



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



**ERZİNCAN-ÜZÜMLÜ YÖRESİ VOLKANİK KAYAÇLARININ BETON
AGREGASI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yavuz Selim AKSÜT

HAZİRAN 2015

GÜMÜŞHANE

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ERZİNCAN-ÜZÜMLÜ YÖRESİ VOLKANİK KAYAÇLARININ BETON
AGREGASI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yavuz Selim AKSÜT

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

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11.06.2015
Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 30.06.2015

HAZİRAN 2015



KABUL VE ONAY



Doç. Dr. Şükrü YETGİN danışmanlığında **Yavuz Selim AKSÜT** tarafından hazırlanan **“ERZİNCAN-ÜZÜMLÜ YÖRESİ VOLKANİK KAYAÇLARININ BETON AGREGASI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ”** isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.

Başkan (Danışman)

Doç. Dr. Şükrü YETGİN

Üye

Doç. Dr. Abdulkadir Cüneyt AYDIN

Üye

Doç. Dr. Abdullah KAYGUSUZ

ONAY

Bu tez 15/07/2015 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. İbrahim TURAN
Fen Bilimleri Enstitü Müdürü

TEZ BEYANNAMESİ

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalı'nda, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlamış olduğum **“ERZİNCAN-ÜZÜMLÜ YÖRESİ VOLKANİK KAYAÇLARININ BETON AGREGASI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ”** isimli tez çalışmada; 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. 11/06/2015



Yavuz Selim AKSÜT

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

ERZİNCAN-ÜZÜMLÜ YÖRESİ VOLKANİK KAYAÇLARININ BETON
AGREGASI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİ

Yavuz Selim AKSÜT

Gümüşhane Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Şükrü YETGİN

2015, 75 sayfa

Volkanik agrega kaynağı Erzincan ilinin yaklaşık 30 km doğusunda, Üzümlü ilçesi sınırları içerisinde yaklaşık 40 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Bu çalışmada, Erzincan-Üzümlü yöresi, dört farklı bölgedeki taş ocaklarından elde edilen volkanik kayaçların mühendislik özellikleri incelenmiştir. Laboratuvar çalışmaları kapsamında ilk aşamada 5 adet kayaç örneğinde standartlara uygun (TS, BS, ASTM) olarak gevşek ve sıkıştırılmış birim kütle, özgül kütle, su emme oranı, Los Angeles aşınma direnci, donmaya karşı direnç, tek eksenli basınç deneyi ve ikinci aşamada agrega katkılı beton örneklerinde agrega tane dağılımı (granülimetri), beton karışımı, serbest çökme (slump), birim kütle, betonun basınç dayanımı, elastisite modülü, yarmada çekme dayanımı, aşınma direnci, kılcal su emme (kapilarite) gibi deneyler yapılmıştır. Belirli bir granülimetriye sahip

betonda bağdaşık bir karışım ve göreceli en yüksek dayanımı sağlayacak taze beton bileşimi için su/çimento oranı değişken olarak temel alınmıştır. Farklı su/çimento oranlarında silindirik beton numuneler üretilmiş olup su içerisinde 7 ve 28 gün kür edilerek bu numunelerin basınç dayanımı sonuçları fiziksel ve mekanik özellikleri ışığında değerlendirilmeye çalışılmıştır.

Standartlardaki koşullara uygun olarak gerçekleştirilen agrega ve beton deneylerinden elde edilen sonuçlar, Üzümlü yöresinde çıkarılan volkanik kayalardan özellikle Yassı Tepe Doğu (YTD) örneğinin beton agregası olarak daha üstün özelliklerle uygulanabileceğini göstermiştir. Üretilen betonların, mekanik özelliklerinin C25/30 dayanım sınıfından başlamak üzere daha üst dayanım sınıflarına da erişebildiği görülmüş ve genel olarak betonarme yapıların öngörüldüğü, bina inşası başta olmak üzere hemen tüm alanlarda kullanılabilirliği anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Agrega, Beton, s/ç oranı, Tek eksenli basınç dayanımı, Volkanik kayaç

ABSTRACT

MS THESIS

THE USABILITY OF ÜZÜMLÜ (ERZİNCAN) REGION VOLCANIC ROCKS AS CONCRETE AGGREGATE

Yavuz Selim AKSÜT

Gümüşhane University

The Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Şükrü YETGİN

2015, 75 pages

The study area covers about 40 kilometers square area in boundaries of Üzümlü region, where is about 30 kilometers far from east of Erzincan province. In this study; the engineering properties of volcanic rocks obtained from four different stone quarries in Üzümlü (Erzincan) region were investigated. In the scopes of laboratory studies, the experiments like bulk and the aggregate tests (bulk and dense unit weight, specific mass, water absorption, Los Angeles test for resistance to wear, freezing resistance and uniaxial compressive strength) were performed on the 5 selected volcanic specimens according to the standards (TS, BS, ASTM) and in the second stage, grading of concrete tests (grading of the concrete aggregates, concrete preparation, slump test, specific density of concrete, uniaxial compressive strength, modulus of elasticity, splitting tensile strength, abrasion

resistance and capillarity) were made on the concrete samples with volcanic aggregates. Water/cement ratio is selected as main variable providing homogeneous mixing and the highest strength to concrete samples produced from a fixed granulometry. Cylindrical concrete samples were produced with different water/cement ratios. The concrete samples were cured for 7 and 28 days in water to obtain its physical and mechanical properties.

Aggregates and concrete tests that are harmonical with the standards show that especially Yassitepe-Doğu (YTD) sample that is one of the volcanic rock from Üzümlü region can be used as concrete aggregate. It is seen that the concrete produced can reach C25/30 and upper classes. In addition, it is understood that it can be used all the areas, especially, structural concrete.

Keywords: Aggregate, Concrete, w/c ratio, Uniaxial compressive strength, Volcanic rocks

TEŞEKKÜR

“Erzincan-Üzümlü yöresi volkanik kayaların beton agregası olarak kullanılabilirliği” adlı bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Erzincan-Üzümlü yöresindeki volkanik kayaların, elde edilen veriler neticesinde beton üretimine agrega olarak katılmasıyla ekonomik anlamda katkı sağlayacağına inandığım bu çalışmanın planlanmasından yazımına kadar geçen her aşamada değerli bilgilerini ve tecrübelerini benimle paylaşan, değerli vaktini benden esirgemeyen ve çalışmalarında bana yön vererek destek olan Danışman Hocam, Sayın Doç. Dr. Şükrü YETGİN’e içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Katkılarını esirgemeyerek bu çalışmada ve yüksek lisans öğrenimim boyunca her türlü desteği sağlayan değerli Hocalarım Doç. Dr. Ahmet ÇAVDAR ve Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇULLU’ya ayrıca şükranlarımı sunarım.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca, her konuda destek ve yardımını esirgemeyen değerli mesai arkadaşlarım Arş. Gör. Dr. M. Ali GÜCER, Arş. Gör. Sedat SEVİN, Arş. Gör. R. Ali DEDECAN ve Arş. Gör. Murat ŞAN’a özellikle teşekkür ederim.

Hayatımın her anında beni yalnız bırakmayan, maddi ve manevi her türlü desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yavuz Selim AKSÜT
Gümüşhane, 2015

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET.....	IV
ABSTRACT	VI
TEŞEKKÜR	VIII
İÇİNDEKİLER.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Betonun Basınç Dayanımı	3
1.3. Betonun Basınç Dayanımına Etki Eden Parametreler	5
1.4. Kayaçlar.....	12
1.5. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	14
1.6. Agrega Kaynağı ve Coğrafi Konum.....	16
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	17
3. YAPILAN DENEYLER.....	22
3.1. Deney Süreci.....	22
3.2. Agrega Kaynağı.....	23
3.2.1. Kimyasal Özellikler	23
3.2.2. İnce Kesitlerin Hazırlanması ve Değerlendirilmesi.....	23
3.2.3. Fiziksel ve Mekanik Özellikler.....	25
3.2.3.1. Agrega Fiziksel Deneyleri	26
3.2.3.2. Agrega Mekanik Deneyleri	28
3.3. Beton Bileşenleri	32
3.3.1. Çimento	32
3.3.2. Su	33
3.3.3. Agrega	34
3.4. Deneysel Yöntem	36
3.5. Betonların Üretimi	37

3.6.	Taze Beton Kıvamı ve Birim Kütlesi	43
3.7.	Sertleşmiş Betonun Fiziksel Özellikleri	45
3.8.	Basınç Dayanımı.....	47
3.9.	Elastisite Modülü	49
3.10.	Yarmada Çekme Dayanımı	51
3.11.	Aşınma Dayanımı	52
3.12.	Kılcal (Kapiler) Su Emme	53
4.	BULGULAR VE İRDELEMELER	55
4.1.	Kullanılan Agrega Bulguları	55
4.2.	Taze Beton Bulguları.....	55
4.3.	Sertleşmiş Beton Bulguları	57
4.3.1.	Fiziksel Veriler	57
4.3.2.	Basınç Dayanımı.....	58
4.3.3.	Elastisite Modülü	59
4.3.4.	Yarmada Çekme Dayanımı	61
4.3.5.	Aşınma Dayanımı	62
4.3.6.	Kılcal Su Emme.....	63
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	65
6.	KAYNAKLAR.....	69
	ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1 Çalışma alanı haritası.....	16
Şekil 3.1 Üzümlü (Erzincan, Türkiye) ve civarının jeoloji haritası.....	22
Şekil 3.2 Volkanik kayaçların ince kesit görüntüleri	24
Şekil 3.3 Beton üretiminde kullanılan agreganın tane büyüklüğüne göre gruplandırması.....	34
Şekil 3.4 Beton üretiminde kullanılan agreganın tane dağılımı (granülometri) eğrisi	36
Şekil 3.5 Düşey eksenli cebri karıştırıcı (mikser).....	39
Şekil 3.6 Taze betonun karışım zamanı çizelgesi.....	39
Şekil 3.7 Beton örneklerinin üretimi	40
Şekil 3.8 Betonların kalıplara yerleştirilmesi	41
Şekil 3.9 Betonların kür edilmesi ve kalıplardan çıkarılması.....	42
Şekil 3.10 Betonların kür havuzuna yerleştirilmesi ve bekletilmesi	43
Şekil 3.11 Serbest çökme (Slump) deney düzeneği ve ölçümü.....	44
Şekil 3.12 Taze beton birim kütlesinin belirlenmesi	45
Şekil 3.13 Numune başlıklama cihazı ve yüzeyi düzeltilmiş numune	47
Şekil 3.14 Tek eksenli tahribatlı yöntemle basınç dayanımının belirlenmesi	48
Şekil 3.15 TEBD deneyi ile ilgili açıklayıcı bilgiler	49
Şekil 3.16 Beton numunelerin elastisite modülü deneyinin yapılışı	50
Şekil 3.17 Yarmada çekme dayanımı deneyinin yapılışı ve numunesi	52
Şekil 3.18 Aşındırma cihazı ve aşınan beton numune.....	53
Şekil 3.19 Kılcal (Kapiler) su emme deneyi.....	54
Şekil 4.1 Farklı s/ç oranlarına göre taze betonların çökme değerleri	56
Şekil 4.2 Farklı s/ç oranlarına göre betonların 7. ve 28. günlerdeki basınç dayanımları ..	59
Şekil 4.3 Betonların gerilme-birim deformasyon diyagramları.....	61
Şekil 4.4 Farklı s/ç oranlarına göre betonların yarmada çekme dayanımları	62
Şekil 4.5 Farklı s/ç oranlarındaki beton numunelerin aşınma miktarları	63
Şekil 4.6 Farklı s/ç oranlarındaki betonların kılcal su emme grafiği.....	64

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 3.1 Erzincan-Üzümlü yöresi volkanik kayaların petrografik özellikleri.....	25
Tablo 3.2 Kayalardan elde edilen agregaların fiziksel ve mekanik deney sonuçları.....	31
Tablo 3.3 Tek eksenli basınç dayanımına göre sınıflandırılma.....	32
Tablo 3.4 Kayaların boşluk oranına (gözeneklilik) göre sınıflandırılması.....	32
Tablo 3.5 Çimentonun kimyasal bileşimi, fiziksel ve dayanım özellikleri	33
Tablo 3.6 Agregatane sınıfının belirlenmesinde kullanılan elek göz açıklıkları.....	35
Tablo 3.7 Farklı s/ç oranlarında üretilen betonların 1 m ³ hacmindeki bileşenleri	38
Tablo 4.1 Taze beton birim kütleleri	57
Tablo 4.2 Sertleşmiş beton birim kütleleri	57
Tablo 4.3 Sertleşmiş betonun fiziksel özellikleri	58
Tablo 4.4 Beton numunelerin 7 ve 28 günlük ortalama basınç dayanımları.....	58
Tablo 4.5 Betonların elastisite modülü değerleri.....	60

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Deney numunesinin kesit alanı
A_b	: Betondaki toplam hava miktarı
a	: Numunenin su emme yüzeyi
ASTM	: American Society for Testing and Materials
BS	: British Standards
B_g	: Agreganın gevşek birim kütlesi
B_s	: Agreganın sıkışık birim kütlesi
C	: Concrete, Beton
CEM	: Çimento
°C	: Celcius
φ	: Karışıma girecek çimentonun kütlesi
d	: Numunenin seçilen en kesit boyutu
DKY	: Doygun kuru yüzey
D_{max}	: 22,4 mm'lik elekten geçen en büyük agreganın boyutu
d_w	: Suyun yoğunluğu
E	: Elastisite modülü
F_u	: Numune kırılma yükü
f_b	: Kayacın basınç dayanımı
f_c	: Tek eksenli basınç dayanımı değeri (en yüksek basınç gerilmesi)
$f_{c_{sil}}/f_{c_{küp}}$	: Standart boyutlu silindirik numune dayanımı/küp numune dayanımı oranı
f_{ck}	: Betonun anma (karakteristik) basınç dayanımı
f_{cm}	: Betonun ortalama basınç dayanımı
f_{ct}	: Betonun yarmada çekme dayanımı
GÜ	: Gümüşhane Üniversitesi
G_0	: Deney numunesinin başlangıç kütlesi
G_1	: Deneyden sonra elek üzerinde kalan deney numunesinin kütlesi
I	: Kılcal (Kapiler) su emme oranı
IT	: İraduh tepesi
k	: Doluluk oranı (Kompasite)
k_d	: Sodyum sülfat don kaybı
KT	: Köy tepesi
K_{se}	: Kılcal su emme (Kapilarite)
L	: Numunenin yükleme parçasına temas çizgisi uzunluğu
LA	: Los Angeles katsayısı
M_1	: Doygun ve havada yüzeyi kurutulmuş agreganın kütlesi
M_2	: Doygun agreganın numunesini ihtiva eden sepetin sudaki görünür kütlesi
M_3	: Boş sepetin sudaki görünür kütlesi
M_4	: Etüvde kurutulmuş deney numunesi kısmının kütlesi
m	: Numunenin deney esnasındaki durumuna bağlı kütlesi
$m(\%)$	: Kütleye su emme oranı
m_a	: Numunenin havadaki kütlesi
m_{st}	: Kefenin su içerisindeki görünür kütlesi
m_t	: Beton örneğinin zamana bağlı (t) kütlesindeki değişim
m_w	: Numunenin su içerisindeki görünür kütlesi
m_l	: Kabın kütlesi

m_2	: Kabın, içerisindeki numune ile birlikte toplam kütlesi
$P(\%)$	: Boşluk oranı (görünür boşluk)
$P(\% m)$	: Aşınma kaybı
s/ζ	: Su/çimento oranı
S_n	: Göz açıklığı (n) olan elek üstünde kalan malzeme oranı
TEBD	: Tek eksenli tahribatlı basınç dayanımı deneyi
TS	: Türk Standartları
TT	: Tatoğlu tepe
US	: Beton basınç dayanımı
v	: Numunenin özel metotla tayin edilen hacmi
V	: Kabın hacmi
V_N	: Numunenin hacmi
w	: Karışıma girecek suyun hacmi
W_a	: Karışıma girecek agreganın kütlesi
W_{DA}	: Doygun kuru yüzeyli malzemenin kütlesi
W_{KA}	: Numunenin etüv kurusu kütlesi
W_n	: Göz açıklığı (n) olan elek üzerinde kalan malzeme kütlesi
W_0	: Deney örneğinin kütlesi
W_1	: Numunenin ilk kütlesi
W_2	: Numunenin aşınma sonrası kütlesi
YTB	: Yassı tepe batısı
YTD	: Yassı tepe doğusu
ρ	: Numunenin nem durumu ve hacim tayini metoduna bağlı yoğunluğu
ρ_a	: Agreganın özgül kütlesi
ρ_ζ	: Çimentonun yoğunluğu
ρ_k	: Kimyasal katkının yoğunluğu
ρ_{rd}	: Agreganın kuru birim hacim kütlesi
ρ_{ssd}	: Agreganın doymuş birim hacim kütlesi
σ	: Gerilme
ε	: Birim deformasyon
m	: 1.6'lık elek üzerinde kalan malzeme kütlesi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Beton, agrega denilen maddelerin bir bağlayıcı madde ve su ile birleştirilmesiyle oluşan, taze ve sertleşmiş halde iken farklı özelliklere sahip kompozit bir yapı malzemesidir. Kullanımı çok eskilere giden beton, gerek önemli miktarda yük taşıma kapasitesi gerekse de taze halde iken kolay şekil verilebilme gibi özelliklerinden dolayı kullanımı hızla artan ve yaygınlaşan bir yapı malzemesi olarak yapı sektöründeki önemini gün geçtikçe artırmaktadır. Betonun oluşturan bileşenlerin başında agrega gelmektedir. Dolayısıyla, agreganın sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özellikler doğrudan betonun özelliklerini etkilemektedir. Geçmiş yıllarda beton üzerine sayısız çalışmalar yapılmış ve günümüzde de halen çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalar, betonun başta fiziksel ve mekanik özelliklerinin yanı sıra pek çok diğer özelliklerinin iyileştirilmesine yöneliktir.

Günümüz yapı teknolojisinde en çok kullanılan beton malzemesinin kolay üretilmesi ve bileşenlerinin kolay temin edilebilmesi onu ekonomik bir yapı malzemesi kılmaktadır. Ancak, özellikle yük altındaki davranışının ve mekanik özelliklerinin iyice anlaşılamamış olması sebebiyle üzerinde yoğun çalışmalar sürekli olarak yapılmaktadır. Beton, eğilme ve çekme kuvvetleri etkisinde yetersiz olmasına karşın basınç etkisi altında yüksek bir başarı göstermektedir; ancak, süneklilik bakımından beklenen düzeyde bir özellik gösterememektedir.

Betonun çeşitli bileşenlerden oluşan bir yapı malzemesi olmasıyla birlikte belirli bir maliyeti de bulunmaktadır. Özellikle betonun ekonomik yönü, yapı sektöründe dikkate alınması gereken konuların başında gelmektedir. Bu nedenle, beton teknolojisinin öncelikli hedefleri arasında daha ekonomik beton üretimi de yer almaktadır. Betonun ekonomik olabilmesi için hammadde kaynaklarının, gerek fiziksel ve mekanik özellikleri gerekse ulaşım kolaylığı açısından elverişli olması gerekmektedir. Üretim yapılacak bölgenin ekonomik açıdan elverişliliğinin ve topoğrafik yapısının kapsamlı bir çalışmayla ortaya konması gerekmektedir. Beton maliyetini önemli ölçüde etkileyen, beton bileşenlerinin sağlanmasının oluşturduğu giderler yadsınamayacak boyutlara varabilmektedir.

Kuşkusuz betonun özelliklerini ve maliyetini etkileyen bileşenlerden biri de agregalardır. Mineral kökenli, kum, çakıl ve kırma taş gibi taneli yapıda olan ve beton

üretiminde çok önemli bir yer tutan agregalar yapılan bu çalışmanın da ana konusunu oluşturmaktadır. Beton bileşiminin hacimsel olarak yaklaşık %70'ini oluşturan agregalar (Neville, 2011) su ve çimento yanında ön planda yer almaktadır.

Beton niteliğini büyük ölçüde etkileyen de nitekim agregalar olmaktadır. Çimentonun standartlaştırılmış olması ve suyun ise niteliğine bağlı olarak betonun özelliklerine nasıl etki edeceğinin bilinmesi nedeniyle agrega özelliklerinin öncelikle belirlenmesi betonun niteliği açısından büyük önem taşımaktadır. Betonun iskeletini oluşturan agreganın özellikleri, betonun işlenebilirliği, dayanımı ve geçirimsizliği gibi özellikleri üzerinde etkili olduğu bilinmektedir (Postacıoğlu, 1987).

Betonun maliyeti düşünüldüğünde, çimentoya göre agrega maliyetinin oldukça düşük olması, agregayı betonda kullanılan ucuz ve doğal bir dolgu malzemesi yapmaktadır. Agrega, düşük maliyetinin yanı sıra teknik bakımdan bir iskelet ve dolgu malzemesi olarak, sertleşen çimento hamuru içerisinde betonun hacim değişikliğini önlemekte, çevresel etkilere karşı dayanıklılığını yükseltmekte ve kendi dayanımı ile de betonun gerekli dayanıma erişmesine katkı sağlayabilmektedir (Cilason, 1992).

Konut, sanayi tesisleri, hastane gibi üst yapı çalışmaları ile yol, köprü, su yapıları, boru hatları gibi alt yapı inşa alanlarını kapsayan, çok geniş bir faaliyet alanına sahip olan beton ve asfalt üretiminin en önemli bileşeni agregalardır. Dünya genelinde yapılan çalışmalar, su ve agreganın fert başına en çok tüketilen maddeler olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca, Dünya genelinde üretilen tüm madenler içerisinde %58'lik payla agrega üretimi birinci sırada yer almaktadır (Öztürk vd, 2007).

Ülkemizde son yıllarda doğada bulunan farklı kayaç türlerinden doğal agregalar temini üzerine birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmada da Erzincan-Üzümlü bölgesinde yer alan volkanik kayaç türlerinin kırmataş agrega olarak beton teknolojisinde kullanılabilirliği ele alınmıştır. Genel özellikleri bakımından andezit türü kayaçları olarak nitelendirilen bu malzemeler plajiyoklas, proksen, amfibol ve biotit çeşidi mineraller içermektedir. Bu çeşit kayaçların eşdeğer özellikteki benzerleri dioritlerdir. Dioritler ise derinlik kayaçları olarak yüksek mekanik özelliklere sahiptirler. Genel olarak 2.40 ile 2.90 kg/dm³ özgül kütleyle sahip bu tür volkanik kayaçların basınç dayanımları 70 ile 150 N/mm² arasında bulunsun da bu sınırları aşan çeşitleri de mevcuttur. Bu çalışmada beton niteliğinin en önemli göstergesi sayılan basınç dayanımı ve bunu doğrudan etkileyen s/ç oranına bağlı olarak agrega özellikleri üzerinde de durmanın yararlı olacağı düşünülmektedir.

1.2. Betonun Basınç Dayanımı

Eksenel basınç yükü altında betonda oluşan en yüksek gerilme değerine betonun basınç dayanımı denir (Erdoğan, 2003). Betonun dayanımı, beton üzerinde etki eden yüklerden dolayı meydana gelebilecek şekil değiştirmelere bağlı olarak betonun kırılmamak için gösterdiği direnme olarak tanımlanmaktadır (ASTM C39, 1994).

Beton için yapılan araştırmalarda, malzemenin çeşitli özellikleri ve basınç dayanımı arasında ilişkiler aranmış ve bu araştırmalar sonucunda betonun bir takım özelliklerinin, basınç dayanımı ile aynı yönde değiştiği görülmüştür. Bu ilişkiden dolayı betonun basınç dayanımı, bu malzemenin nitelik ölçütü olarak kullanılmaktadır (Şimşek, 2007).

Beton araştırmalarında veri olarak en çok kullanılanı basınç dayanımıdır. Bunun nedenleri ise şöyle sıralanabilir (Akman, 1990; Erdoğan, 2003; Özdemir, 2014):

- Basınç dayanımının bulunabilmesi için uygulanan deney yöntemleri diğer dayanım değerlerinin bulunabilmesi için uygulanan yöntemlerden daha kolay ve daha güveniliridir.

- Yapılan tüm tasarımlarda en başta betonun basınç dayanımı esas alınır. Birçok yapıda betonun çekme, eğilme, yorulma gibi değişik yüklerin etkisinde çok fazla kalmayacağı varsayılmakta ve betonun üzerine gelen en önemli yük etkisinin basınçtan kaynaklandığı kabul edilerek hesap yapılmaktadır.

- Betonun basınç dayanımı ile çekme ve eğilmede çekme dayanımları arasında yaklaşık da olsa bir ilişki bulunmaktadır. Bu nedenle basınç dayanımı bilindiği takdirde diğer türdeki dayanımların büyüklükleri hakkında fikir edinilebilmektedir.

- Basınç dayanımının bilinmesi, betonun diğer özellikleri hakkında da nitel ve nicel anlamda bilgi sağlamaktadır. Örneğin, basınç dayanımının yüksek olması betondaki su geçirimsizliğinin düşük ve dayanıklılığının yüksek olduğuna işaret etmektedir.

- Betonların basınç dayanımlarına göre sınıflandırılmalarındaki amaç, betonun belirli bir özelliğini diğer tüm özelliklerinin ölçütü varsayma ilkesine dayanmaktadır.

Betonun standart dayanım değeri olan 28 günlük basınç değerinden daha erken ya da daha geç tarihli dayanımı bazı uygulamalar için önemli olmaktadır. Bazı uygulamalarda kalıpların beton dökümünden kısa bir süre sonra sökülmesi gerektiğinden veya erken dayanım beklenen uygulamalarda 3 günlük ya da 7 günlük basınç dayanımları önemli olmaktadır. Örneğin, kütle beton uygulamalarından baraj betonunda, betonun erken dayanımı çok önemli olmamaktadır. Bu tür uygulamalarda kullanılan betonların üretiminde sadece 90 günlük veya hem 28 günlük hem de 90 günlük dayanımın ne olması gerektiği

düşünülmektedir. Betonun basınç dayanımının belirlenmesi için aynı betondan alınan en az 3 adet standartlara uygun olan silindir veya küp numune gerekmektedir. Deneyler sonucunda her numunenin kırılma anındaki yük değeri o numunenin kesit alanına bölünerek basınç dayanımı hesaplanır. En az 3 adet olarak kırılan numunelerin basınç dayanımlarının ortalaması alınarak betonun ortalama basınç dayanımı (f_{cm}) hesaplanır. Bulunan dayanım değeri standartta yer alan beton sınıfı değeri ile karşılaştırılarak üretilen betonun hangi sınıfta yer aldığı belirlenir (Ekmekyapar ve Örüng, 2001).

Ancak beton ve betonarme yapıların proje hesapları ortalama basınç dayanımı değerine göre yapılmamaktadır. Bu hesaplamalar için betonda bulunması gereken bir minimum basınç dayanımı değeri seçilmekte ve hesaplar bu seçilen minimum basınç dayanımı göz önünde tutularak yapılmaktadır. Aynı numuneler üzerinde yapılan deneylerde bulunan basınç dayanımları birçok parametrenin etkisiyle değişiklik göstermektedir. Belirli bir sayının denenmesiyle elde edilen minimum basınç dayanımının, daha çok sayıda deneyler sonucunda bulunacak minimum basınç dayanımından daha yüksek olabilme olasılığı mevcuttur. Bu bakımdan projelendirme hesapları için minimum bir basınç dayanımı seçilir; ancak bu değer altında bazı değerlerin olabileceği de kabul edilmelidir. Yapı hesaplarında kullanılan bu minimum basınç dayanımı değerine karakteristik basınç (anma) dayanımı (f_{ck}) denilmektedir (Erdoğan, 2003; Özdemir, 2014).

TS 500 standardında karakteristik basınç dayanımı için “üretilen betonun alınacak numunelerden elde edilen basınç dayanımlarının, bu değerden daha düşük olma olasılığının numune sayısına %10 olduğu değerdir.” denilmektedir. Başka bir deyişle belirlenen basınç dayanımlarının numune sayısına %90’ının bu değer üstünde olması gerekir, ancak %10’unun bu değer altına düşmesine izin verilir. Projelendirme yapılırken taşıyıcı olarak kullanılan betonlar belirli sınıflara ayrılmıştır. Beton sınıfları doğrudan deney sonuçlarına göre değil karakteristik basınç dayanımına göre yapılmaktadır (TS 500, 2000).

Betonarme yapıların “taşıma gücü” hesabında temel alınan malzeme etkilerinden biri betonun basınç dayanımıdır. Yapılacak olan yapı tasarımı için betonun asgari bir basınç dayanımına sahip olması gerektiği kabul edilip hesaplamalar ona göre yapılmaktadır. Yapının taşıyıcı sistem elemanlarının boyutlandırılabilmesi için elemanların taşıma gücü hesabına göre kesit alanları, betonun basınç dayanımı dikkate alınarak

seçilmektedir. Tüm bu amaçlar doğrultusunda üretilen beton üzerinde standartlara uygun olarak betonun basınç dayanım deneyleri yapılmalıdır.

Betonu oluşturan malzemelerin oranlarındaki muhtemel farklılıklar, betonun dökümü sırasında yerine yerleştirmede ve sıkıştırmada gösterilen özen, yapı bileşenlerinin boyutlarının standart deneyler için kullanılan numunelerden çok büyük olması, betona uygulanan kür koşullarının standartlarda kabul edilen değerlerden farklı olabilmesi vb. gibi nedenlerle şantiye ortamında alınan beton numunelerin basınç dayanımının, standart deney yöntemiyle belirlenmiş basınç dayanımından her zaman daha düşük değerde olmasına yol açmaktadır. Bu nedenle yapıda bulunan sertleşmiş betonun yerinde/yapıda basınç dayanımının belirlenmesi de zorunlu olmaktadır. Öte yandan yapıda veya yapı elemanlarında kullanılan betona ilişkin taze beton standart deney sonuçlarının olmayışı ya da var olan sonuçların yetersiz oluşu veya kullanılan betonun dayanımında bir kuşkunun ortaya çıkması durumunda da betonun “yerinde dayanımının” belirlenmesini gerektirmektedir. Yapıdaki betonun basınç dayanımı gerçek basınç dayanımı olarak adlandırılmaktadır (Arioğlu vd., 1998; Erdoğan, 2003; Özdemir, 2014).

1.3. Betonun Basınç Dayanımına Etki Eden Parametreler

Beton üretiminde kullanılan çimento, agrega, su ve katkı maddelerinin özellikleri ile beton içerisinde bulundukları oranlar betonun taze ve sertleşmiş durumdaki özelliklerini etkilemektedir. Tüm bunların dışında sertleşmiş beton özelliklerinin başka etkenleri de bulunmaktadır. Betonun karıştırılması, taşınması, yerine yerleştirilmesi, sıkıştırılması, yüzeyinin düzeltilmesi ve uygun koşullarda kür edilmesi sertleşmiş betondan beklenen dayanımın elde edilebilmesi için yapılması zorunlu olan işlemlerdir. Betonun mekanik özelliklerinden değer olarak kuşkusuz en büyük olanı basınç dayanımıdır. Bu özelliğinden dolayı yapılarda kullanılan beton, basınç gerilmelerine maruz kalacak şekilde tasarlanır (Gök, 2010).

Betonun basınç dayanımının etkenleri;

- Su/Çimento oranı
- Çimento tipi
- Yoğurma suyu
- Betonun doluluk oranı

- Kür koşulları
- Numune boy/çap oranı ve büyüklüğü
- Beton numunenin şekli (geometrisi)
- Agrega dayanımı, tane boyutu dağılımı ve tane yapısı
- Agrega kayaç kaynağının yaşı (ayırışma etkisi)
- Deney sırasında numunenin nem durumu
- Deney sırasında numunenin sıcaklığı
- Yükleme hızı ve yük sınırı

Su/Çimento Oranı: İnşaat mühendisliğinde taze betonun iyi derecede işlenebilirlik özelliğine sahip olması öncelikli konulardan biridir. Bu amacı gerçekleştirebilmek için su miktarının ayarlanması beton teknolojisi açısından son derece önemlidir. Su/çimento oranının %55'in üzerine çıkılmamasına dikkat edilmelidir. İyi bir işlenebilirlik ve yerine yerleştirme amacıyla su/çimento oranındaki değişim yerine agrega tane dağılımının sürekliliğine ve üst tane boyutunun düşürülmesi yoluna gidilmelidir. Betonun basınç dayanımı, su/çimento oranına bağlı olarak değişen bir büyüklüktür. Su/çimento oranının yükselmesi betondaki boşluk oranının artmasına ve böylece dayanımın düşmesine neden olmaktadır. Su/çimento oranı düşük olan bir taze betonun kıvamı ancak akışkanlaştırıcı/kayganlaştırıcı katkı maddesi ilavesiyle sağlanmalıdır. Sonuç olarak su/çimento oranı yükseldikçe boşluklar artmakta, dayanım düşmekte ve beton daha geçirgen bir özellikte çevresel etkilere karşı savunmasız kalmaktadır (ASTM C39, 1994).

Çimento Tipi: Basınç dayanımının etkenlerinden biri de kullanılan çimentonun çeşidi ve miktarıdır. Çimento fabrikalarında kullanılan kalker, kum, kil, alçı taşı ve puzolanik maddeler gibi girdiler doğal olarak ayrı yerlerden alınmakta ve birbirlerine eşdeğer nitelikte olmamaktadır. Bununla birlikte her çimento fabrikasının farklı üretim yöntemi, farklı kalite kontrolü, farklı yaşta olması gibi etkenleri düşünüldüğünde her çimento fabrikasının ürünü, çimento sınıfı aynı olsa dahi üretilen ürünün farklı kalitede olabileceği kanısını ortaya çıkarmaktadır. Beton dayanımının yüksek olmasında yüksek dayanımlı çimentonun çok önemli etkisi bulunmaktadır. Kullanılan çimento miktarının (dozaj) artması dayanımı az da olsa artırır; Ancak, dayanımın sadece çimento dayanımına ve miktarına bağlı olmayıp asıl etkenin su/çimento oranı olduğu açıkça görülmektedir. Beton karışım hesaplarında başta karbonatlaşma ve korozyon etkisine karşı bir çimento

dozajı (kg/m^3) belirlenmektedir. Bundaki amaç, agreganın tüm boşluklarına çimentonun yayılmasını sağlamanın yanında anılan etkiler karşısında donatı çeliğinin ve beton dokusunun korunmasıdır (Akman, 1990).

Yoğurma Suyu: Beton su ile iki şekilde karşılaşır. Bunlar, karışım ve temas sularıdır. Beton karışım veya temas suyu, istenilen nitelikte değilse betonda beklenmedik çatlamlar, parçalanmalar vb. sorunlar çıkarmaktadır (Şimşek, 2007).

Betonda kullanılan yoğurma suyu, betonun katılaşmasından dayanımına, dayanıklılığına ve betonarmede kullanılan donatının korozyonuna kadar birçok özelliğini olumsuz olarak etkileyecek zararlı maddeler içermemelidir. Ayrıca, yoğurma suyunun gereğinden az kullanılması sonucu yeterli hidrasyon ve işlenebilirlik sağlanamamakta, gereğinden fazla kullanılması durumunda ise beton içerisindeki boşluklar artmakta ve böylece betonun dayanıklılığı olumsuz yönde etkilenmektedir (TS EN 1008, 2003). Ayrıca ifade edilecek olursa, betonun yoğurma suyu içme suyu niteliğinde olmalıdır.

Beton karışımı içerisinde bulunan yoğurma suyunun iki önemli görevi bulunmaktadır:

- Betonun dayanımını etkileyen görevi; yoğurma suyu çimento ile reaksiyona girerek bağlayıcı hamuru oluşturur. Çimentonun katılaşmasını ve sertleşmesini sağlar. Hidrasyon için gerekli olan yoğurma suyu miktarı daha önceki çalışmalar neticesinde çimento kütlelerinin 0.08 ile 0.22'si arasında olduğu bildirilmektedir (Akbulak vd., 1967).

- Betonun akıcılığı ve işlenebilirliği üzerinde görevi; Yoğurma suyu agrega ve çimento taneciklerini ıslatarak taze betona belirli bir kıvam (akıcılık) verir. Bu iş için gerekli yoğurma suyu ise çimento kütlelerinin 0.3 ile 0.5'i kadardır.

Görüldüğü gibi, bağlayıcı hamur oluşturmak için gereken suyun miktarı, tanecikleri ıslatmak için gerekenden çok azdır. Beton yoğurma suyunun belirlenmesinde öncelikle taze betonun akıcılığının (kıvamının) esas alındığı buradan da anlaşılmaktadır.

Çimentonun katılaşmasından sonra taze betona akıcılık sağlanması için konulan su zamanla buharlaşarak ayrılır ve betonda boşluklar oluşur. Bu durum ise betonun dayanımının düşmesine neden olur. Diğer bir deyişle, taze betonun akıcılığı için katılan su miktarı arttıkça, yani su/çimento oranı yükseldikçe taze betonun kıvamı (akıcılığı) iyileşir, ancak betonun dayanımı da hızla düşer (İstanbuluoğlu, 1988).

Betonun Doluluk Oranı: Taze betonun 1 m³'lük hacmi içerisinde yer alan agrega ve çimento gibi katı bileşenlerin mutlak hacimleri toplamının birim hacme oranına betonun doluluk oranı denir ve (k) ile gösterilir. Doluluk oranının yüksek olması, betonun basınç dayanımının yüksek olmasında önemli bir etkidir. İyi bir betonda doluluk oranının $k \geq \%80$ olması istenir. Agreganın tane dağılımı ve tane yapısı betonun doluluk oranını doğrudan etkilemektedir. Yüksek birim kütle, dolayısıyla doluluk oranı yüksek sıkı yapılı bir beton için iri agregaların ara boşlukları daha küçük çaplı tanelerle süreklilik içerisinde doldurulmuş olması gerekir (Erdoğan, 2003).

Kür Koşulları : Betonun katılaşma ve sertleşme süresince betona etki eden çevresel etkenlere karşı yapılan bakım işlemlerine kür koşulları denilmektedir. Bu etkiyi nem ve sıcaklık olarak sıralamak mümkündür. Betonun dayanım artışı, bulunduğu ortamın neminin yüksek olması hatta doymuş durumda tutulması koşulu ve sıcaklığın da 60°C üzerine çıkarılmasıyla hızlanmaktadır. Bu yöntemle 1-2 gün gibi kısa bir sürede istenilen dayanıma ulaşılır. Ancak, ortamın bağıl neminin %50'nin altına düşmesi durumunda beton içerisindeki su hızla buharlaşacağından hidratasyon için gerekli olan su da kayba uğrayacaktır. Buharlaşmanın fazla olması sadece hidratasyonu etkilemekle kalmayıp erken büzülme denilen olayı da artırmaktadır. Bu durum ise betonda gözenekli ve çatlaklı bir yapı oluşturacağından betonun dayanımının düşük olmasına sebep olacaktır (Neville ve Brooks, 1987).

Betonda buharlaşma yoluyla kaybolan suyun betona yeniden kazandırılması ya da buharlaşma olayının mümkün olduğu kadar düşük seviyede tutulması için alınması gereken önlemler şu şekilde sıralanabilir:

- Su geçirmeyen bir tabaka ile beton yüzeyinin kapatılması,
- Sürekli olarak beton yüzeyinin nemli kalmasını sağlamak amacıyla hortum ya da mekanik spreyleme sistemi kullanılarak beton üzerine su püskürtülmesi,
- Kimyasal kür katkılarının kullanılması ile betonun buharlaşması önlenilmektedir.

Özellikle geniş yüzeye sahip beton yapım işlerinde buharlaşma ile kaybedilen su hidratasyonun yavaşlamasına neden olacaktır. Bu reaksiyonun düzenli şekilde gerçekleşmesi yeterli su ve sıcaklığa bağlıdır. Yüzeyde uygulanacak korumanın su kaybını engelleyeceği deneylerle belirlenmiştir. Geniş yüzeye sahip beton dökümlerinde yapılacak

erken bakım oluşacak büzülme (rötre) çatlaklarının en düşük seviyede olmasını sağlayacaktır.

Sürekli olarak beton yüzeyine su püskürtülmesi ile genellikle mükemmel sayılacak bir kür uygulanmış olur. Kür işlemi aralıklarla yapılıyor ise beton yüzeyinin kuru kalmamasına dikkat edilmelidir. Bu uygulamanın başarılı olabilmesi için yeterli miktarda suya ve tecrübeli bir işçiye ihtiyaç vardır (Akyüz, 2013).

Numune Boy/Çap Oranı ve Büyüklüğü: Standart boyutta ki bir silindir numunenin boyu 30 cm ve çapı 15 cm olmak üzere boy/çap oranı 2'dir. Bu oranının 2'den küçük olduğu numunelerin basınç dayanımı yine bu oranın 2 olduğu numunelere göre daha yüksek çıkmakta olduğu görülürken boyun çapa oranının 2'den büyük olduğu numunelerin basınç dayanımlarının yine bu oranın 2 olduğu numunelere göre daha düşük çıktığı görülmüştür (ASTM C39, 1994).

Numune boyutlarının küçülmesi ile daha yüksek basınç dayanımı değeri elde edilmesinin nedenleri şu şekilde açıklanmaktadır:

- Daha küçük boyutlu silindir numuneler, daha büyük boyutlu silindir numunelerle kıyaslandığında kuruma ve dayanım kazanma hızlarının yüksek olduğu görülmektedir. İlk yaşlarda, hatta ilk bir iki aylık süre içinde deneye maruz kalan örneklerde, numune boyutu olarak daha küçük olanların dayanımları daha yüksek çıkmıştır. Betonun yaşı ilerledikçe değişik boyutlu numuneler arasındaki dayanım farkı azalmaktadır.

- Beton örneklerinin üst ve alt yüzeyleri ile deney basınç aletinin başlıklarının yüzeyleri arasında oluşan sürtünme sebebiyle numunelerin uçlarına yakın bölümlerindeki kayma kuvvetlerinin etkisi örneklerin kesit alanına göre farklı olmaktadır. Küçük boyutlu numunelerde deney basınç aletinin başlıkları ile temas eden beton yüzeyi, büyük boyutlu numunelere göre daha küçüktür.

- Küçük boyutlu beton örneklerin kesit alanları ve hacimleri de doğal olarak küçüktür. Örneğin 20x40 cm boyutlu silindir numunenin kesit alanı, 10x20 cm boyutlu silindir numunenin kesit alanından dört kat, hacmi ise sekiz kat daha fazladır. Büyük boyutlu numuneler, istatistiksel açıdan numune içerisinde bulunan mikro ölçekteki çatlakların veya başka kusurlu kısımların oranını da artırmaktadır. Tüm bu sebeplerden dolayı, daha küçük boyutlu numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneyler sonucu daha yüksek basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir (Erdoğan, 2003).

Beton Numunenin Şekli (geometrisi): Beton numunelerin şeklinin basınç dayanımına etkisi incelendiğinde, küp numunelerden elde edilen basınç dayanımları ile silindir numunelerden elde edilen basınç dayanımları arasında %5 ile %30 arasında farklılık olduğu görülmüştür. Bu ilişki bir bağıntı ile ifade edilecek olursa standart boyutlu silindir numune ile standart boyutlu küp numune arasında $f_{c,sil}/f_{c,küp}=0.8$ gibi bir ilişkinin olduğu kabul edilmektedir (Erdoğan, 2003). Böylece, küp numunelerden elde edilen dayanım sonucunun yaklaşık %20 daha yüksek çıktığını söylemek gerekir.

Agrega Dayanımı, Tane Boyutu Dağılımı, Tane Yapısı: İdeal bir agrega tane dağılımının (granülometri) mümkün olduğu kadar az boşluklu ve mümkün olduğu kadar az toplam tanecik yüzeyli olması istenir. En az toplam tanecik yüzeyi, agrega içindeki en büyük tanecik çapının (betonda istenilen şartların sınırları içerisinde) en büyük alınması ve diğer agrega çaplarının da buna bağlı olarak büyümesiyle sağlanır. Agreganın en az boşluklu olması ise büyük taneciklerin aralarındaki boşlukların sürekli daha küçük taneciklerle doldurulabileceği bir agrega tane dağılımı (granülometri) düzenlemesiyle elde edilir. Beton üzerinde yapılan araştırmalar sonucu, en büyük tane çapı için en uygun boyutun 25 mm olduğunu ve 40 mm'den daha büyük olmaması gerektiğini göstermektedir. En büyük tane boyutunun 40 mm'den daha büyük olması durumunda beton dayanımı olumsuz etkilenmektedir. Bilindiği gibi, en büyük tane boyutunun büyümesi ile su/çimento oranı azalmakta ve genelde daha yüksek beton dayanımı elde edilmektedir. Öte yandan, en büyük tane boyutunun 40 mm'den daha yüksek olması halinde beton dayanımının olumsuz etkilenmesi, ilk bakışta, bir çelişki olarak görülebilmektedir. Ancak, bu durum, şu şekilde açıklanmaktadır; En büyük tane boyutu çok büyük olan agregadaki tanelerin yüzey alanlarının toplamı oldukça azdır. O nedenle, çimento hamuru ve agrega yüzeyi arasındaki aderans da azalmaktadır. Çimento hamurunun hacim değişiklikleri nedeniyle, çimento hamuru ile agrega tanelerinin ara yüzeyinde daha büyük gerilmeler oluşmaktadır. Ayrıca, en büyük tane boyutu çok büyük olan agregaları oluşturan taneler nispeten büyük taneler olduklarından, betonun bağdaşıklığını ve homojenliğini bozmaktadır (Neville, 1981; Mindess ve Young, 1981; Erdoğan, 2003).

Agrega Kayaç Kaynağının Yaşı (Ayrışma Etkisi): Genel olarak magmatik kayaç türlerinden olan andezit, bazaltik andezit ve traki andezit gibi yüzey kayaçlarının oluşum yaşlarına bakıldığında ve daha fazla çevresel etkilere maruz kaldığı düşünüldüğünde

betonun basınç dayanımı üzerinde agrega kayaç yaşının önemli ölçüde etkisinin olduğu düşünülmektedir (Vural, 2015). Dolayısıyla zamanla çeşitli etkiler altında kalan kayaç kaynağının bozunum (ayrışma vb.) göstermesiyle, bunlardan üretilen agregaların betonun başarımına olumsuz etki edebileceği bilinmektedir.

Deney Sırasında Numunenin Nem Durumunun Etkisi: Standart yöntem kullanılarak deney yapılacak olan numuneler, ASTM ve Türk standartlarında belirtilen esaslara göre deney zamanına kadar bağıl nemin %95 olduğu ortamda ıslak olarak küre tabi tutulmalıdır. Dayanımı açısından incelendiğinde suya doygun numunelerden elde edilen basınç dayanımı, kuru numunelerden elde edilen basınç dayanımına göre %10 ile %15 kadar daha düşük çıkmaktadır. Bu durumun ortaya çıkmasındaki etkenlerden birisi beton numune içerisinde bulunan nemin yağlayıcı bir etki meydana getirmesidir. Böyle bir durumda, numune içinde kayma etkisi daha rahat olabilmektedir. Bir diğer etken ise ıslak olan numune üzerine etki eden yükün, numunenin içerisinde bulunan gözeneklerde ayrıca bir basınç oluşturmasıdır (Troxell vd., 1968).

Deney Sırasında Numunenin Sıcaklığının Etkisi: Beton bir numunenin deney anındaki sıcaklığının yüksek olması, onun basınç dayanımını düşürmektedir. Deney sırasında -4°C sıcaklıkta olan ve aynı beton serisinden üretilen numunelerden elde edilen basınç dayanım değerleri, deney anındaki sıcaklığı 21°C olan numunelerden elde edilen basınç dayanım değerlerinden %40 daha fazla olmaktadır. Bununla birlikte, sıcaklığı 55°C olan numunelerin basınç dayanım değerleri ise sıcaklığı 21°C olan numunelerin basınç dayanım değerlerinden %15 daha düşük çıkmaktadır (Troxell vd., 1968).

Yükleme Hızı ve Yük Sınırı: TS EN 12390-3 standardı ile ASTM C39 standardı betonun basınç dayanımının belirlenmesinde beton numunesine uygulanacak yüklenme hızının 0.14-0.35 N/mm².s olması gerektiğini belirtmektedirler. Bu şekilde uygulanan yüklenme hızında numune 2-3 dakika arasında kırılmaktadır. Yüklenme hızı düşük olarak uygulandığında betonun basınç dayanımı değeri düşük olmakta, yüklenme hızı yüksek olduğunda ise basınç dayanımı değeri artmaktadır (TS EN 12390-3, 2010).

Beton numuneye uygulanan yükün hızı azaldıkça, daha uzun süre yüklenme uygulanması nedeniyle elde edilen basınç dayanımı daha düşük olmaktadır. Örneğin, numunenin 2 dakika içinde kırılmasıyla elde edilen basınç dayanımı %100 kabul edilirse,

10 dakika ve 30 dakikada kırılan numunelerin basınç dayanımları sırasıyla %96 ve %92 düzeyinde olmaktadır (Celasun ve Polat, 1974; Özdemir, 2014). Diğer taraftan beton numuneye uygulanan yükün hızı arttıkça daha kısa sürede yükleme uygulanması nedeniyle elde edilen basınç dayanımı daha büyük olmaktadır. Yükleme hızı 7 N/mm².s olan numunelerin basınç dayanımları yükleme hızı 2.1 N/mm².s olan numunelerden yaklaşık olarak %10 daha yüksek çıkmaktadır (Troxell vd., 1968).

1.4. Kayaçlar

Doğadaki kayaçlar üç gruba ayrılmaktadır. Bunlar; magmatik (katılaşım), tortul ve metamorfik (başkalaşım) kayaçlardır. Dünyada en yaygın kullanılan tortul kayaçların başında çeşitli tipte kireçtaşı ve dolomit ile kumtaşları ve konglomeralar gelmektedir. Başkalaşım kayaçlar ise kuvarsit, kireç veya dolomit kökenli mermerler, kristalleşmiş kireçtaşı ile dolomit, amfibolitler, bazı şist grupları ve farklı türde gnayslar olarak bilinmektedir. Magmatik kayaçların en yaygın olarak bilinenleri siyenit, granit, gabbro ve diyorit diye adlandırılan derinde oluşmuş kayaçlar ile bunların yüzeyde oluşmuş kayaçları olan bazalt, andezit, trakiandezit ve riolittir (Davraz vd, 2012).

Katılaşım kayaçlarından olan andezit, bazalt ve tüf gibi yüzey kayaçların cephe kaplaması, parke taşı, yapı taşı, taban döşemesi, dolgu malzemesi ve beton endüstrisinde özellikle beton agregası olarak kullanımı son yıllarda hızla yaygınlaşmıştır. Bu tip volkanik (yüzey) kayaçların, karbonatlı kayaçlarla kıyaslandığında onlardan daha sert ve yüksek dayanımlı olmalarının yanı sıra çevresel etkilere karşı daha dayanıklı oldukları görülmektedir. Tüm bu özellikler, bu tür kayaçların kullanıldıkları yapıların da çok daha uzun ömürlü olmalarını sağlamaktadır (Semiz vd, 2004).

Trakiandezit taşı bilindiği gibi, doğal endüstriyel hammadde olarak kullanılan bir kayaç türüdür. Ülkemizin hemen her bölgesinde yaygın olarak kullanılmakta olup, genellikle Tersiyer ve Kuvaterner dönemlerindeki volkanizmaya bağlı olarak oluşmuş kayaçlardır. Bu kayaçlar günümüzde olduğu gibi yüzyıllar boyu tarihin hemen her döneminde, her medeniyetin taş ustalarının ilgisini çekmiş ve kale surları, agora anfi tiyatro ve odeon gibi yapılarda ve daha birçok bölgede yapı taşı olarak kullanıla gelmiştir. Günümüzde trakiandezitler homojen, solmayan renkleri ve cilasız, silinmiş, çekiçlenmiş veya kaba yontulmuş yüzey biçimleri ile son 10 yılda yurt içi ve yurt dışı doğal taş kullanıcılarının tercihi olan geleneksel tarzda, tarihi dokuyu anımsatma, pastel ve dingin

renk ahengi sağlaması nedeniyle birçok yapı projelerinde kaplama taşı olarak kullanılmaya başlanmıştır (Davraz ve Gündüz, 2006; Özdemir, 2014).

Hemen hemen tüm kayaçlar taş ocağından ya da doğal kum-çakıl ocaklarından çıkarılır. Bu kaynaklar, bölgenin jeolojisi, üretim olanaklarının yanı sıra kayaç olma özelliği açısından da uygun özelliklerde olmalıdır. Sonuç olarak ürünün dayanımının ve dayanıklılığının sağlanması için, beton agregaları başlıca şu özellikleri sağlamalıdır (Davraz vd., 2012; Özdemir, 2014):

- Mekanik dayanım (fiziksel olarak parçalanma, aşınma ve parlatmaya karşı direnç),
- Dayanıklılık (çevre koşulları, özellikle donma/çözülme etkisine karşı direnme),
- Kimyasal Duraylılık (ayrışma, çözünme, çiçeklenme vd. karşı direnç),
- Agreg-alkali tepkimesi (gözeneklerde oluşan alkali solüsyonu ile agreg içeriğindeki zararlı minerallerin etkileşim içinde olmaması),
- Zararlı maddelerin (parçalanabilir ve yumuşak tane içeriği, düşük yoğunluklu malzemeler, organik madde vd.) bulunmaması,
- Tanelerin şekli ve dokusu (yassılık, küresellik, katılık ve alterasyon uygunluğu),
- Tanelerin boyutu dağılımının (ince madde miktarının ve derecelenmenin) uygun ve sürekli olması,
- Yüzeyde bulunan nem, su muhtevası, özgül kütle, soğurma, doluluk/boşluk oranı gibi özelliklerin önerilen sınırlar içerisinde olması.

Agregalarda farklı mekanik gerilmeler, başta agregaların üretimi ve taşıma öncesinden (karıştırma, yerine yerleştirilmesi vs.) sıkıştırma esnasında veya agreg kullanıma girdikten sonra (değişken ve sabit yük altında) olmak üzere çeşitli sebeplerden oluşabilmektedir. Bu türden gerilme etkisinde olan agregalar darbe ve basınç etkisiyle çatlayabilir veya parçalanabilir. Agregaların aşınma ve parçalanmaya karşı gösterdiği direnme yeteneği sertlik, sıklık gibi doğal özellikleri yanı sıra kayaç bileşenlerinin bireysel özellikleri tarafından da önemli ölçüde etkilenir. Başarımı ise boşluk oranı, boyut, mineral-kayaç tane şekli, bu tanelerin (taneler arası bağ, doğal çimento ve çimentolanma derecesi) birbirleriyle olan molekül çekim kuvvetleri ve düzeni gibi dokusal özelliklerine, katmanlaşma, tabakalaşma çatlağı, makaslama gibi zayıflıklarla ilişkili kayaç bileşenlerinin

yapısal özelliklerine ve kırık, çatlak, damar gibi kayacın müşterek süreksizliklerine büyük ölçüde bağlıdır (Davraz vd., 2012).

Agrega, çimento ile birlikte betonun bileşenleri içerisinde bulunan en önemli malzemeleri oluşturmaktadır. Betonun taşıyıcı iskeletini oluşturan agreganın mineralojik özelliklerinin belirlenmesi, agreganın kimyasal ve petrografik yapısının beton kalitesini önemli ölçüde etkilemesi nedeniyle son derece önemlidir. Agregayı oluşturan kayacın mineralojik bileşimi, tanelerin dokusal ve yapısal özellikleri, tamamen agreganın fiziksel ve mekanik özelliklerini yansıtır (Semiz vd., 2004).

Agrega niteliği bir dizi standarda dayanarak denetlenir. Bundan başka, agreganın sahip olduğu mekanik özelliği, dayanıklılığı, kimyasal duraylılığı, agrega-alkali tepkimesi ve içerdiği zararlı madde muhtevası, bileşimi, yapı olarak ve doku yönünden özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Tüm bu etkenlerden dolayı mineralojik ve petrografik kayaç analizi, agrega niteliğinin belirlenmesinde büyük önem taşır (Davraz vd., 2012; Özdemir, 2014).

Tek eksenli basınç dayanımı ölçümü ile kayaç özelliklerinin tahmin yöntemi, malzemenin özelliklerinin belirlenmesinde ve kaya-kütle sınıflamasında önemli bir ölçüt olarak kaya mühendisliğinde kullanılmaktadır (Dehghan vd., 2009). Kolay ve hasarsız bir deney yöntemi olan Schmidt çekici ile sertlik tayini ise, kaya ve betonların sertlik özelliklerinin belirlenmesinde ve tek eksenli basınç dayanımlarını dolaylı yoldan tahmin etmede sıklıkla kullanılmaktadır. Tek eksenli basınç dayanımı tahmininde kullanılan Schmidt çekici gibi dolaylı yöntemler, tek eksenli basınç dayanımına kıyasla daha kolay, daha çabuk ve daha ekonomiktir (Karaman vd., 2011; Özdemir, 2014).

1.5. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Türkiye son yıllarda gelişimini hızla tamamlamaya çalışmaktadır. Gelişim sürecinin doğal bir sonucu olarak yapılmakta olan ve yapılması düşünülen büyük yapılar için (otoyol, baraj, köprü vb.) kullanılacak olan betonun kalitesi onun dayanımını ve kullanım süresini doğrudan etkilemektedir. Beton kalitesini etkileyen en önemli etkenlerin başında gelen agreganın niteliği ve üretimi düşünüldüğünde agreganın kaynağı ve üretimi oldukça büyük önem taşımaktadır. Gerek rezerv büyüklüğü olarak yeni kaynakların bulunması gerekse de mevcut kaynakların geliştirilerek ülke ekonomisine kazandırılmasının önemi, bu alanda yapılan Ar-Ge çalışmalarını da zorunlu kılmaktadır. Bu yüzden şimdiye kadar volkanik kayaçların, türlerinin ve kireçtaşlarının gerek doğal taş endüstrisinde gerekse de

agrega olarak beton üretiminde kullanılması çoğu araştırmacılar tarafından incelenmiş ve yapılan çalışmalar sonucu olumlu sonuçlar alınarak ülkenin beton endüstrisinde kullanımına sunulmuştur (Koçal, 1999).

Türkiye’de gelişimden payını alan Doğu Anadolu Bölgesi’nin hızla gelişen illerinden olan Erzincan, son yıllarda yapılan yatırımların da artmasıyla birlikte hızlı bir kalkınma sürecine girmiştir. Tüm bu hızlı gelişmenin neticesi olarak artan nüfus ile birlikte yeni yapılara ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, Erzincan ilinin 1. Derece deprem kuşağında yer aldığı da göz önünde bulundurulursa daha nitelikli ve yeterli dayanımda bir beton üretimi ile artan yapı ihtiyacının karşılanması için mevcut agrega kaynaklarının arttırılması ve çeşitlendirilmesi kaçınılmazdır.

Birçok araştırmacı tarafından farklı kayaç türlerinin beton üretiminde ham madde olarak kullanımı üzerine çok sayıda Ar-Ge çalışması yapılmış ve bu konu üzerinde halen benzer bilimsel çalışmalar yapılmaktadır.

Erzincan ilinde beton üretiminde çeşitli taş ocaklarından elde edilen kırma taş agregalar ile Fırat nehrinin kolu olan Karasu ırmağından temin edilen dere agregası ve dere kumu kullanılmaktadır. Bu çalışma ile Erzincan ilinin 1. derece aktif deprem kuşağında yer almasının verdiği duyarlılık da göz önünde bulundurularak bölgede nitelikli beton üretimine katkı sağlanması ve bu kapsamda kullanılan doğal dere agregaları ile kireç taşından üretilen kırma taş agregalara bir seçenek olması düşünülmüştür. Malzemenin ayrıca sınırlı sayılabacak boşluk oranına sahip olması ve bunun da ince yapılı ve bağdaşık dağılımlı olması hem ısı kaybına az da olsa katkıda bulunacağı hem de bununla üretilen betonun donma-çözülme direncini arttıracığı beklenmektedir. Bunun yanında volkanitlerin, toprak alkali katılımcılar içermemesi de bunların çevresel etkiler altında daha dirençli olmasını sağlamaktadır.

Çalışma kapsamında Üzümlü yöresinde bulunan Erzincan volkanitlerine ait andezit, bazaltik andezit ve trakiandezit bileşimli kayaçların başta mineralojik ve petrografik özellikleri olmak üzere fiziksel ve mekanik açıdan üstün ve yetersiz yönlerinin belirlenmesi ve bu malzemelerin beton üretiminde ham madde olarak kullanılabilirliğinin araştırılması istenmiştir. Laboratuvar çalışmaları olarak ilk aşamada agregaların özelliklerinin belirlenmesi için standartlara uygun olarak agrega deneyleri, ikinci aşamada ise örneklerin içerisinde daha üstün özellikli volkanitin (YTD’na ait volkanik kayaç) kullanılması ile 6 farklı su/çimento (s/ç) oranında beton üretimi yapılarak taze ve

sertleşmiş beton deneylerin 7 ve 28 günlük kür süresi dikkate alınarak gerçekleştirilmesi tasarlanmıştır.

Araştırma kapsamında adı geçen yöredeki ocakların seçilmesinin bir nedeni de, halen bu ocaklarda moloz taş ve blok andezit üretiminin yapılması ve blok işletmecilikte değerlendirilemeyen artık andezit bileşenli kayaçların agrega olarak değerlendirilmesidir. Bu ocakların seçimindeki diğer bir neden ise ocakların ilçe merkezine yakın olması nedeniyle üretim maliyeti açısından önemli bir kazanım sağlayacak olmasıdır.

1.6. Agrega Kaynağı ve Coğrafi Konum

Çalışma alanı, Doğu Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Fırat Bölümü'nde, Erzincan ili sınırları içerisinde ve il merkezinin yaklaşık 30 km kadar doğusundaki Üzümlü ilçesi civarında bulunmaktadır. 1/25000 ölçekli Erzincan İ43 c1-d2 paftaları arasında yer alan inceleme alanı, 4392-4397 kuzey enlemleri ile 5560-5630 doğu boylamları arasında bulunmakta olup, yaklaşık 40 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Bu çalışmaya konu olan volkanik kayaçlar (Erzincan Volkanitleri) genellikle yükseltisi az olan tepelerde gözlemlenmektedir. Bu tepeler yükseklikleri ile birlikte sırasıyla, Köy Tepe (KT, 1563 m), Yassı Tepe (YTD ve YTB, 1326 m), Tatoğlu Tepe (TT, 1334 m) ve Iraduh Tepe (IT, 1549 m) olmak üzere ilçe merkezinden yaklaşık 5 ile 10 km kadar uzaklıkta her biri farklı yönlerde konumlanmışlardır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Çalışma alanı haritası (3D uydu görüntüsü; URL-1).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Terzibaşoğlu (1989) yaptığı çalışmada; Sivrihisar ve Kırşehir-Kaman granitlerinin bazı mekaniksel ve fiziksel özelliklerinin tayini gerçekleştirilmiştir. Kırşehir granitini düşük dayanımlı, orta elastisite modüllü kayaç olarak sınıflandırmıştır. Düşük basınç dayanım değerleri dışında kalan diğer özelliklerin ASTM ve Türk Standartları koşullarını sağladığını belirtmiştir.

Giaccio ve diğ. (1992) çalışmalarında; bazalt, granit ve kireçtaşı agregası kullanılarak üretilen betonlar üzerinde basınç dayanımı, elastisite modülü, çekme ve eğilmede çekme deneyleri yapmışlardır. Bu deneylerde betonun iç bağlantısındaki çözümler ve süreksizlik sınırları incelenmiştir. Beton iç bağındaki çözümlerin nedeninin, agreganın yüzey temizliğine, sıkıştırılmasına, karışımına ve agrega türüne göre değiştiği, süreksizlik sınırının ise agregaya göre değişmediği savunulmaktadır. Bununla birlikte, daha sert kayaçlardan elde edilen agregaların, mukavemet değerlerinin de yüksek çıktığı belirtilerek, bazalt, granit ve kireçtaşı içermeyen betonların, mukavemet değerlerinin düşük çıktığını bildirmişlerdir.

Alexander ve Milne (1995) çalışmalarında; dört çeşit çimento karışımı ile yapılan betonlarda, agrega çeşitlerinin beton dayanımına etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmada agrega çeşidine bağlı olarak, beton basınç dayanımının değiştiği gözlemlenmiştir. Dolomit ve andezit agregaları ile Portland Çimentosu kullanılarak yapılan betonların mukavemet değerinin yüksek, granit ve kuvarsit agregalarla yapılan betonlarda, özellikle erken yaşlarda elastisite modülünün de düşük çıktığı belirlenmiştir. Dört farklı agrega kullanılarak yapılan betonlarda, agrega ve çimento ara yüzeyinin, agreganın doğal yapısına göre değişik özellikler gösterdiği ifade edilmiştir.

Uğurlu (1996) yaptığı çalışmada; agrega yapım aşamasında meydana gelen taş ununun betonun özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Yüksek su-çimento oranına sahip olan betonların taş unu eklenmesi ile özelliklerinin iyileştiğini belirtmiştir. Yaptığı deneylerde yüksek oranda taş unu içeren örneklerin geçirgenliğinin, su emme oranının ve porozite değerlerinin azaldığı görülmüş, bununla birlikte beton basınç dayanımının ise iyileştiğini saptamıştır. Ayrıca, beton tasarımında ince agregada bulunan ince malzemenin (kil hariç) yıkatılmadan kullanılması gerektiğini belirtmektedir.

Koçal (1999) çalışmasında; Maçka-Torul karayolu üzerindeki Başar Köyü taş ocağından çıkarılan kireçtaşı, agrega olma yönünden incelenmiş olup fiziksel ve mekanik özellikleri yapılan laboratuvar deneyleriyle saptanmıştır. Kireçtaşının, tek eksenli basınç direnci ve nokta yük direnci açısından "yüksek dirençli", porozite (gözeneklilik) açısından (kompakt) kaya sınıfında olduğu anlaşılmıştır. Agregalarda aranan, belirli standartlara ait özelliklere uygun olduğundan, kireçtaşının alt temel malzemesi, asfalt mıcır, beton agregası ve yapı taşı olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Çalışkan (2003) yaptığı çalışmada; agregalar ile bağlayıcılar arasında zayıf ara yüzey olduğunu ve bu ara yüzey boyunca çatlakların ilerlediğini belirtmiştir. Ara yüzeylerin beton başarımında da etkili olduğunu, buna engel olmak içinde ara yüzey bölgesinin agrega ile çimento matrisinin güçlü bir aderans sağlayacak şekilde yoğun olması gerektiğini belirtmiştir.

Yaşar ve Erdoğan (2003) çalışmalarında; Ceyhan (Adana) yöresinde bulunan ocaklardan çıkarılan kireçtaşlarının beton üretiminde kırmataş agregası olarak uygunluğunu incelemişlerdir. Çalışma kapsamında yapılan deneylerle kireçtaşlarının fiziksel, kimyasal ve mekanik yeterliliği araştırılmıştır. Kireçtaşları ilk etapta kimyasal analizlere tabii tutularak yapısında bulunan kimyasal bileşikler tespit edilmiştir. Daha sonra fiziksel özelliklerinden özgül kütle, birim hacim kütlesi, boşluk oranı, kütlece ve hacimce su emme deneyleri yapılmış ve deney sonuçlarının agrega özelliği açısından standartlara uygunluğu irdelenmiştir. Fiziksel özellikleri belirlenen agregaların mekanik özellikleri de tespit edilmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı, nokta yük direnci ve Schmidt çekici sertlik indeksi ve boşluk oranı değerlerine göre kaya sınıflaması yapılmıştır. Öncelikle, betonun dayanımının belirlenmesi amacıyla çeşitli boyutlardaki kireçtaşları ve değişik oranlarda su/çimento (s/ç) karışımları hazırlanmıştır. Betonda yeterli dayanım ve homojen karışımın sağlanması amacıyla s/ç oranı karışım hesapları mutlak hacim hesaplarına göre yapılmıştır. Farklı s/ç oranlarında silindirik beton numuneler üretilmiş ve su içinde 7; 14; ve 28 gün kür edilmiştir. Bu numunelerin basınç dayanım değerleri ile diğer fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Numunelerden elde edilen basınç dayanım sonuçlarında s/ç oranının ve agrega boyutlarının etkili olduğu belirlenmiş olup bunun neticesinde Ceyhan civarında bulunan ocaklardan elde edilen kayaların istenen s/ç oranlarında ve boyutlarda agrega üretiminde kullanılabilir olduğu sonucuna varmışlardır.

Semiz B. ve diğ. (2004) çalışmalarında; Denizli ili merkezine göre güney kısımda gözlemlenen ve denizli volkanitleri olarak adlandırılan bazaltik karakterli trakiandezit

bileşimli magmatik kayaçların mineralojik, petrografik ve kimyasal özelliklerini araştırmışlardır. Çalışma sahasından alınan numuneler üzerinde yapılan fiziksel ve mekanik testlerle de magmatik kayaçların, gerek yapı uygulamalarında yapı taşı olarak ve gerekse de beton üretiminde agrega olarak kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Araştırılan numuneler üzerinde yapılan fiziksel ve mekanik deneyler sonucunda, birim kütlelerinin 2250-2960 kg/m³ arasında, su emme oranlarının 0.06-0.4 arasında, görünür boşluk oranının 0.15-10.22 arasında, tek eksenli basınç dayanımlarının ise 52.4-170.2 MPa arasında oldukları belirlenmiştir. İncelenen örneklerden üretilen beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımları ortalaması 94.44 MPa olarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ile mineralojik ve petrografik çalışmaların uyumlu olduğu ortaya çıkmıştır. Bu volkanik kayaçların, yörede üretimi yapılan kalker kökenli agregalara bir alternatif oluşturduğu ve göreceli yüksek dayanımlı beton üretimi için önemli bir kazanç oluşturacağı sonucuna varmışlardır.

Çavuşoğlu ve diğ. (2005) çalışmalarında; Harşit çayından temin edilerek kırmataş haline getirilen dere agregasının beton basınç dayanımına yaptığı etkiyi araştırmışlardır. Kırılan agrega yüzeyinde fazlaca bulunan ince maddenin özgül yüzey alanını artırdığı ve bunun sonucunda üretilen beton numunelerdeki su ihtiyacını büyük oranda artırdığını görmüşlerdir. Ancak, bu durumun beton basınç dayanımını olumsuz yönde etkilemediği anlaşılmıştır. Yaptıkları deneyler sonucu harşit çayından elde edilen kırılmış dere agregasının beton agregası olarak kullanımının uygun olduğu anlaşılmıştır.

Demir (2005) çalışmasında; Kırşehir yöresi taş ocaklarından elde edilen kayaçların mühendislik özelliklerini incelemiştir. Çalışma, Kırşehir yöresinde yedi farklı bölgedeki taş ocağından alınan kayaçlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada taş ocaklarının rezervi, çıkarılan kayaçların mineralojik yapısı, basınç dayanımı ve yüzey sertlikleri belirlenmiştir. Sonuç olarak, Demirli ve Küçük Büklüm taş ocaklarından alınan kayaçlar hariç, diğer kayaçların beton agregası olabilmesi için mineralojik yapıları, yüzey sertlikleri ve basınç dayanımı özellikleri bakımından uygun niteliklere sahip oldukları görülmüştür.

Arslan ve diğ. (2006) çalışmalarında; Kırşehir yöresinde bulunan farklı taş ocaklarından temin edilen kırma taşların beton üretiminde agrega olarak uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Standartlara bağlı kalınarak ürettikleri beton numuneler üzerinde yaptıkları deneylerden elde edilen verilere göre; beton basınç dayanımı, özgül kütlesi, yarmada çekme dayanımı ve elastisite modülü değeri yüksek olan beton örneklerinin agrega özgül kütlelerinin ve beton birim kütlelerinin de yüksek olduğu, aşınma ile kusurlu

tane oranlarının ise düşük olduğunu belirlemişlerdir. Ancak, basınç dayanımı diğerlerinden düşük olan örneklerde ise agrega özgül kütlesi ve beton birim kütlelerinin düşük, aşınma ve kusurlu tane oranlarının ise yüksek çıktığı görülmüştür. Yapılan çalışma neticesinde, Demirli ve Küçük Büklüm’de bulunan taş ocakları hariç diğer yerlerdeki ocaklardan alınan kırma taşların agrega olarak uygun olduğu sonucuna varmışlardır.

Neville (2011) yaptığı çalışmada; agreganın beton içerisindeki önemi açısından, betonun 3/4’ünü oluşturmaya karşın niteliğinin çok daha önemli olduğunu açıklamaktadır. Agreganın, sadece betonun dayanımını sınırlamakla yetinmeyip, istenmeyen özellikleri içermeleri halinde dayanım yanında yapısal başarımını da olumsuz yönde etkilediği bildirilmektedir. Betonun dayanımını düşüren ve kirlilik olarak bulunan minarelerin (kil minareleri, mikalar, feldspat minareleri, sülfat veya demiroksit minarelleri gibi), agrega olarak kullanılan kayaların (katılaşım, başkalaşım ve tortul) mineral bileşimlerinin ve bu minerallerin ayrışma derecelerinin betonun taşıma gücü yönünden fiziksel ve mekanik özelliklerini doğrudan etkilediği belirtilmektedir.

Bacak ve Yılmaz (2011) çalışmalarında; Zonguldak batısı, Kozlu-Karadeniz Ereğlisi ve Ormanlı arasında kalan bölgede yayılım sunan Üst Kretase yaşlı volkanitlerin jeolojik özellikleri (litoloji, petrografi, jeokimya) ve endüstriyel olarak kullanılabilirliklerinin belirlenmesini amaçlamışlardır. Petrografik ve jeokimyasal açıdan andezit, bazaltik andezit ve traki-andezit olarak tanımlanan volkanitler, yitim zonu kalk-alkali karaktere sahiptirler. Laboratuvar çalışmaları kapsamında ilk aşamada 5 adet taze volkanit örneğinde standartlara uygun (TS, BS, ASTM, AASHTO) olarak agrega deneyleri (elek analizi, özgül kütle, su emme oranı, organik madde miktarı, yassılık endeksi, Los Angeles aşınma direnci, soyulma, dona karşı direnç, tek eksenli basınç) belirlenmiş ve ikinci aşamada volkanik agrega katkılı beton örneklerinde beton deneyleri (beton agregası granülometrisi, taze beton karışımının serbest çökme değeri, birim kütlesi ve sertleşmiş betonun dayanımı) yapılmıştır. Gerçekleştirilen agrega ve beton deneylerinden elde edilen sonuçların standartlardaki koşulları sağladığı görülmüş, böylece volkanit agregaların yol üst yapı malzemesi olarak ve bu agregadan elde edilen C25/30 sınıfındaki betonun betonarme yapılarda, köprülerde, temel duvarlarında kullanılabilir özellikte olduğu belirlenmiştir.

Davraz ve diğ. (2012) çalışmalarında; magmatik kayaç oluşumlarının gözlemlendiği Isparta ili merkezinin güneybatısından başlamak üzere güneydoğusuna kadar uzanan, aynı zamanda kuzeyinde de bulunan magmatik kayaçlardan biri olan Gölcük Volkanitleri,

Minasin Mevkii’de bulunan andezit ocakları, Kayı köy ve Gönen ilçesini kapsayan geniş bir bölgede yayılım gösteren magmatik kayaçların petrografik, mineralojik ve kimyasal özelliklerini incelemiştir. İnceleme sahasından çıkarılan numuneler üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler yapılmış, çalışma alanındaki magmatik kayaçların beton üretiminde agrega olarak kullanılabilme olanakları araştırılmıştır. Çalışma sahasından elde edilen örnekler üzerinde gerçekleştirilen fiziksel ve mekanik deneylerin sonucunda, incelenen volkanitlerin birim hacim ve özgül kütleleri, kütlece su emme oranları, görünür ve gerçek boşluk oranları, tek eksenli basınç dayanımları, eğilme, darbe ve don etkilerine karşı dirençleri, yüzey aşınma değerleri bulunmuştur. Magmatik kayaç örneklerinden kırılarak elde edilen agregalar ile üretilen betonların 3, 7 ve 28 günlük tek eksenli basınç dayanımları, Isparta-Diyadin yöresi kalker ocağından temin edilen agregalarla üretilen betonlar ile karşılaştırılmıştır. Deneylerden elde edilen veriler ışığında, kireçtaşı agregasıyla üretilen beton örneklerine göre trakiandezit ve trakibazalt agregalarla üretilen betonlarda % 62-79 oranında daha yüksek dayanım sağlandığı belirlenmiştir.

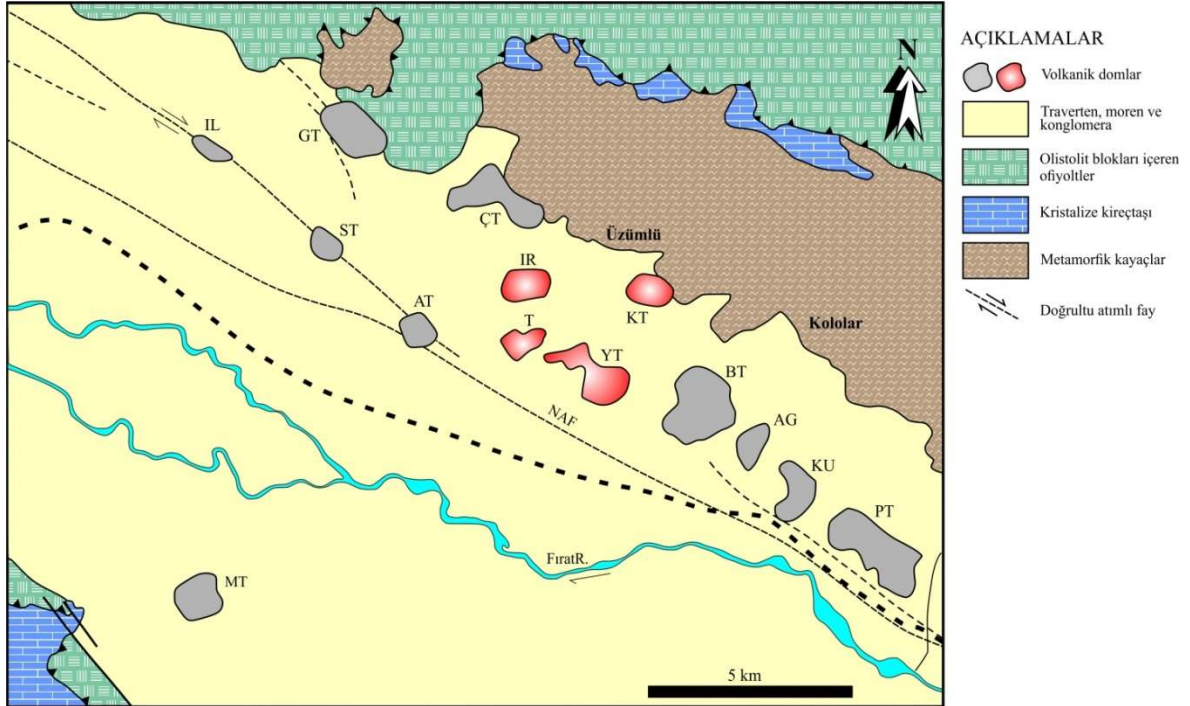
Tuncer (2014), Çullu ve diğ. (2014) çalışmalarında; Gümüşhane yöresinde gözlemlenen volkanik kayaç oluşumlarının kimyasal özellikleri başta olmak üzere mineralojik ve petrografik yapıları incelemiştir. Çalışma sahasından temin edilen örneklerin üzerinde yapılmış olan fiziksel ve mekanik deneyler ile yöredeki volkanik kayaçların beton sektöründe puzolanik katkı olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Volkanik tüflerin inceliği sabit tutularak %0; %10; %20; %30; %40; ve %50 katkı oranlarında harçlar hazırlanmıştır. Bu harçlarla 4×4×16 cm’lik prizmatik harç numuneleri üretilmiş ve 7, 28 ve 90 günlük eğilme, basınç dayanımları ve ultra ses geçiş hızları belirlenmiştir. Sonuç olarak, volkanik tüflerin özgül kütleleri, puzolanik aktivitesi, kolay öğütülebilirlik ve basınç dayanımlarıyla katkılı çimento üretiminde kullanılabileceği belirlenmiş olup, tras oranı artışının, çimentonun erken yaştaki dayanımını, beklendiği gibi belirgin ölçüde düşürdüğü gözlenmiştir.

3. YAPILAN DENEYLER

3.1. Deney Süreci

Bu çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada çalışmaya konu olan volkanik kayalar, Erzincan ili Üzümlü ilçesi sınırları içerisinde (Şekil 3.1) bulunan ocaklardan temin edilerek mineralojik-petrografik olarak incelenmiş, kimyasal özelliklerinin belirlenmesinde ise daha önce söz konusu ocakları da kapsayan bir çalışmadan elde edilen verilerden yararlanılmıştır (Karslı, 2006; Gücer, 2008). Çalışmanın devamında fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi için yeterli miktarda volkanit örnekleri alınmış ve agrega boyutuna indirgenerek incelenmiştir.

Çalışmanın temelini oluşturan ikinci aşamada, volkanit agrega örneklerinden petrografik, kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri bakımından daha üstün özellikli olanından yeteri kadar alınarak farklı su/çimento oranlarında beton üretimi gerçekleştirilmiş ve devamında taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapılarak beton özellikleri incelenmiştir.



Şekil 3.1. Üzümlü (Erzincan, Türkiye) ve civarının jeoloji haritası (Karslı, 2006).

3.2. Agrega Kaynağı

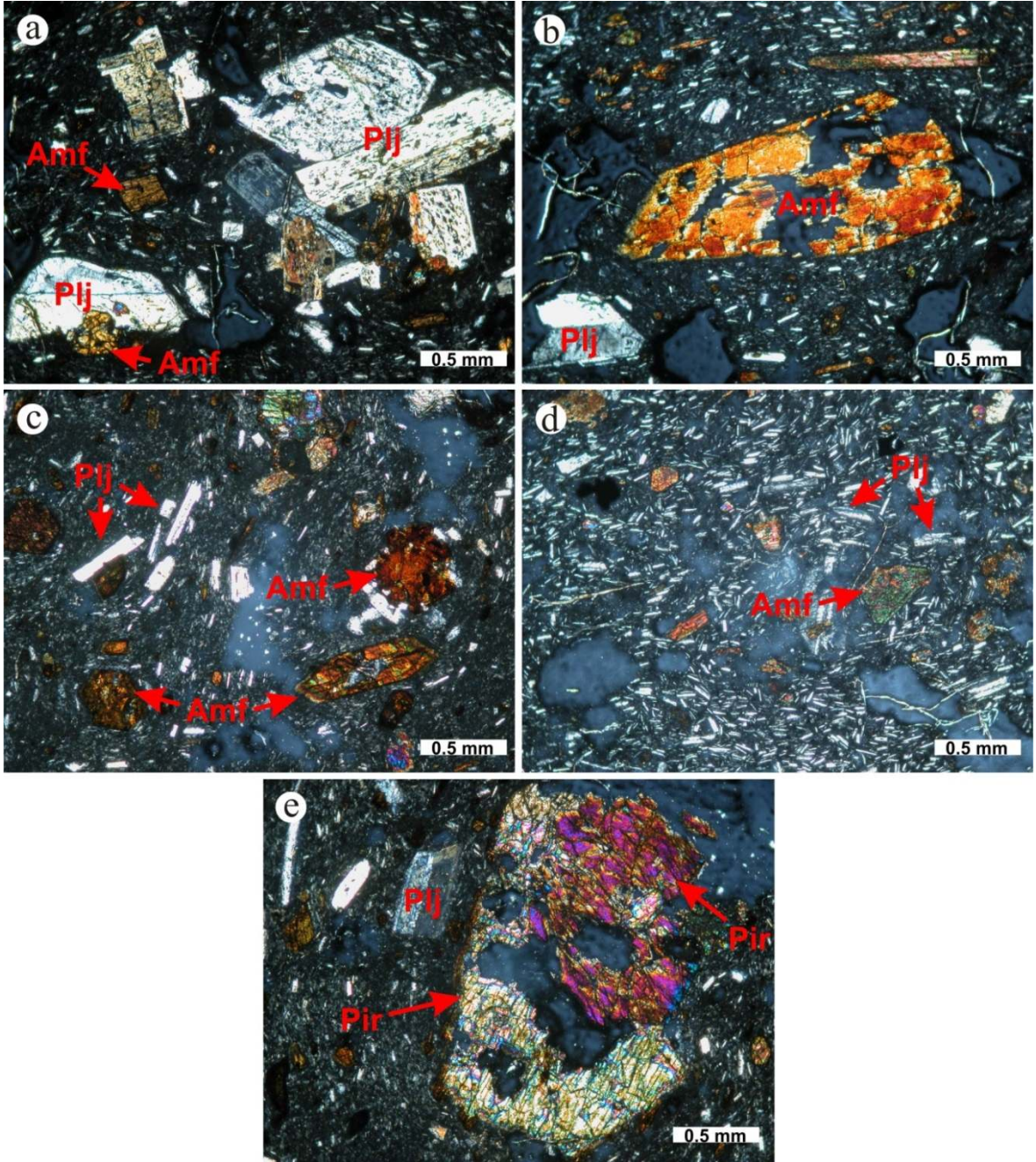
3.2.1. Kimyasal Özellikler

Bu çalışma kapsamında Üzümlü yöresinde bulunan ve bu çalışmaya konu olan ocaklardan alınan volkanik kayaçların daha önce bölgede yapılmış olan bir çalışma (Karslı, 2006; Gücer, 2008) kapsamında elde edilen kimyasal verilere göre volkanitlerde kütlece oranların ortalama silisyum oksit %56.0-71.0 arası, alüminyum oksit; %13.5-17.50 arası, demiroksit %2.0-6.50 arası, potasyum oksitin %1.5-4.0 arasında değişmekte olduğu görülmüştür. SiO₂ içeriğine göre ise yapılan sınıflamalarda örneklerin, andezit, bazaltik andezit ve trakiandezit nitelikte oldukları belirlenmiştir.

3.2.2. İnce Kesitlerin Hazırlanması ve Değerlendirilmesi

Çalışma sahasındaki ocaklardan alınan magmatik kayaç örnekleri, dokularının ve mineralojik bileşimlerinin belirlenebilmesi amacıyla ince kesit örnekleri haline getirilerek bu örnekler mikroskopta incelenmiştir. Kayaçlardan alınan el örnekleri laboratuvarda 0.5x2x4 cm boyutlu plakacıklar halinde kesilmiş ve yüzey pürüzlülükleri giderildikten sonra 1 mm kalınlığında ve 2.5x5 cm boyutlarındaki cam üzerine kanada balzamu aracılığıyla yapıştırılmıştır. Dereceli aşındırıcılar yardımıyla GÜ Müh. ve Doğa Bil. Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü İnce Kesit laboratuvarında 0.025 mm kalınlığa kadar inceltiren kesitler (Şekil 3.2) petrografik incelemeler için hazır hale getirilmiştir.

Nikon Eclipse marka polarizan araştırma mikroskobunda, tek ve çift nikolde (doğal ve polarize ışık altında), 10x10, 10x40 objektif büyütmelerinde gerçekleştirilen petrografik inceleme sonucunda vitrofirik porfirik, mikrolitik porfirik ve glomero porfirik dokular izlenirken, andezitik volkanitlerin bazı örneklerinde ise camsı ve poikilitik dokular gözlemlenmiştir. Andezitlerin mineralojik bileşiminde; plajiyoklas, amfibol, piroksen ve opak mineraller belirlenmiştir.



Şekil 3.2. Volkanik kayaçların ince kesit görüntüleri; a) Iraduh tepe b) Köy tepe c) Tatoğlu tepe d) Yassı tepe batısı e) Yassı tepe doğusu

Kayaç örneklerinin andezit, bazaltik andezit ve trakiandezit olarak petrografik analizleri bir çizelge ile (Tablo 3.1) gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Erzincan-Üzümlü yöresi volkanik kayaçlarının petrografik özellikleri

Num. No	Numune Yeri	Makroskobik Nit.	Dokusu	Mineral Bileşenleri (% m)	Volkanik Adı
1	Tatoğlu Tepe	Koyu Gri Masif Yapılı	Vitrofirik Porfirik Doku	Plajiyoklas:15-20 Opak:1-2 Amfibol:6-7 Hamur:70-75	Andezit
2	Irاده Tepe	Açık Gri Masif Yapılı	Mikrolitik Porfirik Doku	Plajiyoklas:20-25 Opak:1-2 Amfibol:8-10 Hamur:60-65	Andezit
3	Yassı Tepe Batısı	Koyu Gri Masif Yapılı	Mikrolitik Porfirik Doku	Plajiyoklas:8-10 Opak:1-2 Amfibol:5-6 Hamur:80-85	Trakiandezit
4	Köy Tepe	Kremit Kırmızısı Masif Yapılı Ayrılmış	Vitrofirik Porfirik Doku	Plajiyoklas:8-10 Opak:1-2 Amfibol:6-7 Hamur:80-85	Andezit
5	Yassı Tepe Doğusu	Koyu Gri,Siyahımsı Masif Yapılı	Glomero Porfirik Doku	Plajiyoklas:18-20 Opak:1-2 Amfibol:10-12 Hamur:55-60 Biotit:5-6 Piroksen:2-3	Bazaltik Andezit

3.2.3. Fiziksel ve Mekanik Özellikler

Erzincan-Üzümlü yöresinde bulunan 4 farklı tepeden (volkanik dom) alınan yeterli miktardaki volkanit örnekleri Gümüşhane Üniversitesi Müh. ve Doğa Bil. Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne getirilmiştir. Getirilen volkanik kayaç örneklerinin TS 699 (2009) standardına bağlı kalınarak yapılan laboratuvar deneyleri kapsamında fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Bu amaçla çalışma alanından yeterli miktarda alınan volkanik kayaç örnekleri TS 706 EN 12620 (2003)'e göre 31.50 mm'lik elekten geçebilecek boyutta çeneli kırıcıyla küçültülerek üç grup olacak şekilde ayrılmışlardır. Ayrılan agregalar üzerinde sıkışık ve gevşek birim kütleleri, gerçek (ölgül kütle) yoğunluk, kuru ve doygun birim hacim kütleleri, kütlece su emme, boşluk oranı değerleri, yüzey aşınması, don etkilerine karşı dayanıklılık gibi özellikler belirlenmiştir.

3.2.3.1. Agregada Fiziksel Deneyleri

Çalışmanın bu aşamasında, beton deneyleri için gerekli olan agregada ve su miktarının belirlenebilmesi amacıyla agreganın içerdiği su miktarı belirlenerek beton tasarımında gerekli olan karma suyu ve agreganın fiziksel özellikleri belirlenmiştir.

Agregalar, doymuş kuru yüzey (DKY) durumuna getirilerek deneye başlanmıştır. Deney numuneleri, DKY durumuna, ince agregalarda ve iri agregalarda farklı yöntemler kullanılarak getirilmiştir. İri agregalar için agregada yığınının farklı yerlerinden olmak üzere rastgele alınmış olan deney numunesi, içerisinde 22°C (± 2)’de su bulunan bir kap içinde tamamen suya batacak şekilde 24 saat süreyle bekletilmiştir. Bu uygulamadaki amaç, agregada yüzeyinde bulunan kil tabakasının tamamen temizlenmesidir. Belirlenen süre sonunda numunenin suyu süzölmüş ve agregada taneleri üzerinde gözle görölebilecek miktarda su tabakası kalmayınca kadar sabit ısıtıcı ile kurutma işlemi yapılmıştır. Agregaların ince olanlarında ise agregada yığınının farklı yerlerinden alınan deney numunesi 24 saat süreyle su içerisinde bekletildikten sonra ince taneleri kaybolmayacak şekilde suyu süzöldükten sonra bir tava içerisine yayılarak konulmuştur. Tava içerisindeki numune, saç kurutma makinası ile sık sık karıştırılarak doymuş kuru yüzey (DKY) durumuna erişinceye kadar (ince agregaların koyu ıslak renkten açık kuru renge değışmeye başladığı anın hemen sonrası) kurutma işlemine alınmıştır. Numunenin çok kurumamasına ayrıca dikkat edilmiştir. DKY haline gelip gelmediği göz ile muayene edilemediği durumlarda kesik koni veya kesme yöntemlerinden biri uygulanabilmektedir; Ancak, deney sürecinde böyle bir durum oluşmamıştır.

İri agregalarda DKY haline gelmiş numunenin tartılarak kütlesi bulunmuştur (M_1). DKY durumundaki numuneler tartıldıktan sonra kafes örgöülü tel sepete konarak su dolu kovanın içerisine numunelerin üst yüzeyi su yüzeyinden yaklaşık 5 cm kadar aşağıda kalacak şekilde daldırıldıktan sonra aşağı yukarı ve sola sağa sallanarak taneler arasında bulunabilen hava kabarcıkları çıkarılmıştır. Ardından, sepetin kovanın tabanına ve kenarlarına değmemesine dikkat edilerek doymuş malzemenin sudaki kütlesi bulunmuştur (M_2). Daha sonra boş sepetin sudaki kütlesi, sepet kova tabanına değmeyecek şekilde daldırılarak bulunmuştur (M_3). Yapılan bu işlemlerin sonunda malzeme etüv kurusu haline getirilerek tartılmıştır (M_4).

İnce agregalarda ise piknometre metodu kullanılarak numunelerin fiziksel özelliklerinin belirlenebilmesi için gerekli olan değerler bulunmuştur. Bu kapsamda, deney

numunesi piknometrede bulunan 22°C (±2)'deki su içerisine daldırılmış ve yavaşça vurularak ve aynı zamanda döndürülerek hava kabarcıklarının çıkması sağlanmıştır. Piknometre su ilave edilerek taşacak şekilde doldurulmuş ve kap içerisinde hiçbir hava hapsedilmeden tepe kısmına bir kapak yerleştirilerek tartılmıştır (M₂). Agregataneleri sudan çıkarılmış ve birkaç dakika süreyle kurumaya bırakılmıştır. Piknometre tekrar su ile doldurulmuş ve kapak daha önce belirtildiği şekilde yerleştirildikten sonra piknometrenin dış kısmı kurutularak tartılmıştır (M₃). Daha sonra piknometrenin içerisindeki deney numunesi alınarak suyu süzülerek bir tava içerisine konulmuş ve saç kurutma makinesi ile numune doymuş kuru yüzey hale gelinceye kadar sürekli karıştırılarak kurutulmuş ve kütlesi tartılmıştır (M₁). En sonunda numune hava dolaşımına bir etüvde (110 ± 5) °C'de sabit kütleye kadar kurutularak kütlesi tartılmıştır (M₄). Tüm elde edilen veriler sonucu numunelerin fiziksel özellikleri sırasıyla özgül kütlesi (ρ_a), kuru birim hacim kütlesi (ρ_{rd}), doymuş birim hacim kütlesi (ρ_{ssd}) ve kütlece su emme oranı (w_m) Formül 3.1; 3.2; 3.3 ve 3.4'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

$$\rho_a = [d_w \times M_4] / [M_4 - (M_2 - M_3)] \quad (3.1)$$

$$\rho_{rd} = [d_w \times M_4] / [M_1 - (M_2 - M_3)] \quad (3.2)$$

$$\rho_{ssd} = [d_w \times M_1] / [M_1 - (M_2 - M_3)] \quad (3.3)$$

$$w_m = [100 \times (M_1 - M_4)] / M_4 \quad (3.4)$$

Bu eşitlikte;

M₁ : Doymuş ve havada yüzeyi kurutulmuş agrega kütlesi (g),

M₂ : Doymuş agrega numunesini ihtiva eden sepetin sudaki görünür kütlesi (g),

M₃ : Boş sepetin sudaki görünür kütlesi (g),

M₄ : Etüvde kurutulmuş deney numunesi kısmının kütlesi (g),

w_m : Kütlece su emme oranı (% m),

ρ_a : Agreganın özgül kütlesi (g/cm³),

ρ_{rd} : Agreganın kuru birim hacim kütlesi (g/cm³),

ρ_{ssd} : Agreganın doymuş birim hacim kütlesi (g/cm³),

d_w : Suyun yoğunluğu (g/cm³)'tür.

Agrega örneklerinin sıkışık (B_s) ve gevşek (B_g) birim kütlelerini belirleyebilmek amacıyla malzemeyi tam olarak temsil eden yeterli miktarda agrega numunesi alınarak etüvde 105°C (± 5)’de değişmez kütleye kadar kurutulmuş ve oda sıcaklığına gelene kadar soğutulmuştur. Agreganın gevşek birim kütlesinin bulunabilmesi için öncelikle kullanılacak olan boş ölçü kabının kütlesi tartılmıştır (m_1). Daha sonra deney numunesi ölçü kabına gevşek bir şekilde ölçü kabı üst yüzeyinden en fazla 5 cm yükseklikten dökülerek kab tamamen dolup bir miktar taşacak şekilde doldurulmuştur. Ölçü kabı üst yüzeyindeki fazla agregalar çelik bir cetvel ile sıyrılarak kabın üst yüzeyi düzeltilmiş ve gevşek agrega numunesi ile ölçü kabının kütlesi tartılmıştır (m_2). Sıkışık birim ağırlık deneyi ise oda sıcaklığına kadar soğutulmuş agreganın ölçü kabına 3 kademedede eşit olarak ve her kademedede 25 kez şişleme çubuğu ile şişlenerek doldurulması ve ölçü kabının yüzeyindeki fazla agreganın çelik cetvel ile sıyrılarak yüzeyinin düzeltilerek ölçü kabının tartılması ile tamamlanmıştır. Tüm elde edilen veriler kullanılarak Formül 3.5 ve 3.6’da yerine yazılarak agreganın sıkışık ve gevşek birim kütleleri hesaplanmıştır.

$$B_s = (m_2 - m_1) / V \quad (3.5)$$

$$B_g = (m_2 - m_1) / V \quad (3.6)$$

Bu eşitlikte;

m_1 : Kabın kütlesi (g),

m_2 : Kabın, içerisindeki numune ile birlikte toplam kütlesi (g),

V : Kabın hacmi (cm^3),

B_g : Agregada gevşek birim kütlesi (g/cm^3),

B_s : Agregada sıkışık birim kütlesi (g/cm^3)’tür.

3.2.3.2. Agregada Mekanik Deneyleri

Çalışmanın bu bölümünde, ilk olarak agregalarda don kaybının belirlenebilmesi için elek göz açıklığı 20 mm-10 mm arasında kalan deney numunesi yıkanıp değişmez kütleye kadar kurutulmuş ve oda sıcaklığında soğutulularak kütlesi alınmıştır (G_0). Bu deney için sodyum sülfat tuzu kullanılmıştır. Öncelikle, 25°C - 30°C ’ye kadar ısıtılmış suyun 1 litresine 350 g susuz sodyum sülfat ilave edilerek çözelti hazırlanmıştır. Daha sonra çözelti

hazırlanışından itibaren en az 48 saat süreyle oda sıcaklığında dinlendirilerek deneye başlanmıştır. Çözelti, deney kabına agregaların yüzeyinden 1-2 cm üzerinde olacak şekilde boşaltılmıştır. Agregalar, 16-18 saat süreyle çözelti içerisinde bekletildikten sonra çözelti süzülerek etüvde $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ 'de kurutulmuştur. Kurutma işleminden sonra agregalar etüvden çıkarılıp tekrar çözelti içerisine konmuştur. Bu işlem 5 defa tekrar edildikten sonra etüvden çıkarılan numuneler soğutulduktan sonra su içerisinde 16-18 saat süreyle bekletilmiştir. Daha sonra deney numuneleri sodyum sülfattan temizleninceye kadar bol su ile yıkanmış ve etüvde $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ 'de değişmez kütleye gelinceye kadar kurutulmuştur. Kurutulduktan sonra oda sıcaklığında desikatör içerisinde soğutulan numuneler göz açıklığı 10 mm olan elekten elenerek elek üzerindeki kısmın kütlesi alınmıştır (G_1). Bu elekten geçen kısım don kaybı olarak kabul edilerek Formül 3.7'deki gibi hesaplanmıştır.

$$K_d = [(G_0 - G_1) / G_0] \times 100 \quad (3.7)$$

Bu eşitlikte;

G_0 : Deney numunesinin başlangıç kütlesi (g),

G_1 : Deneyden sonra elek üzerinde kalan deney numunesinin kütlesi (g),

k_d : Sodyum sülfat don kaybı (% m)'dir.

Aşınma kaybı (Los Angeles) deneyi için TS 706 EN 12620 standardında belirtilen esaslara uygun olarak göz açıklığı 10 mm ile 14 mm arasında kalan deney numunesinden 15 kg'dan az olmamak şartıyla malzeme alınarak karıştırılmış ve daha sonra malzeme uygun miktarda azaltılarak deney numunesi kütlesi 5 kg olacak şekilde alınmıştır. Deney numunesi, deney makinasına, içerisinde 11 adet demir bilyenin bulunduğu tambur bölümüne yerleştirilmiş ve tamburun kapağı kapatıldıktan sonra makinenin hızı 31 devir/dakika ile 33 devir/dakika arasında olacak şekilde sabit hızda 500 devir döndürülmüştür. 500 devir sonunda, agrega kaybını önlemek için makinanın tambur kısmının açıklığı tepsinin tam üstüne getirilerek deney numunesi tepsiye dökülmüştür. Tepsiden eksiltilmeden alınan deney numunesi 1.6 mm'lik elek kullanılarak yıkanmış ve elenmiştir. Daha sonra deney numunesinin 1.6 mm'lik elek üzerinde kalan kısmı etüvde $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ 'de sabit kütleye gelene kadar kurutulmuş ve tartılmıştır. Deney sonunda agreganın aşınma kaybı Formül 3.8'deki gibi hesaplanmıştır.

$$LA=(500-m)/50 \quad (3.8)$$

Bu eşitlikte;

LA : Los Angeles katsayısı (% m),

m : 1.6'lık elek üzerinde kalan malzeme kütlesidir (g).

Kayaçalarda basınç dayanımı, üzerlerine uygulanan basınç yüklerine karşı kayaçların kırılmadan önceki dayanma yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Çalışmaya konu olan 4 farklı ocaktan alınan ve her ocağa ait 30'ar adet deney örneği üzerinde TS 699 standardında belirtilen esaslara uygun olarak basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Bu kapsamda, çalışmaya konu olan ocaklardan temin edilen kayaç örnekleri laboratuvarda 10x10x10 cm boyutlarında küp numuneler halinde deney için hazır hale getirilmişlerdir. Deney numunelerinin boyutları kumpas yardımıyla 0.1 mm hassasiyetle ölçüldükten sonra deney basınç aletinin ortasında bulunan yükseltme tablaları arasına merkezlenerek yerleştirilmiş ve 1.0 (N/mm²)/s yükleme hızında numuneler kırıluncaya kadar yük etkisinde bırakılmışlardır. Numunelerin kırıldığı andaki en büyük yük değeri tespit edilmiş ve bu değer kullanılarak deney örneklerinin basınç dayanımı Formül 3.9'da verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$f_b=P/A \quad (3.9)$$

Bu eşitlikte;

f_b : Kayacın basınç dayanımı (N/mm²),

P : Kırılma yükü; numunenin kırılmasına neden olan en büyük yük (N),

A : Numunenin kesit alanı (mm²)'dir.

Daha sonra kayaçların fiziksel ve mekanik deneylerinden elde edilen tüm sonuçlar (Tablo 3.2) karşılaştırmalı olarak çıkarılmıştır.

Tablo 3.2. Kayaçlardan elde edilen agregaların fiziksel ve mekanik deney sonuçları

Deneyin Adı	Kayaçların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri				
Numune No	TT	YTB	YTD	IT	KT
Sıkışık Birim Kütle (g/cm^3)	1.51	1.61	1.63	1.54	1.41
Gevşek Birim Kütle (g/cm^3)	1.34	1.41	1.42	1.37	1.29
Kuru Birim Hacim Kütle (g/cm^3)	2.12	2.42	2.44	2.28	1.91
Doygun Birim Hacim Kütle (g/cm^3)	2.25	2.52	2.55	2.39	2.12
Özgül Kütle (g/cm^3)	2.41	2.62	2.65	2.52	2.33
Su Emme (% m)	4.07	2.33	2.04	3.47	6.0
Porozite (% v)	8.63	5.64	4.97	7.91	11.46
Don Kaybı ‘‘ Na_2SO_4 ’’ (% m)	6.53	3.76	2.39	4.96	9.78
Aşınma Kaybı (Los Angeles. % m)	33.14	26.38	21.65	30.79	38.20
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (Küp Numune, N/mm^2)	78.12	86.12	92.23	80.16	71.08

Belirlenen alandan alınan volkanik kayaçların, fiziksel ve mekanik deneylerinden elde edilen sonuçlara bağlı olarak basınç dayanımı ve gözeneklilik değerleri dikkate alındığında çeşitli kaya sınıflandırılmasına girmekte oldukları görülmüştür. Tek eksenli basınç dayanımı için araziden alınan örneklerin TS 699 standardına bağlı kalınarak 10x10x10 cm boyutlarındaki küp numuneleri üzerinde 0.1 (N/mm^2)/s yükleme hızında gerçekleştirilen deneyler sonucu dayanım değerleri, ortalama 71.08 N/mm^2 (KT) ile ortalama 92.23 N/mm^2 (YTD) olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu değerlere göre, numunelerin ‘Orta dirençli kaya’ sınıfına girdikleri görülmüştür (Tablo 3.3). Kayaçlar, gözenekliliğe göre sınıflandırıldıklarında ise YTD’ye ait volkanik kayaç örneği dışında olanların (Tablo 3.4) kayaç sınıflandırma değerlerine göre ‘Oldukça boşluklu kaya’ sınıfına girdikleri görülmüştür.

Tablo 3.3. Tek eksenli basınç dayanımına göre sınıflandırılma (Deer and Miller, 1966).

Kaya Sınıfı	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (N/mm ²)
Çok Düşük Dirençli	<25
Düşük Dirençli	25-50
Orta Dirençli	50-100
Yüksek Dirençli	100-200
Çok Yüksek Dirençli	>200

Tablo 3.4. Kayaçların boşluk oranına (gözeneklilik) göre sınıflandırılması (Tarhan, 1989).

Kaya Sınıfı	Gözeneklilik (% v)
Çok Kompakt	<1
Az Boşluklu	1-2.5
Orta Boşluklu	2.5-5
Oldukça Boşluklu	5-10
Çok Boşluklu	10-20
Çok Fazla Boşluklu	>20

3.3. Beton Bileşenleri

3.3.1. Çimento

Yapılan çalışmada, beton örneklerinin üretiminde bağlayıcı malzeme olarak, özdeş üretim sürümünden CEM I 42.5 R tipi çimento (Tablo 3.5) kullanılmıştır. Böylece çimento sürümünden kaynaklanan olası ayrıma olanak tanımamaya özen gösterilmiştir. Standartlara (TS EN 197-1, 2012) uygun olarak üretilen Portland Çimentosu fabrikadan ilk üretim aşamasında alınmış, çimentonun taze olarak kullanılmasına ve nem almamasına özen gösterilmiştir.

Tablo 3.5. Çimentonun kimyasal bileşimi, fiziksel ve dayanım özellikleri

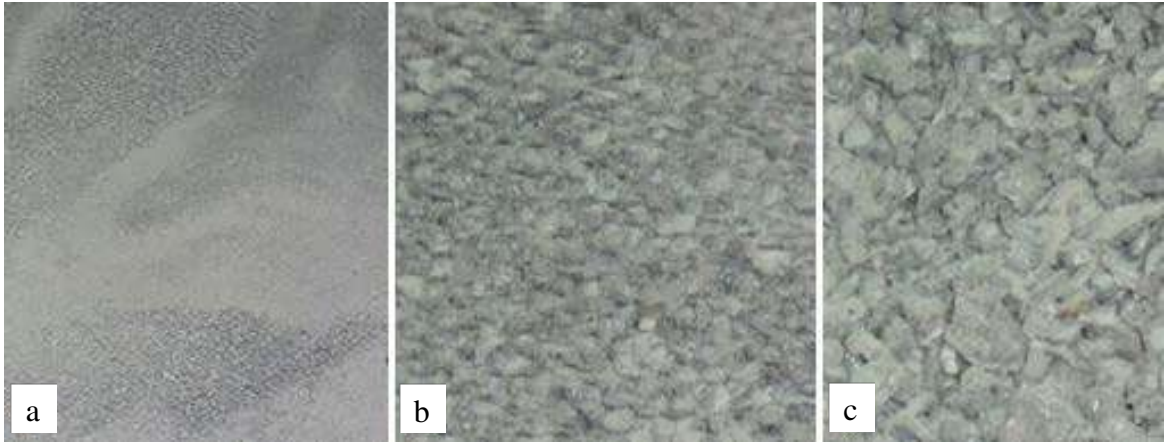
Kimyasal Özellikler		Fiziksel Özellikler	
SiO ₂ , % m	18.51	Çözünmeyen Kalıntı, % m	0.86
Al ₂ O ₃ , % m	4.23	45 Mikron Elek Kalıntısı, % m	2
Fe ₂ O ₃ , % m	3.38	90 mikron elek kalıntısı, % m	0
CaO, % m	60.46	Özgül Yüzey (Blaine, cm ² /g)	3627
MgO, % m	2.79	Katılaşma Başlama Süresi (Dak.)	195
SO ₃ , % m	3.11	Katılaşma Sona Erme Süresi (Dak.)	240
Kızdırma Kaybı, % m	3.53	Özgül Kütle (g/cm ³)	3.10
Na ₂ O, % m	0.33	Genleşme (Le Chatelier - mm)	1
K ₂ O, % m	0.74	Standart kıvam su miktarı, % m	30.7
Cl, % m	0.0106	Dayanım	
Toplam, % m	97.42	1 Gün (N/mm ²)	13.1
Ölçülemeyen, % m	2.58	2 Gün (N/mm ²)	28
Serbest Kireç, % m	0.68	28 Gün (N/mm ²)	57.8

3.3.2. Su

Beton üretiminde kullanılacak olan karışım suyunun niteliği ile ilgili olarak uzun yıllardan beri elde edilen tecrübelerle dayanarak benimsenmiş olan ve bu konuda TS EN 1008'de (2003) belirtilen “Su içilebiliyor ise beton yapımında karma suyu olarak kullanılmaya da uygundur” hükmü gereğince şebeke suyu kullanılmıştır. Akışkanlaştırıcı katkı malzemesi olarak ise normal akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Normal akışkanlaştırıcılar beton içerisine hava sürükleyerek ve çimento tanelerinin birbirlerine yapışmasını, topaklaşmasını önleyerek etki gösterirler (Uyan, 1982). Çimento taneleri tarafından emilen akışkanlaştırıcı madde çimento tanelerinin yüzeyine çöker. Bu maddelerin çökmesi sonucu tane yüzeyinde oluşan ince film negatif elektrik yükü ile yüklenir. Bu yükten dolayı tanecikler birbirlerini iterek dağıtıcı bir etki oluştururlar. Böylece tanecikler birbirleri üzerinde kayarak yağlayıcı bir etki altında topaklanma önlenerek betonun iç sürtünmesi azaltılmış olur. Tüm bu etkiler betonun işlenebilme yeteneğinin artmasına katkı sağlamaktadır.

3.3.3. Agrega

Bu çalışmada beton üretiminde agrega olarak kullanılması için volkanik kayalardan petrografik, kimyasal ve agrega fiziksel ve mekanik özellikler açısından daha iyi değerlere sahip olan YTD'na ait volkanik kayaç kullanılmıştır. Bu kapsamda volkanik kayaç, beton agregası boyutuna gelene kadar çeneli kırıcıda kırıldı ve elenerek granülometrisi TS 802 de belirtilen en büyük agrega tane büyüklüğü $D_{max}=22.4$ mm olan ideal B eğrisine uygun hale getirildikten sonra 0-4; 4-11.2 ve 11.2-22.4 mm aralıklarında 3 grup olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Beton üretiminde kullanılan agreganın tane büyüklüğüne göre gruplandırması; a) 1. Grup (0-4 mm), b) 2. Grup (4-11.2 mm), c) 3. Grup (11.2-22.4 mm)

Beton üretimi için kullanılacak olan volkanik kayaç örneği üzerinde elek analizi yapılmıştır. Elek analizi için agrega yığınının farklı noktalarından alınan agregalar iyice karıştırılmış ve homojen duruma getirilmiştir. Deney numunesi etüvde 105°C (± 5) sıcaklıkta değişmez kütleye gelene kadar kurutulmuştur. Elek analizi için Tablo 3.7'de gösterildiği gibi TS 706 EN 12620 standardı temel alınarak oluşturulan elek takımı kullanılmıştır.

Tablo 3.6. Agrega tane sınıfının belirlenmesinde kullanılan elek göz açıklıkları

Temel elek dizisi (mm)	Temel elek dizisi + dizi 1 (mm)	Temel elek dizisi + dizi 2 (mm)
0	0	0
1	1	1
2	2	2
4	4	4
-	5.6	-
-	-	6.3
8	8	8
-	-	10
-	11.2	-
-	-	12.5
-	-	14
16	16	16
-	-	20
-	22.4	-
31.5	31.5	31.5
-	-	40
-	45	-
63	63	63

Deney elekleri en küçük numaralı elekten başlanarak en büyük numaralı eleğe doğru aşağıdan yukarıya, sırasıyla üst üste gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Kütlesi alınan deney numunesi sarsma tablasının en üstündeki eleğin içerisine yerleştirilerek yeterli bir süre sarsma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sarsma deneyi sonunda, en üstteki elekten başlanarak elek üzerinde kalan malzemelerin yığışımli olarak en küçük göz açıklıklı eleğe kadar kütleleri belirlenmiştir. Eleklerin her birinin üzerinde bulunan malzeme oranı tüm deney örneğinin kütlesinin yüzdesi olarak Formül 3.10’da belirtildiği gibi hesaplanmıştır.

$$S_n = (W_n / W_0) \times 100 (\% m) \quad (3.10)$$

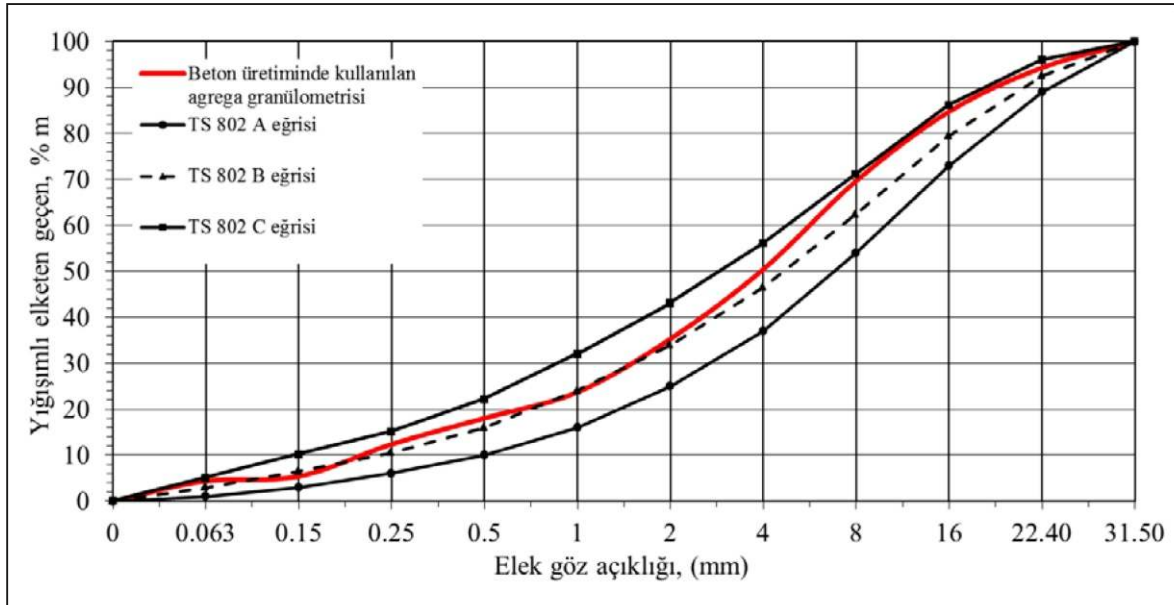
Bu eşitlikte;

S_n : Göz açıklığı (n) olan elek üstünde kalan malzeme oranı (% m),

W_n : Göz açıklığı (n) olan elek üzerinde kalan malzeme kütlesi (g),

W_0 : Deney numunesinin kütlesi (g)’dır.

Elde edilen tane boyutu dağılımı TS 802’de belirtilen standart eğrilerle karşılaştırılmış olup grafiksel olarak (Şekil 3.4) farklı bir renkle (kırmızı) gösterilmiştir. Burada görüldüğü gibi oluşturulan tane boyutu dağılımı standart ‘B’ eğrisi ile büyük ölçüde örtüşmektedir. Ancak, ‘‘ince çakıl’’ boyutunda yaklaşık % 3 oranında bir artışa karşılık olarak kaba çakıl oranında belirgin bir azalma da görülmektedir. Bununla birlikte $k=4.05$ incelik modülü ile mevcut tane boyutu dağılımının yeterli süreklilik ve iyi bir doluluk oranı göstereceği beklenmelidir. Bu da beton dayanımı için gerekli olan bir özelliktir.



Şekil 3.4. Beton üretiminde kullanılan agreganın tane boyutu dağılımı (granülometri) eğrisi

3.4. Deneysel Yöntem

Genel olarak üretimi yapılan betonlar dayanım sınıfına göre düşük, normal ve yüksek dayanımlı olmak üzere 3 sınıfa ayrılabilir. Yapı sektöründe en çok üretimi yapılan ve en yaygın kullanılan beton sınıfı ise normal dayanımlı betonlardır. Bu betonların niteliğinin en önemli göstergesi kuşkusuz basınç dayanımıdır. Bu bağlamda Çevre ve Şehircilik Bakanlığının Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmeliği’nde (2007) "Deprem bölgelerinde yapılacak tüm betonarme binalarda C20’den daha düşük dayanımlı beton kullanılamaz" hükmü ile üretiminde "genellikle katkı

maddesine dahi ihtiyaç duyulmayacak kadar kolay olması" ilkesi bir malzeme olarak betonun ve dayanımının ne denli önemli olduğunu açık bir biçimde ortaya koymaktadır. Bu gerekçeler göz önünde bulundurularak, çalışmada normal dayanımlı beton üretilmesi için tasarım düzenlenmiş ve üretimi gerçekleştirilmiştir.

3.5. Betonların Üretimi

Üretimi yapılan 6 farklı su/çimento oranındaki betonların tüm karışım hesapları TS 802'ye göre yapılmıştır. Farklı s/ç oranlarındaki beton örneklerinin üretimi ilgili standartta belirtilen 1 m³ sıkıştırılmış betonda bulunacak karışım elemanlarının miktarı Formül 3.11'de gösterilen bağıntı ile hesaplanmıştır.

$$(\frac{\phi}{\rho_{\phi}})+(\frac{k}{\rho_k})+w+(\frac{w_a}{\rho_a})+(10 \times A_b)=1000 \text{ dm}^3 \quad (3.11)$$

Bu eşitlikte;

- ϕ : Karışıma girecek çimentonun kütlesi, kg,
- k : Karışımında kullanılacak kimyasal katkı kütlesi, kg,
- w : Karışıma girecek suyun hacmi, dm³
- ρ_{ϕ} : Çimentonun yoğunluğu, kg/dm³,
- ρ_k : Kimyasal katkının yoğunluğu, kg/dm³,
- ρ_a : Agreganın ortalama özgül kütlesi, kg/dm³,
- w_a : Karışıma girecek agreganın kütlesi, kg,
- A_b : Betondaki toplam hava miktarı (% v)'dir.

Beton tasarımında akışkanlaştırıcı olarak kimyasal katkı maddesi kullanılmıştır. Bu durumda katkının en az yarısının su olduğu kabulü ilkesi dikkate alınmış ve katkı miktarının yarısı kadar bir su miktarı toplam karışım suyundan çıkarılarak betonun karma suyu belirlenmiştir. Beton karışım oranlarının belirlenmesinde yapılan hesaplamalar hacim esaslı dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir.

Beton karışım hesabında elde edilen çimento, karışım suyu, agrega ve katkı miktarlarının uygunluğu için ön karışımlar hazırlanmış ve hazırlanan bu karışımlarla deney

yapılarak sonuçların yeterliliğine bakılmıştır. Üretilen 6 farklı su/çimento oranındaki betonların karışım tasarımları bir çizelge ile (Tablo 3.7) gösterilmiştir.

Yapılan ön karışımlardan çıkarılan veriler yardımıyla beton bileşimi oluşturulmuş ve bundan üretilen deney numuneleri 100 mm çapında 200 mm yüksekliğinde silindir kalıplara dökülmüştür. Farklı su/çimento oranlarında üretilen betonlar üzerinde taze betonun kıvamı, serbest çökme (slump) deneyi ile belirlenmiş olup bunun yanında betonların birim kütlelerine de bakılmıştır. Betonlar, üretildikten sonra kür havuzunda $22\pm2^{\circ}\text{C}$ uygun sıcaklıkta 7 ve 28 günlük sürelerle kür havuzunda tutulmuştur. Kür sonrası her bir grupta bulunan beton örneklerine sertleşmiş beton deneyleri olarak tek eksenli basınç dayanımı, elastisite modülü, yarmada çekme dayanımı, kılcal su emme, aşınma dayanımı ve beton yoğunluk tayini deneyleri uygulanmıştır.

Tablo 3.7. Farklı s/ç oranlarında üretilen betonların 1 m³ hacmindeki bileşenleri (dm³/m³)

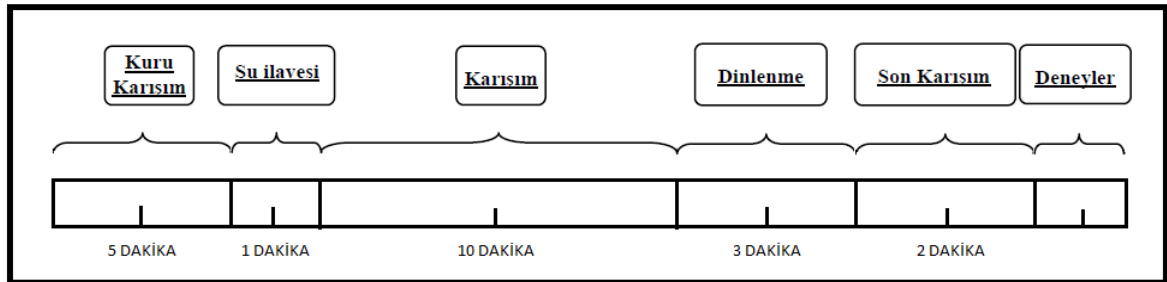
Beton Bileşenleri	s/ç=35 (%)	s/ç=40 (%)	s/ç=45 (%)	s/ç=50 (%)	s/ç=55 (%)	s/ç=60 (%)
Su	218	218	218	218	218	218
Çimento	202	177	157	142	129	118
Hava	20	20	20	20	20	20
Agrega	560	586	604	620	633	644
0/4	274	287	296	304	310	316
4/11.2	168	176	181	186	190	193
11.2/22.4	118	123	127	130	133	135
Toplam	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Betonların üretimi sırasında karıştırılma işlemi yapılırken homojen bir karışımın elde edilmesine özen gösterilmiş ve karıştırma işlemi için (Şekil 3.5) düşey eksenli cebri karıştırıcı kullanılmıştır.



Şekil 3.5. Düşey eksenli cebri karıştırıcı (mikser)

Beton üretiminde dikkat edilmesi gereken önemli noktalardan biri olan ayrışma (seçilme) oluşumunun engellenmesi amacıyla karışım belirli bir zaman çizelgesine (Şekil 3.6) göre yapılmıştır.



Şekil 3.6. Taze betonun karışım zamanı çizelgesi (Ertaş, 2014)

Beton üretiminde önce agrega ve çimentolar yaklaşık 5 dakika kuru karıştırıldı, sonra 1 dakika boyunca dikkatli olarak su verildi ve yaklaşık 10 dakika yaş karışım gerçekleştirildi. Yaş karışımın tamamlanmasının ardından karışım 3 dakika dinlendirildi ve bunun ardından 2 dakika daha son karıştırma yapılarak karışım tamamlanıp ardından serbest çökme deneyleri yapıldı. Sonra da 10 cm çapında 20 cm yüksekliğindeki kalıplara

yerleştirilerek ve 12 ± 2 saniye masa tipi vibratörle sıkıştırma yapıldı. Kalıpların üzeri mala ile düzeltildi, temizlendi ve kütleleri ölçüldü. Daha sonra üzerleri 1 gün boyunca ıslak bezlerle kapatıldı. Bir gün sonra betonlar kalıplardan çıkarılarak gerekli deneylerin yapılacağı güne kadar kür havuzunda bekletilmiştir (Şekil 3.7; 3.8 ve 3.9).



Şekil 3.7. Beton örneklerinin üretimi; a) Malzemelerin kuru karıştırılması, b) Karışıma akışkanlaştırıcı katkılı su ilavesi



Şekil 3.8. Betonların kalıplara yerleştirilmesi; a) Betonun kalıba yerleştirilmesi, b) Kalıntıların temizlenmesi, c) Beton cinsinin adlandırılması



Şekil 3.9. Betonların kür edilmesi ve kalıplardan çıkarılması; a) Betonların 1 gün kalıpta bekletilmesi, b) Betonların kalıplardan çıkarılması

Farklı s/ç oranlarında üretilen silindir şeklindeki beton numuneler, kalıplardan çıkarıldıktan hemen sonra sıcaklığı $22\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de sabit tutabilen ısıtıcı kür havuzunda 7 ve 28 gün boyunca kür işlemine tabi tutulmuşlardır (Şekil 3.10).

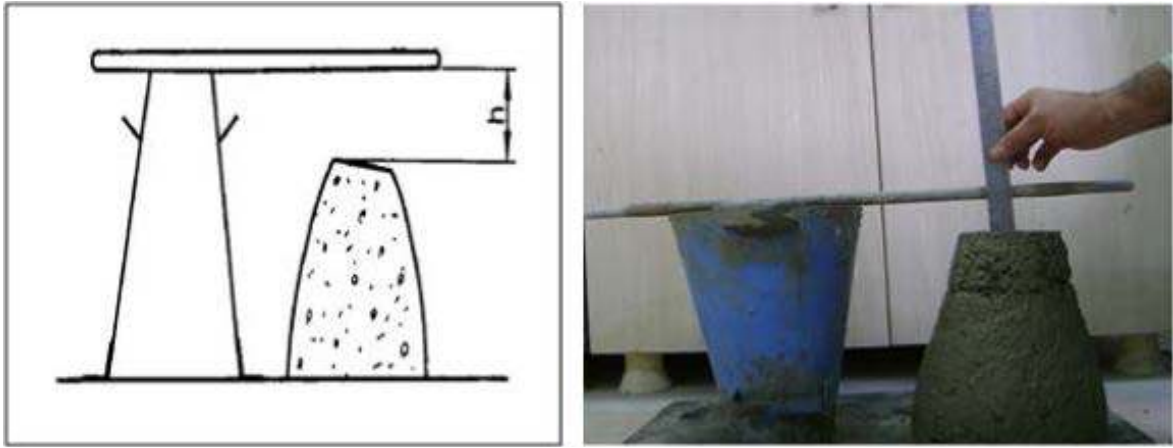


Şekil 3.10. Betonların kür havuzuna yerleştirilmesi ve bekletilmesi; a) Betonların kür havuzuna yerleştirilmesi, b) Kür havuzunda bekletilmesi

3.6. Taze Beton Kıvamı ve Birim Kütlesi

Taze betonun kıvamının belirlenmesi için birçok yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada serbest çökme deneyi (slump; Abrams hunisi) yöntemi kullanılarak farklı s/ç oranlarında üretilen volkanik agregalı taze betonların kıvamları belirlenmiştir. Serbest çökme deneyine standart çökme hunisinin düz bir zemine konulup sabitlenmesiyle başlanmıştır.

Daha sonra çökme hunisi her kademede standart şişleme çubuğuyla 25'er defa şişlenmek suretiyle 3 kademede doldurulduktan sonra en üst yüzeyde biriken fazla miktardaki beton kalıntıları mala ile sıyırılarak yüzey düzlenmiştir. Yüzeyi düzlenen standart huni yavaşça yukarı doğru kaldırılarak taze betonun yer çekimiyle çökmesi sağlanmıştır. Standart huni ters çevrilerek çöken betonun yanına konulmuş ve şişleme çubuğu standart huninin üzerine konularak betonun üst seviyesinden çubuğun alt seviyesine kadar olan mesafe (Şekil 3.11) farklı 3 noktadan ölçüm alınmak kaydıyla bu değerlerin ortalaması alınarak çökme yüksekliği belirlenmiştir. Ayrıca, serbest çökme (slump) deneyi TS EN 12350-2 standardına göre her bir farklı s/ç oranında üretilen betonlar için 2'şer defa yapılarak ortalama değeri tespit edilmiştir.



Şekil 3.11. Serbest çökme (Slump) deney düzeneği ve ölçümü

Taze beton numunelerin birim kütleleri TS EN 12350-6'da belirtilen ilkelere uygun olarak belirlenmiştir. Bu kapsamda taze beton numuneye, standart silindir kalıba iki tabaka halinde ve her tabakada ayrışma olmadan, tam sıkışma sağlanması için titreşim masasında, 10 ± 2 saniye süresince mekanik titreşim uygulanmıştır. Daha sonra, darası alınmış olan silindir kalıp üzerindeki beton kalıntıları nemli bir bezle silinerek temizlenmiş ve hassas terazi ile tartılarak taze betonun kütlesi (Şekil 3.12) ölçülmüştür. Standart silindir numunenin en ve boy ölçülerinden hacmi hesaplanarak taze betonun birim kütlesi (Formül 3.12) hesaplanmıştır.



Şekil 3.12. Taze beton birim kütlesinin belirlenmesi

$$D = (m_2 - m_1) / V \quad (3.12)$$

Bu eşitlikte;

D : Taze betonun birim kütlesi, kg/m^3 ,

m_2 : Kabin, içerisindeki numune ile birlikte toplam kütlesi, kg,

m_1 : Kabin kütlesi, kg,

V : Kabin hacmi, m^3 .

3.7. Sertleşmiş Betonun Fiziksel Özellikleri

Farklı s/ç oranlarında üretilen her bir beton grubundan 3'er numune alınarak TS EN 12390-7'ye ve TS 3624'e göre fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Bu kapsamda, öncelikle numuneler, 22 ± 2 °C sabit sıcaklıktaki su içerisinde suya doymun hale gelinceye kadar bekletilmiştir. Suya doymun duruma gelen numuneler sudan çıkarılarak yüzeylerindeki serbest su temizlenmiş ve havadaki kütleleri belirlenmiştir. Daha sonra, Arşimet terazisi kullanılarak numunelerin su içerisindeki kütleleri belirlenmiştir. Etüvde 105°C sıcaklıkta kurutulan numuneler oda sıcaklığına kadar soğutulurken etüv kurusu durumundaki kütleleri belirlenmiştir. Tüm elde edilen veriler kullanılarak (Formül 3.13) numunelerin hacimleri hesaplanmıştır.

$$V_N = [m_a - ((m_{st} + m_w) - m_{st})] / d_w \quad (3.13)$$

Bu eşitlikte;

V_N : Numunenin hacmi, m^3 ,

m_a : Numunenin havadaki kütlesi, kg,

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

m_w : Numunenin su içerisindeki görünür kütlesi, kg,

d_w : Suyun 998 kg/m^3 olarak kabul edilen, 20°C sıcaklıktaki yoğunluğudur.

Yoğunluk ise numunenin tayin edilen hacmi ve kütlesi kullanılarak (Formül 3.14) verilen eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$D=m/v \quad (3.14)$$

Bu eşitlikte;

D : Numunenin nem durumu ve hacim tayini metoduna bağlı olarak yoğunluğu (kg/m^3),

m : Numunenin, deney esnasındaki durumuna bağlı kütlesi (kg),

v : Numunenin özel yöntemle tayin edilen hacmidir (m^3).

Numunelerin su emme miktarları ve bu miktarlardan yararlanılarak hesaplanan su emme (gözeneklilik) oranları ilgili standartta verilen formüllere (Formül 3.15 ve 3.16) göre yerine yazılarak hesaplanmıştır.

$$P= (W_{DA}- W_{KA})/V_N \quad (3.15)$$

Bu eşitlikte;

P : Görünür boşluk oranı (% v),

W_{DA} : Doygun kuru yüzeyli malzemenin kütlesi (kg),

W_{KA} : Numunenin etüv kurusu kütlesi (kg),

V_N : Numunenin hacmi (dm^3).

Su emme oranı hesaplanmasında;

$$w_a = ((W_{DA} - W_{KA}) / W_{KA}) \times 100 \quad (3.16)$$

Bu eşitlikte;

w_a : Kütlece su emme oranı (% m),

W_{KA} : Numunenin etüv kurusu kütlesi (g),

W_{DA} : Doygun kuru yüzeyli malzemenin kütlesi (g) .

3.8. Basınç Dayanımı

Farklı s/ç oranlarında üretilmiş olan beton numunelerin basınç dayanımlarının belirlenmesi için 100x200 mm'lik silindir şeklinde olan beton numuneler kullanılmıştır. Basınç dayanımlarının belirlenmesi için öncelikle beton numunelerin başlıklarının düzeltilmesi gerekmektedir. Numunelerin alt ve üst yüzeylerinde çıkıntılar veya çukurlar olması halinde, eksenel yükün üniform dağılımlı olacak şekilde uygulanabilmesi mümkün olmamaktadır. Bu amaca yönelik olarak aşındırma yöntemi uygulanmış (Şekil 3.13) ve böylece numune basınç yüzeyi düzleştirilmiştir.



Şekil 3.13. Numune başlıklama cihazı ve yüzeyi düzleştirilmiş numune

Çalışmada, tüm beton örneklerine, TS EN 12390-3 standardına göre tek eksenli tahribatlı yöntem kullanılarak 7. ve 28. günlerde basınç deneyi uygulanmıştır.

Numuneler, deney makinasına yerleştirilmeden önce yükleme başlıklarının yüzeyleri silinerek temizlenmiş ve numunenin başlıklarla temas edecek olan blok yüzeylerinde bulunan kalıntılar alınmıştır. Deney makinasının yükleme başlığı ile deney numunesi

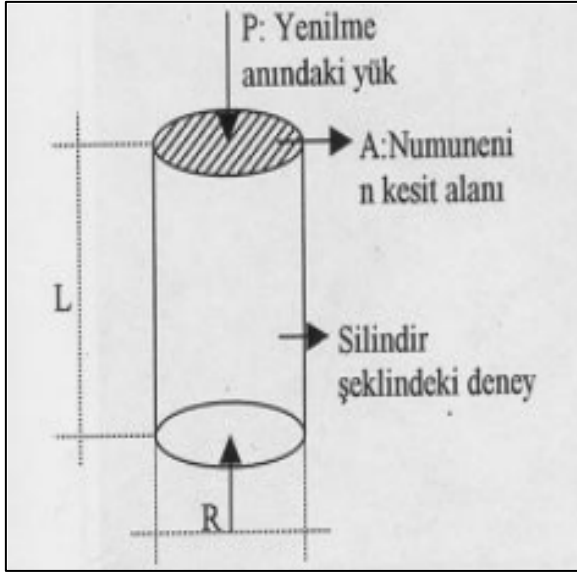
arasındaki aralık ayarlama bloklarının TS EN 12390-4'e uygun biçimde gerçekleştirilmesine dikkat edilerek deneye başlanmıştır. Beton numunesi makinanın alt yükleme başlığı üzerine merkezlenerek yerleştirilmiştir. Yükleme hızı $0.2 \text{ N/mm}^2.\text{s} - 1.0 \text{ N/mm}^2.\text{s}$ arasında sabit olacak şekilde seçilmiştir. Yükleme, numuneye, darbe tesiri olmaksızın, seçilen hızdan sapma $\pm \%10$ 'u geçmeyecek şekilde, en büyük yüke ulaşıncaya kadar sabit hızda uygulanmıştır.

Yükleme plakaları arasına merkezlenerek yerleştirilmiş olan numune (Şekil 3.14) sabit yükleme hızında, basınç altında belirli bir süre sonra yükü taşıyamayacak duruma gelerek kırılmıştır. Kırılma anından itibaren deney sonlandırılarak numune üzerindeki yük kaldırılmıştır.



Şekil 3.14. Tek eksenli tahribatlı yöntemle basınç dayanımının belirlenmesi

Numunenin kırıldığı andaki yük değeri bilgisayarda maksimum yük olarak verilir (P) ve bu değer kullanılarak numunenin tek eksenli basınç dayanımı (TEBD) değeri (f_c) formülde (Formül 3.17) yerine yazılarak hesaplanır (TS EN 1926, 2013).



Şekil 3.15. TEBD deneyi ile ilgili açıklayıcı bilgiler (Çınar, 2007; Özdemir, 2014)
Beton basınç dayanımının hesaplanmasında;

$$f_c = F_u / A \quad (3.17)$$

Bu eşitlikte;

f_c : Tek eksenli basınç dayanımı değeri (N/mm²),

F_u : Numune kırılma yükü (N),

A : Numunenin, üzerine basınç uygulandığı en kesit alanı (mm²). Bu alan, numunenin belirtilen ölçüleri kullanılarak (TS EN 12390-1) veya numune üzerinde ölçülen gerçek boyutlar kullanılarak hesaplanır.

3.9. Elastisite Modülü

Betonda elastisite modülü, beton deney numunelerinde elastik bölgede uygulanan kuvvetin oluşturduğu basınç gerilmelerinin numunelerde birim boy kısalmasına oranı olarak ifade edilmektedir. Farklı s/ç oranlarında üretilen her bir beton grubu için gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi TS 3502'ye uygun olarak belirlenmiştir. Bu amaçla, öncelikle 100x200 mm'lik standart silindir numuneler üretilmiş ve 28 gün kürde bekletilmiştir. Numunelerin boy değişimi, çap değişimi ölçer aletine yerleştirilmeden önce aşındırma yöntemi ile numunelerin başlıklanması yapılmıştır. Aletin deneye hazır hale getirilmesi için alet üzerinde bulunan boyunduruklar aletin iki ayağı üzerine düzgün bir

şekilde, ayar çubukları kullanılarak yerleştirilmiştir. Daha sonra deney numunesi aletin içersine merkezlenerek yerleştirilmiş ve boyundurukların üzerindeki vidalar yardımıyla boyundurukların numune ekseninden kaçıklıkları ayarlanmış ve numune bu vidalar ile sıkıştırılarak alet numuneye iyice bağlanmıştır. Son olarak, ayar çubukları çıkarılarak sıkıştırılmış numune ile birlikte boy değişimi ve çap değişimi ölçer aleti, yük hücresi ile birlikte beton basınç makinesine merkezlenerek yerleştirilmiştir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Beton numunelerin elastisite modülü deneyinin yapılışı

Beton numune basınç makinasına yerleştirildikten sonra cihaz çalıştırılarak deneye başlanmıştır. Beton numunede giderek artan yüklere karşı oluşan deformasyonlar otomatik olarak alet tarafından kaydedilmiş ve bu işleme numune kırılncaya kadar devam edilmiştir. Kaydedilen veriler kullanılarak gerilme dikey eksene, birim deformasyonlar ise yatay eksene yerleştirilerek gerilme-birim deformasyon eğrisi elde edilmiştir. Beton numunelerin σ - ϵ eğrisinin üzerinde herhangi bir nokta belirlenmiş ve hem σ - ϵ eğrisinin başlangıç noktasından (0 noktasından) hem de belirlenen bu noktadan geçen bir doğru çizilmiştir. Bu noktanın seçiminde, genellikle betonun maksimum gerilme değerinin %40'ına karşılık gelen gerilme düzeyi temel alınmıştır. Çizilen bu doğru, betonun σ - ϵ eğrisi imiş gibi kabul edilerek, bu doğrunun eğiminden sekant elastisite modülü (Formül 3.18) hesaplanmıştır. Çalışmada kullanılan bu değer, betonarme yapılarda yapılan hesaplamalarda elastisite modülü değeri olarak kullanıldığı için tercih edilmiştir.

$$E = \sigma / \epsilon \quad (3.18)$$

Bu eşitlikte;

E : Elastisite modülü, N/mm²,

σ : Gerilme, N/mm²,

ε : Birim deformasyon.

3.10. Yarmada Çekme Dayanımı

Farklı s/ç oranlarında üretilmiş olan beton numuneler üzerinde, betonun çekme dayanımının dolaylı olarak saptanmasında kullanılan bir yöntem olan yarmada çekme dayanımı deneyleri, TS EN 12390-6 standardına uygun olarak 28 günlük küre tabii tutulmuş 100x200 mm'lik standart silindir numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Deneye başlamadan önce sabitleme cihazında yer alan sıkıştırma yüzeyleri silinerek temizlenmiştir. Deney numunesinin sıkıştırma yüzeyine temas edeceği yüzeylerindeki kalıntılar veya diğer fazlalıklar alınmıştır. Deney numunesi sıkıştırma makinasına tam merkezlenecek şekilde yükleme başlığının ortasına yerleştirilmiştir. Yükleme hızı 0.04 N/mm².s – 0.06 N/mm².s arasında sabit gerilme hızı sağlanacak şekilde ayarlanmıştır. Deney aleti vasıtasıyla uygulanan basınç yükü, numune kırılıncaya kadar devam ettirilmiş ve kırılma anındaki en büyük yük "F_u" olarak belirlenmiştir. Kırılma anındaki "F_u" yükü kullanılarak Formül 3.19'da yerine yazılarak numunenin yarmada çekme dayanımı belirlenmiştir.

Betonun yarmada çekme dayanımının hesaplanmasında;

$$f_{ct} = (2 \times F_u) / (\pi \times L \times d) \quad (3.19)$$

Bu eşitlikte;

f_{ct} : Yarmada çekme dayanımı, N/mm²,

F_u : En büyük yük, N,

L : Numunenin yükleme parçasına temas eden çizgisinin uzunluğu, mm,

d : Numunenin seçilen en kesit boyutu, mm.

Böyle bir yükleme altında, silindir numunenin kırılma tarzı, numunenin ortadan yarılarak iki parçaya ayrılması şeklinde (Şekil 3.17) gerçekleşmiştir.



Şekil 3.17. Yarmada Çekme dayanımı deneyinin yapılışı ve numunesi

3.11. Aşınma Dayanımı

Aşınma deneyi her bir beton grubundan 3'er numune üzerinde ASTM C944 1999 standardında belirtilen ilkelere göre gerçekleştirilmiştir. Numuneler aşınma cihazına (Şekil 3.18) yerleştirilmeden önce yüzeyindeki kalıntılar ve çıkıntılar temizlenmiş ve hassas terazi ile tartılıp kütleleri belirlenmiştir. Aşınma cihazında 200 dev/dk. hızla 2 dakika boyunca aşındırma işlemi yapılmıştır. Bu süre sonunda aşınan yüzeyin üzeri yumuşak bir fırça ile temizlenerek üzerinde bulunan serbest tozlar tamamen alınmıştır. Numune, 2 dakikalık aralıklarla ve her seferinde yüzeyi temizlenerek 3 defa aşınmaya maruz bırakılmıştır. 3. Döngüden sonra yüzeyi temizlenen numune hassas terazi ile tartılarak aşınma sonrası kütlesi belirlenmiş ve kütle kaybı formüle (Formül 3.20) uygun şekilde kütle yüzdesi olarak hesaplanmıştır.

$$P=[(W_1-W_2)/W_1] \times 100 \quad (3.20)$$

Bu eşitlikte;

P : Aşınma Kaybı, % m,

W_1 : Numunenin ilk kütlesi, g,

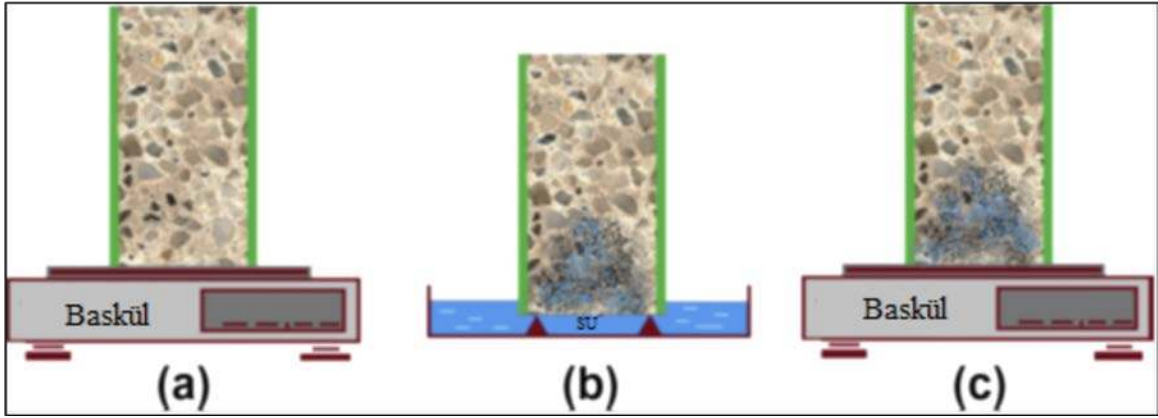
W_2 : Numunenin aşınma sonrası kütlesi, g.



Şekil 3.18. Aşındırma cihazı ve aşınan beton numune

3.12. Kılcal (Kapiler) Su Emme

Kapiler su emme deneyi 6 farklı s/ç oranında üretilen her bir beton numune grubu için 3'er numune üzerinde ASTM C 1585 standardında belirtilen koşullara göre gerçekleştirilmiştir (ASTM C 1585, 2004). Kür havuzunda değişmez kütleye erişinceye kadar bekletilen 100 mm çapında ve 200 mm yüksekliğindeki silindir beton numuneler, kür havuzundan çıkarılıp yüzeyleri kurulandıktan sonra suya doymun kütleleri (WDA) belirlenerek etüve konulmuştur. 1. gün 105°C' de 2.; 3.; ve 4. günlerde ise etüvün sıcaklığı 50°C'ye düşürülerek numunelerin kurulukları korunmuştur. Kuruyan numunelerin kütleleri (WKA) hassas terazi ile tartılıp, numune tabanından 5 cm yükseklikte olacak şekilde etrafı silikonlanmıştır. Böylece numune tabanı suyla temas ettirilip, bu numuneler 1.; 5.; 10.; 20. ve 30. dakikalarda sudan çıkarılarak yüzeyi kurulanmıştır. Kurulanan numunelerin hassas terazi ile kütlelerinin ölçümü yapılp emdiği su miktarı formülde (Formül 3.21) belirtildiği gibi hesaplanmıştır. Bu ölçme işlemi 1. saatten 6. saate kadar her saat başı ve 24.; 48.; 72.; ve 96. saatlerde bir hassas terazi ile (Şekil 3.19) 8. güne kadar sürdürülmüştür. Beton belli bir süre sonra sabit bir kütleye ulaştığında kılcal su emme deneyi bitirilmiştir.



Şekil 3.19. Kılcal (Kapiler) su emme deneyi (Özdemir, 2014; Bolat, 2014)

$$I=(m_t)/(a/d_w) \quad (3.21)$$

Bu eşitlikte;

I : Kılcal su emme ($\text{mm/s}^{1/2}$),

m_t : Beton örneğin zamana bağlı (t) gram olarak kütleindeki değişim,

a : Numunenin su emme yüzeyi (mm^2),

d_w : Suyun yoğunluğu (g/mm^3).

4. BULGULAR VE İRDELEMELER

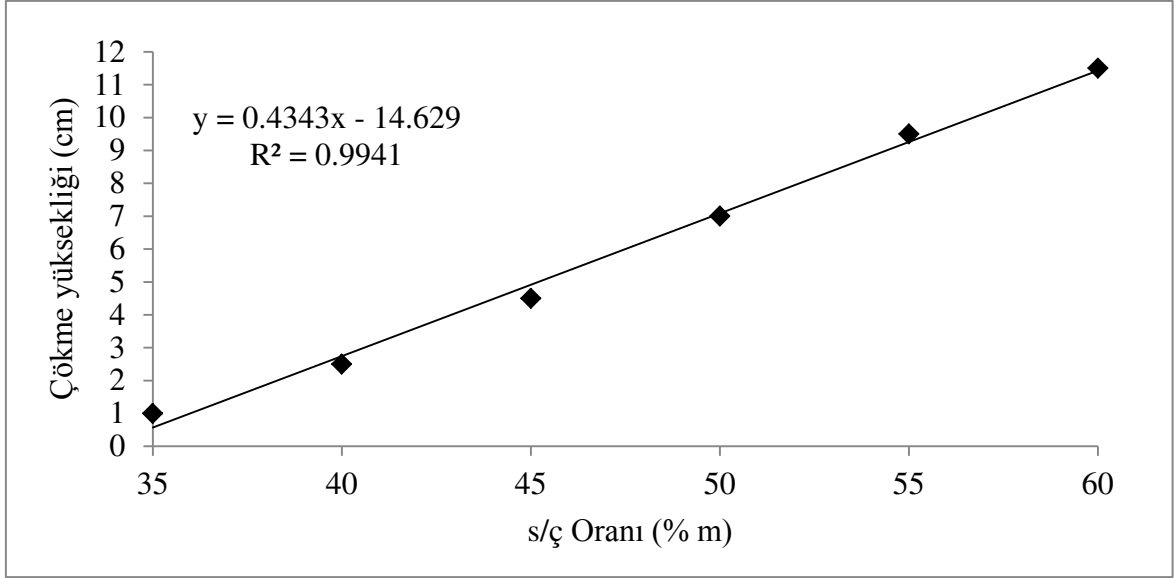
4.1. Kullanılan Agreganın Bulguları

Üzümlü yöresinden alınıp da incelenen 5 ayrı volkanit örneğinden Yassı Tepe Doğu (YTD) kayacı bazaltik andezit özelliğini taşımaktadır. Seçilen agreganın kaynağını oluşturan bu kayacın ötekilerine göre 92.23 N/mm^2 basınç dayanımıyla daha yüksek mekanik özellik gösterirken %2.04 kütlece su emme oranıyla da daha yüksek donma-çözülme direncine sahip olabileceğini bildirmektedir. Nitekim malzeme 2.44 g/cm^3 kuru tane birim kütlesi ile daha yüksek bir kütsel özelliğe sahipken %4.97 gözeneklilikle (porozite) nerdeyse sıkı yapıli agreganın sınıfında sayılabilecek nitelik göstermektedir. Öte yandan kütlece %21.65 (Tablo 3.3) aşınma kaybıyla (Los Angeles) bu kayacın öteki kayacın örneklerinden daha dirençli olsa da sıkı yapıli bir bazalt ve granit kayacınlarına göre aşınma direnci oldukça düşüktür. Malzemenin aşınma direnci bu değeri LA_{25} olarak sınıflandırılırken (TS EN 1097), donma-çözülme direnci kütlece %2.39 ile TS EN 1367 b1.2'ye göre MS_{18} sınıfında iyi derecede dirençli sayılmaktadır.

Klausen vd., 2013, agreganın kayacın kaynağını $\geq 100 \text{ N/mm}^2$ basınç dayanımıyla mekanik açıdan sorunsuz kabul ederken $\geq 150 \text{ N/mm}^2$ basınç dayanımı ve $\leq \%0.5$ kütlece su emme oranıyla donma-çözülme etkisi karşısında kuşku götürmez dirençli saymaktadır. Şu halde beton deneyleri için seçilen agreganın kaynağı YTD kayacı anılan bu özellikleri taşımasa da yine kaynaklarda yapılan yol gösterimine göre gerek donma-çözülme gerekse beton basınç dayanımı deneylerinde yeterlilik göstermektedir. Bu bağlamda oldukça toplu (kompakt) tane yapısı ve sürekli tane dağılımı ile elde edilen kırmataş agreganın beton üretimi için elverişli özellikler taşıdığı düşünülmektedir.

4.2. Taze Beton Bulguları

Farklı s/ç oranlarında üretilen her beton grubu için 2 ayrı serbest çökme deneyi yapılarak ortalama çökme değeri belirlenmiştir (Şekil 4.1). Genel olarak s/ç oranı arttıkça çökme değeri artışı olduğu görülmüştür. Böylece, beton grupları arasında s/ç oranına bağlı olarak doğrusal bir çökme ilişkisi bulunduğu görülmüştür.



Şekil 4.1. Farklı s/ç oranlarına göre taze betonların çökme değerleri

s/ç oranı düştükçe artan oranda akışkanlaştırıcı KM kullanılmasına rağmen çökme yüksekliği %100 oranında azalış göstermiştir. Ancak burada serbest çökme yönteminin her koşulda işlenebilirliğin sıkıştırmanın doğru bir göstergesi olduğunu söylemek de yanlıştır. Koyu kıvamda, orta derecede bir enerji uygulaması (titreşim, vibrasyon) ve KM yardımıyla iyi derecede sıkıştırma etkinliği sağlandığı bilinmektedir. Nitekim taze beton birim kütlesi yaklaşık 2291.0 kg/m^3 ile en düşük s/ç oranında (%35) sağlanabilmiştir. Öte yandan en yüksek s/ç oranında da (%60) birim kütle azalması yalnızca yaklaşık 70 kg/m^3 kadar bulunmakta olup (Tablo 4.1) bu azalma %3 dolayındadır. Bu sonuç da işlenebilirlik açısından yeterli etkinlikte kıvam sağlandığını göstermektedir. Benzer bir kütle ilişkisi sertleşmiş beton örnekleri arasında da (Tablo 4.2) açık bir biçimde görülmektedir.

Yine farklı s/ç oranlarında üretilen betonların taze ve sertleşmiş birim kütleleri $100 \times 200 \text{ mm}$ 'lik standart silindir numuneler üzerinde belirlenmiş ve bir çizelge ile (Tablo 4.1) verilmiştir. Taze betonların ölçülen birim kütlelerinin $2221.8\text{-}2290.9 \text{ kg/m}^3$ arasında olduğu görülmüştür.

Tablo 4.1. Taze beton birim kütleleri

S/Ç Oranı (% m)	Taze Beton Birim Kütlesi (kg/m ³)
35	2290.9
40	2270.3
45	2248.7
50	2237.4
55	2230.5
60	2221.8

4.3. Sertleşmiş Beton Bulguları

4.3.1. Fiziksel Veriler

Farklı s/ç oranlarında üretilen beton numunelerin sertleşmiş birim kütleleri 100x200 mm'lik standart silindir numuneler üzerinde belirlenmiş ve bir çizelge ile (Tablo 4.2) verilmiştir. Sertleşmiş beton numunelerin birim kütlelerinin 2198.5-2278.6 kg/m³ arasında olduğu görülmüştür. Beton numunelerin doymuş ve kuru birim kütleleri, su emme ve gözeneklilik (porozite) değerleri ise bir çizelgede (Tablo 4.3) toplanmıştır. Genel olarak s/ç oranı arttıkça doymuş ve kuru birim kütleleri azalmakta su emme ve gözeneklilik (porozite) değerleri ise artış göstermektedir. Bu durumun, s/ç oranının artmasıyla betonun daha boşluklu bir yapı kazanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, gözeneklilik (porozite) değerlerine bakıldığında bu oranların su emme miktarları ile de doğru orantılı sonuçlar verdiği görülmektedir.

Tablo 4.2. Sertleşmiş beton birim kütleleri

S/Ç Oranı (% m)	Sertleşmiş Beton Birim Kütlesi (kg/m ³)
35	2278.6
40	2255.6
45	2232.8
50	2219.8
55	2211.3
60	2198.5

Tablo 4.3. Sertleşmiş betonun fiziksel özellikleri

s/ç oranı (%)	35	40	45	50	55	60
Doygun Birim Hacim Kütlesi (kg/dm ³)	2.32	2.31	2.26	2.22	2.16	2.15
Kuru Birim Hacim Kütlesi (kg/dm ³)	2.23	2.21	2.14	2.09	2.06	2.01
Su Emme Oranı (% m)	4.04	4.62	5.35	6.64	6.91	6.95
Porozite (% v)	5.32	5.71	5.89	6.95	7.30	7.40

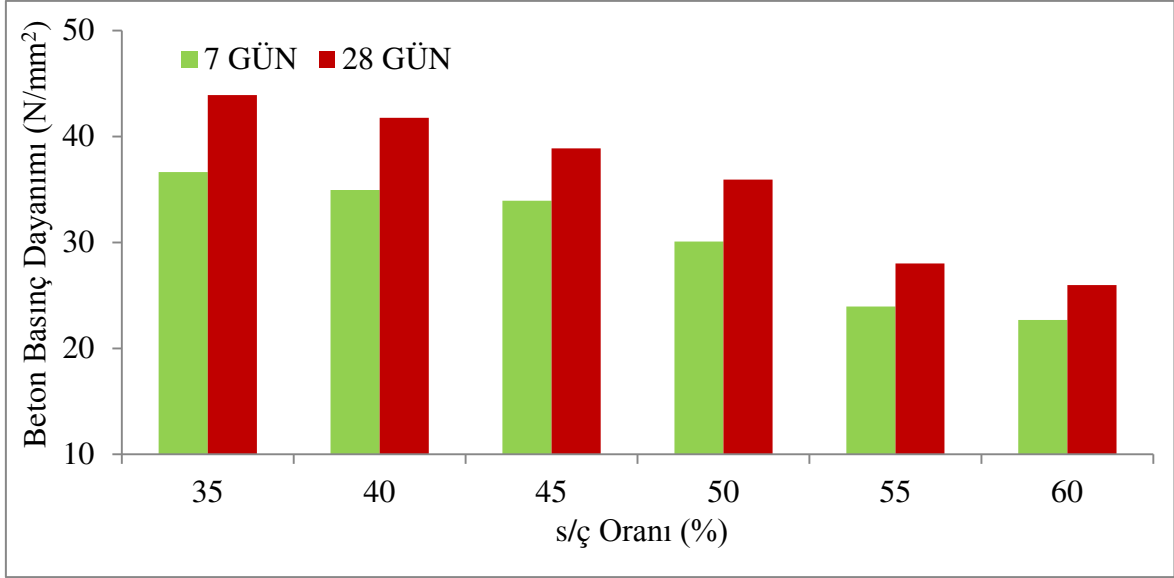
4.3.2. Basınç Dayanımı

Beton basınç dayanımının belirlenmesinde öncelikle tüm dünyada ilgili otoriteler tarafından TEBD (Tek eksenli tahribatlı yöntemiyle basınç dayanımı tespiti) yönteminin beton basınç dayanımı belirleme yöntemleri içinde en çok kabul gören yöntem olduğunu burada belirtmek gerekir. Diğer yöntemler bu yöntemin sağlaması ya da uygulama kolaylığı yönünden benimsenmektedir.

Farklı s/ç oranlarında üretilen beton numunelerin basınç dayanımının belirlenmesinde 7 ve 28 günlük kürede bekletilmiş 100x200 mm'lik standart silindir beton numuneler kullanılmıştır. Çalışmada üretilen beton gruplarının 7. ve 28. günlerdeki tek eksenli yöntem kullanılarak elde edilen basınç dayanımı sonuçları hem çizelge (Tablo 4.4) hem de grafik olarak (Şekil 4.2) verilmiştir.

Tablo 4.4. Beton numunelerin 7 ve 28 günlük ortalama basınç dayanımları

s/ç oranı (% m)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	
	7 Gün	28 Gün
35	36.65	43.91
40	34.95	41.76
45	33.94	38.88
50	30.09	35.94
55	23.96	28.01
60	22.69	25.97



Şekil 4.2. Farklı s/ç oranlarına göre betonların 7. ve 28. günlerdeki basınç dayanımları

Sonuçların grafiksel olarak (Şekil 4.2) izlemine yakından bakıldığında s/ç oranının azalmasıyla basınç dayanımının da neredeyse doğrusal olarak yükseldiği görülmektedir. Genelde basınç dayanımı, 7 günlük değeri ile 28 günlük değeri arasında %80'i aşan bir oranda korunmuş bulunmaktadır. Gerek kullanılan çimentonun sınıfı (CEM I 42.5R) gerekse katılım oranı (kg/m^3) göz önünde bulundurulduğunda normal dayanımlı beton uygulamaları için değişen s/ç oranıyla tam uyumlu sonuçlar alındığı açık bir biçimde görülmektedir. Böylece silindir numuneler üzerinde gerçekleştirilen 28 günlük basınç deneyi sonuçları 25.0 N/mm^2 ile 44.0 N/mm^2 arasında değişirken bunları C20/25 ile C40/50 arasında beton dayanım sınıfları ile kimliklendirmek olanaklı görülmektedir.

Basınç değerleri (Şekil 4.2) incelendiğinde kür süresine bağlı olarak da tüm beton gruplarının basınç dayanımlarının arttığı görülmüştür. Ayrıca, 7. günlerdeki beton basınç dayanım değerlerinin 28. günlerdeki beton basınç dayanım değerlerinin yaklaşık %85'ine karşılık geldiği görülmüştür.

4.3.3. Elastisite Modülü

Farklı s/ç oranlarında üretilmiş olan beton gruplarının elastisite modüllerinin tayini 28 günlük kürde bekletilmiş $100 \times 200 \text{ mm}$ 'lik standart silindir beton numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, farklı s/ç oranlarında üretilmiş olan betonların σ - ϵ

eğrisinin üzerinde herhangi bir nokta belirlenmiş ve hem σ - ϵ eğrisinin başlangıç noktasından (0 noktasından) hem de belirlenen bu noktadan geçen bir doğru çizilmiştir.

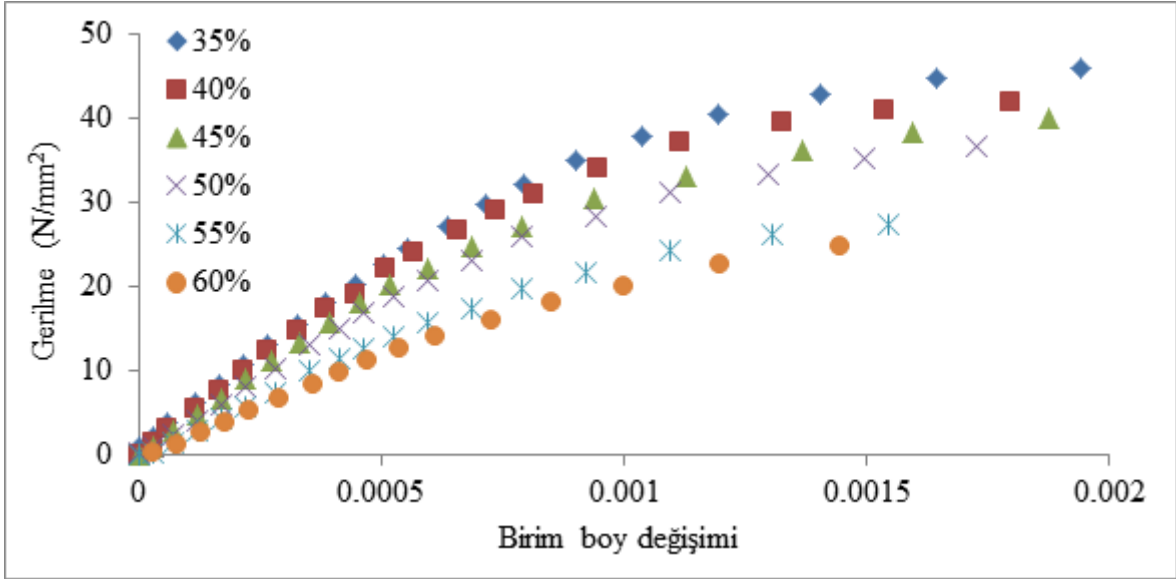
Bu noktanın seçiminde, betonun maksimum gerilme değerinin %40'ına karşılık gelen gerilme değeri temel alınmıştır. Çizilen bu doğru, betonun σ - ϵ eğrisi olarak kabul edilmiş ve eğimi ($E=\sigma/\epsilon$) hesaplanarak bir çizelge (Tablo 4.5) üzerinde sıralanmıştır.

Tablo 4.5. Betonların elastisite modülü değerleri

s/ç oranı (%)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Elastisite Modülü (N/mm ²)
35	43.91	46.98
40	41.76	44.91
45	38.88	39.97
50	35.94	36.61
55	28.01	27.62
60	25.97	24.06

Özdeş veriler gerilme-birim boy değişimi düzleminde grafiksel (Şekil 4.3) olarak da gösterilmiştir. Şekildeki diyagram incelendiğinde s/ç oranı %55 ve %60 olan beton numunelerin gerilme-birim boy değişimi eğrilerinin diğer s/ç oranlarında üretilen betonlardan daha çok düştüğü görülmüştür. Bu düşüşün çimentonun azalmasına bağlı olarak beton basınç dayanımının da düşmesiyle ilgili olduğu düşünülmektedir.

Beton basınç dayanımına göre elde edilen ve çizelge olarak (Tablo 4.5) sıralanan E-Modül değerleri azalan s/ç oranına ve yükselen basınç dayanımına bağlı olarak artış göstermekte ve yaklaşık 24000 N/mm² ile 47000 N/mm² arasında değişmektedir. Bu değerler elbette kaynaklarda verilen E-Modül düzeyleri ile tam olarak örtüşmemektedir. Nitekim C20/25 ile C40/50 dayanım sınıfı arasında E-Modül sınırları 28800 N/mm² ile 34500 N/mm² arasında gösterilirken bu değerlerin, $E_{cm}=9.5(f_{ck}+8)^{1/3}$ bağıntısıyla hesaplanarak uyumlu olduğu da gözden uzak tutulmamalıdır (Klausen vd., 2013).

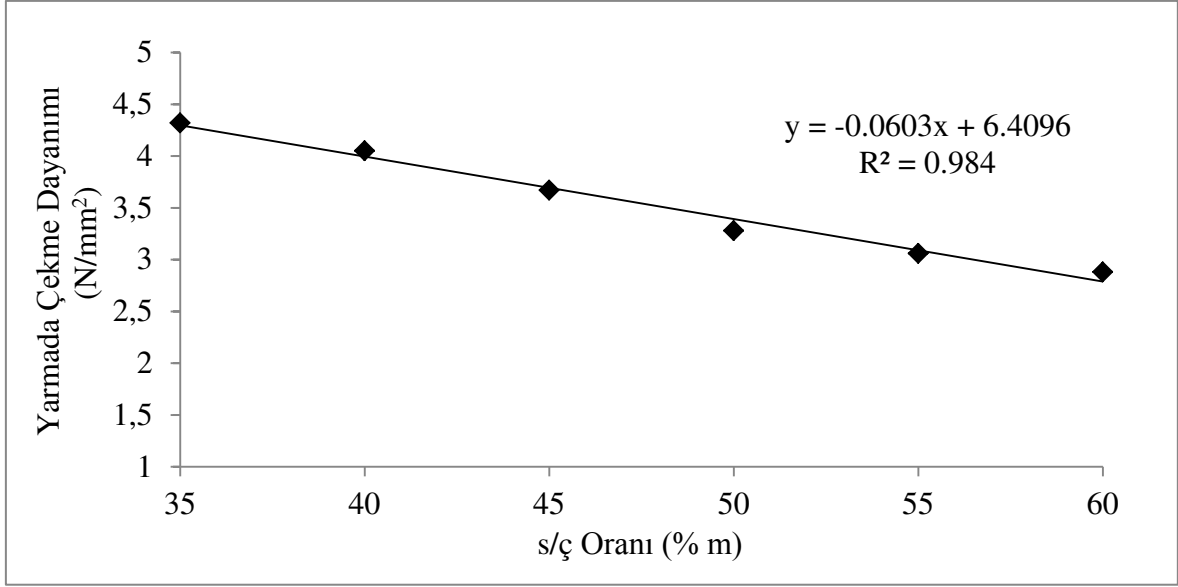


Şekil 4.3. Betonların gerilme-birim deformasyon diyagramları

4.3.4. Yarmada Çekme Dayanımı

Yarmada çekme dayanımı deneyleri 28 günlük kürde bekletilmiş 100x200 mm'lik standart silindir beton numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir ve farklı s/ç oranlarında üretilen beton gruplarına ait 28 günlük bu değerler bir grafik yardımıyla karşılaştırmaya sunulmuştur. Grafik (Şekil 4.4) incelendiğinde s/ç oranına bağlı olarak beton numunelerin yarmada çekme dayanımları arasında genel olarak doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. s/ç oranı arttıkça numunenin içerdiği çimento miktarının azalmasına bağlı ve basınç dayanımı değerinin düşmesine koşut olarak yarmada çekme dayanımının da düştüğü görülmüştür.

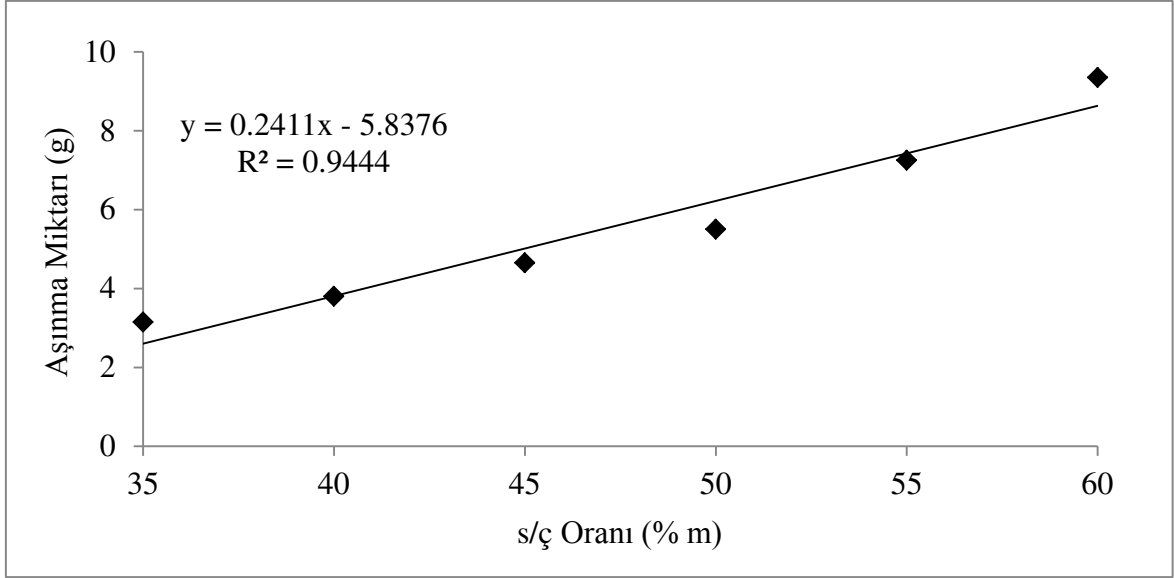
Özellikle öngerilme yüklemelerinde ve derin çivi uygulamalarında yarma etkisinin ortaya çıkabileceği bilinmektedir. Ayrıca yarmada-çekme deneyinin, eksenel çekme deneyine göre daha kolay uygulanması ve sonucunun da yaklaşık 0.9 oranında bu değere denk sayılabilecek düzeyde olması uygulamada öncelikli olarak benimsenmesinin gerekçesi olmaktadır. Öte yandan kaynaklar (Betonkalender, 2012) normal basınç dayanımlı (20-50 N/mm²) betonların yarmada-çekme dayanımlarının 2 ile 6 N/mm² arasında değiştiğini ve bu değerlerin de kırmataş agregalı betonlarda %10 ile %20 arasında daha yüksek çıktığını bildirmektedir. Nitekim çalışmadan elde edilen sonuç da ortalama 3.5 N/mm² ve R²=0.984 regresyon sayısı ile bu savı desteklemektedir.



Şekil 4.4. Farklı s/ç oranlarına göre betonların yarmada çekme dayanımları

4.3.5. Aşınma Dayanımı

Çalışmada farklı s/ç oranlarında üretilen 100x200 mm'lik standart silindirik beton numuneler üzerinde ASTM C 944'e göre aşınma deneyi (dönme-kesme yöntemi) yapılmış ve deney sonuçları grafiksel olarak (Şekil 4.5) gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde s/ç oranı arttıkça aşınma miktarının da arttığı, özellikle s/ç oranının %50 ve üstü olduğunda aşınma miktarının da belirgin olarak arttığı görülmüştür. Belirli bir oranın üzerinde aşınma miktarının hızla artmasının, s/ç oranına bağlı olarak beton içerisindeki boşluk oranının da artmasıyla birlikte ortaya çıktığı anlaşılmaktadır. s/ç oranının düşmesiyle birim kütlenin ve basınç dayanımının artması, daha sıkı yapılı bir beton dokusunun varlığını göstermiş olup bunun sonucunda da aşınma direncinin yükseldiği görülmüştür. Kütleli aşınma kaybı yaklaşık 3.1 g ile s/ç oranı %35 olan beton numunesinde en düşük seviye olarak kaydedilmiştir. Bu sonuç, nitekim elde edilen $R^2=0.9444$ regresyon sayısı ile de (Şekil 4.5) açık bir biçimde ortaya konmaktadır.



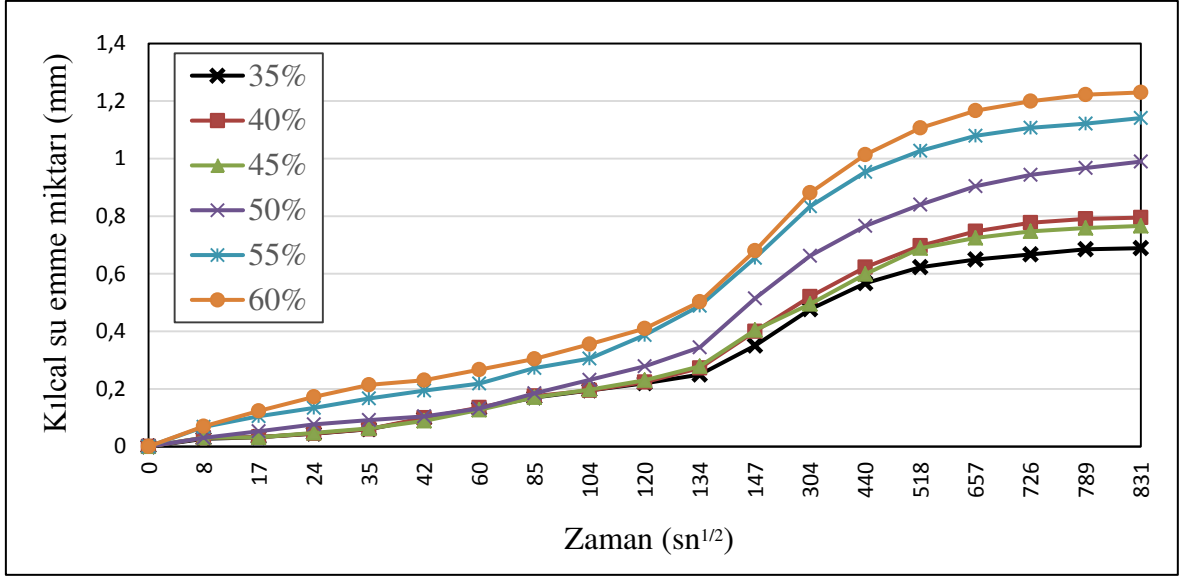
Şekil 4.5. Farklı s/ç oranlarındaki beton numunelerin aşınma miktarları

4.3.6. Kılcal Su Emme

Kılcal su emme deneyi, 6 farklı s/ç oranlarında üretilen, 28 günlük kürde bekletilmiş 100x200 mm'lik standart silindirik beton numuneler kullanılarak ASTM C 1585'e göre, her bir beton grubundan 3'er numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları diyagram (Şekil 4.6) üzerinde gösterilmiştir. Diyagram incelendiğinde, beton numunelerin su emme değerlerinin, başlangıçta yaklaşık doğrusal bir artış gösterirken $134 \text{ sn}^{1/2}$ 'den sonra ani bir yükseliş ve bunu izleyen sürede de azalan bir artışla sona gittiği görülmüştür.

En yüksek su emme miktarının, s/ç oranının %60, en düşük su emme miktarının ise s/ç oranının %35 olduğu betonlarda ortaya çıktığı görülmüştür. Kılcal su emme oranının yüksekliğinin s/ç oranına bağlı olarak beton numunelerin içerisindeki kılcal boşlukların oranının ve bunlardan bağlantılı gözenekçiklerin artışından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bu sonuçlara göre, s/ç oranının %40'ın altına düşmesiyle su emme yüksekliğinin de 0.6 mm'nin altında kaldığı görülmektedir (Şekil 4.6). Buradan da s/ç oranı %35 ile üretilen beton numunelerin s/ç oranı %60 ile üretilen beton örneklerine göre yaklaşık %80 oranında daha düşük bir su emme yüksekliğinde kaldığı görülmektedir.



Şekil 4.6. Farklı s/ç oranlarındaki betonların kılcal su emme grafiği

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, Üzümlü (Erzincan) volkanitlerinin mineralojik-petrografik, kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş, böylece sağlam ve masif yapıları oldukları ve bunların yapı sektöründe yapı taşı olarak ve özellikle de bölgedeki beton üretiminde agrega olarak kullanılabilirliği anlaşılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

1) Çalışma alanındaki volkanit örneklerinin mikroskobik incelemelerinde, örneklerin genellikle mikrolitik porfirik ve vitrofirik porfirik dokuda oldukları, ana bileşenlerinin ise değişik oranlarda plajiyoklas, amfibol fenokristalleri ile opak minerallerinden oluştukları ve yüksek oranda hamurdan (volkan camı) meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca, beton üretimi için kullanılan volkanit örneğinde (YTD'na ait volkanik kayaç), alkali ve silika reaksiyonlarına neden olan reaktif özellikte volkan camının, polimorfik silis minerallerinin (tridimit, opal, kalsedon, kristobalit, smektit) bulunmadığı görülmüştür.

2) Tespit edilen fenokristallerin volkanitler içerisindeki oranlarının düşük olması ve önemli bir alterasyon sürecine uğramamış olması nedeniyle beton dayanımını olumsuz etkilemediği sonucuna varılmıştır.

3) Volkanitte bulunan camsı fazın çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki aderansı güçlendirebileceği görülmüştür. Kırılarak agrega boyutuna getirilen tanelerin yüzeyindeki "ince malzeme" genellikle camsı özellik taşıdığı ve bunun da çimento ile birlikte "tras katkı etkisi" yaparak hamurun aderans özelliğini iyileştirdiği görülmüştür.

4) Kimyasal özellikleri açısından SiO_2 miktarına bağlı olarak yapılan sınıflandırmada konusu edilen volkanitlerin genellikle andezit bileşimli olmalarının yanı sıra özellikle beton deneylerinde agrega olarak kullanılan volkanitin (YTD) de bazik özellik gösterdiği anlaşılmıştır. Jeokimyasal verilere göre beton üretiminde kullanılan bu volkanit, alkali karakterdedir. Volkanitin alkali özellikte olup genel olarak beton dayanımına olumlu yönde katkı yaptığı bilinmektedir.

5) Volkanit agrega örneklerinden elde edilen sıkışık birim kütleler $1.41-1.63 \text{ g/cm}^3$ ile gevşek birim kütleler; $1.29-1.42 \text{ g/cm}^3$ arasında belirlenmiş olup, bu değerlerin standartta gösterilen aralıklarda yer aldığı görülmüştür (TS EN 1097-3, 1999).

6) Çalışmada kullanılan volkanit agregalarının genel olarak su emme oranları %2.04 ile %4.1 aralığında olup, yalnız KT örneğinde bu oran %6 gibi yüksek bir değere çıkmıştır. Bu örnekte soğuma ile ilgili yoğun gaz boşlukları ve piroksen kristal boşluklarının olmasının su emme oranını arttırdığı anlaşılmıştır. Bu değerlere göre volkanit agregalarının KT örneği hariç, su emme değerleri TS 3526 (1980) standartına uygundur.

7) Volkanit örneklerinde aşınma kaybı (Los Angeles) %21.65 ile %38.20 arasında olup, bu sonuçla volkanitlerin aşınmaya karşı dayanıklı oldukları standartlarda verilen sınır değerlerden anlaşılmıştır (TS 706 EN 12620, 2003).

8) Örnek agregalarda don kaybı değerleri %2.39 (YTD) ile %9.78 (KT) arasında olup, standartlara uygun sınırlar arasındadır (ASTM C-33; TS 706 EN 12620).

9) Kayaçlar üzerinde yapılan Tek eksenli basınç dayanımı (f_c) değerleri 71.08 ile 92.23 MPa arasında bulunmuştur. Volkanitlerin tek eksenli basınç dayanımı değerleri ISRM (1979) standardına göre orta dayanımlı kayaç sınıfında yer almaktadır.

10) Bölgede beton üretiminde kullanılan agregalar, çeşitli karbonatlı kayaçlardan kırmataş olarak ya da sürüklenmiş dere malzemesi şeklinde temin edilmektedir. Kırmataş üretimi sırasında özellikle karbonatlı kayaçların kırılma sistemlerinde mikro çatlaklar oluşabilmektedir. Ancak, bazaltik andezit yapılı olan YTD'na ait volkanik kayaç örneğinde camsı fazdan dolayı mikro çatlakların ortaya çıkmadığı ya da çok düşük oranda olduğu görülmektedir.

11) Agregat boyutlarına bakıldığında ise yassı, ince ve uzun yapılı tanelerin göze çarpacak derecede oluşmadığı görülmüştür. Sonuç olarak, volkanik kayaç örneğinden üretilen kırmataş agregasının tane yapısından kaynaklanan bir dayanım kaybı meydana gelmemiş ve bu sonuca göre de farklı s/ç oranlarında üretilen betonlardan yeterli düzeyde dayanım sonuçları elde edilmiştir.

12) Yapılan taze beton deneyleri kapsamında gerçekleştirilen serbest çökme deneyinde su/çimento oranının azalmasına bağlı olarak çökme miktarları arasında lineer bir ilişki bulunmuş, s/ç oranı azaldıkça çökme miktarı da 11.5 cm'den 1 cm'ye kadar azalmış, ancak işlenebilirlik açısından bir sorun çıkmamıştır.

13) Çalışmada beton numunelerin taze birim hacim kütleleri s/ç oranına bağlı olarak doğrusal bir şekilde değişmektedir. Normal dayanımlı betonlarda birim hacim kütle 2000-2400 kg/m³ arasında olmalıdır. YTD'na ait volkanit agregasıyla 6 farklı s/ç oranlarında üretilen taze betonların birim kütlelerinin 2221.8 kg/m³ ile 2290.9 kg/m³ arasında olduğu ve böylece bu değerlerin standard kabul edilir sınırlar arasında yer aldığı görülmüştür.

14) Sertleşmiş beton deneyleri kapsamında tek eksenli tahribatlı yöntemle basınç dayanımı yapılmıştır. YTD'na ait agrega örneği ile 6 farklı s/ç oranlarında üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımları arasında s/ç oranı azaldıkça beton basınç dayanımının doğrusal bir şekilde, her bir s/ç oranı arasında ortalama %17.58 arttığı görülmüştür.

15) Özellikle 28 günlük beton kür örneklerinin dayanımları, 7 günlük kür örneklerinin dayanım değerlerine göre beklenildiği şekilde ortalama %20 daha yüksek çıkmıştır. Bu durum, beton örnekleri dayanımlarının yüksek olması için 28 günlük kürde bekletilmesi gerektiğini göstermektedir.

16) YTD'na ait agrega ve CEM I 42.5 R tipi portland çimentosu ile üretilen beton örneklerinin TS EN 206 (2014)'e göre C20/25 ile C40/50 arasında normal dayanımlı beton sınıflarında yer aldığı belirlenmiştir. Bu sınıftaki betonlar ise betonarme yapılarda, köprülerde, betonarme duvarlarda, sömellerde, alt yapı duvarlarında, döşeme kirişlerinde, yapı kolonlarında, kütle beton uygulamalarında ve baraj inşasında, kanal ve drenajlarda; liman, rıhtım ve toplu konut inşasında yaygın olarak kullanılabilmektedir.

17) Elde edilen E-modül değerleri ise yaklaşık 24000 N/mm^2 ile 47000 N/mm^2 arasında çıkmış olup bu yükseliş azalan s/ç oranı ve artan basınç dayanımı düzeyi ile örtüşmektedir.

18) Nitekim üretilen betonların, yarmada-çekme dayanımları da ortalama 3.5 N/mm^2 düzeyinde çıkmakta olup, bu sonuçla beton yüzeyinde çatlak oluşumuna ve yarma etkisine karşı yeterli katkı sağlayabileceğini göstermektedir.

19) Farklı s/ç oranlarında üretilen beton örneklerinin kılcal su emme miktarları arasında açık farklılıklar olduğu görülmekte olup bununla birlikte özellikle s/ç oranının %45 ve altında olduğu örneklerde bu değerlerin birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Bu durumun azalan s/ç oranına bağlı olarak beton numunelerin içerisindeki kılcal boşlukların oranının ve bunlardan bağlantılı gözenekciklerin azalmasından kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Ayrıca, s/ç oranının azalmasıyla numunelerin içerisindeki boşluk oranının da azalması neticesinde, bunların daha sıkı yapıları olduklarını ve donma-çözülme etkisine karşı daha dayanıklı olabileceklerini göstermektedir.

20) Beton numunelerin aşınma dayanımlarına bakıldığında, s/ç oranına bağlı olarak en düşük aşınma miktarının s/ç=%35 olan örneklerde, en yüksek aşınma miktarının ise s/ç=%60 olan beton numunelerinde ortaya çıktığı görülmüştür. Bu durumun, s/ç oranı

azaldıkça daha sıkı yapılı bir beton elde edilmesinin yanı sıra agrega ile çimento hamuru arasındaki güçlü bir aderansın varlığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çalışma kapsamında öngörülen ve gerçekleştirilen araştırma, inceleme ve deneyler sonucunda Üzümlü yöresinden çıkarılan volkanit kayaç örneklerinden özellikle YTD'na ait türün, beton agregası olarak uygulanmasında yeterlilik gösterdiği sonucuna varılmıştır.

Bilindiği gibi kayaç bileşimindeki SiO_2 oranı, kırma-eleme maliyetinin önemli bir etkenidir. Bu çalışmada volkanik kayacın kırma-eleme maliyeti ele alınmamıştır. Ancak, kırma-eleme maliyetinin, standart dayanımda çimento oranı, betonun ekonomik ömrü, dayanıklılığı, endüstriyel zemin ve döşemelerde aşınma ve kimyasal direnci gibi kullanım amacına yönelik değişkenlerle (parametrelerle) karşılaştırma yapılarak ortaya konması gerekmektedir. Volkanik kökenli agreganın tortul kökenli agregalara göre üstün ve yetersiz yönlerini ortaya çıkaracak bir araştırmanın ise ayrıca yapılmasının, beton üretim ekonomisi açısından fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

Bölgede daha çok Yassı Tepe ve Köy Tepe'de yayılım gösteren volkanitlerin toplam görünür rezervinin 300 milyon ton civarında olduğu tahmin edilmektedir. Bu alandaki volkanitlerin, beton üretiminde halen fazlaca ilgi gören tortul kökenli agregalara seçenek oluşturan bir agrega kaynağı olarak yapı uygulamalarına kazandırılmasının yöre ekonomisine önemli ölçüde katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Akbulak, A., Baydar A., Çorumoğlu C., Işık C., 1967, 'Beton ve Beton Katkı Malzemeleri', Bayındırlık Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.
- Akman, S., 1990, Yapı Malzemeleri, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, 2. Baskı, İstanbul.
- Akyüz, E., 2013, Kür, Sıkıştırma, Sıcaklık ve Yağış Koşullarının Beton Basınç Dayanımına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane, 78 s.
- Alexander, M.G., Milne, T.I., 1995, Influence of cement blent and aggregate type on stress strain behaviour and elastic Moduls of concrete, ACI Materials Journal, no 92, May – June, pp. 227-235.
- Arioğlu, E., Arıoğlu N., 1998, Üst ve Alt Yapılarda Beton Karot Deneyleri ve Değerlendirilmesi, Evrim Yayınevi, İstanbul.
- Arslan, M., Demir. İ., 2006. Kırşehir Yöresi Kırma taşlarının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakülte Dergisi.
- ASTM C 33, 2003, Specification for Concrete Aggregates. ASTM (American Society for Testing and Materials) Standarts, pp 11, Vol 04. 02.
- ASTM C 39, 1994, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C 1585 – 04, 2004, Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic- Cement Concretes ASTM, 1-5.
- ASTM C 944., 1999, Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method, 1-4.
- Bacak, G., Yılmaz S.A., 2011, Karadeniz Ereğli (Zonguldak) Andezitlerinin Petrografik-Jeokimyasal Özellikleri ve Endüstriyel Kullanılabilirliği, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Zonguldak.
- Betonkalender, 2012, Bd. 1, S. 365, Vovl. Ernst und Sohn, Berlin.
- Bolat, H., Şimşek, O., Çullu, M., Durmuş, G., Can, Ö., 2014, The effects of macro synthetic fiber reinforcement use on physical and mechanical properties of concrete, Elsevier, Composites: Part B 61, 191-198.

- Celasun, H., ve Polat, Z., 1974, Ön Gerilmeli Beton, İDMM akademisi yayınları, Sayı 123, Kurtulmuş Matbaası, İstanbul.
- Çalışkan, S., 2003, Agrega Cinsi ve Tane Boyunun Arayüzey Aderans Dayanımına Etkisi, Çimento ve Beton Dünyası, sayı: 41, 65-66, Ankara.
- Çavuşoğlu, İ., Yılmaz, A.O., Alp, İ., 2005, Kırılmış Dere Malzemesinin Beton Dayanımı Üzerine Etkisinin İncelenmesi, 19. Uluslararası Madencilik Kongre Kitabı.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2007, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmeliği, Ankara/Türkiye, 30-32.
- Cilason, N., 1992, Beton, STFA Yayınları No : 21, İstanbul.
- Çınar, B., 2007. Osmaniye Çağşak Amanos Kırmızı Mermerlerinin Fizikomekanik Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 57s.
- Çullu M., Bolat, H., Vural, A., Tuncer, E., 2014, Investigation of pozzolanic activity of volcanic rocks from the northeast of the Black Sea, Science and Engineering of Composite Materials, ISSN (Online) 2191-0359, ISSN (Print) 0792-1233.
- Davraz, M., Gündüz, L., Şapcı, N., Başpınar, E., 2012, Isparta Civarı Volkanik Kayaçların Mühendislik Özellikleri ve Taşıyıcı Beton Üretiminde Kullanılabilirliği, Süleyman Demirel Üniversitesi, Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi, Isparta.
- Davraz, M., Gündüz, L., 2006, Isparta-Direkli Köyü Mevkii Trakiandezit Taşının Beton Agregası Olarak Değerlendirilmesi, IV.Ulusal Kırmataş Sempozyumu, 2-4 Aralık İstanbul.
- Deere, D.U., and Miller, R.P., 1966, "Engineering Classification and Index Properties of Intact Rocks." Technical Report., Air Force Weapons Laboratory, New Mexico, No., AFNL-TR, Kirtland, 65-116.
- Dehghan, S, Sattari, G. Chehreh, Chelgani, S., Alliabadi, M.A., 2009, Prediction of uniaxial compressive strength and modulus of elasticity for Travertine samples using regression and artificial neural Networks, Mining Science and Technology 20, pp. 0041–0046.
- Demir, İ., 2005, Kırşehir Yöresi Kayaçlarının Kırmataş Agrega Olarak Kullanılabilirlik Özellikleri, Gazi Üniversitesi, Kırşehir Meslek Yüksekokulu, Teknik Programlar Bölümü, Kırşehir.

- Dietmar Klausen; Rudoff Hoscheid; Peter Lieblang, 2013, ‘‘Technologie der Baustoffe’’, VDE Verlag GmbH; Berlin/Offenbach.
- Ekmekyapar T., Örüñg, İ., 2001, İnşaat Malzeme Bilgisi, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Tesisi, 145, Erzurum.
- Erdoğan, T.Y., 2003, Beton, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, METU Press, Ankara.
- Ertaş, H., 2014. Kurşun Madeni Atıklarının Radyasyon Zırhlama Etkilerinin Araştırılması Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane, 74s.
- Giaccio, G., et al., High-Strength Concretes Incorporating Different Coarse Aggregates, ACI Materials Journal, no 89, May-June, 242-247, 1992.
- Gök, G., 2010, Değişik Geometrideki Betonların Basınç Dayanımlarının Çeşitli Su/Çimento Oranlarına ve Çimento Miktarlarına Göre İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 194s.
- Gücer, M.A., 2008, Yoncayolu Metamorfikleri (Üzümlü-Erzincan) ve Çevre Kayaçlarının Mineralojik, Petrografik ve Jeokimyasal incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 123s.
- ISRM, 1979. Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials. International Journal of Rock Mechanical Mining Science And Geomechanical Abstract, pp. 16-135, 140.
- İstanbuluoğlu S., 1988, Betonun Basınç Dayanımını Etkileyen Faktörler ve Ramble Betonun Seçimi ile İlgili Bir Çalışma, Madencilik Kongresi, Cilt 27, Sayı 3, Eylül.
- Karaman K., Erçikdi B., Cihangir F., Kesimal A., 2011, ‘‘Kayaçların Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tahmininde Schmidt Çekici Yöntemlerinin İncelenmesi’’ Türkiye 22. Uluslararası Madencilik Kongresi, Ankara, 87-102.
- Karşlı, O., 2006, Pre-eruptive conditions revealed by mega- and pheno-cryst compositions from the Quaternary Erzincan Volcanics, Eastern Turkey: Insights into the magma processes, Department of Geological Engineering, Karadeniz Technical University, TR-29000 Gümüşhane, Turkey.
- Koçal, F., 1999, Trabzon-Maçka Başar Taşocağındaki Kireçtaşının Agrega Olma Açısından İncelenmesi, Türkiye 16. Madencilik Kongresi / 16th Mining Congress of Turkey, ISBN 975-395-310.

- Le Maitre, R. W., Bateman, P., Dudek, A., Keller, J., Lameyre Le Bas, M. J., Sabine, P. A., Schmid, R., Sorenson, H., Streckeisen, A., Wolley, A. R., and Zanettin, B., 1989, A Classification of Igneous Rocks and Glossary of Terms Blackwell, Oxford.
- Mindess, S. And Young, J.F., 1981, Concrete, Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- Neville, A. M., 2011, Properties of Concrete, Trans-Atlantic Publications, 5th edit, pp. 108-178.
- Neville, A.M., 1981, Properties of Concrete, Longman Scientific & Technical, England.
- Neville, A.M. and Brooks, J.J., 1987, Concrete Technology, Longman Scientific & Technical, John Wiley & Sons. Inc, New York.
- Özdemir, Ü.M., 2014, Gümüşhane Yöresi Magmatik Kayaçların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane, 77s.
- Özpınar, Y., 2002, Sandıklı Zeolitik Tüflerinin Petrografik, Petrokimyasal ve Teknolojik Özelliklerinin İncelenmesi, TÜBİTAKYDABÇAG-198Y102.
- Öztürk, Ö., Çelikel, M., Erkan, M., 2007. Türkiye Agregası Sektör Raporu. Hazır Beton, Sayı. 84, s. 52-56.
- Postacıoğlu, B., 1987, Beton (Agregalar, Beton) Cilt II. Teknik Kitaplar Yayın Evi, İstanbul, 403s.
- Semiz, B., Özpınar, Y., Dönmez, H., 2004, Denizli Volkanitlerinin Özellikleri ve Beton Üretiminde Kullanılabilirliği, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kınıklı/Denizli.
- Tarhan, F., 1989, 'Mühendislik Jeolojisi Prensipleri', KTÜ Yayınları, Trabzon.
- Terzibaşoğlu, N., 1989, Comparison Of Granites Of Sivrihsar And Kırşehir From Mechanical Behavior Point Of View, Master's Thesis, Mining Engineering Middle East Technical University.
- Tuncer, E., 2014, Gümüşhane Yöresi Volkanik Kayaçların Puzolanik Aktivitesinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane, 89s.
- Troxell, G.R., Davis, H.F., and Kelly, J.W., 1968, Compression and Properties of Concrete, McGraw-Hill Book Company, New York.
- TS EN 197-1, 2012, Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- TS EN 206, 2014, Beton- Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, TSE, Ankara.
- TS EN 1008, 2003, Beton-Karma Suyu-Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dahil, Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1367, 2001, Agregaların Isıl ve Bozunma Özellikleri için Deneyler-Bölüm 1: Donmaya ve çözölmeye karşı direncin tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 1097-3, 1999, Agregaların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri için Deneyler Bölüm 3: Gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 12350-2, 2010, Beton – Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi, TSE, Ankara, s. 1-7.
- TS EN 12390-4, 2002, Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 4: Basınç dayanımı- Deney makinelerinin özellikleri, TSE, Ankara.
- TS EN 1926, 2013, Doğal taşlar- Deney yöntemleri- Tek eksenli basınç dayanımı tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 12390-1, 2013, Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 1: Deney Numunesi ve kalıplarının şekil, boyut ve diğer özellikleri, TSE, Ankara.
- TS EN 12390-7, 2010, Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 7: Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini, TSE, Ankara, s. 1-5.
- TS EN 12390-6, 2010, Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 12350-6, 2010, Beton – Taze beton deneyleri - Bölüm 6: Yoğunluk, TSE, Ankara.
- TS EN 1008, 2003, Beton-Karma Suyu-Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dahil, Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları, TSE, Ankara.
- TS EN 12390-3, 2012, Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, TSE, Ankara, s. 5-16.
- TS 706 EN 12620, 2003, Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 500, 2000, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 699, 2009, Doğal Yapı Taşları-İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri, TSE, Ankara.
- TS 802, 2009, Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, TSE, Ankara.

- TS 3624, 1981, Sertleşmiş Betonda Özgöl Ağırlık, Su Emme ve Boşluk Oranı Tayin Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, s. 1-6.
- TS 3502, 1981, Betonda statik elastisite modülü ve poisson oranı tayini, TSE, Ankara.
- TS 3526, 1980, Beton Agregalarında Özgöl Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini, TSE Standartları, 13 Ocak 1980, Ankara, 5 s.
- Uğurlu, A., 1996, Taşunu Kullanımının Beton Özellikleri Üzerine Etkisi.1.Ulusal Kırmataş Sempozyum Kitabı.
- URL-1, www.googleearth.com, uydu görüntüleri, 03 Mart 2015.
- Uygunoğlu, T., 2005, Afyon ve Çevresindeki Hafif Agregalarda Üretilen Blok Elemanlarının Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 140s.
- Vural, A., 2015, sözlü görüşme, Gümüşhane Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Bağlarbaşı, Gümüşhane, vural@gumushane.edu.tr
- Yaşar, E., Erdoğan, Y., 2003, Ceyhan (Adana) Kireçtaşlarının Agrega olarak Betonda Kullanılabilirliği, Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 01330, Adana.

ÖZGEÇMİŞ

Yavuz Selim AKSÜT, 1985 yılında Erzincan’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Erzincan’ın Üzümlü ilçesine bağlı Bayırbağ köyünde, Bayırbağ ilköğretim okulu’nda tamamlayan AKSÜT, 2003 yılında Erzincan Anadolu Lisesi’nden mezun oldu. 2005 yılında girdiği ÖSS sınavı sonucu Gaziantep Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2011 yılında mezun olarak lisans öğrenimini tamamladı. 2012 yılında Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans programına başladı. AKSÜT, 2012 yılında Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Halen bu görevini devam ettirmekte olan AKSÜT, İngilizce bilmektedir.