



**GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ BETON AGREGASI İLE ÜRETİLEN
KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN FİZİKSEL,
MEKANİK VE DAYANIKLILIK ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Furkan Sami ÇİVİOĞLU

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Raif BOĞA

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

OCAK 2020

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ BETON AGREGASI İLE ÜRETİLEN
KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN FİZİKSEL,
MEKANİK VE DAYANIKLILIK ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI**

Furkan Sami ÇİVİOĞLU

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Raif BOĞA

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

OCAK 2020

TEZ ONAY SAYFASI

Furkan Sami ÇİVİOĞLU tarafından hazırlanan “Geri Dönüştürülmüş Beton Agregası ile Üretilen Kendiliğinden Yerleşen Betonların Fiziksel, Mekanik ve Dayanıklılık Özelliklerinin Araştırılması” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 20/01/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Raif BOĞA

Başkan : Prof. Dr. Tayfun UYGUNOĞLU
Afyon Kocatepe Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Mehmet Uğur TOPRAK
Kütahya Dumlupınar Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Raif BOĞA
Afyon Kocatepe Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi



Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

20/01/2020



Furkan Sami ÇİVİOĞLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ BETON AGREGASI İLE ÜRETİLEN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN FİZİKSEL, MEKANİK VE DAYANIKLILIK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Furkan Sami ÇİVİOĞLU

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Raif BOĞA

Yapılan tez çalışmasında geri dönüştürülmüş beton agregası (GDBA) kullanılarak kendiliğinden yerleşen beton (KYB) üretimleri yapılmıştır. Çalışmada kalker esaslı kırmataş agregasının (4-11,2 mm) yerine hacimce % 0, 20, 40, 60, 80 ve 100 oranlarında GDBA'lar kullanılmıştır. GDBA'lar C25 ve C30 beton sınıfına sahip atık durumda bulunan beton numunelerinden üretilmiştir. Bu çalışmada GDBA'ların kullanılması ile üretilen KYB'lerin taze, fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. KYB serilerinden Ø100x200 mm boyutlarında silindir ve 150x150x150 mm boyutlarında küp numuneler üretilmiştir. Üretilen numunelere 28 gün boyunca 20±2 °C sıcaklığa sahip kirece doymuş su havuzlarında standart kür uygulanmıştır. Kür süresinin sonunda numuneler üzerinde yayılma, V hunisi akış süresi, birim ağırlık, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, Schmidt yüzey sertliği, yarmada-çekme dayanımı, hızlı klorür geçirimsizliği, elektriksel özdirenç, görünen porozite, su emme ve kılcal su emme deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak bu agregaların KYB üretimlerinde kullanılabileceği görülmüştür. Atık olan bu betonların KYB üretimlerinde agrega olarak kullanılması ile çevresel ve ekonomik katkıların sağlanabileceği düşünülmektedir.

2020, xi + 70 sayfa

Anahtar Kelimeler: Beton atıkları, Kendiliğinden yerleşen beton, Geri dönüştürülmüş beton agregası, Silis dumanı, Uçucu kül

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF PHYSICAL, MECHANICAL AND DURABILITY PROPERTIES OF SELF-COMPACTING CONCRETES PRODUCED WITH RECYCLED CONCRETE AGGREGATE

Furkan Sami ÇİVİOĞLU

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Ahmet Raif BOĞA

In this thesis, self-compacting concrete (SCC) was produced by using recycled concrete aggregate (RCA). In this study, RCAs were used in 0, 20, 40, 60, 80 and 100% by volume instead of limestone based crushed stone aggregate (4-11,2 mm). RCAs are produced from waste concrete specimens in C25 and C30 concrete class. Changes in fresh, physical, mechanical and durability properties of SCC produced by using RCAs were investigated. Cylinder specimens of Ø100x200 mm dimensions and cube specimens of 150x150x150 mm dimensions were produced from SCC series. The specimens were subjected to standard curing in lime saturated water pools with a temperature of 20 ± 2 °C for 28 days. At the end of the curing time slump flow, V-funnel, unit weight, ultrasonic pulse velocity, compressive strength, Schmidt surface hardness, splitting-tensile strength, rapid chloride permeability, electrical resistivity, apparent porosity, water absorption and capillary water absorption tests were performed. As a result, it was seen that RCAs can be used in the SCC production. It is thought that environmental and economic contributions can be provided by using waste concrete as aggregate in SCC production.

2020, xi + 70 pages

Keywords: Concrete waste, Self compacting concrete, Recycled concrete aggregate,
Silica fume, Fly ash

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Raif BOĞA, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı eşim Rumeysa, oğlum Osman Selim'e ve aileme teşekkür ederim.

Furkan Sami ÇİVİOĞLU
Afyonkarahisar 2020

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
RESİMLER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. ATIK MALZEME VE GERİ DÖNÜŞÜM	3
2.1 Katı Atık	3
2.2 Yapı İşlerinde Atık Malzeme	3
2.3 Geri Dönüşümün Amacı ve Önemi	4
2.4 İYA ile İlgili Genel Bilgiler	5
2.5 Geri Dönüştürülmüş Beton Agregası ile İlgili Genel Bilgiler	7
2.5.1 GDBA ile Üretilen Betonlarla İlgili Yapılmış Çalışmalar	8
2.5.2 GDBA ile Üretilen Betonlarda Mineral Katkı Kullanımı ile İlgili Yapılmış Çalışmalar	11
2.5.3 GDBA ile Kendiliğinden Yerleşen Beton(KYB) Üretimi ile İlgili Yapılmış Çalışmalar	14
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	21
3.1 Kullanılan Malzemeler	21
3.1.1 Çimento	21
3.1.2 Silis Dumanı	21
3.1.3 Uçucu Kül	23
3.1.4 Geri Dönüştürülmüş Beton Agregası	24
3.1.5 Kum ve Kırmataş Agregaları	26
3.1.6 Hiper Akışkanlaştırıcı	27
3.2 Beton Karışım Oranları	28
3.3 Yapılan Deneyler	29
3.3.1 Çökme Yayılma Deneyi ve t_{500} Süresi Ölçümü	29
3.3.2 V Hunisi Akış Süresi Ölçümü	31

3.3.3 Birim Ağırlık ve Ultrases Geçiş Süresi Deneyi.....	32
3.3.4 Basınç Dayanımı ve Schmidt Yüzey Sertliği Deneyi.....	33
3.3.5 Yarmada-Çekme Dayanımı Deneyi	34
3.3.6 Hızlı Klorür Geçirimsiliği Deneyi	35
3.3.7 Elektriksel Özdirenç Deneyi.....	37
3.3.8 Görünen Porozite, Ağırlıkça Su Emme ve Kılcal Su Emme Deneyi	38
4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ.....	41
4.1 Yayılma Deneyi ve t_{500} Süresi Ölçümü Sonuçları	41
4.2 V Hunisi Akış Süresi Ölçümü Sonuçları	43
4.3 Sertleşmiş Betonlarda Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları	44
4.4 Ultrases Geçiş Hızı Deneyi Sonuçları	45
4.5 Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları	46
4.6 Schmidt Yüzey Sertliği Deneyi Sonuçları	48
4.7 Yarmada-Çekme Dayanımı Deneyi Sonuçları	49
4.8 Hızlı Klorür Geçirimsiliği Deneyi Sonuçları	51
4.9 Elektriksel Özdirenç Deneyi Sonuçları.....	52
4.10 Görünen Porozite Deneyi Sonuçları	54
4.11 Su Emme Deneyi Sonuçları	58
4.12 Kılcal Su Emme Deneyi Sonuçları	59
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	62
6. KAYNAKLAR.....	65
ÖZGEÇMİŞ.....	70

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

%	Yüzde
μm	Mikrometre
Al_2O_3	Alüminyum Oksit
C	Karbon
CaO	Kalsiyum Oksit
Cl^-	Klor
cm	Santimetre
cm^2	Santimetrekare
Cr_2O_3	Krom Oksit
CSH	Kalsiyum Silikat Hidrat
F	Flor
Fe_2O_3	Demir Oksit
K_2O	Potasyum Oksit
kg	Kilogram
km	Kilometre
$\text{k}\Omega\cdot\text{cm}$	Kilo ohm santim
MgO	Magnezyum Oksit
mm	Milimetre
MnO	Mangan Oksit
MPa	Megapascal
Na_2O	Sodyum Oksit
pH	Power of Hydrogen (Hidrojenin Gücü)
S	Kükürt
SiFeCr	Silikoferrokrom
SiO_2	Silisyum Dioksit
sn	Saniye
SO_3	Sülfat
ZnO	Çinko Oksit
NaCl	Sodyum Klorür

Kısaltmalar

CB	Kırılmış tuğla
CC	5 mm'den küçük partiküllere sahip kırılmış beton
C-S-H	Kalsiyum silikat hidrat
DA	Doğal kırmataş agregası
DKA	Doğal kaba agrega
EFNARC	Avrupa Betonu Temsil Eden Ulusal Birlikler Federasyonu
GDBA	Geri dönüştürülmüş beton agregası
GDBA25	C25 atık betonundan elde edilmiş geri dönüştürülmüş agrega
GDBA30	C30 atık betonundan elde edilmiş geri dönüştürülmüş agrega
GDCA	Geri dönüştürülmüş cam agregası
HA	Hiperakışkanlaştırıcı
İYA	İnşaat yıkıntı atıkları

Kısaltmalar (Devamı)

KYB	Kendiliğinden yerleşen beton
PÇ	Portland çimentosu
PZ	Puzolan
SD	Silis dumanı
TS	Türk Standardı
TSE	Türk Standardları Enstitüsü
UK	Uçucu kül
XRD	X Işınları Difraktogramı
XRF	X Işınları Floresans
YFC	Yüksek fırın cürufu
W/C	Su / Çimento



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1 Silis dumanının XRD analizi sonucu.	22
Şekil 3.2 GDBA25'e ait granülometri eğrisi.	26
Şekil 3.3 GDBA30'a ait granülometri eğrisi.	26
Şekil 3.4 Kullanılan tüm agregaların granülometri eğrileri.	27
Şekil 4.1 Yayılma çaplarının geri dönüştürülmüş beton agregası oranına göre değişimi.	42
Şekil 4.2 t_{500} süresi sonuçlarının geri dönüştürülmüş beton agregası oranına göre değişimi.	42
Şekil 4.3 V hunisi akış süresi sonuçlarının geri dönüştürülmüş beton agregası oranına göre değişimi.	43
Şekil 4.4 Birim ağırlık sonuçlarının geri dönüştürülmüş beton agregası oranına göre değişimi.	44
Şekil 4.5 Ultrases geçiş hızı sonuçlarının.....	45
Şekil 4.6 Basınç dayanımı sonuçlarının geri dönüştürülmüş beton agregası oranına göre değişimi.	46
Şekil 4.7 Birim ağırlık ile basınç dayanımı sonuçları arasındaki ilişki.....	47
Şekil 4.8 Ultrases geçiş hızı ile basınç dayanımı sonuçları arasındaki ilişki.	48
Şekil 4.9 Schmidt yüzey sertliği sonuçlarının geri dönüştürülmüş beton agrega oranına göre değişimi.	49
Şekil 4.10 Schmidt yüzey sertliği ile basınç dayanımı sonuçları arasındaki ilişki.....	49
Şekil 4.11 Yarmada-çekme dayanımı sonuçlarının geri dönüştürülmüş beton agregası oranına göre değişimi.	50
Şekil 4.12 Hızlı klorür geçirimliliği sonuçlarının geri dönüştürülmüş beton agregası oranına göre değişimi.	51
Şekil 4.13 Elektriksel özdirenç sonuçlarının geri dönüştürülmüş beton agregası oranına göre değişimi.	52
Şekil 4.14 GDBA25 ve GDBA30 agregalı serilerden elde edilen elektriksel özdirenç ile hızlı klorür geçirimliliği sonuçları arasındaki ilişki.	53
Şekil 4.15 Tüm serilerden elde edilen elektriksel özdirenç ile hızlı klorür geçirimliliği sonuçları arasındaki ilişki.	54
Şekil 4.16 Görünen porozite değerlerinin geri dönüştürülmüş beton agregası oranına	

göre değişimi.	55
şekil 4.17 Görünen porozite ile basınç dayanımı sonuçları arasındaki ilişki.	55
şekil 4.18 Görünen porozite ile klorür geçirimliliği sonuçları arasındaki ilişki.	56
şekil 4.19 Su emme deneyi sonuçlarının geri dönüştürülmüş beton agregası oranına göre değişimi.	58
şekil 4.20 Kılcallık katsayısı sonuçlarının geri dönüştürülmüş beton agregası oranına göre değişimi.	59
şekil 4.21 Görünen porozite ile kılcallık katsayısı sonuçları arasındaki ilişki.	60
şekil 4.22 Basınç dayanımı ile kılcallık katsayısı sonuçları arasındaki ilişki.	60
şekil 4.23 Klorür geçirimliliği ile kılcallık katsayısı sonuçları arasındaki ilişki.	61



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1 Çimentonun; kimyasal, fiziksel ve mekanik özellik deney sonuçları.	22
Çizelge 3.2 SD'nin XRF analizi ve fiziksel özellik deney sonuçları.	23
Çizelge 3.3 UK'nin XRF analizi ve fiziksel özellik deney sonuçları.	23
Çizelge 3.4 GDBA25 ve GDBA30 agregalarına ait fiziksel özellikler.....	25
Çizelge 3.5 GDBA25 ve GDBA30 agregalarının elek analizi sonuçları.	25
Çizelge 3.6 Kum ve kırmataş I agregasının fiziksel özellikleri.	27
Çizelge 3.7 Hiper akışkanlaştırıcı katkı maddesinin özellikleri.	28
Çizelge 3.8 Üretilen KYB serilerine ait karışım oranları, kg/m ³	29
Çizelge 3.9 Çökme yayılma sınıfları.	30
Çizelge 3.10 t ₅₀₀ viskozite sınıfları.....	31
Çizelge 3.11 t _v viskozite sınıfları.	32
Çizelge 3.12 ASTM C 1202 sınır değerleri.....	37
Çizelge 3.13 Elektriksel özdirenç ile korozyon olasılığı arasındaki ilişki.	37
Çizelge 4.1 Taze betonların TS EN 206: 2013+A1 (2017)' göre sınıflandırılması.	41

RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

Resim 2.1	Abu Dabi'deki Al Dhafra geri dönüştürülmüş beton agregası üretim tesisi...	7
Resim 3.1	Çeneli kırıcı ile agrega haline getirilen atık beton numuneleri.....	24
Resim 3.2	Geri dönüştürülmüş beton agregalarının eleme işlemi.	25
Resim 3.3	Yayılma çaplarının ölçümü.....	30
Resim 3.4	V hunisi deneyinin yapılışı.	31
Resim 3.5	Kalıplarda bekletilen ve kür yapılan numuneler.....	32
Resim 3.6	Ultrases geçiş süresi deneyinin yapılışı.	33
Resim 3.7	Basınç dayanımı deneyinin ve Schmidt yüzey sertliği deneyinin yapılışı....	34
Resim 3.8	Yarmada-çekme dayanımı deneyinin yapılışı.....	35
Resim 3.9	Vakum işlemi ve hızlı klorür geçirimsliliği deney düzeneği.....	35
Resim 3.10	Elektriksel özdirenç ölçümü.	38
Resim 3.11	Arşimet terazisinin görünümü.	39
Resim 3.12	Parafin film sürülen numunelere ait görüntü.	39
Resim 3.13	Kılcallık deneylerine ait görüntü.	40
Resim 4.1	Kontrol ve GDBA25 agregalı KYB numunelerinin kesit görüntüleri.	57
Resim 4.2	Kontrol ve GDBA30 agregalı KYB numunelerinin kesit görüntüleri.	57

1. GİRİŞ

Çok hızlı şekilde gelişen teknoloji ve haberleşmenin etkisiyle toplum, üretmekten çok tüketime ağırlık vermiştir. Haberleşmenin ve sosyalleşmenin yaygınlaşmasıyla insanlar gelişen teknolojiden ve değişen her şeyden bilgi sahibi olmuşlardır. Bunun sonucu olarak insanlar için sahip olduklarından daha iyisine ve daha gösterişlisine ulaşmak gündelik hayatın sıradan bir olayı haline almıştır. Bu değişim zaman ilerledikçe daha da artarak ilerlemektedir. Hızla artan nüfus ve insanların talepleri bunda etkili olmuştur. Bu değişim yerini yenilerine bırakan ve kullanım dışı kalmış malzemelerin geri dönüşüme maruz kalmadığı takdirde atık malzeme olarak kalmasına neden olmaktadır. Atık malzemeler gün geçtikçe daha da artmakta ve dünyayı yaşanılmaz bir yer haline getirmektedir. Atık malzemeler doğru depolama metotları ile depolanamadığından dolayı ciddi çevre problemlerine sebebiyet vermekte ve geri kazanımı zorunlu hale getirmektedir.

İnşaat sektörü de dünyadaki teknolojik değişim ve dönüşümden ciddi şekilde etkilenmiştir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerin birçoğunda olduğu gibi Türkiye’de de inşaat sektörü ekonominin lokomotifi olmuştur. Boş arazilere yeni şehirler kurulduğu gibi kullanım ömrünü tamamlamış binalar yerlerini kendinden daha işlevsel, daha nitelikli binalara bırakmış ve bırakmaya devam etmektedir. Bunun sonucu olarak doğal kaynak tüketimindeki hızlı artışa ek olarak yıkılan binaların atıkları da çevre kirliliğine neden olmaktadır. İnşaat yıkıntı atıkları (İYA), katı atıkların büyük bölümünü oluşturmaktadır. Mega şehirlerde büyük sorunlar ortaya çıkaran katı atıkların %13-29’luk bölümü inşaat yıkıntı atıklarından meydana gelmektedir (Ustaoglu 2014).

Büyük şehirlerdeki inşaat yıkıntı atık sahalarının şehirlerin oldukça dışında olması da yıkıntı atıklarının nakliyesi konusunda ciddi ekonomik yük getirmektedir. Bu problemler göz önüne alındığında inşaat yıkıntı atıklarının geri kazanımı önem kazanmıştır. Geri dönüşüm çok geniş bir kavramı ifade etmektedir. İYA’nın geri dönüşümü kavram olarak geri dönüşümün küçük bir bölümü gibi görünse de uygulamada en önemli parçasıdır. Çünkü geri dönüşüme uğramayan her İYA çevreye zarar verdiği gibi gereksinim duyulan doğal agregaların yerine konulamadığı sürece hem ekonomik hem de çevresel kötü

sonuçlar doğurmaktadır. İYA'ları baz alırsak, atık malzemelerin %90'ını geri kazanmak mümkündür (Eren 2019).

Geri dönüştürölen yapı malzemelerinin büyük bölümünü de agregalar oluşturmaktadır. Geri kazanılmış beton agregasının yeniden yapı işlerinde kullanılması mümkündür. Bu tezde geri dönüştürölmüş beton agregası kullanımı sırasında meydana gelebilecek olumsuzlukları bertaraf edebilmek için bu agregaları kendiliğinden yerleşen beton (KYB) üretiminde kullanarak geri dönüştürölmüş beton agregasının oluşturabileceği olumsuzlukları ortadan kaldırmak ya da minimuma indirmek istenmiştir. KYB, kendi ağırlığı ve akışkanlığı ile yerleşen beton olarak tanımlanmaktadır. Homojenlik ve akışkanlık özelliği bulunan KYB'ler ileri seviyede dayanıklılık özellikleri sunmaktadır ve KYB'ler erken yaşta yüksek dayanım özellikleri sağlamaktadırlar. Geri dönüştürölmüş beton agregaları (GDBA) ile doğal agregalar karşılaştırıldığında GDBA'ların yoğunluklarının daha az olduğu ve su emme değerlerinin ise daha yüksek olduğu çalışmalarda belirtilmiştir (Pereira-de-Oliveira vd. 2013).

Bu tez çalışmasında geri dönüştürölmüş agreganın yukarıda verilen dezavantajlarını, kendiliğinden yerleşen betonun avantajları ile birleştirerek üretim yapmak amaçlanmıştır. Bu amaçla tez çalışmasında geri dönüştürölmüş beton agregası (GDBA) kullanılarak kendiliğinden yerleşen beton (KYB) üretimleri yapılmıştır. Çalışmada kalker esaslı kırmataş agregasının (4-11.2 mm) yerine hacimce % 0, 20, 40, 60, 80 ve 100 oranlarında GDBA'lar kullanılmıştır. GDBA'ların kullanılması ile üretilen KYB'lerin taze, fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özelliklerindeki değişimler incelenmiştir.

2. ATIK MALZEME VE GERİ DÖNÜŞÜM

2.1 Katı Atık

Tüketicisi tarafından tekrar kullanılmak istenmeyen, çevre koşullarını ve toplum düzenini bozan, bertaraf edilmediği takdirde çevreye ve topluma zarar veren katı maddeler katı atık olarak tanımlanmıştır. Ayrıca katı atık, dünyadaki her türlü canlı faaliyeti sonucunda ortaya çıkan, tekrar kullanıma elverişli olmayan katı maddeler olarak da isimlendirilir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığına göre de katı atık, üreticisi tarafından atılmak istenen ve toplumun huzuru ile özellikle çevrenin korunması bakımından, düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddeler ve arıtma çamurudur (İnt.Kyn.1). 14.03.1991 tarihli Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'nde iri katı olarak adlandırılan tehlikeli ve zararlı atık kavramına girmeyen, park ve piknik alanları gibi yerlerden gelen, beyaz eşya kategorisinde ki nesnelerden oluşan ve kullanılamayacak vaziyette ki atıklar, katı atık olarak kabul edilmiştir (Yaman 2007).

2.2 Yapı İşlerinde Atık Malzeme

Şehirler tarihsel süreçte savaşlar, siyasi dönüşümler, ekonomik değişimler, sanayileşme, doğal afetler ve nüfusun atmasıyla birlikte konut arzında artış gibi konulardan dolayı tekrar tekrar yenilenmiş ve değişmişlerdir. Her yerleşim yerinin değişimi ve yenilenmesi için farklı olaylar sebebiyet vermiştir. Türkiye de kentlerin oluşum ve değişimi içinde her kentin kendine özgü coğrafi, siyasi ve ekonomik sebepleri vardır.

T.C. Resmi Gazete (2014)'de yayınlanan hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıklarının kontrolü yönetmeliğinde, Türkiye'de inşaat ve yıkıntı atıkları olarak adlandırılan yapısal atıklar;

“Hafriyat Toprağı: İnşaat öncesinde arazinin hazırlanması aşamasında yapılan kazı ve benzeri faaliyetler sonucunda oluşan toprağı,

İnşaat Atıkları: Konut, bina, köprü, yol ve benzeri alt ve üst yapıların yapımı esnasında ortaya çıkan atıkları,

Yıkıntı Atıkları: Konut, bina, köprü, yol ve benzeri alt ve üst yapıların tamiratı, tadilatı, yenilenmesi, yıkımı veya doğal bir afet sonucunda ortaya çıkan atıkları,

Tehlikeli İnşaat ve Yıkıntı Atıkları: İnşaat ve yıkıntı atıkları içerisinde bulunan asbest, boya, flüoresan ve benzeri zararlı ve tehlikeli atıkları,

Asfalt Atığı: Yol, havaalanı pisti ve benzeri yapıların tamiratı, tadilatı, yenilenmesi ve yıkımı sırasında ortaya çıkan ve bünyesinde asfalt, zift, doğal polimer ve benzeri malzeme bulunan atıkları,

Bitkisel Toprak: Bitki gelişimi için organik ve inorganik madde ile hava ve su sağlayan toprağı” alt başlıkları ile tanımlanmıştır.

Bu sebepler ışığında birçok yeni yerleşim yeri olduğu gibi eski yerleşim yerleri de gereksinimleri karşılayamadıklarından dolayı yerlerini yeni yapılara bırakmışlardır. Bu değişim de yıkılan yapılar ardında inşaat ve yıkıntı atıkları olarak oldukça büyük enkazlar bırakmaktadırlar.

2.3 Geri Dönüşümün Amacı ve Önemi

Atıkların bir takım fiziksel ya da kimyasal işlemlerden geçerek tekrar hammadde olarak kullanılması geri dönüşüm olarak tanımlanır. Dünya da nüfusun hızla artması ve ürün talebinin artması ile birlikte doğal hammadde kullanımı da artmıştır. Doğal hammadde kullanımının bu kadar artması kendini yenileyemeyen doğal kaynakların tükenme ihtimalini doğurmuştur. Bu kaynakların kontrolsüz bir şekilde elde edilmesi ve rezervlerinin tahmin boyutunda kalması yakın zamanda olmasa da ilerleyen süreçte dünyanın karşısına çıkacak bir tehlike olarak görülmüştür. Doğal kaynakların korunması ve yeterince kullanılması için geri dönüşümüne ağırlık verilmesi toplumun yararına olduğu görülmektedir. Bu bağlamda geri dönüşüm ilerleyen süreçte iyi bir ekonomik yarar olarak ta görülmektedir.

Örneğin, Kore’de, geri dönüştürülmüş agregaların beton yapılarda kullanılması önerilmektedir. Çünkü konutların yıkılmasından kaynaklanan beton parçaları yıllık olarak 2 000 000 tonluk bir inşaat yıkıntı atığı oluşturmaktadır. Bu nedenle, betonda geri dönüştürülmüş agrega kullanılarak bir takım çalışmalar yapılmıştır. Ancak bu

Çalışmaların sonucunda daha düşük beton dayanımları elde edilmiştir (Ann vd. 2007).

Eren (2019) tarafından yapılan tez çalışmasında; geri dönüşüm kapsamına sokulacak katı atıklarda, ekonomi, emsalleriyle uyumluluk ve malzeme muhtevası gibi üç ana başlık göz önünde bulundurulmuştur. Ekonomik olarak ancak geri dönüşüme dahil edilen katı atığın geri dönüşüm sonrasında elde edilecek nihai ürünü aynı malzemenin doğal ortamdan elde edilmesinden maliyet ve miktar olarak daha iyi şartlara sahipse cazip hale gelmektedir. Geri dönüştürülmüş malzemeler, hammadde ve atık saha sıkıntısı olan malzemeler karşısında ekonomik olarak daha avantajlıdır.

Geri dönüşümün amacı, doğal kaynak tüketimini minimize ederek atıkların daha efektif bir biçimde toplanıp, ayrıştırılarak bertaraf edileceklerin ayıklanmasıdır. Ayrıca geri dönüşümün amacı, geri dönüşüme imkn veren malzemeleri sosyal, çevresel ve ekonomik olarak en faydalı hallerinde ikincil bir ürün olarak tekrar insanlığın kullanımına sunmak olarak tanımlanmıştır.

2.4 İYA ile İlgili Genel Bilgiler

Dünya da meydana gelen doğal afetler yüzünden yıkılmış yapılar ve kullanım ömrünü tamamlamış birçok yapı inşaat yıkıntı atığı olarak, inşaat atık sahalarındaki yerlerini almaktadırlar. İşlenmemiş agregalar gibi diğer yenilenemeyen kaynakların kullanımının azaltılması için, yıkılmış binalardan gelen molozların geri dönüştürülmesiyle elde edilen ince ve kaba agregaların betonda kullanılabilecek şekilde işlemden geçirilmesi gerekmektedir. Bu işlemler aynı zamanda doğal kaynak tüketimini azaltmakta ve depolama alanlarına atılan malzemelerin hacminin azaltılmasını sağlamaktadır (Corinaldesi ve Moriconi 2009).

Dünyada katı atıkların miktar olarak üçte birinden fazlasını İYA oluşturmaktadır. Toplam inşaat ve yıkım atığı oluşumu 40 ülke baz alınarak hesaplandığında, 2012 yılına kadar yılda 3 milyar tondan daha fazladır. Günümüzde nüfusu en fazla olan Hindistan ve Çin gibi gelişmekte olan ülkeler, yüksek miktarda inşaat ve yıkıntı atıkları için kapsamlı bir sistem geliştirmeye ihtiyaç duymaktadırlar (Karademir 2018).

İnşaat yıkıntı atıklarının miktarı son birkaç yılda önemli ölçüde artmıştır. Doğal kaynakların kullanılmasının ve inşaat yıkıntı atıklarının kullanılmamasının sebep olduğu etki göz önüne alındığında, bu malzemenin geri dönüşümü ve yeniden kullanılması gerekmektedir (Etxeberria vd. 2007a).

İYA cam, metal, plastik, kâğıt, tekstil, ahşap, beton muhtevası ve çeşitli yapı malzemeleri gibi birçok malzemeyi içinde barındırmaktadır. Bu malzemelerin bir kısmı kullanım ömrünü tamamlayarak bertaraf edilirler. Ancak büyük bir kısmı tekrar kullanılmak için geri dönüşüme uygun maddelerdir. Her katı atığın geri dönüşümü önemli olduğu gibi İYA'nın geri dönüşümü de ekonomik sebepler başta olmak üzere çevreye verdiği zararlar, kullanılabilir tarım ve inşaat alanlarının atık sahası olarak işgal edilmesi, görüntü kirliliği, yerine kullanılacak doğal hammaddelerin boşa tüketimi gibi konulardan dolayı oldukça önemli bir konu durumundadır. İYA'nın geri dönüşümü oldukça önemli olmasına rağmen ülkemizde bunun uygulamaları sahada ayrıştırma metodundan öteye gitmemiştir. Sahada ayrıştırmada elde edilen geri dönüşüm malzemeleri ise metal, plastik, cam ve bazı yapı malzemeleridir. Ancak İYA'nın hacimce büyük bir bölümünü beton molozları oluşturmaktadır ve bu beton molozlardan geri dönüştürülmüş beton agregaları elde etmek en olası durumdur. AB'de üretilen toplam inşaat ve yıkım atığı miktarı her yıl 450 milyon tondan fazladır ve şu anda Çin'de yılda yaklaşık 200 milyon ton atık beton üretilmektedir. Bu tür bir atığın çevre üzerindeki etkisini azaltmak için, inşaat ve yıkım atığının işlenmesiyle üretilen GDBA, doğal agrega için potansiyel bir alternatif olarak büyük ilgi görmektedir (Jian-he vd. 2015).

Kullanılan geri dönüşüm yöntemlerine, özellikle malzemelerin sınıflandırılması ve diğer malzemelerin çıkarılma derecesine bağlı olarak, geri dönüşüm makinaları ve işlem maliyetleri artabilir. Bazı ABD eyaletlerinde geri dönüştürülmüş beton agrega kullanımından, yeni agrega ile karşılaştırıldığında %50'ye varan oranda tasarruf sağlandığı tahmin edilmektedir. Geri dönüşüm, Almanya, Hollanda ve Danimarka'da bertaraf etmekten daha az maliyetlidir. Geri dönüşüm altyapısı olmayan ülkelerde ise geri dönüşüm doğal kaynakların kullanılmasına göre daha maliyetli olabilmektedir (Aslani vd. 2018).

2.5 Geri Dönüştürülmüş Beton Agregası ile İlgili Genel Bilgiler

Dünyanın bazı bölgelerinde uygun agrega kaynaklarının azalmasından ve bu tür agregaların uzak bölgelerden taşınması gerektiğinden dolayı, yapılarda geri dönüştürülmüş beton agregası (GDBA) kullanımı ekonomik ve çevresel faydalar sağlamaktadır. Bununla birlikte, GDBA beton üretiminde agrega olarak kullanılmadan önce belirli mekanik ve dayanıklılık gereksinimlerini karşılamalıdır (Abbas vd. 2009).

Beton ve bileşenlerinin kullanımı dünya genelinde artmakta olduğundan, doğal kaynakların yani özellikle betonun büyük bölümünü oluşturan agregaların kullanımı artırmıştır. Örneğin, Çin ve Hindistan gibi ülkeler en büyük agrega tüketicileri arasında yer almaktadır. Betonda kullanılan agrega kaynaklarının doğal kaynaklardan temin edilmesi çevre için ciddi risk oluşturmaktadır. Öte yandan, insanların artan yeni ve kaliteli yapılar inşa etme ve eski yapıları yıkma istekleri arttıkça, üretim artmaktadır. Son yıllarda, geri dönüştürülmüş beton agregalarının betondaki doğal agregaların yerine kullanılması ile ilgili araştırmalar ilgi görmektedir (Sasanipour ve Aslani 2019).



Resim 2.1 Abu Dabi'deki Al Dhafra geri dönüştürülmüş beton agregası üretim tesisi

Abu Dabi'deki Al Dhafra geri dönüştürülmüş beton agregası üretim tesisi Resim 2.1'de gösterilmiştir. Leighton Services tarafından yönetilen Abu Dabi'deki Al Dhafra tesisi, günde 5000-8000 ton geri dönüştürülmüş beton agregası üretme kapasitesine sahiptir

(İnt.Kyn.2). Geri dönüştürülmüş agregaların kullanılması, istenen nihai ürün kalitesine ulaşılması şartıyla, atık malzeme sorununa iyi bir çözümdür. Geri dönüştürülmüş agrega kullanımı ile ilgili çalışmalar 50 yıldır devam etmektedir (Etxeberria vd. 2007a).

Beton maliyeti bir metreküp beton için hesaplanacak olursa toplam maliyetin %20 sini agrega oluşturmaktadır (Külekçi 2018). Sıradan beton, kütlece yaklaşık %12 çimento, %8 karışım suyu ve %75 agrega içermektedir. Bu yıllık olarak, dünya çapında kullanılan 1,6 milyar ton çimentoya ek olarak, beton endüstrisinin 10 milyar ton kum ve kaya ve 1 milyar ton karışım suyu harcadığı anlamına gelmektedir (Sefidenkhan 2017). Bu rakamlar tükenen doğal rezervleri ve İYA'nın doğal yaşamı ne denli olumsuz etkilediğini ifade etmektedir. Doğal agrega eksikliği birçok ülkede alternatif dolgu maddeleri olarak geri dönüştürülmüş agreganın tekrar kullanılması yollarının geliştirilmesine neden olmaktadır. GDBA'nın özellikleri, orijinal agrega yüzeyine yapışmış sertleşmiş çimento harcı sebebiyle doğal agregalardan farklıdır. Agregadaki sertleşmiş eski çimento harcı miktarı ve kalitesi doğrudan GDBA'nın fiziksel özelliklerini etkilemektedir. Buna göre, GDBA doğal agregalardan daha düşük yoğunluğa, daha yüksek su emilimine ve daha düşük mukavemete sahip agrega tipi olarak belirtilmiştir. GDBA ile hazırlanan betonun mekanik özellikleri son yıllarda yoğun bir şekilde araştırılmıştır. GDBA'nın betonda kullanılması, doğal agregalı betona kıyasla dayanımını ve elastisite modülünü azaltmaktadır (Jian-he vd. 2015).

2.5.1 GDBA ile Üretilen Betonlarla İlgili Yapılmış Çalışmalar

Son elli yılda, nüfus artışı ile birlikte konut ve altyapı projelerinin hayata geçirilmesi ihtiyacı hızla artmıştır. Bu, inşaat hammaddelerine, özellikle toplam beton hacminin %70-80'ini oluşturan agregaya olan talebin artmasına yol açmaktadır. 2015 yılında dünya genelinde inşaat sektöründe toplam tüketimin 48,3 milyar m³'e ulaştığı tespit edilmiştir. Bu tüketim yıllık %5 oranında artarken, en yüksek tüketimin Asya ve Pasifik'te olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan, agrega gibi büyük miktarda bakır malzemeler tüketen inşaat endüstrisinin olumsuz çevresel etkisine olan ilgi son zamanlarda artmıştır. Bu nedenle, alternatif kaynaklar bulunmalıdır. Örneğin II. Dünya Savaşı'ndan sonra Almanya'da, tahrip olmuş binaların yeniden inşasında GDBA kullanılmıştır (Mohammed ve Najim

2020). GDBA çözümün bir parçası olabilir çünkü doğal agregaya alternatif bir agregaya sağlar. Ek olarak, inşaat ve yıkım atıklarının bertaraf edilmesine yardımcı olur, depolama alanını azaltır, çevre kirliliğini azaltır, nakliye maliyetlerini azaltır ve çevre dengesini korur. Doğal kaynakların ve çevrenin korunması, bütün modern gelişmelerin sonucudur. Geri dönüştürülmüş agregalar için mevcut uygulamaların büyük kısmı yol dolgusu, yaya kaldırımı gibi düşük hizmet alanlarında gerçekleştirilmektedir. Ancak beton, geri dönüştürülmüş agreganın kullanılabileceği yüksek dereceli uygulamalardan birisidir. GDBA'nın beton üretiminde kullanımı ile ilgili geçmişte çok sayıda deneysel çalışma yapılmış ve son yıllarda da GDBA'nın beton üretiminde kullanımı ile ilgili yapılan çalışmaların sayısı giderek artmaktadır.

Xiao ve Falkner (2005) yaptığı çalışmada, GDBA ile üretilen betonların özelliklerinin genellikle geleneksel betonlardan daha düşük olduğu, ancak inşaat mühendisliğinde pratik uygulamalar için GDBA'nın kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Khatib (2005) yaptığı çalışmada, GDBA kullanıldığında beton dayanımının düştüğü ve dayanım azalmasında %40'a kadar düşüş olabileceği sonucuna varmıştır. Bununla birlikte, %20'ye kadar ince veya %30'a kadar kaba geri dönüştürülmüş beton agregası içeren betonun dayanımında bir azalma olmadığı, ancak bu seviyelerin ötesinde, GDBA içeriği arttıkça dayanımda sistematik bir azalma olduğu sonucuna varmıştır.

Corinaldesi ve Moriconi (2009) yaptıkları çalışmada, yıkım enkazından temin edilen agregaya ile üretilmiş beton numunelerin mekanik davranış özelliklerini incelemişlerdir. Eşit su/çimento oranında daha yüksek ve daha düşük oranda geri dönüştürülmüş beton agregası içeren betonların dayanıklılıkları karşılaştırıldığında geri dönüştürülmüş agregaya oranı yüksek olan betonların dayanıklılıklarının azaldığı sonucuna varmışlardır.

Guo vd. (2020) yaptıkları çalışmada, GDBA kullanılarak üretilen KYB'nin reolojisini incelemişlerdir. GDBA kullanılarak üretilen KYB karışımlarının, %20'ye kadar bir GDBA değiştirme oranıyla, uygun doldurma kabiliyetine ve üstün basınç dayanımına sahip oldukları sonucuna varmışlardır. GDBA kullanılarak üretilen KYB'lerin basınç dayanımlarının, artan GDBA değişim oranı ile azaldığı sonucuna varmışlardır.

Ettxeberria vd. (2007b) yaptıkları çalışmada, beton üretimi için kırılmış betondan elde edilen geri dönüştürülmüş kaba agregaları kullanmışlardır. Sırasıyla %0, %25, %50 ve %100 oranlarında doğal kırmataş agregasıyla geri dönüştürülmüş kaba agregalar yer değiştirilmiştir. Dört betonun karışım oranları, aynı basınç dayanımlarının elde edilmesi için tasarlanmıştır. Geri dönüştürülmüş agregalar, taze beton özelliklerini, etkili w/c oranını ve düşük mukavemet değişkenliğini kontrol etmek için ıslak durumda, ancak suya doymamış olarak kullanılmışlardır. Beton üretiminde kullanılan geri dönüştürülmüş beton agregalarının yarmada-çekme dayanımını geliştirmesi açısından etkisi analiz edilmiştir. Geri kazanılmış kaba agregaların kullanıldığı betonlardan, geleneksel betonlara göre daha düşük elastisite modülü sonuçları elde edilmiştir.

Khatib (2005) yaptığı çalışmada, ince geri dönüştürülmüş agrega içeren betonun özelliklerini incelemiştir. Geri dönüştürülmüş agrega, 5 mm'den küçük partiküllere sahip kırılmış betondan (CC) veya kırılmış tuğladan (CB) oluşmuştur. Tüm karışımlar için w/c oranı sabit tutulmuştur. Betondaki ince agrega % 0, % 25, % 50 ve % 100 oranlarında CC veya CB ile yer değiştirilmiştir. Genel olarak, CC içeren betonlardan % 15-30'luk bir dayanım kaybı görülmüştür. Bununla birlikte, %50'ye kadar CB içeren betonlardan, kontrol serilerine benzer dayanımlar elde edilmiştir. CB ile % 100 ince agreganın yer değiştirilmesi durumunda, dayanım azalması sadece % 10 seviyelerindedir. CC veya CB içeren betonda daha fazla rötre ve genleşme meydana gelmiştir

Pandaa ve Bal (2013), KYB özellikleri hakkında Cuttack bölgesinde yaklaşık yirmi beş yaşında yıkılmış Town Club binasından elde edilen GDBA'nın farklı miktarlarda kullanılmasının etkilerini araştırmışlardır. Doğal ve geri dönüştürülmüş agregaların fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Kırmataş agregası kısmen GDBA ile %10, %20, %30 ve %40 oranlarında değiştirilmiştir. GDBA'nın KYB'nin özellikleri üzerine etkisi (Slump akış testi, V-Huni testi ve L-Box Testi) ve betonun sertleşmiş halde özellikleri (basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve yarmada-çekme dayanımı) incelenmiştir. KYB içeriğindeki GDBA oranındaki artışla, % 100 doğal agrega içeren normal betona göre daha düşük basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve yarmada-çekme dayanımı sonuçları elde edilmiştir. Bu çalışmada, gerekli basınç dayanımlarının elde edilebilmesi için % 30 oranında GDBA'nın kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Etcheberria vd. (2007a), geri dönüştürülmüş beton agregasının bir yapı malzemesi olarak kullanılması olasılığı üzerine yoğunlaşmıştır. Bu amaçla deneysel çalışmada, geri dönüştürülmüş beton agregası ile yapılan kirişlerin kayma davranışını ve dayanımını incelemişlerdir. Farklı oranlarda geri dönüştürülmüş kaba agregası (%0, %25, %50 ve %100) içeren dört beton karışımı ve üç farklı enine donatı ile düzenlenmiş aynı basınç dayanımına sahip on iki kiriş numunesi üretilmiş ve göçmeye kadar test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, kaba agreganın %25'inden daha az bir ikamesinin, dozaj ve dayanıklılık yönleriyle ilgili tüm önlemlerin benimsenmesi koşuluyla, geri dönüştürülmüş agregalı kirişlerin kesme kapasitesini nadiren etkilediğini göstermiştir.

2.5.2 GDBA ile Üretilen Betonlarda Mineral Katkı Kullanımı ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Günümüzde, silis dumanı (SD), uçucu kül (UK) ve öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu (YFC) gibi puzolanik malzemelerin kullanımı, GDBA'larla üretilen betonun mekanik özelliklerinin ve dayanıklılığını iyileştirmede çok etkili olmaktadır. Puzolanik malzemelerin kullanılmasıyla oluşan kalsiyum silika hidratlar (C-S-H), agregası ve çimento pastası arasındaki bağlayıcılığın geliştirilmesine yardımcı olmaktadır. GDBA'ların betonun mekanik özellikleri ve dayanıklılığı üzerine etkisi ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. GDBA üzerine yapılmış eski harç nedeniyle, geri dönüştürülmüş agregası içeren betonun kalitesi ve dayanıklılığının azaldığı çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir. Bununla birlikte, GDBA'ları daha güvenli kullanmak için GDBA ile üretilen betonun mekanik dayanımını ve dayanıklılığını arttırmak ve iyileştirmek amacıyla çok sayıda araştırma yapılmıştır (Sasanipour ve Aslani, 2019).

Kou vd. (2008) yaptığı çalışmada, geri dönüştürülmüş beton agregası kullanımının betonun mekanik özelliklerine olumsuz bir etkisi olmasına rağmen uçucu kül ilavesinin bu zararlı etkiyi hafifletebildiğini bulmuşlardır. Ayrıca, uçucu kül ilavesi ile kuruma büzülmesi azalmış ve geri dönüştürülmüş beton agregası ile hazırlanan betonların klorür iyonu geçirimsizliğine karşı dayanıklılıkları artmıştır. Geri dönüştürülmüş beton agregası ile üretilen betonun mekanik özellikleri genel olarak geleneksel betona göre daha düşük olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte, geri dönüştürülmüş beton agregası kullanmanın

dezavantajları, daha düşük bir su/çimento oranı kullanılarak ve karışım tasarımında bir mineral katkı maddesi olarak uçucu kül kullanılmasıyla iyileştirilebileceği tespit edilmiştir.

Portland çimentosunun (PÇ) beton üretiminde puzolanik malzemelerle ikame edilmesi karbon emisyonlarını azaltabilir. Uçucu kül (UK), öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu (YFC) ve silis dumanı (SD) gibi bazı puzolanik malzemeler, genellikle hidrolik ve puzolanik özelliklere sahip endüstriyel işlemlerden kaynaklanan atık malzemelerdir. PÇ'nin puzolanik malzemelerle değiştirilmesinin betonun taze, mekanik ve dayanıklılık özellikleri üzerindeki etkisini araştırmak için önemli sayıda çalışma yapılmıştır. Puzolanik malzemelerin optimal seviyelerde kullanıldığı zaman, betonun taze ve sertleşmiş durum özelliklerini önemli ölçüde artırabilecekleri sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte, çeşitli puzolanik malzemeleri içeren beton, puzolanik malzeme içermeyen betona kıyasla daha yavaş dayanım gelişimine sahiptir, bu da puzolanik reaksiyonun hidrolik reaksiyondan çok daha yavaş olmasından kaynaklanmaktadır. Geçtiğimiz yirmi yıl boyunca, puzolanik malzemeler dünyadaki beton üretiminde başarılı ve yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Beton üretiminde puzolanik malzeme kullanımının başarılı bir şekilde uygulanması, yalnızca atık malzemeleri ve bunlarla ilişkili çevresel etkilerini azaltabilmekle kalmamakta, aynı zamanda PÇ'yi ve bununla ilişkili CO₂ salınımlarını en aza indirmek, dolayısıyla beton endüstrisinin sürdürülebilirlik hedefine yönelik çevresel ve ekonomik faydalar oluşturmaktadır (Guo vd. 2019).

GDBA'ların kalitesini artırmak için kapsamlı çalışmalar yapılmış ve bazı fiziksel veya kimyasal işlemler önerilmiştir. Bu yöntemlerle, GDBA'ların içeriğinde bulunan agregaların etrafını saran ve kırma esnasında agregadan ayrılmayan çimento hamuru temizlenir veya güçlendirilir. Mekanik öğütme, su/aside önceden ıslatma, yapıştırma harcı ve polimer emülsiyonunu emdirmek kullanılan yöntemlerdir. Puzolan bulamacı, kalsiyum karbonat biyo çökeltme, sodyum silikat çözeltisi ve karbonasyon, GDBA'ları güçlendirmek için yapılan yöntemlerdir (Tam vd. 2008, Spaeth vd. 2013).

Normal betona kıyasla, GDBA'ları içeren betonun gözenekliliği ve su emilimi daha yüksektir ki bu da geri dönüştürülmüş betonun dayanıklılığını etkiler. Uçucu kül ve silis dumanı gibi mineral katkıların kullanılmasının geri dönüştürülmüş betonun dayanıklılık özelliklerini ve klorür iyonu geçirimsizliğine karşı direncini artırabildiği bildirilmiştir (Santos vd. 2018, Kapoor vd. 2016). Betonda dolgu maddesi görevi gören ve dayanıklılığı etkin bir şekilde artıran bu minerallerin çok ince yapılarına bağlanabilir (Yazıcı 2007). Hassan vd. (2012), yaptıkları çalışmanın sonuçlarına göre, uçucu külün silis dumanından daha iyi performans gösterdiğini bulmuşlardır. Buna rağmen, son zamanlarda yapılan çalışmalar, daha küçük partikülleri nedeniyle, silis dumanının geri dönüştürülmüş betonun dayanıklılık özelliklerini uçucu külden daha iyi geliştirdiğini göstermiştir (Kapoor vd. 2016, Leung vd. 2016).

Mineral katkıların kullanılmasının, GDBA'larla üretilen KYB'nin dayanıklılığını etkili bir şekilde artırabildiği dikkate alındığında, GDBA'ların kullanımına ilişkin olumlu bir tutum ortaya çıkmıştır. Tek başına GDBA'ların kullanımının beton özellikleri üzerinde olumsuz etkileri olmasına rağmen, silis dumanı katkısının kullanılmasının etkileri telafi edebileceği ve beton kalitesini iyileştirebileceği kanıtlanmıştır. Ayrıca, üretim sırasında büyük miktarda fosil enerjiye ihtiyaç duyulan Portland çimentosunun silis dumanı ile değiştirilmesi, enerji tasarrufu ve çevre kirliliğinin azaltılmasına önemli ölçüde katkıda bulunabilmektedir. Öte yandan, GDBA'ların betonda kullanılması inşaat atıklarında önemli bir azalmaya neden olabilmektedir. Bu aynı zamanda beton endüstrisinde, doğal agrega tüketimini azaltarak doğal kaynakları koruma konusunda yardımcı olmaktadır. Ek olarak, GDBA içeren KYB'lerin dayanıklılık sorunlarının çözülmesinde silis dumanının kullanılması, yapıların ömrünü uzatarak finansal faydalar sağlamaktadır. Bu nedenle, GDBA'lar ve silis dumanı içeren KYB'nin geliştirilmesi çevre dostu ve temiz bir malzeme üretmenin yolunu açabilir (Sasanipour vd. 2019).

Kou vd. (2008) tarafından çimento ilavesi olarak F sınıfı uçucu kül kullanımının geri dönüştürülmüş agrega içeren betonun sertleştirilmiş özellikleri üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Çalışmada, su-çimento oranı 0.55, 0.50, 0.45 ve 0.40 olan dört seri beton karışımı hazırlanmıştır. Geri dönüştürülmüş beton agregası %0, %20, %50 ve %100 oranlarında kaba doğal agrega ile yer değiştirilmiştir. Ayrıca, uçucu kül %0 ve %25

oranında çimentoya ilave olarak kullanılmıştır. Geri dönüştürülmüş agrega kullanımı betonun mekanik özellikleri üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olsa da, uçucu kül ilavesinin bu zararlı etkiyi hafifletebildiği bulunmuştur. Ayrıca, uçucu kül ilavesi, kuruma büzülmesini azaltmıştır ve geri dönüştürülmüş agrega ile hazırlanan betonun klorür iyonu girişine karşı direncini arttırmıştır. Ayrıca, basınç dayanımı arttıkça kuruma büzülmesi ve klorür iyon geçirirmliliğinin azaldığı bulunmuştur.

2.5.3 GDBA ile Kendiliğinden Yerleşen Beton(KYB) Üretimi ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Beton, son yıllarda en çok kullanılan yapı malzemelerinden biridir. Özellikle beton tasarımlarda teknolojinin gelişmesiyle araştırmacılar, kendi ağırlıkları nedeniyle, özellikle de yüksek yoğunlukta donatı demirleri olan yerlerde kolayca yerleştirilebilecek kendiliğinden yerleşen beton (KYB) adı verilen bir tür beton üretmeyi başardılar. Bu tip betonun avantajı, sıkıştırma işlemi gerekmemesi nedeniyle beton dökümü sırasında gürültü oluşturmaktan uygulanmasıdır. Öte yandan, inşaatta kullanılan doğal kaynaklar azalırken, yapıların yıkılmasından kaynaklanan atık malzemelerin miktarı artmaktadır. Bu sebeple, sürdürülebilir kalkınma ve çevre dostu beton üretimi için geri dönüştürülmüş beton agregaların kullanılması büyük önem taşımaktadır. Yapılan son çalışmalar, GDBA'ların KYB'ler de kullanımına olan ilginin arttığını göstermektedir. GDBA'ların içeriğinde bulunan agregaların etrafını saran ve kırma esnasında agregadan ayrılmayan eski harç, GDBA'ların su emme değerlerini ve porozitesini arttırmakta ve ayrıca GDBA'lı betonların taze, sertleşmiş ve dayanıklılık özelliklerini azaltmaktadır. Birçok çalışma GDBA'larla KYB üretmenin mümkün olduğunu göstermektedir. Bu, GDBA'ları kullanmadan önce su-çimento oranını, kimyasal ve mineral katkı maddelerinin uygun kullanımını ve uygun hazırlama yöntemlerini kontrol ederek mümkündür (Sasanipour vd. 2019).

KYB, yüksek performanslı betonun gelişmiş versiyonu olarak tanımlanır. 1980'lerin başında Japonya'da, Tokyo Üniversitesi'nde keşfedilmiştir. Amaç, yoğun donatılı ve karmaşık beton yapılarda kullanılan dayanıklı beton üretmektir. Beton yapılarda dayanıklılık sorunları, vasıflı işçi eksikliği nedeniyle 1970'lerde Japonya'da görülmüştür.

Geleneksel betona göre sayısız avantajı nedeniyle beton teknolojisinde en son yenilik olarak kabul edilmektedir. Herhangi bir dış titreşim olmadan kendi ağırlığı altında yayılan özel bir beton türüdür. Mükemmel dolum kabiliyeti, geçme kabiliyeti ve ayrışmaya karşı iyi bir direnç gösterir. Bu özellikler, süperakışkanlaştırıcıya ek olarak, yüksek toz içeriği (çimento, uçucu kül, silis dumanı vb.) kullanılarak da elde edilebilir (Mohammed ve Najim 2020).

KYB üretiminde eski binaların yıkılmasından elde edilen geri dönüştürülmüş agrega kullanımını araştırmak için daha önce birçok çalışma yapılmıştır. Pandaa ve Bal (2013) yıkılmış bir binadan üretilen farklı miktarlarda GDBA kullanmanın KYB özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Sonuçlar, mekanik özellikler (basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve yarmada-çekme dayanımı) açısından geleneksel betonla (% 100 doğal agrega içeren (DA) beton) karşılaştırılmıştır. DA'nın GDBA ile değişim yüzdeleri, ağırlıkça %10, %20, %30 ve %40 olarak seçilmiştir. GDBA'nın değişim yüzdesinin artması ile mekanik özelliklerin azaldığı bulunmuştur. Bununla birlikte, GDBA'nın % 30'a kadar verimli bir şekilde kullanılabileceği önerilmiştir (Manzi vd. 2017).

Kou ve Poon (2009)'un yaptığı çalışmada, hem kaba hem de ince agrega olarak geri dönüştürülmüş beton agregasının kullanılması ile üretilen kendiliğinden yerleşen betonun (KYB) taze ve sertleştirilmiş özellikleri değerlendirilmiştir. % 100 kaba geri dönüştürülmüş agrega ile üç seri KYB karışımı hazırlanmıştır ve dere kumunun yerine farklı seviyelerde ince geri dönüştürülmüş agrega kullanılmıştır. Çimento içeriği tüm beton karışımları için sabit tutulmuştur. KYB karışımları, %0, 25, 50, 75 ve 100 ince geri dönüştürülmüş agregalarla hazırlanmıştır. Su-bağlayıcı oranları, Seri I ve II'deki KYB karışımları için sırasıyla 0.53 ve 0.44 olarak seçilmiştir. Seri III'teki KYB karışımları, % 100 geri dönüştürülmüş beton agregaları (hem kaba hem de ince) ile hazırlanmış ve üç farklı su-bağlayıcı oranı sırasıyla 0.44, 0.40 ve 0.35 olarak kullanılmıştır. KYB karışımlarının taze, sertleşmiş ve dayanıklılık özelliklerini belirlemek için çeşitli deneyler yapılmıştır. Sonuçlar, dere kumu ve kırılmış ince geri dönüştürülmüş agregalardan yapılan KYB'lerin özelliklerinden sadece küçük farklılıklar gösterdiği görülmüştür.

Pereira-de-Oliveira vd. (2014)'nin yaptıkları çalışmada, beton yapıların yıkılmasından elde edilen kaba geri dönüştürülmüş agregaların kullanımıyla kendiliğinden yerleşen betonun dayanıklılık özellikleri konusuna değinmektedirler. Çalışmanın amacı, geri dönüştürülmüş agregaların KYB'lerin geçirgenlik özellikleri üzerine etkilerini araştırmaktır. Çalışmada, dört farklı tipte beton karışımı üretilmiştir. Bunlarda birisi doğal kaba agregalara referans olarak kullanılmıştır. Diğerleri ise %20, %40 ve %100 geri dönüştürülmüş kaba agregalarla hazırlanmıştır. Hava, su geçirimsizliği ve kılcal su emme olarak KYB'nin dayanıklılığına ilişkin özellikler, ön koşullandırma olan ve olmayan beton numuneler üzerinde belirlenmiştir. Taze ve sertleşmiş beton özelliklerinden elde edilen sonuçlar, doğal kaba agregaların geri dönüştürülmüş kaba agregalar ile değiştirilmesinin uygun olduğu sonucuna yol açmaktadır, çünkü bu araştırma KYB'nin geçirimsizlik özelliklerine zarar vermediğini göstermektedir.

Behera vd. (2019) yaptıkları çalışmada, doğal kaynakların yerini almak için inşaat ve yıkıntı atıklarını yeniden kullanarak akışkan betonun davranışını araştırmışlardır. Yapılan çalışmada ince geri dönüştürülmüş beton agregası kullanılmıştır. Çalışmada, KYB'nin akış davranışı, mekanik dayanımı, büzülme karakteristikleri ve mikro yapısı araştırılmıştır. Performans açısından bakıldığında, ince geri dönüştürülmüş beton agregası varlığının akışkanlığı arttırdığı, ancak kesinlikle daha yüksek bir değiştirme seviyesinde zamanla diğer akış özelliklerini etkilediği görülmüştür. Akışkanlığı korumak ve KYB'nin fonksiyonel gereksinimlerini sağlamak için ince geri dönüştürülmüş beton agregası partikülleri ve sıvı ortam arasındaki etkileşim de araştırılmıştır. %40 uçucu kül ve %100 ince geri dönüştürülmüş beton agregası içeren karışım dışındaki tüm karışımlar için hedef dayanım elde edilmiştir. Bu çalışma, ince geri dönüştürülmüş beton agregası ile yapılan KYB'nin stabilitesini ve malzeme özelliklerini dikkate alınarak sıvı ortamın uygun şekilde tasarlanmasıyla elde edilebileceğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte, doğal ince agreganın ince geri dönüştürülmüş beton agregası ile tamamen değiştirilmesi, KYB'nin performansını önemli ölçüde etkilemiştir.

Omrane vd. (2017), geri dönüştürülmüş beton agregalar ve doğal puzolan (PZ) kullanılarak üretilen KYB'nin reolojik, mekanik ve dayanıklılık özelliklerini araştırmışlardır. İnce ve kaba geri dönüştürülmüş agregalarla hem kaba hem de ince doğal

agregaların ağırlıkça yer değiştirilmesi ile dört beton karışımı üretilmiştir. Yer değiştirme oranları %0, %50, %75 ve %100 olarak belirlenmiştir. Çimento da ağırlıkça % 5 ila % 25 oranında doğal puzolan ile yer değiştirilmiştir. KYB'nin taze haldeki performansını belirlemek için çökme testi, J-Halkası, V-hunisinden akış süresi, L-Kutusu ve elektrik stabilite testleri yapılmıştır. Basınç dayanımları 7, 28, 56, 90 ve 120 günlük yaşlarda ölçülmüştür. Agresif ortamlarda KYB'nin dayanıklılığını araştırmak için KYB üzerinde klorür iyonlarının difüzyon davranışı Fick'in ikinci yasası kullanılarak analiz edilmiş ve ayrıca sülfürik aside (H_2SO_4) daldırılan betonlarda oluşan kütle kayıpları belirlenmiştir. Sonuçlar, kendiliğinden yerleşen beton üretmek için % 50 geri dönüştürülmüş kaba ve ince agrega kullanılabileceğini göstermiştir. PZ katkılı doğal ve geri dönüştürülmüş agrega içeren KYB karışımlarından, 120. günde PZ içermeyen KYB karışımlarına benzer basınç dayanımı sonuçları elde edilmiştir. Doğal ve geri dönüştürülmüş agrega içeren KYB karışımlarına % 15 ve % 20 oranında PZ eklenmesi ile klorür iyonlarının penetrasyon derinliği % 50 oranında azalmış ve ayrıca sülfürik asit saldırısı altında kütle kayıpları da azalmıştır.

Grdic vd. (2010), kendiliğinden yerleşen betonun üretimi için kırılmış betondan elde edilen kaba geri dönüştürülmüş agreganın kullanım potansiyelini araştırmış ve ayrıca ekolojik değerini vurgulamışlardır. Öte yandan, eski yapıların yıkılmasıyla oluşturulan atık bertaraf sahaları sorunu çözülmüştür. Çalışmalarında, geri dönüştürülmüş agrega ile kaba agrega ikame oranının %0, %50 ve %100 olduğu üç tip beton karışımı hazırlamışlardır. Üretilen tüm betonların aynı kıvamda olmaları sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlardan, bu betonların özelliklerinin sadece küçük bir farklılığa sahip olduğunu ve geri dönüştürülmüş kaba agreganın kendiliğinden yerleşen beton yapımında başarıyla kullanılabileceğini göstermişlerdir.

Boudali vd. (2016) yaptıkları bu çalışmada, geri dönüştürülmüş beton agregası içeren kendiliğinden yerleşen betonların farklı sülfat ortamları altındaki performanslarını araştırmıştır. KYB üretimlerinde kum yerine geri dönüştürülmüş beton agregalarının üretimi sırasında elde edilen ince taneli geri dönüşüm beton agregaları da kullanılmıştır. İki farklı KYB serisi üretilmiştir. Birincisi ince ve kaba agregaları kullanıldığı KYB serileri, ikincisi ise sadece ince agregaların kullanıldığı KYB serileridir. Doğal agrega ve

doğal puzolan içeren benzer karışımlar da karşılaştırma için test edilmiştir. Farklı sülfat atak rejimleri (yani tamamen suya batırılmış ve daldırma-kurutma çevrimleri) uygulanmıştır. Test edilen tüm karışımlar için sülfat saldırısı altında basınç dayanımı (gelişimi /bozulması) izlenmiştir. Sonuçlar, geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımının, doğal malzemeli karışımlara göre dayanımı önemli ölçüde etkilemediğini göstermiştir. Ayrıca, geri dönüştürülmüş beton agregası ve ince geri dönüştürülmüş beton agregası içeren karışımlar, doğal agrega ve doğal puzolana sahip olanlardan daha iyi bir sülfat dayanıklılığı sergilemiştir. Sonuç olarak, kullanılmış geri dönüştürülmüş malzemelerin kalitesi yeşil ve sürdürülebilir kendiliğinden yerleşen beton üretiminde önemli bir faktördür.

Manzi vd. (2017) çalışmalarında, kaba ve ince GDBA'larla (toplam agrega miktarının %40'ına kadar) hazırlanan kendiliğinden yerleşen betonun büzülmesini ve sünmesini incelemiştir. Ayrıca fiziksel özellikler ve porozite ölçümleri incelenmiş ve bu özellikler mekanik özelliklerle ilişkilendirilmiştir. Sonuçlar, geri dönüştürülmüş agregalar kullanıldığında kendiliğinden yerleşen beton özelliklerinin korunduğunu ve iyi kaliteli olanlar ile yüksek mekanik özelliklerin elde edilebildiğini göstermiştir. Sünme davranışı ve gözenek boyutu dağılımları, geri dönüştürülmüş agregaların içeriğinden ve çeşitliliğinden daha fazla etkilenmiştir, ancak etkileri geri dönüştürülmüş agregalarla üretilen geleneksel betonda meydana gelenlere kıyasla daha sınırlı olmuştur.

González-Taboada vd. (2018) çalışmalarında, kendiliğinden yerleşen geri dönüştürülmüş betonun sağlamlığını kontrol eden ve değerlendiren özellikleri anlamak için hem pratiği hem de teoriyi analiz etmeye çalışmışlardır. Böylece, geri dönüştürülmüş beton kaba agregaları % 0, 20, 50 ve 100 oranlarında yer değiştirilmiş ve iki farklı karıştırma prosedürü (kuru halde tüm agregalar veya % 3 doğal nem ile geri dönüştürülmüş agrega) ile kırk dokuz farklı karışım üretilmiştir. Deney programı, taze halde, çimento-su temasından 15, 45 ve 90 dakika sonra reolojik testler ve ampirik karakterizasyon testlerinin yapılmasını içermektedir. Sertleşmiş halde, basınç dayanımı 3, 7 ve 28. günlerde ölçülmüştür. Tüm sonuçlar, Kendall'ın uyum katsayısına ve Spearman sıra korelasyonuna dayanan istatistiksel bir yaklaşım kullanılarak analiz edilmiştir. Bu yaklaşım, geri dönüştürülmüş agrega içeren KYB'nin sağlamlığını değerlendirmek için

ölçülebilen altı temel özelliği (malzeme özelliklerinde ve karışım parametrelerinde belirli farklılıkları tolere etme kapasitesi) başarıyla tanımlamamıza izin vermiştir. Her karışım için tüm özellikler dikkate alınarak sağlamlık kategorisini tanımlayan bir sıralama elde edilmiştir. Ayrıca, su kontrolünün geri dönüştürülmüş agrega içeren KYB'nin sağlamlığını etkileyen anahtar faktör olduğunu göstermiştir.

Arabi vd. (2019) tarafından sunulan makale, kendiliğinden yerleşen betonun (KYB) bileşiminde kaba geri dönüştürülmüş beton agregaları (GDBA) ve kaba geri dönüştürülmüş cam agregalarını (GDCA) birleştirmeyi amaçlayan karşılaştırmalı bir deneysel çalışmaya dayanmaktadır. Temel amaç, bu agregaların taze ve sertleşmiş beton özellikler üzerindeki etkisini incelemektir. Bu amaca ulaşmak için, doğal kaba agregaların (DKA) GDBA ile değiştirilmesi ve GDBA ile GDCA'nın değiştirilmesi ile iki seri KYB karışımı hazırlanmıştır. Avrupa şartnameleri ve kılavuzları (EFNARC) tarafından önerilen KYB'nin temel özellikleri, taze durumda ölçülmüştür. Basınç dayanımı, su emme testi ve stabilite ve ayrışma potansiyelini değerlendirmek için kesit üzerindeki gözlemler, sertleştirilmiş betonlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlar çökme yayılma sonucunun 610 mm çapında olduğunu göstermiştir. Aynı şekilde, L-kutusu blokaj oranı 0.2 ile sınırlandırılmıştır. GDBA'nın GDCA ile değiştirilmesi, ilk çöküşü önemli ölçüde etkilememiştir, elde edilen değerlerin hepsi 650 mm'lik minimum eşiğin üstündedir. EFNARC'ın geçiş yeteneği kriteri de karşılanmıştır. Ampirik denklemlerle belirlenen akma gerilimi ve plastik viskozite değerleri, geleneksel KYB ile gözlemlenenlerle uyumlu olmuştur. GDCA-KYB karışımlarının basınç dayanımı, geri dönüştürülmüş cam içeriğindeki artışla azalmış ancak kendiliğinden yerleşen betonların dayanım aralığı içerisinde kalmıştır.

Mohammed ve Najim (2020) yaptıkları çalışmada KYB üretmek için GDBA kullanma olasılığını araştırmışlardır. Geri dönüştürülmüş kaba agrega, geri dönüştürülmüş ince agrega ve süperakışkanlaştırıcı olmak üzere üç parametre, dört farklı değişim yüzdesiyle incelenmiştir. İncelenen karışımların mekanik özelliklerini araştırmak için basınç, eğilme dayanımı ve elastisite modülü deneyleri yapılmıştır. Basınç dayanımı için Taguchi analizlerinin sonucuna dayanarak, dört karışım, eğilme davranışı açısından derinlemesine incelenmek üzere seçilmiştir. Sekiz adet 100 × 150 × 1200 mm boyutlarındaki betonarme kiriş, iki nokta yükleme sistemi altında test edilmiştir. Eğilme rijitliği (k) ve eğilme

tokluğu (I) belirlenmiştir. Çatlak izi, yayılımı ve kıvrımları, fraktal teorisi kullanılarak görüntü işleme tekniği kullanılarak belirlenmiştir. Deneysel sonuçlara dayanarak, sertleşmiş özelliklerin, eğilme rijitliğinin ve tokluğunun, GDBA kullanımı ile genellikle azaldığı bulunmuştur. Bununla birlikte, GDBA'nın % 100 oranında kullanılması durumunda bile KYB serilerinden 39 MPa basınç dayanımları elde edilmiştir. Ayrıca yüzey çatlakları kırılma enerjisi parametreleri de belirlenmiştir. GDBA içeren kırımlardan elde edilen dayanım, rijitlik ve tokluktaki bozulma sonuçları kırılma enerjisinin klasik tanımı ile uyumlu olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kumara vd. (2017) bu deneysel çalışmada, kendiliğinden yerleşen beton (KYB) karışımlarında kaba geri dönüştürülmüş beton agregası (KGDBA) ve ince geri dönüştürülmüş beton agregalarının (İGDBA) kullanımı ile ilgilenmiştir. Beton karışımı, “Modifiye Nan-su Yöntemi” uyarınca 40 MPa'lık hedef dayanım için, mineral katkı maddesi olarak uçucu kül ile tasarlanmıştır. Çalışma kapsamında dört karışım tasarımı yapılmıştır. Bu karışımlar doğal agregası içeren kontrol karışımlarından, doğal agregası ile %20 oranında KGDBA'nın yer değiştirilmesi ile üretilen karışımlardan, doğal agregası ile %20 oranında İGDBA'nın yer değiştirilmesi ile üretilen karışımlardan ve doğal agregası ile hem KGDBA'nın hem de İGDBA'nın %20 oranında yer değiştirilmesi ile üretilen karışımlardan oluşmaktadır. KYB karışımlarının taze özelliklerini değerlendirmek için çökmede yayılma ve T_{500} zamanı, V-hunisi akış süresi, L-kutusu yükseklik oranı deneyleri yapılmıştır. % 20 KGDBA ve İGDBA içeren KYB karışımının çökme yayılma testi sonuçları, EFNARC kabul kriterlerini karşılayamamıştır. Ancak, T_{500} zamanı, V-Hunisi akış süresi değeri, L-kutusu yükseklik oranı, dört karışım hepsi için belirtilen sınırlar içinde olduğu bulunmuştur. Sertleşmiş beton özelliklerini belirlemek için, küp basınç dayanımını 3, 7 ve 28 günlerde, yarmada-çekme dayanımı belirlemek için 28. günde deneyler yapılmıştır. GDBA içeren KYB karışımlarının sertleşmiş beton özelliklerinin kontrol karışımlarından biraz daha yüksek olduğu bulunmuştur. Taze ve sertleşmiş beton özelliklerine ilişkin test sonuçlarına göre ve beton atığı kullanımına odaklanan test sonuçlarına dayanarak, %20 oranında KGDBA ve İGDBA içeren KYB serilerinin tercih edilen karışım kombinasyonu olduğu sonucuna varılmıştır. Bu karışım için sülfat ve asit saldırısı gibi dayanıklılık testleri yapılmıştır. Basınç dayanımı değerlerinin, Na_2SO_4 ve H_2SO_4 çözeltilerinde otuz gün boyunca bekletildikten sonra sırasıyla yaklaşık %11 ve %40 oranında azaldığı bulunmuştur.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Yapılan tez çalışmasında geri dönüştürülmüş beton agregası (GDBA) kullanılarak kendiliğinden yerleşen beton (KYB) üretimleri yapılmıştır. Çalışmada kalker esaslı kırmataş agregasının (4-11,2 mm) yerine hacimce % 0, 20, 40, 60, 80 ve 100 oranlarında GDBA'lar kullanılmıştır. Çalışmada GDBA'ların kullanılması ile üretilen kendiliğinden yerleşen betonların taze, fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Bu amaçla kullanılan malzemeler ve yapılan deneyler ile ilgili ayrıntılı bilgiler bu bölümde verilmiştir.

3.1 Kullanılan Malzemeler

Deneysel çalışmalarda kullanılan çimento, silis dumanı, uçucu kül, GDBA, kalker esaslı kırmataş agregaları, kum ve hiper akışkanlaştırıcı katkı malzemeleri ile ilgili ayrıntılı bilgiler alt başlıklar halinde aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

3.1.1 Çimento

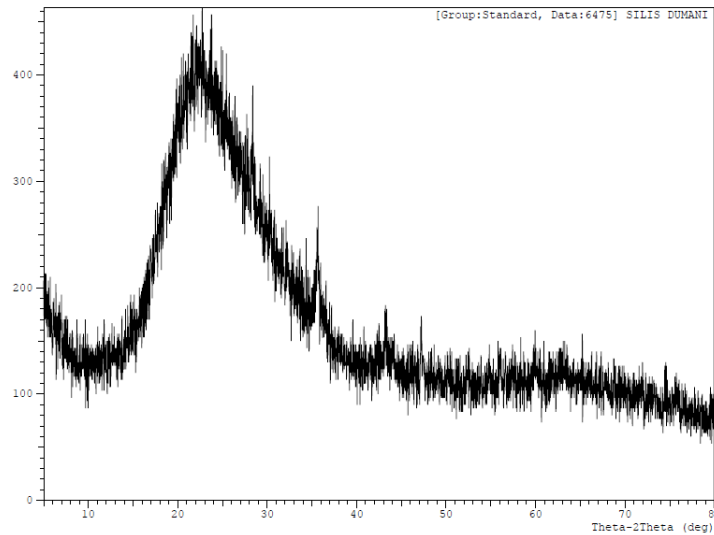
GDBA ilaveli kendiliğinden yerleşen beton (KYB) üretimlerinde ÇİMSA Afyon Çimento Fabrikası'nın üretmiş olduğu TS EN 197-1 (2012)'e uygun CEM I 42.5 R Portland Çimentosu kullanılmıştır. Üretimlerde kullanılan çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerine ait sonuçlar, Çizelge 3.1'de verilmiştir.

3.1.2 Silis Dumanı

KYB üretimlerinde Antalya Eti Elektrometalurji A.Ş. firmasının atığı olan silis dumanı kullanılmıştır. Şekil 3.1'de silis dumanının XRD analizi sonucu verilmiş ve silis dumanının amorf yapıda olduğu difraktogramdan görülmektedir. Silis dumanına (SD) ait kimyasal ve fiziksel özellik deney sonuçları Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Çimentonun; kimyasal, fiziksel ve mekanik özellik deney sonuçları.

	Kimyasal Bileşim, %	CEM I 42.5 R
Kimyasal Özellikler (XRF analizi)	SiO ₂	18.90
	Al ₂ O ₃	4.72
	Fe ₂ O ₃	3.72
	CaO	63.26
	MgO	1.59
	Na ₂ O	0.20
	K ₂ O	0.59
	SO ₃	2.97
	Cl ⁻	0.0120
	Kızdırma kaybı	3.09
	Çözünmeyen Kalıntı	0.32
Fiziksel Özellikler	Özgül ağırlık	3.12
	Özgül yüzey, cm ² /gr	4032
	Priz Başlama Süresi, dk	170
	Priz Sona Erme Süresi, dk	245
	Hacim Genleşmesi, mm	0.2
Mekanik Özellikler	Basınç Dayanımı, MPa (2 Günlük)	34.3
	Basınç Dayanımı, MPa (7 Günlük)	45.9
	Basınç Dayanımı, MPa (28 Günlük)	54.7



Şekil 3.1 Silis dumanının XRD analizi sonucu.

Çizelge 3.2 SD'nin XRF analizi ve fiziksel özellik deney sonuçları.

	Kimyasal Bileşim, %	SD
Kimyasal Özellikler (XRF analizi)	SiO ₂	80.22
	Al ₂ O ₃	0.84
	Fe ₂ O ₃	0.46
	CaO	1.39
	MgO	6.55
	Na ₂ O	1.45
	K ₂ O	2.23
	SO ₃	1.04
	ZnO	0.26
	Cr ₂ O ₃	1.69
	Cl ⁻	0.027
	F	0.27
	Kızdırma Kaybı	3.35
Fiziksel Özellikler	Özgül ağırlık	2.20
	BET, m ² /gr	13.02

3.1.3 Uçucu Kül

KYB üretimlerinde Seyitömer Termik Santraline ait uçucu kül (UK) kullanılmıştır. Uçucu kül Afyon Kolsan Hazır Beton tesisinden temin edilmiştir.

Çizelge 3.3 UK'nin XRF analizi ve fiziksel özellik deney sonuçları.

	Kimyasal Bileşim, %	UK
Kimyasal Özellikler (XRF analizi)	SiO ₂	58.30
	Al ₂ O ₃	19.80
	Fe ₂ O ₃	11.00
	CaO	2.26
	MgO	3.54
	Na ₂ O	0.199
	K ₂ O	1.82
	SO ₃	0.644
	Cl ⁻	0.0105
	Kızdırma Kaybı	1.95
Fiziksel Özellikler	Özgül ağırlık	2.25
	Özgül yüzey, cm ² /gr	2935

Uçucu küle ait XRF analizi ve fiziksel özellik deney sonuçları Çizelge 3.3'te verilmiştir. Elde edilen kimyasal analiz sonuçlarına göre Seyitömer uçucu külü, ASTM C 618'e göre $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarının % 70'den büyük olması ve CaO miktarının da % 10'dan az olması nedeniyle F sınıfı (düşük kireçli) uçucu kül sınıfına girmektedir. $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 'ün % 70'in üzerinde olması nedeniyle TS EN 450-1 (2013)'de istenen şartlara da uymaktadır.

3.1.4 Geri Dönüştürülmüş Beton Agregası

KYB üretimlerinde kullanılan GDBA'ların üretiminde atık durumda bulunan beton numuneleri kullanılmıştır. Bu atık beton numuneleri Afyonkarahisar ilinde bulunan Çevre ve Şehircilik Bakanlığı onaylı Afyon Beton ve Yapı Malzemeleri Laboratuvarı Ltd. Şti.'den temin edilmiştir. Temin edilen atık beton numunelerinin beton sınıfları C25 ve C30'dur. Bu atık beton numuneleri laboratuvarımızdaki çeneli kırıcıda yardımıyla kırılmıştır. Bu işleme ait görüntüler Resim 3.1'de verilmiştir.



Resim 3.1 Çeneli kırıcı ile agregaya haline getirilen atık beton numuneleri.

Bu işlemlerden sonra elde edilen geri dönüştürülmüş beton agregaları eleme işlemleri sonucunda 4-11.2 mm boyutlarına getirilmiştir. Bu eleme işlemine ait görüntüler Resim 3.2'de gösterilmiştir. Atık durumda bulunan C25 ve C30 betonlarından elde edilen geri dönüştürülmüş beton agregalarına sırasıyla GDBA25 ve GDBA30 kodları verilmiştir. KYB üretiminde kullanılacak GDBA25 ve GDBA30 agregalarının özgül ağırlıkları ve su emme yüzdelerine ait fiziksel özellik değerleri Çizelge 3.4'te gösterilmiştir. GDBA25 ve GDBA30 agregaları üzerinde elek analizi deneyleri yapılmış ve elek analizi sonuçları

Çizelge 3.5’de verilmiştir. GDBA25 ve GDBA30 agregalarının elek analizi sonucu elde edilen granülometri eğrileri ise sırasıyla Şekil 3.2 ve 3.3’te gösterilmiştir. Şekil 3.2 ve 3.3 incelendiğinde GDBA25 ve GDBA30 agregalarının granülometrik dağılımlarının birbirlerine oldukça benzer olduğu sonucuna varılmıştır.



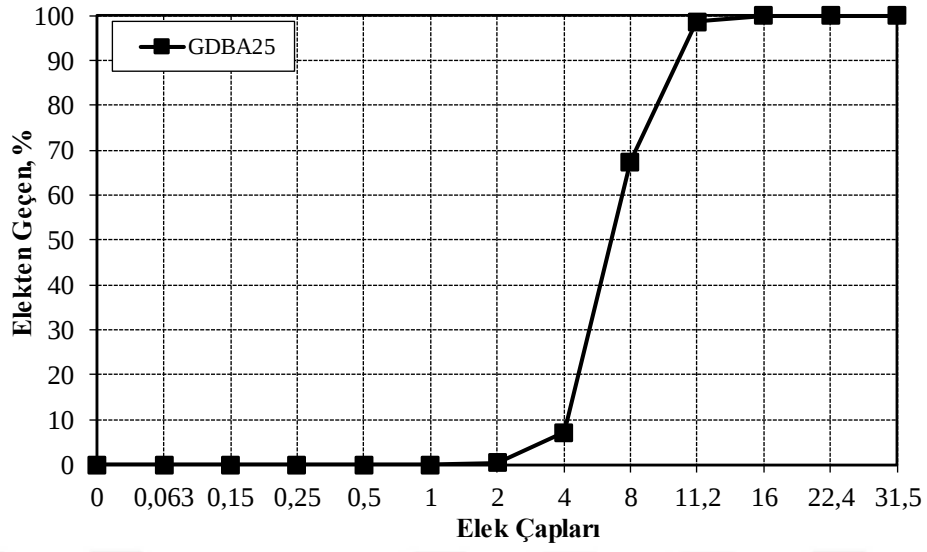
Resim 3.2 Geri dönüştürülmüş beton agregalarının eleme işlemi.

Çizelge 3.4 GDBA25 ve GDBA30 agregalarına ait fiziksel özellikler.

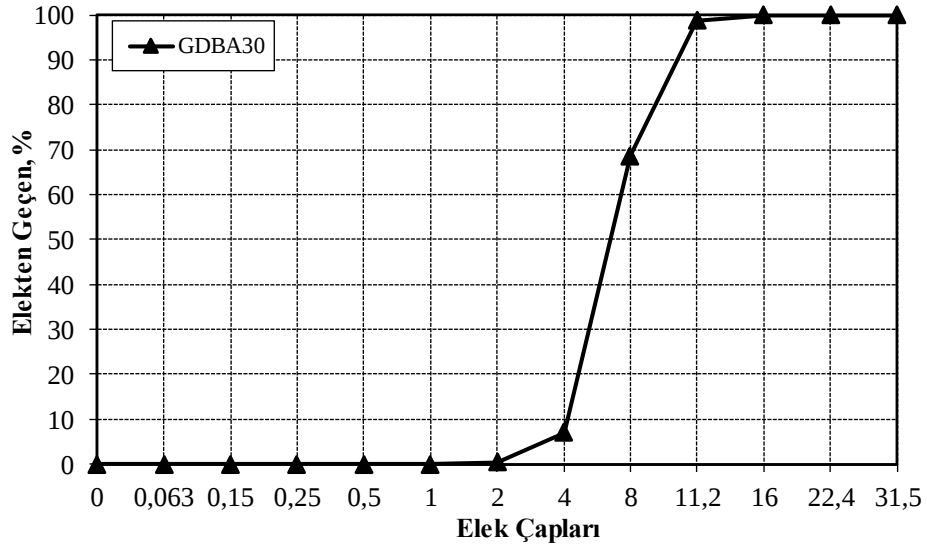
Fiziksel Özellikler	GDBA25	GDBA30
Özgül ağırlık	2.359	2.404
Su emme, %	6.119	5.196

Çizelge 3.5 GDBA25 ve GDBA30 agregalarının elek analizi sonuçları.

Elek boyutları (mm)	Elekten geçen malzeme miktarı, %	
	GDBA25 (4-11.2 mm)	GDBA30 (4-11.2 mm)
31.5	100	100
22.4	100	100
16	100	100
11.2	98.63	98.83
8	67.47	68.7
4	7.10	7.00
2	0.33	0.37
1	0.00	0.00
0.5	0.00	0.00
0.25	0.00	0.00
0.125	0.00	0.00
0.063	0.00	0.00



Şekil 3.2 GDBA25'e ait granülometri eğrisi.



Şekil 3.3 GDBA30'a ait granülometri eğrisi.

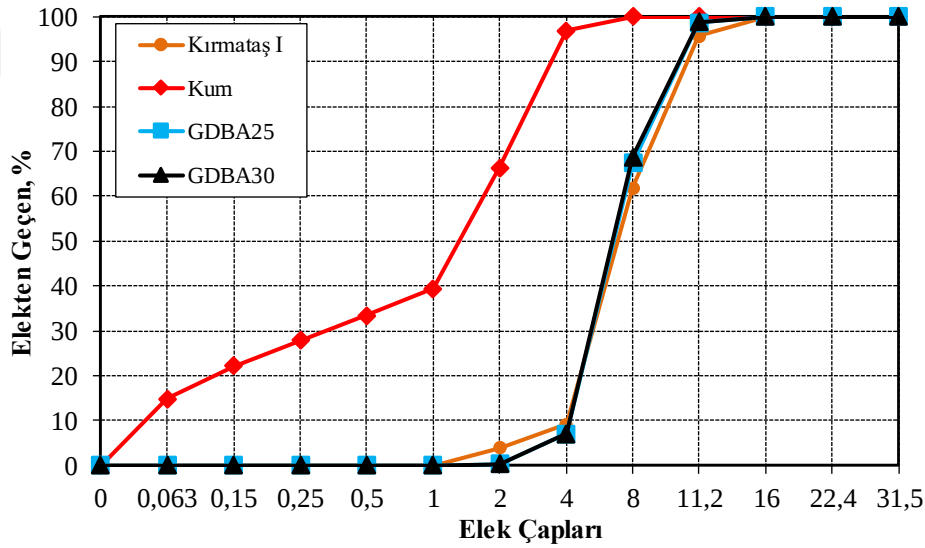
3.1.5 Kum ve Kırmataş Agregaları

KYB üretimlerinde geri dönüştürülmüş beton agregaları ile birlikte Afyon KOLSAN hazır beton tesisinin taş ocaklarından elde edilen kalker esaslı kırma kum (0-4 mm) ve kırma taş I (4-11.2 mm) agregaları kullanılmıştır. Geri dönüştürülmüş beton agregalı kendiliğinden yerleşen beton üretimlerinde kullanılan kum ve kırmataş I agregasına ait fiziksel özellik deney sonuçları Çizelge 3.6'da verilmiştir. Kırmataş I agregası ve kum

üzerinde elek analizleri yapılmış ve granülometri eğrileri elde edilmiştir. Karşılaştırma yapmak amacıyla GDBA25, GDBA30, kırmataş I agregası ve kırma kumun granülometri eğrileri Şekil 3.4'te birlikte verilmiştir. Şekil 3.4'ten görüldüğü üzere GDBA25, GDBA30 ve kırmataş I agregasının granülometri eğrileri üst üste çakışmıştır.

Çizelge 3.6 Kum ve kırmataş I agregasının fiziksel özellikleri.

Fiziksel Özellikler	Kırma Kum (0-4 mm)	Kırma Taş I (4-11.2 mm)
Özgül ağırlık	2.672	2.705
Su emme, %	1.235	0.503



Şekil 3.4 Kullanılan tüm agregaların granülometri eğrileri.

3.1.6 Hiper Akışkanlaştırıcı

KYB üretimlerinde hiper akışkanlaştırıcı (yüksek oranda su azaltıcı) beton katkısı olarak POLITON 692 kullanılmıştır. Bu katkı polikarboksilat bazlı olup betonun karışım suyunu azaltarak tüm dayanımları arttıran ve taze betonun işlenebilirlik süresini oldukça iyileştiren, yüksek oranda su azaltıcı süper akışkanlaştırıcı beton katkısıdır. KYB üretimlerinde kullanılan POLITON 692 katkı maddesinin özellikleri Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.7 Hiper akışkanlaştırıcı katkı maddesinin özellikleri.

Özellik	Değerler
Görünüm	Ayrışma yok
Renk	Kahverengi
Katı Madde Miktarı (%)	31.85
Bağıl Yoğunluk (gr/cm ³)	1.095
pH Değeri	4.91
Klorür içeriği	< 0.1
Alkali miktarı (%)	<10

3.2.Beton Karışım Oranları

Yapılan tez çalışmasında 4-11.2 mm aralığındaki kırmataş agregalarının yerine hacimce %0, 20, 40, 60, 80 ve 100 oranlarında GDBA25 ve GDBA30 agregaları kullanılmıştır. Farklı özellikteki geri dönüştürülmüş beton agregalarının kırmataş agregalarının yerine kullanılması ile üretilen betonların fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Kırmataş agregaları ve geri dönüştürülmüş beton agregalarının özgül ağırlıklarının farklı olmasından dolayı yer değiştirmeler hacimsel olarak yapılmıştır. KYB serilerinin üretiminde çimento, silis dumanı ve uçucu külden oluşan 500 kg toz malzeme kullanılmıştır. Su/toz malzeme oranı 0.35 olarak sabit tutulmuştur. Katkı miktarları, TS EN 206:2013+A1’de verilen sınır değerleri sağlayan karışımlar elde etmek amacıyla her seri için düzenlenmiştir. Üretilen KYB serilerine ait karışım oranları Çizelge 3.8’de verilmiştir.

GDBA’ların içeriğinde bulunan agregaların etrafını saran ve kırma esnasında agregadan ayrılmayan çimento hamurunun yüksek su emme kapasitesinden dolayı geri dönüştürülmüş beton agregaları yüksek su emme özelliklerine sahiptir (Jian-he vd. 2015). Bu amaçla beton üretimlerinde geri dönüştürülmüş beton agregalarının kullanılması durumunda bu agregaları öncelikle yüzey kuru suya doygun hale getirmek gerekmektedir. Yapılan çalışmada agregaların su emme kapasiteleri ve mevcut nem durumlarına göre gerekli su düzeltmeleri yapılmış ve kullanılacak agregaların ve suyun düzeltilmiş miktarları belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen bu su miktarlarının karışım serilerine göre değişecek şekilde %10’u ile %30’u arasındaki değeri geri dönüştürülmüş beton agregalarının yüzey kuru suya doygun hale getirilmesi için kullanılmıştır. Bu agregaların

suya doyurulması işlemi 1 saat kadar süreyle devam etmiştir. Çizelge 3.8’de verilen karışım kodlarındaki örneğin GDBA25-20 ifadesi üretilen KYB’nin GDBA25 agregası ile üretildiğini ve kalker agregası yerine hacimce %20 oranında GDBA25 agregasının kullanıldığını ifade etmektedir.

Çizelge 3.8 Üretilen KYB serilerine ait karışım oranları, kg/m³.

Karışım Kodu	Su	Çimento	Silis Dumanı	UK	Kum	K.Taş I 4-11.2mm	GDBA25 4-11.2 mm	GDBA30 4-11.2 mm	HA
Kontrol	175	375	75	50	834	845	-	-	4.25
GDBA25-20	175	375	75	50	834	676	147	-	4.50
GDBA25-40	175	375	75	50	834	507	295	-	4.50
GDBA25-60	175	375	75	50	834	338	442	-	4.50
GDBA25-80	175	375	75	50	833	169	588	-	5.50
GDBA25-100	175	375	75	50	833	-	735	-	5.50
GDBA30-20	175	375	75	50	834	676	-	150	4.50
GDBA30-40	175	375	75	50	834	507	-	300	4.50
GDBA30-60	175	375	75	50	834	338	-	450	4.50
GDBA30-80	175	375	75	50	834	169	-	600	4.50
GDBA30-100	175	375	75	50	835	-	-	751	4.00

3.3 Yapılan Deneyler

Üretilen geri dönüştürülmüş beton agregalı kendiliğinden yerleşen betonlar üzerinde taze beton deneyleri ve kalıplarına yerleştirme işlemi sırasında herhangi bir vibrasyon işlemi uygulanmamıştır. Üretilen betonlar kendi kendine yerleşmiş ve sıkışmıştır. Yapılan taze, fiziksel, mekanik ve dayanıklılık deneylerine ait ayrıntılı bilgiler aşağıdaki bölümlerde anlatılmıştır.

3.3.1 Çökme Yayılma Deneyi ve t₅₀₀ Süresi Ölçümü

GDBA’lı kendiliğinden yerleşen betonların doldurma yeteneğini, akıcılığını ve akış hızını ölçmek için çökme yayılma deneyleri yapılmıştır. Bu deneyde KYB’nin x ve y doğrultularındaki yayılma çapları ölçülmüştür. Bu iki çapın ortalaması, yayılma çapı olarak kabul edilmiştir. Yayılma deneylerinde bir yayılma tablası ve bir Abrams konisi

kullanılmıştır. Bu deney sırasında sıkıştırma işlemi uygulanmamıştır. Yayılma çaplarının ölçümü Resim 3.3'te gösterilmiştir.



Resim 3.3 Yayılma çaplarının ölçümü.

Ayrıca Abrams konisi yukarı çekilmeye başladığı anda, kronometre ile taze betonun tabla üzerinde işaretli bulunan 500 mm'lik çapa yayılma süresi de ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar TS EN 206: 2013+A1 (2017)'de verilen çökme yayılma sınıfları ve t_{500} viskozite sınıflarına göre değerlendirilmiştir. TS EN 206: 2013+A1 (2017)'de verilen çökme yayılma sınıfları ve t_{500} viskozite sınıfları ile ilgili çizelgeler sırasıyla Çizelge 3.9 ve 3.10'da verilmiştir. KYB serileri üzerinde yapılan çökme yayılma ve t_{500} süresi deneyleri sonucunda elde edilen sonuçlara göre üretilen betonların hangi sınıfta oldukları ile ilgili değerlendirmeler Çizelge 3.9 ve 3.10'a göre yapılmıştır.

Çizelge 3.9 Çökme yayılma sınıfları.

Sınıfı	Çökme-yayılma EN 12350-8'e göre test edilmiştir (mm).
SF1	550 - 650 arası
SF2	660 - 750 arası
SF3	760 - 850 arası

Bu sınıflandırma agrega en büyük tane büyüklüğü (D_{max}) 40 mm'den daha büyük olan betonlar için uygun değildir.

Çizelge 3.10 t_{500} viskozite sınıfları.

Sınıfı	t_{500} değerleri, EN 12350-8'e göre test edilmiştir (s).
VS1	< 2.0
VS2	≥ 2.0

Bu sınıflandırma agrega en büyük tane büyüklüğü (D_{max}) 40 mm'den daha büyük olan betonlar için uygun değildir.

3.3.2 V Hunisi Akış Süresi Ölçümü

GDBA'nın kullanıldığı kendiliğinden yerleşen betonların viskozitesi ve doldurma yeteneği özelliklerini belirlemek için V hunisi deneyleri de yapılmıştır. V şeklinde huninin içi tamamen taze beton ile doldurulmuş ve daha sonra, alt kısmında bulunan kapak açılarak ve betonun huni içinden kovaya ilk ışık görününceye kadar boşalması için geçen süre ölçülmüştür. Akışın tamamen bittiği süre, V hunisi akış süresi (t_v) olarak not edilmiştir. V hunisi deneyinin yapılışı Resim 3.4'te gösterilmiştir. V hunisi deneyi yapılırken betona vibrasyon, şişleme gibi herhangi bir sıkıştırma işlemi uygulanmamıştır. Çizelge 3.11'de TS EN 206:2013+A1 (2017)'e göre, KYB'ler için V hunisi deneyi t_v viskozite sınıfları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar bu viskozite sınıflarına göre değerlendirilmiştir.



Resim 3.4 V hunisi deneyinin yapılışı.

Çizelge 3.11 t_v viskozite sınıfları.

Sınıfı	t_v değerleri, EN 12350-9'a göre test edilmiştir.
	s
VF1	< 9.0
VF2	9.0 – 25.0 arası

Bu sınıflandırma agrega en büyük tane büyüklüğü (D_{max}) 22.4 mm'den daha büyük olan betonlar için uygun değildir.

3.3.3 Birim Ağırlık ve Ultrases Geçiş Süresi Deneyi

Basınç dayanımlarında kullanılan sertleşmiş beton numuneleri üzerinde birim ağırlık ve ultrases geçiş hızı deneyleri yapılmıştır. Beton numunelerinin boyutları 150x150x150 mm'dir. Kalıplara doldurulan GDBA'lı kendiliğinden yerleşen betonlar 24 saat boyunca laboratuvar ortamında kalıplarında bekletildikten sonra kalıplarından çıkartılmıştır. Beton numunelerine 28. güne kadar 20 ± 2 °C sıcaklığa sahip kirece doymun su havuzlarında standart kür uygulanmış ve sonrasında ultrases geçiş hızı ve birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Laboratuvar ortamında kalıplarında bekletilen ve havuzlarda kür yapılan numunelere ait görüntüler Resim 3.5'de verilmiştir.



Resim 3.5 Kalıplarda bekletilen ve kür yapılan numuneler.

Ultrases geçiş süresi deneyinin yapılmasına ait görüntüler Resim 3.6'da verilmiştir. Ultrases geçiş hızının hesaplanmasında denklem 3.1'den yararlanılmıştır. Denklem 3.1'deki, V ;

Ultrases geçiş hızını, (km/sn), L; Alıcı ve verici probalar arasındaki mesafeyi (km), t; Ses dalgalarının geçiş süresini (sn) ifade etmektedir.

$$V = \frac{L}{t} \quad (3.1)$$



Resim 3.6 Ultrases geçiş süresi deneyinin yapılışı.

3.3.4 Basınç Dayanımı ve Schmidt Yüzey Sertliği Deneyi

Basınç dayanımı deneyleri 150x150x150 mm boyutlarındaki küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Küp numuneler üretimden sonra 24 saat boyunca laboratuvar ortamında kalıplarında bekletilmiş ve sonrasında kalıplarından çıkartılmıştır. Beton numunelerine 28. güne kadar 20 ± 2 °C sıcaklığa sahip kirece doygun su havuzlarında standart kür uygulanmış ve sonrasında basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Basınç dayanımı deneyinin yapılışına ait görüntüler Resim 3.6’da verilmiştir. Schmidt yüzey sertliği deneyleri ise basınç dayanımı deneylerinde kullanılan küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Küp numuneler beton presinde Schmidt yüzey sertliği deneyleri öncesinde 60 kN’luk ön yükleme ile sıkıştırılmış ve sonrasında ilgili deneyler yapılmıştır. Schmidt yüzey sertliği deneyinde 10 farklı okuma yapılmış ve bu okumaların ortalaması alınmıştır. Schmidt yüzey sertliği deneyine ait görüntüler Resim 3.7’de verilmiştir.



Resim 3.7 Basınç dayanımı deneyinin ve Schmidt yüzey sertliği deneyinin yapılışı.

3.3.5 Yarmada-Çekme Dayanımı Deneyi

Yarmada-çekme dayanımı deneyleri 100 mm çapında 200 mm boyundaki silindir numuneler üzerinde yapılmıştır. Silindir numuneler üretimden sonra 24 saat boyunca laboratuvar ortamında kalıplarında bekletilmiş ve sonrasında kalıplarından çıkartılarak 28 gün boyunca 20 ± 2 °C sıcaklığa sahip kirece doymun su havuzlarında standart kür uygulanmıştır. Bu işlemlerin sonrasında yarmada-çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Yarmada-çekme dayanımı deneyinin yapılışına ait görüntüler Resim 3.8’de verilmiştir. Yarmada-çekme dayanımı değerlerinin hesaplanmasında denklem 3.2 kullanılmıştır.

$$f_{ctk} = \frac{2P}{\pi DL} \quad (3.2)$$

Denklem 3.1’deki, f_{ctk} ; Yarmada çekme dayanımını (MPa), P; Silindire uygulanan basınç yükünü (N), D; Silindirin çapını (mm) ve L; Silindirin uzunluğunu (mm) ifade etmektedir.



Resim 3.8 Yarmada-çekme dayanımı deneyinin yapılışı.

3.3.6 Hızlı Klorür Geçirirnililiği Deneyi

Disk numunelere hızlı klorür geçirirnililiği deneyleri öncesinde 28 gün boyunca 20 ± 2 °C sıcaklığa sahip kirece doymun su havuzlarında standart kür uygulanmış ve sonrasında ilgili deneyler yapılmıştır. Hızlı klorür geçirirnililiği deneyleri, 100 mm çapındaki ve 200 mm boyundaki silindir numunelerden kesilerek alınmış 50 mm kalınlıkta ve 100 mm çapında disk numunelere uygulanmıştır. Disk numuneler üzerinde vakumlama işlemleri ve hızlı klorür geçirirnililiği deneyleri ASTM C 1202 (1997) deney yöntemine göre yapılmıştır. Numunelerin deneye hazırlanması için kullanılan vakum pompası ve hızlı klorür geçirirnililiği deney düzeneği Resim 3.9’da gösterilmiştir.



Resim 3.9 Vakum işlemi ve hızlı klorür geçirirnililiği deney düzeneği.

Disk numunelerin yan yüzeyleri elektrik iletmeyen silikon ile kaplandıktan sonra numuneler 24 saat boyunca silikonun kuruması için bırakılmıştır. Kuruyan disk numuneler desikatörün içerisine alt yüzeyleri suya değecek şekilde yerleştirilmiş ve desikatörün kapağı kapatılarak vakum pompası çalıştırılmıştır. Numunelere 3 saat boyunca vakumlama işlemi uygulanmıştır. Bu 3 saatlik vakumlama işleminden sonra desikatörün içerisindeki numuneler tamamen su içerisinde kalacak şekilde desikatör vakumlama işlemi devam ederken saf su ile doldurulmuştur. Tamamen saf su ile doldurulan desikatörün içerisindeki numuneler bu şekilde 1 saat daha vakumda tutulmuştur. Bu işlemlerin ardından desikatörün içerisine hava girişine izin verilmiş ve numuneler 18 ± 2 saat süre ile saf su içerisinde bekletilmeye bırakılmıştır. Numuneler saf sudan çıkartıldıktan sonra hızlı klor geçirimsizliği deney düzeneğine yerleştirilmiş ve bu işleminden sonra sızıntıyı engellemek için numuneyle hücreler arasına hızlı kuruma özelliğine sahip silikon malzeme sürülmüştür. Bu düzenekteki hücreler içine doldurulan çözeltilerin numuneyle temasına izin veren ve kullanılan disk numunelere uygun boyutlara sahip bir tasarıma sahiptir. Deneye hazır hale gelen düzenekte hücrelerden bir tanesine % 3'lük NaCl çözeltisi, diğerine ise 0.3 N NaOH çözeltisi doldurulmuştur. Bu iki hücre arasında 60 V'luk potansiyel fark oluşturmak için, güç kaynağının (-) kutbu NaCl hücresine, (+) kutbu ise NaOH hücresine bağlanmış ve güç kaynağı çalıştırılmıştır. Deneyin başlangıcından, bitimine kadar, geçen 6 saat boyunca her 30 dakikada bir deney düzeneği devreden geçen akımı ölçmüş ve kaydetmiştir. Daha sonra denklem 3.3 yardımı ile devreden geçen toplam yük miktarı hesaplanmıştır.

$$Q = 900 (I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{300} + 2I_{330} + I_{360}) \quad (3.3)$$

Bu denklemde Q (Coulomb) toplam geçen yükü, I_0 (amper) düzeneğe gerilim uygulandığı anda ölçülen akımı ve I_t (amper) düzeneğe gerilim uygulanmasından t dakika sonra ölçülen akımı göstermektedir. Deneyler sonucunda elde edilen toplam geçen yük değerleri ile Çizelge 3.12'de verilen ASTM C 1202 sınır değerleri karşılaştırılarak üretilen betonların klorür geçirimsizlik seviyeleri belirlenmiştir.

Çizelge 3.12 ASTM C 1202 sınır değerleri.

YÜK (COULUMB)	GEÇİRGENLİK SINIFI
>4000	Yüksek
4000-2000	Orta
2000-1000	Düşük
1000-100	Çok düşük
<100	İhmal edilebilir

3.3.7 Elektriksel Özdirenç Deneyi

GDBA'lı kendiliğinden yerleşen betonların elektriksel özdirenç deneyleri 100 mm çapında 200 mm boyundaki silindir numuneler üzerinde yapılmıştır. Elektriksel özdirenç ölçümlerinden önce numuneler suya doygun hale getirilmiştir. Üretilen kendiliğinden yerleşen betonlar üzerinde 28 gün boyunca standart kür yapıldıktan sonra elektriksel özdirenç ölçümleri yapılmıştır.

Çizelge 3.13 Elektriksel özdirenç ile korozyon olasılığı arasındaki ilişki.

Elektriksel Özdirenç (kΩ.cm)	Korozyon Olasılığı
<5	Çok Yüksek
5-10	Yüksek
10-20	Düşük
>20	Önemsiz

Elektriksel özdirenç değerleri ile korozyon olasılıkları arasındaki ilişkiyi gösteren değerler Çizelge 3.13'te sunulmuştur. Elektriksel özdirenç deneyinin yapılmasına ait görüntü Resim 3.10'da verilmiştir.



Resim 3.10 Elektriksel özdirenç ölçümü.

3.3.8 Görünen Porozite, Ağırlıkça Su Emme ve Kılcal Su Emme Deneyi

Görünen porozite, ağırlıkça su emme ve kılcallık katsayısı değerlerini hesaplamak için 100x200 mm boyutlarındaki silindirik numuneler üzerinde ilgili deneyler yapılmıştır. Bu deneyler öncesinde üretilen numunelere 28. güne kadar 20 ± 2 °C sıcaklığa sahip kirece doymun su havuzlarında standart kür uygulanmıştır. Su içerisindeki ağırlıkları belirlemek için kullanılan Arşimet terazisine ait görüntüler Resim 3.11’de verilmiştir.

Betonların ağırlıkça su emme ve görünen porozite değerleri sırasıyla Denklem (3.4) ve Denklem (3.5) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Sa = \frac{w_3 - w_1}{w_1} \times 100 \quad (3.4)$$

$$P = \frac{(W_3 - W_1)}{(W_3 - W_2)} \times 100 \quad (3.5)$$

Denklemlerdeki W_1 : Numunenin etüv kurusu ağırlığı (gr), W_2 : Numunenin su içindeki asılı ağırlığı (gr), W_3 : Numunenin havadaki ağırlığı (gr), Sa : Ağırlıkça emilen su emme miktarı (%) ve P : Porozite (%) değerlerini göstermektedir.



Resim 3.11 Arşimet terazisinin görünümü.

Kılcal su emme deneylerinden önce numuneler 24 saat etüvde kurutulmuş ve sonrasında kılcallık deneyleri yapılmıştır. Kılcallık deneylerinden önce numunelerin yan yüzeylerinden su emmesini engellemek için numunelerin yan yüzeylerine parafin film sürülmüştür. Parafin film sürülen numunelere ait görüntü Resim 3.12’de gösterilmiştir. Kılcallık deneylerine ait görüntüler ise Resim 3.13’te verilmiştir.



Resim 3.12 Parafin film sürülen numunelere ait görüntü.



Resim 3.13 Kılcallık deneylerine ait görüntü.

Deneyler sonucunda Kılcallık katsayısı (k) değerleri Denklem (3.6) yardımı ile hesaplanmıştır. Denklemlerdeki Q : Numunenin emdiği su miktarını (cm^3), A : su emdirilen yüzeyin alanını (cm^2), k : kapiler su emme katsayısını ($\text{cm}/\text{sn}^{0.5}$), t : zamanı (sn) göstermektedir.

$$\frac{Q}{A} = k\sqrt{t} \quad (3.6)$$

Numuneler 4 saat boyunca 30'ar dakikalık aralarla tartılarak emdikleri su miktarları belirlenmiştir. Her bir numunenin yüzeyleri kuru bir bez ile silindikten sonra tartım işlemleri yapılmıştır.

4. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1 Yayılma Deneyi ve t_{500} Süresi Ölçümü Sonuçları

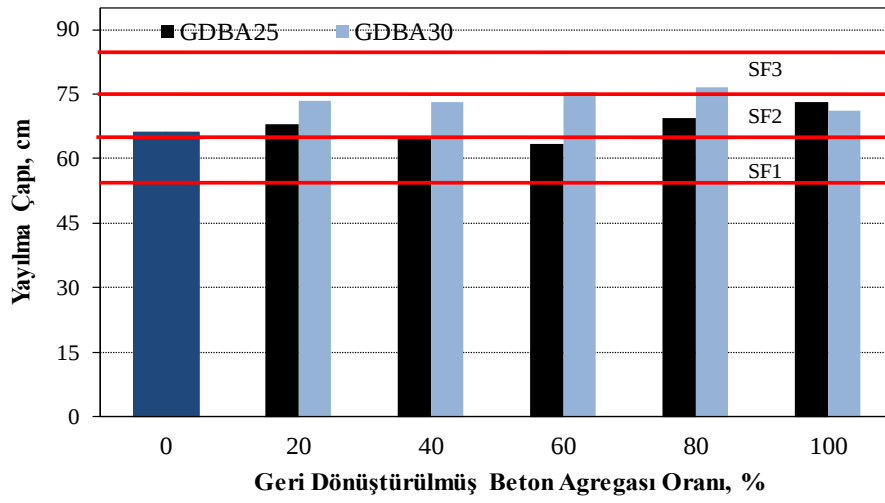
Üretilen kendiliğinden yerleşen betonların taze özelliklerine ait çökme yayılma sınıfları ve t_{500} viskozite sınıfları Çizelge 3.9 ve 3.10’da verilen sınır değerlere göre değerlendirilmiş ve bu taze betonların hangi sınıfa ait oldukları Çizelge 4.1’de gösterilmiştir. Çökme yayılma değerleri incelendiğinde çoğu serinin SF2 sınıfında oldukları görülmüştür. Taze haldeki KYB serileri üzerinde yapılan yayılma çapı deney sonuçlarının geri dönüştürülmüş beton agregası oranına göre değişimi Şekil 4.1’de verilmiştir. Şekil 4.1 incelendiğinde yayılma çapı sonuçlarının 63,5 ile 76,5 cm arasında değiştiği görülmüştür. Genel olarak KYB’ler üretilirken tüm serilerin aynı işlenebilirlik seviyesinde olması için kullanılan kimyasal katkı malzemesi ayarlanarak beton karışımlarına katılmıştır.

Çizelge 4.1 Taze betonların TS EN 206: 2013+A1 (2017)’ göre sınıflandırılması.

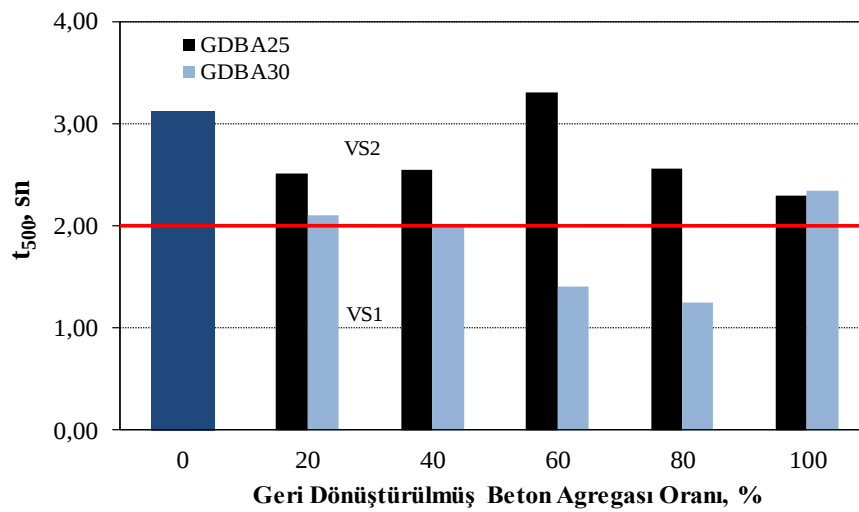
KYB serileri	Çökme Yayılma Sınıfları	t_{500} Viskozite Sınıfları	t_v Viskozite Sınıfları
Kontrol	SF2	VS2	VF2
GDBA25-20	SF2	VS2	VF2
GDBA25-40	SF1	VS2	VF2
GDBA25-60	SF1	VS2	VF2
GDBA25-80	SF2	VS2	VF2
GDBA25-100	SF2	VS2	VF2
GDBA30-20	SF2	VS2	VF2
GDBA30-40	SF2	VS1	VF2
GDBA30-60	SF3	VS1	VF2
GDBA30-80	SF3	VS1	VF2
GDBA30-100	SF2	VS2	VF2

Ancak yapılan yayılma çapı testi sonucunda farklı yayılma çapları elde edilmiştir. KYB içeriğinde kullanılan GDBA’ların özgül ağırlıkları kırmataş agregasından düşüktür. Bu sebepten dolayı yayılma deneyleri sırasında düşük özgül ağırlığa sahip GDBA agregaları harç tarafından daha kolay bir şekilde taşınarak daha fazla yayılma çapı değerleri elde

edildiği düşünülmektedir. Bu nedenle GDBA kullanım oranları arttıkça yayılma çapları da artmaktadır. Ayrıca GDBA'lar farklı seviyelerde su emme değerlerine sahip olduklarından dolayı bu değerler beton serilerinin işlenebilirlik özelliklerini az da olsa etkilemiştir. Şekil 4.1 incelendiğinde en yüksek yayılma çapı değeri GDBA30 agregasının %80 oranında kullanıldığı KYB serilerinden elde edilirken en az yayılma çapı değeri ise GDBA25 agregasının %60 oranında kullanıldığı KYB serilerinden elde edilmiştir. GDBA25 ve GDBA30 agregaları ile üretilen KYB'lerin yayılma çapları karşılaştırıldığında genel olarak GDBA30 agregaları ile üretilen serilerden daha fazla yayılma çapları elde edilmiştir.



Şekil 4.1 Yayılma çaplarının geri dönüştürülmüş beton agregası oranına göre değişimi.

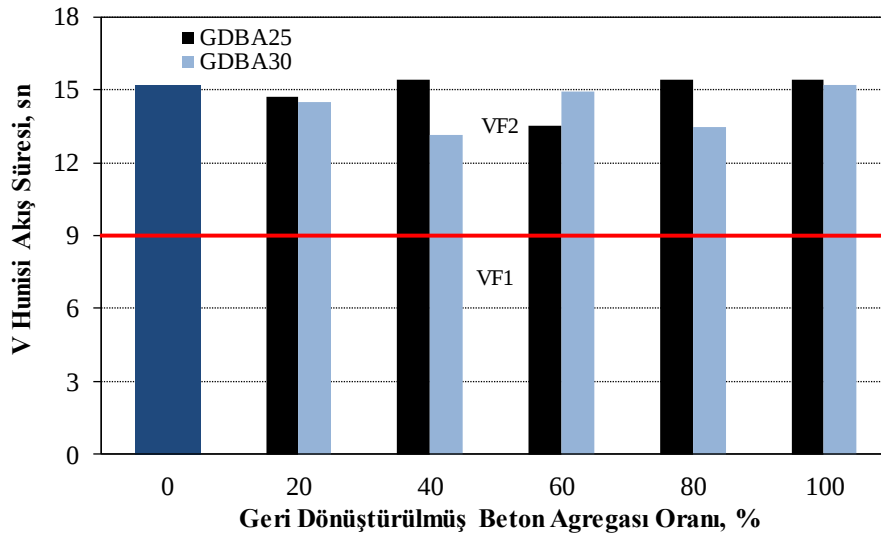


Şekil 4.2 t₅₀₀ süresi sonuçlarının geri dönüştürülmüş beton agregası oranına göre değişimi.

Şekil 4.2’de t_{500} süresi sonuçlarının geri dönüştürülmüş beton agregası oranına göre değişimi verilmiştir. Şekil 4.2 incelendiğinde kontrol serilerinde ve GDBA25 agregası ile üretilen KYB serilerinin tümünde 500 mm çapa ulaşma süreleri 2 sn’nin üzerinde olduğu görülmüştür. Çizelge 4.1’de gösterildiği üzere GDBA25 agregası ile üretilen KYB serilerinin tümü VS2 sınıfındadır. GDBA30 agregaları ile üretilen KYB serilerinde ise bu agreganın % 40, 60 ve 80 oranında kullanıldığı serilerin VS1 sınıfında olduğu % 20 ve 100 oranında kullanıldığı serilerin ise VS2 sınıfında oldukları sonucuna ulaşılmıştır. Yayılma çaplarının az olduğu serilerden daha yüksek t_{500} süreleri elde edilmiştir. GDBA25 ve GDBA30 agregaları ile üretilen KYB’lerin 500 mm çapa ulaşma süreleri karşılaştırıldığında genel olarak GDBA30 agregaları ile üretilen serilerden daha kısa süreler elde edilmiştir.

4.2 V Hunisi Akış Süresi Ölçümü Sonuçları

GDBA kullanılarak üretilen KYB’lerin taze özelliklerine ait t_v viskozite sınıfları Çizelge 3.11’de verilen sınır değerlere göre değerlendirilmiş ve hangi sınıfa ait oldukları Çizelge 4.1’de gösterilmiştir. Üretilen tüm KYB serilerinin VF2 sınıfında oldukları sonucuna varılmıştır. V hunisi akış sürelerinin sonuçlarının geri dönüştürülmüş beton agregası oranına göre değişimi Şekil 4.3’te verilmiştir.

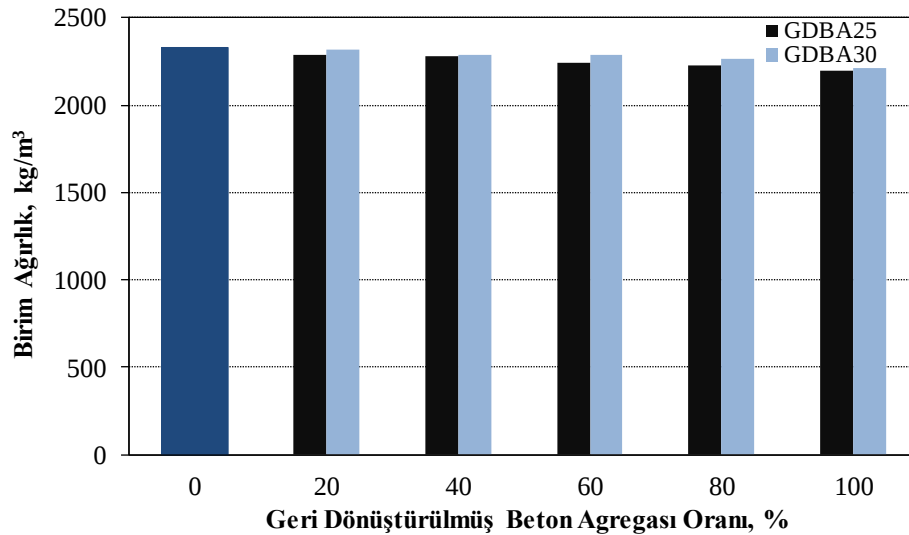


Şekil 4.3 V hunisi akış süresi sonuçlarının geri dönüştürülmüş beton agregası oranına göre değişimi.

Tüm serilerden elde edilen V hunisi akış süreleri 9 saniyenin üzerinde kalmıştır. Genel olarak GDBA30 agregalı serilerden GDBA25 agregalı serilere göre daha düşük V hunisi akış süreleri elde edilmiştir. V hunisi akış süresi değerleri 13.12 ile 15.43 sn değerleri arasında değişmiştir. Genel olarak tüm KYB serilerinden elde edilen V hunisi akış süresi değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu sonucuna varılmıştır.

4.3 Sertleşmiş Betonlarda Birim Ağırlık Deneyi Sonuçları

GDBA agregaları ile üretilen KYB serilerinden elde edilen birim ağırlık sonuçları Şekil 4.4'te verilmiştir. GDBA agregalarının kullanılmadığı kontrol serilerinden 2326 kg/m³ birim ağırlık değeri elde edilmiştir. GDBA25 agregalarının kullanıldığı serilerden ise 2198-2287 kg/m³ aralığında birim ağırlık sonuçlarına ulaşılmıştır. GDBA30 agregalarından elde edilen birim ağırlık değerleri de 2209-2318 kg/m³ aralığında değişmiştir. Şekil 4.4 incelendiğinde geri dönüştürülmüş beton agregalarının kullanım oranlarının artışı ile birlikte her iki seride de birim ağırlık değerlerinin azaldığı sonucuna varılmıştır. Bunun sebebi kalker agregalarının yerine kullanılan GDBA'ların özgül ağırlık değerlerinin kalker agregaların özgül ağırlık değerlerinden daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır. GDBA25 ve GDBA30 serileri karşılaştırıldığında ise GDBA30 serilerinden daha yüksek birim ağırlık değerleri elde edilmiştir.

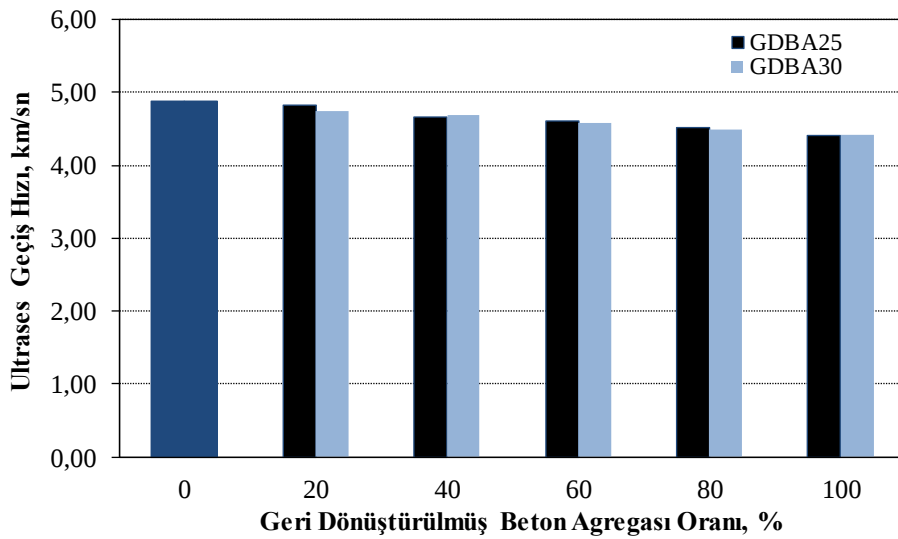


Şekil 4.4 Birim ağırlık sonuçlarının geri dönüştürülmüş beton agregası oranına göre değişimi.

Bu durumun sebebi de GDBA30 serilerinin GDBA25 serilerinden daha yüksek özgül ağırlık değerlerine sahip olmasından kaynaklanmaktadır. GDBA25 agregalarının %20, 40, 60, 80 ve 100 oranında kullanılması ile birim ağırlık değerleri kontrol serilerine göre sırasıyla % 1.71, 2.02, 3.77, 4.14 ve 5.50 oranlarında azalmıştır. GDBA30 agregaları ile üretilen KYB serilerinin birim ağırlık değerlerindeki azalış oranları ise sırasıyla % 0.35, 1.74, 1.67, 2.76 ve 5.04 olarak bulunmuştur. GDBA25 ve GDBA30 agregaları ile üretilen KYB'lerin birim ağırlıkları karşılaştırıldığında %20, 40, 60, 80 ve 100 oranında geri dönüştürülmüş beton agregalarının kullanılması ile GDBA30 agregaları ile üretilen KYB'lerin birim ağırlıkları GDBA25 serilerine göre sırasıyla %1.38, 0.29, 2.18, 1.44 ve 0.49 oranlarında artmıştır.

4.4 Ultrases Geçiş Hızı Deneyi Sonuçları

GDBA agregaları kullanılarak üretilen KYB beton serilerine göre ultrases geçiş hızı değişim sonuçları Şekil 4.5'de gösterilmiştir. KYB üretiminde GDBA kullanılmayan kontrol serilerinin ultrases geçiş hızı 4.87 km/sn olarak bulunmuştur. GDBA25 agregalarının kullanıldığı serilerde ultrases geçiş süreleri 4.41 ile 4.82 km/sn arasında değişmiştir. GDBA30 agregalarının kullanıldığı KYB serilerinde ise ultrases geçiş süreleri 4.42 ile 4.74 km/sn aralığında değişmektedir.

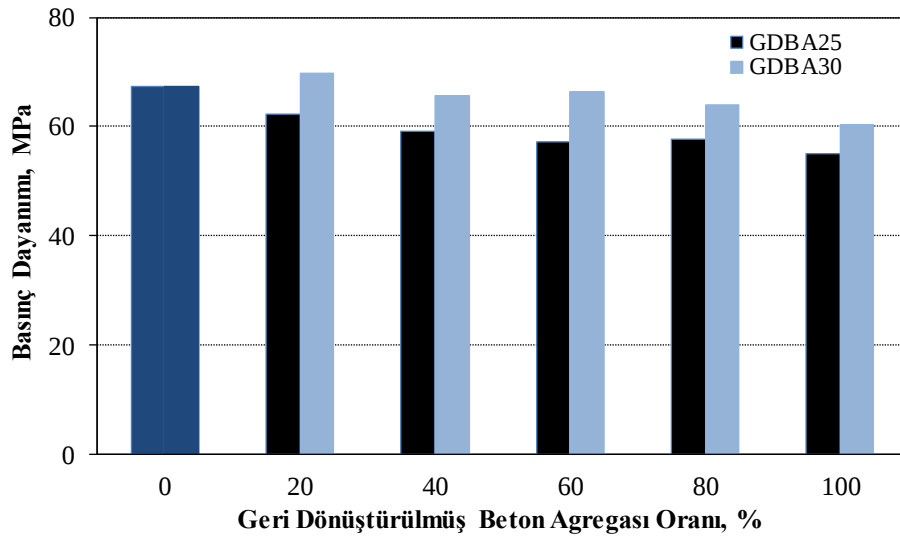


Şekil 4.5 Ultrases geçiş hızı sonuçlarının geri dönüştürülmüş beton agregası oranına göre değişimi.

Şekil 4.5 incelendiğinde GDBA25 ve GDBA30 agregalarının KYB serilerinde kullanım oranlarının artmasıyla her iki seride de ultrases geçiş sürelerinin azaldığı görülmüştür. Buna neden olarak, kırmataş agregalarının yerine kullanılan GDBA'nın içeriğindeki boşluklu yapıların fazla olmasıdır. KYB üretimlerinde kullanılan GDBA25 agregalarının %20, 40, 60, 80 ve 100 oranında kullanılması ile ultrases geçiş hızı değerleri kontrol serilerine göre sırasıyla % 1.03, 4.44, 5.47, 7.42 ve 9.61 oranlarında azaldığı görülmüştür. GDBA30 agregaları ile üretilen KYB serilerinin ultrases geçiş hızı değerlerindeki tespit edilen azalış oranları ise sırasıyla % 2.82, 3.71, 6.12, 8.01 ve 9.38 olarak bulunmuştur.

4.5 Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları

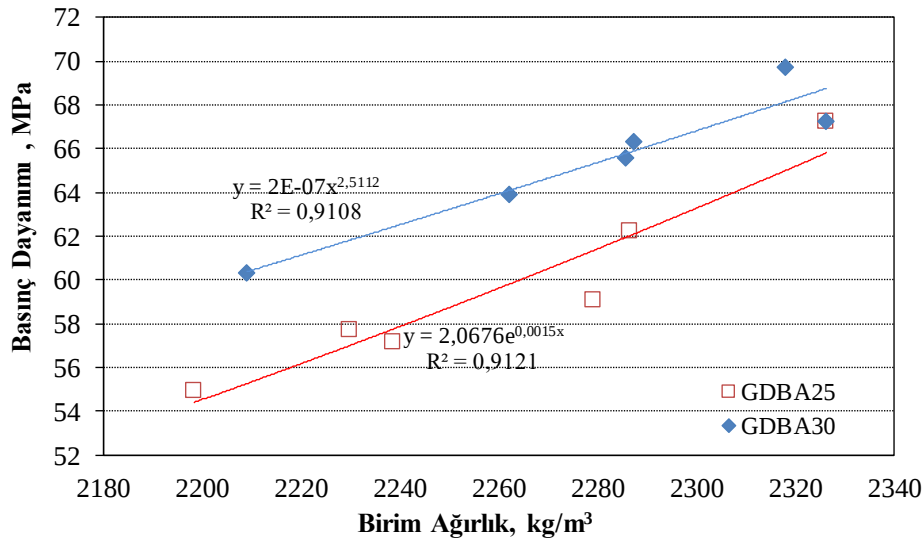
KYB üretimlerinde kullanılan GDBA'lı beton serilerinin basınç dayanımı değişimleri Şekil 4.6'da verilmiştir. GDBA agregaları içermeyen KYB kontrol serisinde basınç dayanımı 67.24 MPa bulunmuştur. GDBA25 agregaları içeren KYB serilerinde 54.97 ile 62.26 MPa aralığında basınç dayanımı değerleri bulunmuştur. GDBA30 agregalı beton serilerinde ise 60.33 ile 69.75 MPa aralığındaki basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4.6 Basınç dayanımı sonuçlarının geri dönüştürülmüş beton agregası oranına göre değişimi.

Şekil 4.6'da görüleceği üzere GDBA25 ve GDBA30 agregaları içeren KYB serileri GDBA oranları arttıkça basınç dayanımları genel olarak düştüğü görülmüştür. Ancak bazı serilerde GDBA kullanım oranlarının artışı ile birlikte basınç dayanımı değerlerinin

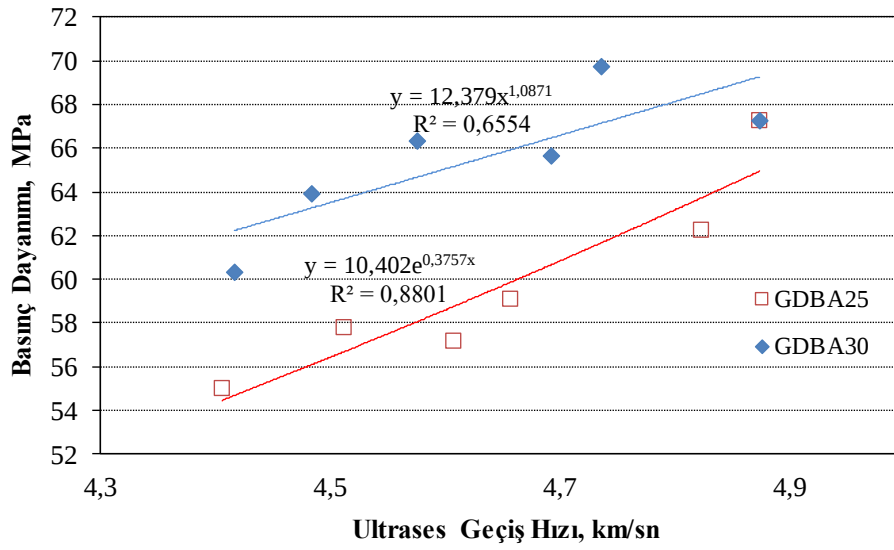
arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Manzi vd. (2017) daha önce yaptıkları çalışmada benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Bu çalışmada da %20 GDBA30 agregası içeren serilerden elde edilen basınç dayanımı değerleri, kontrol serilerine göre %3.73 oranında arttığı sonucuna varılmıştır. KYB kontrol serisine göre GDBA25 agregasının %20, 40, 60, 80 ve 100 oranında kullanıldığı serilerde basınç dayanımı değerleri sırasıyla %7.40, 12.10, 14.97, 14.10 ve 18.24 oranlarında azaldığı görülmüştür. GDBA30 agregası içeren serilerde ise basınç dayanımı değerleri kontrol serilerine göre GDBA30 agregasının %20 oranında kullanıldığı serilerde %3.73 artarken, %40, 60, 80, 100 oranlarında GDBA30 agregasının kullanıldığı serilerde ise sırasıyla %2.41, 1.38, 4.96 ve 10.27 oranlarında azalmıştır. GDBA30 agregası içeren KYB'ler ile GDBA25 agregası içeren KYB'lerin basınç dayanımları karşılaştırıldığında, GDBA30 serilerinden GDBA25 serilerine göre %12.02, 11.01, 15.98, 10.64 ve 9.75 oranlarında daha yüksek basınç dayanımları elde edilmiştir.



Şekil 4.7 Birim ağırlık ile basınç dayanımı sonuçları arasındaki ilişki.

Birim ağırlık ile basınç dayanımı sonuçları arasındaki ilişki Şekil 4.7’de verilmiştir. Şekil 4.7 incelendiğinde elde edilen korelasyon katsayısı değerlerinden de görüleceği üzere birim ağırlık değerleri ile basınç dayanımları arasında oldukça kuvvetli bir ilişkinin olduğu sonucuna varılmıştır. Şekil 4.7 genel olarak incelendiğinde hem GDBA25 hem de GDBA30 agregalı KYB serilerinde birim ağırlık değerlerinin artışı ile birlikte basınç dayanımı değerleri artmıştır. Birim ağırlıkların artışı ile betonların daha boşluksuz bir yapıya sahip olmalarından dolayı basınç dayanımı değerleri de artmıştır.

Şekil 4.8’de ultrases geçiş hızı ile basınç dayanımı sonuçları arasındaki ilişki verilmiştir. Şekil 4.8 incelendiğinde her iki agrega tipi ile üretilen KYB serilerinde ultrases geçiş hızı değerlerinin artışı ile birlikte basınç dayanımı değerlerinin arttığı sonucuna varılmıştır. Ultrases geçiş hızı değerlerinin artışı ile birlikte betonların daha boşluksuz bir yapıya sahip olmaları sebebiyle basınç dayanımı değerleri de artmıştır. Korelasyon katsayısı değerlerine göre incelendiğinde GDBA25 agregası ile üretilen serilerden GDBA30 agregaları ile üretilen serilere göre daha kuvvetli ilişkiler elde edilmiştir.



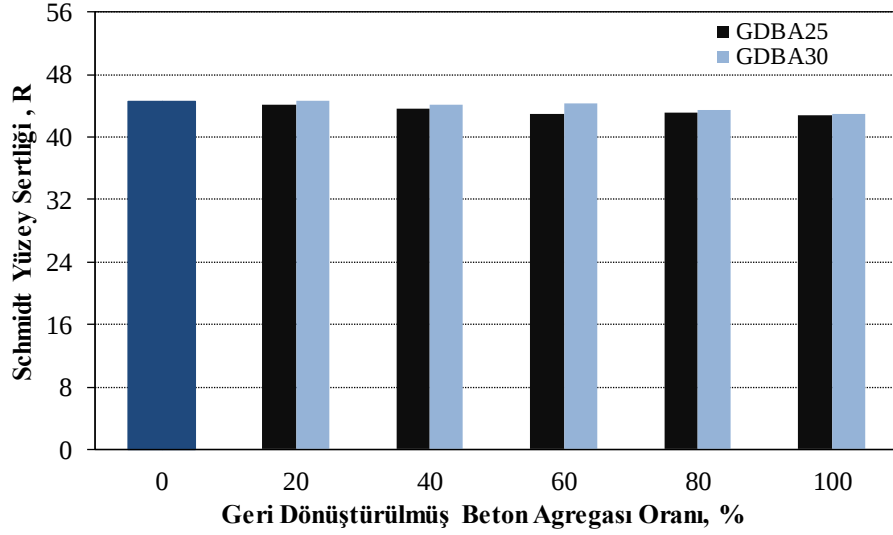
Şekil 4.8 Ultrases geçiş hızı ile basınç dayanımı sonuçları arasındaki ilişki.

4.6 Schmidt Yüzey Sertliği Deneyi Sonuçları

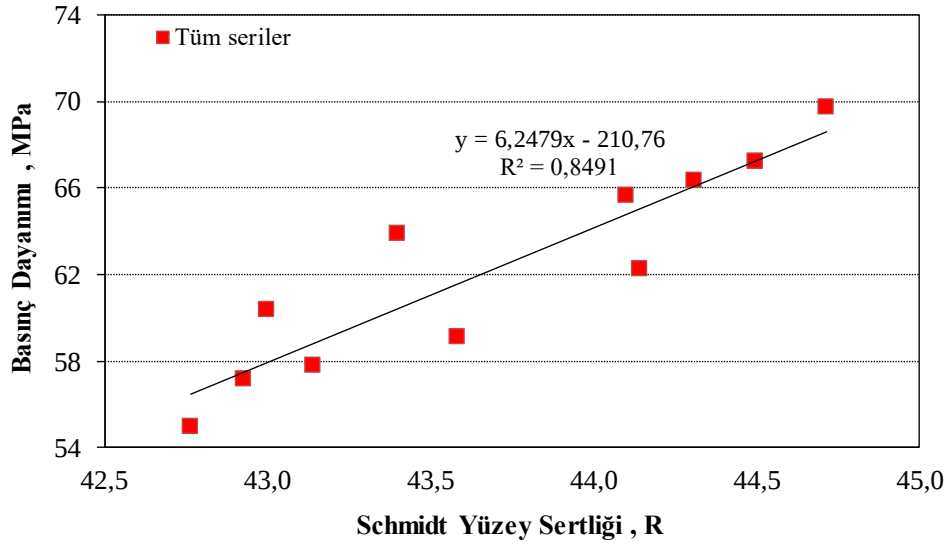
Schmidt yüzey sertliği sonuçlarının geri dönüştürülmüş beton agrega oranına göre değişimi Şekil 4.9’da verilmiştir. Şekil 4.9’dan görüldüğü üzere geri dönüştürülmüş beton agrega oranlarının artışı ile birlikte Schmidt yüzey sertliği değerlerinin azaldığı sonucuna varılmıştır. GDBA30 agregası ile üretilen KYB serilerinden GDBA25 agregası ile üretilen KYB serilerine göre daha yüksek schmidt yüzey sertliği sonuçları elde edilmiştir.

Schmidt yüzey sertliği ile basınç dayanımı sonuçları arasındaki ilişki Şekil 4.10’da verilmiştir. Şekil 4.10 kontrol, GDBA25 ve GDBA30 agregaları ile üretilen KYB’lerden elde edilen tüm sonuçlar kullanılarak oluşturulmuştur. Şekil 4.10’dan görüldüğü üzere schmidt yüzey sertliği sonuçlarının artışı ile birlikte basınç dayanımı değerlerinin arttığı sonucuna varılmıştır. Elde edilen korelasyon katsayısı değerinden de görüleceği üzere

schmidt yüzey sertliği değerleri ile basınç dayanımı değerleri arasında oldukça kuvvetli bir ilişkinin olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 4.9 Schmidt yüzey sertliği sonuçlarının geri dönüştürülmüş beton agregası oranına göre değişimi.

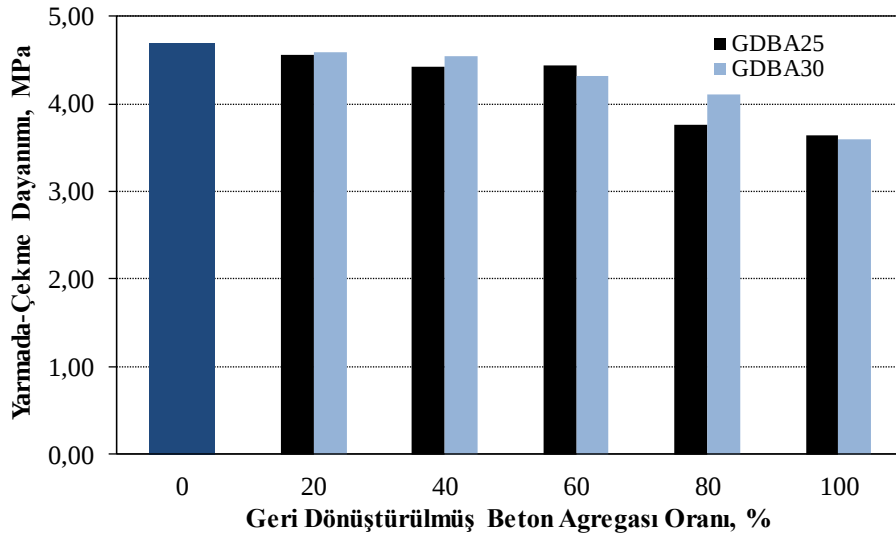


Şekil 4.10 Schmidt yüzey sertliği ile basınç dayanımı sonuçları arasındaki ilişki.

4.7 Yarmada-Çekme Dayanımı Deneyi Sonuçları

KYB üretiminde kullanılan GDBA25 ve GDBA30 agregaları içeren serilerinden elde

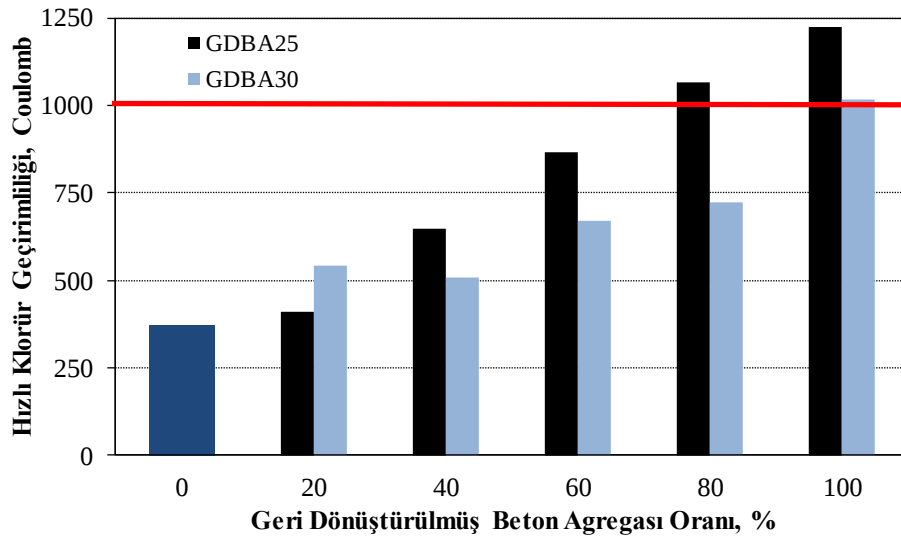
edilen yarmada-çekme dayanımı sonuçları Şekil 4.11’de verilmiştir. GDBA’lı KYB beton serilerinin yarmada-çekme dayanımları GDBA25 agregasının kalker agregasının yerine %0(kontrol), 20 40, 60, 80 ve 100 oranlarında kullanılmasıyla sırasıyla 4.69, 4.55, 4.42, 4.44, 3.76 ve 3.64 MPa olarak ölçülmüştür. GDBA30 agregalı serilerde ise yarmada-çekme dayanımları sırasıyla 4.69, 4.59, 4.54, 4.31, 4.11 ve 3.59 MPa olarak bulunmuştur. GDBA25 agregalarının %20, 40, 60, 80 ve 100 oranlarında kullanılması ile yarmada-çekme dayanımları kontrol serisine göre sırasıyla %2.91, 5.79, 5.35, 19.68 ve 22.41 oranlarında azalmıştır. GDBA30 agregalı serilerde ise kontrol serisine kıyasla oransal olarak sırasıyla %2.06, 3.12, 7.95, 12.38 ve 23.30 oranlarında dayanım kayıpları meydana gelmiştir. GDBA25 ve GDBA30 agregalı KYB serilerini kendi aralarında karşılaştırdığımızda genel olarak GDBA30 agregalı serilerden daha düşük dayanım kayanım kayıpları elde edilmiştir. GDBA30 agregasının % 20, 40 ve 80 oranlarında kullanıldığı serilerde GDBA25 agregalı serilere göre sırasıyla %0.87, 2.84 ve 9.09 oranlarında daha yüksek yarmada-çekme dayanımlarına sahip olduğu görülmüştür. Ancak GDBA25 agregasının %60 ve 100 oranlarında kullanılması ile GDBA30 agregalı serilere göre sırasıyla %2.77 ve 1.15 oranlarında daha yüksek yarmada-çekme dayanımları elde edilmiştir.



Şekil 4.11 Yarmada-çekme dayanımı sonuçlarının geri dönüştürülmüş beton agregası oranına göre değişimi.

4.8 Hızlı Klorür Geçirirnililiği Deneyi Sonuçları

Hızlı klorür geçirirnililiği sonuçlarının KYB serilerine göre değişimi şekil 4.12’de verilmiştir. şekil 4.12 incelendiğinde en yüksek klor geçirirnililiği değerleri GDBA25 agregasının %100 oranında kullanıldığı serilerden 1226 Coulomb olarak, en düşük klorür geçirirnililiği değerleri ise kontrol serilerinden 373 Coulomb olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar izelge 3.12’de verilen klorür geçirirnililik seviyelerine göre incelendiğinde genel olarak çoğu serinin çok düşük klorür geçirirnililik seviyesinde oldukları görülmüştür. GDBA25 agregasının %80 oranında kullanıldığı ve her iki agregatipinin % 100 oranında kullanıldığı serilerden ise düşük klorür geçirirnililik değerleri elde edilmiştir. Klorür geçirirnililik değerlerinin düşük olması, GDBA’lı KYB serilerinin üretimi sırasında kullanılan uçucu kül ve silis dumanı katkılarının kullanılmasından kaynaklanmaktadır.



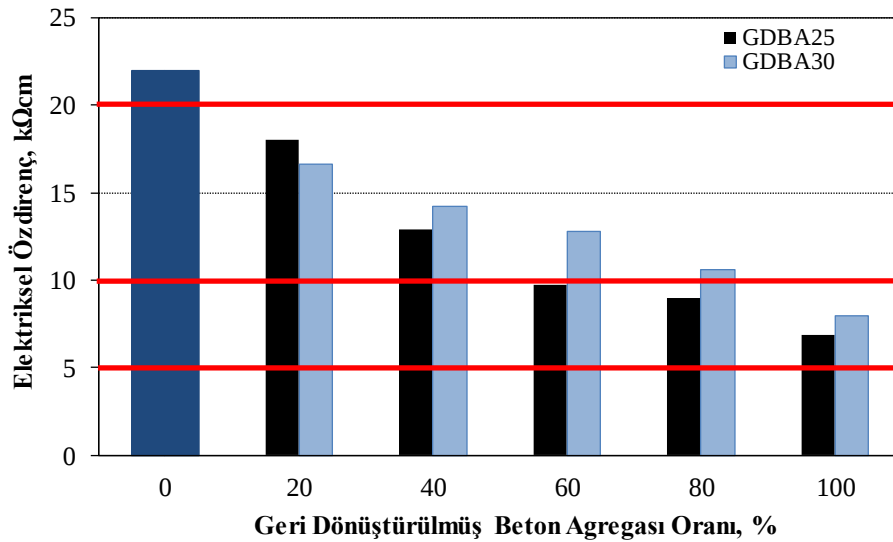
şekil 4.12 Hızlı klorür geçirirnililiği sonuçlarının geri dönüştürülmüş beton agregası oranına göre değişimi.

şekil 4.12 incelendiğinde GDBA kullanım oranlarının artması ile birlikte klorür geçirirnililik değerlerinin de arttığı sonucuna varılmıştır. KYB retiminde kullanılan GDBA25 agregalarının %20, 40, 60, 80 ve 100 oranlarında kullanılması ile hızlı klorür geçirirnililiği değerleri kontrol serisine göre sırasıyla %9.92, 73.59, 132.04, 185.92 ve 228.55 oranlarında artmıştır. GDBA30 agregalı KYB serilerindeki artış oranları ise sırasıyla %45.58, 36.60, 79.49, 93.43 ve 172.39 olarak bulunmuştur. Ancak yine de

oldukça düşük klorür geçirimsilik değerleri elde edilmiştir. Şekil 4.12 genel olarak incelendiğinde GDBA30 agregalı serilerinden GDBA25 agregalı serilere göre daha düşük klorür geçirimsiliği değerleri elde edilmiştir.

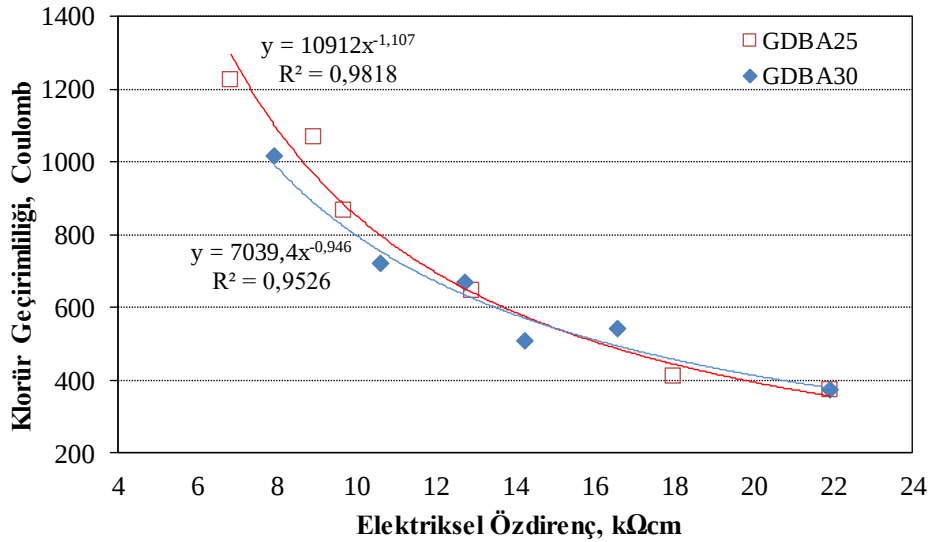
4.9 Elektriksel Özdirenç Deneyi Sonuçları

Elektriksel özdirenç sonuçlarının GDBA'lı KYB serilerine göre değişimi Şekil 4.13'de verilmiştir. Şekil 4.13 incelendiğinde kontrol serilerinin 20 k Ω cm değerinden daha yüksek elektriksel özdirenç değerlerine sahip olduğu sonucuna varılmıştır. GDBA30 agregasının kullanıldığı serilerde ise, %100 oranında GDBA30 agregası kullanılan serilerin dışındaki tüm serilerden elde edilen elektriksel özdirenç değerlerinin 10-20 k Ω cm değerleri arasında oldukları görülmüştür. GDBA25 agregalı serilerden elde edilen elektriksel özdirenç değerleri GDBA agregasının %20 ve 40 oranında kullanıldığı serilerde 10-20 k Ω cm değerleri arasında olduğu diğer serilerin ise 5-10 k Ω cm değerleri arasında olduğu sonucuna varılmıştır. GDBA25 ve GDBA30 agregası içeren KYB serilerinin çoğunun elektriksel özdirenç değerleri 10-20 k Ω cm değerleri arasında olduğundan dolayı bu betonların korozyona karşı dayanıklılıklarının yüksek olabileceği sonucu ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.13 Elektriksel özdirenç sonuçlarının geri dönüştürülmüş beton agregası oranına göre değişimi.

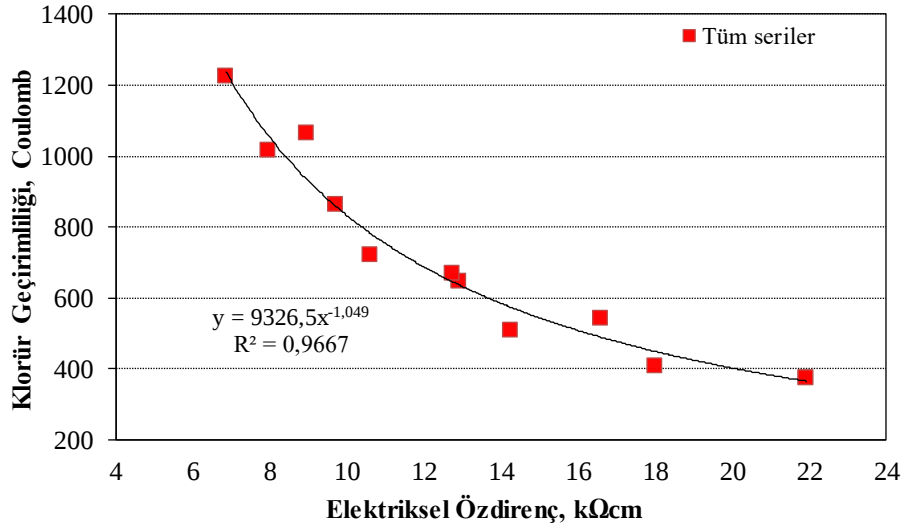
KYB serilerinde kalker agregası yerine %20, 40, 60, 80 ve 100 oranında GDBA25 agregası kullanılması ile elektriksel özdirenç değerleri kontrol serilerine göre sırasıyla %18.00, 41.23, 55.81, 59.23 ve 68.79 oranlarında azalmıştır. GDBA30 agregası ile üretilen serilerdeki azalış oranları ise sırasıyla %24.37, 35.08, 41.91, 51.71 ve 63.78 olarak bulunmuştur. KYB serilerinde silis dumanı ve uçucu kül katkılarının kullanılması ile kontrol serilerinde oldukça yüksek elektriksel özdirenç değerleri elde edilirken, yüksek boşluk oranına sahip GDBA agregalarının kullanılması ile elektriksel özdirenç değerleri azalmıştır. Bu durum yüksek boşluk oranında sahip GDBA'lı agregalar ile üretilen betonların suya doygun halde daha iletken yani özdirenci düşük olmalarından kaynakladığı düşünülmektedir.



Şekil 4.14 GDBA25 ve GDBA30 agregalı serilerden elde edilen elektriksel özdirenç ile hızlı klorür geçirimsizliği sonuçları arasındaki ilişki.

GDBA25 ve GDBA30 agregalı serilerden elde edilen elektriksel özdirenç ile hızlı klorür geçirimsizliği sonuçları arasındaki ilişki Şekil 4.14'de verilmiştir. Şekil 4.14'den görüldüğü üzere elektriksel özdirenç değerlerinin artması ile birlikte klorür geçirimsizliği değerlerinin azaldığı sonucuna varılmıştır. Her iki agrega tipi ile üretilen betonlardan klorür geçirimsizlikleri ile elektriksel özdirenç değerleri arasında korelasyon katsayılarına göre oldukça kuvvetli ilişkilerin olduğu sonucuna varılmıştır.

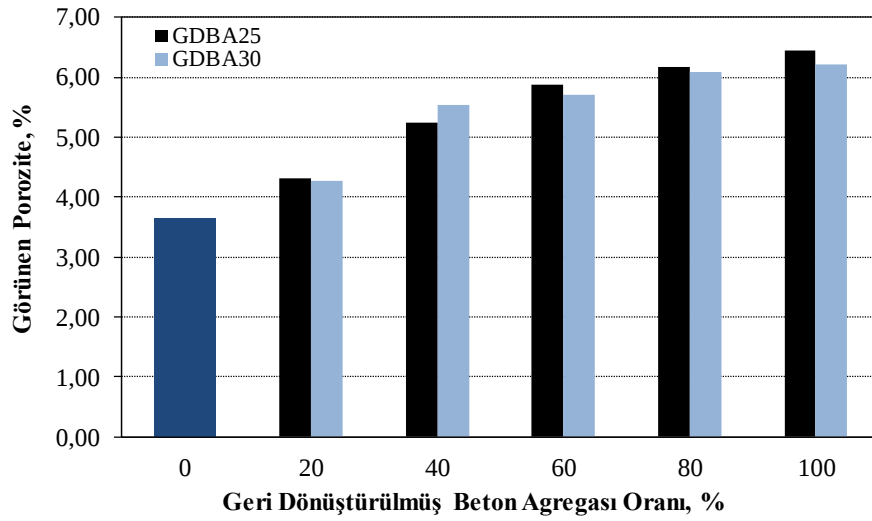
Tüm KYB serilerinden elde edilen elektriksel özdirenç ile hızlı klorür geçirirliiği sonuçları arasındaki ilişki Şekil 4.15’de verilmiştir. Şekil 4.15 incelendiğinde de korelasyon katsayısı değerlerinden görüldüğü üzere oldukça kuvvetli ilişkiler elde edilmiştir. Elektriksel özdirenç değerleri arttıkça klorür geçirirliiği değerleri azalmıştır.



Şekil 4.15 Tüm serilerden elde edilen elektriksel özdirenç ile hızlı klorür geçirirliiği sonuçları arasındaki ilişki.

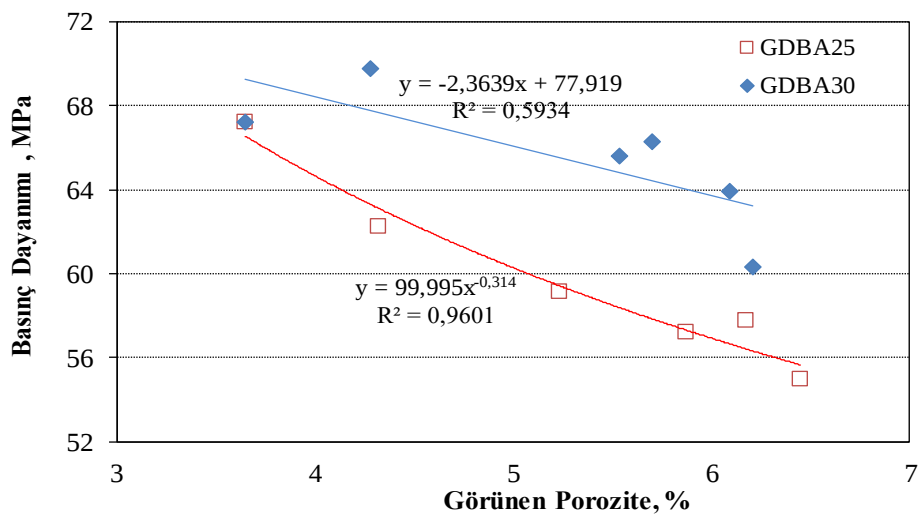
4.10 Görünen Porozite Deneyi Sonuçları

Görünen porozite değerlerinin KYB serilerine göre değişimi Şekil 4.16’te verilmiştir. Şekil 4.16 incelendiğinde GDBA oranlarının artması ile birlikte her iki agrega tipi içinde kontrol serilerine göre görünen porozite değerleri artmıştır. Kontrol serilerine göre görünen porozite değerlerindeki artış oranlarına bakıldığında genel olarak GDBA25’li serilerden daha yüksek artış oranları elde edilmiştir. Bu durum GDBA25 agregalarının GDBA30 agregalarına göre özgül ağırlık değerlerinden de anlaşılabacağı üzere daha boşluklu bir yapıya sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Ayrıca GDBA’ların içeriğinde bulunan agregaların etrafını saran ve kırma esnasında agregadan ayrılmayan çimento hamurundan dolayı görünen porozite değerlerinin arttığı düşünülmektedir. GDBA25 agregalarının % 20, 40, 60, 80 ve 100 oranında kullanıldığı KYB serilerinin görünen porozite değerleri kontrol serilerine göre sırasıyla % 18.37, 43.43, 61, 69.13, 76.13 oranlarında artmıştır. GDBA30’un kullanıldığı KYB serilerinden elde edilen artış oranları ise sırasıyla %17.25, 51.69, 56.25, 66.90 ve 70.12 olarak elde edilmiştir.



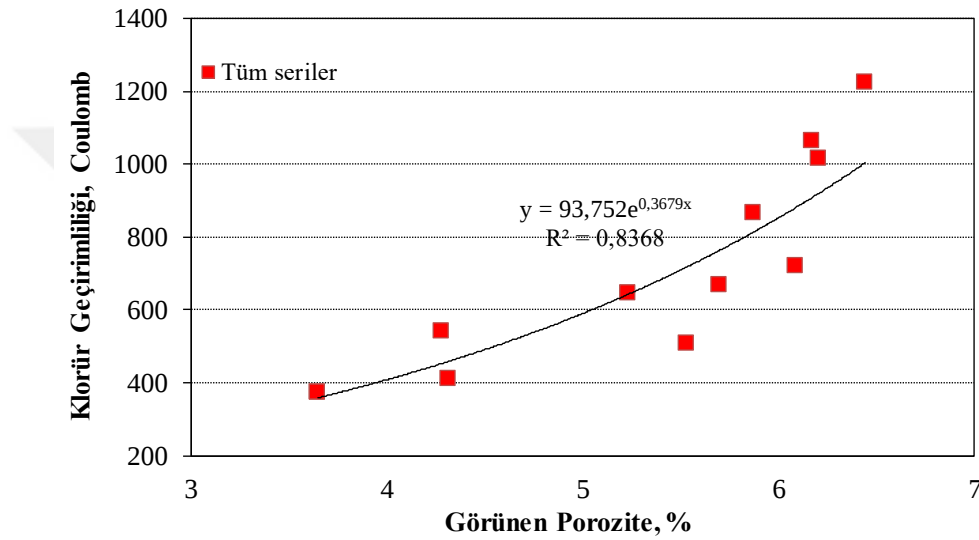
Şekil 4.16 Görünen porozite değerlerinin geri dönüştürülmüş beton agregası oranına göre değişimi.

Görünen porozite ile basınç dayanımı sonuçları arasındaki ilişki Şekil 4.17’de verilmiştir. Şekil 4.17 incelendiğinde görünen porozite değerlerinin artması ile birlikte basınç dayanımı değerlerinin azaldığı sonucuna varılmıştır. Porozite değerlerinin artması ile birlikte betonlar daha boşluklu bir yapıda olduklarından daha düşük basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. Korelasyon katsayısı değerlerinden de anlaşıldığı üzere basınç dayanımı ile görünen porozite değerleri arasında GDBA25 agregalı KYB serilerinde iyi bir ilişki elde edilirken GDBA30 agregalı serilerde daha zayıf bir ilişki elde edilmiştir.



Şekil 4.17 Görünen porozite ile basınç dayanımı sonuçları arasındaki ilişki.

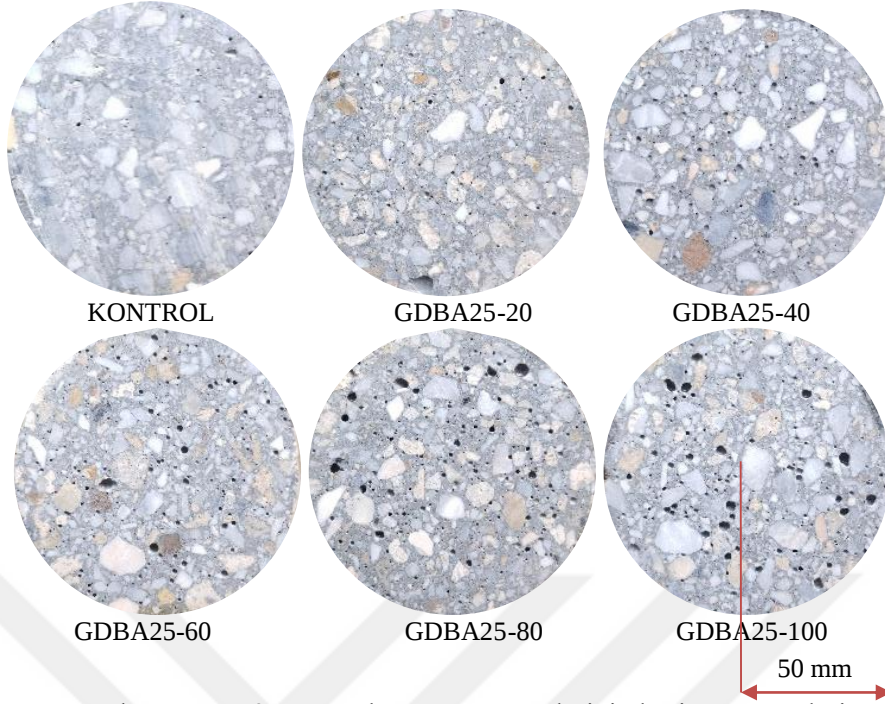
Görünen porozite ile klorür geçirimsizliği sonuçları arasındaki ilişki Şekil 4.18’de verilmiştir. Şekil 4.18 oluşturulurken GDBA25 ve GDBA30 agregalı KYB serilerinden elde edilen tüm değerler kullanılmıştır. Şekil 4.18 incelendiğinde görünen porozite değerlerinin artması ile birlikte klorür geçirimsizliklerinin arttığı sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak daha poroz yapıdaki geri dönüştürülmüş beton agregalarının kullanılması ile birlikte KYB’lerin porozite değerleri artmış ve buna bağlı olarak ta klorür geçirimsizliği değerlerinde artışlar olmuştur.



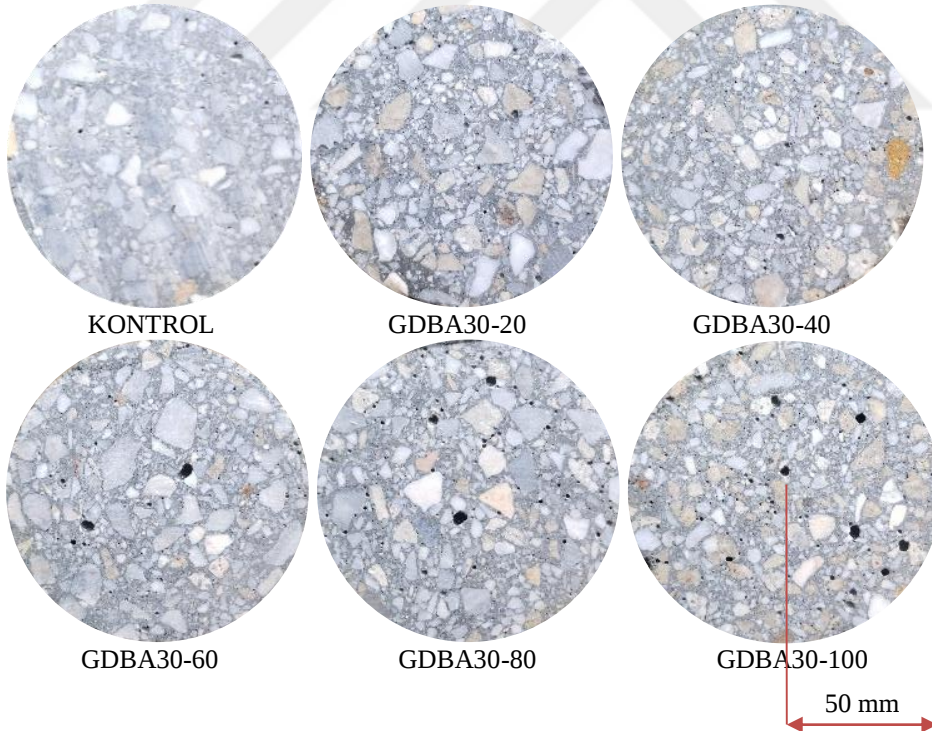
Şekil 4.18 Görünen porozite ile klorür geçirimsizliği sonuçları arasındaki ilişki.

Kontrol, GDBA25 ve GDBA30 agregalı KYB numunelerinden elde edilmiş kesit görünüşleri Resim 4.1 ve 4.2’de verilmiştir. Kesit isimlerine ait kodlamalar yapılmıştır. Örneğin GDBA25-80 ifadesi üretilen KYB’nin GDBA25 agregası ile üretildiğini ve kalker agregası yerine hacimce %80 oranında GDBA25 agregasının kullanıldığını ifade etmektedir.

Kesit görünüşlerine ait fotoğraflar numuneler suya doygun hale getirildikten sonra çekilmiştir. Resim 4.1, 4.2 ve 4.3’teki görüntüler incelendiğinde geri dönüştürülmüş beton agregalarının kullanım oranlarının artması ile birlikte beton kesitinden de görüldüğü üzere betonların daha boşluklu bir hal almaktadırlar. Ayrıca beton kesitleri incelendiğinde herhangi bir segregasyonun olmadığı ve GDBA agregalarının homojen bir şekilde dağıldıkları da görülmektedir.



Resim 4.1 Kontrol ve GDBA25 agregalı KYB numunelerinin kesit görünüşleri.

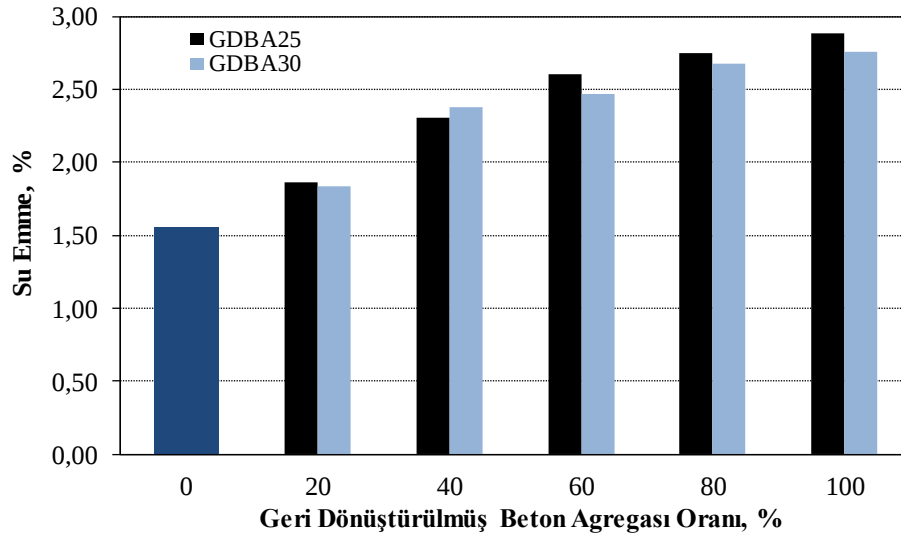


Resim 4.2 Kontrol ve GDBA30 agregalı KYB numunelerinin kesit görünüşleri.

4.11 Su Emme Deneyi Sonuçları

Su emme deneyi sonuçlarının geri dönüştürülmüş beton agregası oranına göre değişimi Şekil 4.19’da verilmiştir. Görünen porozite deneyi sonuçlarından elde edilen değişimlere benzer değişimler su emme deneyi sonuçlarından da elde edilmiştir. Her iki agregası tipi kullanılarak üretilen KYB serilerinin su emme deneyi sonuçları geri dönüştürülmüş beton agregası kullanım oranlarının artması ile artmıştır. Agregalar üzerinde yapılan su emme deneyi sonuçlarına göre de GDBA’ların kalker esaslı kırmataş agregalarından daha yüksek oranlarda su emme değerlerine sahip oldukları görülmüştür. Bu sebepten dolayı kırmataş agregalarının yerine kullanılan GDBA oranlarının artışı ile birlikte üretilen GDBA’lı KYB’lerin su emme değerleri de artmıştır.

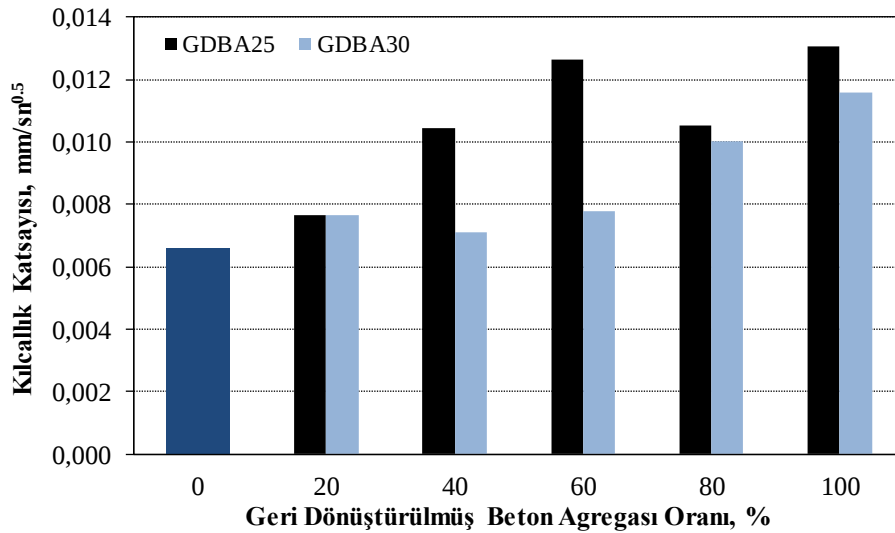
GDBA25 agregalarının % 20, 40, 60, 80 ve 100 oranında kullanıldığı KYB serilerinin su emme değerleri kontrol serilerine göre sırasıyla % 19.43, 47.90, 67.14, 76.49, 85.32 oranlarında artmıştır. GDBA30 agregalarının kullanıldığı KYB serilerinden elde edilen artış oranları ise sırasıyla %17.66, 52.56, 58.35, 71.66 ve 77.26 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.19 Su emme deneyi sonuçlarının geri dönüştürülmüş beton agregası oranına göre değişimi.

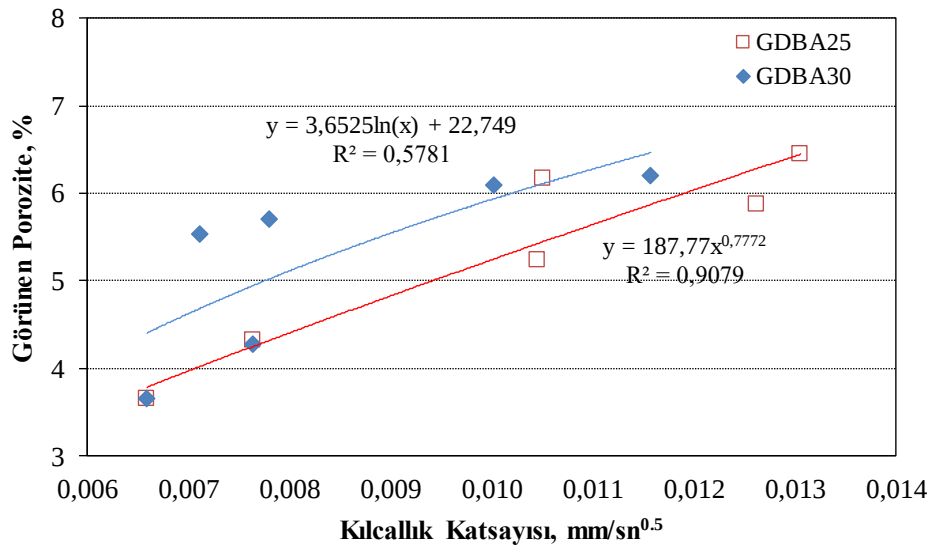
4.12 Kılcal Su Emme Deneyi Sonuçları

Kılcallık katsayısı sonuçlarının geri dönüştürülmüş beton agregası oranına göre değişimi Şekil 4.20’de verilmiştir. Şekil 4.20 incelendiğinde tüm serilerden elde edilen kılcallık katsayısı sonuçlarının 0.0066 ile 0.0131 mm/sn^{0.5} değerleri arasında değiştiği görülmüştür. En düşük kılcallık katsayısı değerleri kontrol serilerinden elde edilirken en yüksek kılcallık katsayısı değerleri GDBA25 agregasının %100 oranında kullanıldığı serilerden elde edilmiştir. Şekil 4.20 incelendiğinde geri dönüştürülmüş beton agregalarının kullanım oranlarının artışı ile birlikte genel olarak her iki agregası tipinde de kılcallık katsayısı değerleri artmıştır. Geri dönüştürülmüş agregalarının daha poroz ve daha yüksek su emme değerlerine sahip olmalarından dolayı bu agregaların kullanılması ile üretilen KYB’lerin kılcallık katsayılarında artışlar meydana gelmiştir.



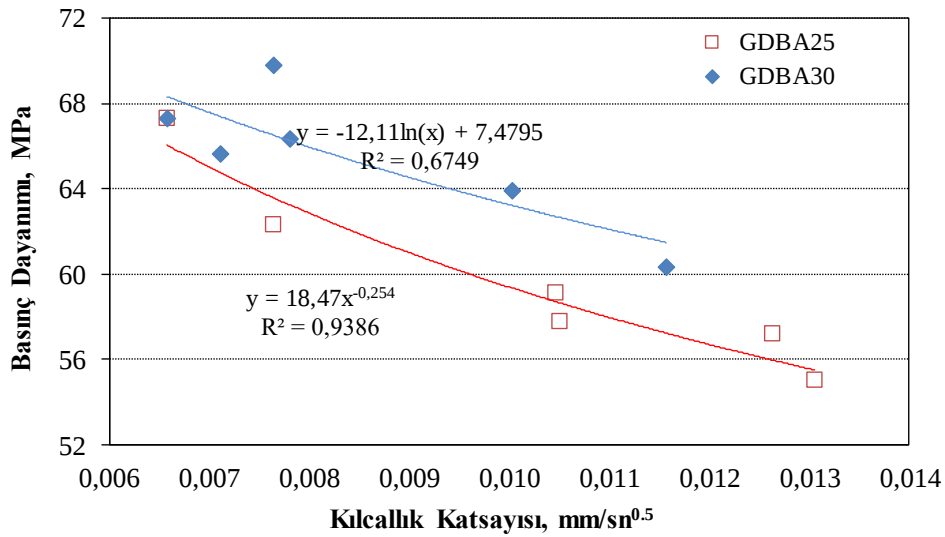
Şekil 4.20 Kılcallık katsayısı sonuçlarının geri dönüştürülmüş beton agregası oranına göre değişimi.

Görünen porozite ile kılcallık katsayısı sonuçları arasındaki ilişki Şekil 4.21’de verilmiştir. Şekil 4.21 incelendiğinde kılcallık katsayısı değerlerinin artışı ile birlikte görünen porozite değerlerinin de arttığı sonucuna varılmıştır. Daha boşluklu yapıya sahip yapıdaki KYB serilerinden daha yüksek kılcallık katsayısı değerleri elde edilmiştir.

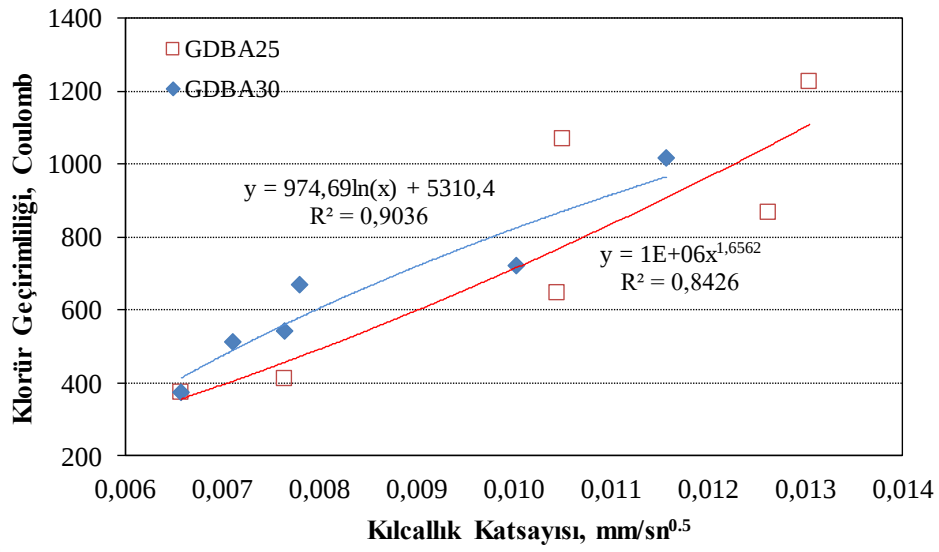


Şekil 4.21 Görünen porozite ile kılcallık katsayısı sonuçları arasındaki ilişki.

Basınç dayanımı ile kılcallık katsayısı sonuçları arasındaki ilişki Şekil 4.22’de verilmiştir. Şekil 4.22 incelendiğinde kılcallık katsayısı değerlerinin artışı ile birlikte basınç dayanımı değerlerinin azaldığı sonucuna varılmıştır. Bu durumun nedeni bir önceki grafikte verilen ilişkiden de anlaşılabileceği üzere kılcallık katsayısı yüksek olan betonlar daha boşluklu yapıya sahiptirler. Bu sebepten dolayı kılcallık katsayılarının artışı ile birlikte basınç dayanımı değerleri de düşmüştür.



Şekil 4.22 Basınç dayanımı ile kılcallık katsayısı sonuçları arasındaki ilişki.



Şekil 4.23 Klorür geçirirnililiği ile kılcallık katsayısı sonuçları arasındaki ilişki.

Klorür geçirirnililiği sonuçları ile kılcallık katsayısı sonuçları arasındaki ilişki Şekil 4.23'de verilmiştir. Şekil 4.23 incelendiğinde kılcallık katsayısı değerlerinin artışı ile birlikte klorür geçirirnililiği değerlerinin arttığı sonucuna varılmıştır. Her iki agrega tipi ile üretilen KYB'lerde korelasyon katsayısı değerlerinin yüksek olmasından dolayı kılcallık katsayısı ile klorür geçirirnililikleri arasında oldukça kuvvetli ilişkilerin olduğu sonucuna varılmıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Geri dönüştürülmüş beton agregası kullanılarak üretilen kendiliğinden yerleşen betonlar ile ilgili yapılan tez çalışmasından elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler haline verilmiştir.

- Çökme yayılma değerleri incelendiğinde çoğu serinin SF2 sınıfında oldukları görülmüştür. En yüksek yayılma çapı değeri GDBA30 agregasının %80 oranında kullanıldığı KYB serilerinden elde edilirken en az yayılma çapı değeri ise GDBA25 agregasının %60 oranında kullanıldığı KYB serilerinden elde edilmiştir. GDBA25 ve GDBA30 agregaları ile üretilen KYB'lerin yayılma çapları karşılaştırıldığında genel olarak GDBA30 agregaları ile üretilen serilerden daha fazla yayılma çapları elde edilmiştir.
- Kontrol serilerinde ve GDBA25 agregası ile üretilen KYB serilerinin tümünde 500 mm çapa ulaşma süreleri 2 sn'nin üzerinde olduğu görülmüştür. GDBA25 agregası ile üretilen KYB serilerinin tümü VS2 sınıfındadır. GDBA30 agregaları ile üretilen KYB serilerinde ise bu agreganın % 40, 60 ve 80 oranında kullanıldığı serilerin VS1 sınıfında olduğu % 20 ve 100 oranında kullanıldığı serilerin ise VS2 sınıfında oldukları sonucuna ulaşılmıştır.
- Üretilen tüm KYB serilerinin VF2 sınıfında oldukları sonucuna varılmıştır. Tüm serilerden elde edilen V hunisi akış süreleri 9 saniyenin üzerinde kalmıştır. Genel olarak GDBA30 agregalı serilerden GDBA25 agregalı serilere göre daha düşük V hunisi akış süreleri elde edilmiştir.
- Geri dönüştürülmüş beton agregalarının kullanım oranlarının artışı ile birlikte her iki seride de birim ağırlık değerlerinin azaldığı sonucuna varılmıştır. Bunun sebebi kalker agregalarının yerine kullanılan GDBA'ların özgül ağırlık değerlerinin kalker agregaların özgül ağırlık değerlerinden daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır. GDBA25 ve GDBA30 serileri karşılaştırıldığında ise GDBA30 serilerinden daha yüksek birim ağırlık değerleri elde edilmiştir. Bu durumun sebebi de GDBA30 serilerinin GDBA25 serilerinden daha yüksek özgül ağırlık değerlerine sahip olmasından kaynaklanmaktadır.

- GDBA25 ve GDBA30 agregalarının KYB serilerinde kullanım oranlarının artmasıyla her iki seride de ultrases geçiş sürelerinin azaldığı görülmüştür. Buna neden olarak, kırmataş agregalarının yerine kullanılan GDBA'nın içeriğindeki boşluklu yapıların fazla olmasıdır.
- GDBA25 ve GDBA30 agregaları içeren KYB serilerinde GDBA oranları arttıkça basınç dayanımları genel olarak düştüğü görülmüştür. Ancak bazı serilerde GDBA kullanım oranlarının artışı ile birlikte basınç dayanımı değerlerinin arttığı sonucuna ulaşılmıştır. GDBA agregalı KYB serilerinde birim ağırlık değerlerinin artışı ile birlikte basınç dayanımı değerleri artmıştır. GDBA agregası ile üretilen KYB serilerinde ultrases geçiş hızı değerlerinin artışı ile birlikte basınç dayanımı değerlerinin arttığı sonucuna varılmıştır.
- Geri dönüştürülmüş beton agrega oranlarının artışı ile birlikte schmidt yüzey sertliği değerlerinin azaldığı sonucuna varılmıştır. GDBA30 agregası ile üretilen KYB serilerinden GDBA25 agregası ile üretilen KYB serilerine göre daha yüksek schmidt yüzey sertliği sonuçları elde edilmiştir.
- GDBA25 ve GDBA30 agregalarının kullanılması ile üretilen KYB'lerin genel olarak yarmada-çekme dayanımları azalmıştır. GDBA25 ve GDBA30 agregalı KYB serilerini kendi aralarında karşılaştırdığımızda genel olarak GDBA30 agregalı serilerden daha düşük dayanım kayanım kayıpları elde edilmiştir.
- En yüksek klor geçirimliliği değerleri GDBA25 agregasının %100 oranında kullanıldığı serilerden 1226 Coulomb olarak, en düşük klorür geçirimliliği değerleri ise kontrol serilerinden 373 Coulomb olarak elde edilmiştir. Tüm seriler incelendiğinde genel olarak çoğu serinin çok düşük klorür geçirimlilik seviyesinde oldukları görülmüştür. GDBA kullanım oranlarının artması ile birlikte klorür geçirimlilik değerlerinin de arttığı sonucuna varılmıştır. GDBA30 agregalı serilerinden GDBA25 agregalı serilere göre daha düşük klorür geçirimliliği değerleri elde edilmiştir.
- GDBA25 ve GDBA30 agregası içeren KYB serilerinin çoğunun elektriksel özdirenç değerleri 10-20 k Ω cm değerleri arasında olduğundan dolayı bu

betonların korozyona karşı dayanıklılıklarının yüksek olabileceği sonucu ortaya çıkmıştır. Elektriksel öz direnç değerlerinin artması ile birlikte klorür geçirimsizliği değerlerinin azaldığı sonucuna varılmıştır.

- Geri dönüştürülmüş beton agrega oranlarının artması ile birlikte her iki agrega tipi içinde kontrol serilerine göre görülen porozite değerleri artmıştır. Görülen porozite değerlerinin artması ile birlikte basınç dayanımı değerlerinin azaldığı sonucuna varılmıştır. Porozite değerlerinin artması ile birlikte betonlar daha boşluklu bir yapıda olduklarından daha düşük basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. Görülen porozite değerlerinin artması ile birlikte klorür geçirimsizliklerinin arttığı sonucuna varılmıştır. Her iki agrega tipi kullanılarak üretilen KYB serilerinin su emme deneyi sonuçları geri dönüştürülmüş beton agrega kullanım oranlarının artması ile artmıştır.
- Geri dönüştürülmüş beton agregalarının kullanım oranlarının artışı ile birlikte genel olarak her iki agrega tipinde de kılcallık katsayısı değerleri artmıştır. Kılcallık katsayısı değerlerinin artışı ile birlikte görülen porozite değerlerinin de arttığı sonucuna varılmıştır. Kılcallık katsayısı değerlerinin artışı ile birlikte basınç dayanımı değerlerinin azaldığı sonucuna varılmıştır. Kılcallık katsayısı değerlerinin artışı ile birlikte klorür geçirimsizliği değerlerinin arttığı sonucuna varılmıştır.

Geri dönüştürülmüş beton agregalarının KYB üretiminde kırmataş agregasının yerine % 100 oranında kullanılmasında bile 60 MPa'a yakın dayanımlar elde edilmiş ve bu betonların dayanıklılık özelliklerinin de oldukça iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Sonuç olarak bu agregaların KYB üretimlerinde kullanılabileceği görülmüştür. Atık olan bu betonların KYB üretimlerinde agrega olarak kullanılması ile çevresel ve ekonomik katkıların olabileceği düşünülmektedir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda inşaat yıkıntı atıklarından elde edilen daha zayıf yapıdaki geri dönüştürülmüş beton agregalarının KYB üretimlerinde kullanımının araştırılması önerilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Abbas A, Fathifazl G, Isgor O B, Razaqpur A G, Fournier B, Foo S, 2009, Durability of recycled aggregate concrete designed with equivalent mortar volume method, *Cement & Concrete Composites*, 31, 555-563.
- Ann K Y, Moon H Y , Kim Y B , Ryou J, 2007, Durability of recycled aggregate concrete using pozzolanic materials, *Waste Management*, 28, 993–999.
- Anonim, 2004, Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, T.C. Resmi Gazete, Yayın no: 25406, Ankara
- Arabi N, Meftah H, Amara H, Kebaili O, Berredjem L, 2019, Valorization of recycled materials in development of self-compacting concrete: Mixing recycled concrete aggregates -Windshield waste glass aggregates, *Construction and Building Materials*, 209, 364–376.
- Aslani F, Ma G, Wan D L Y, Muselin G, 2018, Development of high-performance self-compacting concrete using waste recycled concrete aggregates and rubber granules, *Journal of Cleaner Production*, 182, 553-566.
- Behera M, Minocha A K, Bhattacharyya S K, 2019, Flow behavior, microstructure, strength and shrinkage properties of self-compacting concrete incorporating recycled fine aggregate, *Construction and Building Materials*, 228, 116819.
- Boudali S, Kerdal D E, Ayed K, Abdulsalam B, Soliman A M, 2016, Performance of self-compacting concrete incorporating recycled concrete fines and aggregate exposed to sulphate attack, *Construction and Building Materials*, 124, 705–713.
- Corinaldesi V, Moriconi G, 2009, Influence of mineral additions on the performance of 100% recycled aggregate concrete, *Construction and Building Materials*, 23, 2869-2876.
- EFNARC, 2002, The European Guidelines for Self Compacting Concrete, Specification, Production and Use. www.Efnarce.org. EFNARCE Association, UK.
- EFNARC, 2005, The European Guidelines for Self Compacting Concrete, Specification, Production and Use. www.Efnarce.org. EFNARCE Association, UK.
- Eren D B, 2019, Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Alternatif Yöntemleri ve Aydın İli Ölçeğinde İncelenmesi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 91s, Muğla.

- Etxeberria M, Mari' A R, Va'zquez E, 2007a, Recycled aggregate concrete as structural material, *Materials and Structures*, 40, 529–541.
- Etxeberria M, Vázquez E, Mari A, Barra M, 2007b, Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete, *Cement and Concrete Research*, 37, 735-742.
- González-Taboada I, González-Fontboa B, Martínez-Abella F, Seara-Paz S, 2018, Evaluation of self-compacting recycled concrete robustness by statistical approach, *Construction and Building Materials*, 176, 720–736.
- Grdic Z J , Toplicic-Curcic G A, Despotovic I M, Ristic N S, 2010, Properties of self-compacting concrete prepared with coarse recycled concrete aggregate, *Construction and Building Materials*, 24, 1129-1133.
- Guo Z, Jiang T, Zhang J, Kong X, Chen C, Lehman D E, 2020, Mechanical and durability properties of sustainable self-compacting concrete with recycled concrete aggregate and fly ash, slag and silica fume, *Construction and Building Materials*, 231, 117115
- Hassan A A A, Lachemi M, Hossain K M A, 2012, Effect of metakaolin and silica fume on the durability of self-consolidating concrete, *Cement and Concrete Composites*, 34, 801–807.
- Jian-he X, Yong-chang G, Li-sha L, Zhi-hong X, 2015, Compressive and flexural behaviours of a new steel-fibre-reinforced recycled aggregate concrete with crumb rubber, *Construction and Building Materials* , 79, 263–272
- Kapoor K, Singh S P, Singh B , 2016, Durability of self-compacting concrete made with Recycled Concrete Aggregates and mineral admixtures, *Construction and Building Materials*, 128, 67–76.
- Karademir M, 2018, Kentsel Dönüşüm Kaynaklı Çevresel Kirlilik Analizi ile İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Taşınımı, Geri Kazanımı ve Bertarafının Planlanması: İstanbul Kadıköy İlçesi Örneği, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 146s, İstanbul.
- Khatib J M, 2005, Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate, *Cement and Concrete Research*, 35, 763–769
- Kou S C, Poon C S, 2009, Properties of self-compacting concrete prepared with coarse and fine recycled concrete aggregates, *Cement & Concrete Composites*, 31, 622–627.

- Kou S C, Poon C S, Chan D, 2008, Influence of fly ash as a cement addition on the hardened properties of recycled aggregate concrete, *Materials and Structures*, 41, 1191–1201.
- Kumara B M V, Ananthana H, Balaji K V A, 2017, Experimental studies on utilization of coarse and finer fractions of recycled concrete aggregates in self compacting concrete mixes, *Journal of Building Engineering*, 9, 100–108.
- Külekçi G, 2018, Karadeniz Bölgesi’ndeki İnşaat Yıkıntı Atıklarının Agregaya Yerine Kullanılabilirliğinin ve Madencilikte Kullanım Alanlarının Araştırılması, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2018, Trabzon.
- Leung H Y, Kim J, Nadeem A, Jaganathan J, Anwar M P, 2016, Sorptivity of self-compacting concrete containing fly ash and silica fume, *Construction and Building Materials*, 113, 369–375.
- Manzi S, Mazzotti C, Bignozzi M C, 2017, Self-compacting concrete with recycled concrete aggregate: Study of the long-term properties, *Construction and Building Materials*, 157, 582–590.
- Mohammed S I, Najim K B, 2020, Mechanical strength, flexural behavior and fracture energy of Recycled Concrete Aggregate self-compacting concrete, *Structures*, 23, 34–43.
- Omrane M, Kenai S, Kadri E, Aït-Mokhtar A, 2017, Performance and durability of self compacting concrete using recycled concrete aggregates and natural pozzolan, *Journal of Cleaner Production*, 165, 415-430.
- Pandaa K C, Bal P K, 2013, Properties of self compacting concrete using recycled coarse aggregate, *Procedia Engineering*, 51, 159 – 164.
- Pereira-de-Oliveira L A, Nepomuceno M C S, Castro-Gomes J P, Vila M F C, 2014, Permeability properties of self-compacting concrete with coarse recycled aggregates, *Construction and Building Materials*, 51, 113-120.
- Santos S A, De Brito J, Raposeiro P, 2018, Durability evaluation of self-compacting concrete with recycled aggregates from the precast industry, *Magazine of Concrete Research*, 1800225

- Sasanipour H, Aslani F, 2019, Effect of specimen shape, silica fume, and curing age on durability properties of self-compacting concrete incorporating coarse recycled concrete aggregates, *Construction and Building Materials*, 228, 117054.
- Sasanipour H, Aslani F, Taherinezhad J, 2019, Effect of silica fume on durability of self-compacting concrete made with waste recycled concrete aggregates, *Construction and Building Materials*, 227, 116598
- Sefidehkhan H P, 2017, Geri dönüştürülmüş Agrega İle Üretilmiş Betonun Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 100s, Ankara.
- Spaeth V, Tegguer A D, 2013, Improvement of recycled concrete aggregate properties by polymer treatments, *Int. J. Sustain Built Environ*, 2, 143-152.
- Tam V W Y, Tam C M, 2008, Diversifying two-stage mixing approach (TSMA) for recycled aggregate concrete: TSMA and TSMA_{sc}, *Construction and Building Materials*, 22, 2068–2077.
- TS EN 197-1, 2012, Çimento: Genel çimentolar-Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standardı.
- TS EN 206-1: 2013+A1, 2017, Beton-Özellik, performans, imalat ve uygunluk, Türk Standardı.
- TS EN 450-1, 2013, Uçucu kül-Betonda kullanılan: Tarif, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standardı.
- TS EN 12350-8, 2011, Beton-Taze beton deneyleri: Kendiliğinden yerleşen beton-Çökme yayılma deneyi, Türk Standardı.
- TS EN 12350-9, 2011, Beton-Taze beton deneyleri: Kendiliğinden yerleşen beton-V hunisi deneyi, Türk Standardı.
- TS EN 12350-10, 2011, Beton-Taze beton deneyleri: Kendiliğinden yerleşen beton- L kutusu deneyi, Türk Standardı.
- Ustaoglu S S, 2014, Yapıların Söküm – Yıkım Çalışmalarında Yapısal Atık Yönetiminin İrdelenmesi ve Öneriler, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 159s, İstanbul.
- Xiao J, Falkner H, 2005, Bond behaviour between recycled aggregate concrete and steel rebars, *Construction and Building Materials*, 21, 395–401.

- Yaman T, 2007, İstanbul’da Kentsel Katı Atık Yönetimi ve Geri Kazanım Potansiyelinin Belirlenmesi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 108s, Gebze.
- Yazıcı H, 2007, The effect of silica fume and high-volume Class C fly ash on mechanical properties, chloride penetration and freeze–thaw resistance of self-compacting concrete, Construction and Building Materials, 22, 456–462.

İnternet Kaynakları

- 1- <https://csb.gov.tr/sss/kati-atik>, 12.10.2019
- 2- <https://www.pmvmiddleeast.com/article-20436-recycled-aggregates-use-set-to-grow>, 27.12.2019

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Furkan Sami ÇİVİOĞLU
Doğum Yeri ve Tarihi : Antalya, 1991
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : furkansamicivioglu@gmail.com

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Mehmet Çakmak Anadolu Lisesi, (2005-2009)
Lisans : İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği
Bölümü, (2009-2015)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri
Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı,
(2017-2020)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Çivioğlu Kuyumculuk, (2017-2020)