



**GERİ DÖNÜŞÜM AGREGA İLE ÜRETİLMİŞ BETONUN
MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Hassan POURGHADRI SEFIDEHKHAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ŞUBAT 2017

Hassan POURGHADRI SEFIDEHKHAN tarafından hazırlanan “GERİ DÖNÜŞÜM AGREGA İLE ÜRETİLMİŞ BETONUN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK

İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Başkan: Prof. Dr. İlhami DEMİR

İnşaat Mühendisliği, Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye: Prof. Dr. Salih YAZICIOĞLU

İnşaat Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum

Tez Savunma Tarihi: 03/02/2017

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof.Dr. Hadi GÖKÇEN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Hassan POURGHADRI SEFIDEHKHAN

03/02/2017

GERİ DÖNÜŞÜM AGREGA İLE ÜRETİLMİŞ BETONUN MÜHENDİSLİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Hassan POURGHADRI SEFIDEHKHAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şubat 2017

ÖZET

Bu çalışmada farklı oranlarda geri dönüşüm agregası kullanılarak üretilen betonların özellikleri kırmataş agregası ile üretilen betonların özellikleriyle karşılaştırılmıştır. İnce ve iri geri dönüşüm agregası %0, 20, 40, 60, 80 ve 100 oranlarında kırma ince ve iri agregası ile ikame edilmiştir. Karışımların hepsinde uçucu kül %20 oranında çimento ile ikame edilmiştir. Geri dönüşüm agregaları C20 sınıfı olan bir blok betonu kırılıp öğütülüp elenerek elde edilmiştir. Beton örneklerinin taze beton kıvamı ve birim ağırlığı, sertleşmiş beton yoğunlukları, 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları, ıslanma kuruma direnci, donatı aderansı, serbest ve kısıtlanmış rötre özellikleri belirlenmiştir. Beton tasarımı C25 sınıfı beton için yapılmış ve çalışmanın sonunda karışımların çoğunda istenilen hedef dayanımına ulaşılmıştır. Kırmataş agregası ile üretilen betonun özellikleri geri dönüşüm agregalı betona göre daha yüksektir. %100 geri dönüşüm agregasıyla üretilen beton, %100 kırmataş agregasıyla üretilen betona göre bir alt sınıfta yer almıştır.

Bilim Kodu : 91127

Anahtar Kelimeler : Atık beton, geri dönüşüm beton agregası, ıslanma kuruma çevrimi, serbest ve kısıtlanmış rötre, donatı aderansı Kuruma Çevrimi, Serbest ve Kısıtlanmış Rötre, Donatı Aderansı

Sayfa Adedi : 81

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK

INVESTIGATION OF ENGINEERING PROPERTIES OF CONCRETE MADE WITH RECYCLED AGGREGATE

(M.Sc. Thesis)

Hassan POURGHADRI SEFIDEHKHAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February 2017

ABSTRACT

In this study, the properties of concrete made with recycled aggregates in different ratios have been compared with properties of concrete made with crushed aggregates. Fine and coarse recycled aggregate was replaced in the ratio of 0, 10, 20, 30, 40, and 50% with fine and coarse crushed aggregate. Fly ash was replaced with cement in the ratio of 20% in all mixtures. Recycled aggregates were provided by crushing, grinding and screening of a slab made from C20 class concrete. Consistency and unit weight of fresh concretes, the density of hardened concretes, 7, 28 and 90-day compressive strength of concretes, resistance of concrete to wetting and drying cycles, bond strength between rebars and concrete, free and restraint shrinkage values were determined. Concretes were designed for C25 class concrete and at the end of the experiments, the desired compressive strength has been reached in the majority of mixtures. Properties of concretes made with recycled aggregates are better than that of concretes made with crushed aggregates. Concrete made with 100% recycled aggregates was situated in a class under concrete made with 100% crushed aggregate.

Science Code : 91127

Key Words : Waste concrete, recycled concrete aggregate, wetting and drying cycles, free and restrained shrinkage, bond strength between rebars and concrete

Page Number : 81

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Osman ŞİMŞEK

TEŞEKKÜR

Öğrenim hayatım boyunca destekleri benden esirgemeyen, bu günlere gelmemde üzerimde en büyük emeğe sahip olan haklarını asla ödeyemeyeceğim kıymetli anneme ve abilerime teşekkür ederim.

Tezimizin konusunun belirlenmesinde, araştırma aşamasında, yön tayininde ve tamamlanmasında destek olan teziminiz başlangıcından bitimine kadar bana inanan, hep yanımda olan değerli hocam ve tez danışmanım sayın Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK'e gönülden teşekkür ederim. Yardım eden tüm arkadaşlarıma özellikle Seyed Rahim BAHARAVAR'e ve bölümün tüm hocalarına teşekkür eder, saygılarımı sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Beton	3
2.1.1. Agreganın beton özelliklerine etkisi	3
2.1.2. Çimentonun beton özelliklerine etkisi	4
2.1.3. Karışım suyunun beton özelliklerine etkisi	4
2.2. Beton Katkı Maddeleri	5
2.2.1. Kimyasal katkı maddeleri	5
2.2.2. Mineral katkı maddeleri	5
2.3. Rötne	8
2.3.1. Plastik rötne	9
2.3.2. Kuruma rötresi	10
2.3.3. Negatif rötne (şişme)	10
2.4. Islanma Kuruma	11
2.5. Geri Dönüşüm	12

	Sayfa
2.5.1. Geri kazanım ve geri dönüşüm kavramları	12
2.5.2. Genel olarak geri dönüşümün önemi	12
2.5.3. Geri dönüşüm agregası	13
2.6. Geri Dönüşüm Agregası ile Yapılan Çalışmalar	18
2.6.1. Geri dönüşüm agreganın özelliklerinin araştırılması	19
2.6.2. Geri dönüşüm agregalı taze betonun özellikleri	22
2.6.3. Geri dönüşüm agregalı sertleşmiş betonun özellikleri	24
3. MATERİYAL VE METOD	31
3.1. Materyal	31
3.1.1. Eski betonun dayanımının belirlenmesi	31
3.1.2. Agregası	32
3.1.3. Çimento ve uçucu kül	32
3.1.4. Akışkanlaştırıcı	33
3.1.5. Karışım suyu	34
3.1.6. Beton üretimi tasarım planı	34
3.2. Metot	34
3.2.1. Agregası deneyleri	36
3.2.2. Beton tasarımı	42
3.2.3. Taze beton deneyleri	43
3.2.4. Sertleşmiş beton deneyleri	45
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	53
4.1. Taze Beton Özellikleri	53
4.1.1. Taze beton birim hacim ağırlığı	53
4.1.2. İşlenebilirlik	54

	Sayfa
4.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri	55
4.2.1. Sertleşmiş beton yoğunluğu ve su emme oranı	55
4.2.2. Basınç dayanımı	57
4.2.3. Islanma kuruma	59
4.2.4. Serbest rötre	62
4.2.5. Kısıtlanmış rötre (halka metod)	65
4.2.6. Beton aderans dayanımı	67
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	71
KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	81

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. F ve C sınıfı uçucu küllerinin bileşenleri	7
Çizelge 2.2. Uçucu külün beton özelliklerinde etkisi	8
Çizelge 2.3. Farklı standartlarda yapısal betonların geri dönüşüm agregası kullanım oranı ve beton basınç dayanımı sınır değerleri	15
Çizelge 2.4. Hong Kong şartnamesinde belirtilen iri geri dönüşüm agregası özelliklerinin sınır değerleri	16
Çizelge 3.1. Karot numuneleri üzerindeki basınç dayanımı deney sonuçları	31
Çizelge 3.2. Çimento ve uçucu külün teknik özellikleri	33
Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan süper akışkanlaştırıcı katkıının özellikleri	33
Çizelge 3.4. Deney planı ve geri dönüşüm agregası ikame oranları	34
Çizelge 3.5. Deney numunelerinin cinsi ve boyutları	35
Çizelge 3.6. Geri dönüşüm agregasının karışım analizi ve özellikleri	36
Çizelge 3.7. Gevşek ve sıkışık birim ağırlık deney sonuçları	38
Çizelge 3.8. Geri dönüşüm agregaların tane yoğunluğu ve su emme oranı tayini deney sonuçları	40
Çizelge 3.9. Yassılık endeksi deney sonuçları	40
Çizelge 3.10. 1m ³ geri dönüşüm agregalı beton için karışım miktarları	42
Çizelge 3.11. C25 beton sınıfı hedeflenen 1m ³ betonda kullanılan agregası miktarları ...	43
Çizelge 4.1. Karışımların taze beton birim hacim ağırlık değerleri	53
Çizelge 4.2. Karışımların çökme değerleri aritmetik ortalamaları	54
Çizelge 4.3. Karışımların sertleşmiş beton yoğunluk değerleri	55
Çizelge 4.4. Karışımların hacimce su emme oranları	56
Çizelge 4.5. Betonların 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları	58
Çizelge 4.6. Islanma kuruma ve normal kür yapılan betonların 28 ve 90 günlük basınç dayanımları	60

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.7. Bütün karışımların 90 günlük ağırlık kaybı yüzdesi	65
Çizelge 4.8. GDA karışımının kısıtlanmış rötre çatlak genişlikleri	66
Çizelge 4.9. Donatıların betondan sıyırılma kuvvetleri ve aderans dayanımları	67
Çizelge 5.1. GDA ve KTA özelliklerinin karşılaştırılması	71
Çizelge 5.2. Kontrol betonu ve GDA ikameli betonların özelliklerinin karşılaştırılması	71



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Beton ve hava sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgar hızının beton yüzey rutubetinin buharlaşma hızına etkisi	9
Şekil 3.1. Agreganın karışımı, fuller ve agreganın grupları granülometri eğrileri	37
Şekil 4.1. Karışımların taze beton birim hacim ağırlık değerleri	53
Şekil 4.2. Taze betonların çökme değerleri	54
Şekil 4.3. Karışımların sertleşmiş beton yoğunluk değerleri	56
Şekil 4.4. Karışımların hacimce su emme oranları	57
Şekil 4.5. Betonların 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları	58
Şekil 4.6. İslanma kuruma ve normal kür yapılan betonların 28 günlük basınç dayanımları ve dayanım kaybı yüzdeleri	60
Şekil 4.7. İslanma kuruma ve normal kür yapılan betonların 90 günlük basınç dayanımları ve dayanım kaybı yüzdeleri	61
Şekil 4.8. Havada bekleyen numunelerin boy değişimleri	62
Şekil 4.9. Suda bekleyen numunelerin boy değişimleri	63
Şekil 4.10. Bütün karışımlar için ağırlık kaybı yüzdesi	65
Şekil 4.11. Karışımların kısıtlanmış rötre çatlak genişliklerinin grafik gösterimi	66
Şekil 4.12. Donatıların betondan sıyrılmaya kuvvetleri ve aderans dayanımları	68

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Uçucu kül taneciklerinin görüntüsü	6
Resim 2.2. Geri dönüşüm agrega üretimi ve süreci	17
Resim 3.1. Eski betondan geri dönüşüm agregası üretimi ve karot alınması	31
Resim 3.2. Agregaların elenerek gruplara ayrılması	32
Resim 3.3. Gevşek ve sıkışık birim ağırlık tayini deneyinde kullanılan kalıplar	37
Resim 3.4. Tel sepetin sudaki görünümü ve ince agreganın DYK durumuna getirilmesi	39
Resim 3.5. Su ve doygun agrega numunelerini içeren balonjojenin görüntüsü	39
Resim 3.6. Yassılık endeksi deney sonu oluşan agrega grupları	40
Resim 3.7. Los Angeles deney öncesi ve sonrası numunenin görüntüsü	41
Resim 3.8. Los Angeles deney cihazı	42
Resim 3.9. Taze beton kütesinin belirlenmesi ve sıkıştırılmasında kullanılan daldırma vibratörünün görüntüsü	44
Resim 3.10. Çökme miktarının belirlenmesi	45
Resim 3.11. 10×20 silindir numuneler ve Beton basınç presi	46
Resim 3.12. Numunelerin kür tankında ıslanması ve 105°C etüvde kurutulması	47
Resim 3.13. Numunenin su içerisinde ve havadaki kütesinin ölçülmesi	48
Resim 3.14. Serbest rötre numuneleri ve boy değişiminin ölçülmesi	49
Resim 3.15. Halka kalıbın görüntüsü ve çatlak genişliklerinin ölçülmesi	51
Resim 3.16. Kısıtlanmış rötre deneyi sonucu numunede oluşan çatlak ve çatlağın mikroskop görüntüsü	51
Resim 3.17. Donatı aderans deney numuneleri ve hidrolik pistonlu demir çekme cihazının görüntüsü	52
Resim 4.1. Donatı aderans deneyi sonucu parçalanmış beton numunesi ve donatının koptuğu beton yüzeyleri	68

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
BHA	Birim Hacim Ağırlık
GB	%100 GDA ile üretilen beton
GDA	Geri dönüşüm agregası
GDA_{İNCE}	İnce geri dönüşüm agregası
GDA_{İNCE20}	% 20 ince GDA ikameli beton
GDA_{İNCE40}	% 40 ince GDA ikameli beton
GDA_{İNCE60}	% 60 ince GDA ikameli beton
GDA_{İNCE80}	% 80 ince GDA ikameli beton
GDA_{İNCE100}	% 100 ince GDA ikameli beton
GDA_{İRİ}	İri geri dönüşüm agregası
GDA_{İRİ20}	% 20 iri GDA ikameli beton
GDA_{İRİ40}	% 40 iri GDA ikameli beton
GDA_{İRİ60}	% 60 iri GDA ikameli beton
GDA_{İRİ80}	% 80 iri GDA ikameli beton
GDA_{İRİ100}	% 100 iri GDA ikameli beton
KB	%100 KTA ile üretilen beton
KTA	Kırmataş agregası
UK	Uçucu kül

Kısaltmalar	Açıklamalar
S/Ç	Su/çimento oranı
TS	Türk Standardı

1. GİRİŞ

Beton günümüzde en yaygın kullanılan yapı malzemesidir. Dünyada yıllık beton ihtiyacı yaklaşık 4,5 milyar ton olduğu düşünüldüğünde, yıllık kişi başı beton tüketimi ortalama 0,7 tondur. Kentleşme ve dünya nüfusunun son yüzyılda hızlı artış göstermesi ve artışa devam edecek olması, insan hayatının birçok kısmında en yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinden betonun ve beton bileşimindeki malzemelerin önemini bir kez daha göstermektedir. Dünya nüfusu 21. Yüzyılın başlarında 7 milyara ulaşmıştır [1].

Türkiye’de 2006 yılında hazır beton üretiminde 170 milyon ton, asfalt uygulamalarında 100 milyon ton ve özel uygulamalarda 20 milyon ton olmak üzere toplam 290 milyon ton agrega kullanılmıştır. Dünya genelinde ise yıllık 10 milyar ton agrega kullanıldığı tahmin edilmektedir. Beton üretiminde %70-75 oranında kullanılan malzemenin agrega olmasından dolayı betona duyulan ihtiyacın, bileşimini büyük miktarda oluşturan agrega kaynaklarında yeni arayışlar üzerinde çalışmalar yapılmasına neden olmuştur. Bu çalışmaların başında ise yapım ve yıkım atıklarından elde edilen geri dönüşüm agreganın beton üretiminde kullanılması fikri II. Dünya Savaşı sonrası yeniden yapılanma sürecine giren Avrupa’da ortaya çıkmıştır. Bu konu hakkında birçok araştırmacı çalışma yapmış ve geri dönüşüm agreganın betonun fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özelliklerini hangi yönde etkilediğini araştırmışlardır [1].

Bir yanda tükenen doğal agrega kaynakları, diğer yanda ise deprem, yangın, bozulma ve restorasyon gibi nedenlerle oluşan yıkıntı atıklarının atılacağı alanların azlığı ve çevreye verdiği zararlar, insanları geri dönüşüm agrega konusu üzerinde yoğunlaşmaya zorlamıştır. Geri dönüşüm agrega ile ilgili çalışmalar hem Türkiye hem de dünya ülkeleri için büyük önem arz etmektedir. Birçok ülkede yapılan deneysel araştırmalar sonucunda beton agregası ile ilgili standartlarda geri dönüşüm agreganın kullanımı ile ilgili olarak bilgilere yer verilmeye başlanmıştır. Bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmanın amacı atık betonlardan elde edilen agrega ile üretilen betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini aynı karışım özelliklerine sahip doğal agregalı geleneksel beton ile karşılaştırıp, geri dönüşüm agreganın betonun özelliklerine etkisinin incelenmesidir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Beton

Beton; çimento, beton agregası, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin belirli oranlarda homojen olarak karıştırılması ile elde edilen, başlangıçta plastik kıvamda olup zamanla çimentonun hidratasyonu sebebiyle katılaşmış, istenilen şekli alarak sertleşen kompozit bir yapı malzemesidir. Yapı malzemesi olarak kullanılan betonun taze halde işlenebilir kıvamda olması, 28. günde istenilen hedef dayanıma ulaşması, servis ömrü boyunca çevresel etkilere karşı yeterli dayanıklılığa ve hacim sabitliğine sahip olması beklenmektedir [2].

Çimento, agrega, su ve katkı maddelerin özellikleri ve kullanım oranları taze ve sertleşmiş beton özelliklerini etkilenmektedir. Beton hacminin %70-75'i agregadan oluştuğu düşünüldüğünde kullanılan agrega karakteristiklerinin bazı koşulları yerine getirmesi durumunda betondan beklenen özelliklerin sağlanması mümkün olmaktadır.

2.1.1. Agreganın beton özelliklerine etkisi

Agrega beton üretiminde çimento ve su ile birlikte kullanılan taneli malzemedir. Agregada, çimentodan daha ucuz olduğu için betonda mümkün olduğu kadar az çimento ve fazla agrega kullanmak maliyeti düşürmektedir. Agregalar kaynağına göre doğal ve yapay veya geri dönüşüm olarak sınıflandırılır. Doğal agrega, nehir yatakları, deniz ve göl kenarları ve taş ocaklarından alınan ve üzerinde yıkama ve sınıflandırma dışında hiçbir işlem yapılmamış agregadır. Geri dönüşüm agrega, eski betonarme yapıların yıkılmasıyla ortaya çıkan atıkların kırma ve eleme işlemlerinden geçirilmesi sonucu elde edilen malzemedir. Yapay agrega, endüstri atıkları veya yan ürünlerin ısıtılması sonucu elde edilen agregadır [2].

Beton üretiminde kullanılan agreganın; granülometrisi, maksimum tane çapı, tane şekli, yüzey dokusu, aşınmaya karşı direnci, agregadaki zararlı ve inorganik maddelerin türü ve miktarı, dona dayanıklılığı, agreganın su emme kapasitesi, birim ağırlığı, yoğunluğu vb. gibi özellikleri üretilecek betonun dayanımını ve dayanıklılığını etkilemektedir [3].

Çimento ile suyun karışımından oluşan çimento hamuru zamanla içindeki suyu kaybeder ve kuruyarak büzülür. Agregalar, betonda büzülmeden dolayı oluşabilecek hacim değişikliğini engellemekte, dolayısıyla çatlakların daha az olmasına neden olmaktadır. Agregalar dayanıklı ve sert malzemeler olduğundan betonun basınç dayanımının yüksek olmasına katkıda bulunmaktadır. Ayrıca betonun çevresel etkilere ve aşınmaya karşı direncini arttırmaktadır [2].

Malzemelerin içerisindeki boşluk miktarı ne kadar fazla ise dayanımı o kadar yüksek olmaktadır. Kompozitesi düşük bir malzemeden yüksek dayanım beklenmemektedir. Beton hacminin büyük oranı agregadan oluştuğu için agreganın granülometrisi betonun kompozitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Beton tasarımı karışım hesaplarında beton kompozitesini arttırmak için hesaplanan toplam agrega hacminin maksimum dolulukta olmasına dikkat edilmelidir. Düşük kompoziteye sahip agrega karışımının betondan kullanılması çimento miktarını arttırmakta, dolayısıyla betonun maliyeti ve hidrasyon ısısı artmakta, iç gerilmeler oluşmakta ve betonun çatlamasına neden olmaktadır [4].

2.1.2. Çimentonun beton özelliklerine etkisi

Çimento, belirli oranlarda kalker (%77) ve kil (%23) karışımının yüksek sıcaklıkta (1350-1450 °C) pişirilmesi sonucu oluşan ve klinker olarak adlandırılan malzemenin çok az miktarda alçıtaşı (%3-6) ile birlikte öğütülmesi sonucu elde edilen, inorganik esaslı hidrolik bağlayıcı türüdür. Çimento hamuru beton karışımının içerisinde bulunan agregaların yüzeyini bağlayarak bu kompozit malzemenin tek bir malzeme gibi davranmasını sağlamaktadır [4].

2.1.3. Karışım suyunun beton özelliklerine etkisi

Beton üretiminde kullanılan su içilebilecek nitelikte olmalıdır. Beton karma suyu miktarının betonun dayanımı üzerinde çok büyük etkisi olduğu bilinmektedir. Karma suyu miktarı arttıkça beton dayanımı önemli derecede azalmaktadır. Karışım suyu betonun üretimi sırasında agrega tanelerini ıslatarak taze betonun işlenebilirliğini kolaylaştırır. Beton karışım suyu taze betonun priz süresini, sertleşmiş betonun dayanımını ve dayanıklılığını etkilemektedir [4].

2.2. Beton Katkı Maddeleri

Betonun bazı özelliklerini artırmak, bazı olumsuzlukları ortadan kaldırmak için sıvı ve puzolanik özelliğe sahip katı malzemelere “beton katkı maddesi” denir. Beton katkı maddeleri genel olarak; kimyasal katkı maddeleri ve mineral katkı maddeleri olarak iki gruba ayrılır.

2.2.1. Kimyasal katkı maddeleri

Kimyasal katkıları taze ve sertleşmiş beton üzerinde istenilen özellikleri sağlamak ve bazı olumsuzlukları ortadan kaldırmak için beton üretiminde kullanılan katkılarıdır. Kimyasal katkıları organik veya inorganik kökenli olabilirler ve çimento ağırlığının belirli yüzdesi oranında betona katılırlar. Günümüzde yaygın olarak kullanılan kimyasal katkıları, su azaltıcı (akışkanlaştırıcı), hava sürükleyici, priz hızlandırıcı, priz geciktirici ve rötre azaltıcı katkılarıdır [5].

2.2.2. Mineral katkı maddeleri

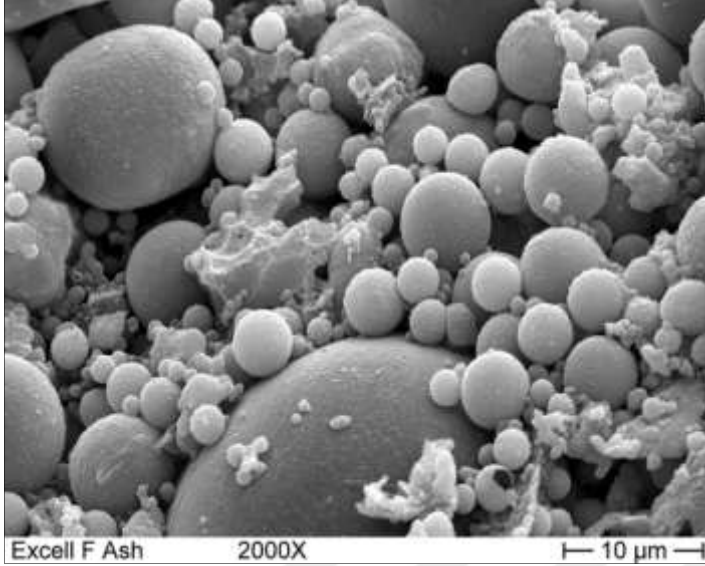
Mineral katkıları betonun hidrasyon ısısını düşürür, betonun kimyasal etkilere karşı dayanımını artırır, betonun su geçirgenliğini düşürür, betona ekonomiklik sağlar. Mineral katkıları %5’den başlayıp, %95’e kadar çimento ile yer değiştirmeli olarak kullanılabilirler. Puzolanik özellik gösterdikleri için mineral katkıları puzolan adı verilmektedir. Elde edildikleri kaynaklara göre, puzolanları üç grupta toplaya bilmek mümkündür:

- Doğal puzolanlar (volkanik küller, traslar, diatomit ve taş unu)
- Beton üretimi ile doğrudan ilgili bir endüstri kolunda yan ürün olarak elde edilen malzemeler (uçucu kül, silis duman ve yüksek fırın cürufu)
- Isıl işlem uygulanmış olan malzemeler (pişirilmiş kil, pişirilmiş tuğla ve kiremit tozu)

Uçucu kül

Uçucu kül, termik santrallerde pulverize kömürün yanması sonucu meydana gelen baca gazları ile taşınarak siklon veya elektro filtrelerde toplanan önemli bir yan üründür. Kömürün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucu meydana gelen ergimiş malzeme

soğuyarak, gaz akışı ile kısmen veya tamamen küresel şekilli kül taneciklerine dönüşmektedir. Bu kül tanecikleri çok ince (0,5-150 mikron) olup, baca gazları ile sürüklenmeleri nedeniyle, uçucu kül olarak adlandırılmaktadır [6].



Resim 2.1. Uçucu kül taneciklerinin görüntüsü

Uçucu küller F ve C sınıflarına ayrılırlar:

F sınıfına, bitümlü kömürden üretilen ve toplam $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ yüzdesi %70'den fazla olan uçucu küller girmektedir. Aynı zamanda bu küllerin CaO yüzdesi %10'un altında olduğu için düşük kireçli olarak da adlandırılırlar. F sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğe sahiptirler. C sınıfı uçucu kül ise, linyit veya yarı-bitümlü kömürden üretilen ve toplam $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ yüzdesi %50'den fazla olan uçucu küldür. Aynı zamanda bu küllerin CaO yüzdesi %10'dan fazla olduğu için yüksek kireçli olarak da adlandırılırlar. C sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğin yanı sıra bağlayıcı özelliğe de sahiptirler [7].

Çizelge 2.1. F ve C sınıfı uçucu küllerinin bileşenleri [8]

Bileşik	F sınıfı	C sınıfı
SiO ₂	42-54	46-59
Al ₂ O ₃	16,5-29	14-22
Fe ₂ O ₃	16-24	5-13
CaO	1,3-3,8	8-16
MgO	0,3-1,2	3,2-4,9
K ₂ O	2,1-2,7	0,6-1,1
Na ₂ O	0,2-0,9	1,3-4,2
SO ₃	0,5-1,8	0,4-2,3
Li ₂ O	1,2-5	0,1-2,3
TiO ₂	1-1,5	<1

Uçucu külün beton özellikleri üzerindeki bazı etkileri bunlardır:

Su ihtiyacı ve işlenebilirlik

Genellikle, çimentonun belirli oranda uçucu kül ile ikame edilmesi betonun su ihtiyacı ve slump değerini azaltmaktadır. Uçucu kül çimentodan daha ince taneli olduğundan su ihtiyacı artmaktadır. Buna rağmen küresel taneler içsel sürtünmeyi azalttığından su ihtiyacı azalmaktadır. Bu nedenle beton karışım oranları su ihtiyacı üzerinde etkin rol oynar. Diğer taraftan uçucu kül ince agreganın yerine kısmi yerleşim yapılırsa su ihtiyacı yüksek olabilir. Uçucu külün yoğunluğu çimentodan az olduğundan, çimento yerine uçucu kül kullanıldığında bağlayıcı hamurun hacmi artmaktadır. Bağlayıcı hamuru uçucu külün inceliğinden dolayı boşlukları doldurur, dolayısıyla yapışkanlık, plastiklik ve agrega tanelerinin kayganlığı sağlanır, ayrıca perdahlama da kolaylaşır. Uçucu külün küresel taneleri agregalar arasındaki sürtünmeyi bilyalı-yatak etkisi ile azalttığından betonun daha rahat hareket etmesini sağlar ve pompalanabilirliğini artırır [9].

Priz süresi ve hidrasyon ısı

Uçucu külün priz süresi üzerindeki etkisi uçucu külün karakteristiklerine ve kullanıldığı miktara bağlıdır. Uçucu küllü betonların priz süresi normal betona göre daha uzun olmaktadır. Portland çimentosunun hidrasyonu sonucu ortaya çıkan kalsiyum hidroksit ve uçucu külün arasındaki kimyasal reaksiyon, çimentonun hidrasyonu işleminden daha yavaş bir işlem olduğundan daha az ısı çıkarmakta, dolayısıyla daha az iç gerilmeler ve

daha az rötre oluşmaktadır. Baraj yapıları gibi kütle betonlarında ortaya çıkan yüksek ısıları kontrol etmede uçucu külün bu özelliğinden faydalanır [9].

Dayanım

Uçucu külün beton karışımında çimento ile ikame edilmesi su ihtiyacını azaltmakta, bağlayıcı madde hacmini artırmakta ve uzun dönemde puzolanik aktivite yoluyla dayanıma katkıda bulunmaktadır. Uçucu kül çimento ile kısmen yer değişimi yapıldığı zaman betonun erken yaş dayanımı azaltmakta ve uçucu kül miktarının artmasıyla basınç dayanımı daha da düşmektedir [9]. Çizelge 2.2 uçucu külün tüm etkilerini toplam olarak yansıtmaktadır.

Çizelge 2.2. Uçucu külün beton özelliklerinde etkisi [10]

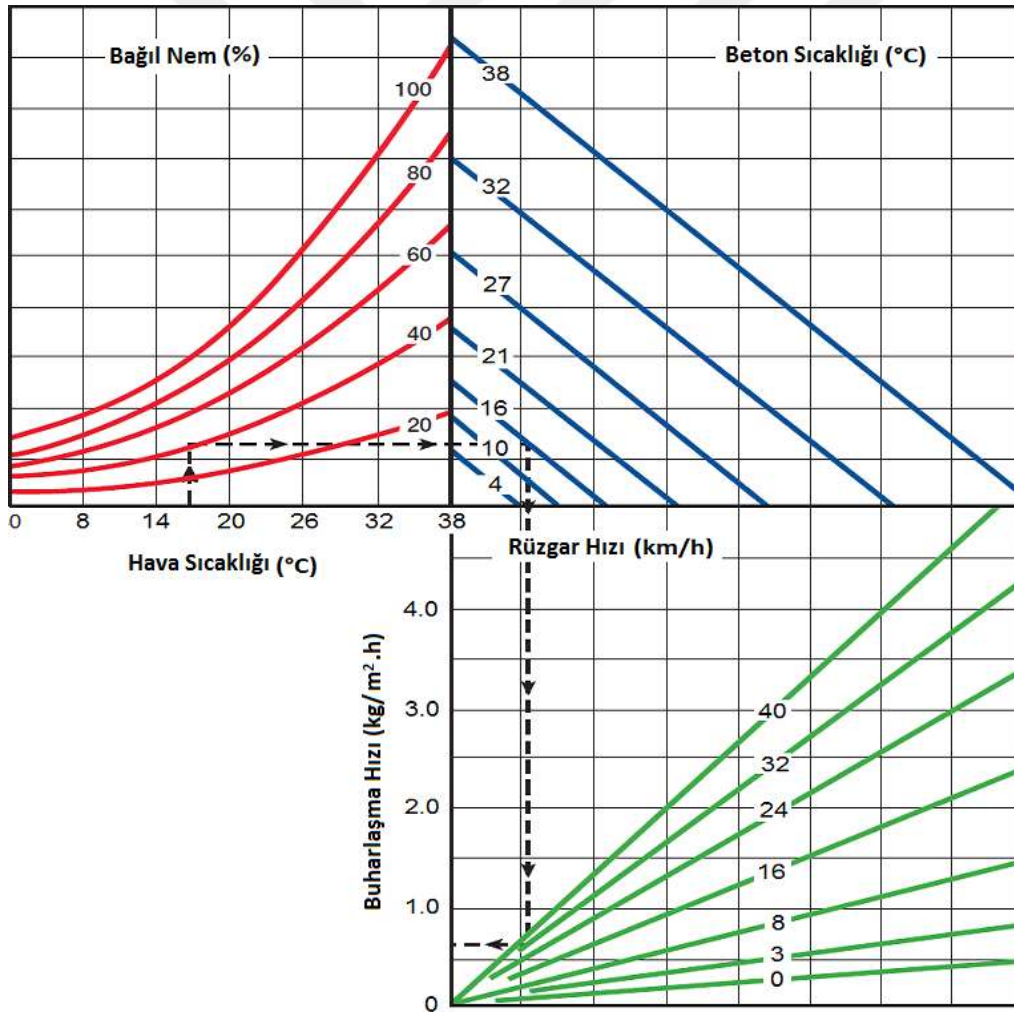
Beton özelliği	Etkisi
Taze beton su ihtiyacı	Azaltır
Taze betonda tane ayrışması	Azaltır
Taze betonda işlenebilirlik	Artırır
Taze betonda priz süresi	Artırır
Taze betonda terleme	Azaltır
Sertleşmiş betonda erken dayanım	Azaltır
Sertleşmiş betonda su geçirgenlik	Azaltır
Alkali agrega reaksiyonu	Azaltır
Sülfat direnci	Artırır

2.3. Rötre

Beton içerisindeki suyun fiziksel ve/veya kimyasal nedenlerle azalması (kaybolması) sonucunda beton boyunda ve hacminde yer alan küçülmeye “rötre” denilmektedir. Rötre, beton hem taze hâlde iken hem de sertleşmiş durumda iken meydana gelen bir olaydır ve esasında çimento hamuru ile ilgili bir özelliktir [4]. Rötre çeşitleri plastik, termik, otojen, karbonatlaşma, kuruma ve negatif rötre dir. Bunların içinde plastik, kuruma ve negatif rötre hakkında detaylı olarak bilgi verilmiştir.

2.3.1. Plastik rötre

Plastik rötre taze betonun yerine yerleştirme işleminden sonraki birkaç saat içerisinde beton tamamen sertleşmeden önce ve henüz plastik kıvamdayken beton yüzeyinde oluşan rötre türüdür. Beton yüzeyindeki suyun çok hızlı buharlaşması plastik rötreye neden olmaktadır. Beton yüzeyindeki suyun buharlaşma hızı, betonun terleme hızından daha fazla olduğu takdirde, beton yüzeyi kuruyarak büzülür. Su/çimento oranı düşük betonlarda beton yüzeyindeki su miktarı az olduğundan plastik rötre oluşumu olasıdır. Buharlaşma hızı, betonun sıcaklığına, havanın sıcaklığına, bağıl nem miktarına ve rüzgâr hızına bağlıdır. Bu dört temel etkenin, beton yüzeyindeki suyun buharlaşma hızına etkileri Şekil 2.1’de gösterilmektedir [11].



Şekil 2.1. Beton ve hava sıcaklığı, bağıl nem ve rüzgar hızının beton yüzey rutubetinin buharlaşma hızına etkisi [3]

2.3.2. Kuruma rötresi

Betonun kuruması ile beton hacminde meydana gelen büzölmeye kuruma büzölmesi denilmektedir. Beton ilk yaşlarda suyunu daha hızlı kaybeder, buharlaşma hızını etkileyen faktörler devam ettikçe toplam su kaybı zamanla arttığından büzölme miktarında da artış görölmektedir. Beton sertleştikten sonra çimento hamurunun su miktarının altındaki nem oranına sahip ortamlarda hidrate kalsiyum silikat (CSH) jelinin absorbe ettiği suyu kaybeder ve kuruma rötresine neden olur [12]. Önce kılcal boşluklardaki su buharlaşır, dolayısıyla jel suyu bu boşluklara akmaya başlar, daha sonra bu suyun da kısmen buharlaşmasıyla taneneler birbirine yaklaşır ve çimento hamuru büzölür. Her hangi bir dış yükleme olmaksızın bu büzölme meydana gelir. Dış yükleme jel suyu akımını hızlandırır ve büzölme miktarının fazla olmasına neden olur [13].

Kuruma rötresi, üretimi izleyen günden itibaren başlar ve uzun süre (5 ila 6 ay boyunca) devam eder. İlk başta yüksek hızda gerçekleşir, malzemenin yaşı arttıkça yavaşlar. Yapı üzerinde röt-re-kontrol derzlerinin açılması büzölme gerilmelerini azalttığından kuruma rötresini önlemenin en iyi metodu olarak bilinmektedir. Bu derzler röt-re çatlaklarının kontrollü bir şekilde oluşmasını sağlar. Çatlakların sadece tıkaçıcılarla kaplı derzlerde oluşacağından zararlı kimyasalların yapı içerisine girmesi engellenecektir. Beton yüzeyinin yeniden ıslanması veya % 100 nemlilikte tutulması gibi yöntemler kuruma rötresini azaltmakta, ancak tamamen engellenmesi mümkün olmamaktadır [14].

2.3.3. Negatif röt-re (şişme)

Devamlı olarak su içerisinde bırakılan çimento hamurlarının ve betonların hacimlerinde ve ağırlıklarında küçük bir miktar artma meydana gelmektedir. Çimento hamurunun veya betonun gösterdiği hacim artışına "şişme" veya "negatif büzölme" denilmektedir. Hacim artışına, çimento jelleri tarafından emilen su neden olmaktadır. Su molekülleri jel parçacıklarının arasına girerek, bu parçacıkların kohezyonuna karşı bir kuvvet gibi hareket ederek şişmeye yol açan bir basınç oluşturmaktadır. Çimento hamurunun şişme nedeniyle göstereceği birim deformasyon oldukça düşüktür. Döküldükten sonra 24 saat devamlı olarak su içerisinde 100 ve 1000 gün tutulan çimento hamurunun göstereceği şişme, doğrusal genişleme olarak ifade edilecek olursa, sırasıyla, $1300 \times 10^{-6}m$ ve $2000 \times 10^{-6}m$ kadardır. Betondaki şişme, çimento hamurunun şişmesinden daha da az

olmaktadır. Kullanılan çimento miktarı 300 kg/m^3 olan ve altı ay veya bir yıl süreyle su içerisinde tutulmuş olan betonlarda şişme $100 \times 10^{-6}m$ ila $150 \times 10^{-6}m$ kadardır [4].

2.4. Islanma Kuruma

Durabilite, betonun hava koşullarında parçalanma, kimyasalların hücumu, aşınma veya herhangi bir bozulma sürecine karşı direnci olarak tanımlanır. Dayanıklı beton çevre etkilerine maruz bırakıldığında, özgün şekli, kalitesi ve hizmet verebilirliğini koruyacaktır [3]. Günümüzde açık kullanımdaki köprü, yol, tünel, sulama yapısı gibi yapıların beklenen hizmet ömrünün en az 75-100 yıl olması durabiliteyi betondan beklenen en önemli özellik durumuna getirmiştir [15].

Günümüzde yaygın olarak kullanılan betonlar geçirimli olduğu bilinmektedir. Suda çözünen kimyasallar beton içerisine nüfuz etmekte ve beton özelliklerini etkilemektedir. Bu etki mekanizmalarından biri olan Islanma kuruma çevrimleri betonu hem fiziksel hem de kimyasal yolla etkilemektedir. Su ve içeriğinin betonda oluşturduğu tahribat bunlardır;

1. Düşük karbonatlı suların beton öğelerinden bazılarını çözmesi ve yıkayarak beton kütlelerinden uzaklaştırması.
2. Agresif sıvıların hidrate çimento bileşenlerini çözmesi: Reaksiyon ürünleri ya yıkanarak uzaklaştırılır ya da suda çözünmeyen yeni bir yapı oluştururlar. Asitlerin $Mg+2$ iyonu içeren suların oluşturdukları hasarlar bu tür reaksiyonlara örnektir.
3. Eriyikliği düşük tuzların beton boşluklarında kristalleşmesi ve yapıyı katı fazda genişleterek patlatması.
4. Islanma kuruma çevrimine maruz betonlarda ıslanma anında ani ısıl gerilmelerin oluşturduğu deformasyonlar.
5. Alkali silika reaksiyon genişlemesiyle ortaya çıkan rötne çatlakları.

Sıcak ve kurak iklime sahip bölgelerdeki drenaj ve sulama kanalları, deniz kenarında dalgaların etkisindeki korunma yapılarında, kesikli granülometriye sahip, ince agregası olmayan geçirimli özellikteki üstü açık spor tesisi ve futbol sahası betonlarında ıslanma kuruma çevrimi ile karşılaşılır. Tekrarlı ıslanma kuruma ve aşınma sonucu önce ince agregaların beton kütlelerinden ayrılmaya başladığı, açığa çıkan kaba agregaların da zamanla yok olduğu ve zamanla daha fazla çimento hamuru bağlayıcı matrisinin bu

etkilere açık hale geldiği görülür. Bu durumda uygun agreganın seçimi önemlidir. Su emmesi çok düşük, yoğun bir agrega kullanılmalıdır. Olay fiziksel olduğu için çimentonun kimyasal yapısı ikinci planda kalmaktadır. Beton yüzey bölgesinin geçirimsizliği mutlaka sağlanmalıdır [15].

2.5. Geri Dönüşüm

2.5.1. Geri kazanım ve geri dönüşüm kavramları

Farklı işlemlere maruz kalmış çeşitli alanlarda kullanılmış malzeme atıklarının kullanılarak yeni bir malzemeye dönüştürülmesi işlemine genel olarak “geri dönüşüm”, geri dönüşüm işlemleri ile yeniden enerji kazanımı sağlama işlemlerine ise “geri kazanım” denir. Bir başka ifade ile geri dönüşüm, kullanım dışı kalan atık malzemelerin kimyasal ve fiziksel yöntemlerle hammadde olarak imalat sürecine tekrar dahil edilmesidir [16].

2.5.2. Genel olarak geri dönüşümün önemi

Günümüzde nüfusun artmasına paralel olarak tüketim miktarı da artmaktadır. Bu durum üretim için gerekli olan dünyadaki hammadde miktarının hızla azalmasına, ekolojik dengenin bozulmasına, çevre kirliliğine ve atık maddelerin çok fazla artmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde geri dönüşüm üzerine geniş çaplı araştırmalar ve çalışmalar yapılmaya başlanmıştır, ayrıca bazı ülkelerde geri dönüşümün yasalaşma süreci başlamıştır. Geri dönüşüm ile birlikte bazı atık maddelerin üretimde tekrar hammadde olarak kullanılması, ülkelerin ekonomisine büyük katkıda bulunacak, çevrenin korunmasını sağlayacak ve dünya üzerindeki doğal kaynakların tükenmesini engelleyecektir [16].

Gerek deprem gibi afetlerden sonra olsun gerekse eski yapıların yıkılmasıyla ortaya çıkan beton atıklarının geri dönüşüm agregası olarak kullanılması, bu atıkların depo edildikleri yerlerde oluşturacağı çevresel kirlilikleri azaltacaktır. Bunun yanında beton atıkların taşınması için harcanan nakliye giderleri azalacağı için bir ekonomi sağlayacağı da aşıkardır. Ayrıca nakliye işleminde kullanılacak yakıttan dolayı oluşacak hava kirliliği de azalacaktır [17].

2.5.3. Geri dönüşüm agregası

Beton karışımlarının kütleli olarak ortalama %75'i agrega, %12'si çimento ve %8'i karışım suyudur. Dolayısıyla beton karışımlarının büyük bölümünü agrega oluşturmakta ve dünya genelinde yıllık 10 milyar ton agrega kullanıldığı tahmin edilmektedir. Ayrıca dünyada yıllık 1 milyar ton gibi büyük bir miktarda yapım yıkım atığı oluşmaktadır. Bu noktada, agregaların geri dönüşümü büyük önem kazanmaktadır. Günümüzde artan nüfus ile oluşan hızlı kentleşme büyük bir beton ihtiyacı oluşturmaktadır. Artan beton ihtiyacını karşılamak için doğal agrega bulma zorunluluğu ekonomik ve çevresel açıdan birçok sıkıntı oluşturmaktadır. Yıkım atıklarının betonda agrega olarak kullanılabilir şekilde geri dönüştürülmesi ekonomik ve çevresel açıdan birçok avantajı da beraberinde getirmektedir. Bu sebeple birçok ülkede, yıkım atıklarının betonda agrega olarak geri dönüştürülebilmesi için birçok çalışma yapılmaktadır [1].

Geri dönüşüm agregasının tarihçesi

Yıkım atıklarının beton agregalarında kullanılması fikri, ilk olarak Almanya'da İkinci Dünya Savaşı'nda enkaz haline gelen yapılardan geri dönüşüm agregası elde edilmesiyle ortaya çıkmıştır. Bu amaçla Almanya'da kurulan tesis, 1955 yılına kadar toplam 175.000 konut inşa etmiş ve bu inşaatlarda 11.5 milyon m³ kırma tuğla agregası elde etmiştir [18]. 90'lı yıllarda ortaya çıkan "sürdürülebilirlik" kavramı kapsamında oluşan enerji tasarrufu ve çevreyi koruma akımı etkisiyle başta Avrupa Ülkeleri olmak üzere birçok ülkede geri dönüşüm agregaları beton üretiminde tekrar kullanılmaya başlamıştır. Türkiye'de ise 1999 Kocaeli depremi sonucu oluşan birçok enkaz denize dökülmüş ve dolayısıyla geri dönüşüm agregalarının betonda kullanımı yaygınlaşmamıştır [16].

Geri dönüşüm agregasının kullanım amacı

Günümüzde çevrenin korunması çok önemli bir konu haline gelmiştir. Sürdürülebilir kalkınma kapsamında enerji sarfiyatı, doğal hammadde tüketimi ve atık madde miktarının azaltılması çevrenin korunması için alınan önlemler içinde büyük önem taşımaktadır. Dünya nüfusunun hızla artması büyük şehirlerde inşaat sektörünün hızla gelişmesine neden olmakta ve beton üretiminde kullanılan malzemelere duyulan ihtiyaç artmaktadır. Bu malzemeler içinde çimentonun mineral katkılarla ikame edilerek kullanılması, agrega için

ise atık betonların kırılarak elde edilen geri dönüşüm agregası kullanılması alternatif olarak araştırılmaktadır [19].

Yeni yapı inşaatların artmasından dolayı beton hacminin büyük miktarını oluşturan agregaya duyulan ihtiyaç artmakta ve doğal agrega kaynaklarının giderek azalmasına dolayısıyla agrega maliyetinin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca eski yapıların yıkılmasıyla meydana gelen beton atıkları giderek artmakta ve çevresel, ekolojik ve ekonomik olarak birçok problem doğurmaktadır. Bu atıkların belirli işlemlerden sonra beton üretiminde agrega olarak kullanılması bu problemlerin çözülmesine katkıda bulunacaktır. Günümüzde taş ocaklarının şehir dışında olmasından dolayı geri dönüşüm tesislerinin yapıların yıkılıp yeniden inşa edildiği yerde kurulması ekonomik açıdan avantajlı olmaktadır. Çünkü agrega temini için taşıma maliyeti düşer ve sonuç olarak proje maliyeti azalır. Çevresel etki olarak düşünüldüğünde, betonun hacimce %70-75'ini oluşturan agreganın taş ocaklarından temin edilmesine devam edilirse hammadde kaynakları giderek azalacak ve çevre dengesinin bozulmasına neden olacaktır [20].

Ekonomik açıdan bakıldığında, beton hacminin yaklaşık %40'ını oluşturan çimento maliyetinden (%40) sonra ikinci sırada yer alan iri agreganın maliyeti, $1m^3$ hazır beton üretim maliyetinin yaklaşık %20'sini oluşturmaktadır [21].

Geri kazanılmış agrega ile ilgili standartlar

Avrupa Standartlar Komitesi (European Committee for Standardization: CEN) tarafından oluşturulan Avrupa Agregası Şartnamesi geri dönüşüm agregası konusuna ilk olarak 2003 yılında değinmesiyle bu malzemenin uluslararası standartlaşmasına ve kullanım alanlarının yaygınlaşmasına neden olmuştur [22]. Avrupa standartları olan Fransa RILEM, Almanya DIN 4226-100, Birleşik Krallık BS 8005-2, Portakal E471: 2006, İsviçre OT70085 ve İspanya EHE-08 standartlarında geri dönüşüm agregası konusuna yer verilmeye başlanmıştır [23]. Uluslararası standartlarda geri dönüşüm agregası kullanımını ikame oranı ve geri dönüşüm agregasıyla üretilen betonun basınç dayanımı için belirtilen sınır değerler Çizelge 2.3'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.3. Farklı standartlarda yapısal betonların geri dönüşüm agregaya kullanım oranı ve beton basınç dayanımı sınır değerleri [24]

Standard	İri geri dönüşüm agregası türü ve ikame oranı	Basınç dayanımı (MPa)
RILEM	Tip II (%100)	50
	Tip III (\leq %20)	Sınır yok
Hong Kong	%100	20
	\leq %20	25-35
Belçika	Tip II (%100)	30
	\leq %20	Sınır yok
Hollanda	%100 ve 40 kg/m ³ çimento artışı	17,5-22,5 (küp)
	%100 ve 40 kg/m ³ çimento artışı	27,5-45 (küp)
	\leq %20	Sınır yok
Birleşik Krallık	%100	40
	\leq %20	Sınır yok
Japonya (İnşaat Mühendisliği)	I	18-24
	II	16-18
	III	<16
	\leq %20	Sınır yok
Avusturalya (Yapısal Olmayan)	%100	40
	\leq %20	Sınır yok

EHE-08 standardında geri dönüşüm agreganın yapısal betonda kullanımı için sadece iri agregaya yerine ikame edilmesine izin verilmiş ve miktarı toplam iri agreganın ağırlığının %20'sine sınırlandırılmıştır. Bu standarda göre geri dönüşüm agregaya ön gerilmeli betonlar hariç dayanımı 40 MPa'dan fazla olan betonlarda kullanılmamalıdır. Geri dönüşüm iri agreganın 4 mm elekten geçen miktarı %5'ten fazla, su emme oranı ise %7'den fazla olmamalıdır [25].

Hong Kong hükümeti beton üretiminde geri dönüşüm agregaya kullanımıyla ilgili standartta ince geri dönüşüm agreganın kullanılmasına izin vermemektedir. İri geri dönüşüm agreganın kullanılmasına izin verilen betonları az talep edilen yapılarda kullanılan betonlar ve yapısal betonlar olmak üzere ikiye ayırmıştır. İri geri dönüşüm agreganın az talep edilen yapılarda kullanılan ve dayanımı 20 MPa ile sınırlı olan betonlarda %100 oranında, dayanımı 35 MPa ile sınırlı olan yapısal betonlarda ise %20 oranında ikamesine izin verilmiştir. Ayrıca iri geri dönüşüm agregaya özellikleri için belirtilen sınır değerler Çizelge 2.4'de verilmiştir [26].

Çizelge 2.4. Hong Kong şartnamesinde belirtilen iri geri dönüşüm agregası özelliklerinin sınır değerleri [26]

Özellikler	Sınır değerler
Agreganın kuru yoğunluğu (minimum)	2000 kg/m ³
Su emme kapasitesi (maksimum) (%)	10
Ahşap ya da yoğunluğu sudan az olan benzer malzeme (maksimum) (%)	0,5
Diğer kirletici maddeler (maksimum) (%)	1
4 mm'den daha ince taneler (maksimum) (%)	4
63 µm'den daha ince taneler (maksimum) (%)	5
Sülfat içeriği (maksimum) (%)	1
Klorür içeriği (maksimum) (%)	0,05

Geri dönüşüm agregasının üretimi

İnşaat yıkıntı atıklarından geri dönüştürülebilen malzemeler farklı yöntemlerle ayrıştırılmaktadır. Bunlardan biri malzemelerin kaynakta ayrılmasıdır. Bu yöntemde yapının yıkıldığı şantiyede malzemeler ayrıştırıldıktan sonra farklı konteynirlara depolanır. Malzemenin kaynakta ayrılmasından dolayı geri dönüşüm tesisine götürülmesine gerek olmayacağından maliyet azalır ancak şantiyede fazla iş gücü farklı malzemeler için birçok konteynir gerektirmektedir [27].

Bir diğer yöntem ise yıkıntı atıklarının geri dönüşüm tesisinde ayrıştırılmasıdır. Yapım ve yıkım atıkları geri dönüşüm tesisine götürülür, önce beton atıkları tuğla, demir, ahşap, plastik, alçı, demir vb. gibi diğer maddelerden arındırılır. Daha sonra beton parçaları kırılıp elendikten sonra betonda agregası olarak kullanılmak üzere istenilen boyutlarda depolanır. Resim 2.2'de beton atıklarının kaynaktan alınması ve geri dönüşüm tesisinde kırma ve eleme işlemleri sonucu agregası boyutunda depolanması görülmektedir.



Resim 2.2. Geri dönüşüm agrega üretimi ve süreci

Hong Kong'da faaliyet veren bir yapım ve yıkım atığı geri dönüşüm tesisinde geri dönüşüm süreci aşağıdaki aşamaları içermektedir;

1. Titreşimli ana hat üzerinde geri dönüştürülebilir yapım ve yıkım atıklarının ayrılması
2. İkinci kırıcıda işlemek üzere Büyük beton parçalarının Çeneli kırıcıyla 200 mm ya da daha küçük boyutlara getirilmesi
3. İkinci kırıcıya girmeden önce manyetik ve hava ayırıcılarla malzemenin safsızlıklarının ayrılması
4. Konik şeklindeki ikinci kırıcıyla temiz malzemenin 4 mm'den küçük boyuta getirilmesi
5. Vibratörlü eleklerden elenerek kırılmış geri dönüşüm agregalarının farklı boyutlara getirilmesi

Tesis değişik uygulamalarda kullanılmak üzere; 40 mm, 20 mm ve 10 mm gruplarında iri agrega ve 5 mm'den küçük boyutlarda ince agrega üretmektedir. Tesise giren malzeme değişik kaynaklardan getirildiğinden dolayı Tesis temkinli bir kalite kontrol yaklaşımı benimsemiştir. Tesiste yalnızca kırma taş, beton gibi uygun malzemeler işlenmekte olup tuğla, fayans vb. malzemelere izin verilmemektedir. Üretilen geri dönüşüm agregalardan günlük olarak numuneler alınıp test edilmektedir. Temmuz 2003'te tesisin kuruluşundan beri tesiste yaklaşık 240,000 ton şartname gereksinimlerini sağlayan yüksek kaliteli geri dönüşüm agregası üretilmiştir [28].

Geri dönüşüm agregasının betonda kullanımını engelleyen nedenler

Geri dönüşüm malzemenin yapı sektöründe kullanımı, geri dönüşüm malzemedan elde edilen son ürüne güven eksikliği gibi nedenlerden dolayı çoğu durumda engellenmektedir. Taş ocaklarından doğal agrega temin edilmesi ve yıkım atıklarının yok edilmesi için harcanan enerji, geri dönüşüm agrega üretiminde kullanılan enerjiden daha düşük olduğu ülkelerde geri dönüşüm agrega kullanımı henüz yaygınlaşmamıştır [16].

Geri dönüşüm agregasıyla üretilen betonların yaygın olarak kullanımı önünde engel teşkil eden sorunlardan bazıları şu şekilde sıralanabilir:

1. Bilinç eksikliği; geri dönüşüm agregasının doğal agregaya alternatif olarak düşük dayanımlı betonlarda kullanımı için toplumsal bilinç oluşturulmalı ve güven aşılması yapılmalıdır.
2. Hükümet desteğinin eksikliği; geri dönüşüm agrega ve bu agregalarla üretilen betonların yaygın olarak kullanımı için gereken yasalar doğru kurumlar tarafından getirilmelidir.
3. Uygun geri dönüşüm tesislerinin eksikliği, yıkım atıklarının küçük miktarda olduğu alanlarda geri dönüşüm tesisinin kurulması ekonomik olmayacağından portatif ekipmanların kullanılması tavsiye edilmektedir.
4. Uygun teknolojinin eksikliği; Yapım ve yıkım atıklarının geri dönüşümünde faaliyet gösteren çok az sayıda ticari olarak geçerli teknoloji mevcuttur. Ayrıca hammadde ve son ürünün kalite kontrolüyle ilgili sorunlar da göz ardı edilmemelidir.
5. İlgili standartların eksikliği; Hong Kong, Birleşik Krallık ve RILEM standartları dışında geri dönüşüm agrega kullanımı için çok az sayıda şartname mevcuttur. Geri dönüşüm agregalı betonlara güvenin artması geri dönüşüm agrega ile ilgili standartların geliştirilmesiyle mümkün olmaktadır [29].

2.6. Geri Dönüşüm Agregası ile Yapılan Çalışmalar

Geri dönüşüm agreganın yüzeyinde bulunan eski harç tabakasının zayıf ve boşluklu olmasından dolayı karışım esnasında agreganın su emme miktarının fazla olması betonda bazı olumsuz etkiler oluşturmaktadır. GDA'lı beton üzerinde yapılan araştırmalara göre GDA'nın su emme oranı ve Los Angeles aşınma değeri, aynı boyuttaki doğal iri agregaya göre çok daha yüksek olmaktadır. Beton üretiminde GDA'nın kullanımı arttıkça betonun kılcal su emme katsayısı ve hacimce su emme oranının arttığı görülmüştür. GDA ile

üretilen betonun elastisite modülü, basınç ve çekme dayanımı, kuruma rötresi, donatı aderansı, ıslanma kuruma çevrimleri ve sülfatlı ortamlara dayanıklılığı doğal agregalı betona göre daha olumsuz olduğundan taşıyıcı elemanlarda kullanılması tavsiye edilmemektedir. Genel olarak GDA ile üretilmiş betonların özelliklerinin, bir alt sınıftaki beton özelliklerine yaklaştığı bilinmektedir.

2.6.1. Geri dönüşüm agreganın özelliklerinin araştırılması

Geri dönüşüm agregası doğal agregadan oldukça farklı olan birçok özelliğe sahiptir. Çünkü agregası tanesi iki farklı yapıdan meydana gelir. Bunlardan birisi eski beton harcı ve eski beton içindeki agregasıdır. GDA'nın fiziksel ve mekanik özellikleri farklıdır. Eski betonun yoğunluğu, basınç dayanımı, atmosfer altında ne kadar süre kaldığı, bulunduğu dış iklim şartlarına bağlı olarak farklılık gösterir. Eski betonun kalitesi yüksekse GDA'nın da fiziksel ve mekanik özellikleri iyidir. Eğer bu agreganın bekleme süresi fazlaysa iklim etmenleri bu kaliteyi olumsuz yönde etkiler. Bunun için GDA'larının yoğunlukları, su emmeleri, aşınmaları ve su ihtiyacı farklılık gösterir. Bundan dolayı bu özellikler sık sık kontrol edilmelidir.

Örneğin kırma operasyonundan sonra iri ve köşeli şekilde olması, kırıcının ayarlarına bağlı olarak değişen tane boyut dağılımı ve düşük yoğunlukta olmasıdır. Fakat en önemli özelliği ise orijinal doğal agreganın yüzeyine çimento hamuru yapışması ile oluşan betonun kırılmasıyla meydana gelmesidir. Bu çimento hamuru miktarı, GDA'nın su emme, yoğunluk, aşınma direnci, aderans gibi fiziksel ve mekanik özelliklerini etkilemektedir. Doğal agregadaki gibi GDA'nın kalitesini tayin etmek için kullanmadan önce tane dağılımı, yoğunluk, su emme, aşınma vb. gibi deneylerin yapılmasına ihtiyaç vardır [30].

Su emme oranı ve yoğunluğu

Geri dönüşüm agregasının su emme oranı boşluklu yapısı ve yüzeyine yapışmış eski harç tabakasından dolayı yüksek olmaktadır. Yapılan çalışmalarda GDA'nın su emme oranı %4 ila %12 arasında değişirken doğal agreganın su emme oranı %0,5 ila %1 arasında değişmektedir [31].

Köken ve diğerleri çalışmalarında ince agregaların (0-4 mm) ortalama su emme değerlerini %10,64 ve iri agregaların (4-16 mm) ortalama su emme miktarını % 4,62 olarak tespit

etmişlerdir. İnce agregaların yoğunluğunu $2,69 \text{ g/cm}^3$ ve iri agregaların yoğunluğunu $2,67 \text{ g/cm}^3$ olarak bulmuşlardır [17]. Durmuş ve diğerleri yoğunlukları $2,17 \text{ g/cm}^3$ olan iri GDA'ların su emme oranını % 5,49 olarak elde etmişlerdir [32].

Padmini ve diğerleri yaptığı çalışmada 0-10 mm GDA'nın su emme oranının % 4,6 ve yoğunluğunun $2,46 \text{ g/cm}^3$ olduğunu ve 10-20 mm agrega grubunun su emme oranını % 4,1 ve yoğunlunu $2,52 \text{ g/cm}^3$ belirtmişlerdir [33]. Navdeep ve Singh 0-10 mm boyutunda GDA'larla kendiliğinden yerleşen beton üretmiştir. Yaptığı çalışmada agregaların su emme oranını %5,35 ve yoğunluğunu $2,46 \text{ g/cm}^3$ olarak bulmuştur [34]. Seara-Paz ve diğerleri GDA'ları 4-16 mm boyutunda kullandıkları çalışmada agregaların su emme oranını %5,40 ve yoğunluğunu $2,57 \text{ g/cm}^3$ olarak bulmuşlardır [35]. Mohamed Amer ise çalışmasında GDA'ları 4-16 mm boyutunda kullanmış ve su emme oranını %5,05 olarak bulmuştur [36]. Liu çalışmasında yoğunluğu $2,4 \text{ g/cm}^3$ olan (0-25 mm)'lik GDA'ların 1 saatlik su emme oranını %4,8 ve 24 saatlik su emme oranını %5,2 olarak bulmuş ve 24 saatlik su emme miktarının %80'i ilk 10 dakika içinde meydana geldiğini belirtmiştir [37]. Ahmed Shaikh geopolimer beton üretiminde kullandığı 0-19 mm boyutundaki GDA'ların su emme oranını %4,9 olarak bulmuştur [38]. Brito ve diğerleri GDA'ları 0-10 mm ve 10-20 mm boyutunda kullanmışlar ve yoğunluklarını sırasıyla $2,65 \text{ g/cm}^3$ ve $2,66 \text{ g/cm}^3$, su emme oranlarını ise %4,57 ve %4,66 olarak bulmuşlardır [39]. Malesev ve diğerleri yoğunluğu sırasıyla $2,35 \text{ g/cm}^3$ ve $2,48 \text{ g/cm}^3$ olan ince ve iri GDA'ların 30 dakikalık su emme oranını sırasıyla % 4,59 ve % 2,87 olarak elde etmişlerdir [40]. Gökçe ve Şimşek, yaptıkları çalışmada Kaymaz, Hasanoğlan ve Kutludüğün taş ocaklarından temin edilen kırmataş agregaları ile üretilen betonları kırarak elde ettikleri geri dönüşüm agregaların yoğunluğunu sırasıyla $2,34 \text{ cm}^3$, $2,37 \text{ cm}^3$ ve $2,30 \text{ cm}^3$, su emme oranını ise sırasıyla %5,5, %6,1 ve %4,9 olarak elde etmişler [41]. Yapılan araştırmalarda genel olarak geri dönüşüm ince agreganın kullanılması ile su emme miktarının çok fazla arttırıldığı gözlemlenmiştir.

Aşınma kaybı

Geri dönüşüm agregalarının Los Angeles aşınma yüzdesi değerlerinin doğal agregaya göre çok daha yüksek olduğu bilinmektedir. ASTM C-33 "Beton Agregaları" standardında Los Angeles aşınma değerinin beton üretiminde kullanılacak agrega için % 50'den, yol

yapımında kullanılacak agrega için ise % 40'dan fazla olmaması gerektiği vurgulanmaktadır.

Puthussery ve diğerleri GDA'nın yol yapımında kullanılabilirliğini araştırmak için yaptıkları çalışmada, 0-11mm boyutunda kullandıkları GDA'nın Los Angeles aşınma değerini %23,8 olarak bulmuşlardır [42]. Durmuş ve diğerleri iri GDA'ların aşınma kaybını % 35,63 olarak bulmuşlardır [32]. Padmini ve diğerleri aşınma kaybı yüzdesini maksimum tane çapı 20 mm olan agregalar için % 33 olarak bulmuşlardır [33]. Seara-Paz ve diğerleri yaptıkları çalışmada 4-16 mm boyutundaki agregalar için Los Angeles aşınma yüzdesinin 34,28 olduğunu belirtmişlerdir [35]. Mohamed Amer ise kullandığı GDA'ların aşınma kaybının %51,5 olduğunu belirtmiştir [36]. Hasaba ve diğerleri yüksek dayanımlı betondan elde ettikleri (5-25 mm)'lik atık agregalar için aşınma kaybını % 24,6 olarak bulmuşlardır [43]. Brito ve diğerleri 0-10 mm ve 10-20 mm boyutundaki GDA'ların aşınma kaybını sırasıyla % 33,3 ve % 41,2 olarak bulmuşlardır [39]. Köken ve diğerleri çalışmalarında GDA'lar için aşınma kaybı değerini % 31,72 olarak elde etmişler [17]. Malesev ve diğerleri GDA'ların aşınma kaybını % 33,7 olarak bulmuşlardır [40].

İncelik modülü

Seara-Paz ve diğerleri kullandıkları 4-16 mm boyutundaki geri dönüşüm agregasının incelik modülünü 7,15 olarak elde etmişlerdir [35]. Topcu ve Guncan yaptıkları araştırmada GDA'ların incelik modülünü 5,5 olarak bulmuşlardır [44]. Köken ve diğerleri 0-16 mm boyutundaki GDA'larının incelik modülünün 3,38 olduğunu belirtmişlerdir [17].

Yassılık indeksi

Puthussery ve diğerleri 0-11mm boyutundaki geri dönüşüm agregaların yassılık indeksini 23,3 olarak bulmuşlardır [42]. Liu çalışmasında kullandığı (0-25mm)'lik GDA'ların yassılık indeksinin 16,8 olduğunu belirtmiştir [37]. Brito ve diğerleri 0-10 mm ve 10-20 mm boyutundaki GDA'ların yassılık indeksinin sırasıyla 11,5 ve 12,2 olduğunu belirtmişlerdir [39]. Durmuş ve diğerleri iri agrega olarak kullandıkları GDA'ların yassılık indeksinin 9,97 olduğunu belirtmişlerdir [32]. Kim ve diğerleri 4-25 mm boyutundaki GDA'ların yassılık indeksini 6,45 olarak bulmuşlardır [45]. Mukharjee ve diğerleri kullandıkları GDA'ların yassılık indeksini 12,04 olarak bulmuşlardır [46].

Gevşek ve sıkışık birim ağırlık

Padmini ve diğerleri gevşek birim ağırlığının (0-10 mm)'lik geri dönüşüm agrega grupları için 1338 kg/m^3 , 10-20 mm agrega grupları için ise 1432 kg/m^3 olduğunu ve sıkışık birim ağırlığının 0-10 mm GDA grupları için 1427 kg/m^3 , 10-20 mm GDA grupları için ise 1568 kg/m^3 olduğunu belirtmişlerdir [33]. Liu çalışmasında kullandığı agregaların gevşek birim ağırlığını 1170 kg/m^3 olarak bulmuştur [37]. Ahmed Shaikh ve diğerleri çalışmalarında kullandıkları agreganın gevşek birim ağırlığını 1181 kg/m^3 , sıkışık birim ağırlığını ise 1247 kg/m^3 olarak bulmuşlardır [38]. Brito ve diğerleri 0-10 mm ve 10-20 mm boyutundaki GDA'ların gevşek birim ağırlıklarını sırasıyla 1285 kg/m^3 ve 1248 kg/m^3 olarak bulmuşlardır [39]. Durmuş ve diğerleri iri GDA'larının gevşek ve sıkışık birim ağırlıklarını sırasıyla 1363 kg/m^3 ve 1553 kg/m^3 olarak elde etmişlerdir [32]. Malesev ve diğerleri gevşek ve sıkışık birim ağırlığının (4-8 mm)'lik GDA'lar için sırasıyla 1275 kg/m^3 ve 1388 kg/m^3 , (8-16 mm)'lik agregalar için ise sırasıyla 1239 kg/m^3 ve 1323 kg/m^3 olduğunu belirtmişlerdir [40].

2.6.2. Geri dönüşüm agregalı taze betonun özellikleri

İşlenebilirlik

Geri dönüşüm agregalı betonun işlenebilirliği, aynı su içeriğine sahip betondan özellikle %50'den fazla doğal agreganın yer değiştirmesi durumunda daha düşük olduğu birçok araştırmacı tarafından bildirilmektedir [44]. İşlenebilirliği geliştirmek amacıyla belirli mertebede GDA'nın nem durumu değiştirilebilir.

Demirel ve Şimşek, C30 sınıfı atık betondan elde ettikleri agregaları farklı oranlarda normal agregayla ikame etmişlerdir. %1,2 oranında süper akışkanlaştırıcı kullanmışlar ve çökme miktarının 7 cm ile 12 cm arasında değiştiğini gözlemlemişler ve Bütün karışımlarda GDA oranı arttıkça çökmenin azaldığını belirtmişlerdir [47]. Durmuş ve diğerleri iri GDA'ları farklı oranlarda kullanarak ürettikleri betonların çökme değerlerinin 18 ile 22 cm arasında değiştiğini ve geri dönüşüm ikame oranı arttıkça çökme miktarının düştüğünü belirtmişlerdir [48].

Önceki deneysel çalışmalarda GDA'nın beton karışımına önceden suya doyurularak agreganın suya doymuş yüzey kuru halde beton karışımına katılması durumunda daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Suya doymuş yüzey kuru olan GDA kullanılması durumunda betonun işlenebilirliği ile doğal agrega betonun işlenebilirliği genelde aynı seviyede olur. Kuru GDA kullanıldığı takdirde karışım sırasında su veya kimyasal katkı ilave ederek doğal agregalı betonun işlenebilirliği ile aynı seviyeye gelebilir. Taze betonlar üzerinde yapılan çökme deneyleri beton karışımında GDA oranının artmasıyla çökme miktarının azaldığını göstermiştir. GDA'sı oranı arttıkça işlenebilirlik olumsuz yönde etkilenmektedir. Bunun nedeni GDA'sı yüzeyinin pürüzlü, keskin köşeli ve gözenekli olmasından kaynaklandığını söylemek mümkündür.

Birim hacim ağırlık

Guerra ve diğerleri 4-22,4 mm boyutundaki iri geri dönüşüm agregaları %20, %50 ve %100 oranında normal agregayla ikame ettikleri çalışmada taze beton birim hacim ağırlıklarını sırasıyla 2340 kg/m^3 , 2315 kg/m^3 ve 2245 kg/m^3 olarak bulmuşlar ve GDA içeriği arttıkça yoğunluğunun azaldığını gözlemlemişlerdir [49]. Durmuş ve diğerleri ürettikleri GDA'lı betonların birim hacim ağırlıklarının 2275 kg/m^3 ile 2500 kg/m^3 arasında değiştiğini ve GDA ikame oranı arttıkça yoğunluğun azaldığını belirtmişlerdir [48]. Topgül çalışmasında suya doymuş GDA'ları %100 oranında iri, ince ve hem iri hem ince olarak kullanmış ve birim hacim ağırlık değerlerini doğal agregalı, iri, ince ve hem iri hem ince GDA'lı beton için sırasıyla 2430 kg/m^3 , 2395 kg/m^3 , 2425 kg/m^3 ve 2390 kg/m^3 olarak bulmuş ve GDA'lı betonların birim hacim ağırlıklarının kontrol betondan daha az olduğunu belirtmiş ve Yalnızca iri agreganın ikame edildiği serilerin birim hacim ağırlıklarının, yalnızca ince agreganın ikame edildiği serilerin birim hacim ağırlıklarından daha yüksek olduğunu gözlemlemiştir [29].

Hava miktarı

Doğal agreganın yerine %100 geri dönüşüm agrega konulması durumunda üretilen betonun hava içeriği çok az daha (%4-5,5) fazladır. Hava içeriğindeki bu fazlalığın olmasının sebebi GDA'nın yüksek poroziteli olmasıdır [31]. Kim ve diğerleri çalışmalarında kontrol numunesi, %30, %60 ve %100 GDA ikameli betonların hava miktarını sırasıyla %4,3,

%4,5, %5 ve %5,1 olarak elde etmişlerdir [45]. Durmuş ve diğerleri taze beton hava miktarlarının % 1,8 ile % 2,5 arasında olduğunu ve GDA ikame oranı arttıkça hava miktarının arttığını belirtmişlerdir [48]. Topgöl çalışmasında doğal agregalı, iri, ince ve hem iri hem ince agregası GDA olan betonların hava miktarını sırasıyla, %0,9, %1,3, %1,5, %1,7 olarak bulmuştur [29].

2.6.3. Geri dönüşüm agregalı sertleşmiş betonun özellikleri

Beton karışımlarında, geri dönüşüm agregası kullanarak doğal agregadaki gibi tasarım yapılması mümkündür. Bünyesindeki birim su içeriği hesaplanırken ilk baştaki su emme miktarının uygun olduğu sağlanmalıdır. Yani GDA'ları suya doygun yüzey kuru durumdayken veya emeceği su miktarını önceden hesaplayıp karışım suyuna ilave ederek kullanılmasının sertleşmiş beton özelliklerini iyileştireceği belirtilmiştir. GDA'lı betonun özelliklerinin daha iyi olması için beton agregasının 0-2 mm inceliğindeki kısmında her zaman doğal kum kullanılması gerektiği belirtilmiştir [50].

Orijinal betonun özellikleri GDA'lı betonun mekanik özelliklerini önemli derecede etkilemektedir. Hatta orijinal betonun basınç dayanımından daha iyi bir GDA'lı beton elde etmek mümkündür. Aynı karışım oranlarına sahip doğal agregalı ve GDA'lı betonun özellikleri arasında karşılaştırma yapıldığında, GDA'lı betonun özellikleri daha kötü çıkmaktadır. Ancak GDA'nın yıkayıp kullanılması durumunda, bu agregadan dolayı ortaya çıkan negatif özelliğin ortadan kalktığı ifade edilmektedir [51].

Deneysel çalışmalar GDA'lı betonun doğal agregalı betondan açık bir şekilde daha geçirimli olduğunu göstermektedir. Betonun dayanıklılık özelliği geçirimliliğe bağlı olduğundan uçucu kül, silis dumanı gibi katkı maddeleri ile durabilite özelliğini geliştirebilmek mümkündür [16].

Basınç dayanımı

Birçok araştırmacı GDA'lı betonun basınç dayanımındaki düşüşün en büyük tane çapına, agreganın elde edildiği betonun basınç dayanımına, ikame oranına, su/çimento oranına ve agreganın nem durumuna bağlı olduğunu belirtmişlerdir [16].

Katz yaptığı çalışmada, 0,6 ile 0,75 arasındaki yüksek su/çimento oranında, %75 yer değiştirme oranında dahi GDA'lı betonun dayanımı ile referans betonunun dayanımı karşılaştırılabilir olduğunu bulmuştur [31]. GDA'lı betonun basınç dayanımı genel olarak kullanılan agreganın kalitesine bağlıdır. Eğer agrega yüksek dayanımlı betonun kırılmasıyla elde ediliyorsa doğal iri agrega ile yer değiştirme oranının basınç dayanımı üzerine etkisi çok az olacaktır [52].

Chen tarafından yapılan çalışmada, beton üretiminde yıkanmamış GDA kullanılması basınç dayanımını önemli derecede olumsuz etkilediği görülmüştür [50]. Bu etki yüksek dayanımlı ve düşük su/çimento oranlı betonlarda daha belirgin olmaktadır.

Durmuş ve diğerleri, s/ç oranı 0,53 ve çimento miktarı 350 kg olan kontrol betonu, %10, %30, %50 ve %100 iri GDA ikameli betonların basınç dayanımlarını sırasıyla 44 MPa, 39 MPa, 37 MPa, 33 MPa ve 30 MPa olarak bulmuşlardır [48]. Turanlı çalışmasında, beton atıklarını yeni beton yapımında, kaba agrega olarak kullanmıştır. GDA ile yapılan betonları aynı türde kırmataş agrega kullanılarak yapılan betonun özellikleri ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak bu numunelerin basınç dayanımları normal betona göre % 12 daha az olduğunu görmüştür [52]. Yaprak ve diğerleri, s/ç oranı 0,53, çimento miktarı 350 kg ve su miktarı 180 kg olan kontrol betonu, %10, %20, %30,%40, %50 ve %100 ince GDA ikameli betonların basınç dayanımlarını sırasıyla 44 MPa, 42 MPa, 41 MPa, 39 MPa, 37 MPa, 36 MPa ve 28 MPa olarak bulmuşlar ve GDA ikame oranının C30 sınıfı beton üretimi için %10'u geçmemesi, C25 sınıfı için ise %20 ila %50 arasında olması gerektiğini belirtmişler [53].

Demirel çalışmasında, yaşı ve sınıfı belli beton atıklarından elde edilen iri ve ince agreganın GDA olarak bir alt sınıf betonda kullanım olanaklarını araştırmıştır. Kırma iri ve ince agrega yerine % 10, 20, 30, 40, 50 oranlarında GDA kullanmış ve GDA ikame yüzdesi arttıkça beton basınç dayanımının düştüğünü belirtmiştir [54]. Tüfekçi çalışmada

doğal agrega ile üretilen geleneksel betonda kullanılan iri agrega, aynı betondan elde edilen GDA ile %0, %25, %50 ve %100 oranlarında ikame edilmiştir. Ayrıca betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirmek amacı ile mineral katkı olarak öğütölmüş granüle yüksek fırın cürufu %0, %30 ve %60 oranında çimento ile ikame edilmiştir. Sonuç olarak GDA yer değiştirme oranı arttıkça beton basınç dayanımının benzer veya çok az değişiklik gösterdiğini belirtmiştir [16].

Rötre

Geri dönüşüm agreganın su emme miktarının fazla olmasından dolayı bu tip agrega içeren betonların rötre miktarı oldukça fazla olduğu bilinmektedir. Bunun sebebi GDA yüzeyine yapışmış harcın yüksek şekil değiştirilebilirliğe sahip olması şeklinde açıklanabilir. Buna rağmen GDA yüksek su emmesinden dolayı betonda iç küre etkisi yapar ve beton küre esnasında GDA'daki su çimento matrisine geçer ve erken yaş rötresinin azalmasına sebep olur. Malesev serbest kuruma rötresi için hazırladığı 10 × 10 × 40 cm boyutunda numunelerin 28.gün sonundaki boy değişimleri doğal agregalı, % 50 ve %100 GDA ikameli betonlar için sırasıyla 0,306, 0,339 ve 0,407 mm/m olarak elde etmiş ve numunelerde GDA oranı arttıkça rötre miktarının arttığını belirtmiştir [40]. Brito ve diğerleri yaptıkları çalışmada 90 günlük rötre değerlerini doğal agregalı ve %100 GDA'lı beton için sırasıyla 480 µm/m ve 560 µm/m olarak elde etmişler [39].

Karbonatlaşma

Genel olarak GDA içeriği arttığı zaman karbonatlaşma derinliği azalmaktadır. Agreganın %20 veya %50 yer değiştirilerek GDA'lı üretilen betonların karbonatlaşma derinliğinin incelenmesinde geleneksel betona göre daha iyi davrandığı görölmüştür. Agregaya yer değiştirilmesi %100 olarak yapılan GDA'lı betonun karbonatlaşma derinliği doğal agrega ile üretilen referans betonuna göre çok az daha düşüktür [55]. Brito ve diğerleri doğal agregalı, %25 ve %100 GDA ikameli betonların 90 günlük karbonatlaşma derinliklerini sırasıyla 10,2 mm, 10,3 mm ve 11,1 mm olarak bulmuşlar ve GDA'nın karbonatlaşma üzerinde önemli etkisi olmadığını belirtmişlerdir. Bunun sebebi GDA'lı betondaki eski harçtan dolayı toplam çimento miktarı fazla olduğundan karbonatlaşma yavaşlamakta ve aynı derinliğe ulaşması daha uzun sürmesi şeklinde açıklanabilir [39].

Aşınma

Malesev ve diğerleri GDA'ları %50 ve %100 oranında doğal agregayla ikame ederek betonlar üretmişlerdir. Doğal agregalı betonun aşınma miktarı $13,4 \text{ cm}^3$ iken %50 ve %100 GDA ikameli betonun aşınma miktarı sırasıyla $15,58 \text{ cm}^3$ ve $17,18 \text{ cm}^3$ olmuştur [40]. Guerra kontrol betonu, %20, %50 ve %100 GDA ikameli betonların aşınma değerlerini sırasıyla %3,67, %3,52, %3,43 ve %2,96 olarak bulmuştur [49]. Brito ve diğerleri doğal agregalı, %25 ve %100 GDA ikameli betonların aşınma kaybı değerlerini sırasıyla 4,1 mm, 3,9 mm ve 3,8 mm olarak bulmuşlardır. GDA'nın mekanik özellikleri yüzeyindeki harç tabakasından dolayı normal agregaya göre daha düşük olduğuna rağmen GDA'lı betonların aşınma kaybı yüzdelerinin doğal agregalı betona göre daha az olmaktadır. Bunun sebebi aşınma direncinin daha çok çimento matrisinin dayanıklılığından kaynaklandığı ve GDA'lı betonda agrega-çimento bağının daha iyi olduğu şeklinde açıklanabilir. Yine de agreganın çimento matrisinde normal dağılımından dolayı aynı GDA ikame oranına sahip numunelerin aşınma testine tabi tutulan yüzeyde GDA/KTA oranı farklı olmakta ve aşınma kaybı deney sonuçlarını önemli derecede etkilemektedir [39].

Su emme

Durmuş ve diğerleri, farklı oranlarda iri GDA'sı kullandıkları çalışmada betonların su emme oranının kontrol betonu için 1,65 ve %100 GDA ikameli beton için 1,97 olduğunu ve GDA ikame oranı arttıkça su emme oranının arttığını gözlemlemişlerdir [48]. Malesev ve diğerleri Doğal agregalı betonun su emme oranını % 5,61, %50 ve %100 GDA ikameli betonun su emme oranını ise sırasıyla % 6,87 ve % 8,05 olarak elde etmişlerdir [40]. Brito ve diğerleri doğal agregalı, %25 ve %100 GDA ikameli betonların su emme oranını sırasıyla %14, %15,5 ve %18 olarak bulmuşlardır [39]. Gökçe ve Şimşek, kırmataş agregasını Kaymaz, Hasanoğlan ve Kutludüğün taş ocaklarından temin ederek ürettikleri betonu kırarak üç farklı GDA'sı elde etmişler. Eski betonun agregası Kaymaz, Hasanoğlan ve Kutludüğün olan, GDA'larla üretilen betonların su emme oranını sırasıyla %4,1, %4,8, %4,2 olarak bulmuşlar [41]. Yaprak ve diğerleri kontrol betonu, %10, %20, %30, %40, %50 ve %100 ince GDA ikameli betonların su emme oranını sırasıyla %1,65, %1,68, %1,7, %1,71, %1,72, %1,75, %1,9 olarak bulmuşlar [53]. Yapılan çalışmalara göre GDA oranı arttıkça sertleşmiş betonun su emme oranında artış gözlemlenmiştir.

Aderans

Malesev ve diğerkleri aderans deneyi için 12 mm çapında düz ve nervürlü çelik kullanmış ve GDA ikame oranı arttıkça aderansın azaldığını belirtmiştir. Doğal agregalı, % 50 ve %100 GDA ikameli betonların aderans dayanımı düz çubuk için sırasıyla 6,48 MPa, 5,87 MPa, 6,76 MPa ve nervürlü çubuk için sırasıyla 8,22 MPa, 7,50 MPa ve 7,75 MPa olarak elde etmişlerdir [40]. Breccolotti ve diğerkleri 8-24mm boyutundaki iri GDA'ları %50 ve %100 oranında normal agregayla ikame etmişler ve kontrol betonu, %50 ve %100 GDA ikameli betonların aderans dayanımını sırasıyla 25,2 MPa, 22,7 MPa ve 20,1 MPa olarak elde etmişlerdir [55]. Kim ve diğerkleri çalışmalarında kontrol numunesi, %30, %60 ve %100 GDA ikameli betonların aderans dayanımını sırasıyla 21,67 MPa, 21,34 MPa, 21,22 MPa ve 18,73 MPa olarak bulmuşlardır [45]. Prince ve diğerkleri donati aderans deneyinde 12, 16, 20 ve 25 mm çapında nervürlü çelik kullanmışlar ve kontrol numunesi, %25, %50, %75 ve %100 GDA ikameli betonların aderans dayanımını sırasıyla 36,9 MPa, 28,9 MPa, 26,2 MPa, 24,7 MPa ve 24 MPa olarak bulmuşlardır [56]. Xiao donati aderans deneyinde 10 mm çapında düz ve nervürlü çelik kullanmış ve kontrol numunesi, %50 ve %100 GDA ikameli betonların aderans dayanımını düz çubuk için sırasıyla 8,93 MPa, 8,36 MPa ve 7,84 MPa, nervürlü çubuk için ise 17,39 MPa, 17,29 ve 17,24 MPa olduğunu belirtmiştir [57]. Guerra donati aderans deneyinde 12 ve 16 mm çapındaki çubukları Ø5, Ø10 ve Ø15 uzunluğunda betona gömmüş ve donatının betona gömülü uzunluğu arttıkça aderans dayanımının arttığını gözlemlemiştir. 16'lık donatıyla yaptığı deneylerde kontrol betonu, %20, %50 ve %100 GDA ikameli betonların aderans dayanımını sırasıyla 9,69 MPa, 7,90 MPa, 7,46 MPa, 6,78 MPa olduğunu belirtmiştir [49]. Önceki çalışmaların donati aderans deney sonuçları incelendiğinde GDA ikame oranı arttıkça aderans dayanımının düştüğü gözlemlenmiştir. Bunun sebebi GDA dayanımının kırmataş agregada dayanımından daha az olduğu şeklinde açıklanabilir.

Islanma kuruma

Spragg ve diğerkleri NaCl, CaCl₂ ve MgCl₂ gibi buz çözücü tuzlar içeren çözeltilerin betonun ıslanmada su emmesini ve kurumada ağırlık kaybını araştırmışlardır. Tuz konsantrasyonu arttıkça ıslanma deneyinde emilen su miktarının azaldığını ve kuruma deneyinde su kaybının azaldığını belirtmişlerdir [58]. Simcic ve diğerkleri ıslanma kuruma çevrimlerine maruz bırakılan uçucu küllü betonların klorür iyonu işleme derinliğini

araştırmışlar. 126 günlük ıslanma kuruma çevrimleri sonucu kontrol betonu ve %20 uçucu kül içeren betonun klorür iyonu işleme derinliğini sırasıyla 27 mm ve 20 mm olarak bulmuşlar ve uçucu küllün betonların ıslanma kurumaya ve donatı korozyonuna karşı direncini arttırdığını belirtmişler [59]. Sahmaran ve diğerleri ıslanma kuruma ve ısınma-soğuma çevrimlerine maruz bırakılan betonun sulfata karşı direncini araştırmışlar. Çevrimler 6 gün %5 Na₂SO₄ çözeltisinde ıslanma ve 1 gün 100°C'de kurumadan oluşmaktadır. ıslanma kuruma çevrimi 8 kez tekrarlandıktan sonra portland çimento, sulfata karşı dayanıklı çimento ve puzolan katkılı çimento ile üretilen betonların basınç dayanımlarını sırasıyla 60 MPa, 67 MPa, 43 MPa olarak bulmuşlar [60]. Jiang ve Niu, çalışmalarında %10 sodyum sülfat ve %10 magnezyum sülfat çözeltilerinde ıslanma kuruma çevrimlerine maruz bırakılan betonların özelliklerini araştırmışlar. 7 günlük ıslanma ve 8 günlük kuruma sürelerinden oluşan ıslanma kuruma çevrimleri 24 kez yapılmış ve 360 gün sonunda sodyum sülfat ve magnezyum sülfat çözeltisindeki betonların basınç dayanımı kaybını sırasıyla %12,7 ve %14,8, hasar tabakası kalınlığını sırasıyla 19 mm ve 21 mm, ağırlık kaybını ise sırasıyla %0,6 ve %0,8 olarak elde etmişler ve betonun bozulma oranının magnezyumlu çözeltide sodyumlu çözeltiden daha fazla olduğunu belirtmişler [61].

Bu çalışma günümüzde en çok atık beton olarak bulunan C20 betonu ve altı, GDA'sı elde edilerek yeniden beton olarak kullanılması ile betonun teknik özelliklerini belirleyerek çevre kirliliğini azaltma ve ekonomiye katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.



3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

Bu çalışmada, geri dönüşüm agregaları daha önce dökülmüş C20 sınıfı betondan elde edilmiştir. Doğal agrega olarak kırma kireçtaşı, bağlayıcı olarak CEM I 42,5 R çimentosu ve çimento ağırlığının %20'si oranında uçucu kül ikame edilmiş ve beton karışım suyu olarak Ankara şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

3.1.1. Eski betonun dayanımının belirlenmesi

Geri dönüşüm agregaların elde edildiği eski betonun dayanımını belirlemek için bu betondan 7 adet 75 mm çapında ve 150 mm yüksekliğinde karot numuneleri çıkarılmıştır. Karot numunelerinin karbonatlaşmış kısımları kesilip düzeltildikten sonra başlık yapılmıştır. Daha sonra numuneler basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur ve sonuçlar Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.



Resim 3.1. Eski betondan geri dönüşüm agregası üretimi ve karot alınması

Çizelge 3.1. Karot numuneleri üzerindeki basınç dayanımı deney sonuçları

Karot Numunesi	1	2	3	4	5	6	7	Ort	Std. Sapma	Ort.-Std. Sapma
Beton Basınç Dayanımı (MPa)	18,4	19,0	19,2	19,3	19,9	20,0	24,3	20,01	1,96	18,05

3.1.2. Agregas

Çalışmada kalker esaslı kırmataş ve geri dönüşüm agregası 0-4 mm, 4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm gruplarına ayrılarak üç grup olarak kullanılmıştır. Kırmataş agregası Ankara Limak firmasından temin edilmiştir. Geri dönüşüm agregası 5 yıl önce dökülen ve Ankara'nın doğal ortamında kalan 210 cm×240 cm boyutunda bloklardan kırılarak elde edilmiştir. İlk önce eski betondan karot alınarak beton sınıfı belirlenmiş (Resim 3.1), daha sonra bloklar elektrikli kırıcı ve çekiç ile kırılmış ve çeneli kırıcı ile istenilen boyuta getirilmiştir (Resim 3.2).



Resim 3.2. Agregaların elenerek gruplara ayrılması

3.1.3. Çimento ve uçucu kül

Çalışmada TS EN 197-1'e uygun olarak üretilen CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmış ve Ankara'nın Limak çimento fabrikasından alınmıştır [7]. Beton karışımlarında Çatalağzı Termik Santrali'nden temin edilen F sınıfı uçucu külü kullanılmıştır. Çimento ve uçucu külün teknik özellikleri Ankara Limak çimento fabrikası laboratuvarında yaptırılmış ve sonuçlar Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Çimento ve uçucu külün teknik özellikleri

Kimyasal Kompozisyon			Fiziksel Özellikler		
Bileşen	Çimento 42,5 (%)	Uçucu kül (%)	Özgül yüzey (cm ² /g)	Çimento 42,5	Uçucu kül
SiO ₂	20,35	55,44	Priz başlangıç süresi (dak)	105	-
Al ₂ O ₃	5,98	24,93	Priz final süresi (dak)	189	-
Fe ₂ O ₃	3,06	6,33	Yoğunluk (g/cm ³)	3,1	2,13
CaO	63,35	2,18	45µm elek bakiyesi (%)	-	25,4
MgO	1,89	2,38	42,5 Çimentonun Mekanik Özellikleri (MPa)		
SO ₃	2,71	0,14	Gün	Basınç dayanımı	Eğilme dayanımı
Na ₂ O	0,58	0,49	7	39,8	7,3
K ₂ O	0,88	3,87	28	53,9	10,1
Cl-	0,0089	0,0056	Uçucu Külün Mekanik Özellikleri (%)		
Serbest CaO	1,22	0,32	28 Günlük Puzolanik Aktivite Endeksi		82,7
Kızdırma Kaybı	0,5	1,82	90 Günlük Puzolanik Aktivite Endeksi		97,3

3.1.4. Akışkanlaştırıcı

Agreğaların ve UK oranının işlenebilirliğe olumsuz etkisini azaltmak aynı zamanda slump'ın 5-10 cm aralığında kalması için CHRYSO FLUID PREMIA 196 adlı TS EN 934-2+A1'e uygun yeni nesil süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. KB ve GB ön denemeleri yapılarak katkı oranı belirlenmiştir. Bu ön denemeler sonunda çimento ağırlığının %0,8'i kimyasal katkı maddesi kullanılmıştır [62]. Akışkanlaştırıcının teknik özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Çalışmada kullanılan süper akışkanlaştırıcı katkının özellikleri

Görünüm	Yoğunluk	Renk	PH	Katı madde	Klorür içeriği	Kullanma dozajı
Sıvı	1,055 g/cm ³	Sütlü gri- yeşil	4,50	%25	<%0,1	Çimento ağırlığının % 0,8'i

3.1.5. Karışım suyu

Çalışmada karışım suyu olarak Ankara ili şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

3.1.6. Beton üretimi tasarım planı

Agrega Karışımlarında ince ve iri agrega ağırlıkça %20, 40, 60, 80 ve %100 oranlarında azaltılarak yerine GDA ilave edilmiştir. GDA ile üretilmiş betonların özelliklerini kontrol betonu (KB) ile karşılaştırmak için %100 kırmataş agregasından oluşan agrega karışımı (KTA) hazırlanmıştır. Karışımların hepsinde çimento miktarı ağırlıkça azaltılarak %20 UK ikame edilmiştir. Beton işlenebilirliğinin artırılması amacıyla çimento ağırlığının %0,8 oranında süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddesi ilave edilmiştir. Deneysel çalışmada hazırlanan tüm beton karışımlardaki agrega oranları, %39 ince agrega (0-4 mm) ve %32 ince çakıl (4-11,2 mm) ve %29 iri çakıl (11,2-22,4 mm) kullanılmıştır. Deney planı ve GDA ikame oranları Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Deney planı ve geri dönüşüm agregası ikame oranları

Karışım kodu	GDA İkame Oranı (%)	Geri dönüşüm Agregası ikame oranları (%)			Kırmataş agrega kullanım oranları (%)		
		0-4 mm	4-11,2 mm	11,2-22,4 mm	0-4 mm	4-11,2 mm	11,2-22,4 mm
KTA	0	0	0	0	50	25	25
GDA	100	50	25	25	0	0	0
GDA _{İNCE20}	20	10	0	0	40	25	25
GDA _{İNCE40}	40	20	0	0	30	25	25
GDA _{İNCE60}	60	30	0	0	20	25	25
GDA _{İNCE80}	80	40	0	0	10	25	25
GDA _{İNCE100}	100	50	0	0	0	25	25
GDA _{İRİ20}	20	0	5	5	50	20	20
GDA _{İRİ40}	40	0	10	10	50	15	15
GDA _{İRİ60}	60	0	15	15	50	10	10
GDA _{İRİ80}	80	0	20	20	50	5	5
GDA _{İRİ100}	100	0	25	25	50	0	0

3.2. Metot

Geri dönüşüm agregaları 210×240×22 cm boyutlarındaki beş yıllık yani eski bir beton bloktan elektrikli kırıcı ile koparılmıştır. Beton parçaları çeneli kırıcı ile öğütülmüş ve

eleme işlemi sonucu 0-4 mm, 4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm agrega boyutlarına getirilmiştir. TS 706 EN 12620+A1'e uygun olarak agregalardan numune alınmıştır [63]. Geri dönüşüm agregaları üzerinde Elek Analizi, Birim Ağırlık, Tane Yoğunluğu, Su Emme Oranı, Yassılık endeksi ve Los Angeles (parçalanma direnci) deneyleri yapılmıştır. Taze betonların çökme (slump) ve birim ağırlığı incelenmiştir. Sertleşmiş beton numuneler üzerinde ise yoğunluk, su emme, basınç dayanımı, ıslanma kuruma, donatı aderans deneyi, serbest ve kısıtlanmış rötre deneyleri yapılmıştır. Deneylerde kullanılan numunelerin cinsi ve boyutları Çizelge 3.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. Deney numunelerinin cinsi ve boyutları

Araştırılan Özellik	Boyutları (mm)	İlgili standartlar	7, 28 ve 90 yaşlar için örnek sayısı	Her bir karışım için kullanılan örnek sayısı	Toplam 12 karışım için kullanılan örnek sayısı
Basınç Dayanımı	100×200	TS EN 12390-3	3x3	9	108
Islanma Kuruma	100×200	-	2x3	6	72
Yoğunluk	100×200	TS EN 12390-7	3	3	36
Serbest Rötre	100×100×285	ASTM C157/C157M	2x3	6	72
Kısıtlanmış Rötre	dış çap:320 iç çap:200 yükseklik:140	ASTM C1581/C1581M	3	3	36
Donatı Aderansı	200×200×200	RILEM/CEB /FIP RC6	3	3	36
Toplam					360

Deneyle ilgili çalışmalar Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Beton Laboratuvarında yapılmıştır.

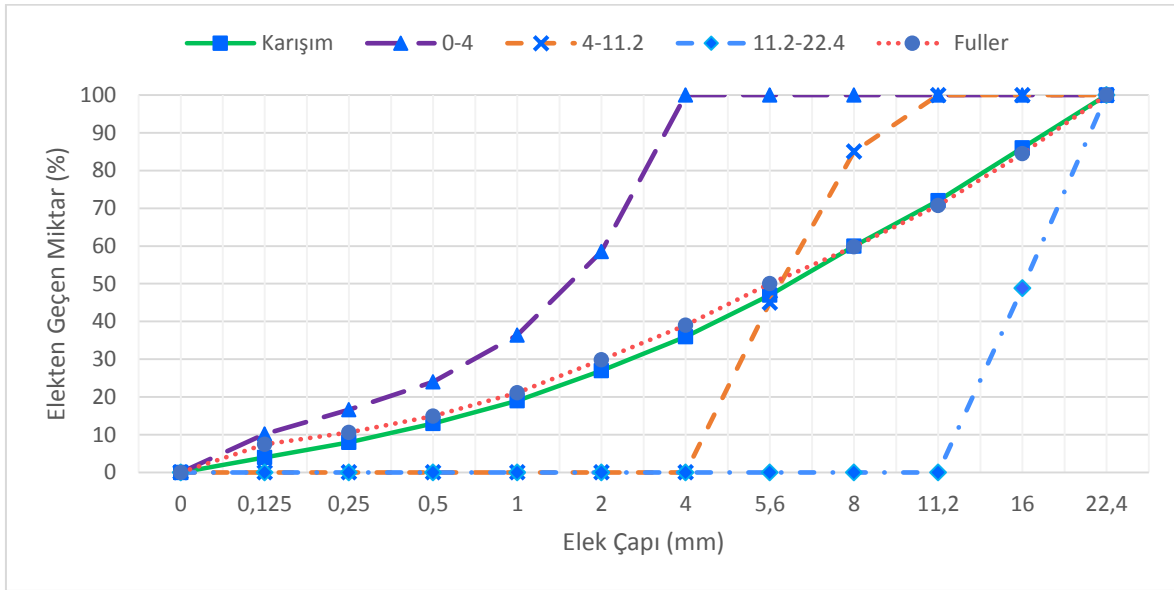
3.2.1. Agregada deneyleri

Tane büyüklüğü dağılımı

Öğütülmüş geri dönüşüm agregaları elenip ince agrega (0-4 mm), ince çakıl (4-11,2 mm) ve iri çakıl (11,2-22,4 mm) olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır. Her bir agrega grubu için tane büyüklüğü dağılımı elek analizi TS EN 933-1 esas alınarak yapılmış ve sonuçlar Çizelge 3.6'da gösterilmiştir [64]. Fuller eğrisine uygun olarak agrega karışım oranları hesaplanarak agrega granülometrisi ayarlanmıştır. Buna göre ince agrega %39, ince çakıl %32, iri çakıl ise %29 olarak düzenlenmiştir. Agreganın granülometri eğrisi fuller ile birlikte Şekil 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.6. Geri dönüşüm agreganın karışım analizi ve özellikleri

Elek Açıklığı (mm)	Agrega Grupları (Yığışımli Geçen %)			Fuller	Karışım
	0-4	4-11,2	11,2-22,4		
22,4	100	100	100	100	100
16	100	100	49	85	86
11,2	100	100	0	71	72
8	100	85	0	60	60
5,6	100	45	0	50	47
4	100	0	0	39	36
2	58	0	0	30	27
1	36	0	0	21	19
0,5	24	0	0	15	13
0,25	17	0	0	11	8
0,125	10	0	0	7	4
Yoğunluk (g/cm ³)	GDA	2,43	2,42	2,38	
	KTA	2,68	2,57	2,55	
Su emme (%)	GDA	4,60	4,19	4,80	
	KTA	1,79	1,82	1,89	
Gevşek birim ağırlık (kg/dm ³)	GDA	1245	1154	1102	
	KTA	1376	1287	1239	
Sıkışık birim ağırlık (kg/dm ³)	GDA	1397	1269	1241	
	KTA	1468	1438	1427	
Yassılık endeksi	GDA		12,5	16,81	
	KTA		1,51	1,60	
Los Angeles aşınma kaybı (%)	GDA			40,56	
	KTA			16,89	



Şekil 3.1. Agrega karışımı, fuller ve agrega grupları granülometri eğrileri

Gevşek ve sıkışık birim ağırlık tayini

Agregaın gevşek ve sıkışık olarak işgal edeceği hacmi saptamaktadır. Agreganın kap içindeki net ağırlığının kap hacmine bölünmesiyle hesaplanır ve birimi kg/m^3 olarak verilir. Agreganın kompasitesi ve işlenme esası bu deneyle anlaşılır [65].



Resim 3.3. Gevşek ve sıkışık birim ağırlık tayini deneyinde kullanılan kalıplar

Gevşek birim ağırlık ve sıkışık birim ağırlık deneyleri TS EN 1097-3 esas alınarak her bir agrega grubu için üç kez yapılmış ve sonuçların ortalaması hesaplanmıştır [66]. Deney sonuçları Çizelge 3.7’de gösterilmektedir.

Çizelge 3.7. Gevşek ve sıkışık birim ağırlık deney sonuçları

	Kum (0-4 mm)	İnce çakıl (4-11,2 mm)	İri çakıl (11,2-22,4mm)
Gevşek Birim Ağırlık (Kg/dm ³)	1245	1154	1102
Sıkışık Birim Ağırlık (Kg/dm ³)	1397	1269	1241

Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini

Geri dönüşüm agregalarının tane yoğunluğu ve su emme oranını belirlemek amacıyla TS EN 1097-6’de belirtilen ince agrega (0-4mm) için piknometre metodu (Resim 3.5), ince çakıl (4-11,2 mm) ve iri çakıl (11,2-22,4 mm) için ise tel sepet metodu (Resim 3.4) kullanılmıştır [67]. Tane yoğunlukları ve su emme oranları aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanıp sonuçları Çizelge 3.8’de gösterilmiştir.

$$\text{Görünür tane yoğunluğu: } \rho_a = \rho_w \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)}$$

$$\text{Etüvde kurutulmuş haldeki tane yoğunluğu: } \rho_{rd} = \rho_w \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)}$$

$$\text{Doymun ve yüzeyi kuru haldeki tane yoğunluğu: } \rho_{ssd} = \rho_w \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)}$$

24 saatlik daldırmadan sonraki su emme oranı (WA_{24}), aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır:

$$WA_{24} = \rho_w \frac{100 \times (M_1 - M_4)}{M_4}$$

Tel sepet yönteminde:

ρ_w : M2 tayin edildiğinde kaydedilen belirli sıcaklıktaki su yoğunluğu (megagram/metreküp)

M_1 : Doygun ve havada yüzeyi kurutulmuş agreganın kütlesi (g),

M_2 : Doygun agrega numunesini içeren sepetin sudaki görünür kütlesi (g),

M_3 : Boş sepetin sudaki görünür kütlesi (g),

M_4 : Etüvde kurutulmuş deney numunesi kısmının havadaki kütlesi (g)'dir.

Piknometre yönteminde ise:

ρ_w : Deney sıcaklığındaki su yoğunluğu (mega gram/metreküp)

M_1 : Doygun ve havada yüzeyi kurutulmuş agreganın kütlesi (g),

M_2 : Doygun agrega numunelerini ve su içeren piknometrenin kütlesi (g),

M_3 : Yalnızca su ile doldurulmuş piknometrenin kütlesi (g),

M_4 : Etüvde kurutulmuş deney numunesi kısmının havadaki kütlesi (g)'dir.



Resim 3.4. Tel sepetin sudaki görünümü ve ince agreganın DYK durumuna getirilmesi



Resim 3.5. Su ve doygun agrega numunelerini içeren balonjojenin görüntüsü

Çizelge 3.8. Geri dönüşüm agregaların tane yoğunluğu ve su emme oranı tayini deney sonuçları

Agrega türü	ρ_a (g/cm^3)	Prd (g/cm^3)	Pssd (g/cm^3)	WA24 (%)
ince agrega	2,60	2,32	2,43	4,60
ince çakıl	2,57	2,32	2,42	4,19
iri çakıl	2,55	2,27	2,38	4,80

Tane şekli tayini- yassılık endeksi

Yassılık endeksi, TS EN 933-3 esas alınarak yapılmıştır. Yassılık endeksi deneyi iki eleme işleminden oluşmaktadır. Elemelerde Çizelge 3.9’da verilen tane büyüklüğü fraksiyonlarında d_i/D_i çubuklar arası açıklığı $D_i/2$ olan paralel çubuklu eleklerden elenir. İstendiğinde her bir tane büyüklüğü fraksiyonunun d_i/D_i yassılık endeksi, ait olduğu çubuklu elekten geçen tanelerin külesinden hesaplanır ve bu tane büyüklüğü fraksiyonunun kütlece yüzdesi olarak ifade edilir [68].



Resim 3.6. Yassılık endeksi deney sonu oluşan agrega grupları

Çizelge 3.9. Yassılık endeksi deney sonuçları

Çubuklu elekten aralık genişliği (mm)	Tane büyüklüğü aralığı (d_i/D_i) (mm)	Tane büyüklüğü aralığının kütleleri $R_i=(d_i/D_i)$ (g)	Çubuklu elekten geçen kütle (m_i) (g)	$F_i=(m_i/R_i)\times 100$
5	8/10	80	16	20,00
6,3	10/12,5	809	278	24,36
10	16/20	540	58	10,74
Toplam		1429	352	24,63

Parçalanma direncinin tayini için los angeles metodu

Parçalanma Direncinin Tayini için TS EN 1097-2’de belirtilen Los Angeles metodu kullanılmıştır. Deney, 14 mm deney eleğinden geçen ve 10 mm deney eleğinde kalan agregalara (Resim 3.7) uygulanmıştır. Agregası numunesi, dönen tamburda (Resim 3.8) çelik bilyalar ile birlikte döndürülür. Dönme işlemi tamamlandıktan sonra malzeme 1,6 mm açıklıklı elek kullanılarak yıkanır ve elenir. 1,6 mm elekte kalan kısım, (110±5) °C’deki etüvde sabit kütleye gelinceye kadar kurutulur. Deney tamamlandıktan sonra 1,6 mm elek üzerinde kalan malzemenin miktarı belirlenir. Parçalanmaya karşı direnç, Denklem 3.1 yardımı ile hesaplanır. Elde edilen sonuç Los Angeles katsayısı olarak tanımlanır [69].

$$LA=(5000-m)/50 \quad (3.1)$$

m: 1,6 mm’lik elek üzerinde kalan fraksiyon, (g)

Hesaplamalar sonucu geri dönüşüm agregalarının Los Angeles katsayısı 40,56 olarak bulunmuştur. TS EN 1097-2’de gösterilen Los Angeles katsayısı kategorilerine göre geri dönüşüm agregaları LA₅₀ sınıfında yer almaktadır.



Resim 3.7. Los Angeles deney öncesi ve sonrası numunenin görüntüsü



Resim 3.8. Los Angeles deney cihazı

3.2.2. Beton tasarımı

C25 için karışım miktarlarının hesabı TS 802'a göre yapılmıştır [70]. Hesaplamalar sonucu su/çimento oranı 0,5 sabit olarak seçilmiş ve akışkanlaştırıcı katkı maddesi çimento ağırlığının % 0,8 oranında alınmıştır. Gerekli agrega miktarının hacmi hesaplanmış ve daha sonra ağırlıklar bulunmuştur. Hesaplamalar sonu, Agrega miktarı 1834 kg olarak elde edilmiş ve 1m³ beton için beton bileşenleri karışım miktarları Çizelge 3.11'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.10. 1m³ geri dönüşüm agregalı beton için karışım miktarları

Malzemeler	Hacim(m ³)	Yoğunluk (kg/m ³)	Kütle (kg)
Su	157	1	157
Çimento	81	3,1	251
Uçucu Külü	30	2,13	63
Akışkanlaştırıcı	2	1,215	2,512
Hava	18	0	0
İnce (0-4 mm) (%39)	275	2,6	715
Orta (4-11,2 mm) (%32)	228	2,57	586
İri (11,2-22,4 mm) (%29)	209	2,55	533
Toplam	1000		2307

Deneme planında görüldüğü gibi ince KTA belirli oranlarda azaltılmış ve yerine ince GDA ikame edilmiştir. İkinci karışımda ise iri KTA belirli oranlarda azaltılmış ve yerine iri GDA ikame edilmiştir.

Çizelge 3.11. C25 beton sınıfı hedeflenen 1m³ betonda kullanılan agrega miktarları

Karışım Kodu	GDA İkame Oranı %	Geri dönüşüm agrega miktarları (kg)			Kırmataş agrega miktarları (kg)		
		0-4 mm	4-11,2 mm	11,2-22,4 mm	0-4 mm	4-11,2 mm	11,2-22,4 mm
KTA	0	0	0	0	740	616	566
GDA	100	715	586	533	0	0	0
GDA _{İNCE20}	20	143	0	0	592	616	566
GDA _{İNCE40}	40	286	0	0	444	616	566
GDA _{İNCE60}	60	429	0	0	296	616	566
GDA _{İNCE80}	80	572	0	0	148	616	566
GDA _{İNCE100}	100	715	0	0	0	616	566
GDA _{İRİ20}	20	0	117	107	740	493	453
GDA _{İRİ40}	40	0	234	213	740	370	340
GDA _{İRİ60}	60	0	352	320	740	246	226
GDA _{İRİ80}	80	0	469	426	740	123	113
GDA _{İRİ100}	100	0	586	533	740	0	0

3.2.3. Taze beton deneyleri

Taze beton birim ağırlığı

Taze Beton Birim Ağırlık deneyi TS EN 12350-6 standardına uygun olarak yapılmıştır [71]. Taze betonun birim ağırlığı, bir kap içerisine sıkıştırılmış taze beton kütesinin kap hacmine bölünmesiyle kg/m³ olarak Denklem 3.1 yardımıyla hesaplanır. Taze betonun sıkıştırılması daldırma vibratör ile yapılmıştır.

$$D = \frac{M}{V} \quad (3.1)$$

D= taze beton birim ağırlığı

M=beton net ağırlığı

V= ölçme kabının hacmi



Resim 3.9. Taze beton kütlesinin belirlenmesi ve sıkıştırılmasında kullanılan daldırma vibratörünün görüntüsü

İşlenebilirlik

Taze betonun işlenebilirliği çökme (slump) testiyle belirlenmiştir. Bu özelliğin belirlenmesinde TS EN 12350-2 standardı esas alınmıştır [72]. Deneyde kullanılan aletler üst çapı 100 mm, alt çapı 200 mm ve boyu 600 mm olan çökme hunisi ve çapı Ø16 olan şişleme çubuğundan ibarettir. Taze beton, kesik huninin içerisine üç kademedeki sıkıştırılarak doldurulur. Her kademedeki 25 şiş darbesi yapılır. Çökme hunisi yukarıya doğru çekilerek alındıktan sonra, taze beton kütlesindeki çökme mesafesi, betonun kıvam ölçüsü olarak kullanılır. Aradaki yükseklik farkı çökme değeri olarak (mm) cinsinden betonun işlenebilirliğini verir.



Resim 3.10. Çökme miktarının belirlenmesi

3.2.4. Sertleşmiş beton deneyleri

Basınç dayanımı

Betonların basınç dayanımlarının belirlenmesinde TS EN 12390-3 esas alınmıştır [73]. Çalışmadaki betonların basınç dayanımı Resim 3.12’de gösterilen 3000 KN yükleme kapasiteli preste yükleme hızı 2,4 KN/s sabit olarak ayarlanarak belirlenmiştir. Basınç dayanımı deneyinde Resim 3.12’de gösterilen 10×20 cm silindir numuneler kullanılmıştır. Her bir karışım için 7, 28 ve 90 günlük yaşlarında basınç deneyine tabi tutulmak için ve her yaş grubundan üçer tane numune olmak üzere toplam 9 adet numune üretilmiştir.



Resim 3.11. 10×20 silindir numuneler ve Beton basınç presi

Betonun basınç dayanımı Denklem 3.2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (3.2)$$

Burada;

f_c : Basınç dayanımı, MPa (N/mm^2),

F: Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, (N),

A_c : Numunenin, üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı, mm^2 dir. Basınç dayanımı, en yakın 0,5 MPa'a yuvarlatılarak gösterilmiştir.

Islanma kuruma

Islanma kuruma deneyi ile ilgili standarda rastlanmamaktadır. Islanma kuruma deneyi için 10×20 cm boyutunda silindir numuneler dökülmüştür. Öner ve diğerleri çalışmalarında takip ettikleri yöntem esas alınarak ıslanma kuruma çevriminde, 24 saat 105°C etüvde kurutulan numuneler, 48 saat normal su içerisinde tam doymun hale getirilmiş, deney gününe kadar bu çevrimler tekrarlanmıştır [15]. Birinci gün kuruma, ikinci ve üçüncü gün ıslanma olmak üzere toplam üç günlük bir çevrim yapılmıştır.

Her bir karışım için 2 grup numune üretilmiştir. Bu gruplar 28 gün standart kürde saklandıktan sonra ıslanma kuruma çevrimine maruz bırakılan numuneler ve 90 gün standart kürde saklandıktan sonra ıslanma kuruma çevrimine maruz bırakılan numunelerdir. Böylece her karışım için 6 numune olmak üzere toplam 72 adet ıslanma kuruma numunesi üretilmiştir. 28 günlük numunelerden üçer adet üretilmiş, üzerlerinde

toplam 10 ıslanma kuruma çevrimi yapılmış ve 58. günde kırılarak basınç dayanımları belirlenmiştir. Aynı şekilde 90 günlük numunelerden de üçer tane üretilmiş, üzerlerinde toplam 10 ıslanma kuruma çevrimi yapılmış ve 120. günde basınç testine tabi tutulmuşlardır.



Islanma

Kuruma

Resim 3.12. Numunelerin kür tankında ıslanması ve 105°C etüvde kurutulması

Sertleşmiş betonun yoğunluğu ve su emmesi

Beton numunelerinin yoğunluğu TS EN 12390-7 standardına esas alınarak suya doymun yüzey metoduna göre yapılmıştır [74].

Numunenin suya doymun durumdaki kütlesini hesaplamak için, numune, (20 ± 2) °C sıcaklıktaki su içerisinde, 24 saat aralıkla yapılan tartımda kütle değişimi % 0,2'den daha az hale gelinceye kadar batırılmıştır. Bu tartımlarda numune yüzeyindeki serbest su bez ile kurulanmış ve suya doymun numune kütlesi (M), kg olarak kaydedilmiştir.



Resim 3.13. Numunenin su içerisinde ve havadaki kütlesinin ölçülmesi

Yoğunluk ve hacimce su emme oranları sırasıyla Denklem 3.3 ve Denklem 3.5 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$D = \frac{m_d}{V} \quad (3.3)$$

Burada;

D : Beton numunesinin yoğunluğu, kg/m^3 ,

m_d : Numunenin suya doymuş ve havada yüzeyi kurutulmuş kütlesi, kg ,

V : Numunenin Denklem 3.4 yardımıyla tayin edilen hacmi, m^3 'dür.

$$V = \frac{m_a - [(m_{st} + m_w) - m_{st}]}{\rho_w} \quad (3.4)$$

$$WA_{24} = \frac{m_d - m_o}{m_d - m_w} \quad (3.5)$$

Burada;

m_a : Numunenin havadaki kütlesi, kg ,

m_{st} : Kefenin su içerisindeki görünür kütlesi, kg ,

m_w : Numunenin su içerisindeki görünür kütlesi, kg ,

ρ_w : suyun yoğunluğu, kg/m^3 ,

m_o : Etüvde kurutulmuş numunenin havadaki kütlesi, kg

m_w : Suya doymun numunenin su içerisindeki kütlesi, kg'dır.

Serbest rötre deneyi

Serbest rötre deneyi ASTM C157/C157M standardına göre yapılmıştır [75]. Her karışım için Suda ve havada bekletilen numuneler olmak üzere üçer tane ve toplam 6 adet 100×100×285 mm prizmatik beton numunesi üretilmiştir. Havada bekletilen numuneler ve boy değişimlerini ölçmek için kullanılan mikron duyarlılığında ölçüm cihazı Resim 3.15'de gösterilmektedir. Beton dökümünden 24 saat sonra, numuneler kalıptan çıkarılıp ilk okumaları yapılmıştır. Suda saklanan numuneler kirece doymun suya konulmuş ve 4, 7, 14, 28, 56 ve 90 günlük yaşlarına geldiğinde sudan çıkarılıp okumaları yapılmıştır. Havada kurumaya maruz bırakılan numunelerin okumaları ise 4, 7, 14, 28, 56 ve 90 günlük yaşlarında yapılmıştır.



Resim 3.14. Serbest rötre numuneleri ve boy değişiminin ölçülmesi

Numunelerin her yaştaki boy değişimi ilk okumadan sonra Denklem 3.5 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\Delta L_x = \frac{CRD - initial\ CRD}{G} \times 100 \quad (3.6)$$

Burada:

ΔL_x = numunenin her yaştaki boy değişimi, (%),

CRD = her yaştaki numune ile referans çubuğunun komparatör okumalarının farkı

G = ölçü boyu

Kısıtlanmış rötire (halka metod)

Kısıtlanmış rötire deneyi C1581/C1581M standardı esas alınarak yapılmıştır [76]. İsminden anlaşılacağı üzere iki halkadan oluşan deney seti beton harcı priz aldıktan sonra dış kalıp (halka) çıkarılır. Harç numunesinin üst kısmı silikonlanarak buharlaşması önlenir ve iç kalıp deney sonuna kadar kalır. Böylece rötirenin sadece dış yüzeyinden meydana gelmesi sağlanmış olur. Yani dış yüzeyde meydana gelen çekme gerilmeleri çatlak oluşumuna neden olur. Resim 3.16'de görülen iç çapı 270 mm, dış çapı 300 mm, yüksekliği 120 mm ve et kalınlıkları 13 ve 16 mm olan çelik halka kalıp kullanılmıştır. Her bir karışım için 3 adet halka numune dökülmüş ve elde edilen rötire değerlerinin aritmetik ortalamaları alınmıştır. Önce beton kalıbın yarısına kadar dökülmüş ve şişlenerek yerleştirilmiştir. Kalıbın tamamı betonla doldurulduktan sonra tekrar şişlenmiş ve yüzeyi seviyelenmiştir. 24 saat sonra numuneler kalıptan çıkartılmış ve üst yüzeyine silikon sürülerek sadece çevresel kuruma sağlanmıştır. Çatlak gelişimini gözlemek için Resim 3.16'da görüldüğü gibi özel bir mikroskop kullanılmıştır. İlk çatlağın kaçınıcı günde oluştuğu kaydedilmiş, çatlak genişlikleri her gün ölçüm yapılarak belirlenmiş ve ölçümler çatlak genişlikleri sabit oluncaya kadar devam ettirilmiştir. Resim 3.17'de çatlamış bir numune ve çatlağın mikroskop görüntüsü görülmektedir.



Resim 3.15. Halka kalıbın görüntüsü ve çatlak genişliklerinin ölçülmesi



Resim 3.16. Kısıtlanmış rötre deneyi sonucu numunede oluşan çatlak ve çatlağın mikroskop görüntüsü

Donatı aderans deneyi (çekip çıkarma metodu)

Donatı aderans deneyi betona ankre edilen donatıların aderans dayanımlarını ve sıyrılma değerlerinin tespit etmek için kullanılır. RILEM/CEB/FIP standardında donatının betona gömülü uzunluğu için 5ϕ alt sınır olarak belirtilmiştir [77]. Üst sınır için ise donatının betona gömülü uzunluğunun aderans dayanımının donatı akma dayanımından az olacak şekilde tasarlanması istenmiştir. Böylece donatının betondan sıyrılması ya da beton parçalanarak ayrılması sağlanır. Bu çalışmada RILEM standardında belirtilen sınırlar içinde olması sağlamak üzere donatının betona gömülü boyu 9ϕ olarak seçilmiştir [77]. Numune üretiminde $20 \times 20 \times 20$ cm küp kalıpların içine 20 mm çapında nervürlü çubuk, 18

cm'si betonda kalacak şekilde konmuştur. Her karışım için 3 adet olmak üzere toplam 36 adet beton numunesi üretilmiştir.



Resim 3.17. Donatı aderans deney numuneleri ve hidrolik pistonlu demir çekme cihazının görüntüsü

Donatı aderans deneyinde kullanılan 30 ton kapasiteli cihaz, basınç göstergeli hidrolik kriko ve silindiri ile birlikte Resim 3.18'de gösterilmektedir. Deneyde kullanılan 20'lik donatıların akma dayanımı donatı çekme deneyi sonucu 488 N/mm^2 olarak bulunmuştur. Deney sonucu elde edilen maksimum kuvvet Denklem 3.6'a konulduğunda betonla donatı arasındaki aderans dayanımı elde edilmektedir.

$$\tau = \frac{F_u}{\pi \times \varphi \times l} \quad (3.7)$$

Bu denklemde;

τ = Aderans Dayanımı,

F_u = donatının betondan sıyrılma kuvveti,

φ = Donatı çapı,

l = Betona gömülü donatı uzunluğu'dur.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

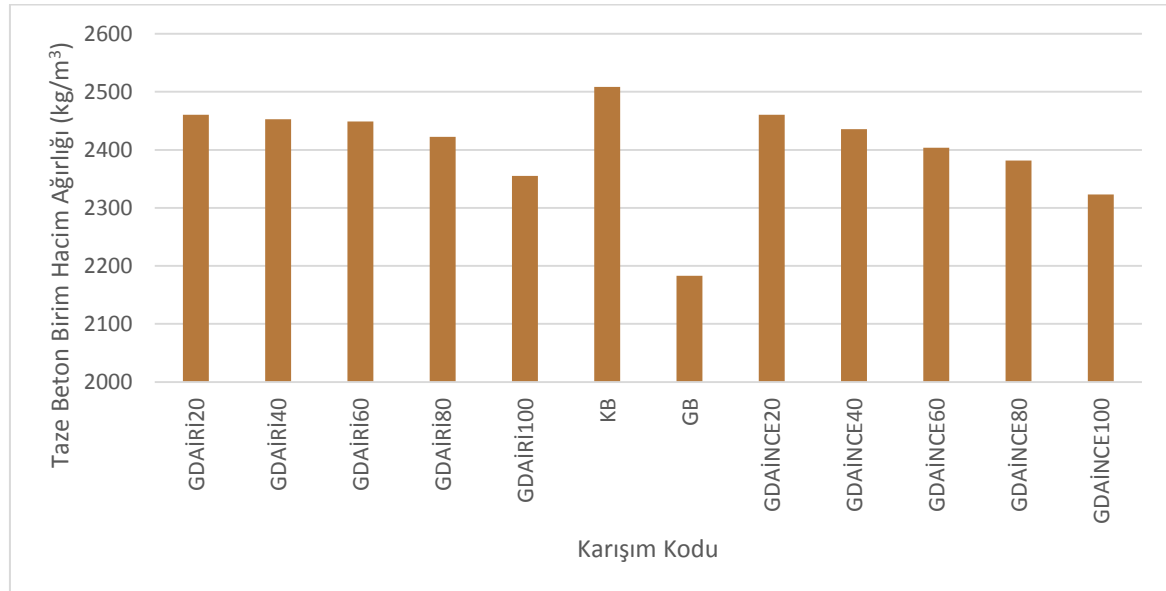
4.1. Taze Beton Özellikleri

4.1.1. Taze beton birim hacim ağırlığı

Taze beton birim hacim ağırlık deneyi basınç dayanımı için üretilen 10×20 silindir numuneler üzerinde yapılmış ve sonuçlar Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1’de verilmiştir. Bütün karışımlarda taze beton birim hacim ağırlıkları 2146 kg/m^3 ile 2508 kg/m^3 arasında değişiklik göstermektedir.

Çizelge 4.1. Karışımların taze beton birim hacim ağırlık değerleri

Karışım Kodu	GDA _{İRİ} İkame Yüzdesi					KB	GB	GDA _{İNCE} İkame Yüzdesi				
	20	40	60	80	100			20	40	60	80	100
Taze Beton Birim Hacim Ağırlığı (kg/m ³)	2461	2453	2449	2422	2355	2508	2146	2461	2436	2404	2382	2323



Şekil 4.1. Karışımların taze beton birim hacim ağırlık değerleri

Taze beton birim hacim ağırlığı (BHA) Çizelge 4.1 incelendiğinde GDA oranı arttıkça BHA azalmaktadır. Ayrıca GDA_{İNCE} ve GDA_{İRİ} ile üretilen betonun BHA karşılaştırılırsa

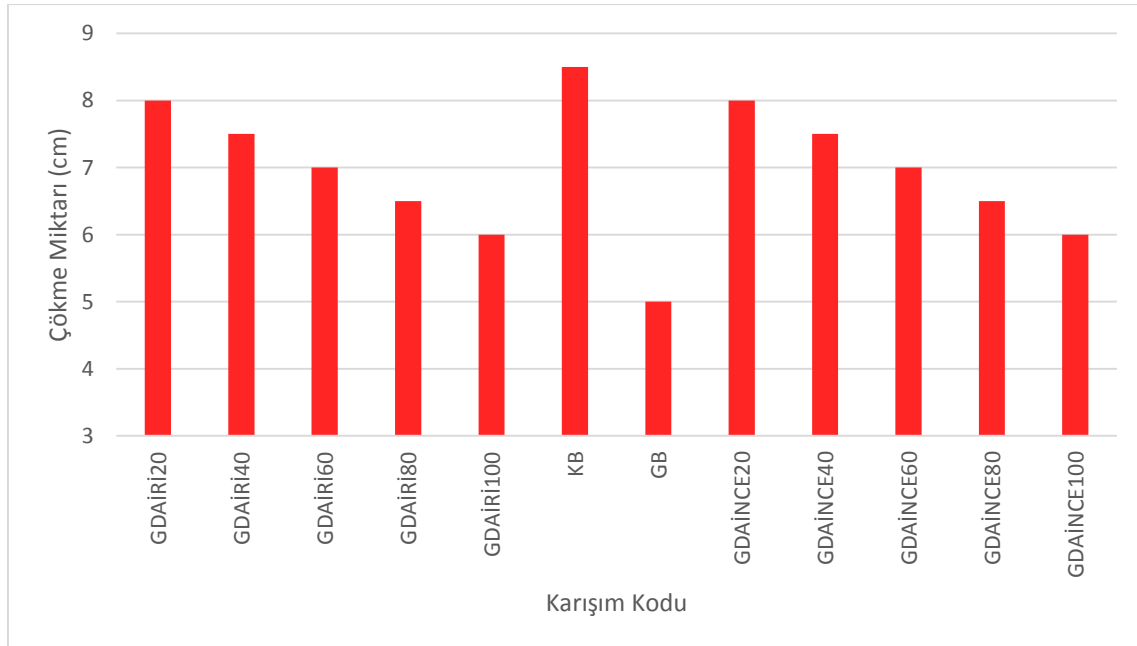
GDA_{İNCE}'li betonun BHA azalmaktadır. En yüksek taze beton BHA'nı, KB karışımı verirken en düşük BHA'nı, GB karışımı vermiştir. Sıkıştırma ve yerleştirme taze beton BHA'nı etkilemekte ve sonuçlarda önemli ölçüde farklılıklar göstermektedir. Her karışımdan üçer tane beton numunenin BHA değerleri hesaplanıp aritmetik ortalaması alınarak bu farklılıkların önüne geçilmektedir.

4.1.2. İşlenebilirlik

Beton karışım hesabı yapılırken tüm karışımlarda s/ç oranı sabit tutulduğu için farklı çökme değerleri elde edilmiştir. Çökme deneyi sonunda elde edilen değerler Çizelge 4.2 ve Şekil 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Karışımların çökme değerleri aritmetik ortalamaları

Karışım Kodu	GDA _{İR20}	GDA _{İR40}	GDA _{İR60}	GDA _{İR80}	GDA _{İR100}	KB	GB	GDA _{İNCE20}	GDA _{İNCE40}	GDA _{İNCE60}	GDA _{İNCE80}	GDA _{İNCE100}
Çökme Miktarı (cm)	8	7.5	7	6.5	6	8.5	5	8	7.5	7	6.5	6



Şekil 4.2. Taze betonların çökme değerleri

Çizelge 4.2 incelendiğinde karışımlarda en yüksek çökmeyi KB karışımı ve en düşük çökmeyi GB karışımı vermiştir. KB taze beton çökme değeri 8,5 cm iken, GB betonun çökme değeri 5 cm'dir. Bu sonuçlara göre iki karışım arasında 3,5 cm'lik bir çökme farkı vardır. GDA_{İNCE} ikameli karışımlar GDA_{İRİ} ikameli karışımlarla aynı çökme değerini göstermiştir. GDA oranı arttıkça çökmenin azaldığı görülmektedir. GDA'lı karışımlarda su gereksinimi daha fazladır. Bunun geri dönüşüm agregadaki yüzey şekli, agregaya yapısı ve eski harcın su emme oranının fazla olduğundan kaynaklandığını rahatça söyleyebiliriz.

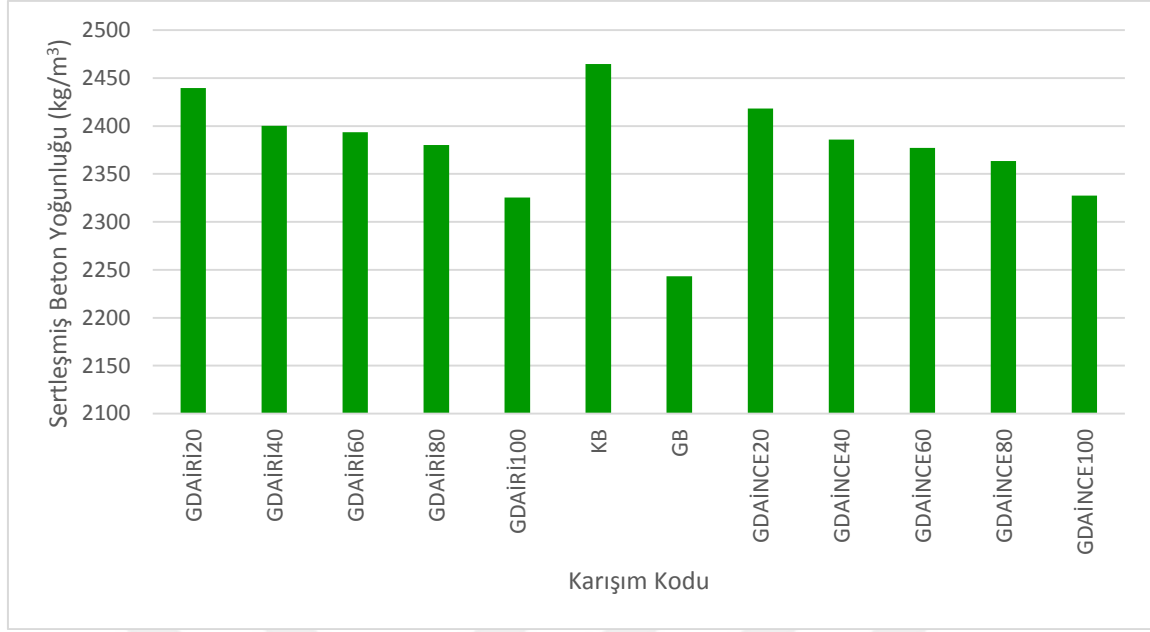
4.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri

4.2.1. Sertleşmiş beton yoğunluğu ve su emme oranı

Sertleşmiş beton yoğunluk deneyi 28 günlük numuneler üzerinde yapılmış ve elde edilen yoğunluk sonuçlarının aritmetik ortalaması Çizelge 4.3 ve Şekil 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Karışımların sertleşmiş beton yoğunluk değerleri

Karışım kodu	GDA _{İRİ20}	GDA _{İRİ40}	GDA _{İRİ60}	GDA _{İRİ80}	GDA _{İRİ100}	KB	GB	GDA _{İNCE20}	GDA _{İNCE40}	GDA _{İNCE60}	GDA _{İNCE80}	GDA _{İNCE100}
Sertleşmiş Beton Yoğunluğu (kg/m ³)	2440	2400	2394	2380	2325	2465	2243	2418	2386	2377	2364	2327

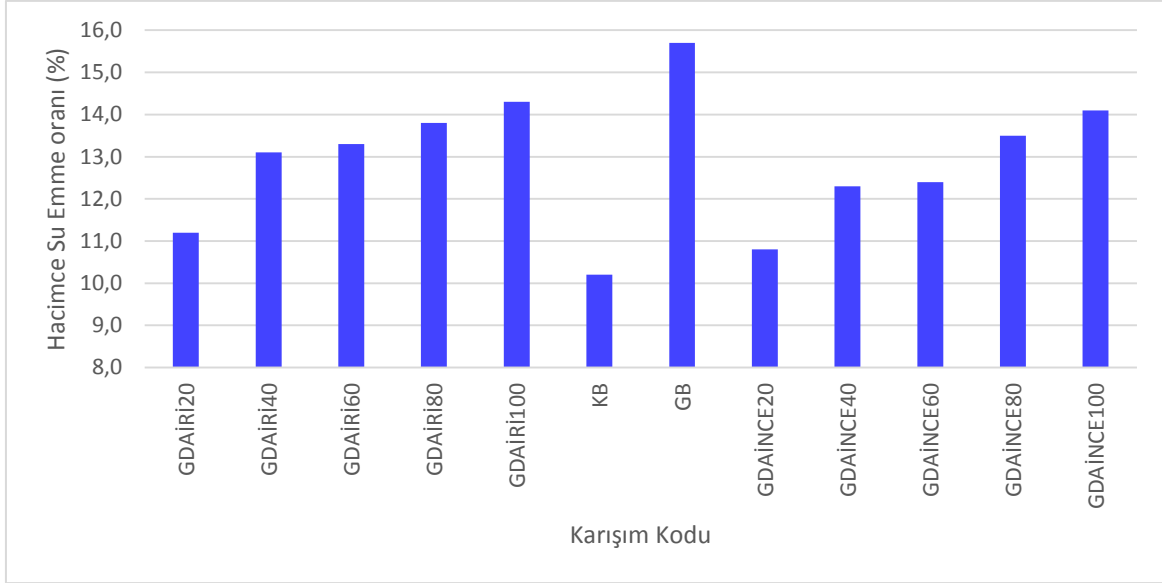


Şekil 4.3. Karışımların sertleşmiş beton yoğunluk değerleri

Çizelge 4.3 incelendiğinde GDA oranı arttıkça yoğunluğun azaldığı görülmektedir. Bu azalma GDA'nın KTA'na göre daha hafif olmasından kaynaklanmaktadır. KB kodlu betonun yoğunluğu 2465 kg/m^3 iken GB kodlu betonun yoğunluğunun 2243 kg/m^3 olduğu görülmektedir. GDAİRİ ikameli karışımların yoğunluğunun GDAİNCE ikameli karışımların yoğunluğundan daha fazla olduğunu söyleyebiliriz. Buna rağmen Çizelge 4.3'te görüldüğü gibi GDAİNCE100 kodlu beton GDAİRİ100 kodlu betondan daha yüksek değere sahiptir. Bunun agrega yüzey şekli ve sıkıştırılmadan kaynaklandığını söylemek mümkündür. Numunelerin hacimce su emme oranları Çizelge 4.4 ve Şekil 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Karışımların hacimce su emme oranları

Karışım Kodu	GDAİRİ20	GDAİRİ40	GDAİRİ60	GDAİRİ80	GDAİRİ100	KB	GB	GDAİNCE20	GDAİNCE40	GDAİNCE60	GDAİNCE80	GDAİNCE100
Hacimce Su Emme oranı (%)	11,2	13,1	13,3	13,8	14,3	10,2	15,7	10,8	12,3	12,4	13,5	14,1



Şekil 4.4. Karışımların hacimce su emme oranları

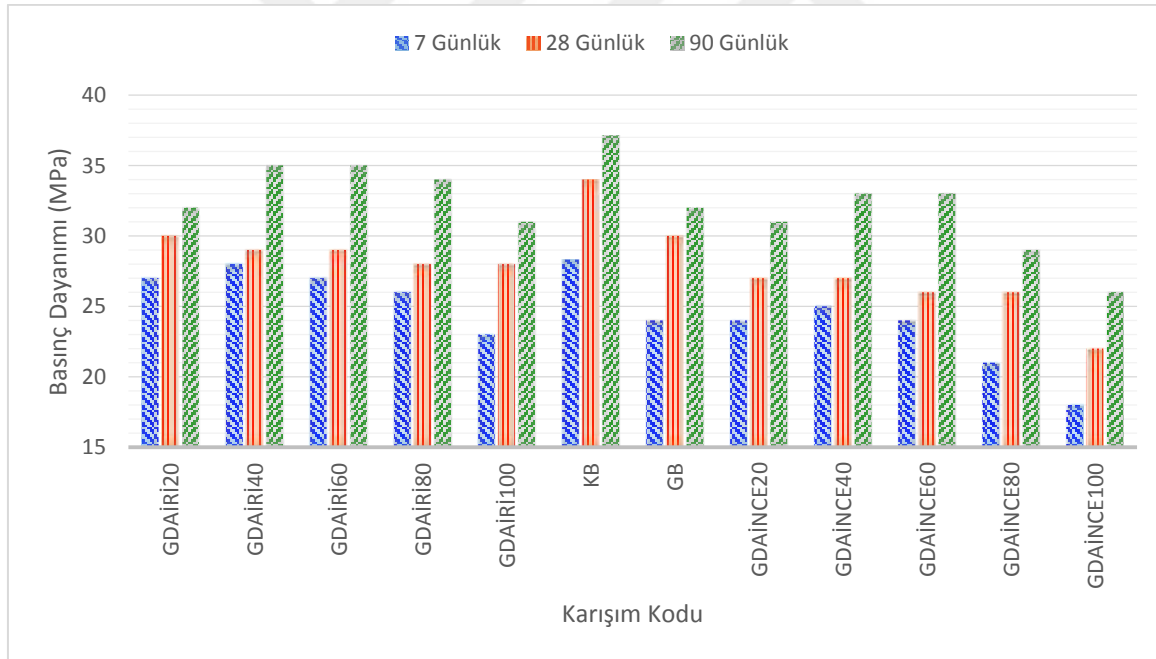
Çizelge 4.4 incelendiğinde GDA ikame oranı arttıkça karışımların hacimce su emme oranı artmıştır. KB karışımı %10,2 ile en düşük ve GDA karışımı % 15,7 ile en yüksek su emme oranına sahiptir. GDAİRİ ikameli karışımların su emmesinin GDAİNCE ikameli karışımların su emmesinden daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum GDA'nın su emme oranının, KTA'nın su emme oranından; GDAİRİ'nin su emme oranının ise GDAİNCE'nin su emme oranından fazla olmasıyla açıklanabilir.

4.2.2. Basınç dayanımı

Betonun basınç dayanımı deneyi 7, 28 ve 90 günlük numuneler üzerinde yapılmış ve sonuçlar Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Betonların 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları

Karışım Kodu	Basınç Dayanımı (MPa)								
	7 günlük			28 günlük			90 günlük		
	min	max	ort	min	max	ort	min	max	ort
GDA _{IRI20}	25	28	27	29	32	30	31	33	32
GDA _{IRI40}	26	29	28	28	30	29	34	36	35
GDA _{IRI60}	26	28	27	27	30	29	34	36	35
GDA _{IRI80}	25	27	26	27	29	28	33	35	34
GDA _{IRI100}	21	24	23	27	29	28	30	33	31
KB	27	29	28	33	35	34	36	38	37
GB	22	25	24	29	31	30	30	33	32
GDA _{İNCE20}	23	25	24	26	29	27	30	32	31
GDA _{İNCE40}	23	26	25	25	28	27	32	34	33
GDA _{İNCE60}	23	25	24	25	28	26	32	34	33
GDA _{İNCE80}	20	22	21	24	27	26	28	30	29
GDA _{İNCE100}	17	20	18	21	23	22	24	27	26



Şekil 4.5. Betonların 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları

Çizelge 4.5 incelendiğinde KB kodlu betonlar bütün yaşlarda en yüksek dayanımı vermiştir. GB kodlu beton 28 ve 90 günlük yaşlarda KB'den sonra ikinci sırada yer almaktadır. 7, 28 ve 90 günlüğünde GB ile KB karışımlarının basınç dayanımları arasında ortalama 4 MPa'lık bir fark söz konusudur.

GDA_{IRI} ile üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımları GDA ikame oranı arttıkça azalmaktadır. GDA_{IRI20} karışımıyla üretilen betonun basınç dayanımı 30 MPa ile bu grup içinde en yüksek dayanımı verirken GDA_{IRI100} karışımı 28 MPa ile en düşük dayanımı sağlamıştır. Aynı betonların 90 günlük basınç dayanımlarına bakıldığında 28 güne göre belirli bir artış görülmektedir. En yüksek basınç dayanımı 35 MPa ile GDA_{IRI40} ve GDA_{IRI60} karışımları verirken en düşük dayanımı 31 MPa ile GDA_{IRI100} vermiştir. 7 günlük basınç dayanımları ise 90 günlüklerle paralellik göstermektedir. 7 günlüğünde GDA_{IRI40} karışımı 28 MPa ile en yüksek ve GDA_{IRI100} karışımı 23 MPa ile en düşük dayanımı vermiştir.

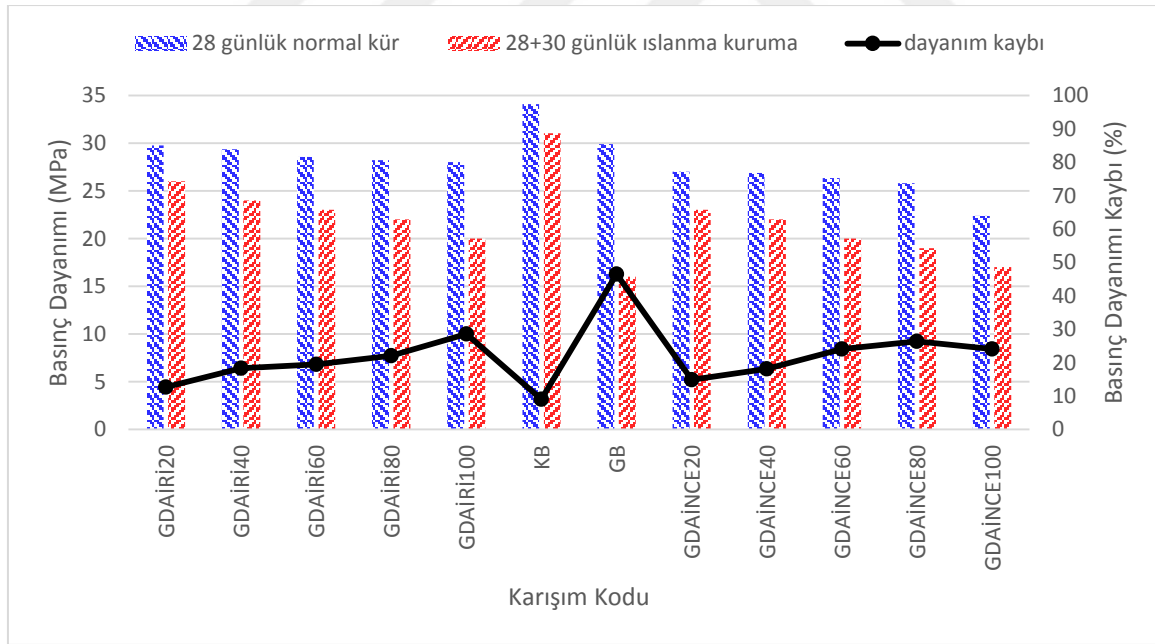
GDA_{INCE} ile üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımları ince oranı arttıkça azalmaktadır. Bu betonların arasında en yüksek dayanımı GDA_{INCE20} karışımı 27 MPa ile verirken en düşük dayanımı GDA_{INCE100} karışımı 22 MPa ile sağlamıştır. En düşük basınç dayanımı ile en yüksek basınç dayanımı arasında 5 MPa fark vardır. Aynı betonların 90 günlük basınç dayanımları ile 28 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında yaşa göre belirli artış görülmektedir. Bu artış ortalama olarak 5 MPa civarındadır. En yüksek basınç dayanımı 33 MPa ile GDA_{INCE40} ve GDA_{INCE60} karışımları verirken en düşük dayanımı 26 MPa ile GDA_{INCE100} vermiştir. 7 günlük basınç dayanımlarına bakıldığında 90 günlüklerle paralellik gösterdiği görülmektedir. 7 günlüğünde GDA_{INCE40} karışımı 25 MPa ile en yüksek ve GDA_{INCE100} karışımı 18 MPa ile en düşük dayanımı vermiştir. Bütün karışımların basınç dayanımları incelendiğinde GDA_{IRI} ile üretilen betonların daha avantajlı olduğu söylenebilir. Karışımlarda GDA_{INCE} veya GDA_{IRI} 40 ve 60 oranlarında kullanıldığında betona en yüksek dayanımı kazandırmıştır. Bütün yaşlarda GDA'lı karışımların basınç dayanımında düşüş gözlemlenmiştir.

4.2.3. Islanma kuruma

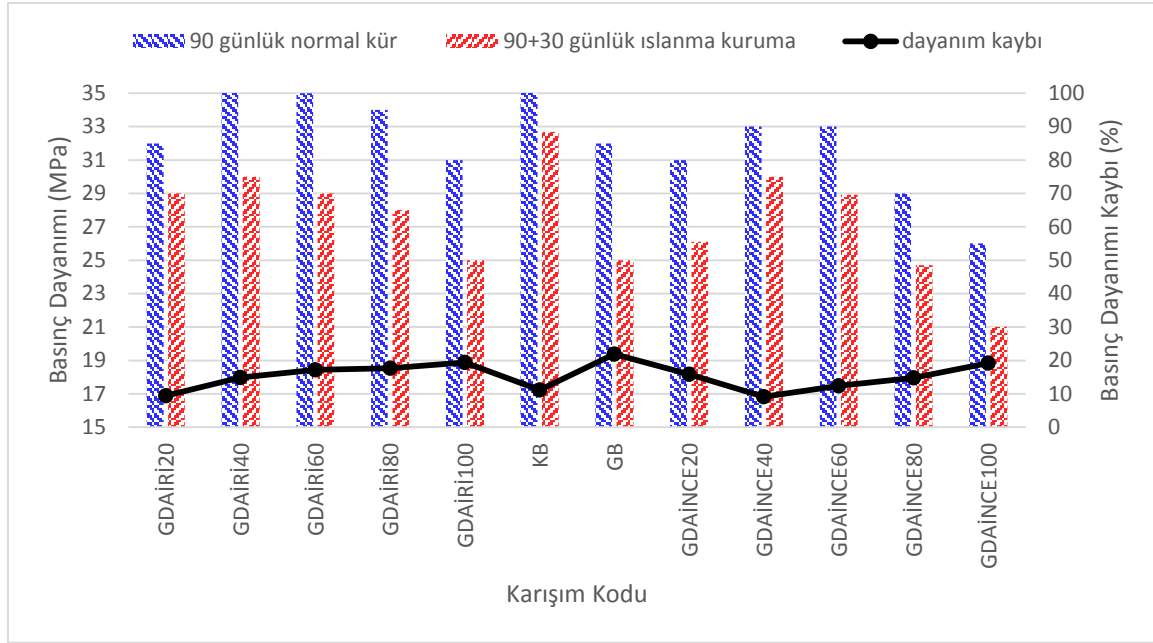
28 ve 90 gün sonra ıslanma kuruma çevrimlerine maruz bırakılan numunelerin basınç dayanımı ile üzerinde ıslanma kuruma yapılmayan numunelerin 28 ve 90 günlük basınç dayanımı Çizelge 4.6, Şekik 4.6 ve Şekil 4.7' de gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Islanma kuruma ve normal kür yapılan betonların 28 ve 90 günlük basınç dayanımları

Karışım Kodu	28 günlük ıslanma kuruma			90 günlük ıslanma kuruma		
	28 günlük Normal Kür (MPa)	28+30 günlük Islanma Kuruma (MPa)	Dayanım Kaybı (%)	90 günlük Normal Kür (MPa)	90+30 günlük Islanma Kuruma (MPa)	Dayanım Kaybı (%)
GDA _{IRI} 20	30	26	13	32	29	9
GDA _{IRI} 40	29	24	18	35	30	15
GDA _{IRI} 60	29	23	19	35	29	17
GDA _{IRI} 80	28	22	22	34	28	18
GDA _{IRI} 100	28	20	29	32	24	19
KB	34	31	9	37	33	11
GB	30	16	46	36	17	22
GDA _{INCE} 20	27	23	15	31	26	16
GDA _{INCE} 40	27	22	18	33	30	9
GDA _{INCE} 60	26	20	24	33	29	12
GDA _{INCE} 80	26	19	26	29	25	15
GDA _{INCE} 100	22	17	24	26	23	19



Şekil 4.6. Islanma kuruma ve normal kür yapılan betonların 28 günlük basınç dayanımları ve dayanım kaybı yüzdeleri



Şekil 4.7. İslanma kuruma ve normal kür yapılan betonların 90 günlük basınç dayanımları ve dayanım kaybı yüzdeleri

Çizelge 4.6 incelendiğinde KB kodlu betonların hem 28 günlük hem de 90 günlük ıslanma kuruma deneyleri sonunda en yüksek dayanımı verdiği ve en düşük dayanım kaybının bu betonlarda olduğu görülmektedir.

GB kodlu beton ise hem 28 günlük hem de 90 günlük ıslanma kuruma deneyleri sonunda en düşük dayanımı vermiş ve en yüksek dayanım kaybı bu betonlarda oluşmuştur. 28 ve 90 günlük ıslanma kuruma deneyinde sırasıyla %46 ve %22 dayanım kaybı gerçekleşmiştir.

GDA_{IRI} ile üretilen betonların 28 gün sonra ıslanma kuruma çevrimlerine tabi tutulduktan sonraki basınç dayanımları aynı agregayla üretilen ve normal kürü yapılan betonların 28 günlük basınç dayanımlarıyla paralellik göstermektedir. Bu grup içinde GDA_{IRI}20 normal kür yapılan betonlarda en yüksek dayanımı verdiği gibi ıslanma kuruma çevrimlerinden sonra da en yüksek dayanımı kazanmıştır. En fazla dayanım kaybı %29 ile GDA_{IRI}100 karışımında gözlenmiştir. Aynı betonların 90 günlük basınç dayanımları normal kürü yapılan betonda olduğu gibi 28 günlüklerden daha fazla olup paralellik göstermektedir. En fazla dayanım kaybı yine de %19 ile GDA_{IRI}100 karışımında gözlenmiştir.

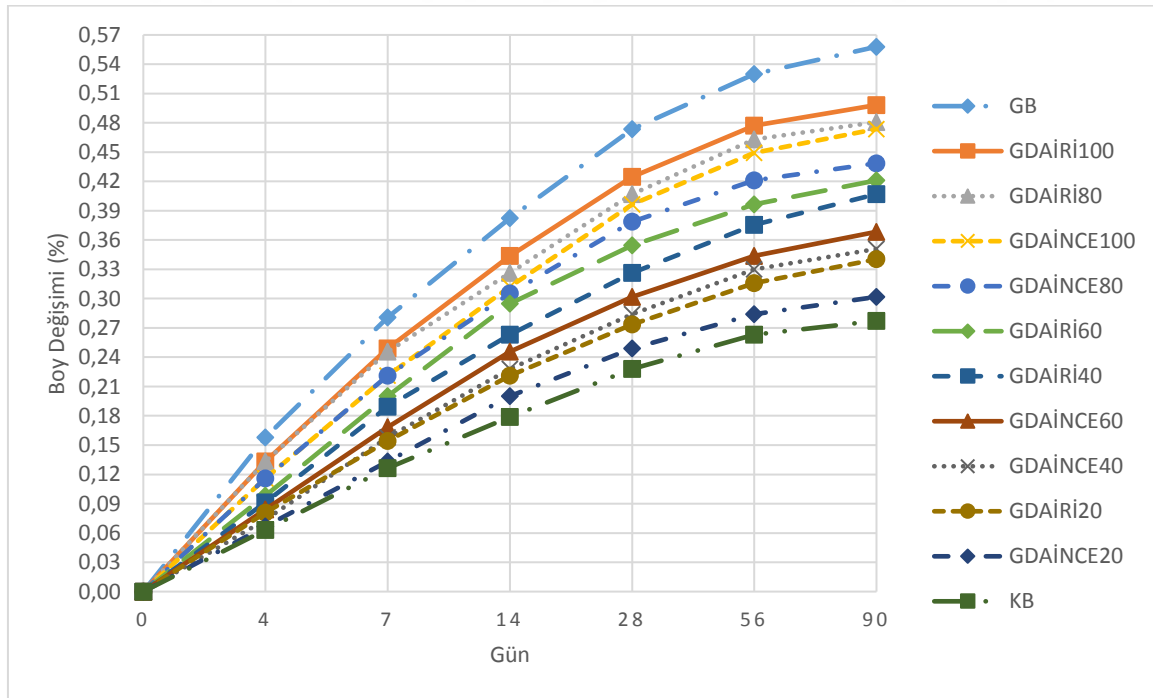
GDA_{INCE} ile üretilen betonların 28 gün sonra ıslanma kuruma çevrimlerine tabi tutulduktan sonraki basınç dayanımları aynı agregayla üretilen ve normal kür betonların 28 günlük

basınç dayanımlarıyla paralellik göstermektedir. Bu grup içinde $GDA_{İNCE20}$ normal betonlarda en yüksek dayanımı verdiği gibi ıslanma kuruma çevrimlerinden sonra da en yüksek dayanımı kazanmıştır. En fazla dayanım kaybı %26 ile $GDA_{İNCE80}$ karışımında gözlenmiştir. Aynı betonların 90 günlük basınç dayanımları normal betonda olduğu gibi 28 günlüklerden daha fazla olup en yüksek değer 30 MPa olarak $GDA_{İNCE40}$ karışımı için kaydedilmiştir. En fazla dayanım kaybı %19 ile $GDA_{İNCE100}$ karışımında gözlenmiştir.

28 ve 90 günlük ıslanma kuruma deney sonuçları incelendiğinde karışımlarda GDA oranı arttıkça basınç dayanımının düştüğü gözlemlenmiştir. 90 günlük ıslanma kuruma deneyinde 28 günlüğe nazaran daha az dayanım kaybı gerçekleşmiştir. ıslanma kuruma çevrimleri en çok GB kodlu betonu etkilemiş ve 28 günlük deneyde %50'lik bir dayanım kaybına neden olmuştur.

4.2.4. Serbest rötre

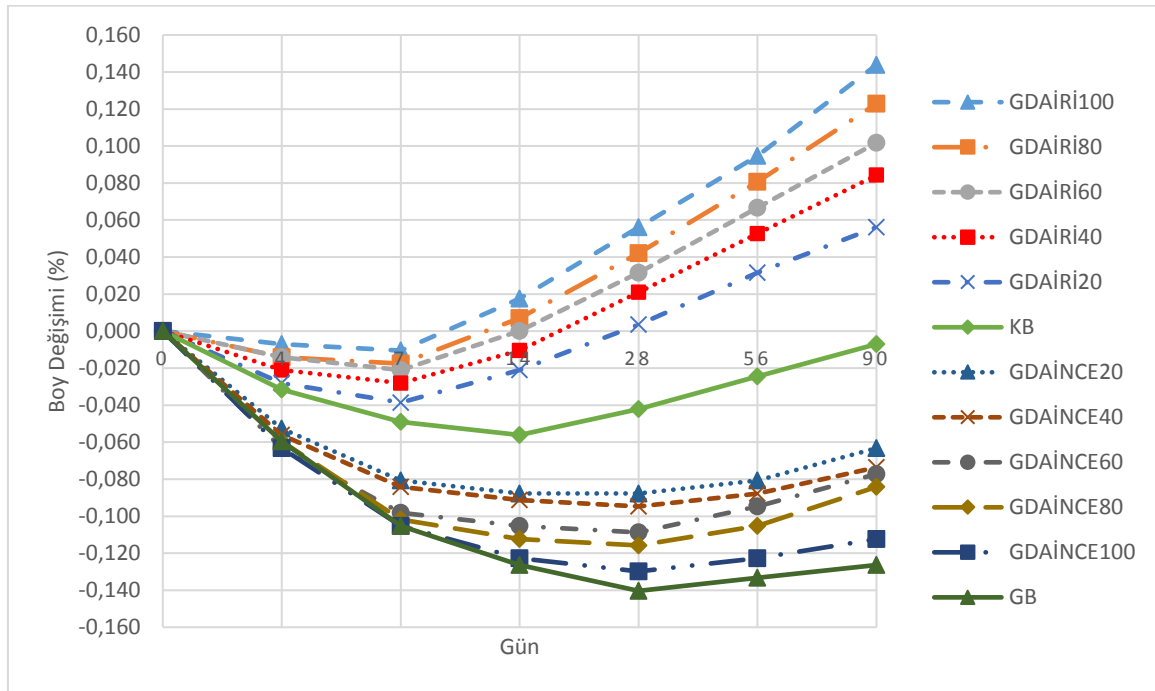
Havada bekleyen numunelerin boy değişimleri yüzde olarak Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8. Havada bekleyen numunelerin boy değişimleri

Havada bekleyen numunelerin serbest rötre okumaları incelendiğinde $GDA_{İRİ}$ ile üretilen betonlarda $GDA_{İNCE}$ ile üretilen betonlardan daha fazla rötre olduğu görülmektedir. Tüm

yaşlarda GB kodlu betonda en yüksek büzülme oluşurken KB kodlu beton için en düşük rötre değerleri kaydedilmiştir. 90 gün sonundaki rötre değerlerine bakıldığında ise GB karışımı 159 mikron ile en yüksek ve KB karışımı 79 mikron ile en düşük rötre miktarına sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca GDA'nın ince veya iri olduğuna bakmadan GDA oranı arttıkça rötre miktarı da artmıştır. İlk yaşlarda numune boyları hızla küçülmekte olup 28 günden sonraki yaşlarda rötre oluşumu yavaşlamıştır. Suda bekleyen serbest rötre numunelerin boy değişim yüzdeleri Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9. Suda bekleyen numunelerin boy değişimleri

Suda bekleyen numunelerin hepsinde çimento jelleri tarafından emilen su nedeniyle belli bir yaşa kadar şişme (negatif rötre) meydana gelmiştir. GDA_{IRI} ile üretilen betonların rötre okumaları incelendiğinde ilk yaşlarda negatif rötrenin meydana geldiği ve 7.günün sonunda minimum değere ulaştığı gözlenmiştir. Daha sonra numuneler büzülerek negatif rötre normal rötreye dönüşmüş ve 90.cı günün sonunda en yüksek değere ulaşmıştır. Tüm yaşlarda bu grup içindeki karışımların grafikleri GDA_{IRI100} en üstte ve GDA_{IRI20} en altta olmak üzere birbiriyle paralellik göstermişlerdir. 90.cı günde GDA_{IRI20} karışımı 16 mikron ve GDA_{IRI100} karışımı 41 mikron ile sırasıyla bu grubun maksimum ve minimum rötre değerlerini vermişlerdir.

KB kodlu betonlarda da negatif rötre oluşmuş ve -16 mikron olan maksimum değere 14.c günde ulaşmıştır. Daha sonra normal bzlme ile devam etmiş ve 90.c günde -2 mikron ile son bulmuştur. GB kodlu beton ise 28.ci güne kadar negatif rötre ile devam etmiş ve -40 mikron ile maksimum değere ulaştıktan sonra 90.ci güne kadar da büzülerek devam etmiş ve -36 mikron ile son bulmuştur.

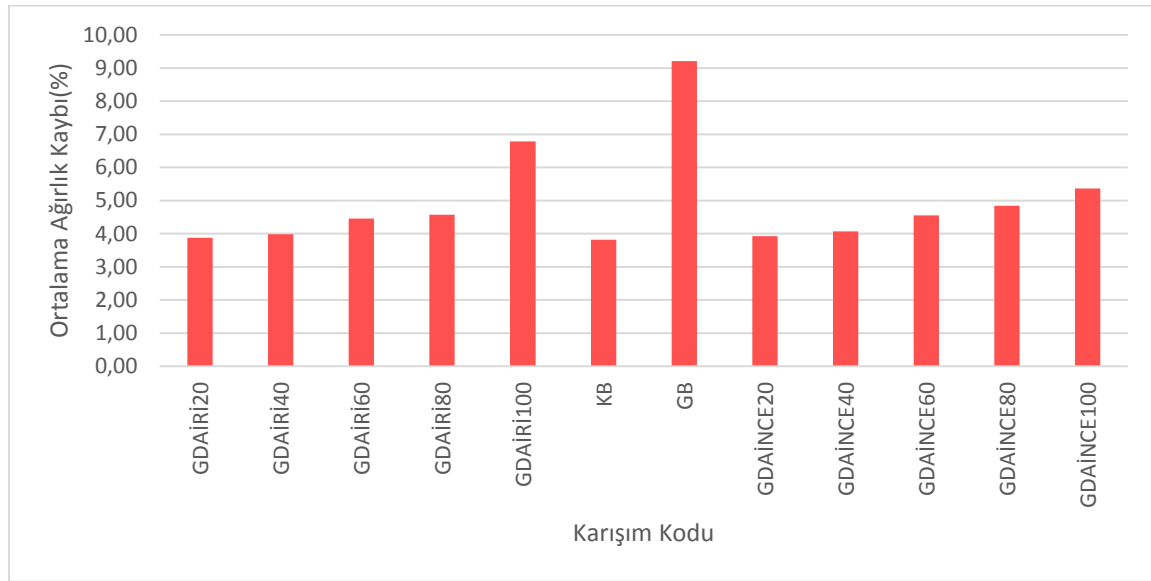
GDA_{INCE} ile üretilen betonlarda yine de negatif rötre gerçekleşmiş ve 28.günde maksimum değere ulaştıktan sonra 90.güne kadar büzülerek normal rötre ile devam etmiştir. Tüm yaşlarda bu grup içindeki karışımların grafikleri GDA_{INCE20} en üstte ve $GDA_{INCE100}$ en altta olmak üzere birbiriyle paralellik göstermiştir.

28.c günde GDA_{INCE20} karışımı -27 mikron ve $GDA_{INCE100}$ karışımı -37 mikron ile sırasıyla bu grubun minimum ve maksimum negatif rötre değerlerini vermiştir. 90.c günde ise GDA_{INCE20} karışımı -18 mikron ve $GDA_{INCE100}$ karışımı -32 mikron ile sırasıyla bu grubun maksimum ve minimum normal rötre değerlerini vermiştir. Tüm karışımlarda maksimum negatif rötre -40 mikron ile 28.günde GDA karışımı için kaydedilirken maksimum normal rötre 90.günde 41 mikron ile GDA_{IRI100} karışımı için kaydedilmiştir. Deney sonunda GDA_{IRI} ile üretilen betonların rötre değerleri pozitif olduğundan toplamda numune boyunun kısaldığı saptanırken GDA_{INCE} ile üretilen betonların rötre değerleri negatif olduğundan toplamda numune boyunun uzadığı saptanmıştır.

Havada bekleyen serbest rötre numunelerinin ağırlık kaybını belirlemek için numuneler kalıptan çıkarıldıktan hemen sonra ve 90 gün kalıptan çıkarıldıktan sonra tartılmış, ağırlık kayıpları hesaplanmış ve yüzde olarak izelge 4.9 ve Şekil 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.7. Bütün karışımların 90 günlük ağırlık kaybı yüzdesi

Karışım Kodu	GDA _{IRI20}	GDA _{IRI40}	GDA _{IRI60}	GDA _{IRI80}	GDA _{IRI100}	KB	GB	GDA _{INCE20}	GDA _{INCE40}	GDA _{INCE60}	GDA _{INCE80}	GDA _{INCE100}
Ortalama Ağırlık Kaybı (%)	3,88	3,99	4,46	4,57	6,78	3,82	9,21	3,93	4,07	4,55	4,85	5,36



Şekil 4.10. Bütün karışımlar için ağırlık kaybı yüzdesi

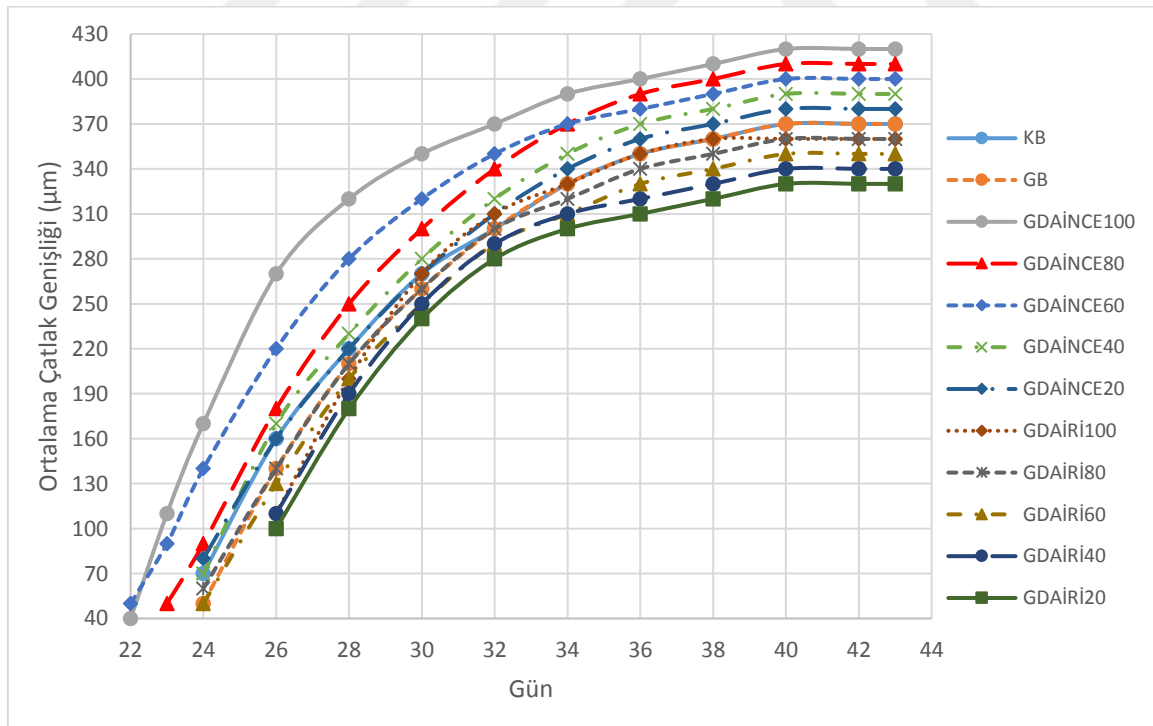
Çizelge 4.9 incelendiğinde GDA'nın ince veya iri olduğuna bakmadan GDA oranı arttıkça ağırlık kaybı yüzdesi artmıştır. Maksimum ağırlık kaybı %9,21 ile GB karışımında gerçekleşirken minimum ağırlık kaybı %3,82 ile KB karışımında gerçekleşmiştir. Ayrıca GDA_{IRI} ve GDA_{INCE} ile üretilen betonların ağırlık kaybı yüzdeleri arasında önemli fark olmadığı gözlemlenmiştir.

4.2.5. Kısıtlanmış rötre (halka metod)

Kısıtlanmış rötre deneyi sonucu numunelerin çatlak genişlikleri Çizelge 4.10 ve Şekil 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. GDA karışımının kısıtlanmış rötre çatlak genişlikleri

Halka Numune Ortalama Çatlak Genişliği (μm)												
Gün	GDA _{IRI20}	GDA _{IRI40}	GDA _{IRI60}	GDA _{IRI80}	GDA _{IRI100}	KB	GB	GDA _{INCE20}	GDA _{INCE40}	GDA _{INCE60}	GDA _{INCE80}	GDA _{INCE100}
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0	40
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	90	50	110
24	0	0	50	60	0	70	50	80	70	140	90	170
26	100	110	130	140	110	160	140	160	170	220	180	270
28	180	190	200	210	200	220	210	220	230	280	250	320
30	240	250	250	260	270	270	260	270	280	320	300	350
32	280	290	290	300	310	300	300	310	320	350	340	370
34	300	310	310	320	330	330	330	340	350	370	370	390
36	310	320	330	340	350	350	350	360	370	380	390	400
38	320	330	340	350	360	360	360	370	380	390	400	410
40	330	340	350	360	360	370	370	380	390	400	410	420
42	330	340	350	360	360	370	370	380	390	400	410	420
43	330	340	350	360	360	370	370	380	390	400	410	420



Şekil 4.11. Karışımların kısıtlanmış rötre çatlak genişliklerinin grafik gösterimi

Çizelge 4.10 incelendiğinde GDA_{INCE} ile üretilen betonların çatlak genişlikleri GDA_{IRI} ile üretilen betonlarınkinden daha fazla olduğu görülmektedir. GDA_{INCE100} kodlu betonda en geniş çatlak oluşurken GDA_{IRI20} kodlu beton için en düşük çatlak genişliği değerleri

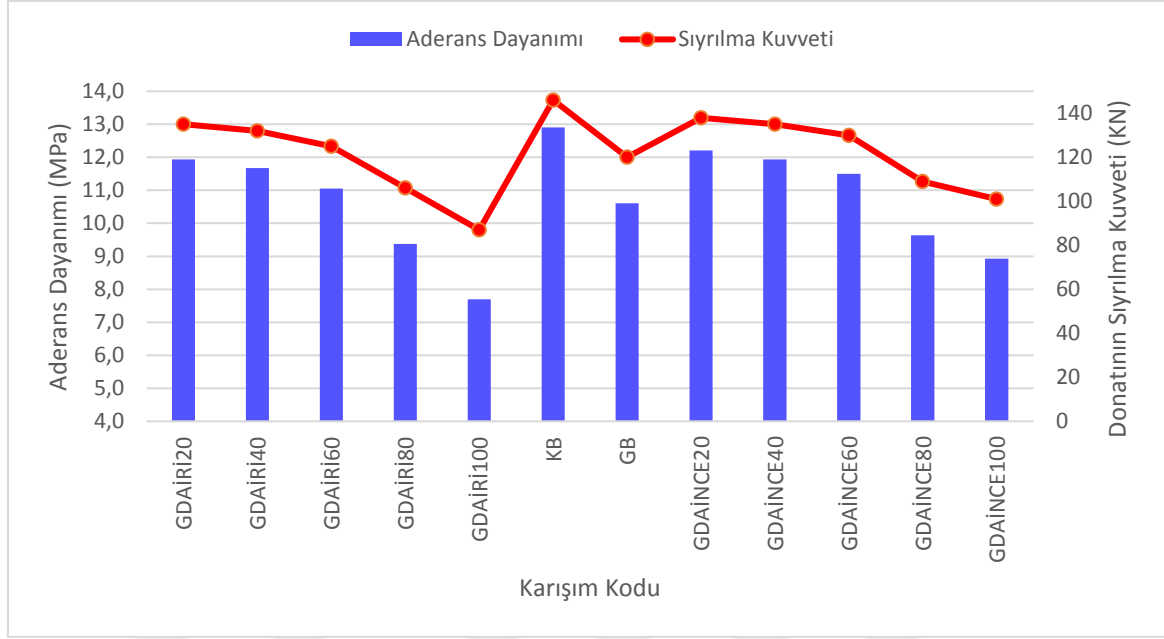
kaydedilmiştir. Şekil 4.13'ye bakıldığında KB ve GB kodlu beton karışımların ortasında yer almaktadır. Çatlak genişlikleri 43. gün sonunda sabit kalınca çatlak genişliği okumaları durdurularak kısıtlanmış rötre deneyine son verilmiş ve $GDA_{İNCE100}$ karışımının 420 mikron ile en yüksek ve $GDA_{İRİ20}$ karışımının 330 mikron ile en düşük çatlak genişliklere sahip olduğu saptanmıştır. Ayrıca GDA oranı arttıkça nihai çatlak genişliği artmıştır. Çatlaklar ilk günlerde hızla genişlemiş 10 gün sonra yavaşlamış ve ilk çatlak oluşumundan 20 gün sonra durmuştur. İlk çatlak $GDA_{İRİ}$ ile üretilen betonlarda $GDA_{İNCE}$ ile üretilen betonlara göre 2 gün daha geç oluşmuştur.

4.2.6. Beton aderans dayanımı

Çekip çıkarma deneyi sonunda elde edilen donatının betondan sıyrılma kuvveti ve betonla donatı arasındaki aderans dayanımı tüm karışımlar için Çizelge 4.11'de ve Şekil 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.9. Donatıların betondan sıyrılma kuvvetleri ve aderans dayanımları

Karışım Kodu	Aderans Dayanımı (MPa)	Sıyrılma Kuvveti (KN)
$GDA_{İRİ20}$	11,9	135
$GDA_{İRİ40}$	11,7	132
$GDA_{İRİ60}$	11,1	125
$GDA_{İRİ80}$	9,4	106
$GDA_{İRİ100}$	7,7	87
KB	12,9	146
GB	10,6	120
$GDA_{İNCE20}$	12,2	138
$GDA_{İNCE40}$	11,9	135
$GDA_{İNCE60}$	11,5	130
$GDA_{İNCE80}$	9,6	109
$GDA_{İNCE100}$	8,9	101



Şekil 4.12. Donatıların betondan sıyırılma kuvvetleri ve aderans dayanımları

Beton numunelerinin çekme dayanımı aderans dayanımından daha az olduğu için numunelerinin hepsinde donatının sıyırılması yerine beton iki veya üç parçaya bölünerek donatı betondan ayrılmıştır. Bazı numunelerde donatı bölünen beton parçalarının birine yapışmış halde deney son bulmuştur. Resim 4.1’de Deney sonucu parçalanmış bir beton numunesi görülmektedir.



Resim 4.1. Donatı aderans deneyi sonucu parçalanmış beton numunesi ve donatının koptuğu beton yüzeyleri

Çizelge 4.11 incelendiğinde GDA oranı arttıkça aderans dayanımı düşmüştür. GDA_{IRI}’nin gözenekleri çimento hamuruyla dolarken GDA_{İNCE} betondaki boşlukları doldurmaktadır. Böylece betonla donatı arasında daha fazla aderans sağlanmaktadır. Buna rağmen

GDA'nın KTA'ndan daha az dayanıma sahip olduğundan GDA'lı betonların aderans dayanımları KB kodlu betonunkinden daha az çıkmıştır.

Bütün oranlarda $GDA_{İNCE}$ ile üretilen betonların aderans dayanımları $GDA_{İRİ}$ ile üretilen betonlarinkinden daha fazla olduğu gözlenmiştir. KB betonu 12,9 MPa ile en yüksek aderans dayanımını verirken $GDA_{İRİ100}$ betonu 8,9 MPa ile en düşük aderans dayanımını sağlamıştır. GB kodlu betonun aderans dayanımı $GDA_{İNCE}$ veya $GDA_{İRİ}$ %20 ve %40 oranında kullanılarak üretilen betonların aderans dayanımından daha düşük olduğu görülmüştür.





5. SONUÇ VE ÖNERİLER

- Agrega deneyleri sonucu GDA özellikleri KTA özellikleriyle aşağıdaki çizelgede karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.1. GDA ve KTA özelliklerinin karşılaştırılması

Deney adı	GDA özelliklerinin KTA'na göre değişikliği
Su emme oranı	daha yüksek
Yoğunluk	daha az
Los Angeles aşınma direnci	daha az
Yassılık endeksi	daha yüksek
Birim ağırlık	daha az

- GDA ikamesinin Taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkisi aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 5.2. Kontrol betonu ve GDA ikameli betonların özelliklerinin karşılaştırılması

Deney adı	GDA ikameli beton özelliğinin kontrol betona göre değişikliği
Taze beton çökme miktarı (Slump)	Daha az
Taze beton Birim hacim ağırlığı	Daha az
Sertleşmiş beton yoğunluğu	Daha az
Sertleşmiş beton hacimce su emme	Daha yüksek
Basınç dayanımı	Daha az
Islanma kuruma çevrimleri sonrası basınç dayanımı	Daha az
Donatı aderansı	Daha az
Serbest rötre	Daha yüksek
Kısıtlanmış rötre	GDA _{İNCE} arttırmış, GDA _{İRİ} düşürmüştür
90 günlük serbest rötre numunesinin ağırlık kaybı	Daha yüksek

- GDA'nın su emme oranı aynı boyuttaki doğal KTA'na göre çok daha yüksek değer verirken yoğunluğu daha az olmaktadır.
- GDA'nın doğal KTA'na göre daha yüksek su emme oranına sahip olmasından dolayı GDA ikame oranı arttıkça çökme değeri azalmıştır.
- GDA'nın doğal KTA'na göre daha düşük yoğunluğa sahip olmasından dolayı GDA ikame oranı arttıkça taze ve sertleşmiş betonun yoğunluğu azalmıştır.
- KB kodlu betonlar bütün yaşlarda en yüksek dayanımı vermiş ve GDA ikame edildiğinde basınç dayanımında düşüş gözlenmiştir.
- 7 günlük basınç dayanımlarına bakıldığında, %40 oranında GDA_{INCE} veya GDA_{IRI} kullanıldığında en yüksek değerler elde edilirken %100 oranında kullanıldığında kendi gruplarında en düşük basınç dayanımını vermiştir. GB kodlu beton GDA'lı betonların içinde ortalama bir dayanım kazanmıştır.
- 28 günlük basınç dayanımlarına bakıldığında, GDA oranı arttıkça azalmış, ancak GDA'lı betonların içinde GDA kodlu beton en yüksek dayanımı vererek KTA kodlu betondan sonra ikinci sırada yer almıştır. Bunun sebebi GDA_{INCE} 'nin GDA_{IRI} 'nin gözeneklerini doldurarak boşluksuz bir beton oluşturması şeklinde açıklanabilir.
- 90 günlük basınç dayanımları incelendiğinde, %40 ve %60 oranlarında GDA_{INCE} veya GDA_{IRI} kullanıldığında en yüksek değerleri verirken %20 ve %100 oranında kullanıldığında kendi gruplarında en düşük basınç dayanımını vermiştir. GB kodlu beton GDA'lı betonların içinde en yüksek dayanımı kazanmış ve KB betonundan sonra ikinci sırada yer almıştır.
- Bütün karışım oranlarında ıslanma kuruma sonrası basınç dayanımlarının, normal kür yapılan 28 ve 90 günlük basınç dayanımlarına göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.
- Islanma kuruma deneyleri sonunda en düşük dayanım kaybı KB kodlu betonda ve en yüksek dayanım kaybı GB kodlu betonda gözlemlenmiştir.
- Hem havada hem de suda bekleyen serbest rötre numunelerinde GDA oranı arttıkça rötre miktarı artmıştır.
- Havada bekleyen serbest rötre numunelerin okumaları incelendiğinde tüm yaşlarda GB kodlu betonda en yüksek rötre miktarı oluşurken KB kodlu betonda en düşük rötre değerleri kaydedilmiştir. Bütün yaşlarda GDA_{IRI} ile üretilen betonlarda rötre miktarının GDA_{INCE} ile üretilen betonlardan daha fazla olduğu gözlenmiştir.

- Suda bekleyen serbest rötre numunelerinin okumaları incelendiğinde ilk yaşlarda negatif rötrenin meydana geldiği gözlemlenmiştir. Numunelerde meydana gelen negatif rötre çimento jelleri tarafından emilen sudan kaynaklanmaktadır.
- Havada bekleyen serbest rötre numunelerinin ağırlık kayıplarına bakıldığında GDA oranı arttıkça ağırlık kaybı yüzdesi artmıştır.
- Kısıtlanmış rötre deney sonuçları incelendiğinde $GDA_{İNCE}$ ile üretilen betonların çatlak genişlikleri $GDA_{İRİ}$ ile üretilen betonlarınkinden daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi $GDA_{İRİ}$ ile üretilen betonlarda ince agreganın su emmesinden dolayı iç kürü yaparak rötreyi azaltması şeklinde açıklanabilir. Çatlaklar ilk günlerde hızla genişlemekte olup daha sonra yavaşlamıştır.
- Donatı aderans sonuçları incelendiğinde GDA oranı arttıkça aderans dayanımı düşmüştür. GDA'lı betonlar içinde GB kodlu betonun ortalama bir aderans dayanımına sahip olduğu gözlenmiştir.
- Atık betonların geri dönüşüm agregası olarak betonda kullanılması çevre kirliliğini azalttığı gibi atık malzemeye ekonomik bir değer kazandırmış olacaktır.



KAYNAKLAR

1. Mehta, K. P. (2002). Greening of the Concrete Industry for Sustainable Development. *Concrete International*, 24, 23-28.
2. Postacıoğlu, B. (1987). *Beton bağlayıcı maddeler, Agregalar, Beton* (Cilt 2). İstanbul : Teknik Kitaplar Yayınevi.
3. Neville, A.M. (2000). *Properties of Concrete* (Third Edition). New York: Longman Scientific and Technical, 137.
4. Erdoğan, T. (2003). *Beton* (1. Baskı). Ankara: ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., 45-47.
5. Şimşek, O. (2016). *Beton ve Beton Teknolojisi* (5. baskı). Ankara: Seçkin Yayıncılık, 23,46-109.
6. Yılmaz, Ş. (1992). *Seyitömer Termik Santrali Atık Uçucu Küllerinin Yapı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul , 45-66.
7. TS EN 197-1. (2002). *Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri*. Ankara : Türk Standardları Enstitüsü.
8. ASTM C 618. (1998). *Standart Specification for Coal Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete*. USA: Annual Book of ASTM Standards.
9. Delikurt, C. B. ve Sevim, U. K. (2015). Sugözü termik santrali uçucu külünün betonun dayanım ve geçirimsizlik özelliklerine etkisi. *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 4, 47-58.
10. Baharavar, S. R. (2012). *Karbonatlaşmanın Çelik Lişli ve Uçucu Küllü Betonlarda Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
11. Ulukaya, S. (2008). *Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Rötire Ve Rötire Çatlaklarının İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
12. Muratoğlu, Y. (2009). *Kendiliğinden Yerleşen Betonda Farklı Filler Malzemelerin Rötire Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar.
13. Baradan, B. (1996). *Yapı Malzemesi II*, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, 207, 217.
14. Pehlivan, M. (2008). *Betonun Rötresi Üzerine Bir Çalışma*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
15. Öner, A., Direr, S. ve Sevgül, T. (2014). *İslanma Kuruma Çevrimi - Dinamik Elastisite Modülü İlişkisi*, İzmit : Kocaeli Üniversitesi.

16. Tüfekçi, M.M. (2011). *Geri Kazanılmış Agregaların Beton Üretiminde Yeniden Kullanılabilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
17. Köken, A., Köroğlu, M.A ve Yonar, F. (2008). Atık Betonların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği. *Selçuk Üniversitesi Teknik-Online Dergi*, 7, 36-48.
18. Fouad, M.K. ve Alan, S.D. (2004). Recycling of Demolished Masonry Rubble as Course Aggregate in Concrete: Review. *ASCE Journal of Material In Civil Engineering*, 16, 331-340.
19. Chandra, S. (2004). *Implications of using recycled construction and demolition waste as aggregate in concrete*. Paper presented at International Conference on Sustainable Waste Management and Recycling, Kingston University, London, 105-114.
20. Tu, Y.T., Chen, Y.Y. ve Hwang, L.C. (2006). Properties of HPC with Recycled Aggregates. *Cement and Concrete Research*, 36(2), 943–950.
21. Arıoğlu, E., Köylüoğlu, Ö.S. ve Arıoğlu, N. (1996). *Dünyadaki geri kazanılmış agrega üretim ve politikalarının gözden geçirilmesi ve ülkemiz açısından irdelenmesi*, 1. Ulusal Kırmataş Sempozyumunda sunuldu, İstanbul, 33-52.
22. Collins, R. J. (1996). *Increasing the use of recycled aggregates in construction*. Paper presented at International Conference: Concrete in the Service of Mankind, Concrete for Environment Enhancement and Protection, Dundee, Scotland, 130-139.
23. Agrela, F., Juan, M.S., Ayuso, J., Galdes, V. L. ve Jimenez, J. R. (2011). Limiting Properties in the Characterisation of Mixed Recycled Aggregates for use in the Manufacture of Concrete. *Construction and Building Materials*, 25 (4), 3950-3955.
24. Labrincha, J., Ding, Y. and Brito, J. (2013). *Handbook of Recycled Concrete and Demolition Waste*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 324.
25. EHE-08. (2008). *Spanish instruction for structural concrete*. Spain: Ministry of Public Works, 482-485.
26. WBTC. No.12. (2002). *Specifications Facilitating the Use of Recycled Aggregates*. Hong Kong: Works Bureau of Hong Kong.
27. Öztürk, M. (2005). *İnşaat/Yıkıntı Atıkları Yönetimi*. Ankara: Çevre ve Orman Bakanlığı.
28. Fong, W., Yeung, J. ve Poon, C.S. (2004). *Hong Kong Experience Of Using Recycled Aggregates From Construction And Demolition Materials In Ready Mix Concrete*. Paper Presented at International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology, 267–275.
29. Topgül, S.S. (2016). *Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun geri kazanılmış agregalı betonların özelliklerine etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

30. Çelik, B. (2007). *Recycled Aggregate Concrete at Elevated Temperatures*, Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
31. Katz, A. (2003). Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete. *Cement and Concrete Research*, 33(2), 703-711.
32. Durmuş, G., Can, Ö. ve Şimşek, O. (2009). *Geri Dönüşüm Agregalardan Üretilen Farklı Sınıflardaki Betonun Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi*. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumunda sunuldu, Karabük.
33. Padmini, A.K., Ramamurthy, K. and Mathews, M.S. (2008). Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 23, 829-836.
34. Navdeep, S. and Singh, S.P. (2016). Carbonation and electrical resistance of self-compacting concrete made with recycled concrete aggregates and metakaolin. *Construction and Building Materials*, 121, 400-409.
35. Seara-Paz, S., González-Fonteboa, B., Martínez-Abella, F. and González-Taboada, I. (2016). Time-dependent behaviour of structural concrete made with recycled coarse aggregates. Creep and shrinkage. *Construction and Building Materials*, 122, 95-109.
36. Mohamed Amer, A.A, Ezziane, K., Bougara A. and Adjoudj, M. (2016). The rheological and mechanical behavior of concrete made with pre-saturated and dried recycled concrete aggregates. *Construction and Building Materials*, 123, 300-308.
37. Liu, Y., Wanga, W., Chen, Y. F. and Ji, H. (2016). Residual stress-strain relationship for thermal insulation concrete with recycled aggregate after high-temperature exposure. *Construction and Building Materials*, 129, 37-47.
38. Ahmed Shaikh, F.H. (2016). Mechanical and durability properties of fly ash geopolymer concrete containing recycled coarse aggregates. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 5, 277-287.
39. Brito, J., Ferreira, J., Pacheco, J., Soares, D. and Guerreiro, M. (2016). Structural, material, mechanical and durability properties and behaviour of recycled aggregates concrete. *Journal of Building Engineering*, 6, 1-16.
40. Malesev, M., Radonjanin, V. and Marinkovic, S. (2010). Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production. *Sustainability*, 2, 1204-1225.
41. Gokce, H.S. and Simsek O. (2013). The effects of waste concrete properties on recycled aggregate concrete properties. *Magazine of Concrete Research*, 65(14), 844-854.
42. Puthussery, J.V., Kumar, R. and Garg, A. (2016). Evaluation of recycled concrete aggregates for their suitability in construction activities: An experimental study. *Waste Management*, 3, 84-96.
43. Hasaba, S., Kawamura, M., Torijik, K. and Takemoto, K. (1981). Drying Shrinkage and Durability of The Concrete Made of Recycled Concrete Aggregate. *Translation of The Japan Concrete Institute*, 3, 55-60.

44. Topcu, B. I. and Guncan, F. N. (1995). Using waste concrete as aggregate. *Cement and Concrete Research*, 25, 1385–1390.
45. Kim, S., Yun, H., Park, W. and Jang, Y. (2015). Bond strength prediction for deformed steel rebar embedded in recycled coarse aggregate concrete. *Materials & Design*, 83, 257-269.
46. Mukharjee, B.B. and Barai, S.V. (2014). Influence of incorporation of nano-silica and recycled aggregates on compressive strength and microstructure of concrete. *Construction and Building Materials*, 71, 570- 578.
47. Demirel, C. ve Şimşek, O. (2014). C30 sınıfı atık betonun geridönüşüm agregası olarak beton üretiminde kullanılabilirliği. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2(2).
48. Durmuş, G., Şimşek, O. ve Dayı, M. (2008). Geri dönüşümlü iri agregaların beton özelliklerine etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(1), 183-189.
49. Guerra, M., Ceia, F., Brito, J. and Júlio, E. (2014). Anchorage of steel rebars to recycled aggregates concrete. *Construction and Building Materials*, 72, 113-123.
50. Chen, H.J., Yen T. and Chen K.H. (2003). Use of building rubbles as recycled aggregates. *Cement and Concrete Research*, 33, 125-132.
51. Ajdukiewicz, A. and Kliszczewicz, A. (2002). Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPC. *Cement and Concrete Composites*, 24, 269–279.
52. Turanlı, L. (1998). Atık betonların yeni betonda kaba agrega olarak kullanılması. *Hazır Beton*, 61-66.
53. Yaprak, H., Aruntas, H.S., Demir, I., Simsek, O. and Durmus, G. (2011). Effects of the fine recycled concrete aggregates on the concrete properties. *International Journal of the Physical Sciences*, 6(10), 2455-2461.
54. Demirel, C. (2012). *Yaşı ve Sınıfı Belli Geri dönüşüm Agregalarının Betonda Kullanılabilirliğinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
55. Breccolotti, M. and Materazzi, A.L. (2013). Structural reliability of bonding between steel rebars and recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 47, 927-934.
56. Prince, M.J. and Singh, B. (2013). Bond behaviour of deformed steel bars embedded in recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 49, 852-862.
57. Xiao, J. and Falkner, H. (2007). Bond behaviour between recycled aggregate concrete and steel rebars. *Construction and Building Materials*, 21, 395-401.
58. Spragg, R.P., Castro, J., Li, W., Pour-Ghaz, M., Huang, P. and Weiss, J. (2011). Wetting and drying of concrete using aqueous solutions containing deicing salts. *Cement & Concrete Composites*, 33, 535–542.

59. Simcic, T., Pejovnik, S., Schutter, G.D. and Osiljkov, V.B. (2015). Chloride ion penetration into fly ash modified concrete during wetting–drying cycles. *Construction and Building Materials*, 93, 1216–1223.
60. Shahmaran, M., Erdem, T.K. and Yaman, I.O. (2007). Sulfate resistance of plain and blended cements exposed to wetting–drying and heating–cooling environments. *Construction and Building Materials*, 21, 1771–1778.
61. Jiang, L. and Niu, D. (2016). Study of deterioration of concrete exposed to different types of sulfate solutions under drying-wetting cycles. *Construction and Building Materials*, 117, 88–98.
62. TS EN 934-2+A1. (2012). *Kimyasal katkılar - Beton, harç ve şerbet için - Bölüm 2: Beton kimyasal katkıları - Tarifler, gerekler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
63. TS 706 EN 12620+A1. (2009). *Beton agregaları*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
64. TS EN 933-1. (2015). *Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımının tayini - Eleme yöntemi*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
65. Şimşek, O. (2011). *Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri*. Ankara : Seçkin Yayıncılık, 85.
66. TS EN 1097-3. (1999). *Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri için deneyler bölüm 3: Gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
67. TS EN 1097-6. (2015). *Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 6: Tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
68. TS EN 933-3. (2015). *Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 3: Tane şekli tayini - Yassılık endeksi*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
69. TS EN 1097-2. (2015). *Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 2 : Parçalanma direncinin tayini için yöntemler*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
70. TS 802. (2016). *Beton karışım tasarımı hesap esasları*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
71. TS EN 12350-6. (2016). *Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 6: Yoğunluk*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
72. TS EN 12350-2. (2010). *Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
73. TS EN 12390-3. (2010). *Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.

74. TS EN 12390-7. (2010). *Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 7: Sertleşmiş beton yoğunluğunun tayini*. Ankara: Türk Standardları Enstitüsü.
75. ASTM C157/C157M. (2014). *Standard Test Method for Length Change of Hardened Hydraulic-Cement Mortar and Concrete*. USA: ASTM International.
76. C1581/C1581M. (2016). *Standard Test Method for Determining Age at Cracking and Induced Tensile Stress Characteristics of Mortar and Concrete under Restrained Shrinkage*. USA: ASTM International.
77. RILEM/CEB/FIP. (1983). *Recommendations on reinforcement steel for reinforced concrete. Revised edition of RC6 of bond test for reinforcement steel: (2) Pull-out test*. Paris: International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems, and Structures.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : POURGHADRI SEFIDEHKHAN, Hassan
 Uyuğu : İRAN
 Doğum tarihi ve yeri : 23.04.1990, İlkchi
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (551) 450 21 75
 E-mail : hasanpurgadri@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Tabriz Üniversitesi /İnşaat Mühendisliği	2013
Lise	Azarshahr Emam Khomeini Lisesi	2008

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Pourghadri, H. ve Şimşek, O. (Baskıda). Farklı oranlarda geri dönüşüm agregası kullanılarak üretilen betonun bazı mühendislik özelliklerinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Politeknik Dergisi*.
2. Pourghadri, H. ve Şimşek, O. (Baskıda). Geri dönüşüm agregası ile üretilen uçucu kül ikameli betonun teknik özelliklerinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*.
3. Baharavar, S. R., Pourghadri, H. Ve Toklu, K. (Baskıda). Uçucu kül içeren yüksek performanslı güçlendirme harcında nano silikatın etkisi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi*.

Hobiler

Yüzme



GAZİ GELECEKTİR..