



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**DÜŞÜK DAYANIMLI ATIK BETONDAN
GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ AGREGA KULLANILARAK
ÜRETİLEN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN
DAYANIMI VE DAYANIKLILIK ÖZELLİKLERİNİN
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Fadhil Adnan TAHA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**2024
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

Fadhil Adnan TAHA tarafından hazırlanan “Düşük Dayanımlı Atık Betondan Geri Dönüştürülmüş Agregalar Kullanılarak Üretilen Kendiliğinden Yerleşen Betonun Dayanımı ve Dayanıklılık Özelliklerinin Değerlendirilmesi ” adlı tez çalışması 29/01/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri İmza

Başkan

Dr. Öğretim Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ

Danışman

Dr. Öğretim Üyesi Nebi ÖZDÖNER

Üye

Dr. Öğretim Üyesi İbrahim Hakkı ERKAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun .../.../2024 gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Şerife Yurdağül KUMCU
FBE Müdürü

2. Danışman: Prof. Dr. Muayad Mohammed KASSIM

Bu tez çalışması tarafından nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Fahil Adnan TAHA

Tarih:29/01/2024

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DÜŞÜK DAYANIMLI ATIK BETONDAN GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ AGREGA KULLANILARAK ÜRETİLEN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONUN DAYANIMI VE DAYANIKLILIK ÖZELLİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Fadhil Adnan TAHA

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Nebi ÖZDÖNER

2. Danışman: Prof. Dr. Muayad Mohammed KASSIM

Yıl, 2024, 82 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Nebi ÖZDÖNER
Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Hakkı ERKAN

Yapı mühendisinin karşılaştığı en büyük zorluklardan biri inşaat projelerini doğayla uyumlu bir şekilde hayata geçirmektir. Bu, inşaat uygulamalarında doğal kaynakların akılcı kullanımıyla bir dereceye kadar başarılabilir. Beton, inşaat sektöründe en çok kullanılan ve atık üreten yapı malzemesidir. Doğal kaynaklar ağırlıklı olarak beton üretiminde kullanılmaktadır. Beton üretimiyle birlikte kullanılan agrega miktarı artmakta ve dolayısıyla mevcut agrega rezervleri zamanla tükenmektedir. Bu çalışma, doğal agreganın (kaba ve ince) kısmen geri dönüştürülmüş beton agregası (kaba ve ince) ile değiştirilmesiyle kendiliğinden yerleşen betonun (KYB) laboratuvar testlerinin sonuçlarını sunmaktadır. Referans karışımına ek olarak dokuz adet beton karışımı hazırlanıp test edilmiştir. Karışımlar, kullanılan çimento ağırlığının %20'si oranında uçucu kül kullanılan ve bağlayıcının %1,7'si oranında sabit bir süperakışkanlaştırıcı oranı kullanılarak 0,35'lik sabit su/çimento malzemesi oranıyla üç farklı gruba ayrıldı. Birinci grupta %0 oranında geri dönüştürülmüş kumun doğal kumla değiştirilmesi ve doğal çakılın %15, %30, %45 oranında geri dönüştürülmüş çakılla değiştirilmesi yer alıyordu. İkinci grup, geri dönüştürülmüş kumun %10 oranında doğal kumla değiştirilmesini ve doğal çakılın %15,

30, 45 oranında geri dönüştürülmüş çakılla değiştirilmesini içermektedir. Üçüncü grupta ise geri dönüştürülmüş kumun %20 oranında doğal kumla değiştirilmesi, doğal çakılın ise %15, 30, 45 oranında geri dönüştürülmüş çakılla değiştirilmesi yer alıyor. Tüm karışımlar 500 mm'nin üzerinde hedef durgunluk akışı elde edecek şekilde tasarlanmıştır. GDA'lar kullanılarak üretilen KBY'nin fiziksel, mekanik ve geçirgenlik özelliklerindeki değişimler, musluk suyunda 28 gün süreyle işlemde geçirildikten sonra incelenmiştir. Taze beton karışımlarının özellikleri çökme-yayıma, T500, V-Hunisi ve L-kutusu testleri kullanılarak belirlendi. Test sonuçlarından görüldüğü üzere doğal agregaların KYB karışımlarının işlenebilirliğini olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir. Geri dönüştürülmüş agreganın ikamesi tüm karışımların basınç dayanımında azalmaya neden olmuş ve bunun çekme dayanımı üzerindeki etkisi önemsiz olmuştur. Geri dönüştürülmüş agregalı betonun su emme ve geçirgen boşluklarının hacmi gibi ölçülen dayanıklılık özellikleri de GDA'ların eklenmesinden olumsuz etkilenmiştir ve bu özellikler GDA içeriğinin artmasıyla artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Geri dönüştürülmüş beton agregası, mekanik özellikler, durabilite özellikleri, Kendiliğinden yerleşen beton.

ABSTRACT

MS THESIS

Evaluation of The Strength and Durability Properties of Self – Compacted Concrete Using Recycled Aggregate From Low Strength Waste

Fadhil Adnan TAHA

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN CIVIL ENGINEERING**

**Advisor: Assos. Prof. Dr. Nebi ÖZDÖNER
Co. Advisor: Prof. Dr. Muayad Mohammed KASSIM**

2024, 82 Pages

**Jury
Assoc. Prof. Dr. Nebi ÖZDÖNER
Assoc. Prof. Dr. Ali Serdar ECEMİŞ
Assoc. Prof. Dr. İbrahim Hakkı ERKAN**

One of the biggest challenges faced by structural engineers is implementing construction projects in harmony with nature. This can be achieved to some extent by judicious use of natural resources in construction practices. Concrete is the most used and waste-producing building material in the construction industry. Natural resources are mainly used in concrete production. The amount of aggregate used increases with concrete production, and therefore existing aggregate reserves are depleted over time. This study presents the results of laboratory tests of self-compacting concrete (SCC) by partially replacing natural aggregate (coarse and fine) with recycled concrete aggregate (coarse and fine). In addition to the reference mixture, nine concrete mixtures were prepared and tested. The mixtures were divided into three different groups with a fixed water/cement material ratio of 0.35 using fly ash at 20% of the weight of cement used and a constant superplasticizer ratio of 1.7% of the binder. The first group included replacing 0% recycled sand with natural sand and replacing natural gravel with 15%, 30%, and 45% recycled gravel. The second group includes replacing recycled sand with 10% natural sand and replacing natural gravel with 15, 30,45% recycled gravel. The third group includes replacing recycled sand with 20% natural sand and replacing natural gravel with 15,

30,45% recycled gravel. All mixes are designed to achieve a target stagnation flow of over 500 mm. Changes in the physical, mechanical, and permeability properties of SCC produced using RCAs were examined after treatment in tap water for 28 days. The properties of fresh concrete mixtures were determined using slump flow, T500, V-funnel, and L-box tests. As seen from the test results, it was determined that natural aggregates positively affected the workability of SCC mixtures. The substitution of recycled aggregate resulted in a decrease in the compressive strength of all mixtures, and its effect on the tensile strength was negligible. Measured durability properties of recycled aggregate concrete, such as water absorption and volume of permeable voids, were also negatively affected by the addition of RCAs, and these properties increased with increasing RCA content.

Keywords: Recycled concrete aggregate, mechanical properties, durability properties, Self-compacting concrete

ÖNSÖZ

Bu çalışma Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Bu çalışmada mineral ve kimyasal katkıları içeren kendiliğinden yerleşen betonlarda düşük dayanımlı geri dönüştürülmüş agrega (GDA) kullanılmış ve bu betonun tazeliği, mekanik özellikleri ve geçirgenliği araştırılmıştır. Eğitim hayatım boyunca bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, bana tavsiyelerde bulunan, ders ve materyal seçiminde yardımcı olan, fikirleri ve manevi desteğiyle yol gösteren ilk danışmanım Dr. Öğr Üyesi Nebi Özdöner'e teşekkür ederim. Ayrıca tezimin pratik tarafı hakkında bana birçok bilgi ve tavsiye veren ve tezimin pratik tarafında karşılaştığım sorunların üstesinden gelmemde büyük katkı sağlayan ikinci danışmanım Profesör Dr. Muayyad Muhammad Qasim'e de teşekkür etmek isterim. Ayrıca Kerkük Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı Profesör Dr. Taymur Hassan Mühendislik Fakültesi laboratuvarında çalışmamı kolaylaştırdı ve tüm cihaz ve ekipmanları kullandı. Tezimi tamamlamamda bana destek olan herkese teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Ayrıca bana verdikleri maddi ve manevi destekten dolayı babama, anneme, eşime, kardeşlerime de teşekkür ediyor, başarılı olmam için dualarını unutmayacağım.

Fadhil Adnan TAHA
KONYA-2024

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Genel	1
1.2 Çalışmanın Amaçları.....	2
1.3 Tezin planı	3
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1 Genel	4
2.2 Sürdürülebilirlik	4
2.2.1 İnşaat ve Yıkım Atıkları (İYA).....	5
2.2.2 Geri Dönüştürülmüş Agregalar (GDA).....	5
2.2.3 GDA Tanımı ve Önemi.....	7
2.2.4 GDBA Özellikleri.....	8
2.2.4.1 GDBA Üretimi.....	12
2.2.4.2 GDBA Kullanılması.....	12
2.2.4.3 GDBA ile Üretilen Betonlarla İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	13
2.3 Beton	15
2.3.1 Kendiliğinden Yerleşen Beton	16
2.3.2 KYB' nin Avantaj ve Dezavantajları	17
2.3.2.1 KYB' nin avantaj	17
2.3.2.2 KYB' nin dezavantajları	17

2.3.3 Taze KYB 'lerin işlenebilirlik gereksinimleri	18
2.3.4 GDBA ile Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) Üretimi ile İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	19
2.4 KYB Bileşenleri.....	20
2.4.1 Çimento.....	21
2.4.2 Agregası	21
2.4.3 Kimyasal katkıları	21
2.4.3.1 Yüksek Oranda Su Azaltıcı Katkı (HRWRA)	22
2.4.4 Mineral katkıları	22
2.4.4.1 Uçuşu kül.....	23
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	24
3.1 GİRİŞ	24
3.2 GDBA Deneyleri	24
3.2.1 GDBA basınç dayanımı deneyi.....	24
3.2.1.1 Ultrason iletim hızı deneyi	24
3.2.1.2 Schmidt yüzey sertliği deneyi.....	25
3.2.1.3 Beton Karot deneyi	25
3.2.2 Geri dönüştürülmüş agreganın paketleme yoğunluğunun deneyi	27
3.3 Kullanılan Malzemeler	32
3.3.1 Çimento.....	32
3.3.2 Uçuşu kül	32
3.3.3 Süperakışkanlaştırıcı	33
3.3.4 Karışım suyu	34
3.3.5 Doğal Agregası	34
3.3.6 Geri dönüştürülmüş beton agregası.....	34
3.4 Beton Karışım Oranları	35
3.5 Yapılan Deneyler.....	36
3.5.1 Agregası Deneyleri.....	38
3.5.1.1 Elek Analizi Deneyi.....	38
3.5.1.2 İnce Agreganın Bağlı Yoğunluğu (Özgül Ağırlık) ve Emiciliği	38
3.5.1.3 İri agreganın bağlı yoğunluğu (özgül ağırlık) ve emiciliği	39
3.5.1.4 Birim Ağırlık deneyi	39

3.5.2 Taze Beton Deneyleri.....	40
3.5.2.1 Çökme-yayıma ve T ₅₀₀ deneyi	40
3.5.2.2 V Hunisi Akış Süresi.....	41
3.5.2.3 L-kutusu testi.....	42
3.5.2.4 Birim Ağırlık Deneyi	43
3.5.3 Sertleştirilmiş Beton Deneyleri	43
3.5.3.1 Basınç Dayanımı Deneyi.....	43
3.5.3.2 Yarmada-Çekme Dayanımı Deneyi	44
3.5.3.3 Görünen Porozite, Ağırlıkça Su Emme Deneyi.....	45
3.5.3.4 Kılcallık Deneyi	47
3.5.3.5 Basınç Altında Maksimum Su İşleme Derinliği	47
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	50
4.1 Yıkılmış Beton Atıklarının Basınç Dayanımı	50
4.1.1 Ultrases Geçiş Hızı ve Schmidt Yüzey Sertliği ve Karot Deneyi Sonuçları	50
4.2 Agrega Deneyleri Sonuçları	51
4.3 Taze Beton Üzerinde Elde Edilen Deney Sonuçları.....	52
4.4 Yayılma deneyi ve T500 süresi ölçümü sonuçları	53
4.5 V- hunisi deney sonuçları	55
4.6 L- kutusu deney sonuçları.....	56
4.7 Taze birim ağırlığı deneyi sonuçları.....	56
4.8 Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları.....	57
4.8.1 Basınç Dayanımı Deney Sonuçları	57
4.8.2 Yarmada-Çekme Dayanımı Deneyi Sonuçları	60
4.8.3 Görünen Porozite, Ağırlıkça Su Emme Deneyi Sonuçları	61
4.8.4 Basınç Altında Maksimum Su İşleme Derinliği Sonuçları.....	64
4.8.5 Kılcallık Deneyi sonuçları	66
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	70
6. KAYNAKLAR	72

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. 2020 yılında inşaat ve yıkımdan kaynaklanan atık miktarı.	7
Şekil 2.2. İnşaat atıkları ve yıkım atıklarında bulunan maddeler.....	8
Şekil 2.3. Geri dönüştürülmüş agregaların şematik diyagramı.....	11
Şekil 2.4. Geri dönüştürülmüş agrega üretme yöntemi.....	12
Şekil 3.1. Ultrases geçiş hızı deneyi yapılışı.	26
Şekil 3.2. Schmidt yüzey sertliği deneyi.	26
Şekil 3.3. Karot numunelerinin alınması.	27
Şekil 3.4. Agregaya paketleme yoğunluğu deneyinde kullanılan, geri dönüştürülmüş iri agregaya (19 mm ve 12,5 mm) ve geri dönüştürülmüş ince agregaya.	30
Şekil 3.5. Agregaya paketleme yoğunluğunu belirlemek için test kurulumu.....	30
Şekil 3. 6. Kullanılan agrega türleri.	35
Şekil 3.7. Betonun malzemeleri ve şekli.	37
Şekil 3.8. Kalıptaki ve laboratuvar havuzundaki numunelerin resimleri.	37
Şekil 3.9. T ₅₀₀ ve çökme-yayılanın deneyinin yapılışı.	40
Şekil 3. 10. V-hunisi deneyinin yapılışı	42
Şekil 3.11. L-kutusu deneyinin yapılışı.	43
Şekil 3. 12. Betonun basınç dayanımı deneyinin yapılışı.....	44
Şekil 3.13. Betonun yarmada-çekme dayanımı deneyinin yapılışı.	45
Şekil 3.14. Sertleşmiş betonda yoğunluk, emme ve boşluk oranı testleri.	46
Şekil 3. 15. Betonun su emme oranının test edilmesi.....	47
Şekil 3.16. Basınç altında betona su işleme derinliğinin test edilmesi.....	49
Şekil 3.17. Numunenin iki yarıya bölündüğü bir görüntü.	49
Şekil 3.18. Numunenin bölünmesi ve su işleme unun derinliğinin belirlenmesi	49
Şekil 4. 1. Doğal ve geri dönüştürülmüş agregaların özellikleri.....	52
Şekil 4.2. Yayılma deneyi sonuçları.....	54
Şekil 4.3. Yayılma süresi deneyi sonuçları.....	55
Şekil 4 4. V huni deneyi sonuçları.	55
Şekil 4.5. L kutusu deneyi sonuçları.....	56
Şekil 4.6. Taze birim ağırlığı deneyi sonuçlar.	57
Şekil 4.7. 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanım sonuçları.....	59
Şekil 4.8. 7 ve 28 Yarmada-Çekme Dayanımı Deneyi Sonuçları.....	60
Şekil 4.9. Emilim ve gözeneklilik deneyi sonuçları %	62

Şekil 4.10. Yoğunluk Deneyi Sonuçları.....	62
Şekil 4.11. Birim ağırlık ile basınç dayanımı arasındaki ilişki sonuçları.	63
Şekil 4.12. Gözeneklilik ve basınç dayanımı arasındaki ilişki.	64
Şekil 4.13. Emilim ve kütle yoğunluğu arasındaki ilişki.	64
Şekil 4.14. Basınç altında su işleme derinliği deneyi sonuçları.....	65
Şekil 4.15. Basınç dayanımı ile basınç altında su işleme derinliği arasındaki ilişki.	66
Şekil 4.16. Kontrol karışımının ve KYB karışımlarının ilk serisinin karışımının kılcal kapasitesi.	67
Şekil 4.17. Kontrol karışımının ve ikinci seri KYB karışımlarının karışımının kılcal kapasitesi.....	67
Şekil 4. 18. Kontrol karışımının ve üçüncü seri KYB karışımlarının karışımının kılcal kapasitesi.	68
Şekil 4. 19. Kılcallık Deneyi sonuçları.....	68
Şekil 4. 20. 28 günlükken basınç dayanımı ile kılcallık arasındaki ilişki.....	69
Şekil 4. 21. Kılcal ile gözeneklilik arasındaki ilişki.....	69

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Bazı GDA özelliklerinin ortalama değerleri.	10
Çizelge 3.1. Geri dönüştürülmüş ince ve iri agreganın elek analizi sonuçları.	29
Çizelge 3.2. Geri dönüştürülmüş beton agreganın fiziksel özelliklerinin sonuçları.	29
Çizelge 3.3. Karşılık gelen paketleme yoğunluğuna sahip agrega oranları.....	31
Çizelge 3.4. Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	32
Çizelge 3. 5. Uçucu külün kimyasal ve fiziksel özellikleri.	33
Çizelge 3.6. Süperakışkanlaştırıcı katkı maddesinin teknik özellikleri.	34
Çizelge 3. 7. Kendiliğinden yerleşen beton için karışım oranları (kg/m ³).....	36
Çizelge 3.8. Çökme akışı, viskozite ve geçme yeteneği sınıfları (EFNARC 2005)....	41
Çizelge 3.9. Beton geçirgenliğinin betona su işleme derinliğine göre sınıflandırılması.	48
Çizelge 4.1. Ultrasonik hız ve Schmidt çekici deneyinin sonuçları.	50
Çizelge 4.2.karot numunelerin basınç dayanımı sonuçları.	50
Çizelge 4.3. Doğal ve geri dönüştürülmüş ince agreganın elek analizi sonuçları.....	51
Çizelge 4. 4. Doğal ve geri dönüştürülmüş iri agreganın elek analizi sonuçları	51
Çizelge 4.5. Doğal agrega ve geri dönüştürülmüş beton agreganın fiziksel özelliklerinin sonuçları.	52
Çizelge 4.6. KYB'lerin çökme akışı, T500, V hunisi ve L kutusu özellikleri.	53
Çizelge 4. 7. Betonun taze birim ağırlığı.....	56
Çizelge 4. 8. Basınç dayanımı deney sonuçları.....	59
Çizelge 4.9. Yarmada-Çekme Dayanımı Deneyi Sonuçları.....	60
Çizelge 4. 10.Görünen Porozite, Ağırlıkça Su Emme Deneyi Sonuçları.....	61
Çizelge 4. 11.Basınç Altında Maksimum Su İşleme Derinliği Sonuçları.....	65
Çizelge 4. 12. Kılcallık Deneyi sonuçları.....	66

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

AL ₂ O ₃	Alüminyum oksit
C	Karbon
CaO	Kalsiyum oksit
Na ₂ O	Sodyum oksit
PH	Power of Hydrogen (Hidrojenin Gücü)
SiO ₂	Silisyum Oksit
SiO ₂	Silisyum Dioksit
SO ₃	Kükürt Trioksit
ZNO	Çinko Oksit
NaCl	Sodyum Klorür
CSH	Kalsiyum Silikat Hidrat
Sn	Saniye
Fe ₂ O ₃	Demir Oksit
K ₂ O	Potasyum Oksit
MgO	Magnezyum Oksit
MPa	Megapascal

Kısaltmalar

KYB	Kendiliğinden yerleşen beton
KB	Kontrollü Beton
T500	Taze Betonun 500 mm'lik Çapa Ulaşma Süresi
UK	Uçucu Kül
VAK	Viskozite Arttırıcı Kaktı
GDBA	Geri dğnüşürülmüş beton agregası
İGDBA	İnce Geri dğnüşürülmüş beton agregası
KGDBA	Kaba Geri dğnüşürülmüş beton agregası
İDA	İnce Doğal Agregası
KDA	Kaba Doğal Agregası
İYA	İnşaat yıkıntı atıkları
TS	Türk Standardı
W/C	Su/Çimento

1. GİRİŞ

1.1 Genel

İnsanların temel ihtiyaçlarından biri barınmadır. Bu nedenle insanlar çok eski çağlardan beri doğada bulunan malzemeleri kullanarak veya geliştirerek yaşanabilir yerler inşa etmeye çalışmışlardır. Araştırma ve deneyler yapıldıkça bina yapımında kullanılan malzeme ve inşaat teknikleri çeşitlendi ve gelişti. Tüm bu gelişmelere rağmen iyi planlama ve işçiliğin inşaat kalitesi açısından son derece önemli olduğu kararı geçerliliğini korumaktadır (Harith, 2018).

Beton, diğer yapı malzemelerine göre üstün özelliklere sahip olan, oldukça popüler ve yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir. Çimento, su, agrega ve kimyasal ve/veya mineral katkılardan oluşur. Kombine beton karışımı, plastik kıvamda aşamalardan geçerek katı hale gelen süreçte, çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonlar sayesinde sertleşir.

Bugüne kadar geliştirilen malzemelerden beton şüphesiz dünyada en çok tüketilen, sudan sonra en çok kullanılan yapı malzemesidir (Ahsan & Hossain, 2018; Alexander & Mindess, 2005; Cheyrezy ve ark., 1995; Pedro ve ark., 2014; Sabir ve ark., 2001). Güçlü ve dayanıklı olmasına rağmen yine de katı atık üretir (Malešev ve ark., 2010). Ayrıca doğal agrega betonun toplam hacminin yaklaşık %70-80'ini oluşturur (Mefteh ve ark., 2013). Bu nedenle tüketilen doğal kaynak miktarının azaltılması ve katı atıkların geri kazanılması zorunludur. Çevre korumanın büyük bir zorluk haline geldiği bu alanla, özellikle de beton üretiminde GDA'ların kullanımıyla çeşitli araştırmacıların ilgisi olmuştur (Arabi ve ark., 2019). İnşaat sektörünün muazzam doğal kaynak tüketimi ve CO₂ emisyonları dünya çapında önemli çevresel sorunlardır (Sandanayake ve ark., 2019). Doğal agregaların çıkarılması, birçok mühendislik faaliyeti için büyük miktarlarda enerji gerektirir (Marques ve ark., 2017).

Bu nedenle doğal kaynak tüketiminin azaltılması ve katı atıkların geri dönüştürülmesi zorunlu hale gelmiştir. Beton üretiminde kullanılmış, son kullanma tarihi geçmiş veya kalan betonun öğütülmesiyle üretilen yeni betonda, doğal agregaların yerine betonda kullanılan doğal agregaların kullanılması son yıllarda yaygın bir araştırma konusu haline gelmiştir. Doğal agrega ile geri dönüştürülmüş agrega (GDA) arasındaki temel fark, GDA'nın yüzeyine eski harcın yapıştırılmış olmasıdır, bu da betonun kalitesini önemli ölçüde etkiler (Layachi ve ark., 2020). Günümüzde doğal agrega gibi doğal kaynakların beton üretiminde üretimi ve kullanımı, hem doğal kaynakları

azaltmakta hem de atmosferik kirletici üretim miktarını arttırmaktadır (Renan Sorato; Ray & Venkateswarlu, 2016). Eski betonun ve hasarlı binalardan elde edilen betonun geri dönüşümü, agrega üretimi için özellikle önemlidir. Betonda geri dönüştürülmüş agregaların kullanılması, doğal malzemeye olan ihtiyacın azaltılmasına yardımcı olur, böylece atık ve emisyonlar azalır. Bu nedenle, doğal agrega (DA) yerine inşaat ve yıkım atıklarının betona dahil edilmesinin birçok ekonomik ve çevresel faydası vardır (Mahmood ve ark., 2022). Katı atıkların büyük bir kısmı inşaat yıkım atıklarıdır (İYA). Büyük şehirlerdeki katı atıkların %13–29'u inşaat atıklarından oluşmaktadır (ALGHADER ve ark., n.d.).

Birkaç çeşit beton vardır. Bu tez, kendiliğinden yerleşen beton (KYB) konusunda uzmanlaşmıştır. Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), geleneksel betona kıyasla ek özelliklere sahiptir. Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), son yirmi yılda geliştirilen nispeten yeni bir beton teknolojisidir. Bu teknoloji ilk olarak 1986 yılında Japon araştırmacılar tarafından betonun işlenebilirliğini geliştirerek dayanıklılığını artırmak ve böylece inşaat kalitesini artırmak amacıyla geliştirildi (Ozawa, 1989). Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) geçiş kabiliyeti, akışkanlık, deforme olabilme ve yüksek ayrışma direnci gibi mükemmel özellikleriyle bilinmektedir. Kendiliğinden yerleşen betonun, kendi ağırlığı altında akabilmesi ve herhangi bir titreşime ihtiyaç duymadan sıkışık betonarme kalıpları doldurabilmesi önemli bir faktördür (Skarendahl & Petersson, 1999).

Geri kazanılmış agrega (GDA) olarak bilinen inşaat molozlarından elde edilen agreganın geleneksel betonlarda kullanımına ilişkin çok sayıda literatür çalışması bulunmasına rağmen, son on yılda kendiliğinden yerleşen beton (KYB) olarak adlandırılan betonlarda kullanımına ilişkin çalışmalar sınırlı sayıda olmuştur.

1.2 Çalışmanın Amaçları

Tez çalışması, geri dönüştürülmüş beton agregasının özellikleri ile kendiliğinden yerleşen betonun avantajlarını birleştirerek beton üretmeyi amaçlamıştır. Bu amaçla düşük dayanımlı inşaat yıkım atıklarından geri dönüştürülmüş beton agregası (GDBA) kullanılarak kendiliğinden yerleşen beton (KYB) üretildi. GDBA'lar kullanılarak üretilen KYB'lerin taze, fiziksel, mekanik ve geçirgenlik özelliklerindeki değişimler incelenmiştir.

1.3 Tezin planı

Bu tezde sıralanan bölümlerin kısa açıklamaları aşağıda verilmiştir.

- Bölüm 1, okuyucuya tez konularının arka planını, amacını ve kapsamını sunan bir giriş niteliğindedir.
- Bölüm 2, geri dönüştürülmüş agrega özellikleri hakkında genel bilgi sağlar. Geleneksel beton ve geri dönüştürülmüş agregalı KYB ile ilgili önceki araştırma çalışmalarını özetlemektedir.
- Bölüm 3, bu tezin deneysel yöntemlerini tanıtmaktadır. Beton karışımlarının hazırlanmasında kullanılan geri dönüştürülmüş agregaların laboratuvarda nasıl üretildiğini, hazırlanan KYB karışımlarının tasarım oranlarını ve bu çalışmada uygulanan test yöntemlerini detaylandırmaktadır.
- Bölüm 4, farklı İGDBA ve KGDBA oranlarıyla oluşturulan KYB'lerin taze ve aterojenik özelliklerine ilişkin deneysel sonuçları detaylandırmaktadır.
- Bölüm 5, bu araştırmasında gerçekleştirilen deneysel ve istatistiksel çalışmalardan elde edilen sonuçlardan genel sonuçları çıkarır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1 Genel

Bu bölümde KYB ile ilgili önceki literatür gözden geçirilmektedir. Yıkım beton atıklarına ilişkin önceki araştırmaların gözden geçirilmesi. KYB betonu üretmek için geri dönüştürülmüş beton agregalarının kullanımına ilişkin önceki araştırmalar gözden geçirildi. GDBA'nın KYB'nin tazeliği, mekanik özellikleri ve geçirgenlik özellikleri üzerindeki etkileri de incelenmiştir.

2.2 Sürdürülebilirlik

Tüm inşaat süreci, yapıların malzeme çıkarılması, imalatı, montajı, kullanımı ve bakımı gibi birçok aşamayı içerir. Tüm adımlar, büyük miktarda enerji ve doğal kaynak tüketen, hammaddelerin taşınmasını ve yapıların operasyonel kullanımını ve onarımını gerektiren çeşitli faaliyetleri gerektirir. Süreç boyunca gerçekleşen her faaliyetin CO2 emisyonları ve hammadde tüketimi üzerinde önemli bir etkisi vardır. Bu durumda acil olarak yeni geri dönüşüm çözümlerine geçiş yapılması gerekmektedir.

Araştırmacı Mehta belirtti. Sürdürülebilirliğe ulaşmak, yirmi birinci yüzyılda beton endüstrisinin karşı karşıya olduğu en büyük zorluktur (Mehta, 2001). Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu, sürdürülebilir kalkınmayı “bugünün ihtiyaçlarını, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılayabilme yeteneğinden ödün vermeden karşılamak” olarak tanımlamaktadır (Naik & Moriconi, 2005).

Beton endüstrisinde sürdürülebilir kalkınmanın üç anahtarı vardır (Mehta, 2001). İlk olarak beton yapım malzemesini koruyun. Bu, yıkılmış betonun ezilmesiyle agreganın geri dönüştürülmesiyle sağlanabilir. Diğer endüstrilerden gelen uçucu kül, cüruf ve silis dumanı gibi diğer yan ürünlerin kullanılması, betonda ihtiyaç duyulan çimento miktarını azaltır. İkincisi, sürdürülebilir kalkınmaya yardımcı olmak için beton yapıların dayanıklılığının artırılması gerekir. Sürdürülebilir beton yapılar kısa ve uzun vadeli toplumsal etkileri en aza indirir; ancak bu dayanıklılığa ulaşmak için betona ihtiyaç vardır (Naik & Moriconi, 2005). Üçüncüsü, sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için eğitim ve öğretimin iyileştirilmesi gerekmektedir.

2.2.1 İnşaat ve Yıkım Atıkları (İYA)

İnşaat ve yıkım atıkları (İYA), ahşap, duvar, sıva, metal, beton, plastik, cam veya karton ve hafriyat toprağı gibi yıkılmış yapılardan elde edilen çeşitli inşaat malzemelerinden oluşur. Bu atıklar genellikle büyük depolama alanlarına atılıyor ve toprağı ve atmosferi biyolojik olarak parçalanamayan zararlı maddelerle doldurarak çevreyi kirletme potansiyeli taşıyor. Belirli yöntemlerle geri kazanılan malzemeler diğer atıklarla karışmadan, belirli özelliklerine göre ayrıştırılarak biriktirilmektedir. Daha sonra üretilme ve kullanılma amacına göre fiziksel ve kimyasal işlemlerden geçirilerek ekonomiye kazandırılmaktadır.

Geri dönüşüm sayesinde hammadde kaynakları ve çevre korunur, enerji ve malzeme maliyetlerinden tasarruf sağlanır (Öztürk, 2005). Avrupa Çevre Ajansı, 2016 yılında Avrupa Birliği'nde yılda 374 milyon ton çevresel kirlilik (İYA) üretildiğini tahmin ediyor. 2008 yılında Atık Çerçeve Direktifi, 2020 yılında İYA'nin yüzde 70'inin geri kazanılması gerektiğini bildirdi. Birçok AB ülkesi bu hedefe 2016 yılında ulaşmıştı; geri dönüşüm oranları AB üye ülkeleri arasında %10 ile %90 arasında değişmektedir. Farklı derecelerde, yaşlarda ve bileşimlerde betonu bağlayan İYA'nin kesin kökeni genellikle tamamen bilinmemektedir. Bu geri dönüştürülmüş agregaların kalitesine ilişkin belirsizlik veya işçilere yönelik potansiyel sağlık riskleri, inşaat atıklarının yeniden kullanılmasının önündeki en büyük engellerdir. (Marchuk, 2020).

2.2.2 Geri Dönüştürülmüş Agregalar (GDA)

İnşaat sektörünün doğal agregalara bağımlılığına ve doğal agrega kaynaklarının kritik kıtlık sorununa alternatif bir araç sağlaması nedeniyle, İnşaat ve Geliştirme atıklarından geri dönüştürülmüş agrega üretimi önemli bir konudur. Bu, birçok Avrupa ülkesi, ABD, Avustralya ve Japonya için yaygın bir uygulamadır. Örneğin, 2010 yılı yıllık incelemelerine göre Almanya, İngiltere, Hollanda, Fransa ve USA sırasıyla yaklaşık 60 Mt, 49 Mt, 20 Mt, 17 Mt ve 140 Mt geri dönüştürülmüş agrega üretmektedir (Association, 2005). 2015 yılında dünya inşaat sektörünün toplam tüketimi 48,3 milyar tona ulaştı. Bu tüketim her yıl yaklaşık %5 oranında artmaktadır (Yehia ve ark., 2015).

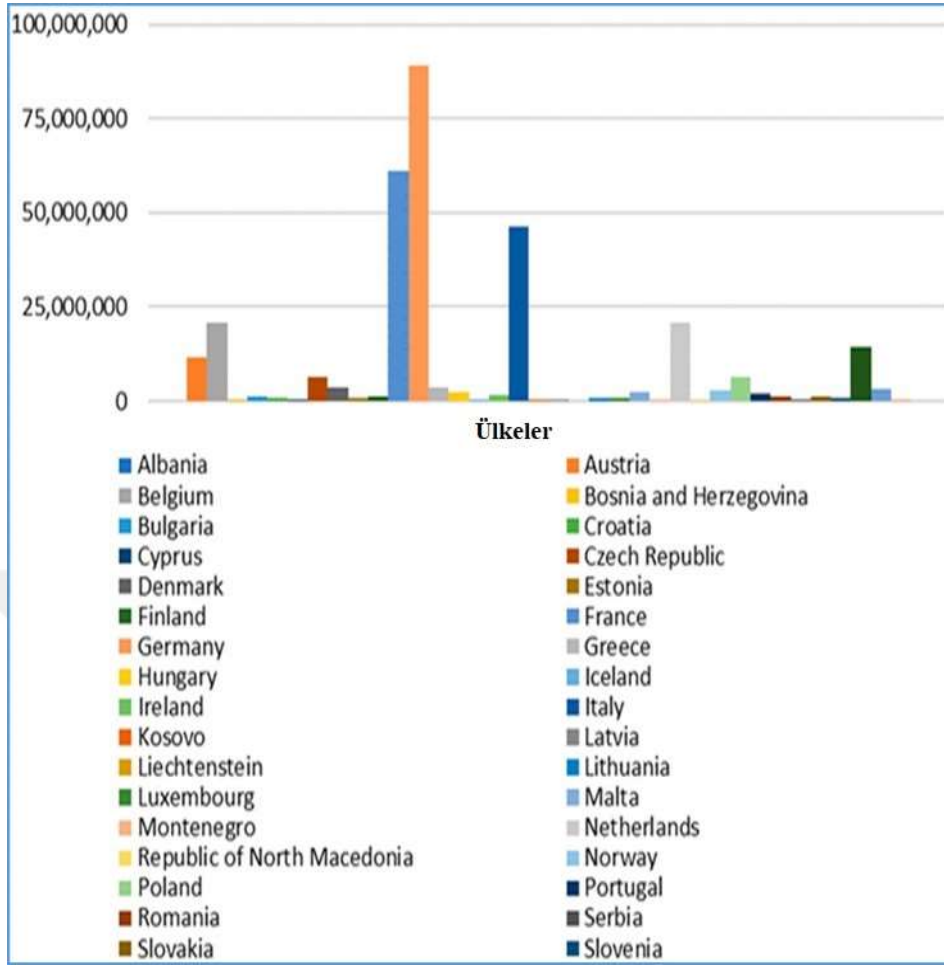
Geri dönüştürülmüş agrega özelliklerinin değerlendirilmesinde, geri dönüştürülmüş her agrega parçacığının yine de orijinal iri agrega (OİA) ve yapıştırılan harçtan (YH) oluşan bir beton parçası olduğu unutulmamalıdır. Bu beton parçacıklarının yeni bir matrisle yeniden bir araya getirilmesine geri dönüştürülmüş agregalı beton denir.

Geri dönüştürülmüş agregaları açıkça anlamak ve beton üzerindeki olası etkilerini tahmin etmek için bu kompozit parçacıkların bileşiminin ayrı ayrı tanımlanması gerekir (Nagataki ve ark., 2000).

Son birkaç yıldır, beton atıklarından elde edilen geri dönüştürülmüş beton agregası (GDA), yeni beton üretiminde doğal iri agreganın (NCA) yerine kullanılıyor. NCA'ların azlığı ve artan atık depolama ücretleri dikkatleri GDA'nın betonda kullanımına çekmiştir (Katz, 2003). Beton yapıların gereksinimlerindeki ve planlamasındaki değişiklikler nedeniyle dünya çapında kentsel alanlarda aşırı miktarda İnşaat ve Geliştirme atığı üretiliyor. Avrupa, USA ve Japonya'da yılda 900 milyon ton İnşaat ve Geliştirme atığı tahmin edilmektedir (Klee, 2009). GDA'nın betonda kullanılması ekonomik ve çevre dostudur. Ancak eski betonun ezilmesiyle elde edilen GDA, bileşimine, özellikle de orijinal betonun su/çimento (W/C) oranına ve çimento içeriğine bağlı olarak tutarsız özellikler sergileyebilir (Kou & Poon, 2009). Doğal agreganın geri dönüştürülmüş agrega ile değiştirilmesi dayanıklılık açısından önemli bir gelişme sağlamamaktadır. Geri dönüştürülmüş agregalı betonda, geleneksel betonda olduğu gibi, kimyasal saldırılar esas olarak çimento hamuruyla ilgilidir ve dolayısıyla aynı saldırganlık mekanizmalarıyla aynı kimyasal reaksiyonları sunar. Ancak beton gözenekli olduğunda ve serbest su içerdiğinde bu saldırılar daha ciddidir (Etxeberria & Gonzalez-Corominas, 2018). Bir yapının dayanıklılığı kısmen, bileşeni oluşturan gözenekli malzemelerin agresif maddelerin sızmasına karşı direnciyle ilişkilidir. Eğer gözeneklilik bu direncin ana parametresi olarak kabul edilirse, diğer iki fiziksel nicelik daha önemlidir: geçirgenlik ve hidrik yayılma. Bu iki parametre en önemli dayanıklılık göstergeleri olarak kabul edilmektedir. Bunlar gözenekli ağa, bağlantısına ve malzemenin su içeriğine büyük ölçüde bağlıdır (Guo ve ark., 2018).

THBB verilerine göre Türkiye'nin 2014 yılı beton üretimi 107 milyon metreküp olup Avrupa'nın en büyük beton üretim hacmine sahip ve dolayısıyla en fazla kaynak tüketen ülkesidir (Kazançoğlu & Öktem, 2016). Agregası, beton karışımlarının toplam hacminin yaklaşık %70'ini oluşturur ve bu da yenilenemeyen doğal kaynakların hızla tükenmesine yol açar (Shi ve ark., 2016).

Şekil 2.1'deki grafik, 2020 yılında her Avrupa ülkesinde tesislerin inşaatı ve yıkımı nedeniyle oluşan atık miktarını göstermektedir (Czarnecki & Rudner, 2023).



Şekil 2.1. 2020 yılında inşaat ve yıkımdan kaynaklanan atık miktarı.

2.2.3 GDA Tanımı ve Önemi

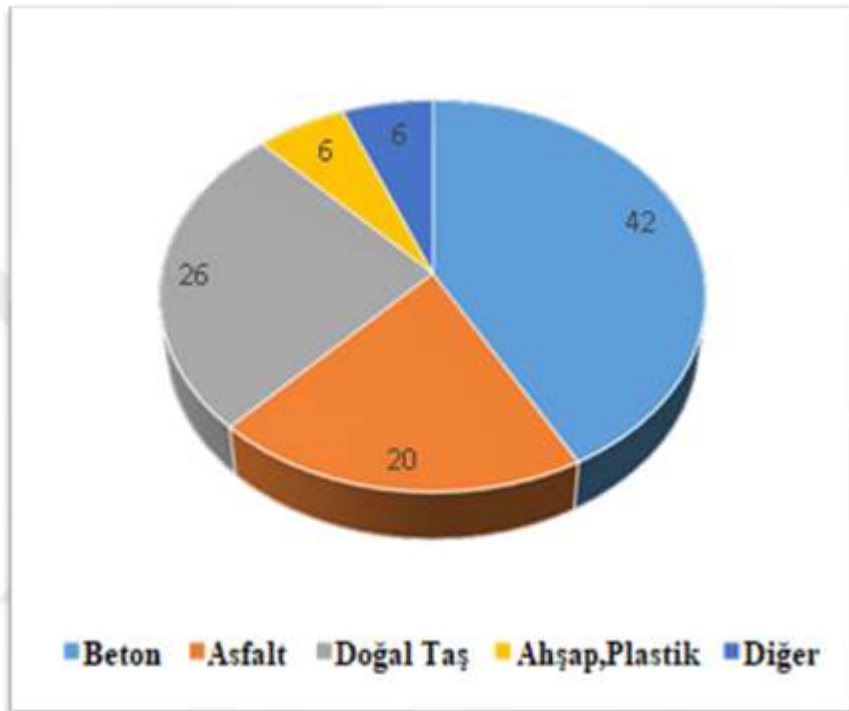
Geri dönüştürülmüş agrega; Çeşitli inşaat atıklarının veya beton atıklarının uygun yöntemlerle öğütülmesiyle elde edilen agrega, geri dönüştürülmüş agrega olarak tanımlanabilir (Fulford & Adam, 2005) .

İnşaat ve yıkım atıklarının içerdiği malzemelerin yüzdesel dağılımı Şekil 2.2'da gösterilmektedir. İnşaat ve yıkım atıklarında birçok malzeme türü bulunmasına rağmen, yıkılacak saf betonun öğütülmesi ve agrega olarak kullanılması tavsiye edilmektedir (Aktaş, 2015). Bu durum bazı standartlarda da belirtilmiştir. Örneğin; İngiliz Standartlarına göre GDA “sadece beton atıklarından elde edilen agrega” olarak tanımlanmaktadır (British Standard, 2006).

Geri dönüşümün önemi şu şekilde sıralanabilir:

- Ekonomik kazanç sağlar.
- Çevre kirliliğini azaltarak çevreyi korur.

- Hammadde tüketiminin azaltılması doğal kaynakların ömrünü uzatır.
- Bertaraf edilmesi gereken atıkları azaltır.
- Enerji kazancı sağlar.
- Daha temiz bir çevreyi gelecek nesillere bırakmamıza yardımcı olur.
- Yeni sanayi sektörlerinin kurulmasıyla iş istihdamı artar (Khalaf & DeVenny, 2004).



Şekil 2.2. İnşaat atıkları ve yıkım atıklarında bulunan maddeler.

2.2.4 GDBA Özellikleri

GDBA, orijinal agregaya yüzeyine yapışan sertleşmiş çimento harcı nedeniyle doğal agregalardan farklı özellikler gösterir. GDBA'nın fiziksel özellikleri, agregadaki sertleşmiş eski çimento harcının miktarına ve kalitesine bağlıdır. Son yıllarda GDBA ile hazırlanan betonun mekanik özellikleri yoğun olarak araştırılmaktadır. GDBA'nın betonda kullanılması, doğal agregalı betona kıyasla mukavemetini ve elastik modülünü azaltır (J. Xie et al., 2015).

Daha önceki çalışmalarda da belirtildiği gibi taze ve sertleşmiş betonun durumunu etkileyen çeşitli agregaya özellikleri bulunmaktadır. Geri dönüştürülmüş agregalarda boşluk yapısı, sayısı ve dağılımı daha önemlidir; taze durumun özelliklerini ve dolayısıyla su emme ve su emme kinetiğini etkiler. Bu agregaların sıradan agregalardan üretilen betondan farkı, karışıma karıştırma yöntemiyle ilave edildiğindeki nem içeriğidir.

Yukarıdaki agrega özellikleri taze betonun çökmesini, çökme kaybını ve pompalana bilirliğini ciddi şekilde etkiler (Boyacı, 2018).

Türkiye'de TS 706 EN 12620+A1 (2009) standardı, beton üretimi için GDA ile oluşturulan karışımların özelliklerini kapsamaktadır (ENSTİTÜSÜ, 2009). Ancak ilgili standart ve yönetmeliklerde yeni yapı elemanları için beton karışımına eklenen GDA'nın karıştırma yöntemi ve miktarına ilişkin bilgi bulunmamaktadır (SARIBAŞ & İlyas, 2018).

Çoğu zaman orijinal betonun özellikleri bilinmediğinden GDA ile çalışmak zorlayıcı olabilir (Oikonomou, 2005). GDA, düşük yoğunluk ve yüksek su emme kapasitesi ile karakterize edilir. Bunun ana nedeni GDA'nın yüksek gözenekliliğidir (Silva et al., 2018).

Önceki çalışmaların çoğunda, GDA yoğunluğu agregatların boyutuna bağlı olarak 2,29 g/cm³ ile 2,49 g/cm³ arasında değişmektedir (Hansen & Narud, 1983)[135]. Ayrıca, GDA, doğal agregadan özgül ağırlık, incelik modülü ve agrega kırılma değeri gibi birçok parametrede oldukça farklıdır (Singh ve ark., 2019). Geri dönüştürülmüş beton agregası oldukça heterojen ve gözeneklidir ve büyük miktarda yabancı madde içerir. Bu, ortaya çıkan beton özelliklerinin modellenmesini ve tahmin edilmesini zorlaştırır (Zaharieva et al., 2003).

GDA'lar belirgin çevresel faydalar sunar, ancak aynı zamanda beton karışımındaki NA'lara benzer özelliklere de sahiptirler. Doğal ve geri dönüştürülmüş agregalar arasındaki temel fark, GDA'ların yüzeyine yapışan harcın varlığıdır; bu, özellikle yeni beton yapımında yeniden kullanıldığında kaliteyi güçlü bir şekilde etkiler(Guo et al., 2018). Önceki çalışmalarda bilindiği gibi GDA'nın özellikleri çok değişkendir ve birçok hususa bağlıdır. GDA'nın kökeni (ön dökümlü elemanlar, yerinde üretilen beton, İYA ve laboratuvar örnekleri) gibi. Orijinal betonun dozajı ve bileşenleri (pompalanabilir beton, KYB, çimento tipi) ve orijinal bileşenlerin kırma işlemi. Birçok çalışma, geri dönüştürülmüş agreganın (GDA) yerine farklı oranlarda normal agrega (NA) kullanıldığında betonun genel performansının düştüğünü doğrulamıştır(Bayer, 2004). GDA'dan üretilen betonun yerine büyük miktarlarda geleneksel agrega kullanılmasının işlenebilirlik, basınç dayanımı, çekme dayanımı ve eğilme dayanımı gibi özelliklerde önemli bir düşüşe neden olduğu gözlemlenmiştir(Bayer, 2004). Beton üretiminde GDA'nın uygulanmasını incelerken, Safiuddin ve ark. (2013), altı referanstan

elde edilen verilere dayanarak iri GDA'nın ortalama değerini belirledi (Safiuddin ve ark., 2013):

Şekil ve doku: Köşeli ve pürüzlü yüzey.

- SSD yoğunluğu (kg/dm³): 2.1–2.5.
- Yığın yoğunluğu (sıkıştırılmış) (kg/dm³): 1.20–1.43.
- Emilim (ağırlıkça %): 3–12.
- Gözenek hacmi (% hacim): 5,6-16,5.

Victor (2021) birçok kaynağa ve araştırmaya güvendi. Geri dönüştürülmüş beton agregasının özellikleri (ince ve kaba) Çizelge 2.1'de sunulmaktadır (Binder, 2021).

Çizelge 2.1. Bazı GDA özelliklerinin ortalama değerleri.

Property	Coarse/fine RCA	Values (95% confidence interval)	References used
SSD density (kg/dm ³)	Coarse	(2.38, 2.48)	[27-51]
	Fine	(2.21, 2.39)	[28, 30, 32, 36-38, 45, 51, 52]
Water absorption (%)	Coarse	(4.53, 6.27)	[27-48, 50, 51, 53, 54]
	Fine	(7.76, 11.06)	[28, 30, 32, 36-38, 45, 51, 52]
Fines content (%)	Coarse	(0.31, 2.65)	[28, 29, 31, 44]
Los Angeles coefficient (%)	Coarse	(28.28, 36.31)	[29, 34, 38, 40, 42-44, 46, 47]

Agrela ve ark. (2011), çeşitli (İYA) işleme İspanyol tesislerinden elde edilen 35 karışık geri dönüştürülmüş iri agreganın incelenmesi. Bu toplamlar aşağıdaki sonuçları sağladı (%95 güven aralığı) (Agrela et al., 2011):

- Doymuş Yüzey Kuruluşu (SSD) yoğunluğu (kg/dm³): 2.40 ± 0.07
- 24 saat su emme (ağırlıkça %): 5.42 ± 1.70
- Çözünür sülfat (%SO₃): 0.40
- Kükürt içeriği (% S): 0.25

Birçok çalışma, taze betonun akış zorluklarının üstesinden gelmek için NA'nın GDA ile değiştirilmesinin su-çimento oranında bir artış gerektirdiği sonucuna varmıştır (Quattrone ve ark., 2016). Araştırmacılar, geri dönüştürülmüş agregaların üretimi ve kullanımının birçok çevresel, ekonomik ve doğal kaynak avantajına sahip olduğunu söylüyor. Ancak genel amaçlı inşaat agregaları sıradan agregalara göre daha gözenekli olması, daha az mukavemetli olması, daha fazla su emmesi gibi yapısal farklılıklara sahip olduğundan bunları kullanan betonun performansında farklılıklar ortaya çıkmaktadır.

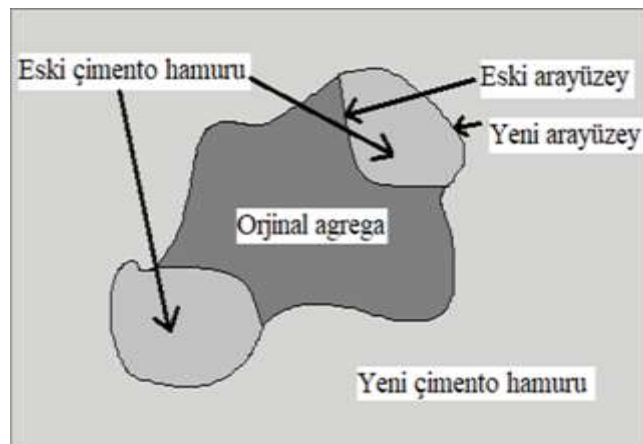
Genel olarak betonun performansını olumsuz etkileyebileceğinden dikkatli kullanılmalıdır (GÖKÇE, 2022; Santarpia et al., 2019)

GDA'lar NA'lara göre daha düşük yoğunluklara, daha yüksek su emme kapasitelerine ve daha düşük mekanik dayanıma sahiptir. GDA'ların yüksek gözenekliliği bunun ana nedenidir (Silva et al., 2018). Tüm bu faktörlerin (gözeneklilik, geçirgenlik, sulu difüzyon) birleşimi betonun temel özelliklerini doğrudan etkiler: işlenebilirlik, mekanik direnç ve dayanıklılık (Chen et al., 2013).

GDA'nın kalitesi genel olarak NCA'dan daha düşüktür. GDA sadece orijinal agrega içermekle kalmaz aynı zamanda bu agreganın yüzeyine tutunmuş hidratlı çimento hamuru da içerir. Bu macun GDA'yı NCA'dan daha gözenekli hale getirir. GDA'nın gözenekliliği ne kadar yüksek olursa, GDA'nın gözenekliliği de o kadar yüksek olur. Daha yüksek gözeneklilik Büyük, yüksek gözeneklilik ve su emilimi ile sonuçlanır (Kou & Poon, 2009). Şekil 2.3 geri dönüştürülmüş agreganın şeklini göstermektedir.

GDA, orijinal betonun kaynağına bağlı olarak klorürler, sülfatlar, karbonatlar, organik maddeler vb. içerebilir. İçerebilir. Aşağıdaki gibi çeşitli kirletici maddeler içerebilir: GDA daha düşük kalitede olmasına rağmen, birçok araştırmacı NCA'ya alternatif olarak kullanılabileceğini göstermiştir. İnşaatta, özellikle yapısal olmayan veya daha düşük seviyeli uygulamalarda (Rao et al., 2007).

Safiuddin ve ark. (2011), ağırlıkça %0-100 NCA yerine GDA kullanarak KYB'nin doldurma yeteneği, geçme yeteneği ve ayrışma direnci gibi yeni özelliklerini araştırdı. Araştırma, NCA'nın %50'ye kadar değiştirildiği KYB'nin iyi doldurma ve geçme yeteneklerine ve yeterli ayrışma direncine sahip olduğu sonucuna varmıştır (Alengaram et al., 2011).



Şekil 2.3. Geri dönüştürülmüş agregaların şematik diyagramı.

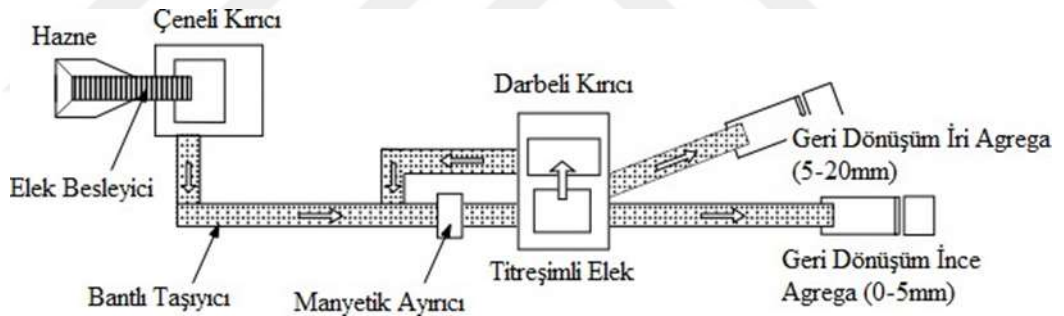
2.2.4.1 GDBA Üretimi

İnşaat atıklarının işlenmesinde en yaygın tekniklerden biri, atıkların kaba ve ince agregalar halinde ezilmesidir. Agregaların geri dönüşüm teknolojisi, kaynak betonun çeneli kırıcı ve darbeli kırıcı kombinasyonu kullanılarak kırılması ve yapışan çamurun azaltılması için kırılan malzemelerin mekanik öğütme ekipmanı kullanılarak gerektiği kadar iki veya üç kez işlenmesinden oluşur (Mahdi, 2017; Nagataki et al., 2004)

Ek mekanik taşlama, yapışan harcın çıkarılmasıyla fiziksel özellikleri iyileştirebilse de yalnızca eser miktarda yeni çatlak oluşmasına neden olacaktır. Ara yüz geçiş bölgesindeki çatlama önemli ölçüde etkilenmez (Nagataki et al., 2004).

Beton atık geri dönüşüm tesisleri, beton atıklarını farklı boyutlardaki parçacıklara ayıran primer ve sekonder kırıcılardan oluşmaktadır.

Günümüzde İYA geri dönüşümü için portatif kırıcılar mevcuttur. Yıkım yapılacak alanda herhangi bir taşıyıcıya gerek kalmadan geri dönüşüm işlemi yerinde gerçekleştirilebilmektedir. Şekil 2.4 beton agregası geri dönüşüm planının bir örneğini göstermektedir.



Şekil 2.4. Geri dönüştürülmüş agreganın üretim yöntemi.

2.2.4.2 GDBA Kullanılması

Son yıllarda betondaki doğal agregaların yerine geri dönüştürülmüş beton agregalarının kullanımına ilişkin araştırmalar dikkat çekmektedir (Sasanipour & Aslani, 2019). Amerika Birleşik Devletleri, Güney Afrika, Hollanda, Birleşik Krallık, Almanya, Fransa, Rusya, Kanada ve Japonya dahil olmak üzere birçok ülke GDA'yı başarıyla kullanmaktadır (Olorunsogo & Padayachee, 2002). GDA'yı kullanan başlıca eyaletler Teksas, Virginia, Michigan, Minnesota ve Kaliforniya'dır (Administration, 2004).

Japonya Arazi, Altyapı ve Ulaştırma Bakanlığı, Geri Dönüşüm Planı 21 ve İnşaat Geri Dönüşümü Teşvik Planı 97 girişimleri aracılığıyla ülkenin beton atıklarının

%96'sının geri dönüştürülmesinde etkili olmuştur (Noguchi, 2005). 2002 yılında, 28 eyalet GDA'yı kaplama yapımında kullanmış, 26 eyalet GDA'yı yalnızca temel veya alt temel malzemesi olarak kullanmış ve iki eyalet yalnızca alt temel kullanımına izin vermiştir (Kou & Poon, 2009) . 2004 yılı itibariyle 50 eyaletin 41'inde atık betonu agregaya dönüştüren yöntemler kullanılmaktadır (Administration, 2004).

İri Geri Dönüştürülmüş Beton Agregası (KGDBA), düşük dereceli uygulamalarda, sade betonda ve betonarmede herhangi bir zararlı etkisi olmaksızın yaygın olarak kullanılmaktadır. Belirli spesifikasyonları karşılama koşuluyla doğal çakılın tamamen KGDBA ile değiştirilmesine izin veren Rilem 1994 gibi birçok öneri yayınlanmıştır (Lopez-Uceda et al., 2018).

Önceki birçok çalışma, KGDA içeriği %30 ile sınırlı olduğunda betonun basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımındaki değişikliklerin önemli olmadığını göstermiştir. Bununla birlikte, yüksek oranlarda iri GDA içeren betonların özelliklerinin önemli ölçüde olumsuz olduğu vurgulanmaktadır (Muduli & Mukharjee, 2019).

2.2.4.3 GDBA ile Üretilen Betonlarla İlgili Yapılmış Çalışmalar

GDBA'nın beton üretiminde kullanımına ilişkin geçmişte birçok deneysel çalışma yapılmış olup, son yıllarda GDBA'nın beton üretiminde kullanımına ilişkin çalışmaların sayısı giderek artmaktadır.

Çok sayıda literatürde, geri dönüştürülmüş agregalı betonun suyu emme eğiliminin yüksek olması nedeniyle, geri dönüştürülmüş agregalı betonun aynı işleme bilirliliği sağlamak için doğal agregalı betona göre %5 daha fazla suya ihtiyaç duyduğu rapor edilmiştir. Ayrıca geri dönüştürülmüş kum kullanıldığında doğal betona göre %15 daha fazla suya ihtiyaç duyulur (Rilem, 1994) .

GDA'nın yeni beton üretmek için kullanılması durumunda, GDA'nın performansının genellikle GDA ile yeni çimento hamuru arasındaki ara yüzey bağını olumsuz etkilemesi beklenir. Bu durum GDA kullanılarak üretilen betonun dayanıklılığının, mukavemetinin ve işleme bilirliliğinin azalmasına neden olur (Li et al., 2009).

Poon ve diğerleri (2004), Geri dönüştürülmüş agregaların yoğunluğu düşük ve su emme kapasitesi daha yüksek olduğundan, geri dönüştürülmüş agregayla üretilen betonun özellikleri, yalnızca doğal agregalarla üretilen betondan farklıdır. Ancak daha önceki bazı araştırmacılar, betonun ağırlıkça sırasıyla %20 ve %10'a kadar geri dönüştürülmüş beton

ve duvar agregası içermesi durumunda özelliklerdeki bu varyasyonun ihmal edilebilir olduğunu bildirmişlerdir (Poon et al., 2004).

Barra ve Vazquez (1998), etkili bir ara yüz elde etmek için geri dönüştürülmüş agreganın nem içeriğinin %80-90 olması gerektiğini, çünkü agrega ile yeni çekirdek arasındaki Ara yüzün doymuş geri dönüştürülmüş agrega için etkisiz hale geldiğini bildirmiştir. Beton üretiminde kullanılan geri dönüştürülmüş agreganın emme kapasitesini azaltmak için suya doymuş duruma yakın olması gerekir (Barra & Vazquez, 1998).

Abou-Zeid ve ark. (2005), geleneksel beton ile geri dönüştürülmüş agregalı betonun karşılaştırılmasında, geri dönüştürülmüş agregalı betonun daha yüksek su geçirgenliğine ve klorür iyonu işleme una karşı daha düşük dirence sahip olduğunu gösterdiğine dikkat çekmiştir (Abou-Zeid et al., 2005).

Hansen (1985), GDA betonunda geleneksel betonla aynı basınç dayanımının elde edilmesi isteniyorsa, GDA'nın kalitesine bağlı olarak %100 GDA ikame beton karışımına %5-9 oranında çimento eklenmesi gerektiğini bildirmiştir. İnce GDA da kullanılırsa %15-20 daha fazla çimento gerekir (Hansen & Boegh, 1985).

Wainwright ve diğerleri (1993). Genel olarak, doğal ince agreganın, tipik olarak yüksek emme ve büzülme oranları nedeniyle geri dönüştürülmüş muadili ile değiştirilmesinden kaçınılır. Bu, özellikle %30'dan fazla değiştirme seviyelerinde mekanik ve dayanıklılık özelliklerinde bir azalmaya neden olur (Wainwright, 1993).

Amnon (2003), geri dönüştürülmüş agreganın geleneksel betonla karşılaştırıldığında, %100 ikame seviyesi için basınç dayanımını %24 azalttığını belirtmektedir (Katz, 2003).

Padmini ve diğer araştırmacılar (2009), eski çimento harcının gözenekli mikro yapısı nedeniyle GDA, doğal agregaya kıyasla daha fazla su emebilir (Padmini et al., 2009).

Yeni betonun mekanik dayanım özellikleri, GDA ile yeni çimento harcı arasındaki Ara yüzey geçiş bölgesinin (ITZ) kalitesine bağlıdır (Tam et al., 2005).

GDA ile yapılan yeni betonun iki ITZ'si vardır. Bu ITZ'ler, GDA ile yeni çimento harcı arasında yer alan yeni ITZ ve GDA ile eski yapışkan çimento harcı arasında yer alan eski ITZ'dir. ITZ'de kalan eski çimento harcı mikro çatlaklardan ve boşluklardan oluşuyor. Bu mikro yapı betonun mukavemetini önemli ölçüde etkileyerek su tüketiminin

artmasına ve ITZ'de hidrasyon için gereken suyun azalmasına neden olur (Tam et al., 2005).

Xiao ve Falkner (2005) tarafından yürütülen bir araştırmaya göre, GDBA ile yapılan betonların özellikleri genellikle geleneksel betonlardan daha düşüktür, ancak inşaat mühendisliğinde pratik uygulamalar için kullanılabilir. Çalışması, GDBA kullanıldığında betonun dayanımının %40'a kadar azalabileceği sonucuna vardı. Bununla birlikte, %20'ye kadar ince geri dönüştürülmüş beton agregası veya %30'a kadar kaba geri dönüştürülmüş beton agregası içeren betonun dayanımı azalmadı, ancak bu seviyelerin üzerinde GDBA içeriği arttıkça dayanımda bir azalma olduğu bulundu (Xiao & Falkner, 2007).

2.3 Beton

Beton, tüm bu malzemelerin, mukavemetine bağlı olarak farklı miktarlarda agrega, çimento, su ve istenirse betonun özelliklerine bağlı olarak çeşitli mineral ve/veya kimyasal katkıları içeren homojen bir karışımından oluşan kompozit bir malzemedir. Betonun çekme dayanımı düşük olduğundan, çekme gerilmelerinin olduğu yapı elemanlarında donatı kullanılır. Betonu diğer yapı malzemelerinden üstün kılan önemli bir özelliği de plastik kıvamı sayesinde kolayca şekillendirilebilmesidir. Ve sertleştikten sonra yüksek mukavemet değerlerine ulaşabilir (Berredjem et al., 2020) .

Dünya nüfusu arttıkça betona olan talep de artıyor (Sahoo et al., 2020). Beton, barajlar, yürüme yolları, yapı iskeletleri, köprüler ve viyadükler gibi birçok farklı yapıda, diğer yapı malzemelerinden daha fazla miktarda bol miktarda kullanılmaktadır. Beton, kalitesi çok değişken olan bir malzemedir. Beton için bağlayıcı görevi gören çimentonun kalitesi çelik çubuklara benzer şekilde üretici tarafından garanti edilirken, agregalar, karıştırma işlemleri, üretim, dökme ve dökme gibi işlemler nedeniyle betonun kalitesi tam olarak garanti edilemez. Sıkıştırma. Belirtilen kalitede beton hazır beton tedarikçilerinden temin edilebilir ancak bu durumda bile taşıma, yerleştirme ve en önemlisi sıkıştırma gibi işlemler betonun kalitesini büyük ölçüde etkileyebilir. Ayrıca, çelik donatının aksine, beton katkılarının kombinasyonları ve oranları neredeyse sonsuzdur, bu nedenle malzeme seçimi ve oranları betonun performansı üzerinde çok etkilidir (Chao-Lung et al., 2011) .Basınç dayanımı testi, betonun kullanımdaki yapısal özelliklerini ve davranışını belirlemek için en önemli testtir. Bu test, betonun birçok

özelliğine genel bir bakış sağlar. Beton dayanımının gelişimini etkileyen bazı faktörler genel olarak şu şekilde sıralanabilir (Salas et al., 2016):

- Çimento tipi.
- Su/bağlayıcı oranı.
- Betonda kullanılan mineral katkı maddelerinin kimyasal ve puzolanik reaktiflik gibi özellikleri.
- Çimentonun mineral katkı maddesi ile ikame yüzdesi.
- Betonun kür derecesi.
- Sıcaklık.

2.3.1 Kendiliğinden Yerleşen Beton

Son yıllarda beton konusundaki en önemli gelişmelerden biri, devrim niteliğinde kabul edilen kendiliğinden yerleşen betondur (KYB). Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), herhangi bir mekanik konsolidasyona ihtiyaç duymadan yerine yayılabilen, kalıbı doldurabilen ve çelik donatıyı sarabilen, son derece serbest akışlı, ayrışmayan bir betondur (Institute, 2008). Yoğun betonarme elemanlara beton dökülememesi ve betonun dayanıklılığı için gerekli yeterli basıncı sağlayacak vasıflı işgücünün bulunmamasından kaynaklanan yetersiz sıkıştırma ve ayrışma gibi sorunları önlemek amacıyla ilk olarak Japon araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir (Okamura & Ouchi, 2003). Tokyo Üniversitesi'nde Profesör Okamura, 1980'lerin ortalarında kendiliğinden yerleşen beton (KYB) geliştirdi (Yaragal & Ramanjaneyulu, 2016). Hajime Okamura, 1986 yılında sıkıştırma gerektirmeyen ve kendiliğinden kalıba yerleşebilen betona ihtiyaç olduğunu öne sürmüştü ve 1988 yılında ilk KYB prototipini tamamlamıştır (Okamura & Ouchi, 2003). KYB ile ilgili ilk makale Ozawa tarafından 1989 yılında Doğu Asya ve Pasifik Yapısal Mühendislik Konferansında (EASEC) sunulmuştur. KYB ile ilgili ilk kitap Okamura tarafından yazılmış ve 1993 yılında Japonca olarak yayınlanmıştır. Özawa'nın 1992 yılında İstanbul'da düzenlenen uluslararası CANMET-ACI konferansında yaptığı konuşma, KYB'nin dünyaya açılmasında etkili oldu (Ambroise & Pera, 2002; Rols et al., 1999).

Kendiliğinden yerleşen betonun başlangıç aşamasında yeterliliği, taze özelliklerine göre ve ENFARC yönergelerine uygun olarak kontrol edilir (Cuenca et al., 2013). Etkili bir süperakışkanlaştırıcı olan KYB karışımı, karışımdaki ince malzeme miktarı, su/bağlayıcı oranı, en büyük agrega açısından tane büyüklüğü, toz/toplam agrega

oranı ve toplam kaba agrega miktarı gibi değişkenler geleneksel betondan farklıdır. Süper akışkanlığı arttırmak ve su/bağlayıcı oranını azaltmak için süperakışkanlaştırıcı katkı maddeleri kullanılır (Okamura, 1997) . Sıradan betonda kullanılan ana malzemelere ek olarak, KYB karışımlarının bileşimi aynı zamanda büyük miktarlarda toz halinde inorganik maddeler içerir; bu da mineral katkıların, şu anda geçerli bir uygulaması olmayan atık son ürünlerin, bertarafının kullanılması için umutlar sunar (Gesöglü et al., 2012). Ancak bu tür betonların maliyeti, yüksek hacimde Portland çimentosu ve kimyasal katkıların kullanılması nedeniyle önemli ölçüde arttı. Çimento içeriğini değiştirmek ve dolayısıyla maliyeti düşürmek için atıklar ve yan ürünler eklenmiştir (Www et al., 2008).

2.3.2 KYB' nin Avantaj ve Dezavantajları

2.3.2.1 KYB' nin avantaj

KYB'nin sağladığı avantajlardan bazıları şunlardır:

- Kalıp üzerindeki beton basıncı optimum karışımla ayarlandığında titreşim olmadığından kalıbın maliyeti azaltılabilir.
- Betona titreşimsiz yerleştirmeye olanak sağlar.
- Zaman ve enerji tasarrufu sağlar.
- Gürültü kirliliğini azaltmak.
- Yoğun donatılı, dar ve derin kesitli betonarme elemanlar üretebilmektedir.
- Tüm boşlukları dolduran ve geçirimsiz beton parçaları üretebilme yeteneği.
- Uzun ömürlü, dayanıklı beton malzemelerinin üretilmesi.
- İşçi hataları nedeniyle ortaya çıkan önemli sorunların ortadan kaldırılmasını sağlamak.
- Estetik mimari öğelerin üretilmesi kolaydır.
- Yüksek miktarda atık toz için uygundur.
- Paspayı aparatlarının kullanılması, donatı korozyonunu önler ve sıva-kaplama maliyetlerini düşürür (Billberg, 2005; Corradi, 2002).

2.3.2.2 KYB' nin dezavantajları

Dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Geleneksel betondan daha pahalı olması.
- Uygulama ve üretim için profesyonel kontrol süreci gerekmesi.

- Her yapılara uygulanacak özel karışım oranlarının ve taze betonun özelliklerinin tespit edilmesi için daha fazla zaman gerekir.
- Eksik standartlaşma.
- Akışkanlaştırıcıların etkileri.
- Lifli betonda kendiliğinden yerleşebilirlik sağlamak zordur çünkü pürüzsüz yüzeyler sıva tutmaz (Wu, 2005).

2.3.3 Taze KYB 'lerin işlenebilirlik gereksinimleri

EFNARC teknik komitesi, taze durumdaki KYB'lerin aşağıdaki özelliklere sahip olması gerektiğini önerdi (Brouwers & Radix, 2005):

Doldurma kabiliyeti: KYB'ler tüm kalıbın doldurulması ve hem dikey hem de yatay yönlerde homojenliğin korunmasıyla donatı ve diğer parçaların kapsüllenmesi esastır.

Geçme kabiliyeti: KYB 'ler, agrega parçacıklarının birbirine kenetlenmesinden kaynaklanan blokaj olmaksızın kalıbın dar kısımları, hatta yakın aralıklı donatılar vb. gibi kısıtlı alanlardan geçer.

Ayrışmaya karşı direnç: KYB 'ler karıştırma, taşıma ve döküm sırasında tekdüzelik sağlar. Ayrıca dinamik stabilitesi nedeniyle yerleştirme sırasında ayrışmaya karşı direnç sağlar. Ayrıca dökümden sonra yüzeyin ayrışmasına, akmasına ve çökmesine karşı direnç göstermesi statik stabilitenin bir nedenidir.

Yukarıda belirtilen üç önemli taze özelliğe ek olarak, aşağıdaki kriterlerin KYB 'ler tarafından karşılanması gerekir (Committe, 2006):

Hassasiyet ve Doğruluk: Elle malzeme taşıma ve sıkıştırma için genellikle hiçbir alet el altında olmayacağından, döküm tamamen malzeme özelliklerine bağlı olduğundan, KYB 'ler için hedef işlenebilirliği elde etmek daha önemlidir.

Pompalama Yeteneği: KYB 'lerin pompalanması çoğunlukla daha kolaydır. Taze betonun özel reolojik özelliklerine bağlı olarak pompalama basıncı ve besleme hızının optimize edilmesi gerekir.

Bitirme Yeteneği: KYB 'lerin genellikle daha az kanama eğilimi vardır. Bazı durumlarda bitirme işlemi daha kaba ve yapışkan bir yüzey üzerinde yapılacaktır. Bu nedenle bitirme takımlarında uygun malzemelerin kullanılması tavsiye edilir.

Üretilen betonlar beklenen işlenebilirlik gereksinimlerini karşılırsa aşağıdaki en önemli avantajlar elde edilebilir (Okamura & Ouchi, 2003):

- Daha hızlı inşaat.
- Sahadaki insan gücünde azalma.
- Geliştirilmiş yüzey kalitesi.
- Daha basit yerleştirme.
- Daha iyi dayanıklılık.
- Tasarımcıya daha fazla özgürlük verilmesi.
- Daha ince beton kesitler.
- Titreşim olmadan daha sessiz şantiye çalışması.
- Saha Güvenliğinin İyileştirilmesi

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

Bu çalışmalar, geri dönüştürülmüş agrega kullanılarak yapılan KYB'nin taze özellikleri açısından EFNARC kısıtlamalarını karşıladığını göstermektedir (S. EFNARC, 2005) .

Kredek ve diğerleri (2010), GDA'nın yüksek su emme özelliğinden dolayı karışıma ilave su ekleyerek farklı miktarlarda CGDA'nın KYB'nin bazı taze ve sertleşmiş özelliklerine etkisini bildirmiştir. Geri dönüştürülmüş agreganın ikame oranı arttıkça agreganın gözenekli iç yapısından dolayı betonun yoğunluğu azalır. Geri dönüştürülmüş iri agreganın %50 ve %100 ikame seviyelerinde sırasıyla %2,12 ve %3,40 oranında azalma elde edildi (Grdic ve ark., 2010) .

Vinay Kumar ve ark. (2016), kendiliğinden yerleşen beton (KYB) karışımlarında ince geri dönüştürülmüş beton agregası (İGDBA) ve kaba geri dönüştürülmüş beton agregası (KGDBA) kullanımını araştırdı. "Modifiye Nanso Yöntemi", beton karışımına 40 MPa hedef dayanımına sahip mineral katkı eklemek için kullanıldı. Çalışmada dört karışım incelenmiştir; bir kontrol karışımı (CM), orijinal agrega, %20 KGDBA, %20 İGDBA ve her ikisinin de %20 ikame seviyesi içeriyordu. KYB karışımının taze performansı, çökme akışı, T500 süresi, V-huni süresi, L-şekilli kutu yükseklik oranı ve GTM stabilite testleri aşağıdaki şekilde değerlendirildi. KGDBA ve İGDBA içeren KYB karışımları için %20'lik durgunluk akış testi sonuçları, EFNARC kabul kriterlerini az da olsa karşılamadı. Bununla birlikte, T500 süresi, V besleme hunisi süresi, L kutu en boy oranı ve GTM ekran stabilite testi sonuçları, dört karışımın tümü için belirtilen aralıktaydı. Küpün basınç dayanımını 3, 7 ve 28 gün boyunca ve silindirlerin ayırık çekme

dayanımını 28 gün boyunca test ettiler. Geri dönüştürülmüş beton agregası (GDA) içeren KYB karışımlarının CM'ye göre sertleşme özellikleri biraz daha yüksektir. Taze ve sertleşmiş özelliklere ilişkin test sonuçlarına dayanarak, %20 KYB'nin (KGDBA+İGDBA) tercih edilen katkı karışımı olduğu sonucuna vardılar. Karışım, sülfat ve asit etkilerine karşı dayanıklıdır. Na₂SO₄ ve H₂SO₄ çözeltilerine 30 gün daldırıldıktan sonra basınç dayanımlarının yaklaşık %11 ve %40 azaldığı bulundu (Vinay Kumar ve ark., 2017).

Pereira (2014) çalışmasında, beton yapıların yıkımından elde edilen geri dönüştürülmüş kaba agregayı kullanarak kendiliğinden yerleşen betonun (KYB) dayanıklılıkla ilgili performans sorunlarını ele almıştır. Amaç, geri dönüştürülmüş agreganın KYB'nin geçirgenlik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmaktır. Bu amaçla biri doğal iri agregaya referans alınarak, diğerleri ise %20, %40 ve %100 geri dönüştürülmüş iri agregaya kullanılarak dört farklı tipte beton karışımı üretildi. Ön işlem görmüş ve işlem görmemiş beton numuneleri üzerinde hava geçirgenliği, su geçirgenliği ve kılcal emme gibi betonun dayanıklılığına ilişkin özellikler belirlendi. Taze ve sertleşmiş betonun özelliklerinin sonuçları, doğal iri agreganın geri dönüştürülmüş iri agregaya ile değiştirilmesinin uygun olduğunu göstermiştir; Çünkü mevcut çalışma KYB'nin geçirgenlik özelliklerinde herhangi bir bozulma göstermedi (Pereira-de-Oliveira et al., 2014).

Corinaldesi and Moriconi (2003), geri dönüştürülmüş agregalarla üretilen KYB'nin test sonuçlarını bildirmiş ve özellikle doğal ince agregaya yerine kısmen geri dönüştürülmüş ince agregaya kullanıldığında, KYB'nin mekanik özelliklerinde bir azalma olduğunu belirtmiştir. Ancak iri geri dönüştürülmüş agregaya kullanılması durumunda elde edilen 28 günlük basınç dayanımı, yapısal betonun tatmin edici performansını gösterir (Corinaldesi & Moriconi, 2003) .

2.4 KYB Bileşenleri

KYB'nin daha küçük miktarlarda kaba agregaya ve daha büyük miktarlarda toz içermesi nedeniyle, KYB betonunun karışım oranları normal betondan farklıdır. Düşük dozlarda Viskozite değiştirici ajanların (VMA) makul dozlarda ve yüksek aralıktaki su azaltıcıların (HRWRA, süper akışkanlaştırıcılar) daha büyük miktarlarda kullanımı da KYB'lerde yaygındır.

KYB'ler için malzeme seçerken aşağıdaki sorular sıklıkla sorulur:

- Marjinal olarak uygun olmayan agregaların miktarına ilişkin sınırlamalar; yani ideal şekil ve boyutlardan sapanlar.
- Kimyasal katkı maddeleri türü, çimento ile etkileşimi ve uyumluluğu dikkate alınarak seçilmelidir.
- Betonun deforme olabilirliğini ve stabilitesini arttırmak için mineral katkıları kullanın.

2.4.1 Çimento

KYB üretiminde TS EN 197'ye uygun her türlü çimento kullanılmasının herhangi bir sakıncası yoktur. Çimento tipinin seçimi mukavemet, dayanıklılık . Çimentodaki C3A içeriğinin %10'un üzerinde olması işlenebilirliğin kötü olmasına neden olabilir. KYB üretiminde tipik çimento içeriği 350-450 kg/m³ olmalıdır. Karışımdaki 500 kg/m³'ü aşan çimento içeriği tehlikeli olabilir ve rötreyi artırabilir (F. EFNARC, 2002).

2.4.2 Agregalar

Geleneksel betonda kullanılan en büyük malzeme miktarı beton hacminin yaklaşık %70-80'ini oluşturan agregadır. Elbette betonun yaygın kullanımı nedeniyle agregalar kaynakları hızla tükenmektedir (Mefteh et al., 2013). Agregalar betonun ana bileşenlerinden biridir. Karışımda optimum miktarda agregalar kullanılması betonun dayanımı üzerinde olumlu etki yaratabilir (Y. Xie et al., 2005).

Beton karışımının kütlesi, betona boyutsal stabilite sağlayan agregalar tarafından işgal edilir. Agreganın çeşitli özellikleri arasında KYB'ler için önemli olanlar şekil ve derecelenmedir. Birçok araştırmacı, yerel olarak temin edilebilen agregalar ile kendiliğinden yerleşen beton üretmeyi başarmıştır. Bu çalışmalardan, köşeli agregalarla karşılaştırıldığında yuvarlak agregalar kullanıldığında, daha düşük çimento (veya ince tane) içeriğinde kendi kendine uyumluluğun elde edilebildiği gözlemlenmiştir (Mishima et al., 1999).

2.4.3 Kimyasal katkıları

KYB'de kimyasal katkı maddelerinin iki prensibi vardır: sentetik süper akışkanlaştırıcı (süper akışkanlaştırıcı) ve viskozite düzenleyici katkı maddesi (VMA). Tek tek de kullanılabilirler ancak daha sıklıkla birlikte kullanılırlar (Www et al., 2008).

Yüksek akışkanlık ve ayrışma direncine sahip KYB, yüksek Portland çimentosu içeriği, süper akışkanlaştırıcı ve viskozite değiştirici katkı maddeleri (VMA) kullanılarak elde edilir (Kamal Henri Khayat & Guizani, 1997).

2.4.3.1 Yüksek Oranda Su Azaltıcı Katkı (HRWRA)

Süperakışkanlaştırıcı, bir kombinasyonda ihtiyaç duyulan su miktarını azaltan bir karışım türüdür, bunun sonucunda akışkanlıkta belirgin bir artış olurken, viskozite üzerinde minimal bir etki yaratır (Okamura & Ouchi, 1998).

Süperakışkanlaştırıcının betona tek başına eklenmesinin birincil olumsuz etkisi, karışımın ayrılma ve akma eğilimi gösterebilmesidir. Bu sorunu önlemenin iki yolu vardır; karışım oranlarının değiştirilmesi ve viskozite değiştirici katkıların kullanılması. Aşırı vibrasyon durumunda normal olarak konsolide olan betonda da ayrışma meydana gelebilir (K. H. Khayat, 1998).

2.4.4 Mineral katkıları

Bu malzemeler genellikle diğer işlenmiş veya doğal malzemelerin yan ürünüdür. Betonda kullanıma yönelik başka işlemler olabilir veya olmayabilir

Bu malzemelerin bazılarını puzolanlar denir; bunlar kendi başlarına herhangi bir bağlayıcı özelliğe sahip değildir, ancak portland çimentosu ile kullanıldığında reaksiyona girerek çimentolu bileşikler oluşturur.

Beton sektöründe en sık kullanılan mineral katkı puzolandır. Amerikan Beton Enstitüsü'ne (ACI) göre puzolan, kendi başına bağlayıcılık değeri çok az olan veya hiç olmayan, ancak ince öğütülmüş formda ve nem varlığında normal sıcaklıklarda kalsiyum hidroksit ile kimyasal olarak reaksiyona giren silisli veya silisli ve alüminli malzemeler olarak tanımlanmaktadır. bağlayıcı özelliklere sahip bileşikler oluşturur.

Amerikan Beton Enstitüsü'ne (ACI) göre puzolan, "kendi başlarına bağlayıcılık değeri çok az olan veya hiç olmayan, ancak ince öğütülmüş formda ve nem varlığında kalsiyum hidroksit ile normal koşullarda kimyasal olarak reaksiyona giren silisli veya silisli ve alüminli malzemeler" olarak tanımlanır. Puzolanlar içerisindeki silisli ve/veya silisli-alümina bileşenleri, kalsiyum hidroksit ve su arasındaki kimyasal reaksiyon, ACI 231 tarafından tanımlanan puzolanik reaksiyon olarak adlandırılmaktadır (Güneyisi et al., 2004).

2.4.4.1 Uçuşu kül

Uçuşu kül, elektrik üretimi için termik santrallerde kömürün yakılmasının bir yan ürünüdür. Toz haline getirilmiş yakıt külü olarak da bilinir. Atmosfere verilmeden önce toz toplama sistemi tarafından yanma gazlarından ince partikül kalıntısı olarak uzaklaştırılır. Uçuşu kül, nem varlığında kalsiyum iyonlarıyla reaksiyona girerek silika hidratlar oluşturan meta-kararlı alümino-silikatlar içerir. (Berndt, 2009).

Uçuşu kül, yaklaşık 2.300 yıl önce bilinen en eski hidrolik çimentoların üretiminde kullanılan volkanik küllere çok benzer. Bu çimentolar, daha sonra "pozzolan" terimine adını veren küçük İtalyan kasabası Pozzuoli yakınlarında üretildi.

Puzolan, kireç ve su ile karıştırıldığında çimentolu bir bileşik oluşturan silisli veya silisli alüminli bir malzemedir.

Uçuşu kül dünyada en çok bilinen ve en yaygın kullanılan puzolanlardan biridir. Uçuşu kül, kömürden elektrik üreten termik santrallerin, tarım arazileri üzerindeki olumsuz etkileri, yüzey ve yer altı su kirliliği, toprak, hava kirliliği ve insanlığa verdiği hastalıklarla bilinen bir atık ürünüdür (Abed, 2015).

Termik santrallerde kullanılan kömürün kaynağı, yanma yöntemi, yanma ekipmanı ve kül toplama yöntemi gibi faktörler, uçuşu küllerin fiziksel özelliklerini ve kimyasal ve mineralojik bileşimlerini etkiler (Ashish & Verma, 2019) .

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 GİRİŞ

Doğal agregaya (DA) ve geri dönüştürülmüş agregaya (GDA) kullanılarak kendiliğinden yerleşen betonun (KYB) taze ve sertleşmiş özellikleri temel olarak iki bölümlü bir deneysel prosedürle incelenmiştir. KYB ilk olarak mineral ve kimyasal katkılarla birlikte doğal agregalardan yapılır. İkinci olarak, geri dönüştürülmüş kaba agregaya (KGDBA) ve geri dönüştürülmüş ince agregaya (IGDA), KYB'nin üretiminde kullanılır. KYB'nin tazelik özelliklerini belirlemek için çökme yayılma, T500 süresi, huni akış süresi ve kutu yükseklik oranı L testleri yapıldı. Mekanik özellikleri değerlendirmek için KYB'nin sertleşme özellikleri, basınç dayanımı (7, 28 ve 90 gün) ve sertleşmiş betonun yarıma dayanımı (7 ve 28 gün) test edildi. 28 günlük bir süre boyunca dayanıklılık testi de yapıldı ve emilim, geçirgenlik, gözeneklilik ve emilim oranları kontrol edildi.

3.2 GDBA Deneyleri

Araştırmada kullanılan geri dönüştürülmüş beton agregasının fiziksel ve mekanik özellikleri belirlendi. GDBA için basınç dayanımı testleri, yoğunluk testleri ve elektrik analizi testleri yapıldı.

3.2.1 GDBA basınç dayanımı deneyi

Bu çalışmada beton numunesinin basınç dayanımını belirlemek için 3 deney yapılmıştır. Yıkılan bir evin beton tavanından yaklaşık 30*30 cm ölçülerinde numune alındı. Birincisi: ASTM C597'ye göre ultrasonik iletim hızı testi yapıldı (American Society for Testing and Material, 2003). İkincisi: BS1881-202'ye göre Schmidt çekici testi kullanıldı (B. Standard, 1997). Üçüncüsü: Beton karot deneyi, bu deney ASTM C42'ye uygun olarak yapılmıştır (Drewno, 2008).

3.2.1.1 Ultrasonik iletim hızı deneyi

Ultrasonik ölçüm tahribatsız bir yöntemdir. Testin amacı yıkılmış betonun mukavemetini belirlemektir. Bu tahribatsız ölçüm yönteminin, tüm beton yapılarda ve test amacına hizmet eden yapılarda betonun kalitesini denetlemek için etkili bir araç olarak gerçekten önemli olduğu kanıtlanmıştır (Solís-Carcaño & Moreno, 2008).

UPV cihazı dalga darbeleri üreterek bunları betona iletir; Darbe alıcısından gelen dalgaları, ASTM C597 test yöntemine göre darbenin beton boyunca ilerlemesi için geçen süreyi dikkate alarak kaydeder ve görüntüler. Şekil 3.1 bu testi göstermektedir.

Ultrasonik iletim hızını hesaplamak için Denklem 3.1 kullanıldı. Denklem 3.1'de V, Ultrasonik iletim hızıdır (km/s), L; Alıcı ve verici sensörler arasındaki mesafe (km), T; Ses dalgalarının geçiş süresini (saniye cinsinden) gösterir.

$$V = L / T \dots\dots\dots(3.1)$$

3.2.1.2 Schmidt yüzey sertliği deneyi

Geri tepme çekici testi olarak da bilinen Schmidt yüzey sertliği testi, kaya kalitesindeki malzemeleri, yüzey geri tepme sertliğinin basınç dayanımıyla ilişkisini dikkate alarak değerlendirmek için tahribatsız ve yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Amasaki, 1991).

Yukarıdaki aynı numune için bir test yapılması seçilmiştir. bir noktadan diğerine 25 mm mesafede 15 okuma yapıldı. beton yüzeyi dikkatlice temizlendi ve test yüzeyi cilalanarak pürüzsüz ve kullanıma hazır hale getirildi. daha sonra çekici yüzeye doğru iterek sabit bir kuvvet uygulandı. çarpmanın ardından geri tepme okumaları (R) kaydedildi ve ortalama okumalar alındı. Şekil 3.2 bunu göstermektedir.

Yıkılmış betonun basınç dayanımını hesaplamak için Denklem (3.2) kullanıldı.

Araştırmacılar (Issam ve diğerleri), 161 kübik numunenin basınç dayanımını (150*150) mm hesaplamak için aşağıdaki denklemi buldular. Aynı numuneler için bir ultrason deneyi, bir Schmidt çekici deneyi ve bir basınç deneyi kullandılar. Araştırmacılar ultrason ve Schmidt çekicini birleştiren denklem 3.2'e güvendiler. Yıkılmış betonun basınç dayanımını hesaplamak için aşağıda denklem 3.2 verilmiştir (Nash't et al., 2005).

$$FC = 0.356R^{0.866}e^{0.302V} \dots\dots\dots(3.2)$$

FC: Sıkıştırma kuvveti, N/mm², V: Ultrasonik aktarım hızı, (km/s), R: Dönüş sayısı.

3.2.1.3 Beton Karot deneyi

Bu deney ASTM C 42'ye göre gerçekleştirildi. Karotlu delme, gelen betondan elde edilen taze beton test sonuçlarının uygun olmaması durumunda, gelen betonun kalitesini belirlemek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu testin amacı yıkılmış beton atıklarının basınç dayanımını belirlemektir. Yukarıdan aşağıya dikey yönde 10 cm çapında iki numune alındı. Numuneler laboratuvarında 20 cm boyunda kesilerek kenarları

demir testeresi kullanılarak düzeltildi. Numuneler laboratuvardaki su banyosunda en az 48 saat süreyle tutulur. Numuneleri sudan çıkarın ve bir bezle silin. Daha sonra bir basınç test cihazına yerleştirildi. Çekirdek örnekleme Şekil 3.3'te gösterilmektedir (Drews, 2008).



Şekil 3.1. Ultrases geçiş hızı deneyi yapıışı.



Şekil 3.2. Schmidt yüzey sertliği deneyi.



Şekil 3.3. Karot numunelerinin alınması.

3.2.2 Geri dönüştürülmüş agreganın paketleme yoğunluğunun deneyi

Araştırmacılar Prakash ve Manu 'nun yöntemini kullanarak, ASTM C29'da açıklanan test prosedürünün değiştirilmiş bir versiyonunu kullanarak agregaların paketleme yoğunluğunu belirlediler. Amacı, kendiliğinden yerleşen beton üretiminde kullanılan agreganın en iyi yoğunluğunu elde etmektir. Bina betonu atıklarının ezilmesiyle elde edilen geri dönüştürülmüş beton agregasının paketleme yoğunluğu deneysel olarak belirlenir (Nanthagopalan & Santhanam, 2012).

Şekil 3.4, agrega paketleme yoğunluğunu belirlemek için yapılan test düzeneğini göstermektedir. Üst çapı 340 mm, alt çapı 140 mm ve yüksekliği 310 mm olan çelik bir kovadan oluşur. Kovanın alt kısmında, agreganın düşmesini yönlendirmek için hızlı serbest bırakma mandalına sahip, güvenli bir şekilde monte edilmiş menteşeli bir kapak bulunur. Kova bir standın üzerinde duruyor. Çelik kovadan düşen agreganın alınması için 270 mm çapında (maksimum agrega boyutu 20 mm) 10 L kapasiteli silindirik kap

kullanılmıştır. Çelik kovanın alt kısmından silindirik kovanın tepesine kadar olan mesafe konteyner 200 mm idi. Bu çalışmada iki farklı boyutta iri geri dönüştürülmüş agrega (maksimum boyut 12,5 mm ve maksimum boyut 20 mm) ve ince geri dönüştürülmüş agrega (maksimum boyut 4,75 mm) kullanılmış olup, test prosedürü aşağıdaki gibidir.

- ❖ Adım 1: 12 litre geri dönüştürülmüş iri agrega (maksimum boyut 12,5 mm ve maksimum boyut 20 mm) ve eşdeğeri ince geri dönüştürülmüş agrega alındı. Her agrega tipinin ağırlığı hacimsel oranlara göre alındı (Bkz. Şekil 3.3).
- ❖ Adım 2 Uygun bir karışım elde etmek için üç tip agrega elle karıştırıldı.
- ❖ Adım 3 Karıştırılan agrega üstteki çelik kovaya hiçbir basınç uygulanmadan döküldü. Daha sonra çelik kovanın alt kapısı açılarak agreganın hemen alt konteynere düşmesi sağlandı.
- ❖ Adım 4 -Alt silindirin üst seviyesinin üzerindeki fazla agrega kaldırılır. Silindirin kütlesi, agrega doldurulmuş haldeyken ölçülmüş ve alt kapta doldurulan kompakt agreganın tam miktarını belirlemek için silindirin boş ağırlığı düşülmüştür.

Boşluk içeriği, eklenen bireysel agrega tipinin kütlesi ve kabın hacmi bilinerek hesaplandı. Agreganın paketleme yoğunluğu boşluk içeriğinden hesaplandı. Boşluk içeriğini ve paketleme yoğunluğunu hesaplamaya yönelik denklemler aşağıdaki gibidir:

$$\text{Boşluk içeriği} = (V_c - ((M_1/S_1) + (M_2/S_2) + (M_3/S_3))) / V_c \dots \dots \dots (3.3)$$

Burada V_c kabın hacmidir; M_1 , M_2 , M_3 her agrega tipinin kütlesidir; S_1 , S_2 , S_3 karşılık gelen agrega tipinin özgül ağırlığıdır.

$$\text{Paketleme yoğunluğu} = 1 - \text{boşluk içeriği} \dots \dots \dots (3.4)$$

Farklı oranlardaki gruplar üzerinde (boyutlarına bağlı olarak) deneyler yapıldı. 20 farklı kombinasyon seçildi. (3.3) ve (3.4) denklemlerine göre Geri dönüştürülmüş agreganın paketleme yoğunluğu belirlendi. Agregaların fiziksel özellikleri ve tane büyüklüğü dağılımı sırasıyla Çizelge 3,1 ve 3,2'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Geri dönüştürülmüş ince ve iri agreganın elek analizi sonuçları.

Elek Boyutu (mm)	İnce agrega Geçen yüzde (%)	12,5 mm İri agrega Geçen yüzde (%)	19 mm İri agrega Geçen yüzde (%)
25	100.00	100.00	100.00
20	100.00	100.00	95.47
16	100.00	95.45	83.66
12.5	100.00	94.60	68.52
10	100.00	49.36	39.87
6.3	100.00	20.19	26.76
4.75	99.63	9.01	2.80
2.36	81.50	0.00	0.00
1.18	57.11	0.00	0.00
0.6	30.08	0.00	0.00
0.3	12.10	0.00	0.00
0.075	4.46	0.00	0.00

Çizelge 3.2. Geri dönüştürülmüş beton agreganın fiziksel özelliklerinin sonuçları.

Özellikler	İnce agrega	12,5 mm İri agrega	19 mm İri agrega
Özgül ağırlık	2,35	2,5	2,49
Su emme (%)	9,27	4,18	4,29
Yığın yoğunluğu (g/cm ³)	1,22	1,23	1,25
Geçersiz içerik (%)	43.4	48.6	47.5



Şekil 3.4. Agrega paketleme yoğunluğu deneyinde kullanılan, geri dönüştürülmüş iri agregata (19 mm ve 12,5 mm) ve geri dönüştürülmüş ince agregata.



Şekil 3.5. Agrega paketleme yoğunluğunu belirlemek için test kurulumu.

Çizelge 3.3. Karşılık gelen paketleme yoğunluğuna sahip agrega oranları.

Sıra	İnce agrega (% hacim)	12,5 mm maksimum boyut (% hacim)	20 mm maksimum boyut (% hacim)	Deneysel paketleme yoğunluğu
1	100	0	0	0.72
2	0	100	0	0.53
3	0	0	100	0.54
4	70	30	0	0.69
5	70	0	30	0.67
6	30	70	0	0.65
7	30	0	70	0.64
8	60	20	20	0.70
9	45	10	45	0.69
10	40	20	40	0.67
11	20	40	40	0.62
12	20	30	50	0.66
13	20	20	60	0.66
14	0	40	60	0.58
15	10	40	50	0.61
16	0	50	50	0.59
17	0	60	40	0.61
18	0	70	30	0.63
19	10	45	45	0.60
20	10	30	60	0.57

İri geri dönüştürülmüş agreganın boyut oranlarından (19 mm ve 12,5 mm) 20 adet numune hazırlanmıştır. Hacim oranı seçilmiştir (19 mm agreganın %30'u ve 12,5 mm agreganın %70'i). Bu bize 0,63'lük en iyi genel paketleme yoğunluğunu verir. Bu hacimsel oranlara dayanarak geri dönüştürülmüş beton agregası hazırlandı. Boyut olarak (12,5 mm ve 19 mm) geri dönüştürülmüş beton agreganın hacimsel yüzdeleri, her bir karışım için paketleme yoğunluğu sonuçlarıyla birlikte Çizelge 3.3'te gösterilmektedir.

3.3 Kullanılan Malzemeler

3.3.1 Çimento

Bu araştırmada, tüm KYB karışımlarında kullanılan çimento, ASTM Tip I sınıfına uygun sıradan Portland çimentosu CEM I 42,5 R (PC) olup, Irak MAS Şirketi tarafından üretilmiştir. Çimento üreticisinin bildirdiği fiziksel ve kimyasal analizleri gösteren veriler Çizelge 3.4'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.4. Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri.

Kimyasal Özellikler (%) (ASTM'ye göre)	Ç
CaO	31,02
SiO ₂	20,30
Al ₂ O ₃	2,66
Fe ₂ O ₃	3,1
MgO	3,19
SO ₃	3,60
C ₃ S	7,70
Kızdırma Kaybı	3,11
L.S.F	0,911
C ₃ S	20,45
C ₂ S	20,53
C ₄ AF	9,40
Fiziksel ve mekanik özellikleri (ASTM'ye göre)	
Özgöl ağırlık	3,15
Özgöl yüzey alanı (m ² /kg)	300
Basınç dayanımı kg/cm ³	
3gün	157
7gün	252
Vicat İğne İle Zamani Ayarlama	
Priz başi (saat-dk)	2sa-10dk
Priz sonu(saat-dk)	2sa-10dk

3.3.2 Uçucu kül

Bu araştırmada kullanılan uçucu kül (UK) F sınıfıdır ve ASTM C618'e uygundur. EUROBUILD'den ticari olarak elde edilmiştir. Özgöl yoğunluğu 2,25 g/cm³, özgöl yüzey alanı ise 3600 cm²/g'dır. UK'nın kimyasal ve fiziksel analizi Çizelge 3.5'de gösterilmektedir.

Çizelge 3. 5. Uçucu külün kimyasal ve fiziksel özellikleri.

Kimyasal özellikler (%)	UK
SiO ₂	48,43
Al ₂ O ₃	17,15
Fe ₂ O ₃	11,96
CaO	15,48
MgO	1,35
K ₂ O	0,41
Na ₂ O	0,002
TiO ₂	2,68
P ₂ O ₃	0,4
Mn ₂ O ₃	0,17
So ₃	0,82
Sro	0,2
Kızdırma Kaybı	1,47
Fiziksel Özellikler	
Özgül ağırlık g/cm ³	2,25
Özgül yüzey cm ² /gr	3600

3.3.3 Süperakışkanlaştırıcı

Sika -ViscoCrete-180 GS, Sika'nın 'ViscoCrete' polikarboksilat polimer teknolojisini (3. Nesil) kullanan Beton ve Harç için yüksek oranda su azaltıcı, Geciktirici, Çökme tutucu ve süper akışkanlaştırıcı katkıdır.

Bu çalışmada özgül ağırlığı 1,07, pH değeri 5,7 olan polikarboksilik eter (SP) tipi bir süperakışkanlaştırıcı (ViscoCrete-180 GS) kullanılmıştır. Tüm karışımlarda, karışımda kullanılan tozun toplam ağırlığının %1,7'si oranında süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Süperakışkanlaştırıcının özellikleri Sika tarafından belirtildiği üzere Çizelge 3.6'da gösterilmektedir.

Çizelge 3.6. Süperakışkanlaştırıcı katkı maddesinin teknik özellikleri.

Özellikler	Süper akışkanlaştırıcı
İsim	Sika-ViscoCrete-180 GS
Renk tonu	Açık kahverengimsi sıvı
Durum	sıvı
Özgül ağırlık (kg/l)	1.070 ± (0.005) g/cm ³
PH değeri	4-6
Toplam klorür iyonu içeriği	Sıfır
Kimyasal açıklama	Polikarboksilat polimer teknolojisi (3. Nesil).
Önerilen doz	(% 1-1,8) ağırlıkça Bağlayıcı.

3.3.4 Karışım suyu

Bu çalışmada KYB beton karışımlarının tamamında içme suyu kullanılmıştır. Betonun kürlenmesi için 28 gün boyunca musluk suyu kullanıldı.

3.3.5 Doğal Agregası

Tez çalışmasında iri agregası olarak maksimum 19 mm boyutundaki doğal nehir çakılı kullanılmıştır. Bu agreganın özgül ağırlık değerleri doymuş ve yüzey kuru (SSD) durumda 2,62'dir. İnce agregası olarak maksimum 5 mm boyutunda doğal nehir kumu kullanıldı. Doğal kumun özgül ağırlığı doymuş ve yüzey kuru (SSD) durumda 2,65'tir. İnce ve kaba agreganın tane boyutu dereceleri ve fiziksel özellikleri sırasıyla Çizelge 4.3,4.4 ve 4.5'te gösterilmektedir.

3.3.6 Geri dönüştürülmüş beton agregası

Bu tezde maksimum 19 mm boyutunda geri dönüştürülmüş beton agregası kullanılmıştır. Bu, geri dönüştürülmüş agreganın paketleme yoğunluğu testinin gerçekleştirilmesinden sonra elde edildi (%30 hacimsel oran 12,5 mm ve %70 hacim oranı 19 mm). Bu iri agreganın özgül ağırlığı doymuş ve yüzey kuru (SSD) durumda 2,49'dur. Maksimum 5 mm boyutunda geri dönüştürülmüş beton agregası (ince) kullanıldı. Bu inçe agreganın doymuş yüzey kurutma (SSD) koşullarında özgül ağırlığı 2,35'tir. Çizelge 4.3, 4.4 ve 4.5, tezde kullanılan geri dönüştürülmüş ince ve kaba beton

agregasının fiziksel özelliklerini ve tane boyutu derecelerini göstermektedir. Doğal agrega ve geri dönüştürülmüş beton agregası Şekil 3.6'te gösterilmektedir.



Şekil 3. 6. Kullanılan agrega türleri.

3.4 Beton Karışım Oranları

Tez çalışmasında maksimum 19 mm boyutunda geri dönüştürülmüş iri agrega (KGDBA) kullanılmıştır. NKA yerine %15, 30 ve 45'teki GDBA kullanıldı. Doğal ince agrega (NİA) yerine maksimum 5 mm boyutunda %10 ve %20 oranında geri dönüştürülmüş ince agrega (İGDBA) kullanıldı. Su/çimento oranı 0,35 olan on adet kendiliğinden yerleşen beton karışımı üretildi. Beton karışım oranınının (w/b) tasarımında tüm karışım oranları için 0,35 sabit olarak alınmıştır. Toplam çimento bileşen içeriği 456 kg/m³'tür. Sıradan Portland çimentosununun ağırlıkça %20 uçucu külü (F) kullanıldı. Toz

malzemenin %1,7'sında bir tip süper akışkanlaştırıcı (Sika VisoCrete-180G) kullanıldı. Çizelge 3.7'de bu çalışmada kullanılan miktarlar ve karışım oranları gösterilmektedir.

Çizelge 3. 7. Kendiliğinden yerleşen beton için karışım oranları (kg/m³).

Numune Kodu	S/B	Su(kg)	Çimento (kg)	Uçucu kül(kg)	İnce agrega (KG)		İri agrega (KG)		Sp. %1,7/B
					DA	GDA	DA	GDA	
KB	0.35	160	380	76	790	0	895	0	7.75
M0015	0.35	160	380	76	790	0	760.75	134.25	7.75
M0030	0.35	160	380	76	790	0	626.5	268.5	7.75
M0045	0.35	160	380	76	790	0	492.25	402.75	7.75
M1015	0.35	160	380	76	711	79	760.75	134.25	7.75
M1030	0.35	160	380	76	711	79	626.5	268.5	7.75
M1045	0.35	160	380	76	711	79	492.25	402.75	7.75
M2015	0.35	160	380	76	632	158	760.75	134.25	7.75
M2030	0.35	160	380	76	632	158	626.5	268.5	7.75
M2045	0.35	160	380	76	632	158	492.25	402.75	7.75

3.5 Yapılan Deneyler

Geri dönüştürülmüş ve doğal ince ve kaba agregalar doymuş ve yüzey kurutma yöntemiyle hazırlanmıştır. Spiral karıştırıcıya iri ve ince agrega konur. Mikser bir dakika çalıştırıldıktan sonra çimento ve uçucu kül karıştırılarak bir dakika daha çalıştırılır. Daha sonra süperakışkanlaştırıcı ve yeterli miktarda su karıştırılarak üç dakika karıştırıldı. Şekil 3.7 bunları göstermektedir. Betonun bir dakika yerinde bıraktıktan sonra KYB için yeni testler yapıldı. KYB üretiminde karıştırma sırası ve süresi kritik öneme sahiptir. Bu, tüm karışımlarda aynı tutarlılığın ve homojenliğin sağlanması için yapılır (K H Khayat, 1998).

Deneyler kalıba yerleştirilen taze beton üzerinde yapılmış olup, KYB betonuna herhangi bir sıkıştırma veya titreşim işlemi uygulanmamıştır. Kalıp yzeyindeki fazla beton tesviye edilerek uzaklaştırıldı. Kalıbın zeri naylonla kapatıldıktan 24 saat sonra kalıplar çıkarılarak numuneler laboratuvardaki su tanklarına yerleştirildi. Şekil 3.8'de gösterildiği gibi. Tazelik, mekanik ve dayanıklılık testlerinin detayları aşağıdaki bölümlerde verilmektedir.



Şekil 3.7. Betonun malzemeleri ve Şekli.



Şekil 3.8. Kalıptaki ve laboratuvar havuzundaki numunelerin resimleri.

3.5.1 Agrega Deneyleri

3.5.1.1 Elek Analizi Deneyi

Doğal agreganın (ince ve kaba) ve geri dönüştürülmüş beton agregasının (ince ve kaba) elek analizi ASTM C33-03'e göre yapıldı. Numuneler 110°C sıcaklıktaki fırında 24 saat bekletilir. Daha sonra kuru agreganın elek analizi yapılmıştır. Elek analizi deneyinin sonuçları Çizelge 4.3, ve 4.4'te gösterilmiştir (Megasari & Winayati, 2017).

3.5.1.2 İnce Agreganın Bağlı Yoğunluğu (Özgül Ağırlık) ve Emiciliği

Bu test ASTM C 128-15'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bu test yöntemi, ince agreganın (doğal ve geri dönüştürülmüş) bağlı yoğunluğunun (özümlü ağırlık) ve emiciliğinin belirlenmesini kapsar.

Her iki tip ince agreganın numunesi D75 Şartnamesine göre alınmıştır. Numune iyice karıştırıldı ve Şartname C702'de açıklanan uygulanabilir prosedürler kullanılarak 1 kg'lık bir test numunesi elde etmek üzere indirildi.

1 kg ağırlığında numune alınıp, yıkanarak toz ve askıda kalan maddeler uzaklaştırılmış ve gözeneklerin doldurulması için 24 saat boyunca doğrudan suya konulmuştur. Kum tanelerinin kaybolmaması için su dikkatlice boşaltılmış, daha sonra kum düz, düz olmayan bir zemin üzerine yayılmıştır. Nem emici yüzey ve kum sallanırken bir yandan diğer yana döndürülür. Kuru hava akışı. Daha sonra suya doymuş kum ve kuru bir yüzey elde etmek için bağlı nemi kontrol edin. Yüzey kuru suya doygunluk durumu koni yöntemiyle belirlendi. Piknometreyi kısmen (yaklaşık üçte biri) suyla doldurun. 500 gram agrega (SSD) ağırlığında bir numune alınır ve toplam kapasitesinin %90'ı kadar piknometrenin içine yerleştirilir. Numune döndürülerek, ters çevrilerek hava kabarcıklarından arındırılır ve (15-20) dakika boyunca kabın elle çalkalanması. Daha sonra piknometre tam kapasitesine kadar doldurulur ve ağırlık (W1) hesaplanır (piknometrenin kum ve su ile dolu ağırlığı). Kum, piknometreden çıkarılır, fazla su alınır, 110 santigrat derece sıcaklıktaki fırında kurutulur, ardından soğutulur ve tartılır (WOD). Piknometrenin ağırlığı su dolu ve kumsuz olarak hesaplanır (W2). Görünür ağırlık (W_{apparent}), çıkarma sonucuna (w₁ - w₂) eşittir. deneyin sonuçları Çizelge 4.5'da gösterilmektedir (Astm-C128-97, 2007) .

3.5.1.3 İri agreganın bağıl yoğunluğu (özgül ağırlık) ve emiciliği

ASTM C 127-15'e uygun olarak gerçekleştirilen bu test yöntemi, kaba agreganın bağıl yoğunluğunun (özgül ağırlık) ve absorbansının belirlenmesini içerir. Her iki tip kaba agregadan da (doğal ve geri dönüştürülmüş) D75 spesifikasyonlarına göre numune alınmıştır. Numune iyice karıştırıldı ve Şartname C702'de açıklanan uygulanabilir prosedürler kullanılarak 3 kg'lık bir test numunesi elde etmek üzere indirildi.

3 kilogram ağırlığındaki kaba agregadan (doğal ve geri dönüştürülmüş) bir numune alındı, toz ve askıda kalan malzemeleri temizlemek için yıkandı ve gözenekleri doldurmak için 24 saat boyunca doğrudan suya yerleştirildi. Daha sonra teraziye bağlı delikli tel sepete konularak su altında tartılır. Tartılmadan önce sepet su altında iyice çalkalanarak hava kabarcıklarının çıkması sağlanır. Ortaya çıkan ağırlık (W1), sepetin ağırlığı ile çakılın su ağırlığına eşittir. (W2) agregasız su içeren sepetin ağırlığı olarak hesaplanır. (W2-W1)'e eşit olan görünür ağırlık (çakılın sudaki ağırlığı) hesaplanır. İri agreganın yüzeyi tamamen kuruyana kadar bir bezle kurutulur, ardından tartılır (WSSD). Alınıp 100 derecelik fırında 24 saat kurutulduktan sonra soğutulur ve (WOD) tartılır. deneyin sonuçları Çizelge 4.5'da gösterilmektedir (Ag- & Statements, n.d.).

3.5.1.4 Birim Ağırlık deneyi

ASTM C 29/C 29M – 97'ye uygun olarak gerçekleştirilen bu test yöntemi, dökme agreganın yığın yoğunluğunun (birim ağırlık) belirlenmesini ve ince, iri veya karışık agregada hesaplanan parçacıklar arası boşlukların belirlenmesini kapsar. Her iki tip kaba ve ince agregadan (doğal ve geri dönüştürülmüş) D75 spesifikasyonlarına göre numune alındı. Numune iyice karıştırıldı ve Şartname C702'de açıklanan uygulanabilir prosedürler kullanılarak 3 kg'lık bir test numunesi elde etmek üzere indirildi. Numuneler 110 santigrat derece sıcaklıktaki fırında kurutuldu ve silindiri doldurmak için gereken suyun ağırlığı belirlenerek ölçüm silindirinin hacmi belirlendi. Buna göre silindir hacmi aşağıdaki gibi hesaplandı. Silindiri doldurmak için gereken suyun ağırlığını (kg), suyun yoğunluğuna (1000 kg/m³) bölerek. Silindir boşken tartılır ve daha sonra basınçsız olarak kademeli olarak agrega ile doldurulur, fazlası bir çubukla alınır ve doldurulduktan sonra tartılır. Net agrega ağırlığını (kg) silindir hacmine (m³) bölerek kütle yoğunluğunu elde ederiz. deneyin sonuçları Çizelge 4.5'da gösterilmektedir (ASTM C29/C29M-07, 2009).

3.5.2 Taze Beton Deneyleri

Betonun akıcı, deforme olabilir ve minimum KYB gerekliliklerini karşıladığından emin olmak için tüm beton karışımlarının taze özellikleri aşağıdaki testler yapılarak değerlendirildi.

3.5.2.1 Çökme-yayılma ve T_{500} deneyi

Çökme akışını ölçmek için sıradan bir çökme akış konisi herhangi bir sıkıştırma olmadan KYB'lerle doldurulur ve düzleştirilir. Koni kaldırılır ve ortaya çıkan beton yayılımının ortalama çapı Şekil 3.9'te görüldüğü gibi ölçülür. EFNARC'a göre sıkıştırılacak bir beton için 55 cm ile 85 cm arasında değişen bir çökme akış değeri (Hama & Hilal, 2017).

Bu çalışmada tüm karışımların çökme akış çapı (600-730) mm civarında sabit tutulmuştur. Çökme akış testinde betonun 500 mm'lik yayılma dairesine ulaşması için geçen süreyi belirleyen süre (T_{500}) de ölçüldü. Daha düşük bir süre daha fazla akışkanlığın göstergesidir. EFNARC bir KYB'ler için 2 ila 5 saniyelik bir T_{500} önermektedir(Hama & Hilal, 2017). Çizelge 3.8'de (EFNARC 2005) KYB betonunun parametreleri gösterilmektedir.



Şekil 3.9. T_{500} ve çökme-yayılmanın deneyinin yapılışı.

Çizelge 3.8. Çökme akışı, viskozite ve geçme yeteneği sınıfları (EFNARC 2005).

Class	Slump flow diameter (mm)	
Slump flow classes		
SF1	550-650	
SF2	660-750	
SF3	760-850	
Class	T ₅₀ (s)	V-funnel time (s)
Viscosity classes		
VS1/VF1	≤2	≤8
VS2/VF2	>2	9-25
Passing ability classes		
PA1	≥ 0.8 with two rebar	
PA2	≥ 0.8 with three rebar	

3.5.2.2 V Hunisi Akış Süresi

Karışımların doldurma yeteneğinin ve viskozitesinin değerlendirilmesinde, Şekil 3.10'te gösterildiği gibi V-Huni testi yapıldı. Doldurma süresi, huninin tamamen taze betonla doldurulduğu basit bir prosedür kullanılarak belirlenir ve akış süresi, deliğin açılması ile huninin tamamen boşaltılması arasındaki süre olarak ölçülür. İyi doldurulabilen ve stabil betonun akması kısa sürede gerçekleşir. EFNARC'a göre, 6 ile 12 saniye arasında değişen T(V-H) KYB'ler için yeterli kabul edilmektedir (Hama & Hilal, 2017).



Şekil 3.10. V-hunisi deneyinin yapılışı.

3.5.2.3 L-kutusu testi

L-kutusu cihazı, ön tarafında takviye çubuğu için dikey bölümlerin sağlandığı, hareketli bir kapıyla ayrılan dikey ve yatay bölümlere sahip dikdörtgen "L" şeklinde bir kutudan oluşur (Şekil 3.11). Dikey bölüm betonla doldurulur ve ardından kapı kaldırılarak betonun yatay bölüme akması sağlanır. Akış durduğunda yatay kesitin sonundaki betonun yüksekliği, düşey kesitte kalanın oranı olarak belirlenir. Bu, geçilebilirliğin veya betonun çubuklar arasından geçişinin sınırlı olduğunun bir işaretidir. EFNARC'a göre tipik uyum değerleri 0,8 ile 1,0 arasında değişmektedir (Hama & Hilal, 2017).



Şekil 3.11. L-kutusu deneyinin yapılışı.

3.5.2.4 Birim Ağırlık Deneyi

Taze betonun KYB için yoğunluk testi ASTM-C138'e uygun olarak yapılır. Bu test yöntemi, taze karıştırılmış betonun yoğunluğunun belirlenmesini içerir ve betondaki agrega, çimento içeriği ve hava içeriğini hesaplamak için formüller verir. Taze beton basınç ve titreşim olmadan kalıba yerleştirildi ve kalıptaki betonun ağırlığı (W1) alındı. Kalıbın boş ağırlığı (W2) alındı. Taze betonun yoğunluğu Denklem 3.5'ten hesaplanır.

$$D = \frac{W1-W2}{V} \dots \dots \dots (3.5)$$

D: Taze betonun yoğunluğu kg/m³, W1: Kalıplı betonun ağırlığı (kg), W2: Boş kalıbın ağırlığı (kg), V: Kalıbın hacmi (m³).

3.5.3 Sertleştirilmiş Beton Deneyleri

3.5.3.1 Basınç Dayanımı Deneyi

BS 1881-116'ya uygun olarak 150 x 150 mm'lik beton küpler için basınç dayanımı testleri yapıldı. Laboratuvar havuzunda kürlendikten sonra 7, 28 ve 90 günlük üç küp için ortalama basınç dayanımı değerleri alındı. Yükleme hızı (0,2) MPa/s tüm beton karışımları için sabitti (Hover, 2005). Beton küpler Şekil 3.12'de gösterilmektedir.



Şekil 3.12. Betonun basınç dayanımı deneyinin yapılışı.

3.5.3.2 Yarmada-Çekme Dayanımı Deneyi

Yarılma gerilme mukavemetinin belirlenmesi genellikle BS 1881-117 ya uygun olarak gerçekleştirildi. Her karışım için üç adet 150x150 mm'lik küpler 7 ve 28 günlükken test edildi. Çekme mukavemeti aşağıdaki denklemle hesaplandı (3.6). Çekme ve yarma mukavemeti testlerinin resimleri Şekil 3.13'da gösterilmektedir.

$$F_{ctk} = \frac{2P}{\pi a^2} \dots\dots\dots (3.6)$$

Denklem 3.6'deki, f_{ctk} : Yarmada çekme dayanımını (MPa), P : Küpün üzerine uygulanan basınç (N), a : Küpün uzunluğu (mm) ifade etmektedir(BSI, 1983).



Şekil 3.13. Betonun yarmada-çekme dayanımı deneyinin yapılışı.

3.5.3.3 Görünen Porozite, Ağırlıkça Su Emme Deneyi

Bu çalışmada bu deney ASTM C 642-13'e uygun olarak yapılmıştır. Deney, sertleşmiş betonda yoğunluğun, emme oranının ve boşluk oranının belirlenmesini kapsamaktadır. Bu, KYB'nin dayanıklılık özelliklerini doğal agrega ve geri dönüştürülmüş agrega ile karşılaştırmak için çok faydalıdır. Şekil 3.14 bunu göstermektedir. Aşağıda uygulanan çalışma adımları verilmiştir (Density Absorption and Voids in Hardened Concrete C 642.Pdf, n.d.).

İlk adım: Laboratuvar havuzundan 150*150 mm ebadında 3 adet küp numune alınır. Daha sonra 48 saatten az olmayan bir süre boyunca 110°C sıcaklıktaki bir fırında kurutuldu. Daha sonra fırından çıkarılır ve laboratuvarda 20 ila 25 santigrat derece arasında değişen bir sıcaklığa soğumaya bırakılır. Fırın kuru kütlesi (A) belirlenir.

İkinci Adım: Daldırma sonrasında doymuş kütlenin belirlenmesi Numune, en az 48 saat boyunca yaklaşık 21°C sıcaklıktaki suya batırıldı. Numune yüzeyi bir havluyla yüzeydeki nem alınarak kurutulur ve kütle belirlenir. Daldırma sonrasında yüzeyde kuruyan son kütleyi belirleyin (B).

Üçüncü adım: Kaynatma sonrası doymuş kütle belirlendi. Numune, üzeri musluk suyuyla kapatılmış uygun bir kaba konularak 5 saat kaynatıldı. Daha sonra, nihai sıcaklığı 20 ila 25°C'ye ulaşana kadar en az 14 saat boyunca doğal ısı kaybıyla soğumaya bırakıldı.

Yüzey nemi bir havluyla uzaklaştırıldı ve numunenin kütlesi belirlendi. Islatılmış, kaynatılmış ve yüzeysel olarak kurutulmuş kütle (C)'dir.

Dördüncü Adım: Görünen batık kütle belirlendi. Numuneyi suya batırıp kaynattıktan sonra tel ile askıda bıraktım ve sudaki görünür kütle (D) olarak belirlendi. Aşağıdaki denklemler kullanıldı.

$$\text{Daldırma sonrası emilim\%} = \left[\frac{(B-A)}{A} \right] * 100 \dots \dots \dots (3.7)$$

$$\text{Daldırma ve kaynatma sonrası emilim\%} = \left[\frac{(C-A)}{A} \right] * 100 \dots \dots \dots (3.8)$$

$$\text{Yığın yoğunluğu, kuru} = \left[\frac{A}{(C-D)} \right] * \rho \dots \dots \dots (3.9)$$

$$\text{Daldırma sonrası kütle yoğunluğu} = \left[\frac{B}{(C-D)} \right] * \rho \dots \dots \dots (3.10)$$

$$\text{Daldırma ve kaynatma sonrası kütle yoğunluğu} = \left[\frac{C}{(C-D)} \right] * \rho \dots \dots \dots (3.11)$$

$$\text{Görünür yoğunluk} = \left[\frac{A}{(A-D)} \right] * \rho \dots \dots \dots (3.12)$$

$$\text{Geçirgen gözenek alanının hacmi (boşluklar)\%} = \left[\frac{(C-A)}{(C-D)} \right] * 100 \dots \dots \dots (3.13)$$

A = havada fırında kurutulmuş numunenin kütlesi, g

B = daldırmadan sonra havada kuruyan yüzey numunesinin kütlesi, g

C = Daldırma ve kaynatma sonrasında havada kuruyan yüzey numunesinin kütlesi, g

D = suya daldırıldıktan sonra numunenin görünür kütlesi ve kaynama, g

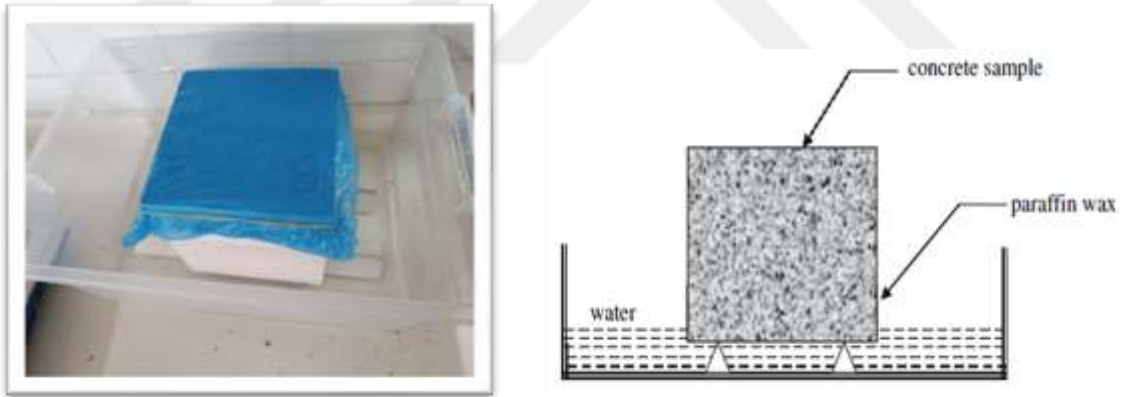
ρ = suyun yoğunluğu = 1 g/cm³.



Şekil 3.14. Sertleşmiş betonda yoğunluk, emme ve boşluk oranı testleri.

3.5.3.4 Kılcallık Deneyi

Bu test ASTM C 1585-13'e uygun olarak gerçekleştirildi. Soğurma testi, suyun betonun gözeneklerine çekilme hızını ölçer. Bu testte her beton karışımından (150*150) mm boyutunda üç adet küp numune kullanılmıştır. Numuneler, sabit bir kütleye ulaşana kadar yaklaşık 50°C'deki bir fırında kurutuldu ve daha sonra kapalı bir kap içinde ortam sıcaklığına soğumaya bırakıldı. Daha sonra numunelerin kenarları parafin ile kaplandı ve numunenin üst yüzeyi naylon ile kaplandı. Şekil 3.15'de gösterildiği gibi. Daha sonra numuneler bir tepsi içerisinde demir çubuklar üzerine maksimum yükseklikte yerleştirilerek absorban testi gerçekleştirildi. Su kabın alt yüzeyine temas ediyor. Numune 3 mm kalınlığa ulaştı ve suyun alt yüzey boyunca serbestçe hareket etmesine izin verildi. Kütle kazanımını değerlendirmek için numuneler tepside çıkarıldı ve 1 saate kadar çeşitli zaman aralıklarında tartıldı. Adsorplanan suyun hacmi, elde edilen kütlenin numunenin nominal yüzey alanına ve suyun yoğunluğuna bölünmesiyle hesaplandı. Bu eğriler zamanın kareköküne göre çizilmiştir. Her test için üç numuneden ölçüm alınmış ve 28 günlük numuneler için ortalama değerler alınmıştır (A. Standard, 2013).



Şekil 3.15. Betonun su emme oranının test edilmesi.

3.5.3.5 Basınç Altında Maksimum Su İşleme Derinliği

Basınç altında suyun maksimum işleme derinliğini belirlemek için BS EN 12390-8'e uygun testler yapıldı. Deneyde 28 gün kürlenmiş 3 adet 150 mm'lik kübik numune kullanıldı. Deney günü numuneler kür havuzundan çıkarılarak 110 °C sıcaklıktaki fırında 24 saat kurutuldu. Daha sonra test cihazına yerleştirilmeden önce laboratuvarında soğumaya bırakılır. Numunelerin aparat altına yerleştirilmeden önce fırında kurutulmasının nedeni numunenin ıslak olması nedeniyle maksimum su geçirgenliğinin

belirlenememesidir. Kurutulan numunelerin basınçlı su uygulanacak yüzeyi tel fırça ile aşındırıldı. Numuneler, basınçlı su uygulanacak yüzeyi aşağı bakacak şekilde test cihazına yerleştirildi. Deneyin görsel görüntüsü Şekil 3.16'da gösterilmektedir.

Numuneler cihaza yerleştirildikten sonra cihazın tüpleri su ile doldurularak suyun numune tabanına temas etmesi sağlandı. Sisteme su verildikten sonra kompresör çalıştırılarak 5 bar basınçtaki hava suyun içerisine aktarılarak deney başlatılmıştır. Numunenin alt yüzeyi 72 saat boyunca 5 bar basınçta suya maruz bırakıldı. Bu süre içerisinde çeşitli sebeplerden dolayı oluşabilecek basınç kaybı durumunda, basıncın belli bir seviyenin altına düşmesi durumunda kompresör otomatik olarak devreye girecek ve tekrar 5 bar basınç seviyesini sağlayacaktır. 72 saat boyunca 5 bar su basıncına maruz bırakılan numune cihazdan çıkarılarak Şekil 3.17'deki gibi basınç cihazı kullanılarak suya maruz kalan yüzeye dik iki parçaya bölündü. Su derinliği seviyesi Şekil 3.18'deki gibi kalemle işaretlenmiştir. Yüzeyden ölçülen maksimum su seviyesi, su işleme derinliğinin maksimum değerini verir.(BS-En-12390-8-2009-Testing-Hardened-Concrete-Depth-of-Penetration-of-Water-Under-Pressure.Pdf, n.d.).

TS EN 13515'e göre maksimum su arıtma derinliği Çizelge 3.9'da gösterilmektedir(TS, 2012).

Çizelge 3.9. Beton geçirgenliğinin betona su işleme derinliğine göre sınıflandırılması.

Maksimum su işleme derinliği(mm)	Betonun geçirimsizlik sınıfı
>50	Geçirimsiz beton
<50	Geçirimsiz beton
<30	Zaralı ortamlara karşı geçirimsiz beton



Şekil 3.16. Basınç altında betona su işleme derinliğinin test edilmesi.



Şekil 3.17. Numunenin iki yarıya bölündüğü bir görüntü.



Şekil 3.18. Numunenin bölünmesi ve su işleme unun derinliğinin belirlenmesi

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, doğal agregalar ve geri dönüştürülmüş beton agregaları üzerinde yapılan deney sonuçlarının yanı sıra, iki farklı tip agregaya ile üretilmiş kendiliğinden yerleşen beton numuneleri üzerinde yapılan taze beton deneyleri ve sertleşmiş beton deneylerinin sonuç ve değerlendirmeleri sunulmaktadır. Çalışmada kullanılan karışım serileri şu şekilde temsil edilmektedir: (KB) Kontrollü beton. (M0015, M0030, M0045) (İGDBA)'nın yüzdesi (İDA)'nın %0'ı, (KGDBA)'nın yüzdesi (KDA)'nın %15,30,45'idir. (M1015, M10 30, M10 45). (İGDBA)'nın yüzdesi %10, (İDA)'dan ve (KGDBA)'dan (KDA) sırasıyla %15,30,45'tir. (M20 15, M20 30, M20 45) (İGDBA)'nın yüzdesi (İDA)'nın %20'si, (KGDBA)'nın yüzdesi (KDA)'nın %15,30,45'idir. (UK) uçucu kül olarak sunulmaktadır.

4.1 Yıkılmış Beton Atıklarının Basınç Dayanımı

4.1.1 Ultrases Geçiş Hızı ve Schmidt Yüzey Sertliği ve Karot Deneyi Sonuçları

Ultrasonik test ve Schmidt çekici testi sonuçları Çizelge 4.1'de gösterilmektedir. Karot testi sonuçları Çizelge 4.2'de gösterilmektedir. Schmidt ve ultrason deneyleri için basınç dayanımı değerleri Denklem 3.2 kullanılarak belirlendi.

Çizelge 4.1. Ultrasonik hız ve Schmidt çekici deneyinin sonuçları.

Numune numarası	V(KM/S)	R	FC N/mm ²
1	3.8	26	18.85
2	3.27	23	14.43
3	3.33	22	14.16

Çizelge 4.2. karot numunelerin basınç dayanımı sonuçları.

Numune numarası	Fc n/mm ²
1	19.2
2	17.8

Çizelge 4.1'den. Çalışmada kullanılan beton atıklarının basınç dayanımı değerleri 14,14 ile 18,85 MPa arasında değişmektedir. Çizelge 4.2'den temel test incelemesine göre beton numunesinin basınç dayanımı değeri 17,8 ile 19,2 MPa arasında değişmektedir. Bu nedenle mesajda kullanılan beton agregasının mukavemetinin düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Bölgelerimizde yıkılan vatandaşların evlerinin çoğunun beton dayanımı 15-20 MPa arasında değiştiği için bu beton atığı bu amaçla kullanıldı.

4.2 Agregada Deneyleri Sonuçları

İnce ve iri agregalar üzerinde yapılan elek analizi deneylerinin sonuçları sırasıyla Çizelge 4.3 ve 4.4'de verilmektedir. İnce ve iri agregalar için yapılan fiziksel deneyin sonuçları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Doğal ve geri dönüştürülmüş ince agreganın elek analizi sonuçları.

Elek Boyutu (mm)	İnce agregada Geçen yüzde (%)		ASTMC33-03(%)
	DA	GDA	
10	100.00	100.00	100
4.75	99.41	99.63	95-100
2.36	80.05	81.50	80-100
1.18	69.98	57.11	50-85
0.6	59.95	30.08	25-60
0.3	27.77	12.10	5-30
0.15	6.47	4.46	0-10

Çizelge 4. 4. Doğal ve geri dönüştürülmüş iri agreganın elek analizi sonuçları.

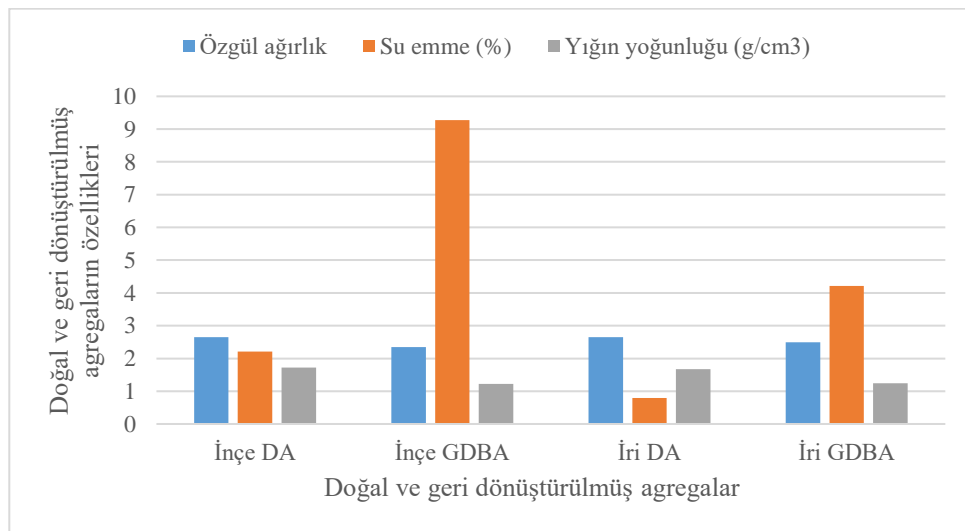
Elek Boyutu (mm)	İri agregada Geçen yüzde (%)		ASTMC33-C03(%)
	DA	GDA	
25	100.00	100.00	100
19	98.43	97.78	90-100
16	81.79	94.75	-
12.5	57.29	83.30	-
10	32.42	43.55	20-55
8	15.05	21.07	-
4.75	0.35	3.55	0-10

Çizelge 4.5. Doğal agrega ve geri dönüştürülmüş beton agreganın fiziksel özelliklerinin sonuçları.

Fiziksel Özellikler	İDA	İGDBA	KDA	KGDBA
Özgül ağırlık	2.65	2.35	2.62	2.49
Su emme (%)	2.21	9.27	0.79	4.21
Yığın yoğunluğu (g/cm ³)	1.72	1.22	1.67	1.24
Pürüzsüzlük faktörü	2.56	3.15	4.15	3.56

Elde edilen sonuçlardan da anlaşılacağı üzere (IDA)'nın özgül ağırlığı (IGDBA)'dan %11 daha yüksektir. KDA'nın özgül ağırlığı KGDBA'dan %5 daha yüksektir. (İGDBA)'nın emilim oranı (İDA)'dan %76, (KGDBA)'nın emilim oranı (KDA)'dan %81 daha yüksektir. IDA'nın yığın yoğunluğu IGDA'dan %29 daha yüksektir. KDA'nın yığın yoğunluğu KGDBA'ninkinden %26 daha yüksektir.

Çizelge 4.5'te elde edilen sonuçlardan. Şekil 4.1'de gösterildiği gibi. GDA'nın DA'dan daha düşük özgül ağırlığa ve kütle yoğunluğuna sahip olduğu sonucuna vardık. Su emme yeteneği DA'ya göre daha yüksektir. Bunun nedeni DA'ya kıyasla GDA'nın daha yüksek gözenekliliğidir. Bunun nedeni eski çimento harcının GDA yüzeyine yapışmasıdır (Silva et al., 2018).



Şekil 4. 1. Doğal ve geri dönüştürülmüş agregaların özellikleri

4.3 Taze Beton Üzerinde Elde Edilen Deney Sonuçları

Taze betonun akışkanlığının belirlenmesi amacıyla üretilen KYB'nin doldurma ve geçme kapasitesi, çökme çapı, T500 çökme süresi, V-şeklindeki huni akış süresi ve L-şeklindeki kutu yükseklik oranı ölçülmüş olup sonuçlar Çizelge 4.6'de verilmiştir. Elde

edilen sonuçlar, EFNARC, 2005 tarafından sağlanan kategori adlarıyla tanımlanan KYB'nin karakteristik hedef değerleriyle karşılaştırıldı (S. EFNARC, 2005) .

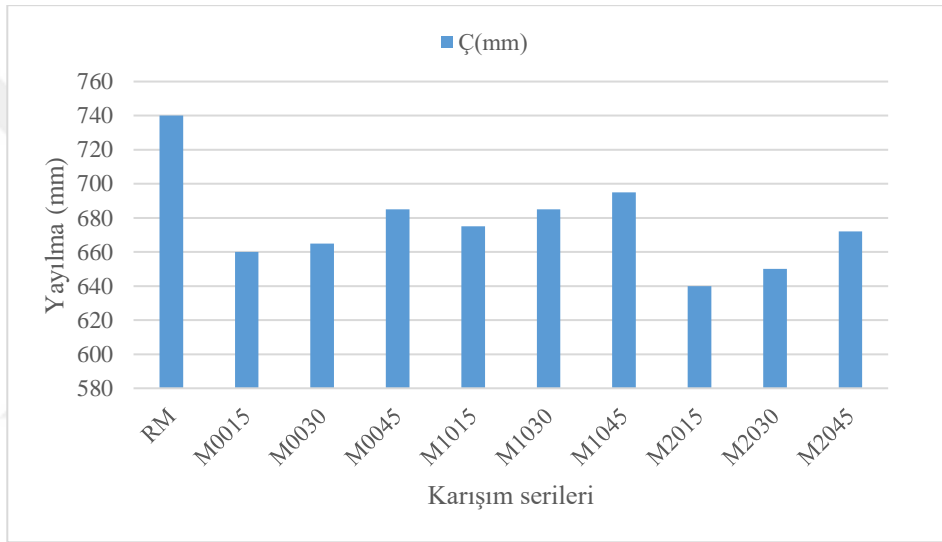
Çizelge 4.6. KYB'lerin çökme akışı, T500, V hunisi ve L kutusu özellikleri.

KYB Serileri	Değiştirme seviyesi (%)		Çökme yayılma (mm)	T500 (s)	V-hunisi (s)	L- kutusu Oranı
	KGDBA	İGDBA				
KB	0	0	740	2.5	9	0.94
M0015	0	15	660	4	12.2	0.85
M0030	0	30	665	3.5	12	0.86
M0045	0	45	685	3.2	11.5	0.88
M1015	10	15	675	3.5	12	0.87
M1030	10	30	685	3.3	11.5	0.88
M1045	10	45	695	3	11	0.88
M2015	20	15	640	4.5	12.8	0.82
M2030	20	30	650	4	12.5	0.85
M2045	20	45	672	3.6	12	0.86

4.4 Yayılma deneyi ve T500 süresi ölçümü sonuçları

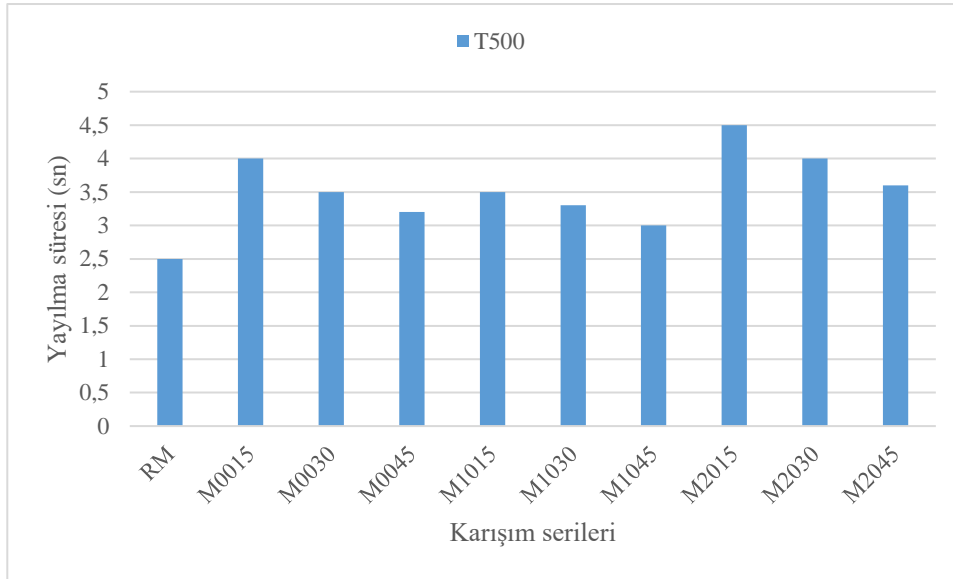
KYB'nin taze özelliklerine ilişkin sonuçlar Çizelge 4.6'de gösterilmektedir. Şekil 4.2'de gösterildiği gibi. Kontrol karışımının KYB akışkanlığı diğer karışımlara göre daha iyidir. % 10'luk geri dönüştürülmüş ince agreganın kullanılması, %0 ve %20'ye göre daha iyi akış sonuçları verir ve aynı zamanda geri dönüştürülmüş iri agreganın oranı arttıkça akışkanlık da artar. Bunun nedeni, geri dönüştürülmüş beton agregasının özgül ağırlığının, doğal agreganın özgül ağırlığından daha düşük olmasıdır.

Şekil 4.2'den sonuca varıyoruz. İkinci seri karışımlarda %10 oranında İGDBA kullanılması, KYB'nin yayılımını birinci seri karışımlara göre %2 artırdı. Bunun nedeni İGDBA granüllerinin daha fazla miktarda bağlayıcı çimento harcı içermesi ve dolayısıyla toz oranının artması ve bu durumun KYB'nin işlenebilirliğinde bir miktar iyileşme sağlamasıdır. İkinci seri ile üçüncü seri karışımlar karşılaştırıldığında KYB yaygınlığının %5 arttığı görüldü. Bunun nedeni İGDBA'nın üçüncü seri karışımlar için yüksek absorpsiyon etkisidir. Şekil 4.2 tüm akış çaplarının 640 – 740 mm arasında değiştiğini göstermektedir, dolayısıyla bu karışımlar EFNARC, 2005'e göre SF1–SF2 olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 4.2. Yayıma deneyi sonuçları.

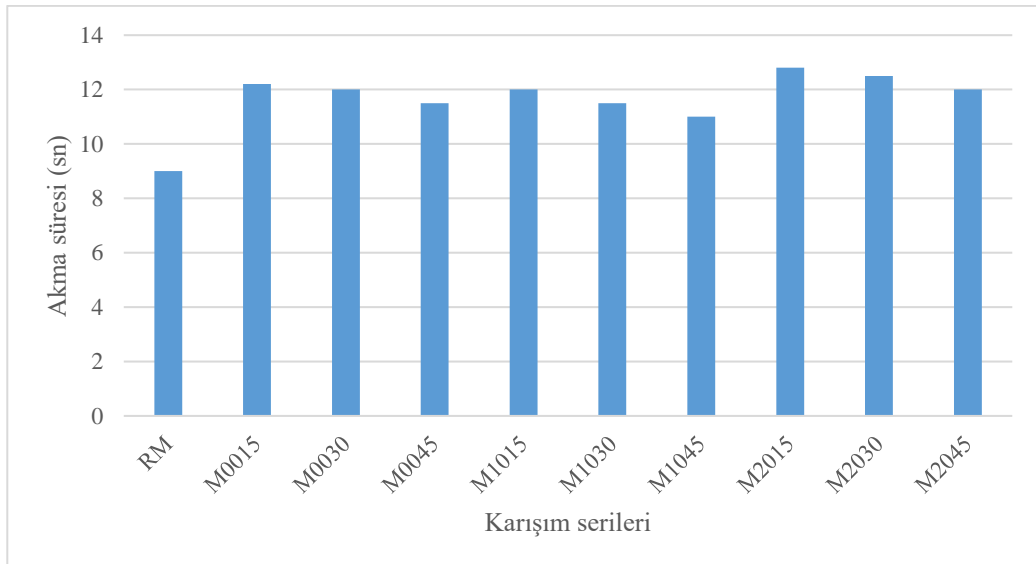
Şekil 4.3'de açıkça görüldüğü gibi. Artan KGDBA ve/veya İGDBA oranları ile T500 durgunluk akış süresinin değişmesi. Kontrol karışımının durma süresi diğer karışımlara göre daha iyi olmuştur. %10 GDBA kullanımının %0 ve %20'ye göre daha iyi akış süresi sağladığı gözlemlenmiştir. KGDBA yüzdesi arttıkça KYB akış süresi tüm karışımlar için iyileşti. Bu nedenle bu karışımlar EFNARC, 2005'e göre VS2 olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 4.3. Yayılma süresi deneyi sonuçları.

4.5 V- hunisi deney sonuçları

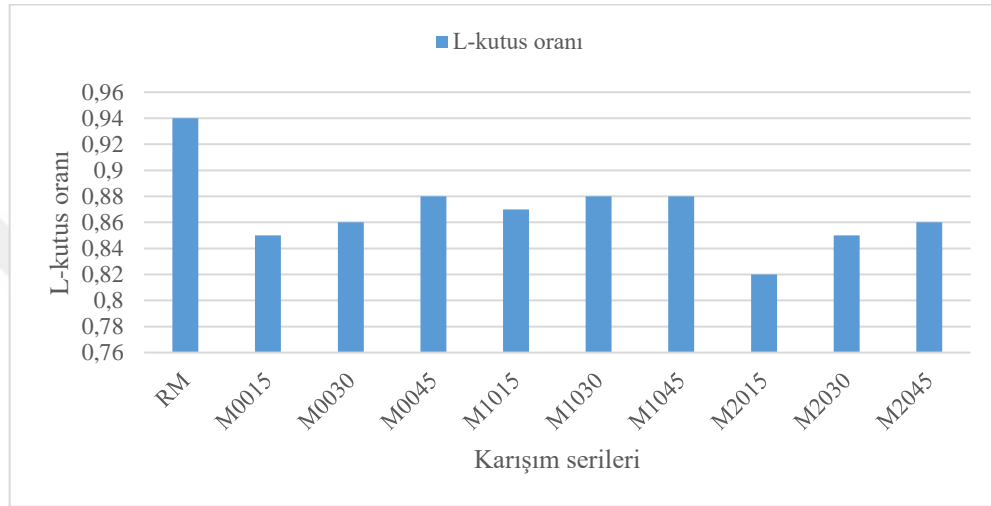
Şekil 4.4'te gösterildiği gibi. Kontrol karışımı için, KYB'nin hunideki akış süresi diğer karışımlara göre daha iyidir. %10 GDBA kullanımının %0 ve %20'ye göre daha iyi akış süresi sağladığı gözlemlenmiştir. KGDBA yüzdesi arttıkça KYB akış süresi tüm karışımlar için iyileşti. Dolayısıyla bu karışımlar EFNARC, 2005'e göre VF2 olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 4 4. V huni deneyi sonuçları.

4.6 L- kutusu deney sonuçları

L-kutusu deneyi geçme yeteneğini ölçen deneylerden biridir. Şekil 4.5'te görüldüğü gibi kontrol karışımındaki L kutusunun yükseklik oranı diğer karışımlara göre daha iyidir. %10 GDBA kullanımının %0 ve %20'ye göre daha iyi yükseklik oranı sağladığı gözlemlenmiştir. KGDBA yüzdesi arttıkça KYB yükseklik oranı tüm karışımlar için iyileşti. Dolayısıyla bu karışımlar EFNARC, 2005'e göre PA2 olarak sınıflandırılmıştır.



Şekil 4.5. L kutusu deneyi sonuçları.

4.7 Taze birim ağırlığı deneyi sonuçları

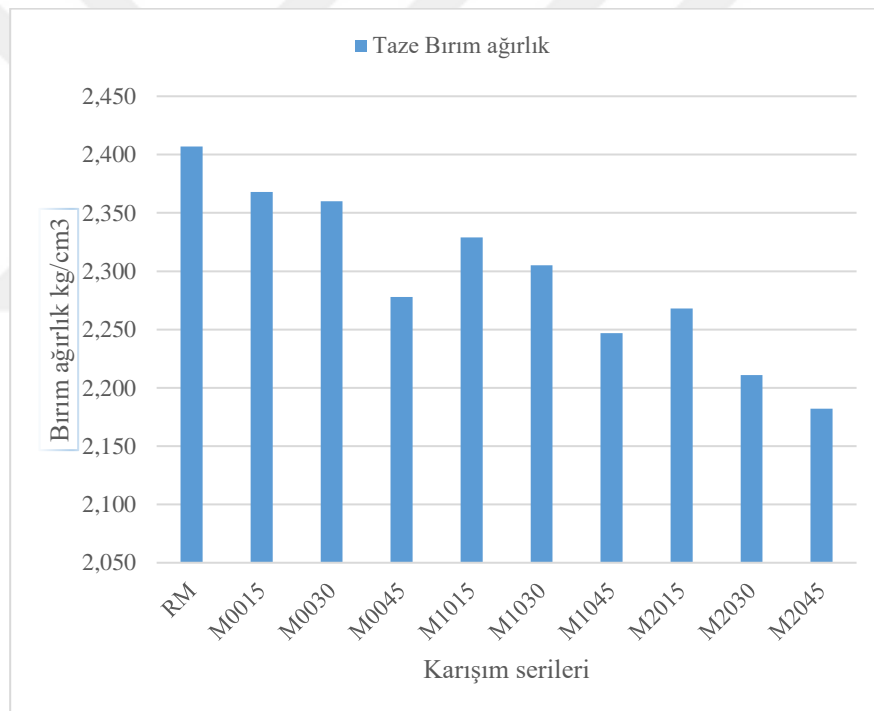
Üretilen karışımların yaş birim ağırlıkları Çizelge 4.7'de gösterilmektedir.

Çizelge 4. 7. Betonun taze birim ağırlığı.

Karışımın adı	Yaş birim ağırlıkları g/cm ³
KB	2.407
M0015	2.368
M0030	2.360
M0045	2.278
M1015	2.329
M1030	2.305
M1045	2.247
M2015	2.268
M2030	2.211
M2045	2.182

Şekil 4.6'te gösterildiği gibi. Uygulanan KGDBA ve/veya İGDBA ikame seviyelerine göre karışımların taze yoğunluk değişiklikleri elde edilir. Çünkü GDA'ların özgül ağırlık değerleri (İGDBA ve KGDBA için sırasıyla 2,35 ve 2,49) doğal agregalardan daha düşüktür. Bu durum eski gözenekli çimento harcının GDA'lara yapışmasından kaynaklanmaktadır. İGDBA ve KGDBA'nın artan ikame seviyelerine bağlı olarak KYB karışımlarının taze yoğunluğu giderek azalmaktadır.

İGDBA ikame seviyesi %0 için, KYB karışımında kontrol karışımına kıyasla sırasıyla %15, %30 ve %45 KGDBA ikame oranlarında %1,6, %2 ve %5,4 oranında daha düşük taze yoğunluk gözlemlendi. Ayrıca %10 İGDBA değiştirme seviyesi için kontrol karışımına kıyasla %3,2, %4,2 ve %6,6 oranında azaldı. Ayrıca %20 İGDBA değiştirme seviyesi için kontrol karışımına kıyasla %5,8, %8,1 ve %9,3 oranında azaldı.



Şekil 4.6. Taze birim ağırlığı deneyi sonuçlar.

4.8 Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

4.8.1 Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Çizelge 4.8'te. Farklı İGDBA ve/veya KGDBA ikame seviyelerine sahip KYB karışımlarının basınç dayanımına ilişkin test sonuçları verilmektedir. Genel basınç dayanımı değerleri 7, 28 ve 90 günlük kür yaşlarında sırasıyla 30,94 ila 43,61, 32,98 ila 50,09 ve 45,72 ila 66,21 MPa arasında değişmiştir. Şekil 4.7, KGDBA ve İGDBA kullanımının 7, 28 ve 90 günlük test yaşlarındaki basınç dayanımı sonuçları üzerindeki

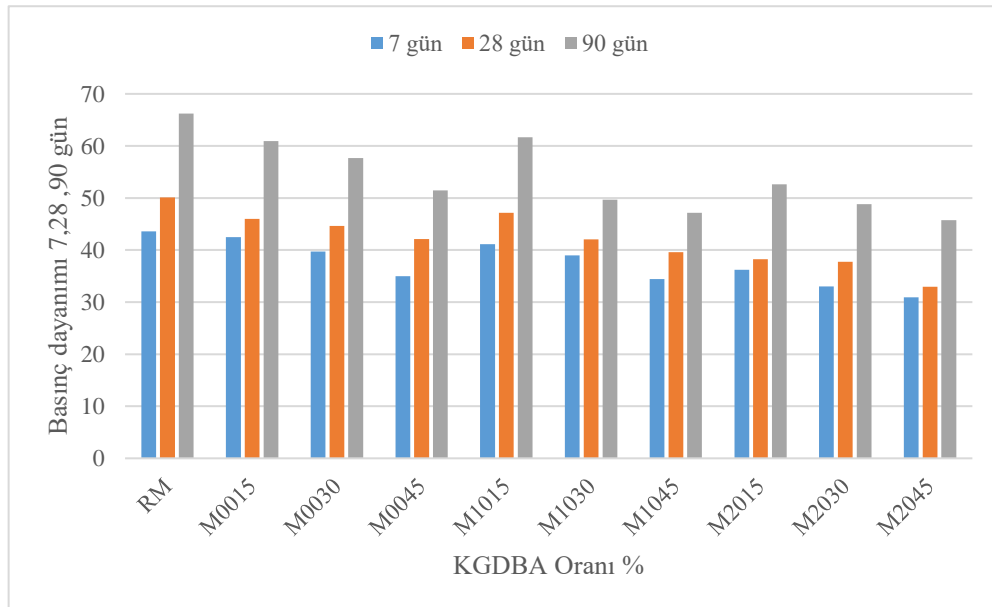
etkilerini göstermektedir. 28 günlük kür yaşında, karışımların basınç dayanımındaki azalma kontrol karışımı ile karşılaştırıldı. Bu oran ilk seride %8, %11 ve %16 civarındaydı. İkinci serideki oranlar sırasıyla yaklaşık %6, %16 ve %21 idi. Üçüncü seride oranlar sırasıyla yaklaşık %24, %25 ve %34 idi. Şekil 4.7'de gösterildiği gibi, doğal agreganın KGDBA ve/veya İGDBA ile değiştirilmesi, KYB'nin basınç dayanımı sonuçlarında önemli bir azalmaya neden olur. Basınç dayanımı değerlerinde en düşük yüzdesel azalmanın ikinci seri karışımlarda olduğu tespit edildi. Düşüş, KGDBA için %15'lik ikame oranında yaklaşık %6'ya ulaştı. Basınç dayanımındaki bu değişikliğin, agrega yüzeyine yapışan kalan GDA harç parçacıklarına bağlı olduğuna inanılmaktadır. Artık harç parçacıkları agreganın fiziksel aşınma direncini azaltır, su emme yeteneğini artırır ve çimento hamuru ile agrega arasında zayıf bağlar oluşturur. Ayrıca, geri dönüştürülmüş kaba agreganın açısız şeklinin, taneler arası homojenliğin azalmasına, dolayısıyla boşlukların artmasına ve beton mukavemetinin azalmasına neden olduğuna inanılmaktadır.

Araştırmacı Hussein ve diğerleri (2019) bahsetmiştir. Geri dönüştürülmüş ince ve kaba agreganın (GDA) doğal agreganın kısmen veya tamamen ikamesi olarak KYB'ye dahil edilmesi basınç dayanımını olumsuz etkiler. Bu azalma kaba GDA içeren betonlarda %32 ila %42 arasında değişirken, ince beton içeren karışımlarda yaklaşık %52'dir. Kaba ve ince GDA'ların kombinasyonu aynı zamanda basınç dayanımını maksimum %27'ye kadar azaltır(Sasanipour & Aslani, 2020).

Xie ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalarda gösterildiği gibi. Geri dönüştürülmüş agreganın özelliklerine bağlı olarak DA ve GDA içeren tüm betonlarda basınç dayanımı farklılıkları konusunda da benzer sonuçlar rapor edilmiştir(T. Xie et al., 2018).

Çizelge 4. 8. Basınç dayanımı deney sonuçları.

Karışımın adı	Basınç dayanımı (MPa)		
	7 gün	28 gün	90 gün
KB	43.61	50.09	66.21
M0015	42.5	45.97	60.92
M0030	39.69	44.62	57.62
M0045	35	42.12	51.46
M1015	41.13	47.18	61.7
M1030	38.99	42.03	49.68
M1045	34.43	39.61	47.13
M2015	36.19	38.27	52.61
M2030	33.04	37.72	48.8
M2045	30.94	32.98	45.72



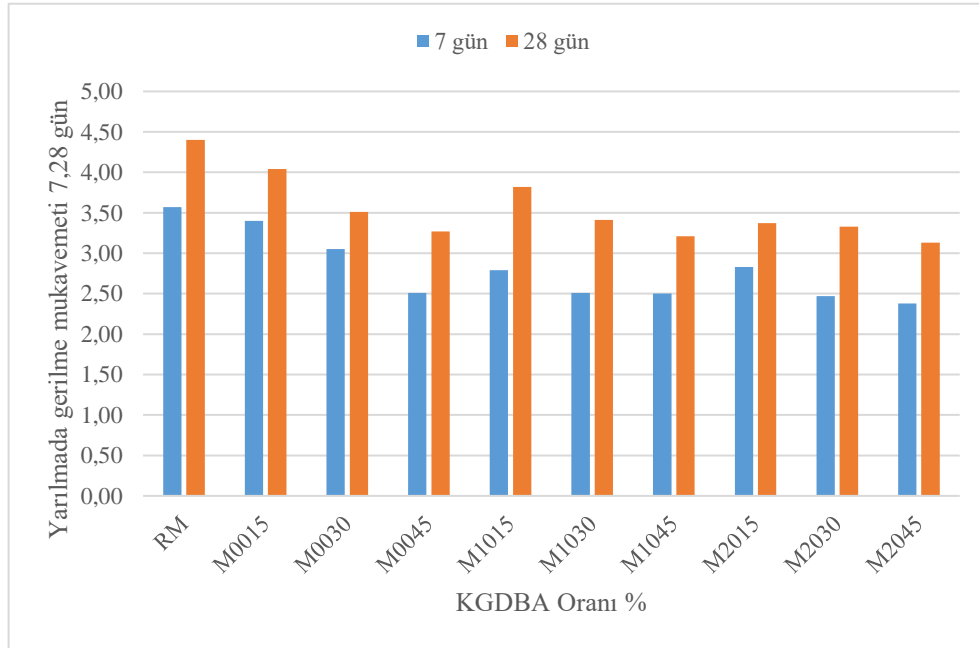
Şekil 4.7. 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanım sonuçları.

4.8.2 Yarmada-Çekme Dayanımı Deneyi Sonuçları

Çizelge 4.9'de. Farklı İGDBA ve/veya KGDBA ikame seviyelerine sahip KYB karışımları için yarmada-çekme dayanımı sonuçları sunulmaktadır. Şekil 4.8'ten, GDA yüzdesinin artmasıyla birlikte yarmada-çekme dayanımı değerlerinde azalma olduğunu görüyoruz.

Çizelge 4.9. Yarmada-Çekme Dayanımı Deneyi Sonuçları.

Karışımın adı	Yarmada-Çekme Dayanımı (MPa)	
	7gün	28gün
KB	3.57	4.4
M0015	3.4	4.04
M0030	3.05	3.51
M0045	2.51	3.27
M1015	2.79	3.82
M1030	2.51	3.41
M1045	2.5	3.21
M2015	2.83	3.37
M2030	2.47	3.33
M2045	2.38	3.13



Şekil 4.8. 7 ve 28 Yarmada-Çekme Dayanımı Deneyi Sonuçları.

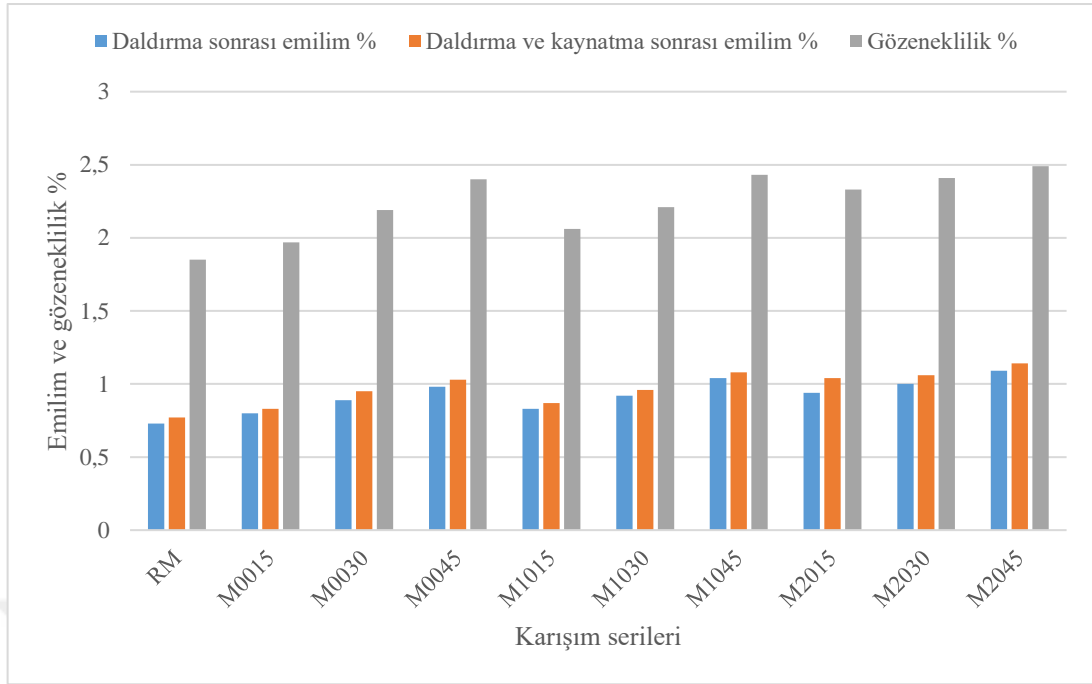
4.8.3 Görünen Porozite, Ağırlıkça Su Emme Deneyi Sonuçları

Tüm KYB karışımları için absorpsiyon, yoğunluk ve gözeneklilik deneyinin sonuçları Çizelge 4.10'de gösterilmektedir.

Çizelge 4. 10.Görünen Porozite, Ağırlıkça Su Emme Deneyi Sonuçları

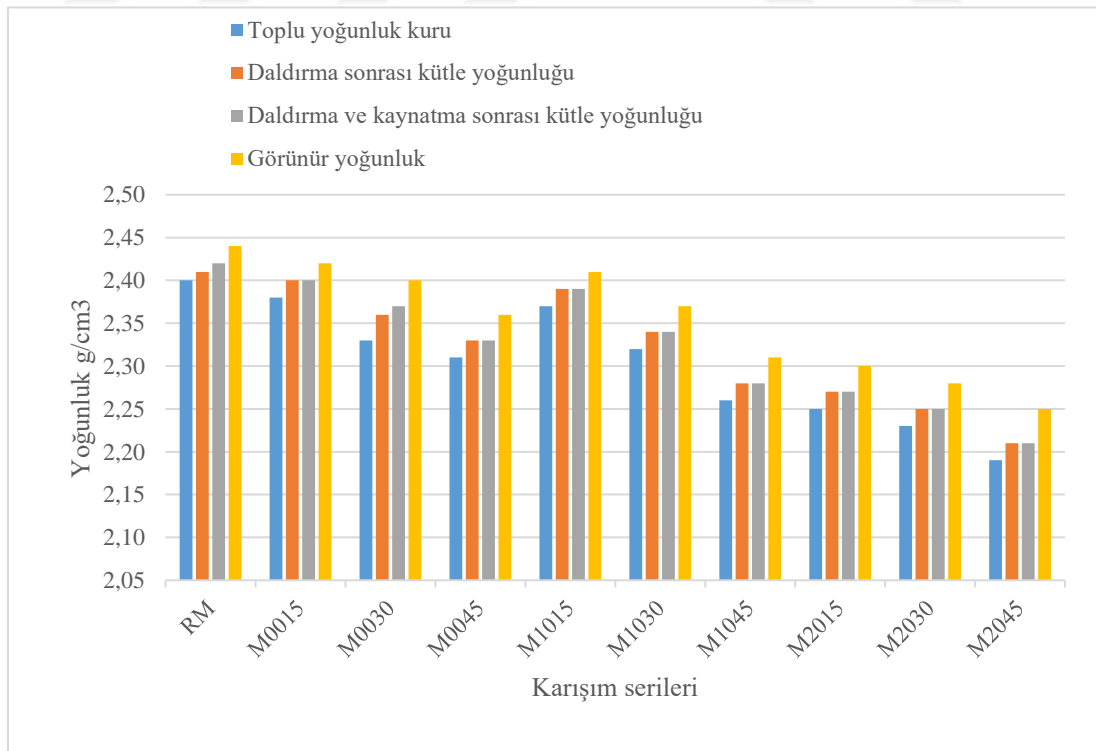
Karışımın adı	Daldırma sonrası emilim %	Daldırma ve kaynatma sonrası emilim %	Toplu yoğunluk kuru g/cm ³	Daldırma sonrası kütle yoğunluğu g/cm ³	Daldırma ve kaynatma sonrası kütle yoğunluğu g/cm ³	Görünür yoğunluk g/cm ³	Gözeneklilik %
KB	0.73	0.77	2.40	2.41	2.42	2.44	1.85
M0015	0.8	0.83	2.38	2.4	2.4	2.42	1.97
M0030	0.89	0.95	2.33	2.36	2.37	2.4	2.19
M0045	0.98	1.03	2.31	2.33	2.33	2.36	2.4
M1015	0.83	0.87	2.37	2.39	2.39	2.41	2.06
M1030	0.92	0.96	2.32	2.34	2.34	2.37	2.21
M1045	1.04	1.08	2.26	2.28	2.28	2.31	2.43
M2015	0.94	1.04	2.25	2.27	2.27	2.3	2.33
M2030	1	1.06	2.23	2.25	2.25	2.28	2.41
M2045	1.09	1.14	2.19	2.21	2.21	2.25	2.49

Şekil 4.9'de gösterildiği gibi. İGDBA ve KGDBA'nın yer değiştirme oranının artmasıyla birlikte daldırma sonrası su emme oranında artış, daldırma ve kaynatma sonrası emme oranında artış ve KYB'de gözeneklilik oranında artış gözlenmiştir.



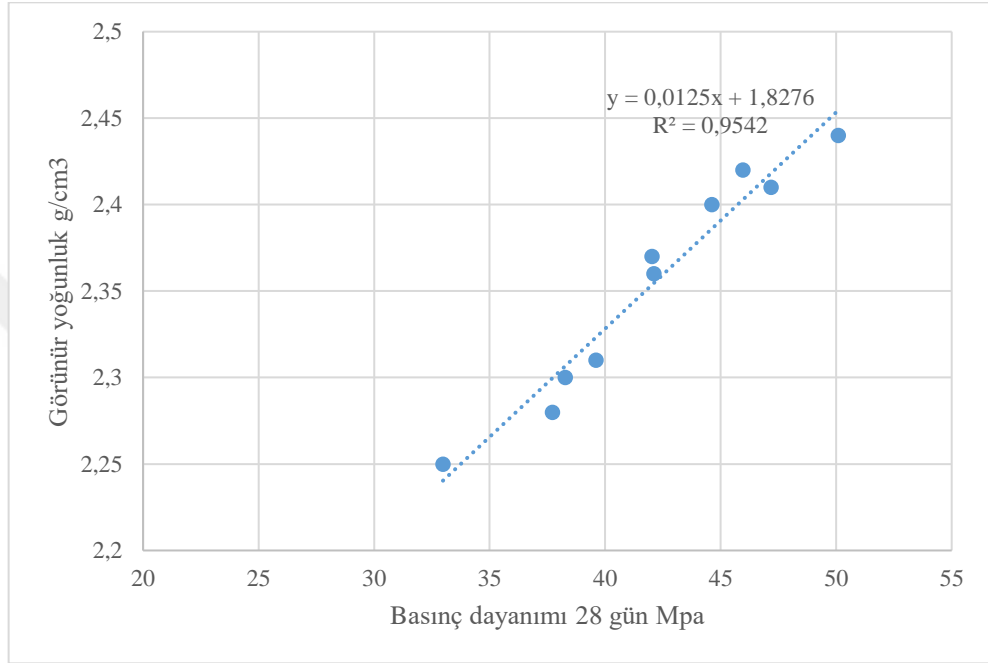
Şekil 4.9. Emilim ve gözeneklilik deneyi sonuçları %

Şekil 4.10'da gösterildiği gibi. İGDBA ve KGDBA'nın yer değiştirme oranı arttıkça, KYB'de kuru kütle yoğunluğunda, daldırma sonrası kütle yoğunluğunda ve kütle yoğunluğunda azalmalar gözlemlendi.



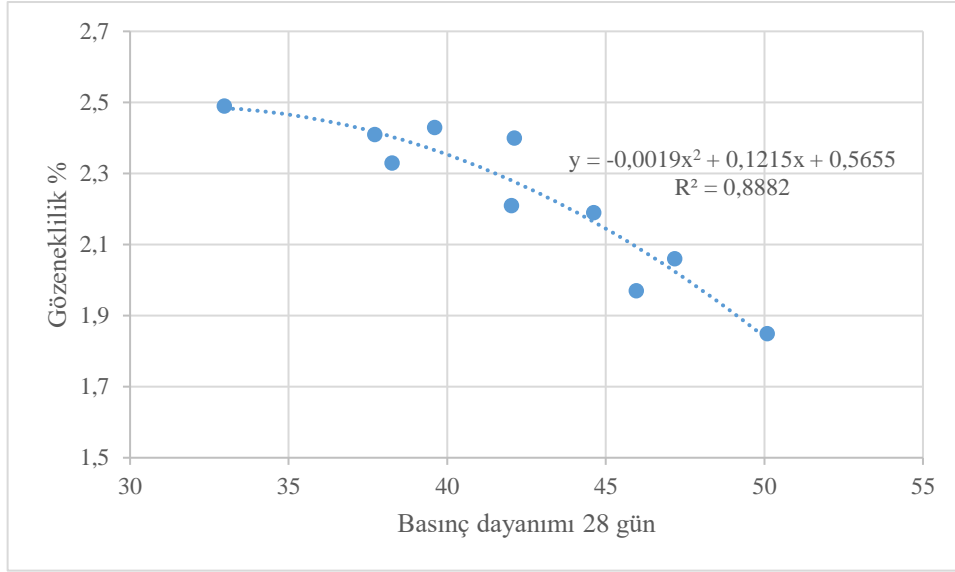
Şekil 4.10. Yoğunluk Deneyi Sonuçları.

Şekil 4.11'i incelediğimizde, elde edilen korelasyon katsayısı değerinin (R^2) 0,95'e eşit olmasıyla gösterildiği gibi, birim ağırlık değeri ile sıkıştırma kuvveti arasında çok güçlü bir doğrusal ilişki olduğu sonucuna varıyoruz. Şekil 4.11 incelendiğinde genel olarak birim ağırlık azaldıkça yüksek yoğunluklu beton daha boşluksuz bir yapıya sahip olduğundan basınç dayanımı değerleri de düşmektedir.



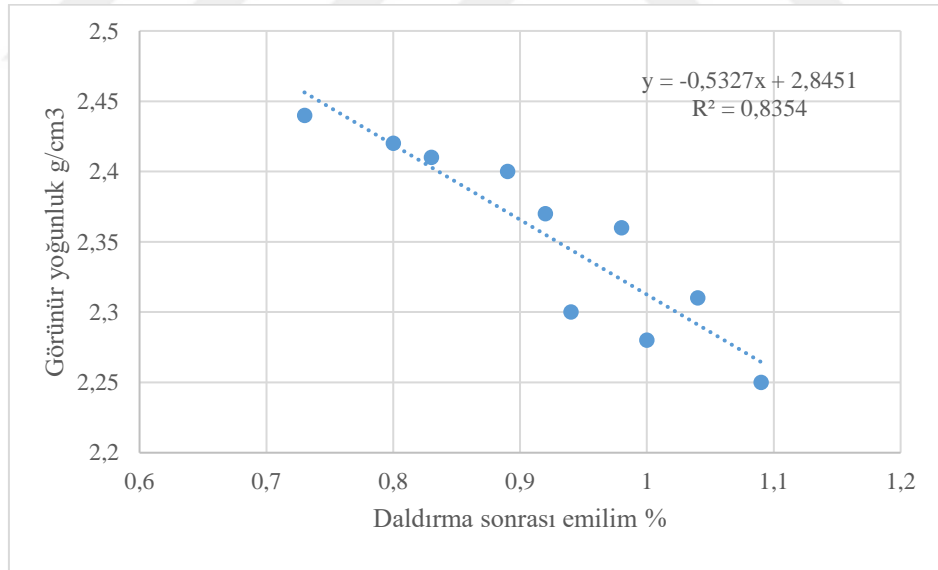
Şekil 4.11. Birim ağırlık ile basınç dayanımı arasındaki ilişki sonuçları.

Şekil 4.12, hazırlanan KYB numunelerinden elde edilen gözeneklilik ve basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu iki değişken arasındaki korelasyon düzeyi yüksek olup korelasyon katsayısı 0,89'dur.



Şekil 4.12. Gözeneklilik ve basınç dayanımı arasındaki ilişki.

Şekil 4.13, hazırlanan KYB örneklerinden elde edilen absorpsiyon ve kütle yoğunluğu arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu iki değişken arasındaki korelasyon düzeyi iyi olup korelasyon katsayısı 0,84'tür.



Şekil 4.13. Emilim ve kütle yoğunluğu arasındaki ilişki.

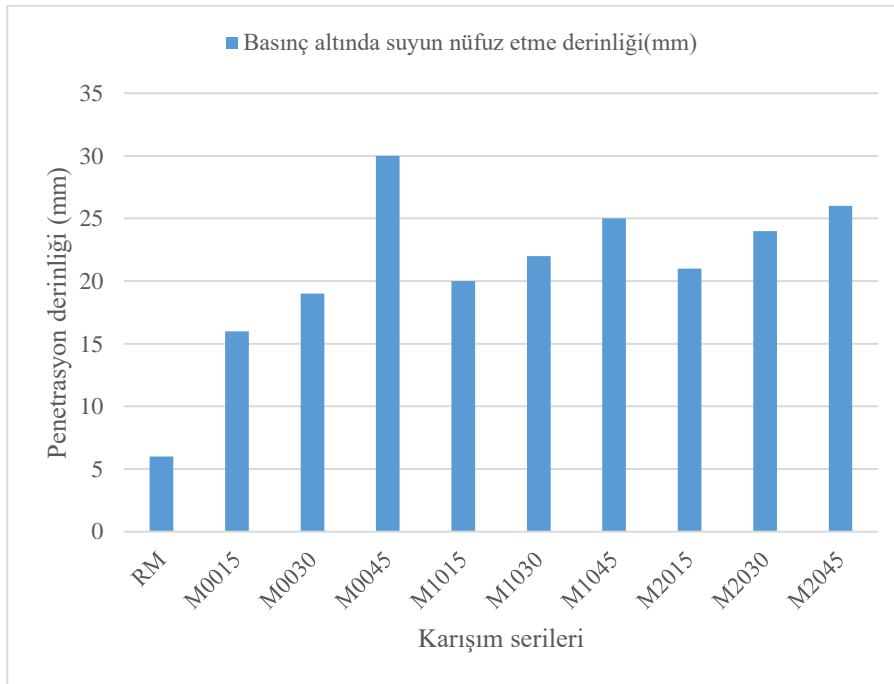
4.8.4 Basınç Altında Maksimum Su İşleme Derinliği Sonuçları

KYB'de basınç altında numunelere su işleme sonuçları çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4. 11.Basınç Altında Maksimum Su İşleme Derinliği Sonuçları

Karışımın adı	Basınç altında suyun işleme etme derinliği(mm)
KB	6
M0015	16
M0030	19
M0045	30
M1015	20
M1030	22
M1045	25
M2015	21
M2030	24
M2045	26

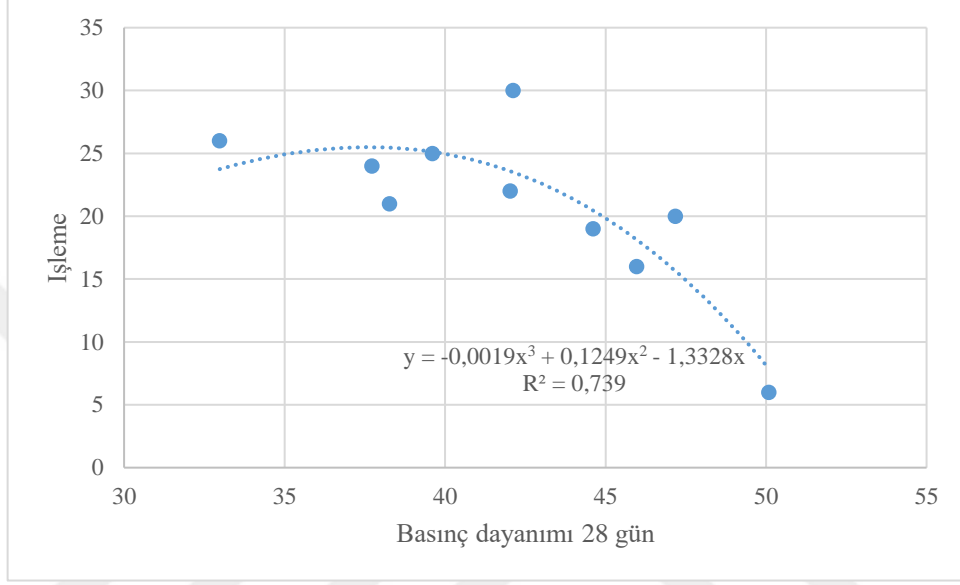
Şekil 4.14'te gösterildiği gibi, IGDBA ve KGDBA'nın yer değiştirme oranı arttıkça KYB'de basınç altındaki numunelere su işleme arttığı gözlemlendi.



Şekil 4.14. Basınç altında su işleme derinliği deneyi sonuçları.

Çizelge 3.9'da değerlendirildiği üzere beton sınıfında üretilen tüm KYB karışımları 28 günlük kür sonunda zararlı ortamlara karşı geçirimsiz hale gelir.

Şekil 4.15, basınç altında su işleme etme derinliği ile hazırlanan KYB numunelerinden elde edilen 28 günlük basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu iki değişken arasındaki korelasyon düzeyi iyi olup korelasyon katsayısı 0,74'tür.



Şekil 4.15. Basınç dayanımı ile basınç altında su işleme derinliği arasındaki ilişki.

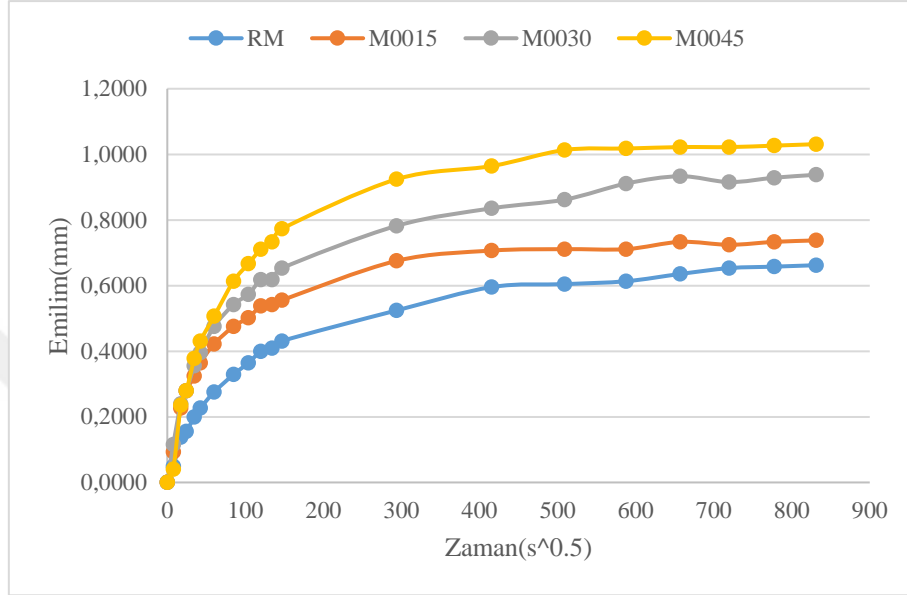
4.8.5 Kılcallık Deneyi sonuçları

KYB'nin kılcal kapasitesinin sonuçları Çizelge 4.12'de verilmiştir.

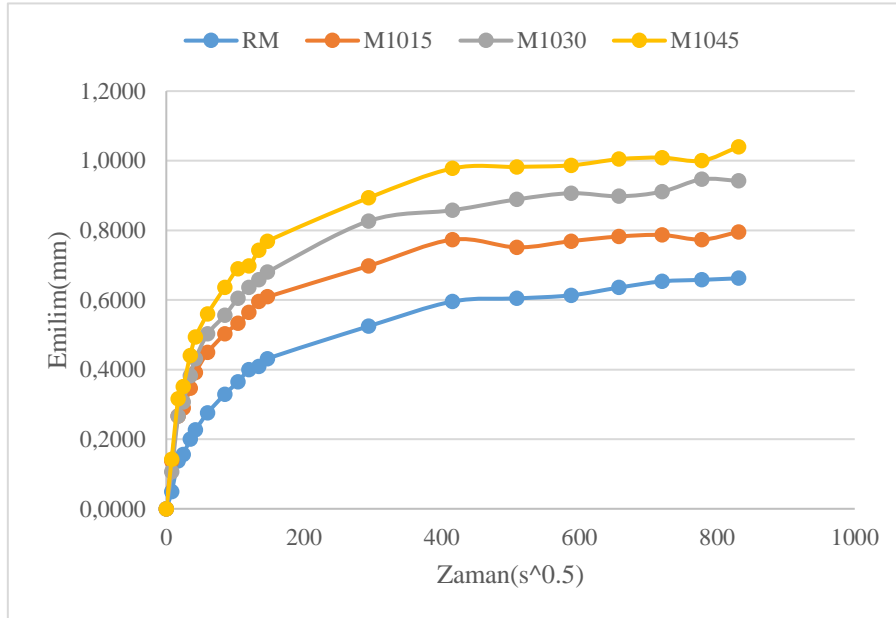
Çizelge 4. 12. Kılcallık Deneyi sonuçları.

Karışımın adı	Kılcallık mm/s ^{0.5}
KB	0.00080
M0015	0.00089
M0030	0.00113
M0045	0.00124
M1015	0.00096
M1030	0.00113
M1045	0.00125
M2015	0.00101
M2030	0.00115
M2045	0.00126

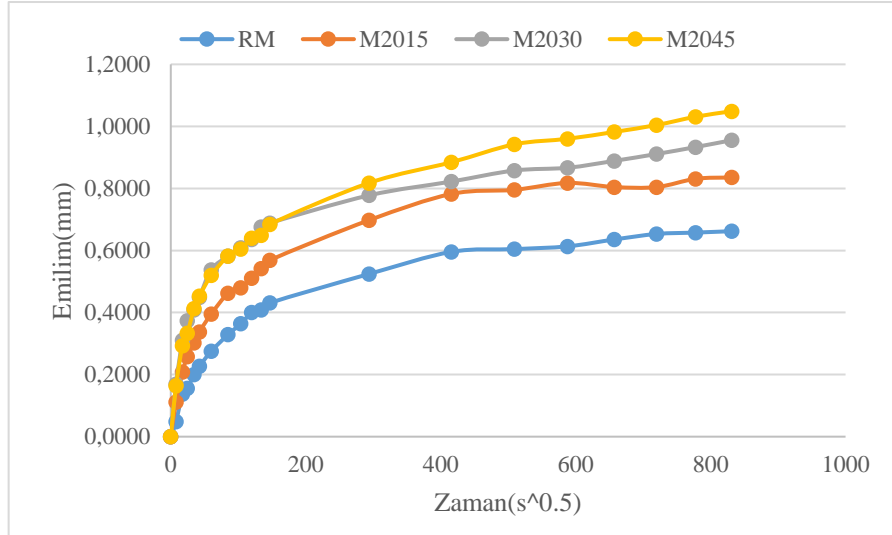
Şekil 4.16, 4.17 ve 4.18, 28 gün süreyle kürlenmiş sırasıyla birinci, ikinci ve üçüncü seri karışımlara sahip kontrol karışımının kılcal parametrelerini göstermektedir. Şekillerden görüldüğü gibi İGDBA ve KGDBA ikame oranının artmasıyla karışımların kılcallık katsayıları da artmaktadır.



Şekil 4.16. Kontrol karışımının ve KYB karışımlarının ilk serisinin karışımının kılcal kapasitesi.

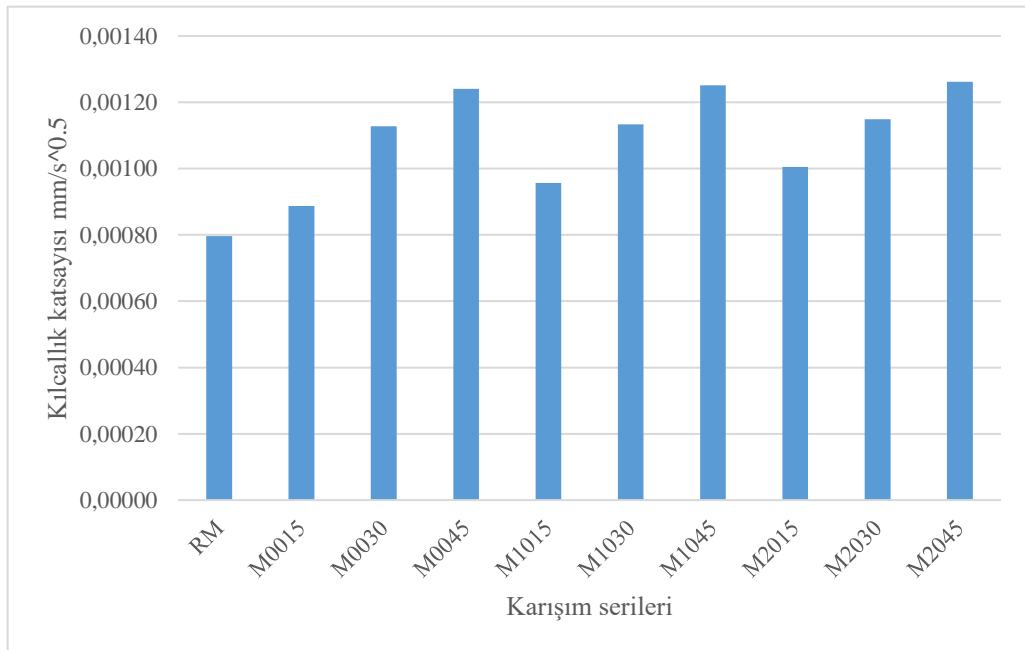


Şekil 4.17. Kontrol karışımının ve ikinci seri KYB karışımlarının karışımının kılcal kapasitesi.



Şekil 4. 18. Kontrol karışımının ve üçüncü seri KYB karışımlarının karışımının kılcal kapasitesi.

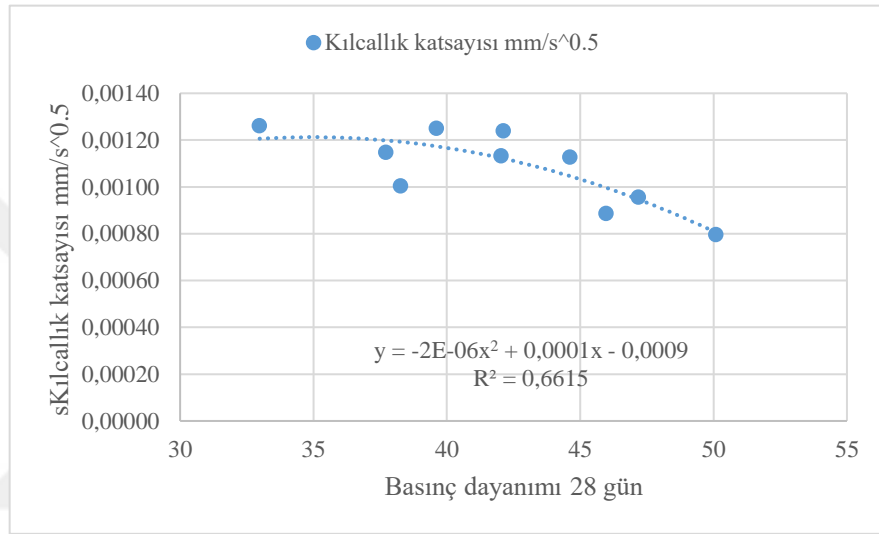
Şekil 4.19'da gösterildiği gibi. İGDBA ve KGDBA'nın yer değiştirme oranı arttıkça KYB'nin kılcal kapasitesinin arttığı gözlemlendi. Şekil 4.19'da gösterildiği gibi. İGDBA ve KGDBA'nın yer değiştirme oranının artmasıyla SCC'nin kılcal katsayılar arttığı bildirilmektedir. İlk karışım serisinde, geri dönüştürülmüş iri agreganın kontrol karışımına göre %15, %30 ve %45 ile değiştirilmesi durumunda kılcal katsayılar sırasıyla %10, %29 ve %36 oranında artış göstermiştir. İkinci karışım serisinde kılcal katsayılar sırasıyla %17, %30 ve %36 oranında artış göstermiştir. Üçüncü karışım serisinde ise kılcal katsayılar sırasıyla %21, %31 ve %37 oranında artış göstermiştir.



Şekil 4. 19. Kılcallık Deneyi sonuçları.

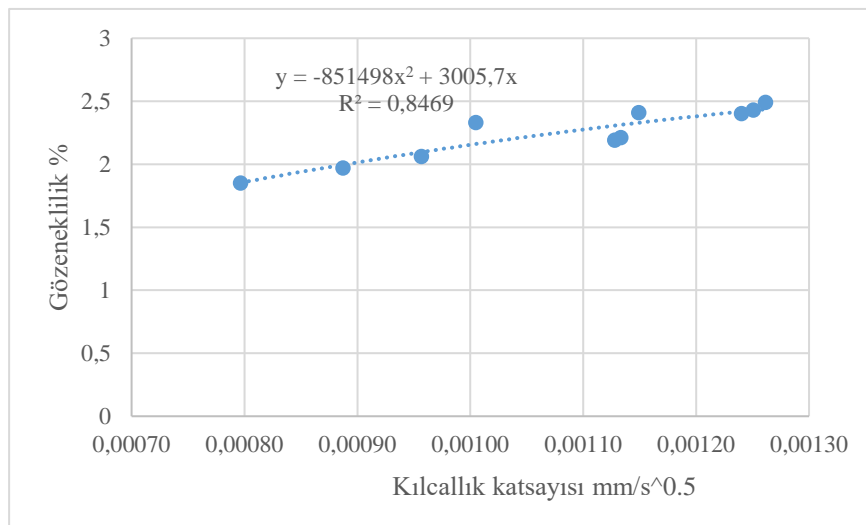
Kong ve ark., GDBA'daki gözenek ve çatlakların suyu emerek yeni arayüzde su içeriğinin artmasına neden olduğunu, dolayısıyla büyük kalsiyum hidroksit kristallerinin oluştuğunu ve yapının zayıfladığını bildirmişlerdir. Bu nedenle GDBA içeren betonun kılcallık katsayısının GDBA içermeyen betona göre daha yüksek olduğu söylenebilir(Kong et al., 2010) .

Şekil 4.20, hazırlanan KYB numunelerinden elde edilen kılcal sonuçlar ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu iki değişken arasındaki korelasyon düzeyi oldukça iyi olup korelasyon katsayısı 0,66'dır.



Şekil 4.20. 28 günlük basınç dayanımı ile kılcallık arasındaki ilişki.

Şekil 4.21, hazırlanan KYB numunelerinden elde edilen gözeneklilik ile kılcal özellik arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu iki değişken arasındaki korelasyon düzeyi yüksek olup korelasyon katsayısı 0,85'dur.



Şekil 4.21. Kılcal ile gözeneklilik arasındaki ilişki.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma, düşük dayanımlı betondan kaynaklanan ince ve iri inşaat agregata atıklarının kendiliğinden yerleşen betonun taze, mekanik ve dayanıklılık özelliklerine etkisini ortaya çıkarmıştır. Bu çalışmada yapılan deneysel sonuçlara ve tartışmalara dayanarak, geri dönüştürülmüş ince ve iri agregaların tazelik, mekanik özellikler ve dayanıklılık üzerindeki etkisi hakkında aşağıdaki sonuçlara varılabilir.

Bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen önemli sonuçların özeti aşağıda sunulmaktadır:

1. Çökme yayılma değerleri incelendiğinde kontrol betonunun çökme yayılma değerinin diğer karışımlara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Karışımlarda en yüksek yayılma çapı değeri %94 ile kontrol betonunda sırasıyla %10 ve %45 oranında geri dönüştürülen ince ve iri agregata kullanıldığında elde edildi. Karışımlardaki en küçük yayılma çapı, sırasıyla %20 ve %15 geri dönüştürülmüş ince ve iri agregata kullanıldığında kontrol betonunun %86,5'iydi. KYB karışımlarının çoğunun SF2 kategorisinde olduğu kaydedildi.
2. T500 test değerleri incelendiğinde, kontrol serisinde ve geri dönüştürülmüş beton agregasından üretilen tüm KYB serilerinde 500 mm çapa ulaşmak için gereken sürenin 2 saniyeden fazla olduğu tespit edildi. İkinci seriye ait inceleme değerlerinin birinci ve üçüncü seriye göre daha iyi olduğu kaydedildi. Böylece tüm karışımlar VS2 kategorisine dahil edildi.
3. Huni V için akış süreleri incelendiğinde kontrol betonu ve diğer KYB karışımları için akış sürelerinin 9 saniyeden yüksek olduğu görülmüştür. İkinci serinin akış süresinin birinci ve üçüncü seriye göre biraz daha iyi olduğu görüldü. Üretilen tüm KYB karışımlarının VF2 kategorisinde olduğu sonucuna varılmıştır.
4. Genel olarak doğal agregadan üretilen kendiliğinden yerleşen betonun işlenebilirliği, geri dönüştürülmüş agregadan daha iyidir. Bunun temel nedeni, geri dönüştürülmüş agreganın doğal agregaya göre emme kapasitesinin daha yüksek olması ve iri agreganın küresel ve pürüzsüz yüzeyinin işlenebilirliğin artırılmasında olumlu etkisi olmasıdır.
5. İGDBA ve KGDBA ikame seviyeleri arttıkça, KYB karışımlarının taze yoğunluğu giderek azalmaktadır. Bunun nedeni, GDA'lara yapıştırılan gözenekli eski çimento harcı nedeniyle GDA'ların özgül ağırlık değerleri doğal agregalardan daha düşüktür.

6. Geri dönüştürülmüş beton agregasının (ince agregası) tane boyutu küçüldükçe özgül ağırlığı azalır ve İGDBA'nın su emme kapasitesi artar. Bunun nedeni, daha küçük GDA granüllerinin daha fazla miktarda yapışık gözenekli harç içermesidir.
7. Doğal agreganın KGDBA ve/veya İGDBA ile değiştirilmesi, KYB'nin basınç dayanımı sonuçlarında önemli bir azalmaya neden olur. Geri dönüştürülmüş iri agreganın %45'i doğal iri agregası ile değiştirildiğinde, 28 günlük kür yaşında basınç dayanımındaki azalma değerleri birinci, ikinci ve üçüncü serilerde yaklaşık %16, %21 ve %34 olmuştur. Sırasıyla KYB karışımları. Tezde kullanılan geri dönüştürülmüş ince agreganın en iyi yüzdesinin %10 olduğu sonucuna varıyoruz, çünkü geri dönüştürülmüş ince agregası büyük miktarda çimento içeriyor ve bu da çimento hamuruyla bağını artırıyor. Geri dönüştürülmüş ince agregası oranı arttığında basınç dayanımı %24-34 oranında azalmıştır. Bunun nedeni geri dönüştürülmüş ince agreganın yüksek emiciliğidir. En iyi karışım, referans karışımın basınç dayanımının %94'ünü sağlayan M1015'tir.
8. Geri dönüştürülen agreganın gözenekli mikro yapısından dolayı KGDBA ve/veya İGDBA içeren KYB'nin su emme katsayılarının sürekli arttığı gözlemlenmiştir.
9. Yeni beton karışımları tasarlanırken, geri dönüştürülmüş agreganın kaynağını anlamak önemlidir çünkü yeni, daha kaliteli betona ihtiyaç duyulursa, daha yüksek kaliteli betondan agregası kullanılmalıdır.
10. Betonların kılcallık katsayıları, GDA ikame oranı arttıkça artmaktadır.
11. GDA ikame oranı arttıkça, betonun su emmesi artmaktadır.
12. Geri dönüştürülmüş beton agregası oranı arttıkça KYB'nin görünür gözeneklilik değeri kontrol serisine göre artmaktadır.

Tez sonuçlarına göre, düşük dayanımlı geri dönüştürülmüş ince ve kaba beton agregasının ayrı ayrı veya birlikte kullanılarak, iyi mekanik özelliklere, geçirgenliğe ve dayanıklılığa sahip KYB betonu üretmek mümkündür. Bu, iyi çevresel ve ekonomik kazanımlar sağlar. İşlenebilirliği arttırmak için agregası tanecikleri 19 mm'den küçük olan agregaların kullanılması tavsiye edilir. Gelecek çalışmalarda orta ve yüksek dayanıma sahip geri dönüştürülmüş beton agregasının kullanılması önerilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Abed, L. (2015). Fresh properties of self-compacting concretes containing waste coarse rubber aggregates. *Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Abou-Zeid, M. N., Shenouda, M. N., McCabe, S. L., & El-Tawil, F. A. (2005). Reincarnation of concrete. *Concrete International*, 27(2), 53–59.
- Administration, U. S. F. H. (2004). *Transportation Applications of Recycled Concrete Aggregate: FHWA State of the Practice National Review*. Federal Highway Administration.
- Ag-, C., & Statements, B. C. 127-15. (n.d.). SAg-, C. and Statements, B. [no date]. Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse., pp. 1–5. doi: 10.1520/C0127-15.2. Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse (pp. 1–5).
- Agrela, F., De Juan, M. S., Ayuso, J., Galdes, V. L., & Jiménez, J. R. (2011). Limiting properties in the characterisation of mixed recycled aggregates for use in the manufacture of concrete. *Construction and Building Materials*, 25(10), 3950–3955.
- Ahsan, M. B., & Hossain, Z. (2018). Supplemental use of rice husk ash (RHA) as a cementitious material in concrete industry. *Construction and Building Materials*, 178, 1–9.
- Aktaş, Z. (2015). *Bina Yıkım Atıklarının Altyapı Projelerinde Değerlendirilmesi*. Uzmanlık Tezi, İller Bankası Anonim Şirketi, Ankara.
- Alengaram, U. J., Salam, A., Jumaat, M. Z., Jaafar, F. F., & Saad, H. B. (2011). Properties of high-workability concrete with recycled concrete aggregate. *Materials Research*, 14, 248–255.
- Alexander, M., & Mindess, S. (2005). *Aggregates in Concrete*. *Aggregates in Concrete*. <https://doi.org/10.1201/9781482264647>
- Alghader, A., Sarıışık, A., & Songül, C. A. N. (n.d.). Geri Dönüştürülmüş Beton Agregasının Kendiliğinden Yerleşen Betonun Performansına Etkisi. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 8(2), 91–107.
- Amasaki, S. (1991). Estimation of strength of concrete structures by the rebound hammer. *CAJ Proc Cem Conc*, 45, 345–351.
- Ambroise, J., & Pera, J. (2002). *Design of self-leveling concrete*. 1st North American Conference on Design and Use of Self-Consolidating Concrete, Hanley Wood, LLC, Addison, IL, Chicago, Illinois, USA, 89–94.

- American Society for Testing and Material. (2003). ASTM C 597-02, Standard test Method For Pulse Velocity Through Concrete. United States: American Society for Testing and Material., 04(02), 3–6.
- 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.
- Ashish, D. K., & Verma, S. K. (2019). Determination of optimum mixture design method for self-compacting concrete: Validation of method with experimental results. *Construction and Building Materials*, 217, 664–678.
- Association, C. M. R. (2005). Construction materials recycling association. Chicago, Illinois.< <http://www.cdrecycling.org/>>(Feb. 15, 2013).
- Astm-C128-97. (2007). Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate. In *Annual Book of ASTM Standards* (Vol. 04, pp. 1–5). www.astm.org,
- ASTM C29/C29M-07. (2009). ASTM C29 / C29M-07, Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate,ASTM International. In *Annual Book of ASTM Standards* (pp. 3–6).
- Barra, M., & Vazquez, E. (1998). Properties of concretes with recycled aggregates: influence of properties of the aggregates and their interpretation. *Sustainable Construction: Use of Recycled Concrete Aggregate: Proceedings of the International Symposium Organised by the Concrete Technology Unit, University of Dundee and Held at the Department of Trade and Industry Conference Centre, London, UK on 11–1, 18–30.*
- Bayer, R. İ. (2004). Use of preplaced aggregate concrete for mass concrete applications. Middle East Technical University.
- Berndt, M. L. (2009). Properties of sustainable concrete containing fly ash, slag and recycled concrete aggregate. *Construction and Building Materials*, 23(7), 2606–2613.
- Berredjem, L., Arabi, N., & Molez, L. (2020). Mechanical and durability properties of concrete based on recycled coarse and fine aggregates produced from demolished concrete. *Construction and Building Materials*, 246, 118421.
- Billberg, P. (2005). Mechanisms behind reduced form pressure when casting with SCC.

- First International Symposium on Design, Performance and Use of Self-Consolidating Concrete, SCC'2005, 42, 589–598.
- Binder, S. (2021). University of burgos. September.
- Boyaci, O. C. (2018). Geri dönüştürülmüş beton agregasi içeren betonların özellikleri.
- British Standard, B. S. (2006). 8500, Concrete–Part 1: Complementary British Standard to BS EN 206-Part 1: Method of Specifying and Guidance for the Specifier. British Standard Institution, London.
- Brouwers, H. J. H., & Radix, H. J. (2005). Self-compacting concrete: theoretical and experimental study. *Cement and Concrete Research*, 35(11), 2116–2136.
- BS-en-12390-8-2009-Testing-Hardened-Concrete-Depth-of-Penetration-of-Water-Under-Pressure.pdf. (n.d.).
- BSI. (1983). Testing concrete. Method for determination of tensile splitting strength. In *Concrete Construction - World of Concrete*.
- Chao-Lung, H., Le Anh-Tuan, B., & Chun-Tsun, C. (2011). Effect of rice husk ash on the strength and durability characteristics of concrete. *Construction and Building Materials*, 25(9), 3768–3772.
- Chen, X., Wu, S., & Zhou, J. (2013). Influence of porosity on compressive and tensile strength of cement mortar. *Construction and Building Materials*, 40, 869–874.
- Cheyrezy, M., Maret, V., & Frouin, L. (1995). Microstructural analysis of RPC (reactive powder concrete). *Cement and Concrete Research*, 25(7), 1491–1500.
- Committe, R. T. (2006). Final report of RILEM TC 188-CSC 'Casting of self compacting concrete.' *Materials and Structures*, 39(10), 937–954.
- Corinaldesi, V., & Moriconi, G. (2003). The use of recycled aggregates from building demolition in self-compacting concrete. *Self-Compacting Concrete*, 251–260.
- Corradi, M. (2002). Zero Energy System: An Innovative Approach for Rationalised Precast Concrete Production. *Proceedings-17th BIBM International Congress of PC Industry*, 2002.
- Cuenca, J., Rodríguez, J., Martín-Morales, M., Sánchez-Roldán, Z., & Zamorano, M. (2013). Effects of olive residue biomass fly ash as filler in self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 40, 702–709.
- Czarnecki, S., & Rudner, M. (2023). Recycling of Materials from Renovation and Demolition of Building Structures in the Spirit of Sustainable Material Engineering. *Buildings*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/buildings13071842>

- Density absorption and voids in hardened concrete C 642.pdf. (n.d.).
- Drews, A. (2008). Standard Test Method for. Manual on Hydrocarbon Analysis, 6th Edition, 23(11), 545-545–3. <https://doi.org/10.1520/mnl10913m>
- EFNARC, F. (2002). Specification and guidelines for self-compacting concrete. European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete System.
- EFNARC, S. (2005). guidelines for self-compacting concrete, English ed. European Federation for Specialist Construction Chemicals & concrete Systems.
- Enstitüsü, T. S. (2009). TS 706 EN 12620+ A1 Beton Agregaları. TSE, Ankara, Türkiye.
- Ettxeberria, M., & Gonzalez-Corominas, A. (2018). Properties of plain concrete produced employing recycled aggregates and sea water. *International Journal of Civil Engineering*, 16(9), 993–1003.
- Fulford, M., & Adam, J.-P. (2005). Roman building: materials and techniques. Routledge.
- Gesoğlu, M., Güneyisi, E., Mahmood, S. F., Öz, H. Ö., & Mermerdaş, K. (2012). Recycling ground granulated blast furnace slag as cold bonded artificial aggregate partially used in self-compacting concrete. *Journal of Hazardous Materials*, 235, 352–358.
- Gökçe, Ö. F. (2022). Research for the Use of Concrete Waste As Recycling Aggregate in Permeable Concrete.
- 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(7), 1129–1133.
- Güneyisi, E., Gesoğlu, M., & Özturan, T. (2004). Properties of rubberized concretes containing silica fume. *Cement and Concrete Research*, 34(12), 2309–2317.
- Guo, H., Shi, C., Guan, X., Zhu, J., Ding, Y., Ling, T.-C., Zhang, H., & Wang, Y. (2018). Durability of recycled aggregate concrete—A review. *Cement and Concrete Composites*, 89, 251–259.
- Hama, S. M., & Hilal, N. N. (2017). Fresh properties of self-compacting concrete with plastic waste as partial replacement of sand. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 6(2), 299–308.
- Hansen, T. C., & Boegh, E. (1985). Elasticity and drying shrinkage concrete of recycled-aggregate. *Journal Proceedings*, 82(5), 648–652.

- Hansen, T. C., & Narud, H. (1983). Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. *Concrete International*, 5(1), 79–83.
- Harith, I. K. (2018). Study on polyurethane foamed concrete for use in structural applications. *Case Studies in Construction Materials*, 8(September 2017), 79–86. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2017.11.005>
- Hover, K. C. (2005). Testing concrete. In *Concrete Construction - World of Concrete* (Vol. 50, Issue 12, pp. 37–41).
- Institute, A. C. (2008). *ACI Manual of Concrete Practice*, 2008.
- Katz, A. (2003). Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete. *Cement and Concrete Research*, 33(5), 703–711.
- Kazançoğlu, İ., & Öktem, Ö. (2016). Endüstriyel İşletmelerde Franchising Model Önerisi: Hazır Beton Sektöründe Bir Uygulama. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 31(2), 251–285.
- Khalaf, F. M., & DeVenny, A. S. (2004). Recycling of demolished masonry rubble as coarse aggregate in concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 16(4), 331–340.
- Khayat, K H. (1998). Use of viscosity-modifying admixture to reduce top-bar effect of anchored bars cast with fluid concrete. *Materials Journal*, 95(2), 158–167.
- Khayat, Kamal Henri, & Guizani, Z. (1997). Use of viscosity-modifying admixture to enhance stability of fluid concrete. *Materials Journal*, 94(4), 332–340.
- Klee, H. (2009). *The cement sustainability initiative: recycling concrete*. World Business Council for Sustainable Development (WBCSD): Geneva, Switzerland.
- Kong, D., Lei, T., Zheng, J., Ma, C., Jiang, J., & Jiang, J. (2010). Effect and mechanism of surface-coating pozzalanic materials around aggregate on properties and ITZ microstructure of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 24(5), 701–708.
- Kou, S. C., & Poon, C. S. (2009). Properties of self-compacting concrete prepared with coarse and fine recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 31(9), 622–627.
- Layachi, B., Nourredine, A., & Molez, L. (2020). Mechanical and durability properties of concrete based on recycled coarse and fine aggregates produced from demolished concrete. *Construction and Building Materials*, 246. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118421>

- Li, J., Xiao, H., & Zhou, Y. (2009). Influence of coating recycled aggregate surface with pozzolanic powder on properties of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 23(3), 1287–1291.
- Lopez-Uceda, A., Agrela, F., Cabrera, M., Ayuso, J., & López, M. (2018). Mechanical performance of roller compacted concrete with recycled concrete aggregates. *Road Materials and Pavement Design*, 19(1), 36–55.
- Mahdi, Z. A. Z. (2017). Evaluation of Using the Crushed Concrete Aggregate as Unbound Pavement Layer. *Engineering Sciences*, 7.
- Mahmood, W., Khan, A. ur R., & Ayub, T. (2022). Mechanical and Durability Properties of Concrete Containing Recycled Concrete Aggregates. *Iranian Journal of Science and Technology - Transactions of Civil Engineering*, 46(3), 2111–2130. <https://doi.org/10.1007/s40996-021-00692-x>
- Malešev, M., Radonjanin, V., & Marinković, S. (2010). Recycled concrete as aggregate for structural concrete production. *Sustainability*, 2(5), 1204–1225.
- Marchuk, J. (2020). Circular economy in construction sector: barriers for scaling up construction materials reuse in Trondheim region, Norway. NTNU.
- Marques, C. T., Gomes, B. M. F., & Brandli, L. L. (2017). Consumo de água e energia em canteiros de obra: um estudo de caso do diagnóstico a ações visando à sustentabilidade. *Ambiente Construído*, 17, 79–90.
- Mefteh, H., Kebaili, O., Oucief, H., Berredjem, L., & Arabi, N. (2013). Influence of moisture conditioning of recycled aggregates on the properties of fresh and hardened concrete. *Journal of Cleaner Production*, 54, 282–288.
- Megasari, S. ., & Winayati, W. (2017). Analisis Karakteristik Beton dengan Kombinasi Bahan Tambah Plastiment-VZ dan Sikament-NN Pada Pekerjaan Rigid Pavement di Provinsi Riau. 04, 117–124. <https://doi.org/10.21063/spi3.1017.117-124>
- Mehta, K. P. (2001). Reducing the environmental impact of concrete. *Concrete International*, 23(10), 61–66.
- Mishima, N., Tanigawa, Y., Mori, H., Kurokawa, Y., TERADA, K.-I., & Hattori, T. (1999). Study on influence of aggregate particle on rheological property of fresh concrete. *Zairyo*, 48(8), 858–863.
- Muduli, R., & Mukharjee, B. B. (2019). Effect of incorporation of metakaolin and recycled coarse aggregate on properties of concrete. *Journal of Cleaner Production*, 209, 398–414.

- Nagataki, S., Gokce, A., & Saeki, T. (2000). Effects of recycled aggregate characteristics on performance parameters of recycled aggregate concrete. *Special Publication*, 192, 53–72.
- Nagataki, S., Gokce, A., Saeki, T., & Hisada, M. (2004). Assessment of recycling process induced damage sensitivity of recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Research*, 34(6), 965–971.
<https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.11.008>
- Naik, T. R., & Moriconi, G. (2005). Environmental-friendly durable concrete made with recycled materials for sustainable concrete construction. *International Symposium on Sustainable Development of Cement, Concrete and Concrete Structures*, Toronto, Ontario, October, 5(7).
- Nanthagopalan, P., & Santhanam, M. (2012). An empirical approach for the optimisation of aggregate combinations for self-compacting concrete. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 45(8), 1167–1179.
<https://doi.org/10.1617/s11527-012-9824-3>
- Nash't, I. H., Saeed, H. A., & Sadoon, A. A. (2005). Finding an Unified Relationship between Crushing Strength of Concrete and Non-destructive Tests. 3rd MENDT - Middle East Nondestructive Testing Conference & Exhibition, 27-30 Nov, 7.
www.ndt.net
- Noguchi, T. (2005). An outline of Japanese industrial standards (JIS) as related to sustainability issues. *International Symposium on Sustainable Development of Cement, Concrete and Concrete Structures*, Toronto, Ontario, 407–422.
- Oikonomou, N. D. (2005). Recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 27(2), 315–318.
- Okamura, H. (1997). Self-compacting high-performance concrete. *Concrete International*, 19(7), 50–54.
- Okamura, H., & Ouchi, M. (1998). Self-compacting high performance concrete. *Progress in Structural Engineering and Materials*, 1(4), 378–383.
- Okamura, H., & Ouchi, M. (2003). Self-compacting concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 1(1), 5–15.
- Olorunsogo, F. T., & Padayachee, N. (2002). Performance of recycled aggregate concrete monitored by durability indexes. *Cement and Concrete Research*, 32(2), 179–185.

- Ozawa, K. (1989). High performance concrete based on the durability design of concrete structures. The Second East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction.
- Öztürk, M. (2005). İnşaat Yıkıntı Atıkları Yönetimi. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- Padmini, A. K., Ramamurthy, K., & Mathews, M. S. (2009). Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 23(2), 829–836.
- Pedro, D., De Brito, J., & Evangelista, L. (2014). Influence of the use of recycled concrete aggregates from different sources on structural concrete. *Construction and Building Materials*, 71, 141–151.
- Pereira-de-Oliveira, L. A., Nepomuceno, M. C. S., Castro-Gomes, J. P., & Vila, M. de F. C. (2014). Permeability properties of self-compacting concrete with coarse recycled aggregates. *Construction and Building Materials*, 51, 113–120.
- Poon, C. S., Shui, Z. H., & Lam, L. (2004). Effect of microstructure of ITZ on compressive strength of concrete prepared with recycled aggregates. *Construction and Building Materials*, 18(6), 461–468.
- Quattrone, M., Cazacliu, B., Angulo, S. C., Hamard, E., & Cothenet, A. (2016). Measuring the water absorption of recycled aggregates, what is the best practice for concrete production? *Construction and Building Materials*, 123, 690–703.
- Rao, A., Jha, K. N., & Misra, S. (2007). Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, 50(1), 71–81.
- Renan Sorato; Ray, S. P., & Venkateswarlu, B. (2016). Recycled aggregate concrete; an overview. *Thesis*, 18(2), 67–75.
- Rilem, T. C. (1994). 121-DRG. Specifications for concrete with recycled aggregates. *Mater. Struct*, 27(9), 557–559.
- Rols, S., Ambroise, J., & Pera, J. (1999). Effects of different viscosity agents on the properties of self-leveling concrete. *Cement and Concrete Research*, 29(2), 261–266.
- Sabir, B. B., Wild, S., & Bai, J. (2001). Metakaolin and calcined clays as pozzolans for concrete: a review. *Cement and Concrete Composites*, 23(6), 441–454.
- Safiuddin, M., Alengaram, U. J., Rahman, M. M., Salam, M. A., & Jumaat, M. Z.

- (2013). Use of recycled concrete aggregate in concrete: a review. *Journal of Civil Engineering and Management*, 19(6), 796–810.
- Sahoo, S., Mahapatra, T. R., Priyadarshini, N., Mahapatra, S., Naik, S., & Jaypuria, S. (2020). Influence of water binder ratio on strength and acid resistance of concrete made up of mineral admixture as supplementary cementitious material. *Materials Today: Proceedings*, 26, 796–803.
- Salas, D. A., Ramirez, A. D., Rodríguez, C. R., Petroche, D. M., Boero, A. J., & Duque-Rivera, J. (2016). Environmental impacts, life cycle assessment and potential improvement measures for cement production: a literature review. *Journal of Cleaner Production*, 113, 114–122.
- Sandanayake, M., Zhang, G., & Setunge, S. (2019). Estimation of environmental emissions and impacts of building construction—A decision making tool for contractors. *Journal of Building Engineering*, 21, 173–185.
- Santarpia, M., Menis, J., Chaib, I., & Cao, M. G. (2019). cancer Ac ce pt ed us cr t. *Expert Review of Clinical Pharmacology*, 0(0), 1.
<https://doi.org/10.1080/17512433.2019.1649136>
- Sarıbaş, İlyas., (2018). Geri dönüşüm agregası içeren çevreci betonun yapısal eleman üretiminde kullanılması2018.pdf (p. 308).
- 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. (2020). Durability properties evaluation of self-compacting concrete prepared with waste fine and coarse recycled concrete aggregates. *Construction and Building Materials*, 236, 117540.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117540>
- Shi, C., Li, Y., Zhang, J., Li, W., Chong, L., & Xie, Z. (2016). Performance enhancement of recycled concrete aggregate—a review. *Journal of Cleaner Production*, 112, 466–472.
- Silva, R. V, De Brito, J., & Dhir, R. K. (2018). Fresh-state performance of recycled aggregate concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 178, 19–31.
- Singh, N., Kumar, P., & Goyal, P. (2019). Reviewing the behaviour of high volume fly ash based self compacting concrete. *Journal of Building Engineering*, 26, 100882.
- Skarendahl, Å., & Petersson, Ö. (1999). PRO 7: 1st International RILEM Symposium

- on Self-Compacting Concrete (Vol. 7). RILEM publications.
- Solís-Carcaño, R., & Moreno, E. I. (2008). Evaluation of concrete made with crushed limestone aggregate based on ultrasonic pulse velocity. *Construction and Building Materials*, 22(6), 1225–1231.
- Standard, A. (2013). C1585-13. In *Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes*. ASTM International (Vol. 41, Issue 147, pp. 1–6).
- Standard, B. (1997). *Testing concrete Đ*.
- Tam, V. W. Y., Gao, X. F., & Tam, C. M. (2005). Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach. *Cement and Concrete Research*, 35(6), 1195–1203.
- TS, 13515. (2012). 214. TS 13515, TS EN 206-1'in Uygulamasına Yönelik Tamamlayıcı Standard, T. S. E., Ankara, 2012. [https://doi.org/ICS 91.100.30; 91.080.40](https://doi.org/ICS%2091.100.30;91.080.40)
- Vinay Kumar, B. M., Ananthan, 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. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2016.11.013>
- Wainwright, P. J. (1993). Modifying the performance of concrete made with coarse and fine recycled concrete aggregates. EIK Lauritezen (Ek.), *Demolition and Reuse of Concrete, Guidelines for Demolition and Reuse of Concrete and Masonry*.
- Wu, S. (2005). Application of Self-compacting Concrete in Frame-shear wall structure and road construction. *SCC'2005-China: 1st International Symposium on Design, Performance and Use of Self-Consolidating Concrete*, 705–712.
- Www, W. ., Mahajan, S., & Singh, D. (2008). *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering Fresh and Hardened Properties of Self Compacting Concrete Incorporating Different Binder Materials*. *Certified Journal*, 9001(12), 689–693. www.ijetae.com
- Xiao, J., & Falkner, H. (2007). Bond behaviour between recycled aggregate concrete and steel rebars. *Construction and Building Materials*, 21(2), 395–401.
- Xie, J., Guo, Y., Liu, L., & Xie, Z. (2015). Compressive and flexural behaviours of a new steel-fibre-reinforced recycled aggregate concrete with crumb rubber. *Construction and Building Materials*, 79, 263–272.

- Xie, T., Gholampour, A., & Ozbakkaloglu, T. (2018). Toward the development of sustainable concretes with recycled concrete aggregates: comprehensive review of studies on mechanical properties. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(9), 4018211.
- Xie, Y., Li, Y., & Long, G. (2005). Influence of aggregate on properties of self consolidating concrete. *RILEM Proceedings PRO*, 42, 161–171.
- Yaragal, S. C., & Ramanjaneyulu, S. (2016). Exposure to elevated temperatures and cooled under different regimes—a study on polypropylene concrete. *Advances in Materials Research*, 5(1), 21.
- Yehia, S., Helal, K., Abusharkh, A., Zaher, A., & Istaitiyeh, H. (2015). Strength and durability evaluation of recycled aggregate concrete. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 9(2), 219–239.
- Zaharieva, R., Buyle-Bodin, F., Skoczylas, F., & Wirquin, E. (2003). Assessment of the surface permeation properties of recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Composites*, 25(2), 223–232.