

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GÜMÜŞHANE YÖRESİ MAGMATİK KAYAÇLARIN BETON AGREGASI
OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa Ülkan ÖZDEMİR

ARALIK 2014
GÜMÜŞHANE

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**GÜMÜŞHANE YÖRESİ MAGMATİK KAYAÇLARIN BETON AGREGASI
OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mustafa Ülkan ÖZDEMİR

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
“İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı”

Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 21.11.2014

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 17.12.2014

ARALIK 2014



KABUL ve ONAY



Yrd. Doç. Dr. Hakan BOLAT danışmanlığında **Mustafa Ülkan ÖZDEMİR** tarafından hazırlanan “**GÜMÜŞHANE YÖRESİ MAGMATİK KAYAÇLARIN BETON AGREGASI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**” isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.

Başkan

:

Yrd.Doç.Dr. Alaaddin VURAL

Üye (Danışman)

:

Yrd.Doç.Dr. Hakan BOLAT

Üye

:

Yrd.Doç.Dr. Mustafa ÇULLU

ONAY

Bu tez 31 / 12 /2014 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

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

Bu çalışma GÜBAP projeleri kapsamında desteklenmiştir.

Proje No: 2012.02.1711.2

ÖZET
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GÜMÜŞHANE YÖRESİ MAGMATİK KAYAÇLARIN BETON AGREGASI
OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mustafa Ülkan ÖZDEMİR

Gümüşhane Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Hakan BOLAT
2014, 77 sayfa

Bu çalışmada Türkiye'nin jeolojik zenginliği ile bilinen Gümüşhane yöresinde çokça bulunan granit, diyorit, andezit ve referans olarak kireçtaşı türü kayaçların beton agregası olarak kullanılması araştırılmıştır. Agregalar üzerinde fiziksel, kimyasal, petrografik analizleri ve agregaların arazideki konumları-haritalama çalışmaları yapılmıştır. Toplam dört farklı agrega türünden ve üç dayanım sınıfından oluşturulan 12 tür beton üzerinde fiziksel ve mekanik testler yapıldı. Bunlardan en önemlisi basınç dayanımı; tahribatlı tek eksenli, tahribatsız yüzey sertliği, ultrasonik yöntem ve bileşik yöntem olarak dört farklı yöntemle 3., 7. ve 28. günlerde belirlenmiştir.

Genel olarak betonların tümünde hedeflenen dayanımlara ulaşılmıştır. 28 gün sonunda kireçtaşı betonlara göre sırasıyla diyorit, granit ve andezit betonlar daha yüksek

dayanım göstermişlerdir. Kireçtaşı agregalara göre; diyorit betonlar %4-14, granit betonlar %6.6-21 ve andezit betonlarda %33.3-48 aralıklarında daha yüksek dayanım göstermişlerdir. Bunun dışında kapiler su emme, birim hacim ağırlık, porozite ve çökme deneyleri yapılmıştır. En çok kapiler su emme değerleri kireçtaşı betonlarda, en az ise andezit ve granit betonlarda görülmüştür. En düşük su emme oranı % 2.80 oranla yüksek dayanımlı kireçtaşı betonda, en yüksek ise % 8.41 oranla yüksek dayanımlı diyorit betonda görülmüştür. En yüksek birim hacim ağırlığın diyorit betonlarda, en düşük kuru birim hacim ağırlığının ise kireçtaşı betonlarda olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak Gümüşhane yöresinin andezit, granit ve diyorit türü kayaçların beton üretimi için uygun olduğu saptanmıştır.

Anahtar kelimeler: Agregat, Andezit, Basınç, Diyorit, Granit, Kapilarite, Kireçtaşı

ABSTRACT
MS THESIS

INVESTIGATION OF THE USABILITY OF GUMUSHANE REGION
MAGMATIC ROCKS AS CONCRETE AGGREGATES

Mustafa Ülkan ÖZDEMİR

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

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Hakan BOLAT
2014, 77 pages

In this study, Gumushane region of Turkey, known for its wealth of rock and greatly mounts of the granite, andesite, diorite and as reference limestone types magmatic rocks are investigated use of as concrete aggregates. The physical, chemical, petrographic and lithological mapping studies were performed on aggregate types. The physical and mechanical tests were performed on total 12 types of concretes to produced four different types aggregate and three different strength class. The most important compressive strength; destructive uniaxial, non-destructive surface hardness, ultrasonic method and compound method were determined on 3rd, 7th and 28th days. Generally all the target strengths of concrete has been reached. However, at the end of 28 days, the diorite, granite and andesite concretes respectively showed higher strength than limestone concretes.

According to the limestone aggregates, diorite concrete between 4-14%, granite concretes between 6.6 to 21% and andesite concretes between 33.3 to 48% showed higher strength. Moreover, capillary water absorption, unit density, visible space and slump tests were performed. The most capillary water absorption of limestone concrete, the least of andesite and granite concretes were determined. The most water absorption of diorite concrete the rate of 8.41%, the least of limestone concrete the rate of % 2.80% were determined. The most unit density of diorite concrete, the least of limestone concrete were determined. Consequently, the andesite, granite and diorite rock types of region Gumushane were evaluated suitable for the production of concrete.

Keywords: Aggregate, Andesite, Pressure, Diorite, Granite, Capillarity, Limestone

TEŞEKKÜR

Gümüşhane yöresi volkanik kayaçların beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılmasını konu alan bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında, Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Gümüşhane yöresindeki magmatik kayaçların beton üretimine katılmasıyla çevresel ve ekonomik anlamda katkı sağlayacağına inandığım bu çalışmanın planlanmasından yazımına kadar geçen her aşamada, çalışmalarına yön vererek yardım ve bilgi konusunda bana her türlü desteği sağlayan danışman hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. Hakan BOLAT'a içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Katkılarını esirgemeyerek bu çalışmada ve yüksek lisans öğrenimim boyunca her türlü desteği sağlayan değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Mustafa ÇULLU'ya, Yrd. Doç. Dr. Alaaddin VURAL'a şükranlarımı sunarım.

2012.02.1711.2 No'lu projeme destek veren Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca, her konuda destek ve yardımını esirgemeyen değerli dostum Ertan TUNCER'e, laboratuvar çalışmalarımda yardımını esirgemeyen Haydar ERTAŞ'a teşekkür ederim.

Tüm eğitim ve öğrenimim süresince her türlü kahrımı çeken ve maddi manevi desteğini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mustafa Ülkan ÖZDEMİR
Gümüşhane, 2014

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET.....	III
ABSTRACT	V
TEŞEKKÜR	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XII
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı	3
2. GENEL BİLGİLER	5
2.1. Betonun Basınç Dayanımı	8
2.1.1. Beton Basınç Dayanımının Belirlenmesi.....	9
2.1.2. Basınç Dayanımına Etki Eden Etkenler	12
2.2. Kayaçlar	17
3. LİTERATÜR TARAMASI	20
4. MATERYAL VE METOT	25
4.1. Materyal	25
4.1.1. Beton Üretiminde Kullanılan Kayaçlar	25
4.1.1.1. Kireçtaşı	26
4.1.1.2. Granit	28
4.1.1.3. Andezit.....	29
4.1.1.4. Diyorit.....	30
4.1.2. Çimento.....	32
4.1.3. Su	33
4.2. Metot.....	33
4.2.1. Betonların Üretimi	33
4.2.2. Çökme Deneyi	37
4.2.3. Basınç dayanımı.....	38
4.2.4. Kapiler Su Emme.....	42
4.2.5. Sertleşmiş Beton Fiziksel Özellikleri	43
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	44
5.1. Taze Beton Bulguları ve Tartışma	44
5.1.1. Çökme deneyi	44
5.2. Sertleşmiş Beton Bulguları ve Tartışma	45
5.2.1. Basınç Dayanımı.....	45
5.2.2. Kapiler Su Emme.....	49
5.3. Sertleşmiş Beton Fiziksel Bulguları	51

Sayfa No

6.	SONUÇ VE DEĞERLENDİRME	54
7.	KAYNAKLAR.....	57
	ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Gümüşhane ili depremsellik haritası	3
Şekil 4.1. Kayaç temin noktaları ve sahanın jeoloji haritası	25
Şekil 4.2. Kireçtaşı yığının görünümü	27
Şekil 4.3. Granit yığının görünümü	28
Şekil 4.4. Andezit yığının görünümü	29
Şekil 4.5. Diyorit kayaç örneği	30
Şekil 4.6. Çalışmada kullanılan agregalarının granülometri eğrisi.....	32
Şekil 4.7. Düşey eksenli cebri karıştırılmalı mikser	34
Şekil 4.8. Betonun karışım zamanı çizelgesi	35
Şekil 4.9. Betonların üretimi	35
Şekil 4.10. Betonların kalıplara yerleştirilmesi.....	36
Şekil 4.11. Betonların kür edilmesi ve kalıplardan çıkarılması	36
Şekil 4.12. Betonların kür havuzuna yerleştirilmesi ve bekletilmesi.....	37
Şekil 4.13. Çökme deney düzeneği.....	37
Şekil 4.14. Numune başlıklama cihazı ve yüzeyi düzeltilmiş numune.....	38
Şekil 4.15. Tek eksenli tahribatlı basınç dayanımı tespiti	39
Şekil 4.17. Schmidt çekici ile basınç dayanımı tespiti	40
Şekil 4.18. Schmidt çekici geri tepme değerlerinden basınç dayanımının belirlenmesi	40
Şekil 4.19. Ultrasonik ses geçiş hızı ölçümü ile basınç dayanımı tespiti	41
Şekil 5.1. Beton dayanım sınıfına göre çökme değerleri	44
Şekil 5.2. Tek eksenli tahribatlı yöntemle elde edilen basınç dayanımları.....	45
Şekil 5.3. Yüzey sertliği yöntemiyle elde edilen basınç dayanımları	46
Şekil 5.4. Ultrasonik yöntemle elde edilen basınç dayanımları.....	47
Şekil 5.5. Bileşik yöntemle elde edilen basınç dayanımları	48
Şekil 5.6. Düşük dayanımlı betonların kapiler su emme miktarları	49
Şekil 5.7. Normal dayanımlı betonların kapiler su emme miktarları.....	50
Şekil 5.8. Yüksek dayanımlı betonların kapiler su emme miktarları.....	50

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 4.1. Kayaçların kimyasal özellikleri	26
Tablo 4.2. Kayaçların petrografik özellikler	26
Tablo 4.3. Çimentonun fiziksel, kimyasal ve dayanım özellikleri.....	32
Tablo 4.4. Çalışmada kullanılan betonların kodları	33
Tablo 4.5. Çalışmada kullanılan betonların 1 m ³ karışım tasarımları	34
Tablo 5.1. Sertleşmiş beton fiziksel özellikleri.....	52

SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Numunenin kesit alanı
a	: Deneye maruz beton örneğin alanı arasındaki ilişki
ASTM	: American Society for Testing and Materials
BYBD	: Bileşik yöntem ile basınç dayanımı tespiti
d	: Suyun yoğunluğu
DA	: Düşük dayanımlı andezit betonu
DD	: Düşük dayanımlı diyorit betonu
DDB	: Düşük dayanımlı beton
DG	: Düşük dayanımlı granit betonu
DK	: Düşük dayanımlı kireçtaşı betonu
D _{max}	: 22,4 mm'lik elekten geçen en büyük agrega boyutu
f _c	: Betonun basınç dayanımı (maksimum basınç gerilmesi)
f _{c_{sil}} /f _{c_{küp}}	: Standart boyutlu silindir numune dayanımı ile küp numune dayanımı
f _{ck}	: Betonun karakteristik basınç dayanımı
f _{cm}	: Betonun ortalama basınç dayanımı
GÜBAP	: Gümüşhane Üniversitesi Bilimsel Araştırma ve Geliştirme Projeleri Birimi
I	: Kapiler su emme
K	: Kompozite
KSE	: Kapiler su emme
L	: Numune boyu
m _t	: Beton örneğin zamana bağlı (t) gram olarak kütleindeki değişim
NA	: Normal dayanımlı andezit betonu
ND	: Normal dayanımlı diyorit betonu
NDB	: Normal dayanımlı beton
NG	: Normal dayanımlı granit betonu
NK	: Normal dayanımlı kireçtaşı betonu
P	: Kırılma yükü Numunenin kırılmasına neden olan maksimum yük miktarı
s/ç	: Su-çimento oranı
t	: Numune boyunca ultrases geçiş süresi
TEBD	: Tek eksenli tahribatlı basınç dayanımı tespiti
TS	: Türk Standartları

UBD	: Ultrasonik ses geçiş hızı ölçümü ile basınç dayanımı tespiti
US	: Beton basınç dayanımı
V	: Ses geçiş hızı
V_N	: Numunenin hacmi
W_{DA}	: Numunenin doygun ağırlığı
W_{KA}	: Numunenin kuru ağırlığı
YA	: Yüksek dayanımlı andezit betonu
YD	: Yüksek dayanımlı diyorit betonu
YDB	: Yüksek dayanımlı beton
YG	: Yüksek dayanımlı granit betonu
YK	: Yüksek dayanımlı kireçtaşı betonu
YSBD	: Schmidt çekici ile yüzey sertliği ile basınç dayanımı tespiti

1. GİRİŞ

Dünyada en yaygın kullanılan yapı malzemelerinin başında beton gelmektedir (Şimşek, 2004). Beton, istenilen dayanımın elde edilebilmesi, istenilen şeklin verilebilmesinden dolayı tercih edilmektedir. Beton, mineral kökenli taneli malzemenin bir bağlayıcı ile birleştirilmesi ile üretilen yapay bir taştır. Tüm betonlarda aranılan üç ana nitelik; taze halde işlenebilme, sertleşmiş halde mekanik dağılım ve dış koşullara karşı dayanıklılıktır. Betonun uzun süreli davranışı, döküm tekniği, ekipman kalitesinin devamlılığı, kalite kontrol deneyleri, betonda ekonomi, yeni malzemeler, katkı maddeleri konularında büyük gelişmeler olmuştur. Betonun taze haldeki yapısı, onun kolaylıkla istenilen formda üretilmesine olanak sağlar (Akman, 1998).

Beton belirli bir maliyeti olan ve çeşitli bileşenlerden oluşan bir yapı malzemesidir. Özellikle yapı sektöründe ekonomik açıdan dikkate alınması gerekir. Bu sebeple, yapılan bütün çalışmalar daha ekonomik bir beton elde etmek amaçlanarak yapılmaktadır. Ekonomik beton elde etmek için, beton üretilecek bölgenin ekonomik şartları, topoğrafik yapısı ve büyük şehirlere nazaran avantajları ve dezavantajlarının detaylı bir şekilde irdelenmesi gerekmektedir. Öncelikle beton bileşenlerinin temini esas alındığında, taşıma ve akaryakıt giderlerinin önemli maliyetler tutması da beton maliyetini ciddi anlamda etkilemektedir.

Betonun maliyetini arttıran en büyük faktör çimentodur. Bu nedenle araştırmacıların farklı birçok kayaç türünü beton üretiminde kullanarak daha az çimento ile daha çok dayanım elde etme çabaları her geçen gün devam etmektedir.

Beton üretiminde kullanılan mineral kökenli, kum, çakıl ve kırma taş gibi taneli yapı malzemelerine agregas adı verilmekte olup, agregalar betonun toplam hacminin %70'ini oluşturur. Agregalar beton maliyeti etkileyen diğer bir bileşendir (Neville, 2011).

Ülkemizde doğal agregalarla ilgili olarak yapılan çalışmalar daha çok beton agregaları üzerine yoğunlaşmıştır.

Türkiye genelindeki agrega işletmelerinde başlıca üç tip kayacın üretimi yapılmaktadır. Bunlar sedimenter kökenli karbonat kayaçlar (kireçtaşı, dolomit ve kalsit), detritik kayaçlar (kumtaşı vb.) ve volkanik kökenli kayaçlardır (bazalt ve andezit). Bu

kayaçların üretim dağılımı; %96 karbonat kökenli kayaçlar, % 3 volkanik kökenli kayaçlar, %1 Detritik kayaçlar şeklindedir. Görüldüğü gibi kırma-taş üretimi yüksek ağırlıklı olarak karbonat kökenli kayaçlardan yapılmaktadır (Öztürk vd, 2007).

Agreganın beton yapımında ekonomik ve teknik yönden çok önemli bir konumu bulunmaktadır. Agreganın maliyeti çimentoya göre oldukça düşük olduğundan, agrega betonda kullanılan ve oldukça ucuz olan bir dolgu malzemesi olarak kabul edilmektedir. Betonda agrega kullanılması, sertleşen betonun hacim değişikliğini önlemekte veya azaltmakta, çevre etkilerine karşı betonun dayanıklılığını artırmakta ve kendi dayanım gücünün yüksekliği nedeniyle betonda gerekli dayanımın sağlanmasına yardımcı olabilmektedir (Cilason, 1992).

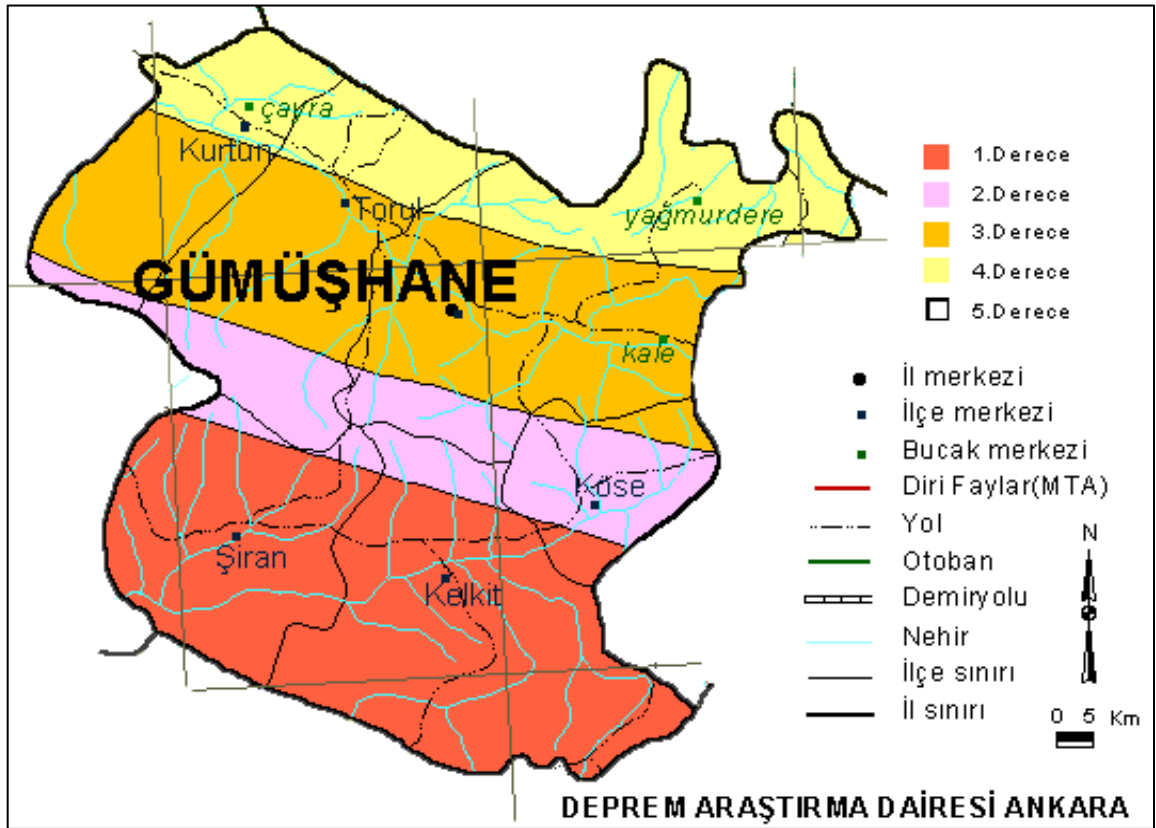
Taşıyıcı, olumsuz şartlara ve ağır yüklere maruz betonlarda en çok basınç dayanımı önem taşımaktadır. Basınç dayanımının yüksek çıkması diğer mekanik ve fiziksel özelliklerinde iyi olması anlamına gelmektedir (Mehta vd, 2006, Erdoğan, 2010). Genel olarak betonun basınç dayanımını agrega türü (Kılıç vd, 2008, Kim vd, 2010), agrega granülometrisi (Ke vd, 2009, Rocco vd, 2009), betonun kompozitesi (Ramli vd, 2013, Taoukil vd, 2013), karışım oranları, su/çimento oranı, çimento hamurundaki boşluk oranı, agrega/çimento oranı (Amparano vd, 2000, Erdoğan, 2010, Neville, 2011, Proske vd, 2013,), malzeme özellikleri, çimento, agrega, karışım suyu (Beshr vd, 2003, Yaşar vd, 2004), karma suyu kalitesi, sıkıştırma işlemi (Erdoğan, 2010, Neville, 2011), beton kür ortamı, kür süresince ısı ve nemin etkisi, zararlı çevre ve kür ortamları (Özer vd, 2004, Erdoğan, 2010), sülfat etkisi (Shannag vd, 2003, Ç. ve Ş.Bakanlığı, 2007), donma çözülme etkisi (TS EN 12350-2, TS EN 12390-3) etkilemektedir.

Ülkemizdeki yapılarda kullanılan beton sınıflarının giderek yükselmesi ve yüksek dayanımlı betonların üretilmeye başlanması hazır beton üreticilerinin istenilen özelliklerde ve üniform kaliteye sahip agregalara olan ihtiyacı arttırmaktadır. Her ne kadar ülkemizde yaygın doğal agrega kaynakları bulunsun da, gün geçtikçe artan çevresel ve ekonomik kısıtlamalar dikkate alındığında gelecekte özellikle büyük şehirlerde kaliteli agrega temin etmenin güçleşeceği düşünülmektedir. Bu durumun bir sonucu olarak da hazır beton üreticilerinin farklı ocaklardan agrega temin etme ihtiyacı da artacaktır (Özkan vd, 2013).

1.1. Çalışmanın Amacı

Anadolu'nun küçük illerinden biri olan Gümüşhane özellikle üniversitenin kurulması ile birlikte sürekli gelişmektedir. Her geçen gün artan öğrenci sayısı ile birlikte artan nüfusun bir gereği olarak yeni yapılara ihtiyaç duyulması ve beton ihtiyacının artması, betonun ekonomik olarak elde edilebilmesi açısından önemli olduğunu göstermektedir.

Yüzölçümü olarak küçük bir ilimiz olan Gümüşhane, topoğrafik açıdan dağlık olması ve tektonik konumu gereği 1. 2. 3. ve 4. derece deprem kuşaklarında bulunmasından dolayı daha kaliteli bir üretim ve dayanımı yüksek betonların kullanılması gerekmektedir. Şekil 1.1.'de Gümüşhane ilinin depremsellik haritası görülmektedir (URL-1).



Şekil 1.1. Gümüşhane ili depremsellik haritası

Yapılan tez çalışmasında, Gümüşhane yöresinde bulunan magmatik kayaç türü olarak bilinen granit, diyorit ve andezitin beton agregası olarak kullanılabilirliğinin deneysel yöntemlerle araştırılması amaçlanmıştır. Bu volkanik kayaç türleri ve bunlara referans olması için, beton üretiminde en çok kullanılan kireçtaşı ile düşük dayanımlı, normal dayanımlı ve yüksek dayanımlı olmak üzere toplamda 12 tür beton üretilmiştir. Belirlenen amaç doğrultusunda betonlar üzerinde 3., 7. ve 28. günlerde basınç dayanımı, kapiler su emme, birim hacim ağırlık, su emme oranı, porozite ve kıvam testleri yapılmıştır. Tez kapsamında elde edilen test sonuçları üzerinden kireçtaşı agregalı betonlara göre granit, diyorit ve andezit agregalı betonların değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

Beton, insanların yasadıkları konutların, işyerlerinin, okullarının, spor tesislerinin, arabalarını park ettikleri yerlerin ve kullandıkları sosyal donatıların büyük bir bölümünün yapımında kullanılmaktadır. Üzerinde yürünen kaldırımlarda, seyahat edilen ve insan gereksinimi olan malların getirilip götürüldüğü karayollarının, demiryollarının, havaalanlarının ve limanların yapımında, içme suyu veya atık suların depolandığı tanklar ve bu suların taşındığı boruların, enerji üretimi için kurulan barajların ve atom reaktörlerinin bir bölümünde enerji nakli için kullanılan direklerin yapımında ve tarımsal yapıların yapımında beton kullanılmaktadır (Baska, 2006).

Beton, basınç dayanımı yüksek bir malzeme olmakla birlikte çekme dayanımı düşüktür. Bu yüzden de çekme etkisine karşı kullanılması da güvenli değildir. Çekme zayıflığını ortadan kaldırmak için, 19 yy. ikinci yarısında, çekme dayanımı yüksek olan çelik ile beraber kullanılmaya başlanmasıyla demir takviyeli beton yani betonarme ortaya çıkmıştır (Kaplan, 2003).

Beton üretiminde kullanılan kum, çakıl, kırmataş gibi malzemelere agregalar denilmektedir. Beton agregaları minerallerden oluşmuş taneli malzemelerdir. Agregalar esas olarak bir dolgu malzemesidir ve en önemli fonksiyonu betonda oluşabilecek hacim değişikliğini azaltmaktır (Baradan, 1998, TS 2940, 1980). Beton içinde hacimsel olarak %60–80 dolayında yer işgal eden agregalar önemli bir bileşendir. Agregalar tane boyutlarına göre ince (kum, kırma kum gibi) ve iri (çakıl, kırmataş gibi) agregalar olarak ikiye ayrılır. Kum, çakıl ve kırma taş, normal ağırlıklı beton yapımında en çok kullanılan agregalar cinsleridir (TS 2940, 1980).

Betonda kullanılacak agregalar; mümkün olduğunca sert, dayanıklı ve boşluksuz olmalı, zayıf taneler içermemeli, basınca ve aşınmaya dayanıklı olmalı, toz, toprak ve betona zarar verebilecek maddeler içermemeli, yassı ve uzun taneler içermemeli, çimento ile zararlı reaksiyona girmemelidir (Uluata, 1981). Agreganın kirli (kil, silt, mil, toz) olması aderansı olumsuz etkilemekte, ayrıca bu küçük taneler su ihtiyacını da

arttırmaktadır. Betonda kullanılacak agregalar TS 706 EN 12620'ye uygun olmalıdır (TS 706 EN 12620, 2003).

Kolay işlenebilir, dayanıklı, dayanımlı bir betonun ucuz elde edilebilmesi üretilecek betonda su/çimento oranının düşük olması, yoğurma suyunun yeterli olması, agrega en büyük tane büyüklüğünün uygun, seklinin yuvarlak ve uygun granülometride olması karışımda homojenliği sağlar. Ayrıca yapı çeşidine uygun beton sınıfının seçilmesiyle birlikte kullanılacağı yere yerleştirilmiş olan beton yüzeyinin pürüzsüz olması ve betonun yeteri kadar korunmuş (kür edilmiş) olması gerekmektedir (Baska, 2006).

Genel olarak üretilen betonun dayanıklı, dayanımlı, işlenebilir ve ucuz olması istenir. Bunların bir kısmı taze betonun, bir kısmı da sertleşmiş betonun özellikleridir. Bu nedenle betonun özelliklerini taze beton ve sertleşmiş beton olarak incelemek daha uygun olur. Malzemenin karılmasıyla elde edilen plastik durumdan ve akıcılığının kimyasal reaksiyon nedeniyle giderek azalıp katılaşmaya başladığı zamana kadarki haline taze beton denilmektedir (Erdoğan, 2003). Taze beton, karışma işlemi bitmiş, fakat henüz priz yaparak plastikliğini kaybetmemiş betondur (Ekmekyapar ve Örüng, 2001). Taze betonun taşınması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması sırasında uygulanan işlemler sertleşmiş betonun sertleşmiş durumdaki özelliklerine etki eder. Taze betonda aranan en önemli özellikler işlenebilme, birim ağırlık ve hava miktarıdır (Erdoğan, 2003).

Dayanımını kısmen de olsa kazanmış betona sertleşmiş beton denilmektedir. Ancak genelde sertleşmiş beton denildiğinde 28 günlük veya daha yaşlı betonlar anlaşılmaktadır (Akman, 1990, Ekmekyapar ve Örüng, 2001).

Sertleşmiş betondan beklenen özellikleri şöyle sıralamak mümkündür (Erdoğan, 2003, Şimşek, 2004, Erdoğan, 2010, Neville, 2011):

- Betonun 7–28 ve 90 günlük dayanımları hedeflenmiş olan minimum beton dayanımından daha az olmamalıdır.
- Çevredeki su ve sıvıların beton içerisine girerek olumsuz etki oluşturmaması için yeterince geçirimsiz olmalıdır.

- Donma-çözülme, ıslanma-kuruma, ısınma-soğuma, aşınma, asit, alkali-agrega reaksiyonu gibi kimyasal reaksiyonlara karşı dayanıklılık gösterebilmelidir. Başka bir deyişle durabilitesi yüksek olmalıdır.

- Hacim sabitliğine sahip olmalıdır. Yani çatlamalara neden olabilecek ölçüde rötre ve genişleme yapmamalıdır.

Basınç dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü, poisson oranı, ısısal genleşme katsayısı, rötre, sünme, yorulma, dış etkilere dayanıklılık sertleşmiş betonun önemli özellikleridir (Akman, 1990, Erdoğan, 2003). Betonun çok değişik yapılarda ve çok değişik amaçlarla kullanılan önemli ve yaygın bir yapı malzemesi olarak kullanılmasının nedeni bu malzemenin sahip olduğu üstün özelliklerden kaynaklanmaktadır. Betonun diğer yapı malzemelerinden daha elverişli kılan özellikleri onun üstünlükleridir (Baska, 2006).

Yapı tasarımı yapıda kullanılacak betonun basınç dayanımı önemli bir tasarım ölçütüdür. Bu ölçüte göre yapı elemanlarının (yapı bileşenlerinin) taşıma gücü belirlenmekte ve kesit alanları seçilmektedir. Betonarme yapılarda betonun basınç dayanımı taşıma gücünün temelini oluşturur. Öte yandan betonun nitelik denetiminde evrensel bir büyüklük olarak basınç dayanımı kullanılmaktadır. Betonun basınç dayanımının yapıların tasarımında; taşıma gücünün temelini oluşturması, betonun mekanik dayanımları arasında en yüksek değerin basınç dayanımı olması, basınç dayanımının betonun diğer özellikleriyle paralellik göstermesi, betonun nitelik denetiminde basınç dayanımının evrensel bir büyüklük olarak kabul edilmesi, betonun basınç dayanımı deneyinin diğer dayanım deneylerine göre daha kolay olması, beton sınıflarının oluşturulmasında beton basınç dayanımının temel alınması vb. nedenlerle betonun dayanımları arasında en çok inceleneni, bir başka deyişle en önemli olanı basınç dayanımıdır (Baska, 2006).

Yapıların tasarımında betonun belirli bir basınç dayanımına sahip olacağı kabul edilmekte ve hesaplar buna göre yapılmakta ve bu hesaplar sonunda yapı elemanlarının kesit alanları seçilmektedir. Betonun belirli bir dayanıma sahip olmasının yanı sıra basınç dayanımının en yüksek olması, basınç dayanımının betonun diğer özellikleri ile paralellik göstermesi, beton sınıflarının oluşturulmasında basınç dayanımını ölçüt alınması, betonun nitelik denetiminde basınç dayanımının evrensel bir büyüklük olarak kullanılması vb.

nedenlerle betonun basınç dayanımı, betonun özellikleri arasında en çok aranan ve kullanılan dayanım özelliğidir (Akman, 1990, Erdoğan, 2003).

2.1. Betonun Basınç Dayanımı

Beton basınç dayanımı, eksenel basınç yükü altındaki betonun kırılmamak için gösterdiği direnme yeteneği (eksenel basınç yükü etkisiyle betonda oluşan maksimum gerilme) olarak adlandırılır (Erdoğan, 2003). Betonun üzerine gelen yüklerin neden olabilecek şekil değişmelerine ve kırılmaya karşı gösterdiği direnmeye betonun dayanımı denilmektedir (ASTM C 39, 1994). Beton yapılar çeşitli yüklerin etkisi altında kalmakta ve yükün cinsine göre (basınç, çekme, kesme vb.) bu malzemenin çeşitli özelliklere sahip olması beklenmektedir. Ancak bu özellikler birbirinden bağımsız olmayıp aralarında yakın ilişkiler bulunmaktadır. Betonun mekanik dayanımları (basınç, çekme, kesme, eğilme vb.) arasında en önemlisi ve en büyük değere sahip olanı basınç dayanımıdır. Bu nedenle yapılarda kullanılan beton, basınç dayanımına maruz bırakılarak kullanılır (Bayülke, 2001).

Beton araştırmalarında en çok kullanılan ve en popüler olanı basınç dayanımıdır. Bunun nedenleri ise şöyle sıralanabilir (Akman, 1990, Erdoğan, 2003):

- Basınç dayanımının bulunabilmesi için uygulanan deney yöntemleri diğer dayanım türlerinin bulunabilmesi için uygulanan yöntemlerden daha basittir.

- Yapılan tüm tasarımlarda betonu basınç dayanımı değeri esas alınır. Birçok yapıda betonun önemli miktarda çekme, eğilme, yorulma gibi değişik yüklere maruz kalmayacağı varsayılmakta ve betonun üzerine gelen en önemli yüklerin basınç yükü oldukları kabul edilerek hesap yapılmaktadır.

- Betonun basınç dayanımı ile çekme ve eğilme dayanımları arasında yaklaşık da olsa bir ilişki bulunmaktadır. O nedenle basınç dayanımı bilindiği takdirde diğer türdeki dayanımların büyüklükleri hakkında bir fikir elde edilmektedir

- Basınç dayanımının bilinmesi betonun diğer özellikleri hakkında kalitatif bilgi sağlamaktadır. Örneğin basınç dayanımın yüksek olması betondaki su geçirirliğinin az olduğunu ve dayanıklılığının yüksek olduğunu işaret etmektedir.

- Betonlar projelendirmede belirli sınıflara bölünmüştür. Bu sınıflandırmalardaki amaç, betonun belirli bir özelliğini diğer tüm özelliklerinin ölçütü varsayma ilkesine dayanmaktadır. Beton sınıfının oluşturulmasında bu belirgin özellik beton basınç dayanımıdır.

2.1.1. Beton Basınç Dayanımının Belirlenmesi

Betonarme yapılarda betonun basınç dayanımı taşıma gücünün temelini oluşturur. Taşıma gücünün tahmin edilebilmesi için beton niteliğinin, özellikle basınç dayanımının belirlenmesi gerekir. Yapıların tasarımında betonun belirli bir basınç dayanımına sahip olması kabul edilmekte ve hesaplar ona göre yapılmaktadır. Bu hesaplar sonucunda yapı elemanlarının taşıma gücü belirlenmekte ve kesit alanları seçilmektedir. Bu nedenle yapının yapımı aşamasında üretilen betonun nitelik denetimi yapılarak projede öngörülen dayanım değerlerinin sağlanıp sağlanmadığının kontrol edilmesi gerekir. Bu amaçla üretilen taze betondan hazırlanan numuneler üzerinde standart yöntemle (laboratuvar) betonun basınç dayanımı testleri yapılmalıdır. Standart deney yöntemiyle bulunan basınç dayanımı betonun potansiyel basınç dayanımı olarak kabul edilmektedir.

Betonu oluşturan malzemelerin oranlarındaki muhtemel farklılıklar, betonun dökümü sırasında yerleştirme 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 betonun yerinde/yapıda basınç dayanımının, standart deney yöntemiyle belirlenmiş basınç dayanımından her zaman daha düşük değerde olmasına yol açmaktadır. Bu nedenle yapıda kullanılan sertleşmiş betonun yerinde/yapıda basınç dayanımının belirlenmesi 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 kuskunun ortaya çıkması durumunda da betonun yerinde dayanımının belirlenmesi gerekir. Yapıdaki betonun basınç dayanımı gerçek basınç dayanımı olarak adlandırılmaktadır (Arioğlu vd, 1998, Erdoğan, 2003).

Bu açıklamalar ışığında betonun basınç dayanımının belirlenmesini aşağıdaki şekilde ikiye ayırarak incelemek gerekir.

- Betonun basınç dayanımının taze betondan üretilen numuneler üzerinde standart deney yöntemiyle belirlenmesi,
- Betonun basınç dayanımını yerinde / yapıda belirlenmesi.

Betonun basınç dayanımının taze betondan üretilen numuneler üzerinde standart deney yöntemiyle belirlenmesi

Betonun basınç deneyinin yapılması için beton standartlarında belirtilen boyutlara sahip silindir (15x30 cm) veya küp (15x15x15 cm) numune kalıpları kullanılır. Bu kalıplar taze betondan alınan numunelerle standartlara uygun şekilde doldurulur ve bir gün sonra kalıplardan çıkarılır. Çıkarılan sertleşmiş beton numuneler deney tarihine kadar (genellikle 28 gün) 23 ± 2 °C ve %95 bağıl nem ortamına sahip bir kür odasında veya 23 ± 2 °C sıcaklığa sahip ve kirece doymuş su içerisinde bekletilmektedir. Deney için hazırlanan numuneler başlıklama yapılarak üst ve alt yüzeyleri pürüzsüz duruma getirilir (ASTM C 39, 1994, TS EN 13791, 2010, TS EN 12390–3, 2012).

Başlıklama veya baslık yapılması, numunenin alt ve üst kısımlarını pürüzsüz ve düz yapmak için betonun dayanımını etkilemeyen bir malzeme ile numunenin alt ve üst yüzeylerinin kaplanmasıdır. Baslık, baslık yapılan yüzeyin tamamını kaplamalı ve kalınlığı yanal yüzeylerin yüksekliğinin %2'sini geçmemelidir. Genel olarak 5 mm'den daha fazla kalın olmamalıdır. Baslık deneyden hemen önce veya üretimden hemen sonra yapılabilir. Baslık kaplama malzemesinin dayanımı beton dayanımından daha zayıf olmamalı ve aralarında dayanım farkı fazla olmamalıdır. İdeal bir kaplama malzemesinin dayanım ve elastik özellikleri betonun özellikleri ile aynı olmalı ve çatlamaya eğimli olmamalıdır.

TS EN 12390–3 standardı baslık yapımında kükürt-grafit tozu veya kükürt-filler karışımının, çimentonun ve çimento-alçı karışımının kullanılabileceğini belirtmektedir. Yaklaşık olarak %70 kükürt + %30 grafit tozundan veya uygun fillerden oluşan karışım özel bir kap içerisinde yaklaşık 125 °C'ye kadar ısıtılır. Eriyen karışım; özel olarak cam ve metalden yapılmış, ortasında silindir tabanının kolayca oturabileceği kadar derinleştirilmiş

(yaklaşık derinlik 12 mm) plakaya dökülür. Silindir numunenin baslık yapılacak yüzü bu karışımın üzerine silindir eksenini düşey olacak şekilde oturtulur ve soğuyup sertleşmesi beklenir. Deney numunesi başlıklama işleminden en az iki saat geçmeden deneye tabi tutulmamalıdır. Çimento ile su karıştırılarak elde edilen koyu kıvamdaki çimento hamuru baslık yapımında kullanılabilir. Çimento hamuru derinliği en az 6 mm olan cam veya 12 mm olan metal plakaya doldurulur. Silindir numune silindir eksenini düşey olacak şekilde bu plakaya oturtulur. Silindir deney numunesi çimento hamuruyla başlıklandıktan sonra üç gün nemli olarak muhafaza edilmeli ve daha sonra deney tabi tutulmalıdır. Çimento ve alçı, hacimce yaklaşık olarak yarı yarıya karıştırılır ve su katılarak deney numunesi başlıklardır. Baslık yapıldıktan sonra deney numunesi en az 24 saat geçmeden deneye tabi tutulmamalıdır. Hazırlanan numuneler deney gününe kadar standartların belirttiği kür ortamında saklandıktan sonra deney presinde uniform basınç yükü altında kırılmaya tabi tutulmaktadır. Basınç dayanımının belirlenmesinde beton numuneye uygulanan yük 0.14–0.35 N/mm².s olması gerektiği belirtilmektedir. Basınç dayanımı, kırılma yükünün numunenin basınç uygulanan kesit alanına bölünerek aşağıdaki şekilde hesaplanır (Arioğlu vd, 1998):

$$f_c = P / A \quad (2.1)$$

Burada:

f_c : Betonun basınç dayanımı (maksimum basınç gerilmesi) (N/mm²)

P : Kırılma yükü Numunenin kırılmasına neden olan maksimum yük miktarı (N)

A : Numunenin kesit alanı (mm²)

Betonun basınç dayanımını yerinde / yapıda belirlenmesi

Beton ve betonarme yapı elemanlarının güvenliğinin belirlenmesinde betonunun basınç dayanımının olabildiğince doğru bir şekilde belirlenmesi gerekir. İdeal olanı yapım sırasında dökülen her parti betondan örnek alıp basınç deneyi yapmak ve deney sonuçlarının kayıtlarını tutmaktır. Ancak bitmiş ve yapı güvenliğinin belirlenmesi istenen bir yapıda mevcut betonun basınç dayanımının belirlenmesi yapı güvenlik değerlendirilmesinin en önemli aşamasıdır (Bayülke, 2001).

Betonun basınç dayanımının yerinde/yapıda belirlenmesi aşağıdaki durumlarda zorunlu hale gelir:

- Yapı ve yapı bileşenlerinde taze betonun mekanik özellikleri bilinmiyorsa veya daha önce yapılan deney sonuçları yetersiz ise,
- Kullanılan yapıda yangın, deprem, kimyasal tahribat, don etkisi, rötre ve sünme sonucu oluşan çatlaklar veya değişik çevre etkilerine maruz kalması sonucunda daha önceki değerlerin değişmiş olduğu konusunda şüphe ortaya çıkmış ise,
- Yapının kullanım amacının değiştirilmesi sonucunda oluşan yük değerlerinin projede öngörülen sınırları aşması durumunda,
- Taze betondan alınan numunelerin proje dayanımını sağlamaması durumunda,
- Taze betondan alınan numunelerin test edilmesi sonucunda elde edilen değerlerin istenilen özellikleri sağlamadığı hakkında kuşku doğması durumunda,
- Dayanımı azaltabilecek büyük miktarda deformasyonları var ise betonun basınç dayanımının yerinde/yapıda belirlenmesi gerekir.

Betonun basınç dayanımının yerinde (yapıda) belirlenmesinde uygulanan yöntemler; yıkıntılı (hasarlı) yöntemler ve yıkıntısız (hasarsız) yöntemler olarak iki gruba ayrılır (Bayülke, 2001).

2.1.2. Basınç Dayanımına Etki Eden Etkenler

Basınç dayanımına etki eden etkenler;

- Su/Çimento oranı
- Çimento
- Yoğurma suyu
- Betonun kompozitesi
- Kür koşulları
- Boy/çap oranı
- Beton numunenin şekli
- Aynı boy/çap oranına sahip ancak farklı boyuttaki numuneler
- Yükleme hızı
- Yükün uygulama süresi

- En büyük agrega tane boyutu
- Agrega tazeliği
- Deney sırasında numunenin nem durumu
- Deney sırasında numunenin sıcaklığı

Su/Çimento Oranı: Su miktarını ayarlamak beton üretiminde önemli ve zor bir sorundur. İyi bir yerleşme ve işlenebilirlik sağlamak mühendisliğin birinci amacıdır. Bu amacı gerçekleştirmek için su/çimento oranının %55'i üstüne çıkmamasına çalışılmalıdır. İyi bir yerleşme ve işlenebilirlik için daha çok gerekli olduğu durumlarda agrega veya kumun değiştirilmesi yoluna gidilmelidir. Su/çimento oranı arttıkça betonun içerisinde yer alan boşluk miktarı daha çok olmakta ve bu nedenle basınç dayanımı değeri düşük elde edilmektedir. Su/çimento oranının düşük olması nedeniyle iyi yerleştirilemeyen betonlarda oluşacak boşluklar da basınç dayanımını düşürür. Örneğin betona gerekenden %20 daha fazla su konulması dayanımda %30; %20 daha az su kullanılması da dayanımda %60 oranında bir azalmaya neden olmaktadır (ASTM C 39, 2004).

Çimento: Çimento cinsi ve miktarı (dozajı) basınç dayanımını etkiler. Çimentonun yüksek dayanımlı olması betonun da yüksek dayanımlı olmasında etkisi büyüktür. Çimento dozajının fazla olması dayanımı arttırır. Ancak dayanıma etki eden yalnız dozaj değil, su/çimento oranı olduğu unutulmamalıdır. Beton karışım hesaplarında bir minimum dozaj değeri verilmiştir. Bundaki amaç, çimentonun agreganın tüm boşluklarında yer almasını sağlamaktır. Dozajın artmasıyla çimento tanelerine gelen basınç gerilme değerleri azalacaktır (Akman, 1990).

Yoğurma Suyu: Betonun üretiminde kullanılacak yoğurma suyunun içerisinde betonun prizine, dayanımına, dayanıklılığına ve betonarme yapılardaki donatının korozyonuna olumsuz etki yapacak yabancı maddeler bulunmamalıdır. Ayrıca kullanılacak yoğurma suyu, gerekenden az kullanılmaması sonucunda yeterli hidrasyon ve işlenebilirlik elde edilememektedir. Gerekenden fazla su ise beton içerisinde boşlukları arttırmakta ve böylece sertleşmiş betonun dayanımı ve dayanıklılığını olumsuz etkilemektedir (TS EN 12390-3, 2012).

Betonun Kompozitesi: Kompozite (k), 1 m³ taze betondaki katı ögelerin (agrega ve çimento) kapladığı mutlak hacim toplamıdır. İyi bir betonda kompozite k=%80 olmalıdır. Kompozitesi yüksek, dolu bir betonun basınç dayanımı da yüksektir. Kompozitenin küçük olması betonun boşluklarının fazla olması demektir. Boşlukların fazla olması ise dayanımı azaltır. Kompozitenin yüksek olması ise ancak agreganın kompozitesinin yüksek olmasıyla olasıdır. Agreganın kompozitesi, agreganın granülometrisine bağlı olduğundan agrega granülometrisinin uygun olması gerekir. Bunun için de olanaklar ölçüsünde betonda iri agrega fazla olmalı, ince agrega iri agreganın boşluklarını dolduracak kadar olmalıdır (Erdoğan, 2003).

Kür Koşulları (Dış Koşullar): Betonun sertleşme aşamasında uygulanan çevre koşullarına kür koşulları denilir. Bunlar ise nem ve sıcaklık olarak gruplanabilir. Nemi yüksek tutmak hatta doygun durumda tutmak koşuluyla sıcaklık 60 °C üzerine çıkıldığında (80–90 °C) dayanım artışı hızlanmaktadır. Bu yöntemle 1–2 gün gibi kısa bir zamanda istenilen dayanıma ulaşılır. Ancak bağıl nem %50'nin altına düşmesi beton bünyesindeki suyun buharlaşması, hidrasyon için gerekli suyun kalmaması anlamına gelir. Buharlaşmanın fazla olması yalnız hidrasyonu etkilemez, erken rötre denilen olayı önemli ölçüde arttırır. Bu da çatlaklı bir yapının oluşmasına neden olur. Hidrasyonu tamamlanmamış ve çatlaklı bir yapıya sahip bir betonun dayanımının düşük bir değer olacağı açıktır. Betonun basınç dayanımı, taze betonun silindir veya küp kalıplara doldurularak hazırlanan beton silindir veya küp numunelerin belli bir süre (standart olarak 28 gün sonra) basınç altında kırılmasıyla elde edilir (TS EN 13791, 2010).

Boy/çap oranı: Standart boyuttaki silindirin çapı 15 cm ve boyu 30 cm'dir. Boy/çap oranı 2'dir. Boy/çap oranı 2'den küçük numunelerin dayanımı boy/çap oranı 2 olan numunelerden daha büyük; boy/çap oranı 2 den büyük olan numunelerin basınç dayanımları ise boy/çap oranı 2 olan numunelerden daha küçük değerde olmaktadır (ASTM C 39, 2004).

Beton numunelerin küp veya silindir şeklinde olmasının basınç dayanımına etkisi: Küp numunelerden elde edilen basınç dayanımları silindir numunelerin basınç dayanımlarından %5 ila %30 arasında farklılık gösterir. 15x30 cm standart boyutlu silindir

numune dayanımı ile küp numune dayanımı arasındaki ilişki $f_{c,sil}/f_{c,küp}=0.8$ olarak kabul edilir (Erdoğan, 2003).

Aynı boy/çap oranına sahip ancak farklı boyutlardaki numunelerin betonun basınç dayanımına etkisi: Aynı betondan üretilen 7.5x15 cm; 10x20 cm; 15x30 cm; 20x40 cm ve 30x60 cm gibi boy/çap oranı 2 olan numunelerin basınç dayanımları birbirinden farklıdır. Numunenin boyutları küçüldükçe basınç dayanımı değeri artmaktadır (Erdoğan, 2003).

Yüklemeye hızının beton basınç dayanımına etkisi: TS EN 12390–3 standardı ve ASTM C 39’da basınç dayanımının elde edilme aşamasında numuneye uygulanan kırılma yükünün 14–35 kgf/cm².s olması gerektiği belirtilmiştir. Böyle bir yüklemeye hızında numune 2–3 dakikada kırılır. Düşük yüklemeye hızı uygulandığında elde edilen basınç dayanımı değeri düşük olmaktadır. Yüklemeye hızı arttıkça basınç dayanımı değeri artmaktadır (TS EN 12390–3, 2012).

Basınç deneyinde yükün uygulama süresinin etkisi: Beton numuneye uygulanan yükün hızı azaldıkça (yükün daha uzun süre uygulanması) elde edilen basınç dayanımı daha az olmaktadır. Yükün numune üzerinde uzun süre kalması dayanımın düşük çıkmasına yol açar. 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, 1974). Öte yandan fazla yüklemeye hızı uygulanan (yükün kısa sürede uygulanması) numunelerden daha büyük basınç dayanımı elde edilmektedir. Yük hızı 7 N/mm².s olarak uygulanan numunelerden elde edilen basınç dayanımı yük hızı 2.1 N/mm².s olarak uygulanan numunelerden elde edilen basınç dayanımı değerinden yaklaşık %10 daha yüksek olmaktadır (Troxell, 1968).

Numune kalıplarına yerleştirilen betondaki en büyük agrega tane boyutunun basınç dayanımına etkisi: Numune kalıplarına yerleştirilecek betonda en büyük agrega tane boyutunun, kalıbın çapının veya kalıp genişliğinin 1/3’ünden daha büyük olmaması gerekmektedir. Standart numunelerde en büyük agrega tane boyutu 5 cm’yi geçmemelidir.

Bu kurala uyulmazsa numunelerden elde edilecek basınç dayanımı değeri üniform olmamaktadır (Troxell, 1968).

Agrega tazeliği ve bozulmaların basınç dayanımına etkisi: Genel olarak andezit, granit ve diyorit gibi magmatik kayaların oluşum yaşlarına bakıldığında ve daha fazla çevresel etkilere maruz kaldığı düşünüldüğünde; beton basınç dayanımı üzerinde ciddi etkisinin olduğu düşünülmektedir (Vural, 2014).

Numunenin deney anındaki nemlilik durumunun basınç dayanımına etkisi: Aynı betondan üretilen ve nemlilik durumları farklı olan numunelerden elde edilen basınç dayanımı değerleri farklılık göstermektedir. Kuru numunelerden ıslak numunelere göre %10-15 daha yüksek basınç dayanımı değeri elde edilmektedir (Troxell, 1968).

Numunelerin deney anındaki sıcaklığının basınç dayanımına etkisi: Deney anında numunenin sıcaklığının yüksek olması durumunda elde edilecek basınç dayanımı daha düşük olacaktır. Aynı betondan üretilen fakat deney anındaki sıcaklıkları -4°C olan numuneler üzerinde yapılan deneylerde, sıcaklığı 21°C olan numunelerin basınç dayanımına göre %40 daha yüksek basınç dayanımı elde edilmiştir. Sıcaklığı 21°C olan numunelerin basınç dayanımı, sıcaklığı 55°C olan numunelerin basınç dayanımına oranla %15 daha fazla basınç dayanımı değeri vermektedir (Troxell, 1968).

Uygulamalarda 28. gündeki basınç dayanımının yanı sıra daha erken veya daha geç tarihlerdeki dayanımlar da önemli olabilmektedir. Örneğin, kalıpların daha erken sökülmesi gereken uygulamalarda veya erken dayanım aranan betonlarda 3 günlük veya 7 günlük basınç dayanımları önemli olmaktadır. Diğer taraftan barajlarda olduğu gibi kütle betonu kullanılan yapılarda ilk zamanlardaki dayanım çok büyük bir önem taşımamaktadır. Bu tür betonlarda sadece 90 günlük veya hem 28 günlük hem de 90 günlük dayanımının ne olması gerektiği düşünülerek malzeme oranları belirlenmektedir. Beton basınç dayanımı deneyinin yapılabilmesi için aynı betondan hazırlanmış en az 3 adet standart silindir veya küp numune gerekmektedir. Deneyler sonucunda her numune için elde edilen kırılma yükü numunenin kesit alanına bölünerek o numunenin basınç dayanımı hesaplanmaktadır (Ekmekyapar ve Örüng, 2001).

Deneylerde kırılan 3 adet numunenin basınç dayanımlarının ortalaması, betonun ortalama basınç dayanımı (f_{cm}) olarak ifade edilmektedir. Bu dayanım değeri beton sınıfı adı verilen dayanım değeriyle karşılaştırılır. Bu karşılaştırma sonucunda üretilen betonun hangi sınıfa girdiğine karar verilir (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 etkenin etkisiyle değişiklik göstermektedir. Belirli bir sayının denenmesiyle elde edilen minimum basınç dayanımının daha çok deneyler sonucunda bulunacak minimum basınç dayanımından daha yüksek olabilme olasılığı mevcuttur. Bu bakımdan projelendirme hesapları için minimum bir basınç dayanımı seçilir, ancak bu değerin altında bazı değerlerin olabileceği kabul edilmelidir. Yapı hesaplarında kullanılan bu minimum basınç dayanımı değerine karakteristik basınç dayanımı (f_{ck}) denilmektedir (Erdoğan, 2003).

TS 500 standardında karakteristik basınç dayanımı için, “üretilecek olan betondan alınacak numuneler üzerinde bulunan basınç dayanımlarının, bu değerden daha düşük olma olasılığının %10 olduğu değerdir” denilmektedir. Başka bir deyişle belirlenen basınç dayanımlarının %90’ının bu değerin üstünde olması gerekir, ancak %10’unun bu değerin altına düşmesine izin verilir. Taşıyıcı malzeme olarak kullanılan betonlar projelendirmede belirli sınıflara bölünmüştür. Bu sınıflandırmada esas betonun belirgin bir özelliğini diğer tüm özelliklerin ölçütü varsaymak kavramına dayanmaktadır. Bu belirgin özellik betonun basınç dayanımıdır. Beton sınıfları doğrudan deney sonuçlarına göre değil karakteristik basınç dayanımına göre yapılmaktadır (TS 500, 2000).

2.2. Kayaçlar

Doğada üç önemli kayaç grubu bulunur; magmatik, sedimanter ve metamorfiktir. Her bir grup kendi içerisinde çok geniş alt gruplara sahiptir. Dünyada kullanılan en yaygın sedimanter kayaçlar başta değişik tipte kireçtaşı ve dolomit olmak üzere, kumtaşları ve konglomeralardır. Metamorfik kayaçlar kuvarsit, kalsitik ya da dolomitik mermerler,

kristalin kireçtaşı ve dolomit, amfibolitler, bazı şist grupları ve değişik tipte gnayslardır. Magmatik kayaçların en yaygın tipleri ise granit, siyenit, diyorit, gabro, porfirler (değişik tipleri), riolit, andezit, trakiandezit ve bazalttır. Trakiandezit taşı bilindiği gibi, doğal endüstriyel hammadde olarak kullanılan bir kayaç türüdür. Ülkemizin hemen hemen her bölgesinde yaygın olarak bulunmakta olup, tersiyer ve kuvaterner dönemlerindeki volkanizmaya bağlı olarak oluşmuş trakiandezitik bileşimdeki (tüf, tüfit ve lavlar) magmatik kayaçların alt grubu kayaçlardır. Bu kayaçlar günümüzde olduğu gibi yüzyıllar boyu tarihin hemen her döneminde, her medeniyetin tas ustalarının ilgisini çekmiş ve kale surları, agora anfi tiyatro ve odeon gibi yapılarda, 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 tas kullanıcılarının tercihi olan “rustik” tarz, tarihi dokuyu anımsatma, pastel ve dingin renk ahengi sebebiyle birçok yapı projelerinde kaplama taşı olarak kullanılmaya başlanmıştır (Davraz ve Gündüz, 2006).

Hemen hemen tüm kayaçlar taşocağından ya da doğal kum-çakıl ocaklarından çıkarılır. Bu kaynaklar, bölgesel jeoloji, üretilebilirlik ve kayaç özellikleri açısından uygun nitelikte olmalıdır. Nihai ürünün mukavemet ve dayanıklılığını garanti etmek için, beton agregaları şu özellikleri sağlamalıdır (Davraz vd, 2012):

- Mekanik performans (parçalanma, aşınma ve parlatmaya direnç),
- Durabilite (çevre koşulları, özellikle donma/çözülme çevrimine direnç),
- Kimyasal Duraylılık (herhangi bir zararlı reaksiyona -çözünme, çiçeklenme vd.- direnç),
- Alkali agreg reaktivitesi (alkali gözenek solüsyonu ile agreg içeriğindeki zararlı minerallerin reaksiyonu),
- Zararlı maddeler (yumuşak ve parçalanabilir taneler, organik madde, düşük yoğunluklu malzeme vd.),
- Tane şekli ve dokusu (küresellik, yassılık, katılık ve aliterasyon),
- Tane boyut dağılımı (derecelenme ve ince madde miktarı),
- Diğer kullanım (beton özellikleri için) ya da belirlenmiş özellikler (özel kullanım için) yüzeysel rutubet, su içeriği, soğurma, özgül ağırlık, doluluk/boşluk oranıdır.

Agrega kalitesi bir seri standarda dayanarak kontrol edilir. Ayrıca, agreganın mekanik özellikleri, durabilite, kimyasal duraylılık, alkali reaktivite ve zararlı madde içeriği, onun kompozisyonu, dokusal ve yapısal karakteristikleriyle doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle mineralojik ve petrografik kayaç analizi, agrega kalitesini belirlemede son derece önem taşır (Davraz vd, 2012).

Kaya mühendisliğinde kaya malzemesinin yenilme özelliklerinin belirlenmesinde ve kaya kütle sınıflamalarında önemli bir parametre olan tek eksenli basınç dayanımının ölçümü ve tahmini yaygın olarak kullanılmaktadır (Dehghan vd, 2009). Ucuz, kolay, pratik, hasarsız bir deney yöntemi olan Schmidt çekici ile sertlik tayini ise kaya ve betonların sertlik dayanımlarının tayininde 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 basit, daha hızlı ve daha ekonomiktir (Karaman vd, 2011).

Schmidt çekici beton sertliğini test etmek için ilk olarak 1948 yılında geliştirilmiştir. Sonraları kaya dayanımını test etmede kullanılmaya başlanmıştır (Katz vd, 2000). Schmidt sertlik değeri 1960'lı yılların başından itibaren kayaçların tek eksenli basınç dayanımlarını tahmin etmek için kullanılmaya başlanmıştır (ASTM D 5873, 2001, Andrew ve Goudie, 2006). Fakat Schmidt çekici yöntemi çok yumuşak ve çok sert kayaçlarda sağlıklı sonuçlar vermemektedir (Şimşek, 2004).

Schmidt çekici ile okunan geri tepme sayısını etkileyen etkenler; kullanılan çekiç tipi, test edilen kayacın ayrışma durumu, kayaç yüzeyindeki pürüzlülükler, kayaç yüzeyinin nem içeriği, çekicinin kalibrasyonu, örnek boyutu, uygulanan ölçme ve ölçüleri değerlendirme yöntemidir. ASTM D 5873, bu yöntemde numune üzerine Schmidt çekici ile on farklı noktaya tek vuruş yapıp, bu vuruşların ortalaması alınarak ortalamanın 7 birim altındaki ve üstündeki değerler iptal edilir ve geriye kalanların ortalaması Schmidt sertlik değeri olarak alınır (ASTM D 5873, 2001).

3. LİTERATÜR TARAMASI

Terzibaşıoğlu (1989), yaptığı çalışmada; Sivrihisar ve Kırşehir-Kaman granitlerinin bazı mekaniksel ve fiziksel özelliklerinin tayini yapılmıştır. Kırşehir granitini düşük mukavemetli 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), yaptıkları çalışmada; bazalt, granit ve kireçtaşı agregası kullanılarak üretilen betonlar üzerinde basınç dayanımı, elastisite modülü, çekme gerilimi ve eğilme deneyleri yapmışlardır. Bu deneylerde betonun iç bağındaki çözümler ve süreksizlik sınırları incelenmiştir. Beton iç bağındaki çözümlerin nedenini, agreganın temizliğine, sıkıştırılmasına, karışımına ve agregası türüne göre değiştiği, süreksizlik sınırının ise agregaya göre değişmediği iddia edilmektedir. Bununla birlikte, daha sert kayaçlardan elde edilen agregaların, mukavemet değerlerinin de yüksek çıktığı belirtilerek, bazalt, granit ve kireçtaşı içermeyen betonların, mukavemet değerlerinin düşük çıkacağını belirtmiştir.

Alexander ve Milne (1995), yaptıkları çalışmada; dört çeşit çimento karışımı ile yapılan betonlarda, agregası çeşitlerinin beton mukavemetine etkisi incelenmiştir. Agregası çeşidine bağlı olarak, beton basınç mukavemetlerinin 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 agregası kullanılarak yapılan betonlarda, agregası ve çimento ara yüzeyinin, agreganın doğal yapısına göre değişik özellikler gösterdiği ifade edilmiştir.

Neville (1996), yaptığı çalışmada; agregası, betonla ilintili tarifi gereği betonun $\frac{3}{4}$ 'ünü oluşturmaya karşın kalitesinin çok daha önemli olduğunu açıklamaktadır. Agreganın sadece betonun dayanımını sınırlamakla yetinmeyip, istenmeyen özellikleri içermeleri halinde dayanım ve yapısal performansını negatif yönde etkilemesi

beklenmelidir. Betonda dayanımsızlık yaratabilen minareler (kil minareleri, mikalar, feldspat minareleri, sülfat veya demiroksit minareleri gibi) agrega olarak kullanılan kayaların (magmatik, metamorfik ve sedimanter) mineral bileşimlerini ve bu minerallerin ayrışma dereceleri betonun taşıma gücü yönünden fiziksel ve mekanik özelliklerini direkt olarak etkilediğini belirtmektedir.

Uğurlu (1996), yaptığı çalışmada; agrega üretiminde ortaya çıkan taş ununun beton özellikleri üzerine etkisini araştırmıştır. Su-çimento oranı yüksek olan betonların taş unu eklenmesi ile özelliklerinin iyileştiği, taş unu fazla olan beton karışımlarında beton geçirgenliğinin, su emme oranının ve porozitesinin azaldığı, basınç dayanımının arttığını saptamıştır. Ayrıca ince agrega içerisindeki ince malzemenin (kil hariç) yıkılmadan beton tasarımıda kullanılması gerektiği belirtmiştir.

Yeğınobalı (1999), yaptığı çalışmada; köşeli ve yüzeyi pürüzlü agregaların yuvarlak taneli olanlara göre çimento hamuru ile daha kuvvetli bağ oluşturduğunu, agrega yüzeyinin gözenekli olması durumunda çimento tanelerinin bu baği daha da kuvvetlendirdiğini ifade etmiş ve agreganın tane yapısının da bu bağda etkili olduğunu belirtmiştir.

Koçal (1999), yaptığı çalışmada; Maçka-Torul karayolu üzerindeki Başar Köyü taş ocağını kapsar. Ocaktan 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 "çok kompakt" kaya sınıfında olduğu anlaşılmıştır. Agregalarda aranan belirli standartlara ait özelliklere uygun olduğundan kireçtaşının, alt temel malzemesi, asfalt micır, beton agregası, yapı malzemesi olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Çalışkan (2003), yaptığı çalışmada; agregalar ile bağlayıcılar arasında zayıf ara yüzey olduğu bu ara yüzey boyunca çatlakların ilerlediğini belirtmiştir. Ara yüzeylerin beton performansında da etkili olduğunu, buna engel olmak içinde ara yüzey bölgesinin

agrega ile çimento matrisinin güçlü bir aderans yapacak şekilde yoğun olması gerektiğini belirtmiştir.

Semiz B. ve diğ. (2004), yaptıkları çalışmada; Denizli il merkezi güneyinde yer alan, bazaltik trakiandezit bileşimli volkanik kayaçların (Denizli Volkanitleri) mineralojik, petrografik ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Araziden alınan örnekler üzerinde yapılan fiziksel ve mekanik testlerle de volkanik kayaçların, gerek yapı sektöründe yapı taşı olarak ve gerekse de beton sektöründe agrega olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. İncelenen örnekler üzerinde yapılan fiziksel ve mekanik testler sonucunda, birim hacim ağırlığı 2250-2960 kg/m³ arasında, su emme oranları % 0,06-0,4 arasında, görünür porozite % 0,15-10,22 arasında, tek eksenli basınç dayanımlarının ise 52,4-170,2 MPa arasında oldukları belirlenmiştir. Aynı örneklerden üretilen betonların 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, bölgede üretilen kalker kökenli agregalara alternatif bir kayaç olduğu ve yüksek dayanımlı beton üretimi için önemli bir kazanç oluşturacağı tespitine varmışlardır.

Çavuşoğlu ve diğ. (2005), yaptıkları çalışmada; Harşit çayından elde edilen ve Kuşkayası kırma eleme tesisinde üretilen kırılmış dere agregasının beton dayanımına etkisi araştırmıştır. Yüksek ince madde miktarının özgül yüzey alanında bir artış meydana getirerek beton karışımının su ihtiyacını önemli ölçüde arttırdığı ve beton basınç dayanımını olumsuz yönde etkilediğini belirlemişlerdir. Bu çalışmada kullanılan kırılmış dere agregasının, yapılan çalışma sonrasında beton agregası olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Özgan (2005), yaptığı çalışmada; kırmataş içerisinde bulunan taş ununun beton basınç dayanımına olan etkisi araştırmıştır. Çalışmada, %0, %5, %10, %15 oranlarında taş unu içeren beton örneklerinin basınç dayanımları arasında önemli ölçüde fark olduğu, taş unu miktarı arttıkça beton basınç dayanımının arttığı saptanmıştır.

Özkahraman ve Işıkın (2005), yaptıkları çalışmada; karışım oranları ve kullanılan malzemeleri aynı fakat kimyasal ve mineralojik yapıları farklı olan 10 farklı agrega

grubuyla oluşturulan numunelerde en iyi beton özelliklerini %80-95 SiO₂ ve en az %0,5-3,4 CaCO₃ içeren agregaların verdiğini belirtmişlerdir.

Arslan ve diğ. (2006), yaptıkları çalışmada; Kırşehir yöresi taş ocaklarından sağlanan kırma taşların beton agregası olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Standartlara uygun olarak üretilen sertleşmiş beton grupları üzerinde gerçekleştirilen beton deneyleri sonuçlarına göre; basınç dayanımı, özgül ağırlık, yarmada çekme dayanımı, elastisite modülü yüksek betonların, agrega özgül ağırlık ve birim ağırlığının yüksek, aşınma ve kusurlu tane oranının düşük olduğunu bulunmuşlardır. Beton basınç dayanımı düşük olanlarınsa, agrega özgül ağırlık ve birim ağırlığının düşük, aşınma ve kusurlu tane oranının yüksek olduğu belirlenmiştir.

Davraz ve diğ. (2012), yaptıkları çalışmada; Isparta il merkezi güneybatısından başlayıp güneydoğusuna kadar uzanan ve kuzeyinde de gözlenen volkanik oluşumlardan (Gölcük Volkanitleri), Minasın Mevkii (andezit ocakları), Kayıköy ve Gönen ilçesi civarındaki volkanik kayaçların mineralojik, petrografik ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Çalışma alanından alınan örnekler üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler yapılmış, yöredeki volkanik kayaçların beton sektöründe agregası olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Arazi örnekleri üzerinde yapılan fiziksel ve mekanik deneyler sonucunda, incelenen kayaçların birim hacim ve gerçek özgül ağırlıkları, ağırlıkça su emme oranları, görünür ve gerçek poroziteleri, tek eksenli basınç, eğilme, darbe ve don tesirlerine dayanımları, yüzey aşınma değerleri belirlenmiştir. Kayaç örneklerinden elde edilen agregalar ile üretilen betonların 3, 7 ve 28 günlük tek eksenli basınç dayanımları Isparta-Diyadin yöresi kalker ocağı agregalarıyla üretilen betonlar ile kıyaslanmıştır. Deneysel veriler ışığında, kireçtaşı agregasına göre trakiandezit ve trakibazalt agregaların betonda üretiminde % 62-79 oranında dayanım artışı sağladığı belirlenmiştir.

Tuncer (2014), Çullu ve diğ. (2014), yaptıkları çalışmada; Gümüşhane yöresi civarındaki volkanik kayaçların mineralojik, petrografik ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Çalışma alanından alınan örnekler üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler yapılmış, yöredeki volkanik kayaçların beton sektöründe puzolanik katkı olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Volkanik tüflerin inceliği sabit tutularak %0, %10, %20,

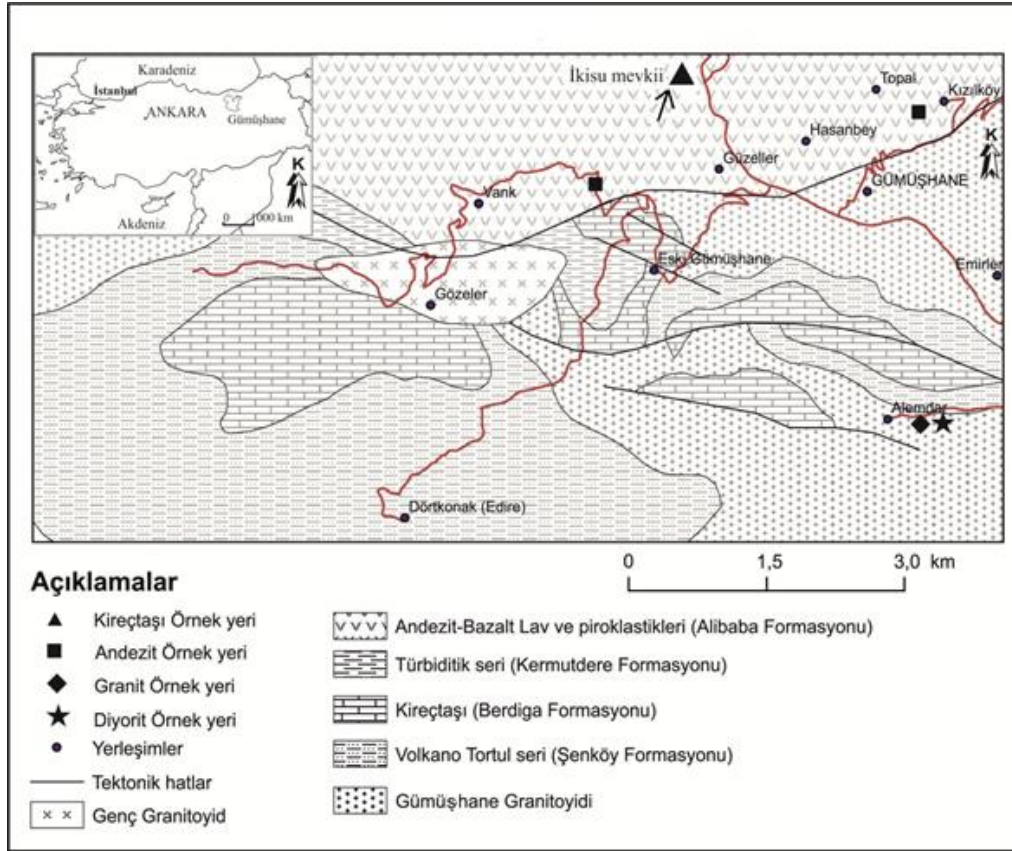
%30, %40, %50 katkı oranlarında harçlar hazırlanmıştır. Bu harçlarla 4×4×16 cm'lik prizmatik harç numuneleri üretilmiş ve 7, 28 ve 90 günlük eğilme, basınç dayanımları ve ultrases geçiş hızları belirlenmiştir. Sonuç olarak, volkanik tüflerin özgül ağırlıkları, puzolanik aktivitesi, kolay öğütülebilirlik ve basınç dayanımlarıyla katkılı çimento üretiminde kullanılabileceği belirlenmiş olup, tras oranı artışının, çimentonun erken yaştaki dayanımını, beklendiği gibi belirgin ölçüde düşürdüğü gözlenmiştir.

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Materyal

4.1.1. Beton Üretiminde Kullanılan Kayaçlar

Bu çalışmada beton üretimi için granit, andezit, diyorit ve kireçtaşı agregalar kullanılmıştır. Kayaç türleri Gümüşhane il sınırları içinde Şekil 4.1’de gösterilen bölgelerden temin edilmiştir. Öncelikli olarak Gümüşhane Üniversitesi imkanları ile kimyasal (Tablo 4.1) ve petrografik analizleri (Tablo 4.2) yapılmıştır. Kayaç türlerinin tümü beton agregaları boyutuna gelene kadar kırıldı ve elenerek granülometrisi TS 802 $D_{max}=22.4$ mm ideal B eğrisine uygun hale getirildi ve 0-4, 4-11.2 ve 11.2-22.4 mm aralıklarında 3 grup olarak belirlendi.



Şekil 4.1. Kayaç temin noktaları ve sahanın jeoloji haritası (Güven, 1993).

Tablo 4.1. Kayaçların kimyasal özellikleri

Agrega Türleri	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	MgO %	CaO %	CaCO ₃	MgCO ₃	Na ₂ O %	K ₂ O %	Kızdırma kayıbı %	Toplam %
KİREÇTAŞI	2.96	0.44	0.47	TSA*	TSA	73.84	22.24	TSA	TS A	TSA	99.95
ANDEZİT	58.70	16.60	7.10	2.12	5.92	TSA	TSA	2.95	1.82	3.70	99.88
DİYORİT	55.85	16.27	7.47	3.07	6.87	TSA	TSA	2.71	2.91	3.5	99.69
GRANİT	64.15	15.69	5.89	1.73	1.50	TSA	TSA	2.98	2.94	4.4	99.83

*TSA: Tespit sınırının altında

Tablo 4.2. Kayaçların petrografik özellikler

Kayaç Adı	Dokusu	Mineral ve/veya fosil içeriği	Alterasyon ürünleri
Kireçtaşı	Biyomikritik	Bentikforaminifer parçaları, molusca kavkı parçaları ve ekinitplaları	İkincil kalsit oluşumları
Granit	İnce orta taneli	Zonlu ve polisentetikikizlenme gösteren plajiolazlar, kuvars, ortoklaz, biyotit, amfibol ve opak mineral	Serizitleşme, killeşme, kloritleşme,
Diyorit	İnce-orta taneli	Plajiolaz (oligoklaz- andezin), hornblend, biyotit, ojit, alkali feldispat (mikroklin ve ortoklaz), kuvars	
Andezit	Porfirik- mikrolitikporfirik dokulu, hamur, plajiolaz, alkali feldispat, amfibol, biyotit ve opak mineral tanelerinden oluşmuştur.	Plajiolaz, amfibol, az miktarda alkali feldispat, biyotit az oranda opak mineral	Kloritleşme, serizit ve killeşme

4.1.1.1. Kireçtaşı

Kireçtaşı; kireç elde etmekte kullanılan, kalsiyum karbonat tuzundan oluşan tortul bir kayadır. Kireç taşının diğer adı kalkerdir. Yapısında en az %90 CaCO₃ (kalsiyum karbonat) bulunduran kayalara kalker denir. Kalker, çimento yapımında kullanılır.

Kalsiyum karbonatlı kalsit ve aragonit ile magnezyum karbonatlı dolomit kireç taşı oluşturan başlıca minerallerdir. Kireçtaşının yığın görünümü Şekil 4.2.'de görülmektedir.



Şekil 4.2. Kireçtaşı yığın görünümü

Tipik bir kireçtaşının (URL-2);

- Özgül ağırlığı 2.5-2.7 gr/cm³
- Porozitesi % 0.1
- Basınç mukavemeti 2700 - 2900 kg/cm³
- Sertliği ise Mohs skalasına göre 3 olarak kabul edilmelidir.

Çalışmada kireçtaşı diğer agrega türlerine referans olması amacıyla kullanılmıştır. Kireçtaşının Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde yapılan petrografik tanımlaması şöyledir;

Kayaç adı: Biomikrit (TS EN 12504-4, 2012), Waketaşı (Qasrawi, 2000)

Biyoklast: İncelenen kesitte çeşitli bentikforaminifer parçaları ve çeşitli mollusca kavkı parçaları ve ekinit plakaları gözlenmiştir (%15).

Ortokem: Mikrit (%10)

Ortam: Sığ denizel

Allokemler: Gasropoda, Milonidea

4.1.1.2. Granit

Granit, sert kristal yapılı minerallerden meydana gelen taneli görünümlü magmatik derinlik kültesinde kayaç içindeki taneler çoğunlukla gözle görülebilir büyüklüktedir. Granitlerin renkleri, genellikle açık olmakla birlikte, içindeki feldspatların ve diğer minerallerin cins ve miktarına göre gri, pembe, turuncu olabilmektedir. Granitin yığın görünümü Şekil 4.3. 'de görülmektedir.



Şekil 4.3. Granit yığın görünümü

Tipik bir granitin (URL-3);

- Özgül ağırlığı $2.6 - 2.8 \text{ gr/cm}^3$
- Porozitesi % $0.4 - 1.5$
- Basınç mukavemeti $1600 - 3300 \text{ kg/cm}^2$
- Sertliği ise Mohs skalasına göre 6.5 olarak kabul edilmelidir.

Çalışmada kullanılan magmatik kayaç türlerinden biri olan granit, Gümüşhane yöresinde çok bulunmasından dolayı tercih edilmiştir. Granitin Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde yapılan petrografik tanımlaması şöyledir;

Kayaçın adı: Granit

Doku: ince- orta taneli

Plajiyoklast: Bazıları zonlu yapıdadır. Genellikle polisentetik izlenme gösterirler. Ayrışmış şekilde görülürler. Serisitleşme ve killeşme gösterirler.

Kuvars: Diğer minerallerin arasını doldurmaktadır. Bazı kuvarslar dalgalı sönme göstermektedirler.

Ortoklas: Genellikle pertitik özellikte görülmektedir. Bazılarında karspatik izlenmesi görülmektedir.

Biyotit: Tek nikolde açık sarı koyu kahverengi renk pleokroizması belirgin olarak gözlenebilmektedir. Yer yer krolitleşmelere rastlanmıştır.

Amfibol: Tek nikolde açık yeşil koyu yeşil renk pleokroizması belirgin olarak gözlenmektedir. Genelde tek yönde dilinim mevcutken yer yer baklava dilinimi de göstermektedir.

Opak Mineraller: Hem iri olarak hem de küçük halde dağınık taneler halinde bulunmaktadır.

4.1.1.3. Andezit

Andezit, magmanın yer kabuğu derinliklerinden yüzeye hızlı çıkması sonucu, kristaller ve camsı malzemelerden oluşmuş volkanik bir kayadır. Doğada pastel pembe, siyah ve geçiş renklerine sahiptir. Andezitin yığın görünümü Şekil 4.4.'de görülmektedir.



Şekil 4.4. Andezit yığın görünümü

Tipik bir andezitin (URL-4);

- Özgül ağırlığı $2.1 - 2.4 \text{ gr/cm}^3$
- Porozitesi % 8 – 13
- Basınç mukavemeti $800 - 900 \text{ kg/cm}^3$
- Sertliği ise Mohs skalasına göre 5 – 6 olarak kabul edilmelidir.

Çalışmada kullanılan volkanik kayaç türlerinden biri olan andezit, Gümüşhane yöresinde çok bulunmasından dolayı tercih edilmiştir. Andezitin Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde yapılan petrografik tanımlaması şöyledir;

Kayacın adı: Andezit

Fenokristal: olarak başlıca plajiolaz, amfibol mineralleri içermekte, az oranda alkali feldispat, biyotit ve alterasyona bağlı olarak kloritleşmeler görülmekte.

Doku: Porfirik-mikrolitik porfirik doku

Plajiyoklast: Hem iri hem de küçük kristaller halinde görülmüştür.

Alkali Feldispat: Az oranda gözlenmiştir.

Amfibol: En bol mafik minerallerdir. Baklava dilimini sık olarak gözlenmiştir.

Biyotit: Bir kısmı bükülmüş olarak gözlenmiştir.

Klorit: Alterasyon ürünü olarak gelişmiştir.

Opak mineraller: Az oranda opak minerale rastlanılmıştır.

Hamur: Plajiyoklast, alkali feldispat, amfibol biyotit ve opak minerallerin küçük tanelerinden oluşmuştur.

4.1.1.4. Diyorit

Magmanın yukarı doğru yükselmesi ile yerin iç kısmında milyonlarca yıl yavaşça soğuyarak meydana gelmektedir. Fanaritik dokuya sahiptir. Birbirinden gözle kolayca ayrılabilen açık ve koyu renkli minerallerden oluşur. Diyorit kayaç örneği Şekil 4.5.'de görülmektedir.



Şekil 4.5. Diyorit kayaç örneği

Tipik bir diyoritin (URL-5);

- Özgöl ağırlığı 2.85 – 2.9 gr/cm³
- Porozitesi % 4 - 7
- Basınç mukavemeti 1300 - 2000 kg/cm³
- Sertliği ise Mohs skalasına göre 5.5 – 6 olarak kabul edilmelidir.

Çalışmada kullanılan magmatik kayaç türlerinden biri olan diyorit, Gümüşhane yöresinde çok bulunmasından dolayı tercih edilmiştir. Diyorit Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünde yapılan petrografik tanımlaması şöyledir;

Kayacın adı: Diyorit

Doku: İnce- orta taneli

Plajiyoklazlar: Beyaz renkliler ve alterasyon izleri göstermekte, çoğunlukla oligoklaz ve andezin türünde görülmekte, andezin türü plajiyoklazlar daha fazla olup kristallerde yer yer zonlu doku görülmektedir.

Hornblend: Kısa çubuklar halinde, yer yer öz şekilsiz taneler halinde görülmektedir. Yeşilimsi siyah renklerde görülmekte olup kayacın makroskobik olarak koyu rengini veren mineraldir.

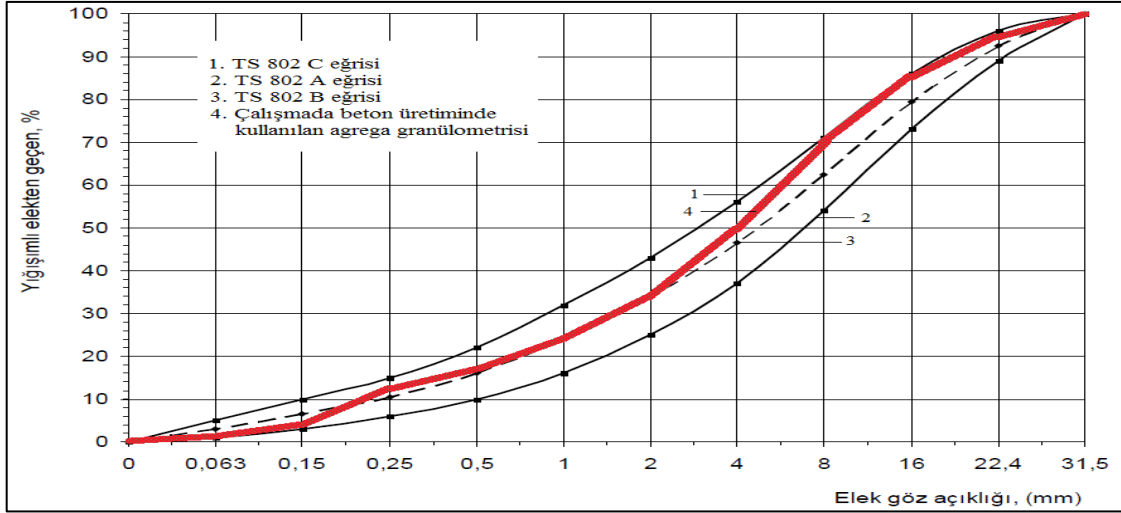
Biyotit: Hafif pleokroizma göstermektedir. Yarı öz şekilli, öz şekilsiz olarak rastlanmaktadır. Az miktarda bulunmaktadır.

Ojit: Az miktarda yarı öz şekilli olarak rastlanmaktadır.

Alkali: Feldispat: Az miktarda görülmekte, mikroklin ve ortoklaz olarak görülmektedirler.

Kuvars: Çok az miktarda ve öz şekilsiz olarak görülmektedir.

Agregaların elek analizi yapılarak agrega granülometrisi belirlenmiş ve TS 802' de belirtilen granülometri eğrileriyle karşılaştırılmıştır. Şekil 4.6 'da çalışmada kullanılan agregaların granülometrisi kırmızı çizgi ile gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Çalışmada kullanılan agregaların granulometri eğrisi

4.1.2. Çimento

Yapılan çalışmadaki betonların üretiminde Aşkale Gümüşhane Çimento Fabrikasından temin edilen TS EN 197-1' e uygun CEM 1 42.5R türü çimentolar kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 4.3.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Çimentonun fiziksel, kimyasal ve dayanım özellikleri

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

4.1.3. Su

Çalışmada Gümüşhane ili içme suyu şebekesinden alınan su kullanılmıştır.

4.2. Metot

4.2.1. Betonların Üretimi

Betonları dayanım sınıfına göre düşük, normal ve yüksek dayanımlı olarak sınıflandırmak mümkündür. C20 ve C30 arasındaki betonlar inşaat piyasasında en sık kullanılan ve üretimi genellikle katkı maddesine dahi ihtiyaç duyulmayacak kadar kolay olan betonlardır ve “*normal dayanımlı*” beton olarak adlandırılabilir. C20’nin altındaki betonlar özellikle Çevre Şehircilik Bakanlığı Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında ki Yönetmeliğine göre (2007) “Deprem bölgelerinde yapılacak tüm betonarme binalarda C20’den daha düşük dayanımlı beton kullanılamaz” ifadesinden dolayı “düşük dayanımlı” beton olarak değerlendirilebilir. C30’un üzerindeki betonlar daha çok katkı maddelerinin bulunduğu ve inşaat sektöründe normal dayanımlı betonlara göre daha az talep edildiği için “yüksek dayanımlı” betonlar olarak değerlendirilebilir.

Bu bilgiler doğrultusunda çalışmada her agregat türünden C16/20 düşük dayanımlı beton (DDB), C25/30 normal dayanımlı beton (NDB) ve C35/45 yüksek dayanımlı beton (YDB) olmak üzere 3 farklı dayanım sınıfına ait toplam 12 farklı tür beton üretilmiştir. Betonların kodlamaları Tablo 4.4.’teki gibidir.

Tablo 4.4. Çalışmada kullanılan betonların kodları

Agrega Türü Beton adı	Beton Sınıfı	Düşük Dayanımlı Beton (DDB)	Normal Dayanımlı Beton (DDB)	Yüksek Dayanımlı Beton (DDB)
Kireçtaşı (Kireçtaşı beton)		DK	NK	YK
Diyorit (Diyorit beton)		DD	ND	YD
Granit (Granit beton)		DG	NG	YG
Andezit (Andezit beton)		DA	NA	YA

1 metreküp beton karışım tasarımları Tablo 4.5.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.5. Çalışmada kullanılan betonların 1 m³ karışım tasarımları

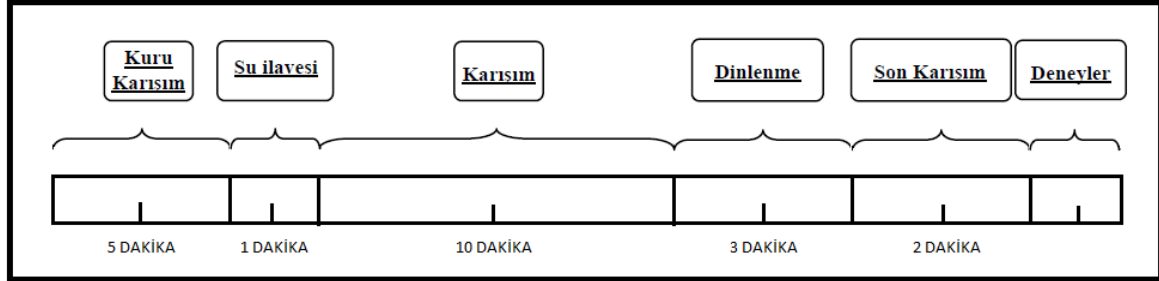
Beton Bileşenleri	DDB (dm ³)	NDB (dm ³)	YDB (dm ³)
Su	218	218	218
Çimento	101	132	194
Hava	19	19	19
Agrega	662	631	569
0 / 4	318	303	273
4 / 11.2	159	152	137
11.2 / 22.4	185	177	159
Toplam	1000	1000	1000

Karıştırma işlemi yapılırken homojen bir karıştırma işlemi yapılmasına dikkat edilmiştir. Karıştırma işlemleri yapılırken Şekil 4.7. 'deki düşey eksenli cebri karıştırma mikser kullanılmıştır.



Şekil 4.7. Düşey eksenli cebri karıştırma mikser

Karışım esnasında segregasyon oluşumunun önüne geçilmeye çalışılmış ve bu aşağıdaki Şekil 4.8.'de belirtilen zaman çizelgesindeki gibi yapılmıştır.



Şekil 4.8. Betonun karışım zamanı çizelgesi (Ertaş, 2014)

Beton üretiminde önce agrega ve çimentolar yaklaşık 5 dakika kuru karıştırıldı, sonra 1 dakika kontrollü olarak su verildi ve yaklaşık 10 dakika yaş karışım gerçekleştirildi. Yaş karışımın tamamlanmasının ardından karışım 3 dakika dinlendirildi. 2 dakika daha son karışım yapılarak çökme deneyleri yapıldı. Sonra 10 cm çapında 20 cm yüksekliğindeki kalıplara yerleştirildi ve 12 ± 2 saniye masa tipi vibratörle sıkıştırma yapıldı. Kalıpların üzeri mala ile düzeltildi, temizlendi ve ağırlıkları ölçüldü. Daha sonra üzerleri 1 gün boyunca ıslak bezlerle kapatıldı. Bir gün sonra betonlar kalıplardan çıkarılarak gerekli testlerin yapılacağı güne kadar kür havuzunda bekletildi. Beton döküm aşamaları Şekil 4.9., 4.10., 4.11.'de görülmektedir.



Şekil 4.9. Betonların üretimi



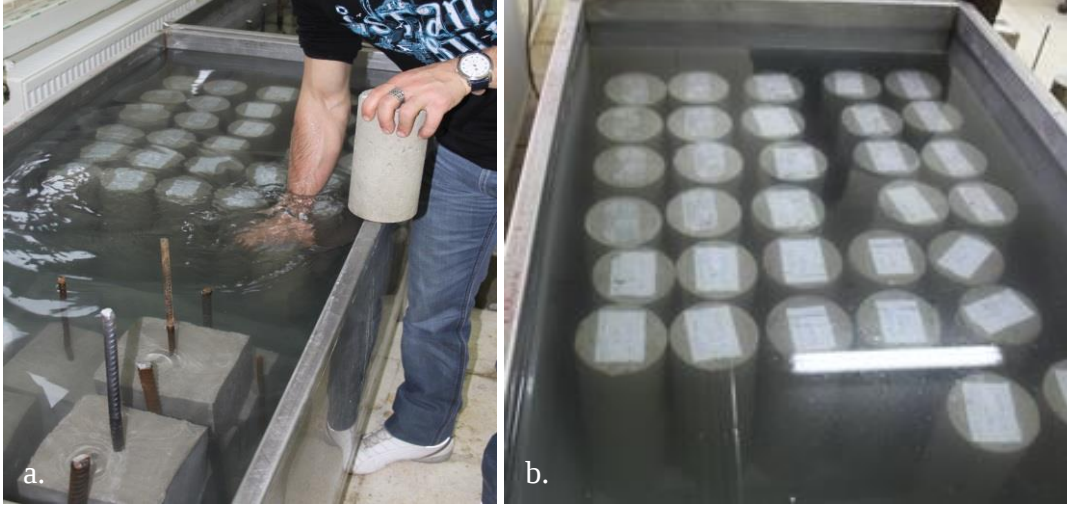
- a. Betonun kalıba yerleştirilmesi
- b. Kalıntıların temizlenmesi
- c. Beton cinsinin kodlanması

Şekil 4.10. Betonların kalıplara yerleştirilmesi



Şekil 4.11. Betonların kür edilmesi ve kalıplardan çıkarılması

- a. Betonun 24 saat kalıpta bekletilmesi
- b. Betonların kalıptan çıkarılması

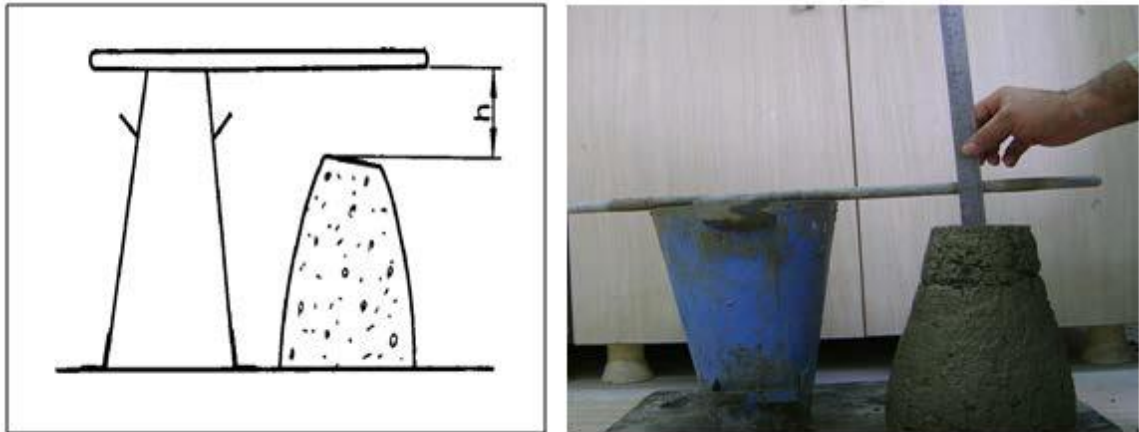


Şekil 4.12. Betonların kür havuzuna yerleştirilmesi ve bekletilmesi

a. Betonların kür havuzuna yerleştirilmesi b. Kür havuzunda bekletilmesi

4.2.2. Çökme Deneyi

Taze betonda kıvam belirleme yöntemlerinden çökme (Slump) deneyi TS EN 12350-2 standardına göre her beton türünden 2 defa yapıldı ve ortalama değeri tespit edildi. Çökme deneyinin yapılışı Şekil 4.13.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Çökme deney düzeneği

4.2.3. Basınç Dayanımı

Basınç dayanımının tespitinde 10x20 cm'lik silindir beton numuneler kullanılmıştır. Her silindirik beton numuneye başlıklama yapılmıştır. Şekil 4.10.'da başlıklama makinesi ve başlıklanmış numune yüzeyi gösterilmiştir.



Şekil 4.14. Numune başlıklama cihazı ve yüzeyi düzeltilmiş numune (Ertaş,2014)

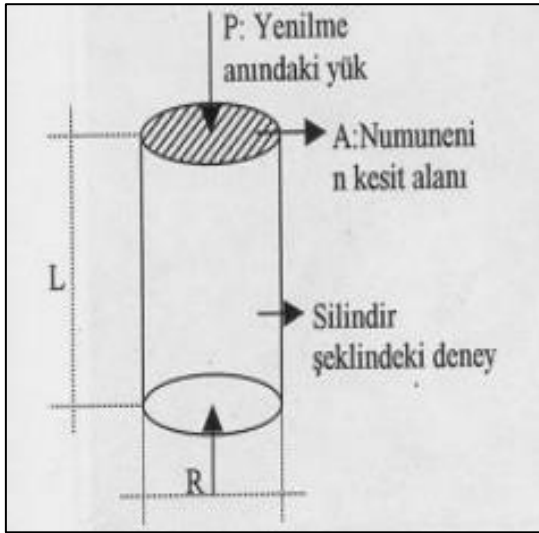
Çalışmada her beton türünün 4 farklı yöntemle 3., 7. ve 28. günlerde basınç dayanımı testleri yapılmıştır. Bunlar;

- TS EN 12390-3'e göre tek eksenli tahribatlı yöntemiyle basınç dayanımı tespiti (TEBD)

Beton numunesi Şekil 4.15.'de görüldüğü gibi pres plakaları arasına yerleştirilmiştir. İki plaka arasında yüke maruz kalan numune belli bir süre sonra yükü taşıyamaz duruma gelir ve kırılır. Bu andan itibaren deney tamamlanmış olur ve numune üzerindeki yük kaldırılır. Numunenin kırıldığı andaki yük değeri bilgisayarda maksimum yük olarak verilir (P) bu değer kullanılarak numunenin tek eksenli basınç dayanımı değeri (σ_c), formül 4.2'de yerine yazılarak hesaplanır (TS 2028, 1975).



Şekil 4.15. Tek eksenli tahribatlı basınç dayanımı tespiti



Şekil 4.16. Tek eksenli basınç dayanım deneyi ile ilgili açıklayıcı bilgiler (Çınar, 2007)

Beton basınç dayanımının hesaplanmasında;

$$f_c = \frac{F}{A} \quad (4.1)$$

Bu eşitlikte;

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

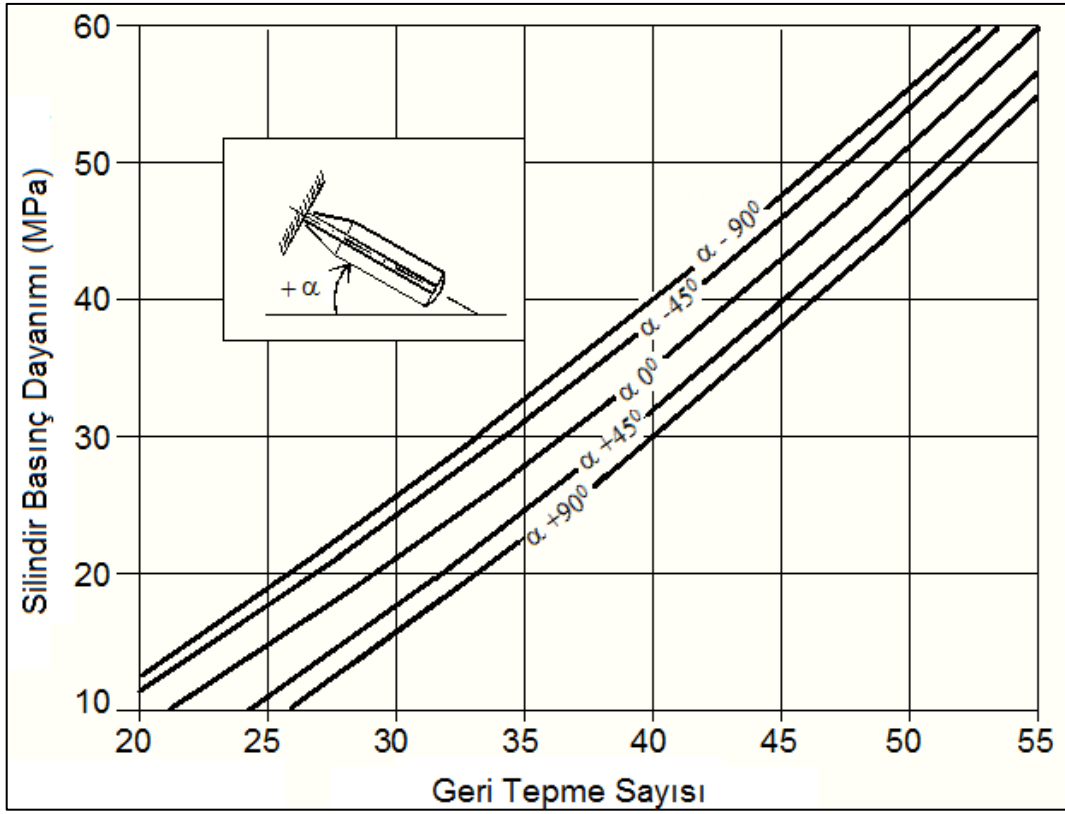
F ; numune kırılma yükü (N),

A ; Numunenin, üzerine basınç uygulandığı en kesit alanı (mm²)

- TS EN 13791'e göre Schmidt çekici ile yüzey sertliği belirleme yöntemiyle basınç dayanımı tespiti (YSBD)



Şekil 4.16. Schmidt çekici ile basınç dayanımı tespiti



Şekil 4.17. Schmidt çekici geri tepme değerlerinden basınç dayanımının belirlenmesi

- *TS EN 12504-4'e göre ultrasonik ses geçiş hızı ölçümü yöntemiyle basınç dayanımı tespiti (UBD)*



Şekil 4.18. Ultrasonik ses geçiş hızı ölçümü ile basınç dayanımı tespiti

Araştırmacı Qasrawi (2000), tarafından belirlenen (4.2)'de ki formül ile UBD tespit edilmiştir.

$$US = 36.72 (V) - 129,077 \quad (4.2)$$

Bu eşitlikte;

US ; Beton basınç dayanımı (MPa),

V ; Ultrasonik ses geçiş hızı (km/sn) ifade etmektedir.

- *Bileşik yöntemle basınç dayanımı tespiti (BYBD)*

Bileşik yöntem ise ultrasonik yöntem ile yüzey sertliği yönteminin birlikte kullanıldığı bir formülizasyondur. Birçok araştırmacı tarafından uzun araştırmalar sonucunda birçok bileşik yöntem formülü oluşturulmuştur. Çalışmada betonların BYBD Schmidt beton çekici geri tepme ve ultrasonik ses geçiş hızı değerleri bir arada kullanılarak formüle edilen (4.3)'de ki formül kullanılarak hesaplanmıştır. BYBD sonuçları YSBD ve UBD sonuçlarının ortalaması kullanılarak elde edilmiştir (Arıoğlu ve Köylüoğlu, 1996).

$$BYBD = 0.00153(RN^3.V^4)^{0.611} \quad (4.3)$$

Bu eşitlikte;

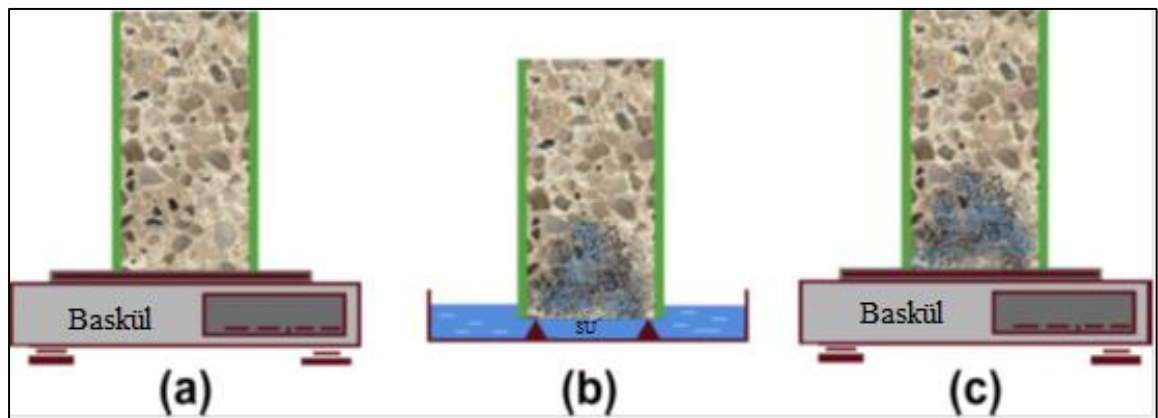
BYBD ; Beton basınç dayanımı (MPa),

V ; Ultrasonik ses geçiş hızı (km/sn),

RN ; Beton çekici geri tepme değerleri.

4.2.4. Kapiler Su Emme

Deney ASTM C 1585 standardın da belirtilen esaslara göre yapılmıştır (ASTM C 1585, 2004). Deney her beton türünden 4 numune üzerinde yapılmıştır. 10 cm çapında ve 20 cm yüksekliğinde oluşturulan silindir beton numuneleri, kür havuzundan çıkartıldıktan sonra yüzeyi kurulanıp doygun ağırlığı (WDA) belirlenerek etüve konulmuştur. 1. gün 105 °C’ de 2-3-4. günlerde ise etüvün sıcaklığı 50 °C’ye düşürülerek numuneler kurutulmuştur. Kuruyan numunelerin ağırlıkları (WKA) hassas terazi ile tartılıp, etrafı 5 cm olacak şekilde silikonlanmıştır. Silikon ile kaplı yüzey 2-3 cm olacak şekilde suyla temas ettirilip, bu numuneler 1.dk-5.dk-10.dk-20-30. dakikalarda sudan çıkarılarak yüzeyi kurulanmıştır. Kurulanan numunelerin hassas terazi ile ağırlıklarının ölçümü yapıлып emdiği su miktarı belirlenmiştir. Bu işlem 1. saatten 6. saate kadar her saat başı ve 24.-48.-72.-96. saatlerde bir hassas terazi ile ölçülerek Şekil 4.18’da görüldüğü gibi 8. güne kadar ölçme işlemi devam ettirilmiştir. Beton belli bir süre sonra sabit bir ağırlığa ulaştığında kapiler su emme deneyi bitirilmiştir.



Şekil 4.20. Kapiler Su Emme Deneyi (Bolat, 2014)

$$I = \frac{m_t}{a/d} \quad (4.4)$$

Bu eşitlikte;

I ; kapiler su emme (mm),

m_t ; beton örneğin zamana bağlı (t) gram olarak kütleindeki değişim,

a ; deneye maruz beton örneğin alanı (mm²),

d ; suyun yoğunluğu (g/mm³).

4.2.5. Sertleşmiş Beton Fiziksel Özellikleri

TS EN 12390-7'e ve TS EN 480'e göre her beton türünden 4'er numune üzerinde kuru ve doymun birim hacim ağırlıkları hesaplandı, birim hacimdeki su emme miktarı belirlendi ve bu miktardan porozite oranları hesaplandı.

$$P = (W_{DA} - W_{KA}) / V_N \quad (4.5)$$

Bu eşitlikte;

Porozite ; P(%),

W_{DA} ; Numunenin doymun ağırlığı (kg/dm³),

W_{KA} ; Numunenin kuru ağırlığı (kg/dm³),

V_N ; Numunenin hacmi (dm³)'dir.

Su emme oranı hesaplanmasında;

$$m = ((W_{DA} - W_{KA}) / W_{KA}) \times 100 \quad (4.6)$$

Bu eşitlikte;

m ; Ağırlıkça su emme oranı, (%),

W_{KA} ; Etüv kurusu ağırlık, (g),

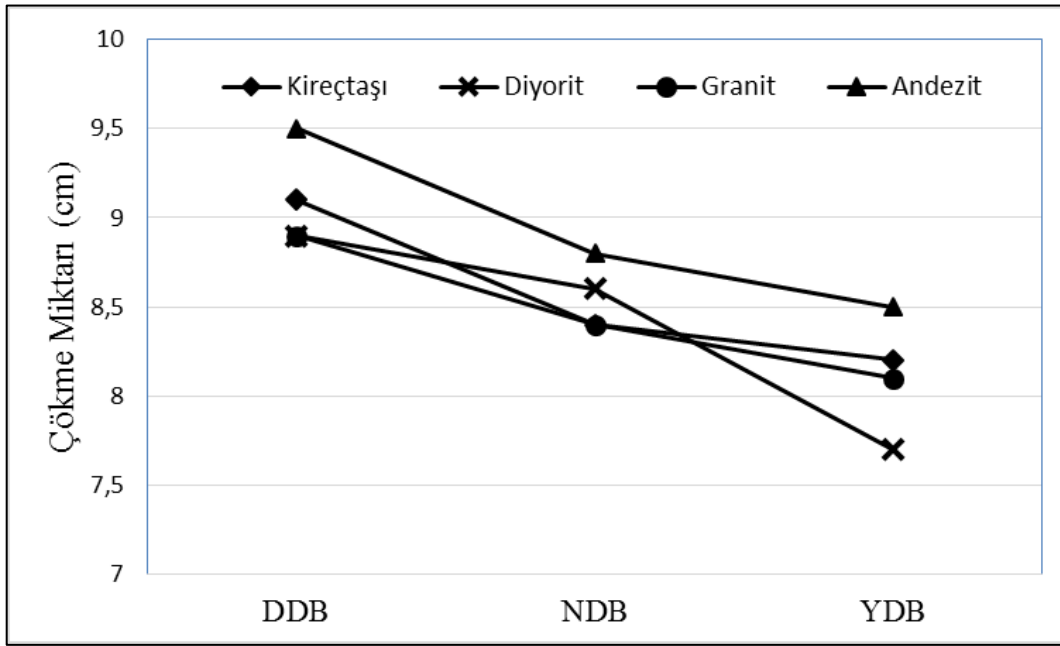
W_{DA} ; Doymun kuru yüzey ağırlığı, (g)'dir.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Taze Beton Bulguları ve Tartışma

5.1.1. Çökme deneyi

Betonların dayanım türüne göre çökme değerleri Şekil 5.1 'de gösterilmiştir. Genel olarak beton türlerinin tümünde dayanım sınıfı arttıkça çökme değerlerinin de azaldığı görülmüştür. Ancak buradaki çökme değerleri arasındaki farklılıklar beton üretimi için herhangi bir sakınca teşkil etmeyecek düzeydedir.



Şekil 5.1. Beton dayanım sınıfına göre çökme değerleri

Çökme değerleri sonuçlarına bakıldığında;

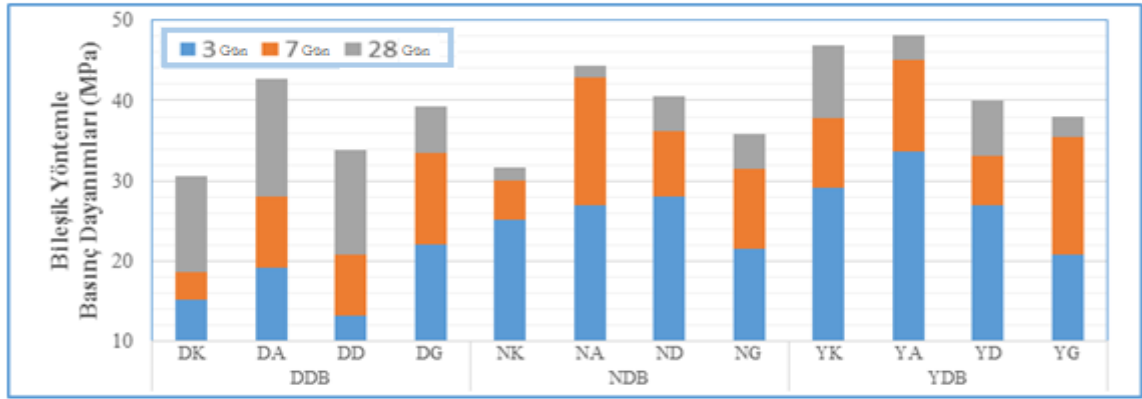
Referans betonuna göre;

- DA % 4 fazla, DD % 2 az, DG % 2 az,
- NA % 5 fazla, ND % 2 fazla, NG aynı,
- YA % 3.5 fazla, YD % 7.5 az, YG % 1 az olduğu görülmüştür.

5.2. Sertleşmiş Beton Bulguları ve Tartışma

5.2.1. Basınç Dayanımı

Betonların TEBD sonuçları Şekil 5.2’de, YSBD sonuçları Şekil 5.3’te, UBD sonuçları Şekil 5.4’te ve BYBD sonuçları da Şekil 5.6’da sunulmuştur. Öncelikle tüm dünyada ilgili otoriteler tarafından TEBD yönteminin beton basınç dayanımı belirleme yöntemleri içinde en kabul gören yöntem olduğunun bilinmesi gerekir. Diğer yöntemler bu yöntemin sağlaması ya da alternatifi olarak uygulama kolaylığı yönünden tercih edilmektedir.



Şekil 5.2. Tek eksenli tahribatlı yöntemle elde edilen basınç dayanımları

3 günlük tek eksenli tahribatlı basınç testi sonuçlarına bakıldığında;

- DDB’ların TETBS’na bakıldığında DK’ye göre DG ~%32 ve DA ~%4.3 daha yüksek, DD ~%10 daha düşük çıkmıştır.
- NDB’ların TETBS’na bakıldığında NK’ye göre NG ~%56, NA ~%32 ve ND ~%23 daha yüksek çıkmıştır.
- YDB’ların TETBS’na bakıldığında YK’ye göre YG ~%35, YA ~%29 ve YD ~%29 daha yüksek çıkmıştır.

7 günlük tek eksenli tahribatlı basınç testi sonuçlarına bakıldığında;

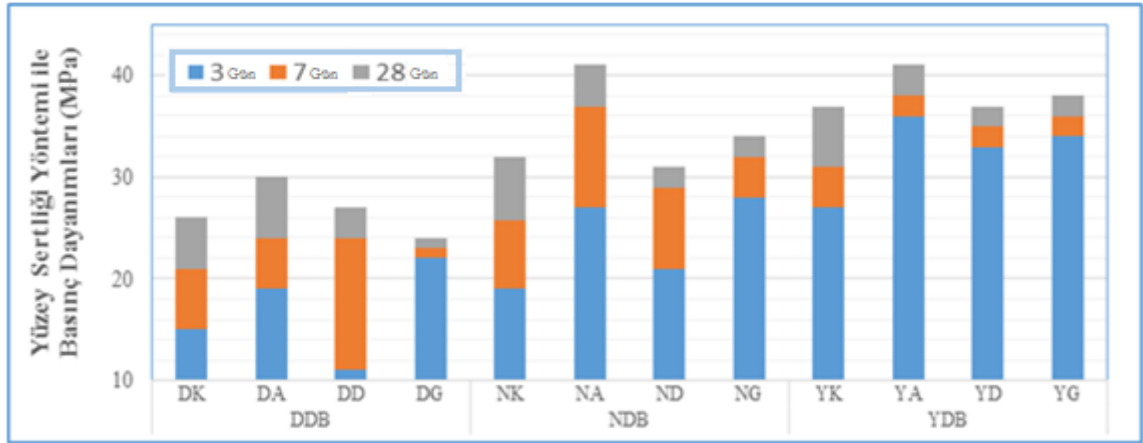
- DDB’ların TETBS’na bakıldığında DK’ye göre DG ~%16 ve DA ~%25, DD ~%6 daha yüksek çıkmıştır.
- NDB’ların TETBS’na bakıldığında NK’ye göre ND ~%31, ND ~%35 ve ND ~%23 daha yüksek çıkmıştır.
- YDB’ların TETBS’na bakıldığında YK’ye göre YG ~%25, YA ~%29 ve YD ~%15 daha yüksek çıkmıştır.

28 günlük tek eksenli tahribatlı basınç testi sonuçlarına bakıldığında;

- DDB'ların TETBS'na bakıldığında DK'ya göre DG ~%6.6 ve DA ~%33.3, DD ~%4.6 daha yüksek çıkmıştır.

- NDB'ların TETBS'na bakıldığında NK'ya göre NG ~%31, NA ~%48 ve ND ~%18 daha yüksek çıkmıştır.

- YDB'ların TETBS'na bakıldığında YK'ye göre YG ~%21, YA ~%31 ve YD ~%14 daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 5.3. Yüzey sertliği yöntemiyle elde edilen basınç dayanımları

3 günlük Schmidt çekici yaklaşık basınç dayanımı sonuçlarına bakıldığında;

- DDB'ların ŞÇBS'na bakıldığında DK'ya göre DG ~%60 ve DA ~%27 daha yüksek, DD ~%33 daha düşük çıkmıştır.

- NDB'ların ŞÇBS'na bakıldığında NK'ya göre NG ~%100, NA ~%42 ve ND ~%11 daha yüksek çıkmıştır.

- YDB'ların ŞÇBS'na bakıldığında YK'ya göre YG ~%26, YA ~%41 ve YD ~%22 daha yüksek çıkmıştır.

7 günlük Schmidt çekici yaklaşık basınç dayanımı sonuçlarına bakıldığında;

- DDB'ların ŞÇBS'na bakıldığında DK'ya göre DG ~%10 ve DA ~%14 ve DD ~%29 daha yüksek çıkmıştır.

- NDB'ların ŞÇBS'na bakıldığında NK'ya göre NG ~%25, NA ~%44 ve ND ~%21 daha yüksek çıkmıştır.

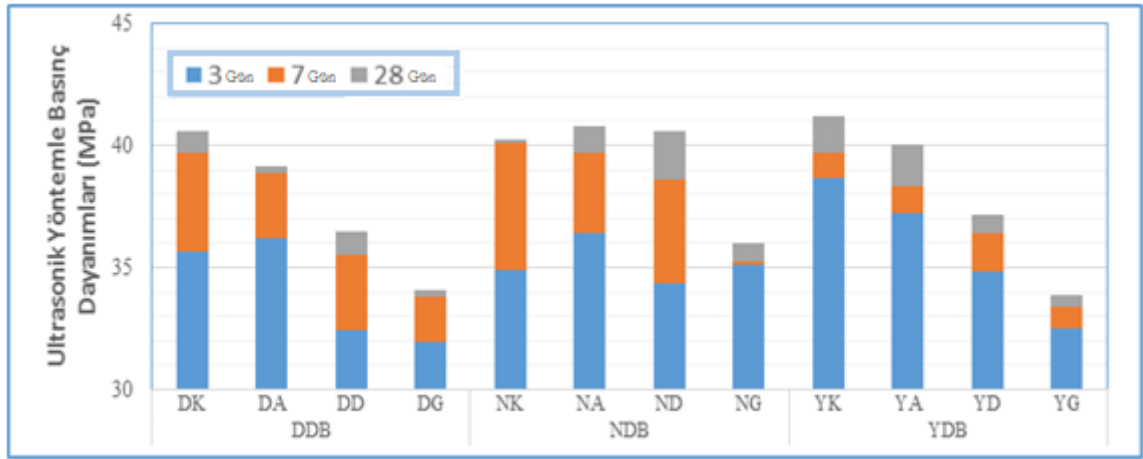
- YDB'ların ŞÇBS'na bakıldığında YK'ya göre YG ~%33, YA ~%33 ve YD ~%34 daha yüksek çıkmıştır.

28 günlük Schmidt çekici yaklaşık basınç dayanımı sonuçlarına bakıldığında;

- DDB'ların ŞÇBS'na bakıldığında DK'ya göre DG ~%11.5 daha düşük, DA ~%15 ve DD ~%4 daha yüksek çıkmıştır.

- NDB'ların ŞÇBS'na bakıldığında NK'ya göre NG ~%6.2, NA ~%28 daha yüksek ve ND ~%9.4 daha düşük çıkmıştır.

- YDB'ların ŞÇBS'na bakıldığında YK'ya göre YG ~%3, YA ~%11 daha yüksek ve YD ile aynı çıkmıştır.



Şekil 5.4. Ultrasonik yöntemle elde edilen basınç dayanımları

3 günlük Ultrases geçiş hızı yaklaşık basınç dayanımı sonuçlarına bakıldığında;

- DDB'ların USGHBS'na bakıldığında DK'ya göre DG ~%9 ve DD ~%10.5 daha düşük, DA ~%1,5 daha yüksek çıkmıştır.

- NDB'ların USGHBS'na bakıldığında NK'ya göre NG ~%0.5 ve NA ~%4.2 daha yüksek, DD ~%1.5 daha düşük çıkmıştır.

- YDB'ların USGHBS'na bakıldığında YK'ya göre YG ~%16, YA ~%4 ve YD ~%10 daha düşük çıkmıştır.

7 günlük Ultrases geçiş hızı yaklaşık basınç dayanımı sonuçlarına bakıldığında;

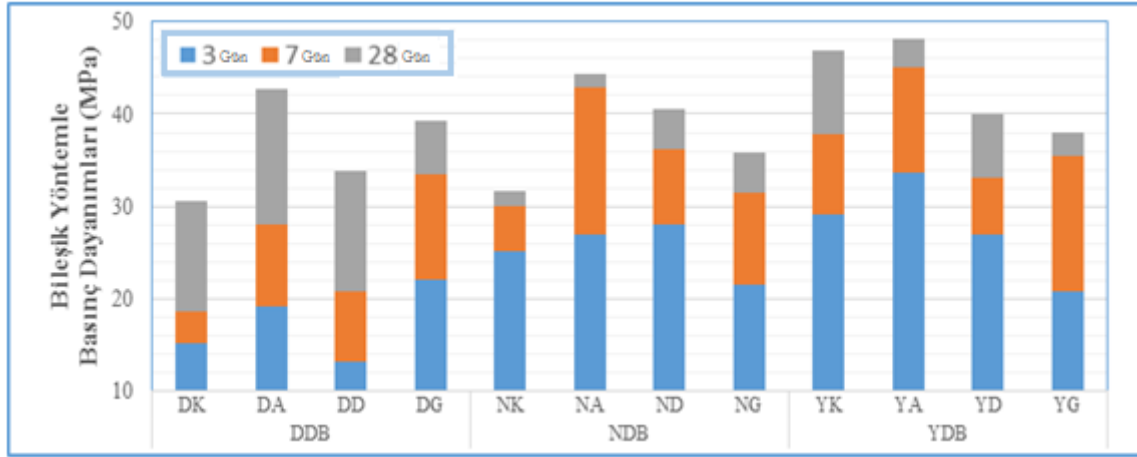
- DDB'ların USGHBS'na bakıldığında DK'ya göre DG ~%21 ve DA ~%3.5, DD ~%10.2 daha düşük çıkmıştır.

- NDB'ların USGHBS'na bakıldığında NK'ya göre NG ~%14.3, NA ~%1 ve ND ~%3.7 daha düşük çıkmıştır.

- YDB'ların USGHBS'na bakıldığında YK'ya göre YG ~%15.9 ve YD ~%8.3 daha düşük, YA ~%1 daha yüksek çıkmıştır.

28 günlük Ultrases geçiş hızı yaklaşık basınç dayanımı sonuçlarına bakıldığında;

- DDB'ların USGHBS'na bakıldığında DK'ye göre DG ~%25 ve DA ~%2, DD ~%10.5 daha düşük çıkmıştır.
- NDB'ların USGHBS'na bakıldığında NK'ye göre NG ~%12 ve NA ~%3.5, DD ~%3.5 daha düşük çıkmıştır.
- YDB'ların USGHBS'na bakıldığında YK'ye göre YG ~%20.1 ve YA ~%7, DD ~%12.2 daha düşük çıkmıştır.



Şekil 5.5. Bileşik yöntemle elde edilen basınç dayanımları

3 günlük Birleşik yöntem ile yaklaşık basınç dayanımı sonuçlarına bakıldığında;

- DDB'ların BYBS'na bakıldığında DK'ye göre DG ~%45 ve DA ~%26.5 daha yüksek, DD ~%13.5 daha düşük çıkmıştır.
- NDB'ların BYBS'na bakıldığında NK'ye göre ND ~%11.4 ve NA ~%7 daha yüksek, DG ~%14.3 daha düşük çıkmıştır.
- YDB'ların BYBS'na bakıldığında YK'ye göre YD ~%7.6 ve YG ~%29 daha düşük, YA ~%15.4 daha yüksek çıkmıştır.

7 günlük Birleşik yöntem ile yaklaşık basınç dayanımı sonuçlarına bakıldığında;

- DDB'ların BYBS'na bakıldığında DK'ye göre DG ~%11.8 ve DA ~%50 daha yüksek, DD ~%200 daha düşük çıkmıştır.
- NDB'ların BYBS'na bakıldığında NK'ye göre NG ~%5, NA ~%49.6 ve ND ~%20.7 daha yüksek çıkmıştır.
- YDB'ların BYBS'na bakıldığında YK'ye göre YD ~%12 ve YG ~%6 daha düşük, YA ~%27.4 daha yüksek çıkmıştır.

28 günlük Birleşik yöntem ile yaklaşık basınç dayanımı sonuçlarına bakıldığında;

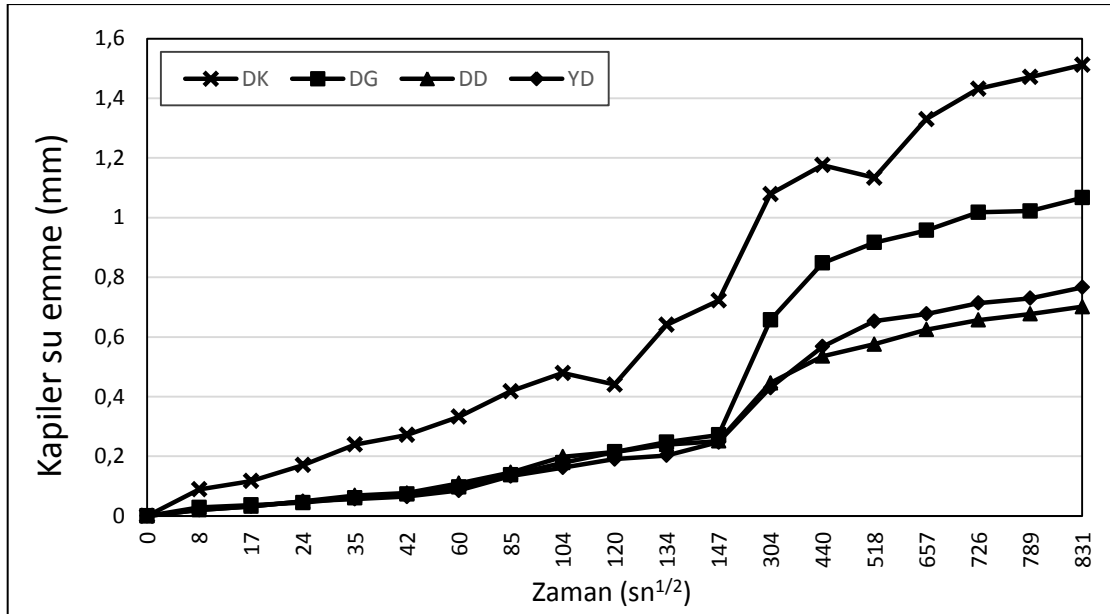
- DDB'ların BYBS'na bakıldığında DK'ya göre DG ~%8.4 ve DA ~%39.6, DD ~%10.2 daha yüksek çıkmıştır.

- NDB'ların BYBS'na bakıldığında NK'ya göre NG ~%13.5, NA ~%34.2 ve ND ~%28.2 daha yüksek çıkmıştır.

- YDB'ların BYBS'na bakıldığında YK'ye göre YD ~%14.6 ve YG ~%18.8 daha düşük, YA ~%2.8 daha yüksek çıkmıştır.

5.2.2. Kapiler Su Emme

ASTM C 1585'e göre yapılan kapiler su emme deney sonuçları her beton dayanım sınıfı için ayrı ayrı oluşturulmuştur. Kapiler su emme grafikleri düşük dayanımlı betonlar için Şekil 5.6'da, normal dayanımlı betonlar için Şekil 5.7'de, yüksek dayanımlı betonlar için Şekil 5.8'de gösterilmiştir.

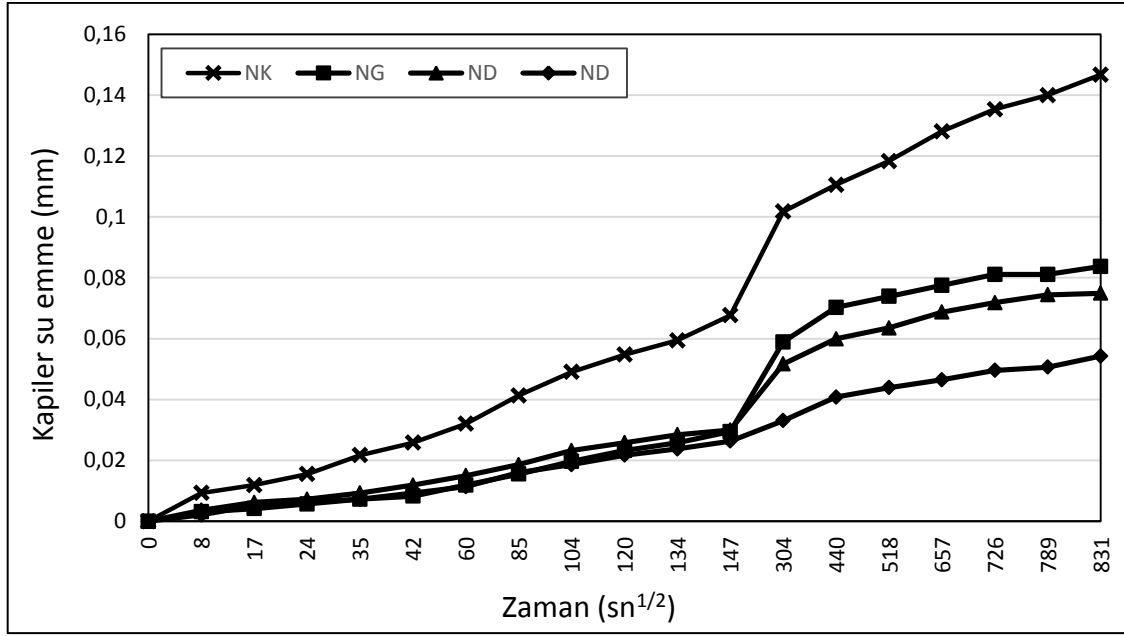


Şekil 5.6. Düşük dayanımlı betonların kapiler su emme miktarları

- DDB'ların KSE değerlerine bakıldığında DK'ya göre sırasıyla DG ~%29 ve DA ~%49, DD ~%54 daha düşük çıkmıştır.

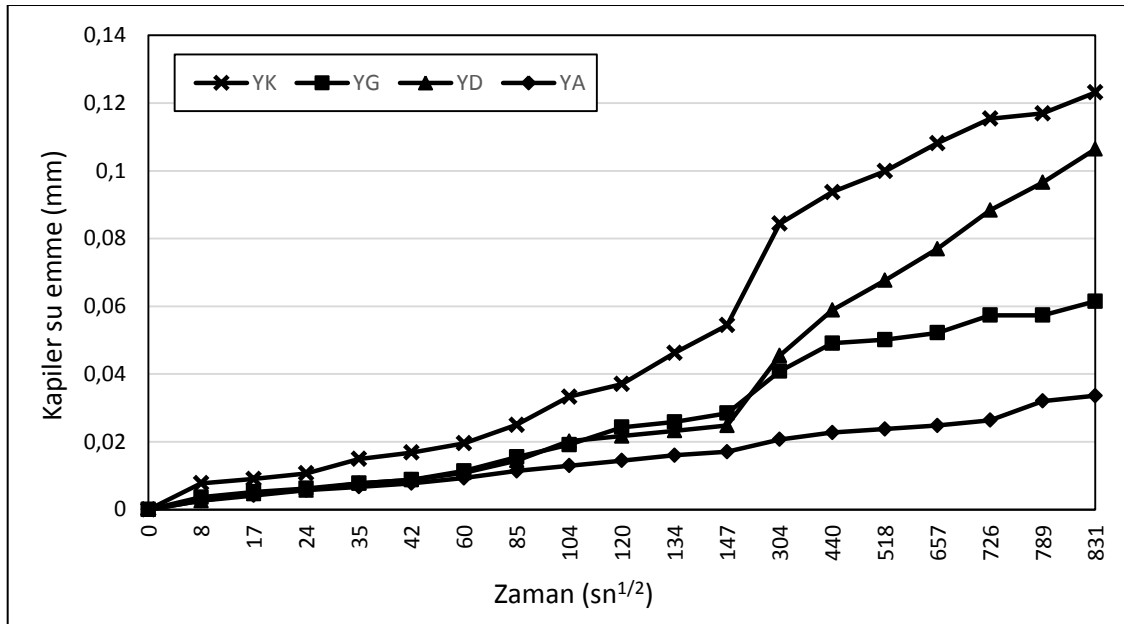
- DDB'ların en yüksek su emme miktarı DK betonuna aittir.

- DDB'ların en düşük su emme miktarı DD betonuna aittir.



Şekil 5.7. Normal dayanımlı betonların kapiler su emme miktarları

- NDB'ların KSE değerlerine bakıldığında NK'ya göre sırasıyla NG ~%43 ve ND ~%49, NA ~%63 daha düşük çıkmıştır.
- NDB'ların en yüksek su emme miktarı NK betonuna aittir.
- NDB'ların en düşük su emme miktarı NA betonuna aittir.



Şekil 5.8. Yüksek dayanımlı betonların kapiler su emme miktarları

- YDB'ların KSE değerlerine bakıldığında YK'ya göre sırasıyla YD ~%14 ve YG ~%50, YA ~%73 daha düşük çıkmıştır.

- YDB'ların en yüksek su emme miktarı YK betonuna aittir.

- YDB'ların en düşük su emme miktarı YA betonuna aittir.

Genel olarak KSE değerlerine bakıldığında;

- Andezit betonların kapiler su emme miktarlarına bakıldığında; 192 saat (8 gün) sonunda en fazla su emme miktarı 47.5 gr ile DDB'da, ikinci 26.25 gr ile NDB ve en az 16.25 gr ile YDB'da görülmüştür.

- Diyorit betonların kapiler su emme miktarlarına bakıldığında; 192 saat (8 gün) sonunda en fazla su emme miktarı 51.5 gr ile YDB'da, ikinci 43.25 gr ile DDB ve en az 36.25 gr ile NDB'da görülmüştür.

- Granit betonların kapiler su emme miktarlarına bakıldığında; 192 saat (8 gün) sonunda en fazla su emme miktarı 65.75 gr ile DDB'da, ikinci 40.5 gr ile NDB ve en az 29.75 gr ile YDB'da görülmüştür.

- Kireçtaşı Betonların kapiler su emme miktarlarına bakıldığında; 192 saat (8 gün) sonunda en fazla su emme miktarı 93.25 gr ile DDB'da, ikinci 71 gr ile NDB ve en az 60.25 gr ile YDB'da görülmüştür.

- En çok kapiler su emme miktarları kireçtaşı betonlarda görülmüştür.

- En az kapiler su emme miktarları ise andezit betonlarda görülmüştür.

5.3. Sertleşmiş Beton Fiziksel Bulguları

Betonların tümünün doymun ve kuru birim hacim ağırlıkları, su emme oranı ve porozite değerleri Çizelge 6'da gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Sertleşmiş beton fiziksel özellikleri

Beton Agregası	Kireçtaşı			Diyorit			Granit			Andezit		
Beton Sınıfı	DDB	NDB	YDB	DDB	NDB	YDB	DDB	NDB	YDB	DDB	NDB	YDB
Doygun B.H.A. (kg/dm³)	2.26	2.2	2.2	2.41	2.44	2.45	2.31	2.32	2.33	2.28	2.31	2.31
Kuru B.H.A. (kg/dm³)	2.18	2.13	2.14	2.26	2.31	2.26	2.16	2.2	2.22	2.14	2.2	2.22
Su Emme Oranı (%)	3.67	3.29	2.80	6.64	5.63	8.41	6.94	5.45	4.95	6.54	5.00	4.05
Porozite	5.4	4.3	3.9	10.0	7.7	12.0	9.6	7.9	7.3	8.7	7.4	6.0

Doygun Hacim Ağırlıklarına bakıldığında;

- DK'ya göre sırasıyla DA ~%0.9, DG~%2.2, DD ~%6.6 daha yüksek çıkmıştır.
- NK'ya göre sırasıyla NA ~%5, NG ~%5.5, ND ~%10.9 daha yüksek çıkmıştır.
- YK'ya göre sırasıyla YA ~%5, YG ~%5.9, YD ~%11.4 daha yüksek çıkmıştır.
- Kireçtaşı beton hariç dayanım sınıfı arttıkça DBHA değerleri de artmıştır.
- En yüksek DBHA diyorit betonlarında, en düşük ise kireçtaşı betonlarda görülmüştür.

Kuru birim hacim ağırlıklarına bakıldığında;

- DK'ya göre sırasıyla DA ~%1.8 ve DG~%0.9 daha düşük, DD ~%3.7 daha yüksek çıkmıştır.
- NK'ya göre sırasıyla NA ~%3.3, NG ~%3.3, ND ~%8.5 daha yüksek çıkmıştır.
- YK'ya göre sırasıyla YA ~%3.7, YG ~%3.7, YD ~%5.6 daha yüksek çıkmıştır.
- Düşük dayanım sınıfı hariç diğer dayanım sınıfları arttıkça KBHA değerleri de artmıştır.
- En yüksek KBHA diyorit betonlarda, en düşük ise kireçtaşı betonlarda görülmüştür.

Su emme oranına bakıldığında;

- DDB'larda en yüksek su emme miktarı DD'da, en düşük su emme miktarı DK'da görülmüştür.
- NDB'lar en yüksek su emme miktarı ND'de, en düşük su emme miktarı NK'da görülmüştür.
- YDB'lar en yüksek su emme miktarı YD'da, en düşük su emme miktarı YK'da görülmüştür.
- Diyorit betonu hariç diğer betonlarda dayanım sınıfı arttıkça su emme oranlarının düştüğü görülmüştür.
- Basınç dayanımına ters orantılı bir şekilde en düşük su emme oranları kireçtaşı betonlarda, en yüksek ise diyorit betonlarda görülmüştür.

Poroziteye bakıldığında;

- Porozite oranları su emme miktarları ile doğru orantılı sonuçlar göstermiştir.
- En düşük porozite oranı NK'de ve en yüksek porozite oranı YD'de görülmüştür.

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Çalışma sonunda elde edilen verilerden beton sektörünün en çok tercih ettiği kireçtaşı agregalı betonlara göre diyorit, granit ve andezit agregalı betonlar daha üstün mekanik ve fiziksel özellikler göstermiştir. Buna göre;

Çökme deneyi sonuçlarına bakıldığında; betonlar arasında doğrusal bir ilişkisi bulunmamıştır. Sonuçların birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Çökme değerlerinin betonda kayaç türüne göre çok az da olsa değişime neden olduğu söylenebilir.

Tek eksenli tahribatlı basınç dayanımı sonuçlarına bakıldığında; granit, diyorit ve andezit türü agregalarla üretilen betonların kireçtaşı ile üretilen betonlara göre 3, 7 ve 28. Günlerde gösterdiği dayanımlar daha yüksek çıktığı görülmüştür. Özellikle andezit agregalarla üretilen betonlar tüm beton türlerinde daha yüksek dayanım göstermiştir.

Schmidt çekici basınç dayanım sonuçlarına bakıldığında; Granit, Diyorit ve Andezit türü agregalarla üretilen betonların kireçtaşı ile üretilen betonlara göre 3, 7 ve 28. Günlerde gösterdiği dayanımlar daha yüksek çıktığı görülmüştür. Özellikle andezit agregalarla üretilen betonlar tüm beton türlerinde daha yüksek dayanım göstermiştir. Diyorit agregalarla üretilen betonların kireçtaşı ile üretilen betonlarla benzer dayanımlar ya da daha düşük dayanımlar göstermiştir.

Ultrasonik ses geçiş hızı belirlenmesinde deney numunelerinin suya doygun olmasının betonun kalitesini arttıran sonuçlar elde edilmesine neden olduğu düşünülmektedir. Ultrasonik ses geçiş hızı ile betondaki boşlukların doğrudan ilişkisi olduğu bilinmektedir. Problar arasında ses frekansı gönderildiğinde frekans boşlukları takip ederek hareket etmektedir. Bu boşluklar su ile dolu olduğu zaman sonuçlar istenildiği gibi çıkmayabilir. Hatta daha yüksek çıkması bu çalışmada olduğu gibi mümkündür. Ayrıca ilgili standartlarda ultrasonik ses geçiş hızı belirlenirken betonların rutubet durumunun nasıl olması gerektiği ile ilgili herhangi bir bilgiye rastlanılmamıştır.

Ultrasonik ses geçiş hızı ve bileşik yöntemle elde edilen sonuçlarındaki oransal farklara bakıldığında Tek eksenli tahribatlı dayanım sonuçlarındaki oransal farklar ve Schmidt çekici yaklaşık basınç dayanımı sonuçlarındaki oransal farklar ile paralel olduğu görülmektedir. Ancak sonuçların Tek Eksenli ve Schmidt çekici ile ilde edilen sonuçlara göre önemli oranda yüksek çıktığı görülmektedir. Bunun nedeni olarak Ultrasonik ses geçiş hızlarının beton numunelerin suya doygun olduğu durumda ölçülmesinden kaynaklandığı söylenebilir.

Özellikle 28 günlük beton kr örneklerinin dayanımları, 7 günlük örneklerin dayanım değerlerine göre yüksek çıkmıştır. Bu durum, beton örnekleri dayanımlarının yüksek olması için 28 günlük krde bekletilmesi gerektiğini göstermektedir.

Kapiler su emme değerleri basınç değerlerini doğrular niteliktedir. Özellikle suyla temas ihtimali olan betonlarda andezit ve granit agregalı betonlar daha yüksek performans gösterebileceği düşünülmektedir.

Bu bilgiler ışığında çalışmadaki betonların basınç dayanımları hakkında en dikkat çekici özellikler şunlardır;

- Tüm dayanım belirleme yöntemlerinde düşük, normal ve yüksek dayanımlı betonlar genel olarak hedeflenen dayanımların üzerinde sonuçlar göstermiştir.

- Tahribatsız basınç deneyi yöntemleri laboratuvar şartlarında üretilen betonlarda tahribatlı deney yöntemlerinden daha yüksek değerler göstermiştir. Bunların sebebi olarak; kullanılan çimentonun yüksek kalitede olması, üretiminden ilk bir hafta içinde kullanılması, çimentonun basınç dayanımının standarttan daha yüksek olması, agrega minerolojik agrega tane dağılımının standardın belirttiği en idealde oluşturulması, karıştırma, sıkıştırma ve kr şartları gösterilebilir. Bu sebepler göz önüne alındığında tahribatsız basınç deneyi yöntemlerinin daha yaşlı betonlarda daha gerçekçi sonuçlar verebileceği düşünülmektedir.

- Diyorit ve granit türü kayaçların tek eksenli basınç dayanımı ve Schmidt çekici basınç dayanımı testlerinde daha yüksek basınç dayanımı değerleri göstermesi beklenmesine rağmen, bu çalışmada andezitlerin genel olarak daha yüksek değerler

gösterdiği tespit edilmiştir. Bunun sebebi; granit ve diyorit türü kayaçlar Gümüşhane granitoyiti içinde yer almakta olup, yaklaşık 300-320 milyon yıllık bir yaşa sahipken andezitler ise yaklaşık olarak 50-55 yıllık bir yaşa sahiptir. Diyoritik ve granitik agregaların alındığı kayaçlar çok uzun zaman diliminde maruz kaldığı tektonizmaya ve günlenmeye bağlı olarak tazeliklerini yitirmişler, andezitler de ise doğal çevrenin bu olumsuz etkileri daha az olmuştur. Buna bağlı olarak da andezitler diğer agrega türlerine göre daha yüksek basınç dayanımları göstermişlerdir.

- Düşük dayanımlı betonların 1 m³'lük karışım hesabına bakıldığında çimento miktarı ~300 kg'dır. DK ile ~300 kg çimento kullanarak C18 betonu elde edilirken, DA ile 300 kg çimento kullanarak C26 betonu elde edilmiştir. Buna göre; TS 802 ile DDB tasarımlarında andezit kullanılması NDB üretilmesini sağlamış olup yaklaşık %25 çimento tasarrufu sağlayabileceği düşünülmektedir.

- Benzer bir şekilde normal dayanımlı betonların 1 m³'lük karışım hesabına bakıldığında çimento miktarı ~400 kg'dır. NK ile ~400 kg çimento kullanarak C27 betonu elde edilirken, YA ile ~400 kg çimento kullanarak C36 betonu elde edilmiştir. Buna göre; TS 802 ile NDB tasarımlarında andezit kullanılması YDB üretilmesini sağlamış olup yaklaşık %30 çimento tasarrufu sağlayabileceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak Gümüşhane yöresi diyorit, granit ve andezit türü kayaçların beton agregası olarak kullanılmasında fiziksel ve mekanik özellikler açısından herhangi bir sakıncasının olmadığı, aksine daha üstün özelliklerde olduğu tespit edilmiştir. Ancak Gümüşhane yöresinde çokça bulunan bu kayaç türlerinin betonda kullanılabilmesi için yatırım maliyelerinin iyi hesaplanması ve durabilite testlerinin de yapılması gerektiği unutulmamalıdır.

7. KAYNAKLAR

- Akman, S., Beton Teknolojisine Giriş, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, Yapı Malzemeleri Ana Bilim Dalı, 1998, İstanbul.
- Akman, S., 1990, Yapı Malzemeleri, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, 2. Baskı, İstanbul.
- Alexander, M.G., Milne, T.I., Influence of cement blent and aggregate type on stress strain behaviar and elastıç Moduls of concrete, ACI Materials Journal, no 92, May – June, 227-235, 1995.
- Amparano, F.E., Xi, Y., Roh, Y.S., Experimental study on the effect of aggregate content on fracture behavior of concrete, Engineering Fracture Mechanics, 67, 65-84, 2000.
- Andrew, S., Goudie, The Schmidt Hammer in geomorphological research, Progress in Physical Geography, 30, 6, pp. 703–718, 2006.
- Arioğlu, E., Arioğlu, N., Üst ve Alt Yapılarda Beton Karot Deneyleri ve Değerlendirilmesi, Evrim Yayınevi, İstanbul. 1998.
- Arioglu, E., Koyluoglu, O., Discussion of prediction of concrete strength by destructive and nondestructive methods by Ramyar and Kol, Cement and Concrete World, (in Turkish) 3: 33-34, 1996.
- Arslan, M., Demir. İ. (2006). Kırşehir Yöresi Kırma taşlarının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakülte Dergisi.
- ASTM C 1585, Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic- Cement Concretes ASTM, 1-5, 2004.
- ASTM C 39, Standard Test Method for Compressive Strength of Clindrical Concrete Specimens, Annual Book of ASTM Standartds, 1994.
- ASTM D 5873, 2001. Standard Test Method for Determination of Rock Hardness by Rebound Hammer Method, ASTM Stand. 04.09.
- Baradan, B., Yapı Malzemesi II. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No: 207, 5. Baskı, İzmir, 1998.
- Baska M.A., Betonun Basınç Dayanımının Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi, Y.Lisans Tezi, Erzurum Atatürk Üniversitesi FBE Tarımsal Yapılar ve Sulama ABD, 1-50, 2006.
- Bayülke N., Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, Genişletilmiş 3. Baskı, İMO-İzmir Şubesi, İzmir. 2001.

- Beshr, H., Almusallam, A.A., Maslehuddin, M., Effect of coarse aggregate quality on the mechanical properties of high strength concrete, Construction and Building Materials, Volume 17, Issue 2, 97-103, 2003.
- Bolat, H., Şimşek, O., Çullu, M., Durmuş, G., Can, Ö., The effects of macro synthetic fiber reinforcement use on physical and mechanical properties of concrete, Elsevier, Composites: Part B 61, 191-198, 2014.
- Celasun, H., ve Polat, Z., Ön Gerilmeli Beton, İDMM akademisi yayınları, Sayı 123, Kurtulmuş Matbaası, İstanbul, 1974.
- Cılason, N., Beton, STFA Yayınları No : 21, 1992, İstanbul.
- Çalışkan, S., Agregası Cinsi ve Tane Boyunun Arayüzey Aderans Dayanımına Etkisi, Çimento ve Beton Dünyası, sayı: 41, 65-66, Ankara, 2003.
- 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, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmeliği, Ankara/Türkiye, 30-32, 2007.
- 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., 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, 2014.
- Davraz M., Gündüz L., Isparta-Direkli Köyü Mevkii Trakiandezit Taşının Beton Agregası Olarak Değerlendirilmesi, IV.Ulusal Kırmata Sempozyumu 2-4 Aralık İstanbul 2006.
- Davraz, M., Gündüz, L., Şapcı N., Başpınar E., Isparta Civarı Volkanik Kayaçların Mühendislik Özellikleri ve Taşıyıcı Beton Üretiminde Kullanılabilirliği, Süleyman Demirel Üniversitesi, Pomza Araştırma ve Uygulama Merkezi, Isparta, 2012.
- Dehghan, S, Sattari, G. Chehreh, Chelgani, S, Allabadi, MA, 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, 2009.
- Ekmekyapar T., Örüng, İ., İnşaat Malzeme Bilgisi. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ofset Tesisi, 145, Erzurum, 2001.

- Ertaş, H., 2014. Kurşun Madeni Atıklarının Radyasyon Zırhlama Etkilerinin Araştırılması Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane, 74s.
- Erdoğan, T.Y., Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık, 3. baskı, 66-115, 2010.
- Erdoğan, T.Y., Beton, Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, METU Press, Ankara, 2003.
- Giaccio, G., et al., High-Strength Concretes Incorporating Different Coarse Aggregates, ACI Materials Journal, no 89, May-June, 242-247, 1992.
- Güven, İ.H., 1993. Doğu Panditleri 1/250.000 Ölçekli Kompilasyonu, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara (yayımlanmamış).
- Kaplan, S. A., Betonarme Temel İlkeler, Malzeme, Eğilme, Kesme, Aderans, Kullanılabilirlik, Bilbeyki Yayınevi No: 4 İstanbul 2003.
- Karaman K., Erçikdi B., Cihangir F., Kesimal A., Kayaçların Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tahmininde Schmidt Çekici Yöntemlerinin İncelenmesi Türkiye 22. Uluslararası Madencilik Kongresi, Ankara, 87-102, 2011.
- Katz, O. Reches, Z, Roegiers, J.C., Evaluation of Mechanical Rock Properties Using a Schmidt Hammer, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 37, pp.723-728, 2000.
- Ke, Y., “Beaucour, A.L., Ortola, S., Dumontet, H., Cabrillac, R., Influence of volume fraction and characteristics of lightweight aggregates on the mechanical properties of concrete, Construction and Building Materials, Volume 23, Issue 8, 2821-2828, 2009.
- Kılıç, A., Atış, C.D., Teymen, A., Karahan, O., Özcan, F., Bilim C., Özdemir, M., The influence of aggregate type on the strength and abrasion resistance of high strength concrete, Cement and Concrete Comp., V: 30, Issue 4, 290-296, 2008.
- Kim, Y.J., Choi, Y.W., Lachemi, M., Characteristics of self - consolidating concrete using two types of lightweight coarse aggregates, Construction and Building Materials, Volume 24, Issue 1, 11-16, 2010.
- Koçal, F., (1999). Trabzon-Maça Başar Taşocağındaki Kireçtaşının Agrega Olma Açısından İncelenmesi, Türkiye 16. Madencilik Kongresi / 16th Mining Congress of Turkey, 1999, ISBN 975-395-310.
- Mehta, P.K., Monteiro, P.J.M., Concrete Microstructure, Properties and Materials, 3rd edit, McGraw-Hill Professional, 253-279, 2006.
- Neville, A. M., Properties of Concrete, Trans-Atlantic Publications, 5th edit, 108-178, 2011.

- Neville, A.M., John Wiley, G. Sons, Properties of Concrete, Forth and Final Edit., 56-80, 1996.
- Özer, B., Özkul, M.H., The influence of initial water curing on the strength development of ordinary portland and pozzolanic cement concretes Cement and Concrete Research, Volume 34, Issue 1, 13-18, 2004.
- Özgan, E. (2005). Kırmataş Agrega İçerisindeki Taşunu Miktarının Basınç Dayanımına Etkisi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitü Dergisi.
- Özkahraman, H. T., and Işık , E. C., The Effect of Chemical and Mineralogical Composition of Aggregates on Tensile adhesion strenght of Tiles, Constraction and Building Materials, Vol:9, No:4, p 251-255, 2005.
- Özkan, Ş., Şengül, C., Taşdemir, C., Farklı Mineralojik Kökene Sahip Agrega İçeren Betonların Mekanik Özellikleri BETON 2013 Bildiriler Kitabı, 2013, 281-292, 2013.
- Öztürk, Ö., Çelikel, M., Erkan, M. 2007. Türkiye Agrega Sektör Raporu. Hazır Beton, Sayı. 84, s. 52-56.
- Proske, T., Hainer, S., Rezvani, M., Graubner, C.A., Eco-friendly concretes with reduced water and cement contents — Mix design principles and laboratory tests Cement and Concrete Research, Volume 51, 38-46, 2013.
- Qasrawi, H.Y., Concrete Strength by combined non destructive methods simply and reliably predicted, Cement an Concrete Research, 303, 739-746, 2000.
- Ramli, M., Tabassi, A.A., Hoe, K.W., Porosity, pore structure and water absorption of polymer-modified mortars: An experimental study under different curing conditions, Composites Part B: Engineering, V: 55, 221-233, 2013.
- Rocco, C.G., Elices, M., Effect of aggregate shape on the mechanical properties of a simple concrete Original Research Article, Engineering Fracture Mechanics, Volume 76, Issue 2, 286-298, 2009.
- Semiz, B., Özpınar, Y., Dönmez, H., Denizli volkanitlerinin özellikleri ve beton üretiminde kullanılabilirliği, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Isparta, 2004.
- Shannag, M.J, Shaia, H.A., Sulfate resistance of high-performance concrete, Cement and Concrete Composites, Volume 25, Issue 3, 363-369, 2003.
- Şimşek, O., Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yayınevi, 2004. Ankara.
- Taoukil, D., Bouardi, A., Sick, F., Mimet, A., Ezbakhe, H., Ajzoul, T., Moisture content influence on the thermal conductivity and diffusivity of wood–concrete composite, Construction and Building Materials, Volume 48, 104-115, 2013.

- Terzibaşıoğlu, N., Comparison Of Granites Of Sivrihsar And Kırşehir From Mechanical Behavior Point Of View, Master's Thesis, Mining Engineering Middle East Technical University, 1989.
- Troxell, G.R., Davis, H.F., and Kelly, J.W., Compression and Properties of Concrete, McGraw-Hill Book Company, New York, 1968.
- Tuncer, E., 2014, Gümüşhane Yöresi Volkanik Kayaçların Pozolanik Aktivitesinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane, 89s.
- TS 10465, Beton Deney Metotları, Basınç dayanımının yapılar ve öndökümlü beton bileşenlerde yerinde tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Nisan, 2010.
- TS 2940, Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 1: Numune alma, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Ocak, 2010.
- TS 2028, Kayaçların Tek Eksenli Basma Dayanımlarının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1975.
- TS EN 480-11, Kimyasal katkıları - Beton, harç ve şerbet için- Deney metotları- Bölüm 11: Sertleşmiş betonda hava boşluğu özelliklerinin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Şubat, 2001.
- TS 500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- TS 706 EN 12620, Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2003.
- TS 802, Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, TSE, Ankara, 2009.
- TS EN 12350-2, Beton – Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi, TSE, Ankara, 1-7, 2010.
- TS EN 12390-3, Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, TSE, Ankara, 5-16, 2012.
- TS EN 12390-7, Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 7: Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini, TSE, Ankara, 1-5, 2002.
- TS EN 12504-4, Beton deneyleri - Bölüm 4: Ultrasonik atımlı darbe hızının tayini, TSE, 1-4 2012.
- TS EN 13791, Basınç dayanımının yapılar ve öndökümlü beton bileşenlerde yerinde tayini, TSE, 1-7, Nisan, 2010.
- TS EN 197-1, Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, TSE, Ankara, 2011.

- Uğurlu, A. (1996), Taşunu Kullanımının Beton Özellikleri Üzerine Etkisi.1.Ulusal Kırmataş Sempozyum Kitabı.
- Uluata, A.R., Beton Malzemeleri ve Beton, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi (Teksir), Erzurum, 1981.
- URL-1: www.deprem.gov.tr T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı, “Gümüşhane ili deprem kuşakları haritası”
- URL-2: <http://tr.wikipedia.org/wiki/Kireçtaşı> Vikipedi Özgür Ansiklopedi, 5 Mart 2013.
- URL-3: <http://tr.wikipedia.org/wiki/Granit> Vikipedi Özgür Ansiklopedi, 27 Ağustos 2014.
- URL-4: <http://tr.wikipedia.org/wiki/Andezit> Vikipedi Özgür Ansiklopedi.
- URL-5: <http://tr.wikipedia.org/wiki/Diyorit> Vikipedi Özgür Ansiklopedi, 6 Ekim 2014.
- Vural, A., 2014, sözlü görüşme, Gümüşhane Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Bağlarbaşı, Gümüşhane, vural@gumushane.edu.tr
- Yaşar, E., Erdoğan, Y., Kılıç, A., Effect of limestone aggregate type and water–cement ratio on concrete strength, Materials Letters, V. 58, Issue 5, 772-777, 2004.
- Yeğınobalı, A., Betonun İç Yapısı, Türkiye Çimento Muhtasilleri Birliği Notları, No: 3, Ankara, 1999.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Ankara’da doğdu. İlk ve orta öğretimini Ankara’nın Yenimahalle ilçesinde tamamladı. 2002-2004 yılları arasında Karadeniz Teknik Üniversitesi Gümüşhane Meslek Yüksek Okulu İnşaat Teknikerliği bölümü bitirdi ve 2005-2008 yılları arasında Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü Yapı Öğretmenliği bölümünü bitirdi. 2010 yılında Gümüşhane Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yüksek Lisans programına başladı. Autocad, Sketch Up, SAP 2000 ve Office programlarına iyi derecede hâkimdir. Orta seviyede İngilizce bilmektedir.