



**BETON DENEY NUMUNE ATIKLARININ
GERİ DÖNÜŞÜM AGREGASI OLARAK
KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

Müslüm BATMAN

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Doç. Dr. A. Ferhat BİNGÖL
2018
Her Hakkı Saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BETON DENEY NUMUNE ATIKLARININ GERİ DÖNÜŞÜM
AGREGASI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN
İNCELENMESİ**

Müslüm BATMAN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ERZURUM
2018**

Her hakkı saklıdır



**T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



TEZ ONAY FORMU

**BETON DENEY NUMUNE ATIKLARININ GERİ DÖNÜŞÜM AGREGASI
OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

Doç. Dr. A. Ferhat BİNGÖL danışmanlığında, Müslüm BATMAN tarafından hazırlanan bu çalışma, 16/08/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı - Yapı Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği / oy çokluğu (3/3)** ile kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL

İmza :

Üye : Doç. Dr. Rıza POLAT

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Nusret BOZKURT

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 16.08./2018 tarih ve 33./18 nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BETON DENEY NUMUNE ATIKLARININ GERİ DÖNÜŞÜM AGREGASI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Müslüm BATMAN

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. A. Ferhat BİNGÖL

Günümüzde, atık malzemelerin geri dönüşümü çalışmaları; ekonomik kazanımın sağlanması, çevre kirliliğinin engellenmesi ve hammadde kaynaklarının korunması gibi sonuçlar sağlamasından dolayı önemli bir başlık haline gelmiştir.

Bu tez çalışmasında, hazır beton santrallerinde basınç dayanımına tabi tutulan 3, 7, 28 günlük beton numunelerin öğütülerek geri dönüşüm işlemleri sonucunda elde edilen geri dönüşüm agregasının (GDA) farklı oranlarda kullanılarak üretilen beton numuneler ile kırmataş agregası (KA) kullanılarak üretilen beton numunelerin 28 günlük basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı, su emme ve kılcal geçirimsizlik özellikleri karşılaştırılmıştır. Beton karışımı hesaplarında su/çimento oranı 0,57 olarak seçilmiş olup beton tasarımları belirlenmiştir. Beton tasarımlarında, %100 KA'nın kullanıldığı beton numuneler referans beton numuneleri olarak kabul edilmiştir. İnce (0-4 mm) ve iri (4-12 mm) GDA %15, %30, %45 ve %60 oranlarında beton karışımına ikame edilerek beton numuneleri hazırlanmıştır. %100 KA ve %15 oranında GDA kullanılan beton karışımlarına çimento ağırlığının %1,25'i oranında akışkanlaştırıcı ve %30, %45 ve %60 oranlarında GDA kullanılan beton karışımlarına çimento ağırlığının %1,20 oranında süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Beton numunelerinin basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı, kılcal geçirimsizlik ve su emme oranı belirleme deneylerinin sonuçları karşılaştırıldığında; GDA ikame edilerek elde edilen beton numunelerin deney sonuçları ile referans betonun deney sonuçları arasında belirgin fark olmadığı görülmüştür. %60 GDA kullanılan betonun basınç dayanımı %100 KA kullanılan referans betonun basınç dayanımına göre yaklaşık olarak %13 oranında düşük olduğu görülmüştür. %60 oranında GDA içeren beton numunelerinin basınç dayanımı deneyinde beton sınıfı olarak C 30 sınıfında çıkması sonucunda, hazır beton santrallerinde basınç dayanımı vb. deneylere tabi tutulan beton deney numune atıklarından elde edilen GDA'ların beton üretiminde kullanılabileceği düşünülmektedir.

2018, 66 sayfa

Anahtar Kelimeler: Geri dönüşüm agregası, beton numune atıkları, inşaat ve yıkım atıkları, kılcal geçirimsizlik, eğilmede çekme dayanımı

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF THE USABILITY OF CONCRETE EXPERIMENT SAMPLE WASTES AS RECYCLED AGGREGATE

Müslüm BATMAN

Atatürk University
Institute of Science and Technology
Department of Civil Engineering
Degree in Structural Science

Advisor: Assoc. Dr. A. Ferhat BİNGÖL

Nowadays, the assessment of waste materials has become an important topic because it provides economic gains, prevents environmental pollution, protection of raw material resources.

In this study, concrete specimens were produced by using crushed aggregate (CA) and recycled aggregate (RA) and 28 days compressive strength, flexural tensile strength, water absorption and capillarity water absorption values were compared after tests. The recycled aggregate is obtained from the waste specimens which were exposed to compressive and flexural strength tests at 3, 7 and 28 days age in ready mixed concrete plants. In concrete mixture calculations, water / cement ratio was chosen as 0.57 and concrete designs were determined. In concrete designs, 100% of the crushed aggregate (CA) were used as reference concrete specimens. The concrete samples were prepared by replacing the fine (0-4 mm) and coarse (4-12 mm) RA with 15%, 30%, 45% and 60% of the concrete mixture. Plasticizers and Superplasticizers were used for concrete mixes using 100% of CA and 15% of RA, 1.25% of cement weight and 1.20% of cement weight for concrete mixes using 30%, 45% and 60% of RA, respectively. The values of compressive strength, flexural tensile strength, capillarity water absorption and water absorption ratio of concrete samples using of RA did not show any significant difference with the values of concrete specimens produced with reference concrete. It is seen that the 60% of RA used concrete approximately 13% lower compressive strength compared to 100% of CA used concrete. By the result of C30 class as a concrete class at the compressive strength experiment for 60% RA included concrete samples, the RA's that obtained from concretes experiment samples wastes exposed to experiments such as compressive strength.

2018, 66 pages

Keywords: Recycled concrete aggregate, concrete sample wastes, construction and demolition wastes, capillary water absorption, flexural tensile strength.

TEŞEKKÜR

Başta, bana danışman olmayı kabul ederek, yüksek lisans eğitimimi bitirme fırsatı veren ve çalışmalarımın her aşamasında tecrübesini, bilgisini ve desteğini esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. A. Ferhat BİNGÖL'e teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmasının gelişmesine bilgileriyle katkıda bulunan jüri üyeleri Sayın Doç. Dr. Rıza POLAT ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Nusret BOZKURT'a teşekkürlerimi sunarım.

Deneyisel çalışmalar aşamasında, laboratuvar çalışmalarında her türlü yardımda bulunan Ankara Büyükşehir Belediyesi Yol ve Asfalt Şube Müdürlüğü Laboratuvar Şefi Sayın Adem KAYADELEN'e ve tüm çalışma arkadaşlarına içten teşekkürlerimi sunarım.

Deneyisel çalışmalarım esnasında sağladıkları her türlü imkan ve yardımlarından dolayı Doku Taş Beton A.Ş.'nin İmalat Müdürü Sayın Özay YILMAZ ve Tekniker Sayın Murat NADAR'a teşekkür ederim.

Mustafa DİCLE'ye ve ismini sayamadığım herkese teşekkürlerimi sunarım.

Ve hayatımın her safhasında yanımda olan ailemin bütün fertlerine minnet ve teşekkür ederim.

Müslüm BATMAN

Ağustos, 2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Dünya’da ve Türkiye’de İnşaat Sektörü ve Beton Üretimi	2
1.3. Türkiye’de Kentsel Dönüşüm	8
1.4. Türkiye’de Hafriyat Toprağı, İnşaat Ve Yıkım Atığı Yönetimi	10
2. KURAMSAL TEMELLER	12
2.1. Geri Dönüşüm Nedir?	12
2.2. Geri Dönüşüm Agregası	14
2.2.1. Dünya’da geri dönüşüm agregası standartları	16
2.2.2. İnşaat ve yıkım atıklarından geri dönüşüm agregasını elde etme süreci	19
2.2.3. Geri dönüşüm agregasının kullanım alanları	22
2.2.4. Geri dönüşüm agregasının özellikleri	23
2.2.4.a. Geri dönüşüm agregasının yassılık indeksi	25
2.2.4.b. Geri dönüşüm agregasının aşınma direnci (Los Angeles) deney yöntemi	26
2.2.4.c. Geri dönüşüm agregasının su emme oranları ve yoğunluğu	27
2.2.4.d. İncelik modülü	29
2.3. Beton Karışımında GDA İkame Edilmiş Taze Betonun Özellikleri	29
2.3.1. GDA ikame edilmiş taze betonda işlenebilirlik	29
2.3.2. GDA ikame edilmiş taze betonun birim hacim ağırlığı	30
2.3.3. GDA ikame edilmiş taze beton hacmindeki hava miktarı	30
2.4. Beton Karışımında GDA İkame Edilmiş Sertleşmiş Betonun Özellikleri	31
2.4.1. GDA ikame edilmiş sertleşmiş betonun su emme oranı	31
2.4.2. GDA ikame edilmiş sertleşmiş betonun kılcal geçirimsizliği	31
2.4.3. GDA ikame edilmiş sertleşmiş betonun basınç dayanımı	32

2.4.4. GDA ikame edilmiş sertleşmiş betonun eğilmede çekme dayanımı	33
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	34
3.1. Materyal.....	34
3.1.1. GDA'nın elde edilmesi.....	34
3.1.2. GDA'nın elek analizi.....	36
3.1.3. GDA'nın tane yoğunluğu ve su emme	38
3.1.4. GDA'nın yassılık indeksi	40
3.1.5. GDA'nın aşınmaya karşı direnci (Los Angeles)	41
3.2. Çimento	42
3.3. Beton Karışım Suyu	42
3.4. Akışkanlaştırıcı ve Süper Akışkanlaştırıcı Katkı Maddeleri.....	43
3.5. Beton Karışım Tasarımı	43
3.6. Taze Beton Deneyleri.....	45
3.6.1. Çökme (Slump) deneyi.....	45
3.7. Sertleşmiş Beton Deneyleri.....	45
3.7.1. Basınç dayanımı deneyi.....	45
3.7.2. Eğilmede çekme dayanımı deneyi.....	46
3.7.3. Birim hacim ağırlığı	47
3.7.4. Kılcal geçirimsizlik deneyi.....	47
3.7.5. Su emme oranı.....	48
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	49
4.1. Taze Beton Deney Sonuçları.....	49
4.1.1. İşlenebilirlik.....	49
4.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları	50
4.2.1. Kılcal geçirimsizlik.....	50
4.2.2. Su emme oranı.....	52
4.2.3. Beton birim hacim ağırlığı	54
4.2.3. Basınç dayanımı	55
4.3.3. Eğilmede çekme dayanımı	57
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR	62
ÖZGEÇMİŞ	67

KISALTMALAR DİZİNİ

DA	: Doğal Agregası
ERMCO	: Avrupa Hazır Beton Birliği
GDA	: Geri Dönüşüm Agregası
$GDA_{IN15+IR15}$	: Beton karışımına agrega hacminin %15'i kadar iri ve ince geri dönüşüm agregası ikame edilmiştir
$GDA_{IN30+IR30}$	: Beton karışımına agrega hacminin %30'u kadar iri ve ince geri dönüşüm agregası ikame edilmiştir
$GDA_{IN45+IR45}$	: Beton karışımına agrega hacminin %45'i kadar iri ve ince geri dönüşüm agregası ikame edilmiştir
$GDA_{IN60+IR60}$	: Beton karışımına agrega hacminin %60'i kadar iri ve ince geri dönüşüm agregası ikame edilmiştir
GSYH	: Gayri Safi Yurtiçi Hasıla
KA	: Kırmataş agregası
KPMG	: Kraayenhof, Peat, Mitchell, Goerdeler (Şirket kurucularının soy isimlerinin baş harfleri)
TÇMB	: Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği
THBB	: Türkiye Hazır Beton Birliği

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. İnşaat yıkıntılarının bileşimi (Oikonomou 2005).	15
Şekil 2.2. İnşaat yıkımı	19
Şekil 2.3. Yapı yıkıntı atıklarının geri dönüşüm tesisine nakliyesi	19
Şekil 2.4. Geri kazanılan agrega üretim şeması	20
Şekil 2.5. Avrupa Birliği ülkelerinde kullanılan agrega miktarı ve cinsi	21
Şekil 3.1. Basınç dayanımı deneyine tabi tutulan beton numuneler	35
Şekil 3.2. Beton küplerinin mobil konkasörde öğütebilmek için uygun boyutlara getirilmesi çalışmaları.....	36
Şekil 3.3. Beton parçalarının mobil konkasörde öğütülmesi ve istenen elek boyutunda elenmesi	37
Şekil 3.4. GDA karışımının granülometri eğrisi	38
Şekil 3.5. İnce GDA'nın doygun kuru yüzey haline getirmesi.....	38
Şekil 3.6. 9,5-12,5 mm GDA'nın yassılık indeksi sonundaki malzeme ayrışımı.....	40
Şekil 3.7. Aşınma deneyi numunesi.....	41
Şekil 3.8. Betonda slump deneyi	45
Şekil 3.9. Eğilmede çekme dayanımı tespiti	46
Şekil 3.10. Kılcal geçirimliliğin tespit edilmesi	47
Şekil 3.11. Beton numunelerinin su yüzeyine yerleştirilmesi.....	48
bekletilmiştir.	48
Şekil 4.1. Beton karışımlarının slump değerleri	49
Şekil 4.2. Kılcal geçirimlilik katsayısı değerleri (10^{-2}).....	51
Şekil 4.3. Beton numunelerin su emme oranları (%).....	53
Şekil 4.4. Sertleşmiş beton numunelerinin birim hacim ağırlığı değerleri	54
Şekil 4.5. Beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımı	56
Şekil 4.6. Beton numunelerinin 28 günlük eğilmede çekme dayanımı değerleri	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO)'ne üye ülkelerde yıllara göre hazır beton üretimi (Milyon m ³)	3
Çizelge 1.2. Türkiye'de yıllara göre hazır beton üretimi.....	4
Çizelge 1.3. Türkiye'de yıllara göre hazır beton firma ve üretim tesisi sayısı	5
Çizelge 1.4. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı genelgesine göre beton dökümü esnasında transmikserlerden alınması gereken numune sayıları	7
Çizelge 2.1. 2011 yılı ambalaj ve ambalaj atıkları istatistikleri.....	14
Çizelge 2.2. Bazı ülkelerde geri dönüşüm agregası ile ilgili standartlar ve yürürlüğe girdiği yıl.....	18
Çizelge 2.3. Dünya genelinde izin verilen geri kazanılmış agrega kullanım oranları	18
Çizelge 2.4. TS EN 933-3'te belirtilen yassılık indeksi kategorileri	24
Çizelge 3.1. GDA karışımına ait elek analizi	37
Çizelge 3.2. İnce GDA'nın tane yoğunlukları ve su emme oranı.....	39
Çizelge 3.3. GDA'nın yassılık indeksi değerleri	40
Çizelge 3.4. TS EN 197-1 göre Portland Çimentosu CEM 1 42,5 R özellikleri	42
Çizelge 3.5. Karışımlarda kullanılan katkı maddelerinin özellikleri	43
Çizelge 3.6. %100 KA ile üretilen 1m ³ beton için malzeme miktarları	44
Çizelge 3.7. 1m ³ Beton karışımlarında kullanılan GDA ve KA miktarları (kg).....	44
Çizelge 4.1. Beton karışımlarının slump değerleri	49
Çizelge 4.2. Kılcal geçirimsizlik katsayısı deney sonuçları.....	51
Çizelge 4.3. Beton numunelerinin su emme oranları (%).....	52
Çizelge 4.4. Sertleşmiş beton numunelerinin birim hacim ağırlığı değerleri	54
Çizelge 4.5. Beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımı değerleri.....	55
Çizelge 4.6. Beton numunelerinin 28 günlük eğilmede çekme dayanımı değerleri	57

1. GİRİŞ

Son yıllarda ülkemizde inşaat sektörünün gelişmesi ve kentsel dönüşüm çalışmalarının artmasıyla birlikte, beton üretiminde belirgin bir artış olduğu görülmüştür. Beton miktarının artışı kendisiyle birlikte agrega tüketimini de arttırmıştır. Bu durumda agrega kaynaklarının hızla tükenmesi alternatif kaynakların bulunması çalışmalarının artmasına sebebiyet vermiştir. Ülkemizde son yıllarda artış gösteren kentsel dönüşüm çalışmalarıyla birlikte, deprem, yangın, heyelan, sel vb. afetler sonucunda yıkılan yapılardan çıkan “İnşaat ve Yıkım Atıklarının ” geri dönüşüm işlemlerinden sonra elde edilen geri dönüşüm agregasının, doğal agrega kaynaklarına alternatif kaynak olarak kullanılabilirliğinin incelenmesine gereksinim duyulmuştur.

İnşaat ve yıkım atıkları haricinde, denetim firmaları ve hazır beton santralleri üretilen betonun, yapı elemanlarına dökümü aşamasında aldıkları ve genelde 7 veya 28 günlük kür sürelerinin ardından basınç dayanımına tabi tutulduktan sonra bu beton numuneler her hangi bir alanda kullanılmayıp atık haline gelmektedir. Bu numuneler içerisinde yaklaşık olarak %70 agrega içerdiği göz önüne alındığında, toplamda ciddi miktarda agreganın hizmet ömrünün başında atık haline geldiği görülmektedir.

Bu çalışmada, yukarıda belirtilen nedenler çerçevesinde geri dönüşüm agregası konusunun ele alınmasında iki temel gerekçe bulunmaktadır. Bunlar;

- 1) Beton karışım hacminin %60-80, bitümlü yol kaplamalarının hacimce %75-85 oranını oluşturan agreganın (Baradan vd. 2015) hammadde kaynaklarının hızla tükenmesi ve
- 2) Ülkemizde son yıllarda kentsel dönüşüm projelerinin uygulanmaya başlamasıyla birlikte yıkılan yapılardan çıkan “İnşaat ve Yıkım Atığı” miktarının yüksek olması, kentsel dönüşümün yanında sel, yangın ve deprem gibi olayların sonucunda da enkaz olarak “İnşaat ve Yıkım Atıklarının” depolanmasında çevresel kirlilik, ekonomik zorluklar gibi sonuçlarla karşılaşılmasıdır.

İnşaat sektörü ve beton üretimi miktarları hakkında genel bilgiler aşağıda belirtilen başlıklar halinde özetlenmiştir.

1.1. Dünya’da ve Türkiye’de İnşaat Sektörü ve Beton Üretimi

İnşaat sektörü ülke ekonomilerini canlı tutma konusunda önemli bir rol oynamaktadır. İnşaat sektörünün gelişmesine bağlı olarak ülkenin sanayi, ticaret, hizmet, pazarlama vb. sektörlerin gelişmesi söz konusu olmaktadır. Yukarıda sayılan ana sektörlerin gelişmesine bağlı olarak alt sektörlerin de gelişme göstermesi, işsizlik oranının düşmesini sağlamakla birlikte ülke ekonomisine katkıda bulunmaktadır.

Denetim, vergi ve danışmanlık hizmetleri sunan KPMG şirketinin verilerine göre; 2017 itibariyle inşaat sektörünün küresel ekonomideki payı %15 düzeyinde gerçekleşirken, Türkiye’de bu oran % 9 düzeyindedir. 2025 yılına gelindiğinde ise inşaat sektörünün toplam ekonomideki payının gelişmiş ülkelerde %10, gelişmekte olan ülkelerde ise %17 seviyesine erişeceği öngörülmektedir. Türkiye’de inşaat sektörü, konut ve altyapı projelerinin yoğunluğu nedeniyle hareketli bir dönemden geçmiştir. Yaptığı katma değerle ülkenin en önemli ekonomik sektörlerinden olan inşaat sektörü; GSYH içindeki % 9’luk paya ilave olarak alt sektörler ile birlikte ekonomideki payı % 30’u bulmaktadır (KPMG 2018).

THBB verilerine göre; ülkemizdeki inşaat sektöründeki gelişmeler, beton üretimini de doğrudan arttırmaktadır. Türkiye, 2009 yılından bu yana hazır beton üretimiyle Avrupa’da birinci sırada yer alırken, dünyada ise 2016 yılında Çin ve ABD’nin ardından üçüncü sıraya yükselmiştir. Çizelge 1.1’de hazır beton üretimi miktarlarının dünyada ve ülkemizde yıllara göre dağılımı gösterilmiştir (THBB 2016).

Çizelge 1.1. Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO)'ne üye ülkelerde yıllara göre hazır beton üretimi (Milyon m³) (THBB 2016)

Dünyada ve Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO)'ne Üye Ülkelerde Yıllara Göre Hazır Beton Üretimi (Milyon m³)			
Ülkeler	2014	2015	2016
Türkiye	107	107	109
İtalya	28	25,3	23,3
Almanya	46,8	47,2	49,5
Fransa	36,4	34,8	36,1
İspanya	15,9	16,3	16,3
Polonya	19,2	19,8	20,4
İngiltere	22,7	23,7	24,6
Belçika	12,3	12,3	12,5
Avusturya	10	10,5	10,8
İsviçre	12	12	11,5
Portekiz	2,8	2,8	3,5
Hollanda	6,5	6,3	6,5
Finlandiya	2,6	2,6	2,9
Toplam ERMCO	356,8	358,3	366,1
AB Ülkeleri	220	220	226,2
Rusya	40	40,5	37
Japonya	99	99	99
ABD	230	260	265

Çizelge 1.1'de görüldüğü üzere AB ülkelerinde yıldan yıla beton üretimi azalırken, ülkemizde artış göstermektedir. ABD, Rusya, Belçika ve Japonya gibi ülkelerde de beton üretiminde artış olduğu görülmektedir.

Çizelge 1.2. Türkiye’de yıllara göre hazır beton üretimi (THBB 2016)

1988 İle 2016 Yılları Arasında Türkiye’de Üretilen Hazır Beton	
Yıl	Miktar (m³)
1988	1.500.000
1993	10.000.000
1998	26.542.905
2003	26.828.500
2005	46.300.000
2006	70.732.631
2007	74.359.847
2008	69.600.000
2009	66.430.000
2010	79.680.000
2011	90.450.000
2012	93.050.000
2013	102.000.000
2014	107.000.000
2015	107.000.000
2016	109.000.000

Çizelge 1.2’de Türkiye’de yıllara göre üretilen beton miktarı görülmektedir. 1998-2003 arası ülkemizde yaşanan ekonomik kriz ve 2007-2009 yılları dünyada yaşanan global ekonomik krizler döneminde beton üretiminde düşüşler olduğu görülmüştür. Ancak, genel anlamda ülkemizde beton üretiminde artış olduğu görülmektedir. Bu artış, Çizelge 1.3.’te gösterildiği gibi ülkemizde aynı yıllarda hazır beton firması ve bu firmalara ait tesis sayılarında da artış olmasını sağlamıştır.

Çizelge 1.3. Türkiye’de yıllara göre hazır beton firma ve üretim tesisi sayısı (THBB 2016)

Yıllar	Türkiye’de Yıllara Göre Hazır Beton Firma ve Üretim Tesisi Sayısı	
	Hazır Beton Firması	Tesis Sayısı
1988	25	30
1993	70	110
1998	166	341
2003	238	429
2005	277	568
2006	409	718
2007	477	845
2008	462	825
2009	467	845
2010	500	900
2011	520	945
2012	540	980
2013	580	1040
2014	580	1040
2015	621	1098
2016	570	1120

Çizelge 1.2’de Türkiye’de yıllara göre hazır beton firması ve bu firmaların tesis sayıları görülmektedir. Bazı yıllarda bir önceki yıla göre firma sayısında azalma olduğu görülse de genel anlamda firma ve tesis sayılarının arttığı görülmektedir.

1.2. Türkiye’de Beton Üretiminde Kullanılan Agrega Miktarı

Yukarıdaki bölümde verilen çizelgeler incelendiğinde ülkemizde genel anlamda beton üretiminde artış olması, beton bileşenlerini oluşturan agrega, çimento, su, mineral ve kimyasal katkı maddelerinin tüketimini de gün geçtikçe arttırmaktadır.

Örneğin, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliğine (TÇMB) kayıtlı olan beton santrallerinde 2015 yılında kullanılan agrega miktarının 2004 yılında kullanılan agrega miktarına göre 3 kat arttığı görülmektedir (Kahraman ve Kılıç 2016). Agrega tüketiminin fazla olması, beton üretimi sektöründe bir büyümenin olduğunu ve bu durumda yeni agrega kaynaklarına ihtiyaç duyulacağını göstermektedir.

Değişik boyutlardaki mineral kökenli sert tanelerden oluşan agregalar, en önemli yapı malzemelerinden olan betonun hacim olarak %60-80'ini oluşturur (Baradan vd 2015). THBB (2016) verilerine göre; 2016 yılında Türkiye'de üretilen hazır beton miktarı 109.000.000 m³ olarak açıklanmıştır. Beton karışımında kullanılan agrega miktarı hacim olarak %70 olarak karışıma katıldığında, ERMCO'nun verilerine göre 76.300.000m³ agreganın 2016 yılında kullanıldığı görülmektedir. Bu miktar ERMCO ve THBB'ye kayıtlı hazır beton tesislerinde kullanılan agrega miktarı olup bu birliklere kayıtlı olmayan hazır beton tesislerinin de kullandıkları agrega miktarı hesaba katıldığında rakamın daha çok artacağı açıkça görülmektedir.

Ülkemizde inşaat sektörünün gelişmeye devam etmesiyle birlikte, kentsel dönüşüm çalışmalarının yurt genelinde artması, deprem, sel ve yangın gibi afetlerden dolayı yapıların kullanılamaz hale gelmesiyle, yerine yeniden yapıların inşa edilmesi sonucu beton üretiminin hızla arttığı gerçeği beraberinde, agrega kaynaklarının da giderek azaldığını gözler önüne sermektedir. Bu durum; inşaat ve yıkım atıklarının çeşitli işlemlerden geçtikten sonra yeniden beton agregası olarak kullanılabilir olup olmadığı konusunu gündeme getirmektedir.

İnşaat ve yıkım atıkları dışında üretilen betonun yerine yerleştirme aşamasında yapı denetim firmaları ve hazır beton tesisleri tarafından basınç dayanımı testine tabi tutmak üzere alınan numuneler de kırıldıktan sonra önemli miktarda beton atığı oluşturmaktadır. Bu atıklar inşaat ve yıkım atıklarından farklı olarak belli dayanım sınıflarına sahip olup aynı zamanda dış etkilere maruz kalmamış betonlardır. Bu sebeple beton deney numune atıklarının geri dönüşüm agregası olarak kullanılabilirliği araştırma konusu olarak seçilmiş ve çalışmanın deneysel aşamasında, yukarıda

bahsedilen beton deney numune atıklarından elde edilen geri dönüşüm agregası kullanılmıştır. Hazır beton tesisleri ve denetim firmaları Çizelge 1.4.'te gösterilen oranlara uygun olarak her dökümde numune almaktadır. Basınç dayanımı testine tabi tutulan bu numuneler santrallerde de önemli miktarda atık oluşturmaktadır. Bu konuda yerine yerleştirilecek olan betonların dökümü esnasında alınması gereken numunelerin miktarını Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çizelge 1.4'te belirlemiştir. (Çevre ve Şehir Bakanlığı 2015)

Çizelge 1.4. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı genelgesine göre beton dökümü esnasında transmikselerden alınması gereken numune sayıları

1. Kriter	2. Kriter	Numune Alınacak Transmikser Sayısı (Ad.)	7 Günlük (Ad.)	28 Günlük (Ad.)	Toplam Numune Sayısı (Ad.)
Dökülen Beton Miktarı (m ³)	Dökülen Beton Miktarı (m ²)				
0-24	-	2	2	4	6
25-100	450	3	3	6	9
101-150	451-650	4	4	8	12
151-200	651-850	5	5	10	15
201-250	851-1050	6	6	12	18
251-300	1051-1250	7	7	14	21
301-400	1251-1450	8	8	16	24
401-500	1451-1650	9	9	18	27
501-600	1651-1850	10	10	20	30
>600	>1850	İlave her 200 m ³ hacim veya ilave her 200 m ² alan yukarıdaki sayılara bir ilave edilir	İlave her 200 m ³ hacim veya ilave her 200 m ² alan yukarıdaki sayılara bir ilave edilir	İlave her 200 m ³ hacim veya ilave her 200 m ² alan yukarıdaki sayılara bir ilave edilir	İlave her 200 m ³ hacim veya ilave her 200 m ² alan yukarıdaki sayılara bir ilave edilir

Konut inşaatlarında bir seferde 25-100 m³ arası beton döküldüğünde, zorunlu olarak alınması gereken numune sayısı; 3 transmikserden alınmak üzere toplam 9, olmasına karşın uygulamada denetim şirketlerinin aldığı kadar hazır beton tesislerinin de aynı miktarda numune aldığı görülmektedir. Numuneler genellikle 15*15*15cm ebatındaki küplerde alınmaktadır. Bu durumda 100 m³ dökülen betondan 18 numune alındığında, 0,061 m³ betonun deney numunesi olarak alındığı hesaplanır. Çizelge 1.2’de Türkiye’de 2016 yılında tahmini 109 milyon m³ üretildiği belirtilmiştir. Bu durumda 66.490 m³ betonun basınç dayanımı deneyi için alındığı ve kırılan örneklerin kullanılmadan inşaat atıkları arasında yer aldığı görülmektedir. 66.490 m³ beton; yaklaşık olarak 400 m²’lik alana sahip 10 katlı 56 konutun ve bu konutlarda 9000 kişilik nüfusun (Erzurum İlinin Olur ve Pazaryeri İlçelerinin 2015 verilerine göre toplam nüfusu 10856 kişi (TODAİE 2015))yaşayacağı alanın yapımı için yeterli olacak büyüklükte bir miktarı ifade etmektedir. Bu betonlar ayrıca hiçbir şekilde çevre koşullarından etkilenmemiş, hizmet ömrünün başlangıcındadır. Bu da denetim amaçlı alınan örneklerden açığa çıkan atıkların bile ne denli büyük miktarda olduğunu gözler önüne sermektedir.

1.3. Türkiye’de Kentsel Dönüşüm

Tarihimizde, Ebniye Nizam-nâmeleri (1848), Turuk ve Ebniye Nizam-nâmesi (1864) ve Ebniye Kanunu (1882), kentsel dönüşüm çalışmaları için yasal düzenlemeler olarak görülmektedir (Yenice 2014). İnsan ve hayvan ölçekli dar sokakların, araba ve tramvaylara elverişli hale getirilmesi için yapılan çalışmalar, savaşlar sonrasında Anadolu’ya yapılan göçler sonrasında yeni mahallelerin kurulması kentsel dönüşüm çalışmaları arasında bulunmaktadır (Aktüre 1985; Tekeli 1985, Özcan 2006).Yenice (2004) tarafından bildirildiğine göre “1854 yılında İstanbul’da meydana gelen Aksaray yangınından sonra yangın yeri planının hazırlanması ve 1864 yılında Hocapaşa yangınından sonra yangın sahası haritasının hazırlanması” (Tekeli 2010) ilk Kentsel Dönüşüm çalışmaları olarak değerlendirilebilir.

Ülkemizde Kentsel Dönüşüm süreci dönemsel olarak aşağıdaki gibidir.

- Osmanlıdan alınan kurumsal–yönetimsel miras,
- Ankara’nın imarı ve ilk sanayi kentlerinin kurulması (1923-1950)
- Yasa dışı konut bölgeleri ile mücadele (1950-1980)
- Liberal dönem: imar afları dönemi (1980-1999)
- Yasal düzenleme çabaları (2000–2012) (Yenice 2004).

“16.05.2012 tarihli ve 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun” Kentsel Dönüşümle ilgili çıkarılan, son düzenlemelerin yapıldığı Kanundur (T.C. Resmi Gazete 2012).

Ülkemizde, deprem ve afet riski taşıyan bölgelerden dolayı hem Çevre ve Şehircilik Bakanlığı hem de belediyeler tarafından kentsel dönüşüm kavramı son yıllarda sıkça gündeme alınan ve uygulama olarak üzerinde yoğun bir şekilde çalışılan konuların başında gelmektedir. Kentsel dönüşüm konusu; afet riski taşıyan alanlardaki yapıların daha güvenilir olarak inşa edilmesini sağlamakla birlikte imar planı olmadan meydana gelen kentleşmenin önüne geçmek, imar planına uygun yeniden bir şehir kurabilmek için önem arz etmektedir. Kentsel dönüşüm uygulamalarının başlamasıyla birlikte kentsel dönüşüm alanı üzerinde bulunan gecekondulu vb. yapıların yıkım işleri de doğru orantılı olarak başlamış bulunmaktadır.

Ulusal Geri Dönüşüm Strateji Belgesi ve Eylem Planı’nda (2014) açıklanan verilere göre; “Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Kanunu” ile kentsel dönüşüm kapsamında çalışmaların hızlanacağı ve bu süreçte inşaat yapım ve yıkım atıklarının tahmini olarak yıllık 4 veya 5 milyon ton olacağı belirtilmiştir. Yürek (2013), ülkemizde önümüzdeki 20 yıl boyunca kentsel dönüşüm planları kapsamında iki milyar ton inşaat atığının çıkacağı varsayılmaktadır.

Onuncu kalkınma planı (2014-2018 yılları arası)’nda “19 ilde 46 farklı alanda 97.300 adet yapıyı içeren ve yaklaşık 610.000 kişinin yaşadığı 3.876 hektar”lık alanın kentsel

dönüşüm projelerinin kapsamında olduğu belirtilmiştir (Devlet Planlama Teşkilatı 2013).

Kentsel dönüşüm projelerinin yanında, deprem, sel, heyelan vb. gibi afetlerden kaynaklı yıkımlardan sonra meydana gelen inşaat ve yıkım atığının hangi ölçülerde olduğunu bir örnekle açıklamaya çalışırsak, 2011 yılında meydana gelen Van depreminde yapıların %70'inin, yani toplamda 144.230 yapının ağır, orta ve az hasarlı olarak zarar gördüğü raporlara alınmıştır (AFAD 2011). Bu örnekten ve yukarıdaki Ulusal Geri Dönüşüm Strateji Belgesi ve Eylem Planı'ndaki verilerden anlaşılacağı üzere "inşaat ve yıkım atığı"nın doğru şekilde yönetilmesiyle birlikte, bu atıkların geri dönüşümü için teknik çalışmaların artırılmasının neticesinde, çevresel zararların azaltılmasına, inşaat maliyetlerinin azaltılması ve özellikle agrega kaynaklarının hızlıca tükenmesinin engellenmesine katkıda bulunması sağlanmalıdır.

1.4. Türkiye'de Hafriyat Toprağı, İnşaat Ve Yıkım Atığı Yönetimi

Çevre ve Orman Bakanlığı 2004 yılında yayınladığı genelgede "inşaat faaliyetleri ile doğal afetler sonucunda meydana gelen hafriyat toprağı ile inşaat ve yıkıntı atıklarının üretildikleri yerlerde ayrı toplanması, geçici olarak biriktirilmesi, taşınması, *geri kazanılması* ve bertaraf edilmesine ilişkin esasları belirleyen "Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği" hazırlanmış ve 18 Mart 2004 tarih ve 25406 sayılı Resmi Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir." Aynı genelgede;

Yönetmeliğe göre, "Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının yönetimine ilişkin genel ilkeler şunlardır;

- 1- Hafriyat toprağı ile inşaat ve yıkıntı atıklarının kaynağında en aza indirilmesi,
- 2- Hafriyat toprağı ile inşaat/yıkıntı atıklarının *geri kazanılması* ve özellikle alt yapı malzemesi olarak yeniden değerlendirilmesi,
- 3- Hafriyat toprağı ile inşaat/yıkıntı atıklarının karıştırılmaması,

- 4- Sağlıklı bir geri kazanım ve bertaraf sisteminin oluşturulması için atıkların kaynağında ayrılması ve “seçici yıkımın” yapılması gerekmektedir.”(Çevre ve Orman Bakanlığı 2004)

Genelgede belirtilen ilkelerle, atıkların belirli bir sistem içinde hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıklarının çevre kirliliğine sebebiyet vermemesi ve atıkların belirli bir sistem içinde “geri kazanım” veya bertaraf edilmesi hedeflenmiştir.

Deneysel çalışma aşamasında, yapı denetim firmaları ve beton tesislerinde bulunan beton deney numune atıklarının geri dönüşüm işlemlerinden sonra elde edilen geri dönüşüm agregasının beton üretiminde kullanılabilirliği incelenerek, Çevre ve Orman Bakanlığı’nın genelgesi kapsamında bulunan atıkların geri kazanılması konusuna katkıda bulunmaya çalışılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1.Geri Dönüşüm Nedir?

Belli bir alanda veya alanlarda, belli amaçlarda kullanılmış malzemelerin, işlev görme konusunda yeterli olmadığı veya işlev göremez hale geldiğinde daha önce işlev gördüğü amaçla veya farklı amaçlarda belirli işlemten geçtikten sonra yeniden kullanılmaya hazır hale getirilmesine “geri dönüşüm” denir.

Bernstein (2004)’e göre, yerel yönetimlerin çalışmaları arasında, insanların yaşadıkları yerlerde üretilen katı atıkların nakliyesi, geri dönüşümü, bu atıkları işleme ve yok etme çalışmaları da bulunmaktadır. Katı atıkla ilgili çalışma sistemlerinin geliştirilmesi ve bu sektörde çalışan kamu ile özel sektör çalışanlarının uygun şekilde teşkilatlanmasını sağlamak belediyeler için sorumluluk taşıyan önemli çalışmalardan biridir.

Geri dönüşümün önemini şu şekilde sıralayabiliriz:

- 1) Sağladığı tasarruflarla ekonomik kazanım sağlar,
- 2) Çevre kirliliğinin azaltır,
- 3) Hammadde kaynaklarının daha az tüketilmesiyle hammadde kaynaklarının ömrünün uzamasına katkı sağlar
- 4) Yeni bir sanayi sektörünün açılmasıyla iş istihdamını sağlar,
- 5) Atık maddelerin dönüştürülme işlemi sırasında sarfedilen enerji, hammaddelerin işlenmesi esnasında sarfedilen enerjiye oranla daha az olmasından dolayı enerji kazanımı sağlar (Öztürk 2005).

Verghese *et al.* (2012), genelde geri dönüşüm işlemlerinden sonra elde edilen ürünlerin üretim aşamasında, çevre ve hammadde kaynaklarının korunmasına, maliyetin azalmasına ve enerji tasarrufu sağlanmasına yaptığı katkılardan dolayı geri dönüşüm

ürünlerinin kullanımının arttırılmasına dikkat çekmişlerdir. Bu konuda tekstil firmalarının geri dönüşüm sistemi geliştirmeleri konusunda görüş bildirmişlerdir.

Geri dönüşüm çalışmaları belli bir sistem içinde yapılmalı ve sistemin basamaklarına dikkat edilmelidir.

Geri dönüşüm sistemi; belli bir alandaki atıklar diğer atıklarla karıştırılmadan, kaynağında biriktirilmesini sağlamakla birlikte, çöplerle karıştırılmadan kendi içerisinde temiz bir şekilde toplanmasını sağladıktan sonra, kaynağında biriktirilen atıkların, kağıt, metal, plastik ve cam vs. olarak sınıflara ayırt edilir. Ayrılan malzemelerin fiziksel ve kimyasal işlemlerden geçtikten sonra değişime uğrayan malzemenin ekonomiye döndürülmesi açısından değerlendirme sürecinden sonra geri dönüştürülen ürünün kullanıma sunulmasıyla ekonomiye kazandırılmasını sağlar (Öztürk 2005).

Tojo ve Fischer'in araştırmasına göre; geri dönüşüm ve atık yönetimi sektörü Avrupa Birliği ülkelerinde 1,2 ile 1,5 milyon kişiye iş imkanı sağlamakla birlikte 2009 yılında 95 milyar € ciro yaptığını açıklamışlardır. Avrupa Birliği ülkelerinin GSYH'nin %0,75'inin geri dönüşümle ilgisinin bulunduğunu tahmin ettikleri bildirmişlerdir. Avrupa Birliği ülkelerinin dünya çapında atık ve geri dönüştürme sanayisinin yarısına sahip olduğunu belirtmişlerdir (Tojo and Fischer 2011).

Çevre Şehircilik Bakanlığı tarafından, 2014 yılında yapılan açıklamaya göre;

Ambalaj Elektronik Yazılım Programı kullanıcıları tarafından yapılan veri girişine göre; 2011 yılında, üretilen, piyasaya sürülen ve geri dönüşümü yapılan ambalaj miktarları Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. 2011 yılı ambalaj ve ambalaj atıkları istatistikleri

Ambalaj Cinsi	Üretilen Ambalaj Miktarı (ton)	Piyasaya Sürülen Ambalaj Miktarı (ton)	Geri Kazanılan Miktar (ton)	Gerçekleşen Geri Kazanım Oranı (%)
Plastik	1.223.783	706.082	307.549	44
Metal	246.861	137.764	74.669	54
Kompozit	91.001	68.756	70.715	103
Kağıt Karton	2.389.201	996.076	1.573.511	158
Cam	477.559	601.962	198.532	33
TOPLAM	4.428.408	2.510.642	2.224.977	89

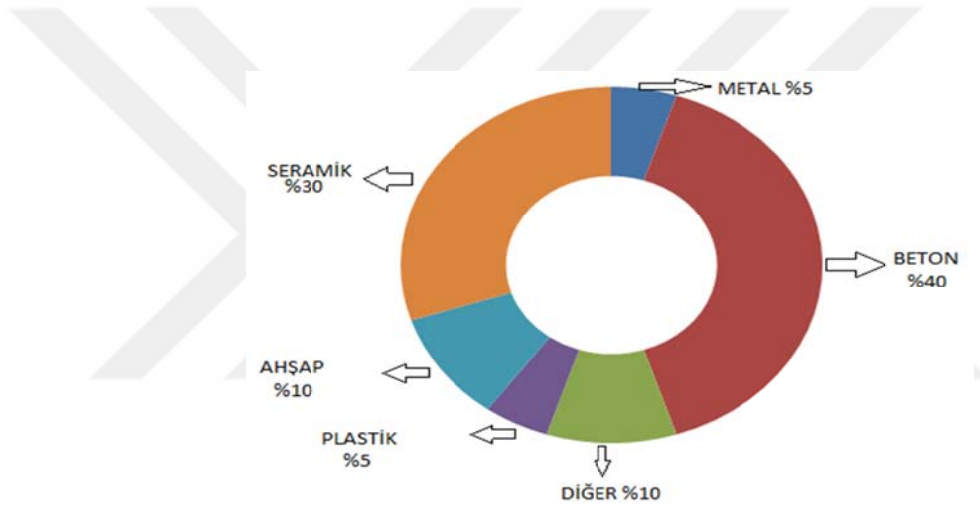
Ulusal Geri Dönüşüm Strateji Belgesi ve Eylem Planı'nda (2014-2017) Türkiye'nin geri dönüşüm verileri; 2003 yılında, 46 geri dönüşüm tesisi, yaklaşık 4.000 kişi çalışan ve dönüşüm çalışmalarından 62.000.000 TL katma değer kazanılmıştır. 2011 yılında 898 geri dönüşüm tesisi, yaklaşık 60.000 kişi çalışan ve bu çalışmalar sonunda 1.000.000.000 TL'yi aşan katma değer sağlamıştır (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2012).

2.2. Geri Dönüşüm Agregası

Beton atıklarının öğütülerek tekrardan beton karışımlarında agrega olarak kullanılması fikri İkinci Dünya Savaşı sonrasında Almanya'da gerçekleşmiştir. Ancak farklı inşaat yıkıntılarının öğütülerek, geri dönüşüm agregası olarak kullanılması çok eski tarihlere dayanmaktadır. Romalı mühendis Marcus Vitruvius M.Ö. 1. yüzyılda belirli önlemler olarak kiremit parçalarının kullanılmasını tavsiye etmiştir. M.S. 62 yılında Pompei'de meydana gelen depremden sonra yapı malzemelerinin yeniden kullanılması kaynaklarda bahsedilmektedir (Adam 2005).

Yapılan çalışmalar neticesinde; doğal kaynakların %50'sini, enerjinin %40'ını kullanan, atıkların %50'sinin ait olduğu sektörün inşaat sektörü olduğu görülmüştür (Oikonomou 2005). Bununla birlikte Bölüm 2.1'de bahsedilen geri dönüşümün öneminin, inşaat

sektörü içinde geçerli olduğu göz önüne alındığında; GDA kullanımının çevre kirliliği, hammadde kaynakları ve ekonomik tasarruflar açısından ülkenin kalkınmasında çok önemli rol alacağı anlaşılmaktadır. Hatta ana kaynakların tükenmesiyle ekolojik dengenin bozulmasına kadar olumsuz sonuçlar doğabilmektedir. Betonun ana iskeletini oluşturan ve en fazla hacmini kaplayan agreganın yüksek miktarda kullanımı doğal kaynakları azaltmakta ve dengenin bozulmasına sebep olacak sorunlar doğurabilmektedir. Bu gerekçe ile betonda agrega olarak alternatif malzemelerin kullanımı konusu üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Şekil 2.1’de inşaat yıkıntısını oluşturan maddelerin yüzde oranlarını göstermektedir.



Şekil 2.1. İnşaat yıkıntılarının bileşimi (Oikonomou 2005).

Ekonomi açısından sağlayacağı faydalar için şöyle bir değerlendirme söz konusudur; geleneksel beton üretiminde; yıllık 1,6 milyar ton çimento, 10 milyar ton agrega, 1 milyar ton karışım suyu kullanılmaktadır. Yani beton endüstrisi yılda ortalama 12,6 milyar ton malzeme kullanımı ile çok önemli bir yer tutmaktadır (Atıcı 2016). Bu verilerle birlikte, 1 m³ betonun toplam maliyeti içinde %14’le iri agrega ve %5’le ince agreganın toplam maliyeti %19 olup, üretim maliyeti %40’labirinci sırada bulunan çimentodan sonra agrega, i. kinci sırada yer almaktadır. Bu durum agreganın beton maliyetinde ne kadar önemli olduğunu göstermektedir (Arıoğlu vd 1996). Hatta dünya genelinde %58 oranıyla agrega en çok üretilen madendir (Öztürk vd 2007).

Agrega bu kadar çok kullanılmasına karşılık, agrega ocaklarından elde edilen malzemenin, İstanbul’da kullanılabilmesi için 50 ile 75 km arası mesafede olması ve eldeki agrega kaynaklarının tükenmesiyle mesafenin daha çok artmasıyla ekonomik ve çevresel faktörlerin olumsuz etkileneceği belirtilmiştir (Özalp vd 2015).Agreganın geri dönüşümü hakkında araştırmaların artmasına, bununla birlikte devletlerin geri dönüşüm agregalarıyla ilgili standartlar, yönetmelikler çıkaracak kadar önem vermesine neden olmuştur.

2.2.1. Dünya’da geri dönüşüm agregası standartları

Özellikle gelişmiş veya gelişmekte olan ülkelerde beton agregası standartlarına, geri dönüşüm agregası ifadesi eklenmiştir. Geri dönüşüm agregaları ile kural oluşturan standartlarda, geri dönüşüm agregasının elde edildiği kaynağa göre, atığın içeriğine ve deney sonucuna göre sınıflandırmalar yapılmıştır. Bu sınıflandırma, geri dönüşüm sonucu elde edilen agreganın beton karışımında kullanılıp kullanılmayacağı konusunda karar vermeye yardımcı olmaktadır (Tüfekçi 2011).

Aşağıda bazı ülkelerde geri dönüşüm agregası ile ilgili çıkarılan standartlardan örnekler verilmiştir.

Türkiye: 28.04.2009 tarihinde kabul edilen, beton agregaları başlıklı, TS 706 EN 12620+A1 standardının kapsam bölümünü; “ Bu standart, beton yapımında kullanılmak amacıyla, doğal, yapay veya geri kazanılmış agregaların, dolgu malzemesi olarak kullanılan agregaların ve bu malzemelerin oluşturduğu karışımların özelliklerini kapsar.” olarak açıklamaktadır. Buradan anlaşılacağı üzere beton yapımında kullanılacak agregaların arasında “geri kazanılmış agregalar” da sayılmıştır.

Fransa: RILEM 2002 yılında, yayınlanan TC,121-DRG nolu raporunda geri dönüşüm agregasını, iri agregayı 3 tip olarak sınıflandırarak beton karışımında kullanılma standartlarını belirlemiştir. Bu sınıflar;

Tip 1: Duvar molozundan elde edilen geri dönüşüm agregası,

Tip 2: Beton molozundan elde edilen geri dönüşüm agregası,

Tip 3: Agregası karışımının, en az %80 doğal agregası ile en fazla %10 geri dönüşüm agregası karıştırılarak elde edilenler.

RILEM, ince geri dönüşüm hakkında herhangi bir bilgi vermemektedir (Tüfekçi 2011).

İspanya: EHE-08 standardıyla, sadece geri dönüşüm iri agregasının beton karışımlarında en fazla %20 oranında kullanmasına izin vermiştir. Bu standart geri dönüşüm iri agreganın ön gerilmeli betonları hariç tutarak, dayanımı 40 MPa'dan fazla olan beton karışımında kullanılmasına izin vermemektedir (EHE-08 2008).

Almanya: Geri dönüşüm agregası kaynaklarını, beton, enkaz, duvar ve karışık moloz olmak üzere 4 farklı grupta sınıflandıran, DIN 4226-100nolu standart 2002 yılında yürürlüğe girmiştir. DIN 4226-100 nolu standardında, beton ve enkaz molozlarından elde edilen geri dönüşüm agregalarının yeni yapı betonlarında, duvar ve karışık molozlarından elde edilen geri dönüşüm agregalarının ise yapısal olmayan elemanlarda kullanılabileceği belirtilmiştir (Gonçalves and Brito 2010).

Yukarıda örnek verilen bazı ülkelerin standartları gibi geri dönüşüm agregası konusunu içeren birçok ülke standartları bulunmaktadır.

Çizelge 2.2. Bazı ülkelerde geri dönüşüm agregası ile ilgili standartlar ve yürürlüğe girdiği yıl (Gonçalves and Brito 2010)

Ülke	Standart Numarası	Yürürlüğe Girdiği Tarih
Brezilya	NBR 15.116	2005
Japonya	BCSJ,1977	2002
İngiltere	BS EN 206-1	2002
Portekiz	LNEC, E 471	2006
Belçika	PTV, 406	2003

Çizelge 2.3.Dünya genelinde izin verilen geri kazanılmış agrega kullanım oranları (Roos 2002)

Ülkeler Uygulamalar	Uygulamalar	Geri kazanılmış agrega hacimce (%)	Geri kazanılmış ince agrega kullanımı	Beton sınıfı	Diğer malzemelerin kütlece yüzdesi
Hollanda	Agresif olmayan çevresel etkilerde	Beton kırıkları için sadece 0-20	%20'ye kadar izin veriliyor	Bütün beton yapı standartlarına göre	Max %1 bitüm & max 0.15 organik malzeme
ABD	Beton, Betonarme elemanlarda	Beton kırıkları için sadece 0-100	İzin veriliyor	ACI 318-95'e göre	-
Belçika	Agresif olmayan çevresel etkilerde	0-100	Doğal agreganın standartlarını sağladığı durumlarda	Agregaya bağlı olarak en fazla C30/37	< 1 mineral olmayan karışımlar
Almanya	Kuvvetli kimyasal etki ve betonarme haricinde	Beton kırıkları için sadece 0-42	< 2 mm olan kısım için max %7	En fazla C35/45	< 0.2 ahşap ve plastik malzeme
Danimarka	Agresif olmayan çevresel etkilerde	> 4 mm olan kısım için 0-100	İzin veriliyor	Agregaya bağlı olarak en fazla 21 Mpa	-
Japonya	Nemsiz elemanlarda	Beton kırıkları için sadece 0-42	İzin veriliyor	Agregaya bağlı olarak en fazla C30/37	Max 10 kg/m ³ Alçı & max 2 kg/m ³ asfalt

2.2.2. İnşaat ve yıkım atıklarından geri dönüşüm agregasını elde etme süreci

İnşaat ve yıkım atıklarından geri dönüşüm agregasının elde edilme süreci Şekil 2.2’de görüldüğü gibi inşaatların yıkım aşamasıyla başlamaktadır. Yapıların yıkımı genel olarak patlayıcı maddeler veya iş makineleri kullanılarak yapılmaktadır.



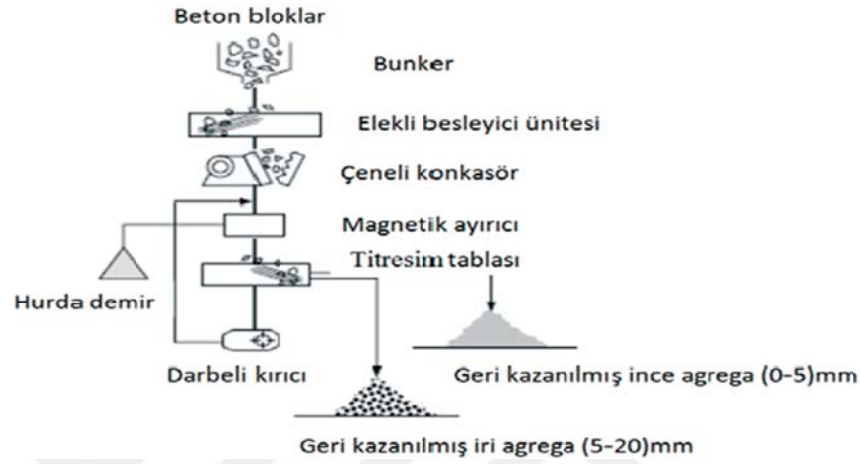
Şekil 2.2. İnşaat yıkımı

Yıkılan yapılardan meydana gelen inşaat ve yıkım atıklarının geri dönüşüm tesisine gönderilmesine ait görüntü Şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.3.Yapı yıkıntı atıklarının geri dönüşüm tesisine nakliyesi

Eguchi *et al.* (2007), yıkıntı atıklarının geri dönüşüm tesisine nakliyesi yapıldıktan sonra agrega üretim aşamalarına ait süreci Şekil 2.4'te görüldüğü gibi vermişlerdir. Bu süreç sonunda geri dönüşüm agregası elde edilmektedir.



Şekil 2.4. Geri kazanılan agrega üretim şeması

Japonya'da elde edilen geri dönüşüm agregasının yüzeyinde bulunan ince malzemeli tabakanın temizlenmesi için;

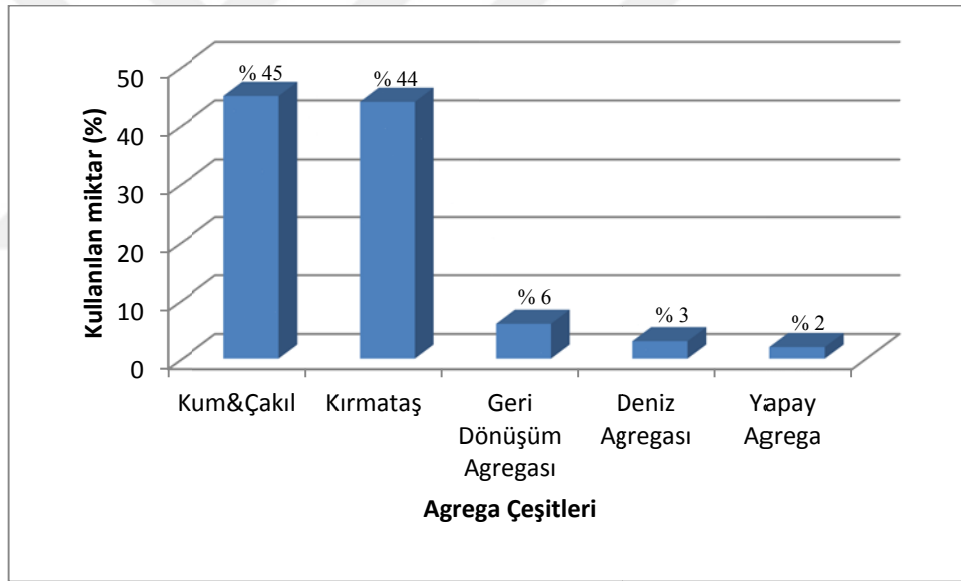
- 1) Geri dönüşüm malzemesi 300°C ye kadar ısıtılarak, ısıtma ve sürtünme yöntemi ile ince tabaka (çimento veya harç kalıntıları) agrega yüzeyinden temizlenir.
- 2) Eksantrik olarak dönen iki silindirin arasından malzeme geçirilerek ince tabaka temizlenir.
- 3) Dönen tamburlar içindeki bilyeler yardımıyla malzemenin yüzeyindeki ince tabaka temizlenir (Parekh *et al.* 2011).

Hong Kong'ta 2003 yılında açılan geri dönüşüm agregası tesisinde yaklaşık olarak 240 bin ton agrega elde edilmiştir (Fong *et al.* 2004).

Amerika Birleşik Devletleri'nde yıllık inşaat ve yıkım atığının, ortalama olarak 162 milyon tona ulaştığı belirtilmiştir. Asfalt atıklarının %10-15'inin, beton yollardan çıkan atıkların %20-30'unun ve beton yapılardan gelen atıkların %60-70'inin binaların

yapımında kullanılacak olan beton karışımlarında GDA olarak kullanılmıştır. ABD’de GDA’nın, %14’lük kısmı moloz geri dönüşüm tesislerinde, %36’lık kısmı müteahhitler ve geri kalan %50’lik kısmı agrega üreticileri tarafından üretilmektedir (Öztürk 2005). İngiltere 2005 yılında 58.000.000 ton GDA tüketmiştir (British Geological Survey 2008).

Avrupa Birliği ülkelerinde, 2005 yılında yapılan bir araştırmaya göre geri dönüşüm agregasının, tüm agrega çeşitleri içerisindeki kullanım oranı %6 olarak belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda agrega çeşitleri ve kullanım oranları Çizelge 2.5’de verilmiştir (European Aggregates Association (UEPG) 2006).



Şekil 2.5. Avrupa Birliği ülkelerinde kullanılan agrega miktarı ve cinsi

Türkiye’de 2005 verilerine göre 38.000.000 ton katı atık üretiminin olduğu ve bu miktarın %25’nin yani yaklaşık olarak 10.000.000 tonunun inşaat ve yıkım atığı olduğu bilinmektedir (Demir 2009). Ancak yapılan araştırmalar sonucunda Türkiye için inşaat ve yıkım atığının hangi oranda veya miktarda geri dönüşüm agregasına dönüştürüldüğü hakkında bir bilgi bulunamamıştır. Bu durumda; 2009 yılından bu yana hazır beton üretimiyle Avrupa’da birinci sırada yer alan ülkemizde agreganın tekrar kullanımı konusunda işletmelerin hassasiyet göstermediği görülmektedir (Atıcı 2016).

2.2.3. Geri dönüşüm agregasının kullanım alanları

Başta Avrupa’da inşaat ve yıkıntı atıklarının depolama tesislerinde depolanması ve bertaraf edilmesi uygulanan vergilerden kaynaklı yüksek maliyetinden dolayı tercih edilmez hale gelmiştir. Bundan dolayı inşaat ve yıkıntı atıklarının geri dönüşümü daha cazip hale gelmiştir.

Elde edilen geri dönüşüm agregası dolgu malzemesi olarak kullanılabilir. Yıkılan bina betonarme ise, bina yapımında kullanılan donatı demirleri ayrıştırıldıktan sonra kendi başına kalan betondan elde edilen malzemeler altyapı malzemesi olarak kullanılabilir. Beton kırıklarını küçük parçalara kadar öğütmeye gerek kalmadan drenaj sistemlerinde ve kanalizasyon boru döşemelerinde kullanılabilir. Bu GDA’lar kaldırım yapımında ve temel altı dolgu malzemesi olarak kullanılabilir (Tüfekçi 2011).

Geri dönüşüm agregaları üretilir ve üretilen geri dönüşüm agregaları standartların belirlediği durumlarda kullanıldığı takdirde, agrega kaynaklarının ömrü uzar, çevrenin kirliliği azalır, ekonomik kazanımla birlikte kısmen de enerji tasarrufu sağlanır.

Geri dönüşüm agregasının beton karışımlarında kullanılmamasının sebepleri:

- Geri dönüşüm agregası elde edilme sürecinde teknolojinin yetersizliğiyle birlikte kalite kontrol ile ilgili sorunlar,
- Geri dönüşüm agregasına karşı güven eksikliğinin olması, ancak bu durum tüketicinin bilinçlendirmesiyle aşılabilecek bir durumdur. Örneğin; geri dönüşüm agregasının düşük dayanımlı betonlarda doğal agreganın yerine kullanılabilirliği hakkında bilgilendirme yapılabilir, çevre üzerindeki olumlu etkileri anlatılarak farkındalık eksikliği giderilebilir.
- Tesislerin yetersizliğiyle birlikte yeteri kadar yıkıntı atığının oluşmadığı yerlerde de tesis açılmasının ekonomik olmadığı görülmüştür,
- Geri dönüşüm agregası ile ilgili standartların yetersizliği,

- Geri dönüşüm agregası kullanımının artması için devletlerin gerekli yasaları çıkartarak bu konunun desteklenmesi gerekmektedir (Rao *et al.* 2007).

2.2.4. Geri dönüşüm agregasının özellikleri

Doğal agreganın (DA) beton hacminde sağladığı dayanım ve dayanıklılığı arttırma, genleşme, büzölmeye karşı betonun hacmini koruma gibi özellikleri, beton karışımında kullanılan GDA’nda bu özellikleri göstermesi gerekmektedir.

TS706 EN 12620+A1 numaralı standartta agrega, ”yapılarda kullanılan taneli malzeme” olarak tanımlanır (TS 706 EN 12620+A1 2010). Agregayı, ABD standardı olan ASTM D8 ise “Harç veya beton oluşturmak amacıyla bir bağlayıcı madde ile veya temel tabakaları, demir yolu balastlarında, vb. işlerde tek başına kullanılan kum, çakıl cüruf yada kırmataş gibi mineral kompozisyonlu granüler (taneli) bir malzemedir.” olarak tanımlanmaktadır (ASTM D8-11 2011).

DA taneleri, beton hacminde meydana gelecek büzölme ve genleşme çatlaklarının neden olacağı tahribatı azaltır. Özellikle dayanımlarının yüksek olmasından dolayı betonun dayanımını ve dayanıklılığını arttırmakla birlikte betonun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde de olumlu anlamda önemli rol oynar. Özellikle betondan istenen basınç dayanımı, agreganın özellikleriyle doğrudan ilişkilidir. Taze betondan beklenen en önemli özellik olan işlenebilirlik özelliği agreganın tane dağılımından, su içeriğinden ve tane biçiminden etkilenmektedir (Baradan vd 2015).

Betonda kullanılan DA’nın biçim olarak kübik veya küre olması istenmektedir. DA’nın Bir boyutu diğer boyutundan 3 kat büyük ise bu malzeme kusurlu malzeme olarak kabul edilir. Bu kusurlu taneler dış etkilere olumsuz etkilenmelerinden dolayı, betonun dayanım ve dayanıklılığının azalmasına neden olurlar (Baradan vd 2015). DA beton karışımında kullanılmadan, kusurlu tane oranı tespit edilir.

Beton agregaları ile ilgili standart olan TS EN 206+A1'de beton karışımında kusurlu agregaların hakkında bir değer vermemiştir. TS EN 933-3'e göre agregaların yassılık indeksi tayin edilir (TS EN 933-3 2015).

Çizelge 2.4. TS EN 933-3'te belirtilen yassılık indeksi kategorileri (Karayolları Genel Müdürlüğü 2008).

Yassılık İndeksi	Kategori Fl
≤ 15	Fl ₁₅
≤ 20	Fl ₂₀
≤ 35	Fl ₃₅
≤ 50	Fl ₅₀
> 50	Fl _{beyan}
serbest	Fl _{NR}

Amerika Standardı olan, ASTM C33/C33M-11a'da beton agregaları yığnında kusurlu tane oranının %30'u geçmemesi belirtilmiştir (ASTM C33/C33M-11a 2011).

Standartlarda KA için belirlenen kriterleri GDA'nında taşınması gerekmektedir.

Ancak, geri dönüşüm agregası (GDA) ile kırmataş agregası (KA) arasında belirgin farklılık vardır. Bunların başında, GDA'nın daha önce beton karışımlarında kullanılmasından dolayı elde edilen agreganın yüzeyinde bir çimento hamuru tabakası bulunması gelmektedir. Bu durum GDA'nın KA'ya göre, su emme miktarı, özgül ağırlık, aşınma direnci, yassılık indeksi gibi bir agregada bulunması gereken fiziksel veya mekanik özelliklerinde farklılık göstermektedir.

GDA elde etmek için kaynak olarak;

- Basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı vb. gibi testlere tabi tutulan beton deney numuneleri,
- Yapı bölümlerinde, yollarda, kaldırımlarda kendi başına kullanılan beton bloklar,

- İnşaat ve yıkıntı atıkları kullanılabilir.

Deney numuneleri ve beton bloklardan elde edilen GDA'nın yüzeyinde sadece çimento hamuru bulunmaktadır. Ancak inşaat ve yıkıntı atıklarında tuğla, kiremit, ahşap, elyaf vb. atıklardan oluşan tabaka bulunabilmektedir. İşte bu nedenlerden dolayı ancak GDA'lar eleme ve temizleme işlemlerinden geçtikten sonra aşınma, özgül ağırlık, granülometri, yassılık vb. özelliklerine bakılır ve beton karışımlarında kullanılıp kullanılmayacağına karar verilir (Rao *et al.* 2007).

2.2.4.a. Geri dönüşüm agregasının yassılık indeksi

Kim *et al.* (2015), tane büyüklüğü 4 mm ile 25 mm arası olan GDA karışımının yassılık indeksini 6,45 olarak bulmuşlardır.

Puthussery *et al.* (2016), maksimum tane büyüklüğü 11 mm olan GDA ile yaptıkları çalışmada yassılık indeksini 23,3 olarak tespit etmişlerdir.

Mukharjee *et al.* (2014), GDA'nın yassılık indeksini 12,04 olarak bulmuşlardır.

Brito *et al.* (2016), tane büyüklüğü 10-20 mm olan GDA'nın yassılık indeksini 12,20 olarak bulmuşlardır.

Liu *et al.* (2016), maksimum tane büyüklüğü 25 mm olan GDA karışımının yassılık indeksini 16,8 olarak bulmuşlardır.

Demirel ve Şimşek (2015), GDA konusundaki araştırmalarında, çalışmalarında kullandıkları, 4-22,4 mm tane büyüklüğündeki GDA'nın yassılık indeksini 5,6 olarak tayin etmişlerdir.

Demirel ve Şimşek (2014), C30 sınıfı betondan elde ettikleri GDA'yı kullandıkları deneysel çalışmalarında, 4-24 mm GDA'nın yassılık indeksini 8,51 olarak bulmuşlardır.

Demirel vd (2015) çalıştıkları tane büyüklüğü 4-22,4 mm olan GDA'nın yassılık indeksini 12 olarak bulmuşlardır.

Bu örneklerden anlaşılabacağı üzere, deneysel çalışmalarda kullanılan GDA'ların yassılık indeksi, ASTM C33/C33M-11a'da belirtilen %30'un altında olmasından dolayı bu standarda uygun agregalar olarak tayin edilmiştir.

2.2.4.b. Geri dönüşüm agregasının aşınma direnci (Los Angeles) deney yöntemi

Los Angeles deney yöntemine göre, 500 devire maruz kalan beton agregasında kayıp yüzdesinin %50'yi, yollarda kullanılacak agreganın da yine 500 devir için %30'u geçmemesi istenir (Baradan vd 2015).

Yollarda araçların durma esnasında agregaları aşındırdığından dolayı bu agregaların parçalanmaya karşı daha dirençli olması istenmektedir (Erdoğan 2007).

Hasaba *et al.* (1981), yüksek dayanımlı betonu öğütürerek, tane büyüklükleri 5 mm ile 25 mm arasında olan GDA karışımının aşınma direncini %24,6 bulmuşlardır.

Hasaba *et al.*'nin çalışmasına benzer bir çalışma olan Hansen ve Narud'da yüksek dayanımlı betonu öğütürerek elde ettikleri, tane büyüklükleri 16 mm ile 32 mm arası olan GDA'nın aşınma direncini %22,4 bulmuşlardır (Hansen and Narud 1983).

Bu iki çalışma sonucunda, yüksek dayanımlı betondan elde edilen GDA'ların aşınma direncinin yüksek olduğu görülmektedir. Hansen ve Narud (1983), bu GDA'ların aşınma dirençlerinin doğal agregadan daha iyi olduğunu açıklamışlardır.

Brito *et al.* (2016) maksimum tane büyüklüğü 10 mm olan GDA'nın aşınma direncini %33,3 olarak bulmuşlardır.

Padmini *et al.* (2008) 0-20 mm arası GDA karışımının Los Angeles aşınma direnci %33 bulmuşlardır.

Seara-Paz *et al.* (2016) 4-16 mm tane büyüklüğündeki GDA'nın aşınma direncini %34,28 olarak bulmuşlardır.

Sefidehkan (2017), deneysel çalışmada kullandığı GDA'nın Los Angeles aşınma direncini %40,56 olarak tayin etmiştir.

Demirel ve Şimşek (2015), GDA'nın aşınma direncini %28 olarak bulmuşlardır.

Demirel vd. (2015), çalıştıkları tane büyüklüğü 4-22,4 mm olan GDA'nın Los Angeles aşınma direncini % 35,7 olarak bulmuşlardır.

Yukarıda örnek olarak verilen çalışmalarda kullanılan GDA'ların aşınma dirençleri %50'nin altında olmasından dolayı ASTM C 131 standardına uygun malzeme olduğu belirlenmiştir.

2.2.4.c. Geri dönüşüm agregasının su emme oranları ve yoğunluğu

GDA tane özelliklerinin araştırıldığı deneysel çalışmalarda, GDA'nın tane yoğunluğunun KA'nın tane yoğunluğuna göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Su emme oranı olarak GDA'nın su emme oranı, KA'nın su emme oranına göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Özellikle ince GDA'nın su emme oranının daha yüksek değerlerde olduğu tayin edilmiştir.

Malesev *et al.* (2010), ince GDA'nın yoğunluğunu 2,35g/cm³, iri GDA'nın yoğunluğunu 2,48 g/cm³, ince ve iri GDA'ların 30 dakikalık su emme oranlarını ince GDA için %4,59 ve iri GDA için %2,87 olarak bulmuşlardır.

Padmini *et al.* (2008), maksimum tane büyüklüğü 10 mm olan GDA karışımının yoğunluğunu 2,46g/cm³, su emme oranını %4,6 olduğunu tayin etmişlerdir.

Brito *et al.* (2016), maksimum tane büyüklüğü 10 mm olan GDA'nın yoğunluğunu 2,65 g/cm³ ve su emme oranını %4,57 olarak bulmuşlardır.

Navdeep and Singh (2016), GDA kullanarak kendiliğinden yerleşen beton üretmeye yönelik olan çalışmalarında, 0-10 mm tane büyüklüğündeki GDA'ların yoğunluğunu 2,46 g/cm³ ve su emme oranını %5,35 olarak tayin etmişlerdir.

Seara-Paz *et al.* (2016), çalışmalarında kullandıkları iri agregâ için yoğunluk değerini 2,57 g/cm³, su emme oranını %5,35 olarak bulmuşlardır.

Demirel vd (2015), deneysel çalışmalarında kullandıkları tane büyüklüğü, 0-4 mm arası olan ince GDA'nın yoğunluğunu 2,5 g/cm³, 4-22,4 mm arası olan iri GDA' yoğunluğunu 2,6 g/cm³ ve su emme değerlerini ise 0-4 mm için %13,9 ve 4-22,4 mm için %7,9 olarak bulmuşlardır.

Demirel ve Şimşek (2015), 4-24 mm tane büyüklüğündeki GDA'ların yoğunluğunu 2,6g/cm³ ve su emme miktarını %10,9 olarak bulmuşlardır.

Topçu ve Guncan (1995), çalışmalarında kullandıkları GDA'nın 30 dakikalık su emme oranını %7 ve yoğunluğunu 2,47g/cm³ olarak bulmuşlardır.

2.2.4.d. İncelik modülü

Seara-Paz *et al.* (2016), çalışmalarında kullandıkları 4-16 mm iri agrega için incelik modülünü 7,15 olarak bulmuşlardır.

Köken vd (2008), deneysel çalışmalarında kullandıkları maksimum tane büyüklüğü 16 mm olan GDA karışımının incelik modülünün 3,38 olarak tayin etmişlerdir.

2.3. Beton Karışımında GDA İkame Edilmiş Taze Betonun Özellikleri

2.3.1. GDA ikame edilmiş taze betonda işlenebilirlik

Taze betondan beklenen önemli özelliklerin başında işlenebilirlik gelmektedir. Bölüm 2.2.4.c’de görüldüğü gibi GDA’nın su emme oranının yüksek olması ve yüzeyin pürüzlü ve köşeli olmasından dolayı KA’lardan üretilen betona göre işlenebilirlik özelliği düşük çıkmakla birlikte slump değerinin de azaldığı görülmektedir. Ancak bu durumun iyileştirilebilmesi için GDA’lı betonlarda kimyasal katkı maddelerin kullanılmasının yanında GDA’ların yıkanarak yüzeyindeki kalıntı tabakasının giderilmesi veya azaltılmasıyla işlenebilirlik konusunda gelişme sağlanabilir.

Poon *et al.* (2004), beton karışımlarında kullanılan GDA’nın içerisinde bulunan nemin artırılmasıyla taze betonun işlenebilirliğinin artacağı belirtmişlerdir.

Durmuş vd (2008), farklı miktarlarda iri GDA kullanarak yaptıkları deneysel çalışmada karışım içerisindeki GDA miktarı arttıkça slump değerinin düştüğünü tayin etmişlerdir.

Demirel ve Şimşek (2014), C30 sınıfı atık betonu öğüterek elde ettikleri GDA’yı kullandıkları beton karışımlarında, çimento ağırlığının %20 oranında uçucu kül ve yine çimento miktarının ağırlıkça %1,2’si oranında süper akışkanlaştırıcı kimyasal kullanmışlardır. Elde ettikleri taze betonun slump değerinin 7-12 cm aralığında

olduğunu görmüşlerdir. Sonuç olarak karışıma ikame edilen GDA miktarı arttıkça slump değerinin düştüğünü açıklamışlardır.

Sefidehkan (2017), GDA'ların doygun yüzey kuru halde beton karışımında kullanılması, betonun işlenebilirliğinin iyileştirilmesi üzerinde önemli rol oynadığı yapılan deneysel çalışmalardan anlaşılmaktadır.

2.3.2. GDA ikame edilmiş taze betonun birim hacim ağırlığı

Çelik (2007), beton karışımı içerisinde bulunan GDA miktarı arttıkça taze betonun özgül ağırlık değerinin düştüğünü açıklamıştır.

Guerra *et al.*(2014), 4-22,4 mm tane büyüklüğüne sahip GDA'yı %20, %50 ve % 100 oranlarında kullandıkları deneysel çalışmada, %20 GDA kullandıkları betonun birim hacim ağırlığını 2340 kg/m³ olarak tespit etmişler. %50 GDA kullanılan karışımın birim hacim ağırlığının %20 GDA'lı betona göre m³'te 25 kg azaldığını, %100 GDA kullanılan karışımın birim hacim ağırlığının ise %20 GDA'lı betona göre m³'te 95 kg azaldığını belirtmişlerdir.

Durmuş vd (2008), GDA kullandıkları taze betonların birim hacim ağırlıklarının 2500 kg/m³ ve 2275 kg/m³ değerleri arasında farklılık gösterdiklerini belirtmişlerdir.

Yapılan çalışmalar sonucunda, beton karışımında kullanılan GDA miktarı arttıkça taze betonun birim hacim ağırlığının azaldığı görülmüştür.

2.3.3. GDA ikame edilmiş taze beton hacmindeki hava miktarı

Deneysel çalışmalarda, beton karışımındaki ikame edilen GDA oranı arttıkça, taze betonun içindeki hava miktarının doğru orantılı arttığı görülmüştür.

Katz (2003), %100 oranında kullanılan GDA'lı betonun içindeki hava miktarının %4 ile %5,5 arasında değiştiğini, bu durumun GDA'nın poroziteli bir yapıya sahip olmasından dolayı kaynaklandığı açıklanmıştır.

Kim *et al.* (2015) çalışmalarında, %100 DA ve %100 GDA kullanarak hazırladıkları beton karışımları içerisindeki hava oranlarını sırasıyla %4,3 ve %5,1 tayin etmişlerdir.

2.4. Beton Karışımında GDA İkame Edilmiş Sertleşmiş Betonun Özellikleri

2.4.1. GDA ikame edilmiş sertleşmiş betonun su emme oranı

Malesev *et al.* (2010), %100 DA ile ürettiği beton numunelerin su emme oranını %5,62 tespit ederken, %100 GDA kullanarak ürettiği beton numunelerin su emme oranını %8,05 olarak tespit etmiştir.

Durmuş vd. (2008), %100 DA kullanarak ürettiği referans betonun su emme oranını %1,65 olarak bulurken, %100 GDA'lı betonun su emme oranını %1,97 bulmuştur.

Yaprak vd. (2011), %100 DA ve %10, %50 ve %100 GDA kullanarak elde ettikleri beton numunelerin su emme oranlarını sırasıyla %1,65, %1,68, %1,75 ve %1,9 olarak bulmuştur.

Sonuç olarak beton karışımında ikame edilen GDA miktarı arttıkça beton numunesinin su emme oranı da artış göstermektedir.

2.4.2. GDA ikame edilmiş sertleşmiş betonun kılcal geçirimliliği

Tüfekçi (2011), beton karışımında ikame edilen GDA miktarı arttıkça, betonun kılcal geçirimlilik katsayısının arttığını belirtmiştir. Ancak, bu durumun beton karışımındaki yüksek fırın cürufu oranının artmasıyla kılcal geçirimlilik katsayısının zamana bağlı olarak azaldığını açıklamıştır.

Sofyanlı (2015), deneysel çalışmasında beton karışımlarında silis dumanı kullanarak elde ettiği GDA beton numunelerinin kılcal geçirimlilik katsayılarının, karışımda kullanılan silis dumanı oranı arttıkça kılcal geçirimlilik katsayılarının azaldığını tayin etmiştir.

Yukarıda verilen örneklerde görüldüğü üzere, betonda kullanılan GDA miktarı arttıkça betonun kılcal geçirimliliğinde artış olduğu fakat bu durumun beton karışımında mineral katkıları kullanılarak iyileştirilebileceği belirtilmiştir.

2.4.3. GDA ikame edilmiş sertleşmiş betonun basınç dayanımı

GDA ikame edilerek elde edilen betonlarla yapılan deneysel çalışmalar sonucunda ulaşılan genel kanaat, KA ile elde edilen betonun basınç dayanımı sınıfı ile GDA ikame edilerek elde edilen betonun basınç dayanımı sınıfı karşılaştırıldığında, GDA'lı betonun KA kullanılan betona göre bir alt sınıf basınç dayanımına sahip olduğu belirtilmektedir.

Dhir *et al.* (2000), GDA kullandıkları deneysel çalışmalarında, beton karışımındaki GDA miktarının %30 oranına kadar kullanılmasında betonun basınç dayanımında herhangi olumsuz bir durum olmadığını belirtmişlerdir.

Belen *et al.* (2011), %100 DA ve %100 GDA kullandığı ve su/çimento oranını 0,65 olarak belirlediği beton karışımlarından elde ettiği küp numunelerin basınç dayanımlarını sırasıyla 41,49 MPa, ve 37,08 MPa olarak tayin etmişlerdir.

Katz (2003), su/çimento oranını 0,6 ile 0,75 arasında değiştirerek %75 oranında GDA ikame ettiği beton karışımı ile %100 DA kullanarak ürettiği beton karışımlarının basınç dayanımlarını karşılaştırdığında, arada belirgin bir farkın olmadığını belirtmiştir. Bu durum, Malesev (2010), GDA yüksek dayanımlı beton öğütülerek elde edilmiş ise karışımda GDA'nın iri DA ile yer değiştirme oranının basınç dayanımı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı olarak açıklanmıştır.

Chen *et al.* (2003), çalışmalarında GDA'nın yıkanmadan kullanılması durumunda, betonun basınç dayanımını önemsenecek derecede düşürdüğünü belirtmişlerdir.

Demirel ve Şimşek (2015), 212 lt. suyun kullanıldığı, su/çimento oranı 0,53 olan beton karışımlarından C 25 beton sınıfı elde edilmeye çalışılan deneylerinde, iri ve ince GDA'yı ayrı ayrı %10, %20, %30, %40 ve %50 ikame oranların da kullanmanın yanında, karışım hesabındaki ince ve iri DA, yerine aynı miktarda tamamı ince ve iri GDA kullanılarak elde edilen beton numuneleri 28 ve 90 günlük basınç dayanımı testine tabi tutmuşlardır. Sonuç olarak bütün ikame oranlarında hedef dayanıma ulaşıldığı görülmüş olup iri GDA kullanılarak üretilen betonlar ile ince GDA kullanılarak üretilen betonlar kıyaslandığında iri GDA'nın kullanıldığı betonların dayanımının daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

2.4.4. GDA ikame edilmiş sertleşmiş betonun eğilmede çekme dayanımı

Basınç dayanımı düşük olan betonun, eğilmede çekme dayanımının da düşük olacağı belirtilerek, bu durumun işlenebilirliği arttırmak için yapılan, GDA'nın yıkanması, doygun kuru yüzey hale getirilmesiyle eğilmede çekme ve basınç dayanımlarının da artacağı görüşü, yapılan çalışmalar sonucunda kuvvet kazanmıştır.

Ajdukiewicz and Kliszczewicz (2002), GDA kullanılan betonun 28 günlük çekme dayanımının, DA ile üretilmiş betonun çekme dayanımına oranla %10 daha az olduğu ve bu durumun mineral katkı maddeleriyle giderilebileceği belirtilmiştir.

Kou *et al.*(2005), deneysel çalışmalarında kullandıkları GDA'yı ince ve iri olarak ayırdıktan sonra iri GDA'nın da bir bölümünü yıkayarak bir bölümünü yıkamadan beton numuneler hazırlamışlardır. Farklı su/çimento oranlarında iri GDA kullanılarak hazırlanan beton numunelerinin basınç ve eğilmede çekme dayanımları kıyaslandığında, yıkanmış GDA'nın kullanıldığı numunelerin, yıkanmamış GDA kullanılan numunelere göre dayanım konusunda daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmanın temelinde, Bölüm 2.2.4.'te bahsedilen GDA'nın kaynakları arasında sayılan "Basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı vb. gibi testlere tabi tutulan beton deney numunelerinin" parçalanarak, öğütülmesiyle elde edilen GDA'nın yoğunluk, su emme, yassılık indeksi ve Los Angeles deney yöntemiyle aşınma dirençlerinin tespit edilmesi için deneysel çalışmalar yapılması, daha sonra ise GDA'nın betonda kullanılabilirliği konusunda uygun özelliklere sahip olup olmadığının belirlenmesi yer almaktadır. Uygunluğu tespit edilen GDA'lar, karışımdaki ince ve iri agregâ hacminin %15, %30, %45 ve %60 oranlarında ince ve iri normal agregâyla yer değiştirilmesiyle beton karışımları hazırlanarak, taze betonun slump değeri, sertleşmiş betonun ise birim hacim ağırlığı, basınç dayanımı, eğilmede dayanımı, kılcal geçirimsizlik katsayıları ve ağırlık olarak su emme deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda, GDA'lı betonların deney sonuçlarının kıyaslanması için referans beton olarak %100 kırmataş agregâ (KA) ile üretilen numuneler hazırlanmıştır. Beton karışımlarında %100 KA ve agregâ hacminin %15 oranında GDA kullanılmasıyla elde edilen beton karışımlarında kimyasal katkı olarak su azaltıcı (akışkanlaştırıcı), %30, %45 ve %60 GDA kullanılan karışımlarda süper su azaltıcı (süper akışkanlaştırıcı) kullanılmıştır. İki farklı tür akışkanlaştırıcı kullanılmasının sebebi tüm gruplarda yeterli işlenebilirliğin sağlanmasıdır. GDA'ların su emme miktarları çok fazla olduğu için %30, %45 ve %60 GDA ikame edilen beton karışımlarında normal akışkanlaştırıcılar yeterli olmamış olup süper akışkanlaştırıcı kullanılarak istenen kıvam elde edilmiştir.

3.1.1. GDA'nın elde edilmesi

Deneysel çalışmada, farklı beton sınıflarında üretilerek, beton santrali tarafından basınç dayanımı testine tabi tutulduktan sonra atık haline gelen 15*15*15 cm ebatındaki küp

numuneler dayanım sınıfı gözetilmeksizin karışık halde kırılarak parçalanmış ve geri dönüşüm agregası olarak kullanılmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Basınç dayanımı deneyine tabi tutulan beton numuneler

Atık yığınının alının küpler, kırıcı ile 100-150 mm boyutlara kadar parçalandıktan sonra mobil konkasörün öğütebileceği boyutlar olan 40-50 mm'ye çekiç (Şekil 3.2) yardımıyla getirilmiştir.



Şekil 3.2. Beton küplerinin mobil konkasörde öğütebilmek için uygun boyutlara getirilmesi çalışmaları

3.1.2. GDA'nın elek analizi

40-50 mm kadar parçalara ayrılan beton deney numune atıklarından elde edilen agregalar, Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Laboratuvarında 12,5 mm elekten geçecek şekilde öğütülmüştür (Şekil 3.3).



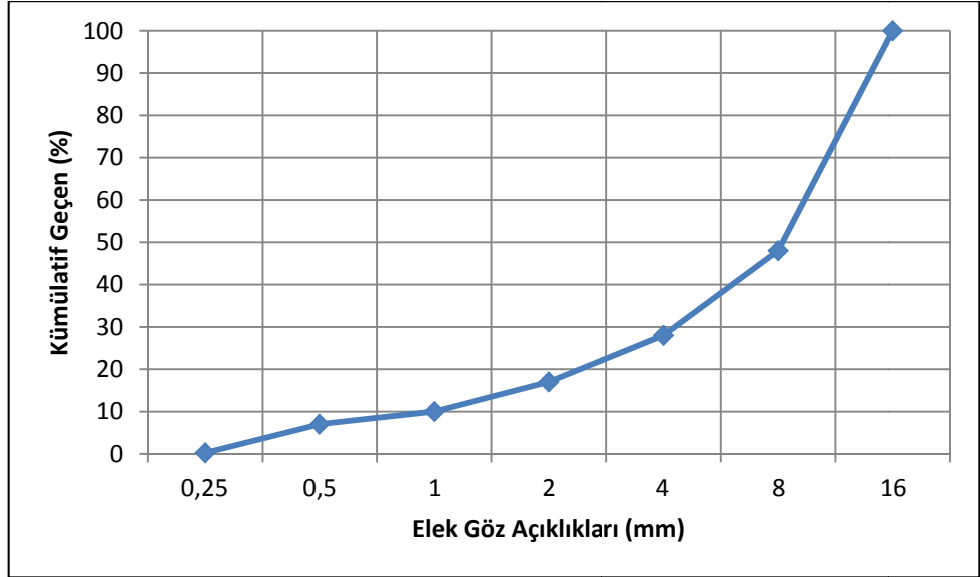
Şekil 3.3. Beton parçalarının mobil konkasörde öğütülmesi ve istenen elek boyutunda elenmesi

Bu işlem sonunda; basınç dayanımı testine tabi tutulmuş betonlardan geri dönüşüm agregası (GDA) elde edilmiştir.

Tane büyüklüğü 12,5 mm ve altı olan GDA'lar, TS EN 933-1 standartlarına uygun kare gözlü elek sisteminde elek analizi yapılmıştır. Elek analizi deneyi sonuçlarına göre her bir elekten geçen malzeme miktarları Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. GDA karışımına ait elek analizi

Elek Göz Açıklığı (mm)	Küm. Geçen (%)
16	100
8	48
4	28
2	17
1	10
0,5	7
0,25	0,25
Tava	0
İncelik Modülü	4.89



Şekil 3.4. GDA karışımının granülometri eğrisi

3.1.3. GDA'nın tane yoğunluğu ve su emme

Şekil 3.4'te ince geri dönüşüm agregasının doymun kuru yüzey haline getirilmesi çalışması görünmektedir.



Şekil 3.5. İnce GDA'nın doymun kuru yüzey haline getirmesi

GDA'nın Tane Yoğunluğu ve Su Emme oranının tayini için;

TS EN 1097 – 6 standardında belirtilen yöntemlerle, ince GDA için piknometre, iri agrega için ise piknometre ve sepet yöntemleri kullanılarak tane yoğunlukları ve su emme oranları belirlenmiştir (TS EN 1097 - 6 2015) .

Elde edilen sonuçların ortalama değerleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. İnce GDA'nın tane yoğunlukları ve su emme oranı

	İnce GDA	İri GDA
Görünen Tane Yoğunluğu (ρ_a)	2,69	2,69
Etüvde Kurutulmuş Esasta Tane Yoğunluğu (ρ_{rd})	2,13	2,42
Doygun Kuru Yüzey Esasta Tane Yoğunluğu (ρ_{ssd})	2,34	2,53
Su emme (Se) %	9,62	4,11

Tane yoğunluğu olarak, referans betonda kullanılacak olan ince ve iri KA'nın 2,66g/cm³ iken GDA yoğunlukları ince için 2,34 g/cm³, iri için 2,53 g/cm³ bulunarak KA'ya göre daha hafif yoğunluğa sahip oldukları görülmüştür.

Su emme yüzdelik oranlarında ince KA su emme oranı %0,58 iken, ince GDA'nın su emme oranı %9,62 olduğu, iri KA'nın su emme oranı %0,30 iken, iri GDA agreganın %4,11 olduğu bulunmuştur. Su emme ile ilgili yapılan deney sonuçlarından; GDA'nın su emme oranı ile KA'nın su emme oranı arasında büyük fark olduğu görülmüştür.

GDA'nın yüzeyindeki çimento hamuru kalıntıları ve diğer atıklardan gelen tozların bu duruma sebebiyet verdiği daha önceki çalışmalarda da vurgulanmıştır.

3.1.4. GDA'nın yassılık indeksi

İri GDA için 4,75-9,5 mm arası ve 9,5-12,5 mm arası sınıflar için yassılık indeksine bakılmıştır. Yassılık indeksi sonundaki 9,5-12,5 mm malzeme grubu Şekil 3.5'te görülmektedir.



Şekil 3.6. 9,5-12,5 mm GDA'nın yassılık indeksi sonundaki malzeme ayrışımı

Çizelge 3.3. GDA'nın yassılık indeksi değerleri

GDA Tane Büyüklüğü (mm)	4,75-9,5	9,5-12,5
Elek göz açıklığı (mm)	4,5	6,3
Alınan Numune (gr)	500	500
Elekten Geçen (gr)	133	60
Fl _i (%)	26,6	12
TS EN 933-3 Kategori	Fl ₃₅	Fl ₁₅

Aynı zaman GDA'larımız Bölüm 2.2.4'de ASTM C33/C33M-11a'da belirtilen kusurlu tane oranının %30'u geçmemesi kriterine uymaktadır.

3.1.5. GDA'nın aşınmaya karşı direnci (Los Angeles)

ASTM C 131'de belirtilen yöntemle, Los Angeles parçalanma dayanımını belirlemek için için 4,5-9,5mm arası iri GDA'dan alınan malzeme miktarı 5000 gr.

Los Angeles cihazında 500 devirden sonra alınan malzemenin 1,7mm'lik elek üzerinde kalan malzeme miktarı $m=3603\text{gr}$.

$$LA = (5000 - 3603) / 5000 = 0,28$$

Yüzdelik Değeri: %28 olmasından dolayı ASTM C 131'de belirtilen, yapılarda kullanılacak agregalardaki kaybın %50'yi geçmemesi gerekir kriterine uygun sonuç olduğu ve beton agregası olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.



Şekil 3.7. Aşınma deneyi numunesi

Yapılarda kullanılacak olan agregaların tabi tutuldukları testlerden olan yassılık indeksi ve aşınma direnci testlerini GDA üzerinde uygulandığında yapılarda kullanılabilir durumda olduğu sonucuna varılmıştır.

3.2. Çimento

Deneysel çalışmada TS EN 197-1 standardına uygun üretilen Portland Çimentosu CEM 1 42,5 R tipi çimento kullanılmıştır. Bu tip çimentonun, TS EN 197-1 standardında belirtilen özellikleri Çizelge 3.4’te verilmiştir (Yurt Çimento 27.07.2018).

Çizelge 3.4. TS EN 197-1 göre Portland Çimentosu CEM 1 42,5 R özellikleri

Kimyasal Özellikler	
Kükürt Trioksit (SO ₃)	≤ % 4,0
Klorür (Cl ⁻)	≤ % 0,1
Kızdırma kaybı	≤ % 5,0
Çözünmeyen kalıntı	≤ % 5,0
Standart Fiziksel Özellikler	
Priz Başlama Süresi	≥ 60 dakika
Genleşme	≤ % 10 mm
2 Günlük Dayanım	≥ 20,0 MPa
28 Günlük Dayanım	≥ 42,5 MPa ≤ % 62,5 MPa
Diğer Özellikler	
Özgül Yüzey (Blaine)	3400 – 3900 cm ² /gr
Yoğunluk	3,00 -3,15 gr / cm ³

3.3. Beton Karışım Suyu

Beton karışımında Ankara ili, İmrahor bölgesindeki deneysel çalışmaların yapıldığı Doku Beton A.Ş.’nin hazır beton santralinde bulunan kuyu suyu kullanılmıştır.

3.4. Akışkanlaştırıcı ve Süper Akışkanlaştırıcı Katkı Maddeleri

%100 KA ve %15 GDA ikame edilmiş beton karışımlarına TS EN 934-2+A1 beton katkı maddeleri standardına uygun çimento ağırlığının %1,25 oranında akışkanlaştırıcı, %30, %45 ve %60 GDA ikame edilmiş beton karışımlarında da yine aynı standarda uygun, çimento ağırlığının %1,20 oranında süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

Çizelge 3.5. Karışımlarda kullanılan katkı maddelerinin özellikleri

	Akışkanlaştırıcı	Süper Akışkanlaştırıcı
Renk	Kahverengi	Kahverengi
Bağıl Yoğunluk (g/cm ³)	1,097	1,046
pH Değeri	4,7	4,81
Katı Madde Miktarı (%)	22,95	17,15
Suda Çözünen Klorür (%)	0,03	0,011
Alkali Miktarı (%)	<5	0,87

3.5. Beton Karışım Tasarımı

TS 802'ye göre yapılan, beton karışım tasarımında su/çimento oranı tüm gruplarda 0,57 olacak şekilde sabit tutulmuştur. %100 KA ve %15 GDA ikame edilmiş beton karışımlarında çimento ağırlığının %1,25 oranında akışkanlaştırıcı, %30, %45 ve %60 oranlarında GDA ikame edilmiş beton karışımlarında çimento ağırlığının %1,20'si oranında süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. GDA'lı gruplarda KA yerine hacimce %15,%30,%45 ve %60 oranlarında GDA ikame edilerek beton numuneleri hazırlanmıştır.

Deneyisel çalışma için, %100 KA ve %15, %30, %45, %60 GDA ikame edilen her grup için, 6 adet 15*15*15 küp ve 3 adet 10*10*40 prizma numune olmak üzere yaklaşık olarak 35dm³ beton üretilmiştir. Çizelge 3.6'da belirtilen hacim sütununda 1 m³ beton

hacmine, kimyasal katkı maddesi ile hava miktarının hacimleri dahil edilerek verilmiştir.

Çizelge 3.6. %100 KA ile üretilen 1m³ beton için malzeme miktarları

	Hacim (m ³)	Ağırlık (kg)
Çimento	113	350
Su	200	200
0-4 mm Agregası (%50)	336,5	895
4-12 mm Agregası (%50)	336,5	895
Akışkanlaştırıcı	4	4,39
Hava	10	0
Toplam	1000	2344,39

Çizelge 3.7. 1m³ Beton karışımlarında kullanılan GDA ve KA miktarları (kg)

Karışım	Karışımındaki GDA oranı	GDA		KA	
		0-4 mm	4-12 mm	0-4 mm	4-12 mm
KA	0	0	0	895	895
GDA _{İN15+İR15}	15	118	128	761	761
GDA _{İN30+İR30}	30	236	255	627	627
GDA _{İN45+İR45}	45	354	383	492	492
GDA _{İN60+İR60}	60	472	511	358	358

3.6. Taze Beton Deneyleri

3.6.1. Çökme (Slump) deneyi

Taze beton deneyleri TS EN 12350-2'ye uygun olarak yapılmıştır. Standartta belirtilen çökme hunisine taze beton üç kademede ve her bir kademede 25 defa, Ø16 çapında şişle şişlenerek huni doldurulmuştur. Huni kaldırıldıktan sonra, betondaki çökme miktarı betonun kıvamını gösterir.



Şekil 3.8. Betonda slump deneyi

3.7. Sertleşmiş Beton Deneyleri

3.7.1. Basınç dayanımı deneyi

15*15*15cm boyutlarındaki küp numunelerin 28 günlük basınç dayanımı tespiti TS EN 12390-3 standardına uygun olarak yapılmıştır. Basınç deneyinde, 0,6MPa/s hızla yükleme yapılmıştır.

3.7.2. Eğilmede çekme dayanımı deneyi

Betonun eğilmede çekme dayanımı tespit etmek için, TS EN 12390-5 standardındaki kriterler uygulanmıştır. Eğilmede çekme dayanımı deneyinde, 28 günlük 10*10*40cm boyutlarındaki prizma numuneler kullanılmıştır. Numunelere tek eksenli (orta noktadan) yükleme yapılmış olup 3 noktalı eğilmede çekme deneyi uygulanmıştır. Mesnetler arası mesafe 30 cm olacak şekilde cihaz ayarlanmıştır. Cihazın yükleme hızı 0,4 kN/s seçilmiştir. Numunelerin kırılma anındaki yükleri kN cinsinden tespit edilmiştir. Tek eksenli yüklemelerde;

$\sigma_e = 3PL/2bd^2$ denkleminde eğilmede çekme dayanımı tespit edilmiştir. Denklemden

σ_e = Eğilme dayanımı,

P: Kırılma anındaki yük (kN),

L: Mesnetler arasındaki mesafe (m)

b: Kirişin eni (m),

d: Kirişin yüksekliği (m) gösterir (Erdoğan 2007).



Şekil 3.9. Eğilmede çekme dayanımı tespiti

3.7.3. Birim hacim ağırlığı

Beton numuneler, 24 saat boyunca etüvde kurutulduktan sonra tartılarak etüv kurusu ağırlığı bulunmuş ve 15*15*15 cm ebatlarındaki numunenin hacmine bölünerek birim hacim ağırlıkları hesaplanmıştır.

3.7.4. Kılcal geçirimlilik deneyi

Boyutları, 15*15*15cm. olan küp numuneler, doygun yüzey kuru haliyle tartıldıktan sonra, sadece bir yüzeyinin suya temas edecek şekilde açık bırakılıp, numunenin diğer yüzeyleri izolasyon bandıyla Şekil 3.9’da görüldüğü gibi geçirimsiz hale getirilmiştir.



Şekil 3.10. Kılcal geçirimliliğin tespit edilmesi

Kılcal geçirimlilik katsayısının öğrenilmesi için hazırlanan numuneler, Şekil 3.10’daki gibi sadece etrafı geçirimsiz hale getirilen yüzeyin suya temas edecek şekilde deney düzeneğine yerleştirilmiştir.



Şekil 3.11. Beton numunelerinin su yüzeyine yerleştirilmesi

Su yüzeyine konulma anından itibaren 24 saat boyunca numuneler bu durumda bekletilmiştir.

$c = m \cdot 100 / (F \cdot \sqrt{t})$ denklemiyle kılcallık katsayısı bulunmuştur (Tosun 2018).

Bu denklemde;

c: Kılcallık katsayısı ($\text{g}/(\text{cm}^2 \cdot \sqrt{t})$)

m: Emilen su miktarı (g),

F: Numunenin suya temas ettiği yüzey alanı (cm^2)

T: Zaman (dakika)

3.7.5. Su emme oranı

Su emme oranı TS 3624'e uygun olarak bulunmuştur (TS 3624 1981). Numune 100°C 'de etüvde kurutularak ağırlığı (m_1) alındıktan sonra 24 saat boyunca su içinde tutulmuştur. 24 saat sonunda sudan çıkarılan numune tartılıp m_2 ve ağırlığı kaydedilmiştir.

$Se = (m_2 - m_1) \cdot 100 / (m_1)$ (Erdoğan 2007) denklemiyle su emme oranı bulunmuştur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

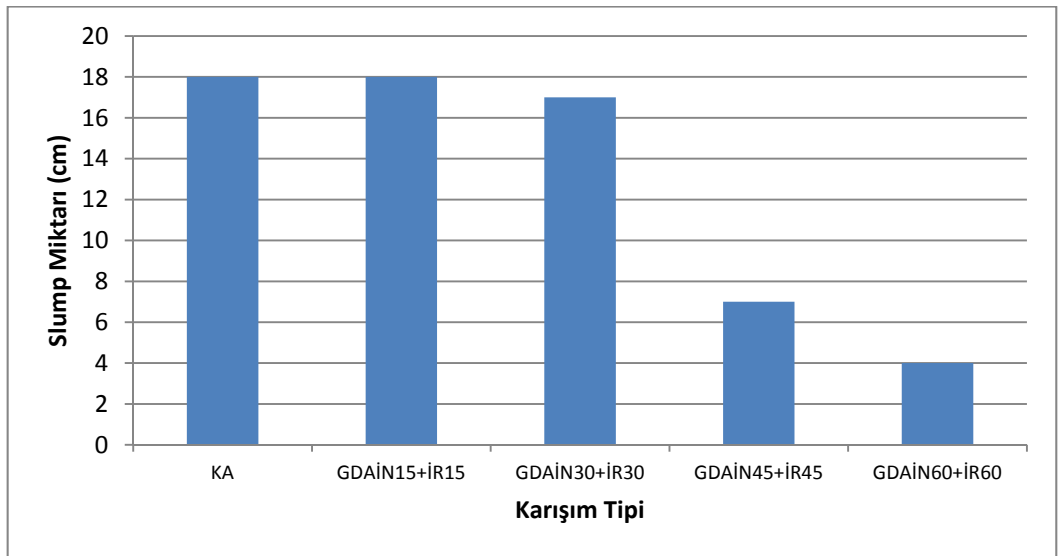
4.1. Taze Beton Deney Sonuçları

4.1.1. İşlenebilirlik

Beton karışımlarında su/çimento oranı sabit olup, işlenebilirliğini sağlamak için, %100 KA ve %15 GDA akışkanlaştırıcı ve %30, %45 ve %60 GDA kullanılan karışımlarda süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Slump deneyi sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiş olup bu sonuçlar Şekil 4.1’de grafik olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Beton karışımlarının slump değerleri

Karışım Tipi	KA	GDA _{İN15+İR15}	GDA _{İN30+İR30}	GDA _{İN45+İR45}	GDA _{İN60+İR60}
Slump Miktarı (cm)	18	18	17	7	4



Şekil 4.1. Beton karışımlarının slump değerleri

Şekil 4.1’de, %15 GDA ve %100 KA kullanılan karışımların slump değerinin aynı olduğu görülmektedir. %30 GDA ikame edilmiş karışımın slump değeri de %15 GDA ve %100 KA’ya yakın çıktığı tespit edilmiştir. En düşük slump değeri %60 GDA karışımından elde edilmiştir.

Bu sonuçlara göre GDA miktarı arttıkça işlenebilirliğin azaldığı gözlenmiştir. Bu durum su emme miktarı fazla olan GDA’da karışım suyunun bir kısmının agrega tarafından emilmesiyle açıklanabilir. Bu konudaki deneysel çalışmalarda,

Durmuş vd (2008) farklı oranlarda iri GDA kullanarak elde ettikleri taze beton karışımlarının, slump değerlerinin 18-22 cm arasında değişiklik gösterdiğini, beton karışımlarda kullanılan GDA miktarı arttıkça slump değerinin düştüğünü açıklamışlardır.

Topçu ve Guncan (1995),su miktarını değiştirmeden, farklı miktarlarda GDA kullanarak yaptıkları deneysel çalışmada, karışımdaki GDA miktarı %50’den fazla olduğunda betonun işlenebilirlik özelliğinde azalma olduğunu açıklamışlardır.

Bu duruma çözüm olarak, Poon *et al.* (2004), beton karışımlarında kullanılan GDA’nın içerisinde bulunan nemin artırılmasıyla taze betonun işlenebilirliğinin artacağı belirtmişlerdir.

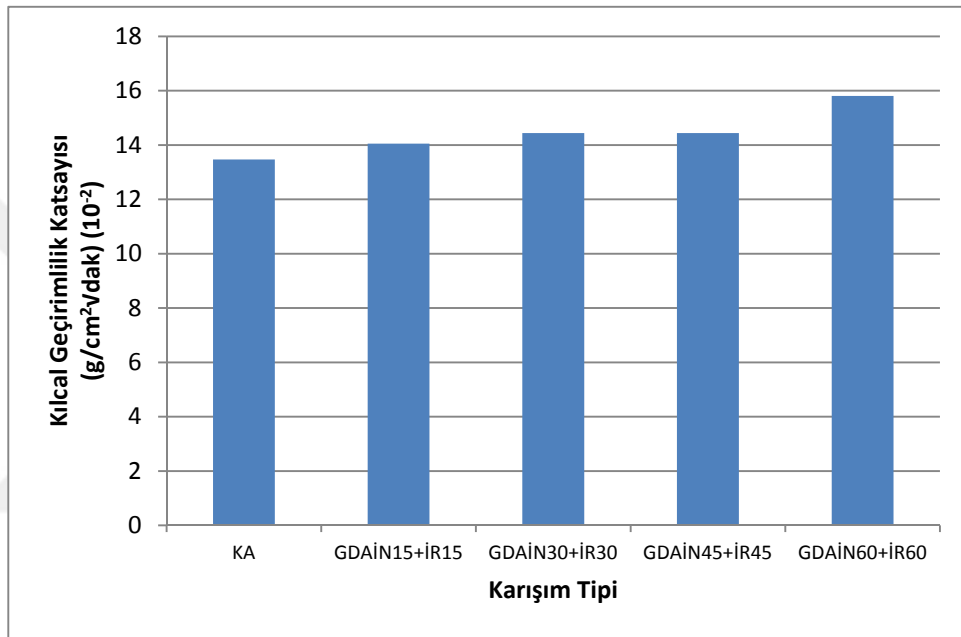
4.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

4.2.1. Kılcal geçirimlilik

28 günlük deney numunelerinin, kılcal geçirimlilik deney sonuçları aritmetik ortalama olarak Tablo 4.2’de verilmiş ve sonuçların grafik olarak Şekil 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. Kılcal geçirimlilik katsayısı deney sonuçları

Karışım Tipi	KA	GDA _{İN15+İR15}	GDA _{İN30+İR30}	GDA _{İN45+İR45}	GDA _{İN60+İR60}
Kılcal Geçirimlilik Katsayısı (10^{-2})	13,47	14,05	14,44	14,44	15,81

**Şekil 4.2.** Kılcal geçirimlilik katsayısı değerleri (10^{-2})

Kılcal geçirimlilik katsayısını bulmak için yapılan deneysel çalışmanın sonuçları; karışımlarda kullanılan GDA miktarı arttıkça, kılcal geçirimlilik katsayısının arttığı belirlenmiştir. En düşük kılcal geçirimlilik katsayısı ortalaması KA karışımına ait iken, en yüksek kılcal geçirimlilik katsayısının %60 GDA'ya ait olduğu görülmüştür.

Erdoğan (2007), su/çimento oranının 0,5 gibi bir değerden yüksek olması durumunda, beton hacmindeki boşlukların tamamen kapanma durumunun olmadığını ve bu durumdan dolayı betondaki geçirimliliğin arttığını açıklamıştır.

GDA'ların su emme miktarları yüksek olmasından dolayı, taze betonda işlenebilirliği sağlamak için, GDA kullanılan beton karışımlarında su/çimento oranı 0,5 ve üzeri seçilmektedir. Örneğin;

Belen *et al.*(2011) deney çalışmalarında su/çimento oranını, 0,5 ve 0,65 olarak belirlemişlerdir.

Başka bir örnekte, Katz (2003) GDA ile ilgili deneysel çalışmasında beton karışımındaki su/çimento oranını 0,6 -0,75 arası olarak belirlemiştir.

Demirel ve Şimşek (2015), hedef dayanımı C25 olan GDA'lı beton elde etmek için su/çimento oranını 0,53 olarak belirlemişlerdir.

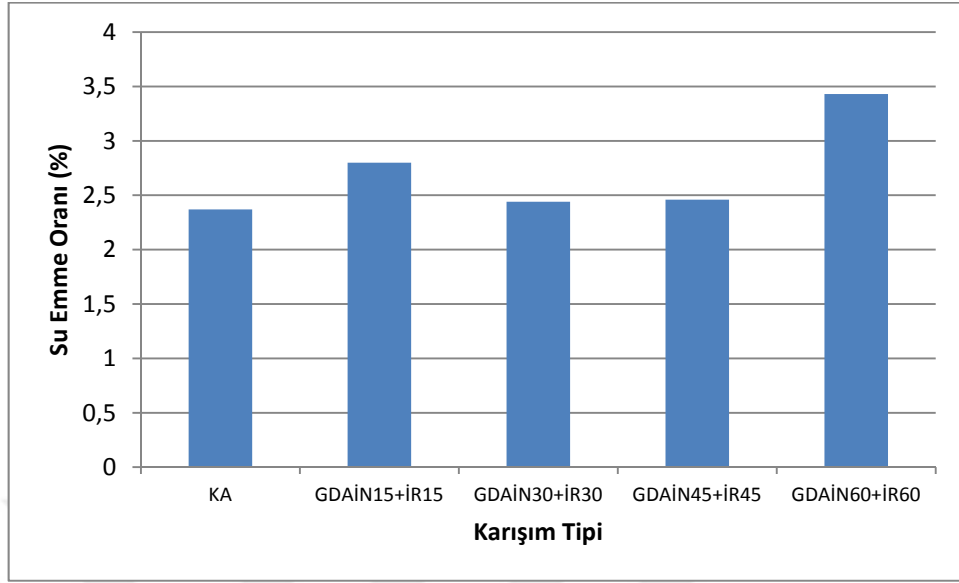
Örneklerde görüldüğü gibi GDA kullanılan beton karışımlarında, su/çimento 0,5 üzeri seçilmesinden dolayı Erdoğan'ın (2007) açıklaması üzerine beton hacmindeki boşlukların oluşması kaçınılmaz olmaktadır. GDA miktarı arttıkça betondaki agregaların suyu emme miktarının fazla olmasından dolayı beton hacmindeki kılcal boşluk miktarı artmıştır. Bu nedenle deneysel çalışmadaki, %60 GDA ikameli betonun kılcal geçirimlilik katsayısının yüksek olduğu bu nedene bağlanmaktadır.

4.2.2. Su emme oranı

Sertleşmiş beton numunelerde su emme oranı ile ilgili yapılan deneysel çalışmaların sonuçları, Çizelge 4.3 ve Şekil 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Beton numunelerinin su emme oranları (%)

Karışım Tipi	KA	GDA _{İN15+İR15}	GDA _{İN30+İR30}	GDA _{İN45+İR45}	GDA _{İN60+İR60}
Su Emme Oranı (%)	2,37	2,8	2,44	2,46	3,43



Şekil 4.3. Beton numunelerin su emme oranları (%)

Tablo 4.3’deki beton numunelerinin su emme yüzdesi değerlerine bakıldığında, %2,37 ile en az su emme oranına sahip karışım, KA olmuştur. En çok su emme miktarının tespit edildiği karışım ise %60 GDA olmuştur. Deney sonuçlarına bakıldığında, KA ve %15, %30, %45 oranlarında GDA ikame edilmiş olan beton karışımlarının su emme oranlarının birbirine yakın olduğu ancak %60 GDA kullanılan beton numunelerinin su emme oranının değeri yüksek çıkmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarında da, beton karışımlarında ikame edilen GDA miktarının %50’nin üzerine çıktığında betonun fiziksel ve mekanik davranışlarının değiştiği açıklanmıştır.

Topçu ve Guncan (1995) deneysel çalışmalarının neticesinde, karışımdaki GDA miktarı %50’den fazla olduğunda betonun işlenebilirlik özelliğinde azalma olduğunu açıklamışlardır. Ayrıca; betonun işlenebilirlik özelliğinin azalmasındaki temel nedenlerden birisi olarak beton karışımında kullanılan agregaların su emme oranlarının yüksek olmasıdır. GDA ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda da GDA’nın su emme oranlarının yüksek olduğu görülmektedir.

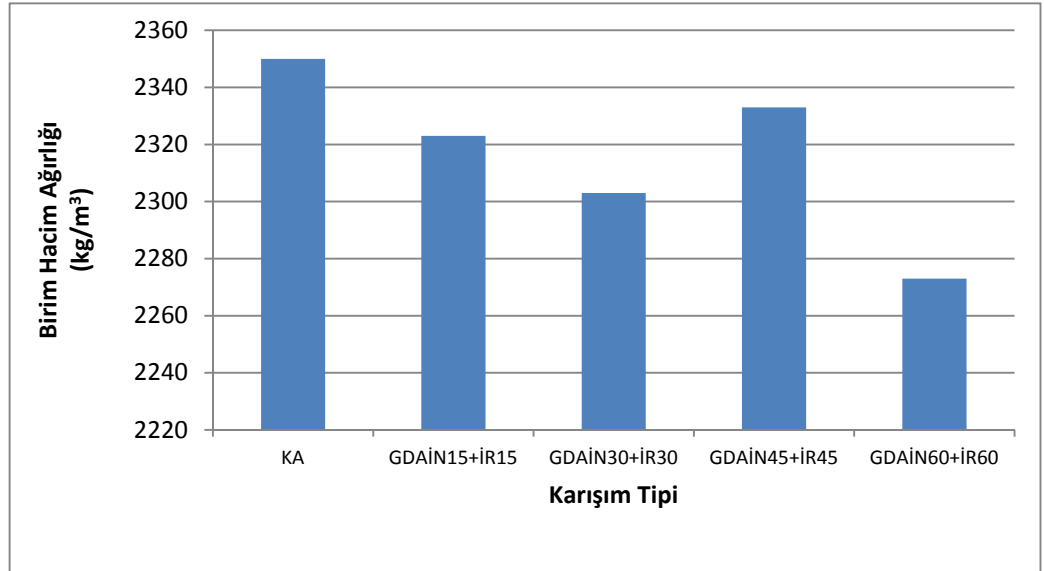
Seara-Paz *et al.* (2016), deneysel çalışmalarında kullandıkları GDA'nın su emme oranını %5,35 olarak bulmuşlardır. Navdeep and Singh (2016), 0-10mm tane büyüklüğündeki GDA'ların su emme oranını %5,35 olarak tayin etmişlerdir.

4.2.3. Beton birim hacim ağırlığı

Beton numunelerinin, 28 günlük kür süresinden sonra beton birim hacim ağırlığı aritmetik ortalamaları değerleri Çizelge 4.4'te verilmiş ve Şekil 4.4'te grafik olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Sertleşmiş beton numunelerinin birim hacim ağırlığı değerleri

Karışım Tipi	KA	GDA _{İN15+İR15}	GDA _{İN30+İR30}	GDA _{İN45+İR45}	GDA _{İN60+İR60}
Birim Hacim Ağırlığı (kg/m ³)	2350	2323	2303	2333	2273



Şekil 4.4. Sertleşmiş beton numunelerinin birim hacim ağırlığı değerleri

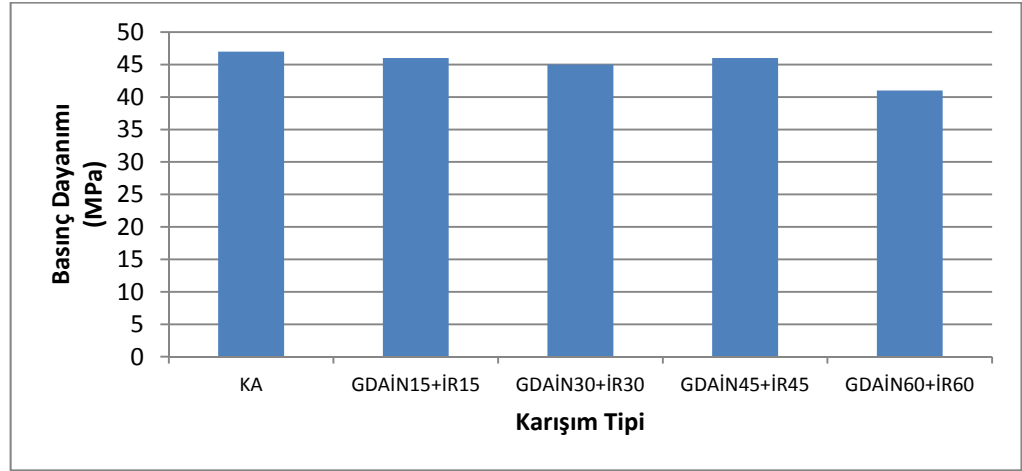
Beton birim hacim ağırlık deney sonuçları karşılaştırıldığında en yüksek değere KA numune sahip iken, %60 GDA numunelerin en düşük birim hacim ağırlığına sahip olduğu görülmüştür. %45 GDA'ya kadar birim hacim ağırlıkları arasında belirgin bir fark görülmemiştir. Bu durumda birim hacim ağırlığı KA'ya göre düşük olan GDA'ların betondaki ikame oranı %50 geçtikten sonra betonun birim hacim ağırlığında KA'ya göre bariz fark görülmektedir.

4.2.3. Basınç dayanımı

Beton karışımlarının 28 günlük küp ortalama basınç dayanımları Çizelge 4.5'te verilmiş, basınç dayanımlarının aritmetik ortalama değerleri ise grafik olarak Şekil 4.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. Beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımı değerleri

Karışım Tipi	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)
DA	47
GDA _{IN15+IR15}	46
GDA _{IN30+IR30}	45
GDA _{IN45+IR45}	46
GDA _{IN60+IR60}	41



Şekil 4.5. Beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımı

Padmini *et al.* (2008), GDA'lı betonlarda, karışım içerisinde daha büyük taneli GDA kullanılarak, çimento miktarını arttırıp, daha düşük su/çimento oranı ile hazırlanan beton karışımlarından elde numunelerin basınç dayanımının yüksek olacağı açıklanmıştır.

Hansen (1992), GDA kullanılarak üretilen betonun basınç dayanımı ile normal agregası ile üretilen betonun basınç dayanımını karşılaştırdığında; GDA'lı betonun basınç dayanımının %5 ile %24 oranları arasında daha düşük bir değerde olduğunu belirtmiştir.

Limbachiya (2004), GDA ile ilgili yaptığı çalışmanın sonucunda, %20 oranında iri GDA kullanarak elde ettiği beton numunelerinin basınç dayanımında herhangi olumsuz bir olmadığını belirtmiştir. Ancak karışımdaki GDA miktarı arttıkça basınç dayanımının azaldığını, bu olumsuz durumun su/çimento oranının ayarlanmasıyla çözülebileceğini açıklamıştır.

Deneysel çalışma da beton numunelerinin; Çizelge 4.5'te görüldüğü üzere 28 günlük basınç dayanımları birbirleriyle kıyaslandığında %100 KA basınç dayanımı ile %15, %30 ve %45 GDA arasında belirgin fark görülmeyp yaklaşık olarak benzer basınç dayanımına sahip olduğunu deneysel çalışma neticesinde görülmüştür. GDA ikame oranı %60 olduğunda diğer beton sınıflarına oranla daha düşük basınç dayanımı

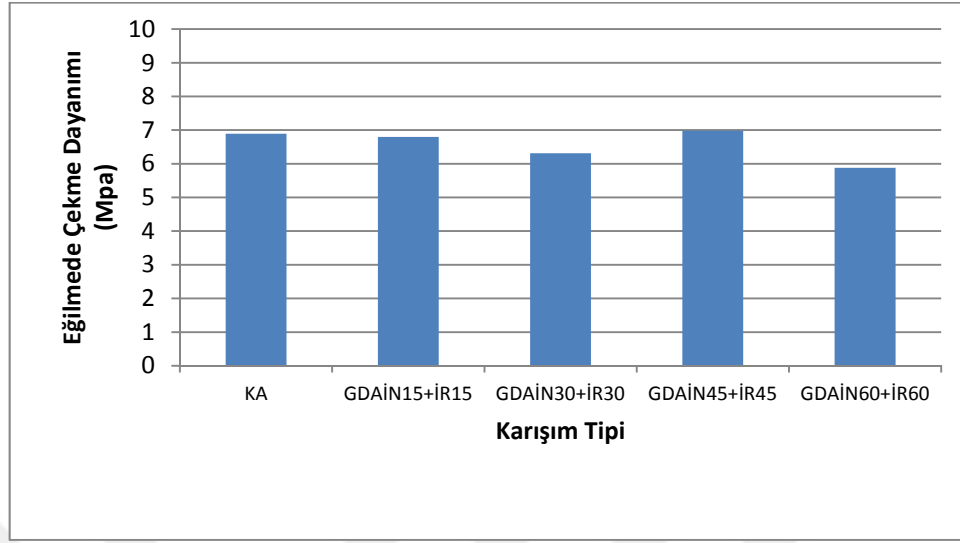
çıkıştır. %15 ve %45 oranlarında GDA ikame edilen beton numunelerin basınç dayanımları referans betonun basınç dayanımına göre yaklaşık olarak % 2 oranında düşüş göstermiştir. %30 GDA ikame edilen betonun basınç dayanımı ise %4 oranında referans betonun basınç dayanımına göre daha düşük çıkmıştır. Referans betonun basınç dayanımına göre en fazla basınç dayanımı kaybını %13 oranında beton karışımında %60 GDA ikame edilen beton numuneleri göstermiştir. Ancak, bu düşüşe rağmen %60 GDA ikame edilen betonun C 30/37 sınıfında olduğu görülmüştür. Bu basınç dayanımı deney sonuçları; basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı vb. gibi testlere tabi tutulan beton deney numune atıklarından elde edilen GDA'nın beton karışımında %60 oranına kadar kullanılmasında basınç dayanımı olarak herhangi bir olumsuz durumun gerçekleşmediğini göstermiştir.

4.3.3. Eğilmede çekme dayanımı

10*10*40 cm. ebatlarındaki numunelerin 28 günlük eğilmede çekme dayanımı tespit edilmiştir. Çizelge 4.6'da eğilmede çekme dayanımlarının aritmetik ortalama değerleri verilmiş ve grafik olarak Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.6. Beton numunelerinin 28 günlük eğilmede çekme dayanımı değerleri

Karışım Tipi	Ortalama Eğilmede Çekme Dayanımı (Mpa)
KA	6,9
GDA _{IN15+İR15}	6,8
GDA _{IN30+İR30}	6,3
GDA _{IN45+İR45}	6,9
GDA _{IN60+İR60}	5,8



Şekil 4.6. Beton numunelerinin 28 günlük eğilmede çekme dayanımı değerleri

Padmini *et al.* (2008), GDA ile ilgili yaptığı deneysel çalışmaların sonucunda, GDA ile üretilen beton numunelerinin eğilme dayanımının, normal betonla üretilen numunelerin eğilme dayanımına göre daha düşük olduğunu belirtmiştir.

Katz (2003) deneysel çalışmalarının sonucunda, GDA'lar yikanarak beton karışımlarında kullanıldığında betonun basınç ve eğilmede çekme dayanımının artacağı yönünde açıklamalarda bulunmuştur.

Deneysel çalışmadaki, beton numunelerinin, eğilmede çekme dayanımları; basınç dayanımları ile benzer durum söz konusudur. Beton numunelerinden %60 GDA ikame oranına sahip olan beton karışımının eğilmede çekme dayanımı, diğer beton çeşitlerinin eğilmede çekme dayanımına göre düşük çıktığı görülmüştür. Beton karışımlarında %15 ve %30 GDA ikame edilen numunelerin eğilmede çekme dayanımları, referans betonun eğilmede çekme dayanımlarına göre sırasıyla yaklaşık olarak %1,5 ve %9 oranında daha düşük çıktığı tespit edilmiştir. %45 GDA ikame edilen beton numuneleri ile referans betonun eğilmede çekme dayanımları aynı değerde olduğu görülmüştür.

%60 GDA ikame edilen betonun eğilmede çekme dayanımı ile referans betonun eğilmede çekme dayanımı arasında yaklaşık olarak %16 oranında düşüş olduğu görülmüştür.



5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. GDA'nın su emme değerlerinin KA'ya göre yüksek olduğu görülmüştür. GDA'nın yüzeyindeki çimento hamuru kalıntılarının su emme oranının yüksek çıkmasına neden olduğu düşünülmektedir.
2. GDA'ların doygun kuru yüzey özgül ağırlığı KA'ya göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir.
3. Çalışmada kullanılan beton deney numune atıklarından elde edilen GDA'ların aşınmaya karşı yeterli dirence sahip olduğu görülmüştür.
4. GDA ile üretilen betonların işlenebilirliği azalmıştır. GDA miktarı arttıkça slump değerleri düşmüştür.
5. GDA ile üretilen betonların basınç ve çekme dayanımı KA'lı gruplara göre daha düşüktür.
6. Dayanımdaki azalmalara karşın, çalışmada en yüksek ikame oranı olan %60 GDA kullanılan beton numunelerin C 30/37 sınıfında olduğu belirlenmiş olup, betonlarda kırmataş agregaya bir alternatif olabileceği görülmüştür.
7. Eğilmede çekme dayanımı deneyi sonucunda, %60 GDA ikame edilen beton numunesi ile %100 KA referans betonun dayanımı arasında %16 bir düşüş olduğu görülmüştür. Bölüm 2.4.2'de belirtildiği gibi eğilmede çekme dayanımındaki bu düşüşün mineral katkı kullanılmasıyla giderilebileceği öngörülmüştür (Ajdukiewicz and Kliszczewicz 2002).
8. Çalışmada kullanılan, GDA'ların yassılık indeksi ve aşınmaya karşı direnci vb. tane özellikleri ve bu GDA'ların kullanıldığı beton numunelerin basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı deneyleri sonucunda elde edilen dayanım değerleri, basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı vb. gibi testlere tabi tutulan beton deney numune atıklarından elde edilen GDA'ların beton karışımlarında kullanılabileceği görülmüştür.
9. GDA kullanmak suretiyle doğal kaynakların tüketilmesinin önüne geçilebileceği gibi, daha ekonomik betonlar üretilir.

10. GDA ile daha yüksek dayanımlar elde etmek için çalışmalar sürdürülebilir.
11. GDA'lı betonların durabilite özellikleri incelenerek beton teknolojisinde kullanılabilirliği ile ilgili çalışmalar yapılabilir.
12. GDA ikame edilen beton karışımlarına farklı mineral ve kimyasal katkıları kullanılmasıyla elde edilen beton numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri incelenebilir.



KAYNAKLAR

- Adam, J.P., 2005. Roman Building: Materials and Techniques, Routledge, ISBN 0-203-98436-6, s.116, Londra.
- AFAD (T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı) 2014. Müdahale, İyileştirme ve Sosyoekonomik Açından 2011 Van Depremi Raporu. s. 104.
- Ajdukiewicz, A. And Kliszczewicz, A., 2002. "Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPC"., Cement and Concrete Composites, 24:269–279.
- Aktüre, S., 1985. Osmanlı Devleti'nde Taşra Kentlerindeki Değişimler. Tanzimat'tan Cumhuriyet'e Türkiye Ansiklopedisi, İletişim Yayınları, İstanbul, Cilt 4, 891-904.
- Anonim, 2018a. <https://www.ebelediye.info/dosya/belediyelerde-kati-atik-yonetimi> (29.07.2018)
- Anonim, 2018b. <http://yurtcimento.csglobal.com.tr/tr/cem-i-425-r-portland-cimentosu> (27.07.2018)
- 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 Sempozyumu, İstanbul, s.33-52.
- ASTM C 131, 1994, Standard test method for resistance to degradation of small-size coarse aggregate by abrasion and impact in the Los Angeles machine, Annual Book of ASTM Standarts.
- ASTM C33/C33M-11a, 2011. Standard specification for concrete aggregates, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Philadelphia, PA.
- ASTM D8-11, Standard Terminology Relating to Materials for Roads and Pavements, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011,
- Atıcı M., 2016. Hazır Beton Tesislerinde Kullanılan Geri Dönüşüm Sistemlerinin Yaşam Döngü Maliyeti Analizleri. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya.
- Baradan, B., Yazıcı, H., Aydın, S., 2015. Agregalar. Beton, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, 127-193
- Belen, G. F., Fernando, M. A., Diego, C. L., Sindy, S. P., 2011. Stress–strain relation ship in axial compression for concrete using recycled saturated coarse aggregate, Construction and Building Materials, 25 (5), 2335-2342.
- Bernstein J., 2004. Social Assessment and Public Participation in Municipal Solid Waste Management, Toolkit. ECSSD-Urban Environment Thematic Group, 210
- British Geological Survey (BGS), 2008. Managing aggregates supply in England :areview of the current system and future options, Nottingham.
- 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.
- Çelik, B., 2007. Recycled Aggregate Concrete At Elevated Temperatures, Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul
- Çevre ve Orman Bakanlığı'nın 07 Mayıs 2004 tarihli ve B.18.0.ÇYO.0.04.00.01/4338-25392 sayılı Genelge

- Çevre ve Şehir Bakanlığının, 27 Nisan 2015 tarihli, 84492432/010.06.02-11495 sayılı yazısıyla, 2015/04 nolu Genelge
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇSB), 2012-1. Ulusal Geri Dönüşüm Strateji Belgesi Ve Eylem Planı (2014-2017) . Çevre ve Şehircilik Bakanlığının basılmamış verileri.
- Demir, İ., 2009. İnşaat Yıkıntı Atıklarının Beton Üretiminde Kullanımı ve Beton Özelliklerine Etkisi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Dergisi, 2009-02 105 -114.
- Demirel, C. ve Şimşek, O., 2015, Erken Yaşdaki Atık Betonların Geri Dönüşüm Agregası Olarak Beton Üretiminde Kullanılabilirliği Ve Sürdürülebilirlik Açısından İncelenmesi. Araştırma Makalesi, Düzce Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi, 3, 226-235
- Demirel, C. ve Şimşek, O., 2014. C30 Sınıfı Atık Betonun Geri Dönüşüm Agregası Olarak Beton Üretiminde Kullanılabilirliği .Selçuk Üniversitesi Mühendislik Bilim ve Teknik Dergisi, c.2, s.2,
- Demirel, C., Toklu, K. Ve Şimşek, O., 2015. Geri Dönüşüm Agregasının Beton Üretiminde Kullanılabilirliği Ve Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi. ISBS 28-30 MAY 2015, Ankara.
- Dhir, R. K., Limbachiya, M. C., Leelawat, T., 2000. Use of Recycled Concrete Aggregate in High-Strength Concrete, Materials and Structures, 33 (9), 574-580.
- Tosun, K., Malzeme dersi, Fiziksel ve Kimyasal Özellikler. İzmir, http://kisi.deu.edu.tr/kamile.tosun/Malzeme_ders_8_FIZIKSEL-k.pdf (26.07.2018)
- 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.
- Eguchi K., Teranishi K., Nakagome A., Kishimoto H., Shinozaki K. and Narikawa M., 2007. Application of recycled coarse aggregate by mixture to concrete construction, Construction and Building Materials 21, 1542–1551
- EHE-08, 2008. Spanish instruction for structural concrete. Spain: Ministry of Public Works, 482-485.
- Erdoğan, T. Y., 2007. Beton, Genişletilmiş 2. Baskı, Odtü Yayıncılık, Ankara.
- European Aggregates Association (UEPG), 2006. Aggregates from Construction & Demolition Waste in Europe, http://www.uepg.eu/uploads/documents/pub-12_enplaque.pdf.
- 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.
- Gonçalves, P. ve Brito, J., 2010. “Recycled aggregate concrete (RAC) –comparativ analysis of existing specifications”, Magazine of Concrete Research, 62:339-346.
- 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.
- Hansen, T.C., 1992. Recycling of Demolished Concrete and Masonry, First Edition, Taylor and Francis Book Co., Oxon.
- Hansen, T.C. ve Narud, H., 1983. “Strength of Recycled Concrete Made from Crushed Concrete Coarse Aggregate”, ACI Concrete International, Design and Construction, 5:79-83.

- Hasaba, S., Kawamura, M., Torijik, K. ve Takemoto, K., 1981. "Drying Shrinkage and Durability of The Concrete Made of Recycled Concrete Aggregate" Translation of The Japan Concrete Institute, 3:55-60.
- Kahraman, E., Kılıç, M.A., 2016. Agregada Madenciliğinin Hazır Beton Üretimindeki Yeri. 8.Uluslararası Kırmataş Sempozyumu, Kütahya.
- Katz, A., 2003. Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete. Cement and Concrete Research, 33(2), 703-711.
- 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
- Kou, S.C., Poon, C. ve Chan, D., 2005. "Properties Of Steam Cured Recycled Aggregate Fly Ash concrete", <http://congress.cimne.uupc.es/rilem04/admin/Files/FilePaper/p200.pdf>, 17 Mayıs 2005
- Köken, A., Köroğlu, M.A ve Yonar, F., 2008. Atık Betonların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği. Selçuk Üniversitesi Teknik-Online Dergi, 7, 36-48.
- KPMG Sektörel Bakış - İnşaat – 2018, <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/tr/pdf/2018/01/sektorel-bakis-2018-insaat.pdf> (14.07.2018)
- Limbachiya, M.C., 2004. "Coarse Recycled Aggregates for Use in New Concrete", Engineering Sustainability, 157:99-106.
- Liu, Y., Wang, 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.
- Malesev, M., Radonjanin, V. And Marinkovic, S., 2010. Recycled concrete as aggregate for structural concrete production. Sustainability, 2, 1204-1225.
- 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.
- 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.
- Oikonomou, N.D., 2005. "Recycled concrete aggregates", Cement and Concrete Composites, 27:315–318.
- Özalp, F., Yılmaz, H.D., Kaya, Ö., Kara, M., Kılıç, Y. 2015. İnşaat Ve Yıkıntılardan Geri Kazanılan Agregaların Çeşitli Beton Elemanlarının Üretiminde Değerlendirilmesi. 9. Beton Kongresi, Antalya. 411-420.
- Özcan, K., 2006. Tanzimat'ın kent reformları: Türk imar sisteminin kuruluş sürecinde erken planlama deneyimleri (1839-1908). Osmanlı Bilimi Araştırmaları, 7(2), 149-180.
- Öztürk, M., 2005. İnşaat/Yıkıntı Atıkları Yönetimi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- Öztürk, Ö., Çelikkol M. ve Erkan M., 2007. "Türkiye Agregada Sektör Raporu", Kasım-Aralık:52-56.
- 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
- Parekh, D.N., Modhera, C.D., 2011. "Assessment Of Recycled Aggregate Concrete" , Journal of Engineering Research and Studie, 2:1-9

- Poon, C.S., Shui, Z.H., Lam, L., Fok H. ve Kou S.C., 2004. "Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of concrete", *Cement and Concrete Research*, 34:31–36.
- 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.
- Rao, A., Kumar, N., Jha ve Misra, S., 2007. "Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete" *Resources, Conservation and Recycling*, 50:71-81.
- Roos, F., 2002. Ein Beitrag zur Bemessung von Beton mit Zuschlag aus Rezykliertem Gesteinskörnung nach DIN 1045-1. Doktora Tezi, Technische Universität, München. <http://www.mb.bv.tum.de/index-forschung/promotionen/Diss%20Roos.PDF>.
- 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.
- Sefidehkan, H.P., 2017. Geri Dönüşüm Agregası İle Üretilmiş Betonun Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Sofyanlı, Ö.Ö., 2015. Silis Dumanı Katkılı Geri Kazanılmış Agregalı Betonların Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- T.C. Başbakanlık, Devlet Planlama Teşkilatı, 2013. Onuncu Kalkınma Planı, 2014-2018. s. 212.
- T.C. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2013. 2014-2017. Ulusal Geri Dönüşüm Strateji Belgesi ve Eylem Planı 2014-2017. s. 113.
- T.C. Resmi Gazete, 2012. 15.12.2012 Tarih ve 28498 sayılı 6306 Sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun Uygulama Yönetmeliği.
- Tekeli, İ., 1985. Tanzimat'tan Cumhuriyete Türkiye'de Kentsel Dönüşüm. *Tanzimat'tan Cumhuriyet'e Türkiye Ansiklopedisi*, İletişim Yayınları, İstanbul, Cilt 4, 878-890.
- Tojo, N., Fischer, C., 2011. "Europe as a Recycling Society: European Recycling Policies in relation to the actual recycling achieved", *European Topic Centre on Sustainable Consumption and Production*, ETC/SCP working paper 2/2011.
- Topcu, B. I. And Guncan, F. N., 1995. "Using waste concrete as aggregate", *Cement and Concrete Research*, 25:1385–1390.
- TS EN 197-1, 2002. Çimento – Bölüm 1: Genel çimentolar – bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3624, 1981. Sertleşmiş betonda özgül ağırlık, su emme ve boşluk oranı tayini metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 706 EN 12620+A1, 2009. Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 706 EN 12620+A1, 2010. Beton agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Bakanlıklar, Ankara.
- TS 802, 2016. Beton karışım tasarımı hesap esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- TS EN 934 – 2+A1, 2012. Kimyasal katkıları – Beton, harç ve şerbet için - Bölüm 2: Beton kimyasal katkıları – Tarifler, gerekler, uygunluk, işaretleme, ve etiketleme, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-1, 2015. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler Bölüm 1: Tane büyüklüğünün dağılımının tayini - Eleme yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-3, 2015. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler Bölüm 3: tane şekli tayini-yassılık indeksi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-6, 2015. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler, Bölüm 6: Tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-2, 2010. Beton – Taze beton deneyleri – Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-3, 2010. Beton – Sertleşmiş beton deneyleri – Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-5, 2010. Beton – Sertleşmiş beton deneyleri – Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tüfekçi, M.M., 2011. Geri Kazanılmış Agregaların Beton Üretiminde Yeniden Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Türkiye Hazır Beton Birliği, 2016. Türkiye Hazır Beton Sektörü İstatistikleri 2016, <http://www.thbb.org/media/227825/thbb-%C4%B0statistikler-2016.pdf>
- Türkiye Orta Doğu Amme İdaresi Enstitüsü yerel yönetimler portalı www.yerelnet.org.tr/ilceler/ilce_belediye_nufus.php?ilceid=198534 (28.07.2018)
- Ulaştırma Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, 2008. Beton Ve Beton Malzemeleri Laboratuvar Deneyleri, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Malzeme Lab.Şubesi Müdürlüğü
- Verghese, K., Lewis, H., Fitzpatrick L., (2012). Packaging for Sustainability, Springer, New York, USA.
- 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.
- Yenice, M.S., 2014. Türkiye'nin Kentsel Dönüşüm Deneyiminin Tarihsel Analizi. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 16(1), 76-88.
- Yürek, C. S., 2013. “Kentsel Dönüşüm Uygulamaları-Hukuki, İdari ve Teknik Altyapısı”-İnşaat Mühendisleri Odası -TMH - 478 -2013/4

ÖZGEÇMİŞ

Müslüm BATMAN, 22.02.1982 tarihinde Birecik/Şanlıurfa doğumludur. İlk, orta ve lise eğitimini Gaziantep’te gördü. Lise eğitiminden sonra Mersin Üniversitesi, Mersin Meslek Yüksek Okulu’nda İnşaat bölümünü okudu. Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünden 2006 yılında mezun oldu. 2009 yılından bu yana Ankara Büyükşehir Belediyesi’nde çalışmaktadır.

