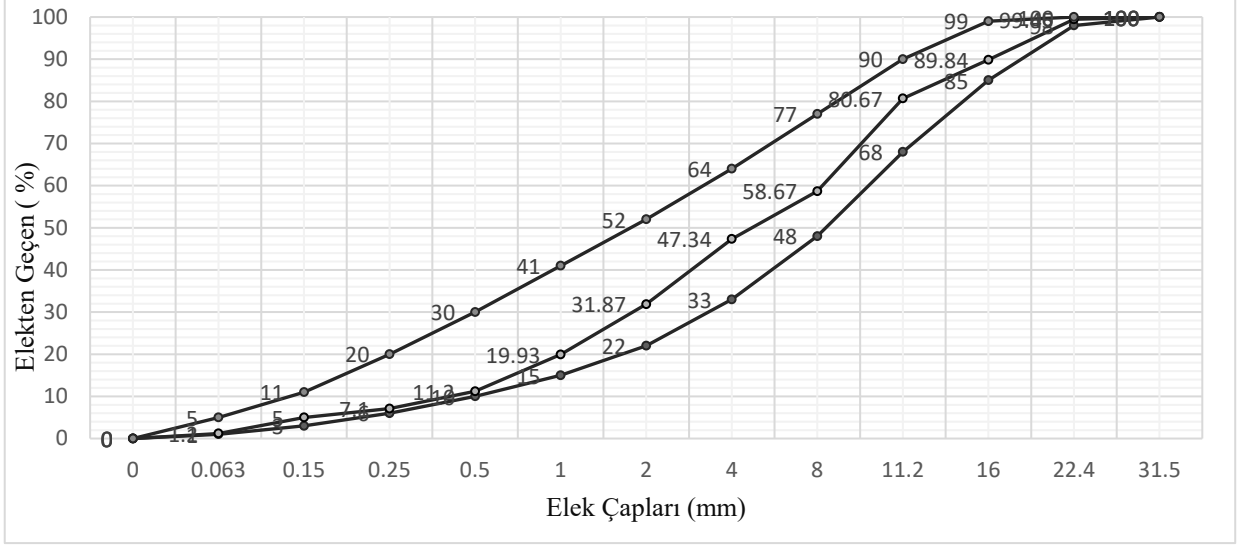
Geri dönüştürülmüş betonun su emme özelliği yüksek olduğundan, viskoziteyi artırmak, ayrışmayı ve karışıma eklenen su miktarını azaltmak için süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. LYKSOR Sodyum Naftalin Sülfat, KYB karışımlarının üretim süreçlerinde süperakışkanlaştırıcı olarak kullanılmıştır. Sodyum Naftalin Sülfonat bazlı hammadde, beton katkı formülasyonlarında su azaltıcı olarak tasarlanmıştır. Kullanılan kimyasal katkının yoğunluğu 1,2 kg/lt olup, çimento ağırlığının %1'i oranında beton karışımlarına dâhil edilmiştir.

2.1.3. Agrega

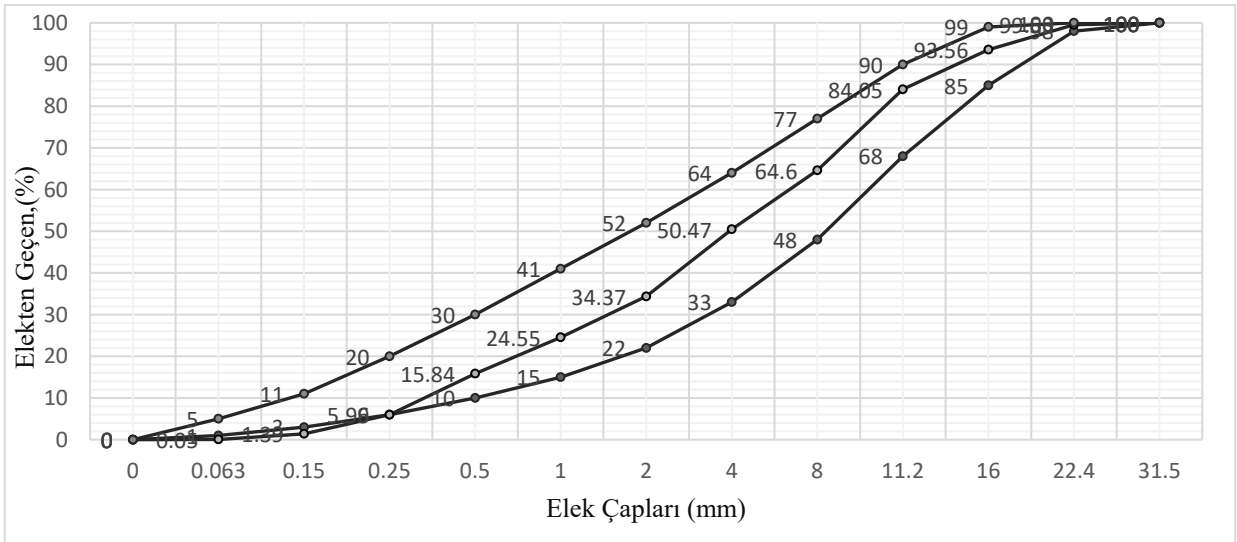
Bu araştırmada, doğal iri agrega olarak maksimum tane boyutu 16 mm olan doğal çakıl agregaları kullanılmıştır. Karışımlar TS 802 [14]'ye uygun olarak hesaplanmıştır. İnce agrega olarak (0-4 mm) dere kumu, iri agrega olarak; doğal ve geri dönüşümlü beton agregaları (4-8 mm ve 8-16 mm) kullanılmıştır. Doğal dere kumu için özgül ağırlık ve su emme değerleri sırasıyla 2,71 ve %0,51 olarak bulunmuştur. Doğal agregaların özgül ağırlık ve su emme değerleri; 4-8 mm için 2,76 ve %2,15, 8-16 mm için ise 2,74 ve %1,63'tür. KYB karışımı %55 ince ve %45 iri agregadan oluşmaktadır. KYB karışımlarının üretiminde kullanılmak üzere geri dönüştürülmüş agregalar üretmek amacıyla atık durumdaki beton numuneleri kullanılmıştır. Geri dönüştürülmüş beton agregaları, Harran Üniversitesindeki inşaat mühendisliği bölüm laboratuvarında bulunan atık beton numunelerden elde edilmiştir. Atık beton numuneleri çeneli kırıcı kullanılarak parçalanmıştır. Kırıcıdan geçirilen beton numuneler işlem sonrası eleme işlemine tabii tutularak 4-16 mm tane boyutlarına sahip agregalar elde edilmiştir. Geri dönüştürülmüş beton agregasının özgül ağırlık ve su emme değerleri; 4-8 mm için 2,737 ve %7,33, 8-16 mm için ise 2,735 ve %7,36'dır. KYB üretiminde kullanılan dere kumu, doğal agrega ve geri dönüşümlü beton agregalarının fiziksel özellikleri Tablo 1'de sunulmuştur. Doğal agrega, geri dönüşümlü beton agregası ve dere kumunun granülometri eğrileri Şekil 1 ve Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 1. KYB üretiminde kullanılan dere kumu, doğal ve geri dönüştürülmüş beton agregasının fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler	Dere kumu	Doğal agrega (4-8 mm)	Doğal agrega (8-16 mm)	GDBA (4-8 mm)	GDBA (8-16 mm)
Özgül ağırlık	2,71	2,76	2,74	2,737	2,735
Su emme (%)	0,51	2,15	1,63	7,33	7,36



Şekil 1. Doğal agrega ve dere kumun granülometri eğrileri

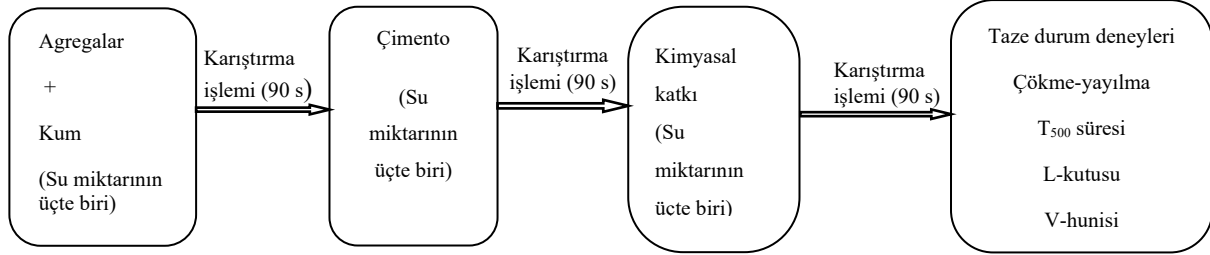


Şekil 2. GDBA agrega ve dere kumun granülometri eğrileri

2.2. Karışım Oranları ve Karışımın Hazırlanması

Bu çalışmada, doğal çakıl agregasının kütlece %0, %10, %20, %30, %40, %50 ve %100'ü oranında geri dönüştürülmüş beton agregası kullanılmıştır. KYB serilerinin üretiminde 550 kg/m^3 çimento kullanılmıştır. Ön denemeler sonucunda su/çimento oranının 0,36 olarak kullanılmasına karar verilmiştir. Taze beton karışımlarında ayrışmaya karşı direnç elde etmek için önemli miktarda superakışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Sodyum Naftalin Sülfonat (LYKSOR Sodyum Naftalin Sülfat) bazlı akışkanlaştırıcı, beton katkı formülasyonlarında su azaltıcı olarak kullanılmıştır. KYB'deki akışkanlığı sağlamak amacıyla, çimento miktarının ağırlıkça %1'i oranında naftalin sülfonat bazlı akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. KYB karışım oranlarını Tablo 3'de gösterilmiştir. Tablo 3'de, kontrol betonu doğal çakıl agregaları ile üretilen betonu, GDBA10 kodu ise geri dönüşümlü beton agregasının doğal çakıl agregası ile %10 oranında yer değiştirdiğini göstermektedir. Karıştırma işlemi üç aşamaya ayrılmıştır. Birinci aşamada, iri ve ince agregalar, su miktarının 1/3 ilave edilerek 90 s karıştırılmıştır. İkinci aşamada, çimento ve suyun 2/3 eklenmiş ve 90 s karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Son aşamada, süperakışkanlaştırıcı ve kalan su

miktarı karışıma ilave edilerek 90 s karıştırma işlemi yapılmıştır. Toplamda 4,5 dakikada karışım tamamlanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Malzemelerin karışım süreci

KYB karışımlarının taze özelliklerini belirlemek için çökme-yayılma testi, T_{500} süresi, V-hunisi testi, L-kutusu testleri yapılmıştır. Deneylerden sonra taze beton kalıplara yerleştirilmiştir. Basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı testleri için 150 mm'lik küp numuneler, eğilme dayanımı testi için ise 100 x 100 x 500 mm boyutlarında prizmatik numuneler hazırlanmıştır. KYB numuneleri 24 saat sonra kalıplardan çıkarılmış ve test anına kadar su kürü (7 ve 28 gün) uygulanmıştır.

Tablo 3. Üretilen KYB karışımlarına ait karışım oranları (kg/m^3)

Karışım Kodu	s/ç	Su	Çimento	Katkı	Kum	Doğal agregalar		GDBA	
						(4-8)mm	(8-16)mm	(4-8)mm	(8-16)mm
Kontrol	0,36	198	550	5,5	886,8	412,94	327,86	--	--
GDBA10	0,36	198	550	5,5	886,8	371,65	295,01	39,67	31,72
GDBA20	0,36	198	550	5,5	886,8	330,35	65,95	330,35	262,3
GDBA30	0,36	198	550	5,5	886,8	289,42	229,51	119	95,14
GDBA40	0,36	198	550	5,5	886,8	247,76	196,72	158,7	126,85
GDBA50	0,36	198	550	5,5	886,8	206,46	163,9	198,4	158,48
GDBA100	0,36	198	550	5,5	886,8	--	--	396,7	317,1

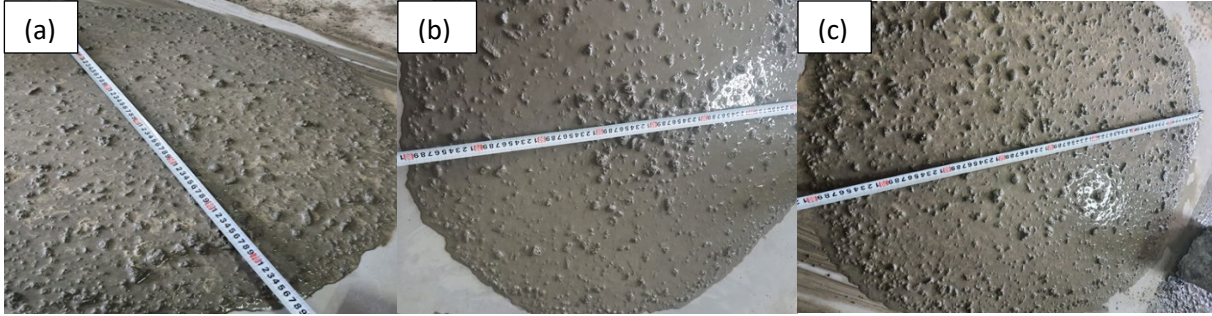
2.3. Test Yöntemleri

2.3.1. Kendiliğinden yerleşen taze beton deneyleri

KYB'nin akışkanlık, doldurma yeteneği, geçme yeteneği ve mukavemet sonuçlarını belirlemek için EFNARC standardına göre çökme-yayılma, T_{500} süresi, V-hunisi ve L-kutusu testleri yapılmıştır.

2.3.1.1. Çökme-yayılma deneyi ve T_{500} süresi ölçümü

Betonun doldurma kabiliyetini ve viskozitesini test etmek için kendiliğinden yerleşen beton karışımları üzerinde çökme- yayılma ve T_{500} süresi testleri yapılmıştır. Koni metal plakanın ortasına yerleştirilmiştir. Betonla doldurulduğu ve fazla betonu çıkardıktan sonra koni dikey olarak kaldırılmıştır. Betonun 500 mm'lik çapa ulaşma süresi kaydedilmiş, dikey ve yatay mesafe ölçümlerinin ortalaması alınmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Taze beton ölçümleri: (a) Kontrol, (b) GDBA10, (c) GDBA100

2.3.1.2. L-kutusu deneyi

KYB'nin donatı çubukları ile temsil edilen engelleri geçme kabiliyetini doğrulamak için L kutu testi gerçekleştirilmiştir. Kutu sabit ve yatay bir konuma yerleştirilmiştir. L-kutusunun dikey kısmı mikserden alınan KYB numunesi ile doldurulmuştur. Kapak açılmış ve betonun akışı durduktan sonra H1 ve H2 mesafeleri ölçülmüştür

2.3.1.3. V-hunisi deneyi

V-hunisi testi, kendiliğinden yerleşen betonun viskozitesini ve doldurma kapasitesini değerlendirmek için yapılmıştır. V hunisi, yatay olarak sabit bir yüzeye dikey olarak yerleştirilmiş ve ardından KYB numunesi ile doldurulmuştur. Kapı açıldığında kronometre çalıştırılmıştır. Hunide boşluk görüldüğünde, kronometre durdurulmuş ve huni akış süresi kaydedilmiştir.

2.3.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri

2.3.2.1. Ultrases geçiş hızı deneyi

Ultrases geçiş hızı ölçüm (UPV), bazı malzeme özelliklerini elde etmek, kusurları tespit etmek ve sertleşmiş betonun bozulmasını değerlendirmek için kullanılan tahribatsız bir test yöntemidir. Testler sadece beton kalite kontrolü için değil, aynı zamanda çatlakların varlığını belirlemek için de kullanılabilir [15]. Test aleti, bir darbe üreten ve betona veren bir araçtan (darbe üretici ve verici) oluşur. Test numunesinin iki ucuna bir çift piezoelektrik sensör yerleştirilir [16]. Aynı numunenin uzun süreli izlenmesini sağlar. UPV cihazı dalga darbeleri üretir ve bunları betona iletir; darbenin betondan geçmesi için geçen süreyi dikkate alarak darbe alıcısı aracılığıyla gelen dalgaları kaydeder ve görüntüler [17]. Dalganın kat ettiği mesafe bilinerek geçiş

hızı hesaplanır ve hıza göre betonun durumu belirlenir. Sensörlerin konumlarına bağlı olarak, iletimler üç kategoriye ayrılır: direkt iletimler (sensörler zıt uçlarda), indirekt iletimler (sensörler aynı tarafta) ve yarı direkt iletimler (sensörler dik açılarda) [18]. Bu çalışmada betonun basınç dayanımını değerlendirmek için direkt ölçüm kullanılmıştır (Şekil 4). Bilindiği gibi betonun yoğunluğu ne kadar yüksekse dayanımı o kadar yüksektir, bu nedenle ultrases dalgaları daha yoğun beton içinde daha hızlı geçer [10]. Ultrases geçiş hızı testi, basınç dayanımı testinde kullanılacak 150 mm'lik beton numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. GDBA ile üretilen kendiliğinden yerleşen beton numuneleri laboratuvar ortamında 24 saat kalıplarda bekletildikten sonra kalıplardan alınmıştır. Daha sonra beton numunelere 25 ± 2 °C sıcaklıktaki su havuzunda 28. güne kadar standart su kürü uygulanmış, ardından ultrases geçiş hızı testi yapılmıştır. Ultrasonik deney yöntemiyle beton kalitesinin değerlendirilmesi Tablo 4'te gösterilmektedir.

Tablo 4. IS, 1992'ye göre ultrasonik test yöntemi ile beton kalitesinin değerlendirilmesi

Dalga Hızı, (m/s)	Beton Kalitesi
> 4500	Mükemmel
3500-4500	İyi
3000-3500	Şüpheli
2000-3000	Zayıf
< 2000	Çok Zayıf

2.3.2.2. Basınç dayanımı deneyi

Deney standardı TS EN 12390-3[19]'e uygun olarak basınç dayanımını tayin etmek amacı ile yapılmıştır. Basınç dayanımı testi için 3000 kN yükleme kapasiteli, dijital göstergeli ve hidrolik yük kontrollü otomatik pres kullanılmıştır. Beton numuneleri 0,6 kN/s yükleme hızında kırılmıştır. Basınç dayanım deneyleri 150 mm'lik küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Beton numuneler 7 ve 28 günlük su kürü sonrası basınç dayanım testine tabi tutulmuştur.

2.3.2.3. Eğilmede çekme dayanımı deneyi

Eğilmede çekme dayanım testi, TS EN 12390-5 [20] standardına göre 0,05 MPa yükleme hızında gerçekleştirilmiştir. Betonun eğilme dayanımını elde etmek için beton kiriş numuneleri hazırlanmış ve beton numunenin üzerine yerleştirildiği mesnetler arasındaki mesafenin ortasına (mesafe L/2) yüklenerek test edilmiştir. Üretimden itibaren 28 gün sonra 3 noktadan yüklemeli eğilme deneyi 100x100x500 mm boyutlarındaki prizmatik numunelere uygulanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

3.1. Taze Beton Deney Sonuçları

KYB'nin özelliklerini taze durumda belirlemek için (doldurma ve geçme yetenekleri), çökme yayılma deneyi, T₅₀₀ süresi, V-hunisi akış süresi, L-kutu yükseklik oranı ölçülmüş ve sonuçlar kaydedilmiştir. KYB karışımları üzerinde yapılan taze beton testlerinin sonuçları Tablo 5'te gösterilmektedir.

Tablo 5. Kendiliğinden yerleşen taze beton deney sonuçlarının EFNARC,2005 sınır değerler ile karşılaştırılması

Karışım Kodu	Çökme-yayılma (mm)-SF3	T ₅₀₀ Süresi (s) VS2	L-kutusu oranı PA2	V-hunisi Süresi (s)
Kontrol	800≥ 760	4,10>2	0,910 ≥0,80	9,17>9-25 (VF2)
GDBA10	760≥ 760	4,26>2	0,890 ≥0,80	8,72≤8 (VF1)
GDBA20	780≥ 760	4,22>2	0,895 ≥0,80	8,63≤8 (VF1)
GDBA30	800≥ 760	4,20>2	0,900 ≥0,80	6,33≤8 (VF1)
GDBA40	810≥ 760	3,38>2	0,910 ≥0,80	6,27≤8 (VF1)
GDBA50	810,5≥ 760	3,32>2	0,915 ≥0,80	6,17≤8 (VF1)
GDBA100	800,5≥ 760	4,30>2	0,913 ≥0,80	9,18>9-25 (VF2)

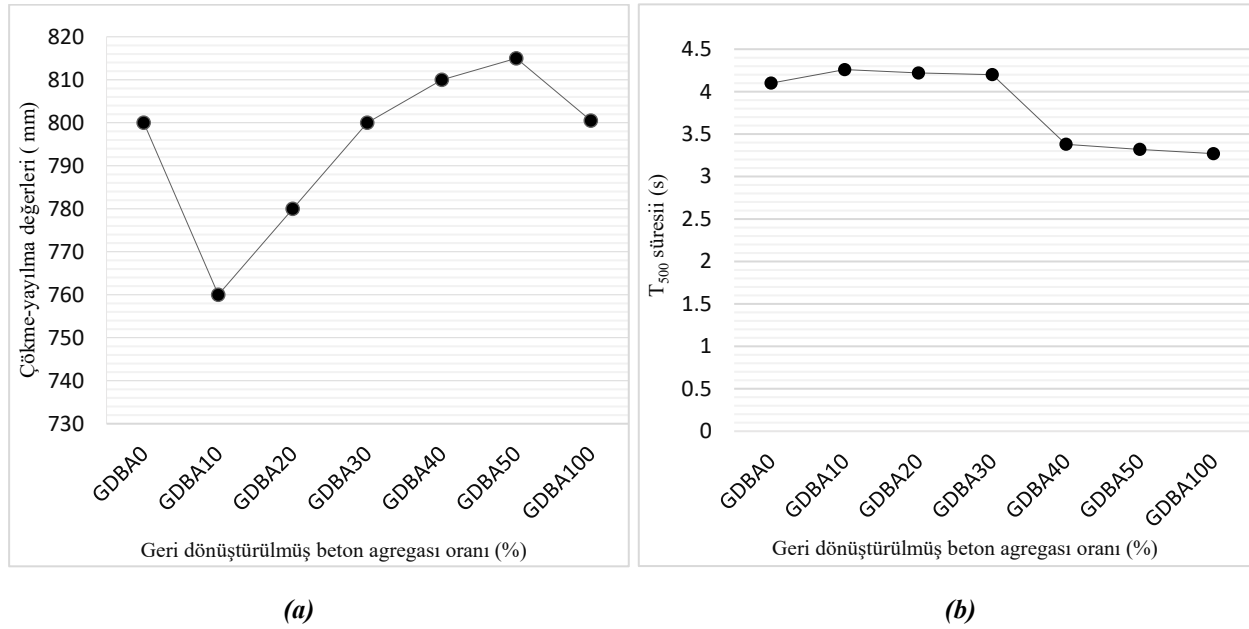
3.1.1. Çökme-yayılma deneyi ve T₅₀₀ süresi ölçümü sonuçları

Kendiliğinden yerleşen beton üretmek için tasarlanan karışımlar üzerinde yapılan çökme yayılma testinin sonuçları EFNARC standardına göre belirlenen sınır değerler içinde kalmıştır (Tablo 5). Şekil 5(a)'da yayılma çaplarının 760 mm ile 810,5 mm arasında olduğu görülmektedir. Çökme-yayılma değerleri incelendiğinde tüm beton karışımlarının EFNARC, 2005'e göre SF3 sınıfında olduğu gözlemlenmiştir. Kontrol karışımına kıyasla %10 ve %20 GDBA eklendiğinde çökme yayılmada bir azalma olduğu açıkça görülmektedir. GDBA'nın %10 ve %20 ikame oranlarında kullanılması ile kontrol karışımına kıyasla sırasıyla; %5 ve %2,5'lik bir düşüş gözlemlenmiştir. GDBA'nın %40, %50 ve %100 ikame oranlarında kontrol karışımına kıyasla sırasıyla; %1,25, %1,875 ve %0,625'lik bir artış olduğu görülmektedir. Bu bulgu, önceki araştırma sonuçları ile tutarlıdır [17,21]. GDBA'nın %50'ye kadar ikame edilmesi ile çökme-yayılma değerlerinde artış sergilenirken, geri dönüşümlü betonun daha yüksek oranlarda kullanımı daha az artışa neden olmuştur. Bunun nedeni, GDBA'nın açısız şekline bağlanmıştır [17]. GDBA, kırma işlemleri sayesinde daha fazla yüzey pürüzlülüğüne ve nispeten daha ince parçacıklara sahiptir. GDBA kullanımında %50'e kadar olan yer değiştirme seviyelerinde çökme-yayılma miktarının artması buna karşın daha fazla yer değiştirme seviyelerinde kontrol betonuna kıyasla, azda olsa çökme-yayılma değerlerinin artmasının nedeni daha fazla yassı ve uzun agregaların kullanılmasına bağlanmıştır. Daha önce yapılan bir çalışmada, GDBA kullanımında çökme-yayılma değerlerindeki artış kullanılan agregaların özgül ağırlıklarının farklı olmasına bağlanmıştır. GDBA'nın özgül ağırlıkları doğal agregaya kıyasla azda olsa düşüktür, düşük özgül ağırlıktan dolayı harç tarafından agregaların taşınması daha kolay olacak ve çökme-yayılma değerlerinde artış görülecektir. Çökme-yayılma değerlerinin kontrol betona kıyasla azda olsa artması karışımların su emmelerinin farklı olmasına bağlanmıştır. Laboratuvarından alınan numuneler rastgele seçildiğinden C25, C30 veya C35 sınıflarından hangisine ait olduğu tam olarak bilinmemektedir. Yapılan bir çalışmada, laboratuvarından temin edilen C25 ve C30 sınıflarına ait iki tür geri dönüşüm agregası kullanılmış ve sonuç olarak C30 sınıfına ait çökme-yayılma değerlerinin C25 sınıfına ait çökme-yayılma değerlerine kıyasla daha fazla artış sağladığı gözlemlenmiştir. Ancak, her iki beton sınıfına ait çökme-yayılma değerlerinde %100 yer değiştirme oranında kontrol betona kıyasla çökme-yayılma değerlerinde artış görülmüştür [22]. GDBA'larının çökme-yayılma değerlerinin farklılık göstermesinin nedeni, su emmelerinin değişken olmasına bağlanmıştır. Geri dönüşümlü agregalarının %50'ye kadar olan yer değiştirme seviyelerinde çökme-yayılma değerlerinin artmasının bir nedeni de azaltılmış kaba agrega içeriğine bağlanmıştır [23, 24].

Genel olarak, geri dönüşüm agregasının miktarı arttıkça daha fazla su emilimi olacağından dolayı çökme-yayılma değerlerinin azalması beklenmektedir. Ancak, Safiuddin ve ark. [23], Tüyan ve ark. [25] ve Modani ve Mohitkar [26] gibi bazı yazarlar daha küçük oranlarda (%20-%40) geri dönüşüm agregasının kullanılması ile çökme-yayılma değerlerinin arttığını ve yüksek oranda (%70-%100) geri dönüşüm agregasının kullanılması ile ince agrega içeriği nedeniyle çökme-yayılmada azalma olduğunu

bildirmişlerdir. Karıştırma sırasında kırılma daha fazla ince agrega içeriğinin artmasına neden olacak ve bunun sonucunda su emilimi de artmış olacaktır. Bu durumda sonuçlar üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir.

T_{500} süresi sonuçları incelendiğinde, KYB karışımlarının 500 mm çapa ulaşma sürelerinin 2 s'nin üzerinde olduğu görülmüştür (Şekil 5(b)). Yayılma çaplarının daha az olduğu karışımlarda daha yüksek T_{500} süreleri elde edilmiştir. GDBA'nın %10, %20, %30 ve %100 oranında ikame edilmesi ile T_{500} sürelerinde kontrol betonuna kıyasla sırasıyla; %3,90, %2,92 ve %2,40, %4,87 oranında artış görülmüştür. GDBA'nın %40 ve %50 oranında ikame edilmesi ile kontrol betona kıyasla, T_{500} sürelerinde sırasıyla; %17,50, %19,00 azalış görülmüştür. T_{500} viskozite değerleri incelendiğinde tüm beton karışımlarının EFNARC, 2005'e göre VS2 sınıfında olduğu gözlemlenmiştir. GDBA'nın %100 yer değiştirme seviyesinde T_{500} süresindeki artış karışımdaki serbest su içeriğinin azalmasına atfedilmiştir [27, 28].



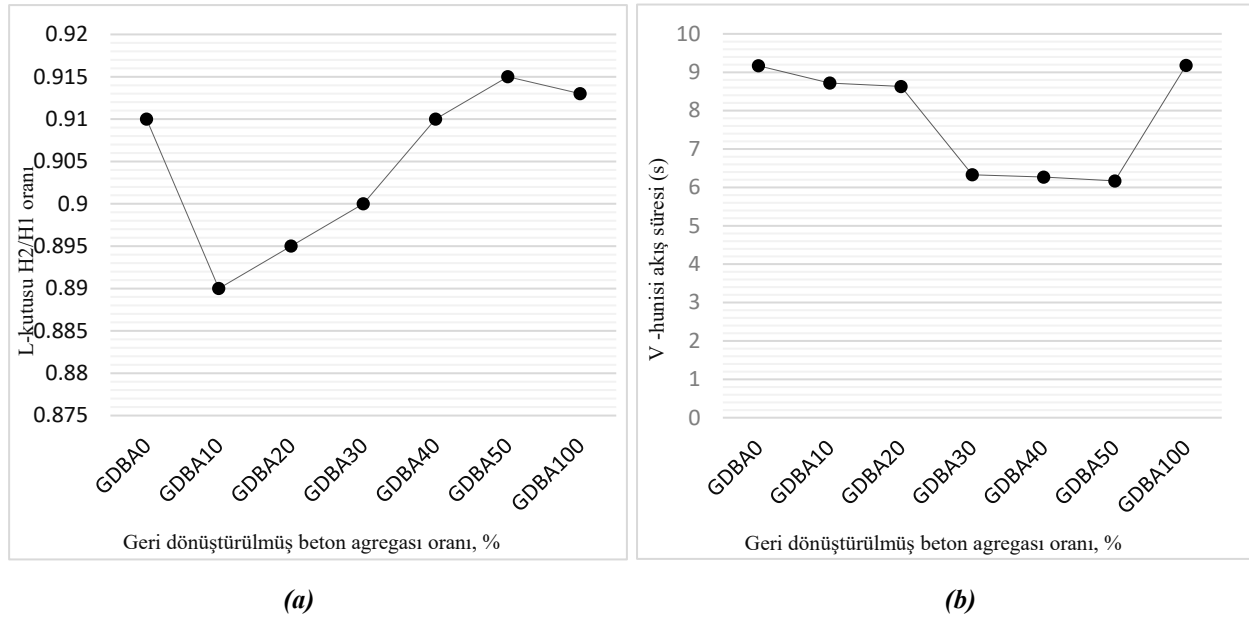
Şekil 5. (a) Hazırlanan karışımların çökme-yayılma miktarları ve (b) T_{500} Süresi

3.1.2. L-kutusu deney ölçümü sonuçları

GDBA ikame oranının artması ile L-kutusu değerlerinde artış görülmüştür (Şekil 6(a)). Geri dönüştürülmüş beton agregası %30 oranında eklenirken, L-kutusu testi değerinde bir düşüş gözlemlendi ancak sonuç EFNARC'a göre izin verilen sınır değerler içinde kalmıştır. Doğal kaba agreganın GDBA ile değiştirilmesinin H2/H1 oranları üzerinde çok az etkisi olduğu açıktır, çünkü %10 ila %50 GDBA kullanılan karışımlarda çok az azalma gözlemlenmiştir. Beton karışımından sonra GDBA tarafından serbest suyun sürekli olarak emilmesinden kaynaklanmış olabilir [29]. Bu sonuçlar, Saifuddin vd,[23], Khafaga, [24] ve Tang vd, [29] çalışması ile tutarlıdır. L-kutusu deneyinin sonuçları, kontrol karışımına kıyasla GDBA'nın %10, %20 ve %30 ikame oranlarında sırasıyla %2,20, %1,65 ve %1 oranında azalmıştır. GDBA'nın %40 ve %50 yer değiştirme seviyesi için kontrol karışımına çok yakın olduğu, %100 yer değiştirme seviyesinde ise %0,32 oranında kontrol karışımına göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Tüm KYB karışımlarının geçme sınıfı, EFNARC, 2005'e göre PA2 olarak belirlenmiştir. Tüm beton karışımları, L-kutusunun açıklığından aktıktan sonra, donatı çubukları arasında tıkanma olmaksızın akmıştır.

3.1.3. V-hunisi akış süresi ölçüm sonuçları

Tüm KYB karışımlarında V-hunisi akış süresi EFNARC tarafından önerilen standart sınırlar içinde kalmıştır. GDBA kullanımındaki artışa bağlı olarak, V-hunisi akış süresinde düşüş olduğu görülmektedir (Şekil 6(b)). Ancak, %100 GDBA'nın kullanılması sonucu kontrol betona kıyasla V-hunisi süresinde artış görülmüştür. Bu durum, doğal agregaya ile karşılaştırıldığında GDBA'nın daha pürüzlü yüzey dokusuna bağlanabilir. Diğer bir neden ise geri dönüşümlü agreganın V-hunisi çıkışında kaba agregaların birikmesine bağlanabilir [23, 30]. GDBA ilave edildiğinde, V-hunisi geçiş süresinde beton karışımının boşalma süresinin azaldığı, %20'ye kadar GDBA ilave edildiğinde ise referans karışıma göre boşalma süresinde önemli bir değişiklik olmadığı görülmüştür ancak V-hunisi süresindeki artışın iri agregadan kaynaklandığı düşünülmektedir [24]. GDBA %30 oranında eklendiğinde boşaltma süresi azalmıştır. V-hunisi deneyinin sonuçları, kontrol karışımına kıyasla GDBA'nın %10, %20, %30, %40 ve %50 ikame oranlarında sırasıyla %5,00, %5,90, %9,16, %9,80 ve %10,90 oranında azalmıştır. Çalışmada, kontrol ve %100 GDBA'nda V-hunisi akış süresi 9 s'nin üzerinde olduğundan VF2 olarak sınıflandırılmakta geri kalan tüm karışımlarda ise akış süresi 8 s'nin altında olduğundan VF1 olarak sınıflandırılmaktadır (EFNARC, 2005).



Şekil 6. L kutusu deneyi için H2/H1 oranı ve Hazırlanan karışımların V hunisi akma süreleri

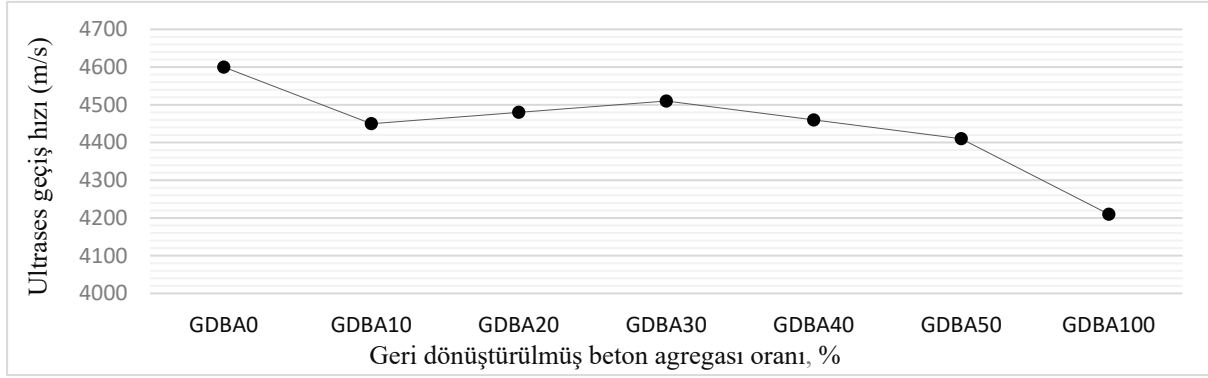
3.2. Kendiliğinden Yerleşen Sertleşmiş Betonun Deney Sonuçları

GDBA ile üretilen KYB'nin mekanik özellikleri (basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı ve eğilme dayanımı) incelenmiştir. GDBA ile üretilen KYB'ler için test sonuçları karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir.

3.2.1. Ultrases geçiş hızı deney sonuçları

GDBA kullanılan numunelerde ultrases geçiş hızı 4210 ile 4510 m/s arasında değişmektedir (Şekil 7). KYB üretiminde kullanılan GDBA'nın %10, %20, %30, %40, %50 ve %100 oranında kullanılması ile ultrases geçiş hızı değerlerinde kontrol betona kıyasla sırasıyla; %3,26, %2,61, %1,90, %3,10, %4,13 ve %8,47 oranlarında azalma olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek ultrases geçiş hızı, 4600 m/s ile kontrol betonundan elde edilmiştir. KYB karışımlarında %30'a kadar GDBA kullanılması ile ultrases geçiş hızlarında artma, %30'dan fazla GDBA kullanılması ile ultrases geçiş hızlarında azalma gözlemlenmiştir (Şekil 9). Ultrases

geçiş hızlarındaki azalma, geri dönüşümlü betonun boşluklu yapısına bağlanmıştır. Doğal kaba agregaya kıyasla geri dönüşümlü beton agregasının daha düşük yoğunluğa sahip olması nedeniyle, geri dönüştürülmüş agrega içeren betonda ultrases hızı daha düşük bulunmuştur [21,31].



Şekil 7. KYB karışımlarının 28 günlük ultrasonik ses geçiş hızları

3.2.2. Basınç dayanımı deney sonuçları

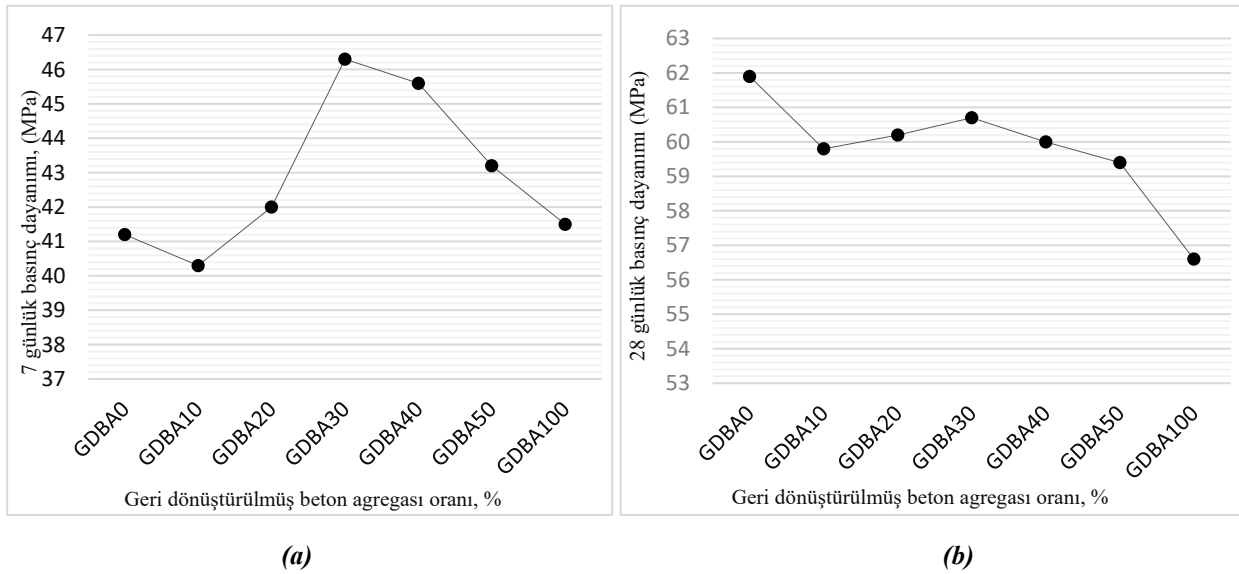
Basınç dayanımı, sertleşmiş betonun en önemli özelliğidir ve malzemenin dayanıklılık performansını etkilemektedir. KYB karışımlarının 7 ve 28 günlük basınç dayanım sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Serilerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları

Karışım Kodu	7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)
Kontrol	41,2	61,9
GDBA10	40,3	59,8
GDBA20	42,0	60,2
GDBA30	46,3	60,7
GDBA40	45,6	60,0
GDBA50	43,2	59,4
GDBA100	41,5	56,6

KYB karışımlarında %30'a kadar GDBA ikame edilmesi ile 7 ve 28 günlük kür süreleri sonunda basınç dayanımında artış, %30 üstü yer değiştirme seviyelerinde ise basınç dayanımında azalma olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 8). GDBA'nın %20, %30, %40, %50 ve %100 oranlarında kullanılması ile, 7 günlük kür süresi sonunda kontrol betona kıyasla, basınç dayanım değerlerinde sırası ile %1,95, %11,90, %10,70, %2,42 ve %0,37 oranında artış görülmüştür. Ayrıca, %10 GDBA'nın kullanılması ile kontrol betonuna kıyasla %2,18 oranında azalış gözlemlenmiştir. GDBA agregaları başlangıçta karışımdaki suyu depolar ve daha sonraki aşamalarda, mukavemet kazanımına yardımcı olmak için nem bakımından zengin bir ortam oluşturmaya yardımcı olurlar [32]. En yüksek basınç dayanım değerinin %30 ikame oranında olduğu görülmektedir. KYB karışımlarının 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde %10, %20, %30 yer değiştirme seviyelerinde kontrol betona kıyasla %3,40, %2,75, %1,94 oranlarında artış görülürken %40, %50 ve %100 ikame oranlarında kontrol betona kıyasla sırasıyla; %3,00 %4,00 ve %8,56 oranlarında azalış görülmüştür. Basınç dayanımdaki bu fark, önemli olarak tanımlanamaz [33]. Bu bulgular, önceki araştırma sonuçları ile uyumludur [6,17,33,34]. GDBA'nın üzerine yapışan harç, yaşla birlikte mukavemet

kazanımına katkıda bulunan hidratlaşmamış çimento içerebilir [29]. Manzi ve ark. [35] yaptığı çalışmada, GDBA içeren KYB'nin yüksek basınç dayanım değerlerinin, yeni harç ile GDBA arasındaki yapışmaya ve ayrıca geri dönüştürülmüş agregaların yüksek kalitesine bağlamışlardır. GDBA eklendiğinde, basınç dayanımındaki artışın birkaç olası nedeni vardır [36-37]. GDBA'larının artan yüzey pürüzlülüğünün çimento agregaya bağını artırabileceğini bildirmişlerdir [30]. Tang [30] yaptığı çalışmada, GDBA'larda ve geleneksel agregalarda farklı su emme miktarlarının etkisinin olabileceğini bildirmişlerdir. GDBA'nın su emme kapasitesi daha yüksektir, bu artan su emme, su/çimento oranının düşmesine neden olabilir, bu da çimento hamurunun mukavemetini artırır ve böylece agregaya ile çimento hamuru arasındaki bağları iyileştirir ancak çok fazla su emilirse, yetersiz su içeriği ve yetersiz hidratasyon betondaki dayanım gelişimini azaltacaktır. Daha önceki çalışmalarda [38] GDBA'nın ince agregaya veya kaba agregaya yerine kullanılmasına göre dayanım sonuçlarının farklılık gösterdiği görülmüştür. GDBA %20 oranında kaba agregaya yerine kullanıldığında 30 MPa ile en yüksek basınç dayanımını sergilerken, %100 oranında kullanıldığında 28 MPa ile en düşük dayanım elde edilmiştir. GDBA %20 oranında ince agregaya yerine kullanıldığında 22 MPa ile en yüksek basınç dayanımını ve %100 oranında kullanımı ile 22MPa'lık en düşük dayanımı göstermiştir. Ancak, GDBA'nın %40 iri ve %60 ince agregaya yerine kullanılması ile de 35 MPa'lık en yüksek basınç dayanım değeri elde edilmiştir. Bu çalışmada iri agregaya olarak kullanılan GDBA da en yüksek basınç dayanımı 7 ve 28 günlük kür sonrası %30 oranında doğal agregaya ile ikame edilmesinden ortaya çıkmıştır (Şekil 8). İnce GDBA betondaki boşlukları doldururken, iri GDBA gözenekleri ise çimento hamuru ile dolmaktadır. Bu çalışmada iri agregaya olarak kullanılan GDBA %30'a kadar kullanıldığında gözenekler kum ile dolarak kapandığından basınç dayanımı artmaktadır. Ancak, %30'dan daha fazla GDBA kullanılması durumunda daha fazla gözenek oluşması ve bunların kapanmaması basınç dayanımının düşmesine neden olmuştur. Su miktarının sabit olması, hidrate olmamış harç içeriğinin artması, betonun daha fazla su emmesine ve basınç dayanımının artmasına yol açmıştır [39].

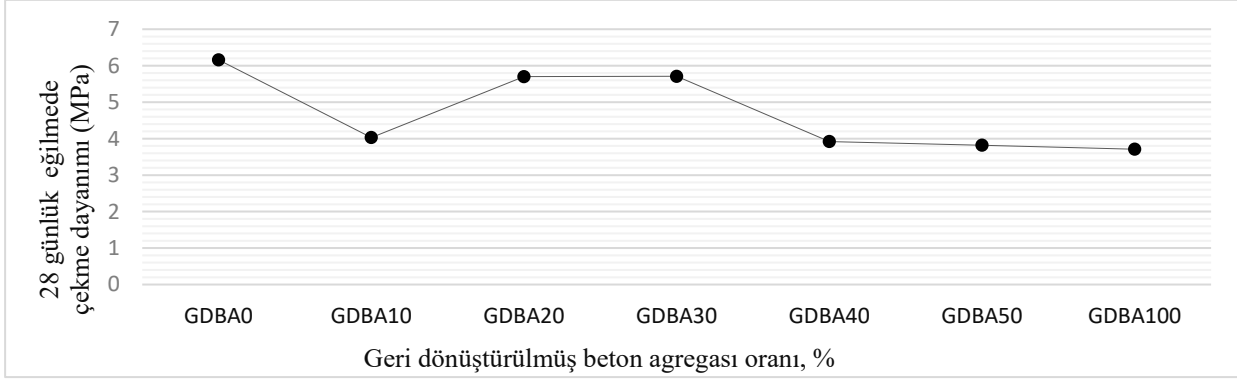


Şekil 8. Serilerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları

3.2.3. Eğilmede çekme dayanımı deney sonuçları

Tüm KYB karışımlarının 28 günlük kür süresi sonunda eğilme dayanımları incelenmiştir (Şekil 9). Beton numunelerin eğilmede çekme dayanımının kontrol betona göre %10, %20, %30, %40, %50 ve %100 ikame oranları için sırasıyla %34,50, %7,31, %7,30, %36,36, %37,98 ve %39,77'dir oranlarında azalış olduğu gözlemlenmiştir. GDBA'nın %30'a kadar eklenmesi ile eğilme dayanımı artmıştır. Ancak, çekme mukavemetindeki bu artış GDBA oranının artmasıyla giderek azalmıştır. Panda [6] yaptığı çalışmada, KYB'nin eğilme dayanımının GDBA'nın artmasıyla azaldığını bildirmiştir. Kontrol karışımının, diğer

karişimlara kıyasla en yüksek eğilme çekme mukavemetine sahip olduğu görülmüştür. Eğilme mukavemetindeki azalma, eski yapıştirilmiş harçlar ile yeni harçlar arasında gelişen zayıf ara yüzey bağ kalitesine bağlanmıştır [29,34].



Şekil 9. KYB karişimlarının 28 günlük yarmada çekme dayanımları

Dayanım üzerindeki bu etkiler geri dönüşümlü beton agregasının etkisinden kaynaklanmaktadır. Maksimum agrega boyutu küçüldükçe, geri dönüştürülmüş agregada bulunan eski harcın miktarı artar, bu durum geri dönüşümlü betonun mukavemetinde daha fazla azalmaya neden olmaktadır. Agreganın büyüklüğünden bağımsız olarak, ana betonun mukavemeti arttıkça, geri dönüştürülmüş agregalarda ana harcın varlığı artmaktadır. Bu durum, geri dönüştürülmüş betonun mukavemetini etkilemektedir [40].

4. SONUÇ (CONCLUSION)

GDBA kullanılarak üretilen KYB numunelerinin çökme-yayılma, T_{500} süresi, V-hunisi, L-kutusu, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve ultrases geçiş hızı incelenmiştir. KYB numuneleri üretilerek uygulanan deney sonuçları şu şekilde özetlenebilir:

Çökme-yayılma değerleri incelendiğinde tüm karişimların SF3 sınıfında olduğu gözlemlenmiştir. Karişimde %100 GDBA kullanıldığında yayılma çapının en yüksek değeri 810,5 mm iken, yayılma çapının en düşük değeri ise doğal agregaların %10 oranında GDBA ile değiştirilmesi ile elde edilmiştir. Üretilen tüm KYB karişimlarının VS2 sınıfında olduğu sonucuna varılmıştır. 500 mm çapa ulaşmak için en yüksek süre 4,26s, en düşük süre ise 3,27s olarak bulunmuştur.

V-hunisi sonuçları incelendiğinde, ikame oranları %0, %10 ve %20 olan KYB karişimlarının VF2 sınıfında olduğu tespit edilmiştir. Diğer karişimler VF1 sınıfında kalmıştır. V hunisinin minimum akış süresi 6,10 saniye ve maksimum akış süresi 9,17s olarak bulunmuştur.

L-Kutusu deneyi, üç çubuklu donatıdan %93'lük bir geçirgenlik sağlamıştır. Tüm karişimler KYB kriterlerini karşılamıştır.

GDBA'nın eklenmesi, kontrol karişımına kıyasla KYB'nin basınç dayanımını ve UPV değerlerini azaltmıştır. UPV değerleri, basınç dayanımına tekabül eden GDBA yüzdesinin %30'a kadar artmasıyla yükselmiştir.

En yüksek basınç dayanımı, %30 ikame oranına sahip beton karişımı için 7 günlükken elde edilmiştir. En yüksek basınç dayanımı, %0 ikame oranına sahip beton karişımı için 28 günlük yaşta elde edilmiştir.

Yüksek dayanım sınıfı betonun parçalanmasından elde edilen GDBA'nın yüksek kalitesi nedeniyle, kontrol karışımına kıyasla basınç dayanımında hafif bir azalma gözlemlenmiştir.

DeneySEL araştırmadan elde edilen KYB'nin 28 günlük eğilme mukavemeti, GDBA'nın tüm değiştirme oranlarında kontrol karışımından daha az bulunmuştur. GDBA'nın %100 oranında kullanımı eğilmede çekme mukavemetini %45 oranında azaltmıştır.

Eski harç ve yeni harç arasındaki ara yüzey geçiş bölgesinin zayıf olmasından dolayı, GDBA'nın artması ile dayanımda azalma olduğu söylenebilir. Ayrıca, atık beton sınıfında deney sonuçları üzerinde etkisinin olduğu düşünölmektedir. Farklı sınıflara ait atık betonlar kullanılarak betonun dayanım ve dayanıklılık özellikleri incelenebilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] S. Ustaoglu, Yapıların Söküm – Yıkım Çalışmalarında Yapısal Atık Yönetiminin İrdelenmesi ve Öneriler. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 159s, 2014.
- [2] İ. Demir, İnşaat Yıkıntı Atıklarının Beton Üretiminde Kullanımı ve Beton Özelliklerine Etkisi. AKÜ Fen Bilimleri Dergisi 02 : 105 -114, 2009.
- [3] M. Öztürk, İnşaat/Yıkıntı Atıklarının Yönetimi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, Samton G. Construction and Demolition Waste Manual, City of New York, 2003.
- [4] A. Alsaidi, Reuse Of Construction Waste Materials. Archive.org, Libya, 26s, 2016.
- [5] M. Maddah, A. Harthy, M. Ismail, Recycled Concrete Aggregates and Their Influences on Performances of Low and Normal Strength Concretes. Buildings 2020, 10, 167.
- [6] K. Panda, P. Bal, Properties Of Self Compacting Concrete Using Recycled Coarse Aggregate. Chemical, Civil And Mechanical Engineering Tracks Of 3rd Nirma University International Conference On Engineering (NUiCONE 2012). Procedia Engineering 51 (2013) 159 – 164.
- [7] N. D. Oikonomou, Recycled Concrete Aggregates, Cement & Concrete Composites. 27: 315-318, 2005.
- [8] J. M. Bartos, Measurement of Key Properties of Fresh Self Compacting Concrete. CEN/PNR Workshop, Paris, 2000.
- [9] K. Ozawa, K. Maekawa, M. Kunishima, ve H. Okamura, Development of High Performance Concrete Based on the Durability Design of Concrete Structures. EASEC-2, Vol. 1, 445-450, 1989.
- [10] T. Uygunoęlu, Hafif Agregali Kendiliğinden Yerlesen Betonların Özellikleri. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta, 151s, 2008.
- [11] J. López, S. Paz, B. Fonteboa, ve M. Herrador, Bond Behavior Between Steel Reinforcement And Recycled Concrete. Materials and Structures, 47:323–334, 2013.
- [12] EFNARC. 2005. The European guidelines for self-compacting concrete, Specification, Production and Use. English ed. www.efnarc.org.
- [13] TS EN 197-1, 2012, Çimento: Genel çimentolar-Bileřim, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standardı.
- [14] TS 802 , 2016. Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları. ICS 91.100.30 Türk Standardı.
- [15] J. Bungey, S. Millard, Testing Of Concrete In Structures, Blackie Academic & Professional, Glasgow. 47-74, 1996.

- [16] A. Heniegal, Investigation Of Cracks In Self Compacting Concrete By Using Ultrasonic Pulse Velocity. *Journal of Engineering Sciences*, Assiut University, Vol. 37, No. 1, pp.63 -84. DOI: 10.21608/jesaun.2009.121026.
- [17] Z. Alğın, Properties of Self-Compacting Concretes Prepared with Recycled Aggregate. Gaziantep Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Gaziantep, 142s, 2015.
- [18] S. Kumar, M. Santhanam, Detection of Concrete Damage Using Ultrasonic Pulse Velocity Method . Indian Society for Non-Destructive Testing Hyderabad Chapter, Proc. National Seminar on Non-Destructive Evaluation, Dec. 7 - 9, 2006.
- [19] TS EN 12390-3, 2010. Sertleşmiş Beton Deneyleri, Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini, ICS 91.100.30 Türk Standardı
- [20] TS EN 12390-5, Sertleşmiş Beton Deneyleri., Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini. ICS 91.100.30 Türk Standardı.
- [21] M. Abed, R. Nemes, Mechanical Properties of Recycled Aggregate Self-Compacting High Strength Concrete Utilizing Waste Fly Ash, Cellular Concrete and Perlite Powders. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 63(1), 266–277, 2019.
- [22] F.S. Çivioğlu, Geri dönüştürülmüş beton agregası ile üretilen kendiliğinden yerleşen betonların fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özelliklerinin araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 85s, 2020.
- [23] M.D.Safiuddin, M. A.Salam & M.Z.Jumaat, Effects of recycled concrete aggregate on the fresh properties of self-consolidating concrete. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 11(4), 1023-1041, 2011.
- [24] SH.A. Khafaga , Production of High Strength Self Compacting Concrete Using Recycled Concrete as Fine and/or Coarse Aggregates, 2014.
- [25] M.Tuyan, A.Mardani-aghabaglou, K.Ramyar, Freeze–Thaw Resistance, Mechanical and Transport Properties of Self-Consolidating Concrete Incorporating Coarse Recycled Concrete Aggregate. *Mater. Des.* 53:983–991, 2014.
- [26] P.O.Modani, V.M.Mohitkar, Self-Compacting Concrete with Recycled Aggregate: A Solution for Sustainable Development. *Int. J. Civ. Struct. Eng.* 4:430–440, 2014.
- [27] K. Satish, S. Kumar, B. Ral, Fly Ash Induced Self Compacting Concrete with Recycled Concrete Aggregate. *International Journal of Mechanics and Solids*, ISSN 0973-1881 Volume 12: 151-168, 2017.
- [28] C. S. Poon, Z. H. Shui, L. Lam, H. Fok, S. C. Kou, Influence of Moisture States of Natural And Recycled Aggregates on The Slump and Compressive Strength of Concrete. *Cement and Concrete Research*, 34(1), 31–36, 2004.
- [29] W. Tang , P. Ryan, H. Cui, W. Liao, Properties of Self-Compacting Concrete with Recycled Coarse Aggregate. *Advances in Materials Science and Engineering* Volume 2016, Article ID 2761294, 11 pages, 2016.
- [30] K.H.Khayat: Workability, testing, and performance of self-consolidating concrete, *ACI Materials Journal*, Vol. 96, No. 3, 1999, pp. 346353.
- [31] C. Zega, A. Dimaiio, Recycled Concrete Made with Different Natural Coarse Aggregates Exposed To High Temperature, *Construct. Build. Mater.* 23:2047–2052, 2009.

- [32] C. Reddy, K. Ranta Sai, R. Kumar, Recycled Aggregate Based Self Compacting Concrete (RASCC) For Structural Applications. Rn Raikar Memorial International Conference & Dr. Suru Shah Symposium On Advances in Science & Technology of Concrete, 2013.
- [33] Z. Gardic, G. Toplicic-Curcic, I. Despotovic, N.S. Ristic, Properties Of Self-Compacting Concrete Prepared With Coarse Recycled Concrete Aggregate, *Construction And Building Materials*, 24, 1129-1133, 2010.
- [34] K.H. Yang, H. S. Chung, A. Ashour, Influence Of Type And Replacement Level Of Recycled Aggregates On Concrete Properties. *ACI Mater. J.* 3:289-296, 2008.
- [35] S. Manzi, C. Mazzotti, M. Bignozzi, Self-Compacting Concrete With Recycled Concrete Aggregate: Study Of The Long-Term Properties. *Construction And Building Materials*, Volume 157, 2017, Pages 582-590, 2017. ISSN 0950-0618.
- [36] C. Hoffmann, S. Schubert, A. Leemann, M. Motavalli, Recycled Concrete And Mixed Rubble As Aggregates: Influence Of Variations In Composition On The Concrete Properties And Their Use As Structural Material. *Construction and Building Materials*. 35: 701–709, 2012.
- [37] M. Tuyan, A. Mardani-Aghabaglou, K. Ramyar, Freeze Thaw Resistance, Mechanical And Transport Properties Of Self Consolidating Concrete Incorporating Coarse Recycled Concrete Aggregate. *Materials and Design*, 53: 983–991, 2014.
- [38] H.P.Sefidehkan., & O.Şimşek, Farklı oranlarda geri dönüşüm agregası kullanılarak üretilen betonun bazı mühendislik özelliklerinin araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 21(1), 83-91, 2018.
- [39] A. Salesa, J. A. Perez-Benedicto, L. M. Esteban, R. Vicente-Vas, M. Orna-Carmona, Physico-mechanical properties of multi-recycled self-compacting concrete prepared with precast concrete rejects. *Construction and building materials*, 153: (2017) 364-373.
- [40] A.K.Padmini, K.Ramamurthy & M.S.Mathews, Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 23(2), 829-836, 2009.