



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



**KURŞUN MADEN ATIKLARININ BETON AGREGASI OLARAK  
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Fatih Sultan SEMİZ**

**NİSAN 2016**  
**GÜMÜŞHANE**

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

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**KURŞUN MADEN ATIKLARININ BETON AGREGASI OLARAK  
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Fatih Sultan SEMİZ**

**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
“İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı”  
Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 22.03.2016  
Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 21.04.2016**

**NİSAN 2016**



## KABUL VE ONAY



Doç. Dr. Mustafa ÇULLU danışmanlığında **Fatih Sultan SEMİZ** tarafından hazırlanan **“KURŞUN MADEN ATIKLARININ BETON AGREGASI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI”** isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.

## ONAY

Bu tez 21.02.2017 tarih ve 13211 sayılı yazıya istinaden YÖK'ten alınan görüş doğrultusunda 27.11.2019 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Ferkan SİPAHİ

Fen Bilimleri Enstitü Müdür

Bu çalışma TÜBİTAK projeleri kapsamında desteklenmiştir.  
Proje No: 113M317

## TEZ BEYANNAMESİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalı'nda, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum "**KURŞUN MADEN ATIKLARININ BETON AGREGASI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**" isimli tez çalışmasında; bütün bilgi ve belgeleri genel akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı bütün bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak hazırlayıp sunduğumu, başka kaynaklardan yararlandığım bilgileri metin ve kaynaklarda eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma süresince bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksi durumda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 22/03/2016

Fatih Sultan SEMİZ

**ÖZET**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KURŞUN MADEN ATIKLARININ BETON AGREGASI OLARAK**  
**KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Fatih Sultan SEMİZ

Gümüşhane Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇULLU

2016, 86 sayfa

Bu çalışmanın amacı; kurşun cevherinin çıkarıldığı madenlerde, içerisindeki kurşun miktarının işlenmesinin ekonomik olmadığı kurşun madeni atığı (Pasa) kayalardan üretilen betonların beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu kapsamda beton agregası olarak kullanılacak kayaların fiziksel, kimyasal, mineroloji ve petrografik özellikleri belirlenmiştir. Pasa ve kireçtaşı agregaları ile %25, %50 ve %75 oranında yer değiştirilerek C16, C25 ve C35 beton dayanım sınıflarında örnekler hazırlanmıştır. Hazırlanan beton örnekler üzerinde, su emme oranı, görünür boşluk oranı, yoğunluk, basınç dayanımları, eğilme dayanımı, statik elastisite modülü, poisson oranı, tahribatsız test yöntemleri “yüzey sertliği (Schmidt Çekici), ultrasonik ses hızı metodu ölçümü,

donma çözüme dayanımı, aşınma dayanımı, kapilarite ve karbonatlaşma testleri yapılmıştır.

Sonuç olarak; kurşun madeni atığı kayaçların beton karışımına giren agrega içerisindeki oranının artışına bağlı olarak betonun yoğunluğu, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, elastisite modülü, donma çözüme dayanımı, aşınma dayanımı değeri ve tahribatsız yöntemle belirlenen basınç dayanımı değerlerinde olumlu etkisi olduğu görülmüştür. Pasa miktarı arttıkça su emme oranının, görünür boşluk oranının, poisson oranının, kapilarite ve karbonatlaşma değerlerinin düştüğü görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Atıkların kullanımı, Betonun fiziksel özellikleri, Kurşun madeni atığı.



**ABSTRACT**  
**MS THESIS**

**INVESTIGATION OF THE USABILITY OF LEAD MINE WASTE AS  
CONCRETE AGGREGATE**

Fatih Sultan SEMİZ

Gümüşhane University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Mustafa ÇULLU

2016, 86 pages

The purpose of this study is to investigate the usability of concrete as concrete aggregates produced from the economically not feasible lead waste products (tallow) in the mines of removed lead ore. In this context, the physical chemical, mineralogical and petrography characteristics of rocks which are used as concrete aggregates are determined. Concrete strength classes of C16, C25 and C35 replaced with 25%, 50% and 75% rates of limestone were prepared with lead mine waste. On the prepared concrete examples, water absorption, apparent porosity, density, compressive strength, flexural strength, static elasticity modulus, poisson's ratio, non-destructive testing methods "surface roughness (Schmidt hammer), ultrasonic pulse velocity", freeze thaw resistance, abrasion resistance, capillarity and carbonation tests were performed.

As a result; the ratio of tallow in concrete aggregate positive effect on density, compressive strength, flexural strength, static elasticity modulus, freeze thaw resistance, abrasion resistance and compressive strength with non-destructive testing methods "surface roughness (Schmidt hammer), ultrasonic pulse velocity". It was seen that as tallow ratio was increased the values of water absorption, ratio of the apparent porosity, poisson's ratio, capillarity and carbonation were decreased.

**Keywords:** The use of waste, Physical properties of concrete, Lead mine waste.



## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bilgi, deneyim ve yardımlarını esirgemeyen danıőmanım, değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇULLU'ya, deneyimlerini benimle paylaőan kıymetli hocam Yrd. Doç. Dr. Hakan BOLAT' a, değerli hocam Doç. Dr. Ahmet ÇAVDAR'a ve Arő. Gör. Murat GÜNAYDIN'a őükranlarımı sunarım.

Çalıőmam boyunca maddi manevi desteğini esirgemeyen babama ve aileme, yüksek lisans çalışma arkadaşlarıma, kurumdaki mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

113M317 proje numarası ile maddi olarak destekleyen TÜBİTAK Başkanlığına teşekkür ederim.

Fatih Sultan SEMİZ  
Gümüşhane, 2016

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET .....	IV
ABSTRACT .....	VI
TEŞEKKÜR .....	VIII
İÇİNDEKİLER .....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	XII
TABLolar DİZİNİ .....	XIV
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	XV
1. GENEL BİLGİLER .....	1
1.1. Giriş .....	1
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	3
2.1. Normal Beton .....	4
2.2. Hafif Beton .....	4
2.3. Ağır Beton .....	5
2.4. Atıkların Betonda Kullanımı .....	6
2.4.1. Uçucu Kül .....	7
2.4.2. Yüksek Fırın Cürufu .....	10
2.4.3. Mermer Atıkları .....	14
2.4.4. İnşaat ve Yıkıntı Atıkları .....	18
2.4.5. Lastik Atıkları .....	22
2.5. Çalışmanın Amacı .....	25
3. BULGULAR .....	26
3.1. Materyal .....	26
3.1.1. Agregalar .....	26
3.1.1.1. Kurşun Madeni Atıkları (Pasa) .....	26
3.1.1.2. Kireçler .....	28
3.1.2. Çimento .....	28
3.1.3. Karışım Suyu .....	29
3.2. Metot .....	29
3.2.1. Beton Örneklerinin Üretimi .....	29
3.2.2. Agrega Deneyleri .....	33
3.2.2.1. Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranı Tayini .....	33

3.2.2.2.	Agrega Aşınma Miktarı Tayini (Los Angeles Deneyi) .....	34
3.2.2.3.	Agregaların Kimyasal Özelliklerinin Tayini .....	34
3.2.2.4.	Agregaların Minerolojisi ve Petrografik Özelliklerinin Tayini .....	35
3.2.3.	Sertleşmiş Beton Deneyleleri .....	35
3.2.3.1.	Su Emme Oranı Tayini .....	35
3.2.3.2.	Sertleşmiş Betonun Görünür Boşluk Oranı Tayini.....	36
3.2.3.3.	Sertleşmiş Betonun Görünür Yoğunluk Tayini .....	36
3.2.3.4.	Beton Basınç Dayanımı Tayini.....	37
3.2.3.5.	Eğilme Dayanımı Tayini.....	38
3.2.3.6.	Statik Elastisite Modülü Tayini .....	38
3.2.3.8.	Tahribatsız Test Yöntemleri ile Beton Basınç Dayanımı Tayini.....	40
3.2.3.9.	Donma Çözülme Dayanımı Tayini .....	41
3.2.3.10.	Aşınma Dayanımı Tayini.....	42
3.2.3.11.	Kapilarite Tayini .....	43
3.2.3.12.	Karbonatlaşma Derinliği Tayini .....	44
4.	TARTIŞMA VE İRDELEME .....	45
4.1.	Agrega Deneyleleri.....	45
4.1.1.	Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranı Tayini .....	45
4.1.2.	Agrega Aşınma Miktarı Tayini (Los Angeles Deneyi) .....	45
4.1.3.	Agregaların Kimyasal Analiz “Oksit Ağırlık” Değerleri .....	46
4.1.4.	Agregaların Minerolojisi ve Petrografik Özelliklerin Tayini .....	47
4.2.	Sertleşmiş Beton Deneyleleri .....	48
4.2.1.	Sertleşmiş Betonun Su Emme Oranı .....	48
4.2.2.	Sertleşmiş Betonun Görünür Boşluk Oranı .....	50
4.2.3.	Sertleşmiş Betonun Görünür Yoğunluğu.....	51
4.2.4.	Beton Basınç Dayanımı .....	52
4.2.5.	Eğilme Dayanımı .....	56
4.2.6.	Statik Elastisite Modülü.....	61
4.2.7.	Poisson Oranı.....	62
4.2.8.	Tahribatsız Test Yöntemleri İle Beton Basınç Dayanımının Tayini .....	64
4.2.9.	Donma Çözülme Dayanımı .....	68
4.2.10.	Aşınma Dayanımı .....	72
4.2.11.	Kapilarite .....	73
4.2.12.	Karbonatlaşma .....	77

5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	79
6.	KAYNAKLAR.....	81
	ÖZGEÇMİŞ	



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Hafif betonların sınıflandırılması (Mindess ve Young., 1981).....	5
Şekil 2.2. Uçucu küllerin oluşturduğu bir atık yığını.....	8
Şekil 2.3. Atık mermer yığınlarından bir görünüm.....	16
Şekil 2.4. Atık inşaat ve yıkıntı yığınlarından bir görünüm.....	21
Şekil 2.5. Atık lastik yığınlarından bir görünüm .....	24
Şekil 3.1. Çeneli kırıcı ve elek sarsma makinası.....	26
Şekil 3.2. Gümüştaş maden sahası jeolojik haritası .....	27
Şekil 3.3. Çeneli kırıcıda kırılmış sınıflarına ayrılmış kurşun madeni atığı kayaçları	27
Şekil 3.4. Kireçtaşı agregası.....	28
Şekil 3.5. Düşey eksenli cebri karıştırılmalı mikser.....	31
Şekil 3.6. Betonun karışım işlem aşamaları .....	31
Şekil 3.7. Yapılacak deneysel çalışma için üretilen deney örnekleri.....	32
Şekil 3.8. Isı kontrollü kür havuzları.....	32
Şekil 3.9. Numune başlıklama cihazı ve yüzeyi düzeltilmiş örnek .....	32
Şekil 3.10. Beton basınç presı .....	37
Şekil 3.11. Eğilme basınç presı .....	38
Şekil 3.12. Deformasyon değerlerini belirlemede kullanılan kompressometre .....	39
Şekil 3.13. Schmidt Çekici (a) ve Ultrases cihazı (b) .....	40
Şekil 3.14. Donma çözülme cihazı.....	42
Şekil 3.15. Aşındırma testi cihazı .....	43
Şekil 3.16. Kapilarite deney düzeneği .....	44
Şekil 3.17. Karbonatlaşma derinliğinin belirlenmesi.....	44
Şekil 4.1. Pasaya örneğine ait ince kesit fotoğrafı (a): tek nikol, (b): çift nikol (kl: kalsit, op: opak mineral) .....	47
Şekil 4.2. Kireçtaşı örneğine ait ince kesit fotoğrafı (a): mikritik dokulu kireçtaşı tek nikol, (b) çift nikol (kp: kayaç parçası, kl:kalsit).....	48
Şekil 4.3. Kireçtaşı-pasa agrega karışımı ile üretilen beton örneklerin su emme oranı değerleri .....	49
Şekil 4.4. Kireçtaşı-pasa agrega karışımı ile üretilen beton örneklerin ortalama görünür boşluk oranı değerleri.....	50
Şekil 4.5. Kireçtaşı-pasa agrega karışımı ile üretilen beton örneklerin ortalama görünür yoğunluk değerleri .....	51

Şekil 4.6.	Kireçtaşı-Pasa karışımı C16 dayanım sınıfındaki betonlara ait 3, 7 ve 28 günlük ortalama basınç dayanımı değerleri .....	53
Şekil 4.7.	Kireçtaşı-Pasa karışımı C25 dayanım sınıfındaki betonlara ait 3, 7 ve 28 günlük ortalama basınç dayanımı değerleri .....	54
Şekil 4.8.	Kireçtaşı-Pasa karışımı C35 dayanım sınıfındaki betonlara ait 3, 7 ve 28 günlük ortalama basınç dayanımı değerleri .....	55
Şekil 4.9.	Tüm dayanım sınıflarında 100P beton örneklerin Kuvvet-Sehim ve Enerji-Sehim değerleri .....	56
Şekil 4.10.	C16 dayanım sınıfında Kireçtaşı-Pasa karışı beton örneklerin Kuvvet-Sehim ve Enerji-Sehim değerleri .....	57
Şekil 4.11.	C25 dayanım sınıfında Kireçtaşı-Pasa karışı beton örneklerin Kuvvet-Sehim ve Enerji-Sehim değerleri .....	58
Şekil 4.12.	C35 dayanım sınıfında Kireçtaşı-Pasa karışı beton örneklerin kuvvet-sehim ve enerji-sehim değerleri .....	60
Şekil 4.13.	Kireçtaşı Pasa agrega karışımı betonlara ait ortalama statik elastisite modülü değerleri .....	61
Şekil 4.14.	Kireçtaşı-Pasa agrega karışımı betonlara ait poisson oranı değerleri .....	63
Şekil 4.15.	Kireçtaşı-Pasa karışımı C16 dayanım sınıfındaki betonlara ait tahribatlı ve tahribatsız yöntemle belirlenen basınç dayanımı değerleri .....	65
Şekil 4.16.	Kireçtaşı-Pasa karışımı C25 dayanım sınıfındaki betonlara ait tahribatlı ve tahribatsız yöntemle belirlenen basınç dayanımı değerleri .....	66
Şekil 4.17.	Kireçtaşı-Pasa karışımı C35 dayanım sınıfındaki betonlara ait tahribatlı ve tahribatsız yöntemle belirlenen basınç dayanımı değerleri .....	67
Şekil 4.18.	Kireçtaşı-Pasa karışımı agrega ile üretilen C16 dayanım sınıfındaki betonların dinamik elastisite modülü değişimi .....	68
Şekil 4.19.	Kireçtaşı-Pasa karışımı agrega ile üretilen C25 dayanım sınıfındaki betonların dinamik elastisite modülü değişimi .....	69
Şekil 4.20.	Kireçtaşı-Pasa karışımı agrega ile üretilen C35 dayanım sınıfındaki betonların dinamik elastisite modülü değişimi .....	70
Şekil 4.21.	Kireçtaşı-Pasa karışımı agrega ile üretilen beton örneklerin dayanıklılık faktörü değerleri .....	71
Şekil 4.22.	Kireçtaşı-pasa agrega karışımı ile üretilen beton örneklerin aşınma değerleri .....	72
Şekil 4.23.	Kireçtaşı-Pasa karışımı C16 dayanım sınıfındaki betonlara ait kapilarite değerleri .....	74
Şekil 4.24.	Kireçtaşı-Pasa karışımı C25 dayanım sınıfındaki betonlara ait kapilarite değerleri .....	75
Şekil 4.25.	Kireçtaşı-Pasa karışımı C35 dayanım sınıfındaki betonlara ait kapilarite değerleri .....	76
Şekil 4.26.	Kireçtaşı-pasa agrega karışımı ile üretilen beton örneklerin karbonatlaşma derinliği değerleri .....	77

## TABLolar DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Tablo 3.1. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri.....	28
Tablo 3.2. Beton serilerinin kodlanması ve oransal değişimleri.....	29
Tablo 3.3. TS 802 referans alınarak Kurşun madeni atığı (Pasa) agregası ile üretilen 1m <sup>3</sup> beton için hazırlanmış karışım dizaynı.....	30
Tablo 3.4. TS 802 referans alınarak Kireçtaşı agregası ile üretilen 1m <sup>3</sup> beton için hazırlanmış karışım dizaynı .....	30
Tablo 3.5. Mikro dalgada parçalama programı .....	35
Tablo 4.1. Agregalara ait fiziksel özellikler.....	45
Tablo 4.2. Agregaların aşınma miktarları (Los Angeles Deneyi).....	45
Tablo 4.3. Beton üretiminde kullanılan agregaların kimyasal özellikleri.....	46
Tablo 4.4. Tahribatsız test yöntemi ile Kireçtaşı-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan betonlara ait tahmin edilen basınç dayanımı değerleri .....	64

## SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ACI : Amerika beton enstitüsü

Al : Alüminyum

Mg : Magnezyum

C : Karbon

°C : Santigrat

Ca : Kalsiyum

Fe : Demir

GKA : Geri kazanılmış agrega

GYFC : Granüle yüksek fırın cürufu

İYA : İnşaat ve yıkıntı atıkları

KAK : Kazan altı külü

kg : Kilogram

KYB : Kendiliğinden yerleşen beton

lt : Litre

mm : Milimetre

O : Oksijen

Pb : Kurşun

Si : Silisyumun

UK : Uçucu kül

W/C : Su/Çimento

YSA : Yapay sinir ağları

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Her geçen gün azalmakta olan doğal kaynaklarımız dikkatlice kullanılmadığı takdirde bir gün tükeneceği şüphesizdir. Olayları genellikle günlük değerlendirip geleceği pek fazla dikkate almayan insanoğlu, son yıllarda çevre sorunlarının artması ile beraber bu bakış açısında bazı değişimler meydana gelmiştir. Artık insan ve onun dünya arenasındaki yansımaları olan devletler geleceği düşünmeye ve doğal kaynakların dışında da kaynak arayışına girmeye başlamıştır.

Gelişmiş ülkeler tarafından doğal kaynaklar bir yolla fazla tüketiliyor olması gelişmekte olan ülkeler için bir sorun doğurmaktadır. Ayrıca gelişmiş ülkelerin nüfusundaki fazlalık ve hayat standartlarını üst seviyeye çekme çabalarını yeni enerji kaynaklarına yönelmesini gerektirmektedir. Dünyamızda kısıtlı olan kaynaklardan dolayı mevcutta kullanılabilirliğini yitiren maddelerin geri dönüştürülmesi büyük önem kazanmıştır. Son yıllarda geri dönüşüm üzerine büyük harcamalar ve büyük çalışmalar yapılmaktadır. Ülkemizde ise bu çalışmalar diğer ülkelere nazaran daha ağırdan alınmaktadır. Bunun en büyük nedenlerinin başında teknolojinin geri kalmış olması ve gerekli bilincin oluşmamasıdır. O kadar ki bazı sanayi işletmelerimiz geri dönüşüm yapmayı bırakın atıklarını bertaraf etmek için bile bir çabaya girişmemektedir. Oysa ülkemizde 20 yıl önceki nüfus oranlarının üzerinden yapılan araştırmaya göre yılda 13 milyon ton evsel atık, 19-20 milyon ton civarında ise belediye atığı meydana gelmektedir. Her ne kadar ülkemizde asfalt, beton, agrega vs. malzemelerin geri dönüştürülmesi çok uygulanmasa da cam ve kağıt gibi malzemelerde geri dönüşüm yapılmaktadır.

Atıklara hammadde gibi kullanılarak yeni bir maddeye dönüştürülmesine geri dönüşüm denir. Geri dönüşüm süreci; kaynaktan ayırma, değerlendirilebilir atıkları ayrı toplama, sınıflama, değerlendirme ve yeni ürünü ekonomiye kazandırma olmak üzere beş önemli basamaktan oluşmaktadır. Geri kazanım ise meydana çıkan atıkların malzemenin cinsine göre belli başlı yöntemler uygulanarak yeni bir ürün oluşturmaya denir. Gelişmekte olan ülkeler kaynaklarını kontrollü bir şekilde kullanmak ve israf oranlarını azaltmak zorundadırlar. Nüfus artışıyla birlikte ülkemizde ambalajlı ürün kullanımı ve atık miktarında da artış olmuş, bu durumda geri kazanım ekonomik bir değer haline gelmiştir.

Çevre Bakanlığı tarafından 1991 yılında yayımlanan Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği ile geri kazanım yasal zorunluluk haline dönüşmüştür.

Ülkemizin yeni enerji kaynağı arayışları ve nüfusun artması ile enerji ihtiyacının artması devleti geri dönüşüm ve geri kazanım konusunda yasal düzenlemeler yapmaya itmiştir. Yapılan bu yasal düzenlemeler sonucunda sanayi işletmelerine ağır müeyyideler getirildiğinden uygulama hızla yayılmaya başlamıştır. Hem uluslararası boyutta hem de ülkemiz olarak geri dönüşün üzerinde yapılan çalışmaların amacı, atık yönetimi konusunu yaygınlaştırarak, atık seviyelerini düşürmek, dolayısı ile çevre üzerindeki olumsuz etkileri azaltmak, yeni hammadde kaynağı arayışlarını azaltmak ve enerji tasarrufu sağlamaktır.

Bu çalışmada, kurşun maden ocaklarında içerisindeki kurşun miktarının düşük olmasından dolayı atık olarak depolanan, kurşun maden atığı kayaçlarının beton agregası olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu sayede atık olarak atık olarak olumsuz çevresel etkileri olan kayaçlarının beton agregası olarak kullanımı ile çevresel etkileri azaltılması ve ekonomiye kazandırılması amaçlanmıştır.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Beton dünyada kullanılan en yaygın yapı malzemelerinin başındadır. İlk bulunuşu 18. yüzyıla kadar uzanmakta olan betonun yapı haline yani betonarme bina şeklini alması 1852 yılında olmuştur. Çimentonun patentinin de aynı yıllarda alındığı düşünülmektedir. İlk betonarme yapı Türkiye’de 1920 yılında yapılmış fakat beton la ilgili gelişme asıl olarak 2. Dünya Savaşından sonra olmuştur. 1905 ve 1906 yılında ise betonla ilgili ilk şartnameler ABD ve Almanya’da oluşturulmuştur (Güner, 1999).

Betonarmenin temel iki malzemesinden biri olan beton Türkiye’de yaygın olarak kullanılmaktadır fakat hazır beton 1980’lerin sonunda devreye girmiştir. Bu yıllara kadar beton genellikle ilkel yöntemlerle üretilmiştir. Türkiye’de 2013 yılında %10 büyümeye göstererek 93 milyon metreküp olan üretimini 102 milyon metreküpe çıkarmıştır. Hazır beton üretiminde, bu rakamla Türkiye Avrupa da birinci, dünyada ise üçüncüdür. Dünya çapında hazır beton üretiminde ise ilk iki sırayı Çin ve ABD almaktadır (THBB, 2015).

Beton çimento, su ve agrega ile üretilen kompozit bir malzemedir, gerektiğinde katkı maddesi de eklenmektedir.

Betonu ve diğer yapı malzemeleri arasında farklılıklar bulunmaktadır. Beton bazı avantajlı özelliklerinden dolayı diğer yapı malzemelerinde ayrılmaktadır. Bu avantajlı özellikler şunlardır:

- Taze betonun plastik özelliği bulunmaktadır ve bu özelliği sayesinde beton elemanlar istenilen şekil ve boyutlarda kolay bir şekilde üretilmektedir.
- Sertleşmiş beton elemanlar ise ister yapıdaki yerinde ister bir fabrikada önceden üretilmektedir.
- Beton, yerleştirme metotlarında kolaylık ve çeşitlilik sağlamaktadır.
- Sertleşmiş beton yüksek basınç dayanımına sahiptir.
- Sertleşmiş beton, çevrede meydana gelen yıpratıcı etkiler karşısında hizmet gördüğü süre boyunca, diğer yapı malzemelerinin çoğundan daha dayanıklı olmaktadır.
- Betonun bir özelliği de, çelik donatılarla çok iyi aderans gösterebilecek kapasitede olmasıdır.
- Beton, diğer yapı malzemelerinden daha ekonomiktir.
- Beton, estetik amaçlarla kullanılabilir özelliktedir (Erdoğan, 2007).

Beton, kullanım amacına göre çok çeşitli tiplerde elde edilebilmektedir. Beton teknolojisi teknolojinin ilerlemesiyle paralel olarak ilerlemiş ve beton teknolojisine özel betonlar adı altında yenilikler girmiştir. Özel betonlar, farklı beklentileri karşılamak amacıyla üretilmektedir. Farklı özelliklere sahip özel beton türlerinden bazıları ağır beton, yüksek akıcılığa sahip beton, taşıyıcı hafif beton, ısıya dayanımı yüksek olan beton, yalıtım özellikli beton gibi beton türleridir.

Birim hacim ağırlığına göre beton 3 kısma ayrılır ve bunlar şu şekildedir;

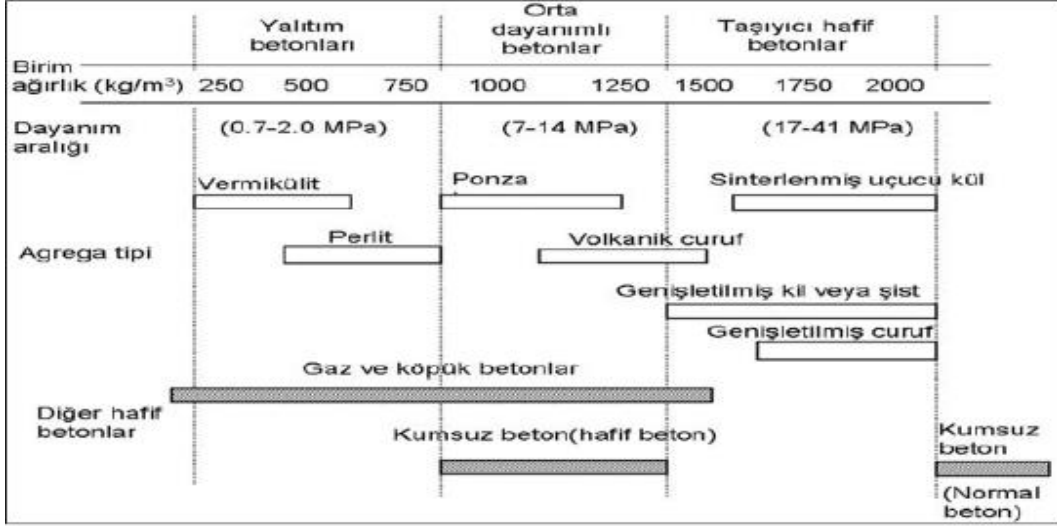
- Hafif Beton: 700 ila 2.000 kg/dm<sup>3</sup>
- Normal Beton: 2.000 ila 2.800 kg/dm<sup>3</sup>
- Ağır Beton: 2.800 ila 5.000 kg/dm<sup>3</sup>

### **2.1. Normal Beton**

Normal betonun birim hacim ağırlığı 2000 ila 2800 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmekte ve doğal taneli agregaya ile üretilmektedir. Ayrıca önemli bir özellik aranmayan binaların yapımında normal beton kullanılmaktadır. Normal beton üretiminde normal yoğunluklu agregalar kullanılmaktadır. Maliyeti ucuz, dayanımı yüksek ve işlenmesi kolay olduğunda diğer yapı malzemelerinden daha çok kullanılmaktadır (URL-1, 2012).

### **2.2. Hafif Beton**

Birim hacim ağırlığı (yoğunluğu) 700-2000 kg/m<sup>3</sup> olan betonlara hafif beton denir. Kolay şekil alabiliyor olması, yük olarak fazla olmaması, ses ve ısı yalıtımında iyi olması, yanmayan özellikleri yanında bir de yeterli dayanımı tutturuyor olması hafif betonu diğer beton türlerinden bir adım daha öne çıkarmaktadır. Hafif olması ve ısı yalıtımı sağlayan boşluklara sahip olması onu normal betondan ayıran özellikleridir. Yapı elemanında ısı, ses ve hafiflik özellikleri arandığında veya atık maddeler değerlendirilmek istendiğinde genellikle bu betonlar yapılmaktadır (Topçu, 2006).



Şekil 2.1. Hafif betonların sınıflandırılması (Mindess ve Young, 1981).

Hafif beton üretiminde kullanılan agregalar arasında sünger taşı, pomza, kil ve silt kaynaklı agregalar yer almaktadır.

Hafif agregaları sınıflandırmak için; organik, yapay veya doğal olmalarına ve elenme, kırılma, yıkanma dışında bir işlem görüp görmediklerine bakılır.

Doğal hafif agregalar: Nehir yatakları, eski buzul yatakları, deniz ve göl kenarları taş ocaklarından alınan ve üzerinde kırma, yıkama ve sınıflandırma dışında hiçbir işlem yapılmayan agrega türleridir.

Yapay hafif agregalar: Beton üretimi ile doğrudan ilgisi bulunmayan bir endüstride yan ürün veya atık malzemelerdir. Bunun yanında ısıl işlem uygulanmış agregalarda bu sınıfa girmektedir. Başlıca yapay agregalar yüksek fırın cürufu, genişletilmiş kil, uçucu kül, perlit, obsiden, vermikülit veya arduvazdır (Sancak, 2005).

### 2.3. Ağır Beton

Ağır betonların agregaları ağırdır. Normal betonlarla arasındaki fark kütle olarak daha ağır agregaların kullanılıyor olmasıdır. Bunun sonucunda birim kütleleri de büyük olmaktadır (Çetmeli, 1974). Bu agregaların bir kısmı veya tamamı metal agregalardan oluşur. Bu agregalar barit, limonit, magnetit vb. demirli minerallerdir. Ağır betonların yoğunluğu 2800kg/m<sup>3</sup>'ten daha büyük olan betonlardır. Normal betonlardan farkı kullanılan agregadır (Topçu, 2006).

Ağır betonların kullanıldığı alanlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Hastanelerde bulunan radyografi ve ışın tedavi tesislerinde,
- Nükleer enerji santrallerinin koruyucu perdeleri,
- Radyoaktif maddeleri saklamada kullanılan ön gerilmeli beton reaktör siloları,
- Elektron depolama devreleri,
- Köprü ayakları,
- Beton ağırlık baraj gövdeleri,
- Askeri mühimmat depo duvarları,
- Askeri sığınaklar,
- İstinat duvarları,
- Su altı petrol boru hatları,
- Petrol sondaj kuyusu çeperleri (Yılmazer, 2009).

#### **2.4. Atıkların Betonda Kullanımı**

Günümüzde dünya nüfusu hızlı bir şekilde artmakta ve mevcut kaynaklar da hızla tükenmektedir. Bu durum ortaya çıkan atıkların azaltılması, oluşan atıkların hammadde kaynağı olarak yeniden değerlendirilmesi ve kullanılmış hammaddelerin tekrar kullanılması vb. atık yönetimi konularını daha önemli hale getirmeye başlamıştır (Akbulut ve Gürer, 2006). Çevreye olan duyarlılık gün geçtikçe artmakta ve bunun bir sonucu olarak da çevre kirliliğinin, doğal kaynakların tüketiminin ve enerji maliyetlerinin azaltılması amacıyla endüstriyel atık kullanımı her geçen gün biraz daha fazla ilgi çeken bir konu olmaktadır (Çelik, 2004). Atıklar çevreye zarar vermelerinin yanı sıra depolanmalarının zor olması nedeniyle de ek maliyetlere sebep olmaktadır. Bu maliyeti ortadan kaldırmak amacıyla birçok atık tekrar kullanılıp kullanılamayacağına bakılmadan ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır. Ancak, birçok atık katma değerı yüksek ürünlerin üretilmesinde kullanılabilir (Kaya ve Turan, 2004). Beton üretiminde kullanılabilen birçok atık malzeme bulunmaktadır. Bu malzemelerin başında;

- Uçucu kül,
- Yüksek fırın cürufu,
- Mermer atıkları,
- İnşaat ve yıkıntı atıkları,
- Lastik atıkları gelmektedir.

#### **2.4.1. Uçucu Kül**

Önceki yıllarda üzerinde herhangi bir çalışma yapılmayan uçucu kül ile ilgili çalışmalar son 25 yılda yoğunluk kazanmıştır. Yapılan çalışmalar genellikle laboratuvar ortamına mahkûm edilmiş, daha sonraki yıllarda arazide kullanım koşulları araştırılmıştır. Arazi de özellikle yol yapımında kullanılması ile büyük miktardaki bu atık maddenin termik santrallerden uzaklaştırılmasına çözüm getirilmiştir. Yapılan çalışmaların sonucunda, uçucu külün özellikle yol yapımında, dolgu ve enjeksiyon işlemlerinde ve zemin stabilizasyonunda kullanılması öngörülmektedir (Seals, 1977).

Gün geçtikçe uçucu külle ilgili bazı standartların belirlenmesi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların yapılış amacı uçucu külün kullanılacağı yere, zamana, yapının cinsine ve üretilen uçucu külün yapısına göre değiştiğindedir (Ovens, 1979; Morrison, 1970).

Şu anda ülkemizde TS 639 'Uçucu Küller" ve TS 640 'Uçucu Küllü Çimento" standartları kullanılmaktadır. Bu standartlar Türk Standartları Enstitüsü tarafından çıkarılmıştır. Uçucu küller neredeyse her yapı grubunda kullanılmaktadır. Bunların başında baraj duvarları köprü ayakları, maden ve diğer yapıların dolgu enjeksiyonlarında kullanılmaktadır. Bunun yanında diğer pek çok inşaat yapılarında, tarımda çatı bahçesi ve ağaçlandırma çalışmalarında, agrega olarak otoyol, köprü yol ve briket yapımında, endüstride hatıl dolgu maddesi, asfalt içinde dolgu maddesi, yol drenaj kanallarında kullanılmaktadır.

Türkiye’de ki uçucu külün yapılan araştırmalar sonucunda iyi bir kaliteye sahip olduğu 1960’lı yıllarda yapılan araştırmalar sonucunda elde edilmiştir. Ancak uçucu kül hakkındaki bilgi eksikliği, teknik ve ekonomik olarak getirileri üzerinde çok durulmaması göze çarpmaktadır. Bundan dolayı da gerekli ilerleme sağlanamamış ve yaygın bir kullanım ağı oluşturulamamıştır. Bu konuda gelişim sağlanabilmesi için, uçucu kül

özelliklerinin ve standartların belirlenmesinin öncesinde kalite kontrol yöntemleri geliştirilmeli, taşıma ve pazarlama gibi faktörler incelenmelidir. Bugüne kadar yapılan çalışmalar genellikle Türkiye'deki uçucu küllerin, hafif agrega ve beton yapımında kullanılmasını, çimento katkı maddesi olarak kullanılmasını, su yapıları ve inşaatlarında kullanılmasını önermektedir (Kefelioğlu, 1998).



Şekil 2.2. Uçucu küllerin oluşturduğu bir atık yığını

Çelik (2004) yaptığı çalışmada, Ovacık ve Bergama yöresinde bulunan altın madeninden çıkardığı atık çamurunu silis dumanı olarak ve iki farklı uçucu külü kullanmıştır. Çalışmada PÇ 42.5 klinkerine %15, %25 oranında uçucu kül atığı ve silis dumanı katmıştır. Sonra bunların üzerinde 2, 7, 28 ve 56. gün sonundaki basınç dayanımları tespit etmiştir.

Aruntaş (2006) yaptığı çalışmada, uçucu külün alternatif bir kaynak olarak inşaat sektöründe kullanılabilirliğini incelemiştir. Dünyada yaşanan petrol krizi ile beraber mevcut enerji kaynaklarının dışında yeni enerji kaynakları bulunabilir mi diye çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar günümüz de devam ettiği gibi gelecekte de hız kesmeden devam edeceği öngörülmüyor. Atıkların geri dönüştürülmesinde ki en büyük etkenin çevre kirliliğine sebep veriyor olmaları göz önüne alındığında uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanılması çok önemlidir. Uçucu külün özellikleri, bu malzemenin puzolanik bir malzeme olduğunu ve inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Türk vd. (2006) çalışmasında, çimento yerine kullanılan F sınıfı uçucu kül (UK) miktarının kendiliğinden sıkışan betonun (KSB) özellikleri üzerine etkisi araştırmıştır. Çimento yerine farklı oranlarda F sınıfı uçucu kül miktarı (%25, %30, %35 ve %40) içeren KSB karışımları kullanılmıştır ve bu karışımlar için çökme-yayıma, L-kutusu, t500 ve V-hunisi işlenebilirlik deneyleri yapılmıştır. Deneylerde, karışıma giren agregalardan doğal kum ile çakıl oranları ve özel süper akışkanlaştırıcı (Viscocrete 3075) miktarı sabit tutulmuş, çimento yerine kullanılan uçucu kül oranları ise değiştirilmiştir. Karışımlar için optimum işlenebilirliği sağlamak için su/(çimento+uçucu kül) oranı değiştirilmiştir. Üretilen numuneler kalıptan alınmış ve 20°C suda 3, 7, 14 ve 28 gün süreyle kür edilmiştir. Numuneler üzerinde basınç, ultrases geçiş süresi ve yarmada çekme mukavemeti deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarının analizi sonucunda, karışımda çimento yerine kullanılan uçucu kül miktarının KSB'nin dayanım özelliklerine etkisinin olduğu belirlenmiştir. Sonuçta, uçucu külün hidrasyona olumlu etkisi ve maliyeti gibi avantajları da göz önünde bulundurulduğunda, kendiliğinden sıkışan beton karışımlarında çimentonun yerine %30 ve/veya %40 oranlarında uçucu kül kullanmanın, dayanım özellikleri açısından daha iyi olacağı tespit edilmiştir.

Subaşı vd. (2008) çalışmasında, vibrasyon süresinin, uçucu kül kullanılan betonlarda, betonun mekanik ve fiziksel özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Bu amaç doğrultusunda, içinde %10 oranında uçucu kül ikamesi kullanılan C30 betonu hazırlanmıştır. Hazırlanan beton karışımı (taze beton) 15x15x15 boyutlarında 21 adet küp kalıba doldurulmuştur. Kalıplar içerisinde bulunan taze betonlar 0, 5, 10, 15, 17, 20 saniye süreler ile vibrasyona tabi tutulmuştur. Numuneler 28 gün kür edilmiş ve sonrasında deneylere başlanmıştır. Hazırlanan numunelere, yoğunluk, ultrases geçiş hızı, görünür boşluk oranı, doğrudan çekme ve basınç dayanımı (pull-off) deneyleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen veriler istatistiksel analizlere tabi tutulmuştur. Analizler sonucunda, betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinde vibrasyon süresine bağlı olarak önemli değişikliklerin olduğu tespit edilmiştir. En düşük dayanıma vibrasyon uygulanmayan numunelerin, en büyük dayanıma ise 15 saniye süre ile vibrasyon uygulanan numunelerin sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Yılmaz (2013) çalışmasında, uçucu kül ve akrilik lif içeren çimento harçlarının mekanik özelliklerini deneysel olarak araştırmıştır. Uçucu külün %5, %10 ve %15 oranlarında, akrilik lifin (Poliakrilonitril lifler) ise %1, %2 ve %3 oranlarında, PÇ42.5 çimentosu ile yerleri değiştirilerek 15 farklı çimento elde edilmiştir. Lifler çimento hamuru

içinde boşluk etkisi yaratmış ve buna bağlı olarak lif oranı arttıkça basınç dayanımı değerleri azalırken uçucu kül oranı ile birlikte artış göstermiştir. Sistemdeki lif oranının artması eğilimde çekme dayanımı değerlerini arttırdığı gözlenmiştir.

#### 2.4.2. Yüksek Fırın Cürufu

Demir-çelik üretiminde kullanılan yüksek fırınlarda akıcılık düzenleyiciler (dolomit, kalker), demir oksit (peletler, maden filizi, sinter) ve yakıt (kok) kullanılır. Fırının alt bölümünde erimiş halde toplanan demir ve erimiş demirin üzerinde yüzen haldeki sıvı yüksek fırın cürufu fırından elde edilen iki üründür. Yüksek fırın cürufunun kompozisyonu yüksek fırına beslenen maden filizine, koktaki safsızlıklara ve akıcı taşa bağlıdır. Yüksek fırın cürufunun %95'i veya daha fazlası genelde magnezyum, silika, alüminyum, kalsiyum ve oksijenden meydana gelir. Yüksek fırın cürufu endüstriyel bir atık olarak oluşmakta ve depolanması da zor olmaktadır. Ancak çevrenin korunması ve sürdürülebilirlik açısından faydası yüksek olduğundan beton sektöründe kullanılması oldukça önemlidir.

Yüksek fırın cürufu betonda kullanılması sonucu çimento hamurunun ince ve süreksiz bir hale geldiği, ayrıca çimento ve agreganın daha iyi kaynaştığı ve neredeyse boşluksuz bir hale geldiği gözlenmiştir. Bunların neticesi olarak da durabilitesinin arttığı görülmüştür. İnsanların kendilerine hangi şartlar olursa olsun barınacak bir yer edinme eğilimleri inşaat sektöründe kalıcılığın önemini artırmaktadır (Arıoğlu, 1989).

Cürufuyla beraber betonda meydana gelen hidrasyon ısısının kontrol edilebilmesinin artması ve erken zamanda ısınma sorunun önüne geçmesi ayrı bir özelliğidir. Bu ısının fazla olması betonda bol miktarda çatlaklar meydana getirmesi ve boşluklu bir yapı oluşturması istenmeyen bir durumdur. Betonun hacimsel kararlılığı ve betonda çatlakların oluşması üzerinde beton bünyesinde yüksek sıcaklık gelişiminin önemli etkileri bulunmaktadır (Neville ve Brooks, 2001).

Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Beton Özelliklerine Olumlu Etkileri:

- Taze betondaki işlenebilmeyi artırmaktadır.
- Taze betonun priz süresini uzatmaktadır.
- Betondaki terlemeyi azaltmaktadır.
- Betonun hidrasyon ısısını azaltmaktadır.
- Sertleşmiş betonun su geçirimsizliğini azaltmaktadır.

- Sertleşmiş betonun sülfat dayanıklılığını artırmaktadır.

Arslan vd. (2010) yaptıkları çalışmada, kendinden sonrakiler için örnek alınacak bir çalışma yürüterek hiçbir katkı maddesi kullanmadan sadece yüksek fırın cürufu içeren çimento ile kendiliğinden yerleşen beton üretimi yapmıştır. Yapılan çalışma sonucunda yüksek fırın cürufunun ne kadar önemli bir katkı maddesi olduğu gözlenmiştir. Sadece YFC kullanılarak üretilen kendiliğinden yerleşen betonlarda istenen düzey yakalanmıştır. Yüksek rakımlı alanlarda, rüzgârlı ve sert doğa koşulları altında inşa edilen rüzgâr santrali projesi için betonda istenilen özellikler, özellikle düzgün beton yüzeyi elde edilmiştir

Aydın vd. (2008) yaptıkları çalışmada, birçok katkı maddesi ile oluşturulan betonlar üzerinde deneyler icra etmiştir. Kullanılan katkılar sırası ile uçucu kül (C ve F sınıfı), silis dumanı ve metakaolin, kimyasal katkı olarak ise, hava sürükleyici, köpük önleyici ve büzülme önleyici katkılardır. Silis dumanı ve metakaolinin alkalilerle aktive edilmiş harçların kuruma büzülmesini azaltmada oldukça etkin olduğu, ancak kimyasal katkıların yararlı bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Silis dumanı ayrıca su ihtiyacını azaltma bakımından da çok etkin bir davranış sergilemiştir. Bu sayede, dayanımı 180 MPa seviyelerine ulaşan çelik lifli kompozitlerin üretilebileceği görülmüştür.

Bilim ve Atış (2011) yaptıkları çalışmada, farklı miktarda su-çimento karışımı ile hazırlanmış harçlar kullanarak cüruf yer değişiminin aşınma dirençleri ile birlikte eğilme ve basınç mukavemetleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Deneyler yapılırken iki farklı ortam kullanılmıştır. Yüksek fırın cürufu, İskenderun Demir Çelik Fabrikası'ndan elde edilmiştir. Çalışmada yapılan analizler sonucunda, kür şartlarının cüruf içeren numuneleri, şahit numunelere oranla daha çok etkilediği ve ıslak kür edilmiş harç numunelerinin, kuru kür edilmiş harç numunelerine oranla daha yüksek dayanım ve aşınma direnci gösterdikleri tespit edilmiştir.

Binici vd. (2012) yaptıkları çalışmada, klinker, bazaltik pomza ve granüle yüksek fırın cürufu (GYFC) ile üretilen çimentoların öğütme metodunun, çimentonun özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Klinkere bazaltik pomza (BP) ve granüle yüksek fırın cürufu (GYFC) % 10, %20 ve % 30 oranlarında katılarak kompoze çimento üretilmiştir. Klinkere göre, BP ve GYFC'nun öğütülebilirlikleri karşılaştırıldığında, BP'nın daha yumuşak ve daha kolay öğütülebildiği, GYFC ise daha sert ve klinkere göre daha zor öğütüldüğü görülmüştür. BP ve GYFC birlikte öğütülürken öğütmeyi kolaylaştırdığı görülmüştür. Öğütme sürelerinin karşılaştırılmasından, GYFC'un öğütme süresinin en uzun olduğu görülmüştür. Kompoze çimento ile üretilen örneklerin daha düşük dayanım göstermesinin

nedeni, BP ve GYFC'un klinker ile birlikte öğütülmesinden kaynaklandığı, ayrı ayrı öğütülen örneklerin dayanımları, birlikte öğütülen örneklerin dayanımlarından daha yüksek bulunmuştur.

Binici vd. (2012) öğütülmüş yüksek fırın cürufu ile bazaltik pomzayı ayrı ayrı yada bir arada içeren betonların geçirgenlik ve mekanik aşınma özelliklerinin araştırılması amacıyla bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yaptıkları çalışmada ince agreganın yüksek fırın cürufu yada bazaltik pomza ile yer değiştirme yüzdeleri farklı şekillerde araştırılmıştır. Ayrıca üretilen betonların aşınma dayanımları da araştırılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre betonda yüksek fırın cürufu ve bazaltik pomza varlığı, aşınmazlık ve su geçirimsizliği üzerinde pozitif etkilere sahiptir ve betonun geçirgenliliği ve aşınması katkı miktarı ve tipine bağlıdır. Bulunan diğer sonuçlar ise katkılı örneklerin aşınma dayanımının kontrol betonundan daha düşük olması ve özellikle bazaltik pomza katkılı örneklerin permeabilite değerlerinin kontrol örneğinden daha düşük olmasıdır.

Özdemir (2006) yaptığı çalışmada, portland çimentosu (PÇ) ile granüle yüksek fırın cürufu (GFFC) mineral katkı maddesinin ikili harç numunelerinin basınç, aşınma ve eğilme özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Basınç, eğilme, aşınma dayanımı ile ilgili yapılan analizler tekli mineral karışımlarda %5-%50 mertebesinde GFFC'nin çimento katkı malzemesi olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Sonuçlar harç numunelerinin aşınma değerlerinin genellikle uzun dönemde daha iyi olduğunu göstermektedir.

Okyay ve Akkaya (2011) çalışmasında, yüksek performanslı ve yüksek dayanımlı betonların tasarımında yüksek fırın cürufu kullanmanın durabilite ve geçirimsizlik özelliklerine üzerine etkilerini incelemiştir. Sonuçlar öğütülmüş yüksek fırın cürufu kullanarak erken ve ileri yaş dayanımları yüksek betonlar üretmenin mümkün olduğunu göstermiştir. Bu betonların özelliği sadece yüksek dayanımlı olmaları değildir. Bu betonlar aynı zamanda kendiliğinden sıkışma özelliğine ce yüksek işlenebilirliğe de sahip olabilmektedirler. Bu betonların erken yaşta ısıl çatlak oluşturma riski uygun çimento tipi seçilerek ve yüksek fırın cürufu kullanılarak azaltılabilmektedir. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu, geçirimsizlik ve donma-çözülme dayanımı konusunda da betona pozitif katkıda bulunmuştur. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu kullanmak suretiyle üretilen betonun klorür, basınçlı su geçirimsizliği ve kılcal su geçirimsizliği de düşüktür. Buz çözücü tuzlar etkisinde, donma-çözülmeden kaynaklanan yüzeysel soyulmalara karşı dayanımı beklenen kriterleri sağlamaktadır.

Öner ve Yıldırım (2005) çalışmasında, doğal kumun ve kırma taş kumunun belli oranlarda yer değiştirmesinin; öğütülmüş yüksek fırın cürufu (ÖYFC) içeren ve içermeyen betonların basınç dayanımı ve eğilme dayanımı gibi mekanik özelliklerine ve donma-çözülme dayanıklılığına etkisini incelemiştir. Yapılan analiz sonuçları betonların basınç ve eğilme dayanımlarının kırma kum içeriğinin artması sonucu arttığını göstermektedir. Ayrıca, normal betonlara kıyasla ÖYFC'li betonların erken yaşlarda başlayan donma-çözülme etkilerine karşı dayanıklılığının daha az olduğu gözlemlenmiştir.

Özkan (2007) çalışmasında, bağlayıcı olarak öğütülmüş atık şişe camlar ile endüstriyel yan ürünleri içeren harçların özelliklerini araştırmıştır. Bu doğrultuda, iki farklı renkte camın tek başlarına ve yüksek fırın cürufuyla birlikte çimento ile çeşitli oranlarda yer değiştirmesiyle oluşturulan harç numuneleri üretilmiştir. Numunelerin basınç dayanımı,  $Na_2$ ,  $NaCl$ ,  $MgSO_4$ ,  $SO_4$  ve yüksek sıcaklığa karşı dayanıklılıkları araştırılmış ve ASR yönünden genleşme ölçümleri yapılmıştır. En yüksek sonuç basınç dayanımında %10 renksiz cam-yüksek fırın cürufu yer değiştirmesinde elde edilmiştir. Yapılan diğer dayanıklılık deneylerinde de bütün yer değiştirme oranlarında referanstan daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir.

Özkan (2005) yaptığı çalışmada, yüksek fırın ve çelikhane cürufu katkılı harçların çimentolarla üretilen çimento harçların basınç dayanımına yüksek sıcaklığın etkisi araştırılmıştır. Yüksek fırın ve çelikhane cürufu ayrı ayrı ve birlikte çimento katkısı olarak kullanıldıklarında priz sürelerini geciktirmişlerdir. Katkı miktarındaki artış ve çimentoların incelik değerlerindeki azalma mukavemet değerlerine de etki etmektedir. Hazırlanmış olan bütün serilerde 600°C sıcaklık etkisi sonrasında ani bir mukavemet kaybı görülmektedir. 800°C de genel olarak mukavemetin %80'i kaybolmaktadır.

Uluöz vd. (2005) yaptıkları çalışmada, değişik katkı malzemeleri ile betonun geçirimsizliği üzerinde bir araştırma yürütmüşlerdir. Bu çalışmanın sonunda yüksek fırın cürufunun en temel özelliği olan betonu boşluksuz bir yapı haline getirme bir daha gözlemlenmiştir. Ayrıca zaman geçtikçe betonun dayanımının arttığı ve dış etkilerden daha az etkilenir hale geldiği görülmüştür.

Uysal (2011) çalışmasında, uçucu külün ve granüle yüksek fırın cürufunun (GYFC) çimento ile çeşitli ikame oranlarında kullanılması sonucu elde edilen betonların donma-çözülme etkisi altında ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve ağırlıklarındaki değişimi araştırmıştır. Bu doğrultuda beton karışımlarında 300 ve 400 doz olarak iki doz belirlenmiş ve her iki doz için çimento ile % 10, % 20 ve % 30 ikame oranında uçucu kül, % 10, % 20,

% 30 ve % 40 ikame oranında ise GYFC mineral katkı olarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, numuneler arasında donma-çözülme etkisine karşı en yüksek performansı GYFC ikameli betonların göstermesi ve daha yüksek bağlayıcı miktarı barındıran betonların donma-çözülme çevrimine maruz kalacak yapılarda daha iyi davranış göstereceği şeklindedir.

Yazıcı (2006) çalışmasında, yüksek fırın cürufu içeren harçların sülfat dayanıklılığını incelemiştir. PÇ 42.5 çimentosu kullanılarak değişik oranlarda yüksek fırın cürufu (YFC) içeren harçlar hazırlanmış ve bu harçlar sodyum sülfat çözeltisinde değişik koşullarda bekletilmişlerdir. Bunun sonucunda bu harçların yaptıkları genleşmeler ve basınç dayanımlarındaki değişiklikler belirlenmiştir. Yüksek fırın cürufu kullanmak harçların sülfat dayanıklılığını pozitif olarak etkilemiştir.

Yazıcıoğlu vd. (2005) yaptıkları çalışmada, yüksek fırın cürufunun betona katılması halinde basınç dayanımına ve çarpma enerjisine ne gibi etki edeceğini incelemiştir. Maksimum tane çapı ile doğru orantılı olarak basınç dayanımının ve çarpma etkisinin de arttığı tespit edilmiştir. Çalışmanın sonuçları, maliyeti azaltmak amacıyla cüruf katkısının %5'e kadar çimento katkı malzemesi olarak betonda kullanılabilabileceğini göstermektedir.

### **2.4.3. Mermer Atıkları**

Mermerin fiziksel özelliklerinden dolayı işlendiğinde büyük miktarda toz atığı meydana gelmektedir. Meydan gelen toz atıkları mevcut işletmelerin taşıma hassasiyeti göstermemesi ve taşımanın ağır maliyetinden dolayı çevresinde büyük sorunlar meydana getirmektedir. Bu sorunları görüntü bozukluğu ve sağlık açısından ele alınmıştır. Bu nedenle mermer toz atıklarının geri dönüşümü üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Özellikle yol üst yapı inşaatında kullanılması ekonomiye ve çevreye önemli bir katkı getirecektir. Mermer tozlarının agrega olarak kullanıldığında boşluk miktarında gözle görünür bir azalmaya gittiğini ve sıcakların arttığı yaz aylarında asfalt betonunda meydana gelecek bozulmaları engellediği tespit edildiğinden yol üst yapılarında kullanılması ülkemiz açısından büyük önem arz etmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda asfalta katılan mermer tozunun asfalt yaşlanmasını ciddi ölçüde geciktirdiği gözlemlenmiştir. Asfalta eklenen mermer tozu asfalt çimentosunun viskozitesinin artmasını sağlamakta ve bu sayede teker izi deformasyonlarının azalmasını faydalı olmaktadır (Little ve Epps, 2001). Mermer toz atıklarının asfalt betonu karışımında filler malzemesi olarak kullanılabilirliği

üzerine de birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar taş tozu filler malzemesinin az bulunduğu yada hiç bulunmadığı yerlerde, mermer tozunun filler malzemesi olarak bitümlü karışımlarda değerlendirilebileceğini göstermektedir (Terzi ve Karaşahin, 2003;Çetin, 1997). Bunun dışında mermer toz atıkları çimento üretiminde katkı malzemesi, sıva katkı malzemesi, kireç üretiminde refrakter malzeme olarak inşaat sanayiinde farklı şekillerde kullanılabilir.

Mermer toz atıkları sadece agrega olarak kullanılmakta kalmamaktadır. Ayrıca yoğun deprem bölgeleri olan ve zemin özellikleri kötü olan yerlerde inşa edilen yapıların zemini için iyileştirme amacı ile kullanılabilir. Bütün binaların bir zemine inşa edildiğini düşündüğümüzde aslında mermer tozlarının ne kadar büyük bir boşluğu doldurduğunu anlarız. Hangi zaman dilimi olursa ve hangi tür yapı olursa olsun bir zemin üzerine inşa edilmiştir. Zeminde meydana gelen boşlukların yüksek miktarda çökmelere ve oturmalara meydan verdiğini biliyoruz. O yüzden mermer toz atıklarının zemine katılması ile gerekli dayanım sağlanabilir. Günümüzde bu konuda birçok kimyasal çalışma mevcuttur.

Kayma direnci, geçirimsizlik, oturma ve benzeri özelliklerinden dolayı kullanım amacı için uygun olmayan zeminlerin ortaya çıkardığı sorunların çözümünde yaygın bir şekilde kullanılan üç yöntem vardır. Bu yöntemlerden birincisinde istenmeyen zemin kazınarak yerine istenen özellikleri barındıran bir malzeme koyulur. Fakat yapılacak kazı hacmi çok yüksek ise bu yöntem ekonomik olmayacaktır. Bu durumda kullanılacak ikinci çözüm, zemini olduğu gibi kabul etmek, üst yapıdaki taşıyıcı elemanların boyutlarını ve kullanılan malzemenin kalitesini arttırmaktır. Ancak bu durumda da maliyet çok yüksek olabilmektedir. Zemin içerisine çimento, mermer tozu, kireç, uçucu kül vb. çeşitli kimyasal maddeler katarak zemin özelliklerini iyileştirmek ise üçüncü yöntemdir. Kimyasal stabilizasyonda kullanılan kireç çok ince, orta ve ince daneli zeminlerle reaksiyona girmek suretiyle işlenebilirliğin artmasını, plastisitenin düşmesini, mukavemetin artmasını ve şişmenin azalmasını sağlamaktadır. Zemin sınıfı, CH, CL, MH, ML, MLCL, SC, SM-SC, SM, GC, GM-GC, GM olan ve silt, kil içeren ince gradasyonlu zeminler kireç ile stabilize edilmek yoluyla ıslah edilebilmektedir. Dolayısı ile kireç stabilizasyonu killi zeminlere uygulanan bir yöntemdir ve amacı zeminin deformasyona direncini arttırmaktır. Mermer tozunun killi zeminlerde kirece benzer bir iyileştirme yaptığı ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır (Okagbue ve Onyeobi, 1999). Dolayısıyla çevre kirliliğini azaltmak ve atıl malzemeleri ekonomiye inşaat malzemesi olarak geri kazandırmak amacıyla mermer sanayinde meydana gelen toz atıklar killi yol alt yapılarında kimyasal

stabilizasyon malzemesi olarak değerlendirilebilir. Bu toz atıkların kullanıldığı diğer bir yapı malzemesi de betondur.

Yapılan araştırmalar beton üretiminde ince malzeme oranının %10 gibi küçük bir oran mermer tozu ilavesi ile basınç dayanımında artış olduğu görülmüştür. Ayrıca mermerlerin işlenmesi sırasında büyük boyutlarda mermerin zayi olmaması için belli boyutlarda kırılarak farklı alanlarda kullanılabilir. Bu alanlar yol zemini ve baraj inşaatlarında dolgu malzemesi, beton ve asfalt karışımlarda agrega, suni mermer plağı, karo sıman ve bir mermer süsleme sanatı olarak antik taş yapımıdır. Agreganın özellikleri betonda basınç dayanımını belirleyen önemli özelliklerden bir tanesidir. Mermer kökenli agregaların aşınma ve dane dayanımlarının düşüktür fakat buna rağmen bazı beton sınıflarında mermer kökenli agregalar kullanılmaktadır. Özellikle Afyon çevresinde mermer ocaklarında açığa çıkan mermer parça atıklarının agrega olarak kullanılması ile ilgili özel girişim örnekleri görülmektedir. Bu durum doğal kaynakların korunmasını ve aynı zamanda atıkların azaltılmasını ve bu atıklardan faydalanılmasını sağlamaktadır.



Şekil 2.3. Atık mermer yığınlarından bir görünüm

Gökçer vd. (2013) yaptıkları çalışmada, iki farklı malzeme olan atık mermer tozu ile cam liflerinden üretilen numunelerin yüksek sıcaklık altındaki davranış değişikliklerini incelemiştir. Çeşitli miktarlarda cam lif ile takviye edilen harç numunelerine, filler malzeme ile ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında yer değiştirecek biçimde atık mermer tozu eklenmiştir. Meydana gelen numunelerin mekanik ve fiziksel özellikleri üzerinde

yüksek sıcaklığın etkisini incelemişlerdir. Çalışmanın sonuçları yüksek sıcaklığa maruz kalan cam lif ve mermer tozu katkılı harç numunelerinin, porozite ve kılcal su emme değerlerinin arttığını, eğilmede çekme dayanımı, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı değerlerinin ise azaldığını göstermiştir.

Demir ve Başpınar (2003) yaptıkları çalışmada, mermer tozlarının havuzlarda bekletildikten sonra duvar bloklarda kullanılabilirliğini incelemiştir. Yapılan çalışmada havuz çökeltisinde bekletilen mermer tozunun yanı sıra perlitte kullanılmıştır. Perlit ağırlıkça % 2.5- %5 arasında mermer tozuna katılmıştır. Deney örneklerine fiziksel ve mekanik testler uygulanmış ve sonuçlar incelenmiştir. Sonuçta kendi gurubuna giren hafif beton duvar malzemeleri ile karşılaştırıldığında ekonomik koşullarda ve yeterli mekanik özellikleri sağlayan hafif duvar elamanı üretilebileceği görülmüştür.

Açıkgenç vd. (2012) yaptıkları çalışmada, mermer tozlarını kullanarak yeni bir yapay sinir ağı modellemeye çalışmıştır. Bu modellemede farklı oranlarda mermer tozlarının karıştırılması ile elde edilecek olan kendiliğinden yerleşen betonun dayanım özellikleri araştırılmıştır. 28 günlük basınç dayanımları üzerinden modelleme yapılmıştır. Karışım oranları yapay sinir ağlarına giriş verisi olarak girilmiştir. Çalışma sonucunda yapay sinir ağları modelinin başarılı olması durumunda, beton tasarımı için kullanılacak yöntemler arasında yer alması amaçlanmıştır. Yapay sinir ağının girişi kendiliğinden yerleşen beton karışım oranları ve çıkışı bu karışımlara sahip betonların 28 günlük basınç dayanımıdır ve bu çalışmada başarılı olmuştur. YSA 64 adet eğitim verisini öğrendikten sonra 7 adet test verisine de doğru çıkışları üretebilmiş ve bu problemde kullanılabilirliğini ispatlamıştır.

Erdem ve Öztürk (2012) yaptığı çalışmada, mevsimsel farklılıkların fazla olduğu yörelerde betonun en fazla etkiye maruz kaldığı donma-çözünme olayı ile mermer tozu ilavesi ile üretilen betonların ne gibi bir reaksiyon vereceği irdelenmiştir. Mermer tozunun işlenebilirlik üzerindeki etkileri ve üretilen numunelerin yayılma değerleri ile basınç ve eğilme dayanımlarının ölçülmesi amaçlanmıştır. Yapılan deneylerde mermer tozu ağırlıkça %0, %10, %20 ve %30 oranlarında karışımında çimento yerine kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, mermer tozu ilavesinin dayanım üzerinde pozitif etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Tanyıldızı ve Coşkun (2011) yaptığı çalışmada, katkı olarak Doğu Anadolu Bölgesi'ne özgü hatta özel olarak Elazığ yöresinde görülen vişneçürüğü mermer tozunu mineral katkı olarak kullanmıştır. Bunun yanında agrega olarak da pomza taşı kullanıp elde edilen betonlarda basınç dayanımı ve ultrasonik ses geçirgenliği araştırılmıştır. Mermer

tozu çimento ağırlığının %0, %10 ve %20'si oranlarında değiştirilerek kullanılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre, %10 mermer tozu katkılı beton numuneler kontrol betonuna göre daha iyi dayanım özelliği göstermeye başlamıştır. Ayrıca %20 mermer tozu katkılı hafif betonun basınç dayanımı değerleri kontrol betonuna göre daha düşük dayanım özelliği göstermiştir.

Yıldız vd. (2011) yaptığı çalışmada, kendisinden önce üzerinde çalışılmamış bir alanı tercih etmiştir. Mermer tozlarını filler malzeme olarak kullanarak elde edilen numunelerin üzerinde çeşitli deneyler yapmıştır. Bu amaçla, farklı iki dozlu olarak hazırlanan beton numunelerin üretimi aşamasında karışıma 5, 10, 15 ve 20 kg/m<sup>3</sup> oranlarında kırılmış cam lif eklenerek elde edilen bu serilere filler malzeme ile hacimce %25, %50, %75 ve %100 oranlarında yer değiştirecek biçimde atık mermer tozu eklenmiştir. Çalışmanın sonucunda, cam lif katkılı betonlara atık mermer tozu eklenmesi sonucu oluşturulan numunelerin yarmada çekme dayanımı, basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı artmış, porozite ve sorptivite değerleri ise azalmıştır. Sonuç olarak atık mermer tozunun katkı malzemesi olarak cam lif ilaveli betonlarda kullanılabileceği ve lif ilavesi ile zayıflayan beton özelliklerinin mermer tozu ile iyileştirilebileceği gözlemlenmiştir.

#### **2.4.4. İnşaat ve Yıkıntı Atıkları**

Modern diye tabir ettiğimiz toplumların gözle görülene en büyük sorunlarının başında katı atıkların kontrolsüz bir şekilde çoğalması ve bunların düzgün bir şekilde işlenememesi gelmektedir. Gelişmiş ülke ve gelişmiş şehirlerde inşaat ve yıkıntı atıkları (İYA) katı atıklar içerisinde büyük bir miktarı işgal etmektedir. Bütün atıklarda olduğu gibi inşaat ve yıkıntı atıklarının yeniden kullanımı çevresel ve ekonomik olarak ülke yönetimleri için önemli bir yerde durmaktadır.

İkinci dünya savaşının ülkelere verdiği ağır zararların yanında birçok yapının yığın haline gelmesi ile ülkeler İYA'nın geri dönüşümü üzerine kafa yormaya başlamışlardır. Devam eden bu çalışmalar günümüze gelindiğinde beraberinde birçok sıkıntı ile gelmiştir. Mesela yapım işlerinde kullanılacak doğal kaynakların azlığı, depolama ve görüntü kirliliği gibi sebepler başta gelmektedir. Bunun yanında taşıma ve vergi yükünü öne çıkan sıkıntılar olarak görünmektedir.

İnşaat sektörün sıfırdan imal edilen inşaatların bitimi ile veya eski bir inşaatın yıkımı ile inşaat yıkıntı atıklarının ortaya çıktığı gözlenmektedir. Özellikle büyük yapılar olan

konut, okul, hastane ve endüstriyel tesisler, karayolları, demir yolları ve hava alanı pistleri bu yapıların başında gelmektedir. Bu yapıların hem yapımı hem yıkımı hem de tadilat ve onarımında büyük miktarda inşaat ve yıkıntı atığı açığa çıkmaktadır. Bunların dışında da doğal afetler veya yangın gibi afetlerle beraberde inşaat ve yıkıntı atıkları ortaya çıkabilmektedir.

Yapılarda en büyük payın betonda olması atık olarak meydana gelen yığınlarda da en büyük oranın betonda olması gibi bir sonucu ortaya çıkarıyor. Son yıllarda kentsel dönüşüm ile beraber yeniden kullanımı ve geri dönüşümü konularını inceleyen çok sayıda çalışma yapılmıştır.

İYA denildiğinde başta beton olmak üzere, kum, seramik, çakıl, tuğlalar, moloz, doğal kayalar, asfalt, çeşitli metaller, tahta, cam, plastik, flüoresan lamba, yalıtım malzemeleri, halı parçaları vb. ile insan sağlığına zarar veren bazı maddeler (asbest, kurşun vb.) akla gelmektedir. İYA yönetimi katı atık yönetimi ile benzerlik göstermektedir. İYA Yönetimi atık malzemelerin azaltılması, kullanılabilir malzemelerin tekrar kullanımı ve geri kazanımı, kullanılabilir olmayan kısmın depolama alanlarında toplanması biçimindeki bir düzen olarak değerlendirilebilir.

Doksanlı yıllarda Avrupa ülkelerinin bir kısmında İYA'nın bir kısmı geri dönüştürülerek kullanılmıştır. Belçika' da bu oran %80, Almanya'da %60, Danimarka ve Finlandiya'da %40, Hollanda ve İsveç'te ise %20'dir. 2002 yılında ise, Danimarka, Almanya ve Hollanda'da İYA'nın %80' den fazlası, Finlandiya, İrlanda ve İtalya'da %50 ile %30 arası, Lüksemburg'ta ise %10'u geri dönüştürülerek kullanılabilir hale getirilmiştir.

2005 yılı verilerine bakıldığında ABD'de her yıl 130 milyon ton İYA oluşmaktadır (Lennon, 2005). ABD'de atıkların tekrar geri kazanımını artırmak amacıyla çok sayıda örnek olay incelemesi yapılmaktadır. Örneğin incelenen bir olayda bu atıkların %92 civarında geri kazanıldığı ve toplamda %63 civarında maliyet konusunda tasarruf sağlandığı belirlenmiştir (Lennon, 2005). Japonya geri kazanım hedefini %90 olarak belirlenmiş ve 2000 yılında hedefinin de üstüne çıkarak yaklaşık %96' ya ulaşılmıştır. Hollanda'da İYA' dan elde edilen farklı ebatlardaki taş malzemenin yaklaşık %95'i yol taban malzemesi olarak yeniden kullanılmaktadır ve yeniden kullanımın miktarını ve kalitesini arttırmaya yönelik çalışmalar yürütülmektedir. 2005 yılındaki verilere bakıldığında Türkiye'de yıllık katı atık üretiminin 38 milyon ton olduğu görülmektedir (Esin ve Coşgun, 2007). Bu miktarın %25'inin İYA olduğu düşünülürse yılda yaklaşık olarak 10 milyon tonluk bir inşaat yıkıntı atığı olduğu söylenebilir. Türkiye'de İYA'nın

yönetimi yasal olarak belediyelere verilmiştir. "Hafriyat Toprağı ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği" oluşturularak bu atıkların yönetiminin nasıl yapılacağı belirlenmiştir.

İYA yönetimi ile ilgili çalışmalarda birincil olarak atığın azaltılması gerektiği üzerinde durulmaktadır. Bunun için;

- İnşaatlarda uzun ömürlü, iç ve dış etkilere karşı dayanım ve dayanıklılığı yüksek malzemelerin kullanılması,
- Yapıların kullanıcının istek ve arzularına göre şekil değiştirme potansiyeline sahip olacak şekilde esnek tasarlanması,
- Modüler yapı sistemlerine uygun yapı malzemelerinin üretilmesi,
- Malzemelerin birbirinin yapısını etkilemeyecek şekilde ve olası bir tadilatla kolayca sökülüp takılabilecek şekilde detaylandırılması, çalışanların bu hususlarda eğitilmesi önerilmektedir.

İnşaat ve yıkıntılardan elde edilen yeniden kullanılabilir ve geri dönüştürülebilir ürünlerin üretildikleri yerde diğer atıklardan ayrı olarak toplanmaktadır. Yıkımı planlı bir biçimde yapılan yapıların binadaki yeniden kullanılabilir malzemelerin zarar görmemesi için bir plan çerçevesinde yıkılması ve pazarlara iletilmesi gereklidir. Bu şekilde hareket edilmediği takdirde yıkıntı atıkları birbirine karışacak, karışık yıkıntı atıklarının, elle veya otomatik cihaz ve sistemler yardımıyla ayrılması gerekecektir. Bu durum da ürünlerin geri kazanım maliyetlerini önemli ölçüde arttıracaktır (Lennon, 2005).

Doğal kaynakların kıt olması günümüzde çevrenin korunmasına olan ilgiyi arttırmıştır. Bu ilgi ve atıkları depolamak için gerekli olan alanların yetersiz olması hükümetleri İYA'nın yeniden kullanımı ve dönüştürülmesi ile ilgili tedbirler almaya zorlamaktadır. Bu doğrultuda birçok ülkede birçok şehirde atıkların azaltılmasıyla ilgili planlar yapılmakta ve atıkların depolanması için ücretler ve vergiler arttırılmaktadır.



Şekil 2.4. Atık inşaat ve yıkıntı yığınlarından bir görünüm

Elias-Özkan (2001) yaptığı çalışmada, bilinçsiz ve uygunsuz bir şekilde şehirlerimizin birçok yerinde moloz yığınlarının atıldığını incelemiştir. Eski yapıların tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de eninde sonunda yıkmanın kaçınılmaz olduğuna değinmiştir. Bu kadar yığın meydana gelirken bunların kontrol ve yönetiminin nasıl olması gerektiği araştırılmıştır. Bununla birlikte geri dönüşüm ile mümkün olduğu söylenmiştir. Devlet İstatistik Enstitüsü verileri ve belediyeden alınan bilgiler Ankara’da yıllık 47471 m<sup>3</sup> moloz artığı oluştuğunu göstermektedir. Çalışmada büyük şehirlerde yıkımlar neticesinde geniş hacimli molozlar oluştuğu ve bunlar için döküm bölgeleri oluşturulması gerektiği ve bu döküm bölgelerinde molozları geri kazandırabilecek hareketli tesislerin kurulması gerektiği belirtilmiştir.

Oikonomou (2005) tarafından yapılan çalışmada, deprem, sel v.s. gibi doğal afetlerin meydana getirdiği ve eski olan binaların yıkımı ile ortaya çıkan malzemelerin oranlarını belirlemiştir. Bu oranları belirlemesi ile kullanım alanları ve nerede kullanmaya uygun olduğu üzerine bir inceleme yürütmüştür. Yıkım atıklarının ortalama, %5’inin plastik, %5’inin metal, %10’unun ahşap, % 30’unun seramik, % 40’inin beton ve geri kalan %10’unun çeşitli malzemelerden meydana geldiği belirtilmiştir. Geri dönüşüm agregalarının kullanılmasının çevre korumasına katkı sağlayacağı sonucuna ulaşılmıştır.

Rakshvir ve Barai (2006) yaptığı çalışmada, inşaat ve yıkıntı atıklarının agrega olarak kullanılması sonucu beton üzerindeki olumlu ve olumsuz sonuçları araştırmıştır. Mekanik ve fiziksel olarak iki yönden araştırmalarını yürütmüştür. Yapılan gözlemlerde atık miktarı arttıkça basınç mukavemetinin düştüğü gözlenmiştir. Geri dönüşüm

agregalarının su emmelerinin doğal agregalardan fazla olduğu beton karışımı sırasında gözlenmiştir.

Günçan (1995) yaptığı çalışmada, beton sınıfı C16 sabit tutularak inşaat ve yıkıntı atıklarının agrega oranlarında artışa giderek numuneler üretmiştir. 6 sınıf numune grubu oluşturmuştur. %0, 30, 50, 60, 70, 100 oranlarında atık agrega kullanarak meydana gelen betonda birim ağırlığı, su emme kapasitesi, elek analizi, kuru birim ağırlığı, aşınma, dayanım gibi birçok deney yapmıştır. Sonuçta beton karışımı içindeki eski beton atığı miktarının arttıkça betonun dayanımının ve birim hacim ağırlığının azaldığının tespit etmiştir.

Köken vd. (2008) çalışmasında, beton basınç mukavemeti 20 MPa olan atık betonlardan elde edilen geri dönüşüm agregalarının mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemiş ve bu agregalardan çeşitli karışımlarda beton üretmiştir. Bu karışımlardan birincisinin tamamı dönüşüm agregasından oluşmaktadır. İkinci karışımın ince agregası kırma taş kum, iri agregası ise geri dönüşüm agregasıdır. Üçüncü karışım ise tamamen kırma taş agregadan üretilmiştir. Tüm karışımlar aynı dozajda üretilmişler ve birbirleriyle kıyaslanmışlardır. Elde edilen sonuç ise geri dönüşüm agregası kullanılmak suretiyle üretilen betonlarda geri dönüşüm agregası oranı arttıkça beton basınç mukavemetinde azalma olduğu yönündedir.

Demir (2009) yaptığı çalışmada, inşaat ve yıkıntı atıklarının tekrar piyasaya kazandırılmasının sebeplerini incelemiştir. Bunu yaparken ekonomi, teknik ve çevresel faktörler üzerinde durmayı tercih etmiştir. Geri kazanılmış agreganın (GKA) kullanım alanları ve bazı teknik özellikleri, GKA kullanılarak yapılan betonların özelliklerini iyileştirmeye yönelik çalışmalar araştırılmıştır. Ayrıca geri kazanılmış beton (GKB) atıklarının değerlendirilmesini zorlaştıran problemler ve bu problemlerin çözümüne ilişkin tavsiyeler sunulmuştur.

#### **2.4.5. Lastik Atıkları**

Günümüzde lastik atıkları olarak birçok malzeme bulunmaktadır. Cam şişeler, çelik kavanozlar, plastik içecek ve yemek kutuları, döşeme ve mobilya kaplama malzemeleri, geri kazanılmış beton atıkları, kırılmış seramikler ve atık taşıt lastikleri bu atıkların başında gelmektedir. Özellikle yıpranma oranının yüksek olması ve fazla miktarda kullanıma bağlı olarak atık taşıt lastikleri büyük bir yekûnu ifade etmektedir. Bazı ülkelerde atık haline

gelen taşıt lastik miktarının büyüklüğü haddinden fazla olması ülkeleri ister istemez geri dönüşüm konusuna eğilmeye itmiştir. Bu ülkelerin başında 242 milyon adet parçalanmış lastikle Amerika gelirken, Portekiz’de de her yıl yaklaşık 50 bin ton kullanılmış lastik açığı oluşmaktadır. Bu rakam Tayland’da 2001 yılında 94 bin ton, Fransa’da yılda 10 milyonun üzerinde, Brezilya’da yılda 10-15 milyon ve Türkiye’de ise 2000 yılında 180 bin ton civarındadır.

Atık lastiklerin geri dönüşümde kullanılmasının yanında dönüştürülmedikleri zaman çevreye fazlaca zarar verdiği, yangın potansiyeli taşıdığı ve kemirgenler için üreme ve mikrop alanı olduğu bilinmektedir. Atık lastiklerle ilgili günümüze kadar birçok çalışma yapılmıştır. Nerede ve ne şekilde kullanılabilirliği irdelenmiştir. Bu sektörlerin başında asfalt-beton gibi yapı malzemeleri, elektrik santrallerinde yakıt olarak kullanımı ve tekrar plastik üretiminde kullanılması gelmektedir. Yapılan bu araştırmalarda en dikkat çekici olan atık lastiklerle üretilen asfaltların kayma dirençlerinin yüksek olması, çatlamalara daha az meydan vermesi ve uzun ömürlü olmasıdır. Fakat kauçuklu asfaltın ilk maliyeti geleneksel asfalta kıyasla %40 ile %100 daha fazla değişen oranlardadır ve uzun vadede getireceği faydalar net olarak bilinmemektedir. Bu nedenle bu alandaki çalışmalar giderek azalmaktadır.

Fakat atık lastiklerin beton içerisinde agrega olarak kullanımı yönündeki çalışmalar sürmektedir. Lastik agregalı beton üretimi, daha masrafsız bir metotla yapılmaktadır. Bunu sağlamak için normal agrega karışım içerisinde hacimsel olarak lastik agregalar ile yer değiştirilmektedir. Lastik agregalı beton geleneksel betonla kıyaslandığında daha düşük birim ağırlık ve yüksek tokluğa sahiptir. Ancak, karışımdaki lastik miktarı arttıkça basınç dayanımı azalmaktadır.



Şekil 2.5. Atık lastik yığınlarından bir görünüm

Emiroğlu vd. (2009) yaptıkları çalışmada, atık lastiklerin betonda ince ve iri lastik agregalar kullanılmasını incelemiştir. Bu çalışmayı yaparken atık lastik miktarlarında yaptığı oynamalarla birlikte dört çeşit beton etmiştir. Bu betonların içine hacimsel olarak %5, %10, %15 ve %20 oranlarında lastikleri agrega olarak kullanmıştır. Kullandığı lastik agregalar ile üretilen betonların elastise modüllerini değişik ülkelerdeki standartların deneysel formülleri ile hesaplamıştır. Sonuçta bulduğu elastise modülleri ile deneysel olarak hesaplanan elastise modülleri arasında bir kıyaslamaya gitmiştir. Sonuç olarak, betondaki lastik miktarını arttırmak deneysel verilerle hesaplanan elastisite modülleri ve ampirik formüllerle hesaplanan elastisite modülleri arasındaki ilişkiyi azaltmaktadır. Fakat, Amerika Beton Enstitüsü (ACI) tarafından tavsiye edilen formül ve deneysel olarak hesaplanan elastisite modülü arasında son derece yüksek bir ilişki bulunmuştur.

Topçu vd. (2007) yaptıkları çalışmada atık otomobil lastikleri ile üretilen betonlarda ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı incelemişlerdir. Bu betonların özellikleri belirlenirken yapay sinir ağları (YSA) ve bulanık mantık (BM) kullanmıştır. Yapılan araştırma sonucunda, YSA ve BM modellerinden sağlanan sonuçlar ile deneylerden sağlanan sonuçlar arasında son derece iyi bir uyum olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak betonun karışım bilgilerine ulaşıldığında, YSA ve BM yöntemleriyle oluşturulan modeller kullanılarak deney yapmadan çok kısa bir sürede ve çok az bir hata ile betonun özellikleri tahmin edilebilir.

## 2.5. Çalışmanın Amacı

Kurşun madeni atığı kayaçların (pasa) beton agregası olarak kullanılması ile üretilen betonların, fiziksel, mekanik özellikleri araştırılması amaçlanmıştır. Çalışma sonunda olumsuz çevresel etkileri olan kurşun madeni atığı kayaçların betonda kullanımı ile kireçtaşı agregalarına göre beton özelliklerini arttırmak ve kurşun madeni atıklarının olumsuz çevresel etkilerinin azaltılması amaçlanmaktadır.



### **3. BULGULAR**

#### **3.1. Materyal**

Yapılan çalışmada beton üretiminde agrega (Kurşun madeni atıkları ve Kireçtaşı), çimento ve Gümüşhane ili şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

##### **3.1.1. Agregalar**

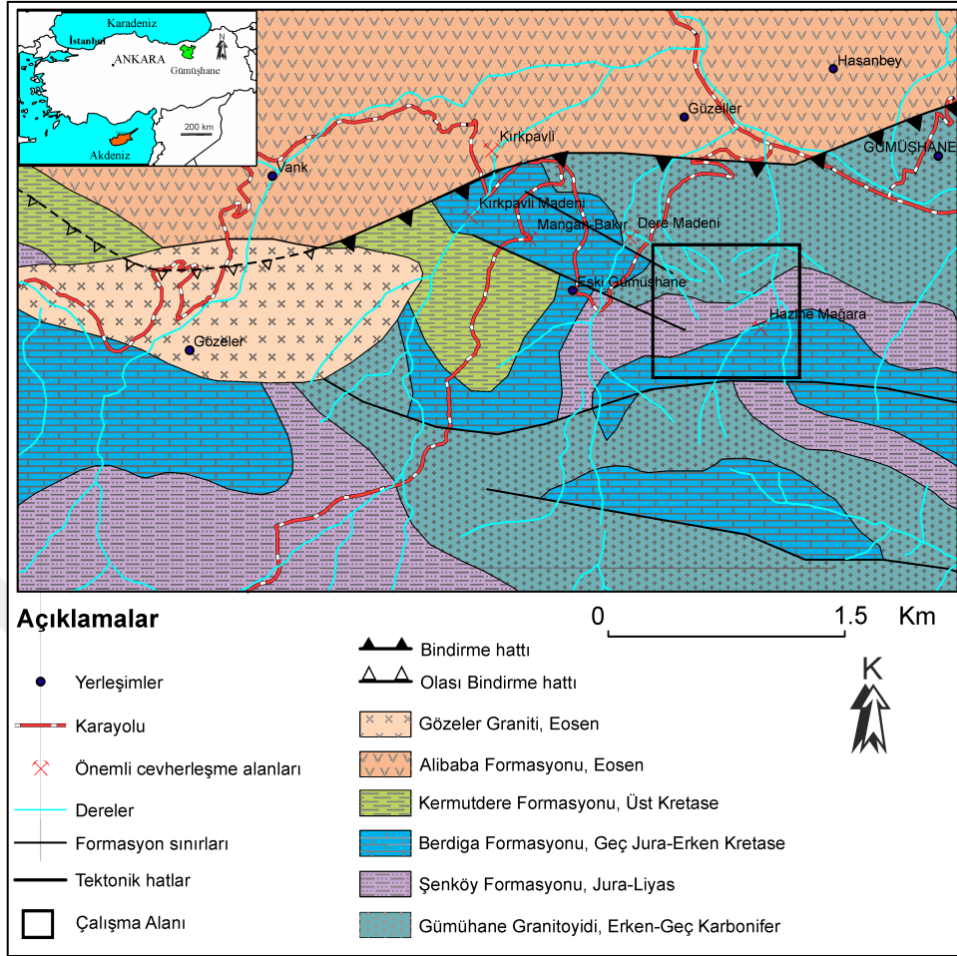
Çalışmada kullanılan kayalar öncelikle çeneli kırıcı ile kırılıp beton agregası boyutuna getirilmiş ve sonra eleklerle elenerek 0-4, 4-11.2, 11.2-22.4 mm sınıflarında gruplandırılmıştır. Kırma ve eleme işlemi için kullanılan cihazlar Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3.1. Çeneli kırıcı ve elek sarsma makinası

##### **3.1.1.1. Kurşun Madeni Atıkları (Pasa)**

Çalışmada kullanılan maden atık kayaları Gümüşhane ilinde faaliyet gösteren ve Gümüştaş madencilik tarafından işletilen maden ocağından temin edilmiştir. Agregaların temin edildiği maden sahasına ait harita Şekil 3.2’de görülmektedir.



Şekil 3.2. Gümüştaş maden sahası jeolojik haritası (Güven, 1993).

Maden sahasından temin edilen kurşun içerikli kayaçlar beton döküm işlemine hazır hale getirilmek için çeneli kırıcıdan kırılarak 0-4, 4-11.2, 11.2-22.4 mm elek boyutlarına indirgenmiştir. Yapılan işlem sonucu elde edilen kurşun madeni atığı kayaçları Şekil 3.3’de görülmektedir.



Şekil 3.3. Çeneli kırıcıda kırılmış sınıflarına ayrılmış kurşun madeni atığı kayaçları

### 3.1.1.2. Kireçler

Yapılan çalışmada (0-4, 4-11.2, 11.2-22.4) agrega gruplarından, beton santrallerinde normal ve yüksek dayanımlı beton üretiminde kullanılan Gümüşhane civarında bulunan kireçtaşı agregası kullanılmıştır. Kullanılan kireçtaşı agregası Şekil 3.4'te görülmektedir.



Şekil 3.4. Kireçtaşı agregası

### 3.1.2. Çimento

Üretilen betonlarda CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimento Gümüşhane ilinde faaliyette bulunan Aşkale Çimento Fabrikası'ndan temin edilmiştir.

Tablo 3.1. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

Kimyasal Analizler		Fiziksel Testler	
SiO <sub>2</sub>	18.59	İncelik (45 µ elek üstü %)	8.58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.69	Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	3.08
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.04	Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /g)	4145
CaO	60.34	Priz Başlangıcı (saat-dk)	2sa-33dk
MgO	1.92	Priz Sonu(saat-dk)	3sa-18dk
SO <sub>3</sub>	2.89	Hacim Genişlemesi(mm)	0.7
Kızdırma Kaybı	7.19	Su İhtiyacı %	29.9
Na <sub>2</sub> O	0.11		
K <sub>2</sub> O	0.64		
CI	0.0189	Basınç Dayanımı( N/mm <sup>2</sup> )	
Ölçülemeyen	0.57	2.Gün	23.9
Toplam	100	28.Gün	51.1
s.CaO	0.38		
Katkı%	17.87		

### 3.1.3. Karışım Suyu

Çalışmada Gümüşhane ili şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

## 3.2. Metot

Çalışmada, C16, C25 ve C35 dayanım sınıflarında üretilen betonların su emme oranı, görünür boşluk oranı ve görünür yoğunluk, mekanik özelliklerini belirleme amacıyla 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları, eğilme dayanımı, statik elastisite modülü, poisson oranı, tahribatsız test yöntemleri (schmidt test çekici, ultrasonik ses hızı ölçümü) ile basınç dayanımı tahmini, donma çözülme dayanımı, aşınma dayanımı, kapilarite ve karbonatlaşma deneyleri yapılmıştır.

### 3.2.1. Beton Örneklerinin Üretimi

Yapılan çalışmada betonların üretimi Gümüşhane Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı ve Malzemeleri Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Kurşun madeni atığı ve Kireçtaşı agregaları birbirleri arasında %25-%50-%75 oranlarında yer değiştirilmiştir. TS 802 referans alınarak C16, C25 ve C35 olmak üzere 3 farklı basınç dayanımı sınıfında karışım dizaynı yapılmıştır. Beton karışımında kullanılan agrega türleri arasında %25, %50, %75 oranlarında yer değiştirme yapılmıştır. Oluşturulan beton türleri Tablo 3.2'de görülmektedir. Karışım dizaynı yapılan 100P ve 100KT beton türlerine ait karışım miktarları Tablo 3.3 ve Tablo 3.4.'te görülmektedir.

Tablo 3.2. Beton serilerinin kodlanması ve oransal değişimleri

<b>Beton Türü</b>	<b>Agrega Oranları (%)</b>
100KT	%100 Kireçtaşı
75P25KT	%25 Pasa- %75 Kireçtaşı
50P50KT	%50 Pasa- %50 Kireçtaşı
75P25KT	%75 Pasa- %25 Kireçtaşı
100P	%100 Pasa

Tablo 3.3. TS 802 referans alınarak Kurşun madeni atığı (Pasa) agregası ile üretilen 1m<sup>3</sup> beton için hazırlanmış karışım dizaynı

Kurşun madeni atığı (Pasa) agregası							
		C16		C25		C35	
		Hacim (dm <sup>3</sup> )	Ağırlık (kg)	Hacim	Ağırlık	Hacim	Ağırlık
Çimento		102	315	133	411	181	558
Su		218	218	218	218	218	218
Hava		20	-	20	-	20	-
Agrega	0-4 (%49)	323	899	308	857	285	791
	4-11.2 (%30)	198	556	189	530	174	490
	11.2-22.4 (%21)	139	389	132	371	122	343
Su/Çimento		0.69		0.53		0.39	
Toplam		1000	2378	1000	2387	1000	2400

Kurşun madeni atığı (pasa) ile hazırlanacak beton örneklerin su/çimento oranları C16, C25 ve C35 beton sınıfı için sırasıyla 0.69, 0.53 ve 0.39 olarak hesaplanmıştır. Beton örneklerin teorik birim hacim ağırlıkları C16, C25 ve C35 beton sınıfı için sırasıyla 2378 kg/m<sup>3</sup>, 2387 kg/m<sup>3</sup>, 2400 kg/m<sup>3</sup> olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.4. TS 802 referans alınarak Kireçtaşı agregası ile üretilen 1m<sup>3</sup> beton için hazırlanmış karışım dizaynı

Kireçtaşı agregası							
		C16		C25		C35	
		Hacim (dm <sup>3</sup> )	Ağırlık (kg)	Hacim	Ağırlık	Hacim	Ağırlık
Çimento		102	315	133	411	181	558
Su		218	218	218	218	218	218
Hava		20	-	20	-	20	-
Agrega	0-4 (%49)	323	851	308	811	285	749
	4-11.2 (%30)	198	513	189	489	174	451
	11.2-22.4 (%21)	139	359	132	342	122	316
Su/Çimento				0.53		0.39	
Toplam		1000	2255	1000	2270	1000	2292

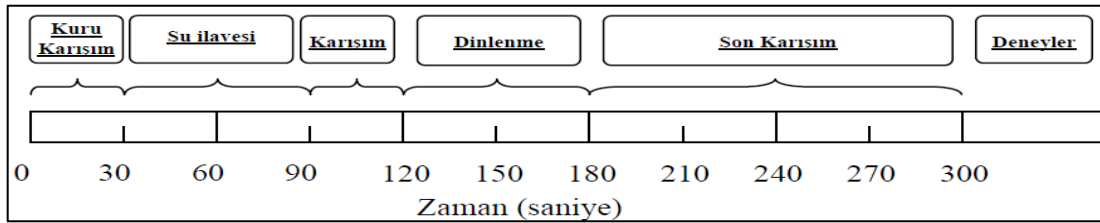
Kireçtaşı kullanılarak hazırlanacak beton örneklerin su/çimento oranları C16, C25 ve C35 beton sınıfı için sırasıyla 0.69, 0.53 ve 0.39 olarak hesaplanmıştır. Beton örneklerin

teorik birim hacim ağırlıkları C16, C25 ve C35 beton sınıfı için sırasıyla  $2255 \text{ kg/m}^3$ ,  $2270 \text{ kg/m}^3$ ,  $2292 \text{ kg/m}^3$  olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.5. Düşey eksenli cebri karıştırma mikser

Karıştırma işlemi yapılırken yapılan işlemin homojen olmasına dikkat edilmiştir. Bunu sağlamak için de karıştırma işlemi yapılırken segregasyonun önüne geçilmeye çalışılmış ve bu aşağıdaki Şekil 3.6'da belirtilen zaman çizelgesindeki gibi yapılmıştır. Hazırlanan beton karışımı numune kalıplarına yerleştirilirken kalıba iyi yerleşmesi ve segregasyon olmamasına dikkat edilmiş ve sıkıştırma işlemi vibrasyon masasında yapılarak, vibrasyon 10 sn uygulanmıştır.



Şekil 3.6. Betonun karışım işlem aşamaları (Gencel, 2009).

Beton üretiminde Şekil 3.7'de görülen 10x20 cm boyutunda plastik kalıplar kullanılmıştır. Beton örnekleri kalıptan çıkarıldıktan sonra Şekil 3.8'de gösterilen kür havuzlarında  $22 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıkta 3, 7 ve 28. güne kadar kür edilmiştir.



Şekil 3.7. Yapılacak deneysel çalışma için üretilen deney örnekleri



Şekil 3.8. Isı kontrollü kür havuzları

Sertleşmiş beton deneylerine başlanmadan önce üretilen kompozit malzemelerin silindir olması sebebiyle yüzeyde oluşan pürüzlülüğün giderilmesi için Şekil 3.9'da görülen yüzey başlıklama makinası kullanılmış ve silindir numunelerin yüzey pürüzlülüğü giderilerek deneysel çalışmada kullanılabilir duruma getirilmiştir.



Şekil 3.9. Numune başlıklama cihazı ve yüzeyi düzeltilmiş örnek

### 3.2.2. Agrega Deneyleri

#### 3.2.2.1. Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranı Tayini

Çalışmada kullanılan agregaların yoğunluk ve su emme miktarları TS EN 1097-6'da belirtilen esaslara göre yapılmıştır.

Tane yoğunlukları ve su emme hesaplamasında;

Görünür tane yoğunluğu,

$$\rho_a = \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)} \quad (3.1)$$

Etüvde kurutulmuş esasta tane yoğunluğu,

$$\rho_{rd} = \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)} \quad (3.2)$$

Doygun ve yüzeyi kurutulmuş esasta tane yoğunluğu,

$$\rho_{ssd} = \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)} \quad (3.3)$$

Su emme oranı (WA<sub>24</sub>), 24 saatlik daldırmadan sonra, kuru kütlede bir yüzdesi olarak, aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanmaktadır:

$$WA_{24} = \frac{100 \times (M_1 - M_4)}{M_4} \quad (3.4)$$

% Görünen porozite :  $\rho_{rd} \times WA_{24}$

Burada;

M<sub>1</sub>; Doygun ve havada yüzeyi kurutulmuş agreganın kütlesi, g,

M<sub>2</sub>; Doygun agrega numunesi ihtiva eden piknometrenin kütlesi, g,

M<sub>3</sub>; Sadece su ile doldurulmuş piknometrenin kütlesi, g,

M<sub>4</sub>; Etüvde kurutulmuş deney numunesi kısmının kütlesi, g. dir.

### 3.2.2.2. Agregasınma Miktarı Tayini (Los Angeles Deneyi)

Çalışmada kullanılan agregaların aşınma miktarları, “9.5-19 mm” agregalar için ASTM C131 ve “19-37.5 mm” agregalar için ASTM C535’de belirtilen esaslara göre yapılmıştır.

### 3.2.2.3. Agregaların Kimyasal Özelliklerinin Tayini

Agregaların kimyasal özelliklerinin tayininde ana element analizleri ağırlıklı olarak Gümüştaş Madencilik Firmasını’nın laboratuvarında bulunan X-Ray Flörosans cihazı ile tali/iz element analizleri ise Gümüşhane Üniversitesi Gıda Mühendisliği Laboratuvarında bulunan MP-AES cihazı ile yapılmıştır. X-Ray Flurosans analizlerinde örnekler 100 meşlik elekten geçecek boyuta kadar elenmiş ve örnekler homojen bir şekilde poşetlenerek örnek poşetinin her iki yüzeyinden ölçümler yapılmış ve ortalama değerleri alınarak gerçeleştirilmiştir. Cihazın kalibrasyonu ve örneklerinin doğruluk testleri standart örneklerle kıyaslanarak gerçeleştirilmiştir.

GÜ Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü laboratuvarında analizi gerçeleştirilen örneklerin kimyasal analiz için hazır hale getirilme işlemleri, mikrodalga ile parçalama işlemine tabi tutularak gerçeleştirilmiştir. Mikro dalgada kullanılan parçalama programı Tablo 3.5’te görölmektedir.

Toz haline getirilmiş örneklerin 0.20g civarında 0.1mg hassasiyette tartımlar alınmış, mikrodalga fırının (AGILENT MDS-8G) teflon beherlerine konmuş, üzerlerine 4 mL  $\text{NH}_3$ , 2 mL HF ilave edilerek Tablo 3.5’te belirtilen I. aşamada verilen şartlarda parçalamaya tabi tutulmuş, daha sonra elde edilen çözeltiliye 5 mL  $\text{B}_3\text{OH}_3$  ilave edilerek, II. aşamada verilen şartlarda tekrar parçalanmaya tabi tutulmuştur. İşlem sonrası beher içerikleri cam pamuğundan süzöldükten sonra elde edilen berrak çözeltiler saf su ile 50 mL’ye kantitatif olarak tamamlandıktan sonra MP-AES ve ağırlıklı olarak ICP-MS ile analiz edilmiştir.

Tablo 3.5. Mikro dalgada parçalama programı

I. Aşama				II. Aşama			
Kademe	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Güç (Watt)	Kademe	Sıcaklık (°C)	Zaman (dakika)	Güç (Watt)
1	120	5	800	1	120	6	800
2	130	5	800	2	130	6	800
3	150	5	800	3	150	6	800
4	210	7	800	4	210	10	800

#### 3.2.2.4. Agregaların Minerolojisi ve Petrografik Özelliklerinin Tayini

İnce kesiti hazırlanan örnekler Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Araştırma Mikroskobu Laboratuvarı'nda bulunan Nikon Eclipse E400 POL 230V~0,4A 50/60 Hz marka polarizan mikroskop aracılığıyla incelenmiş ve arazideki kayaçların yapısal, dokusal ve mineralojik özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca kayaçları oluşturan minerallerin birbirleri arasındaki ilişkileri, optik özellikleri gözlenerek önemli olduğu düşünülen kesitlerden tek ve çapraz nikollerde mikro fotoğraflama işlemleri yapılmıştır.

Hazırlanan parlak kesitler Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Araştırma Mikroskobu Laboratuvarı'nda üstten aydınlatmalı cevher mikroskopisi vasıtası ile incelenmiştir. Agregaların Mineroloji ve Petrografik Özelliklerinin tayini Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği laboratuvarında yapılmıştır.

#### 3.2.3. Sertleşmiş Beton Deneyleri

##### 3.2.3.1. Su Emme Oranı Tayini

Su emme oranı (SEO) ASTM C642'deki esaslara göre yapılmıştır.

SEO hesaplanmasında:

$$m = \frac{B-A}{A} \times 100 \quad (3.5)$$

eşitliği kullanılmıştır.

Burada;

m; Ağırlıkça su emme oranı, (%)

A; Etüv kurusu ağırlık, (kg)

B; Doygun kuru yüzey ağırlığı, (kg) ifade etmektedir.

### 3.2.3.2. Sertleşmiş Betonun Görünür Boşluk Oranı Tayini

Boşluk oranı tayini ASTM C642'deki esaslara göre yapılmıştır.

Boşluk oranı tayini hesaplanmasında:

$$B_o = \frac{c-A}{c-D} \times 100 \quad (3.6)$$

eşitliği kullanılmıştır.

Burada;

B<sub>o</sub>; Görünür Boşluk Oranı, (%)

A; Etüv kurusu ağırlık, (g)

C; Su içinde kaynatma sonrası suya doymuş ağırlığı, (g)

D; Su içerisindeki ağırlığı, (g) ifade etmektedir.

### 3.2.3.3. Sertleşmiş Betonun Görünür Yoğunluk Tayini

Görünür yoğunluk tayini ASTM C642'deki esaslara göre yapılmıştır.

Yoğunluk, numunenin hacmi ve tayin edilen kütlesi kullanılarak, aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır:

$$g = \left[ \frac{A}{A-D} \right] \cdot \rho \quad (3.7)$$

Burada;

g; Numunenin görünür yoğunluğu (g/cm<sup>3</sup>)

A; Etüv kurusu ağırlık, (g)

D; Su içerisindeki ağırlığı, (g)

$\rho$ ; suyun yoğunluğu, 1 g/cm<sup>3</sup> ifade etmektedir.

#### 3.2.3.4. Beton Basınç Dayanımı Tayini

Basınç dayanımı, 100x200 mm ebadında 75 adet silindir beton örnek üzerinde TS EN 12390-3'de belirtilen esaslara göre yapılmıştır.

Beton basınç dayanımının hesaplanması:

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (3.8)$$

eşitliği kullanılmıştır.

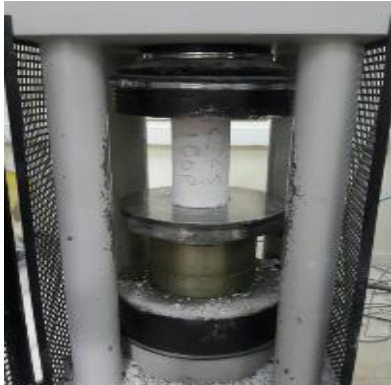
Burada;

$f_c$ ; Basınç dayanımı, MPa (N/mm<sup>2</sup>),

F; Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, N,

$A_c$ ; Numunenin, üzerine basınç uygulandığı en kesit alanı, (mm<sup>2</sup>) ifade etmektedir.

Basınç dayanımının belirlenmesinde Şekil 3.10'da görülen basınç presi kullanılmıştır.



Şekil 3.10. Beton basınç presi

### 3.2.3.5. Eğilme Dayanımı Tayini

Eğilme basınç deneyi 10x10x40 cm boyutlarında kiriş örnek üzerinde TS-EN 12390-5'teki esaslara göre yapılmıştır.

Eğilme basınç dayanımı testleri, 28 günlük numunelere uygulanmıştır. Eğilme basınç presi (Şekil 3.11) TS-EN 12390-3'e uygun olarak ayarlanmış ve otomatik olarak kırılarak kırılma yükleri ve basınç gerilmeleri (eğilme basınç dayanımları) tespit edilmiştir.

$$f_{cf} = \frac{3 \times F \times l}{2 \times d_1 \times d_2} \quad (3.9)$$

Burada;

$f_{cf}$ ; Eğilme Dayanımı, MPa (N/mm<sup>2</sup>)

F; En büyük yük (N),

d1 ve d2; Numunenin en kesit boyutları (mm),

l; Mesnet silindirleri arasındaki açıklık(mm) ifade etmektedir.



Şekil 3.11. Eğilme basınç presi

### 3.2.3.6. Statik Elastisite Modülü Tayini

Statik elastisite modülü tayininde 100x200 mm ebadında hazırlanan silindirik beton örnekleri ASTM C469 deney standartlarına göre işleme tabi tutulmuştur. Statik elastisite modülünün hesaplanmasında Sekant metodu kullanılmıştır. Gerilme-birim deformasyon

( $\sigma$ - $\epsilon$ ) grafiği üzerinde bir ucu 0 noktasında olan diğer ucu ise betonun maksimum gerilme değerinin %40'ına karşılık gelen gerilme değerinde olan doğrunun meydana getirdiği eğim elastisite modülünün hesaplanmasında kullanılmıştır. Deformasyon ölçümlerinde Şekil 3.12'de görülen kompressometre kullanılmıştır.



Şekil 3.12. Deformasyon değerlerini belirlemede kullanılan kompressometre

### 3.2.3.7. Poisson Oranı Tayini

Poisson oranı tayininde 100x200 mm ebadında hazırlanan silindir beton örnekleri kullanılmıştır. Beton basınç dayanımı tayin edilirken kaydedilen boyuna ve enine deformasyon değerlerinden yararlanılarak ASTM C469 “Betonda Statik Elastisite Modülü ve Poisson Oranı Tayini“ standardındaki esaslara uygun olarak, poisson oranı saptanmıştır.

Poisson oranı hesaplanmasında:

$$\mu = \frac{\epsilon_{\gamma}}{\epsilon_{\theta}} \quad (3.10)$$

eşitliği kullanılmıştır.

Burada;

$\mu$ ; Poisson oranı,

$\epsilon_{\gamma}$ ; Eksenel yük nedeniyle oluşan yanal birim genleşme deformasyonu,

$\epsilon_{\theta}$ ; Eksenel yük nedeniyle oluşan eksenel birim kısıalma deformasyonu ifade etmektedir.

### 3.2.3.8. Tahribatsız Test Yöntemleri ile Beton Basınç Dayanımı Tayini

Tahribatsız yöntemle basınç dayanımı belirlemede ASTM C805’de belirtilen esaslara göre Yüzey Sertliği (Schmidt Çekici) ve ASTM C 597’de belirtilen esaslara göre Ultrases geçiş hızı deneleri gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanımlarının hesaplanmasında;

Yüzey Sertliği yönteminde;

$$f_c = 0.0092N^{2.27} \quad (3.11)$$

Ultrases geçiş hızı yönteminde;

$$V = L/t \quad (3.12)$$

Bu eşitlikte;

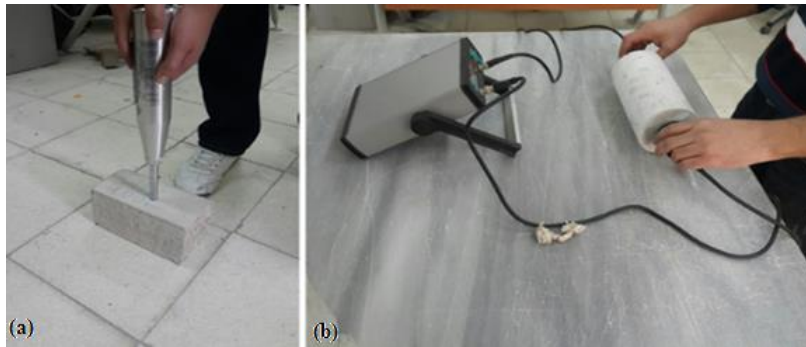
$$f_c=6(V-1.8)1.8$$

V; Ultrases geçiş hızı (km/sn)

L; Ölçüm boyu (km)

t; Ses geçiş süresini (sn) ifade etmektedir.

Çalışmada kullanılan cihazlar Şekil 3.13’te görülmektedir.



Şekil 3.13. Schmidt Çekici (a) ve Ultrases cihazı (b)

### 3.2.3.9. Donma Çözülme Dayanımı Tayini

Donma çözülme dayanımı ASTM C666 Prosedür A'daki esaslara uygun olarak, 100x200 mm ebadında hazırlanan silindir beton örnekler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Beton örnekleri her 50 donma çözülme döngüsünde temel enine frekans değişimi kaydedilmiştir. Kaydedilen frekans değişimleri bağıl dinamik elastisite modülü hesaplanmasında kullanılmıştır.

Bağıl dinamik elastisite modülü hesaplanmasında:

$$P_c = \frac{n_c^2}{n_0^2} \times 100 \quad (3.13)$$

eşitliği kullanılmıştır.

Burada;

$P_c$ ; Herhangi bir “c” devirlik, donma - çözülme sonunda numunenin yüzde olarak bağıl dinamik elastisite modülü,

$n_0$ ; Donma – çözülme uygulanmış numunenin başlangıç temel enine frekansı,

$n_c$ ; “c” adet donma çözülme döngüsü sonunda numunenin temel enine frekansı

Anlamına gelmektedir.

Denklem (3.13) ile bulunan bağıl dinamik elastisite modülü, deney örneklerinin ”Dayanıklılık Faktörü” hesaplanmasında kullanılmıştır.

Dayanıklılık faktörü hesaplanmasında:

$$DF = \frac{PN}{M} \quad (3.14)$$

Burada;

DF; Deney örneğinin dayanıklılık faktör,

P; “N” adet devir sayısı bulunan bağıl dinamik elastisite modülü (yüzde olarak),

N; Bağıl dinamik elastisite modülü deneyini bitirmek için P'nin en az değere düşmesi için gerekecek devir sayısı veya deneyin bitirileceği devir sayısı (hangisi az ise),

M; Deneyin bitirileceği belirtilen devir sayısı, anlamına gelmektedir.

Çalışmada kullanılan beton örnekler Şekil 3.14'te görülmektedir.



Şekil 3.14. Donma çözülme cihazı

### 3.2.3.10. Aşınma Dayanımı Tayini

Aşınma dayanımı 100x200mm ebadında silindirik beton örnekler üzerinde. ASTM C944 deney standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Aşınma oranının hesaplanmasında:

$$A_0 = \frac{W_0 - W_1}{W_1} \times 100 \quad (3.15)$$

eşitliği kullanılmıştır. Burada eşitlikte;

$A_0$ ; Aşınma oranı (%)

$W_0$ ; İlk ağırlık (g)

$W_1$ ; Aşınma sonrasındaki ağırlık (g) ifade etmektedir.

Çalışmada kullanılan aşındırma cihazı Şekil 3.15'te görülmektedir.



Şekil 3.15. Aşındırma testi cihazı

### 3.2.3.11. Kapilarite Tayini

Kapilarite deneyi ASTM C1585 deney standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca kapilarite katsayılarının hesaplanmasında aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$K = \frac{Q^2}{A^2 \times t} \quad (3.15)$$

Burada,

K; Kapilarite katsayısı, (cm<sup>2</sup>/sn),

Q; Kılcallık yoluyla emilen su miktarı, (cm<sup>3</sup>),

A; Suyla temas eden alan, (cm<sup>2</sup>),

t; Kılcal su emmenin tamamlandığı zamanı, (sn) ifade etmektedir.

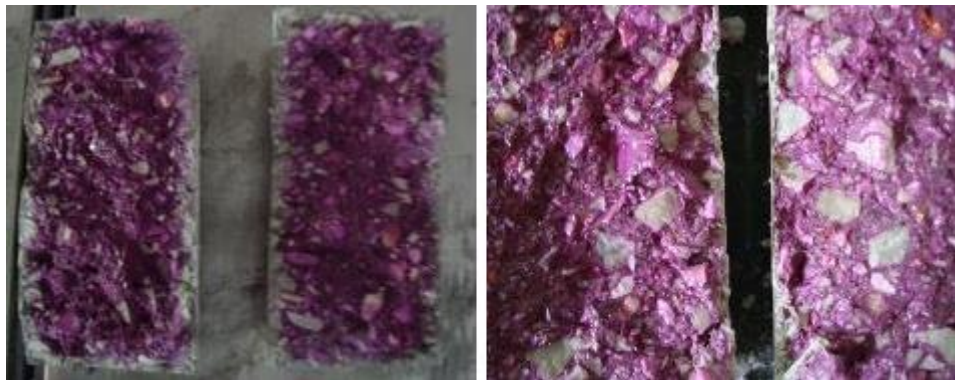
Kapilarite deneyi Şekil 3.16'da görülmektedir.



Şekil 3.16. Kapilarite deney düzeneği

### 3.2.3.12. Karbonatlaşma Derinliği Tayini

Çalışmada, 100x200mm silindir beton örnekler üretildikten sonra 1 yıl açık havada bekletilmiştir. Daha sonra beton örnekler yarma yöntemiyle 2'ye bölünmüş ve üzerlerine Phenolphthalein indikatörü püskürtülmüştür, karbonatlaşan bölümlerden en az 10 adet ölçüm alınmış ve ortalama karbonatlaşma derinliği belirlenmiştir. Karbonatlaşma derinliği ölçülen beton örnek Şekil 3.17'de görülmektedir.



Şekil 3.17. Karbonatlaşma derinliğinin belirlenmesi

## 4. TARTIŞMA VE İRDELEME

### 4.1. Agregada Deneyleleri

#### 4.1.1. Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranı Tayini

Agregalara ait fiziksel özellikler Tablo 4.1’de görölmektedir.

Tablo 4.1. Agregalara ait fiziksel özellikler

Agrega türü	Agrega sınıfı	Fiziksel özellikler			
		Kuru tane Yoğunluğu (g/cm <sup>3</sup> )	DKY yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Su emme Oranı (%)	Porozite (%)
Kurşun maden atığı (Pasa)	0-4 (İnce)	2.67	2.78	4.02	10.71
	4-32 (İri)	2.78	2.81	1.10	3.06
Kireçtaşı	0-4 (İnce)	2.52	2.63	4.21	10.62
	4-32 (İri)	2.54	2.59	1.93	4.89

Beton yapımında kullanılan kireçtaşı agregaları, kurşun maden atığı agregalarına göre yoğunluğu azdır. Bu durum kurşun madeni atığı kayaçlarının içerisindeki kurşun miktarı ile açıklanabilir. Beton üretiminde kullanılacak kurşun madeni atığı agregalar ile birim hacim ağırlığı normal kireç taşlarına göre daha yüksek beton üretmek mümkün olabilmektedir.

#### 4.1.2. Agregada Aşınma Miktarı Tayini (Los Angeles Deneyi)

Agregaların aşınma miktarlarına ait değerler Tablo 4.2’de görölmektedir.

Tablo 4.2. Agregaların aşınma miktarları (Los Angeles Deneyi)

Agrega Türü	Aşınma miktarları (%)	
	ASTM C131	ASTM C535
	I nolu agregada (9.5-19 mm)	II nolu agregada (19-37.5mm)
Kurşun maden atığı (Pasa)	26.40	20.35
Kireçtaşı	19.87	14.56

Agregaların aşınma miktarlarına göre, kurşun maden atığı kayaçların daha fazla aşındığı görülmektedir. Aşınma deneyi sırasında agrega içerisindeki kurşun parçalarının kırılmasından dolayı kurşun madeni kayaçlarından üretilen agregaların, kireçtaşı agregalarına göre daha fazla aşınmasına neden olmaktadır.

#### 4.1.3. Agregaların Kimyasal Analiz “Oksit Ağırlık” Değerleri

Kullanılan Kireçtaşı agregasının kimyasal analizi Tablo 4.3’te görülmektedir.

Tablo 4.3. Beton üretiminde kullanılan agregaların kimyasal özellikleri

Eleman	Kurşun maden atığı(Pasa)	Kireçtaşı
SiO <sub>2</sub>		2.95
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0.43
Fe <sub>2</sub> O*	4.65	0.46
MgO		-
Ca**		
CaO	34.6	73.93
MgCO <sub>3</sub>		22.24
Ba		
S**		
Zn	1.11	
Pb	0.98	
Cu	<0.01	
H <sub>2</sub> O	7.96	
Diğer Uçucular Ağırlıklı (CO <sub>2</sub> , vb.)	50.74	
O***		
Toplam	100.04	100.01

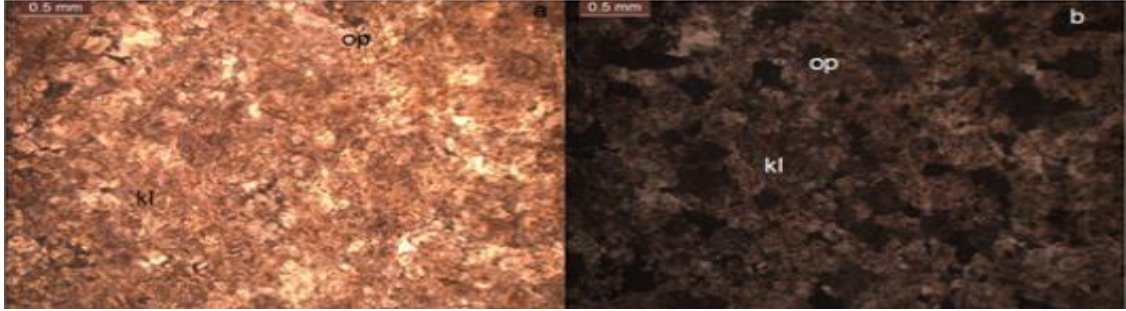
\*Toplam demir miktarı  
\*\* Ca, Ba konsantrasyonları MP-AES ve ICP-MS ile elementer olarak tespit edilmiş olup, tabloda oksit hali hesaplanmadan verilmiştir.  
\*\*\* O ve S değerleri Baritin genel formülünden orantı yolu ile hesap edilmiş olup, diğer impuritelere dedeksiyon limitinin altında kaldıkları için ve/veya ana bileşen içinde önemli miktarda bulunmadıkları için ihmal edilmişlerdir.

#### 4.1.4. Agregaların Minerolojisi ve Petrografik Özelliklerin Tayini

Çalışmada kurşun maden atıkları (Pasa) ve Kireçtaşı agregaları kullanılmıştır. Bu agregalara ilişkin mineralojik ve petrografik özellik sonuçları aşağıda tanımlanmıştır.

Pasanın mineralojik-petrografik özellikleri:

Pasa, cevherleşmenin içinde geliştiği kayacın bir nevi ekonomik olarak cevher içermeyen, cevherleşmeden geriye kalan ve ekonomik olmayan kısmı anlamına gelmektedir. Cevherleşme sahada kireçtaşları içinde geliştiğinden pasa olarak tanımlanan kısım ağırlıklı olarak kireçtaşı içermektedir. Metalik mineral olarak ise pirit, sfalerit, daha az oranda ise galenitlere rastlanmıştır. Pasadan alınan el büyüklüğündeki örneklerden yapılan ince kesit incelendiğinde kalsitin ağırlıklı olduğu, bunun yanında opak olarak da pirit, sfalerit ve daha az oranda da galenitin bulunduğu saptanmıştır. Pasa örneğine ait ince kesit fotoğrafı Şekil 4.1’de görülmektedir.



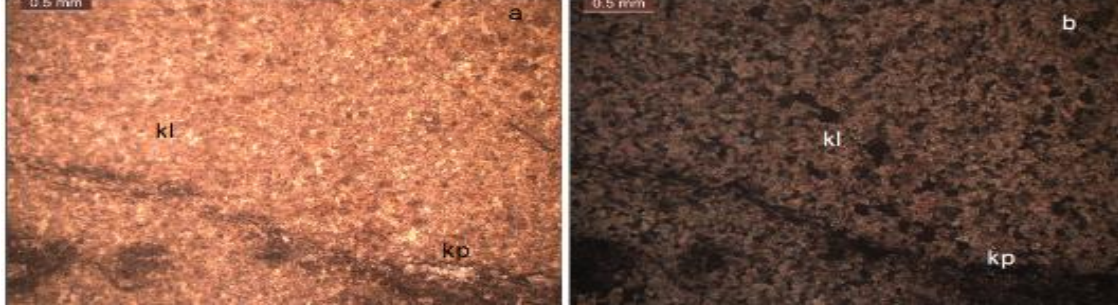
Şekil 4.1. Pasaya örneğine ait ince kesit fotoğrafı (a): tek nikol, (b): çift nikol (kl: kalsit, op: opak mineral)

Kalsit agregalarının Minerolojik ve Petrografik Özellikleri:

Agrega olarak kullanılan kalsitler Gümüşhane yöresinde çok fazla rastlanan Berdiga Formasyonu’ndan (masif kireçtaşı) alınmıştır. Berdiga formasyonu, arazide açık gri rengeyle uzaktan tanınabilen bir kayaç topluluğudur ve arazide sert bir topografya vermesi ile dikkat çekmektedir.

Agregadan alınan örneklerin mikroskopik incelemelerinde; kayaç içinde bileşen olarak kalsit ve kayaç kırıntılarında rastlanmıştır. Kayacın çimentosunun mikritik (küçük kristalli) karakterde olduğu ve mineralojik ve dokusal özellikleri göz önünde bulundurulduğunda sığ denizel ortam ürünü olduğu sonucuna varılmış ve kayaç mikritik

kireçtaşı olarak adlandırılmıştır. Kireçtaşı örneğine ait ince kesit fotoğrafı Şekil 4.2’de görülmektedir.



Şekil 4.2. Kireçtaşı örneğine ait ince kesit fotoğrafı (a): mikritik dokulu kireçtaşı tek nikol, (b) çift nikol (kp: kayaç parçası, kl: kalsit).

#### 4.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Beton örnekler üzerinde, sertleşmiş beton deneylerinden, su emme oranı, görünür boşluk oranı, yoğunluğu, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, statik elastisite modülü, poisson oranı, tahribatsız test yöntemleri “yüzey sertliği (Schmidt Çekici), ultrases geçiş hızı”, donma çözülme dayanımı, aşınma dayanımı, kapılar su emme ve karbonatlaşma testleri gerçekleştirilmiştir.

##### 4.2.1. Sertleşmiş Betonun Su Emme Oranı

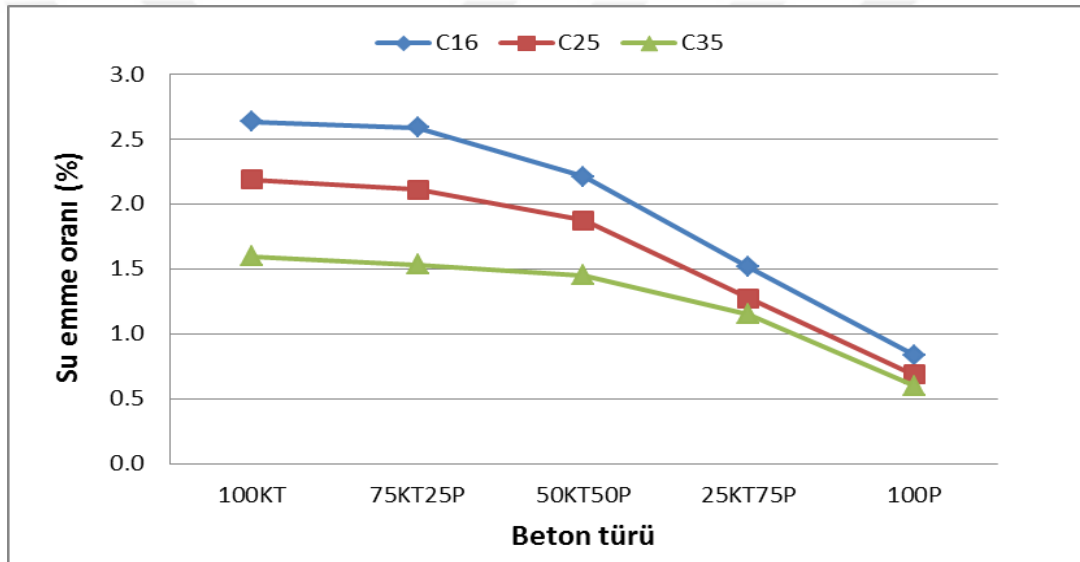
Su emme oranı sonuçlarına göre, C16, C25 ve C35 dayanım sınıfında Kireçtaşı-Pasa karışımı betonlara ait grafik Şekil 4.3.’te görülmektedir.

Kireçtaşı-Pasa agregası karışımı ile hazırlanan beton örneklerin su emme oranı değeri değerlendirilmesinde;

- En küçük su emme oranı değeri, C16 basınç dayanım sınıfında 100P beton türünde %0.84, C25 basınç dayanımında 100P beton türünde %0.69 ve C35 basınç dayanımında 100P beton türünde %0.60 olduğu,

- En büyük su emme oranı değeri, C16 basınç dayanım sınıfında 100KT beton türünde %2.64, C25 basınç dayanım sınıfında 100KT beton türünde %2.19 ve C35 basınç dayanım sınıfında 100KT beton türünde %1.60 ve 100KT beton türlerinde olduğu,

- C16 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %80.3, %163.6, %208.0 ve %213.6 daha büyük su emme oranı değerine sahip olduğu,
- C25 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %84.7, %171.5, %206.4 ve %217.0 daha büyük su emme oranı değerine sahip olduğu,
- C35 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %91.9, %142.1, %155.5 ve %166.4 daha büyük su emme oranı değerine sahip olduğu görülmüştür.

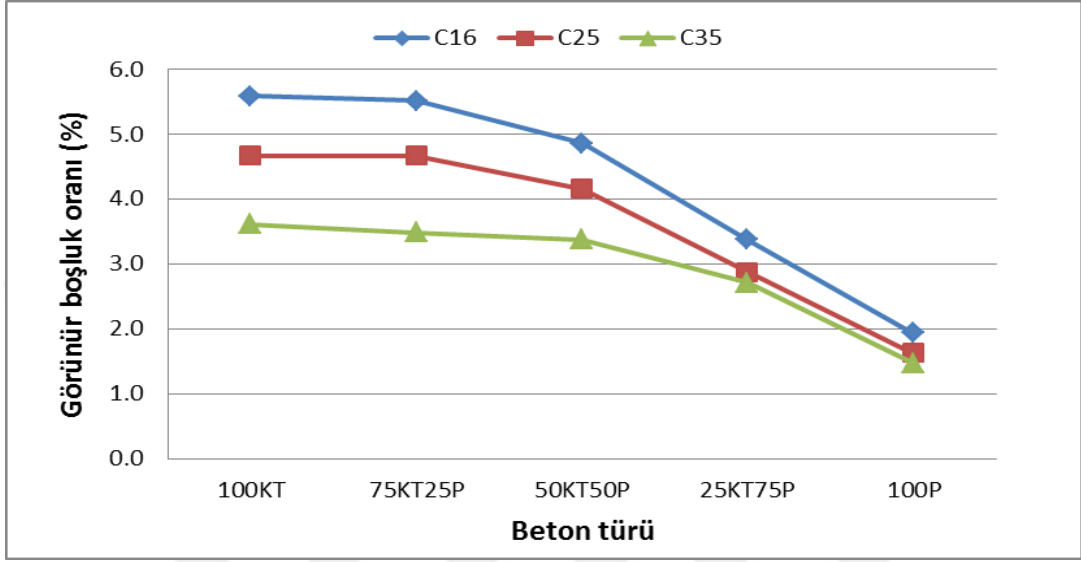


Şekil 4.3. Kireçtaşı-pasa agregası ile üretilen beton örneklerinin su emme oranı değerleri

Sonuç olarak, betonun su emme değerini beton yapımında kullanılan agrega ve betonun boşluk yapısı etkilemektedir. Farklı su emme değerlerine sahip agregalarla üretilen betonların farklı su emme değerleri olduğu görülmektedir. Pasa agregalarının su emme değerinin ve boşluk miktarının az olması beton örneklerinde su emme değerinin azalmasına neden olmaktadır.

#### 4.2.2. Sertleşmiş Betonun Görünür Boşluk Oranı

Görünür boşluk oranı sonuçlarına göre, C16, C25 ve C35 dayanım sınıfında Kireçtaşı-Pasa karışımı betonlara ait grafik Şekil 4.4'te görülmektedir.



Şekil 4.4. Kireçtaşı-pasa agrega karışımı ile üretilen beton örneklerin ortalama görünür boşluk oranı değerleri

Kireçtaşı-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin ortalama görünür boşluk oranı değerlendirmesine de;

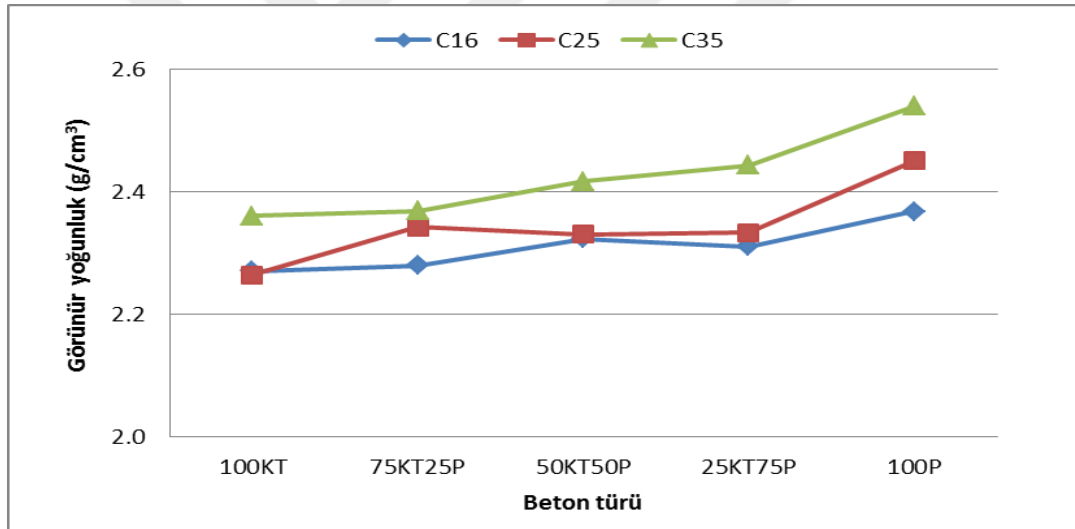
- En küçük görünür boşluk oranı, C16 basınç dayanım sınıfında 100P beton türünde %2.26, C25 basınç dayanımında 25KT75P beton türünde %3.33 ve C35 basınç dayanımında 100P beton türünde %3.36 olduğu,
- En büyük ortalama görünür boşluk oranı, C16 basınç dayanım sınıfında 100KT beton türünde %6.61, C25 basınç dayanım sınıfında 100KT beton türünde %5.79 ve C35 basınç dayanım sınıfında 100KT beton türünde %4.18 ve 100KT beton türlerinde olduğu,
- C16 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %73.6, %150.0, %183.9 ve %187.3 daha büyük görünür boşluk oranına sahip olduğu,
- C25 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %76.4, %155.3, %186.4 ve %186.1 daha büyük görünür boşluk oranına sahip olduğu,

- C35 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %84.0, %129.0, %136.4 ve %145.4 daha büyük görünür boşluk oranına sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, beton örneklerin dayanım sınıfının artışı ile görünür boşluk miktarı azalmakta, bunda su/çimento oranı önemli bir rol oynamakta. Bunun yanında agregaların boşluk oranı da toplam görünür boşluk oranını etkilemektedir.

#### 4.2.3. Sertleşmiş Betonun Görünür Yoğunluğu

Görünür yoğunluk sonuçlarına göre, C16, C25 ve C35 dayanım sınıfında Kireçtaşı-Pasa karışımı betonlara ait grafik Şekil 4.5'te örlmektedir.



Şekil 4.5. Kireçtaşı-pasa agrega karışımı ile üretilen beton örneklerin ortalama görünür yoğunluk değerleri

Kireçtaşı-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin ortalama görünür yoğunluk değerlendirmesinde;

- En küçük ortalama görünür yoğunluk, C16 basınç dayanım sınıfında 100KT beton türünde 2.271 g/cm<sup>3</sup>, C25 basınç dayanımında 100KT beton türünde 2.264 g/cm<sup>3</sup> ve C35 basınç dayanımında 100KT beton türünde 2.361 g/cm<sup>3</sup> olduğu,

- En büyük ortalama görünür yoğunluk, C16 basınç dayanım sınıfında 100P beton türünde  $2.368 \text{ g/cm}^3$ , C25 basınç dayanımı sınıfında 100P beton türünde  $2.451 \text{ g/cm}^3$  ve C35 basınç dayanımı sınıfında 100P beton türünde  $2.540 \text{ g/cm}^3$  olduğu,

- C16 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %2.4, %1.9, %3.7 ve %4.1 daha küçük görünür yoğunluğa sahip olduğu,

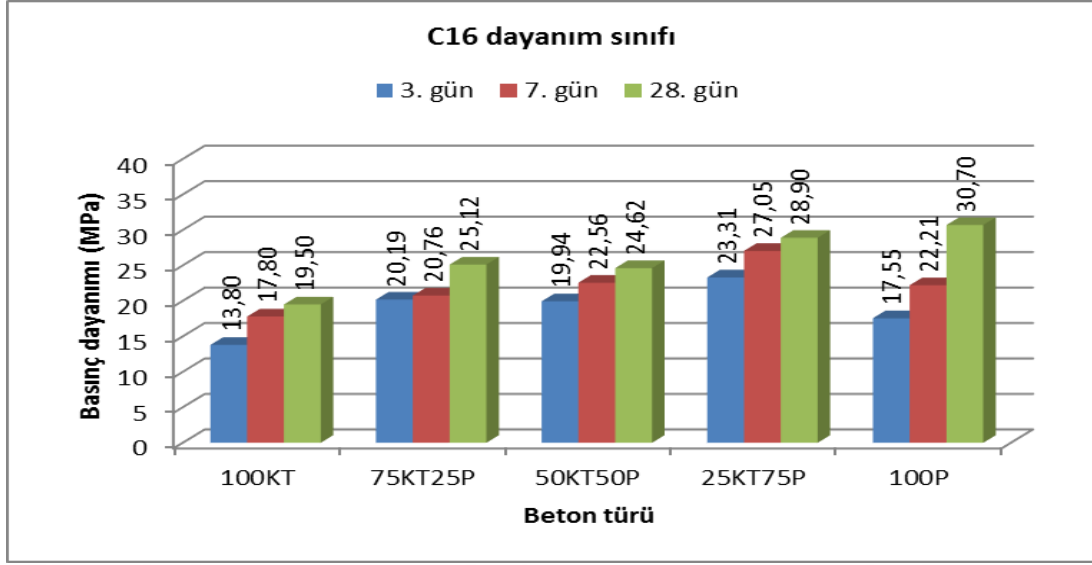
- C25 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %4.8, %4.9, %4.4 ve %7.6 daha küçük görünür yoğunluğa sahip olduğu,

- C35 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %3.8, %4.8, %6.7 ve %7.1 daha küçük görünür yoğunluğa sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, beton içerisinde kullanılan agreganın yoğunluğu ile betonun yoğunluğu değişmektedir (Ouda, 2015). Kullanılan agregaların yoğunluk değişimi beton örneklerin yoğunluklarında da belirgin bir şekilde görülmektedir. Beton örneklerde kullanılan kireçtaşı agregalarına eklenen pasa ile beton örneklerin yoğunlukları %2-%7 arasında artmaktadır. Beton örneklerin karışım hesapları hacim esasına göre yapıldığı için C16 dayanım sınıfındaki betonlarda kullanılan agrega hacim olarak diğer dayanım sınıflarına göre daha fazla agrega ihtiva etmektedir.

#### **4.2.4. Beton Basınç Dayanımı**

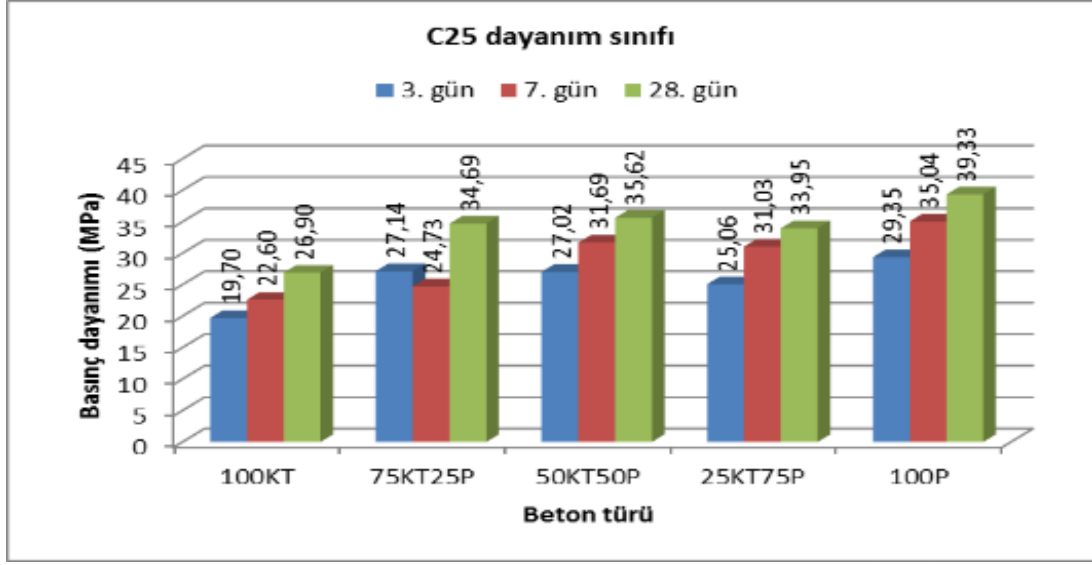
Basınç dayanımı deneyi sonuçlarına göre, C16, C25 ve C35 dayanım sınıfında 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerlendirmesinde Kireçtaşı-Pasa karışımı betonlara ait grafik Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de görülmektedir.



Şekil 4.6. Kireçtaşı-Pasa karışımı C16 dayanım sınıfındaki betonlara ait 3, 7 ve 28 günlük ortalama basınç dayanımı değerleri

C16 dayanım sınıfında Kireçtaşı-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin basınç dayanımı değerlendirmesinde;

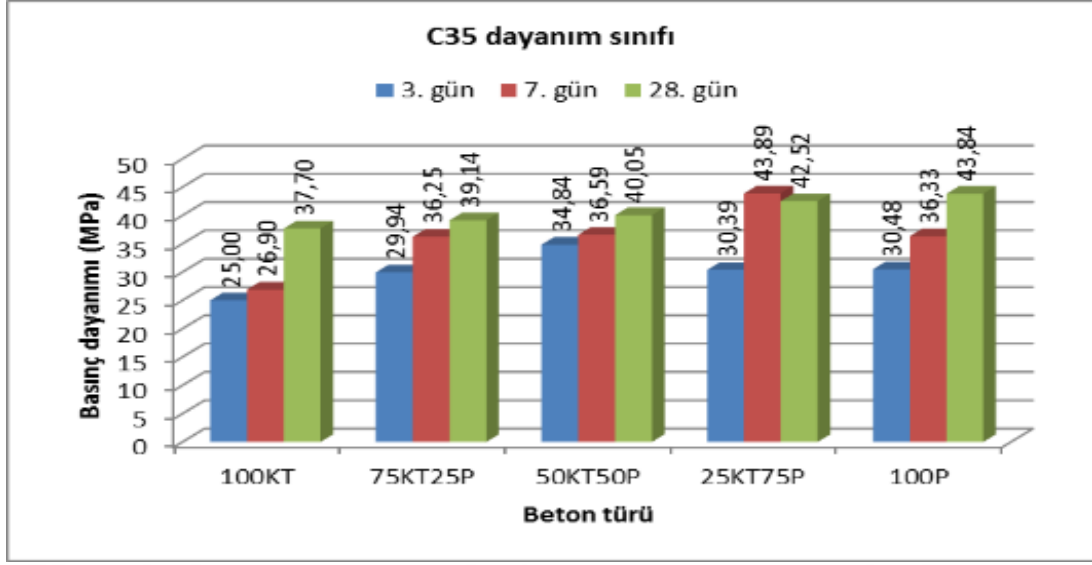
- En küçük basınç dayanımının, 3 günlük basınç dayanımında 100KT beton türünde 13.80 MPa, 7 günlük basınç dayanımında 100KT beton türünde 17.80 MPa ve 28 günlük basınç dayanımında 100KT beton türünde 19.50 MPa olduğu,
- En büyük basınç dayanımının, 3 günlük basınç dayanımında 25KT75P beton türünde 23.31 MPa, 7 günlük basınç dayanımında 25KT75P beton türünde 27.05 MPa ve 28 günlük basınç dayanımında 100P beton türünde 30.70 MPa olduğu,
- 3 günlük basınç dayanımında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %33, %14, %15 daha büyük ve %21 daha küçük basınç dayanımına sahip olduğu,
- 7 günlük basınç dayanımında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %22, %2 daha büyük, %7 ve %20 daha küçük basınç dayanımına sahip olduğu,
- 28 günlük basınç dayanımında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %6, %20, %18 ve %36 daha küçük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4.7. Kireçtaşı-Pasa karışımı C25 dayanım sınıfındaki betonlara ait 3, 7 ve 28 günlük ortalama basınç dayanımı değerleri

C25 dayanım sınıfında Kireçtaşı-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin basınç dayanımı değerlendirmesinde;

- En küçük basınç dayanımının, 3 günlük basınç dayanımında 100KT beton türünde 19.70 MPa, 7 günlük basınç dayanımında 100KT beton türünde 22.60 MPa ve 28 günlük basınç dayanımında 100KT beton türünde 26.90 MPa olduğu,
- En büyük basınç dayanımının, 3 günlük basınç dayanımında 100P beton türünde 29.35 MPa, 7 günlük basınç dayanımında 100P beton türünde 35.04 MPa ve 28 günlük basınç dayanımında 100P beton türünde 39.33 MPa olduğu,
- 3 günlük basınç dayanımında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %15, %8, %8 ve %33 daha küçük basınç dayanımına sahip olduğu,
- 7 günlük basınç dayanımında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %11, %10, %29 ve %36 daha küçük basınç dayanımına sahip olduğu,
- 28 günlük basınç dayanımında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %14, %9, %12 ve %32 daha küçük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4.8. Kireçtaşı-Pasa karışımı C35 dayanım sınıfındaki betonlara ait 3, 7 ve 28 günlük ortalama basınç dayanımı değerleri

C35 dayanım sınıfında Kireçtaşı-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin basınç dayanımı değerlendirmesinde;

En küçük basınç dayanımının, 3 günlük basınç dayanımında 100KT beton türünde 25.00 MPa, 7 günlük basınç dayanımında 100KT beton türünde 26.90 MPa ve 28 günlük basınç dayanımında 100KT beton türünde 37.70 MPa olduğu,

- En büyük basınç dayanımının, 3 günlük basınç dayanımında 50KT50P beton türünde 34.84 MPa, 7 günlük basınç dayanımında 25KT75P beton türünde 43.89 MPa ve 28 günlük basınç dayanımında 100P beton türünde 43.84 MPa olduğu,

- 3 günlük basınç dayanımında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %0 ile eşit, %14 daha büyük, %2 ve %18 daha küçük basınç dayanımına sahip olduğu,

- 7 günlük basınç dayanımında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %21, %1 daha büyük, %0 ile eşit ve %26 daha küçük basınç dayanımına sahip olduğu,

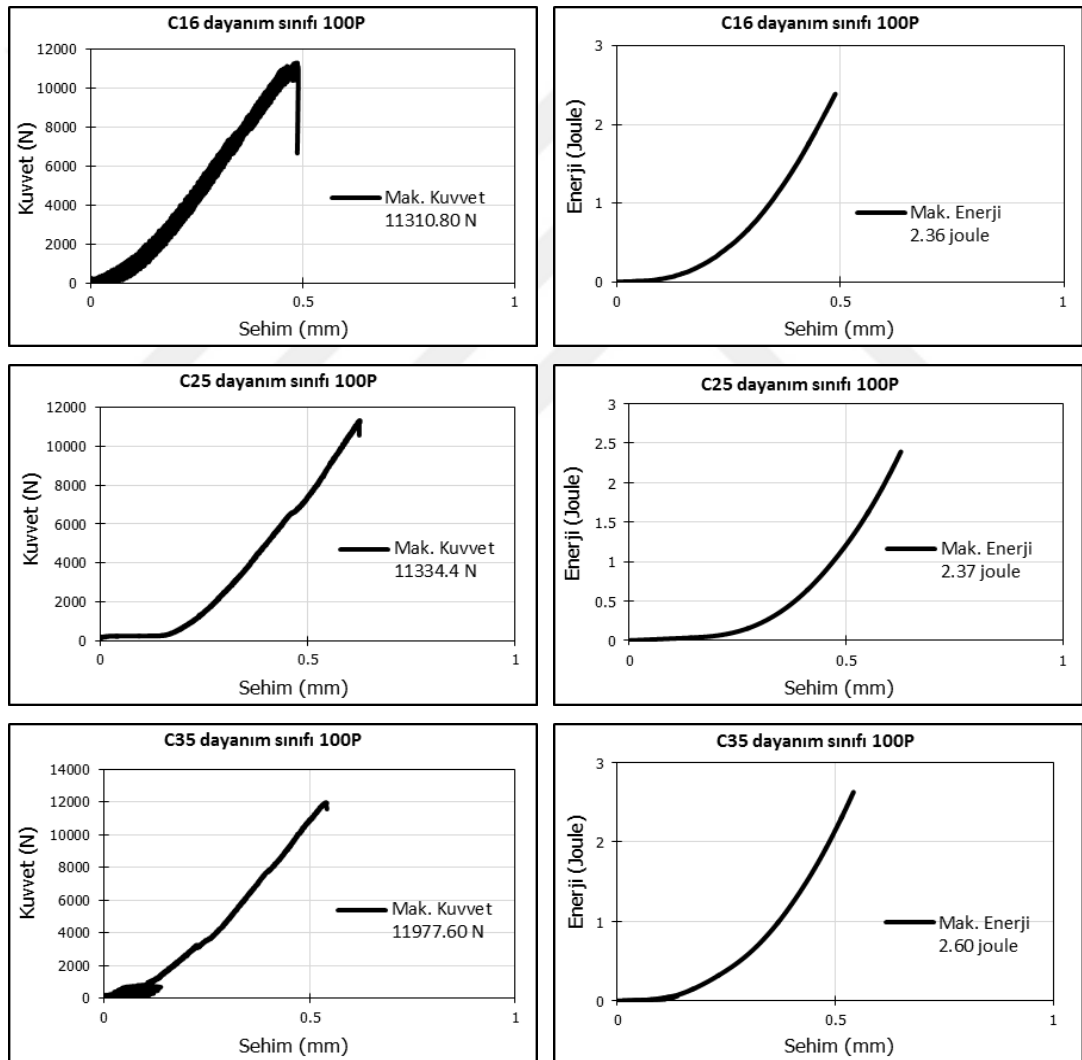
- 28 günlük basınç dayanımında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %3, %9, %11 ve %14 daha küçük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, agregaların yüksek yoğunluklu olması beton dayanımında yüksek olmasını etkilemektedir. Basınç deneyine maruz bırakılan beton örnekler incelendiğinde

kırılmanın agregalarda gerçekleştiği görülmektedir. Pasa miktarının artışı ile basınç dayanımı da artmıştır.

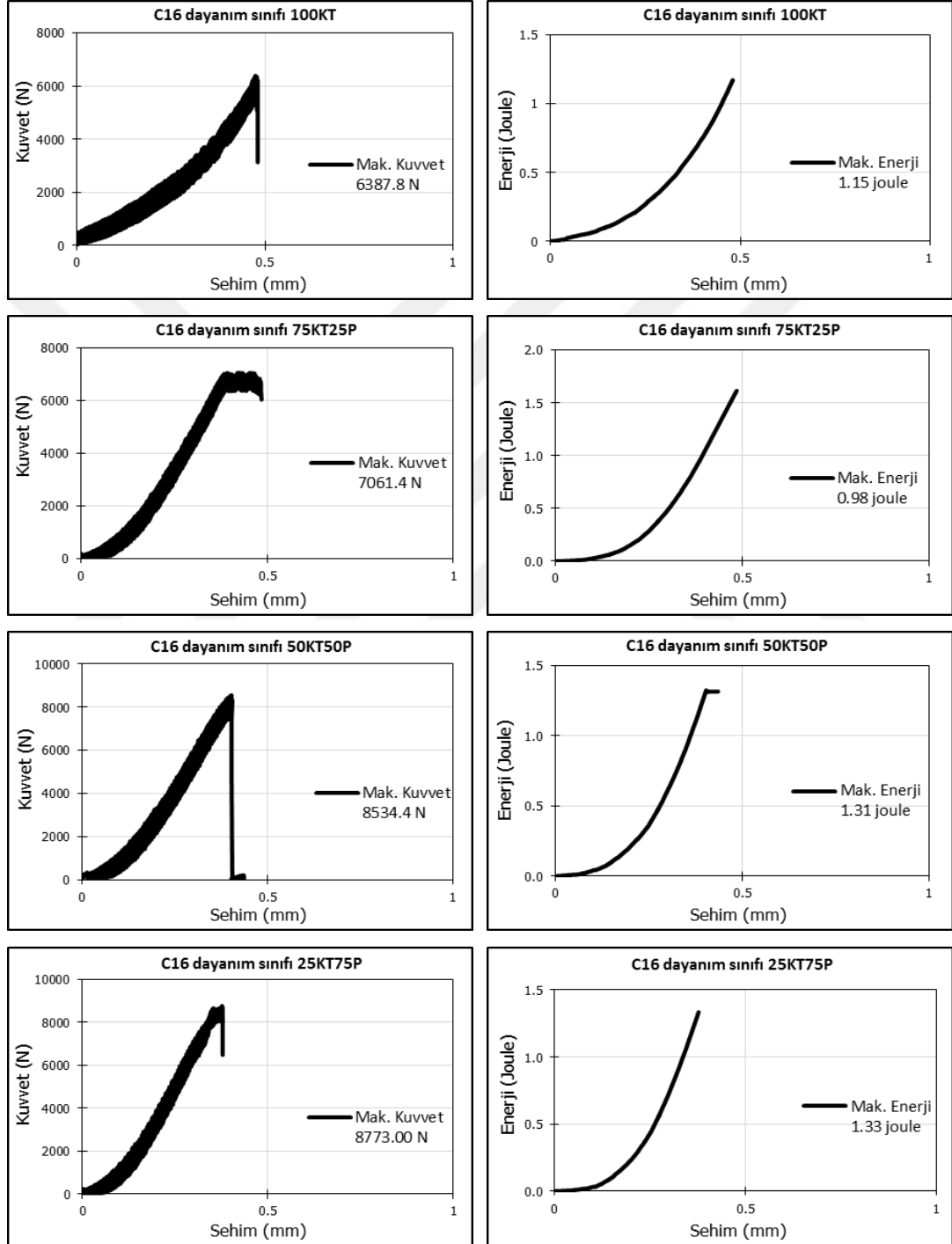
#### 4.2.5. Eğilme Dayanımı

Eğilme dayanımı deneyi sonuçlarına göre, C16, C25 ve C35 dayanım sınıfında, 100P beton türüne ait grafikler Şekil 4.9, Kireçtaşı-Pasa karışımı betonlara ait grafik Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te görülmektedir.



Şekil 4.9. Tüm dayanım sınıflarında 100P beton örneklerin Kuvvet-Sehim ve Enerji-Sehim değerleri

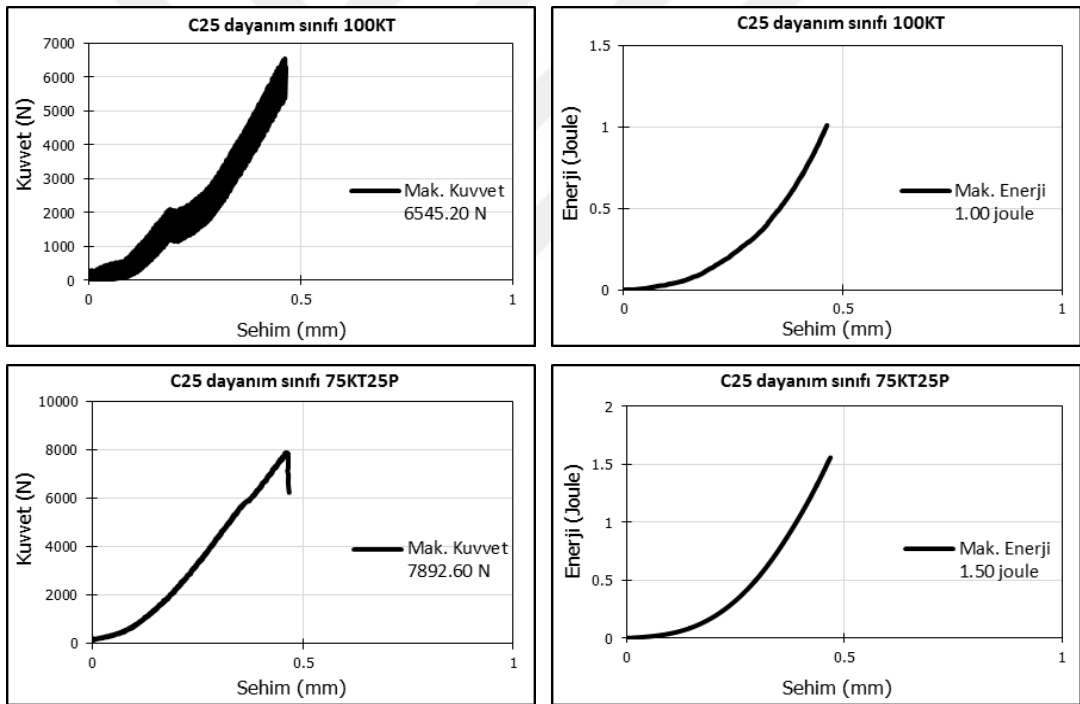
Bütün dayanım sınıflarında 100P beton türü değerlendirmesinde eğilme dayanımı değerleri dayanım sınıfının artmasıyla artmaktadır. C16 dayanım sınıfında 6.8MPa, C25 dayanım sınıfında 6.79MPa ve C35 dayanım sınıfında 7.19MPa olarak belirlenmiştir.



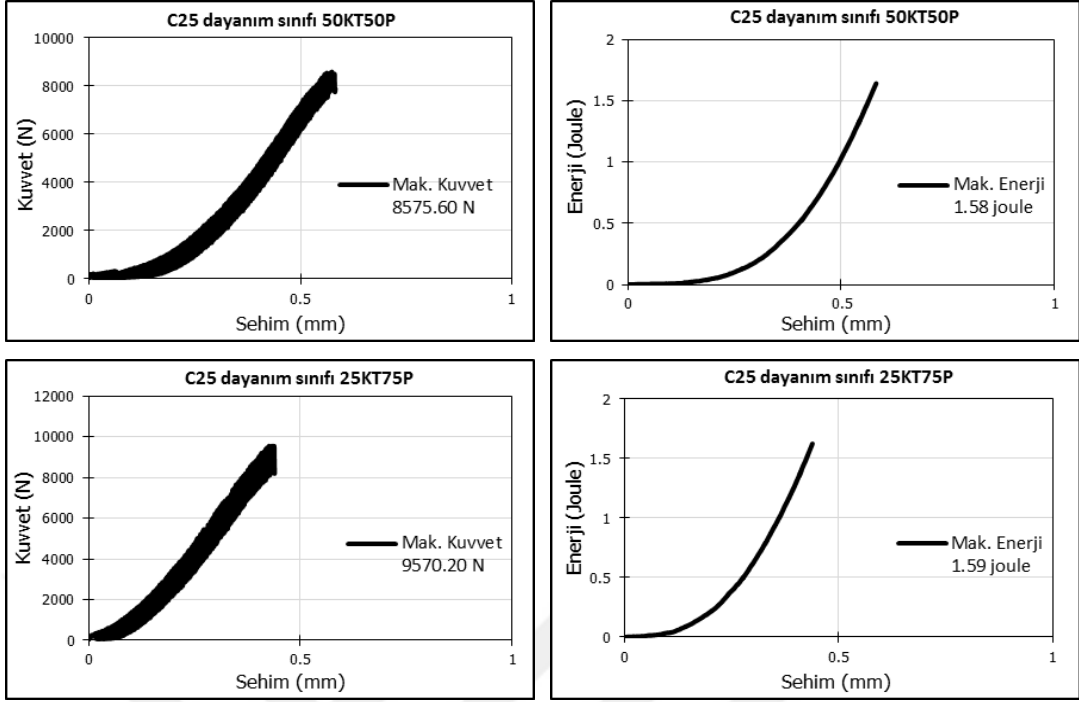
Şekil 4.10. C16 dayanım sınıfında Kireçtaşı-Pasa karışı beton örneklerin Kuvvet-Sehim ve Enerji-Sehim değerleri

Kireçtaşı-Pasa karışımı agrega ile hazırlanan C16 dayanım sınıfına ait beton örneklerin eğilme dayanımı ve tokluk değerlendirmesine göre;

- En büyük eğilme kuvveti 11334.40N ve en büyük eğilme dayanım değeri 6.80MPa ile 100P beton türünde olduğu,
- En küçük eğilme kuvveti 6387.80N ve en küçük eğilme dayanım değeri 3.83MPa ile 100K beton türünde olduğu,
- 100P beton türüne göre 25K75P, 50K50P, 75K25P ve 100K beton türlerinin sırasıyla %22.6, %24.7, %37.7 ve %43.6 daha küçük eğilme dayanım değerlerine sahip oldukları,
- 100P, 25K75P, 50K50P, 75K25P ve 100K beton türlerinin sırasıyla 2.37, 1.33, 1.31, 1.19 ve 1.15 Joule tokluk değerine sahip olduğu görülmüştür.



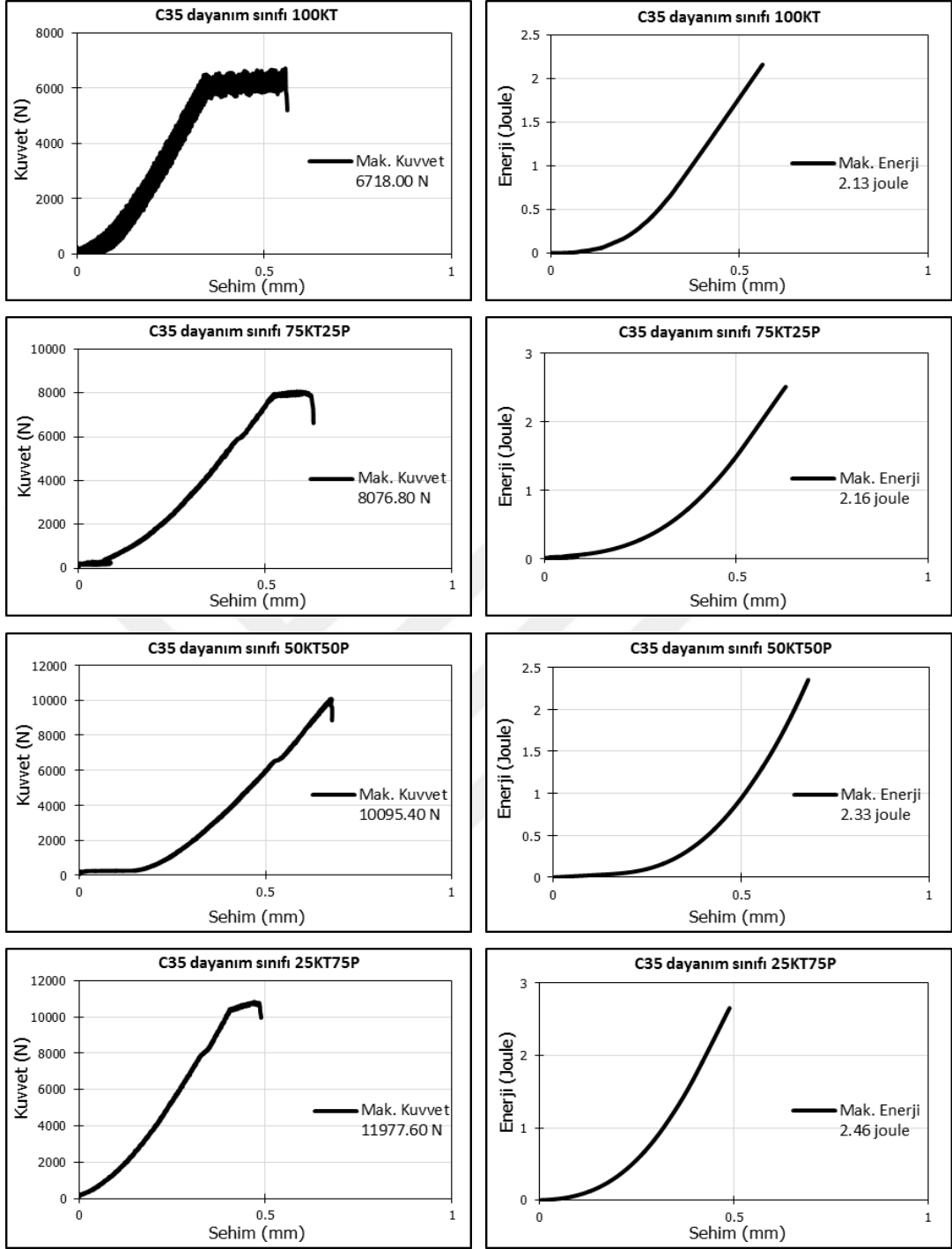
Şekil 4.11. C25 dayanım sınıfında Kireçtaşı-Pasa karışı beton örneklerin Kuvvet-Sehim ve Enerji-Sehim değerleri



Şekil 4.11'in devamı

Kireçtaşı-Pasa karışımı agrega ile hazırlanan C25 dayanım sınıfına ait beton örneklerin eğilme dayanımı ve tokluk değerlendirmesine göre;

- En büyük eğilme kuvveti 11310.80N ve en büyük eğilme dayanım değeri 6.79MPa ile 100P beton türünde olduğu,
- En küçük eğilme kuvveti 6545.20N ve en küçük eğilme dayanım değeri 3.93MPa ile 100K beton türünde olduğu,
- 100P beton türüne göre 25K75P, 50K50P, 75K25P ve 100K beton türlerinin sırasıyla %15.4, %24.2, %30.2 ve %42.1 daha küçük eğilme dayanım değerlerine sahip oldukları,
- 100P, 25K75P, 50K50P, 75K25P ve 100K beton türlerinin sırasıyla 2.09, 1.59, 1.58, 1.50 ve 1.00 Joule tokluk değerine sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4.12. C35 dayanım sınıfında Kireçtaşı-Pasa karışı beton örneklerin kuvvet-sehim ve enerji-sehim değerleri

Kireçtaşı-Pasa karışımı agrega ile hazırlanan C35 dayanım sınıfına ait beton örneklerin eğilme dayanımı ve tokluk değerlendirmesine göre;

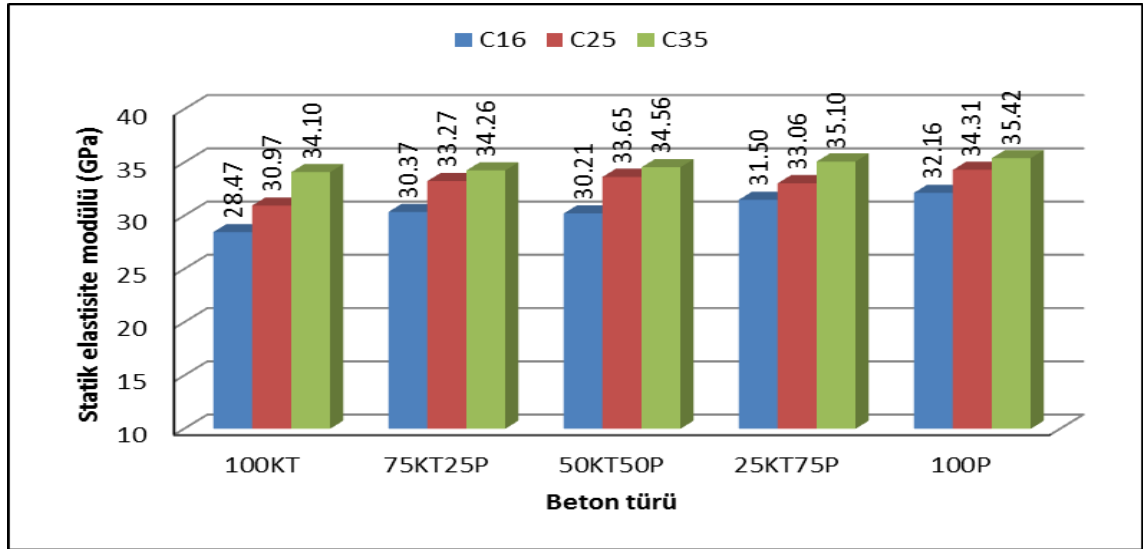
- En büyük eğilme kuvveti 11977.60N ve en büyük eğilme dayanım değeri 7.19MPa ile 100P beton türünde olduğu,

- En küçük eğilme kuvveti 6718.00N ve en küçük eğilme dayanım değeri 4.03MPa ile 100K beton türünde olduğu,
- 100P beton türüne göre, 25K75P, 50K50P, 75K25P ve 100K beton türlerinin sırasıyla %9.5, %15.7, %32.6 ve %43.9 daha küçük eğilme dayanım değerlerine sahip oldukları,
- 100P, 25K75P, 50K50P, 75K25P ve 100K beton türlerinin sırasıyla 2.60, 2.46, 2.33, 2.16 ve 2.13 Joule tokluk değerine sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, beton örneklerin eğilme dayanımı değerleri, basınç dayanımı ile paralellik göstermektedir. Pasa ilave edilen beton türlerinde, basınç dayanımı değeri artarken aynı şekilde eğilme dayanımı değerleri de artmaktadır.

#### 4.2.6. Statik Elastisite Modülü

Statik elastisite modülü sonuçlarına göre, C16, C25 ve C35 dayanım sınıfı değerlendirmesinde, Kireçtaşı-Pasa agrega karışımı beton örneklere ait ortalama statik elastisite modülü değerleri Şekil 4.13'te görülmektedir.



Şekil 4.13. Kireçtaşı Pasa agrega karışımı betonlara ait ortalama statik elastisite modülü değerleri

Kireçtaşı-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin ortalama statik elastisite modülü değerlendirmesinde;

- En küçük ortalama statik elastisite modülü, C16 basınç dayanımında 100KT beton türünde 28.47 GPa, C25 basınç dayanımında 100KT beton türünde 30.97 GPa ve C35 basınç dayanımında 100KT beton türünde 34.10 GPa olduğu,

- En büyük ortalama statik elastisite modülü, C16 basınç dayanımında 100P beton türünde 32.16 GPa, C25 basınç dayanımında 100P beton türünde 34.31 GPa ve C35 basınç dayanımında 100P beton türünde 35.42 GPa olduğu,

- C16 basınç dayanımında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %2.0 , %6.0 , %5.6 ve %11.5 daha küçük statik elastisite modülüne sahip olduğu,

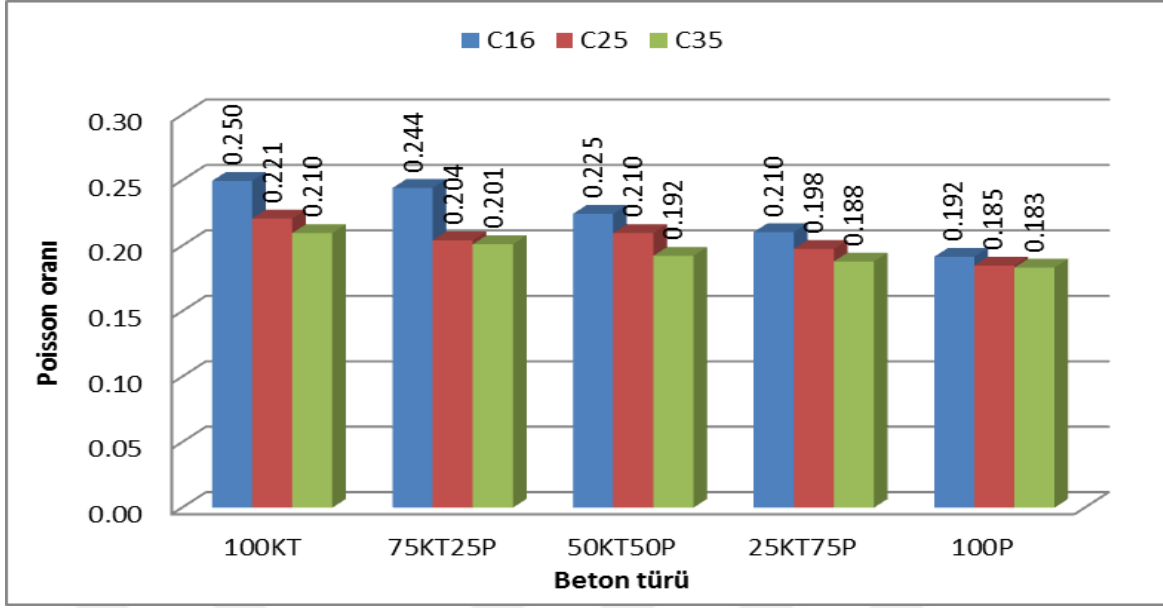
- C25 basınç dayanımında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %3.7, %1.9, %3.0 ve %9.8 daha küçük statik elastisite modülüne sahip olduğu,

- C35 basınç dayanımında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %0.9, %2.4, %3.3 ve %3.7 daha küçük statik elastisite modülüne sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, statik elastisite modülü değeri basınç dayanımı ile değeriyle doğrudan ilişkilidir (Türkel, 2002). Elde edilen sonuçlara göre, beton türlerinin beton basınç dayanımı değerleri ile statik elastisite modülü değerleri arasında bir benzerlik görülmektedir. Pasa oranının artış gösterdiği ve buna paralel olarak basınç dayanımının arttığı beton türlerinde elastisite modülü değerinin arttığı görülmektedir.

#### **4.2.7. Poisson Oranı**

Poisson oranı sonuçlarına göre, C16, C25 ve C35 dayanım sınıfı değerlendirmesinde Kireçtaşı-Pasa agrega karışımı beton örneklere ait poisson oranı değerleri Şekil 4.14'te görülmektedir.



Şekil 4.14. Kireçtaşı-Pasa agrega karışımı betonlara ait poisson oranı değerleri

Kireçtaşı-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin poisson oranı değeri değerlendirmesinde;

- En küçük poisson oranı değeri, C16 basınç dayanım sınıfında 100P beton türünde 0.192, C25 basınç dayanım sınıfında 100P beton türünde 0.185 ve C35 basınç dayanım sınıfında 100P beton türünde 0.183 olduğu,
- En büyük poisson oranı değeri, C16 basınç dayanım sınıfında 100KT beton türünde 0.250, C25 basınç dayanım sınıfında 100KT beton türünde 0.221 ve C35 basınç dayanım sınıfında 100KT beton türlerinde 0.210 olduğu,
- C16 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %1.9, %3.3, %5.3 ve %5.8 daha büyük poisson oranı değerine sahip olduğu,
- C25 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %1.3, %2.5, %1.9 ve %3.6 daha büyük poisson oranı değerine sahip olduğu,
- C35 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %0.5, %0.9, %1.8 ve %2.6 daha büyük poisson oranı değerine sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, beton örneklerin dayanım sınıfının artışı ve su çimento oranının azalması ile poisson oranı azalmaktadır. Agregaların sertlik değerleri arttıkça poisson oranı düşmektedir. Poisson oranı ile boşluk yapısı arasındaki ilişkiye değerlendirildiğinde, boşluk miktarlarının artışı ile poisson oranının arttığı da görülmektedir.

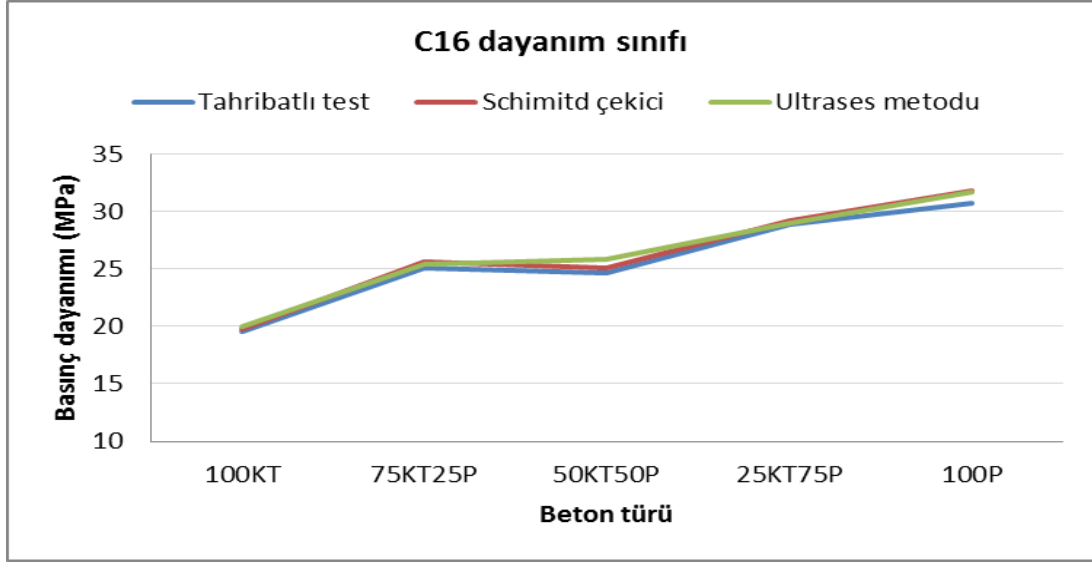
#### 4.2.8. Tahribatsız Test Yöntemleri İle Beton Basınç Dayanımının Tayini

Kireçtaşı-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan betonlara ait tahribatsız test yöntemleriyle 28 günlük beton basınç dayanımı tayini sonuçları Tablo 4.4'te görülmektedir.

Kireçtaşı-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan betonlara ait C16, C25 ve C35 dayanım sınıfında basınç dayanımı grafikleri sırasıyla Şekil 4.15, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de görülmektedir.

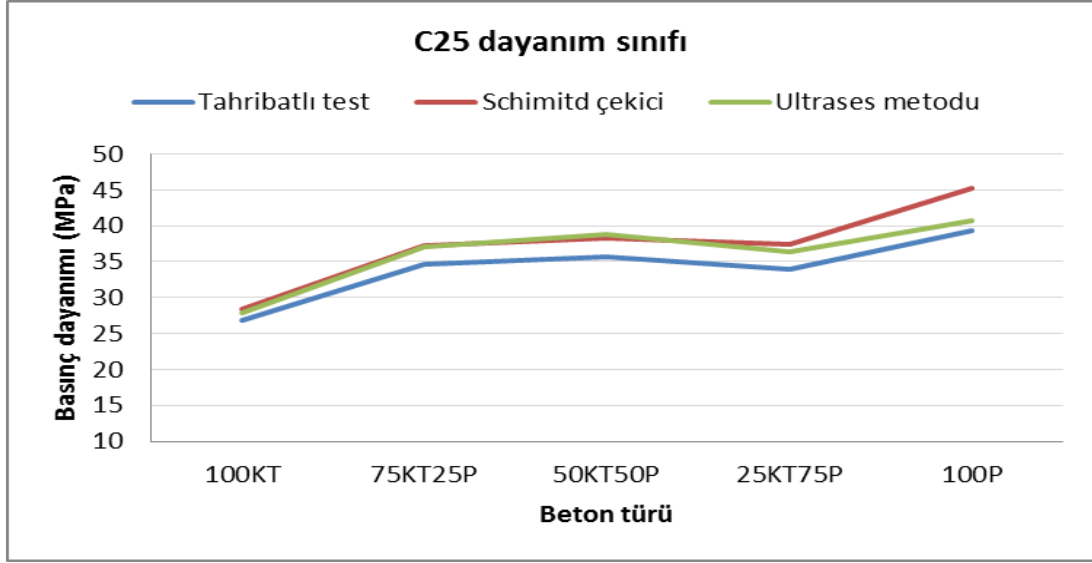
Tablo 4.4. Tahribatsız test yöntemi ile Kireçtaşı-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan betonlara ait tahmin edilen basınç dayanımı değerleri

Dayanım Sınıfı	Beton Türü	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	Schimitd Çekici (R)	Schimitd Çekici ile Tahmin Edilen Basınç Dayanımı (MPa)	Ultrases Geçiş Hızı (km/s)	Ultrases Metodu ile Tahmin Edilen Basınç Dayanımı (MPa)
C16	100KT	19.50	29.4	19.81	3.75	20.0
	75KT25P	25.12	32.9	25.58	4.03	25.4
	50KT50P	24.62	32.6	25.05	4.05	25.8
	25KT75P	28.90	34.9	29.24	4.20	29.0
	100P	30.70	36.2	31.77	4.32	31.7
C25	100KT	26.90	34.5	28.49	4.15	27.9
	75KT25P	34.69	38.8	37.19	4.55	37.1
	50KT50P	35.62	39.3	38.29	4.62	38.8
	25KT75P	33.95	38.9	37.41	4.52	36.3
	100P	39.33	42.3	45.25	4.70	40.8
C35	100KT	37.70	40.8	41.69	4.70	40.8
	75KT25P	39.14	41.4	43.09	4.75	42.1
	50KT50P	40.05	42.1	44.76	4.82	43.9
	25KT75P	42.52	43.5	48.21	4.87	45.2
	100P	43.84	43.0	46.96	4.85	44.7



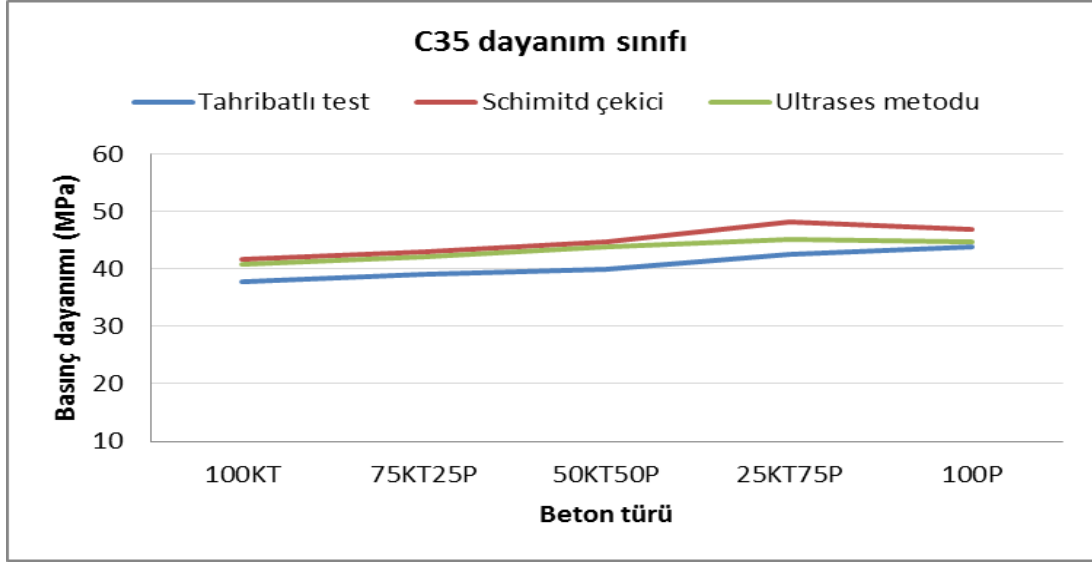
Şekil 4.15. Kireçtaşı-Pasa karışımı C16 dayanım sınıfındaki betonlara ait tahribatlı ve tahribatsız yöntemle belirlenen basınç dayanımı değerleri

- Kireçtaşı-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan betonlara ait C16 dayanım sınıfında schimidt çekici ile tahmin edilen basınç dayanımı değerinin, tahribatlı yöntemle elde edilen basınç dayanımı değerine göre, 100P, 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türlerinde sırasıyla %3.5, %1.2, %1.7, %1.8 ve %1.6 daha büyük basınç dayanımına sahip olduğu,
- Kireçtaşı-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan betonlara ait C16 dayanım sınıfında ultrasonik ses geçiş hızı ile tahmin edilen basınç dayanımı değerinin, tahribatlı yöntemle elde edilen basınç dayanımı değerine göre, 100P, 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türlerinde sırasıyla %3.2, %0.4, %4.9, %1.2 ve %2.4 daha büyük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4.16. Kireçtaşı-Pasa karışımı C25 dayanım sınıfındaki betonlara ait tahribatlı ve tahribatsız yöntemle belirlenen basınç dayanımı değerleri

- Kireçtaşı-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan betonlara ait C25 dayanım sınıfında schimidt çekici ile tahmin edilen basınç dayanımı değerinin, tahribatlı yöntemle elde edilen basınç dayanımı değerine göre, 100P, 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türlerinde sırasıyla %15, %10.2, %7.5, %7.2 ve %5.9 daha büyük basınç dayanımına sahip olduğu,
- Kireçtaşı-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan betonlara ait C25 dayanım sınıfında ultrasonik ses geçiş hızı ile tahmin edilen basınç dayanımı değerinin, tahribatlı yöntemle elde edilen basınç dayanımı değerine göre, 100P, 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türlerinde sırasıyla %3.7, %7, %8.9, %6.8 ve %3.8 daha büyük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4.17. Kireçtaşı-Pasa karışımı C35 dayanım sınıfındaki betonlara ait tahribatlı ve tahribatsız yöntemle belirlenen basınç dayanımı değerleri

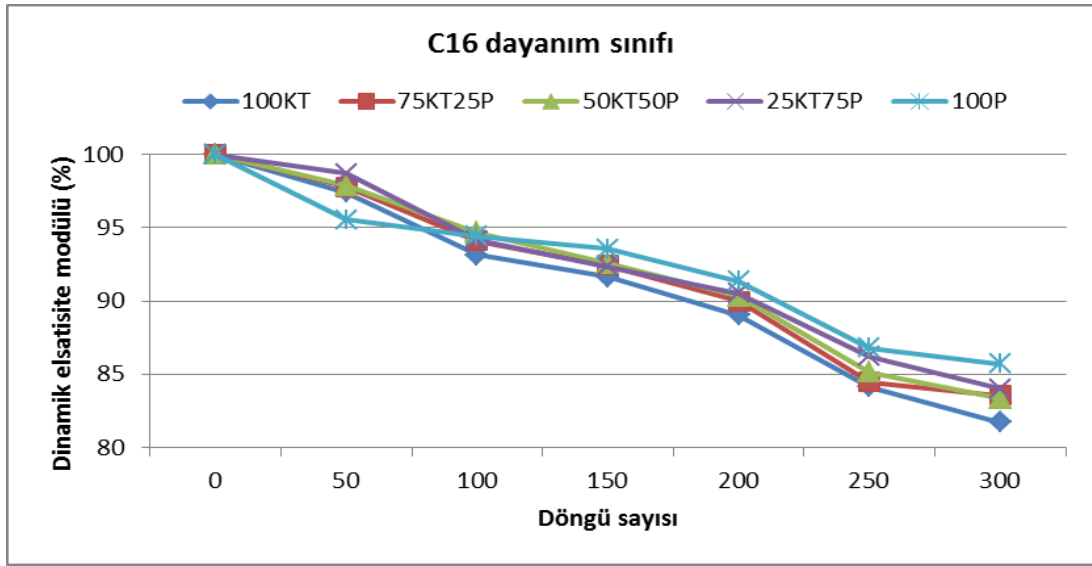
- Kireçtaşı-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan betonlara ait C35 dayanım sınıfında schmidt çekici ile tahmin edilen basınç dayanımı değerinin, tahribatlı yöntemle elde edilen basınç dayanımı değerine göre, 100P, 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türlerinde sırasıyla %7.1, %13.4, %11.8, %10.1 ve %10.6 daha büyük basınç dayanımına sahip olduğu,

- Kireçtaşı-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan betonlara ait C35 dayanım sınıfında ultrasonik ses geçiş hızı ile tahmin edilen basınç dayanımı değerinin, tahribatlı yöntemle elde edilen basınç dayanımı değerine göre, 100P, 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türlerinde sırasıyla %1.9, %6.3, %9.5, %7.5 ve %8.2 daha büyük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

- Sonuç olarak, tahribatsız test yöntemleri ile tahribatlı test yöntemleri ile elde edilen değerler arasında farklılıkların olması kaçınılmazdır. Sonuçlar arasında büyük benzerlikler olabileceği gibi büyük farklılıklar da olabilir. Tahribatsız test yöntemlerinden elde edilen sonuçları etkileyen birçok etmen vardır. Fakat çalışmada, beton örneklerin schmidt çekici ve ultrasonik ses geçiş hızı yöntemleri ile belirlen basınç dayanım değeri ile tek eksenli basınç dayanımı test yöntemi ile belirlenen değerler arasında benzerlik görülmektedir.

#### 4.2.9. Donma Çözülme Dayanımı

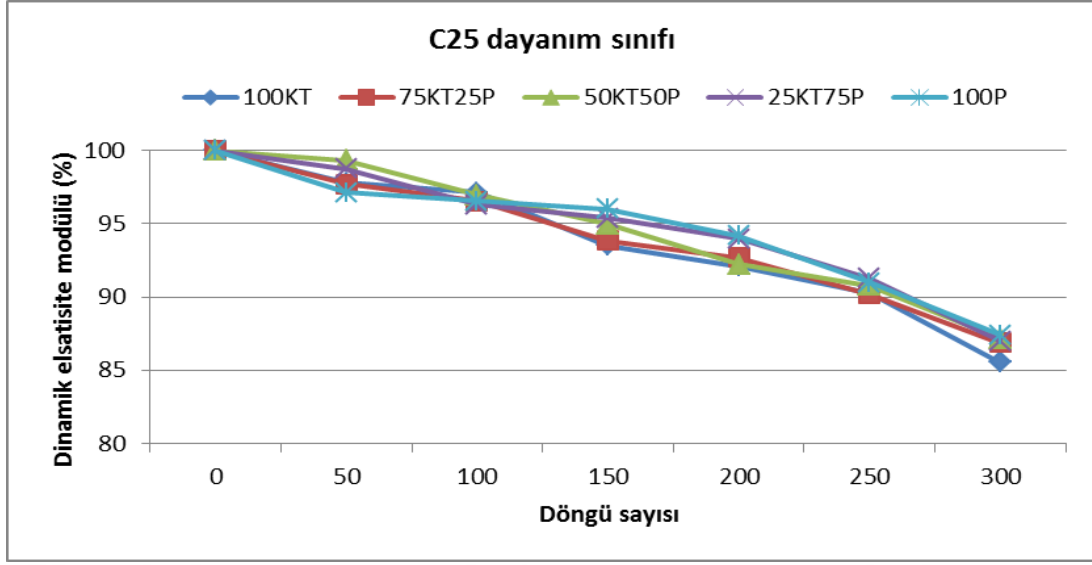
Donma-çözülme deneyi sonuçlarına göre, C16, C25 ve C35 dayanım sınıfında dinamik elastisite modülündeki azalma miktarlarındaki değerlendirmede Kireçtaşı-Pasa karışımı betonlara ait grafik Şekil 18, Şekil 19, Şekil 20 ve dayanıklılık faktörü değerlendirmesi Şekil 21’de görülmektedir.



Şekil 4.18. Kireçtaşı-Pasa karışımı agrega ile üretilen C16 dayanım sınıfındaki betonların dinamik elastisite modülü değişimi

C16 dayanım sınıfında Kireçtaşı-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 300 donma-çözülme döngüsü sonunda dinamik elastisite modülündeki azalma miktarlarındaki değerlendirmede;

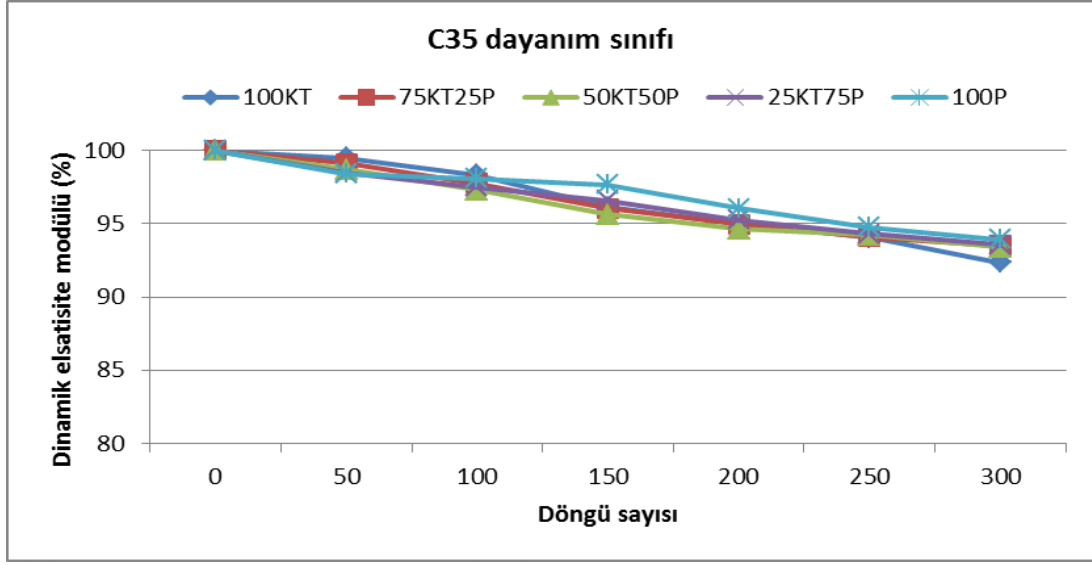
- Dinamik elastisite modülündeki azalma en küçük 100P beton türünde %14.28 olduğu,
- Dinamik elastisite modülündeki azalma en büyük 100KT beton türünde %18.27 olduğu,
- 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100 KT beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalma sırasıyla %11.8, %16.6, %15.1 ve %27.9 daha büyük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.19. Kireçtaşı-Pasa karışımı agrega ile üretilen C25 dayanım sınıfındaki betonların dinamik elastisite modülü değişimi

C25 dayanım sınıfında Kireçtaşı-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 300 donma-çözülme döngüsü sonunda dinamik elastisite modülündeki azalma miktarlarındaki değerlendirmede;

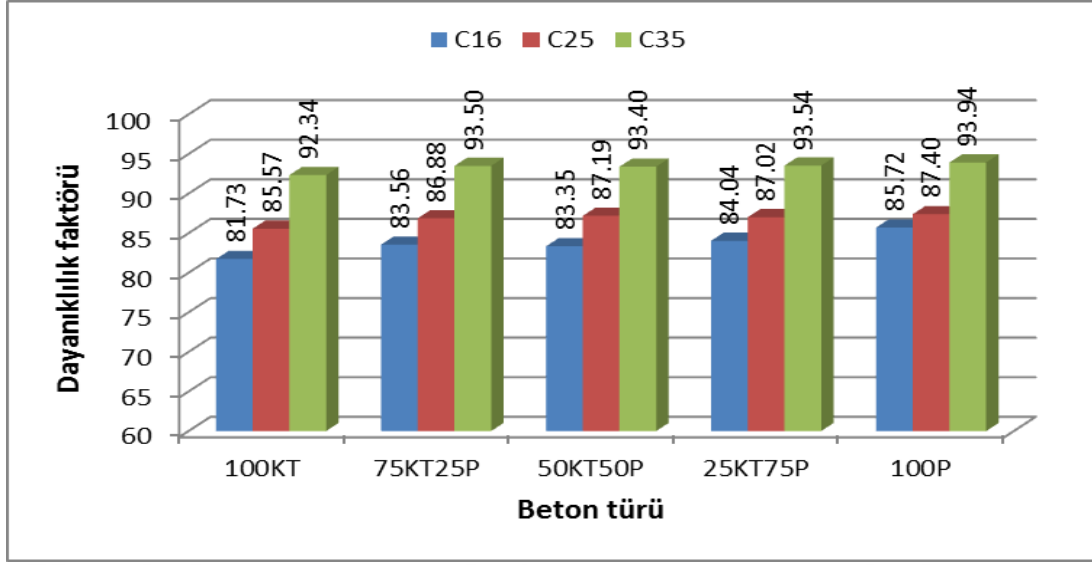
- Dinamik elastisite modülündeki azalma en küçük 100P beton türünde %12.60 olduğu,
- Dinamik elastisite modülündeki azalma en büyük 100KT beton türünde %14.43 olduğu,
- 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100 KT beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalma sırasıyla %3, %1.7, %4.1 ve %14.6 daha büyük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.20. Kireçtaşı-Pasa karışımı agrega ile üretilen C35 dayanım sınıfındaki betonların dinamik elastisite modülü değişimi

C35 dayanım sınıfında Kireçtaşı-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin 300 donma-çözülme döngüsü sonunda dinamik elastisite modülündeki azalma miktarlarındaki değerlendirmede;

- Dinamik elastisite modülündeki azalma en küçük 100P beton türünde %6.06 olduğu,
- Dinamik elastisite modülündeki azalma en büyük 100KT beton türünde %7.66 olduğu,
- 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100 KT beton türlerinin dinamik elastisite modülündeki azalma sırasıyla %6.5, %8.9, %7.2 ve %26.3 daha büyük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.21. Kireçtaşı-Pasa karışımı agrega ile üretilen beton örneklerin dayanıklılık faktörü değerleri

Kireçtaşı-Pasa agregası karışımı ile hazırlanan beton örneklerin dayanıklılık faktörü değeri değerlendirmesinde;

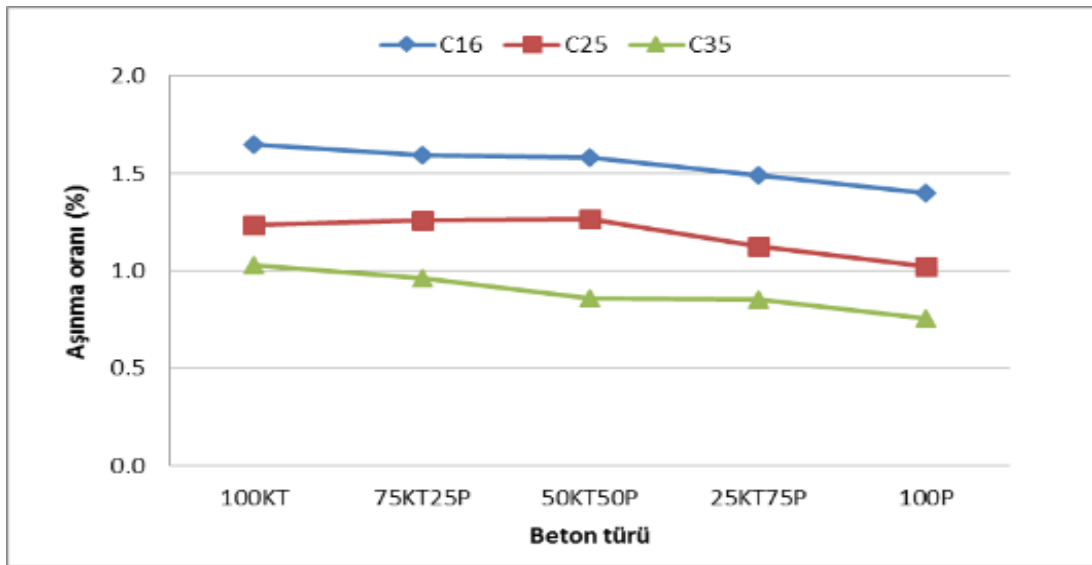
- C16 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %1.96, %2.76, %2.52 ve %4.65 daha küçük dayanıklılık faktörü değerine sahip olduğu,
- C25 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %0.44, %0.25, %0.60 ve %2.10 daha küçük dayanıklılık faktörü değerine sahip olduğu,
- C35 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %0.42, %0.58, %0.46 ve %1.70 daha küçük dayanıklılık faktörü değerine sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, Beton örneklerin maruz kaldığı her 50 donma çözülme döngüsünden sonra rezonans frekansı değerlerinde dolayısıyla bağıl dinamik elastisite modülü değerlerinde azalma neden olmaktadır. Porozite'nin yüksek olması ise, agreganın ve betonun donmaya ve çevre etkilerine dayanıklılığını azaltmaktadır (Caymaz, 2009). Beton türlerinde boşluk miktarının artışı ile donma çözülme dayanıklılığının azaldığı görülmektedir. Buna ek olarak, dayanım sınıfı artışı ile donma çözülme dayanımı daha yüksek çıkması, beton türlerinin su/çimento oranı ve toplam boşluk miktarı azalması ile açıklanabilir. Betonların 300 döngü sonucunda görsel incelemesinde kırılma, çatlama

gözlenmezken köşelerden bir miktar parça kopmalar gözlemlenmiştir. Bütün beton türlerinde dinamik elastisite modülündeki değişim %50'nin altına düşmemiştir.

#### 4.2.10. Aşınma Dayanımı

Aşınma dayanımı sonuçlarına göre, C16, C25 ve C35 dayanım sınıfında, Kireçtaşı-Pasa karışımı betonlara ait grafik Şekil 4.22'de görülmektedir.



Şekil 4.22. Kireçtaşı-pasa agregası karışımı ile üretilen beton örneklerin aşınma değerleri

Kireçtaşı-Pasa agregası karışımı ile hazırlanan beton örneklerin aşınma değeri değerlendirmesinde;

- En küçük aşınma değeri, C16 basınç dayanım sınıfında 100P beton türünde %1.40, C25 basınç dayanımında 100P beton türünde %1.02 ve C35 basınç dayanımında 100P beton türünde %0.76 olduğu,
- En büyük aşınma değeri, C16 basınç dayanım sınıfında 100KT beton türünde %1.65, C25 basınç dayanımı sınıfında 100KT beton türünde %1.23 ve C35 basınç dayanımı sınıfında 100KT beton türlerinde %1.03 olduğu,
- C16 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %6.40, %13.10, %13.70 ve %17.90 daha büyük aşınma değerine sahip olduğu,

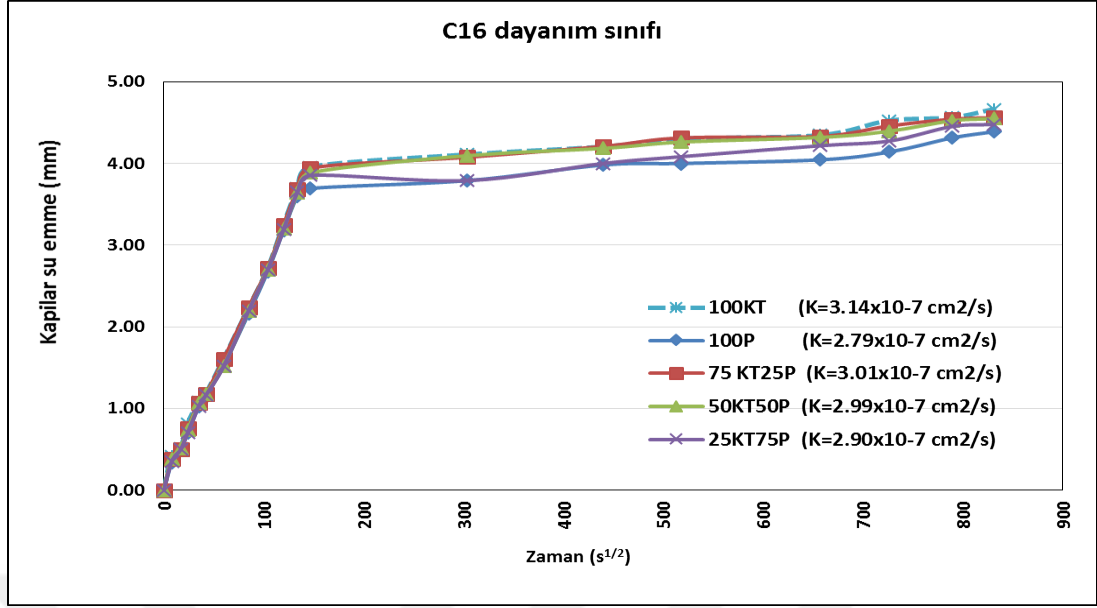
- C25 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %10.30, %24.10, %23.70 ve %20.90 daha büyük aşınma değeri sahip olduğu,

- C35 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %12.60, %13.60, %27.40 ve %35.70 daha büyük aşınma değeri sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, beton örneklerin üretiminde kullanılan agregâ türlerine bağılı olarak aşınma miktarları değışmektedir. Gaedicke vd. (2014) yaptığı çalışmada, agregâ türünün değışimine bağılı olarak aşınma miktarlarının da değıştiğini belirlemiştir. Basınç dayanımının artışı ile boşluk oranının azalması aşınma miktarları da azalmaya neden olmaktadır. Yen ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, beton dayanımı sınıfı artışı ile su/çimento oranı azalmaktadır, bu azalma ile boşluk oranı azalmakta ve aşınma miktarı da azaldığı sonucuna varılmıştır (Yen vd., 2007). Beton yoğunluğunun artışı aşınma miktarında azalmaya neden olduğu da görülmektedir. Benzer bir çalışmada, betonun yoğunluğu azaldıkça aşınma miktarı arttığı sonucuna varılmıştır (Zaetang vd., 2013).

#### **4.2.11. Kapilarite**

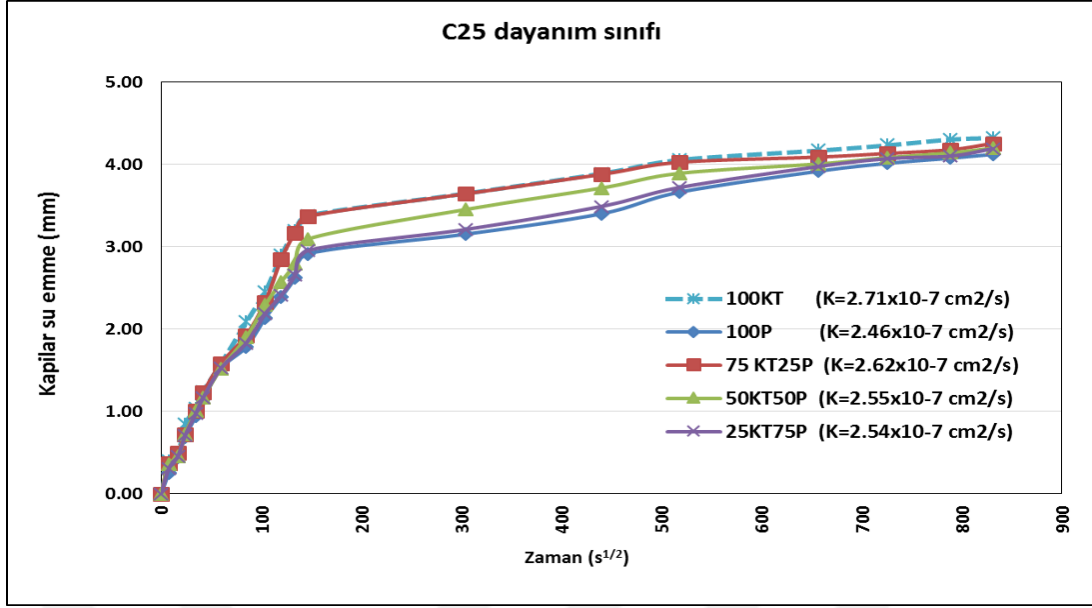
Kapilarite deneyi sonuçlarına göre, C16, C25 ve C35 dayanım sınıfında kapilarite değılendirmesinde, Kireçtaşı-Pasa karışımı betonlara ait grafik Şekil 4.23, Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'te görülmektedir.



Şekil 4.23. Kireçtaşı-Pasa karışımı C16 dayanım sınıfındaki betonlara ait kapilarite değerleri

C16 dayanım sınıfında Kireçtaşı-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin kapilarite katsayısı değerlendirmesinde;

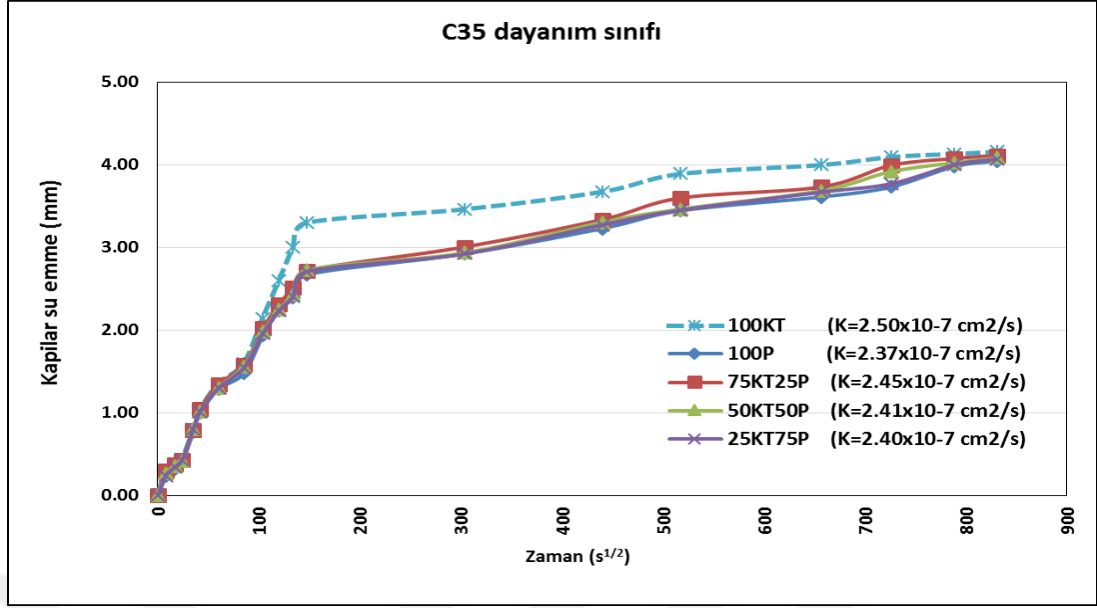
- En küçük kapilarite değeri, 100KT beton türünde  $3.14 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$  olduğu,
- En büyük kapilarite değeri, 100P beton türünde  $2.79 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$  olduğu,
- 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türlerinin kapilarite katsayıları sırasıyla %4.1, %7.4, %8.0 ve %12.9 daha büyük kapilarite katsayısına sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4.24. Kireçtaşı-Pasa karışımı C25 dayanım sınıfındaki betonlara ait kapilarite değerleri

C25 dayanım sınıfında Kireçtaşı-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin kapilarite katsayısı değerlendirmesinde;

- En küçük kapilarite değeri, 100KT beton türünde  $2.71 \times 10^{-7}$  cm<sup>2</sup>/s olduğu,
- En büyük kapilarite değeri, 100P beton türünde  $2.46 \times 10^{-7}$  cm<sup>2</sup>/s olduğu,
- 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türlerinin kapilarite katsayıları sırasıyla %3.4, %3.7, %6.6 ve %10.1 daha büyük kapilarite katsayısına sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4.25. Kireçtaşı-Pasa karışımı C35 dayanım sınıfındaki betonlara ait kapilarite değerleri

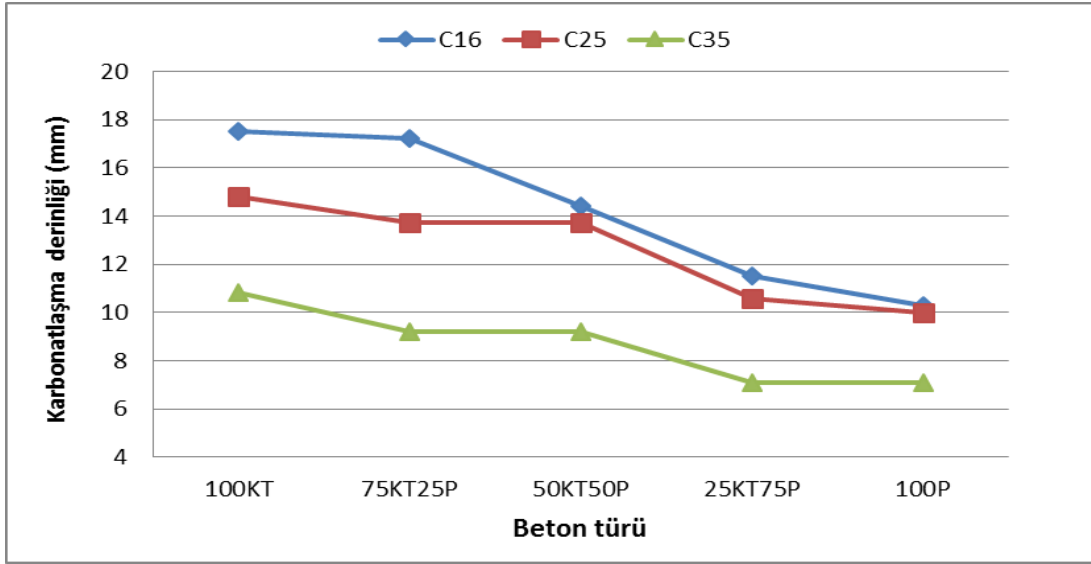
C35 dayanım sınıfında Kireçtaşı-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin kapilarite katsayısı değerlendirmesinde;

- En küçük kapilarite değeri, 100KT beton türünde  $2.50 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$  olduğu,
- En büyük kapilarite değeri, 100P beton türünde  $2.37 \times 10^{-7} \text{ cm}^2/\text{s}$  olduğu,
- 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türlerinin kapilarite katsayıları sırasıyla %1.3, %1.9, %3.5 ve %5.7 daha büyük kapilarite katsayısına sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, beton dayanım sınıfının artışı, beton içerisinde oluşan kapilar kanalların ve boşluk miktarının azalmasına neden olmaktadır. C35 dayanım sınıfındaki beton örneklerin kapilarite katsayılarının C16 ve C25 dayanım sınıfındaki beton türlerinden az olması bu şekilde açıklanabilir. Bunun yanında su emme değerlerine bakıldığında, su emme değeri büyümesiyle kapilar su emme değerinin de arttığı görülmektedir. Pasa agregaları köken olarak kireçtaşı olmasından dolayı kireçtaşı agregaları ile karışımından üretilen betonlar ile kapilarite katsayıları benzerlik göstermektedir.

#### 4.2.12. Karbonatlaşma

Aşınma dayanımı sonuçlarına göre, C16, C25 ve C35 dayanım sınıfında, Kireçtaşı-Pasa karışımı betonlara ait grafik Şekil 4.26'da görülmektedir.



Şekil 4.26. Kireçtaşı-pasa agregası karışımı ile üretilen beton örneklerin karbonatlaşma derinliği değerleri

Kireçtaşı-Pasa agregası karışımı ile hazırlanan beton örneklerin karbonatlaşma derinliği değeri değerlendirilmesinde;

- En küçük karbonatlaşma derinliği değeri, C16 basınç dayanım sınıfında 100P beton türünde 10.30 mm, C25 basınç dayanımında 100P beton türünde 10.00 mm ve C35 basınç dayanımında 100P beton türünde 7.10 mm olduğu,
- En büyük aşınma değeri, C16 basınç dayanım sınıfında 100KT beton türünde 17.50 mm, C25 basınç dayanım sınıfında 100KT beton türünde 14.80 mm ve C35 basınç dayanım sınıfında 100KT beton türlerinde 10.80 mm olduğu,
- C16 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %11.27, %39.8, %67 ve %69.9 daha büyük karbonatlaşma derinliği değerine sahip olduğu,
- C25 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25KT75P, 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %6, %37, %37 ve %48 daha büyük karbonatlaşma derinliği değeri sahip olduğu,

- C35 basınç dayanım sınıfında 100P beton türüne göre 25KT75P beton türü %0 eşit karbonlaşma derinliği değeri sahip olduğu görülmüştür. 50KT50P, 75KT25P ve 100KT beton türleri sırasıyla %29.6, %29.6 ve %52.1 daha büyük karbonatlaşma derinliği değeri sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, beton türlerinde meydana gelen karbonatlaşma derinlikleri, betonun boşluk miktarı, ortamda bulunan karbondioksit miktarından etkilenmektedir. Karbonatlaşma derinlikleri agrega türlerinden ziyade betonun yüzeyinin boşluk yapısı ile açıklanabilir. Diğer bir konuda, çalışma sonucunda elde edilen karbonatlaşma derinlikleri, Gümüşhane ilinin hava kirliliği ve beton örneklerin açık havada bekleme süreleri göz önüne alındığında büyük ölçüde gerçekleşmemiştir.



## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

“Kurşun madeni atık kayaçları ile üretilen yol kaplamalarının mühendislik özelliklerinin araştırılması” konulu proje kapsamında, içerisindeki kurşun miktarının işlenmesi ekonomik olmaması nedeniyle atıl durumda olan maden atıkları “Pasa” ile hazırlanan beton örnekleriyle üretilen betonların mekanik özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla, kurşun maden atığı kayaçlar (Pasa) ve Kireçtaşı agregalarının değişik oranlarda (%25, %50, %75) karıştırılması yoluyla hazırlanan beton örnekler üzerinde sertleşmiş beton deney sonuçları belirlenmiştir. Ulaşılan sonuçlar ve bu sonuçlara dayalı tartışma başlıkları aşağıdaki gibidir.

- Su emme oranı değerlerine göre, pasa oranının artışı ile su emme oranı değeri düşmektedir. Bütün beton türlerinde su emme oranı değerlerinin beton dayanım sınıfının artışı ile azaldığı görülmüştür.

- Görünür boşluk oranı değerlerine göre, pasa oranının artışı ile hazırlanan örneklerde görünür boşluk oranı değeri düşmektedir. Bütün beton türlerinde görünür boşluk oranı değerlerinin beton dayanım sınıfının artışı ile azaldığı görülmüştür.

- Görünür yoğunluk değerlerine göre, pasa oranının artışı ile hazırlanan örneklerde görünür yoğunluk değeri artmaktadır. Beton karışımları hacim esasına göre yapıldığı için, C35 dayanım sınıfındaki agrega miktarı C16 dayanım sınıfındaki agrega miktarından hacim olarak daha az olduğundan beton sınıflarında görünür yoğunluk değerleri, beton dayanım sınıfının artışı ile azalmaktadır.

- Kurşun maden atığından (pasa) üretilen beton agregaları köken olarak kireçtaşı olmasına rağmen, çalışmada kullanılan kireçtaşı agregasına göre basınç dayanımı yüksek ölçülmüştür. Kireçtaşı agregaları ile karıştırılarak hazırlanan beton örneklerinde bütün dayanım sınıflarında artış tespit edilmiştir.

- Kurşun maden atıkları ile karıştırılarak hazırlanan kırıy örneklerinde eğilme dayanımına olumlu bir etki yaptığı gözlemlenmiştir. Bu durum basınç dayanımı örnekleriyle de benzerlik göstermektedir.

- Pasa ve kireçtaşı ile karışımlarla hazırlanan beton türlerinde beton sınıfı ile beraber statik elastisite modülü değerlerinin de arttığı görülmüştür.

- Dayanım sınıfının artışıyla beton örneklerin poisson oranı azalmaktadır. En küçük poisson oranı değeri, C16 basınç dayanım sınıfında 100P beton türünde ölçülmüştür.

Kireçtaşı agregalarına pasa agregasının karıştırılmasında artan oranlarda poisson oranı değeri azalmaktadır.

- Tahribatlı yöntemle elde edilen beton basınç dayanımı kıyaslamak amacıyla yapılan tahribatsız yöntemlerle beton basınç dayanımı tahmini arasında benzerlik görülmektedir.

- Beton örneklerin donma çözülme dayanımı değerlendirmesinde donma çözülme direnci dayanım sınıfının artması ile artmaktadır. 300 döngü sonunda beton örneklerde görülür oranda deformasyonlar gözlenmemiştir.

- Dayanım sınıfının artmasıyla aşınma değerleri düşmektedir.

- Beton örneklerin dayanım sınıfının artışı ile kapilarite değerinin azaldığı görülmektedir. En büyük kapilarite değeri, 100P beton türündedir. Pasa'nın değişen oranlarda beton içerisine katılması ile kapilarite değerlerini etkilemektedir.

- Beton örnekler 1 yıl süre ile açık havada ve taşıt trafiğinin bulunduğu yere yakın bir bölümde bırakılmış ve karbonatlaşma testine tabi tutulmuştur. Bütün agrega sınıflarında C16 dayanım sınıfında üretilen betonlarda en büyük karbonatlaşma değeri ölçülmüştür.

Sonuç olarak; maden atığının beton karışımına giren agrega içerisindeki oranının artışına bağlı olarak mekanik özelliklerine pozitif bir etkisi olduğu görülmüştür. Maden atıklarının beton içerisinde kullanılması, madenden çıkarılarak depolama alanlarında depolanan ve çevreyle etkileşerek doğanın kirlenmesine yol açabilecek malzemeleri ekonomiye kazandıracaktır. Bundan sonraki çalışmalar için beton içerisinde kurşun içerikli agrega kullanılması nedeniyle insan sağlığına zarar verebilecek etkilerin araştırılması önerilmektedir.

## 6. KAYNAKLAR

- Açıkgenç, M., Alyamaç, K.E. ve İnce R., 2012. Mermer Tozu İle Üretilmiş Kendiliğinden Yerleşen Betonların Dayanım Özelliklerinin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Belirlenmesi, SDU International Technologic Science, 4(3), 72-79.
- Akbulut, H. ve Gürer, C., 2006. Atık Mermerlerin Asfalt Kaplamalarda Agrega Olarak Değerlendirilmesi, İmo Teknik Dergi, 9, 26-29.
- Arıoğlu, E., 1989. Prefabrikasyon Endüstrisinde Beton Kalitesinin ve Denetiminin Mevcut Durumu, 1. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, 215-226s.
- Aruntaş, H.Y. 2006. Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21(1), 193-203.
- ASTM C 597. Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, USA. pp. 1-4, 2004.
- ASTM C131. Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine, Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, USA. pp. 1-5, 2004.
- ASTM C1585. Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes, Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, USA. pp. 1-6, 2004.
- ASTM C535. Standard Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine, Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, USA. pp. 1-3, 2004.
- ASTM C642. Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, USA. pp. 1-3, 2004.
- ASTM C666. Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing, Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, USA. pp. 1-7, 2004.
- ASTM C805. Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete, Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, USA. pp. 1-4, 2004.
- ASTM C944. Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method, Annual Book of ASTM Standards. Philadelphia, USA. pp. 1-5, 2004.
- Bilim, C. ve Atış C.D., 2011. Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu İçeren Harçların Aşınma ve Mukavemet Özellikleri, Politeknik Dergisi, 14(2), 101-107.

- Binici, H., Eken M. ve Aksoğan, O., 2012. Cüruf, Uçucu Kül, Silis Kumu ve Pomza Esaslı Geopolimerlerin Fiziksel, Mekanik ve Radyasyon Geçirgenlik Özellikleri, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 8(2), 12-25.
- Binici, H., Gemci, R., Küçükönder, A. ve Solak, H., 2012. Pamuk Atığı, Uçucu Kül ve Barit İle Üretilen Sunta Panellerin Isı, Ses ve Radyasyon Geçirgenliği Özellikleri, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 8, 16-25.
- Camilleri, J., Anastasi, M. ve Torpiano, A. 2013. The microstructure and physical properties of heavy oil fuel ash replaced Portland cement for use in flowable fill concrete and the production of concrete masonry units, Construction and Building Materials, 38, 970-979.
- Çelik, Ö., 2004. Uçucu Kül, Silis Dumanı ve Atık Çamur Katkılarının Çimento Dayanımlarına Etkileri, Hazır Beton Kongresi Bildiriler Kitabı. Ankara, 215s
- Çetin, A. 1997. Endüstriyel Atıkların Asfalt Beton Kaplama Karışımında Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 125s.
- Çetmeli, E., 1974. Yeni Alman Betonarme Şartnamesi Betonarme Hesap Esasları, Kesitlerin Boyutlandırılması Ve Donatının Yerleştirilmesi, Uluğ Kitapevi, İstanbul, 325s.
- Demir, İ., 2009. İnşaat Yıkıntı Atıklarının Beton Üretiminde Kullanımı ve Beton Özelliklerine Etkisi, AKÜ Fen Bilimleri Dergisi, 2, 105-114.
- Demir, İ. ve Başpınar, M.S., 2003. Mermer Tozu Artıklarının (Havuz Çökeltisi) Hafif Yapı Blokları Üretiminde Kullanılması, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (MERSEM 2003) Bildiriler Kitabı, s. 213-220.
- Elias-Ozkan S.T., (2001). Recycling Rubble into Agregates: A Model for Local Governments, Habitat International, 25, 493-502.
- Emiroğlu, M., Yıldız, S. ve Özgan, E., 2009. Lastik Agregalı Betonlarda Elastisite Modülünün Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 24(3), 469-476.
- Erdem, R.T. ve Öztürk, A.U., 2012. Mermer Tozu Katkısının Çimento Harcı Donma-Çözünme Özellikleri Üzerine Etkisi, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 1(2), 85-91.
- Erdoğan T., 2007. Beton, Metu Press, Ankara, 741s.
- Esin, T. ve Coşgun, N., 2007. A Study Conducted to Reduce Construction Waste Generation in Turkey, Building and Environment, 42(4), 1667-1674.

- Gaedicke, C., Marines, A. ve Miankodila, F., 2014. Assessing the abrasion resistance of cores in virgin and recycled aggregate pervious concrete, *Construction and Building Materials*, 68, 701–708.
- Gençel, O., 2009. Hamile Ratlarda Oksidatif Strese Neden Olan Radyasyona Karşı Kolemanitli Betonun Koruyucu Etkisinin Araştırılması. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 101s.
- Gökçer, B., Yıldız, S. ve Keleştemur, O., 2013. Atık Mermer Tozu ve Cam Lif İçeren Harç Numunelerinin Donma-Çözülme Etkisi Altındaki Davranışları, SDU International Technologic Science, 5(3), 18-30.
- Günçan, N.F., 1995. Eski Beton Kırığı Agregalı Betonların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 58s.
- Güner, S., 1999. Malzeme Bilimi Yapı Malzemesi ve Beton Teknolojisi, Aktif Yayınevi, İstanbul, 455s.
- Güven, İ., 1993. Doğu Pontidlerin 1/25000 Ölçekli Kompilasyonu, MTA Genel Müdürlüğü Yayını, 9, 16-17.
- Kefelioğlu, S., 1998 Türkiye Uçucu Küllerinin Özellikleri ve Kullanılma İmkanları, *Teknoloji*, 12, 25-26.
- Kaya, G., ve Turan, S., (2004). Yüksek Fırın Cürufunun Seramik Sektöründe Katma Değeri Yüksek Ürünlerin Eldesinde Değerlendirilmesi, Mühendis ve Makina, 45(536), 48-60.
- Köken, A., Köroğlu, M.A. ve Yonar, F., 2008. Atık Betonların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği, *Selçuk-Teknik Dergisi*, 7(1), 86-97.
- Lennon, M., 2005. *Recycling Construction and Demolition Wastes A Guide for Architects and Contractors*, The Institution Recycling Network.
- Little, N. ve Epps, J., 2001. *The Benefits of Hydrated Lime in Hot Mix Asphalt*, National Lime Association, USA, 102p.
- Mindess, S. ve Young, J. F., (1981). *Concrete*, Prentice-Hall., Inc., New Jersey.
- Morrison, R., 1970. A Review of Ash Specifications, Symposium on Fly Ash Utilization, Pittsburgh, 24-31.
- Neville, A.M. ve Brooks, J.J., 2001. *Concrete Technology*, Revised Edition, Pearson Education Limited.
- Oikonomou, N.D., 2005. Recycled Concrete Aggregates, Cement and Concrete Composites, 27(2), 315-318.

- Okagbue, C.O. ve Onyeobi, T., 1999. Potential of marble dust to Stabilise Red Tropical Soils For Road Construction, Engineering Geology, 53(3), 371-380.
- Okyay, Ö. ve Akkaya, Y., (2011). Yüksek Dayanım ve Yüksek Performanslı Betonlarda Yüksek Fırın Cürufu Kullanımı, Beton 2011 Kongresi bildirileri, Cilt:1, 388-394, İstanbul.
- Ouda, A., 2015. Development of high-performance heavy density concrete using different aggregates for gamma-ray shielding, Progress in Nuclear Energy, 79, 48-55.
- Ovens. P., 1979. Fly ash and its usage in concrete, Concrete, GBt, 13, 7, 21-26.
- Öner, A. ve Yıldırım, S.T., 2005. Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu İçeren ve İçermeyen Betonlarda Kırmataş Kumu İçeriğinin Beton Özelliklerine Etkisi, Deprem Sempozyumu, Kocaeli, s. 800-811.
- 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, Adana, 181s.
- Özkan, Ö., 2005. Yüksek Fırın ve Çelikhane Cürufu Katkılı Çimentolarla Üretilen Harçların Basınç Dayanımına Yüksek Sıcaklığın Etkisi, 6. Ulusal Beton Kongresi, s. 91-100.
- Özkan, Ö., 2007. Atık Cam ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Harçların Özellikleri, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22(1), 87-94.
- Payá, J., Borrachero, M., Monzó, J. ve Bonilla, M., 1999. Properties of Portland cement mortars incorporating high amounts of oil-fuel ashes. Waste Manage, Oxford, 1-7.
- Rakshvir, M. ve Barai S.V., 2006. Studies on Recycled Aggregates-Based Concrete. Waste Management & Research, 24, 225-233.
- Sancak, E., 2005. Silis Dumanı Katkılı Bims Betonların Özellikleri, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 142s.
- Seals, R., 1977. Properties of bottom ash/boiler slag and fly ash, Short Course. Technology and Utilization of Power Plant ash, 59p.
- Subaşı, S., Kap, T. ve Beycioğlu A., 2008. Uçucu Kül Katkı Miktarının Beton Eşlenebilirliği ve Sertleşme Sürelerine Olan Etkisi, Uluslararası Hazır Beton Kongresi Bildirileri, İstanbul, s. 438- 448.
- Terzi, S. ve Karaşahin, M., 2003. Mermer Toz Atıklarının Asfalt Betonu Karışımında Filler Malzemesi Olarak Kullanımı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Teknik Dergi, 14(67), 14-19.

- THBB, 2015. 2013-2014 Yılı Hazır Beton Sektörü İstatistikleri, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul.
- Topçu, İ., 2006. Beton Teknolojisi, Uğur Ofset, Eskişehir, 570s.
- Topçu, İ.B., Sarıdemir, M. ve Nohutçu, H., 2007. Lastikli Beton Özelliklerinin Yapay Sınır Ağları Ve Bulanık Mantıkla Belirlenmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 20(1), 1-16.
- TS EN 1097-6. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 6: Tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1-43, 2015.
- TS EN 12390-3. Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1-19, 2010.
- TS-EN 12390-5. Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1-9, 2010.
- Tanyıldızı, H. Ve Coşkun, A., 2011. Elazığ Yöresi Vişne Mermer Tozu Katkılı Hafif Betonun Basınç ve Ultrasonik Ses Geçirgenliği Özelliğinin Araştırılması, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 27(2), 150-154.
- Türk, K., Karataş, M. ve Ulucan Z.Ç., 2006. Farklı Oranlarda F Sınıfı Uçucu Kül İçeren Kendiliğinden Sıkışan Betonun Dayanım Özellikleri, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18(4), 513-520.
- Türkel, E., 2002. Betonda Basınç Dayanımı İle Elastisite Modülü Arasındaki İlişkiler. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 113s.
- URL-1, [www.dunyabeton.com.tr/birimagirlik.html](http://www.dunyabeton.com.tr/birimagirlik.html), 25 Eylül 2019
- Uysal, M., 2011. Mineral katkıli betonların donma-çözülme etkisi altındaki davranışının incelenmesi, THBB Kongresi, İstanbul.
- Yazıcı, H., 2006. Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Harçların Sülfat Dayanıklılığının İncelenmesi, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 8(1), 51-58.
- Yazıcıoğlu, S., Gönen, T. ve Çobanoğlu, Ö.C., 2005. Elazığ Ferrokrom Cürufunun Betonun Basınç Dayanımı ve Çarpma Enerjisi Üzerine Etkisi, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17(4), 681-686.
- Yen, T., Hsu, H., Liu, W. ve Chen, S. H., 2007. Influence Of Class F Fly Ash On The Abrasion-Erosion Resistance Of High-Strength Concrete, Construction and Building Materials, 21(2), 458-463.

- Yıldız, T., Yıldız, S. ve Keleştemur, O., 2011. Cam Lif Katkılı Betonda Filler Malzemesi Olarak Atık Mermer Tozunun Kullanılabilirliğinin Araştırılması, e-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences, 6(4), 1315-1326.
- Yılmaz, A., 2013. Akrilik Lif ve Uçucu Kül Katkılı Çimento Harçlarının Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, SDU International Journal of Technologic Sciences, 5(1), 67-73.
- Yılmaz B., 2009. Muş Yöresinden Temin Edilen Baritin Kullanımı İle Elde Edilen Ağır Betonun Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 136s.
- Zaetang, Y., Wongs, A., Sata, V. ve Chindaprasirt, P., 2013. Use of lightweight aggregates in pervious concrete, Construction and Building Materials, 48, 585-591.
- Zoorob, S. ve Suparna, L., 2000. Laboratory Design and Investigation of the Properties of Continuously Graded Asphaltic Concrete Containing Recycled Plastics Aggregate Replacement, Cement and Concrete Composites, 22, 233-242.

## ÖZGEÇMİŞ

Fatih Sultan SEMİZ, 1987 yılında Trabzon Çaykara'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Trabzon Merkez'de okudu. Liseyi, Fatih Lisesi'nin süper kısmında okudu. 2004 yılında başladığı Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesinden 2008 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. Okulu bitirdikten sonra yedek subay olarak Kıbrıs'ta vatani görevini tamamladı. Askerliği bitirdiği yıl DSİ 26. Bölge Müdürlüğü- Artvin'e atandı. Deriner Barajında kontrol mühendisi olarak bir buçuk yıl görev yaptı. Daha sonra 2011 yılında Bayburt Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'ne atandı. Şu an Bayburt Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü'nde çalışmaktadır. Ayrıca iki yıllık ilahiyat mezunudur. Evli ve iki çocuk babasıdır.