



T.C.

BARTIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ BETONLARIN KÖPÜK BETONDA
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

HAZIRLAYAN

MİRAC OĞUZ

DANIŞMAN

PROF. DR. OSMAN GENÇEL

BARTIN-2019



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

GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ BETONLARIN KÖPÜK BETONDA
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN

Miraç OĞUZ

JÜRİ ÜYELERİ

Danışman : Prof. Dr. Osman GENÇEL - Bartın Üniversitesi
Üye : Prof. Dr. Fuat KÖKSAL - Yozgat Bozok Üniversitesi
Üye : Dr. Öğr. Üyesi M. Yasin DURGUN - Bartın Üniversitesi

BARTIN-2019

KABUL VE ONAY

Miraç OĞUZ tarafından hazırlanan “GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ BETONLARIN KÖPÜK BETONDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu çalışma, 17/06/2019 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 : Prof. Dr. Fuat KÖKSAL

Üye : Dr. Öğr. Üyesi M. Yasin DURGUN

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

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

BEYANNAME

Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre Prof. Dr. Osman GENÇEL danışmanlığında hazırlamış olduğum “GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ BETONLARIN KÖPÜK BETONDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” başlıklı doktora tezimin bilimsel etik değerlere ve kurallara uygun, özgün bir çalışma olduğunu, aksinin tespit edilmesi halinde her türlü yasal yaptırımını kabul edeceğimi beyan ederim.

17.06.2019

Miraç OĞUZ

ÖNSÖZ

Bu akademik tezin hazırlanmasında; tez danışmanlığımı üstlenen, benden bu çalışmanın başından sonuna kadar değerli yardım ve yönlendirmelerini esirgemeyen saygıdeğer hocam Prof. Dr. Osman GENÇEL'e teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tezde jüri üyesi olma nezaketini gösteren, tezin incelenerek hataların düzeltilmesinde değerli vakitlerini harcayan ve laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Fuat KÖKSAL'a, Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Yasin DURGUN'a şükranlarımı sunarım.

Atık betonları ve kumu öğütmek için bilyalı değirmenin temininde desteklerini esirgemeyen Makine Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. M. Sabri GÖK'e ve deneme karışımı hazırlamada yardımcı olan Doç. Dr. Ertuğrul ERDOĞMUŞ' a teşekkürlerimi sunarım. Deneysel çalışmalarımda teknik anlamda bana yardımcı olan saygı değer hocam Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Yasin DURGUN'a da ayrıca teşekkür ederim.

Deney malzemelerinin temininde; genfil için ARTRA İnşaat Peyzaj Plastik Ltd. Şti. Çalışanlarından sevgili meslektaşım İnş. Müh. Mehmet KARAKUŞ'a, silis kumu için Bartın Pelenkoğlu Nakliyat Depo çalışanlarına, inşaat yıkım atığı için değerli mesai arkadaşım Doğan GÜN'e teşekkür ederim.

Yabancı dildeki kaynak çevirilerinde ve literatür taramalarında değerli bilgi ve yardımlarıyla yanımda olan, Giresun Üniversitesi Öğretim Görevlilerinden ablam Yasemin OĞUZ'a ve Özgür KALAFAT'a teşekkür ederim.

Son olarak beni büyütüp okutan, eğitim öğretim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini üzerimden hiç eksik etmemiş olan annem ve babama minnettarım.

Miraç OĞUZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ BETONLARIN KÖPÜK BETONDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Miraç OĞUZ

Bartın Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Osman GENÇEL

Bartın- 2019, sayfa: 98

Kullanım ömrünü tamamlamış yıkılan betonarme yapıların yıkım atıkları her geçen gün dünya çapında artmaktadır. Bu nedenle hem doğal çevrenin korunması ihtiyacına yönelik hem de ekonomik sebeplerden ötürü inşaat yıkım atıklarının geri kazanılması için alternatif çözümler geliştirilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında da beton atıkları köpük betonda kullanılarak değerlendirilmiştir.

İçinde çok sayıda köpük kabarcığı bulduran köpük ile üretilmiş, farklı birim ağırlık ve yalıtım niteliklerinde kumlu veya kumsuz üretilen köpük betonlar; düşük birim ağırlık, fazla miktarda ısı ve ses yalıtımı sağlar. Az miktarda su ve ısı geçirgenlikleri yangına karşı dayanımı arttırmaktadır. Birim ağırlıklarının az olması sebebi ile yapı yüklerini hafiflettiklerinden özellikle deprem bölgelerinde tercihen kullanılmaktadırlar.

Uzun yıllardır süren kentleşmede betonarme yapılarda milyonlarca metreküp kum kullanılmış ve hala kullanımı her geçen gün artarak devam etmektedir. Bu durum dere ve nehir yataklarındaki kum rezervlerini hızla tüketmektedir. Şimdiden kum kaynaklarının azaldığı göz önünde bulundurulduğunda, gelecekte daha ciddi hammadde sıkıntısı yaşamamak için bu durum bizi betonda kuma alternatif malzemeler türetmeye sevk etmektedir. Bu tez çalışması kapsamında da köpük betonlarda kum yerine inşaat yıkım atığı

kullanılarak üretilecek numunelerin mekanik ve fiziksel özellikleri, standart kum ile üretilecek numunelerin özellikleriyle kıyaslanarak, inşaat yıkım atıklarının köpük betonda kullanılmaya ne derece elverişli olacağı araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Köpük beton; atık beton; geri kazanım agregası.

Bilim Kodu: 624.05.01

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

A RESEARCH ON THE USE OF RECYCLED CONCRETE IN FOAM CONCRETE

Miraç OĞUZ

**Bartın University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

**Thesis Advisor: Prof. Osman GENÇEL
Bartın-2019, sayfa: 98**

The debris waste of the torn concrete buildings that complete their lifespan is increasing worldwide every day. Therefore, alternative solutions are being developed so that construction wastes can be recycled both for the preservation of the natural environment and for economic reasons. In this thesis study, concrete wastes are reused within foam concrete.

The foam concrete that can be produced with or without sand at different densities and proofing features through millions of foam bubbles provides low density, high temperatures and sound proofing. Low water and heat permeability increase the resistance against fire. Due to the fact that they ease the construction load since their unit weights are low, they are especially preferred in earthquake areas.

Million-meter cubes of sand have been used within the process of urbanisation, and the use of it still goes on. This condition consumes the sand reserves at the river beds. By taking the scarcity of the sand in the river beds into consideration nowadays, this condition leads us to create alternative materials to sand for concrete so that there will not be serious raw material problems in the future. In this thesis, how efficient can the construction waste be for foam concrete was studied by comparing the mechanical and physical attributes of samples that would be produced using construction waste rather than sand with the samples produced by

standard sand.

Key Words: Foam concrete; Waste concrete; Recovered aggregate.

Science Code: 624.05.01

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL VE ONAY	ii
BEYANNAME.....	iii
ÖNSÖZ	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
TABLolar DİZİNİ.....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
KISALTMALAR.....	xvi
BÖLÜM 1 GİRİŞ.....	1
1.1 Köpük Beton	4
1.1.1 Hafif Betonların Sınıflandırılması	6
1.1.1.1 Basınç Dayanımlarına Göre Hafif Beton Sınıfları	8
1.1.1.2 Yoğunluğa Göre Hafif Beton Sınıfları.....	9
1.1.3 Hafif Betonların Avantajları ve Dezavantajları	10
1.1.3.1 Hafif Betonların Avantajları.....	10
1.1.3.2 Hafif Betonların Dezavantajları	10
1.2 Hafif Beton Bileşenleri	11
1.2.1 Uçucu Kül.....	11
1.2.2 Çimento	13
1.2.3 Karma Suyu	13
1.2.4 Köpük Ajanı	14
1.2.5 Agrega	14
1.2.5.1 Hafif Beton Agregası	15
1.3 Köpük Beton Özellikleri.....	16

1.3.1 Taze Beton Özellikleri.....	17
1.3.1.1 İşlenebilirlik.....	17
1.3.1.2 Kıvam.....	17
1.3.1.3 Su/Çimento Oranı (S/Ç).....	18
1.3.1.4 Segregasyon.....	19
1.3.1.5 Terleme (Kusma).....	19
1.3.1.6 Rötne (Büzülme).....	19
1.3.1.7 Priz Süresi.....	20
1.3.1.8 Hidratasyon Isısı.....	20
1.3.1.9 Taze Betonun Sıcaklığı.....	21
1.3.2 Sertleşmiş Betonun Özellikleri.....	21
1.3.2.1 Dayanım.....	21
1.3.2.1.1 Basınç Dayanımı.....	22
1.3.2.1.2 Eğilme (Çekme) Dayanımı.....	23
1.3.2.1.3 Elastisite Modülü ve Gerilme Şekil Değişirme Eğrisi Özellikleri.....	23
1.3.2.2 Durabilite (Dayanıklılık).....	25
1.3.2.3 Birim Ağırlık (Özgül Ağırlık).....	25
1.3.2.4 Hava veya Boşluk Oranı (Porozite).....	26
1.3.2.5 Geçirimsizlik (Permeabilite).....	26
1.3.2.6 Su Emme.....	26
1.3.2.7 Isıl İletkenlik Kapasitesi.....	27
1.3.2.8 Ultrases Geçiş Hızı.....	27
1.3.2.9 İç Yapı Özellikleri.....	28
1.4 Ülkemizde Köpük Beton.....	29
1.5 İnşaat Yıkım Atıklarının Geri Kazanımı Hakkında Genel Bilgiler.....	29
1.5.1 Yıkım.....	29
1.5.2 Geri Dönüşüm.....	31

1.5.2.1 Geri Dönüşümün Önemi	31
1.5.2.2 İnşaat Endüstrisi Bakımından Geri Dönüşüm	32
1.5.2.3 Dünya’da Atık ve Geri Dönüşüm İle İlgili İstatistiki Durum	34
1.5.2.4 Geri Kazanım Agregası.....	37
BÖLÜM 2 YIKIM ATIKLARININ YENİDEN DEĞERLENDİRİLMESİ İLE İLGİLİ	
ÇALIŞMALAR	40
BÖLÜM 3 MATERYAL VE METOT	47
3.1 Kullanılan Malzemelerin Eldesi ve Özellikleri	47
3.1.1 Çimento	47
3.1.2 Geri Kazanılmış Beton Agregası	47
3.1.3 Öğütülmüş Kum.....	53
3.1.4 Uçucu Kül.....	53
3.1.5 Köpük Ajanı.....	55
3.1.6 Alçı.....	56
3.2 Deney Numunelerinin Hazırlanışı ve Karışım Oranları	57
3.3 Deneysel Uygulamalar.....	64
3.3.1 Birim Ağırlık Tayini.....	64
3.3.2 Basınç Dayanımının Tayini	65
3.3.3 Su Emme Oranı ve Porozite Hesabı.....	66
3.3.4 Ultrases Geçiş Süresi Tayini.....	68
3.3.5 Su İhtiyacı Değişimi.....	70
3.3.6 Isıl İletkenlik Deneyi	70
3.3.7 Dinamik Elastisite Modülü Tayini	71
3.3.8 SEM (Scanning Electron Microscope) ile Numunelerin Karakterizasyonu.....	73

BÖLÜM 4 BULGULAR VE TARTIŞMA	76
BÖLÜM 5 SONUÇ VE ÖNERİLER	88
5.1 Genel Sonuçlar	88
5.2 Öneriler	90
KAYNAKLAR	92
ÖZGEÇMİŞ.....	98

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No	Sayfa No
1.1: Köpük betondan bir görüntü.....	6
1.2: Hafif betonların işlevlerine göre sınıflandırılması.....	7
1.3: Elastisite modülü.	24
1.4: Normal ve hafif beton için (σ - ϵ) eğrileri.	24
1.5: Örnek bir SEM görüntüsü	28
1.6: Van-Erciş depremi.	30
1.7: İnşaat yıkıntılarının dağılımı.	33
1.8: Yapısal atık materyallerinin dönüşüm şeması.	34
1.9: Avrupa'da toplam agregada içindeki geri kazanılan agregada yüzdeleri.....	38
1.10: Geri kazanılan agregada üretim şeması.	39
3.1: Beton molozları.	48
3.2: Bilyeli değirmen.	49
3.3: Bilyeli değirmene yerleştirilmiş beton parçaları.	50
3.4: Öğütülmüş beton atığı (ÖBA).	51
3.5: Beton atığının XRD analizi.	52
3.6 : Öğütülmüş kum (ÖK).	53
3.7: Çalışmada kullanılan uçucu kül (UK).....	54
3.8: Çalışmada kullanılan köpük ajanı.	56
3.9: Karışımda kullanılan alçı.	57
3.10: Hafif harç bileşenlerinin tartımı.....	58
3.11: Köpüğün eldesi.	59
3.12: Köpük beton harcının karılması.....	59
3.13: Silindir kalıba yerleştirilen köpük beton harcı.	60
3.14: Testereyle üst yüzey fazlalığı kesilen köpük beton.	61
3.15: Küp serilerine ait köpük beton numuneleri.	62
3.16: Küp köpük beton numunesi.	63
3.17: Kalıptan yeni alınmış silindir numuneleri.	63
3.18: Silindir köpük beton numuneleri.	64
3.19: Hassas terazide tartılan numune.	65
3.20: Basınç presinde kırılan köpük beton numunesi.	66
3.21: Suyu doygun haliyle hassas terazide tartılan numune.....	67

3.22: Ultrases geçiş hızı deneyi.	69
3.23: Isıl iletkenlik deneyi.	71
3.24: Numune kaplama cihazı.	74
3.25: SEM fotoğraflarının çekilmesi.	75
4.1: Serilere göre ortalama birim ağırlık değişimi.	76
4.2: 28 günlük ortalama basınç dayanımlarının serilere göre değişimi.	77
4.3: Beş farklı seride su emme değişimi.	78
4.4: Beş farklı seride porozite değişimi.	79
4.5: Ultrases geçiş hızlarındaki değişim.	80
4.6: Su ihtiyacının serilerdeki değişimi.	81
4.7: Serilere göre ısıl iletkenlik katsayılarındaki değişim.	82
4.8: Dinamik elastisite modülü değişimi.	83
4.9: Boşluk ve gözenek yapısı.	84
4.10: Bağımsız bir çatlak görünümü.	85
4.11: Birbirine bağlanmış çatlaklar.	85
4.12: Bünyede Ca(OH) ₂ oluşumu.	86
4.13: CSH jellerinin bir görünümü.	87

TABLolar DİZİNİ

Tablo	Sayfa
No	No
1.1: Hafif beton için basınç dayanım sınıfları.	8
1.2: Hafif betonun yoğunluğa göre sınıflandırılması.	9
1.3: Hafif beton sınıflarında yoğunluk-dayanım ilişkisi.	9
1.4: ASTM C 618 ve TS EN 197-1 puzolan olarak kullanılabilirlik sınırları.	12
1.5: Agregaların sınıflandırılması.	15
1.6: Kıvam sınıfları.	18
1.7: Türk standartlarındaki beton sınıfları ve basınç dayanımları (MPa).	22
1.8: AB ülkelerinde üretilen inşaat ve yıkıntı atığı miktarı.	35
1.9: Bazı ülkelerin inşaat ve yıkıntı atık miktarları.	36

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Ac	:	Yükleme alanı
Cal	:	Kalori
cm ² /g	:	Santimetrekaire / gram
dk	:	Dakika
E	:	Elastisite modülü
E _d	:	Dinamik elastisite modülü
F	:	Kırılma yükü
f _c	:	100 mm kürlenmiş küp numunenin mukavemeti
f _{ck}	:	Karakteristik dayanım
g	:	Gram
hp	:	Motor gücü
J/g	:	Joule / gram
k	:	Isı iletkenlik katsayısı
kg/l	:	Kilogram / litre
kg/m ³	:	Kilogram / metreküp
kgf/cm ²	:	Kilogramkuvvet / santimetrekaire
l	:	Litre
M	:	Ağırlık
m	:	Su emme oranı
m ²	:	Metrekare
m/s	:	Metre / saniye
mm ²	:	Milimetrekaire
MPa	:	Mega paskal
MPa/s	:	Megapaskal / saniye
N	:	Newton

n	:	Betonun birim ağırlığı
p	:	Porozite
s	:	Saniye
V	:	Numune hacmi veya puls hızı
V _v	:	Boşluk hacmi
w/c	:	Water / cement (su/çimento oranı)
W/mK	:	Watt / metre kelvin
λ	:	Isı iletim katsayısı
μ	:	Mikro
μm	:	Mikrometre
ε	:	Şekil değiştirme
ρ	:	Yoğunluk
σ	:	Gerilme
°C	:	Santigrad derece
%	:	Yüzde

KISALTMALAR

AB	:	Avrupa Birliği
ABD	:	Amerika Birleşik Devletleri
ARGE	:	Araştırma-Geliştirme
ASTM	:	American society for testing and materials
BBRI	:	Belgian Building Research Institute
DKY	:	Doygun Kuru Yüzey
EDS	:	Elektron Dispersif Spektrometrisi
EDX	:	Enerji Dağılımı X-RAY
GDA	:	Geri Dönüşüm Agregası

HSK	:	Hava Sürükleyici Katkı
ISO	:	Uluslararası Standartlar Örgütü
İYA	:	İnşaat Yıkım Atığı
ÖBA	:	Öğütülmüş Beton Atığı
ÖK	:	Öğütülmüş Kum
PÇ	:	Portland Çimentosu
SEM	:	Scanning Elektron Microskope
S/Ç	:	Su/Çimento Oranı
TS EN	:	Türk Standartları Enstitüsü
UK	:	Uçucu kül
XRD	:	X-Işını Difraktometresi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Çağımızda insan nüfusunun çoğalması ve doğal rezervlerin tükeniyor olması sebebiyle, ortaya çıkan atıkların azaltılması ya da geri dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu nedenle atık kontrolü ve yönetimi günümüzün en büyük sorunlarından biri olmuştur. Bu sorunu çözmenin en iyi yolu iyi planlanmış bir atık yönetimi oluşturmaktır. Atık yönetiminin amacı; her çeşit atık malzemenin doğaya zarar verecek biçimde, doğrudan ya da dolaylı bir şekilde doğal ortama verilmesi, depolanması, taşınması, uzaklaştırılması ve benzeri faaliyetlerin yasaklanması, çevreyi olumsuz yönde etkileyebilecek olan tüketim maddelerinin idaresini belirli bir disiplin altına alarak, havada, suda ve toprakta kalıcı etki gösteren atık malzemelerin hayvan ve bitki nesillerini, doğal zenginlikleri ve ekolojik dengeyi bozmasının önlenmesi ile buna yönelik prensip, politika ve programların belirlenmesi, uygulanması ve bu doğrultuda geliştirilmesidir (T.C. Çevre bakanlığı, 2005).

Kaynakların çoğunlukla tüketildiği sektörlerin başını inşaat sektörü çekmektedir. Elde edilen istatistiklere göre, inşaat sektörü kullandığı hammaddesinin %50 kadarını doğadan sağlamaktadır. Bu sebeple bu tüketim doğaya ciddi zararlar vermektedir. Ayrıca hem enerji hem de doğal kaynaklar hem ülkemizde hem de Dünya’da hızla tükendiğinden inşaat atıklarının geri kazanımı, gerek çevre sağlığı gerekse de ülke ekonomisi açısından çok önemli bir rol oynamaktadır (Oikonomou, 2005). İnşaat faaliyetleri nedeniyle her geçen gün tükenen hammadde ve enerji kaynakları için çevre dostu yeni alternatifler türetilmesi gerekmektedir.

Yapısal atıkların sürdürülebilirliği doğal çevre korunumu konuları bakımından giderek cazip bir konu haline gelmiştir. Çoğu ülkede doğal çevrenin korunması konuları üzerine araştırmalar yürütülmektedir. Araştırmacılar konunun teknik detaylarıyla yakından ilgilenmişlerdir. Geri kazanım ürünleri kullanımı hem doğal çevrenin korunması ve kıt kaynakların ekonomik açıdan doğru değerlendirilmesini sağlamakta, yeni nesillere çevre bilinci kazandırmaktadır. Ülkelerin çoğunda doğal çevrenin korunmasına ilişkin sıkı yasal düzenlemeler ve denetimler yapılmaktadır (Demir, 2010).

Dünyanın yıllık beton tüketimi ortalama 4,5 milyar ton olarak baz alındığında, yıllık kişi başına düşen beton tüketim miktarı ortalama 0,7 tondur. Kentleşme ve dünya nüfusunun son yüzyılda hızlı artış göstermesi ve artışa devam edecek olması, insan hayatının birçok kısmında en yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinden betonun ve beton bileşimindeki malzemelerin önemini bir kez daha göstermektedir. Dünya nüfusu 20. yüzyılın başlarında yaklaşık 1,5 milyar iken 21. yüzyılın başlarında bu rakam 7 milyara ulaşmıştır. Dünyanın 10 bin yıl önce var olduğu düşünüldüğünde 20. yüzyılın başlarına kadar 1,5 milyar olan dünya nüfusunun son yüzyılda 6,5 milyara çıkması nüfus olarak büyük bir artıştır (Tüfekçi, 2011).

Beton; agrega, çimento, su ve çoğu zaman da katkı maddelerinin bir araya gelmesiyle meydana gelen kompozit bir yapı malzemesidir. Çimentonun su ile bir araya gelmesi sonucu meydana gelen çimento hamuru agregaların yüzeylerini sararak ve tanelerin ara boşluklarını kapatarak bağlayıcı karakter kazandırır. Agregalar beton iskelet yapısını meydana getiren kum, çakıl, kırma taş gibi taneli mineral bir malzemedir (Konuk, 2003). Agregalar özellikle taşıyıcı betonların en vazgeçilmez, en önemli bileşenidir. Agregaya kaynağında yaşanacak kıtlık beton üretimini daha maliyetli ve zor hale getirecektir.

Betonda kullanılan malzemenin büyük çoğunluğunu agregaların oluşturması, gün geçtikçe nitelikli agrega bulunmasını zorlaştırmaktadır. Agregaya kullanılmaya elverişli olmayan taş malzemelerin uygun gradasyon ve niteliğe getirmek için daha fazla işlem gerekmekte, bu durum da agrega üretim maliyetlerini katlamaktadır. Hazır nitelikli agrega kaynaklarının tükenmesi farklı arayışların gündeme gelmesinde etkili olmuştur.

Nitelikli agrega rezervlerinin gittikçe azalması, doğal çevrenin tahrip edilmesi, çevre kirliliğinin artması ve kaliteli agrega fiyatındaki artışlar, yeni alternatif arayışlarını meydana çıkarmıştır. Bu çerçevede atık betonların kırılarak geri kazanım agregası olarak kullanılması çevre sağlığı bakımından oldukça önem arz eder. Atık betonlar geri dönüşüm agregası olarak değerlendirilmesi hem çevresel hem de ülke ekonomisi açısından önemli bir kazanımdır. Bu sebeple atık betonlara maddi değer sağlamak günümüzde ön plana çıkmaktadır. İnşaat sektöründe kullanılan malzemelerin %50'sinin doğal kaynaklardan sağlandığı birçok araştırmacılar tarafından vurgulanmaktadır. Beton üretiminde büyük oranda doğal kaynaklar kullanılmaktadır. Doğal kaynaklar tüketilirken, kentsel dönüşüm veya yeniden yapılaşmada beton çevresel kirlilik artmaktadır. Sürdürülebilir hayatta inşaat yıkıntı atıklarının çevreye

verdiği zarar geri kazanılmış agreganın kullanılmasını zorunlu kılmaktadır (Demirel vd., 2015).

Son zamanlarda beton yıkım atıklarının; tekrar kullanımı ve geri kazanımı konuları üzerinde duran oldukça fazla sayıda çalışma yapılmıştır. 100-150 m² inşaat oturum alanlı bir evin yıkımından ortaya çıkacak yıkıntının içeriğindeki malzeme miktarını belirttikleri çalışmalarında, 56 ton gelen beton atığının, evin toplam atığının %40'ını teşkil ettiğini hesaplamışlardır. Bu oran diğer malzemelere göre ağırlıkça en büyük oranı oluşturmaktadır (Demir, 2010). Türkiye ve dünyada betonarme yapıların yıkım atıklarının önemli bir çoğunluğunu beton malzemesi oluşturmaktadır. Bu önemli çoğunluk beton hammaddeleri için ciddi bir ekonomik boyut kazanırken, çevre sağlığı için de beton atık yönetimini de zorunlu hale getirmektedir.

Beton atıklarının taşıma ücretleri ve depolama bedelleri ile devlete ödenecek vergilerle birlikte atık betonların geri dönüşümünden daha maliyetli hale gelmiştir. Bu bağlamda atıkların depolama alanlarına atılmasının maliyetlerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu sebeple depolamaktan ziyade atık bertarafı ve geri dönüşüm daha cazip hale gelmektedir. Fakat geri dönüşüm hizmetleri konusunda gerekli alt yapı ve destek oluşturulmadığı durumda beton atıkların depolanma maliyetlerinden kaçan inşaat firmaları gelişi güzel şekilde inşaat atıklarını çevreye bırakacaklardır.

Çevre ve Şehircilik Genel Müdürlüğü'nün hesaplarına göre 1 yılda yapısal atık miktarının 45 milyon ton, Kentsel Dönüşüm programlarından 10 milyon ton yıkım atığı, geri dönüştürülecek yapısal atıkların 6 milyon ton olacağı hesaplamıştır (Kılıç, 2012). Bu sebeple geri dönüşüm uygulamalarının yapı sektörü adına yaygınlaştırılması Türkiye için çevre sağlığı, ekonomi ve doğal kaynakların korunumu bakımından çok önemlidir.

Avrupa ve ABD'de beton atıklarının geri kazanımı üzerine birçok faaliyet sürdürülürken ülkemizde bu alandaki çalışmalar maalesef çok yetersiz düzeyde kalmaktadır. Oysaki ülkemizdeki riskli yapı sayısı bu ülkelere kıyasla fazla olduğundan kentsel dönüşüm faaliyetleri kapsamında beton atıkları her geçen gün daha da artarak çoğalmaktadır. Beton atıkları sadece ihtiyaç olduğunda dolgu ve yol malzemesi olarak kullanılırken, bu atıkların yapılara geri kazandırılabilmesi unutulmaktadır. Son zamanlarda tüm sektörlerde hafiflik, ucuzluk ve az miktarda hammadde kullanımı ön plandadır. Böylelikle ısı, ses ve elektriksel

yalıtım kararlılıklarına sahip malzemelerin pazardaki yerleri giderek güçlenmektedir. Köpük beton gibi hava sürüklenmiş hafif ve yalıtım esaslı betonlara, yapı statik yüklerinin azaltılması ve daha izole yapıların inşası için zamanla daha da ihtiyaç duyulmaktadır. Bu betonlara taşıyıcı nitelikte daha yüksek dayanımlar kazandırılmak için çalışmalar sürdürülmektedir (Konuk, 2003). Binalarda taşıyıcı sistem maliyetleri oldukça fazladır. Bina karkasını teşkil eden kolon, kiriş ve hatılların donatı çeliği miktarının azaltılabilmesi ve ebatlarının küçültülmesi en başta yapı yüklerinin hafifletilebilmesini gerektirir. Böylece köpük beton gibi hafif beton türlerinin taşıyıcı nitelikte olmasa bile tuğla, şap, kaplama malzemesi, sıva, dolgu ve yalıtım malzemesi olarak kullanımının yaygınlaştırılması çok önemli bir gereksinimdir.

Bu çalışmada ise inşaat yıkım atıklarının çoğunluğunu oluşturan atık betonların öğütülerek köpük betonlarda kullanılabilirliğinin araştırılması hedeflenmiştir. Standart kum ile üretilen köpük betona kıyasla İYA (İnşaat Yıkım Atığı) ile üretilen köpük beton arasındaki mekanik ve fiziksel farklılıklar incelenerek, köpük betonda kum yerine İYA kullanımının sonuçları değerlendirilecektir.

TS EN 206-1'e göre, üretilen köpük betonların birim hacim ağırlıkları bakımından hafif beton sınıfında dahil için yoğunluklarının 800 kg/m^3 'ten az ve 2000 kg/m^3 'ten fazla olmaması gerekmektedir (TS EN 206-1, 2002). Bu kapsamda teorik olarak yaklaşık 1000 kg/m^3 civarı bir birim ağırlık değeri hedeflenmektedir. Köpük betonlar dayanımlarından ziyade düşük birim ağırlıkları dolayısıyla daha fazla tercih sebebi olduklarından düşük birim ağırlık standartlarında değerlendirilmişlerdir.

1.1 Köpük Beton

ACI 523.2R-96'ya (1996) göre, yaygın olarak hücreli veya gaz beton olarak adlandırılan malzeme:

Portland çimentosunun kumlu cüruf veya uçucu kül gibi silisli ince malzemelerle kirecin, homojen bir boşluk ve hücreli yapıya sahip bir beton oluşturmak için suyla karıştırılmasıyla elde edilen hafif bir üründür. Hücreli yapı esas olarak bir gaz salınan kimyasal tepkime ya da mekanik diğer gazların bir araya getirilmesinden kaynaklanan makroskopik boşlukların dahil edilmesiyle sağlanır.

Betonun birim hacim ağırlığı, beton içeriğinde farklı yöntemlerle boşluk meydana getirilerek veya birim ağırlığı normal agregadan daha az olan agregalar tercih edilerek düşürülebilmektedir. Bu yöntemlerden herhangi biri ile üretilen, birim ağırlığı 2000 kg/m^3 'ten az düzeyde seyreden betonlar hafif beton olarak tanımlanmaktadır. Hafif betonların birim ağırlıkları genelde $300-1800 \text{ kg/m}^3$ aralığında değişim gösterir. Birim ağırlığı 800 kg/m^3 'ten az olan betonlar ise çok hafif betonlar olarak tanımlanır. Bu betonların yapım koşulları, yapım yöntemleri, kullanım koşulları ve kullanım alanları normal betonlara göre farklılık gösterir. Betonun birim hacim ağırlığını azaltmakta, fiziksel veya kimyasal katkı maddeleri ile boşluk oluşturmak, sadece iri agrega ya da hafif agrega kullanmak gibi değişik yöntemler kullanılmaktadır (Baradan vd., 2015).

Hafif betonların yapısında çok miktarda boşluk vardır. Bu nedenle, elastisite modülleri ve mekanik özellikleri düşük çıkmaktadır. Bundan ötürü yapıda taşıyıcı eleman olarak kullanımı uygun değildir. Bu özellikleri sebebiyle daha çok detay malzeme olarak tercih edilirler. Hafif beton malzemesi ile inşa edilen binaların ısı yalıtımı performansları üstün olup, daha ekonomiktirler. Hafif agregalı beton bina zati yükünü azaltmak için, ilk olarak döşemelerde kullanılmıştır. Tarihi ise M.Ö. 3000 yıllarına dayanmaktadır. Normal agregaların yerine, bünyesinde barındırdığı boşluk miktarı fazla olan, doğal veya yapay hafif beton agregalarının kullanılmasıyla üretilen betonlardır. Hafif agrega olarak; pomza taşı, genişmiş perlit, genişmiş kil, plastik köpüğü veya odun talaşı gibi çok hafif ve çok boşluklu agregalar kullanılır. 1970'li yıllarda, hafif betonun köprülerdeki kullanımında gelişmeler görülür. Bu uygulamalara güzel bir örnek olarak, Hollanda Nijmegen yakınlarında, "Mass-Well Kanalı" üzerindeki "Dukenburgse Köprüsü" verilebilir. Köprünün uzunluğu 188,8 m, genişliği 28,7 m ve boyuna üç açıklığı sırasıyla 37,4 m, 112,2 m ve 37,4 m'dir. Bu köprünün inşasında da genişleştirilmiş kil ve kumdan üretilen beton kullanılmıştır. Beton yoğunluğu 1750 kg/m^3 ve 28 günlük silindirik basınç dayanımı 38,5 MPa değerini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır (Khanjarkhani, 2014).

Günümüzde modern inşaat endüstrisi ısı yalıtım performansını dikkate alırken, yeterli düzeyde dayanım ve dayanıklılık özelliklerini sağlayan, enerji performansı yüksek bina amacına uygun yapı elemanlarını geliştirmeye çalışmaktadır. Köpük beton ürünü yapı elemanları, hem yapısal işlevselliği hem de yalıtım özelliklerini birlikte sağlamaktadır. Köpük beton, bileşenini oluşturan malzemenin birim ağırlık ve kompozisyonuna bağlı normal yoğunluktaki betonlardan %10-50 daha az ısı iletkenlik katsayısı yaratabilen bir

hafif beton türü olarak bilinmektedir. Köpük beton, çimento, agrega ve su karışımıyla oluşturulan harca köpük ajanının ilave edilmesiyle oluşturulan ve hacminin %75-80'i oranında bağımsız kapalı gözenek ihtiva eden alternatif bir yapı ve yalıtım malzemesidir. Taze halde düşük viskozite, sertleşmiş halde düşük yoğunluk ve düşük ısıl iletkenlik değerlerine sahip olan köpük betonlar genelde 300-1600 kg/m³ kuru yoğunluğa ve 1-43 MPa (28 gün) basınç dayanımına sahiptir. İlk kez 1923 yılında üretilerek patent altına alınmıştır. Son zamanlarda binalarda taşıyıcı karakterde kullanımına dönük çalışmalar da yürütülmektedir. Çalışmalar kapsamında normal beton için yapılan çalışmaların tamamı köpük betonlar için de yapılmıştır. Kararlı bir köpük beton tasarımı, köpük ajanının özelliklerine, köpük oluşturma yöntemine, homojen gözenek oluşumu için katkı cinsine ve karışım oranlarına bağlıdır.

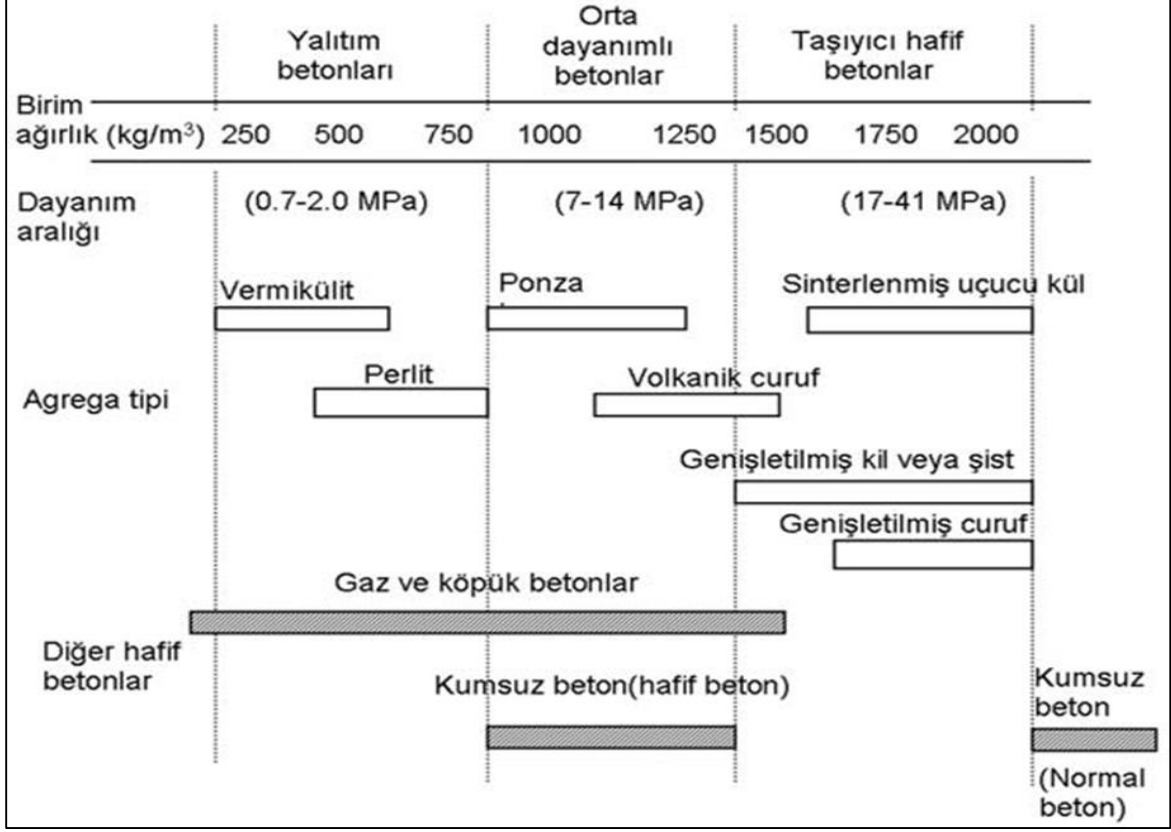


Şekil 1.1: Köpük betondan bir görüntü (Ekinci, 2014).

1.1.1 Hafif Betonların Sınıflandırılması

Hafif betonları genellikle birim ağırlıklarına ve dayanım özelliklerine göre sınıflandırmak mümkündür. Tüm hafif betonların özellikle birim ağırlıklarına göre sınıflandırılmalarında farklı kabuller vardır. Taşıyıcı nitelikteki hafif betonların birim ağırlıkları 1450 kg/m³ ile 1800 kg/m³ arasında değişmektedir, genellikle birim ağırlıklar 1600-1800 kg/m³ aralığında yer almaktadır. Dayanımları ise 7 ile 17 N/mm² aralığında olan betonlar yalıtım betonu ile orta dayanımlı hafif beton sınıfına girerler. Yoğunluklarına göre hafif betonları üç grupta toplamak mümkündür (Taşdemir, 2003).

- Yalıtım Esaslı Hafif Betonlar: Birim ağırlık 300 kg/m³ ile 800 kg/m³ arasında,
- Orta Dayanımlı Hafif Betonlar: Birim ağırlık 800 kg/m³ ile 1400 kg/m³ arasında,
- Taşıyıcı Hafif Betonlar: Birim ağırlık 1400 kg/m³'ten fazla olan betonlardır.



Şekil 1.2: Hafif betonların işlevlerine göre sınıflandırılması (Taşdemir, 2003).

Şekil 1.2'den anlaşılacağı üzere pomza hafif agregasıyla üretilen hafif betonu orta dayanım sınıfında yer alan bir betondur. Yalıtım betonları ise perlit ve vermikülit hafif agregasıyla üretilen betonlardır, gaz ve köpük betonları ise hem yalıtım hem de orta dayanımlı beton olarak sınıflandırmak mümkündür (Taşdemir, 2003).

Doğal veya yapay agregalardan üretilen hafif betonlar dayanım ve yoğunluk bakımından üç sınıfa ayrılmaktadır. Düşük dayanım ve düşük birim ağırlığa sahip birinci kategorideki hafif betonlar yalıtım malzemesi olarak, orta dayanıma sahip ikinci kategorideki betonlar blok duvar yapımında ve dayanımı yüksek üçüncü kategorideki yapısal betonlar ise taşıyıcı yapı elemanlarında kullanılmaktadır (Alkaya, 2010).

1.1.1.1 Basınç Dayanımlarına Göre Hafif Beton Sınıfları

Aşağıdaki Tablo 1.1’de TS EN 206-1’e göre hafif betonlar için basınç dayanımı sınıfları verilmiştir.

Tablo 1.1: Hafif beton için basınç dayanım sınıfları (TS EN 206-1, 2002).

Basınç dayanımı sınıfı	En düşük karakteristik Silindir dayanımı, f_{ck} , silindir N/mm^2	En düşük karakteristik Küp dayanımı, f_{ck} , küp N/mm^2
LC 8/9	8	9
LC 12/13	12	13
LC 16/18	16	18
LC 20/22	20	22
LC 25/28	25	28
LC 30/33	30	33
LC 35/38	35	38
LC 40/44	40	44
LC 45/50	45	50
LC 50/55	50	55
LC 55/60	55	60
LC 60/66	60	66
LC 70/77	70	77
LC 80/88	80	88

1.1.1.2 Yoğunluğa Göre Hafif Beton Sınıfları

Tablo 1.2: Hafif betonun yoğunluğa göre sınıflandırılması (TS EN 206-1, 2002).

Yoğunluk Sınıfı	D 1.0	D 1.2	D 1.4	D 1.6	D 1.8	D 2.0
Yoğunluk Aralığı kg/m ³	≥ 800 ve ≤ 1000	> 1000 ve ≤ 1200	> 1200 ve ≤ 1400	> 1400 ve ≤ 1600	> 1600 ve ≤ 1800	> 1800 ve ≤ 2000

Birim ağırlığı geniş bir yelpazede olan hafif betonları basınç dayanımlarıyla da ilişkili olarak Tablo 1.3'deki gibi sınıflandırabiliriz. S1 sınıfındaki hafif betonlar esas olarak ısı yalıtım özellikleriyle ön plana çıkarken, kısmen taşıyıcı olarak da kullanılabilirler. S2 ve S3 hafif betonları orta mukavemetli betonlardır. Az da olsa yalıtım özellikleri de mevcuttur. S4, S5 ve S6 hafif betonları ise taşıyıcı hafif betonlardır. Yalıtım karakterleri zayıftır. Bu betonlar çoğu ülkede taşıyıcı beton olarak kabul edilmişlerdir. Örneğin, ASTM C330 standardına göre silindirik basınç mukavemetinin (28 günlük) 17 MPa'dan küçük olmaması ve yoğunluğunun ise 1840 kg/m³ değerinden fazla olmaması istenir. Avrupa standartlarında da benzer tanımlar vardır (Konuk, 2003).

Tablo 1.3: Hafif beton sınıflarında yoğunluk-dayanım ilişkisi (Konuk, 2003).

Hafif Beton Sınıfı	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Basınç Dayanım Aralığı (MPa)
S1	800	1-7
S2	800-1200	7-10
S3	1000-1400	10-14
S4	1300-1800	14-25
S5	1500-1800	25-40
S6	1800-2000	40-70

1.1.3 Hafif Betonların Avantajları ve Dezavantajları

Hafif betonların olumlu ve olumsuz tarafları vardır. Bu özellikler irdelenerek köpük betonun nerede kullanılacağına, hangi amaca dönük daha iyi sonuçlar verebileceklerine karar vermek gerekir. Köpük betonlar niteliklerine uygun olarak kullanılırsa verimli sonuçlar elde edilir.

1.1.3.1 Hafif Betonların Avantajları

- Yapı statik yüklerinin hafifletilmesine önemli ölçüde katkı sağlar. Bu durum taşıyıcı eleman kesitlerinin küçülmesi ve beton dayanım sınıfının düşürülmesine olanak sağlar. Bu durum beton ve demir donatı ekonomisi sağlar.
- Kalıp payandası mesnetler ve temeller gibi devamlı taşıyıcı elemanlarda maruz kalacakları yükün hafiflemesinden ötürü ekonomiklik sağlanır.
- Yangına karşı dayanıklıdır.
- Isı iletkenlik katsayıları düşük olduğundan ısı yalıtım performansı yüksek bir malzemedir.
- Hafiflikleri ve akıcılıkları nedeniyle taşınmaları ve yerleştirilmeler kolaydır.
- Homojen bir özellik gösterirler (Dikici, 2010).

1.1.3.2 Hafif Betonların Dezavantajları

- Boşluklu yapıları sebebiyle basınç dayanımları ve aşınma dirençleri düşüktür.
- Elastisite modüllerinin düşük olmasından ötürü taşıyıcı hafif betonlu kirişlerde, sehimler ve dönmeler daha fazla olur.
- Sünme ve rötne miktarları normal betondan daha fazladır.
- Normal betona kıyasla daha fazla çimento dozajı kullanılır. Betonun maliyeti artar.
- Normal betonlardakinden daha az kesme-kayma mukavemetleri mevcuttur.
- Hafif agrega temini zordur bu durum da ek fazla masraf oluşturabilir.
- İmalat ve kalıp işçiliği daha özen ister (Dikici, 2010).

1.2 Hafif Beton Bileşenleri

1.2.1 Uçucu Kül

Uçucu kül (UK) elektrik enerjisi üreten termik santrallerde kömürün yakılması sonucu oluşan bir baca ürünüdür. UK üretimini santralin işletim sistemi, yakılan kömürün cinsi ve yanma şekli etkilemektedir. Genellikle elektrik enerjisi üretimi yapan termik santrallerde tüketilen taş kömürü miktarının %10-15'i, linyit kömürünün ise %20-50'si kül olarak ortaya çıkmaktadır. Yanma sonucu ortaya çıkan küllerin %75-85'i kadarı baca gazları ile uçucu kül olarak kazandan çıkar. Termik santrallerde baca gazlarından UK'nın tutulup ayrıştırılabilmesi için elektrofiltreler mevcuttur. UK, koyu gri renkte, çok ufak taneli bir malzemedir. Renginin koyuluğu açıklığı, elde edildiği kömüre ve yanış özelliğine bağlıdır. Yanmanın tam olmadığı durumda oluşan uçucu küle siyah renk veren içindeki yanmamış karbondur. İyi yanma sonucu oluşan uçucu kül diğerine göre daha açık renktedir (Güler vd., 2005).

Uçucu küller termik santralde kullanılan yakıt tipine göre ikiye ayrılır; 1. Taş kömürü uçucu külleri 2. Linyit UK'ların sınıflandırılmasında ASTM C 618 sınıflandırması kullanılmaktadır. ASTM C 618'e göre uçucu küller F ve C sınıfları olmak üzere ikiye ayrılırlar. Taş kömürünün yanması sonucu F sınıfı uçucu küller elde edilmektedir. F tipi uçucu küller %10'dan daha az CaO içerdikleri için düşük kireçli UK'lar olarak da adlandırılır. C sınıfı uçucu küller ise linyit kömürünün yanması sonucu elde edilmektedir. İçerisindeki CaO oranı %10'dan fazladır. Bu yüzden C sınıfı uçucu küllere yüksek kireçli uçucu külde denilmektedir. Türkiye'de genellikle yüksek kireçli uçucu kül (C Sınıfı) elde edilmektedir. Tablo 1.4'de uçucu küllerin puzolan olarak kullanımı için ASTM C 618 ve TS EN 197-1'de sınır değerleri verilmiştir (Kaplan ve Gültekin, 2010).

Tablo 1.4: ASTM C 618 ve TS EN 197-1 puzolan olarak kullanılabilirlik sınırları.

Kimyasal Bileşik	ASTM C 618 (%)		TS EN 197-1 (%)
	F	C	
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	En az 70	En az 70	En az 70
MgO	En çok 5	En çok 5	En çok 5
Na ₂ O+K ₂ O	En çok 1.5	En çok 1.5	-
SO ₃	En çok 5	En çok 5	En çok 5
Nem	En çok 3	En çok 3	En çok 3
Kızdırma Kaybı	En çok 12	En çok 6	En çok 10

Endüstriyel atıkların inşaat sektöründe faydalanılması üzerine çalışmalar hızlı bir şekilde sürdürülmektedir. Bu atıkların puzolan cinsi atıklar olmaları hem beton hem de çimento üretiminde kullanılmaları mümkün olmaktadır. UK'lardan faydalanan sektörlerin başında inşaat sektörü gelmektedir. Bu faaliyetlerin dışında uçucu küller, kimya, seramik, cam, döküm metal sanayi, tarım sektöründe zemin ıslahı, çevre, sondaj çalışmaları, buzlanmanın önlenmesi ve maden ocaklarında filler olarak farklı alanlarda kullanılmaktadırlar. Beton üretiminde uçucu kül kullanımının taze ve sertleşmiş beton özellikleri üzerindeki olumlu etkilerini şu şekilde sıralamak mümkündür (Subaşı vd., 2011).

- Küresel yapısı nedeniyle uçucu kül taze betonun işlenebilirliğini artırır. Böylece uçucu kül içermeyen bir betona kıyasla betonun su ihtiyacında azalma sağlanabilir.
- Taze betonun su kusmasını (terleme) azaltır.
- Betonun hidrasyon ısısında azalmaya yol açarak özellikle sıcak havalarda büyük kütleli beton dökümüne imkân tanır.
- Puzolanik reaksiyon sayesinde beton mukavemetinin yavaş fakat uzun süreli artışını sağlar.
- Betonun su ve klorür geçirimsizliğini azaltır.
- Betonun kimyasal etkilere dayanıklılığını artırır.
- Betonda bağlayıcı matris (çimento hamuru) ile agregalar arasındaki bağı (aderans) güçlendirir.
- Betonda kuruma büzülmesini ve termik büzülme (rötre) azaltarak çatlak oluşumunun azalmasını sağlar. Böylece, betonun çevresel etkilere dayanıklılığını olumlu yönde etkiler. Buna karşılık, betonda fazla miktarda uçucu kül kullanımının

betonun mekanik özelliklerini düşürmesi, karbonatlaşma olayını hızlandırması gibi olumsuz yönleri de vardır.

1.2.2 Çimento

Su ile karıştırıldığında, hidrasyona girerek, priz alarak sertleşebilen hamur meydana getiren ve sertleşmeden sonra dayanım ve kararlılığını su içerisinde de sürdürebilen öğütülmüş inorganik malzeme çimento olarak adlandırılır (TS EN 206-1, 2002). Çimento, çağımızın en önemli yapı malzemelerinden biri olarak bilinmektedir. Mineral kökenli bağlayıcı maddelerin en önemlisidir. Çok ince toz halindedir. Çimento tek başına ya da kum veya çakılla karıştırıldığında su ile yüksek dayanım kazanma özelliğine sahip çok önemli bir yapı malzemesidir. Çimento hammaddesini kalker ve kil oluşturmaktadır. Çimentonun yapımında kullanılan kalker yaklaşık olarak kilin üç katı olduğundan çimento fabrikalarının yeri genellikle kalker ocaklarının yakınına konumlandırılır. Çimentolar içinde en yaygın olarak bilinen ve dünyadaki çimento üretiminin %70'ini oluşturan çimento çeşidi Portland çimentosudur. Ayrıca bu çimento diğer çimento çeşitlerinin birçoğunun da bileşiminde yer almaktadır (Alkaya, 2010).

1.2.3 Karma Suyu

Su beton bileşenlerinin en ekonomik olanı olmasına rağmen öte yandan en önemli bileşenlerindedir. Betonda kullanılan su miktarı betonun son dayanım değerlerini yakından etkiler. Karma suyu çimentonun priz reaksiyonlarını başlatmada önemli görevi olsa da su miktarında gereksiz artış kaliteyi düşürür. Fazla su, çimento hamurunu fazla inceltir ve çimento tanelerinin birbirine kenetlenmesini zayıflatır. Fazla su dayanımı olumsuz etkilemesinin yanında betonun kıvamını bozacağından segregasyona kadar giden olumsuz sonuçlara sebebiyet verebilmektedir. Betondaki suyun iki önemli görevi vardır (Özdemir, 2006).

- Kuru haldeki çimento ve agregayı plastik, işlenebilir bir kütle haline getirmek,
- Çimento ile kimyasal reaksiyon yaparak plastik kütlede sertleşmesini sağlamak.

1.2.4 Köpük Ajanı

Köpük beton üretiminin iki ana yöntemi vardır. Birinci yöntemde önceden hazırlanmış köpük, hazırlanan harçla karıştırılır. İkinci yöntemde ise karışım beton karışımı esnasında köpük oluşturma yöntemidir. Kullanılan köpükler sentetik ya da protein esaslı olabilir ve tescilli kaynaklardan temin edilebilir. Günümüzde protein bazlı köpüklerin temelinde hayvansal ürünler vardır. Sentetik köpükler ise amin ve aminoksitlerden, naftalin sülfonat formaldehit vb.'den oluşur. Bu ürünlerin bazıları çevre için tehlikeli olarak sınıflandırılan bir veya daha fazla madde içerebilir. Bu nedenle bu ürünlerin kullanımında özellikle de formaldehit kondensatlarına dayanan ürünler kullanıldığında dikkatli olunmalıdır. Protein esaslı köpükleştirici maddeler daha güçlü, dayanımlı ve daha kapalı bir hücreli kabarcık yapısına neden olurken sentetik olanlar daha fazla genişleme ve dolayısıyla daha düşük yoğunluk üretmeye sebep olurlar. Buna ek olarak, protein esaslı köpükler, daha fazla miktarda havanın dahil olmasına izin verir ve aynı zamanda daha kararlı bir hava boşluğu ağı sağlar. Genellikle protein esaslı köpükler daha kısa raf ömrüne (6 aya kadar) sahiptir. Sentetik ajanların ise depolanma süresi bir yıla kadar ulaşabilir (Ören, 2017).

1.2.5 Agregası

Kum, çakıl, kırma taş gibi beton karışımında çimento hamuru ile bağlanan ve betonun iskeletini oluşturan farklı granülometrilere mineral danelere agrega denir. Betonda kullanılan agregaların betonun teknik özelliklerine önemli etkileri vardır. Agregası betonun iskelet yapısını oluşturarak hacim kaybını önemli ölçüde önler. Betonun aşınma direncini ve dayanıklılığını arttırarak uzun ömürlü olmasını sağlar. Ayrıca en önemli katkılarından biri de betonun kendi dayanımını arttırarak basınç dayanımı anlamında yüksek mukavemet kazanmasını sağlar. Betonda kullanılan agreganın dayanıklılığı, gözenekliliği, su geçirgenliği, mineral yapısı, tane şekli, gradasyonu, tanelerin yüzey pürüzlülüğü, en büyük tane boyutu, elastisite modülü, termik genleşme katsayısı, agregada kil olup olmadığı ve agreganın temizliği gibi birçok özellik beton dayanıklılık türlerinin bir veya daha fazlasını etkilemektedir (Demiryürek, 2007). Agregalar çeşitli niteliklerine göre Tablo 1.5'te olduğu gibi sınıflandırılabilirler.

Tablo 1.5: Agregaların sınıflandırılması (Khanjarkhani, 2014).

Şekillerine Göre	Yüzeyine Göre	Oluşuma Göre	Ağırlıklarına Göre
Yuvarlak	Camsı	Doğal	Ağır Agregası
Köşeli	Düz	Yapay	Orta Agregası
Uzun	Kaba Dokulu		Hafif Agregası
Yassı	Kristalize		
	Gözenekli (Petek)		

1.2.5.1 Hafif Beton Agregası

Hafif betonların üretiminde kullanılan hafif agregalar doğal veya yapay olabilir. Bu betonların büyük çoğunluğu taşıyıcı özelliğe sahiptir. Dünyanın değişik bölgelerinde doğal veya yapay birçok hafif agregası bulunmakta ve bu agregalar farklı kullanım alanları için farklı dayanıma ve birim ağırlığa sahip beton üretiminde kullanılmaktadırlar. Hafif betonların birim ağırlık, dayanım ve yalıtım özellikleri agreganın çeşidine, karışım oranına ve üretim yöntemine göre değişiklikler göstermektedir. Yapay hafif agregalar ya kil, şist, arduvaz vb. killi veya konsolide killi malzemenin pişirilerek genişletilmeleri ya da yüksek fırın cürufunun, uçucu küllerin pişirilerek kırılması ile elde edilir. Kil esaslı olanlar düzgün düzeyli, küresel biçimdedir. Cüruf agregalarının yüzeyleri ise pürüzlüdür. Bu yapay hafif agregalarla üretilen betonlarla C25, C30 sınıfı betonlar elde edilebilmektedir. Enerji sorununun giderek önem kazanması sonucu yapay hafif agregası üretimi ekonomik olmaktan çıkmıştır. Bu nedenle daha çok doğal hafif agregası kullanımı tercih edilmektedir. Doğal hafif agregalar pomza taşı, çeşitli volkanik tüfler, perlit, vermikülit gibi malzemelerdir. Pomza taşı ve tüflerle üretilen hafif betonlar da taşıyıcı betonlar olup, bunlarla C16 sınıfı beton elde edilebilmektedir. Perlit ve vermikülit ise sadece yalıtım yeteneği olan ancak harç iriliğinde beton üretimine olanak veren agregalardır. Doğal hafif agregalar genellikle doğadan geldiği gibi kullanılmayıp ısıtma yoluyla patlatılırlar ve çok hafif silisli taneciklere dönüşürler. Bunların ısı yalıtımı yanında ateşe dayanıklılıkları da yüksektir. Ancak su emmeleri çok fazladır ve emdikleri suyun buharlaşım kaybolmasını uzun süre engellerler. Hafif beton üretimini sınırlandıran en önemli faktör hafif agregası teminidir. Ülkemizde hafif agregası olarak pomza taşı, uçucu kül, perlit, vermikülit, tras ve doğal puzolanlar kullanılmaktadır. Bu tip hafif agregaları kullanırken su/çimento oranını düşük tutmak oldukça zordur. Hafif agregalar bünyelerine fazla miktarda su çekeceklerinden priz esnasında rötre çatlağına davetiye

ıkarırlar. Bu durumu betonu su kr ile muhafaza etmek de kurtarmayacaktır. Hafif agrega içerikli betonlarda rötre ve snme değerleri yüksektir. Taneler imento hamuru rtresini kısıtlayacak kadar rijit değildir. Taneler boşluklu ve zayıf dayanımlı olduğundan betonun dayanımı imento hamuru fazını önemli ölçüde etkiler. Oysa normal betonlarda yükü, iri agregaların oluşturduğu iskelet aktarır. Bu nedenle taşıyıcı hafif agregalı betonlarda yüksek dayanımlı imento kullanılır. Agregaların yüzerek üst yüzeyde toplanabilmeleri nedeniyle hafif agregalı betonların vibrasyonla yerleştirilmesi de sorundur. Dayanımı arttırmak için karışıma bazen kum katılır. Bu durumda birim ağırlık yükselir (Alkaya, 2010).

1.3 Köpük Beton zellikleri

Köpük betonların üretiminde temel ilke protein esaslı bir katkı maddesi ile betoniyerde hızlı bir Şekilde karıştırılan betonun içinde köpük oluşumuna dayanır. Oluşan bu köpüğün kaybolmaması için stabilizan bir katkı maddesi gerekir. Betocel köpük betonlara bir örnektir. Köpük betonların Őantiyede retilibilmeleri bir üstünlüktür. Bu betonlarda rötre ve stoklama sorunları mevcuttur (Alkaya, 2010). Katkı maddesiyle kazandıkları hücreli yapıları hafif ve izole bir bünye kazandırırken öte yandan dayanım, rötre ve stok gibi dezavantajları da olduğu ortadadır. Fakat yapılacak yeni çalışmalarla bunları ortadan kaldırmak da mümkündür.

Köpük beton, taze halde yüksek akış yeteneğine, düşük yoğunluğa, işleve bağlı yeterli dayanıma ve düşük ısıl iletkenlik özelliklerine sahiptir. Genel olarak kuru yoğunluğu 400-1600 kg/m³ basınç dayanımı 1-15 MPa aralığındadır. Köpük beton kolayca pompalanabilir ve yerleştirilebilir. Sıkıştırma ve vibrasyon gerektirmez. Suya ve dona karşı mükemmel bir dirence sahiptir. Köpük beton harcı, işletmelerde kalıplanıp blok haline getirilebileceği gibi, gerektiğinde mobil olarak uygulama sahasında inşaatta hazırlanarak bir pompa yardımı ile kolayca taşınabilir. Köpük beton, yoğunluğuna bağlı olarak duvar blokları, asmolen, panel, yalıtım tesviye betonu, prefabrik yapı elemanları üretiminde kullanılabilir (Davraz vd, 2015).

1.3.1 Taze Beton Özellikleri

1.3.1.1 İşlenebilirlik

Taze betonun özelliklerinden en önemlisi betonun işlenebilirliğidir. Yıllardır araştırmacılar tarafından tarifi tartışılır olsa da işlenebilirlik, taze betonun minimum enerji ile karılması ve homojenliğini yitirmeden yani ayrışmadan kalıbı boşluksuz bir şekilde doldurabilmesi özelliğine denir. Bu kavram; kıvam, akışkanlık, pompalanabilirlik ve sıkışabilirlik kavramlarını da içine almaktadır. Mühendisler beton tasarımında en iyi işlenebilmeyi sağlayabilmek için detaylı çalışmalar yürütmeleri için genel bir baskı altındadırlar. Bu baskılar modern beton teknolojisi alanında son yirmi yıldır artan bir eğilim oluşturmuş ve “kendiliğinden yerleşen beton” adıyla yeni bir beton türünün gelişmesine yol açmıştır. Beton teknolojisinde işlenebilirliğin ölçüsü yaygın olarak çökme (slump) deneyi ile belirlenmektedir (Şahin vd., 2007).

1.3.1.2 Kıvam

Kıvam işlenebilirliğin en önemli göstergesi ve ölçüsü olarak bilinmektedir. Taze betonun kolaylıkla karılması için, kalıba homojen ve boşluksuz bir şekilde sıkıştırarak yerleşebilirliğinin ölçüt olarak göstergesidir. Kıvamı sağlayan etkenler sıralanacak olursa;

- S/Ç oranı,
- Kum-çakıl tane yapısı,
- Kum-çakıl tane boyutu dağılımı,
- Öğütülmüş gereç kümesi ($d < 0,25$ mm),
- Katkı maddesi kullanımı

şeklinde belirtmek mümkündür. Yukarıdaki sıralamadan anlaşılacağı üzere S/Ç oranı kıvamın belirlenmesinde önemli bir yer tutmaktadır. Çimentonun, su ile tepkimesi (hidratasyon) bakımından belirli bir oranda tutularak akıcılığın belirlenmesi gerekir. Öte yandan agregaların yüzey şekli suyun agrega taneleri üzerinden akıp gitmesi ya da hapsolması şeklinde akıcı kıvama yön vermektedir. Tane boyutu dağılımının (granülometri) süreklilik arz edecek biçimde bir karışım oluşturması da yine kıvam açısından son derece önemli sayılmaktadır. (Yetgin ve Çavdar, 2003).

Taze betonun kıvamının ve işlenebilirliğinin belirlenmesinde bir takım deney yöntemleri mevcuttur. Kullanılan deney yöntemlerinden en yaygını çökme (slump) deneyidir. Diğer taraftan vebe, sıkıştırma faktörü, akıcılık deneyi (sarsma tablası deneyi) ve walz deneyleri mevcuttur.

TS EN 206-1’de slump deneyindeki çökme değerlerine göre kıvam sınıfları Tablo 1.6’da verilmiştir.

Tablo 1.6: Kıvam sınıfları.

SINIF	ÇÖKME (mm)
S1	10 - 40
S2	50 - 90
S3	100 - 150
S4	160 - 210
S5	≥ 220

Köpük betonlar akıcı kıvamda olduklarından bu kıvam sınıflarına tabi tutulamazlar. Köpük beton gibi akışkan betonların kıvamlarına sarsma tablası deneyi ile bakılabilir.

1.3.1.3 Su/Çimento Oranı (S/Ç)

Beton içerisindeki karışım suyu ile beton basınç dayanımı ters orantılıdır. Karma suyu iri ve ince agrega tanelerinin yüzeyini ıslatarak çimentoya bağlayıcı karakter kazandırarak malzemelerin hidratasyonunu sağlar. Beton karma suyu miktarı arttıkça betonun kıvamı da artmaktadır. Diğer taraftan su miktarı arttıkça beton yüzeyi petekleşerek beton yüzeyinde gözenekler oluşmaktadır. Çimentonun hidratasyonunu tam olarak yapamadığı; agrega tanelerinin yüzeyleri tam olarak ıslanmadığında, agrega tanesi ile çimento arasındaki aderans zayıf olacak ve betonun yeterli dayanımı kazanmayacaktır. Araştırmalar sonucu S/Ç oranının beton dayanımını etkileyen en önemli faktör olduğu kabul edilmiştir. S/Ç oranı arttıkça, beton içerisindeki boşluk oranı daha fazla olmakta ve daha düşük beton mukavemetine sebep olmaktadır. S/Ç oranı azaldıkça, beton dayanımı artmaktadır. Ancak su/çimento oranındaki azalma çok olduğu takdirde böyle bir betonu tam olarak sıkıştırmak zor olmakta ve bu sebeple beton dayanımı düşük çıkmaktadır (Gök, 2010).

1.3.1.4 Segregasyon

Taze beton içerisindeki iri agrega tanelerinin herhangi bir sebepten ötürü çimento harcından ayrılmasına segregasyon adı verilir. Segregasyon sonucu beton karışımının bazı kısımlarında daha iri agregalar, bazı kısımlarında da ince agregalar ve çimento hamuru birikerek beton karışımının homojen dağılımı bozulur. Bu durum aynı beton karışımının farklı bölgelerinde farklı mukavemet değerlerinin oluşmasına neden olur. Segregasyon olayı her şeyden önce, betonu meydana getiren agrega ve çimento gibi farklı tane büyüklüğü ve yoğunlukta olan bileşenlerin uygun oranlarında kullanılmamış olmasından ileri gelir. Böyle olmasa bile, taze betonun taşınması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması işlemlerinin uygun şekilde yapılmamış olması da segregasyona neden olabilir. Bunun dışında beton karışımı içindeki iri agrega oranının çok fazla veya az olması, S/Ç oranının gereğinden yüksek veya düşük oluşu da betonun segregasyona neden olabilir. Beton yapımında kullanılan iri ve ince agreganın özgül ağırlıkları arasında büyük fark bulunması halinde de segregasyonda artış görülür (Kadyrov, 2015).

1.3.1.5 Terleme (Kusma)

Taze beton kalıba yerleştirildikten sonra katı parçalar dibe doğru hareket etme eğilimi gösterirken, su ise yüzeye doğru hareket etme davranışı sergiler. Sertleşmemiş betonun üst yüzeyine erişen su bazen burada çok sık bir su birikintisi oluşturarak ardından da buharlaşmaya maruz kalabilir. Bazen de doğrudan doğruya buharlaşarak bünyeyi terk edebilir. Beton üst yüzeyine erişemeyen bir miktar su da belli bir bölgede toplanarak bu bölgedeki S/Ç oranını arttıracığından bu kısmın zayıf ve dayanımsız kalmasına sebep olur. Taze betonun içerisindeki suyun beton yüzeyine çıkma eğilimine terleme denilmektedir. Bu olay kanama ve su alma veya kusma olarak da anılmaktadır (Akpınar, 2008).

1.3.1.6 Rötire (Büzülme)

Rötire, betonun yükten bağımsız hidratasyon ve kuruma ile meydana gelen hacimsel büzülmeye denir. Rötirenin temel nedeni beton bünyesindeki suyun bünyeyi terk etmesidir. Bu suyun kaybolma biçimine bağlı olarak rötire; plastik rötire, hidratasyon rötresi, kuruma rötresi gibi farklı tanımlarla anılmaktadır. Plastik rötire beton plastik haldeyken, yani henüz sertleşmemiş kıvamdayken katı tanelerin yer çekimi etkisiyle kalıp içinde dibe doğru

çökmesi ve çökme sonucu yüzeyde kalan suyun buharlaşması neticesinde oluşan rötredir. Hidratasyon rötresi çimentonun hidratasyon süresince ortamdaki sürekli su çekmesinden kaynaklanır. Eğer çimentonun aldığı su dışarıdan sağlanmıyorsa çimento jelini oluşturan tanelerin yüzeyindeki ve arasındaki basınç dengesini oluşturan tanelerin basınç dengesi bozulur ve rötreye meydana gelir (Uçar, 2008). Rötreye köpük betonlar için önemli risk teşkil etmektedir. Rötreye en sık maruz kalan betonlardan biri de köpük betondur. Ayrıca köpük betonların üretiminde geri kazanılmış beton agregası kullanıldığında bu geri kazanım malzemelerinin su emme kapasiteleri yüksek olduğundan rötreye riski bir kat daha artacaktır. Rötreye köpük betonda ani çökme hacimsel küçülmelere sebebiyet verebilir. Bu sebeple ortam sıcaklığı ve hidratasyon ısısının köpük beton imalatında kontrol altında tutulması oldukça önemlidir.

1.3.1.7 Priz Süresi

Çimento ile suyun bir araya getirilmesiyle oluşturulan çimento hamuru plastik (şekil verilebilir) bir kıvamdadır. Çimento ile suyun birleşmesinin ardından kimyasal reaksiyonların başlamasıyla beton ilk etapta kıyasla daha az plastik bir kıvama gelir. Çimentonun su ile birleştiği an ile çimento harcının katılaşmaya başlayarak plastiklik özelliğini yitirdiği an arasında geçen süre, "priz alma süresi" olarak tanımlanır. Priz alma süresi, priz başlama süresi ve priz sona erme süresi olarak 2 farklı safhada gerçekleşir. Priz başlama süresi, çimento ile suyun birleştiği an ile çimento harcının fiziksel değişiklik göstererek çimento hamurunun plastikliğini kaybederek katılaşmaya başladığı an arasında geçen süredir. Priz sona erme süresi ise, çimento ve suyun birleştirildiği an ile çimento hamurunun sertleşerek katılaşmış an arasında geçen süredir. Çimentoların priz başlama süresinin çok kısa olmaması, priz sona erme süresinin ise çok uzun olmaması istenmektedir. Türkiye’de üretilen Portland çimentoları için priz başlama ve priz sona erme süreleri, sırasıyla, minimum 1 saat ve maksimum 10 saattir (Özdemir, 2006).

1.3.1.8 Hidratasyon Isısı

Hidratasyon olayı çimento tanelerinin su ile reaksiyona girmesi sonucu oluşan tepkimedir, söz konusu bu tepkime ekzotermik olduğu için reaksiyon sonunda ısı açığa çıkar. Açığa çıkan bu ısı çimento tanelerinin inceliği ile doğrudan alakalıdır. Çimento taneleri inceliği arttıkça su ile etkileşime giren yüzey alanı da artmaktadır. Böylelikle reaksiyonlar daha hızlı

hale gelir. Tepkime hızı arttıkça açığa çıkan ısı miktarında da artış olur. Farklı tipteki çimentoların mekanik özelliklerinden dolayı hidrasyon ısı miktarları da farklı olur. Kullanım yerine göre uygun hidrasyon ısı sağlayarak çimentoların tercih edilmesine dikkat edilmelidir. Erken dayanımlı, yüksek dayanımlı çimentoların hidrasyon ısıları da yüksek olur. Betonun ısı kapasitesinin düşük olması nedeniyle hidrasyon sonunda 500 J/g (120 cal/g) kadar ısı açığa çıkabilir. Bu nedenle beton ısı bir yalıtkan gibi davranarak kütle betonda sıcaklığın artmasına neden olur. Beton sertleşme sürecinde ilk 3 gün içinde reaksiyonlar çok hızlı gerçekleşerek maksimum ısı açığa çıkmaktadır (Bilal, 2013). Hidrasyon ısı, özellikle köpük betonlarda gerekli kür şartları sağlanmazsa ısı gerilmeler ve rötre çatlaklarına sebebiyet vererek dayanım ve durabiliteyi olumsuz yönde etkiler. Betonun priz süreci ve sonrasında uygun kür şartları sağlanarak hidrasyon ısı kontrol altında tutulmalıdır.

1.3.1.9 Taze Betonun Sıcaklığı

Taze beton sıcaklığının TS EN 206-1'e göre +35 °C'den fazla +5 °C'den az olmaması gerekmektedir.

1.3.2 Sertleşmiş Betonun Özellikleri

Sertleşmiş beton, taze betonun şekillendirilebilirlik özelliğinin son bulduğu, katılaşmanın meydana geldiği safhadır. Bu safhada, beton istenilen süre içerisinde yeterli ve gerekli mukavemeti sağlayabilmeli, yeterli durabilite (dayanıklılık) özelliklerine ve hacim sabitliğine ulaşmalıdır. Sertleşmiş betonun aşağıdaki temel özellikleri göstermesi beklenir.

1.3.2.1 Dayanım

Betonun üzerine tesir eden hareketli veya hareketsiz yüklerin betonda meydana getireceği şekil değişikliği ve kırılmaya karşı koyacağı en büyük direnç olarak tanımlanabilir. Malzemenin herhangi kesitinde bir birim alanının karşılayabileceği en büyük kuvvet, maksimum gerilme olarak bilinmektedir ve kgf/cm² veya MPa gibi birimlerle ifade edilmektedir. Maksimum gerilme miktarı, betonun dayanımını göstermektedir (Ezici, 2016).

1.3.2.1.1 Basınç Dayanımı

Köpük betonun basınç dayanımı ağırlıklı olarak yoğunluğundan etkilenir ve köpük betonun yoğunluğunda meydana gelen azalma ile katlanarak azalır. Basınç mukavemeti 0,34 MPa kadar düşük veya 20 MPa kadar yüksek olabilir. UK'nın yüksek yoğunluklu köpük betonda (1500 ile 500 kg/m³) uygulanmasıyla 50 MPa'dan fazla nihai mukavemetler elde edilmiştir. Köpük betonun basınç dayanımı yoğunluğunun bir fonksiyonudur. Dolgu, uçucu kül ve çimento içeriğinin basınç dayanımına bir etkisi yoktur gibi görünmektedir (Ören, 2017).

Yapılan çalışmalar sonucunda, optimum sıcaklık ve nem gibi ortam koşulları sağlandığında betonun dayanımının yaşla doğru orantılı bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Hesaplamalarda daha çok betonun 28 günlük basınç dayanımını dikkate alınmaktadır. Bunun sebebi, betonun zaman içinde yakalayabileceği en yüksek dayanımının yaklaşık %70'ine ilk 28 gün içinde ulaşmasındandır. Beton 7, 28 veya daha sonraki günler için amaçlanan dayanımından daha küçük bir değerde olmamalıdır. Tablo 1.7'de TS EN 206'ya ve TS500/2000'e göre çeşitli beton sınıflarının basınç dayanımları verilmiştir (Ezici, 2016).

Tablo 1.7: Türk standartlarındaki beton sınıfları ve basınç dayanımları (MPa).

TS 500	TS EN 206	Silindir Numune (15×30) cm		Küp Numune (15×15×15) cm	
		TS 500	TS EN 206	TS 500	TS EN 206
	C 8/10		8		10
	C 12/15		12		15
	-		-		-
C 16	C 16/20	16	16	20	20
C 18	-	18	-	22	-
C 20	C 20/25	20	20	25	25
C 25	C 25/30	25	25	30	30
C 30	C30/37	30	30	37	37
C 35	C 35/45	35	35	45	45
C 40	C 40/50	40	40	50	50
C 45	C 45/55	45	45	55	55
C 50	C 50/60	50	50	60	60
	C 55/67		55		67
	C 60/75		60		75
	C 70/85		70		80
	C 80/95		80		95
	C 90/105		90		105
	C 100/115		100		115

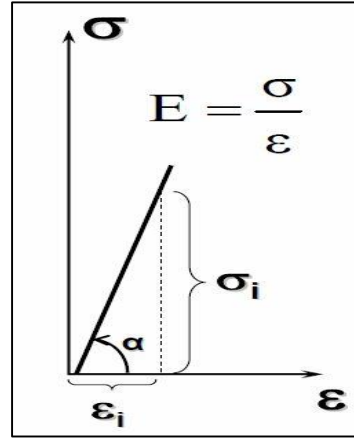
TS EN 206/2014 standardına göre tanımlanmış betonlar herhangi bir amaca hizmet edebilen genel betonlardır yani betonarme betonu olarak kullanılmamaktadırlar. TS500/2000 standardına göre tanımlı betonlar betonarme betondur, herhangi bir özel izne gerek kalmadan betonarme yapılarda kullanılabilirler (Ezici, 2016). Köpük betonlar bu kapsamda dayanımlarının düşük olması sebebiyle betonarme betonu olarak kullanılamazlar. Bu betonlar daha çok yalıtım, hafiflik, estetik gibi özellikleriyle ön plana çıkarlar. Dayanımlarını arttırmaya yönelik çalışmalar sürdürülmektedir.

1.3.2.1.2 Eğilme (Çekme) Dayanımı

Betonun eğilme dayanımı, betonda çekme etkisine sebep olacak kuvvetlerin neden olduğu şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği direnç yeteneği olarak bilinmektedir. Yapıdaki betona doğrudan çekme dayanımı uygulanmamasına rağmen, beton üzerine etkiyen basınç ve eğilme kuvvetleri betonun içerisinde çekme kuvveti oluşmasına sebep olabilmektedir. Ayrıca betonda büzülme nedeniyle oluşacak olan şekil değiştirmelerin agrega taneleri ve betondaki donatı tarafından engellenerek serbestçe yer almaması sebebiyle de betonun içerisinde çekme kuvvetleri meydana gelebilmektedir (Özden, 2010).

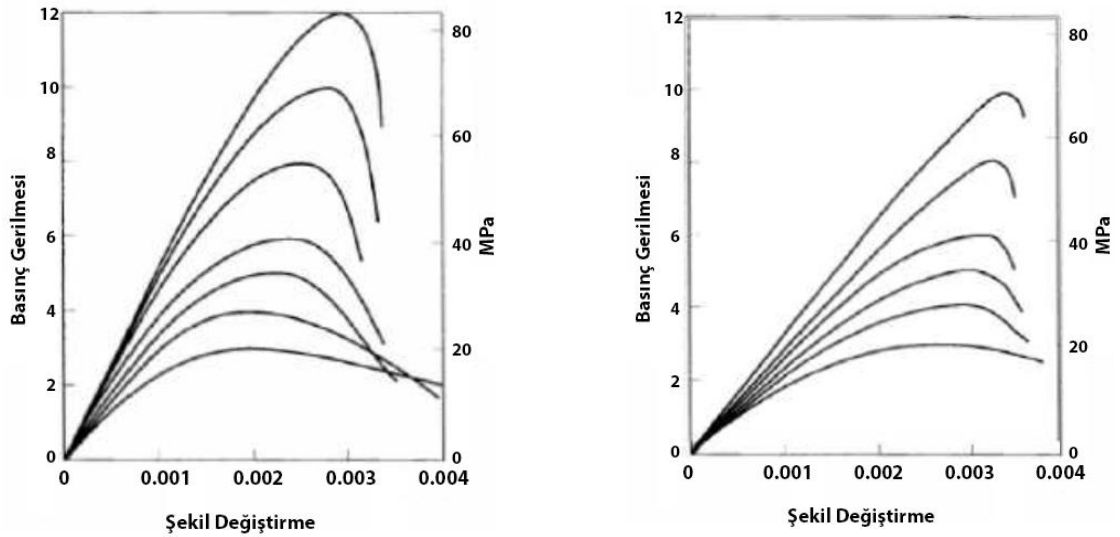
1.3.2.1.3 Elastisite Modülü ve Gerilme Şekil Değiştirme Eğrisi Özellikleri

Elastisite modülü, betonun basınç dayanımı ile doğrudan alakalıdır. Elastisite modülü malzemenin birim uzama başına karşılık gelen gerilme olarak tanımlanabilir. Betonun aksel basınç yüklemesi altında elde edilen σ - ε ilişkisi doğrusal bir davranış sergilemez. Bu durumda doğrusal olmayan σ - ε ilişkisinden elastisite modülünü tanımlamak için bir takım kabuller yapılmaktadır. Başlangıç, sekant ve teğet modülü olmak üzere 3 farklı yöntemle tanımlanabilen elastisite modülü ilgili şartnamelerde çoğunlukla %40-%50 dayanıma karşılık gelen sekant modülü cinsinden tanımlanmıştır. σ - ε ilişkisini etkileyen bütün değişkenler elastisite modülünü de etkilemektedir. Doğrusal elastik olmayan ve zamana bağlı deformasyon gösteren beton malzemesinin davranışının kesin olarak tanımlanması oldukça güçtür (Duran vd., 2016).



Şekil 1.3: Elastisite modülü.

Normal beton ve hafif beton için gerilme-şekil değiştirme eğrileri Şekil 1.4’de gösterilmiştir. Normal betonda basınç dayanımının yaklaşık üçte birine kadar eğri doğrusal olarak artmaktadır. Bu nokta orantı sınırı olarak adlandırılmaktadır. σ - ϵ eğrisi bu noktadan (orantı sınırından) sonra doğrusal (lineer) davranıştan sapmaktadır. σ - ϵ eğrisinin eğriliği, gerilme, basınç dayanımının %85 seviyesinden sonraki gerilmelere ulaştıktan sonra hızlı bir şekilde artmaktadır. Şekil değiştirme dayanıma bağlı olarak normal betonlar için yaklaşık olarak 0,002 civarındadır (Dikici, 2010).



a. Normal beton (σ - ϵ) eğrisi.

b. Hafif beton (σ - ϵ) eğrisi.

Şekil 1.4: Normal ve hafif beton için (σ - ϵ) eğrileri (Dikici, 2010).

Hafif agregâ ve matris arasında çok iyi bir aderans olması nedeniyle erken mikro çatlak oluşmaz. Bunun sonucunda Şekil 1.4'de görüldüğü gibi gerilme birim şekil deformasyon eğrisi dayanımın yaklaşık olarak %90'na kadar lineerdir. Bu doğrusallığın nedeni agregâ-matris arasındaki bağın kuvvetli olmasındandır. Şekilde görüldüğü gibi normal betonda şekil değiştirme 0,002 değerini alırken, hafif betonda 0,003 değerlerine çıkmaktadır. Bu değerlerden anlaşılacağı üzere aynı gerilme değerlerinde hafif beton normal betona kıyasla daha çok şekil değişimi sergilemektedir (Dikici, 2010).

1.3.2.2 Durabilite (Dayanıklılık)

Dayanıklılık, "kalıcılık" veya "durabilite" gibi farklı terimlerle de nitelendirilebilmektedir. Beton yapılar, kullanım süresi boyunca, aşınmaya neden olabilecek birçok etkiyle karşılaşmaktadır. Bu etkenler; hava koşulları, kimyasal sular ve betonun kullanıldığı ortam koşulları gibi yıpratıcı fiziksel ve kimyasal olaylardır. Betonun hizmet süresince boyunca bu fiziksel ve kimyasal olaylara direnç gösterme yeteneğine dayanıklılık ya da durabilite denilmektedir. Sertleşmiş beton içerisine boşluk ve çatlaklardan giren suların bulundurduğu sülfatlar veya asitler bir takım kimyasal olaylara sebep olurken, betonun çatlayıp kırılmasına da neden olmaktadır. Ayrıca sertleşmiş betonun boşluklarındaki suyun donması sonucu ve sonradan çözünmesi ile "donma çözülme" olayı gerçekleşebilir. Bunun sonucunda beton çatlayıp kırılabilmektedir (Ezici, 2016).

1.3.2.3 Birim Ağırlık (Özgül Ağırlık)

Uygun koşullarda üretilmiş normal taze betonun birim hacim ağırlığı 2,2-2,5 kg/l'dir. Sertleşmiş betonun birim hacim ağırlığı karışım suyunun bir miktarın buharlaşmasından dolayı daha düşüktür. Betonun S/Ç oranı arttıkça birim hacim ağırlığı azalır. Ayrıca kullanılan agreganın birim hacim ağırlığı, hava sürükleyici kimyasal katkı kullanılıp kullanılmadığı, taze betonun kıvamı, taze betonun yerleştirilirken uygulanan sıkıştırma işleminin yeterliliği birim hacim ağırlığı etkileyen önemli faktörlerdir. Hafif ve ağır beton uygulamalarında beton birim hacim ağırlığı agregâ türü, karışım dizaynı ve hava sürükleyici katkı kullanımı ile istenilen mertebelere getirilmektedir. Hafif betonların birim hacim ağırlıkları 300 ile 1800 kg/m³ arasında değişir (Baradan vd., 2015).

1.3.2.4 Hava veya Boşluk Oranı (Porozite)

Betonun hava miktarı, normal ve ağır betonlarda EN 12350-7'ye, hafif betonlarda ise ASTM C 173'e göre belirlenmektedir. Hava miktarı, en düşük değerle tarif edilir. Hava miktarının üst değer sınırı, en küçük değere %4 sabit sayı eklenmesiyle bulunur. Beton içerisinde bulunan hava ile yoğunluk, dayanım nitelikleri arasında doğrudan doğruya bir bağlantı bulunmaktadır. Taze beton içeriğinde, %0,5-8 hava bulunmaktadır. Köpük betonlarda bu oran %75'lere kadar varabilmektedir. Bu durum dayanımı ve birim ağırlığı oldukça düşürmektedir.

1.3.2.5 Geçirimsizlik (Permeabilite)

Geçirimsizlik, suyun ve su içeriğindeki zararlı kimyasalların beton içerisinde hareket edebilme yeteneği olarak bilinmektedir. Suyun beton bünyesindeki hareketi birçok etkene bağlıdır. Bunlar boşluk cinsi, boşluk büyüklüğü, boşluk dağılımı ve mikro ve makro çatlaklar gibi etkenlerdir. Bu nedenle çatlakları belli bir seviyenin altında tutmak gerekmektedir. Boşluklar ve çatlaklar içerisinde gaz ve su hareketlerinin taşıdığı zararlı kimyasal maddeler dayanıklılığı olumsuz şekilde etkilemektedir. Betonda karşılaşılabileceğimiz birçok sorunun sebebi betonun geçirimsiz olmasıdır. (Çorbacıoğlu, 2008). Betonun geçirimsizliği fazla olursa o betonun durabilitesinden yani dayanıklılığından söz edilemez o halde beton her türlü fiziksel ve kimyasal tehditlere açık hale gelmiş olur. Betonun uzun ömürlü olabilmesi için geçirimsizlik problemlerine karşı gerekli tedbirler alınmalıdır.

1.3.2.6 Su Emme

Sertleşmiş beton içindeki boşluklar tamamen suya doymun değilse, ıslak bir ortamda, betonun içindeki boşluklara su girebilir. Söz konusu durum, betonun su ile tamamen doyması haline kadar devam etmektedir. Beton tarafından, içeriğindeki boşluklara fiziksel olarak su çekmesi olayına "su emme" denir. Sertleşmiş betonun su emmesi olayında, önce büyük hacim boyutuna sahip boşluklar ve ardından küçük hacimli boşluklar suyla dolmaya başlamaktadır. Bu nedenle, betondaki "su emme", ilk aşamada hızlı bir şekilde olmakta, daha sonra ise, daha düşük hızlara inmektedir. Su emilme hızı ve emilen suyun miktarı, betonun hangi oranda kuru olduğuyla alakalıdır. Betonun emebileceği su miktarı ise, beton içinde

bulunan boşlukların hacmi ile alakalıdır. Betondaki toplam boşluk hacmi ise, betonda kullanılan S/Ç oranı, agrega türü, kür şartları, kür süresi, karbonatlaşma, beton elemanlarının ebatları gibi çeşitli etkenler tarafından belirlenmektedir. Eğer betonların su emme kapasiteleri fazla ise dayanımları düşük çıkmaktadır. Ayrıca, betonun dayanıklılığı betondaki su emme karakteri ile yakından ilişkilidir. Beton geçirgenliği beton içerisindeki su hareketini göstermektedir. Bu nedenle geçirimsizlik ve su emme birbirinden farklı özelliklerdir. Ancak, su emme durumu, betonun geçirimsizlik özelliğine önemli derecede etkiyen faktörler arasındadır. Sertleşmiş betonun "su emme" miktarının belirlenmesi ile ilgili Türk standardı TS 3624'tür. ASTM standartları tarafından belirtilmiş bir yöntem yoktur (Nergiz, 2007).

1.3.2.7 Isıl İletkenlik Kapasitesi

Köpük beton, düşük ısı iletkenliğe sahiptir. Bu nedenle ısı kabiliyeti ve enerji tasarrufu yüksektir. Köpük betonun bu karakteri ile, daha az enerji harcayan yapılar bakımından alternatif bir yapı ve ısı izolasyon malzemesi olarak kullanılabilme özelliği vardır. Köpük betonların, binalarda; duvar, zemin, çatı elemanı olarak kullanılabilir olması için ısı iletkenlik katsayısının (k) doğru bir şekilde hesaplanması ve daha yüksek ısı direnç taşıyan köpük betonların tasarlanması oldukça önemlidir. Köpük betonların k değeri, köpük yoğunluğuna, köpük ajanına, boşluk ve hücre yapısına, malzemenin birim ağırlığına, karışım oranlarına, bağlayıcı cinsine, nem faktörü ve sıcaklık farkı gibi birçok parametreye bağlıdır. Binaların ısı direnç hesaplamalarında kullanılan k değeri laboratuvar ortam şartlarındaki sıcaklık ve nem değerleri baz alınarak belirlenmesine rağmen, binayı meydana getiren bileşenler binanın bulunduğu yerdeki iklim koşullarına bağlı olarak farklı sıcaklık ve nem değerlerine maruz kalmaktadırlar (Koru, 2017).

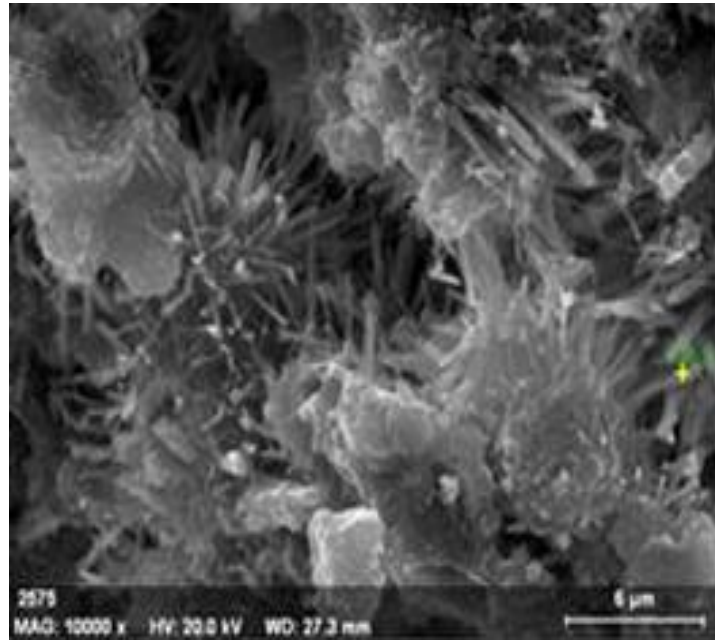
1.3.2.8 Ultrases Geçiş Hızı

Mekanik dalgaların elektrik titreşimlerine dönüşümü ve elektrik titreşimlerin mekanik titreşimlere dönüşümü ultrasonik testlerin temelini oluşturmaktadır. Piezelektrik vericiler bu işlemlerin ana görevini üstlenmektedirler. Test aleti betonda bir verici ile dalga titreşimleri meydana getirerek, alıcı ile titreşimin varışını algılar. Böylece beton boyunca hareket eden titreşimin hareket süresini hassas bir şekilde ölçmek mümkün olmaktadır (Özçep vd., 2012). Ultrasonik testler betonun mekanik özelliklerinin belirlenmesinde, görüntüleme ve

mikroskop amaçlı kullanılırlar. Ultrasonik test cihazları taşınabilir olmalarından ötürü ekonomik ve maddenin plazma hariç her halinde kullanılabilir olmalarından ötürü tercih sebebidirler. Ayrıca bu cihazlar optik yoğunluktan etkilenmezler.

1.3.2.9 İç Yapı Özellikleri

İnsan gözü çok küçük detay ve ayrıntıları algılayabilecek yapıda değildir. Bu sebeple daha küçük ayrıntıları görebilmek için çeşitli cihazlar geliştirilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM), elektro optik kriterler dahilinde mikron mertebesindeki ayrıntıları görüntüleme amacına hizmet eder. SEM’de; elektronların yüksek voltaj yardımıyla hızlandırılarak numune üzerine odaklanması ile numune ve elektronlar arasında meydana gelen etkilerin algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerden geçirildikten sonra katot ışınları tüpünün ekranına yansıtılmasıyla görüntü elde edilir (Dakman, 2017). Böylece malzemenin iç yapısı hakkında bilgi edinme şansı yakalamış oluruz. Betonda etrenjit oluşumu, boşluk-gözenek yapısı, C-S-H yapıları gibi birçok dışarıdan görülemeyen fiziksel ve kimyasal özellikler hakkında yorum yapılabilir. Şekil 1.5’te SEM ile çekilmiş bir etrenjit oluşumu görülebilmektedir.



Şekil 1.5: Örnek bir SEM görüntüsü (Güçlüer vd., 2014).

1.4 Ülkemizde Köpük Beton

Ülkemizde köpük beton kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Binalarda yalıtım şapları ve tesviye betonlarında ve kısmen yapı duvar blokları şeklinde üretimi mevcuttur. Yerli teknolojimiz köpük betonun üretim sanayisi için yeterli durumdadır. Ancak üretim sürecinde küçük hacimli işletmelerin karşısında standartsızlık büyük bir engel olarak durmaktadır. Standardı olmadığı için TS 825'te tanımlanamamakta, dolayısıyla yapıların projelerindeki, duvar ve yer döşemelerinde yapı malzemesi olarak tasvir edilememektedir. Standartlar konusundaki yetersizliklerin ortadan kaldırılması ile birçok ülkede olduğu gibi, köpük beton yapı malzemelerinin ülkemizde de kullanımının önünü açmak için köpük betonun TS 825 içinde tanımlanmasının ardından ülkemizde köpük betondan yapı ve yalıtım malzemesi üretiminin önü açılacaktır. Bu sayede değişik ölçekli köpük beton tesisleri kurulmaya başlanacaktır (Ekinci, 2014). Ülkemiz bölgesel hammadde bakımından köpük beton için gerekli hammadde ihtiyacını kolaylıkla karşılayabilecek durumdadır. Ayrıca üretimi yerli teknolojiyle üstlenilebildiği düşünülürse ülkemiz köpük beton maliyetleri bakımından gelecek adına avantajlı bir konumdadır. Köpük betonlarda fırınlama maliyetlerinin de olmadığı düşünüldüğünde tuğla ve gaz betondan daha fazla tercih konusu olabilecektir. Ancak ülkemizde endüstriyel anlamda bir köpük beton sanayisinin kurulabilmesi için daha önce de belirtildiği gibi bazı uygunluk standartlarının önünün açılması gerekmektedir. Aksi halde köpük betonların diğer hafif betonlarda olmayan bir takım avantajlarından teknik ve ekonomik anlamda istifade edememiş oluruz.

1.5 İnşaat Yıkım Atıklarının Geri Kazanımı Hakkında Genel Bilgiler

1.5.1 Yıkım

Yıkım, "yok etme" anlamına gelmesine rağmen; gelişi güzel bir yıkım faaliyetinden söz etmek mümkün değildir. Nitelikli ve planlanmış yıkımlar ancak amacına ulaşacaktır. Hem yıkım esnası hem de yıkım sonrası iyi bir planlama gerektirir. Avrupa ve Amerika'da yıkım mühendisliği başlı başına bir alandır. Yıkım esnası çevrenin can ve mal güvenliği için iş güvenliği bakımından etraflıca planlanırken, yıkım sonrası da oluşacak molozun nasıl değerlendirilip geri kazanılacağı üzerine planlanmalıdır. Planlı veya plansız olarak iki tip bina yıkımı söz konusudur. Planlı yıkım ülkemizdeki kentsel dönüşüm faaliyetlerinde olduğu gibi riskli yapılar sağlıklı güvenli yapılara dönüştürmek maksatlı tasarlanarak yapılan

yıkımdır. Öte yandan doğal afetler gibi plansız yıkımlar sonucu da çok miktarda yapısal yıkım atıkları meydana gelmektedir. Şekil 1.6’da Van-Erciş depremi sonrasında yıkılan bir binadan meydana gelmiş beton yıkım atıkları görülmektedir.



Şekil 1.6: Van-Erciş depremi (Uslu ve Uzun, 2014).

Türkiye’deki şehir planlama kriterlerine aykırı çoğalan kaçak yapılaşma, depreme dayanıksız yapıların yüksek potansiyeli, kentsel dönüşüm fikrini ortaya çıkartmıştır. Başka bir deyişle, hızlı ve plansız kentleşmenin yanında deprem, taşkın, heyelan gibi doğal afetler sonucunda kentlerin tahrip olmasından sonra kentsel dönüşüm kavramı ortaya çıkmıştır. Kentsel dönüşüm, kentsel sorunların çözümüne katkı sağlayan ve değişime uğrayan bir bölgenin ekonomik, fiziksel, sosyal ve çevresel şartlarına kalıcı bir çözüm getirmeye çalışan, kapsamlı bir vizyon ve eylem olarak tanımlanmaktadır (Uslu ve Uzun, 2014). Kentsel dönüşüm faaliyetleri, sağlıksız kentleşme ve deprem gibi doğal afetlere karşı yürütülen olumlu bir çalışma olmasına rağmen ülkede yıkım atığı miktarında önemli bir artış sağlayacaktır. Deprem ve kentsel dönüşüm yıkım atıkları da diğer tüm yıkım atıkları gibi doğaya kazandırılabilir. Yıkım ne sebeple olursa olsun sonrası bir atık yönetimi ile planlanmazsa kontrolsüz bir yıkım atığı birikmesi meydana gelecektir. Düzgün stoklanmayan ya da yeniden kullanımı planlanmayan yıkım atıkları hem çevresel kirlilik yaratır hem de ekonomik anlamda ülkeyi zarara uğratacaktır.

1.5.2 Geri Dönüşüm

Tekrardan kullanılabilme olanağı olan bazı atıkların bir takım işlemlerden geçirilerek ikincil bir hammaddeye dönüştürülmesi ve tekrar üretime kazandırılmasına geri dönüşüm denir. Farklı bir ifadeyle herhangi bir şekilde kullanım ömrünü tamamlamış malzemelerin yeniden geri kazanılması olarak tanımlanabilir.

1.5.2.1 Geri Dönüşümün Önemi

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde geri dönüşüm üzerinde geniş çaplı çalışmalar ve araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Dünya geneline paralel olarak ülkemizde de nüfus artışına bağlı olarak tüketim artmaktadır. Tüketime artması atık madde miktarının artmasına neden olmakta dolayısıyla geri kazanılmış malzemeleri üretimde tekrar kullanmayı çevrenin korunması ve ekonomik yönden zorunlu hale getirmektedir. Bu ekonomik zorunluluk birçok ülkeyi geri dönüşüm sürecini yasalaştırmaya götürmektedir. Gelişmiş ülkeler bazında bu konuda bir yarış süreci dahi başlamıştır. Geri dönüşümü bu derece önemli hale getiren birçok neden olmakla birlikte en önemli nedeni dünyada hammadde rezervlerinin zamanla azalmasıdır. Hammadde temini konusunda karşılaşılan bu sıkıntıya en etkili çözüm atık maddelerin geri dönüşüm ile yeniden hammadde olarak imalata katılmasıdır. Aynı zamanda geri dönüşüm doğal kaynakların korunmasına oldukça fazla katkı sağlamaktadır. Doğal kaynaklarımız, dünya nüfusunun sürekli artması sonucu ile her geçen gün hızla azalmaktadır. Bu sebeple üretimde kullanılan ham malzeme miktarını azaltmak aynı zamanda geri dönüştürülebilir atıkları geri kazanarak doğal kaynakları verimli kullanmak son zamanlarda önem kazanmıştır. Geri dönüşümün bir diğer faydası da ekonomik getirisidir. Hammaddelerin azalması ve doğal kaynakların hızla tükeniyor olması sonucunda ekonomik sorunlar çıkabilecek ve işte tam da bu noktada geri dönüşümün ekonomi üzerinde olumlu etki yapacağı açıktır. İstihdamın önünü açarak yeni kuşaklara doğal kaynaklardan faydalanabilme imkanı sağlayacaktır. Ayrıca geri dönüşümün yasal olarak zorunlu hale gelmesi ile birlikte geri dönüşüm sahasında yeni bir sanayi sektörü oluşmaya başlamıştır. Bu da ekonomik gelişim ve istihdam açısından olumludur. Hammadde üretimi geri dönüşüm ile birlikte daha kolay sağlanmaktadır. Yani atık maddenin imalata hazır hale gelmesi doğadan elde edinime göre daha az işlem gerektirmektedir. Bu ise enerji tasarrufu sağlamaktadır. Örneğin; metal içecek kutularının geri kazanımı işleminde, metaller doğrudan eritilerek yeni

ürün haline dönüştürüldüğünde metallerin imalatı için kullanılan maden cevheri ve bu cevherin saflaştırılma işlemlerine gerek olmadan üretim yapılabilmektedir.

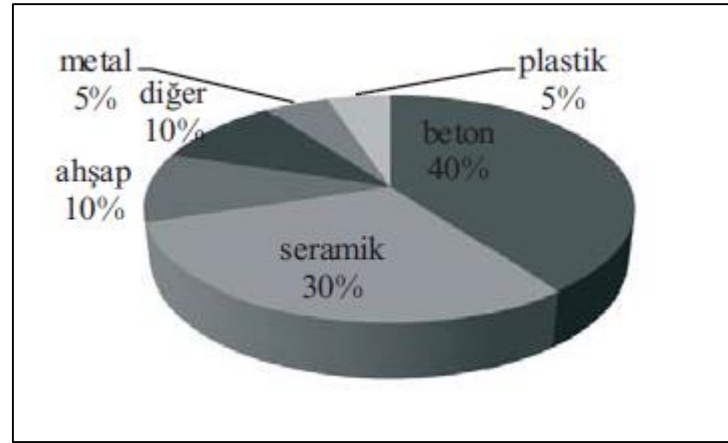
Atık maddelerin imhası da bir diğer problemdir. Atık maddeler ya yakılarak imha edilmektedir ya da belli bir bölgeye depolanmaktadır. Yakma işlemi ile imha çevre kirliliğine sebep olmakla doğal dengeye zarar vermektedir. Depolama işlemi ise çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Ayrıca depolama için belli bir bölge ayrılmalıdır ki bu hiç de ekonomik bir çözüm değildir. Bu açıdan geri dönüşüm bu sıkıntılara da çözüm niteliği taşımaktadır. Doğal maddeler atık haline geldikten sonra doğaya tam zıt bir etken içerisine girmektedir ve doğadan yok olma süreci oldukça uzun sürmektedir. Bu maddelerin işlenerek yeniden kazandırılması bu durumun önüne geçmektedir (Öztürk, 2005; Tüfekçi, 2011).

1.5.2.2 İnşaat Endüstrisi Bakımından Geri Dönüşüm

İnşaat sektörü hammaddenin en yoğun kullanıldığı sektörlerin başında yer almaktadır. İnşaat sektörü de diğer sektörlerde olduğu gibi imalat sürecinde kullanılan malzemelerin ekonomik külfetini azaltmak için, hammaddenin ve enerji tüketiminin olabildiğince düşük seviyelere gerileyebilmesi için çalışmalar yürütmektedir. İnşaat ve yapı sektöründe en çok tüketilen malzemelerin başında; beton, asfalt, ahşap, alüminyum, demir gibi malzemeler yer almaktadır. Görüldüğü üzere bu malzemeler inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan başlıca malzemeler olup geri kazanılabilirlik oranları oldukça yüksek malzemelerdir. Bu geri kazanım avantajı bakımından değerlendirildiğinde, talep ve tüketim ilişkisi içerisinde geri dönüşümün özellikle inşaat alanında yaygın bir şekilde uygulanmasının kayda değer ölçüde ekonomik kaynak sağlayacağı görülmektedir (Fırat ve Akbaş, 2015). İnşaat sektörü ekonomiye katkı sağlarken öte yandan doğal kaynakların tükenmesi ve çevre kirliliği bakımından olumsuz etkileri mevcuttur. Fakat öte yandan yoğunlukta kullanılarak hammadde kaynaklarının tükenmesine sebep olan yapı malzemelerinin çevre kirliliğine sebep olmadan geri dönüşüm faaliyetleri ve atık kontrolü ile toplum yararına yeniden sunulması ekonomik ve çevreci bir yaklaşım olacaktır.

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de nüfus artışı ve büyük şehirlere göç, büyük şehirlerimizde inşaat sektörünü hızlandırmıştır. Aynı zamanda eski yapıların yıkılması ve yerlerine yenilerinin yapılması zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır. Yıkılan bu eski yapıların atıklarının atılacak yerlere uzak olması ve çevre kirliliğine sebep olması aynı zamanda agrega

kaynaklarının azalması, beton için gerekli olan agregayı sağlamak için yeni kaynaklar bulunması zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır (Kılıç, 2006). Kullanım ömrünü tamamlayan ve zamanla değişen yeni yapısal şartları ve gereksinimleri karşılayamayan yapıların yıkımı sonucu ve deprem gibi bazı doğal afetlerin neticesinde oluşan inşaat yıkım atıkları; beton, metal ve seramik gibi yaygın kullanılan yapı malzemelerinden meydana gelir. Yapılan bir çalışmada inşaat yikintılarının dağılımı aşağıda verilen Şekil 1.7'deki gibi tahmin edilmiştir (Oikonomou, 2005).

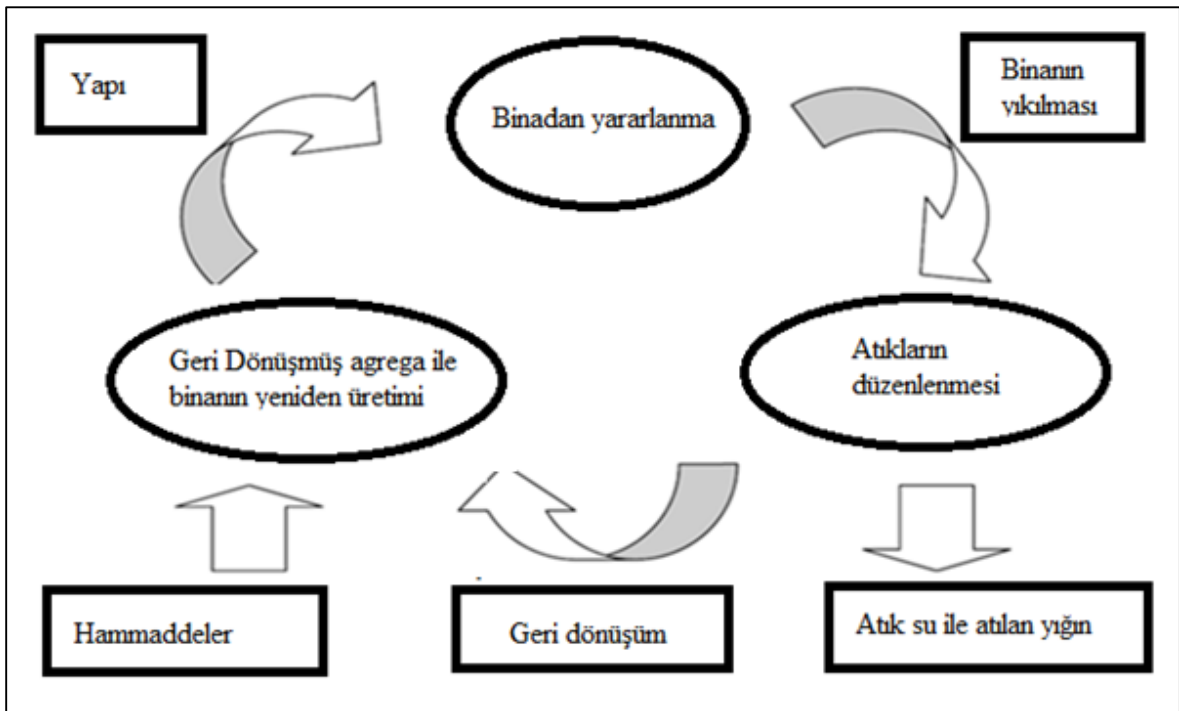


Şekil 1.7: İnşaat yikintılarının dağılımı (Oikonomou, 2005).

Yapı malzemelerinin geri dönüşümü artan atık yok etme sorunlarına katkıda bulunur ve doğal agrega kaynaklarının ömrünün uzamasına önemli katkı sağlar. Geri kazanılmış malzemeler doğal agregaların tümüyle yerini tutmaz. Homojen malzeme özelliklerine sahip geri kazanılmış agregaya üretecek işleme teknolojisi günümüzde mevcuttur. Geri dönüştürülmüş agregaların yüksek kalitesi için beton teknolojisinde sadece birkaç değişiklik gerekir. Homojen olmayan atık malzemelerin niteliksiz özellikleri ve özellikle yüksek su ihtiyacı olan geri kazanılmış agregaların bu olumsuz karakteri için şimdilik doğrudan çözüm yolları bulunamamıştır. İşleme teknolojisindeki gelişmeler, bu malzemenin kalitesini yükselterek beton üretimine uygun olmasına yardım edebilir (Assbrock, 1999).

Türkiye’de nüfusun artışı, kentsel dönüşüm gibi nedenlerden dolayı, 2014 verilerine göre bakıldığında hazır beton üretimi son on yılda 4 kat artarak yaklaşık 107 milyon metreküp mertebesine ulaşmıştır (İpekçi vd., 2017). Bu durum aynı zamanda yapısal atıkların büyük çoğunluğunu oluşturan betonun atık potansiyeline olan katkısını gösterir durumdadır. Betonun hacimsel olarak %65-75’ini agregaya (kırmı taş) oluşturmaktadır. Ancak bu

malzemelerin beton üretiminde sıklıkla kullanılıyor olması ülkemiz ve Dünya’da nitelikli agrega kaynaklarının hızla tükenmesine sebep olmaktadır. Bu sebeple, ürünlerin geri kazanılmasına olan ihtiyacı hızla arttırmaktadır. Yapısal atıkların en yüksek oranına atık betonlar sahiptir ve bu betonların geri kazanımları mümkündür. Geri dönüştürülmüş betonlar belirli standartları sağlamak şartı ile beton üretiminde yol, kaldırım, yürüyüş yolları, drenaj çalışmaları, kanalizasyon borusu ve kablo döşemelerinde dolgu malzemesi olmak üzere, alt ve üst yapı inşaatlarında, spor ve oyun tesisleri inşaatları çalışmalarında tekrardan kullanılabilirler (İpekçi vd., 2017). Şekil 1.8’de yapısal atık materyallerinin dönüşüm şeması verilmiştir.



Şekil 1.8: Yapısal atık materyallerinin dönüşüm şeması (Tosun, 2014).

1.5.2.3 Dünya’da Atık ve Geri Dönüşüm İle İlgili İstatistik Durum

Şehirlerde oluşan inşaat yıkıntı atıkları genellikle üretilen tüm atıkların yaklaşık %25-%30'unu oluşturan en ağır ve en çok hacim kaplayan atıklardır. Bu atıklar içerisinde geri kazanılabilen; beton, tuğla, jips, ahşap, cam, metaller, plastik, çözücüler, asbest ve kazılmış toprak gibi birçok malzeme bulundurmaktadırlar. Tablo 1.8’de AB ülkelerindeki inşaat ve yıkıntı atığı miktarları gösterilmiştir.

Tablo 1.8: AB ülkelerinde üretilen inşaat ve yıkıntı atığı miktarı (Fırat ve Akbaş, 2015).

Ülke	İnşaat/Yıkıntı Atığı (milyon ton)	İnşaat/Yıkıntı Atığı (kg/kişi/yıl)	Geri Dönüştürülen veya Tekrar Kullanılan (%)	Yakma veya Depolama(%)
Almanya	59	750	17	83
İngiltere	30	530	45	55
Fransa	24	420	15	85
İtalya	20	350	9	91
İspanya	13	340	<5	>95
Hollanda	4	270	90	10
Belçika	7	700	87	13
Avusturya	5	650	41	59
Portekiz	3	300	<5	>95
Danimarka	3	575	81	19
Yunanistan	2	200	<5	>95
İsviçre	2	240	21	79
Finlandiya	1	200	45	55
İrlanda	1	285	<5	>95
Lüksemburg	0	-	n/a	n/a

Ülkemizde oluşan atıkların büyük çoğunluğu standartlara uygun bir biçimde bertaraf edilememektedir. Bu duruma sebep olan çok sayıda neden bulunmaktadır. Bu sebeplerin başında büyük şehirlerde atık depolama alanlarının yetersizliği gelmektedir. Bu nedenle atık değerlendirilmesinde belediyelerin işbirliği içerisinde olması gerekmektedir. Ancak son zamanlarda atık projelerinin önem kazandığı görülmektedir. Bu sayede son senelerde, ülkemizde geri dönüştürülebilir atıkların ekonomik bakımdan değer kazanmış ve bu konudaki yasal yükümlülükler yürürlüğe girmiştir ve geri dönüşüm yapan işletmelerin sayısında artış olmuştur (Bayram vd., 2012).

İnşaat ve yıkıntı atıkları ülkeler bazında miktarları Tablo 1.9’da verilmiştir. 2011 yılı verileri dikkate alındığında, ülkemizin yapısal yıkım atık miktarının yılda 4-5 milyon ton seviyelerine ulaştığı görülmektedir. Bu verilere bakıldığında kentsel dönüşüm faaliyetleri ile beraber bu miktarın yıllık 10 milyon ton değerine ulaşılacağı ve bu atık miktarın yaklaşık %60 kadarının geri kazanılacağı öngörülmektedir. Ayrıca, Türkiye’nin AB’nin Atık Çerçeve Direktifi dahilinde, 2020 yılına kadar inşaat yıkım atıklarının yaklaşık olarak %70 oranında geri dönüşüme kazandırılması amaçlanmaktadır (Poyraz, 2016).

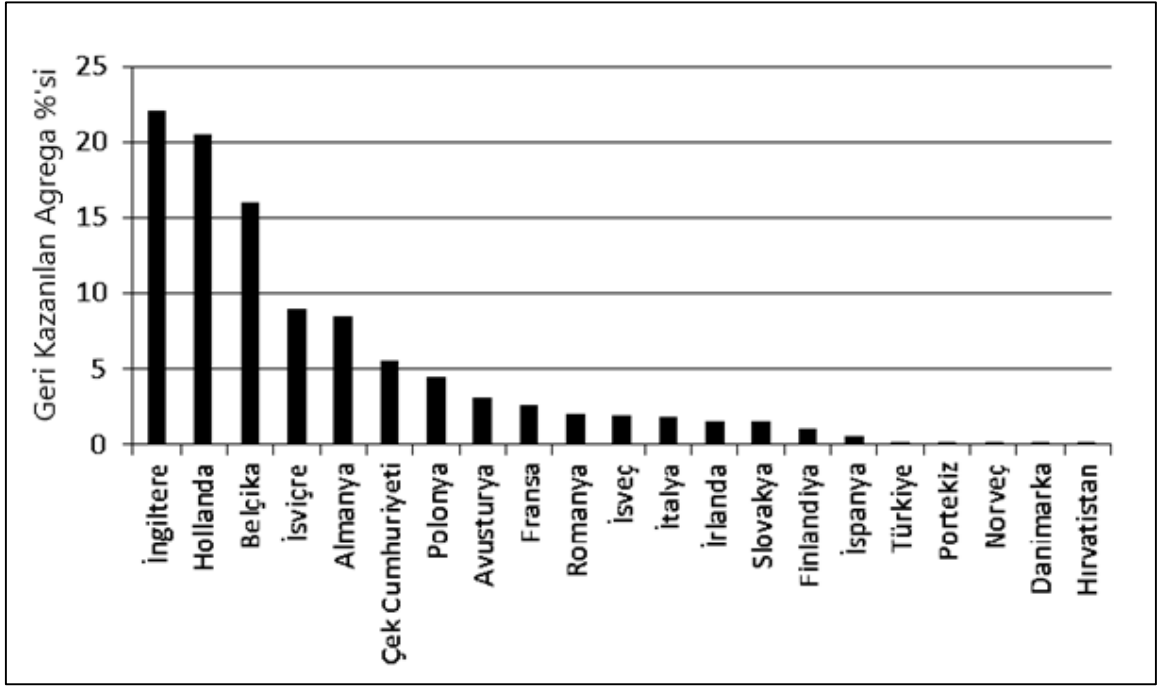
Tablo 1.9: Bazı ülkelerin inşaat ve yıkıntı atık miktarları (Poyraz, 2016).

Ülke	Toplam İnşaat ve Yıkıntı Atık Miktarı (Milyon Ton/Yıl)	Toplam Kurtarılan (Mt)	Kurtarıma Yüzdesi %	Nüfus (Milyon)	Kişi Başı Yıllık İnşaat ve Yıkıntı Atık Miktarı (kg)
Almanya	201	179	89	80	2510
ABD	317 Toplam 155 (Beton)	127 (Beton)	82 (Beton)	318	1000 Toplam 490(Beton)
Avustralya	14	8	57	23	610
Belçika	14	12	86	11	1270
Çek Cumhuriyeti	9 Toplam 3 (Beton)	1 (Beton)	33 (Beton)	10	900 Toplam 300(Beton)
Fransa	309	195	63	66	4680
Hollanda	26	25	96	17	1530
İngiltere	90	46	51	64	1400
İrlanda	17	13	76	5	3400
İspanya	39	4	10	47	830
İsviçre	7 Toplam 2 (Beton)	2 (Beton)	95 (Beton)	8	875 (250 Beton)
Japonya	77	62	81	127	610
Norveç	-	-	50 –70	5	-
Portekiz	4	-	-	10	400
Tayvan	63	58	92	23	2740
Türkiye	125 (Hafriyat)	-	-	75	1600
	10 (Yıkıntı)	6 (Hedeflenen)	60 (Hedeflenen)	75	135

Tablo 1.9'daki diğer ülkelere ait değerlere göre Almanya, ABD, Belçika, Hollanda, İsviçre, Japonya ve Tayvan gibi ülkelerin atık geri kazanım oranlarına bakıldığında, bu ülkelerin kişi başına düşen yıllık inşaat ve yıkıntı atık miktarının yüksek olmasına rağmen, bu ülkelerde ortaya çıkan atıklarının büyük bölümünü geri dönüştürüldüğü görülmektedir. Ülkemizin ve diğer ülkelerin kişi başına düşen atık miktarı ve geri dönüşüm miktarlarına bakıldığında, ülkemizin bu konuda daha çok çalışma ortaya koyması gerekliliği ortadadır. Nüfus olarak Türkiye'ye yakın olan Almanya'nın verileri incelendiğinde; atık miktarının Türkiye'nin miktarından fazla olmasına rağmen bu atıkların büyük çoğunluğunu geri kazandığı görülmektedir (Poyraz, 2016).

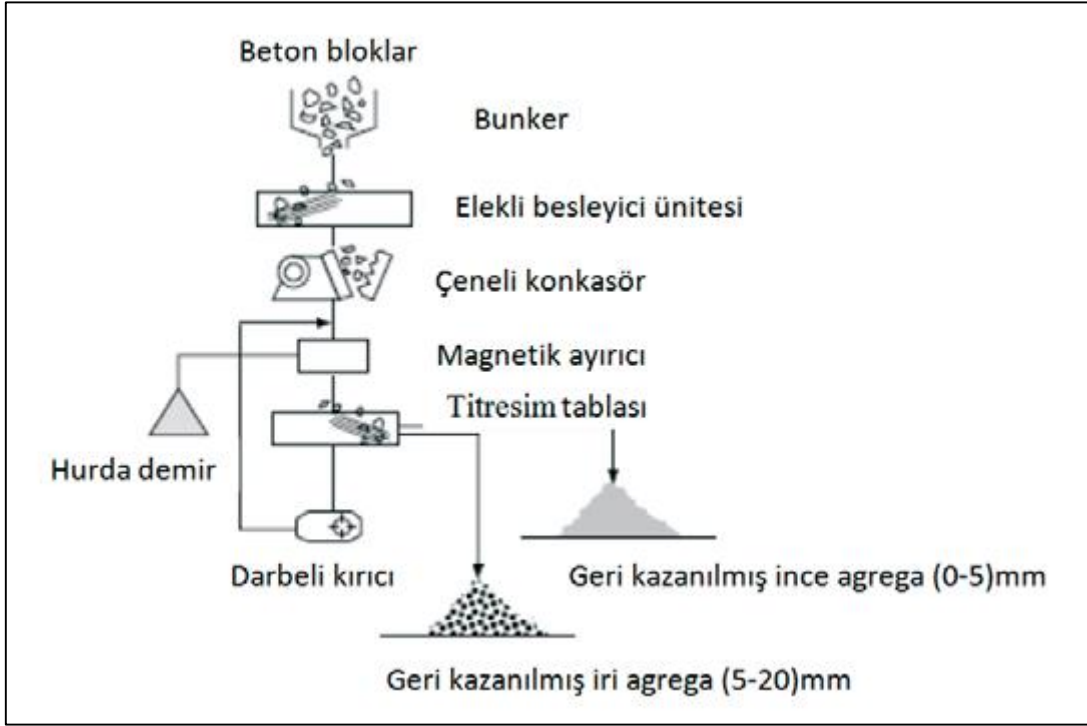
1.5.2.4 Geri Kazanım Agregası

Günümüzde artan nüfus ve hızlı kentleşme sonucunda inşaat sektörü büyük şehirlerde hızla gelişmektedir. Bir taraftan beton üretimi için doğal agrega kaynaklarında sıkıntı varken, diğer taraftan hizmet ömrünü tamamlamış ve eskimiş yapılarda meydana gelen beton atıkların büyük miktarlarda olması birçok problem doğurmaktadır. Dolayısıyla inşaat sektöründe en yaygın kullanılan yapı malzemelerinden betonun büyük bir kısmını oluşturan agregaların geri dönüşümü çok önemlidir. Beton üretiminde ağırlıkça ortalama %12 çimento, %8 karma suyu ve %75 agrega kullanılmaktadır. Bunun anlamı beton endüstrisinde dünya genelinde toplam yıllık 1,6 milyar ton çimento kullanıldığı bilindiğine göre yaklaşık 10 milyar ton agrega (kum ve çakıl) ve 1 milyar ton karışım suyu kullanıldığı tahmin edilmektedir. Beton endüstrisi yıllık ortalama 12,6 milyar ton malzeme kullanmaktadır. Bu miktar dünya kaynakları bakımından ve diğer maddelerin kullanılma miktarına göre çok büyük bir rakamdır. Dünya genelinde yıllık ihtiyaç olan 10 milyar ton agreganın %30'unun madenlerden çıkarılıp işlemlerden geçirilmesi ve nakliyesi için kullanılan enerji miktarının yüksek olması ekonomik açıdan önemini göstermektedir. Ayrıca fazla miktarda hammadde kullanımı dünyanın ekolojik dengesi için önem arz etmekte, sistemi önemli derecede etkilemektedir. Beton endüstrisinin son 50 yılda gelişmesi ile dünya genelinde oluşan yapım yıkım atık miktarı da artarak yıllık 1 milyar ton gibi büyük bir rakama ulaşmıştır. Dünya genelinde beton endüstrisinde kullanılan agrega miktarının bu denli fazla olması ve beton endüstrisi ile oluşan yapım ve yıkım atıklarının da son yıllarda artması nedeniyle birçok ülke beton agregaları standardına geri kazanılmış agrega ifadesine yer vermekte ve yapılan araştırmalar doğrultusunda beton üretiminde kullanımını arttırmaya çalışmaktadır (Tüfekçi, 2011). Beton, kırılıp parçalanma, ayrışma işlemlerine tabi tutularak istenilen tane çapına getirildiğinde, beton agregası olarak kullanılabilirdiği gibi drenaj sistemlerinde, yol yapımında, kaldırım ve alt yapı çalışmalarında, hava alanlarında dolgu malzemesi olarak kullanılabilir. Tüm bu işlerde geri kazanılacak agreganın kalitesi üretilecek betonun, çimentonun veya dolgu malzemesinin kalitesini doğrudan etkilemesi mümkündür. Avrupa'da toplam agrega içindeki geri kazanılan agrega yüzdeleri Şekil 1.9'da gösterilmiştir.



Şekil 1.9: Avrupa’da toplam agrega içindeki geri kazanılan agrega yüzdeleri (Demirel ve Şimşek, 2015).

Beton atıklarından agrega geri kazanım tesisleri beton atıklarını farklı boyuta getirilmesini sağlayacak ve fraksiyonlara ayıracak birincil ve ikincil kırıcılardan oluşmaktadır. Örnek bir tesis şeması Şekil 1.10’da verilmiştir. Ülkemizde özellikle büyük şehirler başta olmak üzere ve diğer şehirlerde de agrega ihtiyacını karşılamak, ekonomik ve çevresel sorunlardan dolayı daha da zor hale gelmiştir. İnşaat sektörünün büyüklüğü ve devam eden yapım-yıkım çalışmaları dikkate alındığında, her türlü inşaat yapım ve yıkım çalışmaları esnasında oluşacak olan atık betonların geri kazanılması için geri kazanılmış agrega kullanımının yaygınlaştırılması önem arz etmektedir (Özalp vd., 2015). Geri kazanılan agregaların üretim şeması Şekil 1.10’da gösterilmiştir.



Şekil 1.10: Geri kazanılan agrega üretim şeması (Özalp vd., 2015).

Ger dönuşüm agregası kullanılması taze betonun kullanılabilirliği üzerinde olumsuz etkiye neden olabilmektedir. %100 ger dönuşüm agregası (GDA) ile üretilen betonlar %25 oranında bir çökme kaybına sahiptir. GDA'nın su emme oranının fazla olması nedeniyle bu tip agregası içeren betonların rötre miktarı da çok fazla olur. Bu olay GDA yüzeyine yapışmış harcın yüksek şekil değıştirilebilirliğine sahip olmasından kaynaklanmaktadır (Sefidekhan ve Şimşek, 2018). Betonda ger dönuşüm agregası kullanımının buna benzer dezavantajları olsa bile beton atıklarının önlenmesi, CO₂ azaltılması, sürdürülebilirlik, ekonomik kazanç ve ham madde ihtiyacını azaltmak gibi olumlu yönlerden bakıldığında atık betonların ger kazanım agregası olarak betonda kullanımı oldukça önemli bir konu haline gelmiştir.

BÖLÜM 2

YIKIM ATIKLARININ YENİDEN DEĞERLENDİRİLMESİ İLE İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Erdin vd. (2004), bina inşası ve yıkımları esnasında geri dönüştürülebilecek birçok yapı atığının çıktığını, bu atıkların bir takım sistemlerle geri kazanımının mümkün olduğunu, geri kazanılan bu atık maddeleri tekrar yapılarda kullanarak hem çevreyi korumak hem de ekonomik bakımdan faydalı bir çalışma yürütmenin mümkün olacağı konuları üstünde durmuştur. Ayrıca Avrupa ülkelerinde bu maksatla birçok tesis kurulduğu ve son derece kaliteli malzeme ürettikleri, ülkemizde de bu tip tesislerin kurulmasının hem ekonomik açıdan hem de çevremiz açısından oldukça faydalı bir yaklaşım olacağı gereğini ortaya koymuşlardır.

Akoğuz vd. (1996), dünyada geri kazanılmış agrega üretim politikalarını incelemiş ve ülkemizde de bu politikaların uygulanmasının gerekliliğini nedenleri ile bizlere açıklamışlardır. Özellikler büyük şehirlerde rezervlerin hızla tükenmesi sebebiyle agrega temininin zor olduğunun ve bunun önümüzdeki 5-10 yıl içinde büyük bir sorun haline geleceğini belirtmişler, ülkemizde inşaat sektöründeki kalite yetersizliğini de dikkate alarak gelecekteki yıkım çalışmaları esnasında ortaya çıkacak betonun değerlendirilmesi için geri kazanılmış agrega sektörünün ülkemizde de kurulması gereğini ortaya koymuşlardır.

Tam vd. (2006), inşaat atıklarının geri dönüştürülüp kullanılması hakkında araştırma yapmışlar ve bunun için 10 adet geri dönüşüm malzemesi incelemişlerdir. Bu malzemeler, asfalt, tuğla, beton, demir içeren ve içermeyen metaller, cam, duvar, kağıt, karton, plastik ve ahşaptır. Görülmüştür ki geri dönüşüm uygulamalarda en sık geri kazanılan malzeme agregadır. Dünyada üretilen betonun geri dönüşümü en çok yol yapımında gerçekleşir. Atıkların %90'ı yol tabanı ve hendek yapımında agrega olarak kullanılmıştır. Bu yolla üretilen hafif duvarlar yüksek ısı yalıtımı sağlar. Bu çalışma göstermiştir ki, inşaat malzemeleri için uygun geri dönüşüm teknolojilerinin gelişmesi, inşaat sektörü için paha biçilmezdir.

Demirel vd. (2015), katıldıkları bir sempozyum çalışmasında üreticiler kadar tüketicilerin de sürdürülebilir ürünlere rağbet göstermesi, idarelerin atıkların toplanması, depolanması ve işlenmeleri konusunda daha fazla mali yatırım yapmaları, sürekli üretimin her aşamasında destek verilmesi için kararlı olunmasının gerektiği, atık betonların geri kazanım agregası olarak yeniden beton tasarımında kullanılabilirdiği, betonun üretimi esnasında tüketilen enerji miktarını azaltacak metotlar bulunması ve geri kazanımını kolaylayacak tasarım ve yapım yöntemlerini ortaya koymak gerektiği sonucuna varmışlardır.

Gurer vd. (2004), katıldıkları sempozyumda doğal kaynakların sınırlı miktarda olduğu evrende geri kazanım faaliyetlerinin özellikle inşaat sektörü için mevcut bir hammadde kaynağı oluşturacağı, Dünyadaki en büyük çaptaki hammadde gereksinimi olan sanayilerin başında inşaat sektörünün geldiği, bu nedenle geri kazanımdan; enerji, hammadde tüketim miktarının indirgenmesi ve atık sınırlanması bakımından en fazla oranda fayda sağlanacak sektörün inşaat sektörü olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Eğercioğlu ve İregöl (2017), yaptıkları bir çalışmada, inşaat yıkım atıklarının düzenli hafriyat atığı sahalarına dökülecek atık miktarının 2050 yılında % 50 oranında azaltılmasının hedeflendiği, ülkemizde geri kazanılabilen yapısal atık miktarı, düzenli inşaat atık ayrıştırma ve geri dönüşüm üniteleri sınırlı kapasitede olduğu için yetersiz olduğu, fakat yapılacak yasal düzenlemelerle inşaat yıkım atıklarının taşıma ve depolama alanı ücretleri, depolama alanlarına atılmaları, geri kazanımının maliyetine göre daha ekonomik hale getirilmesi amacıyla teşvikler sağlanabileceği konularına değinmişlerdir. Bu tarz düzenlemeler sayesinde, Türkiye’de inşaat ve yıkım atıklarından meydana gelen beton atıklarının geri dönüştürülerek tekrar kullanıma sunulması çevresel ve ekonomik bakımdan fayda sağlayabileceği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığının hedefleri arasında çevreye zarar vermeden atıkların tekrar ekonomiye geri kazandırılmasının gerektiği sonucuna ulaşmışlardır.

Köken vd. (2007), yaptıkları çalışmalarında gerek deprem gibi doğal afetlerin sonrasında olsun gerekse de riskli binaların planlı bir şekilde yıkılmasıyla meydana gelen beton atıklarının geri kazanım agregası olarak değerlendirilmesi, bu atık malzemelerin depolandıkları yerlerde yapacakları doğa kirliliklerini azaltacağı, bununla birlikte beton atıklarının taşınması esnasında ödenecek nakliye bedelleri düşeceği için bir ekonomiklik sağlayacağı, ayrıca nakliye işlemlerinde kullanılacak yakıttan ötürü doğacak hava kirliliğinin azalacağı konusu üzerinde durmuşlardır. Yine geri kazanım agregaların

kullanımıyla doğal agrega kaynaklarının kullanım miktarının düşeceğinden ötürü doğal hayatın korunmasına da katkı sağlanacağı sonucuna ulaşmışlardır.

Topçu ve Şengel (2004), çalışmalarında atık malzemelerin yeniden kullanılması üzerinde çalışmışlar, bunun için de kendilerine malzeme olarak atık betonu seçmişlerdir. Bu çalışmaları için ürettikleri atık beton katkılı numuneler üzerinde donma-çözülme dayanımı ile beraber fiziksel ve mekanik özellikleri de incelemişlerdir. Atık betonu numune içerisinde %30, 50, 70 ve 100 oranlarında kullanmışlar ve C16 atık beton ile ürettikleri %30 katkılı numuneden C14 standardında beton elde etmişlerdir.

Paranavithana ve Mohajerani (2006), atık betonlardan elde ettikleri geri dönüşüm agregalarını sıcak asfalt betonu içerisine katmışlar ve bunu doğal agregalarla üretilen asfalt betonu ile karşılaştırmışlardır. Geri dönüşüm agregasıyla imal ettikleri numunelerin, normal numunelere göre daha düşük yoğunluğa, yüksek gözeneklilik ve yüksek su emme kapasitesine sahip olduğunu gözlemlemişler, ayrıca sünme değerlerinin de normal numunelere kıyasla daha düşük olduğunu ortaya koymuşlardır. Yine de bütün bu özelliklere ait değerlerin kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığını, dolayısıyla bu agregaların düşük standartlı yollarda kullanılabileceğini söylemişlerdir.

Kılıç (2012), Ar-Ge Bülten Dergisi Aralık 2012 sayısında, Kentsel Dönüşümde Geri Dönüşüm Atağı konu başlıklı yazısında, atık betonlardan geri dönüşümle üretilen agregaların taşıyıcı yapı elemanlarında kullanılabilirliği ve süper akışkanlaştırıcı katkıların, atık betonların geri kazanımıyla üretilen betonlarda fiziksel ve mekanik nitelikleri nasıl etkilediğini yazmıştır. Kılıç, süper akışkanlaştırıcı ve yüksek oranda su azaltıcı özellik gösteren katkı kullanarak üretilen betonların, çökme miktarlarında %22, basınç dayanımlarında %22 ile %49 ve ultrases geçiş hızlarında %2,7 ile %6 oranlarında artış olduğunu belirtmiştir. Özellikle de basınç dayanımının çok belirgin olarak arttırdığını saptamıştır. Atık betonların belirli miktarlarda doğal agrega ile harmanlanarak taşıyıcı beton elemanların üretiminde kullanılabileceğini tespit etmiştir.

Çağlar (2007), İstanbul Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans çalışmasında, endüstriyel inşaat atıklarının karayollarında yol malzemesi olarak kullanılmasını araştırmıştır, bu malzemelerin geri dönüşüm olarak değerlendirildiğinde elde edilecek çevresel, ekonomik faydalarından bahsetmiştir. Bu gibi atıkların kullanılmasının, hem karayollarının

performansını arttıracığını hem de maliyetleri düşüreceğini vurgulamıştır. İnşaat atıklarının ulaştırma mühendisliği alanında da değerlendirilebilmesi için çalışma yürütmüştür.

Sofyanlı (2015), yaptığı yüksek lisans çalışmasında, ülkemizde doğal kaynakların sınırlı oluşuyla birlikte hızla tükenmesi, aşırı ve çarpık kentleşme betonun ana bileşenlerinden olan agreganın temin edilmesinde çeşitli zorluklara neden olduğu, ülkemizdeki yapıların geneli incelendiğinde depreme dayanıklı yapı oranının az olduğu konusu üzerinde durmuştur. Bu nedenle son dönemlerde büyük ölçekli kentsel dönüşüm projeleri hayata geçirilmiş ve yeni dönüşüm projeleri yürürlüğe konulduğundan bahsetmiş, söz konusu projelerde oluşan yıkıntı atıklarının geri kazanılarak tekrar beton içinde kullanılmaları hem bu atıkların doğaya karışmalarına engel olacağına hem de doğal kaynakların daha az kullanılmalarına olanak sağlayacağına değinmiştir. Geri kazanılmış agregaların beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada atık haldeki agrega geri kazanılarak doğal agrega ile beton içinde %0 ve %100 oranlarında yer değiştirilmiş, hazırlanan beton numunelerde 7. 28. ve 90. günlerde fiziksel ve mekanik deneyler yapmıştır. Beton üretiminde ayrıca mineral katkı olarak silis dumanı %0, %5 ve %10 oranlarında kullanılmıştır. Doğal agregalar kullanılarak su/çimento oranı 0,50 olan, 380 dozlu, XS1 etki sınıfında hedef dayanımı C30/37 betonu üretilmiş, geri kazanılmış agregalar ise önce çeneli kırıcı ile kırılıp daha sonra suya doyurularak doğal agregalı beton serisi ile aynı granülometri ve işlenebilmeye sahip geri kazanılmış agregalı beton serileri üretilmiştir.

Tüfekçi (2011), hazırladığı yüksek lisans tez çalışması kapsamında yapım ve yıkım atıklarından elde edilen agrega ile üretilen betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini aynı karışım özelliklerindeki doğal agregalı geleneksel beton ile karşılaştırıp, geri kazanılmış agreganın betonun özelliklerine etkisinin incelemiştir. Yaptığı deneysel çalışma sonucunda; geri kazanılmış agreganın yüzeyinde bulunan eski harç tabakasının zayıf ve boşluklu olmasından dolayı karışım esnasında agreganın su emme miktarının fazla olmasının betonda bazı olumsuz etkiler oluşturduğunu görmüştür. Bu etkileri azaltmak için geri kazanılmış agrega kullanılmadan önce laboratuvar ortamında 24 saat su içerisinde bekletip suya doymuş yüzey kuru duruma getirmiştir. Geri kazanılmış agreganın su emme oranı ve Los Angeles aşınma değeri, aynı tane dağılımına sahip doğal iri agregaya göre çok daha yüksek olduğunu görmüştür. Beton üretiminde geri kazanılmış agreganın kullanımının arttıkça betonun kılcal su emme katsayısı ve hacimce su emme oranının arttığını tespit etmiştir. Geri kazanılmış iri agrega kullanımının betonun basınç dayanımını çok fazla olumsuz etkilemediğini

görmüştür. Doğal agregaya ile üretilmiş geleneksel betonun, dayanım sınıfı C30/37 olarak belirlenmiş ve aynı karışıma sahip ve iri agregası geri kazanılmış olarak üretilen beton serilerinin dayanım sınıfı, kullanılan geri kazanılmış agregaların elde edildiği betonun dayanım sınıfına (C30/37) eşit olduğunu belirlemiştir. Tüfekçi deneysel çalışmalarından edindiği bu bulguların beton ve betonarme numunelerde yapılacak içyapı ve dayanıklılık deneyleri ile desteklenmesi durumunda ülkemizde de geri kazanılmış agregaların beton üretiminde kullanımının yaygınlaşabileceğini öne sürmüştür.

Kılıç (2006), yürüttüğü yüksek lisans tezi çalışmasında, atık betonlardan üretilen agregaların taşıyıcı nitelikteki yapı elemanlarında kullanılabilirliği ile silis dumanı, uçucu kül ve süper akışkanlaştırıcı katkıların, geri dönüştürülmüş agregaların kullanıldığı betonların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Sonuç olarak elde ettiği verilere göre; atık beton agregası ve Atabey agregasının sentezinden elde edilen şahit betonların, normal Atabey agregasından elde edilen betonlara oranla, 28 günlük basınç dayanımında %4,8 ultrases hızında %6,9 ve çökme değerinde %18 oranlarında azalma olduğu gözlemlenmiştir. Buna karşın 7 günlük basınç dayanımında ise %7,2 oranında bir artış olduğunu tespit etmiştir. Elde edilen sonuçlara dayanarak, atık beton agregası ve Atabey agregasının karışımından elde edilen şahit betonların, silis dumanı katkılı betonların, uçucu kül katkılı betonların ve süper akışkanlaştırıcı kullanılarak elde edilen betonların, C20 değerleri üzerinde dayanım gösterdiği ve taşıyıcı yapı elemanlarında kullanılabileceğini belirlemiştir. Atık betonların geri kazanımıyla yapılan betonlarda yüksek dayanıma ulaşmak istenirse katkı maddesi olarak süper akışkanlaştırıcı katkı ve yüksek oranda su azaltıcı özellik gösteren katkı kullanılmalıdır şeklindeki kanıya varmıştır.

Köken vd. (2008), Selçuk-Teknik Dergisi'nde yazdıkları çalışmalarında katı atıkların çoğunluklu kısmını oluşturan inşaat yapım ve yıkım atıklarının geri kazanımının, çevreye verilen olumsuz etkileri azaltabileceği gibi büyük şehirlerdeki doğal agregaya kaynaklarının şehir merkezine uzak noktalara konumlandırılmasından dolayı nakliye maliyetlerinin yanında, nakliye esnasında harcanacak iş gücü ve zaman kaybını da düşüreceğini belirtmişlerdir. Yürüttüğü bu çalışma kapsamında, beton basınç dayanımı 20 MPa olan atık betonlardan elde edilmiş geri kazanım agregalarının mekanik ve fiziksel özellikleri değerlendirilmiş, bu agregalardan farklı karışım oranlarında beton üretilmiştir. 1. karışımın tamamı geri dönüşüm agregasından meydana gelmiştir. 2. karışımın iri agregası geri dönüşüm agregası olup ince agregası kırma taş kumundan elde edilmiştir. 3. karışımın ise

tamamı kırma taş agregasından üretilmiştir. Bütün karışımlar aynı dozajda üretilerek birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Elde ettikleri sonuca göre; geri kazanım agregası ile yapılmış betonlarda geri dönüşüm agregası miktarı arttıkça betonun basınç dayanımında düşüş meydana geldiğini belirlemişlerdir.

Savaş (2002), Süleyman Demirel Üniversitesi'nde yaptığı bir araştırmada, atık betonların geri dönüşüm olanaklarını incelemiş, elde ettiği betonun çökme, basınç ve ultrases deneylerinde istenilen sonuçları vermediğini tespit etmiştir. Bu nedenle, taşıyıcı olmayan betonlarda, grobetonlarda, koşu ve bisiklet yolu betonlarında ve stabilize yol dolgularında kullanılmasını önermiştir.

Günçan (1995), yüksek lisans tezi çalışmasında, taze betonlarla yapılan slump deneylerinde beton bileşimindeki eski beton kırığı agrega oranının yükseltilmesiyle çökme miktarının düşüş gösterdiğini tespit etmiştir. S/Ç oranları aynı karışım oranları için betonların çökme değerleri normal betonda 100 mm değerinde ölçülürken, %100 eski beton kırığı agregalı betonda ise 75 mm düzeyinde kaldığı ölçmüştür. Bu da eski beton kırığı agregalı betonlarda maksimum düzeyde %25'lik bir çökme azalması olduğunu göstermektedir. Bunun nedeni doğrudan doğruya eski beton agregası içerisinde bulunan eski harçların yüksek su emme kapasitelerine bağlamıştır. Söz konusu harçların eski beton kırıklarından ayrılması hemen hemen imkansız olduğundan tek önlem olarak ince boyutlardaki eski beton kırığı agregaların (daha fazla harç kalıntısı içerdiklerinden) kullanılmaması tavsiye etmiştir.

Rühl (1997), atık betonlardan ürettiği agregaların, taze beton ve sertleşmiş beton üzerinde çok büyük bir etkiye sahip olduğunu belirtmiştir. Atık betonlardan elde ettiği agregaların özellikleri ile doğal agrega ve kötü betonlardaki agregalarınkinin karşılaştırmalarının farklı olduğunu ileri sürmüştür. Bundan dolayı da onların beton agregası için kullanıldıkları zamanki etkisini karşılaştırmanın oldukça güç olduğunu söylemiştir.

Davraz vd. (2015), "Farklı Yoğunluktaki Köpük Betonların Dayanım ve Isıl İletkenlik Özellikleri" isimli makale çalışmalarında CEM I 42,5 R tipi Portland çimentosu, kalker tozu, polipropilen elyaf ve süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanarak, 300 kg/m³ çimento dozajı ve 0,30 su/katı oranında hazırlanan harçlara 80 g/l yoğunluktaki köpüğün ilavesiyle hafif beton numuneleri üretmişlerdir. 300-1400 kg/m³ aralığında 12 değişik kuru yoğunlukta üretilen numunelerin (28. gün) basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve

ısı iletkenlik özellikleri test edilmiştir. Elde edilen bulgulardan kalker tozu agregalı köpük betonun kuru yoğunluğuna göre basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve ısı iletkenlik katsayılarının değişimlerini tahmin etmeye yönelik bağıntılar önerilmiştir. Sonuç olarak üretilen numunelerin gerçek kuru yoğunlukları 333-1608 kg/m³ aralığında değişmiştir. Bu durum, kumun çimentoya oranına bağlı olarak köpük kararlılığının değişmesi ve üretilen köpük yoğunluğunun 70-95 g/l arasında dalgalanmasına bağlanmıştır.

Demir vd. (2014), Atık mermerlerin tozlarını enerji verimlilik değerleri yüksek gaz beton ve hafif beton gibi hafif yapı elemanlarında hammadde olarak kullanmayı hedeflemişlerdir. Kâgir duvar elemanı hafif beton blok üretilmesi üzerine geçmiş yıllarda belli başlı iki yöntem geliştirildiğini, bunların hava sürüklenmiş ve otoklavlanmış beton blok (Gaz beton) ve hafif ağırlıklı hücresel beton blok elemanları olduğunu söylemişlerdir. Her iki metotta imalat esnasında, beton harcının içerisinde hava kabarcıklarının oluşturulmasıyla ağırlığının düşürülmesinin esas olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca gaz beton blok ile köpük beton blok arasındaki en önemli farkın beton harcının içindeki hava kabarcıklarının üretim yönteminden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Gaz beton üretiminde alüminyum tozu kullanıldığını ve reaksiyon sonucunda hidrojen gazı açığa çıkarak kabarcıklar oluşturduklarını, köpük beton blok elemanlarının üretiminde ise, hava kabarcıklarının köpük makinesiyle köpük olarak ayrıca üretildiğini ve üretilen bu köpüğün çimento-kum harcına ilave edilerek karıştırılması sonucu kalıplara döküldüğünü anlatmışlardır. Köpük beton blok harcının mukavemet sağlaması için otoklav kürü yerine, atmosfer basıncında uygulanan buhar kürünün gereğine değinilmiş. Çalışmanın sonucunda mermer tozunun hem gaz beton imalatında ve köpük beton üretiminde silis kumu yerine ana hammadde olarak kullanılabilceği görülmüştür.

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOT

3.1 Kullanılan Malzemelerin Eldesi ve Özellikleri

3.1.1 Çimento

Yapılan çalışmalarda, Bartın Sanko Çimento Fabrikasında imal edilmiş CEM I 42,5 R tipi Portland çimentosu kullanılmıştır. Köpük beton geç priz alan bir malzeme olduğundan erken dayanımı yüksek çimento tercih edilmiştir. Çimentonun son kullanım tarihinin geçmemiş ve rutubetlenmemiş olmasına dikkat edildi. Tablo 3.1’de söz konusu çimentonun kimyasal bileşimi verilmiştir.

Tablo 3.1: CEM I 42,5 R tipi çimentonun kimyasal bileşimi.

Bileşen (%)	CEM I 42,5R
CaO	63,64
Al ₂ O ₃	4,71
Fe ₂ O ₃	3,41
SiO ₂	20,63
SO ₃	2,98
MgO	1,24
Na ₂ O	0,23
Cl ⁻	0,0357
K ₂ O	0,91
Kızdırma kaybı	2,63
Özgül yüzey (cm ² /g)	3650

3.1.2 Geri Kazanılmış Beton Agregası

Deneyleerde Bartın-Karabük yolu kenarındaki bir yıkım atığı sahasındaki beton molozu atıkları geri dönüştürülerek köpük betonda geri dönüşüm agregası (GDA) olarak kullanılmıştır. Yıkım Atığı sahasından toplanan beton molozu örnekleri Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1: Beton molozları.

Yıkım atığı sahasından bu beton molozları toplanırken duvar molozu karıştırılmamaya özen gösterilmiştir. Çünkü duvar molozunun içinde tuğla, kireçli harç, boya ve başka bir takım yabancı maddeler mevcuttur. Bu maddeler gerek agrega kalitesini düşüreceğinden gerekse de araştırma konusunun dışında yer alacağından tercih edilmemiştir. Toplanan beton molozlarının ise içinde demir donatı bulundurmamasına özellikle dikkat edilmiştir. Sebebi donatılı beton molozlarının kırım esnasında çıkartacağı zorluktur. Moloz seçiminde dikkat edilen bir diğer husus ise mümkün mertebe küçük paçalar tercih edilmiştir. Atık sahasında çapı 50 ve 100 cm'yi bulan beton parçaları da mevcuttur. Bu büyüklükteki parçaların seçimi; taşıma, kırma ve öğütme işlemleri esnasında zaman ve enerji kaybına neden olacağından tercih edilmemişlerdir. Toplanan molozlar en fazla 15-20 cm çapındadır. Bir laboratuvar çalışması için böyle bir seçim her ne kadar mantıklı ve mümkün olsa da endüstriyel büyük ölçekli bir beton geri dönüşümü için aksine zaman kaybı ve kaynağı etkin kullanamamak olacaktır. Çünkü yeterli ekipman (Kamyon, Ekskavatör, Kırıcı vs.) olduğunda büyük kütlelerin de taşınması, işlenmesi çok kolay olacaktır.

Yıkım atığı sahasından seçilip toplanan beton molozları ilk olarak laboratuvarda bir hortumla yıkanarak üzerlerine bulaşmış çamur ve kilden arındırıldılar. Böylece molozların üzerindeki yabancı maddelerin agrega içine karışması önlendi. Yıkılan moloz parçaları laboratuvarda bir bez örtü üzerinde 2 gün kurutuldular. Daha sonra kuruyan beton parçaları bir çekiç yardımıyla çapı 10 cm'yi aşanları kırılarak en büyük parça çapı 10 cm olacak

şekilde parçalandılar. Böylece değirmende öğütülmesi daha kolay ve hızlı olması sağlandı. İlk aşamada kabaca kırılan beton parçalarının nihai tane boyutunu $1\mu\text{m}$ mertebesine indirmek için laboratuvar tipi bilyeli değirmen kullanıldı.



Şekil 3.2: Bilyeli değirmen.

Beton parçalarını öğütmek için kullanılan Şekil 3.2'deki bilyeli değirmenin teknik özellikleri şu şekildedir.

- Beslenen malzeme: Yumuşak, sert, lifli-kuru veya ıslak
- Malzeme besleme boyutu: $< 10\text{ mm}$
- Nihai boyut: $< 1\mu\text{m}$
- Öğütme istasyon sayısı: 1
- Değirmen haznesinin çap ve boy ebatları: $30.5 \times 30.5\text{ cm}$.
- Öğütme 5 farklı çapta 285 adet bilye (yaklaşık 20.13 kg) ile yapılmıştır.
- Bilyelerin üretildikleri çelik aşınmaya dayanıklı çeliktir.
- Emniyet şalteri ve acil durum butonu mevcuttur.
- Frekans: 1.17 devir/s
- Motor Gücü: 1.5 hp
- Kapalı sistemde çalışmaktadır.

Beton parçaları Şekil 3.3'deki gibi değirmene konulurken değirmen haznesinin tam doldurulmasına dikkat edildi. Çünkü hazne tam doldurulduğunda bilyelerin beton parçalarını aşındırmak için yeterli çarpma mesafesi olmayacaktır. Beton parçalar Hazneye yerleştirildikten sonra hazne kapağı kapatıldı. Kapak bulonları anahtarla iyice sıkıldıktan sonra değirmen çalıştırıldı. Moloz parçaları 3 saat boyunca değirmende aralıksız öğütüldü.



Şekil 3.3: Bilyeli değirmene yerleştirilmiş beton parçaları.

3 saatin sonunda hazne kapağı anahtarla söküldü. Hazne kapak açıklığı ters çevrilerek hazne içindeki öğütülmüş beton atığının değirmenin altındaki çekmeceye dökülmesi sağlandı. Hazneye bilyelerin çarpma tesiriyle yapışmış olan öğütülmüş molozlar da bir tel fırça yardımıyla temizlendikten sonra tekrar alttaki çekmeceye aktarıldı. Çekmece içindeki öğütülmüş malzemenin içinden elek yardımıyla bilyeler ve henüz tam olarak öğütülmemiş beton parçaları ayrıldı. Bilyeler üstü�ü ile temizlenip yeniden kullanılmak üzere tel sepete konulurken öğütülmesi tamamlanmamış parçalar ise henüz hiç değirmene atılmamış diğer moloz parçalarının içine yeniden öğütülmek üzere konuldu. Atık beton taneleri 1µm tane boyutuna gelinceye kadar öğütüldü. Bu öğütme işlemleri deney numuneleri için gerekli 30 kg'lık ÖBA (Öğütülmüş beton atığı) elde edilene kadar devam etti. Bilyeli değirmende öğütülerek geri kazanılmış beton atığı Şekil 3.4'de görülmektedir.



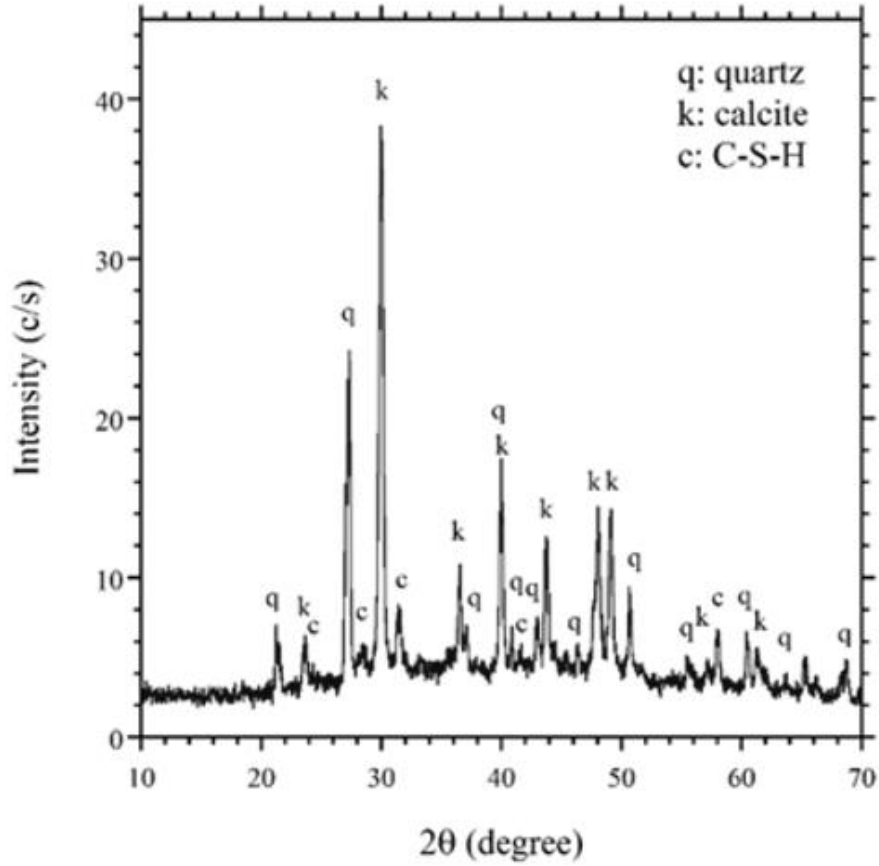
Şekil 3.4: Öğütülmüş beton atığı (ÖBA).

Bilyeli değirmende öğütülerek geri dönüştürülen beton atığına yapılan kimyasal analiz sonuçları Tablo 3.2'deki gibidir.

Tablo 3.2: Öğütülmüş beton atığının kimyasal özellikleri.

Atık Beton	Bileşen (%)
Al ₂ O ₃	7,08
SiO ₂	49,41
Fe ₂ O ₃	2,76
MgO	1,18
CaO	12,95
K ₂ O	0,83
Na ₂ O	2,11
TiO ₂	0,25
MnO	0,10
CuO	0,01
Cr ₂ O ₃	0,01
P ₂ O ₅	0,01
SO ₃	0,17
Kızdırma Kaybı	22,13

XRD (X-Işınım Kırınım Yöntemi) ile, öğütülmüş betonun optik yöntemler (polarizan mikroskop altındaki incelemeler) ile incelemeyecek kadar küçük tane boyutuna sahip olmasından ötürü kristal yapı özellikleri ve minerallerin miktarsal özellikleri belirlendi. Toz halindeki beton atıkları, özel numune tutuculara konularak XRD cihazlarının özel örnek localarına yerleştirilerek analizleri elde edildi. Yıkım atığının toz halinde olması bu test yöntemi için oldukça önemlidir. Yıkım atığı önceden bilyeli değirmende öğütüldüğü için yeniden öğütülmesine gerek kalmamıştır. XRD analizinde örnekler Ni filtreli Cu X-ışın tüplü cihaz ile 2-70 derece arasında analiz edildi, elde edilen X-ışın difraktogramı, Şekil 3.5' te verilerek ASTM standartlarına göre yorumlanmıştır.



Şekil 3.5: Beton atığının XRD analizi.

Yıkım atığının XRD analizine bakıldığında Yıkım atığının kalsit ve kuvars kristal fazlarına ve kalsiyum silikat hidratlara (C-S-H) sahip olduğu görülmektedir. Burada camsı bir evrenin (camsı faz) varlığı da dikkat çekmektedir. Yıkım atığında kalsit ve kuvars fazının yoğunlukta olduğu gözlenmektedir. Özellikle de kalsit fazı daha yaygın miktarda görülmektedir. Söz konusu camsı fazın dikkat çeken varlığı kalsit faz yoğunluğundan ileri gelmektedir.

3.1.3 Ögütülmüş Kum

Deneysel çalışmalarda Bartın Pelenkoğlu deposundan tedarik edilen 0,5 mm'lik dere kumunun bilyeli değirmende ögütülmüş hali kullanıldı. 0,5 mm'lik dere kumu bir elek üzerinde yıkandıktan sonra laboratuvarında bir bez örtü üzerinde kurutuldu. Islak veya nemli haldeki kum kurutulmadan değirmende ögütülürse değirmen iç haznesinde yapışma ve taşlaşmaya sebep olmaktadır. Ve bunu değirmen haznesinden kazımak oldukça zordur. Bu sebeple kumun değirmene konulmadan önce iyice kurutulması önemlidir. Beton molozlarında olduğu gibi bilyeli değirmende 1µm. Mertebesinde ögütme işlemi uygulandı. Aslında dere kumu ögütülmeden de köpük betonda kullanılabilir. Fakat çalışmada kumla üretilen köpük beton numuneleri ögütülmüş molozla üretilenlerle mukayese edileceğinden her iki grubun da agrega tane çaplarının aynı olması sağlandı. Bu sebeple ÖK (Ögütülmüş kum) tercih edildi. Kumun beton atığıyla aynı standartlarda ögütülmüş hali Şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.6 : Ögütülmüş kum (ÖK).

3.1.4 Uçucu Kül

Çalışmada mineral katkı maddesi olarak kullanılan UK Çatalağzı Termik Santrali'nden temin edilmiştir. Kullanılacak uçucu kül sınıfı F Sınıfı UK'dır. UK bünyede köpük betondaki çimentonun kütlece %20'sini aşmayacak oranında kullanılmıştır. ((UK / Çimento)

≤ 0.33 (kütüce) (TS EN-206)). Çatalağzı uçucu külü, dört standart kapsamında da kimyasal bileşen bazında da aranılan şartlara tamamıyla uygun bir küldür. Çatalağzı uçucu külü, çoğunlukta tam küresel tanecikler (1-20 μm)’den oluşmakla beraber yarı köşeli tanecikler de içermektedir. Köpük betonda kullanılan UK dolgu malzemesi olarak kullanımından ziyade köpük betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin iyileştirilmesi maksatlı kullanılmıştır. UK rötre çatlağını azaltarak dayanıma olumlu katkı sağlamakla beraber köpük betonda puzolonik reaksiyona katkıda bulunarak ilerleyen zamanla dayanıma katkı sağlar. Ayrıca köpük betonun geçirimsizliğini bir nebze de olsa azaltarak durabiliteye olumlu etki sağlar. Fakat standartlarca belirlenen kullanım oranı aşıldığında köpük betonun dayanımını olumsuz yönde etkileyeceğinden köpük betonda sınırlı düzeyde kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan UK Şekil 3.7’de görülmektedir.



Şekil 3.7: Çalışmada kullanılan uçucu kül (UK).

Çatalağzı uçucu külünün kimyasal bileşimi ve ASTM C 618 standardıyla karşılaştırılması Tablo 3.3’te verilmiştir (Karateke, 2009).

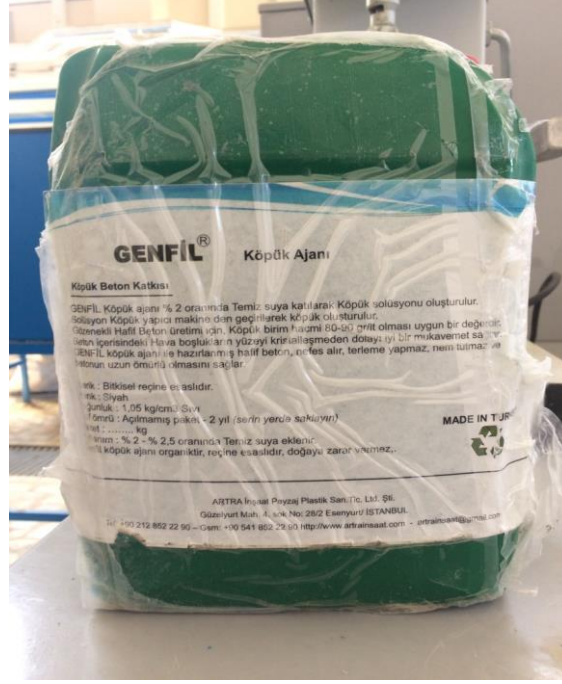
Tablo 3.3: Çatalağzı uçucu külünün kimyasal bileşimi ve ASTM C 618 standardıyla karşılaştırılması (Karateke, 2009).

Bileşim (%)	Çatalağzı UK.	ASTM C 618	
		F	C
SiO ₂	58,75		
Al ₂ O ₃	25,24		
Fe ₂ O ₃	5,76		
S+A+F	89,75	> %70	> %50
CaO	1,46		
MgO	2,22		
SO ₃	0,08	< %5	< %5
K ₂ O	4,05		
Na ₂ O	0,60		
Kızdırma Kaybı	1,12	< %6	< %6
Cl ⁻	0,015		

3.1.5 Köpük Ajanı

Köpük beton üretiminde hava sürükleyici kimyasal katkı olarak İstanbul Artra İnşaat'tan temin edilmiş organik reçine esaslı köpük ajanı kullanılmıştır. Kullanılan köpüğün maddesi, anti bakteriyel, enzim bazlı, aktif proteinlerden meydana gelmektedir. Yoğunluğu 1,05 g/cm³'tür. Yapı malzemelerinde hücreli hafif beton üretiminde kullanılmaktadır. Temiz suya sadece %2 ile %2,5 derişim oranlarında konsantre köpük ajanı karıştırılarak solüsyon halinde kullanılır. Bu solüsyon, karıştırıcıdan geçirildiğinde köpük üretilir. Üretilen köpüğün birim hacminin 80 - 90 g/l olmasının ideal olduğu deneylerle test edilmiştir. Üretilen köpük, çimento ve dolgu malzemesi ile karılmış sulu harca ilave edilerek, ısı yalıtım esaslı hafif yapı elemanları üretilmesine olanak tanır. Elde edilen köpük kısa sürede çimento şerbetiyle bağ oluşturarak üniform bir karışım sağlanmasına etki eder. Karışım sırasında, köpükler çimento şerbeti içinde homojen dağılım sergileyerek her bir köpük taneciği bağımsız bir çatı meydana getirir, köpük taneleri karıştırma esnasındaki sürtünmeler sebebiyle bölünmeye uğrar, böylece her kabarcık yeni bir katman oluşturarak beton içinde bağımsız kapalı hücreler meydana gelmiş olur. Köpük bünyesindeki aktif protein ve enzimler köpük betona

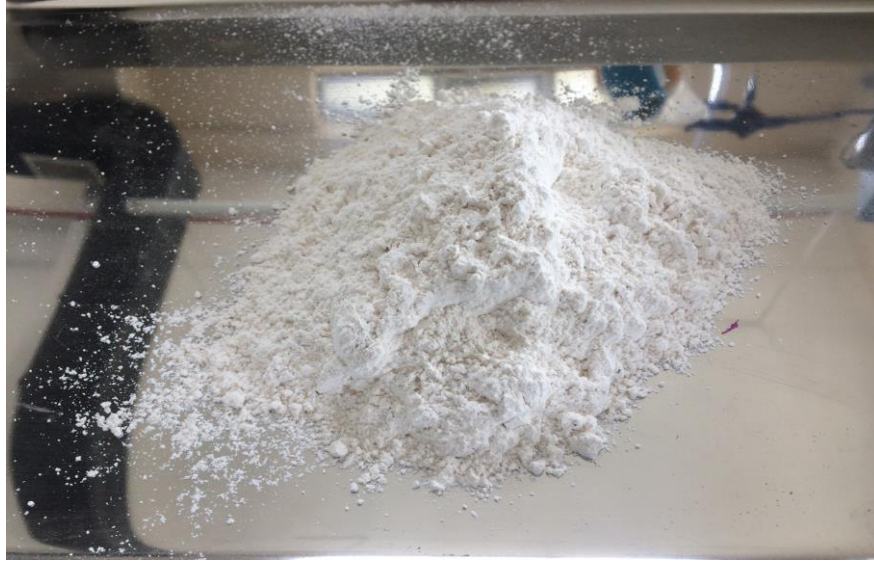
iyi bir dayanım sağlar. Beton prizini aldıktan sonra da beton basınç direncinin artmasına yardımcı olur.



Şekil 3.8: Çalışmada kullanılan köpük ajanı.

3.1.6 Alçı

Köpük betonlar geç priz alır. Köpük betonun beklenen dayanımı daha hızlı kazanabilmesi için az miktarda alçı ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) kullanılmıştır. Karışımda kullanılan alçı normal sıva alçısıdır. Az miktarda alçı kullanımı köpük betonda aynı zamanda rötre çatlağına engel olması, hafif olması ve ekonomik olması sebeplerinden ötürü de tercih edilmiştir. Alçının fazla kullanımı köpük betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerini olumsuz etkileyeceğinden ötürü oldukça sınırlı miktarda kullanılmıştır.



Şekil 3.9: Karışımda kullanılan alçı.

Alçı, doğal kalsiyum sülfat iki hidrat olan alçı taşı ya da jipsin 160 – 200 °C sıcaklıkları arasında pişirilmesi ile elde edilir. Bu pişirme süresi içinde bileşiminde bulunan suyun %75'ini kaybeder ve yarım hidrat kalsiyum sülfat haline gelir (Gürdal ve Acun, 2003).



Pişirme neticesinde elde edilen malzeme, öğütülüp gerekli katkı malzemeleri ilave edilerek malzeme piyasasında bulunan farklı nitelikte alçı ürünler elde edilmiş olur. Bu reaksiyon tersinir çalışır. Su ile karıştırılan alçı akıcı bir kıvama girer ve kısa sürede sertleşir. Bu olay, alçının sertleşmesi reaksiyonu ise şu şekilde gerçekleşir (Gürdal ve Acun, 2003).



3.2 Deney Numunelerinin Hazırlanışı ve Karışım Oranları

Köpük beton karışımı 2 ayrı bileşenden oluşmaktadır. Bunlar hafif beton harcı ve köpük solüsyonudur. Öncelikli olarak hafif beton harcı karıldı. Harç için belirlenen miktarlardaki agrega ya da dolgu malzemesi olarak kullanılacak olan öğütülmüş kum ve/veya öğütülmüş beton atığı bir kova içerisinde elektronik tartıda tartıldı. Ardından çimento ve UK ayrı ayrı belirlenen oranlarda tartılarak önceden tartılan dolgu malzemesinin üzerine ilave edildi. Elde

edilen dolgu malzemesi, çimento ve uçucu kül karışımı kuru halde 2 dk. bir el küreği ile iyice harmanlandı. Böylece homojen bir kuru harç karışımı elde edilmiş oldu.



Şekil 3.10: Hafif harç bileşenlerinin tartımı.

Ardından karışım için 2 ayrı kovada şebeke suları belirlenen miktarlarda elektronik tartıda tartıldı. Bu suların ilki harç suyu için ikincisi ise köpük solüsyonu için tartılarak hazır edildi. Yapılan tüm tartım işlemlerinde kap darası alınmasına dikkat edildi. Harç için tartılan 1. Kovadaki su önceden hazırlanan kuru harç karışımının (ÖK/ÖBA, Ç ve UK) üzerine ilave edildi. Bu karışım bir el mikseri ile 2 dk. kadar karıştırılarak hafif beton harcı elde edildi.

Ardından 2. bileşen olan köpüğün eldesine geçildi. Köpük solüsyonu için önceden tartılan suyun içine %2 derişim oranında köpük ajanı hassas terazide tartılarak ilave edildi. Oluşturulan bu köpük solüsyonu yine el mikseri ile Şekil 3.11'deki gibi 2 dk. karıştırılarak köpük elde edildi.



Şekil 3.11: Köpüğün eldesi.

Elde edilen köpüğün sönmesine fırsat vermemek için karıştırma işlemi biter bitmez köpük önceden karılan sulu harcın içine ilave edildi. (Köpük bekletilirse zamanla söneceğinden bünyesindeki suyu salar. Bu su köpük kovanının dibine çökelir ve köpükle birlikte harca ilave edildiğinde köpük beton harcının kıvamını bozar.) Bu karışım Şekil 3.12'deki gibi yine el mikseri ile 2 dk. karıştırıldı. Bu karışıma az miktarda alçı ilave edilerek 1 dk. daha karıştırıldı. Böylece köpük beton harcı hazırlanmış oldu.



Şekil 3.12: Köpük beton harcının karılması.

Akıcı kıvamdaki köpük beton harcı makine yağıyla yağlanan demonte küp veya silindir kalıplara Şekil 3.13'deki gibi yerleştirildi. Kalıplar yarısına kadar doldurulduktan sonra bir tokmak yardımıyla kalıbın dışına vurularak sarsıldı. Sonra kalıbın kalan yarısı doldurularak bu kez tamamı sarsıldı. Böylece harcın kalıpları boşluksuz olarak doldurması sağlandı. Kalıpların yağlanması ise gerek kalıp sökümünün kolaylığı gerekse numunelerin kalıptan düzgün çıkması bakımından oldukça önemlidir.



Şekil 3.13: Silindir kalıba yerleştirilen köpük beton harcı.

Köpük beton harcı kalıp üst seviyesinden tedbir amaçlı yarım santimetre veya 1 santimetre yüksek döküldü. Çünkü köpük beton kalıp içinde piriz süresince belli bir miktar çökme yapabilir. Bu tarz bir önlem az miktardaki çökmeler için (0,5 ile 1 cm) çözüm niteliğinde olabilirken aşırı çökme durumlarında işe yaramamaktadır. Az miktardaki çökmeler köpük beton için bazen normal karşılanabilse de fazla miktardaki çökme durumlarında karışım oranlarında veya uygulamada hatalar söz konusudur. Az miktardaki çökmeler için tedbir amaçlı yüksek dökülen köpük beton kalıptan sökülmeden önce bir demir testeresiyle yüzeyinden Şekil 3.14'deki gibi kesilerek kalıptan çıkartılabilir. Köpük beton geç piriz aldığı

için kalıp sökme süresi 3 gün olarak tayin edilmiştir. Zira 1 gün sonra kalıbı sökülen numunelerde kenar ve köşelerinde tahribatlar yaşanmıştır.



Şekil 3.14: Testereyle üst yüzey fazlalığı kesilen köpük beton.

Taşıyıcı olmasa bile fonksiyonel anlamda iyi bir dayanım ve hafif bir köpük beton üretmek için ilk etapta çok sayıda deneme karışımı yapılarak ideal karışım oranlarına ulaşılmıştır. Yapılan deneme karışımlarında çimento miktarının karışımdaki dolgu malzemesi (Öğütülmüş kum veya öğütülmüş beton) ile aynı oranda kullanımı numunelerde 7. Gün sonunda bile parmak batacak kadar oldukça dayanımsız sonuçlar vermiştir.

Çimento miktarı dolgu malzemesi olarak kullanılan agreganın 3 katı seviyelerine yaklaştığında ancak yeterli dayanıma ulaşılmıştır. Su miktarının düşük olması ya da köpük yoğunluğunun fazla olması numunelerde çökmeye sebep olurken, su miktarının fazla oluşu da numune ağırlığını fazlaca arttırarak numuneyi hafif beton olmaktan çıkartmıştır. Ayrıca ortam sıcaklığının fazla oluşu da numunelerde çökmeye sebep olmuştur.

Yapılan deneme karışımlarının neticesinde ulaşılan ideal karışım oranları Tablo 3.4'te 1 m³'lük karışım oranları halinde verilmiştir. Deneysel çalışma, 2 takımdan oluşmaktadır. 1.

Takımda 5 seri, her bir seride de 6 adet küp (10×10×10 cm) numune vardır. 2. Takımda ise 5 adet silindir (10×20 cm) numune yer almaktadır.

Tablo 3.4: 1 m³ köpük beton için elde edilen karışım oranları.

Kod	Çimento (kg/m ³)	ÖK (kg/m ³)	ÖBA (kg/m ³)	UK (kg/m ³)	Alçı (kg/m ³)	Karışım Suyu (kg/m ³)	Köpük Ajanı (kg/m ³)
S ₁	312,5	104,2	0	12,5	5,2	238,2	2,1
S ₂	312,5	78,1	26,1	12,5	5,2	240,0	2,1
S ₃	312,5	52,1	52,1	12,5	5,2	241,8	2,1
S ₄	312,5	26,1	78,1	12,5	5,2	243,6	2,1
S ₅	312,5	0	104,2	12,5	5,2	245,4	2,1

Deneme karışımları neticesinde elde edilen yukarıdaki söz konusu karışım oranlarına göre hazırlanıp 3 gün sonra kalıpları sökülen takım ve seri numunelerinin Şekil 3.15, Şekil 3.16, Şekil 3.17 ve Şekil 3.18’de fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 3.15: Küp serilerine ait köpük beton numuneleri.



Şekil 3.16: K p köpük beton numunesi.



Şekil 3.17: Kalıptan yeni alınmış silindir numuneleri.



a. N₁ numunesi görünümü.

b. N₂ numunesi görünümü.

Şekil 3.18: Silindir köpük beton numuneleri.

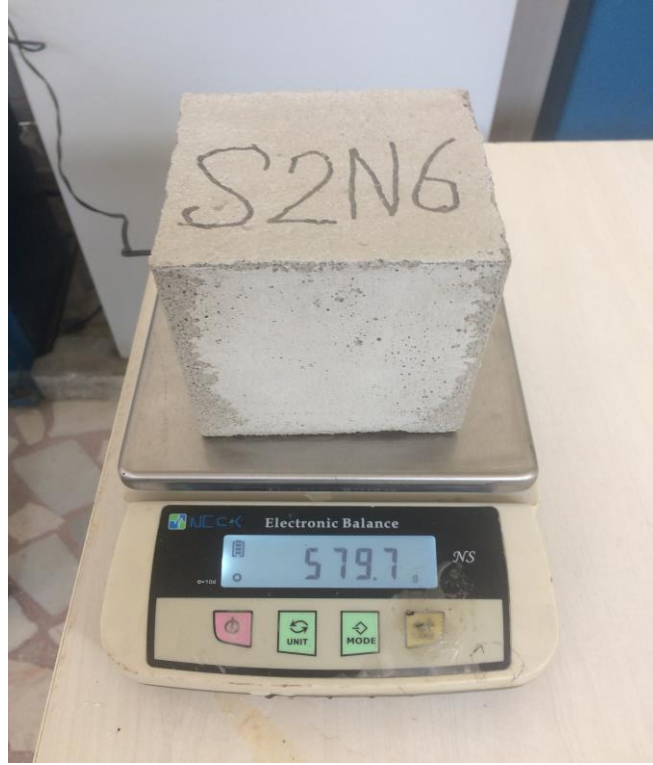
3.3 Deneysel Uygulamalar

3.3.1 Birim Ağırlık Tayini

Küp numuneler Şekil 3.19'daki gibi kuru halde hassas terazide tartıldıktan sonra bulunan her bir ağırlık değeri numunenin hacmine oranlanarak 3 nolu denklem üzerinden numunelerin birim ağırlık değerlerine ulaşılmıştır. Ardından her bir serinin ortalama birim ağırlık değerleri hesaplanmıştır.

$$\text{Birim ağırlık (g/cm}^3\text{)} = W / V \quad (3)$$

(W: Ağırlık, V: Hacim = 10×10×10 cm = 1000 cm³)'tür.



Şekil 3.19: Hassas terazide tartılan numune.

3.3.2 Basınç Dayanımının Tayini

Küp numuneler basınç presine beton döküm yönüne dik olacak şekilde ve düzgün yüzeyler yüke maruz kalacak şekilde yerleştirildiler. Yükleme yüzeyinin düzgün olması önemlidir. Düzgün olmayan yüzeyler aşındırılmalı ya da başlık yapılmalıdır. Numune yüzeylerimiz düzgün olduğu için başlık yapılmaya gerek duyulmamıştır. Numuneler prese yerleştirilirken presi tam ortalayacak şekilde konumlandırılmasına dikkat edildi. Deney presine yerleştirilen numuneler darbe etkisi yapmayacak düzeyde 0,6 MPa/s ($N/mm^2.s$) yükleme hızıyla yüklenerek Şekil 3.20'deki gibi kırıldılar. Basınç dayanımı deneyi TS 3114'e uygun şekilde tamamlanmıştır.



a. S₅N₄ kırılma şekli.

b. S₅N₂ kırılma şekli.

Şekil 3.20: Basınç presinde kırılan köpük beton numunesi.

Köpük beton basınç dayanımları,

$$f_c = F/A_c \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (4)$$

bağıntısıyla 7 ve 28 günlük sonuçlar halinde hesaplanmıştır. Bağıntıya göre;

f_c : Beton deney numunesi basınç dayanımı (N/mm²).

F: Kırılma yükü (N).

A_c : Deney yükü, uygulama yönüne dik deney numunesi kesit ortalama alanı (mm²)

3.3.3 Su Emme Oranı ve Porozite Hesabı

3 farklı küp serilerindeki numunelere uygulanan deneyde S₁N₄ (%100 ÖK), S₃N₄ (%50 ÖK, %50 GDA), S₅N₃ (%100 GDA) numunelerin etüv kurusu ağırlıkları tartıldı. Kuru ağırlıkları belirlenen numuneler kür havuzundaki suda 24 saat bekletildikten sonra da Şekil 3.21' deki gibi suya doymun halleriyle tartıldılar.



Şekil 3.21: Suya doygun haliyle hassas terazide tartılan numune.

Doygun haldeki numuneler hassas terazide tartılmadan önce üzerlerindeki serbest suyun kurulanmasına dikkat edildi. Böylece DKY (Doygun kuru yüzey) halinde tartılmış oldu. Elde edilen kuru ve suya doygun ağırlıklar aşağıdaki formülde kullanılarak numunelerin su emme oranlarına ulaşıldı.

$$m = [(M_2 - M_1) / M_1] \times 100 \quad (5)$$

Burada:

m : Köpük betonun su emme oranı (%)

M_1 : Kuru ağırlığı (g)

M_2 : DKY ağırlığı (g)'dir. Bu durumda;

Görünen porozite numunedeki boşluk hacminin numune hacmine oranına denir. Aşağıdaki gibi formülize edilebilir:

$$p = V_v / V (\%) \quad (6)$$

Burada:

p: Görünen porozite değeri (%)

V_v : Boşuk hacmi (cm^3)

V: Numune hacmi (1000 cm^3)' dir.

Bu durumda suyun yoğunluğu teorik olarak $\rho = 1,00 \text{ g/cm}^3$ alınarak numunelerin önce boşluk hacimleri hesaplandı.

$$V_{v1} = [(M_2 - M_1)] / \rho \quad (7)$$

$$V_{v3} = [(M_2 - M_1)] / \rho \quad (8)$$

$$V_{v5} = [(M_2 - M_1)] / \rho \quad (9)$$

Daha sonra 3 farklı numune için görünen porozite değeri aşağıdaki bağıntılardan hesaplandı:

$$p_1 = V_{v1} / V \quad (10)$$

$$p_3 = V_{v3} / V \quad (11)$$

$$p_5 = V_{v5} / V \quad (12)$$

Hesaplanan görünen porozite değeri ve su emme oranlarının 3 farklı seri numunelerindeki değişimleri Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de verilmiştir.

3.3.4 Ultrases Geçiş Süresi Tayini

Ultrasonik test cihazı yardımıyla ultrasonik dalga geçiş hızları belirlenerek köpük beton numunelerin boşluk yapısı ve buna bağlı dayanımları hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır. Dalga hızının ölçümü, betonun homojenliğinin, betondaki çatlak ve boşlukların varlığının, betonun zamanla değişen özelliklerinin ve dinamik fiziksel özelliklerinin belirlenmesinde kullanılabilir. Ultrasonik test cihazı, beton veya kaya numuneleri üzerinde çatlak-boşluk ya da olası diğer kusurları tespit etmek amaçlı da kullanılabilceği gibi kalite kontrol amaçlı da

kullanılabilir. Fakat bu yöntem diğer deney yöntemleriyle birlikte kullanıldığında ve çok sayıda ölçüm yapıldığında daha sağlıklı sonuçlar vermektedir.

Cihaza 2 adet 54 kHz alıcı-verici transdüser ve bunlara da 2 adet alıcı-verici prob bağlanmaktadır. Cihazla ölçüm yapılmadan önce standart kalibrasyon numunesiyle bir ölçüm yapılarak cihazın kalibrasyonu kontrol edildi.

Deney numunelerinde ölçüm yapılmadan önce prob başlıklarına biraz gres yağı sürüldü. Böylece proba numune yüzeyi arasında daha boşluksuz bir birleşim sağlanmış oldu. Gres yağı her ne kadar numunenin yüzey kusurunu kapatsa da problemlerin bastırılacağı yüzeylerin numunenin en düzgün yüzeylerinden seçilmesi önemlidir. Ölçümlerde bir diğer önemli husus numunenin karşılıklı iki yüzeyine bastırılan problemlerin birbirini tam olarak karşılamaları için aynı hizada tutulmalarıdır. Problemlerin merkezleri aynı doğrultuda hizalandığında daha sağlıklı sonuçlar elde etmek mümkündür. 5 farklı seriden numunelerle Şekil 3.22'deki gibi ölçülen ultrases geçiş sürelerinden ultrases geçiş hızları;

$V = (S/t) \times (10^6)$ formülünden m/s cinsinden hesaplanmıştır. (Burada V = puls hızı, m/s; S = cihazın puls gönderici ve alıcı başlıkları arasındaki mesafe, m; t = pulsun geçiş süresi, mikrosaniyedir).



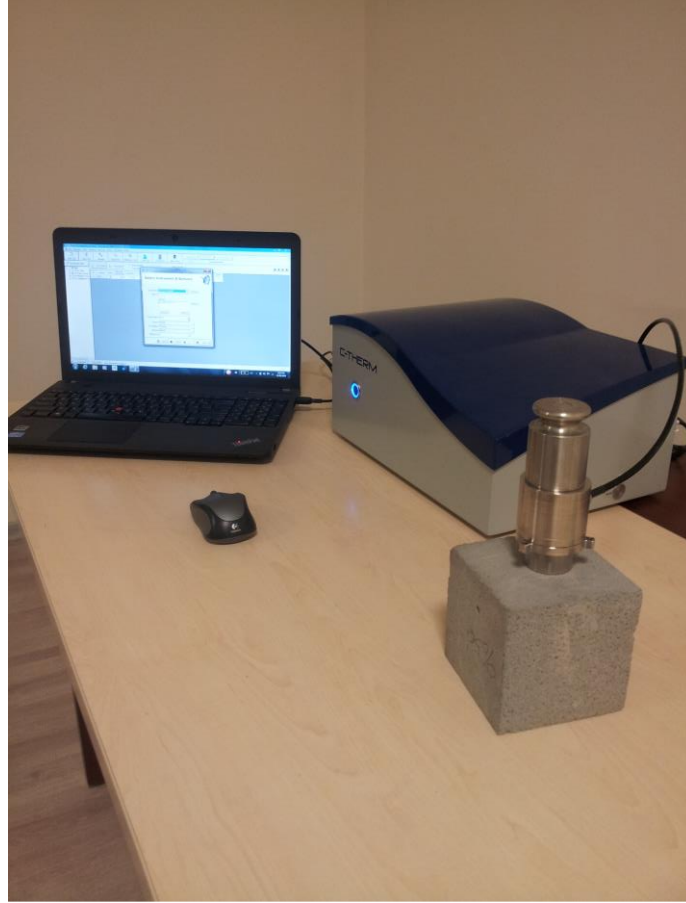
Şekil 3.22: Ultrases geçiş hızı deneyi.

3.3.5 Su İhtiyacı Değişimi

Tablo 3.4'den de görüleceği üzere köpük beton serilerindeki harç suyu miktarı sabit değildir. Köpük beton serilerindeki ÖK ve ÖBA miktarları sabit tutulmadığı için buna bağlı olarak her bir seride yine aynı kıvamı (işlenebilmeyi) sağlayabilmek için harç suyu ihtiyacı da değişim göstermiştir. Bu değişim Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

3.3.6 Isıl İletkenlik Deneyi

Isının bir maddeden, kendisinden daha soğuk bir maddeye geçişi ısı transferi diye adlandırılır. Isı transferi 3 şekilde meydana gelir. Bunlardan birisi ısı iletimi (kondüksiyon) ve diğerleri ısı taşınımı (Konveksiyon), ışıyım (Radyasyon)'dır. Deneyde ısı iletim katsayısı (k) bulunacaktır. Isı iletim katsayısı sıcaklık farkının 1°C olabilmesi için, 1 metre kalınlığındaki, 1m²'lik kesitinden 1 saat süresince geçmesi gereken ısı miktarıdır. Birimi W/mK ile ifade edilir. Deneyde içerisinde pirinç silindir ve pirinç disk bulunan ve dışarısı ile ısı transferini engelleyecek şekilde izolasyon yapılmış iki kısım vardır. Silindir parça altına deney numuneleri konularak yüzeyden sıcaklık değişimleri ölçülmüştür. Hangi numunenin sıcaklık değişimi ölçülecekse o numunenin üzerine kablolar yerleştirilir. İlk etapta sabit bir değerde güç verilir. Bundan sonra sıcaklık değerleri üzerinden okunur. Soğutma suyu ile gerekli soğutma işlemi yapılabilir. Serilerin ısı iletkenlik katsayıları değişimi Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.23: Isıl iletkenlik deneyi.

3.3.7 Dinamik Elastisite Modülü Tayini

Elastisite modülünün hesaplanmasında en tutarlı yol beton numunesine basınç uygulamaktır ve numunenin gerilme-deformasyon eğrisini kaydetmektir. Bu metot ancak sertleşmiş beton numuneleri için kullanılabilir fakat erken yaştaki betonlarda, plastisite olayı yanıl deformasyonlara sebebiyet verdiğiinden pek elverişli olmayacaktır. Elastisite modülünün hesap edilmesi için kaydedilen gerilme deformasyon eğrisinde genel olarak başlangıçta bir doğru parçası yoktur. Bu olay betonlarda farklı elastisite modüllerinin tayinine neden olur. Bunlar ise sekant modülü, başlangıç teğeti modülü ve dinamik elastisite modülüdür.

Dinamik elastisite modülü, genellikle, laboratuvardaki araştırmalarda kullanılan beton numunelerin veya yapıdaki (yerindeki) betonların kimyasal etkenler veya donma çözülme olayları karşısında zamanla ne ölçüde yıpranma gösterdiklerini araştırmak amacıyla tayin edilmektedir. Bunun yanı sıra, şantiyedeki betonun üniformitesini takip edebilmek için de kullanılmaktadır. Bilindiği üzere betonun elastiklik modülü ile dayanımı ve kalitesi arasında,

genel de olsa, bir ilişki mevcuttur. Değişik etkiler karşısında, betonun kalitesinde ve elastisite modülünde değişiklikler olabilmektedir. Bu tarz bir değişikliği statik elastiklik modülü yardımıyla izleyebilmek için aynı kalitedeki betonlardan çok fazla sayıda numune üretilip farklı etkilere maruz kalan bu numunelerin gerilme-birim deformasyon eğrilerini belirlemek gerekmektedir. Bu durumda bile, aynı kalitede olacak şekilde üretilen numunelerin arasında da bazı kalite farklılıklarının olması mecburi olacaktır. Fakat dinamik elastisite modülünün belirlenmesinde kullanılan sonik veya ultrasonik metotlar hasarsız metotlardır. Bu yöntemlerin uygulanmasıyla betona yük verilirken, betonda çatlama kırılma oluşmamaktadır. Bu sayede, aynı beton üzerinde, beton henüz kimyasal etkenlere maruz kaldıktan sonraki zamanlarda dinamik elastiklik modülünü belirleyebilmek ve böylece beton kalitesindeki değişimi izleyebilmek mümkün olacaktır. Beton dayanımının yaklaşık olarak elde edilmesinde kullanılan ve daha önce anlatılan ultrasonik test cihazı, betonun dinamik elastiklik modülünün tayinine de yaramaktadır. Daha önce bahsedildiği gibi, bu cihaz vasıtasıyla betonun bir ucundan ultrasonik puls gönderilmekte ve pulsün ne kadar süre içerisinde (mikrosaniye olarak) geçmiş olduğu betonun diğer ucundan kaydedilmektedir. Puls hızının hesaplanmasında;

$$V = (S / t) (10^6) \quad (13)$$

formülü kullanılmaktadır. (Burada V = puls hızı, m/s; S = cihazın puls gönderici ve alıcı başlıkları arasındaki mesafe, m; t = pulsün geçiş süresi, mikrosaniyedir). Normal betonlarda $V = 3500-4500$ m/s kadardır (Erdoğan, 2003). Dinamik elastisite modülünün hesaplanabilmesi için aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$E_d = [(V^2 \times n \times (1 + \mu) \times (1 - 2\mu)) / (1 - \mu)] \times 10^{-6} \quad (14)$$

Burada,

E_d = Dinamik elastiklik modülü, (MPa)

V = Puls hızı, m/s

n = Betonun birim ağırlığı, kg/m³

μ = Poisson oranı

Yukarıdaki formülde kullanılacak Poisson oranının değeri, çok düşük kalitedeki betonlarda 0,3, yüksek kalitedeki betonlarda 0,15 olarak kabul edilmektedir. Genellikle $\mu = 0,2$ gibi bir değer alınmaktadır (Erdoğan, 2003).

Dinamik elastisite modülü tayini için 5 farklı seriden alınmış silindir numuneler kullanılmıştır (2. Takım). Bu numunere ultrasonik yöntem uygulanarak numunelere ait ultrases geçiş sürelerine, mikro saniye cinsinden ulaşılmıştır. Ultrases geçiş süreleri (13) nolu denklem bağıntısı kullanılarak Puls hızlarına çevrilmiştir. Elde edilen Puls hızları ve silindir numunelerin kuru birim ağırlıkları, Poisson oranıyla birlikte (14) nolu denklem bağıntısında yerine yazılarak silindir numunelerin dinamik elastisite modüllerine ulaşılmıştır. Ulaşılan bu değerler Şekil 4.8’de gösterilmiştir.

3.3.8 SEM (Scanning Electron Microscope) ile Numunelerin Karakterizasyonu

Taramalı Elektron Mikroskobu ile SEM görüntüsü, yüksek voltaj yardımı hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanarak yollanması ve bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması, taratma esnasında elektron ve numune atomları arasında meydana gelen faaliyetler neticesinde oluşan etkilerin uygun algılayıcılarda bir araya getirilmesi, bu bilgilerin sinyal güçlendiricilerden geçtikten sonra katot ışınları tüpünün ekranına yansıtılmasıyla elde edildi. Taramalı elektron mikroskobunun optik kolonu; elektron demetinin kaynağını oluşturan elektron tabancası, elektronları numuneye doğru hızlandırmak amaçlı kullanılan yüksek gerilim uygulanan anot plakası, elektron demetini toplamakta ve yönlendirmekte kullanılan condenser ve objektif mercekleri, demet çapını sınırlandırmak için faydalanılan apertürler ve numune yüzeyini taraması için demeti uygun şekilde saptıran tarama bobinlerinden oluşur. Optik kolon en alt kısımdan numune ocağına açılır. Burada üç boyutta hareket eden numune kızıağı ve demet-numune etkileşimi sonucunda ortaya çıkan farklı türde sinyallere duyarlı algılayıcılar vardır. Mikroskobun elektronik donanımı ise flaman akımı, mercek akımı ve uyarma gerilimini kararlı vaziyette tutarken, algılayıcılardan gelen sinyalleri işleyerek numunenin farklı özelliklerini yansıtan görüntüler oluşur. Şekil 3.25’te olduğu gibi monitor ekranına yansıtılan farklı özellik görüntüleri istenen odaklama ve yakınlaştırmalarla incelenmiştir.



Şekil 3.24: Numune kaplama cihazı.

Deneyde 3 farklı köpük beton serisinden (S_1 , S_3 , S_5) kopartılmış 3 adet köpük beton numunesi kullanılmıştır. Numuneler deneye hazırlanırken aşağıdaki kıstaslara dikkat edilmiştir.

- Numunenin temiz ve kuru olmasına dikkat edildi.
- Numunenin kenar büyüklüğünün 10 mm'yi aşmamasına dikkat edildi.
- İletken olmayan numuneler elektron ışını tarafından taranırken şarj olmaya yani yük birikmesine yatkın olduğundan bu tip numuneler elektriksel olarak altın ya da karbon gibi iletken bir malzeme ile Şekil 3.24' deki cihaz ile kaplanıldılar.
- Numunenin, SEM içinde yüksek vakuma dayanabilecek dirence sahip olacak nitelikte olmasına dikkat edildi.
- Taranacak numuneler görüntülenmeye uygun şekilde olması için bir yüzü 0,5 cm, diğer yüzü de 1 cm'den fazla olmayacak şekilde köpük 3 farklı köpük beton serisinden alınmıştır.

İncelenecek olan numune iletken numune taşıyıcısına konuldu ve iletkenliği sağlamak için yüzeyi altın ile kaplandı. Numune daha sonra SEM ünitesine yerleştirildi ve sistem vakuma

alındı. Vakum belli bir değere ulaştığında, daha önce numune özelliklerine göre kararlaştırılmış olan voltaj değerine göre ayarlama yapıldı ve cihaz daha yüksek gerilime çıkartıldı. Oluşturulan elektron demeti ile numune etkileşimi sonucunda oluşan görüntü ekrandan takip edildi ve numune tutucu X, Y, ve Z eksenlerinde hareket ettirilerek incelenmek istenen bölge bulunup istenen büyütmeyle, netleştirme ve odaklamalar yapıldı. Taramalı elektron mikroskopuyla çekilen iç yapı görüntü fotoğrafları Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13’de gösterilmiştir.

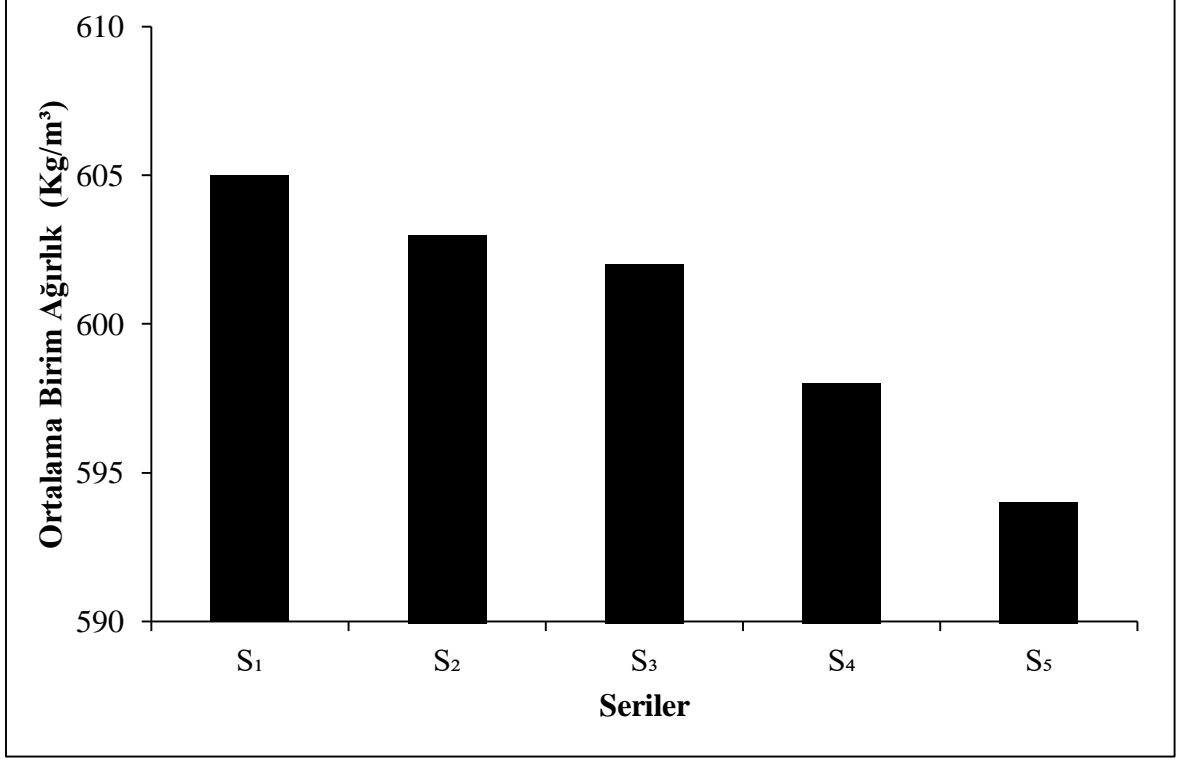


Şekil 3.25: SEM fotoğraflarının çekilmesi.

BÖLÜM 4

BULGULAR VE TARTIŞMA

Aşağıdaki Şekil 4.1'deki gibi bir grafikte ortalama birim ağırlık değerlerinin serilere göre değişimi gösterilmiştir.

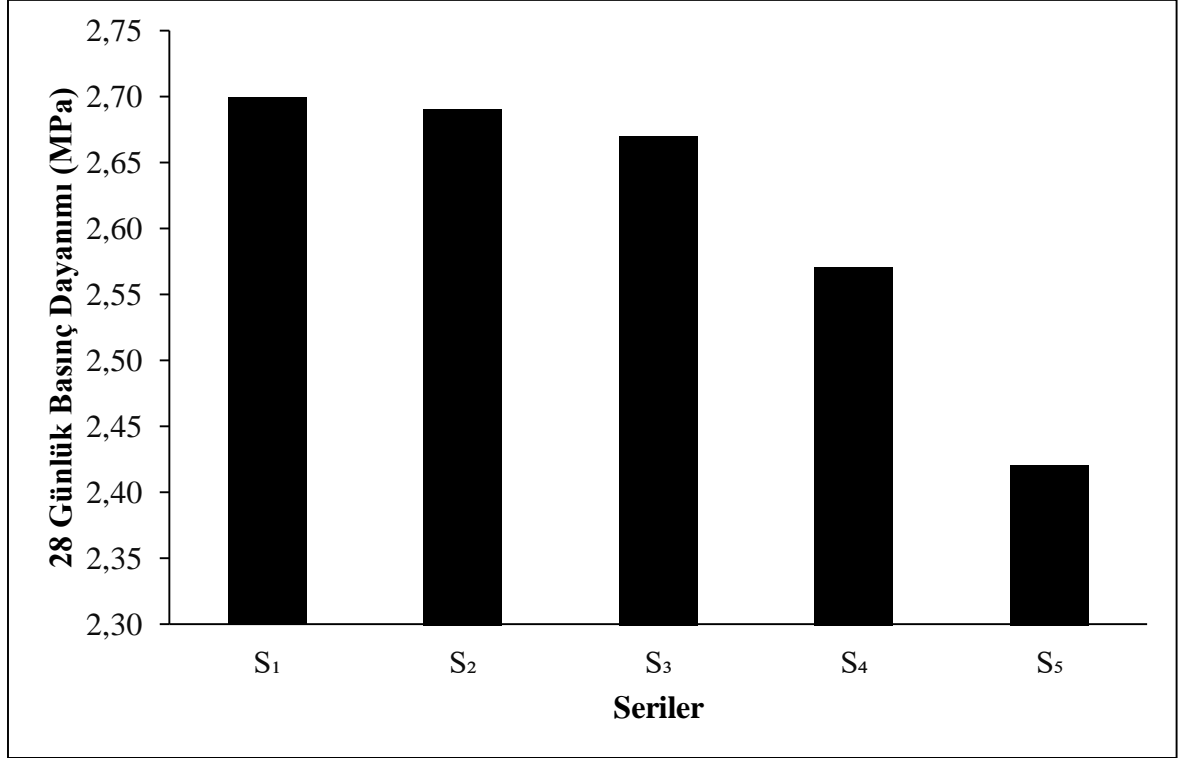


Şekil 4.1: Serilere göre ortalama birim ağırlık değişimi.

Serilerdeki köpük beton numunelerinde kumun yerini geri kazanım agregası aldıkça birim ağırlığın azaldığı gözlenmiştir. Bu durumun sebebi ÖBA'nın özgül yüzey alanının ÖK'dan daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. ÖBA tanelerinin özgül yüzey alanı ve mikro boşluklarının fazla oluşu hem ÖBA tanelerinin birim ağırlığının düşük olmasına sebep olmuş hem de suya doymun hale gelebilmesi için daha fazla suya ihtiyaç duyulmasına sebep olmuştur. Bu durum köpük için daha yaygın bir alan oluşturarak bünyenin daha boşuklu ve hücreli bir yapı almasına sebep olmuştur. Böylelikle ÖBA kullanımının artmasıyla numunelerin birim ağırlıklarında azalma meydana gelmiştir.

Sonuç olarak köpük betonlarda ÖK yerine ÖBA kullanımı daha hafif köpük beton üretimi için oldukça idealdir. Görüldüğü üzere öğütülerek geri kazanımı sağlanan beton atıkları hafif köpük betonlarda hafiflik amacına olumlu katkı sağlamaktadır.

Aşağıdaki Şekil 4.2’de küp köpük beton serilerindeki numunelerin 28 günlük ortalama basınç dayanımı değerleri gösterilmiştir.

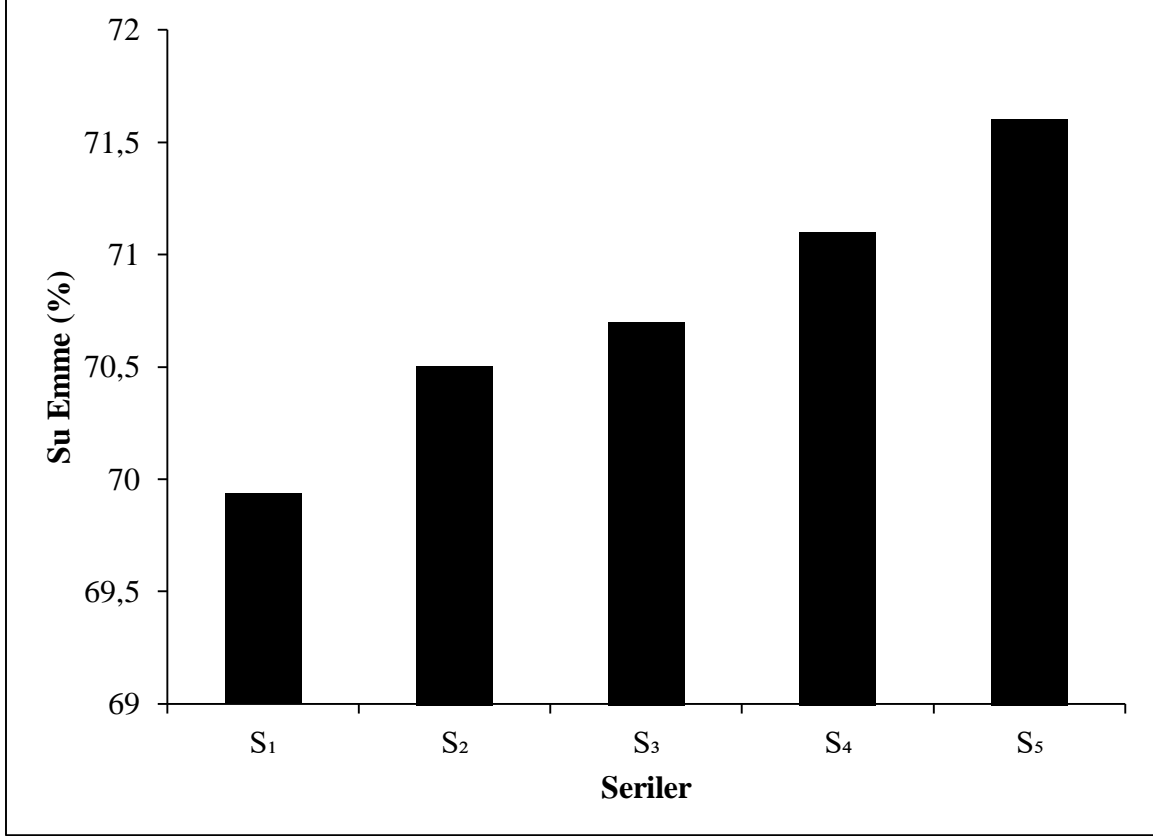


Şekil 4.2: 28 günlük ortalama basınç dayanımlarının serilere göre değişimi.

Şekil 4.2’ye bakıldığında köpük betondaki ÖBA miktarının artmasıyla numunelerin basınç dayanımlarında azalma meydana geldiği gözlenmiştir. Bu durumun iki sebebi vardır. Birincisi köpük beton serilerindeki ÖBA kullanım miktarı arttıkça betonda aynı işlenebilmeyi sağlayabilmek için artan su miktarıdır (Tablo 3.4’te de görüldüğü üzere). Böylece S/Ç oranı artmış, dayanımın düşmesine sebep olmuştur. Dayanım düşüşünün ikinci sebebi ise bünyedeki ÖBA miktarının artmasıyla köpük betonun birim ağırlığının azalmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü birim ağırlığın azalması boşluklu hücre yapısının artmasından ileri gelmektedir. Bünyede artan bu boşluklu hücreli yapı köpük betonların dayanımını düşürmüştür. Köpük betonlarda ÖBA kullanımı dayanımı olumsuz yönde etkilemesine rağmen köpük betonun kullanım işlevselliğini tamamen bozmamıştır. İstenen

dayanım elde edilememiş olsa bile yeteri kadar sert ergonomik bir yapı elde edilmiştir. ÖBA ve ÖK ile üretilen köpük betonların yapıda taşıyıcı karakterde olmaksızın kullanılabilceği görülmüştür.

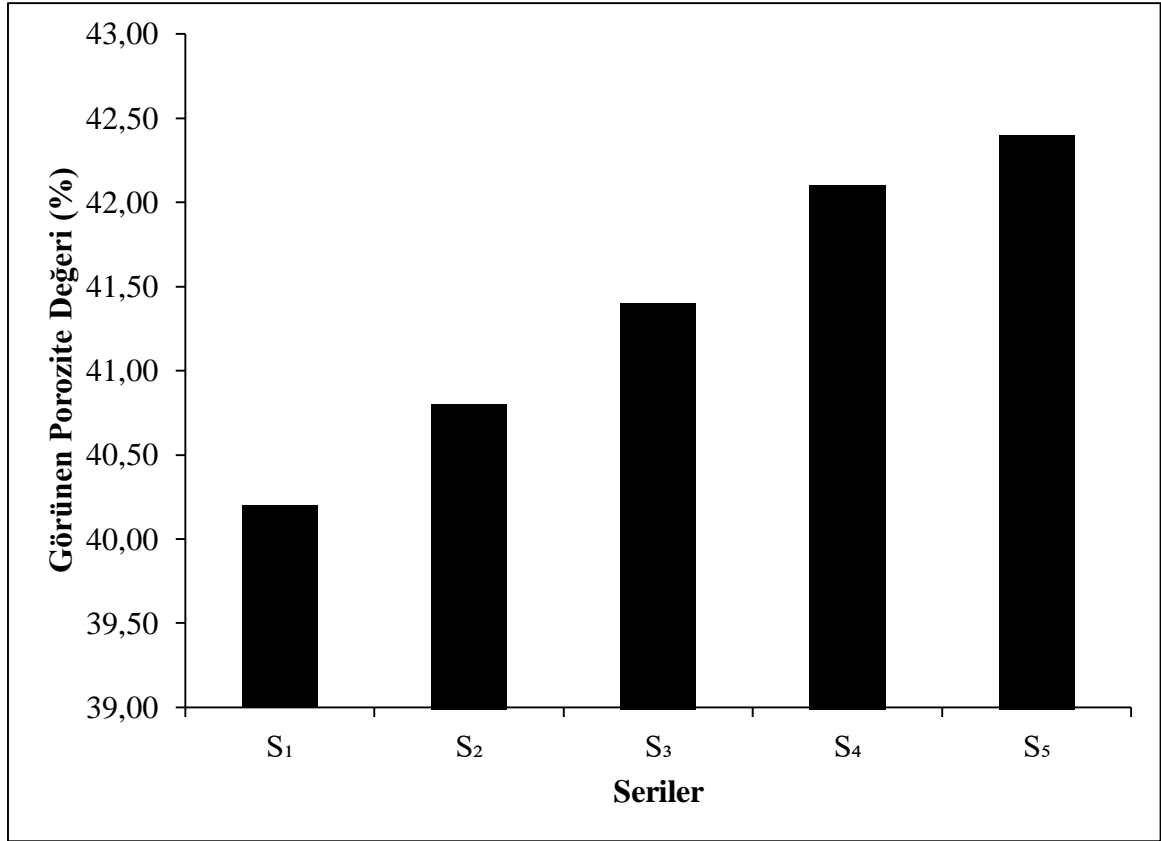
Aşağıdaki Şekil 4.3'te serilere göre su emme oranlarındaki değişim gözlenmektedir.



Şekil 4.3: Beş farklı seride su emme değişimi.

Köpük betonda ÖK yerine ÖBA kullanıldığında daha hücreli yani boşluklu bir yapı olduğundan suda bekletilen numunelerin su emme miktarının da doğru orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir. Gözenekler arttıkça emilen suyun miktarı da doğal olarak artmıştır. Köpük betonun su emme miktarının fazla oluşu bu betonların kullanım ömrü boyunca bir takım dayanıklılık problemleri doğuracağı muhtemeldir. Çünkü su emme oranının yüksek oluşu köpük betonun geçirimsizliğinin fazla olduğu anlamına gelir. Beton geçirimsizliğinin fazla oluşu betonu asit etkisi, sülfat etkisi, karbonatlaşma, donma çözülme, ıslanma kuruma, aşınma gibi fiziksel ve kimyasal dış etkilere karşı dayanıklılığının düşük olacağı anlamına gelir. Bu durum köpük betonların dış cephede kullanıldıklarında uzun ömürlü olabilmelerini zorlaştırmaktadır.

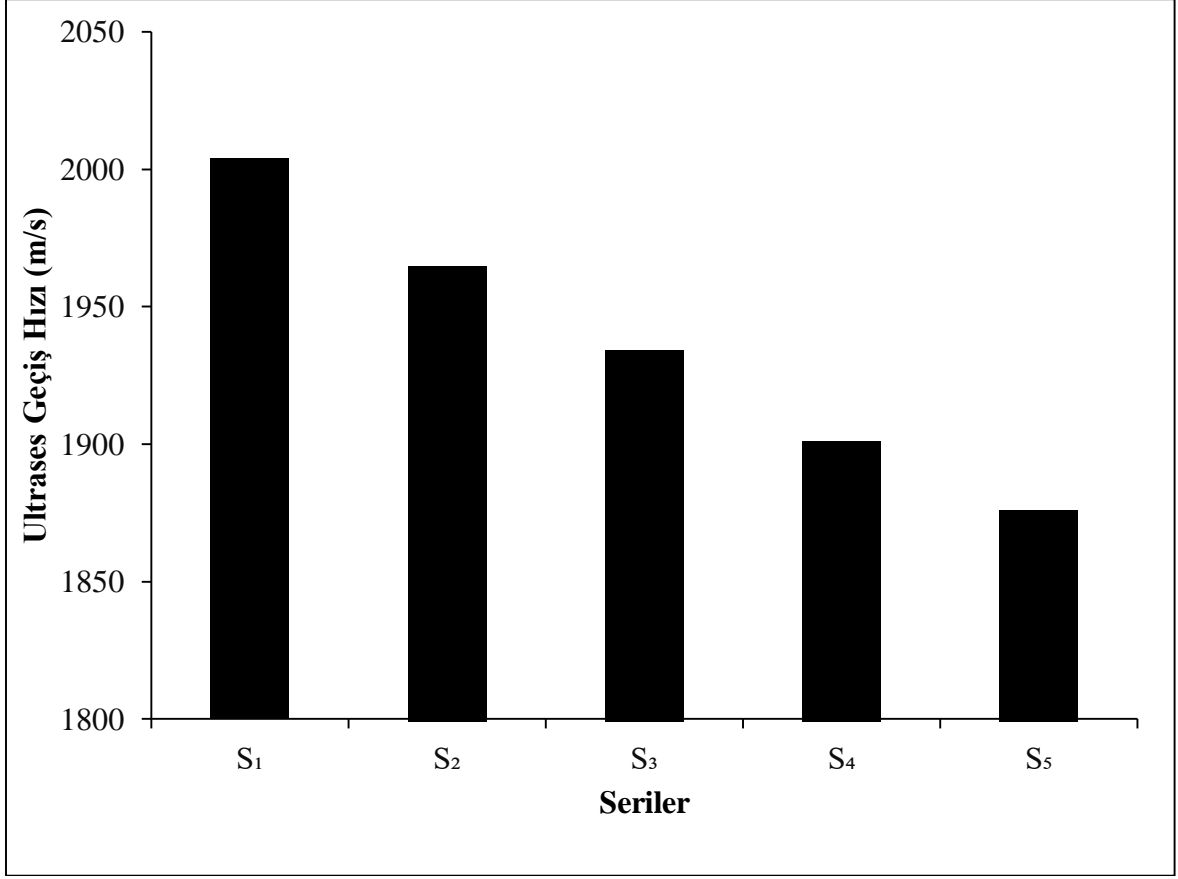
Şekil 4.4’de serilere göre köpük betonların porozite değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 4.4: Beş farklı seride porozite değişimi.

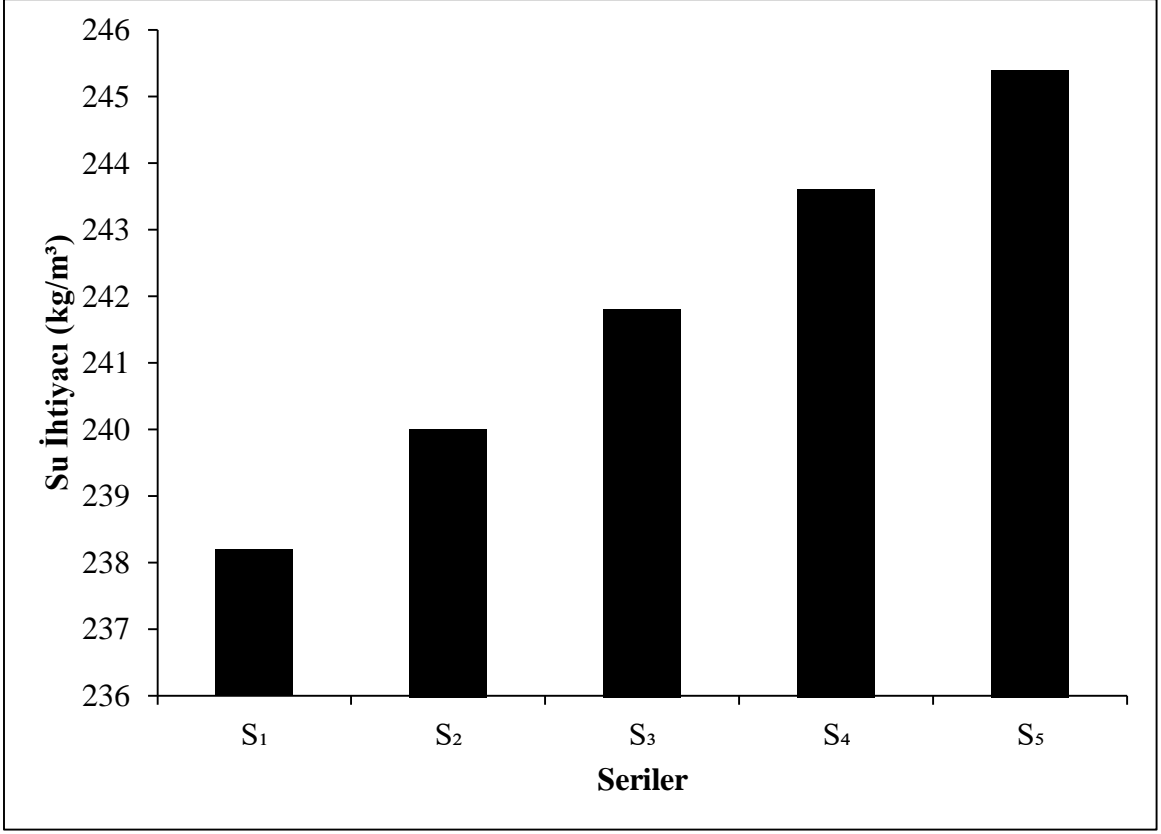
Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’e bakıldığında numunelerin su emme ve boşluk oranları değişimleri birbiriyle orantılı benzerlikler taşımaktadır. Çünkü numunedeki görünen porozite yani boşluk miktarı fazla olduğunda su emme miktarı da fazla olacaktır.

Numunelerde ÖK kullanımı yerine ÖBA kullanımının artmasıyla ultrases geçiş süreleri az da olsa kısalmıştır. Ultrases geçiş süresinin kısalması numunelerdeki boşluk-gözenek miktarının azalmasından ileri gelir. Yani geçiş süresi ile boşluk oranı doğru orantılıdır. Bu durum ispatlanmak istendiğinden çıkan ultrases sonuçları daha önceki porozite değerleriyle karşılaştırılmış olup sonuçların birbiriyle örtüştüğü görülmüştür. Elde edilen geçiş hızlarının serilere göre değişimi Şekil 4.5’te verilmiştir.



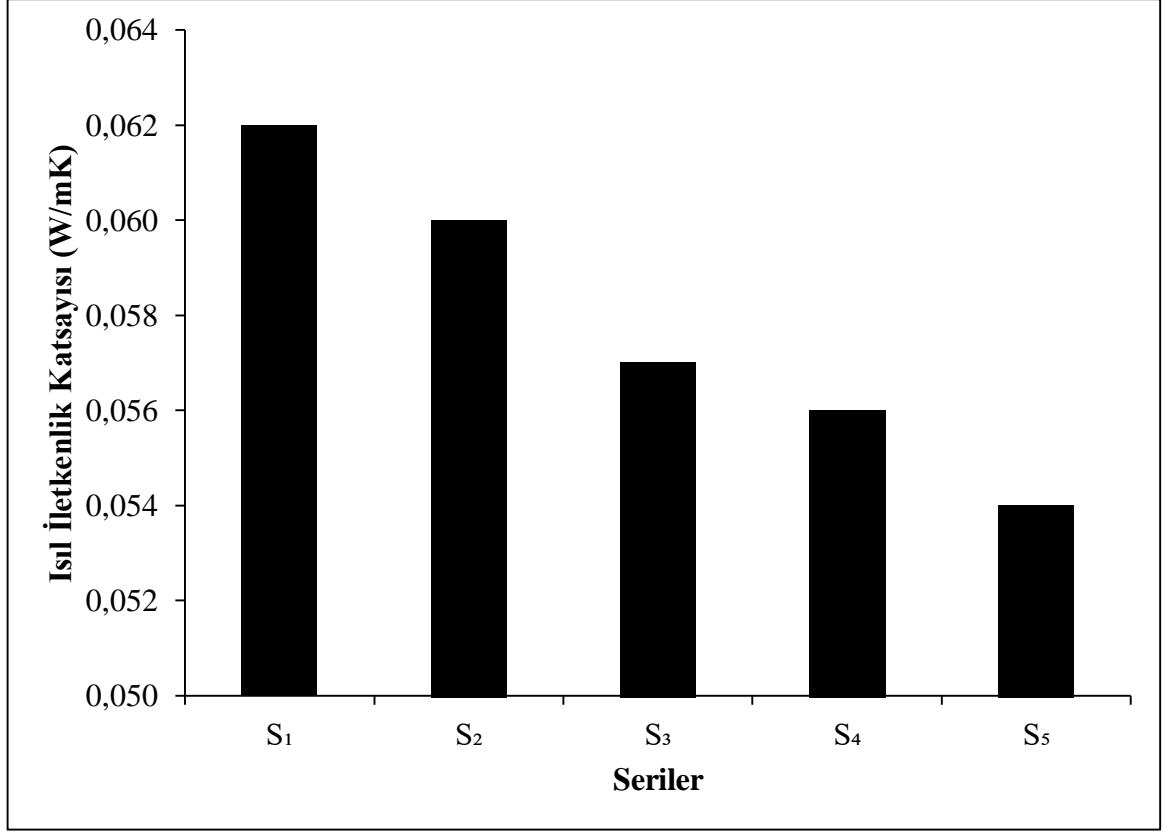
Şekil 4.5: Ultrases geçiş hızlarındaki değişim.

Yukarıdaki Şekil 4.5'e bakıldığında ultrases geçiş hızının ÖBA kullanımıyla azaldığı görülmektedir. Bunun sebebi daha önce de ifade edildiği gibi boşluk/gözenek miktarının artmasından kaynaklanmaktadır. Ses dalgaları köpük beton içinde ilerlerken daha fazla miktardaki boşluk hücrelerinin yüzeyine çarptığından betonun içindeki geçiş hızında azalma meydana gelmiştir. Bu durum köpük betonu sese karşı daha yalıtkan bir hale getirmiştir. Köpük betonda ÖK yerine ÖBA kullanımı ses yalıtımı için daha izole bir bünye meydana getirmiştir. Ultrases sonuçları köpük betonun diğer mekanik özellikleriyle örtüşeceğinden dolayı yoldan betonun dayanımı, birim ağırlığı, boşluk yapısı vb. özellikleri hakkında da bilgi vermektedir. Böyle düşünüldüğünde ultrases sonuçlarının önceki deney sonuçlarıyla örtüştüğü gözlenmektedir.



Şekil 4.6: Su ihtiyacının serilerdeki değişimi.

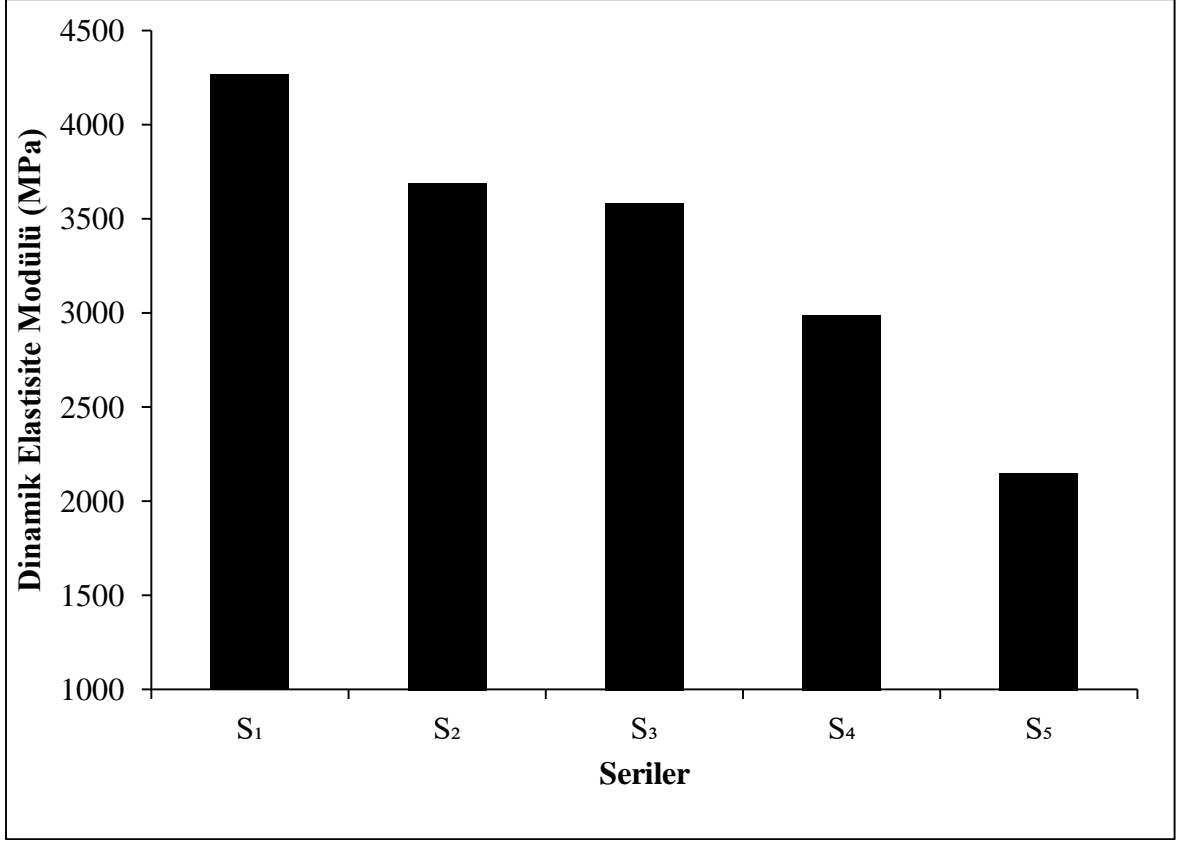
Köpük beton harcı karılırken her seride aynı işlenebilme özelliği sağlanmıştır. Fakat aynı işlenebilirliğin farklı miktarlardaki karma suyuyla sağlandığı görülmüştür. Şekil 4.6'ya bakıldığında serilerdeki ÖBA miktarının artmasının karma suyu miktarının artışına sebep olduğu görülmektedir. Ögütülmüş beton atığının bünyesine su çekme kapasitesi daha yüksektir. ÖBA'nın suya doygun hale gelebilmesi için ÖK'dan daha fazla suya ihtiyaç vardır. Bu olay ögütülmüş atık betonun özgül yüzey alanının daha fazla olmasının yanında ögütülmüş beton tanelerinin içindeki mikro boşluklarının fazla olmasıyla açıklanabilir. Dolayısıyla atık beton tanelerinin suya doygun hale gelebilmesi için daha fazla suya ihtiyaç duyulmuştur. Bu sebeple köpük betonlarda ÖK yerine ÖBA tercih edildiğinde karma suyu miktarı artmıştır. Dolayısıyla bu durumun karma suyu maliyetlerini arttıracığı ön görülürken dayanımdaki düşüşün de en önemli faktörlerinden biridir. Çünkü ÖBA kullanım artışına paralel artan su miktarı, su/çimento oranını da arttırmaktadır.



Şekil 4.7: Serilere göre ısı iletkenlik katsayılarındaki değişim.

Şekil 4.7'ye bakıldığında köpük betonda ÖK yerine ÖBA kullanımının artmasıyla ısı iletkenlik katsayısının düştüğü görülmektedir. Bu durum yine boşluk yapısıyla açıklanabilir. ÖBA kullanım oranının artmasıyla artan boşluklu gözenekler ısıyı absorbe ederek ısı transferini zorlaştırmaktadır. Bu sebeple daha düşük ısı iletkenlik katsayısı sonuçları ortaya çıkmıştır. Isıl iletkenlik katsayısının düşmesi ise ısı yalıtımının artması anlamına gelir. Köpük betonlarda kullanılabilen ÖBA, beton bünyesini sıcaklık bakımından daha izole bir hale getirdiği görülmektedir.

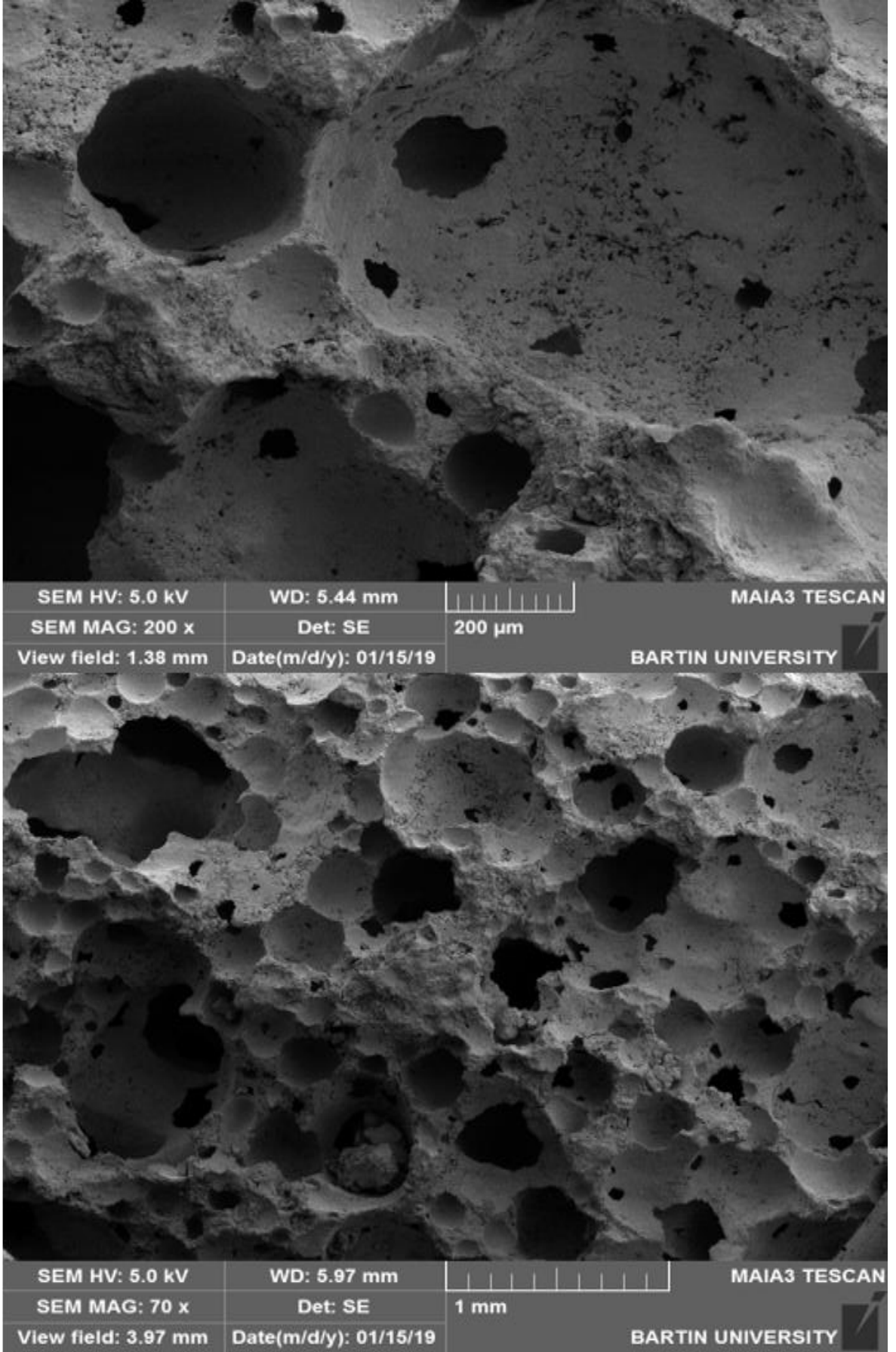
Silindir numunelerin hesaplanan dinamik elastisite modülü değerlerinin serilere göre değişimi ise Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Numunelerin dinamik elastisite modüllerinin ÖBA kullanımıyla doğru orantılı olarak arttığı gözlenmiştir.



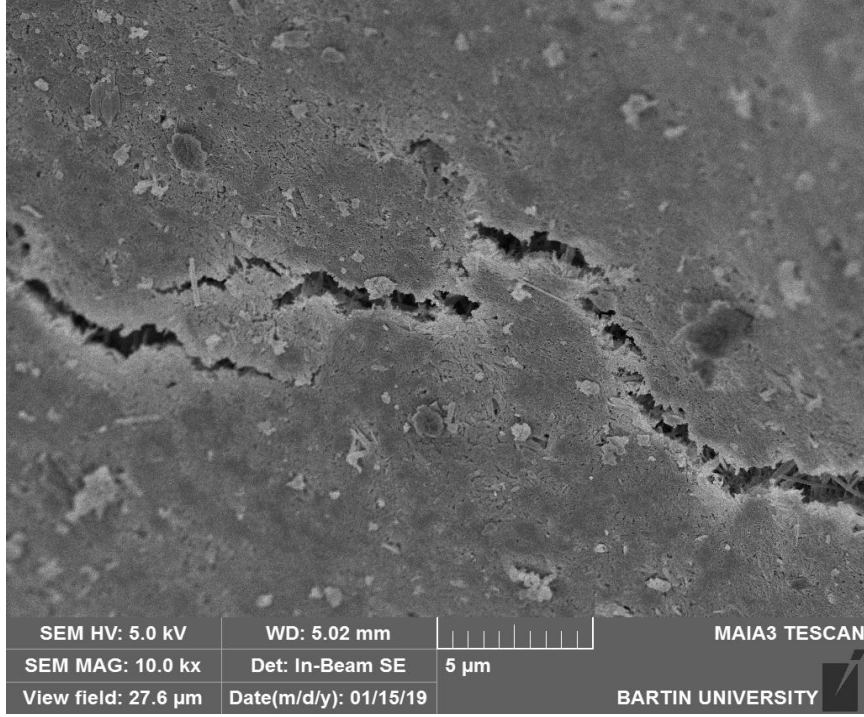
Şekil 4.8: Dinamik elastisite modülü değişimi.

Sonuçlar ele alındığında köpük betonda atık beton kullanımı arttıkça betonun yük altında şekil değiştirmeye karşı olan direncinin azaldığı gözlenmektedir. Yani beton daha gevrek bir hale gelerek kırılma eğilimi artmıştır. Bu durum daha önce test edilen basınç dayanımı sonuçlarıyla da örtüşmektedir. ÖBA kullanım oranı köpük betonda arttıkça köpük betonun rijitliği azalmıştır. Çünkü elastisite modülü betonda rijitliğin bir ölçüsüdür. Böylece yük altındaki köpük beton sünme ve sehim gibi şekil değişikliklerine maruz kalmadan kısa sürede kırılmıştır. Zaten köpük betonlarda normal elastisite modülünün basınç altında hesaplanması düşük dayanımları nedeniyle sağlıklı sonuç vermeyeceğinden hasarsız bir yöntem olan ultrasonik yöntem tercih edilmiştir. Ultrasonik yöntemle hesaplanan dinamik elastisite modülü daha güvenilir sonuçlar vermiştir.

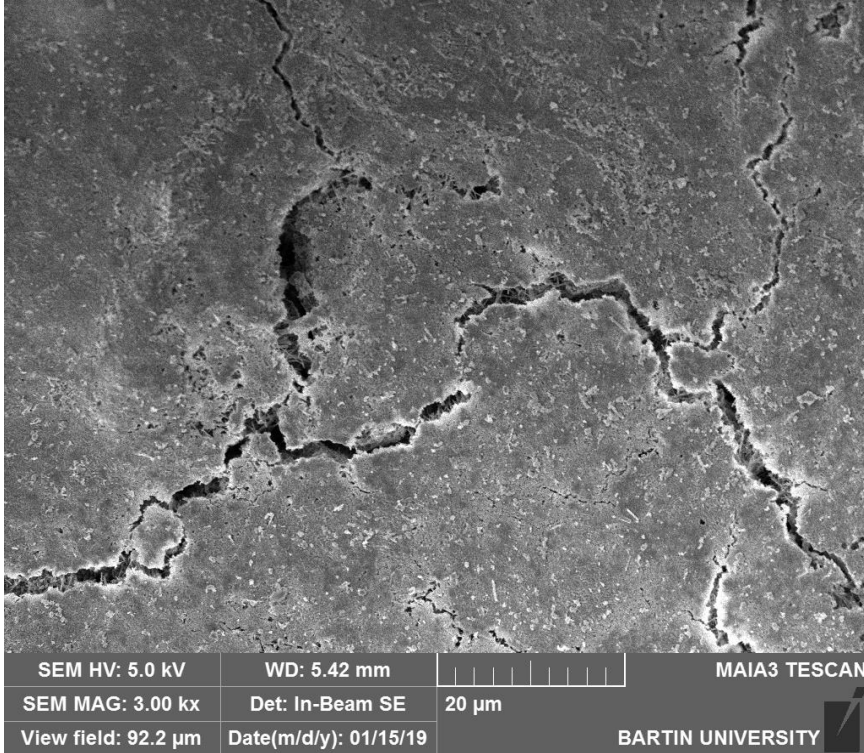
Şekil 4.9’da köpük beton yapısındaki gözenek yapısı görülmektedir. Bünyede 200 µm’nin altından 1 mm’yi aşan gözenekler mevcuttur. Oluşan gözeneklerin ebatları birbirinden farklılık taşırken dağılım olarak da belirli bir düzen içinde değildir. Oluşan gözeneklerin sıklığına ve birbirleri arasındaki bağlantılara bakıldığında düşük birim ağırlıklı, yalıtım esaslı bir köpük betona özgü bir bünye kazandırıldığı gözlenmektedir.



Şekil 4.9: Boşluk ve gözenek yapısı.

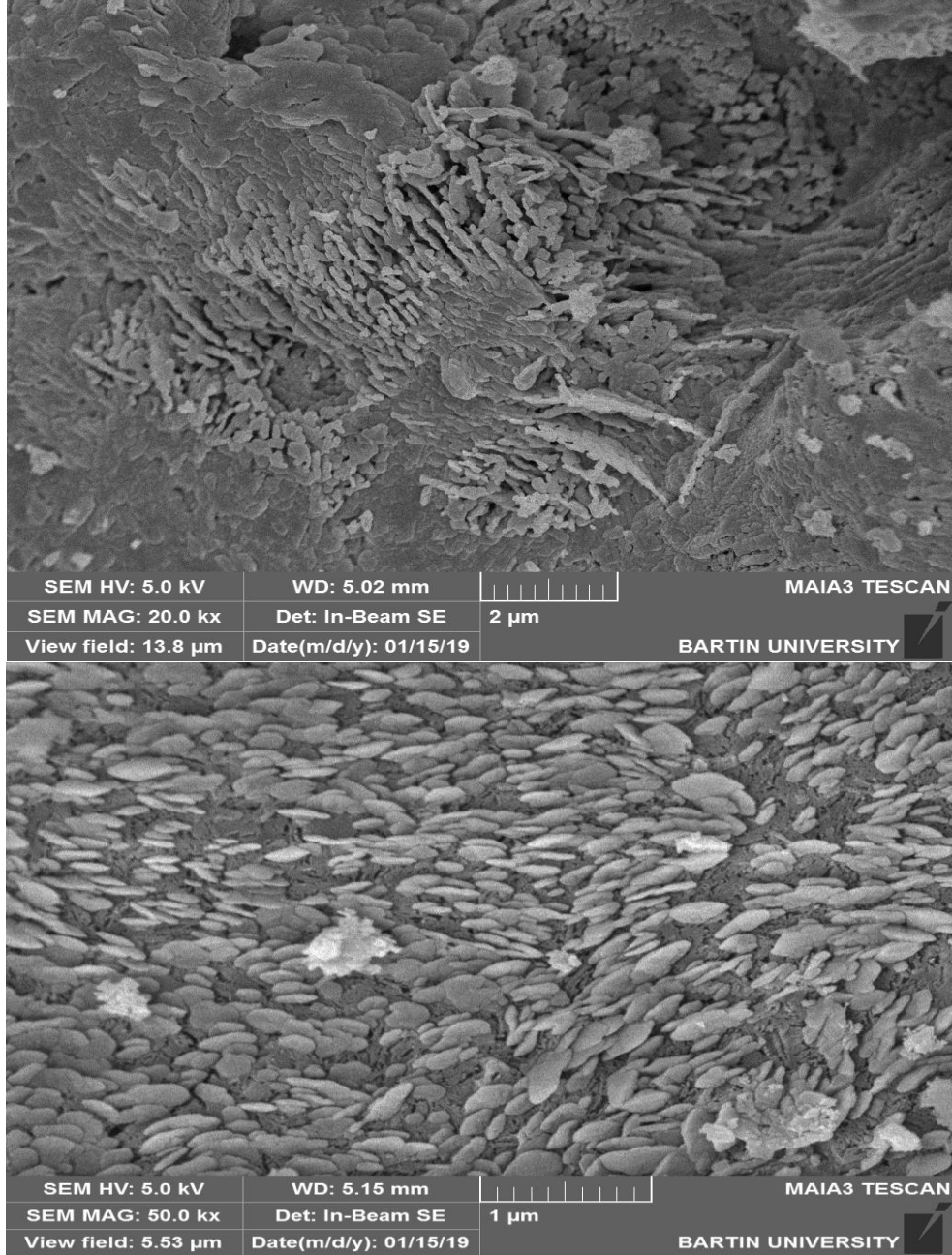


Şekil 4.10: Bağımsız bir çatlak görünümü.



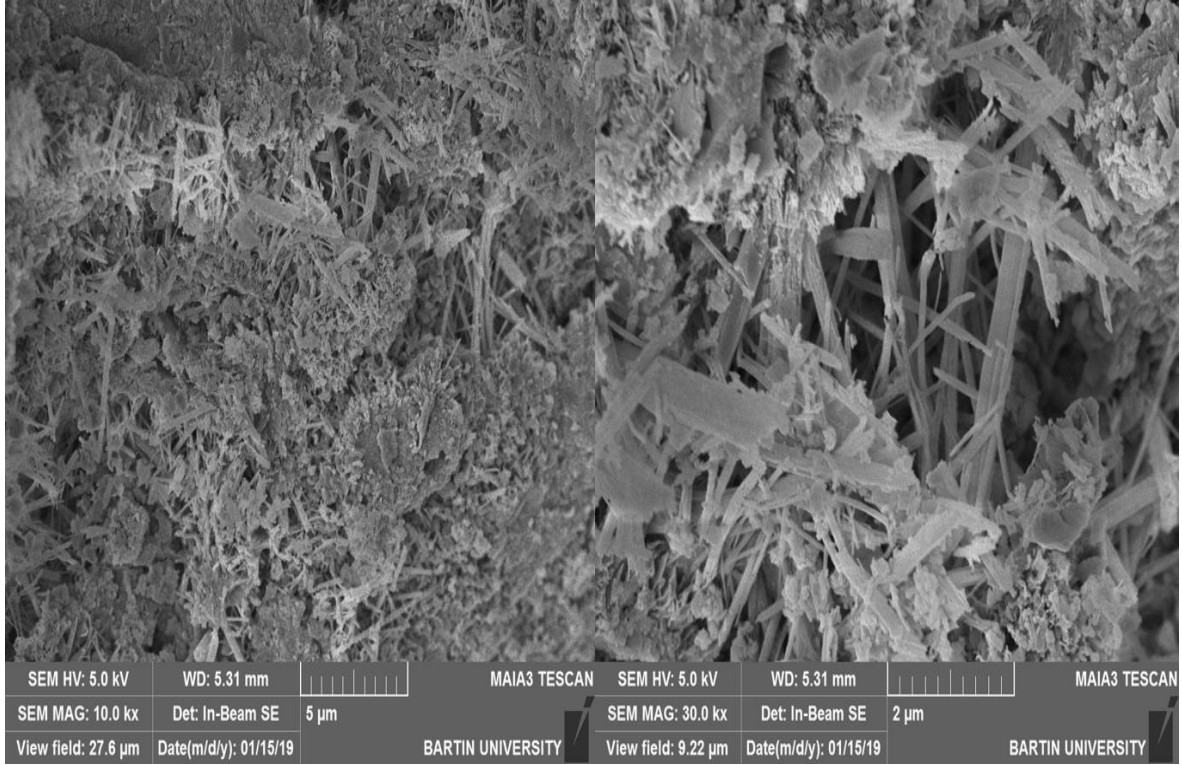
Şekil 4.11: Birbirine bağlanmış çatlaklar.

Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de gözlenen köpük beton çatlakları tüm bünyede olmamakla birlikte yer yer oluşum gösteren bu çatlaklar köpük betonun dayanımını olumsuz yönde etkilemektedir. Yükten bağımsız meydana gelen bu çatlaklar çimento hidratasyonu ve kuruma esnasında meydana gelen rötre çatlaklarıdır. Beton kalitesini sadece dayanım anlamında değil köpük betonun durabilite özelliklerini de olumsuz anlamda etkileyeceği ön görülmektedir.



Şekil 4.12: Bünyede $\text{Ca}(\text{OH})_2$ oluşumu.

Şekil 4.12’de Bünyede Ca(OH)_2 oluşumları gözlenmiştir. Kalsiyum hidroksit dayanıma etkisi olmayan, ancak beton içindeki bazik yapıyı sağlayan üründür. Zayıf yapısı ve aderansı zayıflatıcı etkisi nedeniyle gerekenden fazlası istenmeyen bir üründür. Hidrate olan ürünlerin yaklaşık %20’sini oluşturur. C-S-H’e oranla oldukça büyük boyutta olan CH genelde boşluklarda ve çimento hamuru-agrega ara yüzeylerinde birikir. Doğrudan dayanıma katkı sağlamasa da CH oluşumunun artması dolaylı yoldan priz sürecinde betonun dayanım kazanmasını arttırıcı etki yapar.



Şekil 4.13: CSH jellerinin bir görünümü.

Şekil 4.13’te gözlenen etrenjit oluşumu köpük betonun dayanım kazanmasını sağlayan, bünyenin daha karalı stabil bir fiziksel yapıya bürünmesine katkı sağlayan önemli bir unsurdur. Etrenjit köpük betonda bağlayıcı bir unsurdur. Fakat her durumda fazla sayıda etrenjit oluşumu fiziksel kararlılık sağlayacağı anlamına gelmeyebilir. Erken yaştaki, priz sürecindeki etrenjit köpük beton için olumlu etki yaratırken, ileri yaşlarda oluşacak etrenjit oluşumları köpük betona ciddi zararlar verecektir. İleri yaşlardaki etrenjit oluşumları betonu yumuşatarak daha dayanıksız bir hal almasına sebep olur.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Genel Sonuçlar

- Beton yıkım atıklarının köpük betonlarda yeniden kullanılabilirliğinin araştırılması kapsamında köpük betonda dolgu malzemesi olarak öğütülmüş kum yerine öğütülmüş beton agregası kullanılmış; elde edilen sonuçlara göre:
- Köpük betonlarda öğütülmüş kum yerine öğütülmüş beton atığı kullanım miktarı arttıkça betonda aynı işlenebilmenin sağlanabilmesi için gerekli olan karma suyu miktarında artış gözlenmiştir. ÖK ve ÖBA aynı fiziksel özelliklerde kullanılmasına rağmen GDA ile karılan köpük betonların daha fazla karma suyuna ihtiyaç duyması, GDA'nın su tutma karakterinin daha fazla olmasıyla açıklanabilir. Bu durum su maliyetlerini arttırması yönünden olumsuz bir sonuç doğurabilir.
- Köpük betonda kullanılan dolgu malzemesi nitelikli agrega tane çapının mikron mertebesinde oluşu ve köpük betonun gözenekli yapısı köpük betonun yüksek dayanım kazanmasını zorlaştırmış, yapılan deneme karışımları sonucunda karışımda kullanılan çimento miktarının dolgu malzemesinin en az 3 katı kadar olduğunda dayanım bakımından sağlıklı sonuçlar elde edilmiştir. Elde edilen dayanımlar düşük düzeyde (2-3 MPa) olsa bile taşıyıcı nitelikte bir beton amaçlanmadığı için dayanım sonuçları ergonomiklik bakımından ve amaca dönük işlevsellik sağlayacağından yeterli düzeydedir.
- Köpük betonda ÖK yerine ÖBA kullanımının arttırılması dayanımda düşüşe sebep olmuştur. Bunun sebebi su miktarındaki artışın S/Ç oranını arttırmasından kaynaklanmaktadır. Bunun bir diğer sebebi de ÖBA miktarının artmasıyla betonun porozitesinin artmasından kaynaklanmaktadır. Boşluk miktarı arttıkça dayanım da ters orantılı olarak azalmıştır.

- Köpük betonda ÖBA kullanım miktarının artışı numunelerin birim ağırlıklarında azalmaya sebep olmuş, daha hafif köpük betonlar üretmeye olanak sağlamıştır. Birim ağırlığın azalışı, ÖBA tanelerinin özgül yüzey alanının ÖK özgül yüzeyinden fazla oluşundan kaynaklanmaktadır. Bu durum köpük kabarcıkları için daha fazla yayılma ve genleşme hacmi yaratmıştır. Böylece biraz daha gözenekli ve boşluklu bir yapı oluşmuştur.
- ÖBA kullanımıyla birim ağırlığı azalan köpük beton numunelerinde buna paralel olarak boşluk-gözenek miktarının artmasıyla porozite ve su emme değerleri de daha yüksek çıkmıştır. Diğer taraftan bu durum ısı ve ses yalıtımı bakımından daha verimli köpük beton sonuçları elde etmemizi sağlamıştır.
- Çimento dozajının artışı köpük betonun dayanımını arttırırken öte yandan birim ağırlığı da arttırmıştır. Düşük çimento dozajının numunelerde 3. Günde bile kalıpta parmak batacak kadar dayanımsız sonuçlar verdiği gözlemlendi. Çalışmada belirlenen çimento dozajı hafif beton üretim dozajı ve çok yüksek olmasa bile ergonomik dayanım sağlayacak düzeydeki çimento dozajı olarak deneme karışımları neticesinde tespit edilmiştir.
- Su miktarının fazla oluşu numunelerin priz esnasında 3-4 cm çökme yapmalarına ve dayanımın düşmesine sebep olurken, su miktarının mümkün mertebe düşük tutulması dayanım ve hafiflik bakımından olumlu sonuçlar doğururken, bu defa işlenebilirlik bakımından olumsuz sonuç yaratmaktadır.
- Oda sıcaklığı köpük beton priz sürecinde oldukça önemlidir. Laboratuvardaki oda sıcaklığının yaz koşullarında normal oda sıcaklığının üzerine çıktığı zamanlarda bünyedeki suyun çimento ile hidrasyona girmeden buharlaştığı, bu durumun da numunelerde çökmelere sebebiyet verdiği gözlemlenmiştir.
- Sonuç olarak hem dayanım, hem birim ağırlık hem de işlenebilirlik bakımından ideal bir köpük betonun S/Ç oranı tespiti, ciddi optimizasyon çalışmaları ve hesap yapılmasını gerektirir.

- Genel olarak köpük betonlarda ÖK yerine ÖBA kullanımının artmasıyla köpük betonların dayanımında bir miktar düşüş yaşansa da elde edilen dayanım sonucu taşıyıcı olmasa bile kullanıma dönük olması bakımından yeterli seviyededir. ÖBA kullanımının gerçekleştirilmesiyle köpük betonların en aranan özellikleri olan hafiflik ve yalıtkanlık bakımından oldukça tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir. Bu bağlamda ÖBA'nın köpük betonlarda kullanımını gayet mümkündür.

5.2 Öneriler

Yürütülen tez çalışması kapsamında gelecek çalışmalara yön vermek amacı ile şunlar önerilebilir;

- Doğal kaynakların korunması ve yıkım atıklarının yeniden doğaya kazandırılması için beton atıklarının geri dönüştürülmek suretiyle yeniden yapılarda kullanılması süreci ekonomik açıdan da üzerinde durulması gereken oldukça önemli bir konudur.
- Köpük betonlar hiç bir fırınlama maliyetleri olmadıklarından ve dayanım bakımından geleneksel tuğla ve gaz betonlardan pek bir farklılık teşkil etmediklerinden, bu betonlar alternatif olarak yapıda tuğla malzemesi olarak kullanılabilirler. Ayrıca bu tez kapsamında olduğu gibi bu betonları geri kazanım ürünleriyle daha da çevre dostu ve ekonomik hale getirmek mümkündür.
- Geri dönüştürülmüş beton kullanılarak üretilen köpük betonların fiziksel ve kimyasal özellikleri az miktarda uçucu kül ve alçı kullanılarak daha da iyileştirilebilir.
- Köpük beton karışım oranları tayini oldukça hassas hesap ve optimizasyon çalışması gerektiren üzerinde zaman harcanması gerektiren bir süreçtir.
- Yıkım atığı kullanılarak üretilen köpük betonların teknik performanslarının iyileştirilmesine dönük çalışmaların yanında bu betonların diğer hafif betonlarla rekabet edebilmesi için bu konu maliyetler bakımından da ele alınmalı ayrıca köpük beton standartlarındaki eksiklikler giderilerek endüstriyel üretim faaliyetlerinin önü açılmalıdır.

- İnşaat yıkım atığı kullanılarak üretilecek köpük betonlar çevre sağlığı bakımından, yalıtkanlıkları sayesinde yaptıkları enerji tasarrufu bakımından, yapı yüklerinin hafifletilmesi bakımından ve tez kapsamında sunulan diğer tüm faydaları göz önüne alındığında yeni Ar-Ge çalışmalarıyla ele alınarak geliştirilmelidir.

KAYNAKLAR

- Abanuz, F. (2005). Eskimiş Betonarme Yapılarda Yıkımın Planlanması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- Akoğuz, E., Köylüoğlu, O.S., Arıoğlu, N. (1996). Dünyada Geri Kazanılmış Agrega Üretim ve Politikalarının Gözden Geçirilmesi ve Ülkemiz Açısından İrdelenmesi, *1. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, 33-52 s.
- Akpınar, F. (2008). İnşaat Mühendisliği Laboratuvarı-II Deneysel Föyü, Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum.
- Alkaya, Ş. (2010). Hafif Beton Üretiminde Organik Atıkların (Ayçiçeği Sapı) Kullanılabilir Olanakları, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Tarımsal Yapılar Ve Sulama Anabilim Dalı, Tekirdağ.
- Assbrock, O. (1999). Bundesverband der Deutschen Transport Industrie, Deutschland. (Çeviren: Abit, Ö.)
- Baradan, B., Yazıcı H., Aydın S. (2015). Beton, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları* No: 334, İzmir.
- Bayram, S., Öcal M.E., Oral E.L. (2011). *NWSA-Engineering Sciences*, İnşaat Atıkları Kavramının Yasal Düzenlemesi Ve Hazır Beton Tesisinde Örnek Uygulama, Kayseri.
- Bilal, C. (2013). Kütle Elemanlarında Erken Yaş Çatlak Riskinin Belirlenmesi Ve Uygulama İle Karşılaştırması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çağlar, G.A. (2007). Endüstriyel Atık Malzemelerin Karayollarında Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 115 s.
- Çil, İ. (2003). Uçucu Küllerin Beton Yapımında Kullanımı, *56. Türkiye Jeoloji Kurultayı*, İlion Çimento San. Ve Tic. AŞ., Uğur Mumcu Cad. No:4106700 G.O.P.- Ankara.
- Çorbacıoğlu, C.U. (2008). Beton Karışım Tasarımının Geçirimsizlik ve Mekanik Özelliklere Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Mühendisliği Programı, İstanbul.
- Dakman, M.H. (2017). Köpük Betonda Yüksek Sıcaklık Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Davraz, M., Kılınçarslan, Ş., Kuru, M. (2015). Farklı Yoğunluktaki Köpük Betonların Dayanım ve Isıl İletkenlik Özellikleri, *9. Ulusal Beton Kongresi*, Isparta.

- Demir, İ. (2010). İnşaat Yıkıntı Atıklarının Beton Üretiminde Kullanımı ve Beton Özelliklerine Etkisi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, 03200, Afyonkarahisar.
- Demir, İ.M., Başpınar S., Abadan S., Kahraman E., Ünal O. (2014). Mermer Tozunun Gaz Beton Üretiminde Geri Dönüşüm Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *ISEM 2014* Adıyaman.
- Demirel, C., Toklu, K., Şimşek O. (2015). Geri Dönüşüm Agregasının Beton Üretiminde Kullanılabilirliği ve Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi, *2. International Sustainable Buildings Symposium*, Ankara.
- Demiryürek, B.B. (2007), Türkiye’ de Hazır Beton Sektörü Ve Sektördeki Büyüme, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dikici, T. (2010). Taşıyıcı Hafif Betonun Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Malzemesi Anabilim Dalı, İzmir.
- Duran, B., Tunaboyu, O., Avşar Ö. (2016). Düşük Dayanımlı Betonun Elastisite Modülünün Belirlenmesi ve RYTEİE İle Yapılan Risk Değerlendirmesine Etkisi, Makale, *Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü*, 2 Eylül Kampüsü, Eskişehir.
- Egercioğlu, Y., İregöl, A. (2017). İzmir’de Kentsel Dönüşüm Projelerinde Sürdürülebilir İnşaat Atık Yönetiminin Değerlendirilmesi, *Planlama 2017;27(2):169–179* doi: 10.14744/planlama.2017.41636.
- Ekinci, D. (2014). Türkiye’de Köpük Beton, *Yapı Teknolojisi ve Malzeme, Mimarlık Dergisi*, 376. Sayısı.
- Erdin, E., Alten, A. ve Tunalı, T. (2004). İnşaat atıklarının değerlendirilmesi, *5 Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 13-14 Mayıs, İzmir, Türkiye.
- Erdoğan, T.Y. (2003). Beton, *ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını*, 566-567 s. 1. Baskı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- Ezici, M. (2016). Farklı Koşullarda Dökülen Betonlarda Vibrasyon ve Kür Koşullarının Değişiminin Beton Dayanımına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Adıyaman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adıyaman.
- Fırat, F.K., Akbaş, F. (2015). İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm Çalışmalarının Geliştirilmesi ve Ekonomi Üzerine Etkileri, Aksaray Üniversitesi.
- Gök, G. (2010). Değişik Geometrideki Betonların Basınç Dayanımlarının Çeşitli Su/Çimento Oranlarına Ve Çimento Miktarlarına Göre İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.

- Gurer, C., Akbulut, H., Kurklu, G. (2004). İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi, 5. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 13-14 Mayıs 2004, İzmir, Türkiye.
- Güçlüer, K., Ünal O., Demir İ., (2014). Buhar Kürlü Gazbetonun Mekanik ve Fiziksel Özelliklerine Puzolan Katkısının Etkisi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, AKU J. Sci.Eng.14 (2014) 015601 (1-6), Afyon.
- Güler, G., Güler, E., İpekoğlu, Ü., Mordoğan, H. (2005). Uçucu Küllerin Özellikleri Ve Kullanım Alanları, *Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi Ve Fuarı*, IMCET 2005, Dokuz Eylül Üniversitesi İzmir Türkiye.
- Günçan, N.F. (1995). Eski Beton Kırığı Agregalı Betonların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 44s., Eskişehir.
- Gürdal, E., Acun, S. (2003). Alçı Malzemenin Taşıyıcılık Özellikleri, *TMH – Türkiye Mühendislik Haberleri*, Sayı: 427 - 2003/5, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Yapı Malzemesi, İstanbul.
- İpekçi, C., Coşkun, N., Tıkansak, T. (2017). İnşaat Sektöründe Geri Kazanılmış Malzeme Kullanımının Sürdürülebilirlik Açısından Önemi, *Türk Bilim Araştırma Vakfı*, Cilt: 10, Say: 2, Sayfa: 43-50.
- Kadyrov, N. (2015). Soğuk Derzin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Kaplan G., Gültekin A.B. (2010). Yapı Sektöründe Uçucu Kül Kullanımının Çevresel Ve Toplumsal Etkiler Bakımından İncelenmesi, *International Sustainable Buildings Symposium (ISBS)*, 26-28 May 2010, Ankara, Turkey.
- Karateke, S.K. (2009). F Tipi Uçucu Kül Kullanılmış Betonların Kül Etkinlik Katsayıları, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Mühendisliği Programı, İstanbul.
- Khanjarkhani, A. (2014). Ham Perlit Agregası İle Üretilen Hafif Betonun Asitlere Karşı Dayanıklılığı, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Bilim Dalı, Erzurum.
- Kılıç, İ. (2012). Atık Betonların Geri Dönüşümünde Süper Akışkanlaştırıcı Katkı Kullanımı, *Electronic Journal of Vocational Colleges*-December/Aralık.
- Kılıç, İ. (2006). Geri Dönüştürülmüş Atık Betonların Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Katkı Kullanımı İle İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Isparta.
- Kılıç, N. (2012). Kentsel Dönüşümde Geri Dönüşüm Atağı, İzmir Ticaret Odası, *Ar&Ge Bülten* 2012 Aralık _Sektörel.

- Konuk, H., 2003. Hafif Agregalı Betonların Mekanik Özellikleri ve Isı Yalıtımı.
- Koru, M. (2017). Köpük Betonun Yoğunluk ve Sıcaklığa Bağlı Isıl İletkenlik Katsayısının Isı Akış Ölçer Yöntemiyle Belirlenmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* Cilt 21, Sayı 2, 614-622, 2017, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta.
- Köken, A., Köroğlu, M., Yonar, F. (2008). Atık Betonların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği, *Selçuk-Teknik Dergisi* ,Cilt 7, Sayı:1-2008.
- Lennon, M. (2005). Recycling Construction and Demolition Wastes A Guide for Architects and Contractors, *The Institution Recycling Network*.
- Nergiz, V. (2007). Yüksek Dayanımlı Betonlarda Durabilite ve İşlenebilirlik, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Oikonomou, N.D. (2005). Recycled Concrete Aggregates, *Cement & Concrete Composites*, 27, 315-318.
- Ören, O.H. (2017). Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Köpük Beton Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Bartın.
- Özalp, F., Yılmaz, H.D., Kaya, Ö., Kara M., Kılıç, Y. (2015). İnşaat ve Yıkıntılardan Geri Kazanılan Agregaların Çeşitli Beton Elemanların Üretiminde Değerlendirilmesi, 9. *Ulusal Beton Kongresi*, Antalya.
- Özdemir, E. (2006). PÇ ve Mineral Katkı Maddelerinin İkili, Üçlü ve Dörtlü Kombinasyonlarını İçeren Harç Numunelerinin Bazı Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- Özdemir, M. (2006). Kayaç Mukavemetinin Beton Dayanımına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- Özden, A.V., 2010 Betonun Basınç Ve Çekme Dayanımı İle Elastisite Modülü Arasındaki İlişkiler Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Özçep, F., Karabulut, S., Özgüven, B., Sanlı O. (2012). Tahribatsız Test Yöntemleri ve Ultrasonik Hız Ölçümleri, *Jeofizik Bülteni*, İstanbul Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Syf: 11-24, Kasım 2012, İstanbul.
- Öztürk, M. (2005). İnşaat/Yıkıntı Atıkları Yönetimi, *Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara.
- Öztürk, M. (2017). İnşaat/Yıkıntı Atıkları (Alo Moloz Hattı), *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, Ankara.

- Paranavithana, S., Mohajerani, A. (2006). Effects of Recycled Concrete Agregates on Properties of Asphalt Concrete, Science Direct, *Resources, Conservation and Recycling* 48, 1-12.
- Poyraz, Ü. (2016). Türkiye İnşaat Yıkıntı Atık Yönetim Sisteminin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Rühl, M. (1997). Water Absorption Capacity of Recycled Demolition Rubble, *Darmstadt Concrete*, Darmstadt, Germany.
- Savaş, Ö., (2002). Atık Betonların Geri Kazanımı, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 66s, Isparta.
- Sofyanlı, Ö. (2015). Silis Dumanı Katkılı Geri Kazanılmış Agregalı Betonların Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı.
- Subaşı, S., İşbilir B., Ercan İ. (2011). Uçucu Kül İkameli Çimento Numunelerinin Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklığın Etkisi, *Politeknik Dergisi* Cilt:14 Sayı: 2 s.141-148, Düzce Üniversitesi, Düzce.
- Şahin, R., Taşdemir, M.A., Gül, R., Çelik C. (2007). Taze Beton Özelliklerinin Optimizasyonu, *Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Derg.* 38 (2), 127-135, 2007 ISSN : 1300-9036.
- Şahin, Y. (2013). Hava Sürükleyici Katkıların Karakterizasyonu ve Deney Koşullarının Betonun Donma-Çözülme Hasarına Etkisi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Mühendisliği Programı, İstanbul.
- Tam, V.W.Y., Tam, C.M. (2006). A Review On The Viable Technology For Construction Waste Recycling, Science Direct, *Resources, Conservation and Recycling* 48, 209-221.
- Taşdemir C. (2003). Hafif Betonların Isı Yalıtım ve Taşıyıcılık Özellikleri, TMH - *Türkiye Mühendislik Haberleri* Sayı 427 - 2003/5, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2005). “Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği”, 16 s.
- Topçu, İ., Sengel, S. (2003). Atık Beton Agregasıyla Üretilen Betonların Özellikleri, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- Tosun, Y. (2014). Geri Kazanılmış Agregalı Betonların CDF Yöntemi ile Donma-Çözülme (Yüzeysel Kabuk Atma) Dirençlerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Bilim Dalı, Erzurum.
- TS EN 206-1 (2002). Yönetmelik, Beton, Özellik, Performans, İmalat, Uygunluk.

- Tüfekçi, M.M. (2011). Geri Kazanılmış Agregaların Beton Üretiminde Yeniden Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı, İstanbul.
- Türkel E. B., 2002, Betonda Basınç Dayanımı İle Elastisite Modülü Arasındaki İlişkiler, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Uçar, H., Anıl M. (2008). Kırmataşların Beton Agregasında ve Hazır Beton Tesislerinde Kullanılma Kriterleri Örnek Uygulama Sağlıklı Köyü Kalker Ocağı, Yüksek Lisans Tezi, Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Cilt:19-4.
- Uslu, G., Uzun, B. (2014). Kentsel Dönüşüm Projelerinde Deprem Etkisi, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt: 6, No: 2, Syf: 1-11, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fak. Harita Mühendisliği Böl., 55139 Samsun, Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fak. Harita Mühendisliği Böl., 61080 Trabzon.
- Yetgin, H., Ünal, H. (2008). Polimer Esaslı Köpük Malzemeler, *Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Sayı:17.
- Yetgin Ş., Çavdar A. (2003). Uygulamada Taze Beton Kıvam Sorunu, *Türkiye Mühendislik Haberleri* Sayı 427 - 2003/5.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Miraç OĞUZ
Doğum Yeri ve Tarihi : BARTIN / 14.08.1989

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans Öğrenimi : Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce (Orta)
Bilimsel Faaliyet/Yayımlar : Oğuz, M., Gençel O., Dugun M.Y. (2019). Geri Dönüştürülmüş Betonların Köpük Betonda Kullanılabilirliğinin Araştırılması Konu Başlıklı Bildiri, Hasan Kalyoncu Üniversitesi 6. Uluslararası Multidisipliner Kongresi, 26-27 Nisan Gaziantep.

İş Deneyimi

Stajlar : Çelikler Taahhüt İnşaat ve San. Aş. Zonguldak-Amasra-Cide-Abana-Sinop Karayolu Km: 0+000-25+000 ve Km: 0+000-5+000 Arası Ulaştırma Projesi.
Çalıştığı Kurumlar : Ünlügül Yapı Denetim Ltd. Şti. (Bartın)
İnşaat Mühendisi – Kontrol Elemanı
Toksözler Petrol Ürün. Nak. İnş. San. Tic. Ltd. Şti.
Çaycuma ve Bartın 1000 Kişilik Öğrenci Yurdu Yapım İşleri, İnşaat Mühendisi - Şantiye Şefi

İletişim

E-Posta Adresi : oguzmirac@gmail.com

Tarih : 17/06/2019 (Tez Savunma Tarihi)