



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ AGREGALARIN HARÇ ÖZELLİKLERİNE
ETKİSİ**

HAZIRLAYAN

MUSTAFA GÜMÜŞSOY

DANIŞMAN

PROF. DR. OSMAN GENÇEL

BARTIN-2019



T.C.
BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ AGREGALARIN HARÇ ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN
Mustafa GÜMÜŞSOY

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman	: Prof. Dr. Osman GENÇEL	- Bartın Üniversitesi
Üye	: Doç. Dr. İlker TEKİN	- Karabük Üniversitesi
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi M. Yasin DURGUN	- Bartın Üniversitesi

BARTIN-2019

KABUL VE ONAY

Mustafa GÜMÜŞSOY tarafından hazırlanan “GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ AGREGALARIN HARÇ ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ” başlıklı bu çalışma, 04.12.2019 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Osman GENÇEL (Danışman)

Üye : Doç. Dr. İlker TEKİN

Üye : Dr. Öğr. Üyesi M. Yasin DURGUN

Bu tezin kabulü Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/...../20... tarih ve 20...../.....-..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. H. Selma ÇELİKİYAY
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Prof. Dr. Osman GENÇEL danışmanlığında hazırlamış olduğum “GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ AGREGALARIN HARÇ ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ” başlıklı yüksek lisans tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

04.12.2019

Mustafa GÜMÜŞSOY



ÖNSÖZ

Öncelikle mesleki hayatım ve yapmış olduğum tüm çalışmalarım süresince bilgi ve tecrübesi ile bana hayatımın her alanında yardımcı olan, tez çalışmamın oluşturulması için gerekli olan tüm çalışmaların yürütülmesinde ve karşılaşılan zorlukların giderilmesinde kılavuz olan, katkı ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen çok kıymetli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Osman GENÇEL'e bütün içtenliğimle teşekkürlerimi iletmek isterim.

Yüksek lisans eğitimim süresince gerek araştırmalarım gerekse tezimim yazım aşamasında hiçbir zaman yardımlarını esirgemeyen başta Sayın Dr. Öğr. Üyesi Emin HÖKELEKLİ'ye, ilgi ve alakasından dolayı Sayın Dr. Öğr. Üyesi M. Yasin DURGUN'a ve emeği geçen Bartın Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde görev yapan değerli hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Çimento ve agrega teminindeki yardımlarından dolayı Baştaş Çimento A.Ş.'ne ve Yapı Kontrol A.Ş.'ne teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her safhasında destek olduğu gibi tez çalışmam süresince desteklerini benden hiç esirgemeyen ve hiçbir konuda beni yalnız bırakmayan sevgili babam Hasan GÜMÜŞSOY'a, başaracağıma inanan ve güvenen sevgili annem Zehra GÜMÜŞSOY'a, her zaman her konuda en büyük destekçim olan ve arkamda duran çok kıymetli eşim Fatma GÜMÜŞSOY'a, dualarını benden hiç esirgemeyen kardeşim Mehmet GÜMÜŞSOY'a ve hem eğitim hayatımda hem de deneysel çalışmalarımı tamamlayıncaya kadar geçen süre içerisinde her aşamada bana yardımcı olan değerli arkadaşım Recep DELİBAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Mustafa GÜMÜŞSOY

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ AGREGALARIN HARÇ ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

Mustafa GÜMÜŞSOY

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Osman GENÇEL

Bartın-2019, sayfa: 63

İnşaat sektöründe en çok kullanılan ve en fazla atık oluşturan yapı malzemesi betondur. Beton üretiminde büyük oranda doğal kaynaklar kullanılmaktadır. Beton üretimiyle beraber kullanılan agrega miktarı artmakta ve bunun sonucunda kullanılabilir agrega rezervleri zamanla tükenmektedir. Bunun sonucunda da agrega ihtiyacının temininde sıkıntıların oluşacağı aşikârdır. Bu nedenle özellikle beton kullanımının fazla olduğu yerleşim bölgelerinde agrega temini için yeni çareler gerekmektedir. Doğal kaynaklar zamanla tükenirken, kentsel dönüşüm ve yeniden yapılaşma ile beraber çevresel kirlilik artmaktadır. Bu sebepten sürdürülebilir hayatta inşaat yıkıntı atıklarının çevreye verdiği zararı göz önüne aldığımızda geri kazanılmış agreganın kullanılması zorunlu kılınmaktadır. Beton endüstrisinde geri dönüşümlü malzeme kullanımı, tabii hammadde kullanımını azaltacağından dolayı ve aynı zamanda çevresel atıkları da en aza indireceği için iyi bir çözüm olacaktır. Yapılan bu çalışmada, beton atıklarından çeşitli işlemler sonucu elde edilen iri ve ince agreganın geri dönüşüm agregası olarak harç üretiminde kullanım olanakları araştırılmıştır.

Geri dönüştürülmüş agregaların harç üretimine etkisinin gözden geçirildiği bu çalışmada standart CEN kumu yerine, %0, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında geri dönüştürülmüş beton agregası (GDA) kullanılarak harç numuneler oluşturulmuştur. Üretilen harçlar, kalıplara doldurularak katılaşması için 24 saat beklenmiştir. Daha sonra kalıptan çıkarılan

numunelere hava k r  uygulanmıştır. Üretilen harç numuneleri üzerinde kıvam tayini, birim hacim ağırlık, eğilme ve basınç dayanımı, ultrases geçiş süresi, su-emme oranı, kapilarite, aşınma (böhme) deneyi, elastisite modülü tayini ve donma-çözülme incelemeleri yapılmıştır. GDA oranının artması ile birlikte, numunelerin basınç ve eğilme dayanımları azalmıştır. GDA oranının artmasıyla numunelerin kılcallık katsayı değerleri, su emme kapasiteleri ve kuruma büzülmeleri de artmıştır. Ayrıca GDA oranını yükseltmek aşınma dayanıklılıklarını da arttırmıştır.

Anahtar Kelimeler: Harç, geri dönüşümlü agrega, basınç ve eğilme dayanımı, kılcallık katsayısı, kıvam, donma-çözülme, aşınma dayanıklılığı

Bilim Alanı Kodu: 91127

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE IMPACT OF RECYCLED AGGREGATES ON THE FEATURES OF MORTAR

Mustafa GÜMÜŞSOY

Bartın University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Thesis Advisor: Prof. Osman GENÇEL

Bartın-2019, pp: 63

The construction material which is mostly used in the construction sector and creates the most waste is the concrete. The natural sources are used in the generation of concrete. The amount of aggregate which is used increases with the generation of concrete so the useable aggregate reserves give out in time. As a result of this situation, it is clear that the problems will be seen in the supply of aggregate need. Thus, the new remedies are essential for the supply of aggregate in the dwellings zones especially where the use of concrete is too much. As these natural sources give out in time, so the environmental pollution increases with the urban transformation and reengineering. Thus, when we consider the harm of building wreckage waste on the environment in the sustainable life, it requires that the recycled aggregate is used. As the use of recycled material in the concrete industry will decrease the use of natural rawmaterial and also, will minimize the environmental wastes, it will be a well solution. In this study, the possibilities of using coarse and fine aggregate obtained from concrete wastes as a result of various processes in recycling mortar production were investigated.

The samples were made with the use of recycled aggregates (RA) at the rates of 0%, 25%, 50%, 75% and 100% instead of the standard aggregate in this concept that the recycled aggregates' impact on the generation of mortar is reviewed. The obtained mortars were

waited for 24 hours in order that they make the set, after they were filled in the templates. After that, the air cure was implemented to the samples which were taken from the template. The reviews of consistency designation, unit-volume weight, bending and compressive strength, ultrasonic pulse duration, water-absorption rate, capillarity, abrasion expression, elasticity module designation and freezing-dissolve were made on the generated mortars. The samples' compressive and bending strength decreased to the contrary with the increase of RA's rate. The samples' capillarity coefficient values, water-abrasion capacity and desication-contraction increased with the increase of recycled aggregate rate. Moreover, to raise RA's rate increased the abrasion strength.

Key Words: Mortar, recycled aggregate, compressive and bending strength, capillarity coefficient, consistency, freeze-thaw, abrasion resistance

Scientific Field Code: 91127

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY	ii
BEYANNAME.....	iii
ÖNSÖZ	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
TABLolar DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 LİTERATÜR ÖZETİ.....	4
2.1 Harç.....	4
2.1.1 Bağlayıcı Özelliklerine Göre Harçlar.....	4
2.1.2 Kullanım Yerlerine Göre Harçlar.....	5
2.2 Betonu Oluşturan Malzemeler	6
2.2.1 Agrega	6
2.2.2 Çimento	7
2.2.3 Su	8
2.2.4 Katkı Maddeleri	9
2.2.4.1 Kimyasal Katkılar.....	9
2.2.4.2 Mineral Katkılar (Puzolanik Malzemeler)	9
2.3 Geri Dönüşüm.....	10
2.3.1 Geri Kazanım ve Geri Dönüşüm Kavramları.....	10
2.3.2 Geri Dönüşümün Önemi	10
2.3.3 Geri Dönüşümün Tarihçesi	11
2.3.4 Geri Dönüşüm Agregası.....	12
2.3.5 Geri Dönüşüm Agregasının Yapısı	12
2.3.6 Geri Dönüşüm Agregasının Kullanım Amacı.....	13
2.3.7 Geri Dönüşüm Agregasının Kullanım Alanları	14

2.3.8 Geri Dönüşüm Agregası İle İlgili Standartlar	14
2.3.9 Geri Dönüşüm Agregasını Elde Etme Süreci.....	18
2.4 Ülkemizde İnşaat Sektörü ve Beton Üretimi	21
2.4.1 İnşaat Yıkıntı Atıkları	23
2.4.2 Ülkemizde Kentsel Dönüşüm	24
2.4.3 İnşaat Atıklarının Dünyada ve Ülkemizdeki Durumu	25
2.5 Ülkemizde Beton Üretiminde Kullanılan Agregası Miktarı	26
 BÖLÜM 3 MATERYAL VE METOT	 28
3.1 Kullanılan Malzemeler	28
3.1.1 Çimento	28
3.1.2 Agregası	30
3.1.2.1 Normal Agregası	30
3.1.2.2 Geri Dönüşüm Agregası	30
3.1.3 Karışım Suyu.....	31
3.2 Metot.....	32
3.2.1 Harç Karışımlarının Hazırlanması	32
3.2.2 Harç Üretimi.....	32
3.3 Taze Beton Deneyleri	34
3.3.1 Yayılma Tablası Deneyi.....	34
3.4 Sertleşmiş Beton Deneyleri	35
3.4.1 Birim Hacim Ağırlık ve Su Emme Deneyleri	35
3.4.2 Donma-Çözülme Deneyi.....	36
3.4.3 Eğilme Dayanımı Deneyi	37
3.4.4 Basınç Dayanımı Deneyi	37
3.4.5 Ultrases Geçiş Hızlarının Belirlenmesi	38
3.4.6 Kapilarite (Kılcal Su Emme) Deneyi	39
3.4.7 Aşınma (Böhme) Deneyi	40
3.4.8 Elastisite Modülü Deneyi.....	41
 BÖLÜM 4 BULGULAR VE TARTIŞMA	 43
4.1 Taze Beton Deney Sonuçları	43

4.1.1 Yayılma Tablası Deneyi (İşlenebilirlik).....	43
4.2 Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları	44
4.2.1 Birim Hacim Ağırlık Deneyi.....	44
4.2.2 Su Emme Oranı	45
4.2.3 Eğilmede Çekme Dayanımı	46
4.2.4 Basınç Dayanımı	47
4.2.5 Ultrases Geçiş Süreleri	49
4.2.6 Kapilarite (Kılcal Su Emme).....	50
4.2.7 Aşınma (Böhme) Deneyi	51
4.2.8 Elastisite Modülü Deneyi	52
 BÖLÜM 5 SONUÇ VE ÖNERİLER	 53
 KAYNAKLAR.....	 56
BİBLİYOGRAFYA	60
ÖZGEÇMİŞ.....	63

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
No	No
2.1:	GDA ile üretilen betonda ara yüzey bölgeleri..... 13
2.2:	Geri dönüşüm agregasının kaynakta ayrıştırılması. 18
2.3:	İnşaat yıkımına ait görsel. 19
2.4:	İnşaat yıkıntılarının geri dönüşüm tesisine nakliyesi. 19
2.5:	Geri dönüşüm tesisinde geri dönüşüm agregası elde edilmesi..... 20
3.1:	Harç yapımında kullanılan CEM I 42,5 R Portland çimentosu..... 28
3.2:	Harç yapımında kullanılan standart kum. 30
3.3:	Geri dönüşüm agregası granülometri eğrisi. 30
3.4:	Geri dönüşüm agregası elde etme süreci. 31
3.5:	Harçların üretim aşaması..... 33
3.6:	Harçların kalıplara yerleştirilmesi ve kür havuzu. 33
3.7:	Harçlarda yayılma çaplarının belirlenmesi. 34
3.8:	Numunelerin etüvde kurutulması ve tartılması. 36
3.9:	Donma-çözülme uygulanan numunelerde basınç dayanımı tespiti..... 36
3.10:	Numuneler üzerinde yapılan eğilmede çekme dayanımı deneyi..... 37
3.11:	Numunelerde basınç dayanım deneyi. 38
3.12:	Numune üzerine jel sürülmesi ve ultrases geçiş süresinin belirlenmesi. 39
3.13:	Harç numunelerinin etüvde kurutulması ve kılcal su emme deneyi. 40
3.14:	Aşınma (Böhme) Deney Düzeneği. 41
3.15:	Elastisite modülünün belirlenmesinde kullanılan deney düzeneği. 42
4.1:	Harç karışımlarının yayılma çapları ortalamaları..... 43
4.2:	Harç karışımlarının birim hacim ağırlık ortalamaları (kg/m ³). 44
4.3:	Harç karışımlarının su emme oranı grafiği (%). 45
4.4:	Harç numuneleri 7. ve 28. gün eğilmede çekme dayanımı değerleri (MPa)..... 46
4.5:	(4×4×16) cm prizma numuneleri basınç dayanım değerleri grafiği (MPa). 47
4.6:	Donma-çözülme deneyi yapılan harç numuneleri basınç dayanımı (MPa). 48
4.7:	Silindir harç numunelerin ortalama ultrases geçiş hızları (km/s)..... 49
4.8:	Harç numunelerin kılcalık katsayısı değerleri..... 50
4.9:	Numunelerin aşınma kayıpları (cm ³ /50 cm ²)..... 51
4.10:	Harç numunelerinin elastisite modülü değerleri (GPa)..... 52

TABLolar DİZİNİ

Tablo	Sayfa
No	No
2.1: Bağlayıcı özellikleri ve karışım muhtevasına göre harç çeşitleri.....	4
2.2: Harç numunelerde en düşük basınç dayanımları.....	6
2.3: Hong Kong şartnamesinde belirtilen sınır değerler.	16
2.4: Bazı ülkelerde geri dönüşüm agregası ile ilgili standartlar ve yürürlüğe girdiği yıl. .	16
2.5: Dünya genelinde izin verilen geri kazanılmış agrega kullanım oranları.....	17
2.6: Farklı standartlarda bulunan yapısal betonların GDA kullanım oranları ve basınç dayanımı sınır değerleri.	18
2.7: Bazı ülkelerde yıllara göre hazır beton üretimi (milyon m ³).....	22
2.8: Ülkemizde yıllara göre hazır beton üretimi (THBB 2016).	23
3.1: CEM I 42,5 R Portland çimentosunun kimyasal kompozisyonu.	29
3.2: CEM I 42,5 R Portland çimentosunun fiziksel özellikleri.	29
3.3: Deneylerde kullanılan agregaların fiziksel özellikleri.	31
3.4: Harç karışım oranları.....	32
5.1: GDA ile normal agreganın yapılan deneylerde karşılaştırılması.	53

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Yüzey alanı
Al ₂ O ₃	: Alüminyum Oksit
°C	: Santigrat derece
CaO	: Kalsiyum Oksit
cm	: Santimetre
cm ²	: Santimetrekare
cm ³	: Santimetreküp
D	: Yoğunluk
dk	: Dakika
€	: Avrupa Birliğine Üye Ülkelerin Ortak Para Birimi (Euro)
F	: Uygulanan Kuvvet
f _c	: Basınç Dayanımı
Fe ₂ O ₃	: Demir oksit
g	: Gram
kg	: Kilogram
K ₂ O	: Potasyum Oksit
m ³	: metreküp
M _d	: Suya doymuş kütle
MgO	: Magnezyum Oksit
mm	: Milimetre
MPa	: Megapaskal
μ	: Mikrosaniye
μm	: Mikrometre
N	: Newton
Na ₂ O	: Sodyum Oksit
s	: Saat
SiO ₂	: Silisyum dioksit
SO ₃	: Kükürt trioksit
V	: Hacim
W	: Su emme oranı

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ACI	: Amerika Beton Enstitüsü
C	: Beton, Concrete
CEM	: Çimento Tipi
CEN	: Avrupa Standartlar Komitesi
ERMCO	: Avrupa Hazır Beton Birliği
GDA	: Geri Dönüşüm Agregası
KMPG	: Kraayenhof, Peat, Mitchell, Goerdeler (Şirket kurucularının soy isimlerinin baş harfleri)
TÇMB	: Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği
THBB	: Türkiye Hazır Beton Birliği
TS EN	: Türk Standartları Avrupa Normları
YFC	: Yüksek Fırın Cürufu

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Beton günümüzde kullanımı en yaygın olan yapı malzemelerden bir tanesidir. Neredeyse tüm inşaat yapılarında beton kullanılmaktadır. Aynı zamanda gün geçtikçe önemi de artan bir yapı malzemesidir. Son yılların en önemli yapı malzemelerinden olan beton için, çeşitli alternatifler üzerinde durulmakta ve zamanla bunlar geliştirilmektedir. Betonun yapılarda tercih edilmesinin başlıca sebepleri; dayanıklılığı, yangına karşı direncinin yüksek oluşu, su geçirimsizliği, üretiminin ekonomik olması, performansının yüksek olması, enerjide sağladığı verimlilik ve yerinde imalatın yapılabilmesi gibi başlıca özellikleridir (Köksal, 2004).

Çimento, su, agrega ve gerekli durumlarda birtakım katkı maddeleri karıştırılarak üretilen beton; günümüzde büyük küçük birçok inşaat alanında kullanılan ve karışımından başlayarak uygulanmasına kadar bütün aşamalarda önemli ölçüde dikkat ve titizlik gerektiren önemli bir yapı elemanıdır (Şensöz, 2000).

İçinde bulunduğumuz çağda, dünyada tahmini olarak 10 milyar m³ hazır beton üretimi yapılmaktadır. Avrupa Hazır Beton Birliği ERMCO'nun 2016 yılı kaynaklarına göre ülkemizde üretilen beton miktarı 109 milyon m³ seviyelerindedir. Dünya genelinde bu nicelikte betonun oluşturulabilmesi için gereken agrega miktarı ise aşağı yukarı 7 milyar m³ tür. Türkiye'de ise bu rakam ortalama 76 milyon m³ gibi bir değere denk gelmektedir. Gün geçtikçe bu miktarların artan kentleşmeyle beraber artacağı da aşîkârdır (THBB, 2018).

Beton üretiminde %70-75 oranında kullanılan malzemenin agrega olmasından dolayı betona duyulan ihtiyacın, bileşimini büyük miktarda oluşturan agrega kaynaklarında yeni arayışlar üzerinde çalışmalar yapılmasına neden olmuştur. Bu çalışmaların başında ise yapım ve yıkım atıklarından elde edilen geri dönüşüm agregasının beton üretiminde kullanılması fikri II. Dünya Savaşı sonrası yeniden yapılanma sürecine giren Avrupa'da ortaya çıkmıştır. Bu konu hakkında birçok araştırmacı çalışma yapmış ve geri dönüşüm

agregasının betonun fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özelliklerini hangi yönde etkilediğini araştırmışlardır (Mehta, 2002).

Diğer bir açıdan baktığımızda, yıkılan binalardan arta kalan betonlar döküldükleri alanlarda çevre kirliliğinin oluşmasına yol açmaktadır. Böyle bir durumda çevre yeteri kadar korunamayacaktır. Bu atıkların beton içinde agrega olarak kullanılması çevrenin korunması açısından oldukça önemlidir. Çünkü doğal hayatın tehlikelere karşı korunması için emek verilen çalışmalar içerisinde geri dönüşüm çalışmaları oldukça önemlidir. Atıklardan elde edilen yapı elemanlarının kullanıldığı bölgelerde çevre kirliliğinin önüne geçmesinin yanı sıra ekonomik bakımdan da yarar sağlayarak devamlılığı da oluşturacaktır (İpekçi ve Karadayı, 2017).

Doğal hayatı koruyabilmek için yapılan çevresel çalışmaların en önemlilerinden bir tanesi, doğal kaynak kullanımının azaltılmasının sağlanarak çevresel atıkların geri dönüşümüdür. Günümüzde inşaat yıkıntı atıklarının, özellikle de elde edilen atık betonların beton üretiminde GDA olarak kullanımı bu atıkların çevreye verdiği zararları minimum düzeye indireyecek, aynı zamanda da doğal agrega kaynaklarının tüketimini ve bunların çevresel etkilerini azaltacaktır (Tu ve Chen, 2006).

Ülkemizde özellikle son yıllarda meydana gelen depremler göstermiştir ki, meydana gelen bu depremlerde yıkılan yapılardan oluşan inşaat enkaz atıklarının sahillerde dolgu malzemesi olarak kullanılması veya yerleşim alanları dışındaki vadilere (uygun alanlara) doldurulması çevresel etkileri göz önüne aldığımızda, bu kullanılan atıklar oldukça sakıncalı durumları meydana getirmektedir. Ayrıca büyük yerleşim alanlarında doğal agrega kaynaklarının yeterli miktarda bulunmaması ve bulunan kaynakların da şehir merkezinden bir hayli uzakta olması, ekonomik açıdan baktığımızda da aynı zamanda bu ağır malzemelerin yerleşim merkezlerine olan nakliyesinin maliyetleri arttırdığı gibi karayollarının da bu taşınma esnasında bozulması bir başka nedendir. Düşünülmesi gereken bir diğer etken ise, oluşan bu inşaat yıkım atıklarının %75'ini betonun oluşturması ve ortaya çıkan bu atık betonun da hiçbir şekilde değerlendirilmeyerek atılması ile bu inşaat yıkım atıklarının yığıldıkları yerlerde kapladıkları alan kaybına ve bununla beraber çevre kirliliğine neden olmasıdır. Atık sorununu çözmenin en iyi yolu iyi planlanmış bir katı atık yönetimi oluşturmak ve bu atıkların çevreye olan zararlarını en aza indirmektir (Savaş, 2002).

Bir yanda tüklenen doğal agrega kaynakları, diğer yanda ise deprem, yangın, kentsel dönüşüm, bozulma ve restorasyon gibi nedenlerle oluşan yıkıntı atıklarının atılacağı alanların azlığı ve çevreye verdiği zararlar, insanları geri dönüşüm agregası konusu üzerinde yoğunlaşmaya zorlamıştır. GDA ile ilgili yapılan çalışmalar hem Türkiye hem de dünya ülkeleri için büyük önem arz etmektedir. Birçok ülkede yapılan deneysel araştırmalar sonucunda beton agregası ile ilgili standartlarda geri dönüşüm agregasının kullanımı ile ilgili bilgilere de yer verilmeye başlanmıştır.

Bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmanın amacı inşaat yıkım atıklarından elde edilen geri dönüşüm agregası ile üretilen harcın fiziksel ve mekanik özelliklerini aynı karışım özelliklerine sahip doğal agregalı harç ile karşılaştırıp, GDA'nın harç özelliklerine etkisini incelemektir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Harç

Çimento veya kireçten meydana gelen bağlayıcı içeriğine, su ve kumun eklenmesi neticesinde üretilen plastik bir kıvama sahip yapı elemanına harç denmektedir. Harçlar kullanılma yerlerine göre yatay ve düşey durumda iken aynı zamanda üzerlerine aktarılan yükleri ileten bir yapıda olmalıdır. Harcın su ve rutubet karşısında dirençli olması, geçirimsiz bir durumda bulunması, güzel neticede yapışması ve istenilen seviyede dayanımı sağlaması gerekmektedir Harçlar, bağlayıcı özellikleri ve karışım muhtevasına göre Tablo 2.1’de gösterilmektedir (Tüfekçi, 2011).

Tablo 2.1: Bağlayıcı özellikleri ve karışım muhtevasına göre harç çeşitleri.

Bağlayıcı Türü	Karışım İçeriği	Kullanıldığı Alan
Çimento	0-4 mm Kum + Çimento + Su	Dış Duvarların Yapımı
Kireç	Kum + Sönmüş Kireç + Su	İç Bölme Duvarlar ve Rutubetsiz Yüzeyler
Alçı	Su + Alçı	Dekorasyon
Lifli	Lif + Çimento + Tercihe Göre Kireç	Tamir Harcı
Horasan	Tuğla Kırıntısı + Kireç	Tarihi Yapı Restorasyonu

2.1.1 Bağlayıcı Özelliklerine Göre Harçlar

Çimento harcı; 0-4 mm kum, çimento ve suyun belirli miktarlarda karıştırılmasıyla oluşturulur ve genellikle dış duvar örme işlerinde kullanılır. Bu harcın içeriğindeki çimento miktarı ise, yaklaşık olarak 250-350 kg arasındadır.

Kireç harcı; kum, sönmüş kireç ve suyun belirli miktarlarda karıştırılmasıyla elde edilir. Sektörde, pek tercih edilmemekle beraber bazı durumlarda iç duvarlarda ve rutubetsiz yüzeylerde tercih edilmektedir.

Alçı harcı; su ile beraber alçının belirli miktarlarda karıştırılmasıyla meydana gelen yapı malzemesidir. İnşaat sektöründe dekoratif amaçlı olarak kullanılır ve aynı zamanda bölme duvarlarda da tercih edilmektedir.

Lifli harç; çelik veya elyaf liflerin çimento, kireç, vb. harçların içerisine belli miktarlarda eklenmesiyle oluşturulur. Genellikle tamir harcı olarak kullanımı karşımıza çıkmaktadır.

Horasan harcı; tuğla kırıkları ile kirecin birlikte kullanılmasıyla elde edilir. İnşaat sektöründe tarihi yapılarda kullanılan en önemli yapı malzemelerinden birisidir.

2.1.2 Kullanım Yerlerine Göre Harçlar

Duvar harcı; belirli miktardaki kumun içerisine bağlayıcı malzemeler, su ve gerekli durumlarda bazı katkı maddelerinin eklenmesiyle elde edilen harçtır. Kullanım amacı ise, duvar örgü malzemelerini birbirine bağlamaktır.

Sıva harcı; yapılarda duvarların sıvanması amacıyla kullanılan harç türüdür. Kum içeriğine belli miktarda bağlayıcı, su ve bazı katkı maddelerinin ilave edilmesiyle oluşturulur.

Harç malzemesinin en önemli özelliklerine bakarsak; basınç dayanımı, geçirimsizliği, aşınma ve dış etkenlere karşı dirençli olması, yapışması gibi etkenler başta gelmektedir. Bir harcın dayanıklı olmasını; fiziksel ve kimyasal etkenlerin yanı sıra tasarımı, kullanılan malzeme çeşidi, nasıl uygulandığı, bakım ve onarımı gibi pek çok faktör etkiler (Akbulut, 2006).

Duvar yapımında, sıklıkla takviyeli harç kullanılmaktadır. Kireç, harcın katılaşma süresini uzatmaktadır. Aynı zamanda su kaybını da yavaşlatmaktadır. Çimento ise harcın dayanıklılığını yükseltmektedir. Ayrıca; harç yapımında kullanılan su miktarının, harcın dayanımına etki edeceğinden dolayı, iyi pişmemiş tuğlanın emeyeceği miktar da göz önünde bulundurularak ilave edilmesi gerekir (Bayülke, 2011)

Harçlar, yapılarda örülen duvarlarda koruyucu kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca; tuğla, bimsblok, vb. duvar yapımında kullanılan malzemeler için bağlayıcı özellik göstermektedir. Çevresel etki altındaki duvarlarda harçların mekanik ve fiziksel özelliklerinin iyi olması şarttır (Güneş vd., 2010). Aynı zamanda harçların, yeteri kadar

plastik ve mukavemetli olması, aderansı iyi sağlaması ve yüksek kompoziteye sahip olması gerekmektedir. Ayrıca, harçların iyi yapışması, suyu geçirmemesi, boşluklu yapı barındırmaması ve dış etkenlere karşı yüksek dayanım sağlaması istenmektedir (Şimşek, 2013). Tablo 2.2’de ise harçlarda olması gereken en düşük basınç dayanımları verilmiştir.

Tablo 2.2: Harç numunelerde en düşük basınç dayanımları.

Harç Sınıfı	kg / cm ²
A	150
B	110
C	50
D	20
E	5

2.2 Beton Oluşturan Malzemeler

2.2.1 Agregalar

Beton içerisinde kullanılan ve %60-80 oranlarına ulaşarak betonun iskeletini meydana getiren kum-çakıl ve kırmataş benzeri malzemelere agregalar denilmektedir. Agregalar; doğal agregalar (kum, çakıl, kırmataş) ve yapay agregalar (yüksek fırın cürufu, genleştirilmiş kil, perlit) olmak üzere iki kısımda değerlendirilirler. Agregalar, betonun hacimsel olarak en büyük kısmını meydana getirdiğinden, kullanılmasından önce özelliklerinin deneylerle belirlenmesi gerekir. Ayrıca betonun içerisinde kullanılacak olan agregalar TS EN 706 12620 + A1 standardına uygun olmalıdır (ASR, 2006).

Su ve agregalar dünya geneline baktığımızda, tüketimin en yüksek seviyede olduğu yapı elemanlarında başlı çekmektedir. Üretilen ürünler arasında dünya üzerinde; petrol, doğalgaz ve kömür 92 milyar €’luk miktarı ile ilk üç içerisinde yer alırken agregalar ise, 24 milyar € gibi büyük bir rakamla bu malzemeleri takip etmektedir. Türkiye’de kişi başına baktığımızda kullanılan agregalar miktarı 4 ton civarlarında iken bu değer Avrupa’da 7 ton gibi bir rakama denk gelmektedir (Baradan vd., 2012).

Agregalar; doğal ve yapay yollarla elde edilebildiği gibi atıkların dönüşümüyle de üretilir. Agregalar, birleştirici özellikteki kum ile etkileştirildiğinde harç meydana gelir ve bu karışıma da agregalar eklenirse beton üretilmiş olur. Bir beton karışımının büyük kısmını

agrega meydana getirdiği için, agreganın karışımdaki etkisi yüksektir. Aynı zamanda karışımlardaki agreganın dayanımı, mineral yapısı, pürüzlü bir yüzeye sahip olması, gözenekli yapısı, en yüksek seviyedeki tane boyutu, temizlik seviyesi, vb. gibi nitelikler betonun yapısını önemli ölçüde etkilemektedir (Şimşek, 2009).

İyi bir harç üretimi için agregalarda bulunması gerekli olan koşulları sıralayacak olursak:

- Sağlam yapıda olmalı, aşınmamalı, dağılmamalı ve suyun etkisiyle yumuşamamalıdır.
- Tanelerin biçimi, dokusu iyi olmalıdır.
- Agregada içinde zararlı maddeler bulunmamalıdır.
- Tanelerin büyüklük bakımından dağılımı, amaca ve standartlara uygun belirlenmelidir.
- Donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir (Celep, 2011).

Agrega; harcın içeriğinde en fazla miktarda bulunan yapı malzemesi olup, harcın önemli bir kısmını meydana getirdiği için kullanılması harçta ucuzluk sağlar. Ancak, verimli olabilmesi için yeterli işlenebilirlik ve dayanımı sağlanması gerekir. Çimentonun su ile birleşerek oluşturduğu hamur, agregayı birbirine kuvvetlice bağlayarak dayanımı yüksek bir yapı malzemesinin ortaya çıkmasını sağlar. Fakat bu bağın güvenli bir biçimde sağlanabilmesi için agreganın temiz olması, bir başka deyişle killi olmaması gerekir. Meydana gelen betonun dayanımı, içeriğinde kullanılan malzemelerin dayanımları ile doğrudan ilgili olduğu için, agreganın dayanımının yüksek olması istenir (Akman, 1990).

2.2.2 Çimento

Kil ve kalker taşlarının yüksek sıcaklıkta birlikte pişirilmesinden sonra öğütülerek elde edilen bir yapı bileşenidir. Çimento üretiminde, yaklaşık %23 oranında kil ve %77 oranında kalker kullanılmaktadır. Bu karışım döner fırın içerisinde 1400 C° sıcaklığa kadar ısıtılıp aniden soğutulur. Elde edilen madde klinker ismini alır ve ince öğütülüp su ile reaksiyona girerek bağlayıcılık özelliği kazandırılır. Çimento aynı zamanda tekrar suyla temas ettiğinde yumuşamayıp dayanım kazanan mineral kökenli, hidrolik bir bağlayıcıdır (Doğangün, 2008).

Çimento, beton ve harç üretiminde en önemli bileşendir. Su ile çimento karıştırıldığında, katılaşma olayına çimentonun hidratasyonu denilmektedir. Yaygın olarak kullanılan Portland Çimentosunda normal koşullar altında hidratasyon işlemi 1-10 saat arasında gerçekleşmektedir. Çimento hidratasyon sonucunda dayanım kazanmaktadır. Çimentolar için üç standart dayanım sınıfı tanımlanmaktadır. Bunlar; 28 günlük basınç dayanımı 32.5 MPa, 42.5 MPa ve 52.5 MPa olarak sınıflandırılmaktadır (Postacıoğlu, 1987)

Çimentonun meydana gelmesinde klinker bir ara ürün olarak görülmektedir. Klinkerin yanında belirli miktarlarda kalsiyum sülfatın da işleminden geçirilerek ezilmesi neticesinde ürün ortaya çıkmış olur. Çimento üretim durumlarına göre sınıflandırılır. Bunlar;

- CEM I sınıf Portland Çimentosu
- CEM II sınıf Portland-Kompoze Çimento
- CEM III sınıf Yüksek Fırın Cürüflu Çimento
- CEM IV sınıf Puzolanlı Çimento
- CEM V sınıf Kompoze Çimento

2.2.3 Su

Çimento ve agregayla beraber betonu oluşturan bir diğer malzeme sudur. Betonda karışım suyunun iki önemli işlevi vardır. Birincisi, çimentonun kimyasal aktivitesini sağlaması ve çimentonun kimyasal reaksiyonunu tamamlayarak mukavemet kazandırmasıdır. İkinci önemli görevi ise agrega ile çimento hamurunun birbirine yapışmasına destek olması (aderansı) sağlamasıdır. Karışım suyuna işlenilebilirlik suyu da denilebilmektedir. Su beton içerisinde, yaklaşık olarak %14-21'lik bir yer kaplar. Kullanıldığında, betonun yapısını olumsuz yönde etkileyebilecek yabancı maddeleri içinde barındırmayan bütün doğal kaynaklı sular betonun üretim aşamalarında kullanılabilir (TS EN 1008, 2003).

Betonun yapısındaki suyun miktarı betonun sağlamlılığını etkiler. Üstün nitelikte olması ise betonun içeriğini etkiler. Suyun duru olması, içilebilen, tertemiz, lekesez ve kokmayan su olması gerekir. Şehir hattının haricindeki kaynaklardan çıkarılan suların uygunluğunun deneylerle tespit edilmesi gerekir. Betonun içeriğinde kullanacağımız suyun içeriğinde taze ve sertleşmiş betonun özelliklerine negatif etkide bulunabilecek çoğunlukta kil, silt, doğal

yapılı madde, asit, yosun, yağ atıkları ve sanayi artıkları gibi yabancı maddeler içermemelidir (Şimşek, 2016).

2.2.4 Katkı Maddeleri

Betonun hazırlanması sırasında veya hazırlanmasından hemen önce, betonun özelliklerini iyileştirmek amacıyla eklenen maddelerdir. Bu katkı maddeleri, ekonomi amacıyla kullanıldığı gibi, betonun işlenebilirliğini, dayanımını ve dayanıklılığını artırmak için de katılır. Kullanılacak katkı maddelerinin seçiminde betonarme elemanlara uzun devrede olacak etkileri göz önüne alınarak seçim yapmak gerekmektedir (Akman, 1990).

Katkı maddeleri kimyasal ve mineral olmak üzere ikiye ayrılırlar. Kimyasal katkılar; betonun akışkanlığını arttırmak, erken ve yüksek dayanıma ulaşmasına yardımcı olmak, geçirimsizliği, vb. amaçlarla kullanılmaktadırlar.

Mineral katkılar betona bazı özellikleri kazandırmak amacıyla kullanılmaktadırlar. Bu katkılar betonun hidrasyon ısını düşürür, betonun kimyasal etkilere karşı dayanımını artırır, betonun su geçirgenliğini düşürür ve betona ekonomiklik sağlar. Mineral katkılar bu özelliklerinden dolayı tercih edilir hale gelmiştir.

2.2.4.1 Kimyasal Katkılar

Kimyasal katkılar taze ve sertleşmiş beton üzerinde istenilen özellikleri sağlamak ve bazı olumsuzlukları ortadan kaldırmak için beton üretiminde kullanılan katkılardır. Kimyasal katkılar organik veya inorganik kökenli olabilirler ve çimento ağırlığının belirli yüzdesi oranında betona katılırlar. Günümüzde yaygın olarak kullanılan kimyasal katkılar, su azaltıcı (akışkanlaştırıcı), hava sürükleyici, priz hızlandırıcı, priz geciktirici ve rötre azaltıcı katkılardır (Hamalı, 2007).

2.2.4.2 Mineral Katkılar (Puzolanik Malzemeler)

Mineral katkı maddeleri, puzolanik özellik gösterdikleri için puzolan adı verilmektedir. Mineral katkılar betonun hidrasyon ısını düşürür, betonun kimyasal etkilere karşı dayanımını artırır, betonun su geçirimsizliğini düşürür ve betona ekonomiklik sağlar.

Mineral katkıları %5'ten başlayıp,%95'e kadar çimento yer değiştirmeli olarak kullanılabilirler.

Puzolanlar yalnız başlarına kullanıldıklarında çimento gibi bağlayıcılık özelliği taşımayıp ancak ince öğütüldüğünde çimento ile beraber kullanıldıklarında çimentoyla benzer bir şekilde bağlayıcılık özelliği kazanıp çimento miktarını düşürerek ekonomik katkı sağlarlar. Puzolanlar yüksek dayanıma sahip beton üretiminde de kullanılırlar (Ün, 2007).

2.3 Geri Dönüşüm

2.3.1 Geri Kazanım ve Geri Dönüşüm Kavramları

Farklı işlemlere maruz kalmış çeşitli alanlarda kullanılmış malzeme atıklarının kullanılarak yeni bir malzemeye dönüştürülmesi işlemine genel olarak “geri dönüşüm”, geri dönüşüm işlemleri ile yeniden enerji kazanımı sağlama işlemlerine ise “geri kazanım” denir. Bir başka ifade ile geri dönüşüm, kullanım dışı kalan atık malzemelerin kimyasal ve fiziksel yöntemlerle hammadde olarak imalat sürecine tekrar dâhil edilmesidir (Öztürk, 2005).

2.3.2 Geri Dönüşümün Önemi

Günümüzde nüfusun artmasına paralel olarak tüketim miktarları da artmaktadır. Artan tüketim miktarı birçok durumu da beraberinde getirmektedir. Dolayısıyla dünya üzerinde dengeler değişmektedir. Bu durum üretim için gerekli olan dünyadaki hammadde miktarının hızla azalmasına, ekolojik dengenin bozulmasına, çevre kirliliğine ve atık maddelerin çok olmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle, yeryüzünde geri dönüşümün önemi zamanla artmış ve birçok ülkede geri dönüşüm üzerine geniş çaplı araştırmalar yapılmaya başlanmış, ayrıca bazı ülkelerde geri dönüşümün yasalaşma süreci başlamıştır (Öztürk, 2005).

Geri dönüşümün önemini şu şekilde sıralayabiliriz:

- Sağladığı tasarruflarla ekonomik kazanım sağlar.
- Çevre kirliliğini azaltarak çevrenin korunmasına yardımcı olur.

- Hammadde kaynaklarının daha az tüketilmesiyle doğal kaynakların ömrünün uzamasına katkı sağlar.
- Bertaraf edilmesi gereken atık miktarının azalmasını sağlar.
- Enerji kazanımı sağlar.
- Gelecek nesillere daha temiz bir çevre bırakmamızı sağlar.
- Yeni bir sanayi sektörünün açılmasıyla iş istihdamını artırır (Khalaf ve Devenny, 2004).

2.3.3 Geri Dönüşümün Tarihçesi

Eski zamanlardan itibaren geri elde etme yöntemiyle yapı elemanlarının değerlendirildiği görülmektedir. Romalılar eski yapıları tamir ederken açığa çıkan artık kiremit parçalarını yeniden kullanmışlardır. Tarihte birçok örnekte geri dönüşümlü atıkların değerlendirildiğine rastlanmaktadır. Ayrıca Milattan sonra 62 senesinde meydana gelen Pompei depreminde ortaya çıkan artık inşaat malzemelerinin tekrardan kullanıldığı araştırmalar neticesinde ulaşılmıştır (Öztürk, 2005).

Geri dönüştürülmüş agreganın (GDA) Portland çimentosu ile beraber işlenip beton elde edilmesine ilk defa 1860 yılında Almanya’da rastlanmıştır. İkinci Dünya Savaşı neticesinde dünya genelinde bir hayli enkaz yıkıntıları ve atıklar açığa çıkmıştır. Meydana gelen döküntülerin ve yapı artıklarının tekrar kullanılması düşüncesi ise yine ilk olarak Almanya’da düşünülmüştür. Savaşın bitimiyle beraber yaklaşık 500 milyon m³ enkaz olduğu tespit edilmiştir. Açığa çıkan bu seviyede yıkım artıklarının yaklaşık %2’si Almanya’da bulunan bir tesiste geri dönüşüm yoluyla agrega olarak konut yapılarında değerlendirilmiştir. Faaliyetine devam eden bu tesiste 1955 yılına kadar toplamda 175.000 konut inşa etmiştir.

Ayrıca bu inşaatlarda 11.5 milyon m³ kırma tuğla agregası elde etmiştir. Bu durum dünya üzerinde çoğu ülkeye örnek olmuş ve böylece birçok Avrupa ülkesinde geri dönüşüm agregaları kullanılmaya başlanmıştır. Dünya genelinde yaşanan bu gelişmelere rağmen ülkemizde ise durum bunun aksine işlemiş, dolayısıyla geri dönüşüm agregası kullanımı yaygınlaşmamış ve 1999 Kocaeli depremi sonucu oluşan enkazlar denize dökülmüştür (Mehta, 2002).

2.3.4 Geri Dönüşüm Agregası

Beton karışımlarının hacimsel olarak %75'i agregası, %12'si çimento ve %8'i karışım suyundan oluşmaktadır. Dolayısıyla beton karışımlarının büyük bölümünü agregası oluşturmaktadır. Dünya genelinde yıllık 10 milyar ton agregası kullanıldığı tahmin edilmektedir. Dünya üzerindeki yapım yıkım atığı ise yaklaşık olarak 1 milyar tonu bulmaktadır. Bu nedendir ki, agregaların geri dönüşümü büyük önem kazanmaktadır. Artan nüfus oranıyla beraber büyük bir beton ihtiyacı oluşmaktadır ve bu beton ihtiyacını karşılamak için doğal agregası bulma zorunluluğu ekonomik ve çevresel açıdan birçok sıkıntı oluşturmaktadır. Yıkım atıklarının geri dönüşüm agregası olarak betonda kullanılması bu sıkıntıları bir nebze de olsa giderecektir ve bizlere avantaj sağlayacaktır. Nitekim birçok ülkede, bu konu üzerinde çalışmalar devam etmektedir (Otsuki, 2003).

2.3.5 Geri Dönüşüm Agregasının Yapısı

Standart agregası ile oluşturulan betonun kırılması neticesinde açığa çıkan geri dönüştürülmüş agregası standart agregadan değişik özellikler taşır. Geri dönüşüm agregasının içeriği üç şekilde bulunabilir. Bunları;

- Eski betonun içeriğindeki standart agregası parçaları
- Yüzeyine çimento harcı ilişmiş standart agregalar
- Sadece harç parçaları

şeklinde ayırabiliriz. Geri dönüşüm agregasının özgül ağırlığı standart agregaya oranla daha düşük, porozitesi fazla ve su emme miktarı yüksektir. Bu nedenle atık betonun kalitesi geri dönüştürülmüş agregası ile elde edilen betonun dayanımı açısından son derece önemlidir (Lee, 2017).

Şekil 2.1'de incelediğimiz gibi GDA ile elde edilen betonda üç farklı ara yüzey bölgesi vardır:

- 1) GDA'daki eski ara yüzey bölgesi,
- 2) Eski ve yeni çimento hamuru arasındaki ara yüzey bölgesi,
- 3) GDA'daki agregası ve yeni çimento hamuru arasındaki ara yüzey bölgesi.

değerlendirmek, doğal hammadde kaynaklarının azalmasına engel olmak, çevreyle ilgili ve ekonomik dengeyi sağlamak amacıyla geri dönüşüm agregasını kullanmanın önemi ortaya çıkmaktadır. Nitekim Dünya nüfusu hızla artmakta ve özellikle büyük şehirlerde inşaat sektörü hızla gelişmektedir ve dolayısıyla beton üretiminde kullanılan malzemelere duyulan ihtiyaç artmaktadır. Bu malzemeler içerisinde büyük önemi olan agreganın geri dönüşüm agregası olarak kullanılması alternatif olarak araştırılmaktadır. Ekonomik açıdan bakıldığında beton üretiminde önemli bir yeri olan agreganın maliyeti, 1 m³ hazır betonun yaklaşık %20'sine denk gelmektedir. Bu veriler göz önüne alındığında geri dönüşüm agregasının betonda kullanılması hem ekonomik açıdan hem de çevre açısından oldukça önemlidir (Tüfekçi, 2011).

2.3.7 Geri Dönüşüm Agregasının Kullanım Alanları

Başta Avrupa'da olmak üzere birçok ülkede inşaat ve yıkıntı atıklarının depolama tesislerinde depolanması ve bertaraf edilmesi ortaya çıkardığı yüksek maliyetten dolayı tercih edilmez hale gelmiştir. Bundan dolayı inşaat ve yıkıntı atıklarının geri dönüşüm agregası olarak kullanılması daha cazip hale gelmiştir.

İnşaat ve yıkıntı atıklarından elde edilen geri dönüşüm agregası dolgu malzemesi olarak kullanılabilir. Yıkılan yapı betonarme ise, bina yapımında kullanılan donatı demirleri ayrıştırıldıktan sonra kendi başına kalan betondan elde edilen malzemeler altyapı malzemesi olarak kullanılabilir. Beton parçacıkları küçük parçalara kadar öğütmeye gerek kalmadan drenaj sistemlerinde ve kanalizasyon boru döşemelerinde kullanılabilir. Yine bu atıklardan elde edilen geri dönüşüm agregaları kaldırım yapımında ve temel altı dolgu malzemesi olarak kullanılabilir (Agrela, 2011)

2.3.8 Geri Dönüşüm Agregası İle İlgili Standartlar

Özellikle gelişmiş veya gelişmekte olan ülkelerde beton agregası standartlarının yanına, geri dönüşüm agregası ifadesi de 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 kullanılamayacağı konusunda karar vermeye yardımcı olmaktadır (Öztürk, 2005).

Avrupa standartları olan Fransa RILEM, Almanya DIN 4226-100, Birleşik Krallık BS 8005-2, Hollanda E471:2006, İsviçre OT70085 ve İspanya EHE-08 gibi birçok standartta geri dönüşüm agregası konusuna yer verilmeye başlanmıştır (EHE-08, 2008). Aşağıda bazı ülkelerde geri dönüşüm agregası ile ilgili çıkarılan standartlardan çeşitli örnekler verilmektedir:

Türkiye: 28.04.2009 tarihinde kabul edilen, beton agregaları başlıklı, TS 706 EN 12620+A1 standardının kapsam bölümünü; “Bu standart, beton üretiminde kullanılmak niyetiyle; doğal, yapay veya geri kazanılmış agregaların, dolgu maddesi olarak kullanılan agregaların ve bu elemanların meydana getirdiği karışımların özelliklerini kapsar.” olarak açıklanmaktadır. Buradan anlaşılabacağı üzere beton yapımında kullanılacak agregaların arasında “geri kazanılmış agregalar” ifadesi de yer almıştır.

Fransa: RILEM 2002 yılında, yayınlanan TC121-DRG numaralı raporunda geri dönüşüm agregasını, 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 GDA karıştırılarak elde edilenler (Gonçalves ve Brito, 2010).

İspanya: EHE-08 standardında geri dönüşüm agregasının yapısal betonda kullanımı için sadece iri agregası yerine ikame edilmesine izin verilmiş ve miktarı toplam iri agregası ağırlığının %20'sine sınırlandırılmıştır. Ayrıca bu standart geri dönüştürülmüş iri agregasının ön gerilmeli betonları hariç tutarak, dayanımı 40 MPa'dan fazla olan beton karışımında kullanılmasına izin vermemektedir. Yine bu standartta geri dönüştürülmüş iri agregasının 4 mm elekten geçen miktarı %5'ten fazla, su emme oranı ise %7'den fazla olmamalıdır (Gonçalves ve Brito, 2010).

Almanya: Geri dönüşüm agregası kaynaklarını; beton, enkaz, duvar ve karışık moloz olmak üzere 4 farklı grupta sınıflandıran, DIN 4226-100 numaralı standart 2002 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu standartta; beton ve enkaz molozlarından elde edilen geri dönüşüm agregasının yeni yapı betonlarında, duvar ve karışık molozlardan elde edilen geri dönüşüm agregasının ise yapısal olmayan elemanlarda kullanılabileceği belirtilmiştir (WBTC, 2002).

Çin: Hong Kong hükümeti beton üretiminde geri dönüşüm agregası kullanımıyla ilgili standartta ince geri dönüşüm agregasına izin vermemektedir. İri geri dönüşüm agregasının kullanılmasına ise betonları az talep edilen yapılarda kullanılan betonlar ve yapısal betonlar olmak üzere ikiye ayırmıştır. İri geri dönüşüm agregasının az talep edilen yapılarda kullanılan ve dayanımı 20 MPa ile sınırlı olan betonlarda %100 oranında, dayanımı 35 Mpa ile sınırlı olan yapısal betonlarda ise %20 oranında ikamesine izin verilmiştir. Ayrıca iri geri dönüşüm agregasının özellikleri için belirtilen sınır değerler Tablo 2.3'te verilmiştir (Collins, 1996).

Tablo 2.3: Hong Kong şartnamesinde belirtilen sınır değerler.

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

Yukarıda örneklerini verdiğimiz bazı ülkelerin standartları gibi GDA konusunu içeren birçok ülke standardı bulunmaktadır. Avrupa Standartlar Komitesi (European Committee for Standardization: CEN) tarafından oluşturulan Avrupa Agregat Şartnamesinde GDA konusuna ilk olarak 2003 yılında değinerek bu malzemenin uluslararası standartlaşmasına ve kullanım alanlarının yaygınlaşmasına neden olmuştur. Tablo 2.4'te bazı ülkelerdeki GDA standartlarının yürürlüğe girdiği yıllar belirtilmiştir (Roos, 2002).

Tablo 2.4: Bazı ülkelerde geri dönüşüm agregası ile ilgili standartlar ve yürürlüğe girdiği yıl.

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

Dünya genelinde geri dönüşüm agregası ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar neticesinde, geri dönüşüm agregası ile ilgili standartlar oluşturulmuştur. Aynı zamanda bu standartlarda geri dönüşüm agregasının kullanım oranları da belirlenmiştir. Aşağıdaki tabloda dünya genelinde izin verilen geri kazanılmış agreganın kullanım oranları gösterilmektedir (Labrincha, 2013).

Tablo 2.5: Dünya genelinde izin verilen geri kazanılmış agreganın kullanım oranları.

Ülkeler	Uygulamalar	Geri Kazanılmış Agreganın Hacimce (%)	Geri Kazanılmış İnce Agreganın Kullanımı	Beton Sınıfı
Hollanda	Agresif olmayan çevresel etkilerde	Beton kırıkları için sadece 0-20	%20'ye kadar izin veriliyor	Bütün beton yapı standartlarına göre
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
Almanya	Kuvvetli kimyasal etki ve betonarme haricinde	Beton kırıkları için sadece 0-42	< 2 mm olan kısım için max %7	En fazla C35/45
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 C30/38

Uluslararası standartlarda geri dönüşüm agregasının kullanımı ikame oranı ve geri dönüşüm agregasıyla üretilen betonun basınç dayanımı için belirtilen sınır değerler Tablo 2.6'da gösterilmektedir (Öztürk, 2005).

Tablo 2.6: Farklı standartlarda bulunan yapısal betonların GDA kullanım oranları ve basınç dayanımı sınır değerleri.

Standart	İri GDA Türü ve İkame Oranı	Basınç Dayanımı (MPa)
RILEM	Tip II (%100) Tip III ($\leq$ %20)	50 Sınır yok
Hong Kong	%100 $\leq$ %20	20 25-35
Belçika	Tip II (%100) $\leq$ %20	30 Sınır yok
Hollanda	%100 ve 40 kg/m ³ çimento artışı %100 ve 40 kg/m ³ çimento artışı $\leq$ %20	17,5-22,5 (küp) 27,5-45 (küp) Sınır yok
Birleşik Krallık	%100 $\leq$ %20	40 Sınır yok

2.3.9 Geri Dönüşüm Agregasını Elde Etme Süreci

İnşaat yıkıntı atıklarından geri dönüştürülebilen malzemeler birçok farklı yöntemle ayrıştırılabilmektedir. Bunlardan birincisi Şekil 2.2’de görülen geri dönüştürülecek malzemelerin kaynakta ayrılmasıdır. Bu yöntemde yapının yıkıldığı şantiyede malzemeler ayrıştırıldıktan sonra farklı konteynırlarda depolanır. Malzemenin kaynakta ayrılmasından dolayı geri dönüşüm tesisine götürülmesine gerek olmayacağından maliyet azalır ancak şantiyede fazla iş gücü ve farklı malzemeler için birçok konteynır gerekmektedir (Fong vd., 2004).



Şekil 2.2: Geri dönüşüm agregasının kaynakta ayrıştırılması.

Bir diğerk yöntem ise inşaat yıkıntı atıklarının geri dönüşüm tesislerinde ayrıştırılmasıdır. Bu yöntemde ise inşaat yıkıntı atıkları tesise götürülür. Önce beton atıkları tuğla, demir, ahşap, plastik, alçı, demir, vb. diğerk maddelerden arındırılır. Daha sonra beton parçaları kırılıp elendikten sonra betonda agrega olarak kullanılmak üzere istenilen boyutlarda depolanır. şekil 2.3'te inşaat yıkımının yapılarak geri dönüşüm agregasını elde etme sürecinin ilk basamağı gösterilmektedir. Yapılacak olan yıkım genel olarak iş makinaları yardımıyla veya patlayıcı maddeler ile gerçekleştirilmektedir.



şekil 2.3: İnşaat yıkımına ait görsel.

Yıkılan yapılardan ortaya çıkan atıkların geri dönüşüm tesisine götürülmesine ait görüntü şekil 2.4'te gösterilmektedir:



şekil 2.4: İnşaat yıkıntılarının geri dönüşüm tesisine nakliyesi.

Geri dönüşüm tesisine getirilen çeşitli yollarla getirilen inşaat yıkıntı atıkları ve bu atıklardan belirli işlemler neticesinde geri dönüşüm agregası elde edilmesine ait süreç Şekil 2.5'te gösterilmektedir:



Şekil 2.5: Geri dönüşüm tesisinde geri dönüşüm agregası elde edilmesi.

Hong Kong'da 2003 yılında açılan geri dönüşüm agregası tesislerinde yaklaşık olarak 240 bin ton agreganın üretimi yapılmıştır. Bu tesiste geri dönüşüm agregası üretim süreci aşağıdaki aşamaları içermektedir:

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

Tesis değişik uygulamalarda kullanılmak üzere; 40 mm, 20 mm ve 10 mm gruplarında iri agrega ve 5 mm'den küçük boyutlarda ince agrega üretmektedir. Tesise giren malzeme değişik kaynaklardan getirildiğinden dolayı tesiste temkinli bir kalite kontrol yaklaşımı benimsenmiştir. Tesiste yalnızca kırma taş, beton gibi uygun malzemeler işlenmekte olup tuğla, fayans, vb. malzemelere izin verilmemektedir. Üretilen geri dönüşüm agregalarından günlük olarak numuneler alınıp test edilmektedir (Atıcı, 2016).

Amerika Birleşik Devletleri'nde yıllık yıkım atığının, ortalama olarak 162 milyon tona ulaştığı belirlenmiştir. Bu atıkların büyük kısmı asfalt, beton yollar ve beton yapılardan meydana gelmektedir ve bu atıklar binaların yapımında kullanılacak olan beton karışımlarında GDA olarak kullanılmaktadır (Khalaf ve Devenny, 2004).

Türkiye'de 2005 yılı verilerine göre 38 milyon ton katı atık üretiminin olduğu ve bu miktarın yaklaşık olarak %25'inin yani 10 milyon tona yakın bir rakamın inşaat ve yıkım atığı olduğu bilinmektedir. Ancak yapılan araştırmalar neticesinde bu atıkların hangi miktarda geri dönüşüm agregasına dönüştürüldüğü hakkında bir bilgiye rastlanamamıştır. Bu sebeptendir ki 2009 yılından bu yana hazır beton üretiminde Avrupa'da birinci sırada yer alan ölkemizde GDA konusunda işletmelerin yeterli hassasiyeti göstermediği açıktır (KPMG, 2018).

2.4 Ölkemizde İnşaat Sektörü ve Beton Üretimi

İnşaat sektörü, günümüzde ölk ekonomilerinde çok önemli bir yer kaplamaktadır. İnşaat sektörünün gelişmesine bağlı olarak sanayi, ticaret, üretim, hizmet, pazarlama, vb. sektörlerde aynı doğrultuda gelişmektedir. Bu sektörlerin gelişmesi neticesinde de, işsizlik oranının ciddi boyutta azalmasına neden olmakta ve ölkelerin ekonomisine katkıda bulunmaktadır.

KMPG şirketinin verilerine göre; 2017 yılında inşaat sektörünün küresel ekonomideki payı %15 düzeylerinde iken, ölkemizde ise bu oran %9 düzeylerinde olduğu tespit edilmiştir. 2025 yılına gelindiğinde ise inşaat sektörünün toplam ekonomideki payının gelişmiş ölkelerde %10, gelişmekte olan ölkelerde ise %17 seviyelerine geleceği öngörülmektedir. Ölkemizde inşaat sektörü, konut ve altyapı projelerinin yoğunluğu ile beraber hareketli bir dönemden geçmektedir. Ölkemizin en önemli ekonomik sektörlerinden biri olan inşaat

sektörünün dolaylı yoldan inşaat sektörüne bağlı alt sektörlerle beraber ekonomideki payı %30'u bulmaktadır (THBB, 2016).

THBB verilerine göre; inşaat sektöründeki gelişmeler, yapı mazemelerinin en önemlilerinden beton üretimini de etkilemektedir. Sektördeki artış ve hareketlilik beton üretimine de doğrudan arttırmaktadır. Ülkemiz, 2009 yılından bu yana hazır beton üretiminde Avrupa'da birinci sırada yer almakta, dünyada ise 2016 yılında Çin ve ABD'nin ardından üçüncü sırada kendine yer bulmuştur. Tablo 2.7'de hazır beton üretim miktarlarının ülkemizde ve bazı ülkelerde yıllara göre dağılımı verilmektedir (Kahraman, 2016).

Tablo 2.7: Bazı ülkelerde yıllara göre hazır beton üretimi (milyon m³).

Ülkeler	2014	2015	2016
Türkiye	107	107	109
Almanya	46,8	47,2	49,5
Fransa	36,4	34,8	36,1
İspanya	15,9	16,3	16,3
İngiltere	22,7	23,7	24,6
ABD	230	260	265
Rusya	40	40,5	37
AB Ülkeleri	220	220	226,2
Japonya	99	99	99
Toplam ERMCO	356,8	358,3	366,1

Verilere bakıldığında aşağıda belirtilen Tablo 2.8'de görüldüğü üzere ülkemizde beton üretiminde yıldan yıla artışların meydana geldiği gözlenmektedir. Ayrıca; dünya genelinde de ABD, Rusya ve Japonya gibi ülkelerde de artış olduğu görülmektedir. Türkiye Hazır Beton Birliği (THBB) verilerine göre ülkemizdeki hazır beton üretimi ise aşağıdaki tabloda verilmiştir:

Tablo 2.8: Ülkemizde yıllara göre hazır beton üretimi (THBB 2016).

Yıl	Miktar (m ³)
1988	1.500.000
1993	10.000.000
1998	26.542.905
2003	26.828.500
2005	46.300.000
2007	74.359.847
2008	69.600.000
2010	79.680.000
2011	90.450.000
2013	102.000.000
2015	107.000.000
2016	109.000.000

Tablo 2.8’de ülkemizde 1988 ile 2016 yılları arası üretilen beton miktarı görülmektedir. 1998-2003 yılları arasında yaşanan ekonomik kriz ve 2007-2009 yılları arasında dünyada yaşanan krizler döneminde üretimde düşüş olduğu görülmektedir ancak genel anlamda bir artış söz konusudur.

2.4.1 İnşaat Yıkıntı Atıkları

Kentsel dönüşüm veya çeşitli nedenlerden dolayı oluşan inşaat yıkıntı atıkları ve enkazlar, geri dönüşüm agregası temini için büyük önem arz etmektedir. Ülkemizde bu atıkları düzenlemek, geri kazanımını sağlamak ve kontrol altına almak amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bunun neticesinde oluşan bu enkaz ve atıklarla ilgili yönetmelikler ortaya çıkmıştır. Yıkıntı atıklarının çevreye olan zararını en aza indirmek, atıkların kaynağında toplanmasını sağlamak veya geçici alanlarda belli bir süre biriktirilmesini sağlamak, ayrıca bunların nakliyesini yapmak ve geri kazanılarak bu atıkların değerlendirilmesi amacıyla İnşaat Yıkıntı Atıkları Kontrolü Yönetmeliği, Bakanlık tarafından 2004 yılında faaliyete geçirilmiştir. Bu yönetmelikle beraber, atıkların çevre ve insan sağlığına olabilecek zararlı etkilerinin en aza indirilmesi, oluşan bu atıkların geri kazanılarak GDA olarak kullanılabilmesi amaçlanmıştır (Anonim, 2004).

Nitekim, ülkemizde eski yapılar göz önüne alındığında, elde edilebilecek beton atıklarının bir hayli fazla olacağı aşıkardır. Bu alanda yapılan çalışmalarda, yaklaşık 150 m² bir yapının enkazından faydalanılabilecek beton atığı miktarının, yapının ağırlığının yaklaşık %40'ına denk geleceğı belirlenmiştir. Bu rakam GDA kullanımı için önemli bir miktara denk gelmektedir (Lauritzen, 1993).

Ülkemizde metruk yapıları ve kentsel dönüşüm uygulanabilecek yapıları göz önüne aldığımızda, bunların yıkılıp yerlerine tekrar yenilerinin yapılacağı kaçınılmazdır. Bu yıkımların genellikle izinsiz bir şekilde yapıldığı ve atıkların rastgele alanlara döküldüğü görülmektedir. Bunun önüne geçebilmek için çeşitli tesisler kurularak geri dönüşüm agregasının üretilabileceğı ve bunun neticesinde de büyük kazanımlar elde edileceğı çok açık ortadadır (Özkan, 2001).

İnşaat yıkıntı atıklarının değerlendirilerek GDA olarak kullanılması üzerine pek çok çalışma yapılmıştır. Bunların neticesinde, geri dönüşüm agregasının doğal agregadan farklı davrandığı, kendine has özellikleri olduğu tespit edilmiştir. Yapılan deneyler neticesinde, GDA'nın genel anlamda doğal agregaya oranla daha kötü olduğu, ancak buna rağmen yapılan deneylerle beraber, GDA ile normal agreganın beraber kullanılarak yüksek dayanımlı harç elde edilebileceğı tespit edilmiştir (Rakshvir ve Barai, 2006).

Bunların neticesinde, numunelerde GDA oranı arttıkça basınç dayanımlarının azaldığı gözlemlenmiş ve GDA'nın normal agregaya oranla daha verimsiz olduğu ancak bazı önlemler neticesinde ve normal agregayla beraber kullanılarak verim alınabileceğı belirlenmiştir (Köken, 2008).

2.4.2 Ülkemizde Kentsel Dönüşüm

Ülkemizde, riskli yapılarla ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Kentsel dönüşüm, özellikle son yıllarda oldukça sık gündeme gelmiş ve 2012 yılında kabul edilen 6306 sayılı afet riski altındaki alanlarla ilgili düzenlemeler yapılmıştır. Bu kanunla birlikte, afet riski altında bulunan alanlar ve çeşitli durumlardan dolayı riskli yapı halinde olanlar, güvenli yaşam alanları teşkil etme, iyileştirme ve yenileme çalışmalarına dair düzenlemeler yapılmıştır. Bu kanuna göre, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, TOKİ, Belediyeler ve İl Özel İdareleri yetkilendirilmiştir (Anonim, 2012).

Kentsel dönüşüm çerçevesinde Bakanlık tarafından uygun görülen planlar onaylanır veya uygun şekle getirilerek değiştirilebilir. Bu kanun kapsamında çeşitli muafiyetlerde bulunmaktadır. Sözleşme, devir, belediyelerce alınan harçlar damga vergisi; lehe alınacak paralar ise banka ve sigorta vergisinden müstesnadır. Riskli yapılarda; kullanım değişikliği veya alandaki artışlar hesaplanarak aradaki ücretler ödenir (Karadağ, 2015).

Kentsel dönüşümle ilgili farklı kanunlarda bulunmaktadır. 5393 sayılı Belediye Kanununda, ayrı bir parantez açılmıştır. Kanunda; konut alanları, sanayi alanları, rekreasyon alanları, eskiyen kent kısımlarını yeniden inşa ve restore ederek düzenleme yapmak ve deprem riskine karşı çeşitli tedbirler almak amacıyla kentsel dönüşüm projeleri uygulanabilmektedir. Ülkemizde bu kanunlar göz önüne alındığında, kentsel dönüşüm yapılacak alanlara baktığımızda oluşan enkaz ve yıkıntılardan elde edilecek geri dönüşüm agregası büyük önem arz etmektedir (Anonim, 2010).

2.4.3 İnşaat Atıklarının Dünyada ve Ülkemizdeki Durumu

GDA'nın temin edilebileceği kaynaklara bakıldığında meydana gelen bu atıkların önem katsayısı oldukça fazladır. Bina ve altyapı yıkım atıkları, tamirat atıkları, doğal afet sonucu meydana gelen çeşitli enkaz ve atıklar incelendiğinde Avrupa ülkelerinde yılda 180 milyon ton, ABD'de ise 136 milyon ton enkaz atığı açığa çıkmaktadır. Bu atıkların yarıya yakını konut enkazlarından, diğer kısmı ise çeşitli yıkıntılardan meydana gelmektedir. Nitekim çeşitli ülkelerde de bu miktarlara yakın değerlerde atıklar açığa çıkmaktadır ve bu atıklar çeşitli yollarla değerlendirilmektedir. Açığa çıkan bu atıkların büyük çoğunluğu depolanmakta ve yeni inşaat yapımında arazi kazanımında kullanılmaktadır. Yaklaşık %10'luk bir kısmı ise yeni ürün kazanmak üzere değerlendirilmektedir (KDHGM, 2014).

Çeşitli ülkelerde ise, bu atıkları geri kazanım yoluyla değerlendirmek adına çok daha önemli çalışmalar yapılmaktadır. Hollanda ve Belçika'da oluşan enkazların %90'dan fazlası geri kazanım yoluyla değerlendirilmektedir. Buna en güzel örnek bu iki ülkedir. İngiltere ve Danimarka'da da buna benzer çalışmalar yapılmıştır. Ülkemizde ise bunların aksine enkaz atıkları karışıktır ve az miktarlarda kullanılmaktadır. Ancak çeşitli alanlarda değerlendirmek için çalışmalar yapılmaktadır. Bu atıkları değerlendirmek yerine, ülkemizde açığa çıkan enkaz atıkları yönetmeliklere uygun bir şekilde bertaraf edilmemektedir. Dolayısıyla bu alanda daha kapsamlı bir şekilde çalışma yapmamız

gerekmektedir. Bu alanda en kapsamlı çalışmayı Çevre ve Şehircilik Bakanlığı ile TÜBİTAK yapmaktadır (TÜBİTAK, 2015).

Ülkemizde oluşan enkazlara ve yıkıntı atıklarına örnek verecek olursak; özellikle mega kent İstanbul'da kentsel dönüşüm programında yıkılacak konut sayısı, 2 milyona yakındır. Bu denli büyük bir rakam düşünülecek olursa İstanbul'daki kentsel dönüşüm sürecinin 20 yılı geçeceği tahmin edilmektedir. Bu rakamlar incelendiğinde, açığa çıkacak atık yılda 7.5 milyon tonu geçmektedir. Bu atığın yaklaşık %20'lik bir kısmı betondan oluşmakta, bunun da %80'ini geri dönüşüm agregası olarak elde edilebilmektedir. Bu rakamları incelediğimizde yılda 1.5 milyon tona yakın bir kısmın değerlendirilebileceği varsayılarak ciddi bir kazanım elde edilecektir (TÜBİTAK, 2015).

Yine bir başka şehir Trabzon'da, 2015 yılı verileri baz alındığında, belediye ile TOKİ'nin şehrin çeşitli noktalarında yürüttüğü kentsel dönüşüm çalışmalarında, yıkımların yapılacağı ve hazırlanan projeler eşliğinde modern ve daha güvenli yapıların inşa edileceği planlanmaktadır. Aynı zamanda diğer şehirlerimizde de çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Kentsel dönüşüm neticesinde, oluşacak enkaz ve inşaat atıklarının değerlendirilerek geri dönüşüm agregası olarak kullanılması büyük kazançlar elde etmemizi sağlayacaktır (ÜKDÇ, 2015).

2.5 Ülkemizde Beton Üretiminde Kullanılan Agreganın Miktarı

Yukarıdaki tabloları incelediğimizde ülkemizde genel anlamda beton üretiminde artış olduğu gözükmemektedir. Bu artışla beraber beton bileşenlerini oluşturan agrega, çimento, su ve katkı maddelerinin tüketimi de artmaktadır. Örneğin; TÇMB'ne kayıtlı olan beton santrallerinde 2015 yılında kullanılan agrega miktarının 2004 yılında kullanılan miktara göre üç kat arttığı belirlenmiştir (ÇŞB, 2015).

Agrega tüketiminin fazla olması, inşaat sektöründe bir büyümenin olduğunu ve bu durumda yeni agrega kaynaklarına ihtiyaç duyulacağını ortaya koymaktadır. Değişik boyutlardaki agregalar betonun hacimsel olarak %60-80'ini oluşturmaktadır. THBB (2016) verilerini göz önüne aldığımızda beton üretiminde kullanılan agrega miktarını hacimsel olarak %70 oranında karışıma kattığımızda ERMCO'nun verilerine göre yaklaşık olarak 76.300.000 m³ agreganın kullanıldığı görülmektedir. Bu miktarın THBB'ye kayıtlı

olmayan hazır beton tesislerini de hesaba kattığımızda daha çok artacağı açıkça görülmektedir.

Ülkemizde inşaat sektörünün gelişmesiyle birlikte, kentsel dönüşümün yurt genelinde artması ve aynı zamanda deprem, sel, yangın, vb. afetlerden dolayı yapıların kullanılamaz hale gelmesi ve bunun sonucunda da yıkılan yapıların yerlerine yeniden yapıların inşa edilmesiyle beraber beton üretimin hızla arttığı gerçeğiyle agrega kaynaklarının da giderek azaldığı gözler önüne serilmektedir. Bu durum; inşaat ve yıkım atıklarının çeşitli işlemlerden geçtikten sonra geri dönüşüm agregası (GDA) olarak betonda kullanılabilirliğini gündeme getirmektedir (Bhikshma, 2012)



BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOT

Bu bölümde, deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, harç karışım oranları, taze ve kuru haldeki birim hacim ağırlıkları, yapılan deneysel çalışmalar, yapım aşamaları ve çalışmalardan elde edilen sonuçlar anlatılmaktadır.

3.1 Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada CEM I 42,5 R Portland çimentosu, TS EN 196-1 Standart Kum, geri dönüşüm agregası ve karışım suyu kullanılmıştır.

3.1.1 Çimento

Beton karışımlarında Bartın Çimento Fabrikasından temin edilen TS EN 197-1 standardı ile uyumlu CEM I 42,5 R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır.



Şekil 3.1: Harç yapımında kullanılan CEM I 42,5 R Portland çimentosu.

Deney numunelerinde kullanılan çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri sırasıyla Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de belirtilmiştir.

Tablo 3.1: CEM I 42,5 R Portland çimentosunun kimyasal kompozisyonu.

Bileşen (%)	Çimento
SiO ₂	19,12
Al ₂ O ₃	5,98
Fe ₂ O ₃	3,06
CaO	63,35
MgO	1,89
SO ₃	2,74
Na ₂ O	0,58
K ₂ O	0,88
Cl-	0,0089
Serbest CaO	1,22
Çözünmeyen Kalıntı	0,49
Kızdırma Kaybı	0,5

Tablo 3.2: CEM I 42,5 R Portland çimentosunun fiziksel özellikleri.

Özellikler	Çimento
Özgül Yüzey (cm ² /g)	3634
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3,1
Genleşme (mm)	1,0
Su İhtiyacı (%)	27,2
Priz Başlangıç Süresi (dk.)	105
Priz Final Süresi (dk.)	189

3.1.2 Agrega

3.1.2.1 Normal Agrega

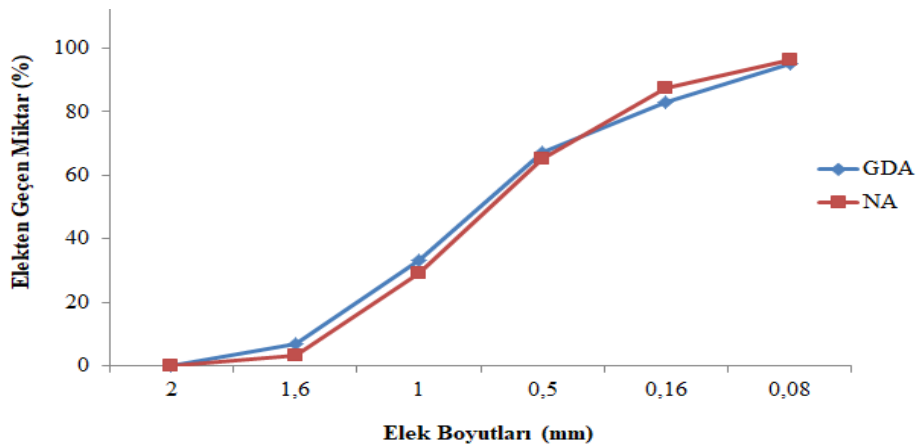
Hazırlanan harç numunelerinde kullanılan standart agrega (CEN kumu) Ankara Limak firmasından temin edilen TS EN 196-1 ile uygun standart kumdur.



Şekil 3.2: Harç yapımında kullanılan standart kum.

3.1.2.2 Geri Dönüşüm Agregası

Karışımlarda kullanılan GDA, çeşitli inşaat yıkıntılarında elde edilen parçacıklar kullanılarak elde edilmiştir. Bu atıklar önce küçük parçalar şeklinde ayrıştırılmış ardından konkasörde kırılarak elek boyutuna getirilmiş ve son olarak bu malzeme laboratuvarında elek analizi deneyi yapılarak harç üretiminde kullanılmak üzere çeşitli boyutlarda agregalar elde edilmiştir. Elde edilen agreganın ve standart agreganın elek analizi Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3: Geri dönüşüm agregası granülometri eğrisi.

Deney numunelerinde kullanılan GDA ve standart agreganın fiziksel özellikleri Tablo 3.3'te belirtilmiştir.

Tablo 3.3: Deneylerde kullanılan agregaların fiziksel özellikleri.

Fiziksel Özellik	GDA	Standart Agreg
Özgül Ağırlık (g/cm^3)	2,35	2,68
Su Emme Oranı (%)	7,3	0,63

Yapılan deney numunelerinde kullanılan geri dönüşüm agregasının parçalara ayrılması, konkasörde öğütülmesi, elek analizi deneyi yapılarak agregaların ayrıştırılması gibi GDA elde etme sürecine ait fotoğraflar aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Geri dönüşüm agregası elde etme süreci.

3.1.3 Karışım Suyu

Çalışmada karışım suyu olarak Bartın ili şebeke suyu kullanılmıştır.

3.2 Metot

3.2.1 Harç Karışımlarının Hazırlanması

Yapılan harç karışımlarında su:çimento:agrega oranları, TS EN 196-1'e göre standart çimento harcı elde edilmesinde kullanılan oranlar olup Tablo 3.3'te verildiği gibidir. GDA'nın harç üretimindeki etkisi araştırılan bu çalışmada, yapılan harç karışımlarında GDA sırasıyla %0, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında standart CEN kumu ile yer değiştirilerek numuneler hazırlanmıştır. Yapılan çalışmada 7 ve 28 günlük numunelerden planlanan deneyleri yapmak için her bir orandan 6 adet toplamda 30 adet 4×4×16 cm prizma numune, her bir orandan 3 adet toplamda 15 adet 10×10×10 cm küp numune, her bir orandan 3 adet 7×7×7 küp numune ve yine her bir orandan 3 adet toplamda 15 adet 10 cm çapında ve 20 cm boyunda silindir numuneler hazırlanmıştır. Yapılan numunelerdeki harç karışım oranları Tablo 3.4'te gösterilmiştir.

Tablo 3.4: Harç karışım oranları.

Numune Kodu	Çimento (g)	Su (g)	Normal Agregası (g)	GDA (g)
M1	450	225	1350	0
M2	450	225	1012,5	337,5
M3	450	225	675	675
M4	450	225	337,5	1012,5
M5	450	225	0	1350

3.2.2 Harç Üretimi

Harç numunelerinin üretimi yapılırken karışım kabına yapılan harç karışım oranları hesabına göre ilk önce su konulup ardından çimento ilave edilerek 15-20 saniye karıştırılıp şerbet elde edilmiştir. Devamında da yine belirlediğimiz harç karışım oranlarına göre standart agrega ve geri dönüşüm agregaları ilave edilerek yaklaşık 4-5 dakika, harcın homojenliğini sağlayana kadar mini harç karma makinesi ile karıştırılmıştır. Aynı zamanda hazırlanan harçlar üzerinde yayılma tablası deneyi uygulanmıştır. Ardından harçlar

4×4×16 cm prizma, 7×7×7 cm küp, 10×10×10 cm küp 10 cm çapında 20 cm boyunda silindirik numune kalıplarına homojen bir şekilde numune kodları üzerlerine yazılarak yerleştirilmiştir ve üzerleri kapatılmıştır. Harç üretiminden 24 saat sonra kalıplar sökülüp ve harç numuneleri deneyin yapılacağı güne kadar bekletmek üzere 22 ± 2 °C sıcaklıktaki kür havuzuna konulmuştur. Harçların üretim aşamasına ait fotoğraflar ve kür havuzu Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’da gösterilmektedir.



Şekil 3.5: Harçların üretim aşaması.



Şekil 3.6: Harçların kalıplara yerleştirilmesi ve kür havuzu.

3.3 Taze Beton Deneyleri

3.3.1 Yayılma Tablası Deneyi

Hazırlanan harçların kıvamını belirlemek amacıyla TS EN 1015-3 standardına uygun, taze harçlar üzerinde yayılma tablası deneyi yapılmıştır. Deney esnasında yayılma konisi tablanın üzerine konulmuş ve taze harçlar yayılma konisinin içerisine sıkıştırılarak doldurulmuştur. Ardından yayılma konisi, üzeri düzeltildikten sonra çıkartılmış ve saniyede bir devir olacak şekilde toplamda 15 düşüm uygulanmıştır. Dağılan harcın çapı ölçülerek deney tamamlanmıştır.

Farklı GDA oranlarını kullanarak hazırladığımız harç karışımlarında, harçlar taze haldeyken yapılan bu deneyde farklı yayılmalar ortaya çıkmıştır. Aynı oranda kullandığımız GDA miktarından iki seferde yayılma tablası deneyi yapılmıştır ve bunların ortalaması alınmıştır. Yayılma çapının belirlenmesine ait fotoğraflar Şekil 3.7’de gösterilmektedir.



Şekil 3.7: Harçlarda yayılma çaplarının belirlenmesi.

3.4 Sertleşmiş Beton Deneyleri

3.4.1 Birim Hacim Ağırlık ve Su Emme Deneyleri

Hazırlanan harç numuneleri 28 gün kür havuzunda bekletildikten sonra havuzdan çıkartılarak terazi yardımıyla suya doygun ağırlıkları belirlenmiştir. Sertleşmiş beton birim hacim ağırlık deneyi, hazırlanan 4×4×16 cm normal prizma numuneler üzerinde yapılmıştır. Ardından 24 saat süresince 100 °C (±5 °C) etüvde bekletilerek etüv kurusu ağırlıkları belirlenmiştir. Bu deney düzeneği için numuneyi tartabilecek hassas düzenekli terazi kullanılmıştır.

Harç numunelerin birim hacim ağırlığı ve su emme oranlarının tespit edilmesi TS EN 12390-7 standardına uygun yapılmıştır. Standarda uygun olarak, numunelerde birim hacim ağırlık ve su emme oranları formüller yardımıyla hesaplanmıştır. Bu formüller aşağıda verilen Denklem 3.1 ve Denklem 3.2’de gösterilmektedir:

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

$$W = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \times 100 \quad (3.2)$$

Burada;

D = Harç numunesinin yoğunluğu, kg/m³

M_d = Harç numunesinin suya doygun kütlesi, kg

V = Harç numunesinin hacmi, m³

W = Su emme oranı, %

M₁ = Etüve kurutulmuş harç numunesinin kuru yüzey ağırlığı, kg

M₂ = Harç numunesinin su içerisindeki ağırlığı, kg

Birim hacim ağırlığın tespiti amacıyla yapılan harç numunelerinin tartım işlemi ve numunelerin kurutulması için kullanılan etüv Şekil 3.8’de gösterilmektedir:



Şekil 3.8: Numunelerin etüvde kurutulması ve tartılması.

3.4.2 Donma-Çözülme Deneyi

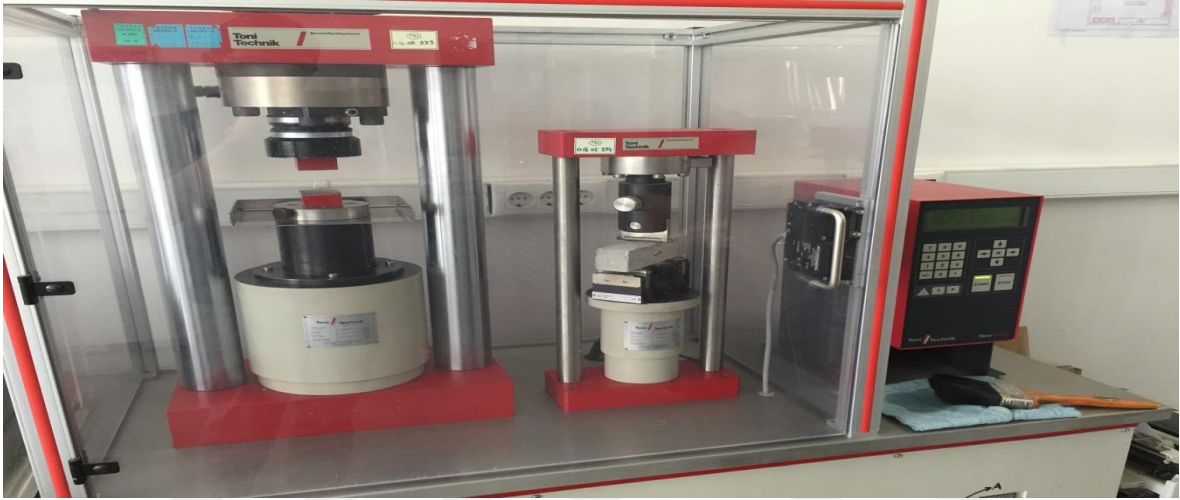
Geri dönüşüm agregasının harç üretimine etkisinin incelendiği bu çalışmada hazırlanan 4×4×16 cm boyutlarındaki harç numuneleri üzerinde TS 3449 standardına uygun olarak donma-çözülme deneyi uygulanmıştır. Bu deney için 21 gün kür havuzunda bekletilen her karışımdan harç numuneleri kullanılmıştır. Donma-çözülme deneyi için -20 °C soğutma yapan dondurucular kullanılmıştır. Numunelere -20 °C’de donma (23±3) °C’de çözülme çevrimi uygulanmıştır. Numuneler üzerinde yapılan 25 çevrim sonunda, meydana gelen fiziksel değişimler incelendi ve bu harç numuneleri üzerinde basınç dayanımı deneyleri yapıldı.



Şekil 3.9: Donma-çözülme uygulanan numunelerde basınç dayanımı tespiti.

3.4.3 Eğilme Dayanımı Deneyi

Kür havuzunda 28 gün bekletilen 4×4×16 cm boyutlarındaki prizma harç numunelere eğilme dayanımı testi uygulanmıştır. TS EN 12390-5 standardı dikkate alınarak uygulanan deneyde, harç numunelerine tek eksenli (orta noktadan) yükleme yapılmış olup üç noktada eğilmede çekme deneyi yapılmıştır. Deneyi yapan cihazın yükleme hızı 40 N/s olarak belirlenmiştir. Eğilme deney düzeneği Şekil 3.10’da gösterilmektedir.



Şekil 3.10: Numuneler üzerinde yapılan eğilmede çekme dayanımı deneyi.

3.4.4 Basınç Dayanımı Deneyi

Eğilme deneyinden elde edilen ikiye bölünmüş harç numuneler üzerinde TS EN 12390-3 standardına uygun olarak basınç deneyi yapılmıştır. Yapılan deneyler neticesinde her bir harç numunesi için ortalama değerler hesaplanmıştır. Basınç dayanımı hesabı aşağıdaki gibi yapılmıştır:

$$f_c = \frac{F}{A}$$

Burada;

f_c = Basınç Dayanımı (MPa)

F = Uygulanan Kuvvet (N)

A = Numunenin yüzey alanı (mm²)

Şekil 3.11’de basınç dayanım deneyi için yapılan hazırlıklar ve basınç dayanım deney düzenekleri gösterilmektedir:



Şekil 3.11: Numunelerde basınç dayanım deneyi.

3.4.5 Ultrases Geçiş Hızlarının Belirlenmesi

Hazırlanan 10×20 cm boyutlarında silindir harç numuneleri üzerinde TS EN 12504-4 standardına uygun hareket ederek, numunelerin ultrases geçiş hızları belirlenmiştir. Numunelerin ultrases geçiş süresine bakılarak numunelerdeki çatlaklar, kusurlar ve numunenin boşluklu yapısı belirlenmeye çalışılmıştır. Deneyde kesin sonuca ulaşabilmek için üç farklı okuma yapılarak bunların ortalaması alınmıştır.

Öncelikle, ultrases deneyi uygulanacak silindir numuneler üzerinde, probların tam teması için numuneler üzerine ultrason jeli sürülmüştür. Ardından numuneler üzerinde ölçüm yapılacak noktalar işaretlemiş ve karşılıklı iki yüzeyde ultrases geçiş süreleri standardına uygun bir biçimde ölçülmüştür. Aynı işlem diğer yüzeyden de yapılmış ve bu ikisinin ultrases geçiş sürelerinin ortalaması alınmıştır.

Numuneler üzerinde yaptığımız okumalar sonucunda, ulaşılan zaman değerleri ve numune kalınlıklarından, dalganın geçiş hızı belirlenir. Ölçüm cihazı, ses dalgasının bir probtan diğer proba ulaştığı zamanı μs olarak vermektedir. Böylece hazırlanan harç numuneleri içerisinde bulunan çatlaklar ve kusurlar tespit edilmiştir. Şekil 3.12’de ultrases hız ölçümünün nasıl belirlendiğine dair fotoğraf bulunmaktadır.



Şekil 3.12: Numune üzerine jel sürülmesi ve ultrases geçiş süresinin belirlenmesi.

3.4.6 Kapilarite (Kılcal Su Emme) Deneyi

Kür havuzundan çıkartılan $10 \times 10 \times 10$ cm boyutlarındaki küp numuneler üzerinde kapilarite deneyi yapılmadan önce, numuneler etüvde $105^\circ C$ sıcaklıkta 24 saat süresince bekletilmiş daha sonra da oda sıcaklığına gelene kadar soğumaya bırakılmıştır. TS EN 722-11 standardına uygun olarak yapılan deneyde, harç numunelerde soğuma işlemi tamamlandıktan sonra hassas terazide kuru ağırlıkları belirlenmiştir. Ardından numuneler, sadece bir yüzeyinden su girişi olacak şekilde hazırlanmış ve numuneler su içerisine sadece tabanı temas edecek şekilde yerleştirilmiştir. Daha sonra standarda uygun 7 gün boyunca belirli dakika aralıklarıyla numunelerin ağırlıkları hassas terazide tartılarak harç numuneler üzerinde belirtilen sürelerde kılcal yolla emilen su miktarları tespit edilmiştir.



Şekil 3.13: Harç numunelerinin etüvde kurutulması ve kılcal su emme deneyi.

3.4.7 Aşınma (Böhme) Deneyi

Numuneler üzerinde aşınmaları belirlemek amacıyla TS 699 standardına uygun böhme deneyi uygulanmıştır. Hazırlanan 7×7×7 cm boyutlarındaki küp numuneler 28 gün kür havuzunda bekletildikten sonra çıkarılarak, etüvde 105 °C sıcaklıkta kurutulmuştur. Ardından, oda sıcaklığına gelene kadar soğumaya bırakılmıştır. Daha sonra harç numuneleri deney düzeneğine yerleştirilerek zımpara tozu ile birlikte 22 devir çevrilerek aşınmaya maruz kalmıştır. Her 22 devir sonunda deney düzeneği temizlenip numune 90° döndürüldükten sonra 20 g zımpara tozu da serpilerek bu işlem 16 defa tekrar edilmiştir. Deney tamamlanıp harç numunesi iyice temizlendikten sonra, numune kumpas ile ölçülüp hassas terazide tartılmıştır. Deney sonunda numunenin aşınması aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır;

$$D_V = D_M / P$$

Burada;

$$D_V = \text{Toplam hacim kaybı (cm}^3\text{/50 cm}^2\text{)}$$

$$D_M = 16 \text{ tur sonrası kütle kaybı (g)}$$

$$P = \text{Numune yoğunluğu (g/cm}^3\text{)}$$

Aşağıda aşınma (böhme) deney düzeneği ve numunelerde yapılan aşınma deneyi gösterilmiştir:



Şekil 3.14: Aşınma (Böhme) Deney Düzeneği.

3.4.8 Elastisite Modülü Deneyi

Hazırlanan 10×20 cm boyutlarındaki silindirik harç numuneleri 28 gün kür havuzunda bekletildikten sonra, basınç etkisi altında şekil değiştirmeye ne kadar karşı koyabileceğini belirlemek amacıyla elastisite modülü deneyi yapılmıştır. Basınç deney presiyle yükleme yapılarak harç numunelerinin gerilme-birim deformasyon ilişkisi ortaya çıkarılmıştır. Elde edilen değerler göz önüne alınarak, formül yardımıyla harç numunelerdeki elastisite modülü değeri tespit edilmiştir. Elastisite modülü tayin edilirken ASTM C469 standardına uygun olarak çalışmalar yapılmıştır. Deney neticesinde, harç numuneleri üzerinde elastik bölgede uygulanan kuvvet etkisiyle boyuna kısalmaları tespit edilmiştir. Numunelerdeki gerilme-birim deformasyon ilişkisi, 28 günün sonunda silindirik numunelerde basınç deneyinde olduğu gibi deney presinde yükleme yapılarak belirlenmiştir. Prestes, artan yüklerle beraber harç numunesi kırılıncaya kadar deformasyonlar kaydedilmiş ve bunun neticesinde gerilme-düşey deformasyon değerleri oluşturulmuştur. Elastisite modülünü

belirlerken, maksimum basınç dayanımının %30-%40 arasındaki değerler temel alınarak hesaplamalar yapılmıştır. Hazırlanan 10×20 cm boyutlarındaki silindir harç numunelerinin elastisite modüllerinin belirlenmesinde kullanılan deney düzeneği şekil 3.15’de gösterilmektedir.



şekil 3.15: Elastisite modülünün belirlenmesinde kullanılan deney düzeneği.

Yapılan işlemler neticesinde bulunan değerler aşağıdaki formülde yerine yazılarak harç numunelerinin elastisite modülü bulunmuştur:

$$E = (\sigma_2 - \sigma_1) / \varepsilon_2 - 0,00005$$

Burada;

E = Elastisite Modülü,

σ_1 = 0,00005 mm’e karşılık gelen gerilme, MPa

σ_2 = Max. Yükün %40’ına karşılık gelen gerilme, MPa

ε = Max. Yükün %40’ına karşılık gelen birim deformasyon

BÖLÜM 4

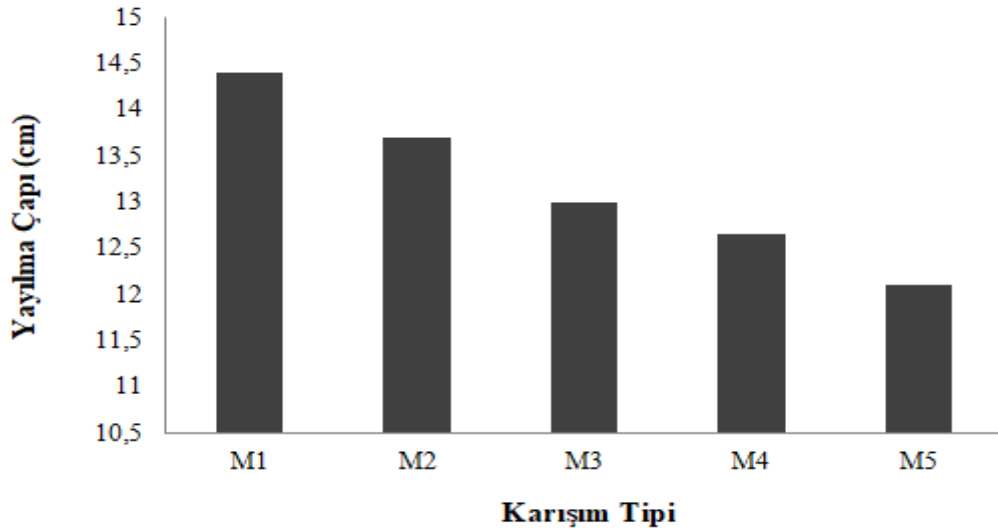
BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, hazırlanan harç numuneleri üzerinde yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların değerlendirilmesi anlatılmıştır. İncelenen deneyler numunelerin üretim aşamasında ve kür havuzunda bekletilip 7. ve 28. günün sonunda yapılmıştır. Su/çimento oranı sabit tutularak, agrega oranının ise %0, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında normal agregayla ikame edilerek her defasında değiştirilip geri dönüşüm agregası kullanarak hazırlanan harç karışımları üzerinde, yapılan çalışmaların sonuçları ve grafikleri oluşturularak değerlendirmeler yapılmıştır. Oluşturulan taze harçların işlenebilirliği (slump ve yayılma tablası deneyi) incelenmiştir. Sertleşmiş harç numunelerinin ise birim hacim ağırlık, su emme oranları, basınç ve eğilme dayanımı, ultrases geçiş süreleri araştırılmıştır. Harçların bir kısmında da donma-çözülme deneyi yapılmış ve bunun üzerinde de aynı deneyler incelenmiştir.

4.1 Taze Beton Deney Sonuçları

4.1.1 Yayılma Tablası Deneyi (İşlenebilirlik)

Yayılma tablası deneyi sonucunda bulduğumuz değerler Şekil 4.1’de gösterilmektedir.



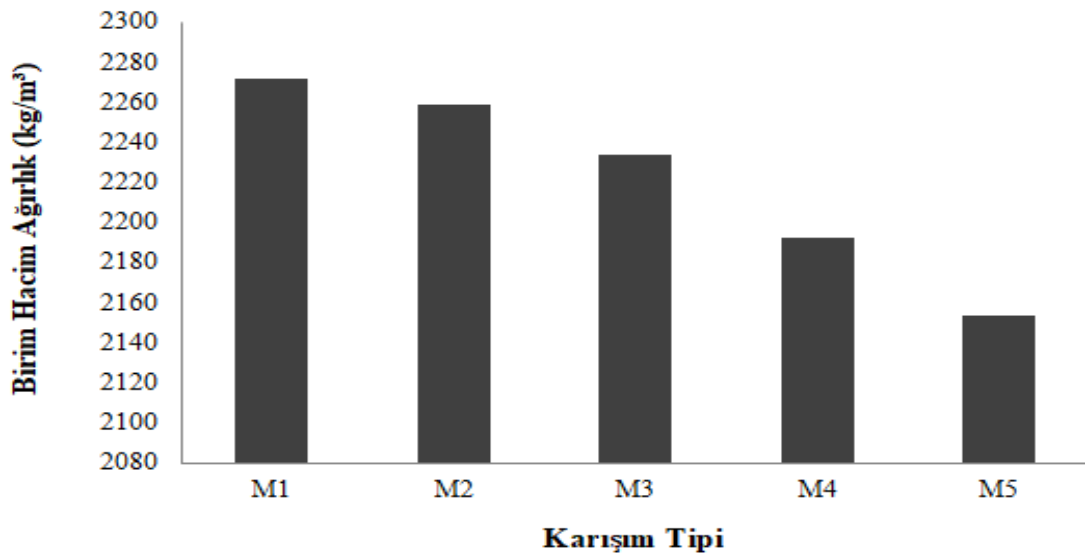
Şekli 4.1: Harç karışımlarının yayılma çapları ortalamaları.

Üretilen harçlara taze haldeyken yaptığımız yayılma tablası deneyinde, numunelerin içerisindeki geri dönüşüm agregası miktarı arttıkça yayılma çaplarının azaldığı gözlemlenmiştir. İçerisinde GDA bulunmayan harç numunesinde yayılma çapı 14,4 cm çıkarken, GDA içeriği %25 olan numunede, yayılma çapı %5 azalarak 13,7 cm ölçülmüştür. Harç numuneler içeriğindeki GDA miktarı arttıkça bu oran daha da artmıştır ve numune içeriğindeki GDA miktarı %50'yi geçtiğinde aradaki fark daha belirgin hale gelerek yayılma çapındaki azalış %10'u geçmiştir. GDA içeriği %100 olan M5 numunesinde ise, yayılma çapı %16 azalarak 12,1 cm ölçülmüştür. Sonuçlar incelendiğinde, geri dönüşüm agregasının, işlenebilirliği azaltmasının nedenini sürtünmeyle açıklayabiliriz. GDA, normal agregaya oranla daha pürüzlü bir yüzeye sahiptir. Aynı zamanda normal agregaya göre daha köşelidir. Böyle olunca da geri dönüşüm agregası, sürtünmeyi artırıcı bir etki yapmaktadır. Ayrıca, yayılma çapındaki azalmanın nedenini, GDA parçacıklarındaki aşırı su emmenin bir sonucu olabileceğini de söyleyebiliriz. Sonuç olarak GDA miktarı arttıkça, harç karışımlarında işlenebilirliğin zorlaşacağı gözükmemektedir.

4.2 Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

4.2.1 Birim Hacim Ağırlık Deneyi

Birim hacim ağırlık deneyi sonucunda bulduğumuz değerler Şekil 4.2'de verilmiştir.

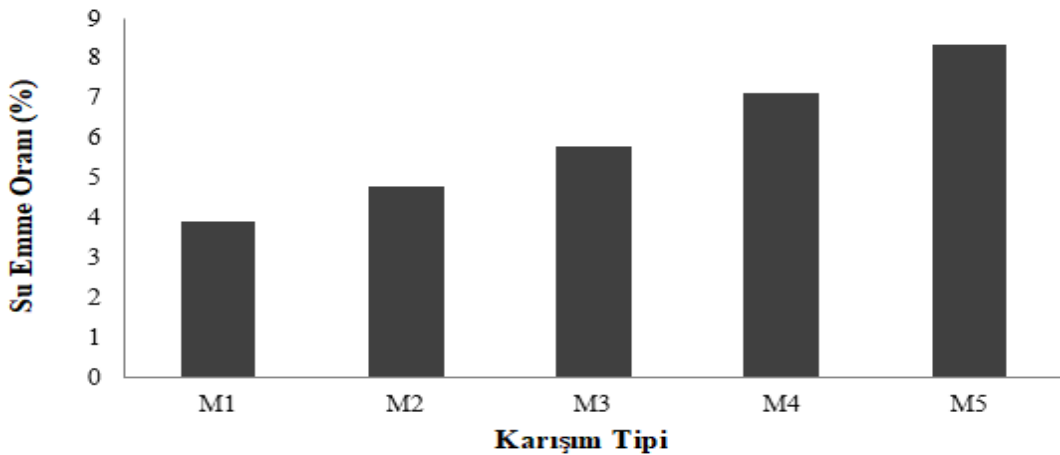


Şekil 4.2: Harç karışımlarının birim hacim ağırlık ortalamaları (kg/m³).

Sonuçlar incelendiğinde, hazırlanan farklı boyutlardaki numuneler için, harç karışımlarında GDA oranı arttıkça birim hacim ağırlığın azaldığı gözlenmektedir. Karışımlarda elde edilen sonuçlar, normal 4×4×16 cm prizma numuneler için 2153,71 kg/m³ ile 2272,18 kg/m³ arasında değişiklik göstermektedir. Harç karışımlarında hacim hesabı yapılırken numunelerin gerçek boyutları göz önüne alınarak hesaplamalar yapılmış ve elde edilen değerlerin aritmetik ortalamaları alınarak sonuçlar ortaya çıkarılmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında, en yüksek değer GDA oranı %0 olan harç karışımlarında çıktığını, GDA oranı arttıkça değerlerin giderek düştüğünü, GDA oranı %50'yi geçtiğinde ise bu düşüşün daha belirgin hale geldiğini söyleyebiliriz. En düşük birim hacim ağırlık değerinin ise GDA oranı %100 olan harç karışımlarında çıktığı görülmektedir. Bu değerleri göz önüne aldığımızda, GDA içeriği %100 olan M5 numunesi ile içeriğinde hiç GDA bulunmayan M1 numunesi arasındaki fark %5 civarında çıkmıştır ve bu sonuç harçlarda GDA'nın kullanımı açısından çok önemlidir. Yapılan hesaplamalar neticesinde, bir inşaatta GDA ile üretilen harç kullanıldığında, yaklaşık olarak kat başına bir oda daha fazla sıva yapılabileceği belirlenmiştir ve bu oran, bir katta 25 ton yük kar anlamına gelmektedir. GDA oranı arttıkça birim hacim ağırlığın azalmasının nedenini, geri dönüşüm agregasının normal agregaya oranla daha hafif olmasından kaynaklandığı açıklanabilir. Normal agregayla üretilen harç ile GDA ile üretilen harcın arasındaki farkın olmasını işlenebilirlikten ve sıkışabilirlikten kaynaklı olduğunu söyleyebiliriz.

4.2.2 Su Emme Oranı

Deneyin sonucunda ulaştığımız değerler Şekil 4.3'te gösterilmektedir.

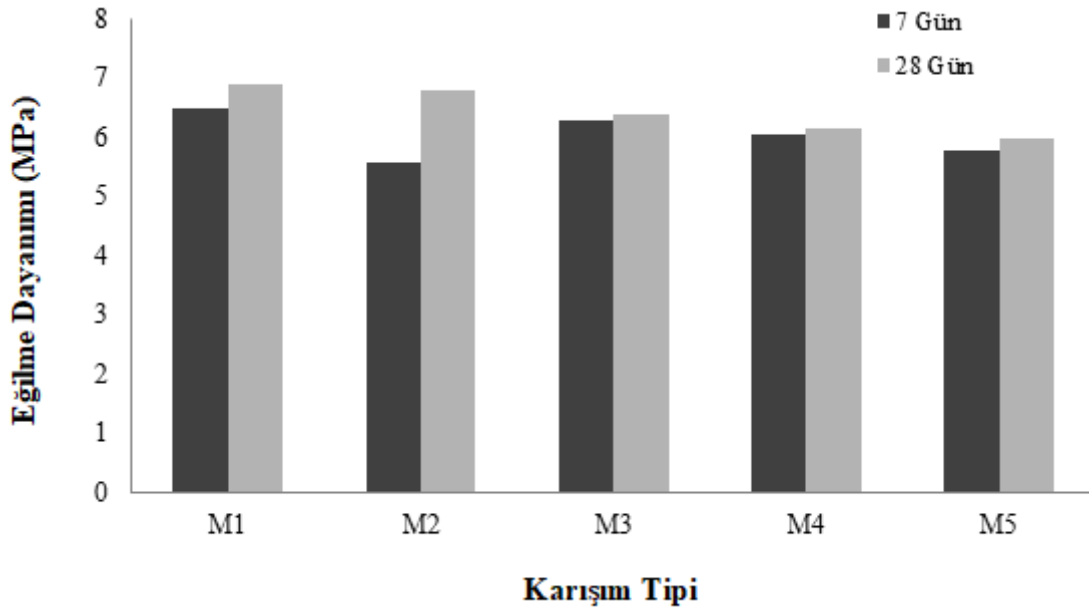


Şekil 4.3: Harç karışımlarının su emme oranı grafiği (%).

Sonuçlar incelendiğinde, harç numunelerdeki GDA oranı arttıkça su emme oranının da arttığı görülmektedir. Bu artışın hiç GDA kullanılmayan harçlar ile %100 oranında GDA kullanılan harçlar arasında %5'i geçtiği gözlemlenmiştir. Çıkan sonuçlara baktığımızda; M1 prizma numunesinde %3,93 ile en düşük, M5 prizma numunesinde ise %8,35 ile en yüksek değere sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Yapılan çalışmalarda GDA oranının %50'nin üzerine çıktığında, betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinde daha belirgin şekilde değişiklik gösterebileceği gözlemlenmiştir. GDA miktarı arttıkça su emme oranının artması, GDA'nın içeriğinde bulunan eski harç parçacıkları ile açıklanabilir. Numunelerdeki GDA oranı arttıkça işlenebilirlik azalmış ve su emme oranları artmıştır. Bhikshama, vb. yaptıkları daha önceki çalışmalarda, harç numunelerinde uçucu kül kullanarak su emme oranının belirgin şekilde azaltılabileceğini tespit etmişlerdir (Katz, 2003).

4.2.3 Eğilmede Çekme Dayanımı

Deney sonucunda ulaşılan ortalama değerler Şekil 4.4'te verilmiştir.



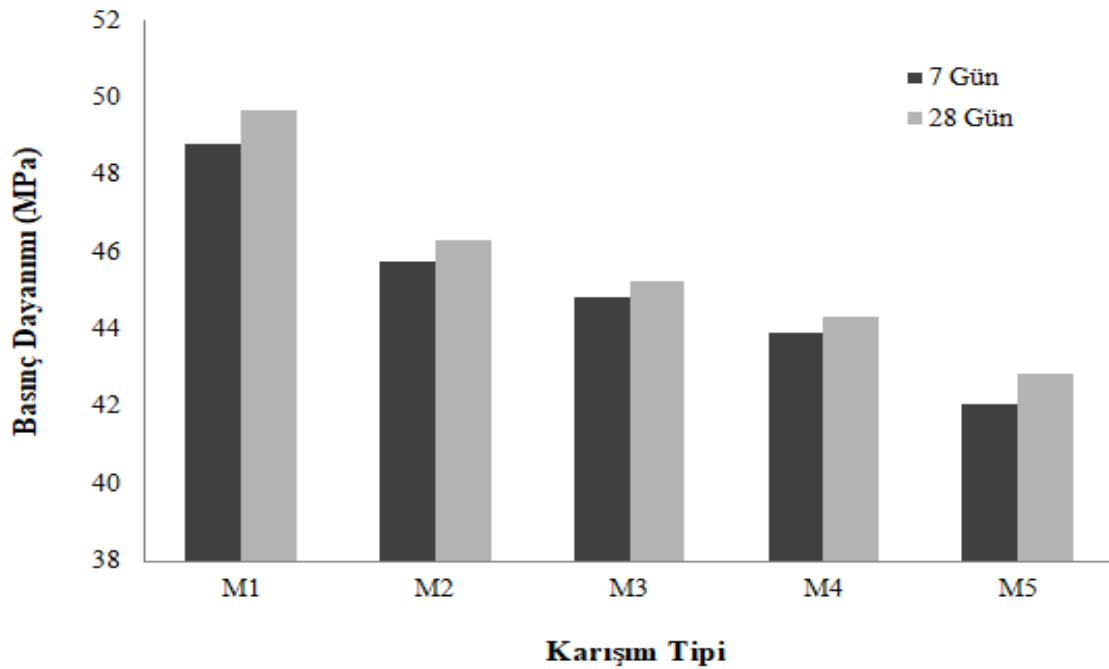
Şekil 4.4: Harç numuneleri 7. ve 28. gün eğilmede çekme dayanımı değerleri (MPa).

Sonuçlar incelendiğinde, GDA ile üretilen harç numunelerin eğilmede çekme dayanımlarının hem 7 günlük sonuçlarda hem de 28 günlük sonuçlarda, normal agregalı harç numunelere oranla daha düşük olduğu açığa çıkmıştır. 7 günlük harç

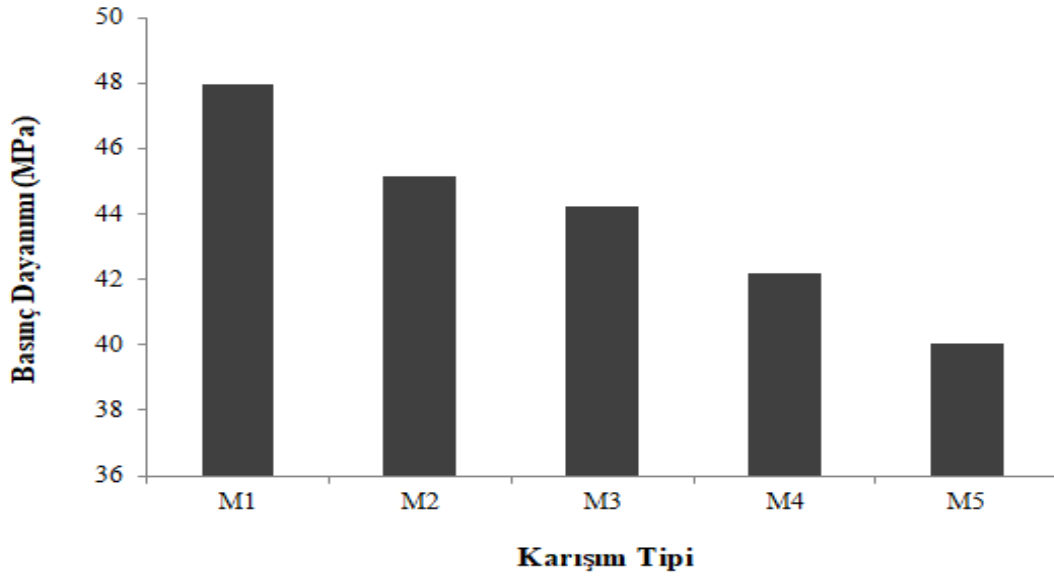
numunelerde görülen düzensiz dalgalanmaların, geri dönüşüm agregasının içerisindeki eski harç parçacıkları olması nedeniyle yüzey pürüzlülüğünün değişken olmasından kaynaklı olduğu, bunun sonucunda da ara yüzey bölgesinin olumsuz etkilendiği söylenebilir. Yine sonuçları incelediğimizde, harç numunelerindeki GDA oranı arttıkça eğilmede çekme dayanımının azaldığı; 7 günlük harç numunelere bakıldığında eğilmede çekme dayanımının dalgalı olduğu, içeriğinde %100 oranında GDA bulunan M5 harç numunesindeki azalmanın, içeriğinde hiç GDA bulunmayan M1 harç numunesine oranla yaklaşık olarak %11 olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca 28 günlük harç numuneleri incelendiğinde içerisinde %25 oranında GDA bulunan harç numunesindeki azalmanın %1,5 iken, içerisinde %100 oranında GDA bulunan numunede bu oranın yaklaşık olarak %14 olduğu gözlemlenmiştir. Daha önceki yapılan deneysel çalışmalarda, harç numune üretiminde kullanılan geri dönüşüm agregalarının yıkanarak kullanılması durumunda, eğilmede çekme dayanımının artacağı yönünde bulgular ortaya çıkmıştır (Padmini, 2008).

4.2.4 Basınç Dayanımı

Basınç dayanımı değerleri bulunurken harç numunelerinin gerçek boyutları göz önüne alınarak işlemler yapılarak ortalama basınç dayanımı değerleri bulunmuştur. Deney sonucunda ulaşılan değerler Şekil 4.5 ve Şekil 4.6’da gösterilmektedir.



Şekil 4.5: (4×4×16) cm prizma numuneleri basınç dayanım değerleri grafiği (MPa).



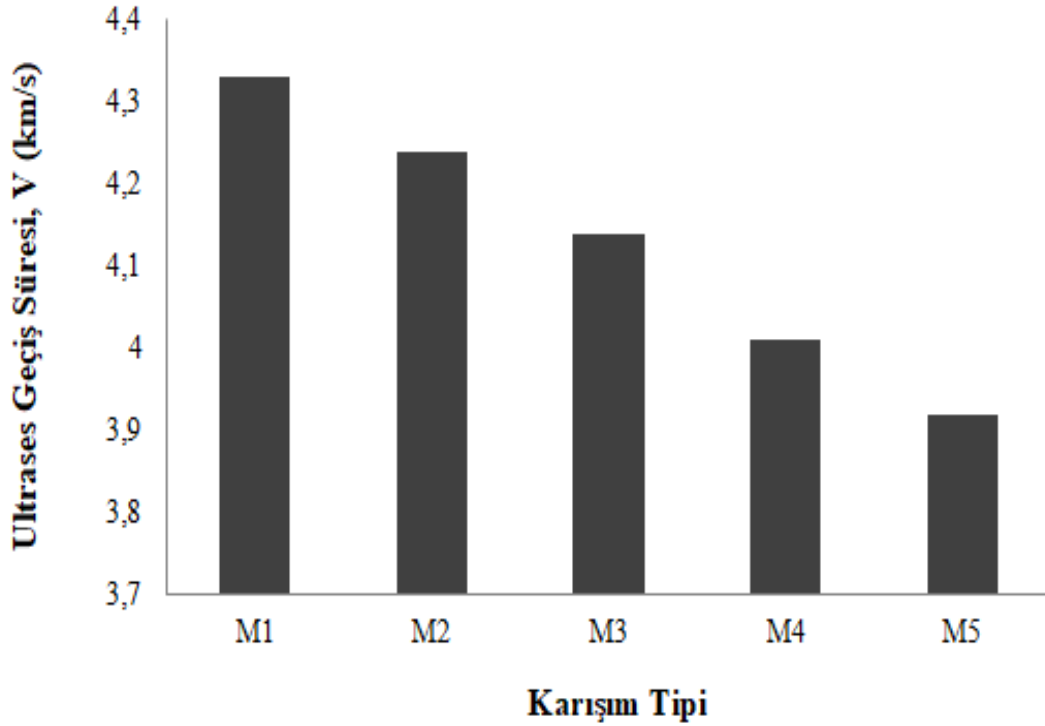
Şekil 4.6: Donma-çözülme deneyi yapılan harç numuneleri basınç dayanımı (MPa).

Deney sonuçları incelendiğinde; harç numunelerinde kullanılan GDA oranı arttıkça, basınç dayanımlarının azaldığı görülmektedir. 7 günlük prizma numunelerin sonuçları incelendiğinde, hiç GDA kullanılmayan M1 harç numunesinde basınç dayanımı 48,81 MPa iken, tamamında GDA kullanılan M5 harç numunesinde basınç dayanımı yaklaşık olarak %15 oranında azalarak 42,05 MPa çıkmıştır. 28 günlük basınç dayanım sonuçlarını incelediğimizde ise, dayanımın harç numunesindeki GDA oranı arttıkça yine azaldığını GDA'sız M1 harç numunesinde 49,65 MPa iken, %100 oranında GDA bulunan M5 harç numunesinde basınç dayanımının değerindeki azalma bu sefer %14 oranında kalarak 42,85 MPa çıkmıştır. Donma-çözülme deneyi yapılan harç numunelerinde ise, M1 numunesindeki dayanımın 47,94 olduğu, M5 numunesindeki dayanımın ise 40,05 olduğu tespit edilmiş, aradaki farkın %17 seviyelerine kadar çıktığı ve basınç dayanımının normal prizma numunelere oranla daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Harç numunelerinde GDA oranı arttıkça basınç dayanımlarının azalmasını, GDA'nın içeriğinde bulunan eski harcın varlığıyla açıklayabiliriz. Çünkü eski harç yapısının porozitesi (boşluk yapısı) yüksektir ve dolayısıyla dayanımı düşüktür. Aynı zamanda GDA'nın içeriğinde bulunan farklı maddeler de basınç dayanımını azaltabilir. Bu konu üzerinde yapılan daha önceki çalışmalarda, GDA kullanılan harç numunelerinde daha iri taneli GDA kullanıp, çimento miktarını arttırarak ve aynı zamanda düşük oranda su/çimento ayarlayarak, GDA ile hazırlanan harç numunelerinin basınç dayanımlarını artırabilmenin mümkün olacağı tespit edilmiştir (Padmini, 2008).

4.2.5 Ultrases Geçiş Süreleri

Yapılan deneyler sonucu belirlenen ortalama ultrases geçiş süreleri Şekil 4.7’de gösterilmektedir.

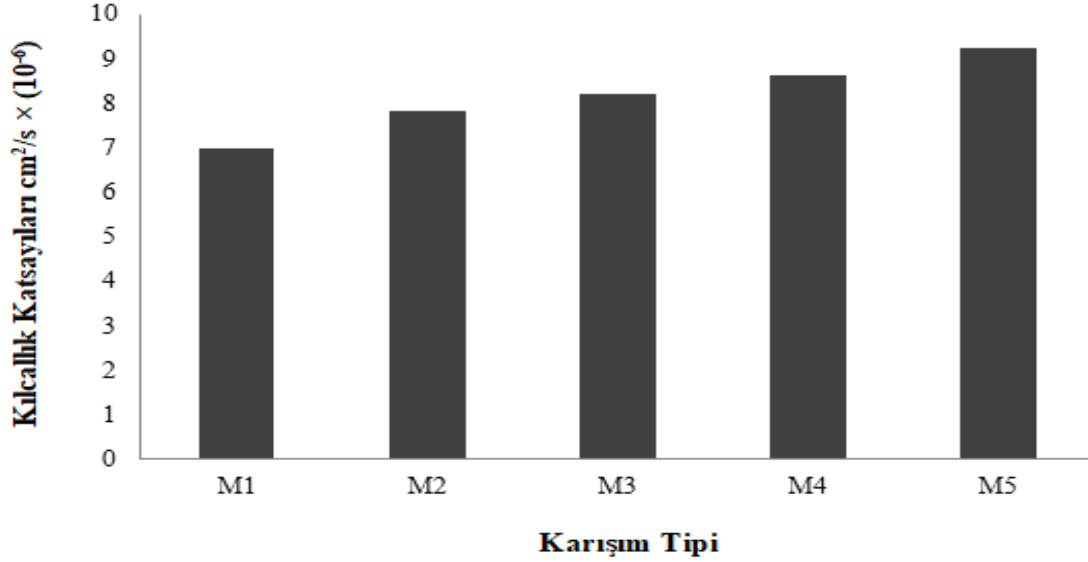


Şekil 4.7: Silindir harç numunelerin ortalama ultrases geçiş hızları (km/s).

Sonuçlar incelendiğinde, harç numunelerinde GDA oranı arttıkça ultrases geçiş hızlarının düştüğü gözlenmiştir. Tamamen standart CEN kumu ile üretilen M1 harç numunesinin ultrases geçiş süresi, içerisinde %100 oranında GDA bulunan M5 harç numunesine göre yaklaşık olarak %9 oranında daha yüksektir. İçeriğinde hiç GDA bulunmayan M1 harç numunesinde ultrases geçiş süresi 4,33 km/s olarak tespit edilmiştir. Harç numunelerindeki GDA içeriği arttıkça ultrases geçiş hızları düşmüş ve içeriğinde %100 oranında GDA bulunan M5 harç numunesinde ise ultrases geçiş süresi 3,92 km/s olarak gözlemlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde M1 ve M5 harç numuneleri arasındaki oranın çok fazla derecede olmadığı ve GDA’nın iyi bir alternatif olacağı tespit edilmiştir. Aradaki bu farkın, GDA içeriği fazla olan numunelerin daha boşluklu bir yapıya sahip olduğundan kaynaklandığını söyleyebiliriz. Bu durumda GDA’nın içeriğinde bulunan artık harç parçacıklarından dolayı GDA’nın su emme oranının, normal agregaya oranla daha fazla olmasından dolayı ortaya çıktığını söyleyebiliriz.

4.2.6 Kapilarite (Kılcal Su Emme)

Yapılan deneyler neticesinde elde edilen kılcallık katsayıları Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



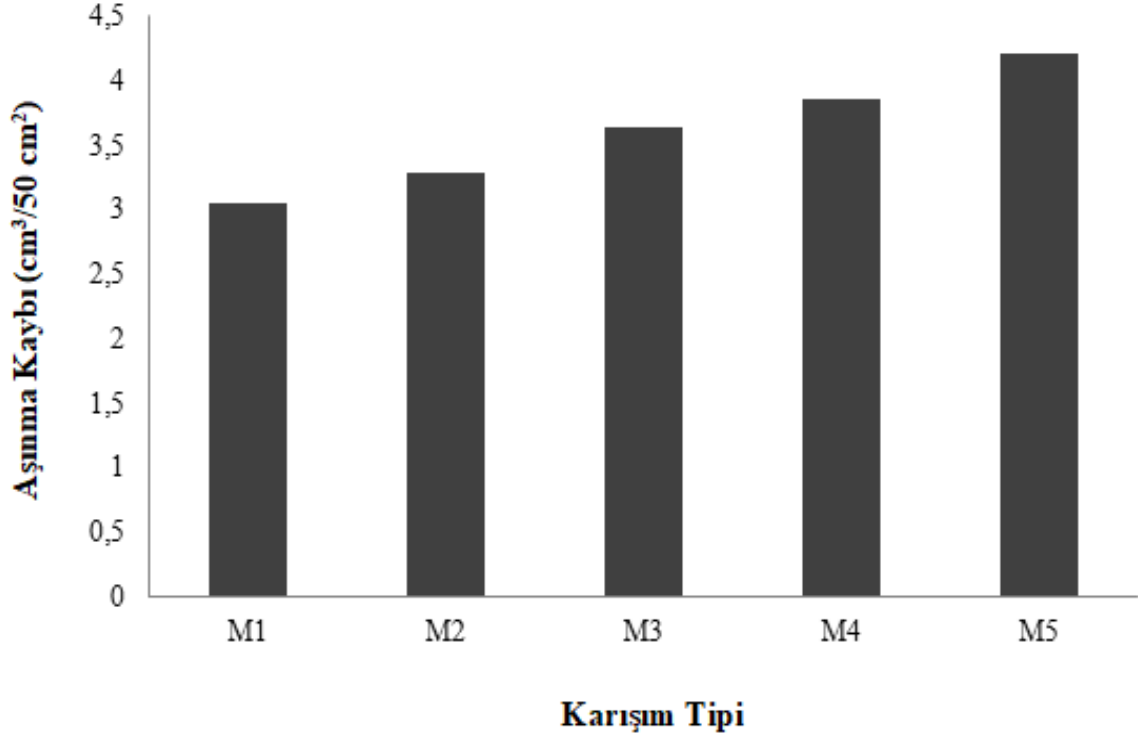
Şekil 4.8: Harç numunelerin kılcallık katsayısı değerleri.

Sonuçlar incelendiğinde; karışımlardaki GDA miktarı arttıkça, kılcallık katsayılarının arttığı gözlemlenmiştir. İçerisinde hiç GDA bulunmayan M1 harç numunesi ile GDA içeriği %25 olan M2 harç numunesi incelendiğinde, M2 harç numunesinin M1 harç numunesine oranla yaklaşık %11 oranında artış olduğu gözlemlenmiştir. GDA içeriği %100 olan M5 harç numunesine baktığımızda ise, bu oranın daha da yükseldiği ve M1 harç numunesi ile M5 harç numunesi arasındaki farkın yaklaşık olarak %25 civarında olduğu gözlemlenmiştir. Çıkan değerlere bakıldığında; içeriğinde GDA bulunmayan M1 harç numunesinde kılcallık katsayısı $6,985 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$ iken, GDA içeriği %100 olan M5 harç numunesindeki değer $9,235 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$ çıkmıştır. Kılcallık katsayısındaki bu artışın nedenini, GDA taneciklerinin içeriğindeki eski harçların varlığıyla, dolayısıyla su emme oranının yüksek olmasıyla açıklayabiliriz.

Bu konuyla ilgili daha önceden yapılan çalışmalar incelendiğinde; GDA içeren harç numunelerinde su emme miktarları fazla olduğundan dolayı, işlenebilirliği sağlamak amacıyla su/çimento oranı 0,5’ten yüksek seçilmektedir. Su/çimento oranının 0,5 değerinden fazla olması durumunda, boşlukların tamamen kapanmadığını ve bunun neticesinde de numunelerdeki geçirimsizliğin arttığı tespit edilmiştir (Erdoğan, 2007).

4.2.7 Aşınma (Böhme) Deneyi

Yapılan deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar Şekil 4.9’da gösterilmektedir.

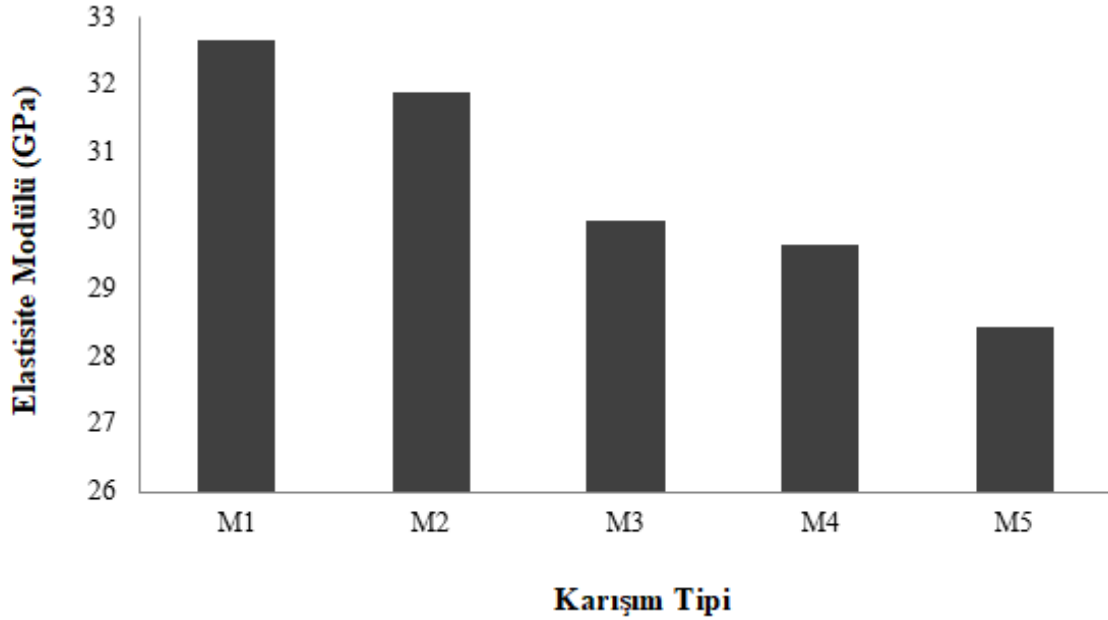


Şekil 4.9: Numunelerin aşınma kayıpları (cm³/50 cm²).

Yapılan deneyler neticesinde sonuçlar incelendiğinde, harç numunelerdeki GDA oranı arttıkça aşınma kaybının da arttığı gözlemlenmiştir. İçeriğinde hiç GDA bulunmayan M1 harç numunesinde aşınma kaybı $3,05 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$ iken, içeriğinde %100 oranında GDA bulunan M5 harç numunesindeki değer $4,21 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$ olarak gözlemlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, M2 harç numunesindeki aşınma kaybının M1 harç numunesine oranla %7 oranında daha fazla olduğu görülmüştür. M5 harç numunesinde ise bu oranın daha da arttığı ve yaklaşık olarak M1 harç numunesine göre %27 oranında daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bu değerler göz önüne alındığında, harç numunelerinde GDA kullanımı aşınma kaybını artırmıştır. Bu durumun nedenini ise, GDA içeriğinin daha yüksek poroziteye sahip olmasıyla, dolayısıyla GDA oranı fazla olan numunelerin çimento ile daha iyi bir bağ oluşturmasıyla açıklayabiliriz. Bunun neticesinde de GDA oranı fazla olan numunelerde aşınmada daha fazla kayıp gözlenmektedir. Bununla ilgili yapılan önceki çalışmalarda da, GDA kullanım oranı arttığında aşınma kaybının da arttığı tespit edilmiştir (Correia, 2006).

4.2.8 Elastisite Modülü Deneyi

Yapılan çalışmalar neticesinde bulunan ortalama değerler Şekil 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.10: Harç numunelerinin elastisite modülü değerleri (GPa).

Yapılan deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar incelendiğinde, harç numunelerinin içeriğindeki GDA oranı arttıkça elastisite modüllerinde azalma olduğu tespit edilmiştir. En yüksek elastisite modülü değeri içeriğinde hiç GDA bulunmayan harç numunesinde 32,65 GPa olarak gözlenmiş, en düşük değer ise içeriğinde %100 oranında GDA içeren harç numunesinde 28,429 GPa olarak hesaplanmıştır. Değerler göz önüne alındığında; GDA içeriği %100 olan M5 harç numunesindeki değerin, içerisinde hiç GDA bulunmayan M1 harç numunesindeki değere oranla yaklaşık olarak %13 oranında daha az olduğu gözlemlenmiştir.

Elde edilen bu sonuçların, numunelerin içeriğinde bulunan agrega tane şekilleriyle ve döküm esnasında taze betonun yerleştirilmesi ve sıkıştırılmasıyla açıklayabiliriz. Nitekim GDA’nın içeriğinde bulunan eski harç yapısının boşluk oranı daha yüksek olduğundan ve dolayısıyla dayanımı da düşük çıktığı için, GDA içeriği fazla olan harç numunelerde elastisite modülü değerleri daha düşük çıkmıştır. Ayrıca, deneysel yöntemlerle tespit ettiğimiz elastisite modül değerlerinin normal beton için yakın sonuçlar verdiği de ortaya çıkmıştır.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışmada, geri dönüştürülmüş agregaların harçlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Harçların üretiminde; su/çimento oranı sabit tutulmuş, geri dönüşüm agregası ise sırasıyla %0, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında standart agregayla ikame edilmiştir. Üretilen harç numunelerinin taze ve sertleşmiş haldeki bazı özellikleri üzerinde deneyler yapılmıştır. Deneyler neticesinde elde ettiğimiz sonuçlara göre, geri dönüştürülmüş agregaya ile üretilen harçlar ve normal agregaya kullanarak üretilen harçların arasındaki fark aşağıdaki tabloda karşılaştırılmıştır:

Tablo 5.1: GDA ile normal agreganın yapılan deneylerde karşılaştırılması.

Deney Adı	Geri Dönüşüm Agregasının Normal Agregaya Göre Değişimi
Yayılma Tablası Deneyi (Kıvam)	Normal Agregayla Üretilen Harca Oranla Daha Az
Sertleşmiş Beton Yoğunluğu	Normal Agregaya Oranla Daha Düşük
Su Emme Oranı	Normal Agregaya Oranla Daha Yüksek
Eğilmede Çekme Dayanımı	Normal Agregaya Oranla Daha Düşük
Basınç Dayanımı	Normal Agregaya Oranla Daha Düşük
Ultrases Geçiş Hızı	Normal Agregaya Oranla Daha Yavaş
Kılcal Su Emme (Kapilarite)	Normal Agregaya Oranla Daha Yüksek
Aşınma Kaybı	Normal Agregaya Oranla Daha Fazla
Elastisite Modülü	Normal Agregaya Oranla Daha Düşük

- Harç numunelerinde GDA ikame oranı arttıkça işlenebilirliğin azaldığı ve yayılma çaplarının azaldığı görülmüştür. Dolayısıyla numunelerde GDA oranı arttıkça kıvam azalmıştır. Bu durumu sürtünmeyle açıklayabiliriz. GDA içeriğinde sürtünme arttıkça işlenebilirlik zorlaşmıştır. Buna çözüm olarak GDA'nın içerisinde bulunan nem miktarını artırarak işlenebilirliğini artırabiliriz.
- Harç karışımlarında GDA oranı arttıkça birim hacim ağırlığın azaldığı gözlenmektedir. Hatta harç numunelerindeki GDA oranı %50'yi geçtiğinde bu düşüş daha belirgin hale gelmiştir. GDA oranı arttıkça birim hacim ağırlığın

azalmasının nedenini, geri dönüşüm agregasının normal agregaya oranla daha hafif olmasından kaynaklı olduğunu söyleyebiliriz.

- GDA oranı arttıkça su emme oranının da arttığı görülmektedir. GDA üzerindeki artık kalıntıların su emme oranının yüksek çıkmasına neden olduğu söylenebilir.
- Karışımlardaki GDA miktarı arttıkça, kılcallık katsayılarının da arttığı gözlemlenmiştir. Kılcallık katsayısındaki bu artışın nedenini, GDA taneciklerinin içeriğindeki eski harçların varlığıyla, dolayısıyla su emme oranının yüksek olmasıyla açıklayabiliriz.
- GDA ile üretilen harç numunelerin eğilmede çekme dayanımlarının hem 7 günlük sonuçlarda hem de 28 günlük sonuçlarda, normal agregaya ile üretilen harç numunelere oranla daha düşük olduğu açığa çıkmıştır.
- GDA oranı arttıkça, basınç dayanımlarının azaldığı görülmektedir. Bu azalmayı GDA'nın içeriğinde bulunan eski harcın varlığıyla açıklayabiliriz. GDA ile üretilen harç numunelerde daha iri taneli GDA kullanarak basınç dayanımlarını artırabilmek mümkündür.
- GDA oranı arttıkça ultrases geçiş hızlarının düştüğü gözlenmiştir. Bunun nedenini ise, GDA'nın içeriğinin normal agregaya oranla daha boşluklu olduğundan kaynaklandığını söyleyebiliriz.
- Dayanımlardaki azalmalara karşın, deneysel çalışmalarda %100 oranında GDA kullandığımızda dahi, GDA'nın normal agregaya bir alternatif olabileceği tespit edilmiştir.
- Harç numunelerdeki GDA oranı arttıkça aşınma kaybının azaldığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla numunelerde GDA kullanımı aşınma direncini artırmıştır. Bu durumun nedenini ise, GDA içeriğinin daha yüksek poroziteye sahip olmasıyla, dolayısıyla GDA oranı fazla olan numunelerin çimento ile daha iyi bir bağ oluşturmasıyla açıklayabiliriz.
- Harç numunelerin içeriğindeki GDA oranı arttıkça elastisite modüllerinde azalma olduğu tespit edilmiştir. GDA'nın içeriğinde bulunan eski harç yapısının boşluk oranı daha yüksek olduğundan ve dolayısıyla dayanımı da düşük çıktığı için, GDA içeriği fazla olan harç numunelerde elastisite modülü değerleri daha düşük çıkmıştır.
- Yapılan deneysel çalışmaları göz önüne alındığında, atıklardan elde edilen GDA'nın beton karışımlarında kullanılabileceği görülmüştür. Ayrıca, GDA ile

yüksek dayanımlı beton üretmek için çalışmalar geliştirilebilir ve farklı kimyasal ve mineral katkıların kullanımının GDA'nın beton üretimine nasıl etki edebileceği araştırılabilir.

- Bir diğer önemli husus, beton üretiminde GDA kullanarak agrega rezervlerinin azalmasının önüne geçilebilir ve böylelikle daha ekonomik bir şekilde beton numuneleri üretilebilir. Dolayısıyla da betonlarda GDA kullanarak çevresel kirliliği önemli ölçüde azaltabiliriz.



KAYNAKLAR

- ASR, (2006). Agrega sektör raporu, agrega üreticileri birliği teknik komite, İstanbul.
- Agrela, F., Juan, M.S., Ayuso, J., Galdes, V.L. ve Jimenez, J.R. (2011). Limiting properties in the characterisation of mixed recycled aggregates for use in the manufacture of concrete. *Construction and building materials*, 25 (4), 3950-3955.
- Akbulut, D.E. (2006). “Tarihi yapıların onarımında kullanılacak harçların seçimine yönelik bir öneri”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akman, M.S. (1990). Yapı malzemeleri, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yayını, (İkinci baskı) s. 1-104, İstanbul.
- Anonim, (2004). T.C. Resmi Gazete, Hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıklarının kontrolü yönetmeliğı. (25406), 18.3.2004.
- Anonim, (2010). T.C. Resmi Gazete, 5998 sayılı belediye kanununda değışiklik yapılmasına ilişkin kanun. (27621), 24.6.2010.
- Anonim, (2012). T.C. Resmi Gazete, 6306 sayılı afet riski altındaki alanların dönüştürölmesi hakkında kanun. (28309), 31.5.2012.
- 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. ve Aydın, S. (2012). Beton, DEÜ Mühendislik Fakültesi yayınları, İzmir, 127 – 193.
- Bayölke, N. (2011) “Yığma yapıların deprem davranışı ve güvenliğı” , 1. Türkiye deprem mühendisliğı ve sismoloji konferansı, Orta Doğı Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Bhikshama, V., Divya K. ve Osmania. H. (2012). Study on the permeability of the recycled aggregate concrete using fly ash, 37th conference on our world in concrete & structures, Singapore.
- Celep, Z. (2011). Betonarme yapılar altıncı baskı, İhlas matbaacılık.
- Chandra, S. (2004). Implications of using recycled construction and demolition waste as aggregate in concrete. Paper presented at international conference on sustainable waste management and recycling, Kingston University, London, 105-114.
- Collins, R.J. (1996). Increasing the use of recycled aggregates in construction. Paper presented at international conference: Concrete in the service of mankind, Concrete for environment enhancement and protection, dundee, scotland, 130-139.

- Correia, J.R., Brito, J. de ve Pereira, A.S. (2006). Effects on concrete durability of using recycled ceramic aggregates, *Materials and structures*, 169–177.
- ÇŞB, (2015). Çevre ve Şehir Bakanlığının, 27 Nisan 2015 tarihli, 84492432/010.06.02-11495 sayılı yazısıyla, 2015/04 nolu genelge.
- Doğangün, A. (2008). Betonarme yapıların hesap ve tasarımı, Birsan yayınevi, İstanbul.
- 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.
- 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) – comparative analysis of existing specifications”, *Magazine of concrete research*, 339-346.
- Güneş, ve Ark. (2010). “Hazır yaş sıvanın (harçlarının) üretimi, kalite kontrolü ve deneysel çalışması”, Hazır beton kongresi ve uluslararası beton ve agrega teknolojileri ve ekipmanları fuarı, İstanbul.
- Hamalı, Y. (2007). Metakaolin ve silis dumanı içeren harç ve betonların özellikleri, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- İpekçi, C.A., Coşkun, N. ve Karadayı, T.T. (2017). İnşaat sektöründe geri kazanılmış malzeme kullanımının sürdürülebilirlik açısından önemi, *Türk Bilim Araştırma Vakfı*, 43-50.
- Kahraman, E. ve Kılıç, M.A. (2016). Agrega madenciliğinin hazır beton üretimindeki yeri. 8. Uluslararası kırmataş sempozyumu, Kütahya.
- Karadağ, H. (2015). Kentsel Dönüşümle Afetlere Hazır Türkiye. 22 Mart 2015.
- Katz, A. (2003). Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete. *Cement and concrete research*, 33(2), 703-711.
- KDHGM, (2014). T.C. Altyapı ve Kentsel Dönüşüm Hizmetleri Genel Müdürlüğü, İnşaat ve yıkıntı atıklarından ilk endüstriyel uygulama ile yeşil tuğla ve yeşil çimento üretilmesi.
- Khalaf, F. M. ve Devenny, A.S. (2004). Recycling of demolished masonry rubble as coarse aggregate in concrete: Review, *J. Mater. Civ. Eng.*, 331-340.
- Köken, A., Köroğlu, M.A. ve Yonar, F. (2008). Atık betonların beton agregası olarak kullanılabilirliği, *Teknik online dergisi*, 86-97.

- Köksal, F. (2004). Çelik tel donatılı betonların mekanik davranışı ve optimum tasarımı, Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- KPMG, (2018). Kraayenhof, Peat, Mitchell, Goerdeler. Sektörel Bakış – İnşaat.
- Labrincha, J., Ding, Y. and Brito, J. (2013). Handbook of recycled concrete and demolition waste. Cambridge: Woodhead publishing limited, 324.
- Lauritzen, E.K. ve Jannerup, M. (1993). Demolition and reuse of concrete and masonry, Third International rilem symposium, Odense, Denmark, Bildiriler Kitabı, 35 - 47.
- Lee, G.L., Garcia-Diaz, E., Betrancourt D. ve Rémond, S. (2017). Hardened behavior of mortar based on recycled aggregate: Influence of saturation state at macro- and microscopic scales, Construction and building materials, 479 - 490.
- Mehta, K.P. (2002). Greening of the concrete industry for sustainable development. Concrete International, 24, 23-28.
- Otsuki, N., M. Asce, M., Shinichi Miyazato, ve Yodsudjai, W. (2003). Influence of recycled aggregate on interfacial transition zone, Strength, Chloride penetration and carbonation of concrete, J. Mater. Civ. Eng., 443-451.
- Özkan, E. (2001). Recycling rubble in to aggregates: Model for local governments, Journal of habitat international, 493 - 502.
- Öztürk, M. (2005). İnşaat/yıkıntı atıkları yönetimi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- 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, 829 – 836.
- Postacıoğlu, B. (1987). Beton bağlayıcı maddeler, Teknik kitaplar yayınevi, İstanbul.
- Rakshvir, M. ve Barai, V.S. (2006). Studies on recycled aggregates based concrete, Journal of waste management and research, 225 – 233.
- Roos, F. (2002). Ein beitrag zur bemessung von beton mit Zuschlag aus rezyklierten gesteinskörnung nach DIN 1045-1. Doktora Tezi, Technische Universität, München.
- Savaş, Ö. (2002). Atık betonların geri kazanımı, Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Şensöz, B.Ö. (2000). “Çimento ve Beton”, Batı Anadolu çimento fabrikaları, İzmir, 99 - 126.
- Şimşek, O. (2016). Beton ve beton teknolojisi (5. baskı). Ankara, Seçkin yayıncılık, 46 - 109.

- TS EN 1008, (2003). Beton-karma suyu-numune alma, deneyler ve beton Endüstrisindeki İşlemlerden geri kazanılan su dâhil, suyun beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tu, Y.T., Chen, Y.Y. ve Hwang, L.C. (2006). Properties of HPC with recycled aggregates, Cement and concrete research, 943 – 950.
- Tüfekçi, M. (2011). Geri kazanılmış agregaların beton üretiminde yeniden kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- THBB, (2016). Türkiye hazır beton birliği, 2016 yılı Türkiye hazır beton sektörü istatistikleri.
- ÜKDÇ, (2015). Ülkemizde kentsel dönüşüm çalışmaları/406816/ Trabzon’da kentsel dönüşüm. (16.09.2015).
- Ün, H. (2007). PAÜ İnşaat mühendisliği bölümü yapı malzemeleri ders notları, Denizli.
- WBTC. No.12. (2002). Specifications Facilitating the Use of Recycled Aggregates. Hong Kong: Works Bureau of Hong Kong.
- URL-1 (2018). <http://www.thbb.org/sektor/dunyada-sektor>, (01.05.2018).
- URL-2 (2017). <http://www.uzunlarhurda.com/bina-yikimi.html>, İnşaat yıkımları ile ilgili yapılan çalışmalar (02.08.2017)
- URL-3 (2013). <http://www.makina-market.com.tr/icerik/8688>, yıkıntı atıkları için dönüşüm projesi (13.05.2013).
- URL-4 (2015). <http://emlakkulisi.com/trabzon-kentsel-donusum-calismalari-ne-durumda/406816> (16.09.2015).
- URL-5 (2015). <http://www.csb.gov.tr/gm/altyapi/index.php>, İnşaat Ve Yıkıntı Atıklarından Tuğla, Kiremit ve Sıva Atıklarının Tuğla Üretiminde Kullanımının Araştırılması, TÜBİTAK (13.05.2015).

BİBLİYOGRAFYA

- Agrela, F., Juan, M.S., Ayuso, J., Geraldles, V.L. ve Jimenez, J.R. (2011). Limiting properties in the characterisation of mixed recycled aggregates for use in the manufacture of concrete. *Construction and building materials*, 25 (4), 3950-3955.
- Akman, M.S. (1990). Yapı malzemeleri, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yayını, (İkinci baskı) s. 1-104, İstanbul.
- 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. ve Aydın, S. (2012). Beton, DEÜ Mühendislik Fakültesi yayınları, İzmir.
- Bhikshama, V., Divya K. ve Osmania. H. (2012). Study on the permeability of the recycled aggregate concrete using fly ash, 37th conference on our world in concrete & structures, Singapore.
- Celep, Z. (2011). Betonarme yapılar altıncı baskı, İhlas matbaacılık.
- Chandra, S. (2004). Implications of using recycled construction and demolition waste as aggregate in concrete. Paper presented at international conference on sustainable waste management and recycling, Kingston University, London, 105-114.
- Collins, R.J. (1996). Increasing the use of recycled aggregates in construction. Paper presented at international conference: Concrete in the service of mankind, Concrete for environment enhancement and protection, dundee, scotland, 130-139.
- Correia, J.R., Brito, J. de ve Pereira, A.S. (2006). Effects on concrete durability of using recycled ceramic aggregates, *Materials and structures*, 169–177.
- Doğangün, A. (2008). Betonarme yapıların hesap ve tasarımı, Birsan yayınevi, İstanbul.
- Erdoğan, T.Y. (2007). Beton, Genişletilmiş 2. baskı, ODTÜ yayıncılık, Ankara.
- 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) – comparative analysis of existing specifications”, *Magazine of concrete research*, 339-346.

- Hamalı, Y. (2007). Metakaolin ve silis dumanı içeren harç ve betonların özellikleri, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Karadağ, H. (2015). Kentsel Dönüşümle Afetlere Hazır Türkiye. 22 Mart 2015.
- Katz, A. (2003). Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete. Cement and concrete research, 33(2), 703-711.
- Khalaf, F.M. ve Devenny, A.S. (2004). Recycling of demolished masonry rubble as coarse aggregate in concrete: Review, J. Mater. Civ. Eng., 331-340.
- Köksal, F. (2004). Çelik tel donatılı betonların mekanik davranışı ve optimum tasarımı, Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Labrincha, J., Ding, Y. and Brito, J. (2013). Handbook of recycled concrete and demolition waste. Cambridge: Woodhead publishing limited, 324.
- Lauritzen, E.K. ve Jannerup, M. (1993). Demolition and reuse of concrete and masonry, Third International rilem symposium, Odense, Denmark, Bildiriler Kitabı, 35 - 47.
- Lee, G.L., Garcia-Diaz, E., Betrancourt D. ve Rémond, S. (2017). Hardened behavior of mortar based on recycled aggregate: Influence of saturation state at macro- and microscopic scales, Construction and building materials, 479 - 490.
- Mehta, K.P. (2002). Greening of the concrete industry for sustainable development. Concrete International, 24, 23-28.
- Otsuki, N., M. Asce, M., Shinichi Miyazato, ve Yodsudjai, W. (2003). Influence of recycled aggregate on interfacial transition zone, Strength, Chloride penetration and carbonation of concrete, J. Mater. Civ. Eng., 443-451.
- Özkan, E. (2001). Recycling rubble in to aggregates: Model for local governments, Journal of habitat international, 493 - 502.
- Öztürk, M. (2005). İnşaat/yıkıntı atıkları yönetimi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- 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, 829 – 836.
- Postacıoğlu, B. (1987). Beton bağlayıcı maddeler, Teknik kitaplar yayınevi, İstanbul.
- Rakshvir, M. ve Barai, V.S. (2006). Studies on recycled aggregates based concrete, Journal of waste management and research, 225 – 233.
- Roos, F. (2002). Ein beitrage zur bemessung von beton mit Zuschlag aus rezykliertem gesteinskörnung nach DIN 1045-1. Doktora Tezi, Technische Universität, München.

- Savaş, Ö. (2002). Atık betonların geri kazanımı, Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Şensöz, B.Ö. (2000). “Çimento ve Beton”, Batı Anadolu çimento fabrikaları, İzmir, 99 – 126.
- Şimşek, O. (2016). Beton ve beton teknolojisi (5. baskı). Ankara, Seçkin yayıncılık, 46 - 109.
- Tu, Y.T., Chen, Y.Y. ve Hwang, L.C. (2006). Properties of HPC with recycled aggregates, Cement and concrete research, 943 – 950.
- Tüfekçi, M. (2011). Geri kazanılmış agregaların beton üretiminde yeniden kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Ün, H. (2007). PAÜ İnşaat mühendisliği bölümü yapı malzemeleri ders notları, Denizli.
- WBTC. No.12. (2002). Specifications Facilitating the Use of Recycled Aggregates. Hong Kong: Works Bureau of Hong Kong.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Mustafa GÜMÜŞSOY
Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara / 15.07.1990

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Erciyes Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği
Yüksek Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce, Arapça
Bilimsel Faaliyet/Yayınlar : Gümüşsoy, M., Gençel O. ve Delibaş R. (2019). Geri dönüştürülmüş agregaların harç özelliklerine etkisinin araştırılması, I. Uluslararası Bilim ve İnovasyon Kongresi (INSI-2019), 505 – 509.

İş Deneyimi

Stajlar : Öz-Ka İnşaat (Kayseri, 2011)
Yapıkur Yapı Denetim (Ankara, 2012)
Projeler ve Kurs Belgeleri : C Sınıfı İSG Uzmanı (2016)
Çalıştığı Kurumlar : Söğüt İnşaat (2016-2017)
Reis İnşaat (2017-2018)
Ankara Valiliği (2018-.....)

İletişim

E-Posta Adresi : mustafagumusoy@hotmail.com.tr

Tarih : 04 / 12 / 2019 (Tez Savunma Tarihi)