

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TRABZON İL VE ÇEVRESİNDE ALINAN DOĞAL TAHLARIN AGREGA
MALZEMESİ OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Maden Mühendisi Ercüment KOÇ

**HAZİRAN 2014
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**TRABZON İL VE ÇEVRESİNDE ALINAN DOĞAL TAHLARIN AGREGA
MALZEMESİ OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

Maden Mühendisi Ercüment KOÇ

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"MADEN YÜKSEK MÜHENDİSLİĞİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 23.05.2014
Tezin Savunma Tarihi : 18.06.2014**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ

Trabzon 2014

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalında

Ercüment KOÇ tarafından hazırlanan

**TRABZON İL VE ÇEVRESİNDE ALINAN DOĞAL TAHLARIN AGREGA
MALZEMESİ OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

**Başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 23 / 05 / 2014 gün ve 1555 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ

Üye : Doç. Dr. Kerim AYDINER

Üye : Yrd. Doç. Dr. İbrahim ÇAVUOĞLU

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Trabzon İli ve Çevresinden Alınan Doğal Taşların Agrega Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması” adlı bu araştırma K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak yapılmıştır.

Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinde, planlanmasında ve çalışmalarının yürütülmesinde her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen çok kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ’ a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın her safhasında desteğini, bilgisini, tecrübesini ve yardımını esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr. İbrahim ÇAVUŞOĞLU ve Arş.Gör. Mehmet ÇAPIK’e ve çalışma sürecinde yardımlarını esirgemeyen Arş.Gör. Erdem BAYRAK, Arş.Gör. Serdar YAŞAR ve Arş Gör. Kadir KARAMAN’a teşekkürlerimi sunarım.

Kayaçların ve diğer materyallerin temin edilmesinde gösterdikleri yardım ve alakaları için Güvencem Mermer & Madencilik Yönetim Kurulu Başkanı Sayın Cemal GÜVEN’e, İşletme Yöneticisi Sayın Nazmiye Yazıcı’ya ve Aşkale Çimento Hazır Betonlar Kalite Kontrol Şefi İnşaat Yüksek Mühendisi Sayın Mustafa ŞAHİN’e teşekkür ederim.

Deneysel çalışmaların yürütülmesinde gösterdikleri ilgi ve yardımlar için değerli kardeşim Gökçe KOÇ’a ve kıymetli kuzenlerim Asaf AGUN ve Safa KOÇ’a teşekkürlerimi borç bilirim.

Her zaman yanımda olan ve hiçbir zaman desteğini benden esirgemeyen kıymetli aileme, annem Hülya ve babam Mehmet KOÇ’a sevgi ve şükranlarımı sunarım.

Hazırlamış olduğum bu tezimi rahmetli dedem Şükrü KOÇ’a ithaf ediyorum.

Ercüment KOÇ
Trabzon 2014

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Trabzon İli Ve Çevresinden Alınan Doğal Taşların Agregat Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ’ ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 23/05/2014

Ercüment KOÇ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Agregalar	1
1.2. Agregaların Sınıflandırılması	3
1.2.1. Kaynağına Göre Agregalar	4
1.2.2. Tane Büyüklüklerine Göre Agregalar	4
1.2.3. Yoğunluklarına Göre Agregalar	6
1.3. Agregaların Özellikleri.....	6
1.4. Agregaların Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi.....	7
1.4.1. Agregada Nem İçeriği	8
1.4.2. Agregada Yoğunluk-Birim Hacim Ağırlık.....	10
1.4.3. Agregaların Özgül Ağırlığı	11
1.4.4. Agregada Doluluk Oranı (Kompozite)	11
1.4.5. Agregada Tane Şekli ve En Büyük Tane Büyüklüğü	12
1.4.6. Agregaların Granulometrisi (Tane Büyüklüğü Dağılımı).....	14
1.4.7. Agregaların İncelik Modülü	15
1.4.8. Agregada Dona Dayanıklılık.....	16
1.5. Agreganın Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi	17
1.5.1. Basınç Dayanımı	17
1.5.1.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı	18
1.5.1.2. Schmidt Çekici	18
1.5.1.3. Nokta Yükleme Dayanımı.....	19
1.5.1.4. Endirekt Çekme (Brazilian) Dayanımı.....	19
1.5.2. Aşınma Dayanımı.....	20
1.5.3. Agregada Parçalanma Dayanımı (Kırılabilirlik).....	21

1.5.4.	Ultrasonik Darbe Hızı (UPV).....	22
1.6.	Agregalarda Bulunabilecek Zararlı Madde ve Taneler	23
1.6.1.	Yıkanabilir (İnce) Maddeler	24
1.6.2.	Organik Kökenli Maddeler.....	25
1.6.3.	Sertleşmeye Zarar Veren Maddeler.....	25
1.6.4.	Sülfat İçeren Maddeler	26
1.6.5.	Çeliğe Zarar Veren Maddeler.....	26
1.6.6.	Alkali Reaktivite Oluşturan Maddeler	26
1.7.	Beton	27
1.8.	Taze Betonun Özellikleri.....	27
1.8.1.	İşlenebilme	28
1.8.2.	Homojenlik.....	28
1.9.	Sertleşmiş Betonun Özellikleri.....	29
1.9.1.	Basınç Dayanımı	29
1.9.2.	Çekme Dayanımı.....	30
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	31
2.1.	Materyal.....	32
2.1.1.	Agregalar	32
2.1.2.	Çimento	33
2.1.3.	Su.....	34
2.2.	Kayaçlardan Deney Numunesi Hazırlanması.....	34
2.2.1.	Silindirik Numunelerin Hazırlanması	35
2.2.1.1.	Karot Alma İşlemi	35
2.2.1.2.	Karot Düzeltme İşlemi	36
2.2.2.	Küp Numunelerin Hazırlanması.....	36
2.2.2.1.	Küp Kesme İşlemi	36
2.2.3.	Kırma Taş Numunelerinin Hazırlanması	36
2.2.3.1.	Kırma İşlemi	37
2.3.	Deneysel Çalışmalar	37
2.3.1.	Fiziksel Deneyler.....	38
2.3.1.1.	Yoğunluk – Birim Hacim Ağırlık Tayini	38
2.3.1.2.	Su Emme ve Tane Yoğunluğu Tayini	39
2.3.1.3.	Gevşek Yığın Yoğunluk ve Boşluk Hacmi Tayini.....	41
2.3.1.4.	Agrega Yüzey Nemi Oranı Tayini	43
2.3.1.5.	Donma ve Çözünmeye Karşı Direnç.....	43
2.3.2.	Mekanik Deneyler	45

2.3.2.1. Schmidt Çekici	45
2.3.2.2. Ultrasonik Darbe Hızı (UPV).....	46
2.3.3.3. Dolaylı Çekme Dayanımı (Brazilian).....	47
2.3.3.4. Nokta Yükleme Dayanımı.....	49
2.3.3.5. Tek Eksenli Basınç Dayanımı	49
2.3.3.6. Böhme Aşınma Dayanımı Deneyi.....	51
2.3.3.7. Micro-Deval aşınma dayanımı deneyi	51
2.3.3.8. Kırılma Direnci (Parçalanma Direnci).....	53
2.3.4. Granülometri Deneyleri.....	54
2.3.4.1. Agregat Tane Büyüklüğü Dağılımı (Elek Analizi) ve İnce Madde Tayini	54
2.3.4.2. İncelik Modülü	56
2.3.5. Beton Karışımlarının Hazırlanması.....	56
2.3.6. Beton Deneyi.....	62
2.3.6.1. Beton Basınç Dayanımı.....	62
3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME	64
3.1. Fiziksel Özellikler	64
3.2. Mekanik Özellikler.....	69
3.3. Beton Dayanımları	74
3.4. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	74
3.4.1. Fiziksel Özelliklerin Karşılaştırılması.....	75
3.4.2. Mekanik Özelliklerin Karşılaştırılması	76
3.4.3. Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin Karşılaştırılması.....	79
3.4.4. Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin Beton Dayanımları ile Karşılaştırılması	79
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	82
5. KAYNAKLAR.....	84
ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

TRABZON İLİ VE ÇEVRESİNDEN ALINAN DOĞAL TAŞLARIN AGREGA
MALZEMESİ OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Maden Müh. Ercüment KOÇ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ
2014, 84 Sayfa

Bu tez çalışmasında, Trabzon ili ve çevresinden alınan traverten, kireçtaşı, çamur taşı, andezit, bazanit, bazalt ve tuf numunelerinin agrega olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Laboratuvara getirilen numunelerin deneylere hazırlanması için kayalar silindirik ve kübik şekillerde kesilmiş, geri kalan kısımlar ise kırılarak mıcır haline getirilmiştir. Numunelerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yoğunluk-birim hacim ağırlık, su emme ve özgül ağırlık, gevşek yığın yoğunluk-boşluk hacmi, agrega ince madde tayini, agrega yüzey nemi oranı tayini, donma çözünmeye karşı direnç deneyleri, mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla schmidt çekici, ultrasonik darbe hızı, brazilian indirekt çekme dayanımı, tek eksenli basınç dayanımı, böhme aşınma dayanımı, mikro deval aşınma dayanımı, kırılgenlik, nokta yükleme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca oluşturulan kırma taş numunelerine elek analizi yapılarak beton karışım hesapları oluşturulmuştur. Son aşamada ise beton numuneleri dökülmüş ve yirmi sekiz günlük kür süresine sahip dayanımları bulunmuştur. Sonuçlar incelendiğinde bazanit, bazalt, andezit ve traverten kullanılarak oluşturulan beton numunelerine ait dayanım değerlerinin hedeflenen dayanım sınıfında (C18/22) oldukları, bazanit ve bazalt numunelerinin agrega malzemesi olarak kullanılabilirliğinin uygun olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Doğal Taş, Agrega, Beton, Trabzon

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF AVAILABILITY THE AGGREGATE MATERIALS TAKEN AS
NATURAL STONES AT TRABZON CITY AND SURROUNDING AREA

Mining Eng. Ercument KOC

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Supervisor: Prof. Ali Osman YILMAZ
2014, 84 Pages

Travertine, limestone, mudstone, andesite, basanite, basalt and tuff were taken from Trabzon province and its surroundings and; the usability of these materials as aggregate were investigated in this study. Half of the samples were cut to cylindrical and cubical shapes and; the rest of the samples were crushed into stone chips for further analysis in the laboratory. Density-bulk density, water adsorption and specific gravity, loose bulk density-pore volume, fine aggregate materials, surface moisture in aggregate samples, freeze-thaw resistance test were carried out to determine the physical properties of the samples and; Schmidt hammer, ultrasonic pulse velocity, Brazilian indirect tensile strength, uniaxial compressive strength, Bohme abrasion resistance, Micro-Deval abrasion resistance, brittleness, point load test were also carried out to determine the mechanical properties of the samples. In addition, sieve analysis was performed on the crushed samples and concrete mix designs were established. In the last stage, concrete samples were poured and the strength was determined for curing a period of 28 days. The results showed that as expected, concrete prepared using travertine, andesite, basanite and basalt was in the strength class C18/22. Bassanite and basalt samples were found to be suitable as aggregate material availability.

Key Words: Natural Stone, Aggregate, Concrete, Trabzon

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No.

Şekil 1.1.	Doğal agregalar. a) Çakıl, b) Kum, c) Silt ve kil, d) Kırma taş, e) Kırma kum, f) Taş unu (Ün, 2007).....	2
Şekil 1.2.	Agregaların sınıflandırılması (Güner ve Süme, 2000).	3
Şekil 1.3.	Tel örgülü kare göz açıklıklı elek (e: elek göz açıklığı).....	5
Şekil 1.4.	Nem içeriğinin agrega hacmine etkisi (Ün, 2007).....	8
Şekil 1.5.	Agraga nem içeriği durumları. a) Tam kuru, b) Kuru yüzey, c) Doygun kuru yüzey, d) Islak.....	9
Şekil 1.6.	Gevşek ve sıkışık haldeki agrega. a) Gevşek, b) Sıkışık	10
Şekil 1.7.	Su taşıma metodu ile agrega hacmi bulunması	11
Şekil 1.8.	Agrega yığımındaki boşluklar. d) Dolu kısımlar, b) Boş kısımlar	12
Şekil 1.9.	Agrega tane şekli. a) En küçük boyut, b) En büyük boyut, c) Kalınlık, d) Temsili uzun ve yassı agrega çizimi	13
Şekil 1.10.	Sınırlandırılmış granülometri eğrileri (A: kabul edilen alt sınır, C: kabul edilen üst sınır, B: ideal karışım granülometrisi) (TS 706 EN 12620, 2009).....	15
Şekil 1.11.	Micro-Deval aşındırma cihazı	21
Şekil 1.12.	Kırılmalık deneyi yapılış şeması (Yaşar, 2013).....	22
Şekil 1.13.	Korozyona uğramış ve aşınmış beton (URL-2, 2014).....	23
Şekil 1.14.	Taze betonun yerleştirilmesi.....	28
Şekil 2.1.	Yapılan çalışmalar	31
Şekil 2.2.	Örneklerin alındıkları sahalar. A: Düzyurt ve Gözalan Köyü, B: Kaymaklı Köyü, C: İyidere İlçesi, D: Gümüşhane İli, E: Bayburt ili	33
Şekil 2.3.	Numunelerin hazırlanması. a) Blok numuneler, b) Karot alma işlemi, c) Karot ucu düzeltme işlemi, d) Küp kesme işlemi.....	35
Şekil 2.4.	Hazırlanan numuneler. a) Silindir, b) Küp	36
Şekil 2.5.	Kırma taş numunelerinin hazırlanması. a) Çeneli kırıcı ile kırma işlemi, b) Kırma taş numuneleri	37
Şekil 2.6.	Hassas terazi ile numune tartımı.....	39

Şekil 2.7. Ölçü kabı darasının alınması	42
Şekil 2.8. Numunelerin naylon torbalara yerleştirilmesi	44
Şekil 2.9. Schmidt çekici ile ölçüm alımı	45
Şekil 2.10. Alıcı ve gönderici başlıklar.....	46
Şekil 2.11. Dolaylı çekme dayanımı için hazırlanan örnekler	48
Şekil 2.12. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi	50
Şekil 2.13. Numunenin hazneye yerleştirilmesi	53
Şekil 2.14. Bazalt numunesi elek analizi (b: kabul edilen optimum değer, a: kabul edilen alt değer, c: kabul edilen üst değer)	57
Şekil 2.15. Bazanit numunesi elek analizi (b: kabul edilen optimum değer, a: kabul edilen alt değer, c: kabul edilen üst değer)	58
Şekil 2.16. Andezit numunesi elek analizi (b: kabul edilen optimum değer, a: kabul edilen alt değer, c: kabul edilen üst değer)	58
Şekil 2.17. Çamur taşı numunesi elek analizi (b: kabul edilen optimum değer, a: kabul edilen alt değer, c: kabul edilen üst değer)	59
Şekil 2.18. Kireçtaşı numunesi elek analizi (b: kabul edilen optimum değer, a: kabul edilen alt değer, c: kabul edilen üst değer)	59
Şekil 2.19. Traverten numunesi elek analizi (b: kabul edilen optimum değer, a: kabul edilen alt değer, c: kabul edilen üst değer)	60
Şekil 2.20. Oluşturulan karışımların granülometri eğrisi (a: kabul edilen alt değer, c: kabul edilen üst değer).....	61
Şekil 2.21. Beton numunelerinin hazırlanması. a) Betonun karıştırıcı ile karılışı, b) Karılan betonun kalıplara dolduruluşu, c) Yaş betonun kalıplarda sertleşmesi, d) Beton numunesinin kür havuzunda bekletilmesi	62

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No.</u>
Tablo 1.1. Maksimum agrega tane büyüklüğü (Ün, 2007).....	14
Tablo 2.1. Örneklerin alındıkları bölgeler	32
Tablo 2.2. Aşkale Portlant kalkerli çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri (URL-3, 2014).....	34
Tablo 2.3. Su kalite raporu (URL-4, 2014).....	34
Tablo 2.4. Kayaçların yoğunluk ve birim hacim ağırlık değerleri.....	39
Tablo 2.5. Agregaların su emme ve özgül ağırlık değerleri.....	41
Tablo 2.6. Agregaların gevşek yığın yoğunluk ve boşluk hacmi değerleri	42
Tablo 2.7. Agregalara ait yüzey nemi sonuçları	43
Tablo 2.8. Kayaçlara ait dona dayanıklılık sonuçları.....	44
Tablo 2.9. Kayaçlara ait Schmidt çekici sonuçları.....	45
Tablo 2.10. Kayaçlara ait ultrasonik darbe hızı değerleri	47
Tablo 2.11. Kayaçlara ait dolaylı çekme dayanımı değerleri	48
Tablo 2.12. Kayaçlara ait nokta yükleme dayanımı değerleri	49
Tablo 2.13. Kayaçlara ait tek eksenli basınç dayanımı değerleri.....	50
Tablo 2.14. Kayaçlara ait Böhme aşınma dayanımı değerleri	51
Tablo 2.15. Agregalara ait Micro-Deval Aşınma dayanımı değerleri	52
Tablo 2.16. Agregalara ait kırılma dayanımı değerleri.....	53
Tablo 2.17. Elekten geçen malzemenin yığılımlı yüzdesi ($d_{max}:16$)	55
Tablo 2.18. Kırılmış numunelerin incelik modülleri	56
Tablo 2.19. Hazırlanan beton karışım oranları	61
Tablo 2.20. Beton basınç dayanımı deneyi sonuçları	62
Tablo 2.21. Günümüzde kullanılan beton sınıfı dayanımları (TS 500, 2000).	63
Tablo 3.1. Kayaçların fiziksel özellikleri.....	64

Tablo 3.2. Kayaçların basınç dayanımları ve ultrasonik darbe hızları.....	69
Tablo 3.3. Kayaçların aşınma ve parçalanma dayanımları	72
Tablo 3.4. Beton örneklerinin basınç dayanımları.....	74

SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Kesit alanı
A_b	: Başlık alanı
A-LL 42,5R	: Kalkerli portlant çimentosu
ASTM	: Amerikan malzeme ve test standardı
AX	: 31mm çaplı karot
C18/22	: Beton sınıfı
CANMET	: Kanada maden enerjileri ve teknolojisi merkezi
CEM	: Çimento cinsi
D	: Silindirik karot örneği çapı
EC:	: Avrupa komisyonu
EN :	: Avrupa normu
E_u	: Young modülü
F	: Yenilme anında okunan yük
f_{ck} , küp	: Küp numunenin basınç dayanımı
f_{ck} , sil	: Silindirik numunenin basınç dayanımı
GKO	: Genel karışım oranı
ISRM	: Uluslararası kaya mekaniği topluluğu
L	: Silindirik karot örneği boyu
m	: 1,6 mm göz açıklıklı elek üzerinde kalan malzeme kütlesi
m_2	: Dolu ölçü kabı ağırlığı
m_1	: Boş ölçü kabı ağırlığı
m_y	: Yıkabilen ince madde oranı
M_{DE}	: Micro-Deval katsayısı
NX	: 54,7mm çaplı karot
P	: Kayaç örnekleri içinden geçirilen sıkışma dalgaları
P_1	: Numunenin kırılması için uygulanan kuvvet
S	: Kayaç örnekleri içinden geçirilen makaslama dalgaları

S_n	: Herhangi bir göz açıklığındaki elek üstü malzeme ağırlığı
S_z	: Kırılma değeri
t	: Örnek kalınlığı
T_p	: P dalgasının ilerleme zamanı
t_p	: P dalgasının örnekten geçiş süresi
T_s	: S dalgasının ilerleme zamanı
t_s	: S dalgasının örnekten geçiş süresi
TS	: Türk Standardı
V	: Agregaların toplam hacmi
v	: Agregaların için deki taneler arası boşluk
V_{sil}	: Silindirik örnek hacmi
V_k	: Ölçü kabı hacmi
V_p	: P dalgasının yayılma hızı
V_s	: S dalgasının yayılma hızı
W	: Silindirik örnek ağırlığı
W_1	: Deney numunesi ağırlığı
W_2	: Deney numunesi doymuş kuru yüzey ağırlığı
W_d	: Donma çözünme sonundaki deney numunesi ağırlığı
W_n	: Elek üstü malzeme ağırlığı
W_0	: Numunenin deney öncesi etüv kuru ağırlığı
W_s	: Numunenin deney sonrası etüv kuru ağırlığı
γ	: Birim hacim ağırlığı
v	: Boşluk yüzdesi
ρ	: Örnek yoğunluğu
ρ_b	: Gevşek agregaların yoğunluğu
ρ_p	: Kuru tane yoğunluğu
σ_c	: Sıkışma dayanımı
σ_t	: Çekme dayanımı

1. GENEL BİLGİLER

Bu kısımda, deneylerde kullanılan materyal ve yöntemlere ait literatür bilgisi verilmiştir.

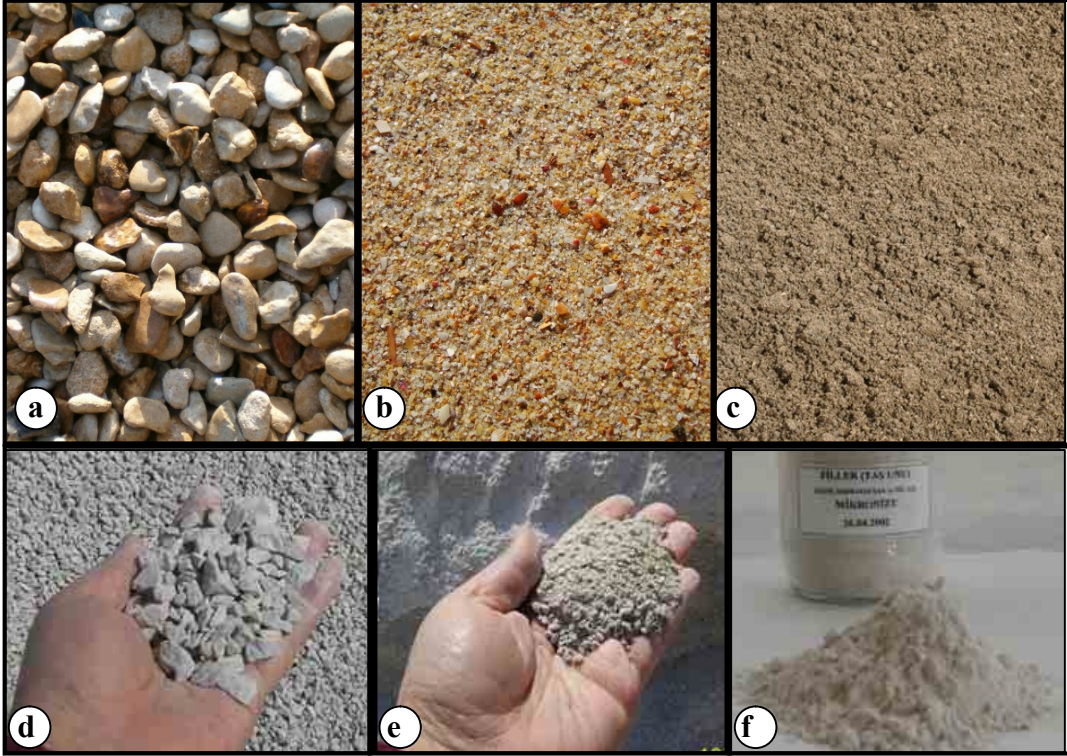
Gelişen dünyada insan hayatı için ihtiyaç duyulan temel malzemeler arasında agregalar da bulunmaktadır. Özellikle yapı sektöründe temel ürün olarak yer alan agrega genel itibari ile Avrupa Birliği ülkelerinde ortalama 100 ton ile bir evin, 3.000 ton ile orta büyüklükte bir okulun, 30.000 ton ile bir km'lik otoyolun ve 90.000 ton ile bir km'lik hızlı tren yolunun inşasında kullanılmaktadır. Agregaya duyulan ihtiyacın bu denli büyük olması ne kadar hayati bir ürün olduğunu kanıtlamaktadır (Özbakır ve Nasuf, 2009).

1.1. Agregalar

Mineral kökenli, 100 mm'ye kadar çeşitli boyutlarda tanelerden oluşan kum, çakıl, kırmataş veya curuf gibi malzemelere agrega denir (Özkul vd., 1999; Güner ve Süme, 2000). Diğer bir ifade şekli ile agrega, betonun %60-80' ini oluşturan mineral kökenli, taneli yapıdaki malzemedir (Arıoğlu vd., 2006). Agregalar betonda kullanılmalarının yanında demiryollarında nihai ürün olarak balast malzemesi ve asfalt inşasında %95 oranında dökme malzemesi olarak da kullanılmaktadır (Özbakır ve Nasuf, 2009).

Kayaçların sıcaklık değişimlerinin etkisiyle ya da su ve erozyon gibi çeşitli dış etkenler ile ufalanması ve aşınması sonucunda oluşan taneli malzemeye doğal agrega denir. Oluşan doğal agrega 4mm den büyük tane büyüklüğüne sahipse çakıl, 4mm den küçük tane büyüklüğüne sahipse kum, 63µm den küçük tane büyüklüğüne sahipse silt ve 4µm den küçük tane büyüklüğüne sahipse ise kil adını almaktadır (Şekil 1.1).

Agregalar doğal yollardan oluştuğu gibi, iri taş parçalarının konkasör adı verilen kırıcılarda kırılması sonucunda da mıcır olarak elde edilebilirler. 4mm den iri olan mıcıra kırma taş, ince olanına ise kırma kum denir (Güner ve Süme, 2000). Ayrıca kırılan malzeme 63µm den daha ince ise taş unu adını alır. Günümüzde kullanılan mıcır boyutları Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Doğal agregalar. a) Çakıl, b) Kum, c) Silt ve kil, d) Kırma taş, e) Kırma kum, f) Taş unu (Ün, 2007).

Betonun önemli özellikleri beton üretiminde kullanılan agreganın yapısal karakteristiklerine bağlıdır. Agregaların betonun büyük bir bölümünü oluşturduğu düşünüldüğünde, agreganın bütün özelliklerinin bilinmesinin ne denli önemli olduğu da görülmektedir.

Agregalar, sert, sağlam, aşınmaya ve donma çözünmeye karşı dayanıklı olmalıdır. Su ve çevresel etkilerle yumuşamamalı ve dağılmamalıdır. Şekli ve yüzey dokusu iyi olmalıdır. Özellikle betonda kullanılacak agregalar çimento bileşenleriyle betona zarar verici bir tepkimeye girmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir (Güner ve Süme, 2000).

Agrega, sahip olduğu yapısal özelliklerini meydana geldiği kayaçtan almaktadır. Bu nedenle agreganın kimyasal ve mineralojik bileşimi, petrografik yapısı, özgül ağırlığı, dayanımı, fiziksel ve kimyasal kararlılığı, boşluk yapısı, rengi gibi çeşitli özellikleri elde edildiği kayacın özelliklerine bağlıdır. Dolayısıyla agregaların özellikleri belirlenirken oluşum kayacından yararlanılabilmektedir. Ancak agregalar taneli yapıda olduklarından tane şekli, boyutları ve boyut dağılımları, yüzey yapısı, boşluk oranı ve su emmesi gibi özellikleri ayrıca incelenmelidir.

1.2. Agregaların Sınıflandırılması

Agregalar yaygın olarak elde edilmiş şekillerine, yoğunluklarına ve tane büyüklüklerine göre sınıflandırılmışlardır, genel olarak ise doğal agrega, işlenmiş doğal agrega ve yapay agrega olarak sınıflandırılır. Bunun yanında literatürde farklı sınıflandırmalar da bulunmaktadır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Agregaların sınıflandırılması (Güner ve Süme, 2000).

Şekil 1.2’de görüldüğü üzere agregalarda bir çok sınıflandırma kullanılmaktadır. Ancak pratikte yaygın olarak kullanılan 3 sınıflandırılma seçilmiş ve aşağıda ayrıntılarıyla açıklanmıştır.

1.2.1. Kaynağına Göre Agregalar

Kaynağına göre agregalar doğal ve yapay agregalar olarak ikiye ayrılmaktadır.

Doğal agregalar; nehirlerden, akarsu yataklarından, teraslardan, göllerden, çöllerden denizlerden kırılmamış olarak ya da taş ocaklarından kırılmış olarak elde edilen agregadır. Çıkarıldıkları yere göre akarsu yatağı, deniz, buzul, teras ve taş ocağı agregası olarak sınıflandırılırlar (Güner ve Süme, 2000).

Yapay agregalar; yüksek fırın cürufu taşı, izabe cürufu veya yüksek fırın cürufu kumu gibi sanayi ürünü olan kırılmamış veya kırılmış agregalardır (Özkul vd.,1999). Adams’a (1993) göre, sanayi ürünü olarak da adlandırılan yoğun ve özel olarak üretilmiş hafif agregalardır. İkinci bir işlem uygulanması ile beton yapımında kullanılır duruma getirilebilirler. Uygulanan işlemler sonucunda yapısal değişiklikler gösterirler. Özel amaçlar için ihtiyaç duyulduklarından kullanım alanları kısıtlıdır. Yapay agregalar genel olarak boşluklu (gözenekli) bir yapıda olduklarından, ses ve ısı yalıtımı sağlama ve hacimleri bölme amacıyla üretilen betonlarda kullanılmaktadır (Tutmaz, 2009).

Kırma taş agregalar (mıcır) literatürde doğal işlenmiş agrega ya da yapay agrega olarak iki farklı görüşte sınıflandırılmıştır. Ancak doğada bulunma şekli bakımından incelendiğinde, kırma taş agrega kaynağı doğal taş olmasına karşın kırıcılarda kırılması sonucunda işlenerek elde edilmiş olması sebebi ile (işlenmiş) agrega sınıfında olması gerekmektedir.

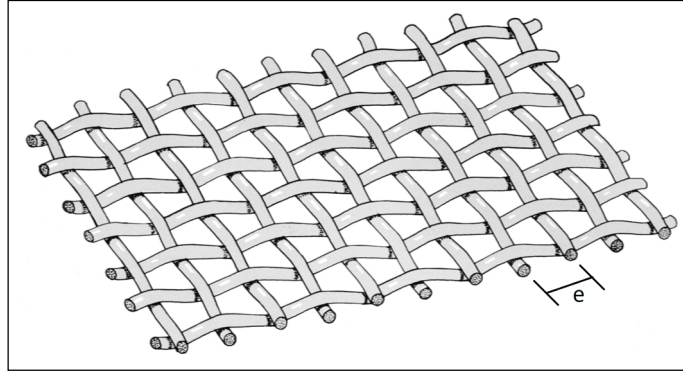
1.2.2. Tane Büyüklüklerine Göre Agregalar

Agregalar boyutlarına göre ince agrega iri agrega ve karışık agrega olmak üzere üç sınıfta toplanabilir (Güner ve Süme, 2000).

Agrega tane boyutlarının belirlenmesinde kare göz açıklıklı elekler kullanılır. Tanelerin boyutları agreganın sınıflarını belirler. Karelerin kenar uzunlukları elek göz açıklığını belirler (Şekil 1.3). TS 706 EN 12620’a (2009) göre; bir agrega tanesinin geçtiği

elek açıklığı ile geçemediği elek açıklığı değeri agrega tane sınıfını (büyüklüğünü) belirlemektedir.

Agrega tane boyut dağılımı agrega kullanımı bakımından büyük önem arz etmektedir. Özellikle betonarme yapılarda doğal agrega ocağından doğrudan doğruya elde edilen, elenmemiş ince ve iri agrega kullanılması istenmemektedir (URL-1, 2008).



Şekil 1.3. Tel örgülü kare göz açıklıklı elek (e: elek göz açıklığı)

İnce agregalar; 4 mm göz açıklıklı kare gözlü veya kare delikli elekten geçen agregalardır. Bu agregalar doğal kum, kırma kum (ince mıcır) ve yapay kum olarak bulunurlar. Doğal kum denizden, dereden, ova ve çölden elde edilen kırılmamış agregadır. Kırma kum (ince mıcır) kırma eleme tesislerinden elde edilen işlenmiş ve kırılmış agregadır. Yapay kum ise yüksek fırın cürufu ya da uçucu kül gibi sanayi ürünlerinden elde edilen kırılmış veya kırılmamış agregadır.

İri agregalar; 4 mm göz açıklıklı kare gözlü elek üzerinde kalan agregadır. Doğal iri agrega kırılmamış tanelerden oluşuyorsa çakıl, kırılmış tanelerden oluşuyorsa kırma taş olarak adlandırılır. Yüksek fırın cüruf taşı gibi sanayi ürünü olan kırılmamış veya kırılmış iri agrega, yapay taş olarak tanımlanır.

Karışık agregalar; tane boyut dağılımı gözetmeksizin iri ve ince taneleri içerisinde bulunduran agregalardır. Diğer bir ifadeye göre tüvenan agregalar olarak da kullanılmaktadır. Tüvenan agregalar, doğal agrega ocağından alınan ve elenmemiş agrega karışımıdır. Zorunlu olmadıkça kullanımı istenmemektedir (TS 706 EN 12620, 2009; Güner ve Süme, 2000; Tutmaz, 2009).

1.2.3. Yoğunluklarına Göre Agregalar

Yoğunluklarına göre agregalar normal agregalar, hafif agregalar ve ağır agregalar olarak üç grupta toplanabilir.

Normal agregalar; özgül ağırlıkları $2,4-2,8 \text{ g/cm}^3$ arasında olan agregalardır. Uygulamada en çok kullanılan agrega çeşididir (Güner ve Süme, 2000). Ekmekyapar ve Örüng'e (1997) göre, bu agregaların özgül ağırlığı ortalama $2,6 \text{ g/cm}^3$ dolayındadır.

Hafif agregalar; yapısındaki boşlukların fazla olduğu taneciklerden oluşan, özgül ağırlığı $2,4 \text{ gr/cm}^3$ den düşük olan agregalardır. Doğal hafif agregalar doğadan sağlanan, kırılmadan veya kırılarak kullanılan, ısı işlem gören veya görmeyen agregalardır. Yapay hafif agregalar ise bazı sanayi artığı hafif agregalardır. Kırma, ısı işlem gibi işlemlerden sonra veya uygulanmadan kullanılabilir (Tutmaz, 2009). Doğadan elde edilebildiği gibi yapay olarak da elde edilebilirler. Bu agregalar sünger taşı (ponza, bims), volkan tüfleri, diatomit, yüksek fırın cürufu, hızar talaşı ve genleştirilmiş kil, perlit, şist vb. isimler altında sıralanmaktadır.

Hafif agregalar betonun birim ağırlığını azaltmak, betonun ses ve ısı yalıtım özelliğini arttırmak, cüruf gibi atık maddeleri değerlendirmek için kullanılan agregalardır. Gözenekli yapıya sahip olduklarından su emme ve boşluk oranları yüksek, basınç, çarpma ve aşınma dayanımları ise düşüktür (Güner ve Süme, 2000).

Ağır agregalar; ağır beton elde etmek amacıyla kullanılır. Özgül ağırlıkları $2,8 \text{ g/cm}^3$ 'den büyüktür. Manyetit, hematit, limonit doğal birer ağır agregadır. Çelik ve demir hurdası ise yapay birer ağır agregadır. Ağır agregalarla üretilen betonların karıştırılması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması ayrı işçilik ister (URL-1, 2008). Ağır agregalar su deposu, nükleer santral, röntgen odaları gibi yerlerde geçirimsizliği az, kompasitesi yüksek beton üretimi istenen alanlarda kullanılır (Güner ve Süme, 2000).

1.3. Agregaların Özellikleri

Doğada bulunan her maddede olduğu gibi agregaların da sahip oldukları yapısal özellikleri bulunmaktadır. Bu özellikleri agreglar için fiziksel ve mekanik olarak sınıflandırabiliriz. Doğal kaynaklı agregalar kendilerinden daha büyük kayalardan oluştuğu için yapısal olarak bu kayalar ile aynı özellikleri taşırlar. Agreganın kimyasal ve mineralojik bileşimi, petrografik yapısı, özgül ağırlığı, dayanımı, fiziksel ve kimyasal

kararlılığı, boşluk yapısı vb. özellikleri elde edildiği kayacın özelliklerine bağlıdır (Tutmaz, 2009).

Agreganın, kullanılacağı alanlara göre çeşitli özelliklere sahip olması istenir. Zemin ve kaplama malzemesi olarak kullanılacak ise aşınmaya karşı dirençli, deniz kenarı gibi nemli ve tuzlu bölgelerde kullanılacak ise suya ve kimyasal etkileşimlere karşı dayanıklı, sıcaklık farklılıklarının yüksek ve ani değişim gösterdiği yerlerde kullanılacak ise donma ve çözünmeye karşı dayanıklı, betonarme yapılarda kullanılacak ise basma ve çekme dayanımının yüksek olması gibi.

Agrega özellikle betonarme yapılarda kullanıldığında, sahip olduğu yapısal özellikler ile meydana gelen betonun karakteristiklerini belirlemesi açısından büyük önem oluşturur. Bu sebeple istenilen kalitede bir beton üretebilmek için uygun özelliklerdeki agregaların kullanılması gerekmektedir. Ülkemizde beton agregalarında uygulanan standartlar TS 706 EN 12620 ile belirlenmiştir. Agregalar beton üretiminde kullanıldığında, betonun yapısında olumsuz etki yapabilecek kimyasal bir reaksiyonu tetiklememeli ya da reaksiyona katılmamalıdır. Ayrıca çimento ile iyi bir bağ kurarak oluşan betonun mekanik davranışlarında ve çevresel etkiler altında gösterdiği dayanımda iyi sonuçlar vermesi istenir. Agreganın aynı zamanda betona önemli teknik üstünlükler sağlar. Beton, çimento hamuruna göre daha iyi hacim sabitliğine ve çevre etkilerine karşı daha çok dayanıklılığa sahip olur. Bununla birlikte taze betonun işlenebilmesi, pompalanabilmesi, geçirgenlik değeri, beton içerisindeki hava miktarı da agreganın tarafından belirlenir.

1.4. Agregaların Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

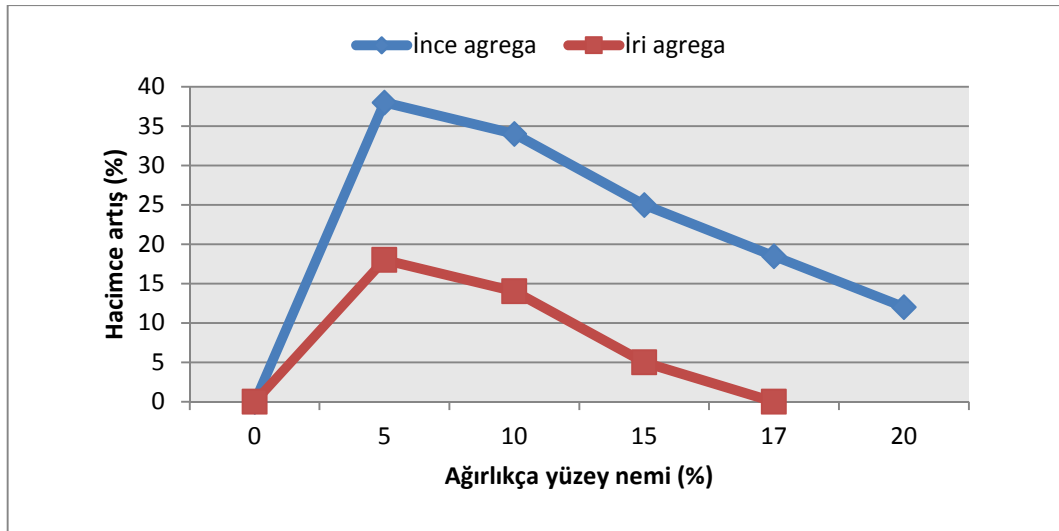
Agrega tanelerinin boşluk oranı ve nem durumu, birim hacim ağırlığı, özgül ağırlığı, donma çözünmeye karşı dayanımı, en büyük tane büyüklüğü gibi özellikler agregaların fiziksel özellikleridir (Güner ve Süme, 2000).

Postacıoğlu (1975) ve Baradan'a (1996) göre, agreganın kendisini oluşturan doğal kayacın bloğunun sahip olduğu fiziksel özellikleri taşımaktadır. Ancak agreganın küçük boyutlarda olması ve bağlayıcı maddelerle birlikte kullanılması sebebi ile kullanıldığı ortamda meydana geldiği doğal taşın bütün fiziksel özelliklerini bire bir gösteremeyebilir (Tutmaz, 2009).

Bu nedenle özellikle yüzey alanının ve boşluk miktarının etkili olduğu fiziksel özellikler belirlenirken, deneylerde kaynak kayacın yanı sıra kırılmış malzeme kullanılması daha sağlıklı sonuçlar sağlamaktadır.

1.4.1. Agregada Nem İçeriği

Agregalardaki nem beton karışım hesapları yönünden önemlidir. İnce agregalarda nemin fazla olması durumunda hacimsel olarak kabarma meydana gelmektedir (Şekil 1.4). Bu durum kullanılacak agreganın birim metreküpünde daha az miktarda bulunması demektir. Dolayısıyla nem içeriği dikkate alınmadan kullanılan ince agregada içerisinde boşluklar meydana gelecektir. Bu da oluşacak betonun da boşluklu olmasına neden olacaktır. Ayrıca nem içeriği belirlenmeden kullanılan agregada, karışım hesaplarında kullanılacak su miktarının belirlenmesinde olumsuz sonuçlar doğurabilir (Güner ve Süme, 2000; Ün, 2007).

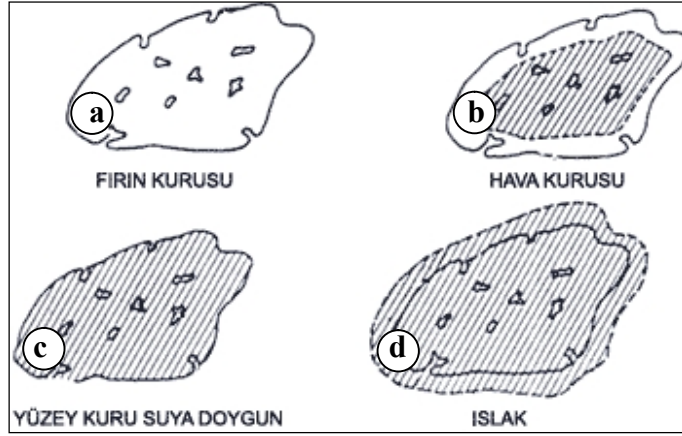


Şekil 1.4. Nem içeriğinin agregada hacmine etkisi (Ün, 2007).

Tutmaz'a (2009) göre, agregalardaki nem içeriği, agregalardaki boşluklarla agregada yüzeyinde ne kadar su bulunduğunu gösteren büyüklük olup, agregadaki su miktarının agregada kuru ağırlığına veya doymuş kuru yüzey durumundaki ağırlığına oranıdır.

Agregada taneleri nem içeriği yönünden tam kuru (agregada tanesi içindeki tüm boşlukların kuru olması), kuru yüzey (agregada tanelerinin içindeki boşlukların bir kısmının su ile dolu, tanelerin yüzeyinin tamamen kuru olması), doymuş kuru yüzey (yüzeyi kuru içi

suya doymun) ve ıslak (agrega tanelerinin tüm boşluklarının su ile dolu, yüzeyinin ıslak olması) olmak üzere dört durumda olabilir (Güner ve Süme, 2000). Bu durumlar Şekil 1.5’de gösterilmiştir.



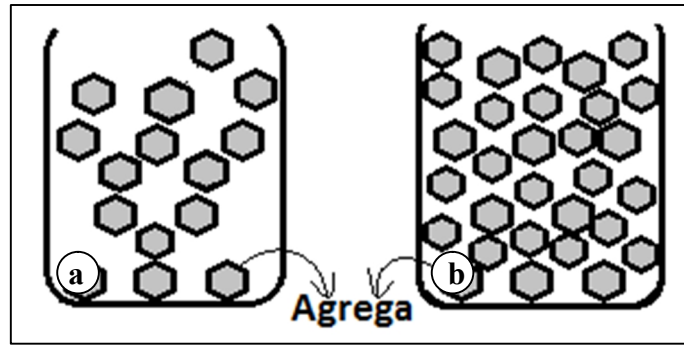
Şekil 1.5. Agregada nem içeriği durumları. a) Tam kuru, b) Kuru yüzey, c) Doymun kuru yüzey, d) Islak

Agregadaki su miktarı agreganın birim ağırlığına, hatta özgül ağırlığına da etki eder. Birim ve özgül ağırlık doymun kuru yüzey durum için verilir. Agregada boşlukların fazla olması agreganın donma ve çevre etkilerine karşı dayanıklılığını azaltır. Su emme yüzdesi yüksek agreganın beton üretiminde kullanılması, betonun dayanım ve dayanıklılığını azaltır (URL-1, 2008).

Agreganın çimento hamuruna yapışması ve agregada tanelerinin akışkan hamur ortamında hareket edebilmeleri için tane yüzeylerinin ıslanması, yani çok ince su tabakasıyla kaplanması gerekir. Buna yoğurma suyu, ıslatma suyu veya karma suyu denir. Beton üretiminde yoğurma suyu miktarını belirleyen agregada özellikleri, agreganın nem içeriği ve inceliğidir. Betonun dayanım ve dayanıklılığını etkileyen en önemli birleşim parametresi su/çimento oranı, yani 1 m³ betona konulan su ağırlığının çimento ağırlığına oranıdır. Su miktarını etkileyen etken ise betonun işlenebilme niteliğine sahip olması gereğidir. Su miktarının belirlenmesinde agreganın niteliği ve niceliği de önemli etkiye sahiptir (Tutmaz, 2009).

1.4.2. Agregada Yoğunluk-Birim Hacim Ağırlık

Belirli bir hacmi dolduran ağırlığın o hacme oranı birim hacim ağırlık olarak tanımlanır. Birim hacim ağırlık, sıkışık ve gevşek olmak üzere iki çeşittir. Agregayı kuru haldeyken hacmi bilinen bir kaba boşaltarak bulunan birim ağırlığa gevşek birim ağırlık, bu işlemi takiben kap içerisindeki agregayı belli sayıda çubuk darbesi ile sıkıştırılarak bulunan birim ağırlığa ise sıkışık birim ağırlık denir (Güner ve Süme, 2000; Tutmaz,2009). Gevşek ve sıkışık haldeki agregada Şekil 1.6’da şematize edilmiştir.



Şekil 1.6. Gevşek ve sıkışık haldeki agregada. a) Gevşek, b) Sıkışık

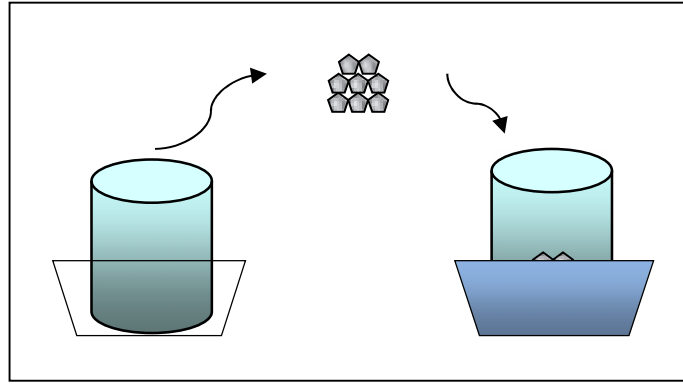
Birim ağırlıktan agregada içindeki boşluk miktarı hesaplanabildiği gibi, özel amaçlar için agreganın uygun olup olmadığı da belirlenebilir. Birim ağırlığı yüksek betonun dayanımı, dayanıklılığı ve taşıma gücü fazladır. Agreganın sıkışma oranı arttıkça basınç dayanımı ve dış etkilere dayanımı da artmaktadır (URL-1, 2008).

Postacıoğlu (1975) ve Baradan’a (1996) göre, beton bileşiminin belirlenmesinde ve beton üretiminde malzeme miktarının ölçülmesinde, agregada birim ağırlığının bilinmesi gereklidir. Betonarme yapılar için kullanılacak agregada ilişkin birim ağırlıkların 1,50-1,85 g/cm³, kırma taşlarda ise 1,30-1,50 g/cm³ arasında bulunduğu belirtilmektedir. Agreganın birim ağırlığı agreganın granülometrisine, pürüzlü malzeme miktarına, yerleştirme şekline ve özgül ağırlığına bağlı olarak değişir (Tutmaz, 2009).

TS 706’ya (1980) göre ise agregada birim hacim ağırlığının betonarme yapılarda kullanılacak ince agregalarda için 1350 kg/m³ iri agregalar için ise 1250 kg/m³ den düşük olmaması gerekmektedir.

1.4.3. Agregaların Özgül Ağırlığı

Agrega ağırlığının gerçek hacmine oranı agreganın özgül ağırlığını verir . Diğer bir ifadeyle; özgül ağırlık, agreganın ağırlığının, damıtık suyun ağırlığına oranıdır. Agregayı içindeki taneler arası boşluk (v) ölçülüp (örneğin kaba su doldurularak) agregaların toplam hacminden (V) çıkarıldığında, agregaların mutlak hacmi bulunur. Pratik olarak bu hacim kaba doldurulan agreganın taşıdığı su miktarı ile hesaplanır (Şekil 1.7).



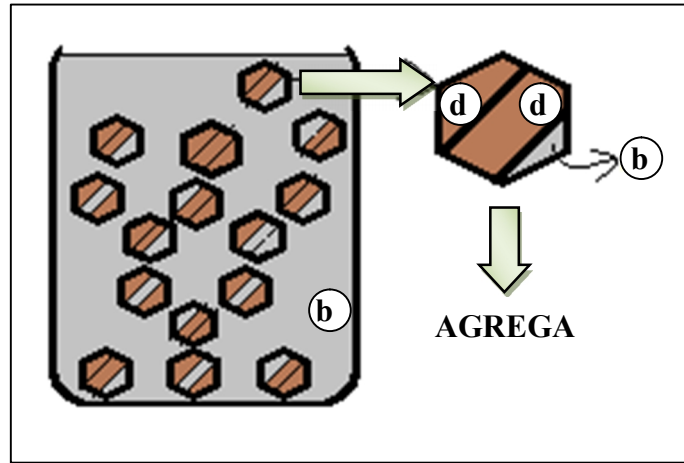
Şekil 1.7. Su taşıma metodu ile agreganın hacmi bulunması

Özgül ağırlık agreganın kökeni hakkında bilgi verir ve beton bileşenlerinin hesabında kullanılır. Özgül ağırlığı düşük olan malzeme zayıf ve sağlam olmayan malzemeyi, özgül ağırlığı yüksek olan malzeme ise kaliteli betona kullanılacak uygun agregayı tanımlar. Agreganın uygunluğunu belirten özgül ağırlık beton karışım hesabında, bu hesapların düzeltilmesinde ve beton homojenliğinin zorunluluğu durumlarında gereklidir. Düşük özgül ağırlık agreganın gözenekli ve dayanımsız olduğunu göstermektedir. Beton agregalarının özgül ağırlığı $2,2-2,7 \text{ kg/dm}^3$ arasında olmalıdır (URL-1, 2008; Tutmaz, 2009).

1.4.4. Agreganın Doluluk Oranı (Kompasite)

Kompasite agreganın içindeki katıların toplam hacme oranı olarak tanımlanmaktadır diğer bir ifadeyle doluluk oranı şeklinde belirtilir. Bu oranı bütüne tamamlayan değere de boşluk oranı diğer bir ifadeyle porozite denir (Şekil 1.8). Postacıoğlu'na (1987) göre, agreganın kompasitesi, belirli hacim içerisindeki tanelerin gerçek hacmini tanımlar ve

birim ağırlığın, özgül ağırlığa bölünmesiyle bulunur. Agreganın kompasitesi hiçbir sıkıştırma işlemi olmadan 0,45-0,70 arasında değişmelidir. Kullanılacak agreganın boşluklarının olanaklar ölçüsünde az olması istenir. Böylece daha az bağlayıcı madde kullanılmış olur. Agreganın kompasitesinin düşük olması betonun kompasitesi ve dayanımını düşürür, betonda kullanılan çimento miktarını artırır, maliyeti yükseltir ve dış etkilere karşı dayanıklılığı azaltır (URL-1, 2008; Tutmaz,2009).

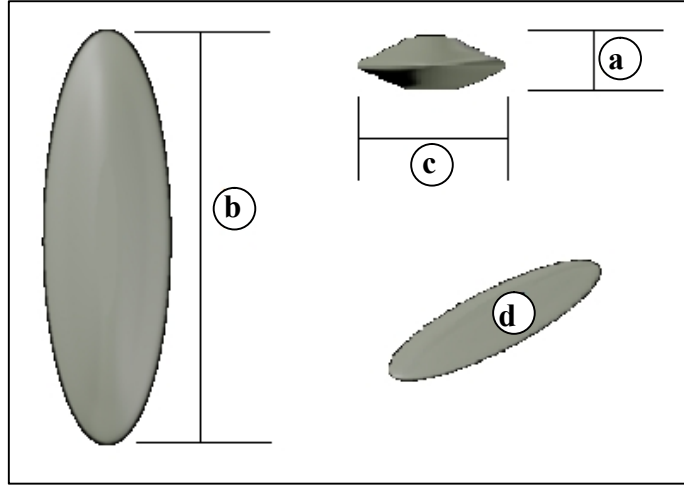


Şekil 1.8. Agreganın boşluklarının gösterildiği bir diagram. d) Dolu kısımlar, b) Boş kısımlar

1.4.5. Agreganın Tane Şekli ve En Büyük Tane Büyüklüğü

Doğal agregaların oluşumları gereği dış etkilere aşınmaları sonucunda küresel bir şekil alırlar. Doğal agreganın ocağından çıkan malzemeler genel olarak yuvarlak, yassı, uzun ve keskin köşelidirler ve bu şekillerine göre sınıflandırılır. Tanenin en büyük boyutunun en küçük boyutuna oranı 3'ten büyük olan tanelere şekilsiz kusurlu taneler denir (Erdoğan, 1995).

En büyük boyutunun en küçük boyutuna oranı 2,80'den büyük olan taneler uzun, kalınlığının en büyük boyutuna oranı 0,35'den küçük olan taneler yassı olarak isimlendirilir. Agreganın tane şekli (Şekil 1.9), betonun işlenebilirlik özelliğini ve doluluğunu belirlemede etkilidir. Eni, boyunun üçte biri veya fazla olan ince uzun agregalar kolay kırılacaklarından, beton dayanımını düşürürler. Bu nedenle 8 mm'nin üzerindeki beton agregasında ağırlıkça % 50'den fazla yassı agreganın bulunmamasıdır (Tutmaz, 2009; TS 706 EN 12620, 2009).



Şekil 1.9. Agregatane şekli. a) En küçük boyut, b) En büyük boyut, c) Kalınlık, d) Temsili uzun ve yassı agregat çizimi

Akman (1990) ve Şengül'e (2000) göre, agregatanelerinin olabildiği kadar küre veya küreye yakın olması istenir. Böylece agregat yığını daha iyi yerleşir, taneler arası boşluk en aza iner. Verilen kıvam için daha az suya gereksinim duyulur. Küreden büyük oranda farklı geometriye sahip taneler kütle içinde kenetlenir, işlenebilme azalır. Kayacın yapısı ve kırma işlemleri agregatanelerinin şeklini etkiler.

Agreganın en büyük tane büyüklüğünü, çapını ve boyutunu, agreganın % 90-100 oranında geçtiği en küçük elek boyutu belirler. Beton üretiminde olanaklar ölçüsünde en büyük tane büyüklüğü yüksek olan agreganın seçimi yararlıdır. Ancak bu şekilde beton için gerekli çimento ve yoğurma suyu miktarları azaltılır ve bunun sonucu olarak da betonun niteliği yükselir. Ekonomik, yüksek dayanımlı ve dayanıklı betonun elde edilmesi, beton üretiminde en büyük tane büyüklüğü yüksek ve uygun granülometriye sahip agreganın kullanılmasıyla olasıdır (Tutmaz,2009).

Agreganın en büyük tane büyüklüğü, betonun kullanılacağı yapı elemanının cinsi ve en dar kesitinin boyutu ile sınırlandırılmıştır. Beton üretiminde agreganın en büyük tane büyüklüğünün seçiminde göz önünde bulundurulması gereken ilke; agreganın en büyük tane büyüklüğü yapı elemanının en dar kesitinin kalıp genişliğinin 1/5'inden, döşeme derinliğinin 1/3'ünden, donatılı betonun en küçük donatı aralığının 3/4'ünden küçük olmasıdır (Ün, 2007).

Maksimum agregatane boyutunun (d_{max}) belirlenmesine ait bilgiler Tablo 1.1'de gösterilmiştir.

Tablo 1.1. Maksimum agrega tane büyüklüğü (Ün, 2007).

Yapı elemanı kesitinin en dar boyutu (cm)	Donatılı perde, kiriş ve kolonlar (mm)	Sık donatılı döşemeler (mm)	Seyrek donatılı ya da donatısız döşemeler (mm)	Donatısız perdeler (mm)
6-14	16	16	32	16
15-29	32	32	63	32
30-74	63	63	63	63

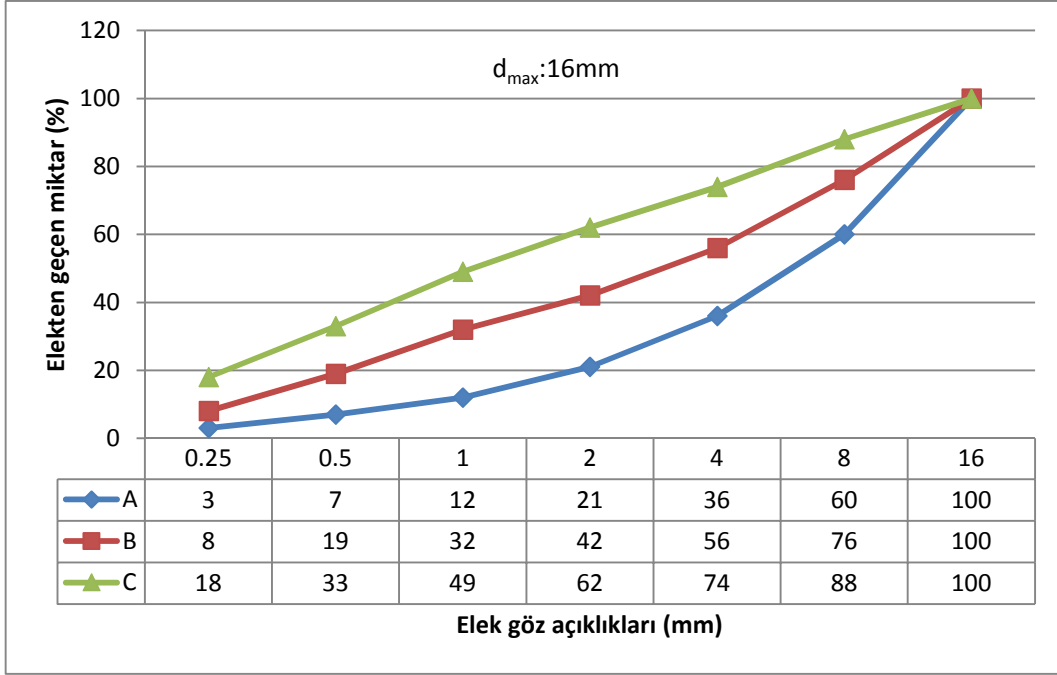
1.4.6. Agregaların Granülometrisi (Tane Büyüklüğü Dağılımı)

Agregayı oluşturan taneler değişik boyutta olabilir. Ancak bir agrega yığını belirli miktarda agrega ile belirli büyüklükteki tanelerden oluşur. Bu tane boyutlarının agregada bulunma miktarlarına granülometri adı verilir (Erdoğan, 1995).

Agrega yığındaki tanelerin boyutlarına göre dağılımlarının belirlenmesi, özellikle beton üretiminde büyük önem taşımaktadır. Bir agrega granülometrisinin betonun özellikleri üzerinde olumlu veya olumsuz etkileri vardır. Kaliteli beton yapımında kullanılacak agreganın boyutsal dağılımı, söz konusu beton için istenilen nitelikleri sağlamalıdır. Dolayısıyla kullanılmadan önce agreganın granülometrisinin elek analizi ile belirlenip belirli sınırlar içinde kalıp kalmadığı mutlaka kontrol edilmelidir. Bu sebeple ülkemiz yapı sektöründe TS 706 EN 12620 tarafından belirlenmiş olan sınırlar dikkate alınır (Şekil 1.10).

Beton karışım hesaplamalarında kullanılacak agreganın tane dağılım oranları Şekil 1.10'da belirtilen A ve B eğrileri arasında yer aldığı takdirde, agreganın gradasyonu çok iyi ve A ve C eğrileri arasında yer aldığı takdirde kullanılabilir olarak tanımlanır (Erdoğan, 1995).

Betonun bünyesine giren her sınıf malzeme, kendinden bir üst irilikteki malzemede bulunan boşlukları dolduracak miktarda olmalıdır. Yani çimento ince agreganın, ince agrega ise iri agreganın içerdiği boşlukları doldurmalıdır. Yapılan elek analizi ile incelik modülü ve iri agreganın maksimum tane boyutu da belirlenir. İri agreganın maksimum büyüklüğü, inşaat elemanları veya betonarme demirlerine ve betonun dozajına göre seçilir.



Şekil 1.10. Sınırlandırılmış granülometri eğrileri (A: kabul edilen alt sınır, C: kabul edilen üst sınır, B: ideal karışım granülometrisi) (TS 706 EN 12620, 2009).

Tutmaz'a (2009) göre, granülometri taze betonda işlenebilme, sertleşmiş betonda mekanik dayanım, kompasite (doluluk oranı), geçirimsizlik vb. özellikleri üzerinde etkili olduğundan betonda kullanılacak agregaların granülometrileri mutlaka belirlenmelidir.

1.4.7. Agregaların İncelik Modülü

Elek analizinde göz açıklığı en küçük olan elek en altta olmak üzere küçükten büyüğe doğru dizilmiş olan kare delikli standart elekler üzerinde kalan agreganın yığılımlı yüzdelere toplamının 100'e bölünmesi ile elde edilen sayıya incelik modülü denilir. Diğer bir ifadeyle incelik modülü agrega gradasyon özelliği hakkında bilgi sağlayan ampirik bir değerdir. Bu değer elek analizinde bulunan tane dağılımı oranlarından hesap yoluyla elde edilir. Değer büyükse elekler üzerinde kalan malzeme fazladır, yani malzeme iri tanelidir. Değer küçükse malzeme eleklerden daha fazla geçmiştir, yani malzeme daha ince tanelidir (Güner ve Süme, 2000; Erdoğan, 1995).

Cimilli (1986), Özyürek (1995) ve Uluata'ya (1981) göre, ince agreganın incelik modülü beton karışımı için gerekli olan kum yüzdesini ve karışım suyu miktarını etkiler. Sınır değerler içinde olmak koşulu ile incelik modülünün artışına paralel olarak betonun

dayanımının da artabileceği, fakat işlenebilirliğin azalacağı söylenebilir. Agregaya ne kadar ince olursa beton üretimi için o kadar fazla suya gereksinim duyulur. Buna karşılık agreganın tane büyüklüğünün artmasıyla yüzey alanı küçüleceğinden karışımda daha az su kullanılır (Tutmaz, 2009).

1.4.8. Agregada Dona Dayanıklılık

Agregaların donma çözülme, ısınma soğuma, ıslanma kuruma, rüzgar ya da su aşındırması gibi çevresel iklim koşullarına karşı gösterdikleri direnç dondayanıklılık denir.

Özellikle betonarme yapılarda kullanıldıklarında agregalar için dondayanıklılık büyük önem taşımaktadır. Özellikle su yapılarındaki beton yüzeylerde agregatanelerinin dondan zarar görmesi olasıdır (TS 706, 1980).

Agreganın donma-çözülme olayından etkilenmesi, agregataneleri üzerindeki su girebilecek kadar büyüklükteki gözeneklerinin çokluğuna bağlıdır. Soğuk havada gözenekler içerisinde bulunan su donar ve genleşme gösterir. Bilindiği gibi, suyun buza dönüşmesi ile yaklaşık %9 hacim büyümesi olmaktadır.

Soğuk hava koşullarında su donmaya başlar. Gözenekler içerisindeki su miktarı fazla değil ise, donma olayı önemli bir sorun oluşturmamaktadır. Ancak, gözeneklerin hacminin %91 veya daha fazlasının su ile dolu olduğu durumlarda donma olayı olur ise, buz haline dönüşen su mevcut hacmin içerisinde sığamamakta ve etrafına basınç yapmaktadır. Böyle bir durumda gözeneklerin içerisindeki suyun tamamı aynı zamanda donma göstermemektedir. Suyun bir miktarının buza dönüşerek hacim büyümesine sebep olması nedeniyle, henüz buzlaşmamış suyu gözenek hacminden dışarıya iterek büyük bir hidrolik basınç oluşturmaktadır. Böyle bir basınç beton içerisindeki agreganın ve agregatanesinin etrafını saran sertleşmiş çimento hamurunun çatlamasına yol açabilmektedir.

Genellikle kış aylarında, geceleri suyun donarak buza ve gündüzleri buzun çözülerek suya dönüştüğü koşullarda, bu olayın tekrarlanması nedeniyle agregadaki çatlamlar ve kırılmalar sertleşmiş betonun sayıflayıp bozulmasına yol açar (Erdoğan, 1995).

Ekmekyapar ve Özüng'ü (1997) göre, agregada bulunan boşlukların fazla olması, agreganın donma ve çevre etkilerine karşı dayanıklılığını azaltır. İri agregatanelerinin porozitesinin küçük olması, bu tanelerin dayanımının yüksek değer almasına neden olmaktadır. Dayanımı yüksek olan taneler kullanılarak üretilen betonların mekanik

dayanımı da artırılabilir. Bu nedenle beton üretiminde kullanılacak agregada porozite değerinin belirli değerden büyük olmaması istenir (Tutmaz,2009; URL-1, 2008).

TS 706 EN 12620'e (2009) göre, agregaların donma çözünme kaybının %15'i geçmemesi istenilmektedir.

1.5. Agreganın Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Mekanik dayanımları yüksek olan agregalar ile üretilen betonların da dayanımları yüksek olur. Yani etki doğrusaldır. Mekanik dayanımın kontrolü için en uygun yol basınç dayanımını belirlemektir. Agregaların basınç dayanımları betona oranla oldukça yüksektir (Güner ve Süme, 2009).

Özellikle betonarme yapılarda ve asfalt, yol gibi alanlarda kullanılacak agregalar çarpma ve aşınma etkileri altında kalacaktır. Bu sebeple agregaların mekanik dayanımlarının yüksek olması istenir. Basınç dayanımı, aşınma dayanımı ve parçalanma direnci gibi özellikler agregalar için mekanik özellikler olarak kabul edilebilir.

1.5.1. Basınç Dayanımı

Birim yüzeye etki eden kuvvet etkisindeki maddenin bu kuvvete karşı stabil yapısını koruyarak gösterdiği dirence basınç dayanımı denir. Agregalarda aranılan en önemli özelliklerden biri, basınç dayanımının yüksek olmasıdır. Basınç dayanımının malzemenin porozitesi ile yakın ilişkisi vardır. Boşluk oranının düşük olması agrega dayanımını artırır.

Postacıoğlu'na (1987) ve Yapıcı'ya (2002) göre, agrega taneleri, istenilen özellikte betonun yapımına uygun olacak kadar dayanıklı olmalıdır. Basınç ve aşınma dayanımı düşük olan agregaları kullanarak, yüksek dayanımlı beton elde etmek mümkün değildir.

Agreganın tane dayanımı, taşın cinsi ve petrografik yönden incelenmesiyle yaklaşık olarak belirlenir. Eğer kullanılan agrega kırma taş ise, agregayı oluşturan kayaç numunesinin suya doygun haldeki küp veya çapın yüksekliğine eşit silindir basınç dayanımı 1000 kg/cm^2 'den fazla ise agreganın aşınmaya karşı dayanıklı olduğu kabul edilir, kuşkulu durumlarda aşınmaya dayanıklılık deneylerine bakılır.

Betonarme yapılarda kullanılacak ise agregaların basınç dayanımları en az 600 kg/cm^2 olmalıdır.

Eğer iri agrega olarak çakıl kullanılıyorsa basınç deneyinden sağlıklı sonuç alınamayacağından, bu agregalar üzerinde aşınmaya dayanıklılık deneyleri uygulanarak çakılların sağlamlığı hakkında bilgi edinilmelidir (Tutmaz, 2009; URL-1, 2008).

Kayaçların ve setleşmiş betonun basınç dayanımlarının belirlenmesinde yaygın olarak tek eksenli basınç dayanımı deneyi kullanılmaktadır.

Bunun yanında tahmini dayanımı belirleyen uygulamada daha pratik bir metod olan Schmidt çekiçi deneyi, nokta yükleme deneyi ve dolaylı çekme yöntemleri de kullanılmaktadır.

1.5.1.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Tek eksenli basınç dayanımı genellikle küp veya karot (silindirik) numuneler üzerinde yapılmaktadır. Kayaçların mekanik özelliklerinin belirlenmesinde genellikle silindir numuneler kullanılmaktadır. Tek eksenli basınç dayanımı değeri numunenin boy/çap oranı arttıkça azalmaktadır.

Kayaçların tek eksenli basınç dayanımları belirlenirken genellikle NX çaplı karotların kullanılması tercih edilmekle birlikte, uygun uzunlukta numune alınmasının mümkün olmadığı zayıf ve tabakalı kaya malzemelerinde karot çapı daha küçük seçilebilmektedir (Emir, 2011).

Tek eksenli basınç dayanımı için, kullanılacak agrega malzemesine ait kayaç örneklerinden alınan NX çaplı karot örnekleri yük altında kırılır. Kırılma anındaki yük yüzey alanına bölünerek örneklerin dayanımları bulunur.

Kayaçların agrega malzemesi olarak kullanımı için tek eksenli basınç dayanımları hakkında günümüzde herhangi bir türk standardı belirlenmemiştir.

1.5.1.2. Schmidt Çekici

Schmidt çekici çalışma prensibi olarak çelik bir piston ile bunu sert bir yayla bastıran ağırlıktan oluşmaktadır. Bu ağırlık yayla birlikte kayaç üzerine itilir ve böylece piston yuvasından çıkarak kayaca çarpar. Yük serbest bırakılınca yayla birlikte geri sıçrar. Göstergeden sıçrama miktarı tespit edilir. Bu şekilde en az 20 değer okunur ve bu değerlerin ortalaması hesaplanır. Ortalamadan %10 oranda sapan değerler iptal edilir ve ortalama tekrar hesaplanır.

Bulunan değer Schmidt diyagramında yerine konularak kayacın dayanım değeri okunur. Klasik Schmidt çekiçlerinden okunun R (rebound value) değeridir. R değeri yerçekiminden etkilendiği için vuruş açısının değerlendirme aşamasında önemi vardır.

Diğer değer ise dijital Schmidt çekicinden okunan Q (rebound coefficient) değeridir. Q değeri yerçekimi etkisinden bağımsızdır. Dolayısıyla vuruş konumuna göre düzeltme yapmaya gerek kalmamaktadır. Vuruş sertliği bakımından da iki tip schmidt çekici vardır. Bunlar; N ve L tipi olarak isimlendirilir. Kayaçlarda L tipi çekiç kullanılması vuruş sertliği bakımından daha uygundur.

Schmidt test çekici ile kayaçlarda ve sertleşmiş beton üzerindeki yüzey sertliği ölçülerek yaklaşık dayanımının tayini yapılmaktadır.

Kayaçların agrega malzemesi olarak kullanımı için Schmidt çekici hakkında günümüzde herhangi bir türk standardı belirlenmemiştir.

1.5.1.3. Nokta Yükleme Dayanımı

Nokta yükü dayanım indeksi kayaçların dayanımlarına göre sınıflandırılmasında ve bazı kaya kütlesi sınıflama sistemlerinde kayaç malzemesinin dayanım parametresi olarak kullanılmaktadır. Tek eksenli basınç ve çekme dayanımı gibi diğer dayanım parametrelerinin dolaylı olarak belirlenmesinde yararlanılmakla birlikte, günümüzde bu amaçla kullanılmaması yönünde bir eğilim mevcuttur (Emir, 2011).

Nokta yükleme deneyinde, kayacın bulunan indeks değeri abakta hangi alana düşüyorsa, düşük, orta, yüksek, çok yüksek vb. gibi belirtilmelidir. NX çaplı karot üzerinde deney gerçekleştirilse kayacın tek eksenli basınç dayanımını vermekte mümkündür. Bulunan değer çevirme faktörü 25 ile çarpılırsa tek eksenli basınç dayanımı bulunur.

Kayaçların agrega malzemesi olarak kullanımı için nokta yükleme dayanımları hakkında günümüzde herhangi bir türk standardı belirlenmemiştir.

1.5.1.4. Endirekt Çekme (Brazilian) Dayanımı

Endirekt çekme dayanımı boy/çap oranı $\frac{1}{2}$ olan disk şeklindeki numuneler üzerinde uygulanmaktadır. Numune hidrolik baskı tablaları arasına çapsal yükleme yapılacak şekilde yerleştirilmelidir.

Numune üzerine yük uygulandıkça numunenin düşey eksenini boyunca yatay çekme gerilmeleri oluşur ve malzemenin yenilme noktasındaki çekme gerilmesi, malzemenin tek eksenli çekme dayanımını vermektedir. Deney sırasında uygulanan yük arttıkça yatay çekme gerilmelerinin şiddeti de artacaktır. Yatay çekme gerilmesi numunenin çekme dayanımını aştığı anda numune yüklemeye doğrultusunda kırılacaktır.

Numunenin yarıma çatlağına (çekme çatlağı) paralel doğrultuda bir basınç uygulandığı için bu yöntemle indirekt çekme deneyi denmiştir. Endirekt çekme dayanımının belirlenmesinde anizotropinin etkisi yani kayadaki inklüzyonlar, kaolinize zonlar ve mikro çatlakların değişik doğrultuları farklı çekme dayanımı değerlerinin elde edilmesine sebep olabilir. Bu nedenle disk şeklindeki numunelere birbirinden farklı doğrultularda yük uygulanması daha sağlıklı sonuçlar sağlayacaktır (Emir, 2011).

Kayaçların agrega malzemesi olarak kullanımı için çekme dayanımları hakkında günümüzde herhangi bir türk standardı belirlenmemiştir.

1.5.2. Aşınma Dayanımı

Ekmekyapar ve Özüng (1997) ve Kantarcı'ya (1999) göre, özellikle yol kaplaması, hava alanı yapımında kullanılan agregalar için aşınma ve darbe dayanımı önemli bir özelliktir.

Aşınma dayanımı, malzemelerin darbe altında kırılmaya, parçalanmaya veya dağılmaya karşı gösterdiği dirençtir.

Agregaların aşınma dayanımları, özgül ağırlık ve sertlik gibi özellikleriyle ilgilidir. Çarpma ve aşınma etkisi altındaki betonların bu etkilere dayanabilmesi için yapımında kullanılan iri agreganın aşınma ve çarpmaya karşı büyük dayanıma sahip olması gerekir. Deneyler sonucu belirlenen kayıpların bu değerlerden büyük olması durumunda, söz konusu agrega ile beton yeterli deneyi yapılmalıdır.

Camsı agregalar, şistler, marnlı kireçtaşları, iri kristalli taşlar aşınmaya karşı dayanım gösteremezler. Özgül ağırlığı fazla ve sert olan taşların (bazalt) ise aşınmaya karşı dayanımları yüksektir (Tutmaz, 2009; URL-1, 2008).

Aşınma dayanımının tespitinde, taneli malzemeler için Los Angeles ya da Micro-Deval deneyleri kullanılırken büyük numuneler için Böhme deneyi uygulanmaktadır. Los Angeles ve Micro-Deval deneyinde kullanılan yöntem temelde aynıdır.

Taneli malzemeler çelik bilyalar yardımıyla bir tambur içerisinde belirli bir hızda döndürülerek aşındırılır ve oluşan malzeme kaybı ölçülür (Şekil 1.11).

Böhme deneyinde ise genellikle kübik numuneler kullanılır. Numuneler sabit hızda dönen bir disk üzerine yerleştirilerek aşındırıcı bir toz yardımıyla aşınmaları sağlanır. Deney sonunda numune boyutları ölçülerek meydana gelen aşınma kaybı hesaplanır.

Kayaçların agrega olarak kullanılmasında Micro-Deval katsayısı ile ilgili TS 706 EN 12620'de belirtilen maksimum M_{DE} sınır değeri 35 olarak verilmiştir.



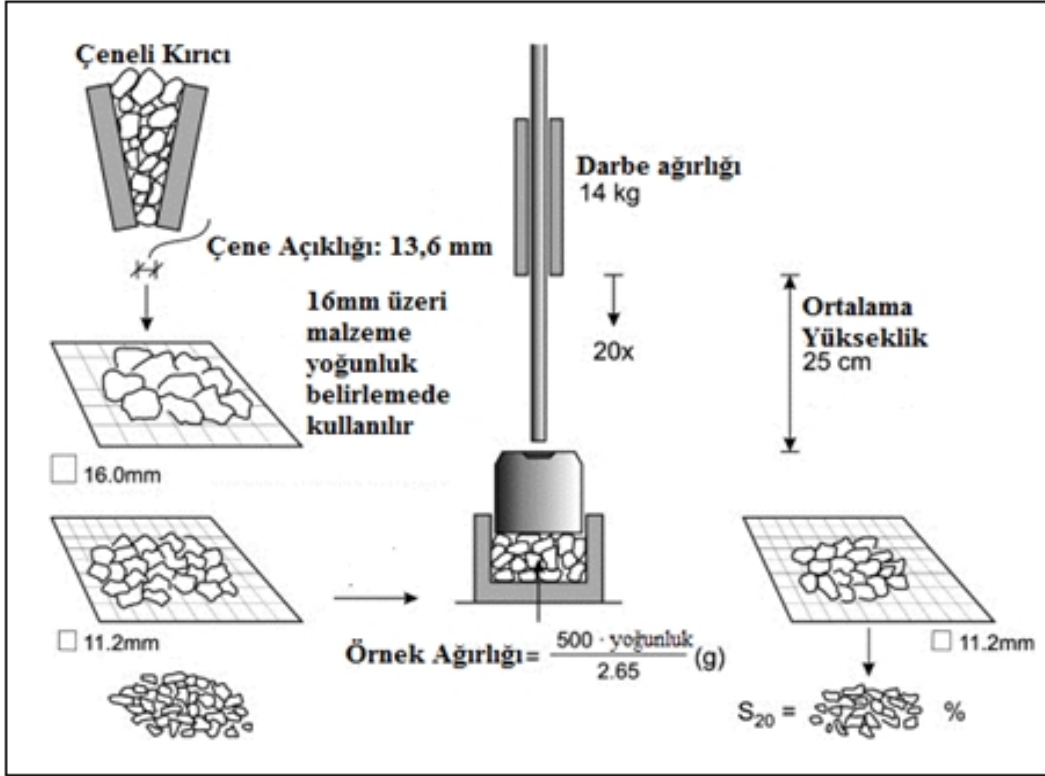
Şekil 1.11. Micro-Deval aşındırma cihazı

1.5.3. Agrega Parçalanma Dayanımı (Kırılgenlık)

Betonun çarpmaya dayanıklı olmasında, kullanılan agreganın önemli etkisi vardır. Bu nedenle kullanılmadan önce kontrol edilmelidir.

Silindir bir kap içine konan agreganın üzerine bir ağırlık belirli bir yükseklikten belirli bir sayıda düşürülerek malzeme çarpma etkisi altında tutulur (Şekil 1.12). Daha sonra malzeme alınıp elekten elenir. Elekten geçen miktara göre agreganın çarpma dayanıklılığı hakkında karar verilir. Bu deneye Agregada Darbe Kat Sayısı (Impact Value) tayini deneyi de denilmektedir.

Kayaçların agrega olarak kullanılmasında parçalanma dayanımı ile ilgili TS 706 EN 12620'de belirtilen maksimum parçalanma dayanımı S_z sınır değeri 32 olarak verilmiştir.



Şekil 1.12. Kırılmalık deneyi yapılış şeması (Yaşar, 2013).

1.5.4. Ultrasonik Darbe Hızı (UPV)

Karpuz ve Paşamehmetoğlu (1997), Onodera (1963) ve Gladwin'e (1982) göre, beton ve kayanın düzgünlüğünün, düzenliliğinin tespitinde, boşluk, çatlak ve diğer kusurları belirlemede, inşaat, jeoteknik, gaz mineralleri araştırmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ultrasonik test yöntemi araştırmacılar tarafından kayaçların ayrışma derecesinin belirlenmesi, kaya kütlelerinin elastik özelliklerinin tahmin edilmesi, Young vd.'ye (1985) göre de, kazı çalışmalarında uygulanan patlatmaların kayaçlar üzerindeki etkilerinin belirlenmesi gibi farklı uygulamalarda kullanılmıştır (Ulusay vd., 2001).

Kayaç örnekleri içerisinde geçirilen sıkışma (P) ve makaslama (S) dalgalarının yayılma hızlarından yararlanılarak, kayaç malzemesinin dinamik Young modülü ile dinamik Poisson oranının tayini amacıyla yapılır. Yöntem, homojen ve izotrop veya çok az derecede anizotropiye sahip kayaçlarda uygulanabilir. Bu deneyde belirlenen elastik sabitler, statik laboratuvar yöntemleriyle veya arazide uygulanan tekniklerden elde edilen değerlerle çoğu kez uyumsuz ve genellikle daha yüksektir.

Kayaçların agrega malzemesi olarak kullanımı için ultrasonik darbe hızı dayanımları hakkında günümüzde herhangi bir türk standardı belirlenmemiştir.

1.6. Agregalarda Bulunabilecek Zararlı Madde ve Taneler

Agregada bulunan zararlı maddeler genellikle betonda kullanılması durumunda olumsuzluklara neden olmaktadır. Bu maddeler bağlayıcının ayrışmasına, bağlayıcının genişleyerek betonun parçalanmasına (Şekil 1.13), bağlayıcının genişleyerek betonda çatlakların oluşturmaya, çimento hamuru ve agrega arasındaki yapışmanın engellenmesine sebep olurlar.

Beton üretiminde kullanılacak agregalar, genel olarak temiz ve her türlü zararlı maddelerden, oluşturdukları karışımın dayanıklılığını olumsuz yönde etkilemeyecek kadar arınmış olmalıdır. Dağılışı ve miktarlarına bağlı olarak yıkanabilir maddeler organik kökenli maddeler, sertleşmeye zarar veren maddeler, bazı kükürtlü bileşiklerle yumuşayan, şişen ve hacmi artıran maddeler vb. korozyona neden olan maddeler olarak sınıflandırılırlar (Güner ve Süme, 2000; TS 706 EN 12620, 2009).

Kantarıcı'ya (1999) göre, silt, mika, kömür, humus, tahta parçaları ve diğer organik maddeler, kimyasal tuzlar, yumuşak kısımlar, killi topraklar, agrega etrafını saran yabancı kısımlar zararlı maddeler olarak isimlendirilmektedir.

Bunlar betonun dayanıklılığını ve dış görünüşünü etkiler. Betonun işleme ve karışım işlemlerini güçleştirir ve su gereksinimini artırır. Hava koşullarına göre betonun bozulmasına neden olabilirler (Tutmaz, 2009; URL-1, 2008).



Şekil 1.13. Korozyona uğramış ve aşınmış beton (URL-2, 2014).

1.6.1. Yıkanabilir (İnce) Maddeler

Agregada ince halde dağılmış veya topraklar halinde veya agregata tanelerine yapışık olarak bulunabilen kil, silt ve çok ince taş unlarına yıkanabilir maddeler denilir. İlaveten boyutu 0,063 mm (63 μ)'den küçük olan taneleri içeren malzeme ince madde olarak tanımlanır. Bunlar agregada kısıtlı miktarda bulunması gereken, istenmeyen malzemelerdir (Tutmaz, 2009; TS 706 EN 12620, 2009).

TS 706 EN 12620'ye göre 0,05-0,005 mm irilikteki malzeme silt, 0,005 mm'den küçük malzeme kil olarak adlandırılırlar. Koloidal yapılı kil, silt ve taşınu gibi tanelerin fazla bulunması beton için zararlıdır. Agregata taneleri yüzeyine yapışık halde bulunan kil ve silt gibi ince taneli malzemeler agregata ile çimento arasındaki bağa zarar verir. Dolayısıyla üretilen betonun dayanım karakteristiklerini olumsuz yönde etkileyecektir.

İnce madde tayini için iki adet uygulama metodu bulunmaktadır. 4 mm'den küçük agregalar için çökelek tayini, 4 mm'den büyük taneler için ise yıkama metodları kullanılmaktadır.

Çökelek tayini yönteminde, deney numuneleri etüv kurusu durumuna getirilir, tartılarak kuru ağırlığı saptandıktan sonra yaklaşık 750 ml su ile birlikte ölçü silindirinin içerisine konulur. Ölçü silindirinin ağzı kapatılır, 20 şer dakika aralıklarla üç defa 1-2 dakikalık süre ile şiddetli bir şekilde çalkalanır. Son çalkalamadan sonra ölçü silindiri ve içindekiler sarsılmayacak şekilde sağlam bir zemine konulur ve bir saat dinlendirilir. Çıplak gözle kum ile ince malzemenin ayırt edilebildiği seviyeden itibaren ince malzemenin yüksekliği belirlenir. Şayet bir saatlik dinlendirme sonucunda ince partiküller çökelmemiş ve su berraklaşmamış ise bekleme süresi 24 saate kadar uzatılır. Çökelen ince maddenin ağırlığının etüv kurusu ağırlığına oranı hesaplanır.

İnce madde oranının yıkama ile tayini metoduna ise, deney numuneleri etüv kurusu durumuna getirililerek tartılır. Bir miktar su ilave edilerek çalkalama kabına konulan malzeme en az 12 saat su içerisinde bekletilir. Bekletildikten sonra 5 dakika boyunca şiddetli şekilde çalkalanır ve 0,063 mm den ince tanelerin daha irilerinden ayrılmalari sağlanır. Çalkalanmış olan deney numunesi suyu ile birlikte sırasıyla 8 mm, 1 mm ve 0,33 mm göz açıklıklı eleklerden geçirilir. Eleklerin üzerinde kalan malzemeler etüv kurusu durumuna getirilir ve tartılarak ağırlıkları bulunur. İnce madde, 0,63 mm göz açıklıklı

elekten geçen madde etiv kuruu ağırlığının, agreganın etiv kuruu ağırlığına oranı olarak hesaplanır (TS EN 933-9, 2010).

1.6.2. Organik Kökenli Maddeler

Agregalar içerisinde çok küçük parçacıklar halinde dağılmış olan çürümüş bitki kökleri, humuslu topraklar, ve diğer organik kökenli maddelerdeki tannik asit ve türevleri, çimento hidratasyonunu olumsuz olarak etkiler.

Agregalarda bulunabilecek organik kökenli maddelerin miktarı çok olduğu durumlarda, çimentonun katılaşması yani priz alma süresi yavaşlar hatta hiç meydana gelmeyebilir. Bu sebeple, betonun tüm yapısal özelliklerini olumsuz olarak etkilemektedir (Erdoğan, 1995).

Gürbüz (1998) ve Özyürek'e (1995) göre, organik maddelerin bu olumsuz etkileri iki nedene dayanmakta olup, ilki organik maddelerin bir kısmının hidrofob (suyu iten) olması ve bunların çimentoda hidrate kristallerin oluşmasına engel olmasıyla oluştuğu, diğeri organik maddelerin bazılarının çözünmeyerek çimentoda hidrate kristallerin oluşmasını önlemesidir. Agregada organik maddelerin fazla bulunması bunlarla üretilen betonun dayanımının % 50'ye yakın oranda azalmasına neden olması yanında, betonun sertleşmesine zarar verir, çiçeklenmeye, çimentonun priz yapamamasına ve korozyona yol açabilir. Diğer yandan kumlarda fazla miktarda organik madde bulunma olasılığının daha yüksek olması nedeniyle daha dikkatli davranılması gerekmektedir kömür parçacıkları ve diğer düşük yoğunluktaki maddeler, agreganın uygun yoğunluktaki sıvı içerisinde yüzdürülmesiyle belirlenir (Tutmaz, 2009; URL-1).

TS 706 EN 12620'ye (2009) göre ince dağılmış, sertleşmeye zarar veren organik maddelerin varlıkları, agreganın NaOH ile test edilmesinden veya yoğunluğu 2,0 kg/dm³ olan sıvıda yüzdürülmesiyle bulunabilir. Organik maddeler agreganın yoğunluğu 2,0 kg/dm³ olan sıvıda yüzdürülmesiyle belirlenmeye çalışılıyorsa, yüzdürülerek bulunan taneli organik maddelerin miktarı % 0,5'den çok olmamalıdır.

1.6.3. Sertleşmeye Zarar Veren Maddeler

Sertleşmeye zarar veren maddelerin az miktarda bulunması bile betonun prizini ve sertleşmesini değiştirir. Betona zarar veren şeker vb. maddelerin veya çözünen tuzların

bulduğundan kuşku duyuluyorsa, agrega karşılaştırmalı beton deneyleri ile incelenmelidir. İncelenen agrega ile yapılan betonun basınç dayanımı, karşılaştırma betonunun basınç dayanımının % 85'inden daha düşükse, incelenen agregada betonun sertleşmesine zarar veren maddelerin bulunduğu varsayılır (TS 706 EN 12620, 2009).

1.6.4. Sülfat İçeren Maddeler

Agregalarda sülfatların bulunması, agrega tanelerinin çimento ile tepkimeye girerek sülfato-alüminat denilen genişleyen bir tuzun oluşmasına neden olabilmektedir. Bu genişleme sonucunda betonda ayrışmalar ve parçalanmalar meydana gelebilmektedir. Bu nedenle sülfat (SO_3) miktarının ağırlıkça % 1'den fazla olmamasına dikkat edilmelidir. Betonun 1 dm^3 'ünde 1,4 g'dan az olacak şekilde sülfat bulunmasına izin verilebilir (TS 706 EN 12620, 2009; URL-1, 2008).

1.6.5. Çeliğe Zarar Veren Maddeler

Agregalarda nitratlar, halojenürler gibi tuzların bulunması, özellikle donatılı betonlarda donatının korozyona karşı korunmasını engellemektedir. TS 706 EN 12620'ye (2009) göre, betonarme yapılarda kullanılacak agregalar, ağırlıkça % 0,2'den daha fazla suda çözünen klorür içermemelidir.

1.6.6. Alkali Reaktivite Oluşturan Maddeler

Alkali agrega reaksiyonu agreganın reaktif silis bileşenleri ile çimentonun alkalileri arasında meydana gelen kimyasal bir durumdur.

Çimentoların içinde bazı durumlarda Na_2O , K_2O gibi alkali oksitler bulunabilir. Bu, çimentonun ham maddelerinden kaynaklanan bir durumdur. Bu alkali oksitler çakmaktaşı, çert, kumtaşı, opalinli kaya kökenli agregalarda bulunabilecek opal, kuartz, tridimit gibi reaktif silisler ile reaksiyona girerek yüksek genleşme kapasitesine sahip alkali-silis jellerinin oluşmasına yol açarlar (Erdoğan, 1995). Bu sebeple betonun hacim sabitliği bozulur ve betonda çatlamlar meydana gelir.

Alkali-agrega reaksiyonunun olabilmesi çimentodaki alkali oksit ($Na_2O + 0,658 K_2O$) miktarına (% 0,6'dan büyük olması), agregada alkaliye duyarlı silisli minerallerin

bulunmasına, betonda yeterli miktarda nem olması etmenlerine bağlıdır (TS 706 EN 12620, 2009).

1.7. Beton

Çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı maddeleri karıştırılarak elde edilen yapı malzemesine beton denir.

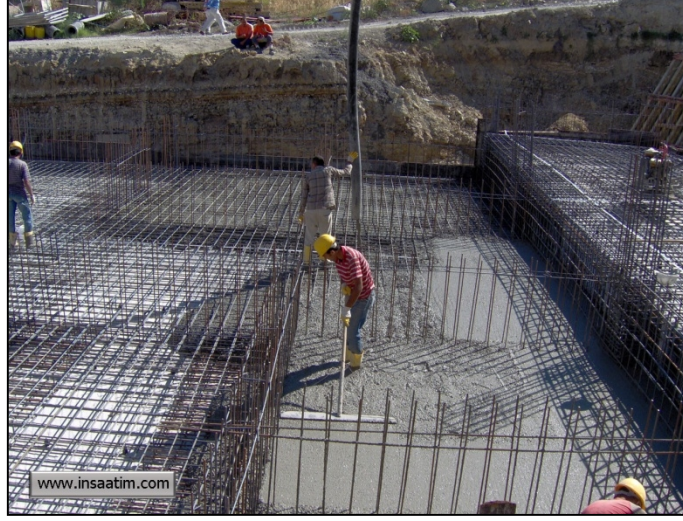
Agregalar betonun yaklaşık %75'ini oluştursa da herhangi bir bağlayıcılık özelliğine sahip değildirler. Beton içerisindeki agregayı bir arada tutabilmek için karışıma çimento ilave edilmelidir. Çimentonun da hidrasyonu sağlayabilmesi için ortama su eklenmelidir. Normal beton 160-250 kg/cm²'lik bir basınç dayanımına sahip olacak şekilde üretilirken özellikleri geliştirilerek 2000 kg/cm² yük taşıyabilen yapılar haline de getirilebilmektedir (Güner ve Süme, 2000).

Ekmekyapar ve Örüng (1997) ve Postacıoğlu'na (1987) göre, taze betona istenilen şeklin verilebilmesi, iskeletini oluşturan agreganın kolay sağlanabilmesi, çelik donatıyla birlikte betonarmede iyi bir şekilde kullanılabilmesi, istenilen boyutlarda bireysel betonarme elemanların yapılabilmesi, beton dayanımının taş, tuğla, briket ve kerpice oranla yüksek olması nedeniyle yapı elemanları boyutlarının küçültülebilmesi ve böylece yapı alanında ekonomikliğin sağlanması, dış etkilere dayanıklı olması, beton işçiliği için fazla uzmanlaşmaya gerek olmaması gibi betonun önemli yararları bulunmaktadır. Betonların dayanımları, sağlamlıkları ve diğer özellikleri karışım içerisindeki malzemelerin oranına, karışım şekline, sıkıştırma yöntemine ve kürüne bağlıdır (Tutmaz, 2009).

Kaliteli betonda iki temel özellik aranmaktadır. Bu özelliklerden ilki taze halde iken kolay işlenebilme, ikincisi ise sertleştiğinde yüksek dayanım vermedir.

1.8. Taze Betonun Özellikleri

Agrega, çimento ve su karışımı oluşturulmuş fakat henüz katılaşmamış betona taze beton diyebiliriz. Taze betonun taşınması, yerleştirilmesi (Şekil 2.14) ve sıkıştırılması sırasında uygulanan işlemler betonun sertleşmiş durumdaki özelliklerine de etki etmektedir. Taze betonda aranan önemli özellikler işlenebilme ve homojenliktir (Güner ve Süme, 2000).



Şekil 1.14. Taze betonun yerleştirilmesi

1.8.1. İşlenebilme

İşlenebilir beton kolay sıkılabilen, kalıba kolay yerleşen ve yerleşme işlemleri hızlı yapılabilen betondur. İşlenebilirlik başlıca betonun bileşimine ve beton malzemelerinin özelliklerine, kalıp özelliklerine, kalıptaki donatı miktarına ve sıklığına, yerleştirme ve sıkılama yöntemlerine bağlıdır (Güner ve Süme, 2000).

1.8.2. Homojenlik

Taze betonun homojenliği, beton özelliklerinin her tarafta aynı olması, betonun ayrışmaması ve su kusmaması anlamına gelmektedir.

Ayrışma betonda karışık halde bulunan iri ve ince tanelerin ayrı gruplar oluşturma eğilimi göstermesidir. Betonun kohezyonu (yapışkanlığı) azaldıkça bu eğilim artmaktadır. Kohezyon ise betondaki çimento dahil tüm katı tanelerin toplam yüzey alanlarına ve betondaki çimento hamuru miktarı ile ilişkilidir. Fazla kuru ve fazla sulu betonlarda, kum ve ince taneli malzeme az ise bu tür betonlar kolay ayrışmaktadır.

Ayrışma, sertleşmiş betonda peteklenme olarak ortaya çıkarak dayanımı azaltır. Betonun ayrışma eğilimini saptamak için geliştirilmiş bir deney yöntemi bulunmamaktadır.

Su kuma, betonu oluşturan katı tanelerin sıkılama sırasında veya katılaşma süresinde kalıp içinde aşağıya doğru çökmesi sonucu meydana gelir. Bu gibi durumlarda betonun üst kısmında su toplanması gözlemlenir. Betonun üst kısmındaki su miktarının artması betondaki boşluk miktarını artırır, dolayısıyla betonun dayanımını düşürür.

Su kuma olayının önlenmesi için sıkılama ve vibratörlü sıkıştırma işlemine dikkat edilmelidir (Güner ve Süme, 2000).

1.9. Sertleşmiş Betonun Özellikleri

Ekmekyapar ve Örüng'e (1997) ve Neville'e (1995) göre, dayanımını kısmen de olsa kazanmış betona sertleşmiş beton denir. Ancak genelde sertleşmiş beton denildiğinde 28 günlük veya daha yaşlı betonlar anlaşılmaktadır. Uzun zaman devam eden sertleşmeye çimento ile su arasındaki kimyasal reaksiyonlar neden olur ve sertleşme olayının devam edebilmesi için belirli sıcaklık ve neme gereksinim vardır (Tutmaz, 2009).

Sertleşmiş betonda aranan temel husus basınç dayanımıdır. Bunun sebebi kolay ölçülebilmesidir. Basınç dayanımı deneyi sonucu elde edilen değer dayanımdan ziyade beton kalitesinin bir ölçüsüdür. Betonda bulunan dayanım, geçirimsizlik, aşınma dayanımı, yoğunluk, çarpma dayanımı, çekme dayanımı ve sülfatlı sulara karşı dayanım gibi özellikler basınç dayanımı ile doğrudan ilişkilidir (Güner ve Süme, 2000)

1.9.1. Basınç Dayanımı

Ekmekyapar ve Örüng (1997), İhtiyaroğlu (1974) ve Özcan'a (1999) göre, betonun mekanik dayanımları arasında en büyük öneme sahip olanı basınç dayanımıdır. Betonun diğer özellikleri ile basınç dayanımı arasında sıkı ilişkiler bulunmaktadır. Betonun diğer mekanik özellikleri basınç dayanımı ile aynı yönde değişim gösterir. Betonların sınıflandırılması genelde basınç dayanımına göre yapılır. Basınç dayanımı standart küp veya standart silindir beton örneklerinde belirli süre ve bakım koşullarına bağlı olarak yapılır ve değerlendirilir. Beton basınç dayanımına etkiyen etkenler çimento ile ilgili etkenler yoğurma suyu miktarı, beton kompozitesi, dış etkiler (kür koşulları) ve deney koşulları olarak sıralanabilir (Tutmaz, 2009).

Betonun basınç dayanımı arttırılmak istenirse, kullanılan çimento miktarı arttırılmalıdır veya dayanımı yüksek çimento kullanılmalıdır. İlaveten karışımda kullanılan

su/çimento oranı da düşürülebilir. Ayrıca betonun kompasitesi arttıkça basınç dayanımı da artmaktadır. Dolayısıyla beton bünyesindeki boşluğun artması durumunda beton dayanımında düşme görülecektir.

Ünsal ve Şen'e (2008) göre, sınıflandırmada, çapı 150 mm ve yüksekliği 300 mm olan silindir şekilli numunenin 28 günlük karakteristik basınç dayanımı (f_{ck} , silindir) veya kenar uzunluğu 150 mm olan küp şekilli numunenin 28 günlük karakteristik basınç dayanımı (f_{ck} , küp) kullanılabilir. Basınç dayanımı, aksi belirtilmedikçe 28 günlük numunelerde tayin edilir (Tutmaz, 2009).

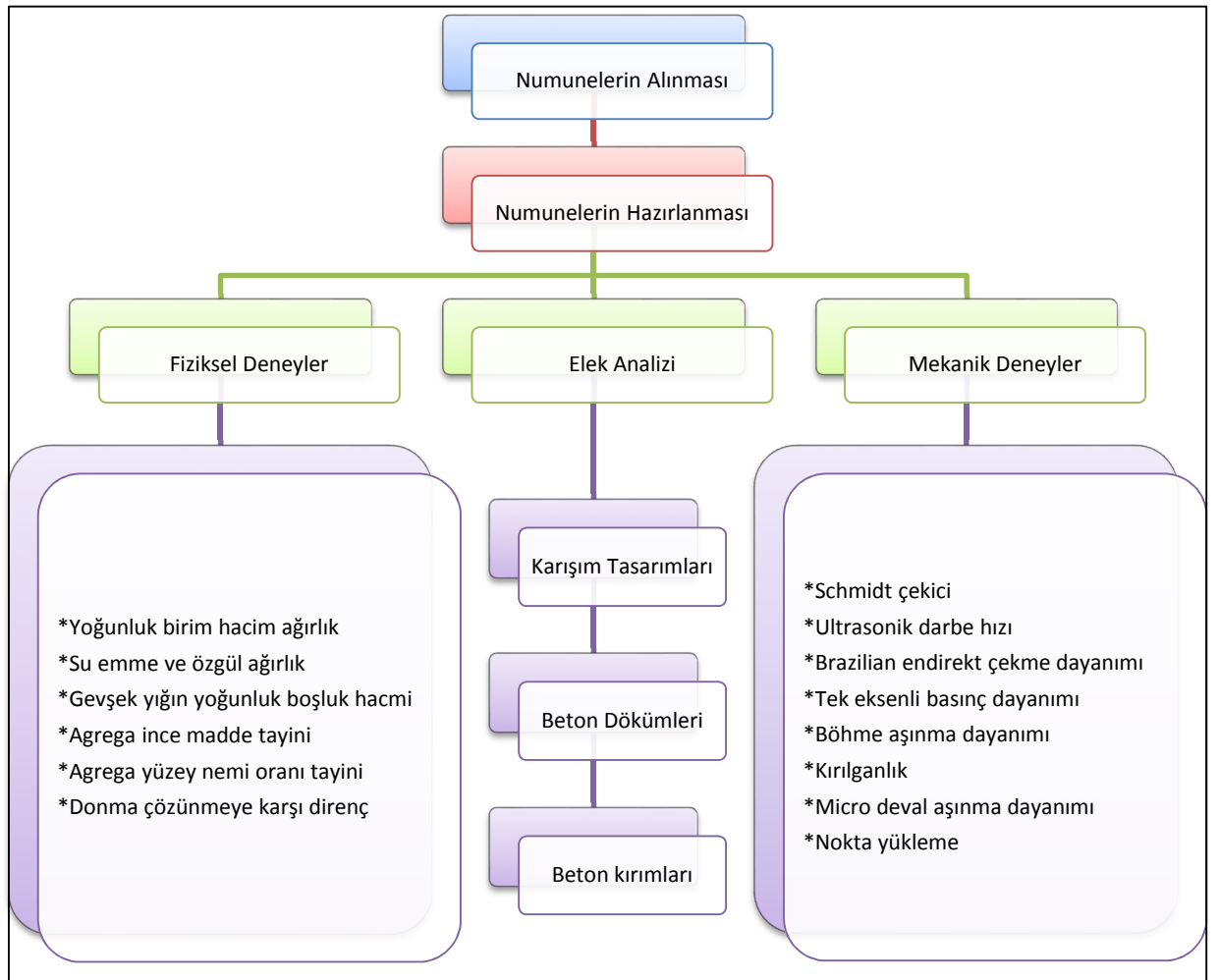
1.9.2. Çekme Dayanımı

Beton gevrek (kırılgan) yapıda olduğundan, düşük çekme gerilmesi altında dahi kırılabilir. Bu değer basınç dayanımının yaklaşık % 8-14'ü kadardır. Ekmekyapar ve Örüng'e (1997) göre, betonarme hesaplarında betonun çekme gerilmesi olmadığı varsayılsa da, beton 15-25 kg/cm² arasında değişen bir çekme gerilmesine sahiptir (Tutmaz, 2009).

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu tez kapsamında, Trabzon ili ve çevre bölgelerden alınan kayaç numunelerine çeşitli agrega ve kaya mekaniği deneyleri uygulanarak bu kayaçların agrega olarak kullanılabilirliği TS 706 EN 12620 + A1 standardına göre araştırılmıştır.

Araştırılması amaçlanan kayaç numuneleri araziden alınmış ve laboratuvara getirilmiştir. Deneylerde kullanılabilmesi amacıyla, kayaçların bir kısmı silindir ve küp şeklinde kesilmiş, geri kalan kısımlar ise kırma taş numunesi haline getirilmiştir. Kayaçlardan alınan örnekler üzerinde fiziksel ve mekanik özellik deneyleri, kırılmış numunelere ise elek analizi deneyleri yapılmıştır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Yapılan çalışmalar

2.1. Materyal

Bu bölümde, yapılan tez çalışmasına konu olan materyal, çalışmada kullanılan kayaç örnekleri ve örneklerin alındıkları lokasyonlar, beton dökümlerinde kullanılan çimento ve suya ait özellikler açıklanmıştır.

2.1.1. Agregalar

Bu çalışmada, Trabzon ili ve çevresinde bulunan taş ocaklarından ve şevlerden kopma sonucu ayrılmış doğal taşlardan elde edilen agregaların önemli özelliklerini araştırmak amacıyla, Trabzon ili Düzyurt Köyünde bulunan bazanit ve bazalt örnekleri, Gözalan Köyünde bulunan çamur taşı örnekleri, Araklı ilçesi Kaymaklı köyünde kireçtaşı örnekleri, Rize ili İyidere ilçesinde bulunan andezit örnekleri, Gümüşhane ilinde bulunan traverten örnekleri, Bayburt ilinde bulunan tuf (bayburt taşı) örnekleri deneylerde kullanılmak üzere alınmıştır (Tablo 2.1).

Beton karışım hesaplarında tamamlayıcı malzeme olarak Aşkale Çimento Hazır Beton Santralinden alınan kireçtaşı agregası kullanılmıştır.

Araziden alınan örnekler, kayaçların farklı fiziksel ve mekanik yapıda olmaları arzu edilerek toplamda 7 çeşit ve her bir örnek için tanesi ortalama 50 kg olan üçer kayaç bloğu olacak şekilde, Şekil 2.2’de yer alan harita üzerinde gösterilen sahalardan ve ocaklardan alınmışlardır.

Tablo 2.1. Örneklerin alındıkları bölgeler

	Örneklerin Alındıkları Sahalar
Bazanit	Düzyurt Köyü / Trabzon
Bazalt	Düzyurt Köyü / Trabzon
Kireçtaşı	Kaymaklı Köyü / Trabzon
Çamur taşı	Gözalan Köyü / Trabzon
Andezit	İyidere İlçesi / Rize
Traverten	Gümüşhane
Tuf	Bayburt



Şekil 2.2. Örneklerin alındıkları sahalar. A: Düzyurt ve Gözalan Köyü, B: Kaymaklı Köyü, C: İyidere İlçesi, D: Gümüşhane İli, E: Bayburt ili

2.1.2. Çimento

Bağlayıcı malzeme olarak Aşkale Çimento Fabrikasından alınan Portland Kalkerli Çimentosu deneme materyali olarak kullanılmıştır. Kullanılan çimento TS-EN 197-1:2002 / A1:2005 / A3:2010 standartlarında üretilmiştir ve CEM II / A-LL 42,5R sınıfında'dır. Kullanılan çimentoya ait tedarikçi firma tarafından sunulan bazı kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 2.2'de gösterilmiştir.

Tablo 2.2. Aşkale Portlant kalkerli çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri (URL-3, 2014).

Kimyasal Analiz (%)	SiO₂ (%)	Al₂O₃ (%)	Fe₂O₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO₃ (%)	Kireç Kaybı (%)	CaOH₂ (%)	
CEM II / A-LL 42,5R	19,5	4,68	3,29	61,5	2,49	2,65	3,55	1,12	
TS-EN 197-1	-	-	-	-	-	Maks. 4	Maks. 5	Maks. 0,1	
Fiziksel Analiz (%)	Özgül Ağırlık (g/cm³)	2 gün Day. (N/mm²)	28 gün Day. (N/mm²)	Katkı (%)	Klinker (%)	Cüruf (%)	Kül (%)	Kalker (%)	Tras (%)
CEM II / A-LL 42,5R	3,05	32,3	54,1	20	80	0	0	16	4
TS-EN 197-1	-	> 20	42-62	-	-	-	-	-	-

2.1.3. Su

Deneylerde ve oluşturulan beton karışımlarında Trabzon İli şebeke suyu kullanılmıştır. Trabzon belediyesinin Aralık 2013 tarihli sunduğu şebeke suyuna ait kalite raporu Tablo 2.3’de gösterilmiştir (URL-4, 2014).

Tablo 2.3. Su kalite raporu (URL-4, 2014).

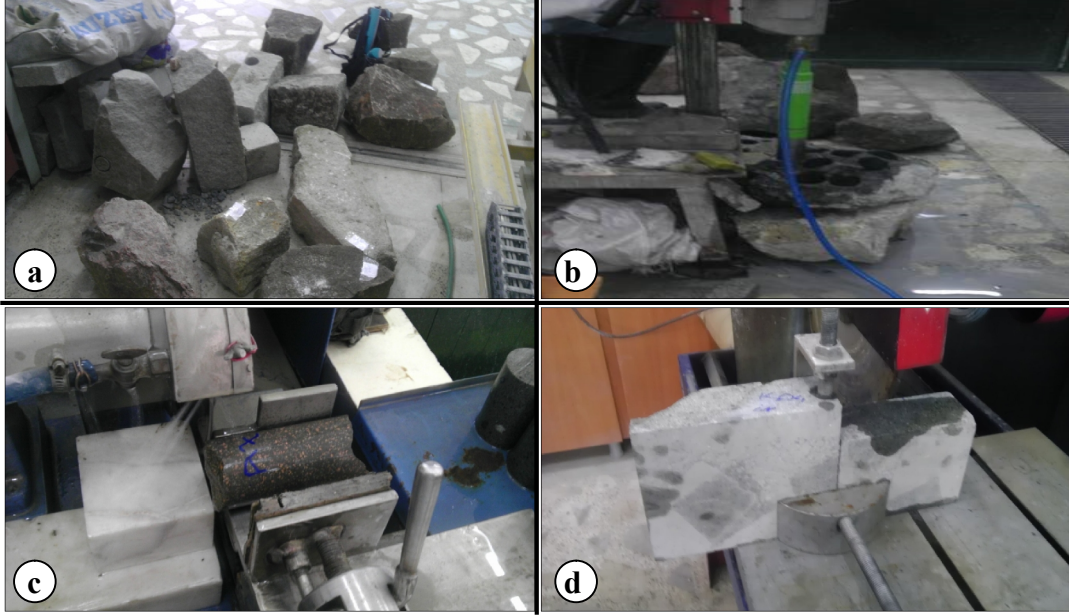
Parametreler	Birim	İçmesuyu Arıtma Tesisi Çıkışı
pH		7,8
Klörür	mg/l	11,5
Kalsiyum	mg/l	30
Sülfat	mg/l	20,5
Nitrit	mg/l	0
Nitrat	mg/l	2,84
Bak. Klor	mg/l	1
Org. Madde	mg/l	0,2

2.2. Kayaçlardan Deney Numunesi Hazırlanması

Araziden alınan blok kayaç numuneleri Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvar’ına getirilmiştir. Deneylerde kullanılmak üzere her bir çeşit kayaçtan üç adet temsili numune bloğu alınmıştır.

Deneysel çalışmalarda kullanılması amacıyla alınan kayaçlardan uygun boyutlarda numuneler hazırlanmıştır. Kayaçlara ait fiziksel ve mekanik özelliklerin belirlenmesi amacıyla karot alma cihazı ve kaya kesme testeresi kullanılarak gerekli karot ve küp

numuneleri alınmıştır (Şekil 2.3). Karot ve küp numuneleri alındıktan sonra kayalar kırılıp kırma taş numuneleri elde edilmiştir.



Şekil 2.3. Numunelerin hazırlanması. a) Blok numuneler, b) Karot alma işlemi, c) Karot ucu düzeltme işlemi, d) Küp kesme işlemi

2.2.1. Silindirik Numunelerin Hazırlanması

Kayaçlar üzerinde yapılan tek eksenli basınç dayanımı, endirekt çekme dayanımı, nokta yükleme, ultrasonik darbe hızı, don kaybı, su emme, boşluk hacmi, özgül ağırlık, birim hacim ağırlık ve boşluk hacmi deneyleri için gerekli olan silindirik numuneler karot alma makinesi ve kaya kesme testeresi kullanılarak çeşitli boylarda hazırlanmıştır.

2.2.1.1. Karot Alma İşlemi

Karot alma işleminde NX (54,7 mm) çaplı karotiyer kullanılmıştır (Şekil 2.4). Örnek hazırlama süresince her bir kayaç örneğine ait kayaç numunesinden 7'şer adet karot alınmıştır.

2.2.1.2. Karot Düzeltme İşlemi

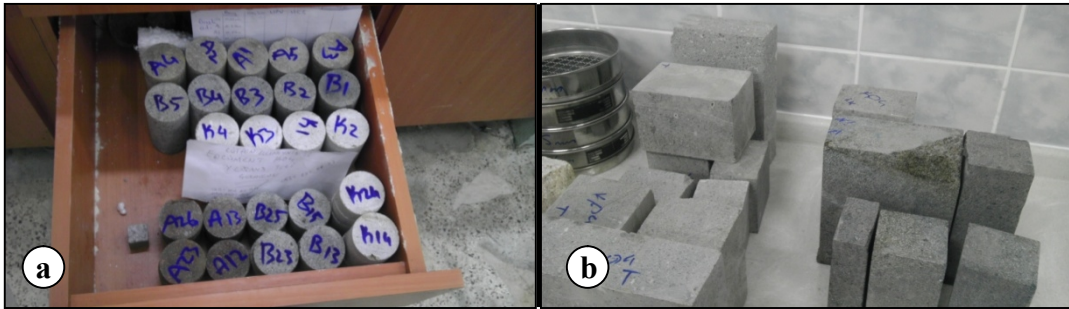
Deneilerde kullanılacak karot örneklerinin boy/çap oranlarını belirlemek, karotların alt ve üst yüzeylerini birbirlerine paralel olacak şekilde düzeltmek amacıyla kesme bıçağı çapı yaklaşık 15 cm olan laboratuvar tipi kaya kesme testeresi kullanılmıştır. Hazırlanan silindir numuneler dijital kumpas kullanılarak ölçülmüş ve numaralandırılmıştır.

2.2.2. Küp Numunelerin Hazırlanması

Kayaçlar üzerinde yapılan Böhme aşınma dayanımı deneyi için gerekli olan küp numuneler kaya kesme testeresi kullanılarak hazırlanmıştır.

2.2.2.1. Küp Kesme İşlemi

Her bir kayaç türü için 4'er adet 7x7x7 (cm) boyutlarında küp numunelerin hazırlanması için çapı yaklaşık 50 cm olan kesme bıçağına sahip laboratuvar tipi kaya kesme testeresi kullanılmıştır. Hazırlanan küp numuneler dijital kumpas kullanılarak ölçülmüş ve numaralandırılmıştır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Hazırlanan numuneler. a) Silindir, b) Küp

2.2.3. Kırma Taş Numunelerinin Hazırlanması

Kayaçlar üzerinde yapılan agrega deneyleri için gerekli olan taneli malzemenin elde edilebilmesi ve kayaçların sahip oldukları doğal tane boyut dağılımlarının belirlenmesi amacıyla kırma taş numuneleri hazırlanmıştır (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Kırma taş numunelerinin hazırlanması. a) Çeneli kırıcı ile kırma işlemi, b) Kırma taş numuneleri

2.2.3.1. Kırma İşlemi

Kayaç bloklarından silindir ve küp örnekler alındıktan sonra arta kalan kayaç parçaları çeneli kırıcı ile kırılarak agrega deneyleri için hazırlanmıştır.

2.3. Deneysel Çalışmalar

Kayaçların, dolayısıyla oluşturulan agregaların yapısal özelliklerini belirlemek amacıyla fiziksel ve mekanik özellik deneyleri yapılmıştır.

Fiziksel özellik deneyleri olarak;

- Yoğunluk-birim hacim ağırlık tayini
- Su emme ve özgül ağırlık
- Gevşek yığın yoğunluk ve boşluk hacmi tayini
- Agregada ince madde tayini
- Agregada yüzey nemi oranı tayini
- Donma ve çözünmeye karşı direnç deneyleri yapılmıştır.

Mekanik özellik deneyleri olarak;

- Schmidt çekici
- Ultrasonik darbe hızı
- Brazilian endirekt çekme dayanımı

- Tek eksenli basınç dayanımı
- Böhme aşınma dayanımı
- Kırılmalık (Parçalanma direnci)
- Micro deval aşınma dayanımı
- Nokta yükleme deneyi yapılmıştır.

Kayaçlardan elde edilen mıcır numunelerinin beton yapımında kullanılabilirliğinin belirlenebilmesi için granülometrik özellik deneyleri yapılmıştır.

Granülometrik özellik deneyleri olarak;

- İnce tane kum eşdeğeri tayini
- Elek analizi yapılmıştır.

Analizleri yapılan agrega numuneleri ile piyasadan alınan takviye agregalar karıştırılarak beton yapımına uygun bir granülometri sağlanmıştır. Oluşturulan bu karışımlar kullanılarak silindirik beton örnekleri dökülmüştür. Beton örnekleri, dayanımlarının belirlenmesi amacıyla 28 günlük kür süresi sonunda tek eksenli basınç dayanımı deneyi yapılarak kırılmıştır.

2.3.1. Fiziksel Deneyler

2.3.1.1. Yoğunluk – Birim Hacim Ağırlık Tayini

Bu deney kullanılan kayaçların fiziksel özellikleri arasında anlamlı bir ilişki olup olmadığının araştırılması amacı ile yapılmıştır.

Düzenli geometriye sahip kayaç örneklerinin kütleli yoğunluğunun ve birim hacim ağırlığının tayini amacıyla yapılan bu yöntemle yoğunluğu ve birim hacim ağırlığı tayin edilecek kayaç örnekleri, şişebilen ve ıslanma-kuruma sonucu kolaylıkla dağılabilecek özellikte olmamalıdır (Ulusay vd., 2001).

Kumpas yardımı ile silindirik karot örneklerine ait boy (L) ve çap (D) değerleri ölçülerek örneklere ait hacim değerleri (V) hesaplanmıştır. Örneklerin ağırlıkları (W) hassas terazide tartılarak belirlenmiştir (Şekil 2.6). Belirlenen W ve V değerleri kullanılarak örneklerin yoğunluğu (ρ) ve birim hacim ağırlığı (γ) aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır. Bu deneyde ISRM (1981) tarafından belirlenen yöntem kullanılmıştır.

$$\text{Yoğunluk (g/cm}^3\text{)}, \rho = \frac{W}{V} \quad (2.1)$$

$$\text{Birim hacim ağırlık (kN/m}^3\text{)}, \gamma = 9.81\rho \quad (2.2)$$

Burada;

V: Örnek hacmi.

W: Örnek ağırlığı.

ρ : Örnek yoğunluğu.

γ : Örnek birim hacim ağırlığıdır.



Şekil 2.6. Hassas terazi ile numune tartımı

Kayaçlara ait yoğunluk ve birim hacim ağırlık değerleri Tablo 2.4'de gösterilmiştir.

Tablo 2.4. Kayaçların yoğunluk ve birim hacim ağırlık değerleri

Deney Adı	Traverten	Kireçtaşı	Çamur Taşı	Andezit	Bazanit	Bazalt	Tüf
Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	23,3	23,0	21,4	22,3	25,6	25,4	17,9
Yoğunluk (gr/cm ³)	2,38	2,35	2,19	2,28	2,61	2,59	1,83

2.3.1.2. Su Emme ve Tane Yoğunluğu Tayini

Bu deney kullanılan kayaçların TS 706 EN 12620+A1 standardına göre agrega olarak kullanılabilirliğinin araştırılması amacı ile yapılmıştır.

Tane yoğunluğu (birim hacim ağırlık, özgül ağırlık) tayini deneyinde, doğal halde bulunan deney numunesi oda sıcaklığında (ortalama 20°C) bulunan içi su dolu bir kap içerisine konulmuştur. Kap hafifçe sallanarak tanelere yapışık halde bulunan toz ve yabancı maddeler temizlenmiştir. Su içerisindeki numune 24 saat bekletildikten sonra çıkartılarak üzerinde bulunan su tabakası kurutulmuştur. Kurutma işlemi takiben numune tartılarak doygun kuru yüzey ağırlığı belirlenmiştir. Tartılan numune kafes örgülü tel sepete konularak su dolu kovanın içerisine daldırılmıştır. Numune su yüzeyinden en az 5 cm aşağıya indirilerek ve hafifçe sallanmak suretiyle tanelerin arasında kalan hava kabarcıkları uzaklaştırılmıştır. Hazırlanan şekliyle sepet ve içerisindeki numune, özgül ağırlık deney seti için kullanılan terazi kefesinin ortasına yerleştirilerek doygun malzemenin sudaki ağırlığı belirlenmiştir. Ardından numune sudan çıkartılarak etüv kurusu haline getirilmiştir. Etüvden alınan numune bir süre bekletilerek oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Oda sıcaklığındaki numune tartılarak kuru ağırlığı belirlenmiştir.

Deney TS EN 1097-6 Agregalarda Tane yoğunluğuve su emme oranının tayini standartına uygun olarak yapılmıştır ve iri agreg a malzemesi kullanılmıştır.

$$\text{Kuru tane yoğunluğu (Mg/m}^3\text{), } \rho_{rd} = \frac{V_4}{V_1 - (V_2 - W_3)} \quad (2.3)$$

$$\text{Doğal tane yoğunluğu (Mg/m}^3\text{), } \rho_a = \frac{V_4}{V_4 - (V_2 - W_3)} \quad (2.4)$$

$$\text{Doygun kuru yüzey tane yoğunluğu (Mg/m}^3\text{), } \rho_{ssd} = \frac{V_4}{V_4 - (V_2 - W_3)} \quad (2.5)$$

Burada;

W₁: Agreg a doygun kuru yüzey kütlesi (kg).

W₂: Sepet ve agreganın sudaki kütlesi (kg).

W₃: Boş sepetin sudaki kütlesi (kg).

W₄: Etüvde kurutulmuş agreg a kütlesi (kg).

Su emme oranı tayininde ise numunenin doygun kuru yüzey durumundaki ağırlığından etüv kurusu durumundaki ağırlığının çıkarılarak etüv kurusu ağırlığına bölünmesi ve sonucun 100 ile çarpılmasıyla hesaplanmıştır.

$$\text{Su emme oranı (\%)}, WA_{24} = \frac{(M_1 - W_4)}{W_4} \times 100 \quad (2.6)$$

Agregalara ait su emme ve tane yoğunluğu deneyi sonuçları Tablo 2.5'de gösterilmiştir.

Tablo 2.5. Agregaların su emme ve özgül ağırlık değerleri

Deney Adı	Traverten	Kireçtaşı	Çamur Taşı	Andezit	Bazanit	Bazalt	Tüf	TS 706
Su Emme (%)	6,9	1,52	4,78	3,93	1,59	1,65	8,7	< 1
Tane Yoğunluğu (Mg/m ³)	2,56	2,13	2,06	2,67	2,72	2,75	2,03	2-3

Su emme oranı %1 den az olan örneklerin donma çözülmeye karşı dirençli olduğu kabul edilir. Ayrıca tane yoğunluğu 2-3 Mg/m³ arasında olan örnekler normal agregalar olarak sınıflandırılır.

2.3.1.3. Gevşek Yığın Yoğunluk ve Boşluk Hacmi Tayini

Bu deney kullanılan kayaçların TS 706 EN 12620+A1 standardına göre agregalar olarak kullanılabilirliğinin araştırılması amacı ile yapılmıştır.

Deneyde agregalar (110 ± 5)°C'da sabit kütleye kadar kurutulmuştur. Her deney numunesinin kütlesi numune kabını doldurmak için her bir deney numunesi için gerekli kütlenin % 120 - % 150si arasında olacak şekilde belirlenmiştir. Boş, kuru ve temiz ölçü kabı tartılmıştır (W₁) (Şekil 2.7). Ölçü kabı yatay bir yüzeye yerleştirilerek numune ile tamamen doldurulmuştur. Ölçü kabının üst yüzeyinden taşan agregalar dikkatlice yüzeyden uzaklaştırılmıştır ve segregasyonu önlemek için yüzeyde düzgün bir dağılım sağlanmıştır. Agreganın üst yüzeyi sıkıştırmaya sebep olmadan düz bir tahta parçası ile düzeltilmiştir. Dolu numune kabı tartılarak kütlesi % 0,1 doğrulukla kayıt edilmiştir (W₂).

Deney TS 1097-3 agregalarda gevşek yığın yoğunluk ve boşluk hacmi tayini standartına uygun olarak yapılmıştır.



Şekil 2.7. Ölçü kabı darasının alınması

$$\text{Gevşek yığın yoğunluğu (Mg/m}^3\text{)}, \rho_b = \frac{(W_2 - W_1)}{V_k} \quad (2.7)$$

Burada;

W_2 : Ölçü kabı ve deney numunesinin kütlesi (kg).

W_1 : Boş ölçü kabı kütlesib (kg).

V_k : Ölçü kabının hacmidir (L).

$$\text{Boşluk yüzdesi (\%)}, v = \frac{(\rho_p - \rho_b)}{\rho_p} \times 100 \quad (2.8)$$

Burada;

ρ_p : önceden kurutulmuş tane yoğunluğudur (Mg/m³).

Agregalara ait gevşek yığın yoğunluk ve boşluk hacmi deneyi sonuçları Tablo 2.6'da gösterilmiştir.

Tablo 2.6. Agregaların gevşek yığın yoğunluk ve boşluk hacmi değerleri

Deney Adı	Traverten	Kireçtaşı	Çamur Taşı	Andezit	Bazanit	Bazalt	Tüf	TS 706
Gevşek Yığın Yoğunluk (gr/cm ³)	1,86	1,43	1,36	1,97	2,02	2,05	1,33	> 1,25
Boşluk Hacmi (%)	11,3	3,95	10,45	9,51	7,80	4,14	19,68	-

2.3.1.4. Agregaya Yüzey Nemi Oranı Tayini

Bu deney beton karışımları için gereken su miktarının tespitinde kullanılması amacıyla yapılmıştır.

Deney numunesi tartılmıştır (W_1). Tartılan numune madeni kabın içine yayılarak serilmiştir ve ısıtıcı yardımı ile doymuş kuru yüzey haline getirilerek tartılmıştır (W_2). Deneyde TS-3523 Agregada yüzey nemi oranı tayini standardı kullanılmıştır.

$$\text{Agrega yüzey nemi oranı (\%)}, n = \frac{(W_1 - W_2)}{W_2} \times 100 \quad (2.9)$$

Burada;

W_1 : Deney numunesinin deney başlangıcındaki ağırlığı (g).

W_2 : Deney numunesinin doymuş kuru yüzey halindeki ağırlığıdır (g).

Agregalara ait yüzey nemi oranı sonuçları Tablo 2.7’de gösterilmiştir.

Tablo 2.7. Agregalara ait yüzey nemi sonuçları

Deney Adı	Traverten	Kireçtaşı	Çamur Taşı	Andezit	Bazanit	Bazalt	Tüf
Yüzey Nemi Oranı (%)	1	1	2	3	1	1	2

2.3.1.5. Donma ve Çözünmeye Karşı Direnç

Bu deney kullanılan kayaçların TS 706 EN 12620+A1 standardına göre agregaya olarak kullanılabilirliğinin araştırılması amacı ile yapılmıştır..

Deney için her bir kayaç grubuna ait 5’er adet silindirik örnek kullanılmıştır. Örnekler 105 ± 3 °C’ deki fırına yerleştirildi ve en az 4 saat kurutulduktan sonra, fırından çıkartılarak soğuma için bekletilmiştir. Örnekler hassas terazide tartılarak ağırlıkları belirlenmiştir (W). Örneklerin boyutları kumpasla ölçülerek kaydedilmiştir. Ağırlıkları bilinen örnekler, saf su ile dolu behere konarak, saf su içinde en az 12 saat bekletilmiştir. Beherlerden alınan örneklerin yüzeyindeki su kağıt havlu ile temizlenerek örnekler su geçirmeyen şeffaf ve örnek boyutuna uygun naylon torbalara yerleştirilmiştir (Şekil 2.8) ve torbaların ağzları sıkıca kapatılmıştır. Torbaya konan örnekler, donma çözünme cihazının

haznesine yerleştirilmiştir. Cihaz donma çözünme döngüleri için -18 °C ve +32 °C'ye programlanmıştır. Döngüler süresi 8 – 12 saat arasında kalacak şekilde programlanmıştır. Cihaz 10 döngü olacak şekilde ayarlandı. Deney sonucunda örnekler haznedan çıkartılarak, 105 ± 3 °C' deki fırına yerleştirilerek 24 saat kurumaya bırakılmıştır. Fırından çıkartılan örnekler soğumaları için bekletilmiştir. Soğuyan örnekler hassas terazi ile tartılarak ağırlıkları (W_d) belirlenmiştir. Örneklerin boyutları kumpasla ölçülerek kaydedilmiştir.

Deneyde ASTM D5313-92 standartlarında verilen yöntemler kullanılmıştır.



Şekil 2.8. Numunelerin naylon torbalara yerleştirilmesi

Donma çözünme deneyi için ağırlık kaybı oranı formülü aşağıdaki gibidir;

$$\text{Ağırlık kaybı (\%), } W_{\%} = \frac{(W - W_d)}{W} \times 100 \quad (2.10)$$

Burada;

W : Örnek ağırlığı (g).

W_d : Deney sonrası örnek ağırlığıdır (g).

Kayaçlara ait donma çözünme deneyi sonuçları Tablo 2.8'de gösterilmiştir.

Tablo 2.8. Kayaçlara ait dona dayanıklılık sonuçları

Deney Adı	Traverten	Kireçtaşı	Çamur Taşı	Andezit	Bazanit	Bazalt	Tüf	TS 706
Dona Dayanıklılık (%)	12,7	1,92	4,1	3,31	2,85	2,61	16,2	< 15

2.3.2. Mekanik Deneyler

2.3.2.1. Schmidt Çekici

Bu deney, kayaçların üniformluğunu test etmek ve basınç dayanımı hakkında fikir elde etmek amacıyla yapılmıştır.

Laboratuvar ortamına getirilen kayaç numuneleri üzerinden dijital schmid çekici ile 20 şer vuruş yapılarak bu değerlerin ortalaması cihaz tarafından kayıt edilmesi sağlanmıştır (Şekil 2.9). Dijital Schmidt çekicini bilgisayara bağlayarak kayıt edilen değerler incelenmiştir. Deneyde ISRM (1981) standardı uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 2.9'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Schmidt çekici ile ölçüm alımı

Tablo 2.9. Kayaçlara ait Schmidt çekici sonuçları

Deney Adı	Traverten	Kireçtaşı	Çamur Taşı	Andezit	Bazanit	Bazalt	Tüf
Schmidt Çekici (MPa)	35,73	15,32	18,62	31,69	43,5	39,6	10,6

2.3.2.2. Ultrasonik Darbe Hızı (UPV)

Bu deney, kayaçların üniformluğunu test etmek ve basınç dayanımı hakkında fikir elde etmek amacıyla yapılmıştır.

Deneyde çapı NX (54 mm) olan silindirik örnekler kullanılmıştır. Deney için her bir kayaç grubuna ait 5'er adet örnek kullanılmıştır. Örneklerin gönderici ile temasta olacak alt ve üst yüzeyleri düz ve birbirlerine paralel olacak şekilde hazırlanmıştır. Yayılma hızı (V_p) ve tane boyu (d) malzemenin içsel özellikleri, buna karşın çevirgeç frekansı ile kullanılan çevirgece özgü olduğu için, örneğin çapı (D) ve boyu (L) 1 / 5 sınır oranını sağlayacak şekilde hazırlanmıştır.



Şekil 2.10. Alıcı ve gönderici başlıklar

Deney karotunun boyu (L) ve çapı (D) kumpasla ölçülerek kaydedilmiştir. Örneğin alt ve üst ucuna yerleştirilen alıcı ve gönderici (Şekil 2.10) ile örnekler arasına vazelin sürülerek olası boşlukların doldurulması sağlanmıştır. Alıcı ve göndericinin birbirlerini göreceğ şekilde paralel olarak konumlandırılması sağlanmıştır. Dakikada bir ya da iki okuma alınacak şekilde sinyal gönderilerek sıkışma dalgasının (P) örnekten geçiş süresi (t_p) %1 hassasiyetle belirlenmiştir. Daha sonra makaslama dalgasının geçiş süresi (t_s) %2 duyarlılıkla belirlenmiştir.

Deneyde ASTM (1994), ISRM (1981) ve CANMET (1977) tarafından önerilen standartlar dikkate alınmıştır.

$$P \text{ dalgasının yayılma hızı (m/s), } V_p = \frac{L}{T_p} \quad (2.11)$$

$$S \text{ dalgasının yayılma hızı (m/s), } V_s = \frac{L}{T_s} \quad (2.12)$$

$$\text{Young modülü (Pa), } E_u = \frac{\rho V_s^2 \times (3V_p^2 - 4V_s^2)}{(V_p^2 - V_s^2)} \quad (2.13)$$

Burada;

L : Silindirik deney örneklerinin boyu (mm).

T_p : (t_p-t₀); P dalgasının etkin ilerleme zamanı (μs).

T_s : (t_s-t₀); S dalgasının etkin ilerleme zamanı (μs).

t_p : P dalgasının ölçülen yayılma zamanı (μs).

t_s : S dalgasının ölçülen yayılma zamanı (μs).

t₀ : Ölçülen sıfır (başlangıç) zamanı (μs).

ρ : Kayacın kütle yoğunluğudur (kg/m³).

Kayaçlara ait ultrasonik darbe hızı deneyi sonuçları Tablo 2.10'da gösterilmiştir.

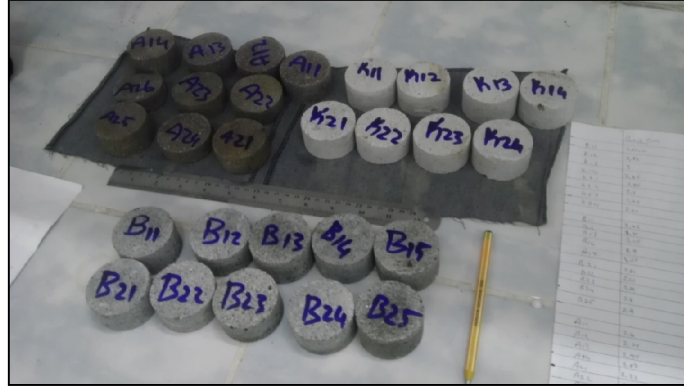
Tablo 2.10. Kayaçlara ait ultrasonik darbe hızı değerleri

Deney Adı	Traverten	Kireçtaşı	Çamur Taşı	Andezit	Bazanit	Bazalt	Tüf
Ultrasonik Darbe Hızı V _p (m/s)	3583,6	2495,4	2937,7	2932,6	3719,7	3684,9	2762,4

2.3.3.3. Dolaylı Çekme Dayanımı (Brazilian)

Bu deney, disk şeklinde hazırlanan kayaç örneklerinin çapsal yükleme altında çekilme dayanımlarının dolaylı yoldan tayini ve kayaçların basınç dayanımı hakkında fikir elde etmek amacıyla yapılmıştır.

NX (54 mm) boyutunda ve kalınlığı yarıçapıyla yaklaşık olarak aynı olan, sağlam ve çatlaksız silindirik örnek hazırlanmıştır (Şekil 2.11). Örneklerin alt ve üst yüzeyleri birbirlerine paralel olacak şekilde kesilmiştir. Deneyde her bir kayaç grubuna ait 5'er örnek kullanılmıştır.



Şekil 2.11. Dolaylı çekme dayanımı için hazırlanan örnekler

Örneğin çapı (D) ve kalınlığı (t) kumpasla ölçülerek kaydedilmiştir. Örnek yan yüzeyleri yükleme çenelerinin arasında kalacak biçimde, yükleme başlığının altına konan çenelerin arasına yerleştirilmiştir. Örnek, yenilme 15-30 saniye arasında gerçekleşecek şekilde sabit bir hızla yüklenmiştir. Bu amaçla 200 N/s' lik yükleme hızı kullanılmıştır. Örneğin yenildiği andaki yük (F), cihaz üzerinden okunarak kaydedilmiştir. Deneyde ASTM D3967 standartları kullanılmıştır.

$$\text{Çekme dayanımı (Mpa), } \sigma_t = \frac{(0,636 \times F)}{D_t} \quad (2.14)$$

Burada;

F: Örneğin yenilmesi anında uygulanan yük (kN).

D: Örnek çapı (mm).

t: Örnek kalınlığıdır (mm).

Kayaçlara ait dolaylı çekme dayanımı deneyi sonuçları Tablo 2.11'de gösterilmiştir.

Tablo 2.11. Kayaçlara ait dolaylı çekme dayanımı değerleri

Deney Adı	Traverten	Kireçtaşı	Çamur Taşı	Andezit	Bazanit	Bazalt	Tüf
Brazilian Endirekt Çekme Dayanımı (MPa)	3,3	2,85	3,37	3,82	4,08	3,93	2,32

2.3.3.4. Nokta Yükleme Dayanımı

Bu deney, kayaçların basınç dayanımı hakkında fikir elde etmek amacıyla yapılmıştır.

Deney için her bir kayaç grubundan 5'er adet örnek kullanılmıştır. Numuneler çapsal olacak şekilde hazneye yerleştirilmiştir. Hidrolik kol elle pompalanarak kırıcı hazneye yavaş bir şekilde basınç verilmiştir. Numune başlıklar arasında sıkıştırılarak kırılmıştır. Elektronik basınç göstergesinden yenilme anındaki değer okunmuştur (P_1). Deney ASTM D-2938-71 standardına göre yapılmıştır.

$$\text{Nokta yükü dayanım indeksi (kPa), } I_s = \frac{P}{D_e^2} \quad (2.12)$$

$$\text{Düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi (kPa), } I_{s50} = F \times I_s \quad (2.13)$$

Burada;

P : Yenilme yükü (kN).

F : Boyut düzeltme faktörü.

D_e : kuvvet uygulama başlıkları arasındaki mesafedir (mm).

Kayaçlara ait nokta yükleme dayanımı deneyi sonuçları Tablo 2.12'de gösterilmiştir.

Tablo 2.12. Kayaçlara ait nokta yükleme dayanımı değerleri

Deney Adı	Traverten	Kireçtaşı	Çamur Taşı	Andezit	Bazanit	Bazalt	Tüf
Nokta Yükleme Dayanımı I_{s50} (Kpa)	4,16	2,59	2,64	3,37	6,41	5,34	2,07

2.3.3.5. Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Bu deney, silindirik şekilde hazırlanan kayaç örneklerinin boysal yükleme altındaki dayanımlarının tayini, basınç dayanımı hakkında fikir elde etmek amacıyla yapılmıştır.

Deney için her bir kayaç grubundan 5'er adet silindirik örnek kullanılmıştır. Deney sırasında örneğe sabit bir hızda ve sürekli olarak eksenel yükleme yapabilecek yeterli

kapasitede bilgisayar kontrollü hidrolik pres kullanılmıştır. Yenilmenin 5 ila 10 dakika arasında gerçekleşebilmesi için yükleme presinin kapasitesi kayacın dayanımına uygun olarak seçilmiştir.

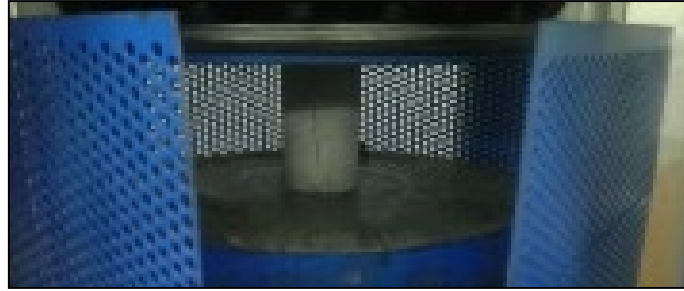
Deneyde boy/çap (L/D) oranı 2/1 ve çapları NX (54 mm) olan alt ve üst yüzeyleri birbirine paralel, yan yüzeyleri pürüzsüz şekilde kesilen karot örnekleri kullanılmıştır. Örneğin alt ve üst yüzeyleri, 0,02 mm duyarlılıkla ve birbirine paralel olacak şekilde düzeltilmiştir. Örneğin çapı ve boyu kumpasla ölçülerek yükleme yapılacak kesit alanı (A) hesaplanmıştır. Örnek, yükleme plakasının ortasına yerleştirildi (Şekil 2.12). Yükleme hızı ve kırılma duyarlılıkları sisteme girilerek kırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Kırma işlemi gerçekleştiği anda cihazın gösterdiği yenilme yükü (F) cihaz tarafından kaydedilmiştir. Deneyde ISRM (1981) tarafından önerilen yöntem esas alınmıştır.

$$\text{Tek eksenli sıkışma dayanımı (MPa), } \sigma_c = \frac{F}{A} \quad (2.14)$$

Burada;

F : Yenilme yükü (kN).

A : Yükleme yapılan kesit alanıdır (m²).



Şekil 2.12. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi

Kayaçlara ait tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonuçları Tablo 2.13’de gösterilmiştir.

Tablo 2.13. Kayaçlara ait tek eksenli basınç dayanımı değerleri

Deney Adı	Traverten	Kireçtaşı	Çamur Taşı	Andezit	Bazanit	Bazalt	Tüf
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	70,7	31,37	43,82	60,61	84,15	81,35	18,35

2.3.3.6. Böhme Aşınma Dayanımı Deneyi

Bu deney, küp şeklinde hazırlanan kayaç örneklerinin aşınma etkisi altındaki dirençlerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır.

Deney için her bir kayaç grubuna ait 7x7x7 (cm) boyutlarında 3'er adet küp numune kullanılmıştır. Hazırlanan örnekler, yaklaşık 750 mm çapındaki Böhme aşındırma diskinin üzerine, standart aşındırıcı serpilmiş ize gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Deneyde 294 ± 3 N'luk aşındırma kuvveti uygulanmıştır. Disk dakikada 30 devir hızla 22 tur olacak şekilde döndürülmüştür. Numunenin hacmindeki azalma ölçülerek deney sonucunda oluşan farklılıklar hesaplanmıştır. Deneyde TS 2824 EN 1338 standardı kullanılmıştır.

Kayaçlara ait Böhme aşınma dayanımı deneyi sonuçları Tablo 2.14'de gösterilmiştir.

Tablo 2.14. Kayaçlara ait Böhme aşınma dayanımı değerleri

Deney Adı	Traverten	Kireçtaşı	Çamur Taşı	Andezit	Bazanit	Bazalt	Tüf
Böhme Aşınma Dayanımı (%)	6,26	3,04	6,36	2,67	2,14	2,36	6,53

2.3.3.7. Micro-Deval aşınma dayanımı deneyi

Bu deney, agrega örneklerinin aşınma dayanımının belirlenmesi ve TS 706 EN 12620+A1 standardına göre agrega olarak kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla yapılmıştır.

Deneyde kullanılan numune, kütlesi, 10 mm ile 14 mm aralığındaki tane büyüklüğüne sahip en az 2 kg agrega olacak şekilde hazırlanmıştır. Deney, 14 mm göz açıklıklı elekten geçen ve 10 mm göz açıklıklı elekte tutulan agrega ile yapılmıştır. Buna ilave olarak deney numunesinin % 30 - % 40'ı, 11,2 mm göz aralıklı elekten geçecek şekilde hazırlanmıştır. Numune, 10 mm ile 11,2 mm ve 11,2 ile 14 mm aralıklarında ayrı fraksiyonlar elde etmek amacıyla 10 mm, 11,2 mm ve 14,0 mm göz aralıklı eleklerle elenmiştir. Her bir fraksiyon, ayrı ayrı yıkanarak etüvde (110 ± 5) °C' ta sabit kütleye kadar kurutulmuştur. Fraksiyonlar, ortam sıcaklığına erişilinceye kadar soğumaya bırakılmıştır. İki fraksiyon 10 mm ile 14 mm arasında tane büyüklüğüne sahip yeni bir numune elde etmek amacıyla karıştırılmıştır. İki fraksiyonun karıştırılması ile elde edilen yeni numune, deney kısmı büyüklüğüne kadar azaltılmıştır. Deneyde her kayaç grubu için,

her biri 500 g kütleye sahip iki deney numunesi kullanılmıştır. Her bir deney numunesi, ayrı bir tamburun içine yerleştirilerek her bir tambura, 5000 g'lık bir yük oluşturmak için yeterli miktarda çelik bilya ilve edilmiştir. Ayrıca tamburlara 2,5'ar litre su ilave edilmiştir. Kapağı kapatılan tamburlar, mil üzerine yerleştirilmiştir. Tamburlar, (100 ± 5) devir/min hızda (12000 ± 10) devir tamamlanincaya kadar döndürülmüştür. Deneyden sonra, olabilecek herhangi bir agrega kaybını önlemek amacıyla, agrega ve çelik bilyalar geniş bir kaptan toplanmıştır. Tamburun içi ve kapağı dikkatlice yıkanarak yıkanan malzeme de kaba dökülmüştür. Tüm malzeme ve yıkama suları, 8 mm göz açıklıklı koruyucu bir elek ile korunan 1,6 mm göz açıklıklı elek üzerine dökülmüştür. Dökülen malzeme, temiz su ile yıkanmıştır. Herhangi bir tane kaybına yol açmayacak şekilde, 8 mm göz açıklıklı koruyucu elekte tutulan agrega taneleri dikkatlice çelik bilyalardan ayrılmıştır. Agrega taneleri ve elek üzerindeki bilyalar ayıklanmıştır. 8 mm göz açıklıklı koruyucu elekte tutulan agrega taneleri, bir tepsi içerisine dökülmüştür. 1,6 mm göz açıklıklı elekte tutulan agrega taneleri de aynı tepsi içerisine dökülmüştür. Tepsi ve içerisindeki malzeme, etüvde, $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ 'ta kurutulmuştur. 1,6 mm göz açıklıklı elekte tutulan agrega kütlesi tartılmıştır. 1,6 mm göz açıklıklı elekte tutulan kütle miktarı (m), en yakın grama yuvarlatılarak kaydedilmiştir. İki deney numunesinden elde edilen değerler kullanılarak, mikro-Deval katsayısının ortalama değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan ortalama değer, numunenin mikro-deval katsayısı olarak belirlenmiştir. Deneyde TS EN 1097-1 standardı kullanılmıştır.

$$\text{Mikro-Deval Katsayısı, } M_{DE} = \frac{(500-m)}{5} \quad (2.15)$$

Burada;

m: 1,6 mm göz açıklıklı elek üzerinde tutulan fraksiyonun kütlesidir (g).

Agregalara ait Mikro-Deval Aşınma dayanımı deneyi sonuçları Tablo 2.15'de gösterilmiştir.

Tablo 2.15. Agregalara ait Micro-Deval Aşınma dayanımı değerleri

Deney Adı	Traverten	Kireçtaşı	Çamur Taşı	Andezit	Bazanit	Bazalt	Tüf	TS 706
Micro-Deval Aşınma Dayanımı (M_{DE})	12,3	8,1	14	6,1	6,9	6,2	15	< 35

2.3.3.8. Kırılgenlık S_z (Parçalanma Direnci)

Bu deney, kırılmış kayaç örneklerinin (kırma taş) darbeye karşı mukavemetinin belirlenmesi ve TS 706 EN 12620+A1 standardına göre agrega olarak kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla yapılmıştır.



Şekil 2.13. Numunenin hazneye yerleştirilmesi

Kırıcıda kırılan numune 16 mm ile 11,2 mm elek arasında sınıflandırılmıştır. 16 mm üstü malzeme yoğunluk tayini için kullanılmıştır. 16 mm ile 11,2 mm arasında kalan malzemedan $2,65 \text{ g/cm}^3$ eşdeğer yoğunluk için 500 g olacak şekilde örnek hazırlanmıştır. Numune hazneye yerleştirilmiştir (Şekil 2.13). 14 kg ağırlığındaki tokmak 20 kez haznenin üzerine düşürülmüştür. Ardından kutudan çıkarılan numune 11,2 mm elekten elenerek elek altı malzeme hassas terazide tartılmıştır. Elek altındaki malzeme ilk ağırlığa bölünerek kırılgenlık değeri bulunmuştur. Deneyde TS EN 1097-2 standardı kullanılmıştır.

Agregalara ait kırılgenlık deneyi sonuçları tablo 2.16'da gösterilmiştir.

Tablo 2.16. Agregalara ait kırılgenlık değerleri

Deney Adı	Traverten	Kireçtaşı	Çamur Taşı	Andezit	Bazanit	Bazalt	Tüf	TS 706
Kırılgenlık S_z (%)	43,84	42,73	35,72	32,028	29,01	30,51	37,11	< 32

2.3.4. Granülometri Deneyleri

Laboratuvar ortamına getirilen kayaç bloklarından silindir ve küp örnekler alındıktan sonra kalan kayaç kısımları çeneli kırıcı ile kırılarak kayaçlardan meydana gelen taneli malzemenin (kırma taş) sahip olduğu tane boyut dağılımlarının belirlenmesi amacıyla elek analizi ve incelik modülü tayini yapılmıştır. Ayrıca oluşturulan kırma taş numuneleri agrega deneyleri için de kullanılmıştır.

2.3.4.1. Agrega Tane Büyüklüğü Dağılımı (Elek Analizi) ve İnce Madde Tayini

Bu deney, kırılmış kayaç örneklerinin (kırma taş) TS 706 EN 12620+A1 standardına göre beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla yapılmıştır.

Elek analizi tayininde, deney numunesi $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ a ayarlanmış etüvde değişmez ağırlığa kadar kurutulup tartılmıştır (W_0). Deney elekleri, yukarıdan aşağıya doğru göz açıklıkları giderek küçülecek şekilde üst üste yerleştirilmiştir. Kurutulup tartılarak deney numunesi en üstteki eleğin içine konulmuş ve eleme hareketlerine başlanmıştır.

Bu şekilde elekler içindeki malzeme ile birlikte yeterli bir süre sarsılarak eleme sürdürülmüştür. Eleme süresinin yeterli olduğu, herhangi bir elekte bir dakikalık sarsma süresinde elekten geçen malzeme miktarının, elek üstünde kalan malzeme miktarının %1 inden daha az olması ile anlaşılır. Elek göz açıklığı 4 mm den daha büyük eleklerde ise, elek içinde kalan malzemenin tek bir tanecik tabakası oluşturması halinde eleme süresinin yeterli olduğu anlaşılır. Bu şekilde yeterince sürdürülen eleme işlemi sonunda her elekte kalan malzeme 0,1 g duyarlılıkla tartılmıştır (W_n). Deneyde TS EN 933-1 standardı kullanılmıştır.

$$S_n = \frac{W_n}{W_1} \times 100 \quad (2.16)$$

Burada;

S_n : Herhangi bir (n) göz açıklığındaki elek üstünde kalan malzeme oranı (%).

W_n : Göz açıklığı (n) olan elekte kalan malzeme ağırlığı (g).

W_1 : Deney numunesinin ağırlığıdır (g).

İncelenen kayaç örneklerinin laboratuvar ortamında çeneli kırıcı ile kırılması ile maksimum tane boyu 16mm olarak elde edilen numunelerin elek analizi sonuçları Tablo 2.17’de gösterilmiştir.

Tablo 2.17. Elekten geçen malzemenin yığılımlı yüzdesi ($d_{max}:16$)

Elek Boyutu (mm)	Traverten	Kireçtaşı	Çamur Taşı	Andezit	Bazanit	Bazalt	TS*
32	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100
22,5	99,71	99,21	100,00	100,00	98,95	98,98	100-98
16	92,07	93,94	100,00	94,40	88,76	89,56	99-85
11,2	69,60	76,13	76,27	78,13	64,56	66,88	90-68
8	49,72	55,79	53,44	54,75	42,78	54,72	77-48
4	29,20	35,96	34,20	28,58	32,33	26,18	64-33
2	18,58	20,97	23,02	17,59	20,04	16,18	52-22
1	11,43	13,51	16,10	8,89	12,69	10,37	41-15
0,5	8,64	9,89	12,37	6,25	9,51	7,62	30-10
0,25	6,08	6,23	6,89	4,01	6,04	5,02	20-6
0,125	4,27	2,53	2,77	2,24	2,48	2,61	11-3
0,063 (İnce Madde)	0,77	0,97	1,10	0,69	0,98	0,88	5-1

*TS 706 EN 12620

Elek analizi sonuçlarına bakıldığında elde edilen boyut dağılımlarının TS 706 EN 12620’de belirtilen kabul sınırlarının dışında olduğu görülmektedir.

Yıkabilen ince madde, 0,063 mm göz açıklıklı kare gözlü elekten geçen madde etüv kurusu ağırlığının, agreganın etüv kurusu ağırlığına oranıdır. Deneyde TS 933-10 standardı kullanılmıştır.

$$m_y = \frac{(W_{\delta} - W_s)}{W_{\delta}} \times 100 \quad (2.17)$$

Burada;

m_y : Yıkabilen ince madde oranı (c/o).

W_{δ} : Numunenin deney öncesi etüv kurusu ağırlığı (g).

W_s : Numunenin deney sonrası etüv kurusu ağırlığı (g) dir.

İnce madde oranında TS 706’ da kabul edilen maksimum sınır değer %1.5 olduğundan, incelenen numunelerin sınır değerinin içerisinde olduğu görülmektedir.

2.3.4.2. İncelik Modülü

Bu deney, kırılmış kayaç örneklerinin (kırma taş) ASTM (1994) standardına göre agrega olarak kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla yapılmıştır. İncelik modülü sınırları ile ilgili olarak günümüzde geçerli olan bir Türk standardı bulunmamaktadır.

Yapılan elek analizleri sonucunda her malzemenin yığışımli kalan yüzdesi bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre incelik modülü, elek analizi sonucunda bulunan yığışımli kalan (%) toplamının 100'e bölünmesiyle elde edilmiştir. ASTM'ye (1994) göre, en büyük tane boyu 16mm olan beton agregası için kabul edilen sınır değerler 3,1-2,3 arasında olmalıdır.

$$\text{İncelik modülü, } I_m = \frac{W_k}{100} \quad (2.18)$$

Burada;

W_k : Kümülatif (yığışımli) kalan toplamı (%).

Kayaçların incelik modülü değerleri Tablo 2.18'de gösterilmiştir.

Tablo 2.18. Kırılmış numunelerin incelik modülleri

	Traverten	Kireçtaşı	Çamur Taşı	Andezit	Bazanit	Bazalt	ASTM
İncelik Modülü (%)	3,85	4,12	4,33	3,93	3,76	3,75	2,3-3,1

2.3.5. Beton Karışımlarının Hazırlanması

Kırma taş haline getirilen ve elek analizleri yapılan numuneler beton dökümlerinde kullanılmak üzere karışım haline getirilerek hazırlanmıştır. İstenilen niteliklerde beton elde edebilmek için karışım agregaların uygun granülometriye sahip olmaları gerekir.

Kayaçlardan elde edilen kırma taş numuneleri üzerinde yapılan elek analizi sonuçlarına göre kayaçların granülometrisinin TS 706 EN 12620'de belirtilen sınır değerleri sağlamadığı görülmüştür. Bu sebeple beton dökümlerinde kullanılabilmesi için

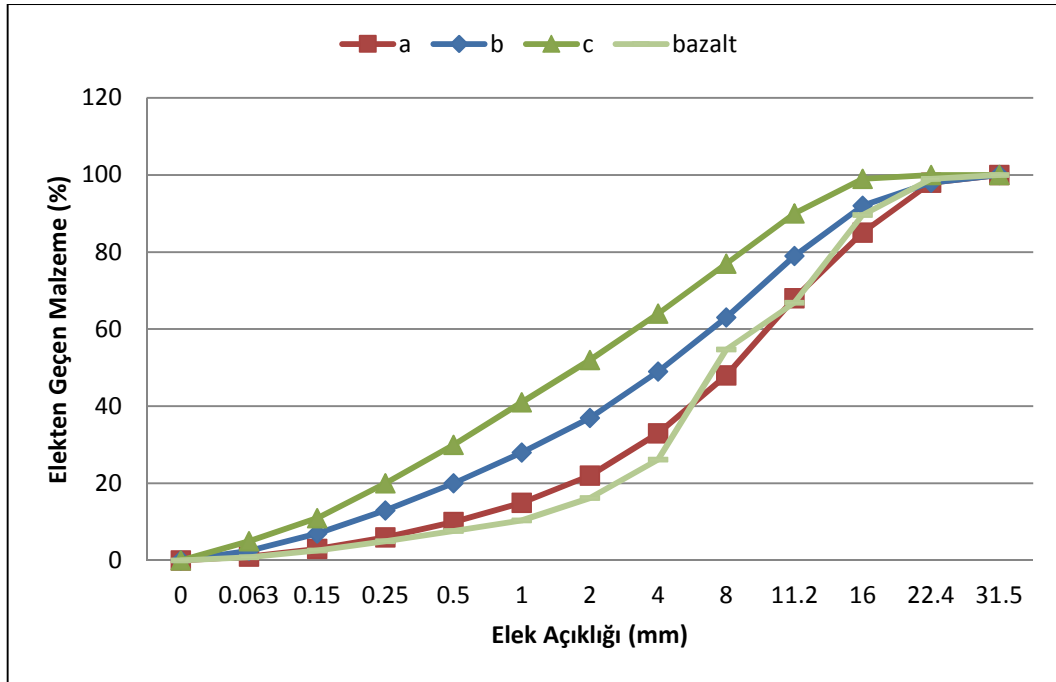
tüm kayaç gruplarına ait kırma taş numunelerine aynı miktarda olacak şekilde piyasa mıcırı ilavesi yapılmıştır. Kullanılan mıcır Trabzon Beton'a ait kırma tesisinden alınmıştır.

İncelenen kayaçlar kullanılarak sağlıklı bir beton karışımı yapılabilmesi ve kayaçlar arasında daha doğru bir kıyaslama yapılabilmesi için tüm kayaçların aynı tane boyut dağılımı fraksiyonunda olması sağlanmıştır.

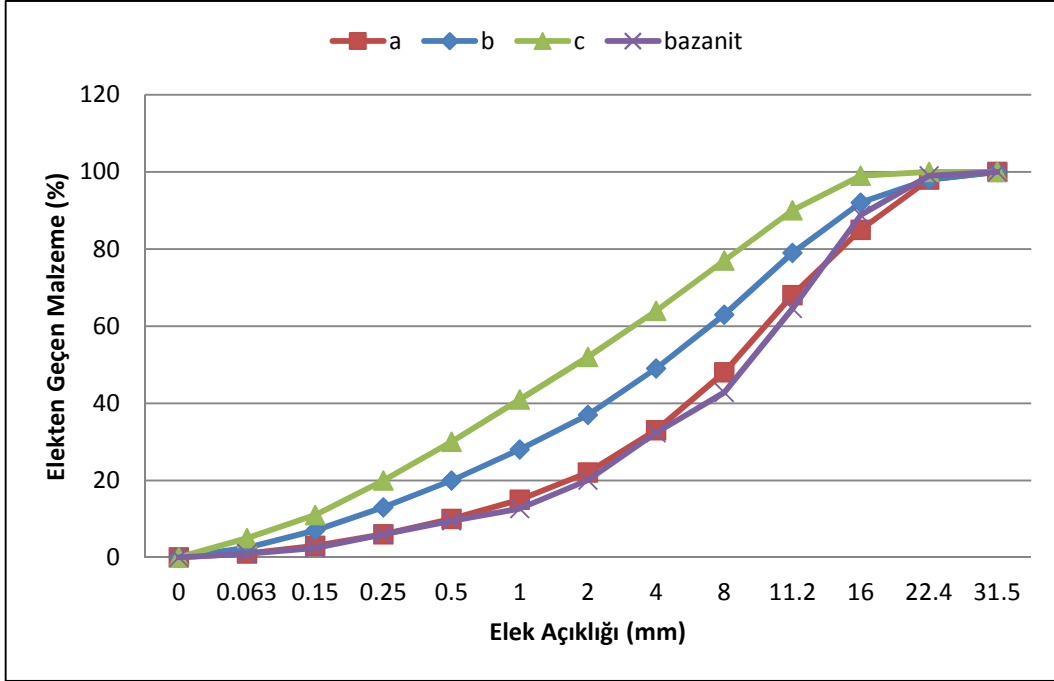
Bu sebeple, oluşturulan beton karışımlarında en iyi dağılımın elde edilebilmesi amacıyla tüm kayaçlar için eksik kalan tane fraksiyonlarına Trabzon Beton'a ait hazır beton santralinden alınan aynı özellikteki kırma taş agregası ilave edilmiştir.

Kayaçların ilave mıcır olmadan doğal hallerindeki granülometri eğrileri aşağıda gösterilmiştir (Şekil 2.14, Şekil 2.15, Şekil 2.16, Şekil 2.17, Şekil 2.18, Şekil 2.19).

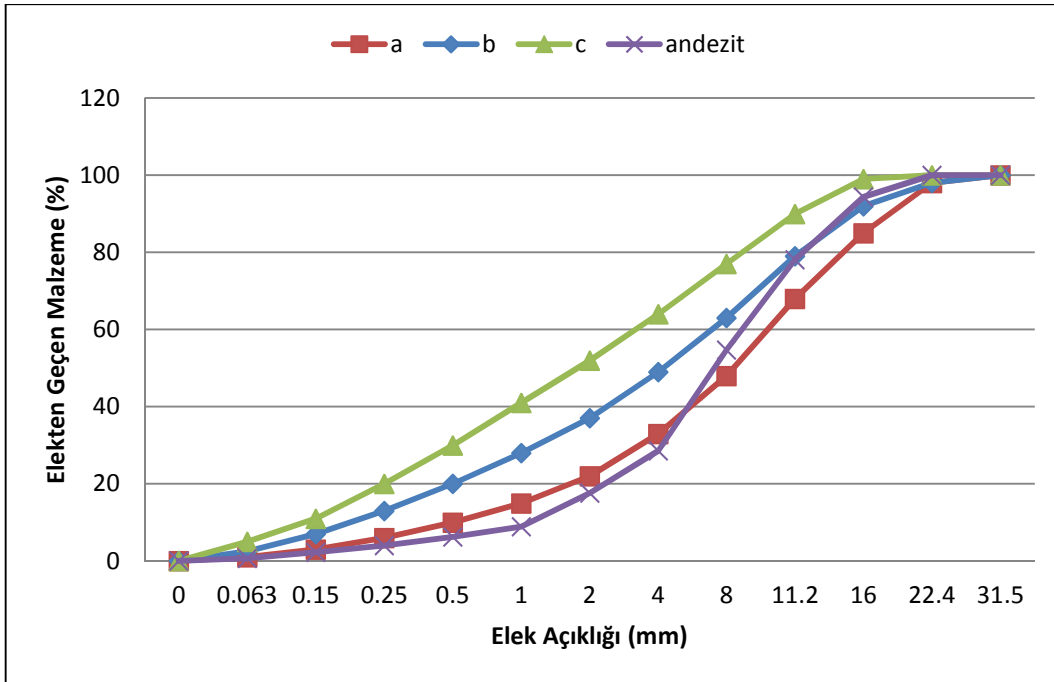
Fiziksel ve mekanik özellikleri TS 706 EN 12620'ye göre yetersiz ve diğer kayaçlara oranla ortalamadan uzak olduğundan beton karışımlarına tuf grubu kayacı olan bayburt taşı dahil edilmemiştir.



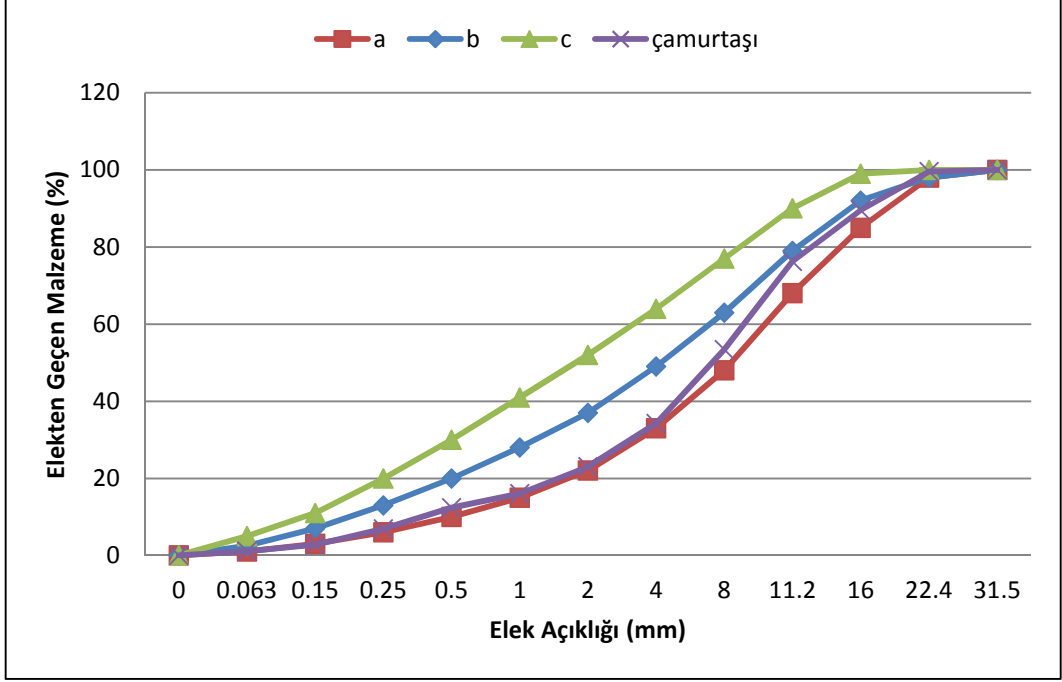
Şekil 2.14. Bazalt numunesi elek analizi (b: kabul edilen optimum değer, a: kabul edilen alt değer, c: kabul edilen üst değer)



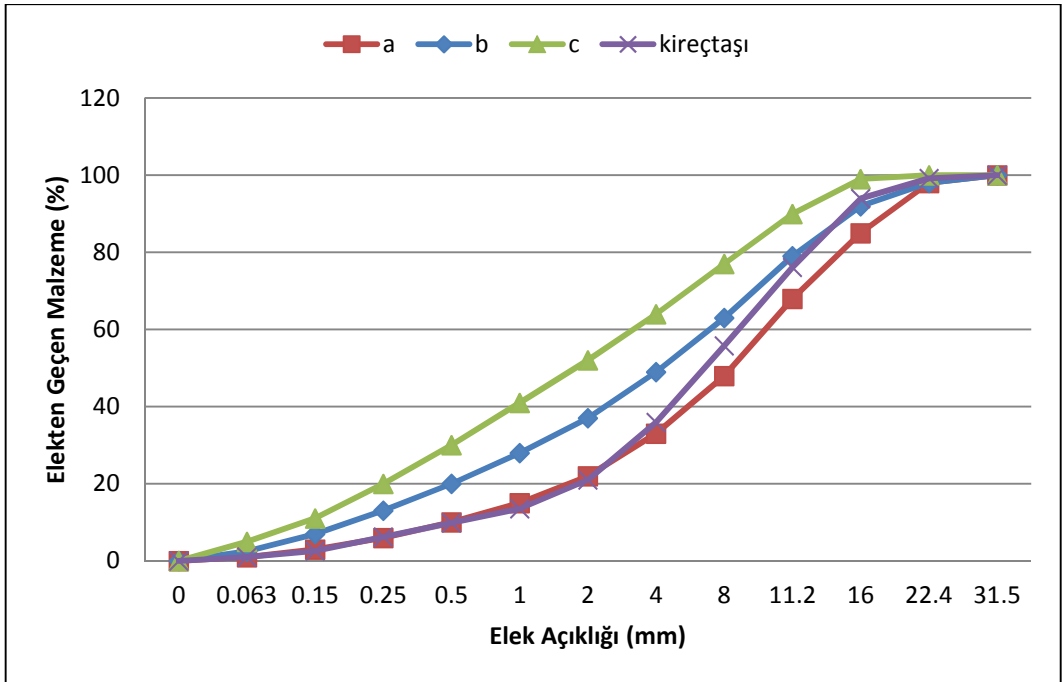
Şekil 2.15. Bazanit numunesi elek analizi (b: kabul edilen optimum değer, a: kabul edilen alt değer, c: kabul edilen üst değer)



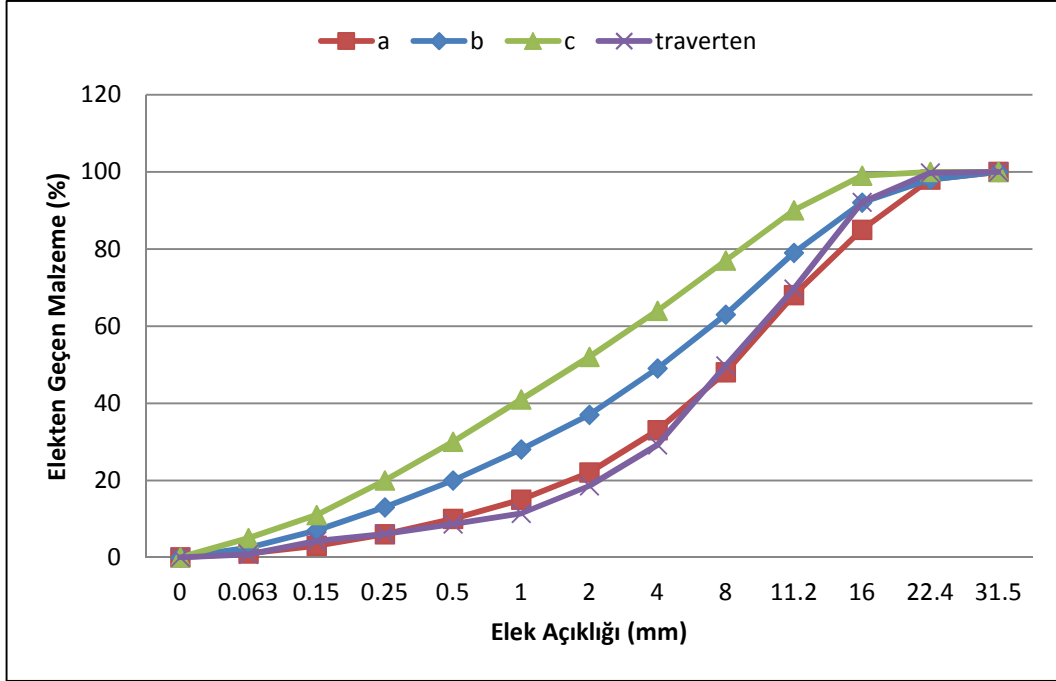
Şekil 2.16. Andezit numunesi elek analizi (b: kabul edilen optimum değer, a: kabul edilen alt değer, c: kabul edilen üst değer)



Şekil 2.17. Çamur taşı numunesi elek analizi (b: kabul edilen optimum değer, a: kabul edilen alt değer, c: kabul edilen üst değer)



Şekil 2.18. Kireç taşı numunesi elek analizi (b: kabul edilen optimum değer, a: kabul edilen alt değer, c: kabul edilen üst değer)

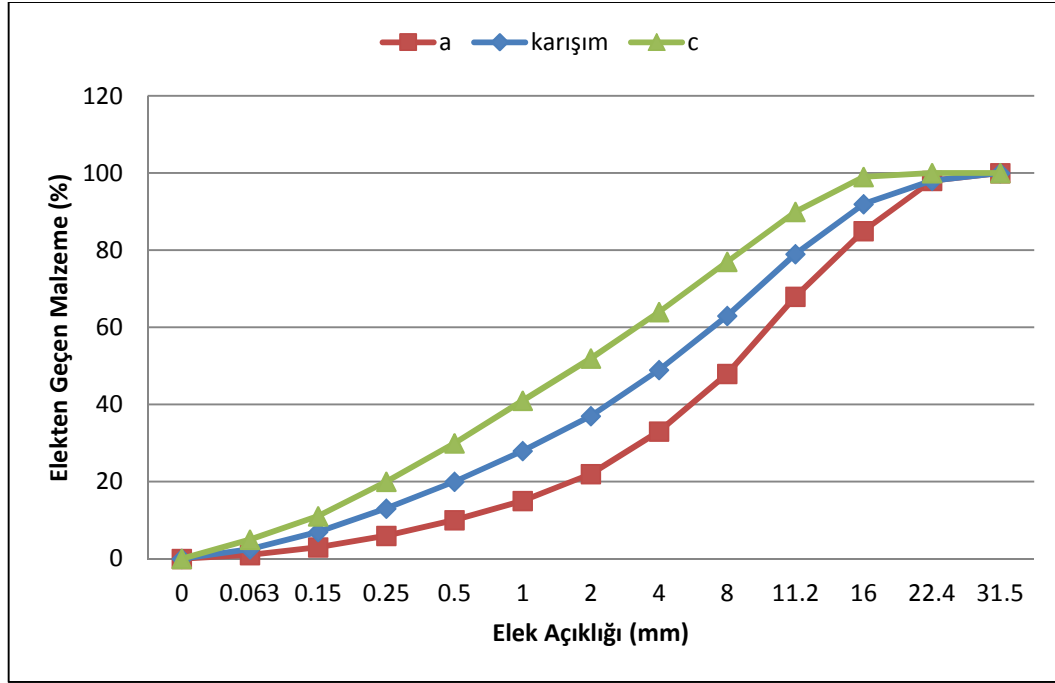


Şekil 2.19. Traverten numunesi elek analizi (b: kabul edilen optimum değer, a: kabul edilen alt değer, c: kabul edilen üst değer)

Kayaçların, beton karışımı için yetersiz bir granülometriye sahip olduğu görülmüş ve ilave agrega ile sağlıklı bir granülometri oluşturulmuştur. Oluşturulan yeni karışım ile tüm kayaçların aynı granülometriye sahip olmaları sağlanmıştır. Elde edilen karışımların granülometrisi Şekil 2.20’de gösterilmiştir.

Oluşturulan beton karışımlarının daha sağlıklı bir şekilde kıyaslanabilmeleri için kayaç agregaları haricindeki parametrelerin birbirlerine yakın ya da eş olması gerekmektedir. Bu sebeple tüm kayaçlardan oluşturulan her bir karışımın eş granülometride olması çok önemlidir. Eksik kalan tane boyu fraksiyonları her bir kayaç için fraksiyondan en uzak durumdaki kayaç göz önüne alınarak tamamlandığından, oluşturulabilecek en sağlıklı karışımlar elde edilmiştir.

Oluşturulan beton karışımları için hedeflenen dayanım sınıfı C18/22 olarak belirlenmiştir. Hedef dayanım için deneyde kullanılan genel karışım oranı (GKO) %13 çimento, %7,5 su ve %79.5 agrega olacak şekilde tasarlanmıştır. Fakat deneylerde kullanılan kayaçların farklı özelliklerle olmaları dolayısıyla boşluk oranları ve su emme miktarlarında oluşabilecek farklılıklar göz önüne alındığında, ilave edilen su miktarlarında değişiklikler meydana gelmiştir. Beton karışımları için hazırlanan karışım oranları Tablo 2.19’da gösterilmiştir.



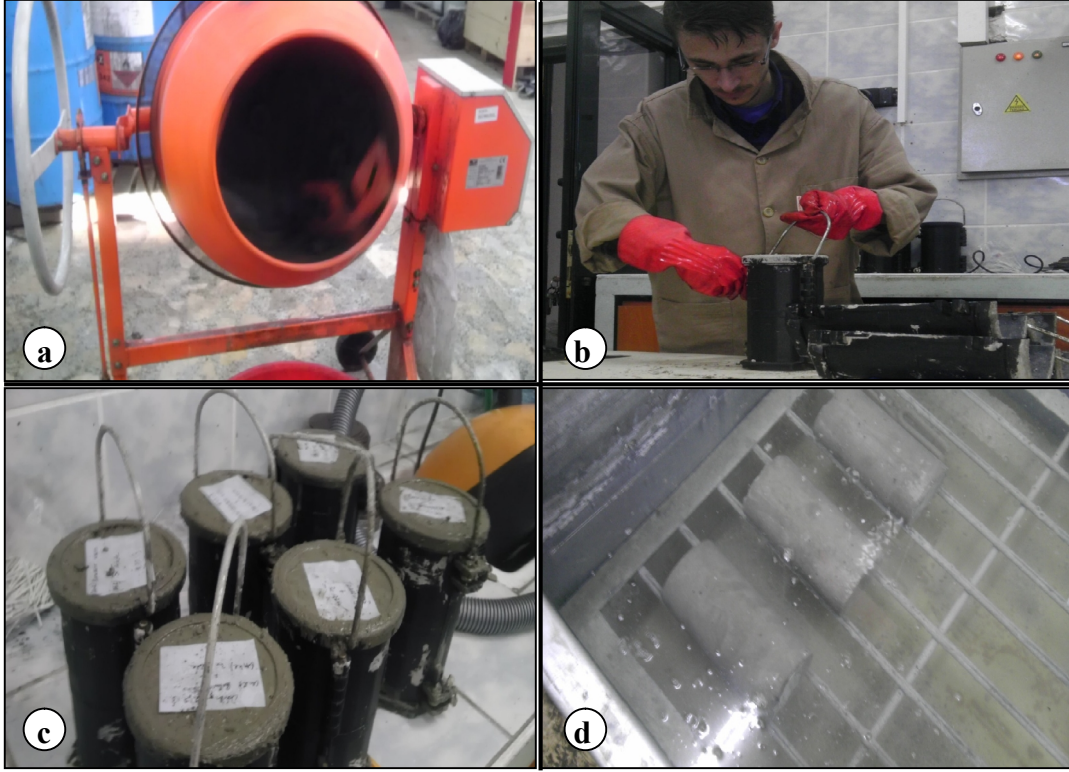
Şekil 2.20. Oluşturulan karışımların granülometri eğrisi (a: kabul edilen alt değer, c: kabul edilen üst değer)

Tablo 2.19. Hazırlanan beton karışım oranları

İçerik	GKO*	Traverten	Kireçtaşı	Çamur Taşı	Andezit	Bazanit	Bazalt
Çimento (%)	13	13,43	13,42	13,42	13,42	13,42	13,42
Su (%)	7,5	8,16	8,26	10,02	9,54	8,75	8,75
Agrega (%)	79,5	78,41	78,31	76,56	77,04	77,83	77,83
Çimento (g)		1890	1891,6	1934,5	1922	1903	1903
Su (g)		1449	1164	1443,7	1367	1241	1241
Agrega (g)		11035	11035	11035	11035	11035	11035

* GKO: Genel Karışım Oranı

Karışım oranlarına uygun olarak hazırlanan beton karışımları karıştırıcı ile karılarak homojen bir şekilde hazırlanmaları sağlanmıştır. Oluşturulan beton harçları 0,5 Çap/Boy oranına sahip silindirik kalıplara doldurularak kaplar sıkılaştırılmış ve serleşmeleri için 24 saat bekletilmiştir. Yeterince sertleşen numuneler 28 günlük kür sürelerine erişmeleri için kür havuzuna yerleştirilmiştir. 28 günlük kür süresini tamamlayan beton numuneleri kür havuzundan çıkartılarak basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 2.21).



Şekil 2.21. Beton numunelerinin hazırlanması. a) Betonun karıştırıcı ile karılışı, b) Karılan betonun kalıplara doldurulduğu, c) Yaş betonun kalıplarda sertleşmesi, d) Beton numunesinin kür havuzunda bekletilmesi

2.3.6. Beton Deneyi

2.3.6.1. Beton Basınç Dayanımı

28 günlük kür süresine sahip 0,5 Çap/Boy oranına sahip silindirik numuneler üzerinde tek eksenli basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Betonun, basınç dayanımına göre sınıflandırılmasında, TS 500’de belirtilen sınıflar uygulanmıştır. Deney için her bir kayaç grubundan 3 er adet numune kullanılmıştır. Deneyde TS EN 12390-3 standardı uygulanmıştır. Hazırlanan beton numunelerine ait 28 günlük kür süresi sonucundaki ortalama tek eksenli basınç dayanımı sonuçları Tablo 2.20’de gösterilmiştir.

Tablo 2.20. Beton basınç dayanımı deneyi sonuçları

Deney Adı	Traverten	Kireçtaşı	Çamur Taşı	Andezit	Bazanit	Bazalt	Hedef Dayanım
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	19,57	16,98	14,33	18,94	22,11	18,57	18

Sonuçlar değerlendirildiğinde kireçtaşı ve çamur taşı kullanılarak hazırlanan silindirik beton silindirik numunelerde hedeflenen dayanım sınıfı (C18/22) 18 MPa değerinin sağlanmadığı görülmüştür.

Günümüzde kullanılan beton sınıfı dayanımları Tablo 2.21’de gösterilmiştir.

Tablo 2.21. Günümüzde kullanılan beton sınıfı dayanımları (TS 500, 2000).

Beton Sınıfı	Silindir Basınç Dayanımı (MPa)	Küp Basınç Dayanımı (MPa)	Kullanım Alanları
C16/20	16.0	20.0	Yük taşıyan yapı elemanları, Seviyelendirme betonları, Dolgu betonları
C18/22	18.0	22.0	
C20/25	20.0	25.0	Deprem yönetmeliğine göre inşa edilmesi gerekli olan yapılar
C25/30	25.0	30.0	Su geçirimsiz elemanlar, Yüksek yapılar, Erken dayanım istenen yapılar, Yüksek durabilite istenen yapılar (su yapıları), Prefabrik yapılar
C30/37	30.0	37.0	
C35/45	35.0	45.0	
C40/50	40.0	50.0	
C45/55	45.0	55.0	
C50/60	50.0	60.0	

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Bu bölümde, deneyde kullanılan doğal taşların agrega olarak kullanımının araştırılması için yapılan deneylere ait sonuçlar ve oluşturulan beton karışımlarının gösterdikleri dayanım performansları yorumlanmıştır.

3.1. Fiziksel Özellikler

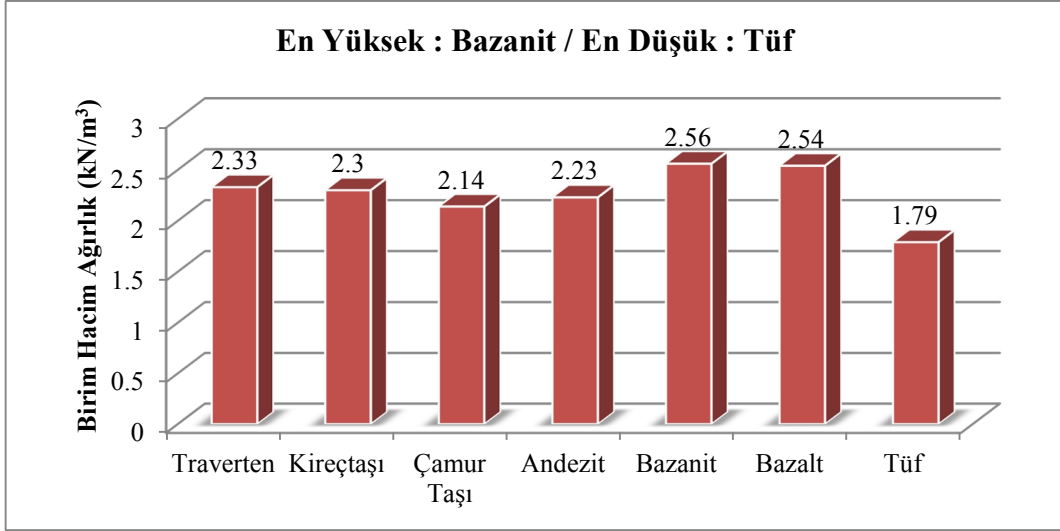
Kayaçlardan elde edilen numunelerin fiziksel özellikleri Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Kayaçların fiziksel özellikleri

Deney Adı	Traverten	Kireçtaşı	Çamur Taşı	Andezit	Bazanit	Bazalt	Tüf	STD*
Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	23,3	23	21,4	22,3	25,6	25,4	17,9	-
Yoğunluk (gr/cm ³)	2,38	2,35	2,19	2,28	2,61	2,59	1,83	-
Su Emme (%)	6,9	1,52	4,78	3,93	1,59	1,65	8,7	< 2
Tane Yoğunluğu (Mg/m ³)	2,56	2,13	2,06	2,67	2,72	2,75	2,03	2-3
Gevşek Yığın Yoğunluk (gr/cm ³)	1,86	1,43	1,36	1,97	2,02	2,05	1,33	> 1,25
Boşluk Hacmi (%)	11,3	3,95	10,45	9,51	7,80	4,14	19,68	-
Yüzey Nemi Oranı (%)	1	1	2	3	1	1	2	-
Dona Dayanıklılık (%)	12,7	1,92	4,1	3,31	2,85	2,61	16,2	< 15

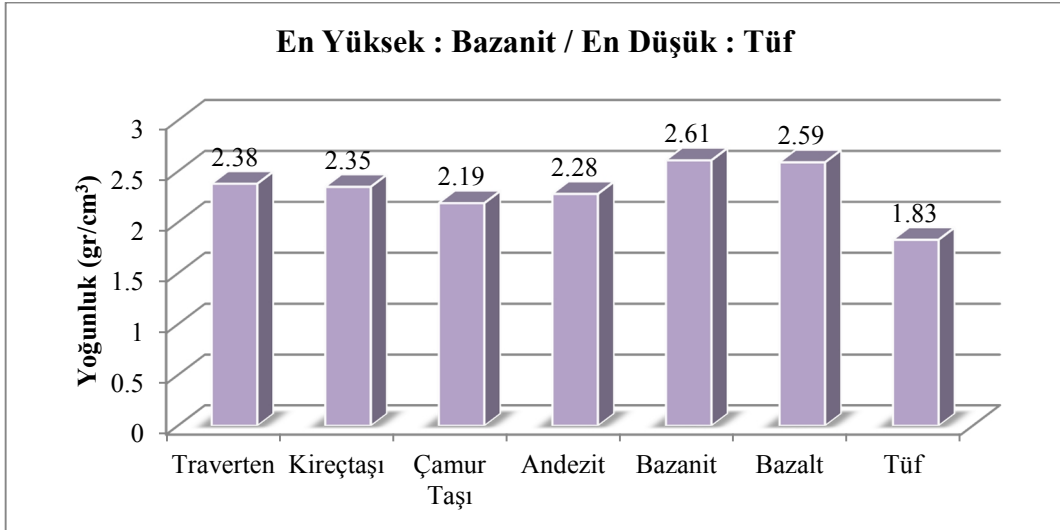
*Standartlarda belirtilen sınır değerler.

Silindirik numunelere ait birim hacim ağırlık değerlerine göre incelenen kayaçlar arasında yüksek miktarda bir farklılığın olmadığı görülmüştür. Birim hacim ağırlık deneyine ait sonuçlar Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Kayaçların birim hacim ağırlıkları

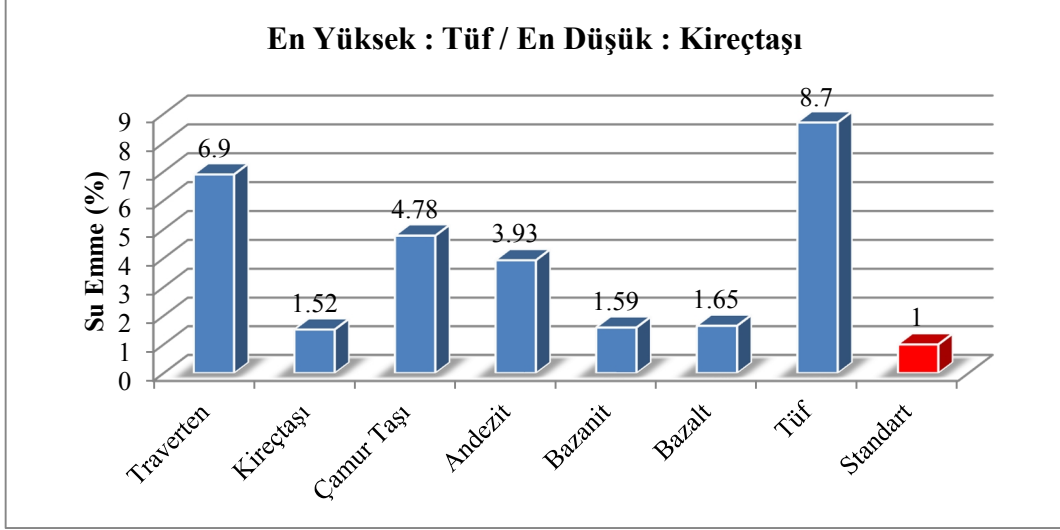
Silindirik numunelere ait yoğunluk değerlerine göre incelenen kayaçlar arasında yüksek miktarda bir farklılığın olmadığı görülmüştür. Yoğunluk deneyine ait sonuçlar Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Kayaçların yoğunlukları

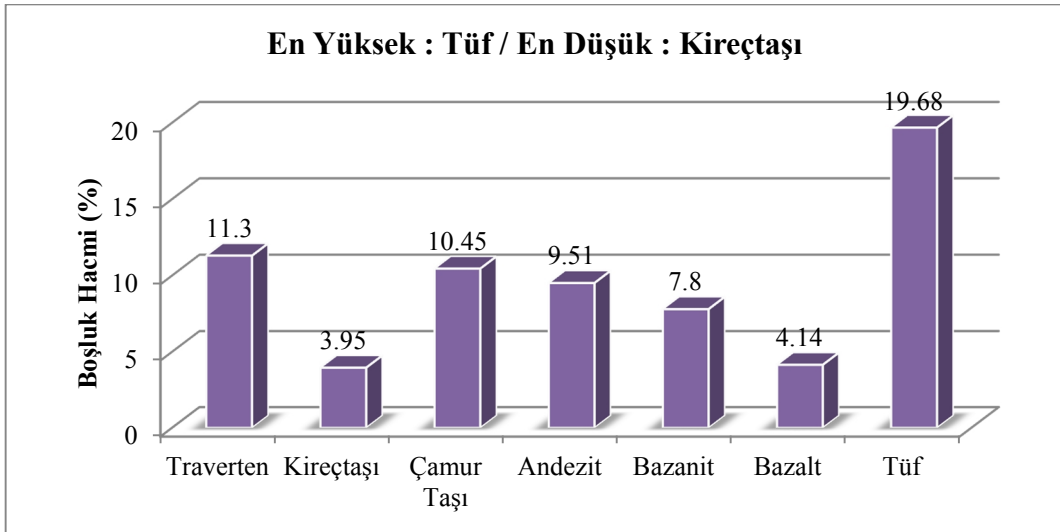
Kırma taş numunelerine ait su emme değerlerine göre, tüf ve traverten grubu numunelerin diğer gruplara oranla daha yüksek değere sahip olduğu görülmüştür. TS 706 EN 12620+A1’de belirtilen agrega standartlarına göre su emme oranı %1 den az olan numunelerin donma çözünmeye karşı dayanıklı oldukları kabul edilmektedir. İncelenen

numuneler %1 değerinden yüksek bir su emme oranına sahiptir. Dolayısıyla numunelerin donma çözünme dayanımlarına bakılmalıdır. Su emme deneyine ait sonuçlar Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



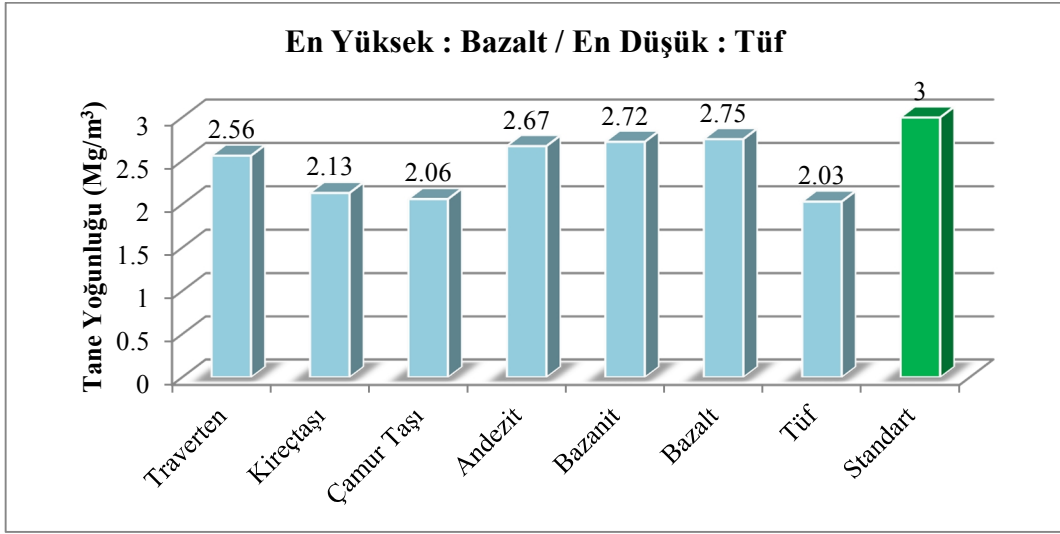
Şekil 3.3. Kayaçların su emme oranları

Kırma taş numunelerine ait boşluk hacmi değerlerine göre tüf grubu numunelerin diğer gruplara oranla daha yüksek değere sahip olduğu görülmüştür. Boşluk hacmi deneyine ait sonuçlar Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



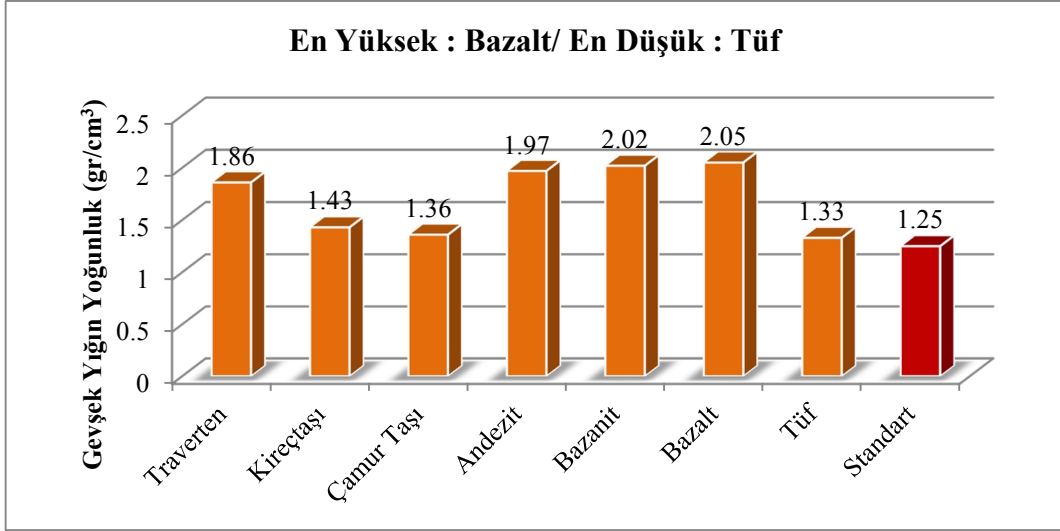
Şekil 3.4. Kayaçların (kırma taş) boşluk hacmi yüzdeleri

Kırma taş numunelerine ait tane yoğunluğu değerlerine göre incelenen kayalar arasında yüksek miktarda bir farklılığın olmadığı görülmüştür. TS 706 EN 12620+A1’de belirtilen agrega standartlarına göre tane yoğunluğu 2-3 Mg/m³ arasında olan agregalar normal agrega sınıfına girmektedir. Dolayısıyla incelenen numunelerin normal agrega sınıfında oldukları görülmektedir. Tane yoğunluğu deneyine ait sonuçlar Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



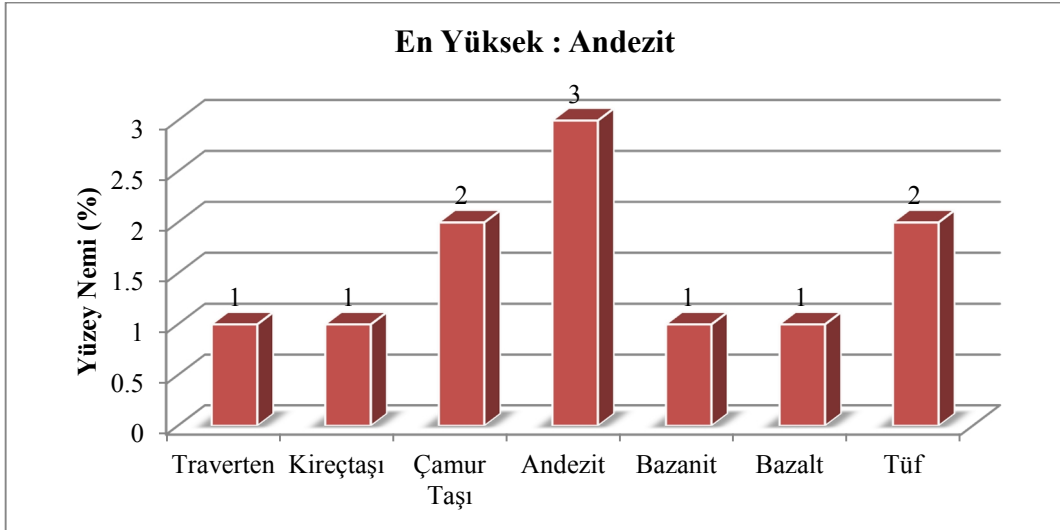
Şekil 3.5. Kayaçların (kırma taş) tane yoğunlukları

Kırma taş numunelerine ait gevşek yığın yoğunluğu değerlerine göre incelenen kayalar arasında yüksek miktarda bir farklılığın olmadığı görülmüştür. TS 706 EN 12620+A1’de belirtilen agrega standartlarına göre betonarme yapılarda kullanılacak karışık (iri ve ince birlikte) agregaların gevşek yığın yoğunluğunun 1,25 gr/cm³’den yüksek olması istenmektedir. Dolayısıyla incelenen numunelerin istenilen sınır değeri sağladıkları görülmektedir. Gevşek yığın yoğunluğu deneyine ait sonuçlar Şekil 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Kayaçların (kırma taş) gevşek yığın yoğunlukları

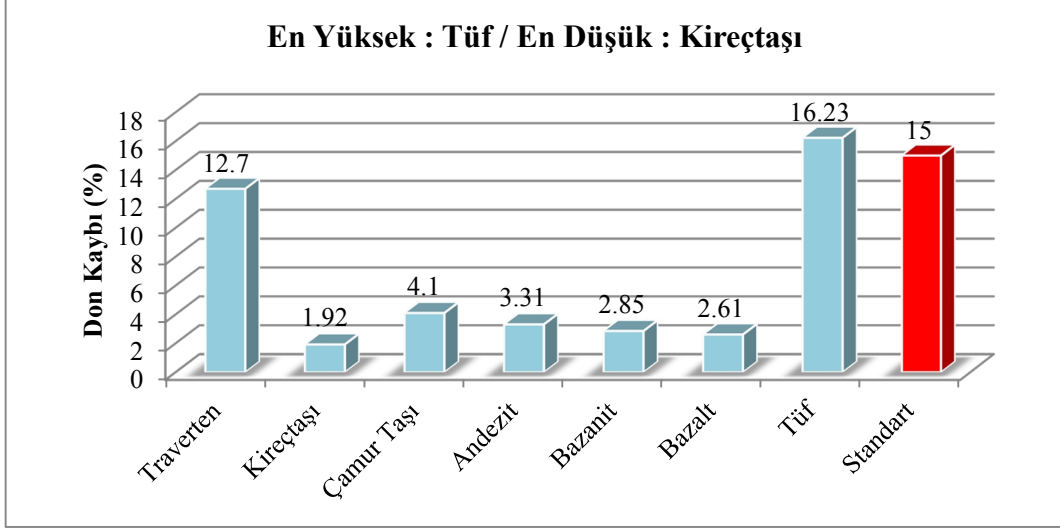
Kırma taş numunelerine ait yüzey nemi oranı değerlerine göre incelenen kayaçlar arasında yüksek miktarda bir farklılığın olmadığı görülmüştür. Yoğunluk deneyine ait sonuçlar Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Kayaçların (kırma taş) yüzey nemi oranları

Silindirik numunelere ait tane dona dayanıklılık değerlerine göre tüf grubu numunelerin diğer gruplara oranla daha yüksek değere sahip olduğu görülmüştür. TS 706 EN 12620+A1’de belirtilen agrega standartlarına göre don kaybı oranı %15 den az

olmalıdır. Dolayısıyla tuf grubu numunelerin istenilen sınır değeri sağlamadıkları görülmüştür. Dona dayanıklılık deneyine ait sonuçlar Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Kayaçların dona dayanıklılık (don kaybı) oranları

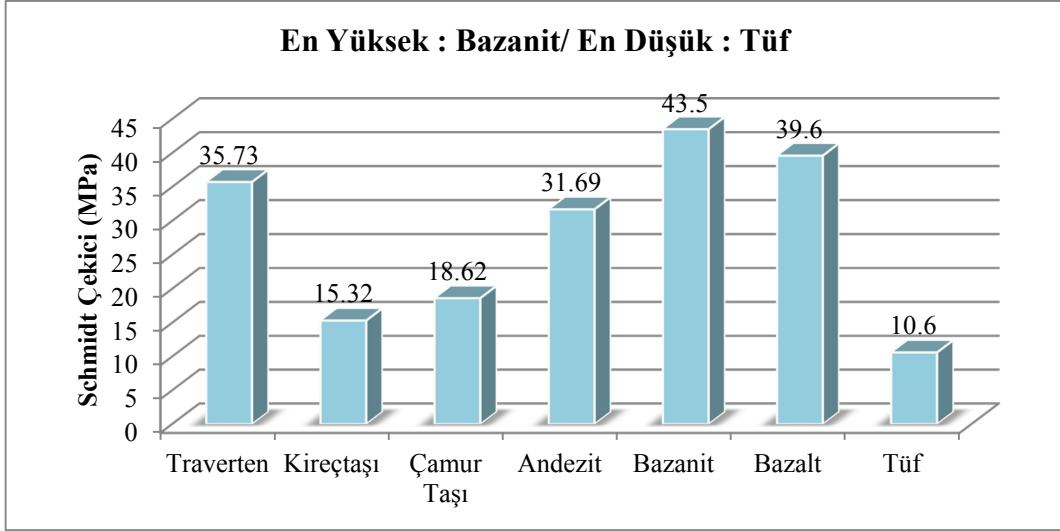
3.2. Mekanik Özellikler

Kayaçlardan elde edilen numunelerin mekanik özelliklerinden basınç dayanımları ve ultrasonik darbe hızları Tablo 3.2’de, aşınma dayanımları ve parçalanma (kırılganlık) dayanımları ise Tablo 3.3’de gösterilmiştir.

Tablo 3.2. Kayaçların basınç dayanımları ve ultrasonik darbe hızları

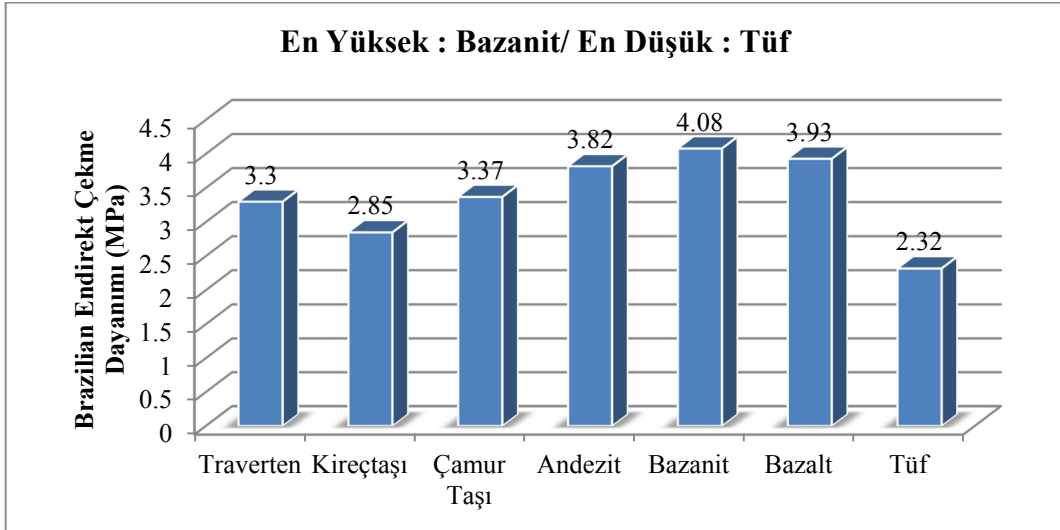
Deney Adı	Traverten	Kireçtaşı	Çamur Taşı	Andezit	Bazanıt	Bazalt	Tuf
Schmidt Çekici (MPa)	35,73	15,32	18,62	31,69	43,5	39,6	10,6
Endirekt Çekme Dayanımı (MPa)	3,3	2,85	3,37	3,82	4,08	3,93	2,32
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	70,7	31,37	43,82	60,61	84,15	81,35	18,35
Nokta Yükleme Dayanımı I ₅₀ (kPa)	4,16	2,59	2,64	3,37	6,41	5,34	2,07
Ultrasonik Darbe Hızı V _p (m/s)	3583	2495	2937	2932	3719	3684	2762

Silindirik numunelere ait Schmidt çekici değerlerine göre tuf grubu numunelerin diğer gruplara oranla daha düşük değere sahip olduğu görülmüştür. Schmidt deneyine ait sonuçlar Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



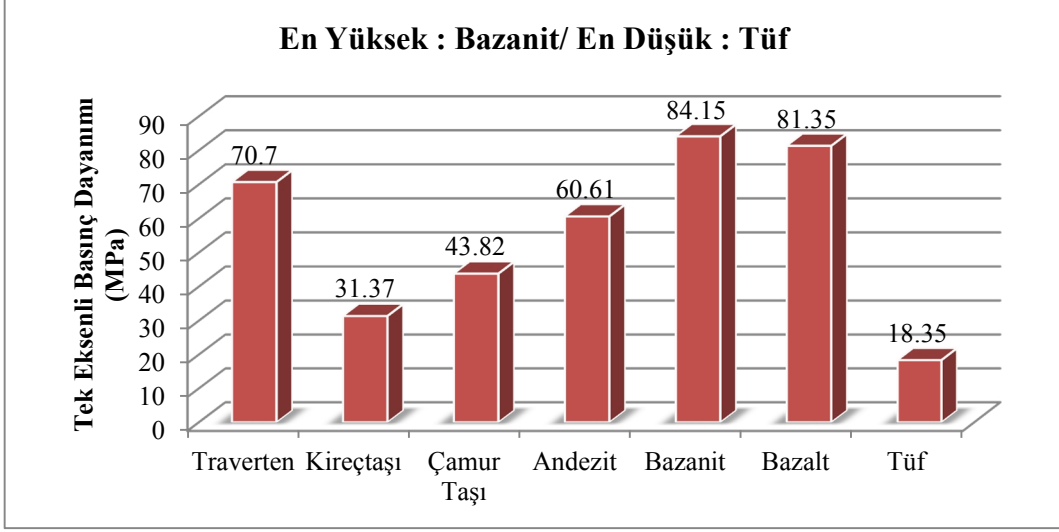
Şekil 3.9. Kayaçların Schmidt çekici dayanımları

Silindirik numunelere ait endirekt çekme dayanımı (Brazilian) değerlerine göre incelenen kayaçlar arasında yüksek miktarda bir farklılığın olmadığı görülmüştür. Endirekt çekme dayanımı deneyine ait sonuçlar Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



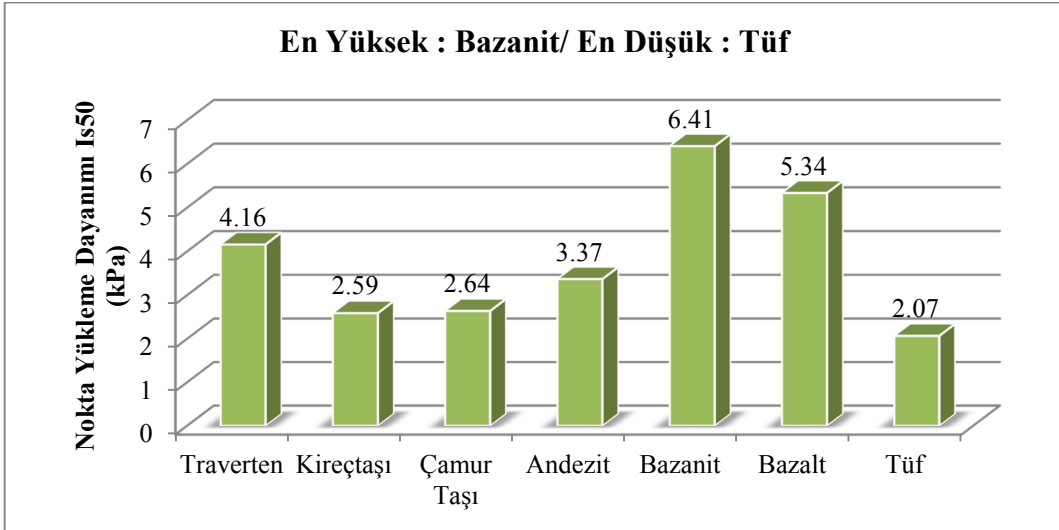
Şekil 3.10. Kayaçların endirekt çekme (Brazilian) dayanımları

Silindirik numunelere ait tek eksenli basınç dayanımı değerlerine göre tüf grubu numunelerin diğer gruplara oranla daha düşük değere sahip olduğu görülmüştür. Tek eksenli basınç dayanımı deneyine ait sonuçlar Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Kayaçların tek eksenli basınç dayanımları

Silindirik numunelere ait nokta yükleme dayanımı değerlerine göre bazanit ve bazalt grubu numunelerin diğer gruplara oranla daha yüksek değere sahip olduğu görülmüştür. Nokta yükleme dayanımı deneyine ait sonuçlar Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



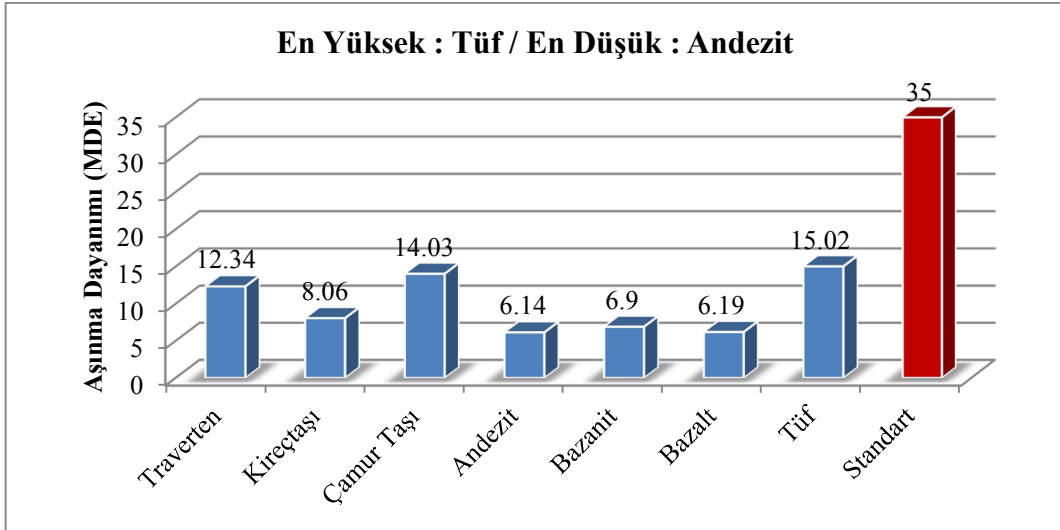
Şekil 3.12. Kayaçların nokta yükleme dayanımları

Tablo 3.3. Kayaçların aşınma ve parçalanma dayanımları

Deney Adı	Traverten	Kireçtaşı	Çamur Taşı	Andezit	Bazanit	Bazalt	Tüf	STD*
Micro-Deval Aşınma Dayanımı (M_{DE})	12,34	8,06	14,03	6,14	6,9	6,19	15,02	< 35
Böhme Aşınma Dayanımı (%)	6,26	3,04	6,36	2,67	2,14	2,36	6,53	-
Parçalanma Dayanımı S_z (%)	43,84	42,73	35,72	32,028	29,01	30,51	37,11	< 32

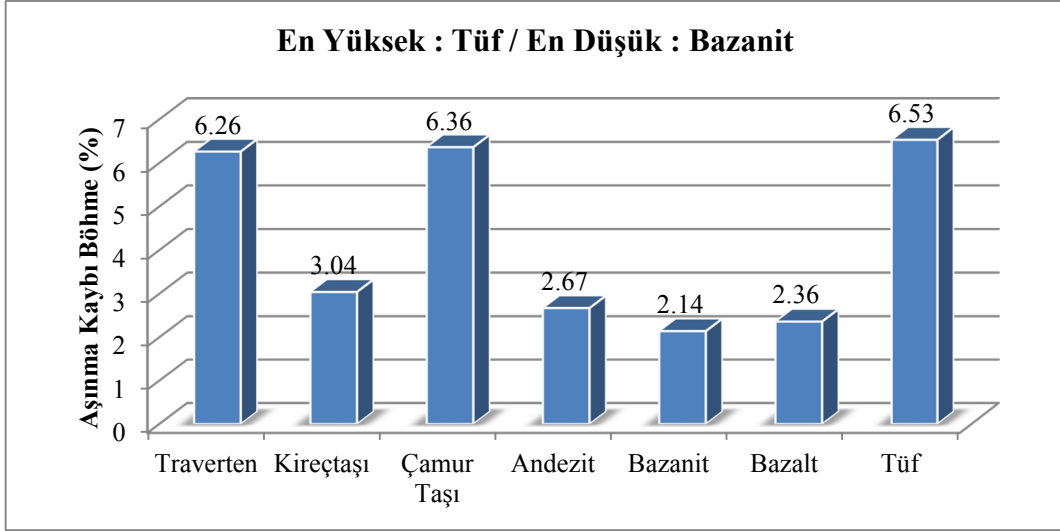
*Standartlarda belirtilen sınır değerler

Kırma taş numunelere ait Micro-Deval aşınma dayanımı değerlerine göre tüf ve çamur taşı grubu numunelerinin diğer gruplara oranla daha yüksek değere sahip olduğu görülmüştür. M_{DE} değerinin yüksek olması aşınma kaybının fazla olduğunu göstermektedir. TS 706 EN 12620+A1’de belirtilen agrega standartlarına göre agregaların M_{DE} değerinin 35’den düşük olması istenmektedir. Dolayısıyla incelenen numunelerin istenilen sınır değeri sağladıkları görülmektedir. Micro-Deval aşınma dayanımı deneyine ait sonuçlar Şekil 3.13’de gösterilmiştir.



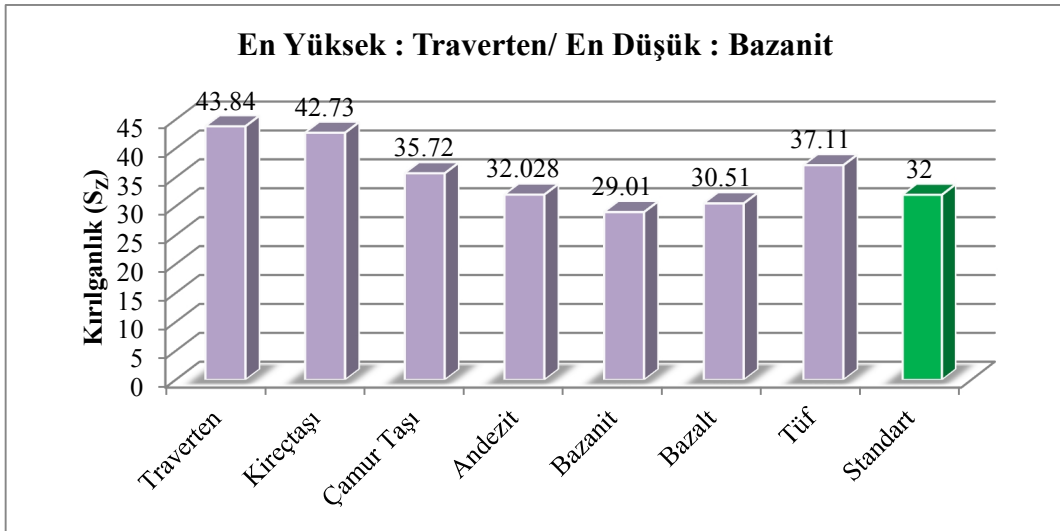
Şekil 3.13. Kayaçların Mikro-Deval aşınma dayanımları

Küp numunelere ait böhme aşınma dayanımı değerlerine göre tüf, çamur taşı ve traverten grubu numunelerin diğer gruplara oranla daha yüksek değere sahip olduğu görülmüştür. Böhme aşınma dayanımı deneyine ait sonuçlar Şekil 3.14’de gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Kayaçların böhme aşınma dayanımları

Kırma taş numunelere ait parçalanma dayanımı değerleri incelenen kayaçlar arasında yüksek miktarda bir farklılığın olmadığı görülmüştür. TS 706 EN 12620+A1’de belirtilen agrega standartlarına göre agregaların S_z parçalanma dayanımlarının 32’den düşük olması istenmektedir. Dolayısıyla bazanit ve bazalt numunelerinin istenilen sınır değeri sağladıkları görülmektedir. Parçalanma dayanımı (kırılgenlik) deneyine ait sonuçlar Şekil 3.15’de gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Kayaçların parçalanma dayanımları (kırılgenlik)

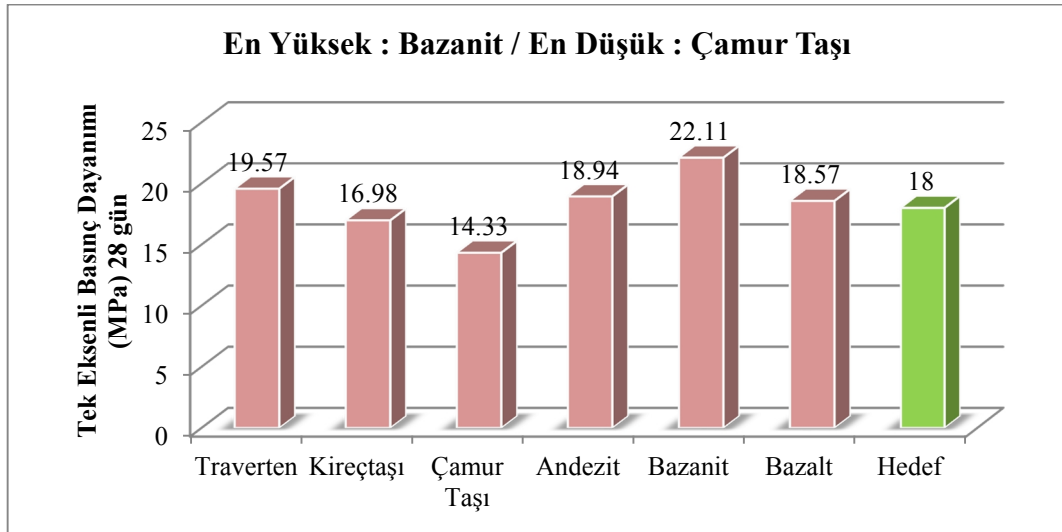
3.3. Beton Dayanımları

Kayaçlardan elde edilen silindirik beton örneklerinin 28 günlük kür süresine sahip tek eksenli basınç dayanımları Tablo 3.4’de gösterilmiştir.

Tablo 3.4. Beton örneklerinin basınç dayanımları

Deney Adı	Traverten	Kireçtaşı	Çamur Taşı	Andezit	Bazanit	Bazalt	Hedef Dayanım
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	19,57	16,98	14,33	18,94	22,11	18,57	18

Silindirik beton örneklerine ait tek eksenli basınç dayanımı değerlerine göre bazanit, bazalt, andezit ve traverten grubu numunelerin hedeflenen dayanım değerine sahip olduğu görülmüştür. Tek eksenli basınç dayanımı deneyine ait sonuçlar Şekil 3.16’da gösterilmiştir.



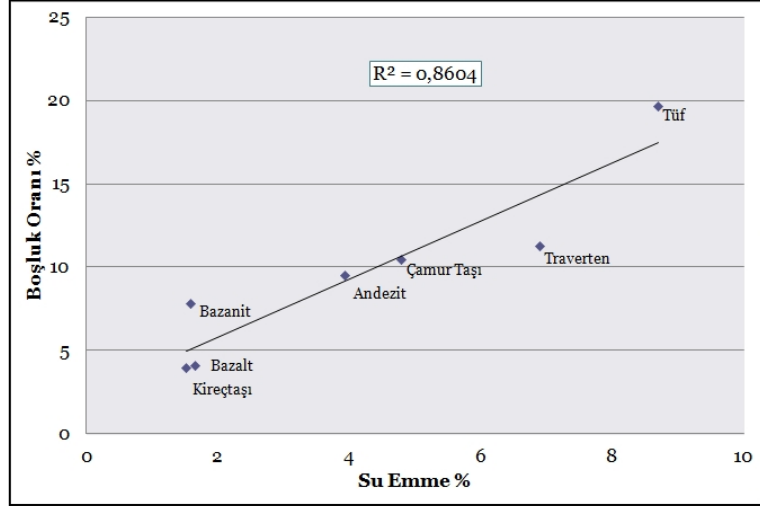
Şekil 3.16. Beton örneklerinin tek eksenli basınç dayanımları

3.4. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde, kayaçlar üzerine yapılan deneylere ait sonuçlar arasındaki anlamlı ilişkiler ilgili başlıklar altında incelenmiştir.

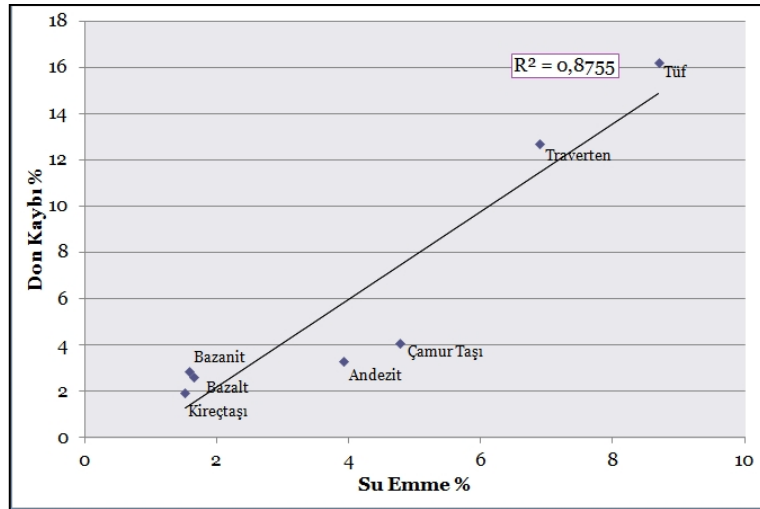
3.4.1. Fiziksel Özelliklerin Karşılaştırılması

Kayaçlar üzerinde yapılan deneylerin sonucunda boşluk oranı ve su emme arasında anlamlı bir ilişki olduğu görülmüştür. Şekil 3.17’de görüldüğü üzere incelenen kayaçlardaki boşluk oranı arttıkça su emme oranı da artmaktadır.



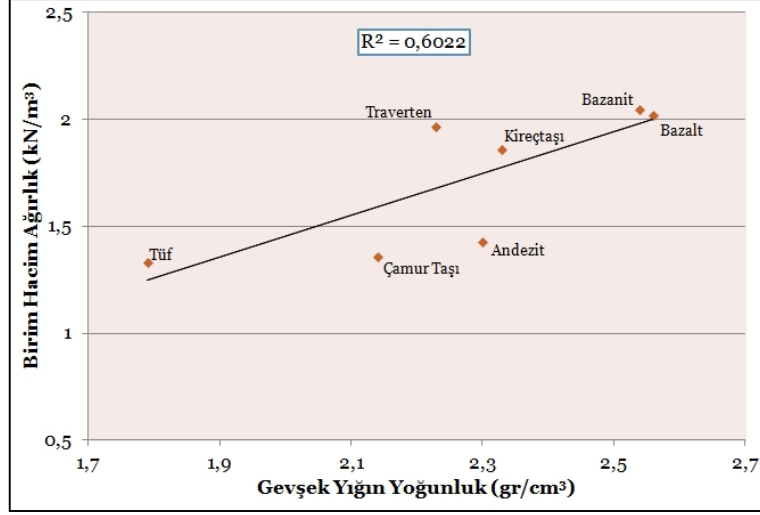
Şekil 3.17. Boşluk oranı ve su emme arasındaki ilişki

Kayaçlar üzerinde yapılan deneylerin sonucunda don kaybı ve su emme arasında anlamlı bir ilişki olduğu görülmüştür. Şekil 3.18’de görüldüğü üzere incelenen kayaçlardaki su emme oranı arttıkça don kaybı da artmaktadır.



Şekil 3.18. Su emme ve don kaybı arasındaki ilişki

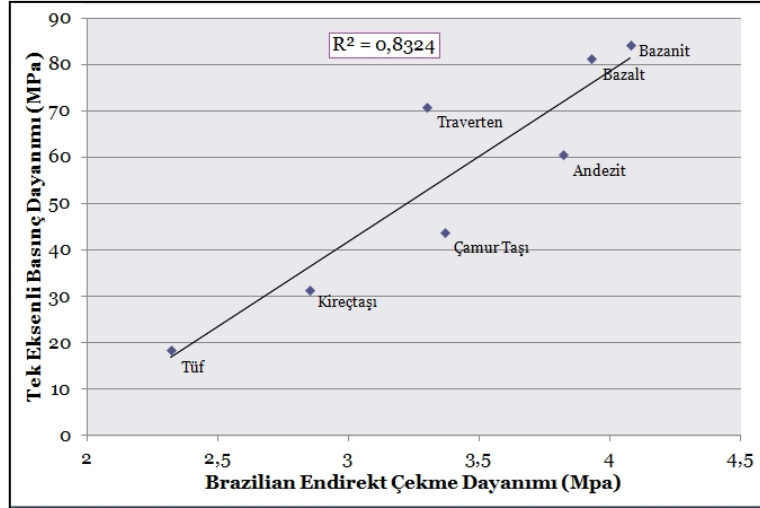
Kayaçlar üzerinde yapılan deneylerin sonucunda birim hacim ağırlık ve gevşek yığın yoğunluk arasında yüksek olmayan bir ilişki olduğu görülmüştür. Şekil 3.19’da görüldüğü üzere incelenen kayaçlardaki birim hacim ağırlık değeri arttıkça gevşek yığın yoğunluk da artmaktadır.



Şekil 3.19. Birim hacim ağırlık ve gevşek yığın yoğunluk arasındaki ilişki

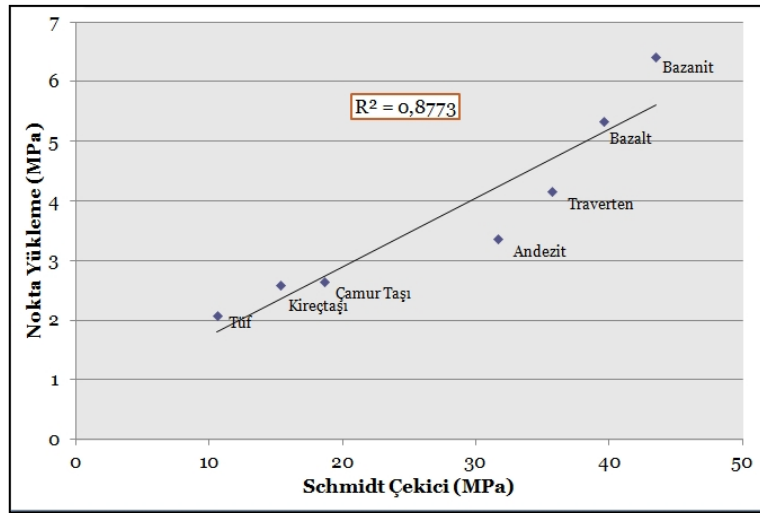
3.4.2. Mekanik Özelliklerin Karşılaştırılması

Kayaçlar üzerinde yapılan deneylerin sonucunda tek eksenli basınç dayanımı ve indirekt çekme dayanımı arasında anlamlı bir ilişki olduğu görülmüştür. Şekil 3.20’de görüldüğü üzere incelenen kayaçlardaki indirekt çekme dayanımı arttıkça tek eksenli basınç dayanımı da artmaktadır.



Şekil 3.20. Tek eksenli basınç dayanımı ve endirekt çekme dayanımı arasındaki ilişki

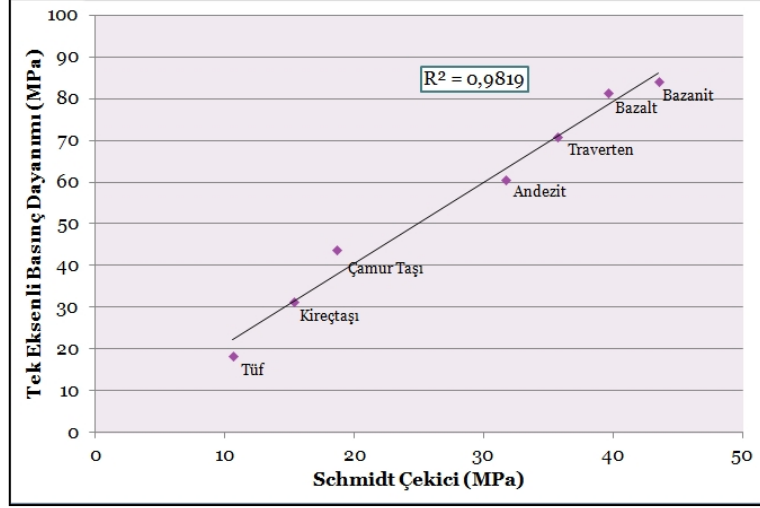
Kayaçlar üzerinde yapılan deneylerin sonucunda Schmidt çekici ve nokta yükleme dayanımı arasında anlamlı bir ilişki olduğu görülmüştür. Şekil 3.21’de görüldüğü üzere incelenen kayaçlardaki Schmidt çekici değeri arttıkça nokta yükleme dayanımı da artmaktadır.



Şekil 3.21. Schmidt çekici ile nokta yükleme dayanımı arasındaki ilişki

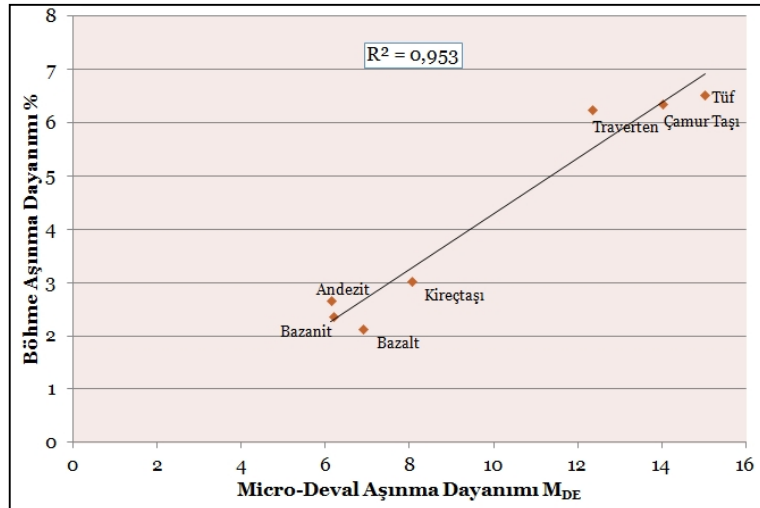
Kayaçlar üzerinde yapılan deneylerin sonucunda Schmidt çekici ve tek eksenli basınç dayanımı arasında anlamlı bir ilişki olduğu görülmüştür. Şekil 3.22’de görüldüğü

üzere incelenen kayaçlardaki Schmidt çekici değeri arttıkça tek eksenli basınç dayanımı da artmaktadır.



Şekil 3.22. Schmidt çekici ile tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki

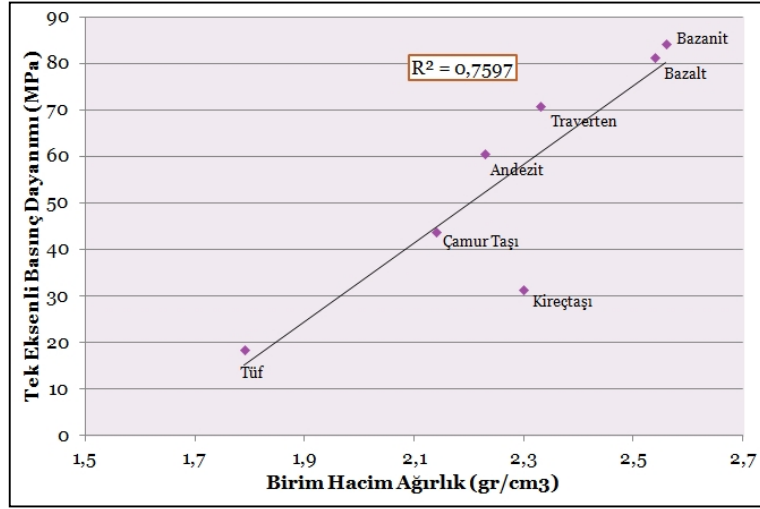
Kayaçlar üzerinde yapılan deneylerin sonucunda böhme aşınma dayanımı ve Micro-Deval aşınma dayanımı arasında anlamlı bir ilişki olduğu görülmüştür. Şekil 3.23’de görüldüğü üzere incelenen kayaçlardaki böhme aşınma dayanımı değeri arttıkça Micro-Deval aşınma dayanımı da artmaktadır.



Şekil 3.23. Böhme aşınma dayanımı ve Micro-Deval aşınma dayanımı arasındaki ilişki

3.4.3. Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin Karşılaştırılması

Kayaçlar üzerinde yapılan deneylerin sonucunda tek eksenli basınç dayanımı ve birim hacim ağırlık arasında anlamlı bir ilişki olduğu görülmüştür. Şekil 3.24’de görüldüğü üzere incelenen kayaçlardaki birim hacim ağırlık değeri arttıkça tek eksenli basınç dayanımı da artmaktadır.

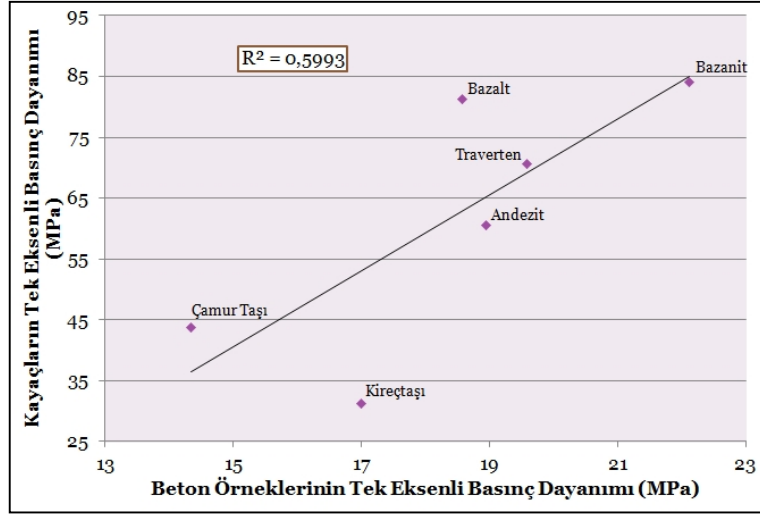


Şekil 3.24. Tek eksenli basınç dayanımı ve birim hacim ağırlık arasındaki ilişki

Sonuçlar incelendiğinde tek eksenli basınç dayanımı, nokta yükleme, Schmidt çekici, çekme dayanımı ve birim hacim ağırlık arasında kuvvetli bir ilişkinin olduğu görülmüştür.

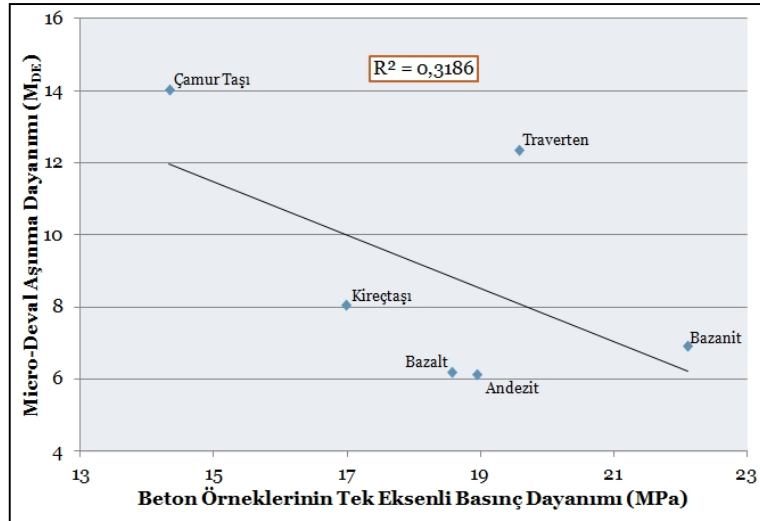
3.4.4. Fiziksel ve Mekanik Özelliklerin Beton Dayanımları ile Karşılaştırılması

Kayaçlar ve dökülen beton örnekleri üzerinde yapılan deneylerin sonucunda kayaçlara ait tek eksenli basınç dayanımı ve beton örneklerine ait tek eksenli basınç dayanımı arasında bir ilişki olduğu görülmüştür. Şekil 3.25’de görüldüğü üzere incelenen kayaçlardaki tek eksenli basınç dayanımı değeri arttıkça beton örneklerindeki tek eksenli basınç dayanımı da artmaktadır.



Şekil 3.25. Kayaçlara ait tek eksenli basınç dayanımı ve beton örneklerine ait tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki

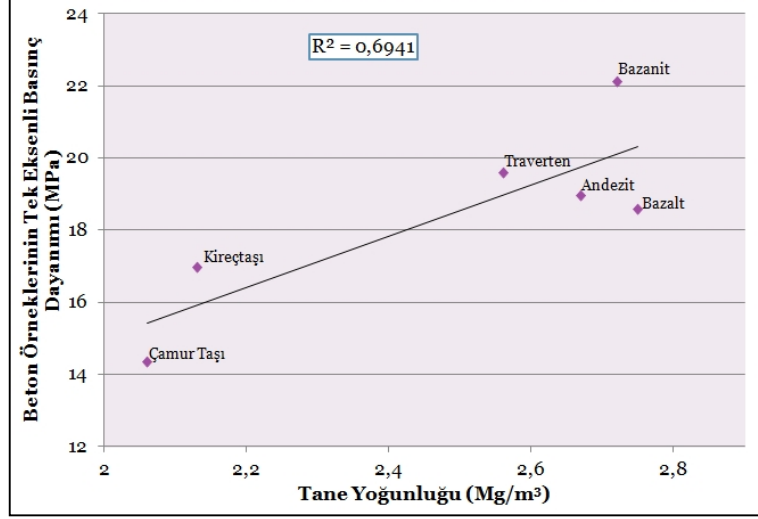
Kayaçlar ve dökülen beton örnekleri üzerinde yapılan deneylerin sonucunda kayaçlara ait Micro-Deval aşınma dayanımı ve beton örneklerine ait tek eksenli basınç dayanımı arasında ters bir ilişki olduğu görülmüştür. Şekil 3.26'da görüldüğü üzere incelenen kayaçlardaki Micro-Deval aşınma dayanımı değeri azaldıkça beton örneklerindeki tek eksenli basınç dayanımı artmaktadır.



Şekil 3.26. Kayaçlara ait Micro-Deval aşınma dayanımı ve beton örneklerine ait tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki

Kayaçlar ve dökülen beton örnekleri üzerinde yapılan deneylerin sonucunda kayaçlara ait tane yoğunluğu ve beton örneklerine ait tek eksenli basınç dayanımı arasında

bir ilişki olduğu görülmüştür. Şekil 3.27’de görüldüğü üzere incelenen kayalardaki tane yoğunluğu değeri arttıkça beton örneklerindeki tek eksenli basınç dayanımı artmaktadır.



Şekil 3.27. Kayalara ait tane yoğunluğu ve beton örneklerine ait tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişki

Sonuçlar incelendiğinde beton örneklerinin tek eksenli basınç dayanımı ile kayaların tane yoğunluğu, tek eksenli basınç dayanımı, nokta yükleme dayanımı, Schmidt çekici, çekme dayanımı ve birim hacim ağırlık değerleri arasında doğrusal bir ilişki, kayaların Micro-Deval aşınma dayanımı ve böhme aşınma dayanımı arasında ise ters bir ilişki olduğu görülmüştür.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu bölümde, deneylerden elde edilen sonuçlar ve bu sonuçların değerlendirilmesi ile incelenen kayaların agrega potansiyelleri için belirlenen öneriler verilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda incelenen kayalara ait fiziksel özellikler bakımından bazanit, bazalt ve kireçtaşı grubu kayaç örneklerinin TS 706 EN 12620+A1'de belirtilen agrega standartlarını sağladıkları, bazanit ve bazalt grubu kayaç örneklerinin ağırlıkça normal, kireçtaşı grubu kayaç örneklerinin ise ağırlıkça hafif agrega sınıfında oldukları, traverten, andezit ve çamur taşı grubu kayaç örneklerinin ise su emme oranının yüksek olması dışında kalan diğer fiziksel koşulları sağladığı, traverten ve çamur taşı grubu kayaç örneklerinin ağırlıkça hafif, andezit grubu kayaç örneklerinin ise ağırlıkça normal agrega sınıfında oldukları görülmüştür.

Tüf grubu kayaç örneklerinin ise su emme ve don kaybı oranlarının TS 706 EN 12620+A1'de belirtilen agrega standartlarını sağlamadığı görülmüştür. Dolayısıyla tüf grubu kayaç örnekleri fiziksel özellikleri bakımından agrega olarak kullanıma uygun değildir.

Yapılan deneyler sonucunda incelenen kayalara ait mekanik özellikler bakımından tüm kayaç gruplarına ait örneklerin Micro-Deval aşınma dayanımlarının TS 706 EN 12620+A1'de belirtilen agrega standartlarını sağladıkları görülmüştür.

Bazanit ve bazalt grubu kayaç örneklerinin parçalanma direncinin (kırılganlık) TS 706 EN 12620+A1'de belirtilen agrega standartlarını da sağladıkları, Andezit grubu kayaç örneklerinin parçalanma direncinin ise TS 706 EN 12620+A1'de belirtilen sınır değeri aştığı fakat değere yakın olduğu, tüf, traverten, kireçtaşı ve çamur taşı grubu kayaç örneklerinin parçalanma direncinin de TS 706 EN 12620+A1'de belirtilen sınır değeri aştığı görülmüştür.

Dolayısıyla tüf, traverten, kireçtaşı ve çamur taşı grubu kayaç örnekleri mekanik özellikleri bakımından agrega olarak kullanıma uygun değildir. Andezit grubu kayaç örnekleri de mekanik koşulları sağlamamaktadır ve incelendiği haliyle agrega olarak kullanılması uygun değildir. Ancak, andezit grubu kayaç örneklerinin alındığı arazi daha detaylı bir şekilde araştırılır ve çevresel etkilerden nispeten daha fazla korunmuş olan kayaç örnekleri alınır ise mekanik koşulları sağlayabilen andezit örneklerini elde etmek mümkün olabilir.

Yapılan elek analizleri sonucunda incelenen kayalara ait tane boyut dağılımlarının TS 706 EN 12620+A1’de belirtilen sınır değerleri sağlamadıkları görülmüştür. Dolayısıyla incelenen kayalar doğadan alındıkları haliyle ve kayalara sadece kırma işlemi uygulanarak beton agregası olarak kullanılamazlar. İstenilen standartlarda ve kalitede bir beton elde edilebilmesi için kayalardan elde edilen kırma taşların (mıcır) karışım tasarımları yapılmalı ve ideal tane boyut dağılımında olmaları sağlanmalıdır.

Kayalardan elde edilen 28 günlük kür süresine sahip beton örneklerinin tek eksenli basınç dayanımı sonuçları bakımından bazanit, bazalt, andezit ve traverten grubu kayaç numunelerinin beton karışım hesaplarında hedeflenen C18/22 dayanım sınıfı değerlerini sağladığı, çamur taşı ve kireçtaşı grubu kayaç numunelerinin ise dayanım değerinin altında kaldıkları görülmüştür.

Sonuç olarak, incelenen tüm fiziksel, mekanik şartları ve hedeflenen beton dayanım sınıfı değerini sağlayan bazanit ve bazalt grubu kayaç örneklerinin agrega malzemesi olarak kullanılmasında ve beton agregası olarak yük taşıyan yapı elemanları, seviyelendirme betonları ve dolgu betonlarında kullanılmasında bir sakınca görülmemiştir.

5. KAYNAKLAR

- A.S.T.M., 1994. Annual Book of ASTM Standarts, ASTM Publication, 987s.
- Ariođlu, E., Ariođlu, N. ve Yılmaz, A., O., 2006. Beton Agregaları Çözümlü Problemleri, Evrim Yayınevi, İstanbul, 297s.
- C.A.N.M.E.T., 1977. In Pit Slope Manual of CANMET, Canada Centre for Mineral and Energy Technology Report, 74s.
- Emir, E., Kaya Mekaniği Ders Notları. maden.ogu.edu.tr/KayaMekDersNot_Renkli.pdf 3 Mayıs 2014.
- Erdoğan, Y., T., 1995. Betonun Oluşturan Malzemeler; AGREGA, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, İstanbul, 110s.
- Eriç, M., 1994. Yapı Fiziđi ve Malzemesi, Literatür Yayınları, İstanbul, 376s.
- Güner, M., S. ve Süme, V., 2000. Yapı Malzemesi ve Beton. Aktif Yayınevi, Erzurum, 335s.
- I.S.R.M., 1981. Rock Characterization, Testing and Monitoring, ISRM Suggested Methods, 211s.
- Özbakır, O. ve Nasuf, E., 2009. Avrupa Birliği Ülkelerinde Agrega Üretimi ve Madencilik Mevzuatı, Ulusal Kırmataş Sempozyumu, Aralık, İstanbul, Bildiriler Kitabı: 47-54.
- Özkul, H., Taşdemir, M., A., Tokyay, M. ve Uyan, M., 1999. Meslek Liseleri İçin Her Yönüyle Beton, Türkiye Hazır Beton Briliđi, İstanbul, 117s.
- T.S.E., 1980. Beton Agregaları. TS 706, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 34s.
- T.S.E., 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. TS 500, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 67s.
- T.S.E., 2009. Beton Agregaları. TS 706 EN 12620+A1, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 35s.
- T.S.E., 2010. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler – Bölüm 9: İnce Malzeme Tayini, TS EN 933-9, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 7s.
- Tutmaz, Ş., İ., 2009. Tokat İli Merkez İlçesindeki Agrega Kaynaklarının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat, 74s.
- Ulusay, R., Gökçeođlu, C. ve Binal, A., 2001. Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri, T.M.M.O.B Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, 157s.
- URL-1, www.teknolojikarastirmalar.com/e-egitim/yapi_malzemesi, Beton. 15 Aralık 2010.

URL-2, www.yapi.com.tr/Haberler/bituderden-korozyon-uyarisi_101249.html Korozyon Uyarısı. 20 Mayıs 2014.

URL-3, www.askalecimento.com.tr/urunler.aspx?id=1 Aşkale Çimento. 20 Mayıs 2014.

URL-4, www.trabzon.bel.tr/SuAritma/2014/Aralik_13.html Trabzon Belediyesi Su Analizi. 05 Mayıs 2014.

Ün, H., Yapı Malzemesi. <http://hun.pamukkale.edu.tr/dersleri.htm> 1 Mayıs 2014.

Yaşar, S., 2010. Doğu Karadeniz Bölgesinde Bulunan Çeşitli Kayaçların ve Cevherlerin Kazılabilirlik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 105s.

ÖZGEÇMİŞ

Ercüment KOÇ, 22.10.1987 tarihinde Rize’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Özel Şahika İlköğretim Okulu’nda, lise öğrenimini Rize Fen Lisesi’nde tamamladı. 2006 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü’nü kazandı ve 2010 yılında başarı ile mezun oldu. 2011 yılında K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü’nde yüksek lisans eğitimine başladı. Şubat 2011’de Atatürk Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü’nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı.

Ercüment KOÇ, halen Atatürk Üniversitesi’nde Araştırma Görevlisi olarak görevine devam etmektedir, iyi derecede İngilizce bilmektedir, gelişen teknolojiyi yakından takip etmektedir, güncel mühendislik yazılımlarını etkin bir şekilde kullanabilmekte ve yeni yazılımlar geliştirebilmektedir.