

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BERDİGA FORMASYONU'NA AİT KİREÇTAŞLARININ (Düzköy-Trabzon)
AGREGA OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Maden Müh. Ahmet MUSLU

**HAZİRAN 2019
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :



Trabzon



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Maden Mühendisliği Anabilim Dalında
Ahmet MUSLU Tarafından Hazırlanan**

**BERDİGA FORMASYONU'NA AİT KİREÇTAŞLARININ (Düzköy-Trabzon)
AGREGA OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 28 / 05 / 2019 gün ve 1806 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ

Üye : Doç. Dr. İlker USTABAŞ

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Kadir KARAMAN



Prof. Dr. Asim KADIOĞLU

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Berdiga Formasyonu’na Ait Kireçtaşlarının (Düzköy-Trabzon) Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması” isimli bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır. Öncelikle yüksek lisans öğrenimim boyunca şahsımdan, ilgisini, bilgisini ve tecrübelerini paylaşmaktan sakınmayan, bana her zaman yardımcı olan danışman hocam Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ’a en samimi teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar çalışmalarında yardımını esirgemeyen mesai arkadaşım Maden Müh. Emir AVCI’ya, laboratuvar çalışmalarında bilgisini ve tecrübesini esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi Kadir KARAMAN’a, Arş. Gör. Serdar YAŞAR’a teşekkür ederim.

Ayrıca, tez çalışmamda katkıda bulunan Doç. Dr. Ayberk KAYA’ya, tez süresi boyunca tüm deneysel çalışmalarımı yapmama olanak sağlayan ve bana yardımcı olan Karayolları 10. Bölge Müdürlüğü ile DSİ 22. Bölge Müdürlüğü’nün çok değerli yetkilileri ve laboratuvar çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın en başından beri manevi desteğini benden esirgemeyen sevgili eşim Sema MUSLU’ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Son olarak da bu güne kadar benim için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan, her konuda bana destek olan anneme ve babama teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ahmet MUSLU

Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Berdiga Formasyonu’na Ait Kireçtaşlarının (Düzköy-Trabzon) Agregası 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. 11/06/2019

Ahmet MUSLU

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	IX
SUMMARY	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ	XV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Önceki Çalışmalar	2
1.3. Tezin Amacı	3
1.4. Tezin Organizasyonu.....	4
1.5. Agregalar	4
1.5.1. Agregaların Sınıflandırılması	5
1.5.1.1. Tane Boyutuna Göre Agregalar.....	7
1.5.1.1.1. İri Agregalar	7
1.5.1.1.2. İnce Agregalar	8
1.5.1.1.3. Taşunu (filler).....	8
1.5.1.2. Elde Ediliş Şekillerine Göre Agregalar	8
1.5.1.3. Özgül ve Birim Ağırlıklarına Göre Agregalar.....	10
1.5.1.4. Tane Şekline Göre Agregalar	11
1.5.1.5. Yüzey Dokusuna Göre Agregalar.....	12
1.5.1.6. Jeolojik Kökenine Göre Agregalar	12
1.5.1.6.1. Magmatik Kayaçlar	13
1.5.1.6.2. Sedimanter Kayaçlar.....	13
1.5.1.6.3. Metamorfik Kayaçlar.....	13
1.5.1.7. Mineralojik Yapısına Göre Agregalar	13

1.5.1.8.	Reaktif Özelliklerine Göre Agregalar.....	13
1.5.2.	Agregaların Özellikleri.....	14
1.5.2.1.	Agregaların Fiziksel Özellikleri.....	14
1.5.2.1.1.	Birim Ağırlık.....	14
1.5.2.1.2.	Özgül Ağırlık.....	15
1.5.2.1.3.	Agregaların Kompasitesi.....	16
1.5.2.1.4.	Agregaların Porozitesi.....	16
1.5.2.1.5.	Agregaların Nem Durumları (Rutubet).....	17
1.5.2.1.6.	Agregaların Donma – Çözülme Etkilerine Karşı Dayanıklılığı.....	19
1.5.2.2.	Agregaların Mekanik Özellikleri.....	19
1.5.2.3.	Agregalarda Zararlı Madde ve Taneler.....	20
1.5.2.3.1.	Agregalarda Organik Maddelerin Bulunması Durumu.....	20
1.5.2.3.2.	Alkali-Agrega Reaksiyonuna Sebep Olan Maddeler.....	21
1.5.2.3.3.	Agregalarda Sağlam Olmayan (Hafif) Maddelerin Bulunması.....	21
1.5.2.3.4.	Sülfatların Varlığı.....	22
1.5.2.3.5.	Agregalarda Kil ve Silt Gibi İnce Maddelerin Bulunması.....	22
1.5.2.4.	Agregaların Granülometrisi (Dane Dağılımı).....	22
1.5.2.4.1.	Granülometri Eğrileri (Elek Analizi).....	24
1.6.	Beton.....	27
1.6.1.	Betonu Oluşturan Malzemeler.....	28
1.6.1.1.	Çimento.....	28
1.6.1.2.	Agrega.....	28
1.6.1.3.	Beton Karma Suyu.....	29
1.6.1.4.	Kimyasal Katkılar.....	29
1.6.1.5.	Mineral Katkılar.....	29
1.6.2.	Betonun Özellikleri.....	30
1.6.2.1.	Taze Beton Özellikleri.....	31
1.6.2.2.	Sertleşmiş Beton Özellikleri.....	34
1.6.2.2.1.	Dayanım.....	34
1.6.2.2.1.1.	Su/Çimento Oranının Beton Dayanımına Etkileri.....	36
1.6.2.2.1.2.	Beton Dayanımına Kırmataş Agregalarının Kullanımının Etkisi.....	36

1.6.2.2.2.	Dayanırılığı (Durabilite)	37
1.6.2.2.3.	Aşınmaya ve Çarpmaya Karşı Mukavemeti	37
1.6.2.2.4.	Betonun Su Emmesi ve Geçirirnililiđi (Permeabilite)	37
1.6.2.2.5.	Büzölme (Rötre)	38
1.6.2.2.6.	Sünme	38
1.6.2.2.7.	Kür	38
2.	DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR	39
2.1.	Çalışma Programı	39
2.2.	Çalışma Sahasının Coğrafı Konumu	41
2.3.	Çalışma Alanı ve Çevresinin Jeolojisi	41
2.3.1.	Hamurkesen Formasyonu	41
2.3.2.	Berdiga Formasyonu	42
2.3.3.	Çatak Formasyonu	43
2.3.4.	Alüvyonlar	44
2.4.	Kayaçtan Numune Alımı ve Alınan Numunelere Uygulanan Deneyler	45
2.4.1.	Kayaçtan Numune Alımı	45
2.4.2.	X-ray ile Kimyasal Analiz	46
2.4.3.	Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi	46
2.4.4.	Schmidt Çekici Deneyi	48
2.4.5.	Dolaylı Çekme Dayanımı Deneyi (Brazilian Deneyi)	50
2.4.6.	Nokta Yüğü Dayanım Deneyi	51
2.4.7.	Suda Dağılmaya Karşı Dayanım Deneyi	53
2.5.	Beton Agregalarına Uygulanan Deneyler	55
2.5.1.	Agregalardan Numune Alma ve Hazırlama	55
2.5.2.	Agregalara Uygulanan Fiziksel Deneyler	56
2.5.2.1.	Agreganın Tane Büyüklüğü Dağılımı (Elek Analizi)	56
2.5.2.2.	Agreganın Özgül Ağırlığı ve Su Emme Oranı Tayini	58
2.5.2.2.1.	İnce Agreganın Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranının Tayini	58
2.5.2.2.2.	İri Agreganın Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranının Tayini	60
2.5.2.3.	Agreganın Birim Ağırlığının Tayini	62
2.5.2.3.1.	Gevşek Birim Ağırlık Tayini	62

2.5.2.3.2.	Sıkışık Birim Ağırlık Tayini.....	63
2.5.2.4.	Yassılık İndeksi	64
2.5.3.	Agregalara Uygulanan Mekanik Deneyler	65
2.5.3.1.	Donma ve Çözölmeye Karşı Dayanıklılık.....	65
2.5.3.2.	Agregaların Aşınmaya Karşı Direnci (Los Angeles Deneyi)	67
2.5.3.3.	Agregaların Aşınmaya Karşı Direnci (Micro Deval Deneyi).....	69
2.5.4.	Agregalarda Zararlı Maddelerin Tayini.....	70
2.5.4.1.	İnce Madde Oranı Tayini (Metilen Mavisi Deneyi).....	70
2.5.4.2.	Agregada İnce Madde Oranı Tayini (Yıkama Yöntemi).....	71
2.5.4.3.	Agregaların Potansiyel Alkali Reaktivitesinin Tayini (ASR)	73
2.6.	Beton Karışım Tasarımı.....	76
2.6.1.	Karışım Hesabının Deneylerle Gerçekleşmesi	77
2.7.	Taze ve Sertleşmiş Betona Uygulanan Deneyler	80
2.7.1.	Çökme (Slump) Deneyi	80
2.7.2.	Taze Beton Yoğunluk Deneyi	82
2.7.3.	Taze Beton Hava İçeriği Tayini Deneyi	83
2.7.4.	Beton Numunelerin Hazırlanması, Kürü ve Dayanımının Tayini.....	84
2.7.4.1.	Küp Numunelerin Oluşturulması.....	84
2.7.4.2.	Küp Numunelerin Kürü	85
2.7.4.3.	Beton Basınç Dayanımının Belirlenmesi	86
3.	İRDELEME.....	88
3.1.	Kayaç Özelliklerinin İrdelenmesi	88
3.2.	Agrega Özelliklerinin İrdelenmesi	89
3.3.	Beton Dayanım Sonuçlarının İrdelenmesi.....	92
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	94
5.	KAYNAKLAR.....	97

ÖZGEÇMİŞ

Yüksek Lisans

ÖZET

BERDİGA FORMASYONU'NA AİT KİREÇTAŞLARININ (Düzköy-Trabzon)
AGREGA OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Ahmet MUSLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ
2019, 101 Sayfa

Bu çalışmada Berdiga Formasyonu'na (Düzköy-Trabzon) ait kireçtaşlarından elde edilen kırılmış malzemenin agrega olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla elde edilen kırılmış malzemeye beton agregalarına yönelik standartlarda tanımlanan deneyler uygulanmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar ile agrega standartlarındaki değerler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda betonda kullanılması öngörülen tez konusu agregalarla yapılacak betonların kalitesinin belirlenebilmesi amacıyla, bulunan agrega özelliklerinden faydalanılarak beton karışım hesapları yapılmış ve deneme betonları dökülmüştür. Üretilen betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanımları üzerinden kıyaslama yapılarak sonuca varılmıştır.

Beton üretimi için herhangi bir beton sınıfı hedeflenmeden sekiz farklı karışım hesabı yapılarak üretilen deneme betonlarında, agreganın kullanım alanı bulacağı Karadeniz Bölgesinde yaygın olarak kullanılan iki farklı çimento ve üç farklı beton katkıları kullanılmıştır. Ayrıca bir karışımda beton çökme değeri de farklı olarak seçilerek deneme betonları dökülmüştür. Böylelikle farklı çimento ve katkı türlerinin beton dayanımına etkisinin yanında slump (taze beton çökme değeri) değerinin de beton dayanımı üzerindeki etkisi görülmüştür. Agregada deneylerinden elde edilen değerler ile beton basınç dayanım sonuçları değerlendirildiğinde mevcut agregaların betonda kullanılacak özellikte olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Agregada, Berdiga Formasyonu, Beton, Kristalize Kireçtaşı

Master Thesis

SUMMARY

THE INVESTIGATION OF THE USABILITY OF BERDIGA FORMATION
LIMESTONE (Düzköy-Trabzon) AS AGGREGATE

Ahmet MUSLU

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Mining Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ
2019, 101 Pages

In this study, the usability of crushed material obtained from limestone of Berdiga Formation (Düzköy-Trabzon) was investigated. For this purpose, the crushed material was subjected to the tests defined in the standards for concrete aggregates. The results obtained from the experiments were compared with the values in aggregate standards. As a result of the comparison, in order to determine the quality of concrete including the aggregates mentioned in thesis, concrete mixture calculations were evaluated by using aggregate properties and concrete samples were poured. It is concluded by comparing 7 and 28 days compressive strength of the poured concrete samples.

Two different cement and three different concrete admixtures, which are widely used in the Black Sea Region where aggregates will be used, were applied in the concrete samples, produced by making eight different mixture calculations without targeting any concrete class for concrete production. Additionally, the concrete sedimentation value was also selected differently in a mixture for test. Thus, besides the effect of different cement and admixture types on concrete strength, the effect of slump (fresh concrete collapse value) value on concrete strength was also observed. When the values obtained from the aggregate tests and the compressive strength results of the concrete were evaluated, it is concluded that the aggregates can be used in concrete.

Keywords: Aggregate, Berdiga Formation, Concrete, Crystallized Limestone

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Agregalardan Görüntü.....	4
Şekil 1.2. Agregaların tane boyutuna göre sınıflandırılması.....	7
Şekil 1.3. Agregaların su içeriklerine göre durumları.....	17
Şekil 1.4. Granülometri eğrilerinin özellikleri.....	25
Şekil 1.5. En büyük tane büyüklüğü 8 mm olan karışık agreganın granülometri eğrileri.....	26
Şekil 1.6. En büyük tane büyüklüğü 16 mm olan karışık agreganın granülometri eğrileri.....	26
Şekil 1.7. En büyük tane büyüklüğü 32 mm olan karışık agreganın granülometri eğrileri.....	27
Şekil 1.8. Betonun oluşturan malzemeler ve oranları.....	27
Şekil 2.1. Tez kapsamında yapılan çalışmaların akım şeması.....	40
Şekil 2.2. Çalışma sahasının konumu.....	41
Şekil 2.3. Çalışma sahasındaki Berdiga Formasyonu'na ait kireçtaşlarının görünümü.....	43
Şekil 2.4. Berdiga Formasyonu'na ait tabakalı kireçtaşlarının arazideki görünümü (Yer: Hırçın dere vadisi sol yamacı).....	43
Şekil 2.5. Çalışma alanı ve çevresine ait 1/10000 ölçekli jeoloji haritası (Güven, 1993'ten değiştirilerek).....	44
Şekil 2.6. Numune alımı; a) karot alma işlemi b) karot kesme ve düzeltme makinesi.....	46
Şekil 2.7. Karot düzeltme; a) Böhme aşındırma cihazı b) yüzeyleri düzeltilmiş karotlar.....	46
Şekil 2.8. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi.....	46
Şekil 2.9. Numunelerin durumları; a) deney öncesi numuneler b) deney sonrası numuneler.....	47
Şekil 2.10. Schmidt çekici, numune ve numune beşiği.....	49
Şekil 2.11. Brazilian Deneyi; a) deney öncesi b) deney sonrası numunelerin durumu.....	50
Şekil 2.12. Nokta yükü dayanım deneyi; a) deney düzeneği ve deneye girecek numuneler, b) deney sonrası numunelerin durumu.....	52
Şekil 2.13. Suda dağılma deney düzeneği.....	54

Şekil 2.14. Agregalardan numune alımı	55
Şekil 2.15. Elek analizi; a) etüv, b) sınıflandırılmış etüv kurusu agregalar, c) elek seti ve elek sarsma cihazı, d) elenen agregalar e) elek üstü agregaların tartılması.....	57
Şekil 2.16. Özgül ağırlık ve su emme deneyi; a) numunenin fön ile DKY haline getirilmesi, b) DKY kontrolü.....	58
Şekil 2.17. a) Su dolu ölçü kabının tartılması, b) numunenin içindeki havanın çıkarılması.....	59
Şekil 2.18. a) DKY haline getirilen iri agregalar, b) özgül ağırlık deney düzeneği	60
Şekil 2.19. a) Deneyde kullanılan numune kapı, b) kabın cetvelle sıyırılması	62
Şekil 2.20. Yassılık indeksi deney aleti.....	64
Şekil 2.21. Los Angeles deneyi; a) deney numunesi b) bilyeler c) devir saati d) deney sonu	68
Şekil 2.22. Micro Deval deneyi; a-b) yıkanmış/etüv kurusu numune, c) bilye, numune, su içeren tambur, d) mil üzerindeki tamburlar, e) yıkama eleğinde bilye- numune ayrımı	70
Şekil 2.23. Metilen mavisi deneyi; a) çözelti hazırlama, b) numune hazırlığı c) fon kağıdı	71
Şekil 2.24. Yıkama yöntemi ile ince madde miktarının belirlenmesi; a) etüv kurusu numune, b) yıkama, c) yıkanan numune	72
Şekil 2.25. Alkali deneyi; a) harç çubuklarının hazırlanması, b) çubukların kürü.....	74
Şekil 2.26. 80 0C'deki NaOH tankı.....	75
Şekil 2.27. Alkali deneyi; a) harç çubukları, b) çubukların boy okumaları	75
Şekil 2.28. Deneyde kullanılan agrega karışımının tane dağılım eğrisi	78
Şekil 2.29. Beton karıştırıcı (betoniyer)	80
Şekil 2.30. Çökme deneyi; a) huni, b) dolum, c) şişleme, d) ölçüm	81
Şekil 2.31. Taze beton yoğunluk deneyi.....	82
Şekil 2.32. Taze beton hava ölçme deneyi; a) deney cihazı, b) ölçüm sayacı.....	84
Şekil 2.33. a) Küplerin doldurulması, sıkıştırılması, b) 24 saat boyunca bekletilmesi.....	84
Şekil 2.34. Kür; a) kürdeki numuneler b) kür tankı c) kür işlemindeki numuneler	85
Şekil 2.35. a) Kürden çıkarılan küp numuneler b) basınç dayanım test makinesi	86
Şekil 3.1. Tasarımlara ait 7 ve 28 günlük beton basınç dayanımları.....	92

TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Agregaların sınıflandırılması	6
Tablo 1.2. Elde ediliş şekillerine göre agregalar	9
Tablo 1.3. Birim ağılıklarına göre agregalar	10
Tablo 1.4. Agregaların tane şekline göre sınıflandırılması	11
Tablo 1.5. Yüzey özelliklerine göre agregaların sınıflandırılması	12
Tablo 1.6. Çeşitli nemlilik rejimleri için agrega su içerikleri ve özgül ağırlık tanımlarının formülleri	18
Tablo 1.7. Değişik türdeki kayaların su emme kapasiteleri	19
Tablo 1.8. Agrega organik madde referans renkleri	20
Tablo 1.9. Sağlam olmayan agrega elemanları ve oranları	21
Tablo 1.10. Beton karışımında kullanılacak agrega karışımının granülometrisinin işlevleri	23
Tablo 1.11. Beton üretiminde kullanılan kimyasal katkı maddeler ve özellikleri.....	30
Tablo 1.12. İyi betonun özellikleri ve betonu etkileyen faktörler	31
Tablo 1.13. TS EN 206-1, 2014'e göre kıvam sınıfları	33
Tablo 1.14. Zamana bağlı olarak basınç dayanımının artım oranları	35
Tablo 1.15. TS EN 206-1, 20014'e göre basınç dayanım sınıfları	36
Tablo 2.1. Kimyasal analiz sonuçları	46
Tablo 2.2. Kayacın doğal durumundaki tek eksenli basınç dayanımı sonuçları	48
Tablo 2.3. Kayaçların tek eksenli basınç dayanımına göre sınıflandırılması.....	48
Tablo 2.4. ASTM 2001'e göre yapılan Schmidt çekici deney sonuçları.....	49
Tablo 2.5. Schmidt çekicine göre kaya sertliğinin sınıflandırılması	50
Tablo 2.6. Dolaylı çekme dayanımı sonuçları	51
Tablo 2.7. Nokta yükü dayanımı deney sonuçları ve hesaplamalar	53
Tablo 2.8. Nokta yükü dayanım sınıflandırması	53
Tablo 2.9. Suda dağılma dayanımı deney sonucu ve hesaplanması.....	54
Tablo 2.10. Suda dağılma dayanım değeri sınıflaması.....	54
Tablo 2.11. Elek analizi deney sonuçları.....	57
Tablo 2.12. Kırma kum için özgül ağırlık ve su emme kapasitelerinin hesaplanması ...	59

Tablo 2.13. 1 No mıcır için özgül ağırlık ve su emme kapasitelerinin hesaplanması	61
Tablo 2.14. 2 No mıcır için özgül ağırlık ve su emme kapasitelerinin hesaplanması	61
Tablo 2.15. Numunelerin gevşek birim ağırlıkları	63
Tablo 2.16. Numunelerin sıkışık birim ağırlıkları.....	63
Tablo 2.17. Yassılık indeksi deneyi için hesaplama ve sonuç	64
Tablo 2.18. Deneyde kullanılacak numune miktarları ve elekler.....	66
Tablo 2.19. İri agregalara uygulanan donma çözülme deney sonucu ve hesaplamalar..	67
Tablo 2.20. Los Angeles aşınma deneyi hesaplamaları ve sonucu	68
Tablo 2.21. Metilen mavisi miktarının hesaplanması	71
Tablo 2.22. Yıkabilir madde miktarının hesaplanması.....	72
Tablo 2.23. Deneyde kullanılan agregaların tane boyut dağılımı.....	73
Tablo 2.24. Alkali silika deneyindeki hesaplama ve sonuçlar	76
Tablo 2.25. Beton tasarımlarının içerdiği malzemeler ve miktarları.....	79
Tablo 2.26. Taze beton yoğunluk deneyi sonuçları.....	83
Tablo 2.27. Beton tasarımlarına ait numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları ...	87

SEMBOLLER DİZİNİ

Δa	:	Birim ağırlık
δa	:	Özgül ağırlık
M_{fk}	:	Etüv kuru agrega ağırlığı
M_{hk}	:	Kuru yüzeyli agrega ağırlığı
M_{dky}	:	Doygun kuru yüzeyli agrega ağırlığı
$M_{1,a}$:	Islak yüzeyli agrega ağırlığı
W_k	:	Su emme kapasitesi
W_e	:	Efektif su emme kapasitesi
W_y	:	Yüzey nemi
W	:	Su içeriği (yığımda)
D_k	:	Hacim spesifik (özüml) ağırlık (kuru)
D_{dyk}	:	Doygun-yüzey kuru durumda hacim spesifik ağırlık
D_g	:	Görünür spesifik ağırlık (kuru)
σ_t	:	Dolaylı çekme dayanımı
F	:	Yenilme yükü veya boyut düzeltme faktörü
P	:	Kırılma yükü veya elekten geçen %
D_e	:	Eşdeğer karot çapı
I_s	:	Düzeltilmiş nokta yükü dayanımı
DKY	:	Doygun kuru yüzey
W_1	:	Boş ölçeğin ağırlığı
W_2	:	Dolu ölçeğin ağırlığı

M_{DE}	:	mikro-Deval katsayısı
D	:	Örnek çapı veya yoğunluk
t	:	Örnek boyu
L	:	Örnek boyu
V	:	Örnek hacmi veya kap hacmi
M_y	:	Yıkanabilir madde miktarı
M_1	:	Deney Numunesinin ilk kuru ağırlığı veya kap ağırlığı
M_2	:	Yıkanan deney numunesinin kuru ağırlığı veya dolu kap ağırlığı
ΔL_{ilk}	:	24 saat sonundaki boy değişimi
L_{ilk}	:	Numune ilk boyları
ΔL_{su}	:	48 saat sonundaki boy değişimi
ΔL_{16}	:	16 günlük boy değişimi
ASTM	:	American Society for Testing and Materials
T.S.E	:	Türk Standartları Enstitüsü
T.C.K	:	Türkiye Cumhuriyeti Karayolları Genel Müdürlüğü
BS	:	British Standards
ISRM	:	International Society for Rock Mechanics

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte her geçen gün büyük ve donanımlı yapılar inşa edilmekte olup bu yapıların inşasında beton önemli bir rol üstlenmektedir. Ülkemizin büyük bir kısmının da deprem kuşağında yer aldığı göz önüne alındığında ise betonun kalitesi hayati önem arz etmektedir.

Betonu genel olarak, agrega, çimento ve su oluşturmaktadır. Ayrıca bu karışıma betonun kalitesini artırmak gibi teknik nedenlerden dolayı katkılar da eklenebilmektedir. Tüm bu materyaller içinde en büyük paya sahip olan agregaların oranı hacim olarak karışımın % 80'lerini bulmaktadır. Bu nedenle betonun büyük bir kısmında yer alan agregaların kalitesi doğrudan beton kalitesini etkilemektedir.

Üstünde yaşadığımız yapılarda, üzerinden gittiğimiz yollarda, içinden geçtiğimiz tünellerde, yani insan yaşamı içine giren her yapıda kullandığımız betonun olmazsa olmazı olan agregalar, kayalardan kırılmak suretiyle üretilen ya da doğal olarak oluşmuş tanelerin genel adıdır.

Kaliteli bir betonun üretilebilmesi için agregaların kalitesinin belirlenmesi gerekmektedir. Agregaların kalitesi belirlenirken, fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerine hatta mineralojik ve petrografik özelliklerine bakılmaktadır.

Agregaların kalitesinin belirlemek ve iyi bir beton karışımı oluşturabilmek için dünyaca ve ülkemizce kabul edilmiş standartlar kullanılmaktadır. TSE ve ASTM gibi bu standartların yanında ülkemizdeki bazı resmi kurumların oluşturdukları yapı şartnameleri mevcuttur. Yine uluslararası ve ulusal standartlardan yararlanılarak oluşturulan bu şartnamelerde ilgili kurumun inşa edeceği yapı için kabul edilebilir değerler yer almaktadır.

1.2. Önceki Çalışmalar

Literatürde agregalar ve beton hakkında birçok çalışma yer almaktadır. Bu çalışmalarda, jeolojik kökeni farklı olan birçok kayacın agrega olarak kullanılabilirliği ve bu agregaların beton dayanımı ve kalitesi üzerindeki etkileri gibi konular araştırılmıştır. Tez konusu Berdiga kireçtaşları ile farklı bölgelerde bulunan kireçtaşlarının agrega olarak kullanılabilirliği hakkındaki bazı araştırmalar aşağıda verilmiştir.

Altınbaş (1994), Trabzon-Maçka Medoş taşocağında bulunan kireçtaşının agrega olma özelliğini incelemiştir. Altınbaş (1994), yaptığı arazi çalışmalarında sahada yaşlıdan gence doğru Hamurkesen, Berdiga, Çatak olmak üzere üç formasyonun olduğunu ve Berdiga Formasyonu'nun gri renkte kristalize kireçtaşlarını içerdiğini belirtmiş ve Berdiga Formasyonu'ndaki kireçtaşlarının agrega olma özelliklerini incelemiştir. Gerçekleştirdiği fiziksel ve mekaniksel deneylerde kireçtaşının tek eksenli basınç dayanımı ve nokta yük dayanımı açısından "yüksek dayanımlı", Schmidt çekici sertliğine göre "çok sert", porozite açısından "çok kompakt" kaya sınıfında olduğunu, kuru birim hacim ağırlığının $2,68 \text{ gr/cm}^3$, doymun kuru birim hacim ağırlığının $2,69 \text{ gr/cm}^3$, özgül ağırlığının $2,71 \text{ gr/cm}^3$, hacimce su emmesinin % 0,15, Los Angeles aşınma yüzdesinin % 20,7, basınç direnci değerinin çekme direncinin 15 katı, tek eksenli basınç direnci değerinin nokta yük direncinin yaklaşık 28 katı, Üç eksenli basınç deneyinde içsel sürtünme açısını (f) 57ϕ , kohezyonu (c) 220 kg/cm^2 , doymun örneklerde ise içsel sürtünme açısını (f) 53ϕ , kohezyonu (c) 200 kg/cm^2 olduğunu belirleyerek Berdiga kireçtaşının, beton ve asfalt agregası ile yapı malzemesi olarak kullanılabilceği sonucuna varmıştır.

Koçal (1999), Trabzon-Maçka Başar Köyü taşocağında bulunan Berdiga Formasyonu'na ait kireçtaşını agrega olma özelliğini incelemiştir. Koçal (1999), gerçekleştirdiği fiziksel ve mekaniksel deneylerde kireçtaşının tek eksenli basınç dayanımı ve nokta yük dayanımı açısından "yüksek dayanımlı", Schmidt çekici sertliğine göre "çok sert", porozite açısından "çok kompakt" kaya sınıfında olduğunu, özgül ağırlığını $2,70 \text{ gr/cm}^3$, ağırlıkça su emmesinin % 0,06, tek eksenli basınç direnci değerinin nokta yük direncinin yaklaşık 22 katı, basınç direnci değerinin çekme direncinin 17 katı, Los Angeles aşınma yüzdesinin % 17, donma çözünmeye karşı dayanımının (Na_2SO_4 ile) % 6 olduğunu belirleyerek Berdiga kireçtaşının, beton ve asfalt agregası ile yapı malzemesi olarak kullanılabilceği sonucuna varmıştır.

Turan (2010), Hatay-Akarca Köyünde bulunan açık ve koyu renkli kireçtaşlarının hammadde olabilme özelliklerini incelemiştir. Turan (2010), kireçtaşlarının kimyasal, petrografik, mineralojik, fizikomekanik ve kalsinasyon özelliklerini belirlemek amacıyla yapmış olduğu deneylerde; açık renkli kireçtaşlarının % 98'in üzerinde CaCO_3 içerdiğini, SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 gibi safsızlıkların oldukça düşük, ince kristalli, birim hacim ağırlığının $2,55 \text{ g/cm}^3$ 'ün üzerinde olduğunu, tek eksenli basma dayanımının 50 MPa'dan büyük, Los Angeles aşınma yüzdesinin % 30 olduğunu ve kalsinasyon şartlarına uyduğunu belirlemiştir. Koyu renkli kireçtaşlarının ise % 90'ın üzerinde CaCO_3 içerdiğini, SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MgCO_3 gibi safsızlıkların oldukça yüksek olduğunu, fiziko-mekanik özelliklerinin açık renkli kireçtaşlarına yakın değerler sergilediğini, fakat kalsinasyon şartlarını ise sağlamadığını belirlemiştir. Yaptığı değerlendirmelerde, Akarca Köyü (Hatay) açık renkli kireçtaşlarının agrega, kireç, cam ve refrakter üretimi için, koyu renkli kireçtaşlarının yapı malzemesi olarak kullanılabilir olduğu sonucuna varmıştır.

Yılmaz vd. (2010), Trabzon ili, Araklı ilçesi Kaymaklı köyünde bulunan kireçtaşı örneklerinin beton agregası olarak kullanılabilirliğini incelemiştir. Yılmaz vd. (2010), kireçtaşı örneklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla yapmış olduğu deneylerde; yoğunluğunun $2,35 \text{ gr/cm}^3$, birim hacim ağırlığının 23 kN/m^3 , su emmesinin % 1,52, Donma çözünmeye karşı dayanımının % 1,92, Tek eksenli basınç $31,37 \text{ MPa}$, Micro-Deval aşınma dayanımının $8,1 \text{ M}_{\text{DE}}$, kırılma dayanımının (S_z) %42,75 olduğunu belirlemiştir. Belirlenen bu özelliklerin yanında araştırılan kayaktan elde ettikleri agregaların elek analizini yaparak beton karışım hesaplarını yapmıştır. Karışım hesaplarına istinaden döktüğü numune betonların 28 günlük basınç dayanımlarını C 16/20 beton sınıfında olduğunu bulmuş fakat incelenen kireçtaşı örneklerinin TS706 EN 12620+A1'de belirtilen beton agregası standartlarını sağlamadığı sonucuna varmıştır.

1.3. Tezin Amacı

Trabzon'da agrega üretimi yapan birçok taş ocağı bulunmaktadır. Bu taş ocaklarının büyük bir kısmında üretilen agregaların kayaç türü açısından magmatik kökenli olduğu bilinmektedir. Trabzon'da kireçtaşlarından agrega üretimi sınırlıdır. Bunun nedeni ise jeolojik açıdan kireçtaşlarının az olmasıdır. Bu çalışmada ise Düzköy (Trabzon-Türkiye) civarında bulunan Berdiga Formasyonu'na ait kireçtaşlarının standartlar ışığında agrega yeterliliklerinin ortaya konularak ekonomiye kazandırılması amaçlanmıştır.

1.4. Tezin Organizasyonu

Bu tez çalışması 4 bölümden oluşmaktadır. 1. Bölümde çalışma konusu ile ilgili genel bilgi verildikten sonra agrega ve beton hakkında bilgiler verilmiştir. 2. Bölümde çalışılan kayaç, bu kayaçtan elde edilen agregalar ve agregalar ile tasarlanan beton numuneleri üzerinde yapılan deneyler ve standartları verilmiştir. Deneyler sonucu elde edilen bulgular yine bu bölümde sunulmuştur. 3. Bölümde bulgular irdelenmiştir. Son bölümde ise sonuçlar açıklanmış ve konu ile ilgili öneriler sunulmuştur.

1.5. Agregalar

Agregalar genel olarak 63 mm tane büyüklüğüne kadar olan, kırılmış ya da kırılmamış tabii, suni veya her iki tür malzemenin bir yığıdır (Şekil 1.1.). Değişik boyutlardaki mineral kökenli sert tanelerden oluşan agregalar, betonun hacim olarak %80'ine kadar olan kısmını oluşturmaktadır (Çavuşoğlu, 2005; Şimşek, 2007).



Şekil 1.1. Agregalardan bir görüntü

Doğal kum ve çakıl yaygın olarak kullanılan agregalardır. Agregalar, tane boyutlarına iri ve ince olarak ikiye ayrılmaktadır. Bazen iri agrega olarak çakıl yerine

doğal taşların kırma-eleme tesislerinde işlenmesi sonucunda elde edilen agregalar da kullanılır. Doğal kumun temin edilememesi durumunda ise yine kırma-eleme tesislerinde, doğal taşların kırılıp öğütülmesiyle suni ince agregalar üretilmektedir (Şimşek, 2007).

Beton üretiminde agrega kullanımının yararları aşağıdaki gibidir.

- Agregaların maliyeti çimentoya kıyasla daha düşüktür. Dolayısıyla, betonun kalitesini bozmamak koşuluyla beton içerisindeki agrega miktarının artırılması, beton maliyetini düşürecektir (Erdoğan, 2004).
- Beton içerisinde agregaların olması, kuruma etkisiyle çimento hamurunun rahatça büzülmesini belirli ölçüde engelleyerek çatlak oluşumunu azaltacaktır (Erdoğan, 2004).
- Agregaların beton karışımında büyük yer kaplamasından dolayı, agregaların fiziksel ve mekaniksel özellikleri betonu doğrudan etkilemektedir (Güler, 2006). Betonun özelliklerini etkileyen başlıca agrega özellikleri; tane dağılımı, maksimum agrega tane büyüklüğü, tane şekli, su emme oranı, birim ve özgül ağırlığı, içerisindeki doğal nem miktarı, reaktif silis içeriği, içinde bulunabilecek zararlı maddelerin miktarları, ısısal özellikleri, elastiklik modülü, poisson oranı, dayanımı, aşınmaya dayanıklılığı, dona dayanıklılığı gibi fiziksel ve mekaniksel özellikleridir (Erdoğan, 2004).

1.5.1. Agregaların Sınıflandırılması

Agregaların betonun büyük bir bölümünü oluşturmasından dolayı, beton agregaların bazı özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle agrega çeşitlerinin tanınmasında yarar vardır (Şimşek, 2007). Bu amaçla agregalar aşağıda verilen Tablo 1.1.'de görüldüğü gibi sınıflandırılmıştır.

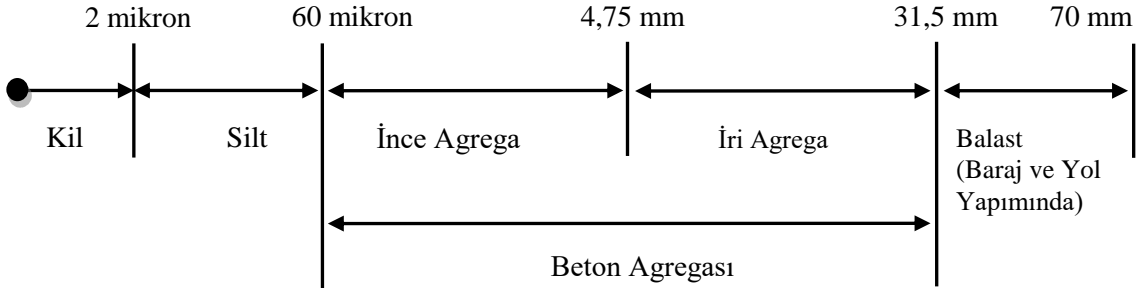
Agreganın sınıflandırılması, agregaların etkin ve doğru şekilde kullanımını sağlamak adına agregayı tanımak için yapılmaktadır. Beton üretiminde kullanılması düşünülen agregaların beton yapımına uygunluğunu anlayabilmek için o agregaların fiziksel ve mekaniksel özellikleri deneysel çalışmalarla belirlenerek, beton yapımında kullanılan agregalara ait standartlarda verilen değerlere uygunluğuna bakılmalıdır (Erdoğan, 2004).

Tablo 1.1. Agregaların sınıflandırılması (Arıoğlu vd., 1999; Erdoğan, 2004; Şimşek, 2007).

Agregalar									
Tane Boyutuna Göre			Elde Ediliş Şekline Göre	Özgül ve Birim Ağırlığına Göre	Tane Şekline Göre	Yüzey Dokusuna Göre	Jeolojik Kökenine Göre	Minerolojik Yapılarına Göre	Reaktif Özelliklerine Göre
İri 4.75 mm ile 31,5 mm arasında	İnce < 4.75 mm	Taş Unu (Filler) <0.25 mm	Doğal	Normal 2000-3000 kg/m ³	Yuvarlak	Düzgün	Volkanik	Silisli	Reaktif
Çakıl	Kum		Yapay	Hafif < 2000 kg/m ³	Köşeli	Pürüzlü	Tortul	Karbonatlı	Reaktif Olmayan
Mıçır (Kırma Taş)	Kırma Kum			Ağır > 3000 kg/m ³	Yassı	Petekli	Metamorfik	Mikalı vb.	
Yapay Taş	Yapay Kum				Uzun	Kristalli Granüler			

1.5.1.1. Tane Boyutuna Göre Agregalar

ASTM standartlarına göre, iri ve ince agregayı ayıran kare delikli elek No.4 elektir ve bu eleğin göz açıklığı 4,75 mm'dir Tane boyutu <4,75 mm olan agregalar ince agrega, tane boyutu >4,75 mm olan agregalar ise iri agrega olarak isimlendirilir (Arioğlu vd., 1999, Erdoğan, 2004). Tane boyutuna göre agregalar Şekil 1.2.'de verilmiştir.



Şekil 1.2. Agregaların tane boyutuna göre sınıflandırılması (Arioğlu vd., 1999)

1.5.1.1.1. İri Agregalar

TS 706 EN 12620+A1, (2009)'a göre 4,00 mm göz açıklıklı kare delikli standart elek üzerinde kalan agregadır. Farklı bir tanımlamada ise; doğal çakıl, kırma taş gibi iri agregalar ile bu agregaların karışımından elde edilen yığının 4 - 63 mm göz açıklıklı kare delikli elekler arasında kalan kısmına verilen isimdir (Şimşek, 2007).

Tabii Çakıl, kayaların zaman içerisinde parçalanarak akarsular tarafından aşındırılıp biriktirilmesiyle oluşan iri agregalardır. Taşıma sırasında sürtünmeden ötürü tanelerin yüzeyleri aşınarak yuvarlak hale gelir ve yüzeylerindeki doğal pürüzlülüklerini büyük oranla kaybederler. Kırma agregalar, taşocaklarından üretilen kayaç kütlelerinin kırma-eleme tesislerinde işlenmesi sonucunda da üretilen malzemedir. Yapay agregalar ise endüstri ürünü olan kırılmış veya kırılmamış malzemelerdir (Arioğlu vd., 1999).

1.5.1.1.2. İnce Agregalar

TS 706 EN 12620+A1, (2009)'a göre 4,00 mm göz açıklıklı kare delikli standart elekten geçebilen agregadır. Tabii kum, kırma-eleme tesislerinde üretilen veya kırma kum ile tabii kumun karıştırılmasıyla elde edilen agregalar ince agregaları oluşturmaktadır.

Tabii kum, kayanın fiziksel, mekanik, kimyasal olarak parçalanıp ayrışmasından sonra akarsular tarafından aşındırılıp biriktirilen ince taneli parçacıklardır. Kırma kum, kırmataş tesislerinde en ince boyuta kırılıp elenmiş olan ince taneli agregadır. Beton yapımında ince agrega olarak kumun yanında kullanılır. Suni kum ise endüstri ürünü olan kırılmış veya kırılmamış agregadır (Arioğlu vd., 1999).

1.5.1.1.3. Taşunu (filler)

TS 706 EN 12620+A1, (2009)'a göre 0,25 mm kare açıklıklı elekten geçen malzemedir. Taşunu, taze betonda segragasyonu önleyerek betonun kohezyonunu yükselten bir malzemedir (TS 706 EN 12620+A1, 2009).

1.5.1.2. Elde Ediliş Şekillerine Göre Agregalar

Elde ediliş şekillerine göre agregalar Tablo 1.2.'de verilmiştir.

Tablo 1.2. Elde edilmiş şekillerine göre agregalar

Elde Ediliş Şekillerine Göre Agregalar	Çeşitleri ve Açıklamaları
Doğal Agregalar	Genel açıklama: Doğadan doğrudan alınarak kullanılabilen agregalardır. Bu agregaların doğal yapısında hiçbir değişiklik yapılmadan kırma- eleme ve yıkama işlemlerine tabi tutulabilir (Erdoğan, 2004).
	Akarsu Agregaları; En fazla bulunan ve en fazla talep edilen agrega kaynaklarıdır (Batmaz, 2006). <ul style="list-style-type: none"> • Yıkılmış temiz tanelerden oluşurlar. • Taneler çoğunlukla yuvarlaktır olup kırma maliyeti olmadığından ekonomiktir. • Bu agregaların sürüklenip aşınması sırasında zayıf kısımlarından ayrılırlar. • Kompozitleri yüksek olup beton dayanımına olumlu katkı sağlarlar.
	Çöl Agregaları: Rüzgârların sürükleyerek biriktirmesi sonucunda meydana gelmiş olup çok ince kumlardan oluşurlar. Rüzgârların zayıf taneleri sağlam tanelerden ayırmış olmasından dolayı çoğunlukla kuvarslardan oluşurlar (Şimşek, 2007).
	Deniz Agregaları: Tek tipte taneler içeren ince malzemelerdir. Bu agregalar midye kabukları gibi organik maddeler içerdiğinden dolayı problem oluşturabilirler. Bunlar organik maddelerin dayanımları düşük olup agreganın yerleşmesini zorlaştırırlar. Ayrıca bünyede fazla miktarda bulunan tuz, üretilen betonda çatlama ve parçalanmaya neden olur (Batmaz, 2006; Şimşek, 2007).
	Buzul Agregaları, buzullar tarafından taşınan bu agregalar yüksek kotlarda bulunmaktadır. Bu agregalar akarsu aşındırması gibi etkilerle karşı kalmamıştır (Batmaz, 2006).
	Teras Agregaları: Dağların yükseklerinden kopan kayaç parçalarının kayıp dağ eteklerinde birikmesiyle oluşurlar (Batmaz, 2006).
Suni Agregalar	Genel açıklama: Isıl endüstriyel işlemler ile elde edilen mineral kökenli agregalardır (TS 706 EN 12620+A1, 2009). Yüksek fırın cürufu taşı ve kumu, izabe cürufu, genişletilmiş kil ve perlit, uçucu kül gibi endüstri ürünü olan kırılmamış ve kırılmış (mıcır) agregalar suni agregalardır (Özkul vd., 1999; Şimşek, 2007).

1.5.1.3. Özgül ve Birim Ağırlıklarına Göre Agregalar

Birim ağırlıklarına göre agregalar Tablo 1.3.'te verilmiştir.

Tablo 1.3. Birim ağırlıklarına göre agregalar





Birim Ağırlıklarına Göre Agregalar	Çeşitleri ve Açıklamaları
Hafif Agregalar	Genel Açıklama; hafif beton üretmek için kullanılan, yoğunlukları ortalama 1,2–2 kg/dm ³ arasında olan organik veya mineral kökenli agregalardır. Betonun birim ağırlığını azaltarak ısı ve ses yalıtımını artırmak için kullanılan agregalardır. Yapıları boşlukludur. Su emme kapasiteleri yüksektir (Batmaz, 2006).
	Hafif tabii agregası; yüksek sıcaklıklarda gözenekli yapı kazanmış bu agregalara kırma-elemeden başka işlem uygulanmaz. Bu agregaların birim ağırlıkları 1 kg/dm ³ civarında olup örnek olarak, diatomit, sünger taşı olarak adlandırılan pomza, volkan tüfleri verilebilir.
	Hafif suni agregası: Genel olarak, agregası üretim esnasında işlem görmüş veya bir sanayinin atık maddesi olarak üretilen agregalardır. Birim ağırlıkları 1,2 kg/dm ³ civarında değişmektedir (Şimşek, 2007).
Normal Ağırlıklı Agregalar	Etüv kuru yoğunlukları 2,0 kg/dm ³ 'den büyük, 3,0 kg/dm ³ 'den küçük olan bu agregalar, doğal akarsu yatağından elde edilen kırma (mıcır) agregalardan oluşmaktadır. Kum, çakıl, kırma taş bu sınıfa girmektedir (Erdoğan, 2004; Şimşek, 2007; TS EN 1097–6, 2013).
Ağır Agregalar	Etüv kuru yoğunlukları 3,0 kg/dm ³ 'den büyük olan agregalardır (TS EN 1097–6, 2013). Ağır beton üretiminde kullanılırlar ve genel olarak nükleer santrallerde olduğu gibi radyasyonun geçişini engellemek amacıyla ve (Stratejik Askeri) özellik taşıyan inşaatların betonlarında kullanılır. Doğal olanlarına manyetit, yapay olanlarına ise çelik örnek verilebilir (Erdoğan, 2004, Şimşek, 2007).

1.5.1.4. Tane Şekline Göre Agregalar

Doğadan doğrudan alınan bu agregalar genellikle; yassı, yuvarlak uzun, düzensiz, köşeli ve yassı-uzun olarak tane şekillerine göre aşağıdaki Şekil 1.4.'te görüldüğü gibi sınıflandırılmaktadır. Aynı zamanda kırma agregalarda keskin köşeli agrega grubuna girmektedir.

Uzun ve yassı taneli agregaların kompasitesi düşük olup istenen işlenebilirlik için fazla suya gereksinim duyarlar. Yüzeyi pürüzlü olan köşeli agregaların kullanıldığında çimento ile agrega arasında oluşan aderans yüksek olur (Arıoğlu vd., 1999).

Tablo 1.4. Agregaların tane şekline göre sınıflandırılması (Arıoğlu vd., 1999).

Sınıflama	Açıklama	Örnek
Yuvarlak 	Tamamen aşınmayla şekillenmiş veya tamamen su yıpratması ile aşınmış.	Akarsu ve deniz kenarlarındaki çakıl ile rüzgârın uçurduğu kumlar
Şekilsiz 	Tabii şekilsiz olup sürtünme nedeniyle kenarları biraz yuvarlanmıştır.	Diğer çakıllar, kum veya çakmak taşları.
Köşeli 	Kaba (pürüzlü) düzlemsel yüzeylerin kenarlarda kesiştiği, keskin hatlara sahip agregalardır.	Kırılmış çakıllar, Kırılmış cüruf ve yamaç molozu.
Yassı 	Kalınlığı diğer iki boyutuna göre küçük olduğu katmanlı agregalardır.	Laminalı kaya
Uzun 	Çoğunlukla köşeli, uzunluğun diğer iki boyuta göre fazla olduğu agregalardır.	Laminalı kaya
Yassı Uzun 	Tane uzunluğu tane eninden ve enin de kalınlıktan daha fazla olduğu agregalara denir.	Laminalı kaya

1.5.1.5. Yüzey Dokusuna Göre Agregalar

Agregaların yüzeylerinin pürüzlü olması, çimento harcı ile agregalar arasındaki bağın kuvvetli olması sağlayıp betonun yüksek dayanım kazanmasına yardımcı olur (Postacıoğlu, 1987).

Tablo 1.5. Yüzey özelliklerine göre agregaların sınıflandırılması (Çağlayan vd., 1999).

Yüzey Karakteri	Yüzey Şekli	Örnek
Camsı	Konkavidial, oyuklu	Çakmak taşı, obsidiyen, camsı cüruf
Düzgün (Pürüzsüz)	Tanesel veya Laminallı kayaların pürüzsüz kırılması ya da su içerisinde sürtünme nedeniyle ortaya çıkar	Çakıl, çört, sleyt, mermer ve bazı riyolitler.
Taneli	Kırılma neticesinde yüzeydeki keskinliklerin düzgün şekilde yuvarlaşması sonucu oluşmuş yüzeydir.	Kumtaşı, oolit
Pürüzlü	Yapısında zorlukla görülebilen, orta ve ince taneli kayaların kırılması sonucu ortaya çıkan yüzeylerdir.	Bazalt, felsit, porfir, kireçtaşı
Kristalli	Yapısında kolayca görülebilen kristal parçacıkları vardır.	Granit, granadiorit, gnays
Peteksi	Yüzeyinde görülebilen boşluklar ve oyuklar vardır.	Sünger taşı, klinker, genişletilmiş kil.

Yüzeyi pürüzlü olan köşeli agregaların yuvarlak şekilli agregalara göre çimento harcı ile daha yüksek aderans oluşturmaktadır. Agregaların yüzeyinin gözenekli olduğu durumda ise bu aderansı daha da güçlendirmektedir. Agregaların mineralojik yapısı da bu bağda etkilidir (Demir, 2006).

1.5.1.6. Jeolojik Kökenine Göre Agregalar

Agregalar jeolojik kökenlerine göre, magmatik, sedimanter ve metamorfik olarak sınıflandırılmaktadırlar. Granit gibi magmatik kayalar ve kalker gibi bazı tortul kayalar beton için genellikle tercih edilen agregalardır (Şimşek, 2007).

1.5.1.6.1. Magmatik Kayaçlar

Magmanın soğumasıyla katılaşıp oluşmuşlardır. Magmanın katılaştığı derinlik ve katılma zamanına bağlı olarak “derinlik-plütonik, intrüzif” ve “yüzeysel-vulkanik, ekstrüzif” olmak üzere ikiye ayrılırlar. Derinlik kayaçları >1 mm minerallerden, volkanik kayaçlar ise <1 mm minerallerden meydana gelmiş olup camsı özelliktedirler (Esenli, 1999).

1.5.1.6.2. Sedimanter Kayaçlar

Ana karaları oluşturan kayaçların, çeşitli etkenler nedeniyle parçalanarak ayrışması, sonrasında deniz ve göl tabanlarında çökerek zaman içerisinde sıkışmaya maruz kalan bu kayaç tanelerinin birbirine bağlanmasıyla oluşan kayaçlardır. Bu kayaçlar tabakalı olmakla birlikte çoğunlukla fosil içermektedirler (Esenli, 1999).

1.5.1.6.3. Metamorfik Kayaçlar

Metamorfik, magmatik veya tortul kayaçların basınç ve sıcaklık ile gerilme etkisi altında veya eriyiklerin etkisiyle başkalaşmaları sonucu oluşmuş kayaçlardır. Bu kayaçların özelliği olan şistozite, birbirine paralel düzlemlerden kolaylıkla yapraklar halinde bölünmeleridir (Esenli, 1999).

1.5.1.7. Mineralojik Yapısına Göre Agregalar

Agregalar mineralojik özelliklerine göre; karbonat, silis ve mika mineralli olarak ayrılmaktadırlar (Şimşek, 2007).

1.5.1.8. Reaktif Özelliklerine Göre Agregalar

Agregaların mineralojik yapısında, çimento içinde bulunabilen alkalilerle kimyasal tepkimeye girerek betonda genleşmeye neden olan reaktif silika içeriklerine göre; aktif ve reaktif gibi iki şekilde sınıflandırılabilir.

1.5.2. Agregaların Özellikleri

Özelliklerine göre beton kalitesini etkileyen faktörler su, çimento ve agregadır. Beton üretiminden önce beton kalitesinde etkili olan agreganın özelliklerinin belirlenmesi gerekir. Betonun büyük bir hacmini kaplayan agreganın özellikleri betonun dayanımı gibi önemli özelliklerini doğrudan etkilemektedir (Postacıoğlu, 1987). Kaliteli bir beton için agregaların sahip olması özellikleri şunlardır;

- Granülometrisi, dünya standartlarının ya da ülkemiz standartlarından TSE 706 EN 12620 +A1'in şartlarını yerine getirmeli ve betonda boşluk oluşturmamalıdır.
- Taneler boşluksuz ve sert, dayanımları ise yüksek olmalıdır. Aşınmaya karşı mukavemet göstermelidir. Yassı ve uzun taneler içermemeli, şekil olarak kübik taneler içermelidir.
- Donma çözülme görülen iklim şartlarındaki bölgelerdeki betonlar için, dona dayanıklı olmalıdır.
- Betona zarar vererek dayanımı düşüren organik kökenli ve hafif maddeler ile mil, silt, kil ve toz gibi ince maddeler içermemelidir.
- Agregalar, sertleşmiş betonda hacim artışına neden olan sülfatları, ayrıca beton içerisindeki donatıda korozyona neden olan klorürleri ve tuzları klorür içermemelidir.
- Agregalar, betonda şişme ve çatlamalara yol açan aktif silisleri içermemelidir.

1.5.2.1. Agregaların Fiziksel Özellikleri

Agregaların fiziki özellikleri, agreganın kökeni ve boyutları, agreganın mevcut nem durumu ve su emme kapasitesi, birim ağırlığı, özgül ağırlığı, porozitesi, donma-çözülme karşı dayanımı ve diğer fiziksel etkenlere karşı dayanıklılığıdır (Erdoğan, 2004; Şimşek, 2007).

1.5.2.1.1. Birim Ağırlık

1 m³ hacmi dolduran agreganın ağırlığına birim ağırlık denir. Agregayı kuru iken gevşek olarak bir kaba boşaltılması ile bulunan birim ağırlığa “gevşek birim ağırlık” ve yine kuruyken hacmi belirli olan kaba üç kademede her kademeye 25 şişleme yapılarak sıkıştırıldıktan sonraki birim ağırlığa ise “sıkışık birim ağırlık” denir.

Birim ağırlığın bilinmesiyle agreganın içerisinde yer alan boşluk miktarı belirlenebilir, ayrıca özel amaçla kullanılacak agreganın uygun olup olmadığı hakkında bilgi edinebileceği gibi agreganın tane dağılımı ile kusurlu agregaların varlığı hakkında fikir vermektedir (Şimşek, 2007). Beton karışım tasarımının mutlak hacim hesabına göre yapılması durumunda birim ağırlığın bilinmesine gerek vardır (Özkul vd, 1999). Birim ağırlığa etki eden faktörler şunlardır (Şimşek, 2007);

- Agreganın tane dağılımına göre boşluk miktarı değişmektedir. Agreganın karışımındaki boşluk miktarının azalması birim ağırlığı artırmaktadır.
- Agreganın tane şekli yuvarlak, köseli, yassı veya kusurlu olabilir. Agreganın karışımındaki kusurlu tanelerin fazla miktarda olması boşluk miktarını arttırdığından birim ağırlık da düşecektir.
- Agreganın hacmi belli bir kaba yerleştirilirken sarsıntıya maruz bırakılırsa veya şişlenirse, agregalar arasındaki boşluk miktarı azalır. Bu durumda birim ağırlıkta büyük bir değer olacaktır.
- Agreganın mevcut nem durumu (tamamen kuru, hava kurusu, ıslak gibi) da birim ağırlığa etki eden faktörler arasındadır (Erdoğan, 2004).
- Birim ağırlığı fazla olan betonun dayanımı yüksek olur dolayısıyla taşıma gücü de fazla olur. Agreganın sıkışma miktarı ne kadar fazla olursa betonun basınç dayanımı ve dayanırlığı da o kadar fazla olur. Beton agregalarının birim ağırlığı $1,30-1,85 \text{ kg/dm}^3$ arasında değişmektedir (Şimşek, 2007).

1.5.2.1.2. Özgül Ağırlık

Malzemenin hacmine eşit hacimdeki damıtık suyun havadaki ağırlığı, o maddenin malzemenin su içerisine konulduğunda taşıdığı suyun ağırlığına eşittir (Erdoğan, 2004; Şimşek, 2007). Başka bir ifade ile özgül ağırlık, agreganın işgal ettiği mutlak birim hacmin ağırlığıdır (Özkul vd, 1999).

Düşük özgül ağırlık kalitesiz agregayı, yüksek özgül ağırlık ise kaliteli bir beton için kullanılabilir. Agregayı ifade eder. Betonda kullanılabilecek agregaların özgül ağırlıkları genellikle $2,2-2,9 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişmektedir (Şimşek, 2007).

Agreganın su içerikleri ve boşlukları özgül ağırlık hesaplanırken dikkate alınmalıdır. İleriki bölümlerde değinilecek olan, agregaların mevcut rutubet durumu ve su

emme kapasitelerine göre agrega taneleri, kuru, tamamen kuru, ıslak ve doymun kuru yüzeyli olabilmektedir. İlgili Türk Standardında belirtilen özgül ağırlık deneyinde agrega taneleri doymun kuru yüzeyli olarak kullanılması gerektiği bildirilmiştir (Erdoğan, 2004; TS EN 1097-6, 2013).

1.5.2.1.3. Agregaların Kompasitesi

Agreganın kompasitesinin bilinmesiyle birim hacimdeki agregaların işgal ettiği hacmin toplamı anlaşılmaktadır. Agreganın, birim ve özgül ağırlıkları bilindiğinde kompasitesini hesaplamak mümkündür. Birim ağırlık her zaman özgül ağırlıktan küçük olduğu için kompasite her zaman 1'den küçük bir değer alır (Şimşek, 2007).

Komposite özgül ve birim ağırlık cinsinden ifade edilirse;

$$\text{kompasite} = \frac{\Delta a}{\delta a} \text{ 'dır.} \quad (1.1)$$

Burada;

Δa : Birim ağırlık

δa : Özgül ağırlıktır.

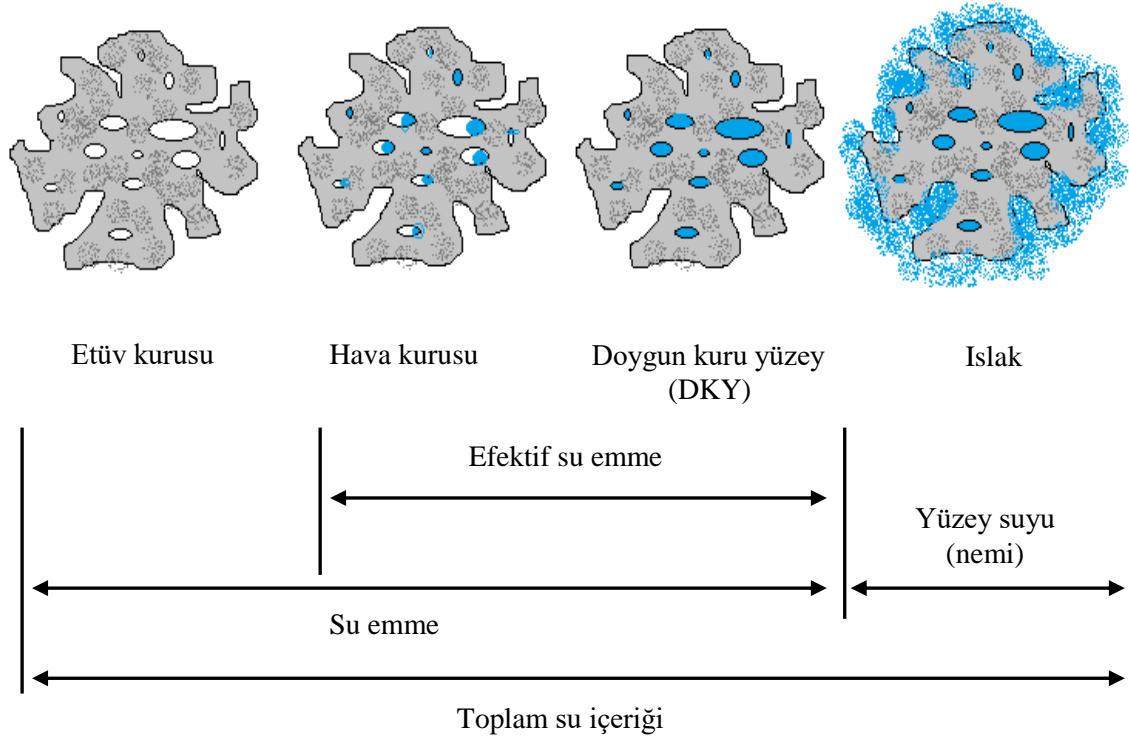
Agregaların kompasitesi küçüldükçe üretilen betonun kompasitesi ve mukavemeti de düşer. Beton kompasitesinin düşmesiyle de betonda karışımında kullanılan çimento miktarı ile karışımındaki kusurlu malzeme miktarı artar. Bu durumda taze betonun işlenebilme özelliğini etkileyerek sertleşmiş betonun dayanımının düşmesine sebebiyet verir (Şimşek, 2007).

1.5.2.1.4. Agregaların Porozitesi

Agrega tanelerinde doğal olarak bir miktar boşluk bulunabilir. Agregatanesindeki toplam boşluk hacminin agrega tanesinin toplam hacmine oranına agreganın porozitesi denilmekle birlikte bu boşluklar su emme deneyi yapılarak bulunur. İri agregalardaki porozitenin küçük olması demek tanelerin dayanımının yüksek olması demektir. Bu agregalarla üretilen betonun da mukavemetinin yüksek olması demektir (Şimşek, 2004).

1.5.2.1.5. Agregaların Nem Durumları (Rutubet)

Agrega tanelerinde, tane içerisinde hapsolmuş boşluk ve tane yüzeyindeki boşluklar olmak üzere iki tür boşluk bulunmaktadır. Agregaya yüzeyinde bulunan ayrıca agreganın içindeki boşluklarla bağlantılı olan boşluklara su kolayca girip çıkabildiğinden dolayı su geçiren boşluklar da denilmektedir. Agreganın tanesinde hapsolmuş boşluk türü ise kayacın oluşması sırasında meydana gelmiştir. Bu hapsolmuş boşluklara su kolay kolay girememektedir. Bu nedenle hapsolmuş boşluklar, su geçirmeyen boşluklar olarak da isimlendirilebilir. Agregaların ıslanma ve kuruma durumlarına göre kolayca su girebilen boşluklar tamamen kurumuş olmasının yanında tamamen ya da kısmi olarak su ile dolu olabilir. Ayrıca boşlukların tamamen su ile dolu olmasına ek olarak tane yüzeylerinde su birikmesi görülebilir (Erdoğan, 2004). Agregaların nem durumlarıyla ilgili anlatılanlar Şekil 1.3.'te verilmiştir.



Şekil 1.3. Agregaların su içeriklerine göre durumları (Arioğlu vd., 1999)

Etüv kurusu taneler: $105^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki etüvde kurutulan agreganın ağırlığıdır. Bu agreganın tanelerindeki boşluklarda hiçbir durumda su bulunmamaktadır. Bu agregalara örnek verilecek olunursa; kurak iklim şartlarındaki agregalar.

Yüzeysel kuru taneler (Hava kurusu): Agregata tanesinin yüzeyinde hiçbir şekilde su bulunmayıp içindeki boşlukların bir kısmında su bulunmaktadır.

Doygun kuru yüzeyli taneler (DKY): Tanedeki boşlukların tamamı suyla dolu olup tane yüzeyi tamamen kurudur.

Islak taneler (nemli): Agregata tanesi içindeki boşlukların tamamı su ile dolu olmasının yanında yüzeylerinde de su olması halidir. Bu durumda üretilecek betonun kusurlu olmaması agreganın ne durumu hesaba katılarak su düzeltilmesi yapılmalıdır.

Çeşitli nemlilik rejimleri için agregata su içerikleri ve özgül ağırlık tanımları Tablo 1.6.'da görüldüğü gibi formüllerle ifade edilmiştir. Ayrıca farklı türdeki kayaların su emme kapasiteleri yaklaşık olarak Tablo 1.7.'de gösterilmektedir.

Tablo 1.6. Farklı nemlilik rejimleri için agregata su içerikleri ve özgül ağırlık tanımlarının formülleri (Arioğlu Vd., 1999).

Çeşitli nemlilik rejimleri için agregata su içerikleri ve özgül ağırlık tanımlarının formülleri	
Su emme kapasitesi	$W_k = \frac{M_{dky} - M_{fk}}{M_{fk}} \times 100, \%$
Efektif su emme	$W_e = \frac{M_{dky} - M_{hk}}{M_{dky}} \times 100, \%$
Yüzey nemi	$W_y = \frac{M_1 - M_{dky}}{M_{dky}} \times 100, \%$
Su içeriği (yığında)	$W = \frac{M_a - M_{fk}}{M_{fk}} \times 100, \%$
Hacim spesifik (özgül) ağırlık(kuru)	$D_k = \frac{M_{fk}}{M_{dky} - M_{ds}} \times 100, \%$
Doygun-yüzey kuru durumda hacim spesifik ağırlık	$D_{dyk} = \frac{M_{dky}}{M_{dyk} - M_{ds}} \times 100, \%$
Görünür spesifik ağırlık (kuru)	$D_g = \frac{M_{fk}}{M_{fk} - M_{ds}} \times 100, \%$
M_{fk} : Etüv kuru agregata ağırlığı M_{hk} : Kuru yüzeyli agregata ağırlığı M_{dky} : Doymuş kuru yüzeyli agregata ağırlığı $M_{1,a}$: Islak yüzeyli agregata ağırlığı	

Tablo 1.7. Değişik türdeki kayaların su emme kapasiteleri (Erdoğan, 2004).

Kayaçlar	Su Emme Kapasitesi, %
Genel olarak betonda kullanılan kum	0-2
Genel olarak çakıl, kırılmış kalker	0,5-1,5
Granit, bazalt	0-0,5
Kumtaşı	2-7
Gözenekli ve çok hafif malzeme	25'e kadar

1.5.2.1.6. Agregaların Donma – Çözülme Etkilerine Karşı Dayanıklılığı:

Agreganın donma - çözülme etkilerine karşı dayanıklılığı agreganın boşluk oranına, geçirimsizliğine, suya doygunluk derecesine ve basınç dayanımına bağlıdır. Agregada içerisindeki boşluklarda mevcut olan suyun donması ile genleşme meydana gelir. Genleşme ile agregada çatlama ve ayrışmalar yaşanır. Bundan dolayı agreganın donma-çözülme etkilerine karşı dayanıklı olması gerekmektedir (Muratoğlu, 2006).

1.5.2.2. Agregaların Mekanik Özellikleri

Betonda kullanılacak agregaların sağlam ve sert yapıda olmasının yanında aşınmayan ve kolayca kırılmayan özellikte olması gerekmektedir. Betonların kullanım alanları değişkenlik gösterdiğinden agregaların mekanik özellikleri de önem arz etmektedir. Örneğin; yollar ve havaalanı meydanları gibi yapılarda kullanılan betonların yüzeyleri sürekli olarak aşınma ve çarpma etkisi altında olduğundan dolayı bu betonlarda kullanılan agregalarının aşınmaya karşı dayanıklı olması istenmektedir. Bu nedenle özel amaçla üretilen betonların yapımında kullanılan agregaların mekanik özelliklerinin belirlenerek uygun beton karışımları yapılmalıdır. Agregalarda belirlenmesi gereken mekanik özellikler ise; agregaların aşınmaya karşı dayanıklılığı, agregaların çarpmaya karşı dayanıklılığı, agregaların basınç mukavemeti ile agregalarda yüzey şekli ve biçimidir (Erdoğan, 2004; Şimşek 2007).

1.5.2.3. Agregalarda Zararlı Madde ve Taneler

Agregalarda bulunabilecek zararlı madde ve taneler, betonun katı bir hal almasına yani prizine olumsuz yönde etki eden, betonun basınç dayanımını düşüren, parçalanmasına sebebiyet veren veya donatının korozyona uğramasına neden olmaktadır. Agregalarda bulunabilecek zararlı unsurlar; organik maddeler, yıkanabilir maddeler, klorürler gibi korozyona sebep olan maddeler, şişerek hacmi artıran maddeler, bazı kükürtlü bileşikler, mikalar ve alkali reaksiyonuna neden olan aktif silislerdir (TS 706 EN 12620+A1, 2009).

1.5.2.3.1. Agregalarda Organik Maddelerin Bulunması Durumu

Agregaların organik maddeler içermemesi gerekir. Eser miktarlarda dahi olsa, agregaya karışan humuslu toprak, bitki ve hayvan kalıntıları, akaryakıt ve diğer organik kökenli maddeler çimento hidratasyonunu geciktirerek, hatta engelleyerek, sonuçta betonun katılaşmasını çok yavaşlatır veya durdurur (Çavuşoğlu, 2005; Manzak vd., 1996).

Beton içerisinde ince bir şekilde dağılmış olan humuslu veya diğer organik maddeler betonun prizine zarar verebilirler. İnce halleri dışında bir araya toplanmış şekilde bulunmaları durumunda ise betonda renk değişimine neden olabilirler. Ayrıca bu taneler şişerek beton yüzeyinde bozulmalara neden olabilir. İnce olarak dağılmış organik maddeleri belirlemek için ise agregalar sodyum hidroksitle muayenesine tabi tutulurlar (706 EN 12620+A1, 2009; TS EN 1744-1+A1, 2017) Sodyum hidroksitle yapılan deneyde sıvı renginin durumuna göre agrega organik madde durumu Tablo 1.8.'de verilmiştir.

Tablo 1.8. Agregada organik madde referans renkleri (TS EN 1744-1+A1, 2017).

Eriyik Rengi	Organik Madde	Agreganın Kullanımı
Renksiz veya çok açık sarı	Hiç yok veya çok az var	Kaliteli beton üretiminde kullanılabilir.
Safran sarısı	Az miktarda var	Normal işler için uygun
Belirgin kırmızı	Var	Önemsiz işlerde kullanılabilir
Belirgin kahverengi	Çok var	Kullanılmaz

1.5.2.3.2. Alkali-Agrega Reaksiyonuna Sebep Olan Maddeler

Alkaliler; alkali metallerin tuzları olmakla birlikte betonda Na_2O ve K_2O olarak bulunan bileşiklerdir. Alkali agrega reaksiyonu, agregada var olan bazı minerallerin portland çimentosunda bulunan alkali oksitleri ile reaksiyona girerek alkali silikatları oluşturması olarak tanımlanmaktadır. Alkali-agrega reaksiyonları; Alkali- Karbonat Reaksiyonu, Alkali-Silis Reaksiyonu (ASR) ve Alkali-Silikat Reaksiyonudur (Şimşek, 2007; Çakır, 2007).

1.5.2.3.3. Agregalarda Sağlam Olmayan (Hafif) Maddelerin Bulunması

Mineral kökenli agrega tanelerinin yoğunluğu, doğal agregalarda bulunabilecek kömür veya şişme özelliği gösteren organik maddelerin yoğunluğunda genellikle daha yüksektir. Bu maddelerin miktarı ağırlıkça %5'ten fazla olmamalıdır Bu maddeler elle toplama yoluyla veya bunun yeterli olmadığı durumlarda $2,0 \text{ gr/cm}^3$ yoğunluklu sıvı ortamında yüzdürülerek ayıklanmaktadır. Sağlam olmayan bu maddelerin beton içerisinde aşırı miktarda olması durumunda betonun dayanım kayıplarına neden olmaktadır. Bununla birlikte betonun yüzeyine yakın ya da yüzeyinde bulunması durumunda ise beton yüzeyinde lekelenmelere ve patlamalara neden olmaktadır (Şimşek, 2007; TS 706 EN 12620+A1, 2009).

TS 3528, (2011)'e göre yapılan hafif madde tayininde sağlam olmayan agrega elemanları ve oranları Tablo 1.9.'da verilmiştir.

Tablo 1.9. Sağlam olmayan agrega elemanları ve oranları (TS 3528, 2011).

Yumuşak eleman cinsi	İzin verilen yumuşak eleman yüzdeleri	
	Kumlarda	İri Agregalarda
Kil toprakları	1,0	0,25
Kömür ve linyit	1,0	1,00
Yumuşak taneler	-	5,00
Çakmak taşı	-	2,00

1.5.2.3.4. Sülfatların Varlığı

Sülfatların agregalar içindeki varlığında çimento ile reaksiyona girerek sülfat alüminat denilen hacim genişlemesine uğrayan bir tuzun oluşmasına neden olur. Zaman içerisinde büyüyen tuz kristallerinin etkisiyle betonda parçalanmalar görülebilir. Bu nedenle agregalardaki sülfat (SO_3) miktarının, ağırlıkça % 1'den fazla olmamasına özen gösterilmelidir (Şimşek, 2007).

1.5.2.3.5. Agregalarda Kil ve Silt Gibi İnce Maddelerin Bulunması

Boyutu 63 mikrondan küçük olan maddeler ince madde olarak adlandırılır. Bu maddeler genellikle silt, kil ve fillerdir. TS EN 933-10, (2010)'a göre 0,05-0,005 mm arası silt, <0,005 mm olan malzemeler ise kil olarak adlandırılırlar.

Bu ince maddeler betonda kullanılan agrega ile çimento hamuru arasına girerek aderansı düşürür, hidrasyonu ve prizi geciktirir. Agreganın özgül yüzey miktarını artırmasına bağlı olarak da yani su/çimento oranı büyür. Böylelikle dayanım yönünden zayıf bir beton elde edilir. Silt ve kilin su emme oranlarının fazla olmasından kaynaklı olarak betonda büzülmeyle ilgili olan çekme gerilmeleri meydana gelir. Tüm bu nedenlerden dolayı mümkün olduğunca az miktarda olmaları sağlanmalıdır.

İnce agrega olan kırma kumlardaki çok ince malzeme miktarı, kumun 0,063 mm'lik elekten ykanması ile bulunur. Bulunan sonuçlardan kirlilik olarak bahsedilmesine rağmen yıkanan malzeme içinde kil, silt ile birlikte filler malzeme de bulunabilmektedir. Bu nedenle ince madde miktarından yola çıkılarak kırma kumun temizliği konusunda bilgi sahibi olunamaz. Yalnızca fiziksel bir tanımlama yapmamıza yardımcı olur. Kırma kumların kalitesinin belirlenmesinde TS EN 933-9 Metilen Mavisini veya TS EN 933-8 Kum Eşdeğerliği deneyleri kullanılmaktadır. Yine bu sonuçlar çok belirleyici olmamakla birlikte 0,063 mm elek altı çok ince malzeme içerisindeki kil, silt hakkında yorum yapmamızı ışık tutmaktadır (Özbebek ve Açık, 2012).

1.5.2.4. Agregaların Granülometrisi (Tane Dağılımı)

Agrega yığını içerisindeki tane büyüklüklerinin dağılımına granülometri denir. Agreganın karışımındaki tanelerin değişik boyutlarda olması, sabit bir hacim içerisinde yer

alan agregalar arasında daha az boşluk olmasına yol açar. Betonda iri agrega miktarının çok olması işlenebilme özelliğinin azalmasına ve boşluklu olmasına sebep olur. Boşluk oranı az olan ve çimento dozajı iyi ayarlanmış bir betonun dayanımı yüksek olur (Muratoğlu, 2006). Beton karışımında kullanılacak agrega karışımının granülometrisi Tablo 1.10.'da verilen işlevleri görmektedir.

Tablo 1.10. Beton karışımında kullanılacak agrega karışımının granülometrisinin işlevleri (Postacıoğlu, 1987; Arıoğlu vd., 1999; Şimşek,2007).

İşlevi	Açıklama
Maksimum kapasite (doluluk) sağlamak	Agrega karışımındaki boşluklar en aza indirilerek en yüksek doluluk oranı sağlanır. Böylelikle çimento hamuru miktarı azaltılmış olur.
En az su miktarı ile en iyi yerleştirilebilecek kıvamı sağlamak	Agreganın özgül yüzey alanının küçülmesine bağlı olarak bu yüzeylerin ıslatılması için daha az su ile agregaları bağlamak için ise daha az çimento harcına ihtiyaç duyulacaktır.
Taze betonda segragasyonu önlemek ve yapışkanlığı sağlamak	Eğer agrega karışımı içinde bulunan en küçük tane boyutu çok fazla olursa taneler arası boşlukların boyutu da oldukça büyük olur. Böylelikle çimento hamurunun bir kısmı kolayca bu boşluklardan geçerek esas beton karışımından ayrılabilir. Ayrışmayı önlemek için agrega karışımında ince boyutlu taneleri bulunması taze beton karışımına kohezyon özelliği kazandırır.
Taze betonun kalıplara ve donatıların arasına iyi ve kolay yerleşmesini sağlamak	Agrega karışımında kullanılan en büyük tane boyutuyla ilgilidir. Agreganın en büyük boyutu ise beton karışımının kalıplara ve donatıların arasına girmesini zorlaştıracak kadar büyük olamaz.
Taze betonda terlemenin azalmasını sağlamak	Agrega içinde yeteri kadar bulunacak ince taneler suyu yüzeylerinde tutarak terlemeyi engeller.

Agregaların tane dağılımı ile beton karışım elemanları ve betonun fiziksel özellikleri arasındaki ilişkiler (Şimşek, 2004);

Tane dağılımı ile su miktarı arasındaki bağıntı: Agreganın granülometrisi, taze betonda, işlenebilme özelliğinden, arzu edilen kıvamda beton üretebilmek için gerekli karma suyu miktarını da etkiler. Karma suyunun etkilenmesi nedeniyle su/çimento oranını etkilenir ve dolayısıyla betonun bilinen bütün özellikleri, beton dayanım ve dayanıklılığı en başta olmak üzere doğrudan etkilenir. Betonda kullanılan karma suyu öncelikle

çimentonun hidratasyonunu sağlar, sonra agrega tanelerini ıslatır ve taze betonun kalıba yerleştirilmesini kolaylaştırır. Su/çimento oranının artması sonucu beton içerisinde boşluklu yapı meydana gelerek betonda terlemenin artmasına ve agrega-çimento hamuru ara yüzeyindeki porozitenin büyümesine neden olur.

Granülometri bileşimi ile karışımın kompasitesi arasındaki bağıntı; agreganın kompasitesi granülometrik bileşimi değiştirmektedir. Karışımında bulunan aynı boyuttaki tanelerin miktarının fazlaşması kompasiteyi azaltmaktadır. Orta boyuttaki kum miktarının artması genellikle kompasiteyi azaltmaktadır. Agregaların kompasitesini etkileyen en önemli faktör tanelerin şeklidir. Yuvarlak taneler içeren karışımların kompasitesi, köşeli taneler içeren karışımların kompasitelerinden fazladır.

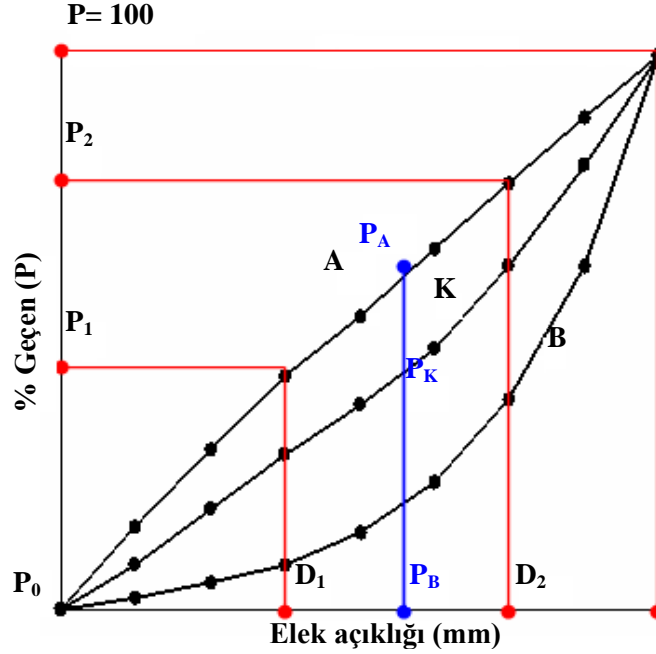
1.5.2.4.1. Granülometri Eğrileri (Elek Analizi)

Beton yapımında kullanılacak agrega karışımının içerdiği belirli boyutlardaki tanelerin dağılımı gösteren eğrilere granülometri eğrisi denilmektedir. Granülometri eğrisi ise TS 706 EN 12620+A1, (2009)'a göre elek analizi deneyi ile belirlenir.

Karışık agregaların granülometri eğrileri, sürekli ve kesik olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Sürekli granülometri eğrisinde agrega karışımı (iri + ince agrega) içinde en inceden en iri taneye kadar tüm tane grupları bulunur. Buna karşın, kesikli granülometri eğrisinde adından da anlaşılacağı üzere bazı tane grupları eksiktir (Arioğlu vd., 1999). Bir agreganın granülometri eğrisi aşağıda verilen özellikleri (Şekil 1.4.) gösterir (Postacıoğlu, 1987; Özkul vd., 1999; Arioğlu vd., 1999; TS 706 EN 12620+A1, 2009).

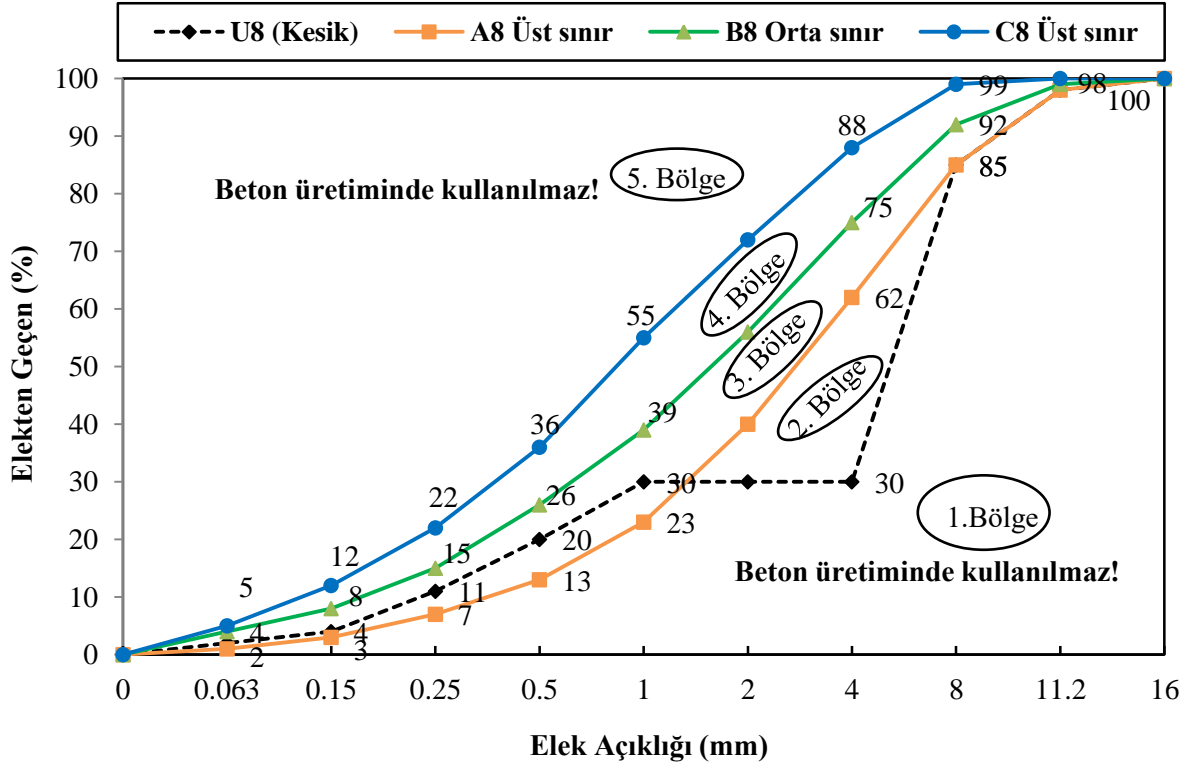
Granülometri eğrisi artan bir eğridir, sınır durumunda ancak yatay doğru parçaları olabilir. Ordinatları 0–100(%) arasında değişir. Eğrinin %100 (P=100) çizgisine yakın olması, karışımın ince olduğunu, %0 (P=0) çizgisine yakın olması agreganın iri olduğunu gösterir. Rasgele alınan bir p noktasının bulunduğu eğrinin geçen agrega yüzdesini ve elek açıklığını verir. Eğri tüm elek bölgesinde mevcuttur, eğrinin %100 veya %0 çizgisi ile çakışması, o bölgede bulunmadığı anlamına gelmez. $D_2 > D_1$ olmak üzere $D_2 - D_1$ farkının toplama oranının yüzdesi, $P_2 - P_1$ farkına eşit olacaktır. Granülometri eğrileri birbirinden farklı olan A ve B ile yapılan karışımın granülometri eğrisi A ve B eğrileri arasında kalan K eğrisidir. Birbirini izleyen iki elek numarasına karşı gelen % ordinatları farkı, agrega yığnında o iki elek arasında kalan malzeme %' sini verir. Eğer eğride yatay bir çizgi varsa,

bu yatay çizgiye karşı gelen elekler arasında tane boyu tane yok demektir. Bu tür granülometriye sahip olan agregalara “kesikli” granülometrilik agregalar denir.

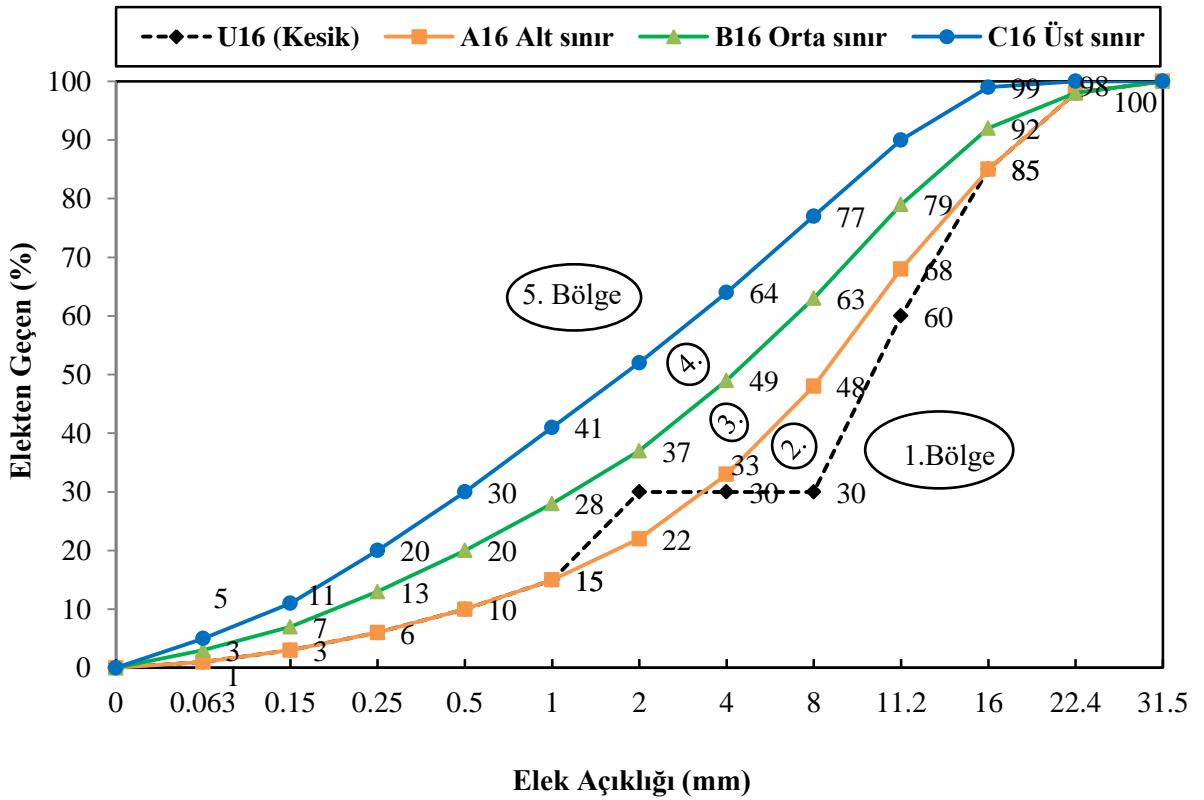


Şekil 1.4. Granülometri eğrilerinin özellikleri

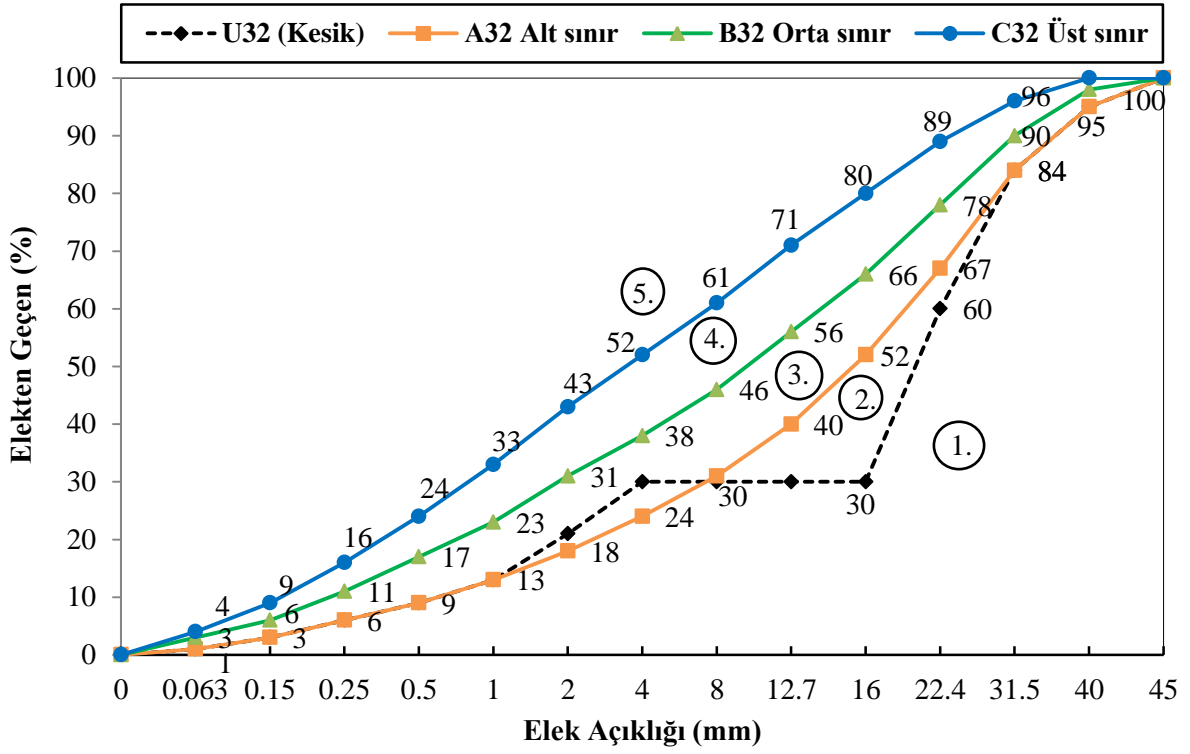
Beton agregalarında kullanılacak karışım agregasının granülometrisinin, TS 706 EN 12620+A1, (2009)'da belirtilen maksimum tane boyutuna bağlı olarak kabul edilen referans eğrileri ve bunlar arasında kalan ideal bölgeler içinde olması gerekmektedir. Aşağıda verilen Şekil 1.5.-1.6.-1.7.'de betonda kullanılacak agregaların maksimum tane boyutlarındaki ideal bölgeler gösterilmektedir. Şekillere bakıldığında A-B eğrileri arasındaki bölge 3.bölge beton üretiminde kullanılacak karışım agregası için en iyi, yani uygun bölgedir. B-C eğrileri arası ise 4.bölge olup kullanılabilir bölgedir. A ve C eğrileri dışında kalan 1 ve 5. bölgeler düşen granülometri eğrilerine sahip agregalar, kesinlikle beton üretiminde kullanılmamalıdır. Kesikli granülometri eğrileri süreksiz tane dağılımını gösterirler. Orta büyüklükte taneleri içermeyen kesikli granülometri eğrileri, alt sınırı oluşturan U eğrisi ile A eğrisi arasında bulunmalıdır. En büyük tane boyutu 32 mm'ye kadar olan kesikli granülometrilik hazır karışık agrega, C25'ten küçük olan betonlar için kullanılabilir. Agreganın en büyük tane boyutu en dar kesitin kalıp genişliğinin 1/5'inden, döşeme derinliğinin 1/3'den, donatılı betonda en küçük donatı aralığının 3/4'ünden küçük seçilmelidir (Özkul vd., 1999; TS 706 EN 12620, 2009; TS EN 933, 2012; TS 802, 2016).



Şekil 1.5. En büyük tane büyüklüğü 8 mm olan karışık agrega granülometri eğrileri



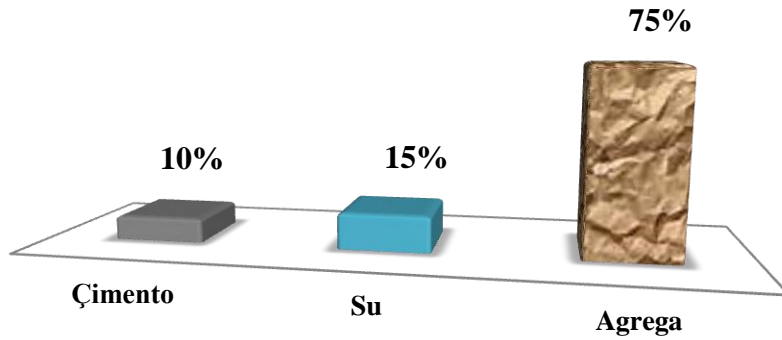
Şekil 1.6. En büyük tane büyüklüğü 16 mm olan karışık agrega granülometri eğrileri.



Şekil 1.7. En büyük tane büyüklüğü 32 mm olan karışık agrega granülometri eğrileri

1.6. Beton

Beton; agrega, çimento ve sudan oluşmaktadır. Bu karışıma gerektiğinde karışımda kullanılan çimento miktarının %2'sine kadar kimyasal katkıları ilave edilebilmektedir. Beton ilk başta akıcı bir kıvamdadır. Akıcı kıvamdaki taze betona şekil verilebilmekle birlikte zaman içerisinde katı bir hal alıp sertleşerek dayanım kazanmaktadır. Şekil 1.8.'de verildiği üzere normal bir beton hacminin yaklaşık %75-80'i agrega, %10'u çimento ve %15'i sudan oluşmaktadır (URL-1, 2019).



Şekil 1.8. Betonu oluşturan malzemeler ve oranları

1.6.1. Betonun Oluşturulan Malzemeler

1.6.1.1. Çimento

Öğütülmüş kalker ile kil gibi hammaddelerin belirli oranlarda karıştırılarak fırınlarda pişirilmesiyle elde edilen klinkerin, tras gibi katkılarla karıştırılıp öğütülmesiyle elde edilen hidrolik bağlayıcıya “çimento” adı verilmektedir. Çimento, içerisine su katıldığında su ile tepkimeye girerek akıcı veya plastik kıvam alan ve zamanla kuruyup sertleşerek katılaştıran toz halindeki bir malzemedir (DPT, 2001; URL-1, 2019).

Çimento katkıları olarak üretimi aşamasında, klinker ve alçı taşına ek olarak çimento tiplerine göre bir veya birden fazla tras, uçucu kül, yüksek fırın cürufu gibi puzolanik özellik veren katkıları katılır. Çimento, beton hacminin yaklaşık %10’nu gibi küçük bir kısmını işgal etmesine rağmen beton açısından çok önem arz etmektedir. Günümüzde en fazla kullanılan çimento tipleri ise portland çimento, yüksek fırın cürufu çimento, tras katkıları çimento ve sülfata dayanıklı çimentolardır. Bu çimentoların dışında özel amaçlara yönelik olarak kullanılan beyaz portland çimentosu gibi çimentolar kullanılmaktadır. Çimentolar, TS EN 197-1’in gerekliliklerini yerine getirmelidir (Usta, 2005; URL-2, 2019).

1.6.1.2. Agregalar

Beton hacminin yaklaşık % 80’ine kadar kullanılabilen doğal ya da suni yollardan temin edilebilen çakıl, kum ve mıcır gibi malzemelere “agrega” denir. Mineral kökenli olan agregalar, yüksek fırın cürufu ve perlit gibi yapay, çakıl ve mıcır gibi doğal olarak ayrılmaktadır (Arioğlu 1999; Çavuşoğlu, 2005; Şimşek 2007; URL-1, 2019).

Betonda hacim olarak en büyük orana sahip olan agrega, taze ve sertleşmiş betonun kalitesi üzerinde önemli rol oynamaktadır. Çimentoya göre maliyeti oldukça düşük olan ve genellikle dolgu malzemesi olarak kullanılan agrega, sertleşen betonun hacim değişikliğini kontrol altına alarak azaltmaktadır. Agregalar, sertleşen betonun çevresel etkilere karşı dayanıklılığını, aşınma etkilerine karşı dayanımını artırmakta ve kendi dayanımının da yüksek olması nedeniyle betonun taşımakta olduğu yüklere karşı gerekli dayanımı sağlayabilmektedir (Çağlayan, 1999).

1.6.1.3. Beton Karma Suyu

Su, betonu oluşturan ana malzemelerden biridir. Betonun oluşturulması sırasında kullanılan karışım suyunun önemli iki görevi vardır. İlk görevi, agrega ile çimento tanelerinin yüzeyini ıslatıp kayganlaştırıcı etki yaparak betonun kolayca karıştırılabilmesini, taze betonun yerleştirilmesini, sıkıştırılabilmesini, yani işlenebilirliği sağlamaktır. İkinci görevi ise toz durumundaki çimento tanelerine bağlanarak oluşan çimento harcında “hidratasyon” denilen kimyasal reaksiyonları sağlamaktır. Karışım suyu betonda zarara neden olabilecek tuz, asit, yağ, şeker, lağım ve endüstriyel atık içermeyen her türlü sudan elde edilebilmektedir. Betonda kullanılan sular, TS EN 1008: 2003’ün gerekliliklerini yerine getirmelidir (Kafalı, 2004; URL–1, 2019).

1.6.1.4. Kimyasal Katkılar

Betonun bazı özelliklerini iyileştirerek teknik olarak iyi beton elde edilebilmesi adına beton karışımındaki çimento miktarının %2’sine kadar olan oranlarda kullanılabilen kökeni organik veya inorganik olan kimyasallara “katkı maddesi” denilmektedir. Bu katkı maddeleri genellikle beton karışım suyuna katılır. Beton karışımında fazladan katkı kullanılması sertleşen beton üzerinde olumsuz sonuçlara neden olmakla birlikte kullanılması gereken miktardan daha az kullanıldığında ise betona hiçbir katkısı olmamaktadır. Betonların katkı maddeleri ile olan uyumları deneme üretimi olan betonlarla tespit edilmelidir (Usta, 2005; URL–1, 2019). Beton üretiminde kullanılan kimyasal katkı maddeler ve özellikleri Tablo 1.11.’de verilmiştir.

1.6.1.5. Mineral Katkılar

Betonun bazı özelliklerini iyileştirerek teknik olarak iyi beton elde edilebilmesi adına kullanılan ince malzemelere “mineral katkı” denilmektedir. Bu katkıların betonun dayanımını artırma özelliğinin yanında, betonun dayanırlığını (durabilite) da arttırmaları. Mineral katkıları fiziksel, kimyasal ve elektro-kimyasal çevresel etkenlere karşı ömrü uzun beton yapılarının üretimi amacıyla portland çimentosu veya bu çimentonun klinkeri ile birlikte kullanılmaktadır. Ülkemizde yaygın kullanımı olan mineral katkı çeşitleri; silis dumanı, tras, öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve uçucu küldür (URL–1, 2019).

Tablo 1.11. Beton üretiminde kullanılan kimyasal katkı maddeler ve özellikleri (Usta, 2005; URL-1, 2019; URL-2, 2019).

Kimyasal Katkılar	Özellikleri
Su azaltıcı akışkanlaştırıcı	Bu tip katkılar çimento miktarının % 0.7 – % 1.5 arası oranlarda kullanılır. Betonda kıvamın daha az miktarda su ile elde edilmesini sağlarlar. Beton karışımındaki su azaldıkça betonun mukavemeti artar. Azalttığı su miktarına göre; normal, süper ve hiper olarak isimler alırlar.
Süper akışkanlaştırıcı	Yüksek dayanımlı betonların elde edilmesi için kullanılırlar. Bunlarla karışımın su/çimento oranını 0.25'e kadar düşürmek mümkündür. Bu katkılar normal akışkanlaştırıcılara göre %1 ile %3 gibi yüksek dozajlarda kullanılır.
Priz süresini değiştiren	Taze betondaki sertleşme sürecine priz adı verilmektedir. Bu sürecin bazı durumlarda hızlandırılması ya da geciktirilmesi gerekir. Örneğin, sıcak iklim koşullarında uzun taşıma mesafelerinde geciktiriciler, soğuk iklim koşullarında ise hızlandırıcılar kullanılmaktadır.
Hava sürükleyici	Bu katkılar betonun işlenebilirliğini artırmakla beraber soğuk iklim koşullarında donma-çözülme etkilerine karşı betonu korur.
Antifrizler	Kullanım miktarları hava sıcaklık derecesine göre ayarlanmakla birlikte suyun donma derecesini düşürerek çimentonun don nedeniyle mukavemet kazanmasında problem yaşanmaması için kullanılır.
Diğer	Aderansı artıran, rötreyi (büzülme) önleyen, betonu renklendiren, su tutan, su geçirimsizlik gibi farklı katkı maddeleri vardır.

1.6.2. Betonun Özellikleri

Betonun özelliklerini, taze ve sertleşmiş betonların özellikleri olarak ikiye ayırmak mümkündür. İyi bir betona ait özellikler aşağıdaki Tablo 1.12.'de verilmiştir.

Tablo 1.12. İyi betonun özellikleri ve betonu etkileyen faktörler (Şimşek, 2007).

İyi Beton İçin				
1- Kaliteli Malzeme		2- Uygun taşıma, yerleştirme ve kür		3- İyi Seçilmiş Oranlar
Dayanıklılık			Ekonomi	Mukavemet
Dış etkilere karşı dayanım	Zararlı kimyasallara karşı dayanım	Hava etkilerine dayanıklılık Isı, ıslanma-kuruma, donma-çözülme	Malzemenin yararlı kullanımı	İyi kalitede harç
Düşük s/ç oranı	Düşük s/ç oranı	Düşük s/ç oranı	Yararlı çalışma	İyi kalitede agrega
Dayanım	Homojen beton	Az su içeriği	Kolay kullanma	Boşluksuz beton
Az su	Az su	Homojen beton		
Yeterli kür	Uygun çimento	İyi granülometri		
Yüksek mukavemet	Atık agrega	Uygun çimento		
	Uygun puzolan	Düşük kum yüzdesi		
	Optimum hava	İşlenebilir karışım		
		İyi taşıma		
		Vibrasyon		
		İyi karıştırma		
		Yeterli kür		
		Uygun ısı		
Uygun agrega				
Optimum hava karışımı				
Su geçirmez	Az hacim değişimi		İyi katkı	

1.6.2.1. Taze Beton Özellikleri

Taze beton, beton karışımının oluşturulduğu andan betonun sertleştiği ana kadar olan durumuna, yani betonun şekil verilebilir süre içerisindeki durumuna denilmektedir.

- Taze betonda segregasyon (ayrışma); betonun içindeki iri agregaların bir bölgede, ince agregaların ve çimento hamurunun bir başka bölgede kümeleşmiş olması şeklinde ortaya çıkmaktadır. Segregasyon, malzemelerin karılması, betonun taşınması, yerine yerleştirilmesi veya sıkıştırılması esnasında yer alabilmektedir (Erdoğan, 2004).

- İşlenebilirlik; taze betonun kolayca karıştırılabilmesi, ayrışmaya uğramadan nakledilebilmesi, kolayca pompalanması, sıkıştırılabilirliği, kalıba kolayca yerleştirilebilmesi ve beton yüzeyine düzgün bir hal verilebilmesi kavramları betonun işlenebilirlik durumunu gösterdiğinden dolayı tüm bu özellikler “işlenebilme” adı altında toplanmaktadır. Betonda işlenebilme özelliği bağıl bir özelliktir. Bu özellik taze beton için en önemli özelliklerden olup yeteri kadar işlenebilme özelliği olmayan taze betonlar sertleştiğinde gereken dayanımı ve dayanıklılığı göstermez (URL–3, 2019).

- Kıvam; taze betonda içerisindeki suyun derecesini belirtmektedir. Kıvam durumuna göre taze betonlar; plastik, akıcı, kuru (nemli toprak görünümde) olarak sınıflandırılırlar (Erdoğan, 2004).

Taze betonun kıvamın oluşmasında karışıma eklenen su miktarının yanında betonda hacim olarak en büyük orana sahip agregaların tane şekli, tane boyutu, tanelerin yüzey pürüzlülüğü etkili olmaktadır. Dolayısıyla agreganın bu özellikleri betonda işlenebilmeyi de etkilemektedir. Yuvarlak ve tane dağılımı düzgün agreganın karışım suyu ihtiyacı köşeli ve tane dağılımı iyi olmayan agregadan daha azdır. Agreganın yanında çimentonun karakteristik özellikleri ve miktarının da etkisi vardır (Şimşek, 2007).

Taze betonun kıvamını ölçmek ve böylelikle işlenebilme hakkında bilgi edinebilmek için TS EN 12350–2, 20010’da belirtilen çökme ve kıvam deneyi yapılır. Beton standardı olan TS EN 206-1 (2014)’te, Tablo 1.13.’te verilen beş kıvam sınıfı bulunmaktadır. S1, S2, S3, S4 ve S5 olarak belirtilen bu kıvamlar çökme (slump) deneyi ile bulunmaktadır. Kıvam, betonun nakliye süresi ve sıcaklığına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Şöyle ki, nakliye süresi uzadıkça ve hava sıcaklığı arttıkça betonun üretildiği ekipmanlardan döküm yerine olan aralıkta kıvam kaybı artmaktadır. Oluşan bu kıvam kaybının su verilmek suretiyle önlenmesi betonun dayanımını olumsuz yönde etkilemektedir. TS EN 206 (2014)’te, yayılma ve sıkıştırılabilirlik sınıfları da kıvam tayini için kullanılabilir (URL–4, 2019).

Tablo 1.13. TS EN 206-1, (2014)'e göre kıvam sınıfları (URL–4, 2019).

Çökme Sınıfları		Yayılma Sınıfları		Sıkıştırılabilme Sınıfları		Vebe Sınıfları	
Sınıf	Slump (Çökme) mm	Sınıf	Yayılma Çapı mm	Sınıf	Sıkıştırılabilme Derecesi	Sınıf	Vebe Süresi Saniye
S1	10-40	F1	≤ 340	C0	≥ 1,46	V0	≥ 31
S2	50-90	F2	350-410	C1	1,45-1,26	V1	30-21
S3	100-150	F3	420-480	C2	1,25-1,11	V2	20-11
S4	160-210	F4	490-550	C3	1,10-1,11	V3	10-6
S5	≥220	F5	560-620			V4	5-3
		F5	≥ 630				

TS EN 12350–2, (2010)'a göre Vebe deneyi, taze beton kıvamını belirlenmesi için Vebe süresinin belirlenmesi yoluyla bulunur. Bu deney, tane büyüklüğü >63 mm olan agregaları içeren betonlara uygulanmaz. Vebe süresi beş saniyeden daha az olan ve 30 saniyeden daha fazla olan betonların kıvamı Vebe deneyi için uygun değildir. Taze beton, çökme hunisinin içerisine sıkıştırılmak suretiyle doldurulur. Kalıp yavaşça yukarı doğru çekilir ve taze beton serbest bırakılır. Saydam bir disk betonun üzerine betona temas edinceye kadar indirilerek betonun çökmesi kaydedilir. Titreşim masası çalıştırılır ve saydam diskin alt yüzeyinin çimento şerbetiyle temas etmesi için geçen süre Vebe süresi olarak ölçülür (URL–5, 2019).

- Terleme; taze beton yerine yerleştirildikten hemen sonra agregaların yerçekiminin etkisiyle aşağı doğru, suyun ise beton üst yüzeyine doğru hareket etme eğilimindedir. Taze betonun üst yüzeyine kadar ulaşabilen bir miktar su beton üzerinde çok sığ su birikintisi yaparak buharlaşabilmekte, bazen de direkt olarak buharlaşmaktadır. Betonun üst yüzeyine ulaşamayan bir miktar su ise yüzeyin hemen altında toplanır ve toplandığı bölgenin su/çimento oranını yükselterek dayanımının düşmesine neden olmaktadır. Taze betonda suyun beton yüzeyine çıkma eğiliminde olmasına “terleme” denilmektedir. Terleme su ile taneler arasında ayrışma olarak sayılabilir (URL–3, 2019).

- Birim Ağırlık: Taze betonunun birim ağırlığı, 1 birim hacim içerisinde bulunan taze betonun ağırlığıdır. Betonun birim ağırlığı, genellikle kg /m³ olarak ifade edilir.

Betonu oluşturan malzemelerin özelliklerine, betondaki boşlukların miktarına ve beton karışım tasarımına göre taze betonun birim ağırlığı değişmektedir. Yoğunluğu yüksek olan agregalardan yapılan betonun birim ağırlığı da yüksek olur. Diğer yandan içerisinde fazla hava boşluğu bulunan betonunun birim ağırlığı da düşük olmaktadır (URL-3, 2019).

Taze betonun birim ağırlığının ölçülmesi TS EN 12350-6, (2010)'a göre, taze beton birim ağırlığı = betonun ağırlığı / kabın hacmi, ilişkisine göre hesaplanmaktadır.

TS EN 206, (2014)'e göre beton üç sınıfa ayrılmıştır:

- Etüv kurusu durumdaki yoğunluğu, $800 \text{ kg/m}^3 < \text{Hafif beton} < 2000 \text{ kg/m}^3$
Hafif beton karışımında hafifi agrega seçilerek oluşturulur.
- Etüv kurusu durumdaki yoğunluğu, $2000 \text{ kg/m}^3 < \text{Normal beton} < 2600 \text{ kg/m}^3$
- Etüv kurusu durumdaki yoğunluğu, Ağır beton $> 2600 \text{ kg/m}^3$

1.6.2.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri

Sertleşmiş beton şu özellikleri göstermelidir (Erdoğan, 2004);

- 7, 28 ve üstündeki diğer günler için, hedef dayanımdan daha az bir dayanıma sahip olmamalıdır.
- Çevresel etkenlere karşı dayanıklı olmalıdır.
- Betona zarar verebilecek çevre sularından etkilenmemesi için, yeterince su geçirimsiz olmalıdır.
- Hacminde değişimlere neden olabilecek; büzülme, sünme veya genleşme gibi durumları göstermemelidir.

1.6.2.2.1. Dayanım

Betonun dayanımı, betonun üzerindeki yükler nedeniyle şekil değiştirmeye ve kırılmaya karşı olarak gösterdiği en büyük direnme kuvvetine denir. Beton üzerine farklı yönlerden uygulanan yükler neticesinde betonda değişik etkiler yapabilmektedir. Basınç yükü altında gösterdiği dirence “basınç dayanımı”; çekme yükü altında gösterdiği mukavemete “çekme dayanımı”; eğilme ve kayma etkisi altında şekil değiştirmeye ve kırılmaya karşı göstermiş olduğu mukavemete ise “betonun çekme ve eğilme dayanımı” denilmektedir. Tekrarlı yüklerin etkisiyle betonun kırılma ve şekil değiştirmeye karşı

gösterdiği mukavemete de “yorulma dayanımı” denir. Yapı tasarımlarında genellikle basınç dayanım özelliği kullanılır. Basınç dayanımı kg/cm^2 veya N/mm^2 (MPa) birimi ile ifade edilir (URL-3, 2019). Basınç dayanımı = maksimum yük miktarı / numunenin kesit alanıdır.

Betonun mekanik dayanımları arasında değeri en fazla olanı basınç dayanımıdır ve beton kalitesinin önemli bir ölçütüdür. Beton çoğunlukla bu özelliğinden yararlanılarak yapılarda basınç gerilmeleri etkisinde bırakılarak kullanılır. Ancak bazı uygulamalarda örneğin su yapıları ve yol kaplamalarında beton, basınç gerilmeleri yanında aşınma ve çarpma etkileri de altındadır (Çağlayan vd., 1999).

Beton dayanımını etkileyen faktörler (URL-3, 2019); agreganın dayanımı, agreganın özellikleri, çimento hamuru ile agrega arasındaki bağlantı, çimento özellikleri, çimento hamurunun dayanımı, su/çimento oranı, karma suyunun kalitesi, betona uygulanan üretim, taşıma ve sıkıştırma işlemleri, kür koşulları ve betonun yaşıdır. Beton basınç dayanımının elde edilebilmesi için uygulanan standart deney yöntemleri, TS EN 12390-3’de belirtilmektedir.

Betonun basınç dayanımı ile diğer özellikleri arasında yakından bir ilişki vardır. Basınç dayanımı yüksek olan beton doludur, serttir, aşınmaz, su geçirmez ve dış etkilere dayanır. Beton yaşı, beton karışımına su eklenmesiyle başlar ve sonrasında geçen gün sayısı ile ifade edilir. Basınç dayanımı farklı günlerde betonun teste tabi tutulmasıyla belirlenebilir. Standartlarda ise 28 günlük basınç dayanımı esas alınmaktadır. Basınç dayanımları farklı günlerde bulunmuşsa kat sayıları ile 28 günlüğe çevrilir. Basınç dayanımı 3., 7., 28., 90., 180. ve 360. günlerde de belirlenebilir. Basınç dayanımları standart silindir (15 cm çap, 30 cm yükseklik) veya küpler (15x15x15 cm) üzerinde belirlenir. Betonun yaşı arttıkça dayanımı da artar (Tablo 1.14.) ve bu artış 28 güne kadar hızlı bir şekilde bundan sonra ise yavaş olarak devam eder (Şimşek, 2007).

Tablo 1.14. Zamana bağlı olarak basınç dayanımının artım oranları (Şimşek, 2007).

Beton yaşı (gün)	3	7	28	90	360
Normal	0,40	0,65	1,00	1,20	1,35
Çimentosu çabuk sertleşen	0,55	0,75	1,00	1,15	1,20

Betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanımları arasındaki ilişki 7. günde, 28 günlük dayanımın 2/3'si kadar bir dayanım kazanmasıdır. Betonun 7 günlük basınç dayanımı erken dönemde beton kalitesi hakkında fikir vermektedir (Şimşek, 2007).

Betonun basınç dayanımı, 20 °C \pm 2°C kirece doymun su içerisindeki kür koşullarında tutularak 28 günlük silindir veya küp numuneler üzerinden ölçülür. Tablo 1.15.'te TS 206-1, (2014)'e göre 28 günlük basınç dayanım sınıfları verilmiştir.

Tablo 1.15. TS EN 206-1, (2014)'e göre basınç dayanım sınıfları (URL-4, 2019).

Normal ve Ağır Beton İçin Basınç Dayanım Sınıfları		
Basınç Dayanım Sınıfı	En düşük karakteristik silindir dayanımı	En düşük karakteristik küp dayanımı
	N / mm²	N / mm²
C 8 / 10	8	10
C 12 / 15	12	15
C 16 / 20	16	20
C 20 / 25	20	25
C 25 / 30	25	30
C 30 / 37	30	37
C 35 / 45	35	45
C 40 / 50	40	50
C 45 / 55	45	55
C 50 / 60	50	60
C 55 / 67	55	67

1.6.2.2.1.1. Su/Çimento Oranının Beton Dayanımına Etkileri

Su/çimento oranı, betonun sahip olduğu bütün özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Beton özellikleri arasında su/çimento oranından öncelikli olarak etkilenen betonun dayanımı ve dayanıklılığıdır. Su/çimento oranı, hem çimento hamuru yapısını hem de agrega-çimento hamuru ara yüzeyini doğrudan etkileyen bir parametredir. Bu oranının büyümesiyle beton, boşluklu ve zayıf olurken küçülmesiyle de betonda terleme artar ve agrega ile çimento hamuru arasındaki yüzeyde porozite büyür (Uğurlu, 2002).

1.6.2.2.1.2. Beton Dayanımına Kırmataş Agregalarının Kullanımının Etkisi

Agrega türünün (dayanım-su/çimento oranı) ilişkileri üzerindeki etkileri incelemek için yapılan bazı deneysel sonuçlarda, kırmataş agregalarından ve yuvarlak taneli

agregalardan oluşturulan betonların basınç dayanımının değişik su/çimento oranlarıyla olan değişimi şu şekildedir; aynı su/çimento oranına sahip kırmataş agregasından oluşturulan betonun basınç dayanımı, yuvarlak taneli agregadan yapılan betonun basınç dayanımından daha büyüktür. Yani kırmataş agregaların tane şeklinin köşeli olmasından dolayı agrega-çimento arasındaki aderansın daha yüksek olduğu söylenebilir (Arioğlu vd., 1999).

1.6.2.2.2. Dayanıklılığı (Durabilite)

Betonun dayanıklılığı, mekanik yükler dışında, fiziksel ve kimyasal etkilere karşı bozulmadan direnç göstermesidir. Beton, kullanım amacına göre tasarlanmış, kaliteli bir şekilde üretilmiş, uygun bir şekilde yerleştirilmiş ve bakımı iyi yapılmış ise yıllar boyunca herhangi hiçbir onarıma gereksinim duymadan kullanılabilir. Ancak, çeşitli çevresel etkiler altında betonun performansı düşebilir. Dayanıklılığı fazla olan bir beton bu etkilere karşı bozulmadan ve performansını düşürmeden direnç gösterebilir (Özkul vd., 1999).

1.6.2.2.3. Aşınmaya ve Çarpmaya Karşı Mukavemeti

Betonun aşınmaya karşı direnci, doğrudan doğruya agrega tanelerini aşınmaya karşı dayanıklılığının bir sonucudur. Çimento hamurundan daha sert olan agrega taneleri betona gelecek etkileri durdurur. Genellikle darbeye karşı dirençli bir betonun çekme direnci de yüksektir. Bu açıdan çekme direncini arttıran önlemler betonu darbeye karşı da dayanıklı olmasını sağlamaktadır (Özkul vd. 1999).

1.6.2.2.4. Betonun Su Emmesi ve Geçirimsizliği (Permeabilite)

Betonun içerisindeki boşluklara fiziksel olarak su çekilmesine “su emme” denilir. Su emmesi yüksek olan betonun dayanımı daha düşük olur.

Betonun geçirgenliği, çimento hamuru ile agrega ara yüzeyindeki mikro çatlakların beton içerisindeki boşluklara ulaşması sonucu oluşur. Bu çatlaklardan beton içerisindeki boşluklara sızan sular ve bu sulardaki zararlı maddeler, betonda bazı kimyasal ve fiziksel problemlere neden olmaktadır. Betonda boşlukların bulunması, sertleşen betonun içerisine dış ortamdan su girmesine, bu suyun iç bölgelere ulaşmasına izin vererek betonun hasar görmesine neden olmaktadır (URL-3, 2019).

1.6.2.2.5. Büzülme (Rötne)

Fiziksel ve kimyasal nedenlere bağlı olarak beton içerisindeki suyun kaybolması sonucunda betonun hacmi ve boyunda meydana gelen küçülmeye “büzülme (rötne)” denilir. Bu durum beton tazeyken de sertleşmişken de görülebilir. Taze betondaki su kaybının nedeni tamamen fiziksel nedenlerden dolaydır. Taze betondaki suyun bir kısmı, betonun yerleştirildiği kalıplar ve zemin tarafından emilerek kaybolabilmektedir. Fakat, su kaybının asıl nedeni buharlaşmadır. Taze betonda meydana gelen terleme sonucu beton yüzeyine yakın bölgelere çıkan suyun hızla buharlaşması sonucu beton yüzeyi kuruyarak büzülme meydana gelmektedir. Betonun plastik özelliği kaybolmadan betonun yüzeyinde gerçekleşen büzülme plastik büzülmedir (URL–3, 2019).

Sertleşmiş betonda meydana gelen su kaybı, hem fiziksel hem de kimyasal nedenlerle gerçekleşebilmektedir. Betonun kuruması, karbonatlaşması ve betonun yapısındaki çimentonun hidrasyonu, sertleşmiş betondaki suyun azalmasına yol açan başlıca etkenlerdir (URL–3, 2019).

1.6.2.2.6. Sünme

Malzemelerin üzerine uygulanan sabit gerilmelerin etkisiyle, zaman içerisinde yavaşça ilerleyen deformasyona “sünme” denir. Betonun sünmesi metallerden farklı olarak, düşük gerilmeler altında ve normal sıcaklıkta meydana gelebilmektedir.

Yük altında belirli bir deformasyona uğrayan beton, yükün kaldırılmasıyla birlikte hiçbir zaman ilk boyutlarına dönememektedir. Sünme sonucu bir miktar deformasyon kalıcı olarak kalmaktadır (URL–3, 2019).

1.6.2.2.7. Kür

Beton yaşının ilk günlerinde yeteri miktarda hidrasyonu yapabilmesini sağlayabilmek adına, beton içerisinde yeterli miktarda suyun ve sıcaklığın bulundurulması ve bu ortamın korunması işleme denilmektedir (URL–1, 2019).

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR

2.1. Çalışma Programı

Bu tez çalışmasında yapılan çalışmalar ana başlıklar halinde Şekil 2.1.'de sunulmuştur. Berdiga Formasyonu'na ait kireçtaşlarının yer aldığı Trabzon-Düzköy'de bulunan özel bir taş ocağındaki kaya blokları ve aynı ocağa ait kırma eleme tesisindeki agregalardan deneysel çalışmalar için numuneler alınarak hazırlanmıştır. Elde edilen örneklere fiziksel, kimyasal ve mekanik deneyler uygulanmıştır. Sonrasında, belirlenen agrega özelliklerine göre beton tasarımları yapılmıştır. Beton tasarımlarında, bölgemizde yaygın kullanım alanı bulan farklı iki fabrikaya ait CEM I 42,5 R çimento ile farklı iki markaya ait beton katkıları kullanılarak agregaların özelliklerinin yanında çimento ve katkıların beton dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca, bir beton tasarımında taze betonun kıvamı diğerlerinden farklı seçilerek kıvamın beton dayanımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Türk Standartları referans alınarak deneylerinin sonuçları değerlendirilmiştir. Son olarak da bulgular tartışılmış ve deneylerin sonuçları çıkarılmıştır.



Şekil 2.1 Tez kapsamında yapılan çalışmaların akım şeması

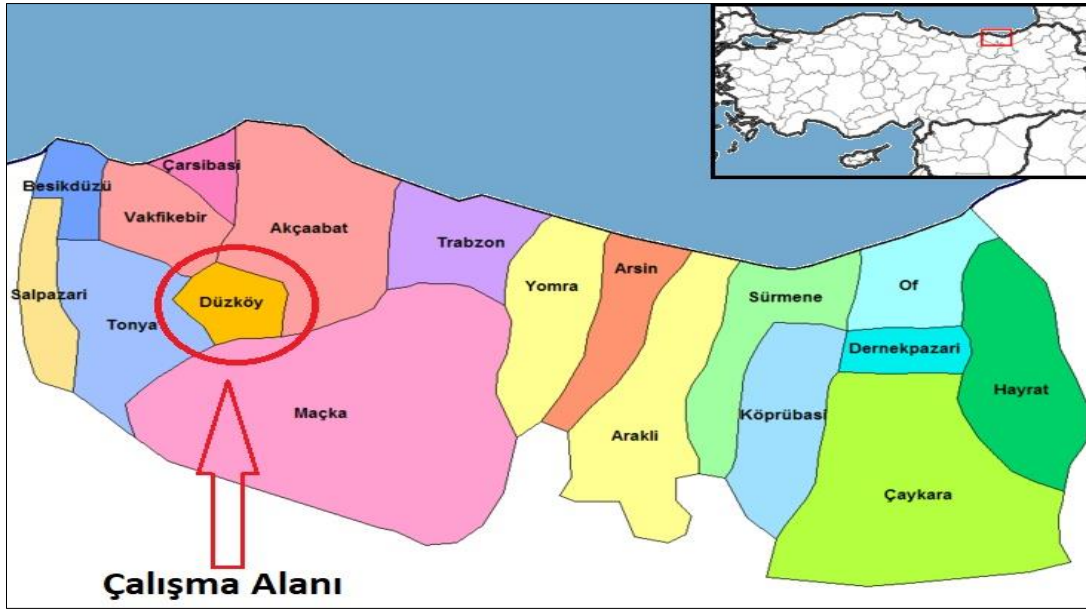
Şekil 2.1.'in devamı



Şekil 2.1. Tez kapsamında yapılan çalışmaların akım şeması

2.2. Çalışma Sahasının Coğrafi Konumu

Çalışma sahası Trabzon ili, Düzköy ilçesi, Orta Mahallesi, Malişkaya Mevkiinde yer almakta olup, ocak alanına ulaşım Düzköy ilçesinden itibaren Malişkaya Mevkii'ne giden yaklaşık 5 km uzunluğundaki asfalt+beton bir yolla veya Düzköy İlçe yolundan itibaren Hırçın deresi vadisinin sol yamacı boyunca açılmış yaklaşık 3 km uzunluğundaki stabilize nakliye yolu ile sağlanmaktadır (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Çalışma sahasının konumu (URL-5, 2019).

2.3. Çalışma Alanı ve Çevresinin Jeolojisi

Çalışma alanı ve çevresinde yer alan birimler, litostratigrafik sınıflama ve adlama kuralları (NACS, 1983) esas alınarak tanımlanmış ve bunun sonucunda yaşlıdan gence doğru Liyas yaşlı volkano-tortul kayaların, Jura-Erken Kretase yaşlı kireçtaşlarının, Geç Kretase yaşlı volkano-tortul kayaların, Kuvaterner yaşlı alüvyonların yüzeyleme verdiği belirlenmiştir. Yörede yüzeylenen birimlerin genel özellikleri ise aşağıdaki gibidir;

2.3.1. Hamurkesen Formasyonu

Bu birim, ilk olarak Açar (1977) tarafından Demirözü (Bayburt) yöresinde Hamurkesen Formasyonu adı altında incelenmiştir. Daha sonra aynı stratigrafik dizilim ve

benzer litolojik özellikler gösteren birim Eren (1983) tarafından Zimonköy Formasyonu olarak adlandırmıştır. Kandemir (2004) tarafından Gümüşhane ve çevresinde yapılan çalışmalarda birim tipik olarak Şenköy yöresinde yüzeyleme verdiği için Şenköy Formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Liyas yaşlı birim, alttan üstte doğru farklı litolojik özellikler göstermekte olup, taban konglomerası ile başlamakta ve bunun üzerine de volkano-tortul seri gelmektedir. Taban konglomerası devamlı olarak görülmemektedir. Bu konglomera seviyesinin üzerine ince-orta tabakalanmalı, ekinit, brachiopoda, belemnit fosilleri içeren kırmızı kireçtaşı seviyesi gelmektedir. Formasyon kumtaşı, kiltası, marn, tuf, tüfit, arduvanmasından oluşan volkano-tortul seri ile son bulmaktadır. Bu seviye içindeki kumtaşları orta tabakalanmalı olup koyu gri ve sarımsı gri renklerde. Kiltaları ise ince-orta tabakalanmalıdır. Yeşilimsi ve sarımsı renk tonlarında olan kiltaları ayrışmadan oldukça etkilenmişlerdir. Tüfler ve tüfitler tortul kayalar arasında ara seviyeler halinde olup yeşilimsi, gri ve koyu gri tonlarda görülmektedir. Birim genelde ayrışmaya maruz kalmıştır. Ayrışma rengi ise koyu kahve-sarı arasındadır.

2.3.2. Berdiga Formasyonu

Birim ilk kez Pelin (1977) tarafından Alucra'nın (Giresun) güneydoğusundaki yüzeylemelere dayanarak "Berdiga Formasyonu" olarak adlandırılmıştır. Jura-Erken Kretase yaşlı, Berdiga Formasyonu tabanda dolomit ve dolomitik kireçtaşları ile başlayıp, üst kısımlara doğru masif kireçtaşları ile devam etmektedir. Tabandaki kireçtaşları magnezyumca zenginleşerek dolomitleşmiş ve sert bir yapı kazanmışlardır. Dolomit seviyeleri ince tabakalı olup, kumsu bir dokuya sahiptir. Bunların üzerinde ise kalın, yer yer masif tabakalı kireçtaşları gelmektedir. Kireçtaşlarının çatlaklarında yer yer kalsit dolgularına rastlanmaktadır. Taze yüzeyleri gri-koyu gri renklerde, ayrışma yüzeyleri ise kırmızımsı-kahverengi tonlarındadır. Tabakalanma yüzeyi belirgin olmayan kireçtaşlarında tektonik deformasyonlara bağlı olarak ileri derecede çatlaklı bir görünüm mevcuttur (Şekil 2.3.). Üst seviyeleri genellikle masife yakın olup, Hırçın deresi vadisinde ise tabakalar yaklaşık olarak 320/55 duruşludur (Şekil 2.4.). Formasyona ait birimler, çalışma alanının kuzeybatısından geçen bir senklinalin kanatlarında bulunmaktadır. Ayrıca, sahada yüzeylenen birimlerin tamamı KD-GB doğrultulu düşey bir fayla kesilerek atıma uğratılmıştır (Şekil 2.5.).



Şekil 2.3. Çalışma sahasındaki Berdiga Formasyonu'na ait kireçtaşlarının görünümü



Şekil 2.4. Berdiga Formasyonu'na ait tabakalı kireçtaşlarının arazideki görünümü
(Yer: Hırçın dere vadisi sol yamacı)

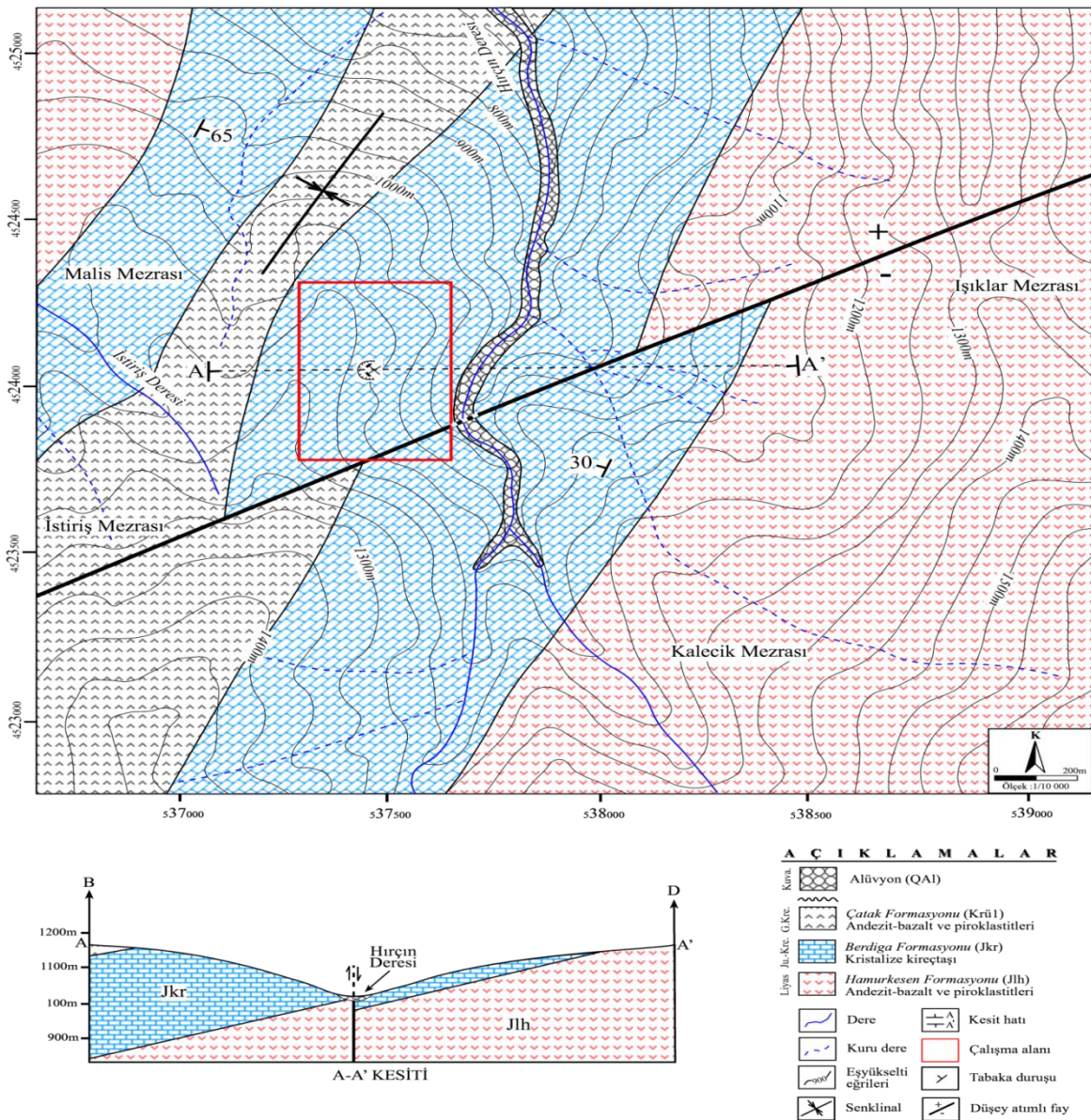
2.3.3. Çatak Formasyonu

Geç Kretase (Kampaniyen-Maestrihtiyen) yaşlı Çatak Formasyonu (Güven, 1993), koyu gri-yeşil renkli andezit-bazalt ve piroklastitlerinden oluşmaktadır. Ara katkılı olarak kıltaşı, kumtaşı, kireçtaşı, marn, siltaşı, tüfit seviyelerine rastlanmaktadır. Doğu Pontidler'in Kuzey Zonu'nda Geç Kretase dönemi başlarında oluşan toleyitik ve kalkalkalen nitelikli volkanitler, derin denizel bir ortamda yayılarak tortullarla birlikte volkano-tortul bir istif meydana getirmişlerdir. Maçka İlçesi'nin güneydoğusunda, Değirmendere Vadisi boyunca Çatak Mevkii'nde, formasyona ait birimler izlenmektedir. Bazaltlarda iyi gelişmiş yastık lav yapıları görülmektedir. İstif içinde genellikle gri-yeşil renk egemendir. Berdiga Formasyonu'nun üzerine uyumlu olarak gelen formasyonun yaşı,

Geç Kretase'dir (Turoniyen-Koniasiyen-Santoniyen) (Güven, 1993).

2.3.4. Alüvyonlar

Alüvyonlar çalışma alanı çevresinde Hırçın Deresi vadisinde oluşmuş kumlu, siltli, çakıllı ve bloklu malzemelerden oluşmaktadır. Çoğunlukla 2-15 cm çapındaki çakılların oluşturduğu alüvyonlarda 25-30 cm çapındaki bloklar da sıkça görülür. Bloklar ve çakıllar genellikle yuvarlak, bazıları küt köşelidir. Tez çalışma alanı ve çevresine ait jeoloji haritası ve jeolojik kesit Şekil 2.5.'te verilmiştir.



Şekil 2.5. Çalışma alanı ve çevresine ait 1/10000 ölçekli jeoloji haritası (Güven, 1993)

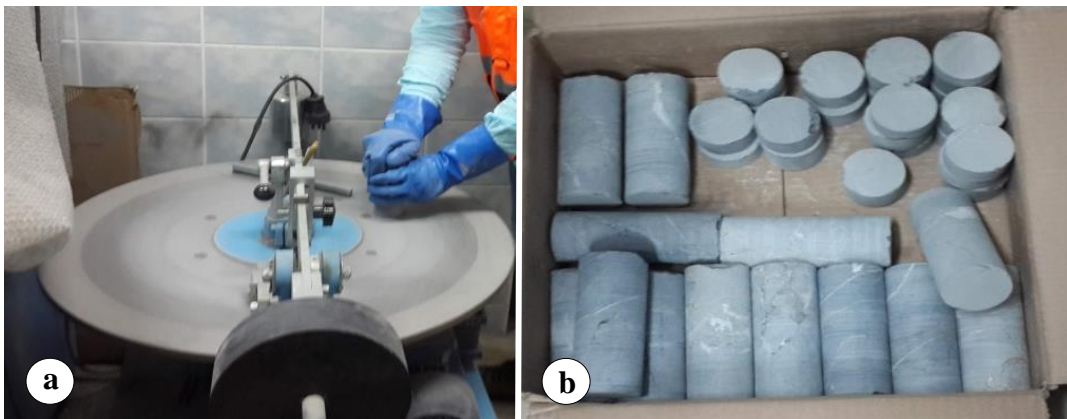
2.4. Kayaçtan Numune Alımı ve Alınan Numunelere Uygulanan Deneyler

2.4.1. Kayaçtan Numune Alımı

Çalışmada boyutları yaklaşık 25x30x40 cm boyutlarındaki bloklardan 15 cm boyunda, 54,7 mm çaplı karot örnekleri alınmıştır (Şekil 2.6.). Karotlardan, deneyler için uygun boyutlarda örnekler kesilmiştir. Kesilen numunelerin yüzeylerinin pürüzsüz ve düzgün olması için böhme aşındırma cihazı kullanılmıştır (Şekil 2.7.). Hazırlanan numunelerin boyları ve çapları daha sonra kumpas yardımı ile ölçülmüştür.



Şekil 2.6. Numune alımı; a) karot alma işlemi b) karot kesme ve düzeltme makinesi



Şekil 2.7. Karot düzeltme; a) Böhme aşındırma cihazı b) yüzeyleri düzeltilmiş karotlar

2.4.2. X-ray ile Kimyasal Analiz (TS EN 196-2'ye göre)

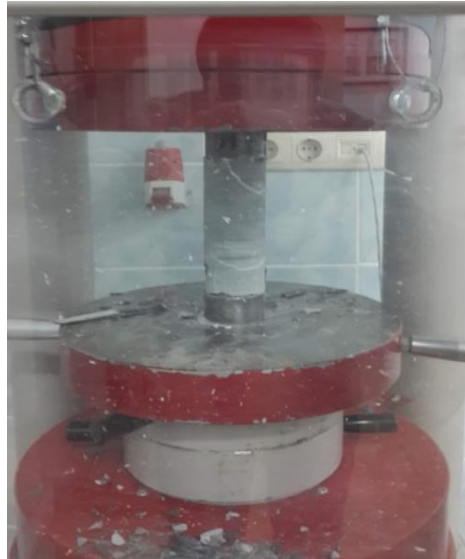
Tez kapsamında çalışılan kayaçtan alınan yaklaşık 10x10x10 cm boyutlarındaki numuneye TS EN 196-2 standardına göre hazırlanmış talimatlar eşliğinde kimyasal analiz yapılmıştır. Kimyasal analizde, bölgemizde çimento üreten bir fabrikanın kalite kontrol laboratuvarının X-ray cihazı kullanılmıştır. Elde edilen kimyasal birleşim aşağıdaki Tablo 2.1.'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre kayacın kireçtaşı olduğu, kızdırma kaybı ve CaO miktarının toplanmasıyla bulunan CaCO_3 (% 86,46) miktarından anlaşılmaktadır.

Tablo 2.1. Kimyasal analiz sonuçları

İçerik	Kızdırma Kaybı	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O
%	38,69	8,08	1,74	0,46	47,77	0,65	0,02	0,43	0

2.4.3. Tek Eksenli Basınç Dayanımı Deneyi

Bu deney ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemle göre yapılmıştır. Deney düzgün geometrik şekle sahip olan, boy çap oranı 2,5-3 arası olan örnekler için uygulanmaktadır. Çapları yaklaşık 54 mm ve boyları yaklaşık 140 mm olan karotların tek eksenli basınç dayanımı belirlenmiştir (Şekil 2.8.).



Şekil 2.8. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi

Deneyde 10 adet numune kullanılmıştır. Şekil 2.9.'da deney öncesi numuneler ile deneyde tek eksenli basınç dayanımına maruz kalan numuneler görülmektedir.



Şekil 2.9. Numunelerin durumları; a) deney öncesi numuneler b) deney sonrası numuneler

Deney sonucunda, kayacın doğal durumundaki tek eksenli basınç dayanımı sonuçları Tablo 2.2.'de verilmektedir. Sonuçların ortalamasına göre kayacın tek eksenli basınç dayanımı 54,36 MPa olarak bulunmuştur. ISRM 1981'e göre kayaların tek eksenli basınç dayanımına göre sınıflandırılması referans alınarak kayacın dayanımının orta dayanımlı olduğu belirlenmiştir (Tablo 2.3.).

Tablo 2.2. Kayacın doğal durumundaki tek eksenli basınç dayanımı sonuçları

Deney No	Çap (mm)	Boy (mm)	Yükleme Hızı (MPa/s)	Yük (kN)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)
1	54,94	139,07	1	118,33	49,94
2	54,18	139,34	1	122,64	53,22
3	54,42	138,31	1	122,87	52,85
4	54,40	138,09	1	82,3	35,31
5	54,83	139,32	1	199,68	84,61
6	53,59	138,89	1	93,13	41,31
7	54,64	139,59	1	176,10	75,14
8	54,69	140,36	1	109,44	46,61
9	54,40	142,48	1	137,64	59,25
10	54,33	150,25	1	105,10	45,36
Ortalama				126,7	54,36

Tablo 2.3. Kayaçların tek eksenli basınç dayanımına göre sınıflandırılması (ISRM, 1981).

Sınıf	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)
Çok Yüksek	>200
Yüksek	60-220
Orta	20-60
Düşük	6-20
Çok Düşük	<6

2.4.4. Schmidt Çekici Deneyi

Schmidt çekici deneyi ASTM 2001 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde L tipi Schmidt çekici kullanılmıştır. 54 mm çapındaki karot örnekleri V tipi numune beşiğine yerleştirilmiş ve Schmidt çekici ile on farklı noktaya tek vuruş gerçekleştirilmiştir. Bu on vuruşun ortalaması alınarak ortalamanın 7 birim altındaki ve üstündeki değerler iptal edilerek geriye kalanların ortalaması Schmidt sertliği olarak belirlenmiştir. Şekil 2.10.'da, kullanılan Schmidt çekici, numune ve numune beşiği görülmektedir.

Deney sonucu Schmidt sertliği Tablo 2.4.'te görüldüğü üzere 49 olarak belirlenmiştir. Schmidt çekici ile ölçülen bu kayaç sertliği ISRM (1978) sınıflamasına göre 'sert' olarak değerlendirilmektedir (Tablo 2.5.).



Şekil 2.10. Schmidt çekici, numune ve numune beşliği

Tablo 2.4. ASTM 2001'e göre yapılan Schmidt çekici deney sonuçları

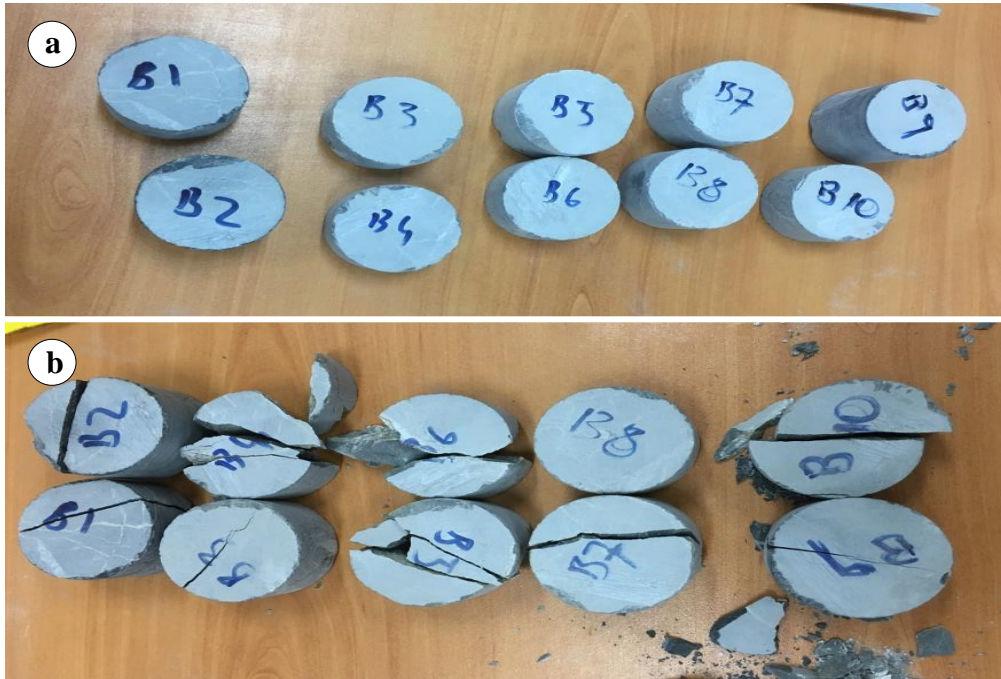
Ölçüm No	Ölçüm Değeri
1	47
2	49
3	49
4	48
5	47
6	50
7	49
8	48
9	51
10	51
10 vuruşun ortalaması	49
Ortalama ± 7 'dan sonraki Ortalama	49

Tablo 2.5. Schmidt çekicine göre kaya sertliğinin sınıflandırılması (ISRM, 1978).

Schmidt Sertlik Değeri	Sınıflandırılması
0-10	Yumuşak
10-20	Az yumuşak
20-40	Az sert
40-50	Sert
50-60	Oldukça sert
>60	Çok sert

2.4.5. Dolaylı Çekme Dayanımı Deneyi (Brazilian Deneyi)

Brazilian deneyi ile kayaçların çekme dayanımları dolaylı yoldan belirlenebilmektedir. Bu deney ISRM-2007'ye göre yapılmıştır. Alınan karotlardan kesilmek suretiyle, çapları yaklaşık 54 mm olan ve boy çap oranı 0,5 ile 1 arasında olan 10 adet disk numune hazırlanmıştır (Şekil 2.11.). Yükleme hızı 1 kN/s olarak uygulanılarak kayacın yenilme yükleri bulunmuş ve yenilme yüklerinden aşağıda verilen formül ile dolaylı çekme dayanımı ortalama 4,04 MPa olarak bulunmuştur (Tablo 2.6.).



Şekil 2.11. Brazilian Deneyi; a) deney öncesi b) deney sonrası numunelerin durumu

$$\sigma_t = \frac{0,636F}{D.t} \quad (2.1)$$

Burada;

σ_t = Dolaylı çekme dayanımı (MPa)

F = Yenilme yükü (kN)

D = Örnek çapı (mm)

t = Örnek boyu (mm)

Tablo 2.6. Dolaylı çekme dayanımı sonuçları

Deney No	Boy (mm)	Çap (mm)	Yenilme Yükü (kN)	Dolaylı Çekme Dayanımı (MPa)
1	33,95	54,15	10,82	3,743
2	41,41	54,13	10,24	2,905
3	30,85	54,96	10,52	3,946
4	25,85	54,58	13,01	5,865
5	33,24	54,58	10,65	3,733
6	27,41	54,33	13,44	5,740
7	39,2	54,75	8,82	2,614
8	32,51	54,51	9,84	3,531
9	42,88	54,98	15,6	4,208
10	29,19	54,48	10,18	4,071
Ortalama			11,31	4,04

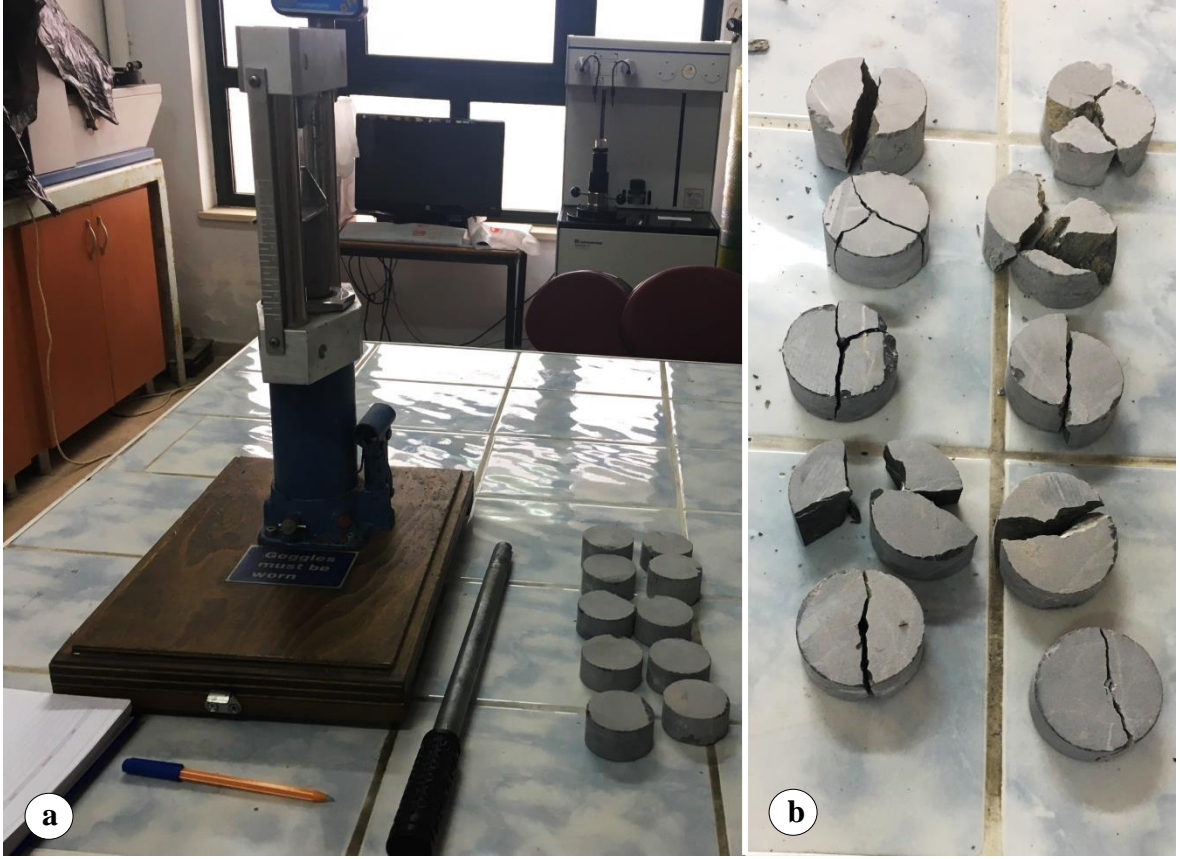
2.4.6. Nokta Yükü Dayanım Deneyi

Nokta yükü dayanım deneyi ile kayaçların tek eksenli basınç ve çekme dayanımları dolaylı yönden belirlenebilmektedir. Bu deney ISRM 1985'e göre eksenel değerlendirme ile yapılmıştır.

Eksenel deneyde boyun çapa oranı (L/D) 0,3 ile 1 arasında olacak şekilde hazırlanan 10 adet numune, nokta yükleme aletinin konik uçları arasına karot eksenine paralel olarak yerleştirilir ve yük uygulanır. Numunelerin kırıldığı andaki yük kayacın kırılma yükü olarak alınır. Deneyin uygun olup olmadığı disk numunelerin kırılma şekline anlaşılmaktadır. Ortadan 2 ya da 3 parçaya ayrılmış numune düzgün bir deney

yapıldığını göstermektedir (Şekil 2.12.).

Deney sonucunda bulunan kırılma yüklerinden Tablo 2.7.'deki düzeltilmiş nokta yük indeksi 2.76 MPa olarak bulunmuş ve Tablo 2.8.'deki farklı iki sınıflandırmaya göre kayacın orta dayanımlı olduğu görülmüştür.



Şekil 2.12. Nokta yükü dayanım deneyi; a) deney düzeneği ve deneye girecek numuneler, b) deney sonrası numunelerin durumu

Tablo 2.7. Nokta yükü dayanımı deney sonuçları ve hesaplamalar

Numune No	Boy (L) (mm)	Çap (D) (mm)	Kırılma Yüğü P (kN)	Eşdeğer Karot Çapı De (mm)	Eşdeğer Karot Çapı De ² (mm ²)	Düzeltilmiş Nokta Yüğü Dayanımı $I_s=(P*10^3)/D_e^2$ (MPa)	F Boyut Düzeltme Faktörü $F=(D_e/50)^{0.45}$	I _{s50} MPa
1	21	54,15	10,20	54,15	2932,22	3,48	1,04	3,61
2	26	54,13	6,46	54,13	2930,06	2,20	1,04	2,28
3	25	54,96	6,11	54,96	3020,60	2,02	1,04	2,11
4	25	54,58	5,94	54,58	2978,98	1,99	1,04	2,07
5	25	54,58	9,76	54,58	2978,98	3,28	1,04	3,41
6	25	54,33	14,73	54,33	2951,75	4,99	1,04	5,18
7	3	54,75	15,61	54,75	2997,56	5,21	1,04	5,42
8	35	54,51	8,80	54,51	2971,34	2,96	1,04	3,08
9	25	54,98	3,30	54,98	3022,80	1,09	1,04	1,14
10	3	54,48	2,30	54,48	2968,07	0,77	1,04	0,81
Ortalama		54,55	8,32	54,55	2976,03	2,80	1,04	2,91
En büyük ve en küçük iki değer atılınca ortalama							2,76 MPa	

Tablo 2.8. Nokta yükü dayanım sınıflandırması

Sınıf	Dayanım Sınıfı	Bieniawski (MPa)	Deere (MPa)
A veya 1	Çok Yüksek	>8	>10
B veya 2	Yüksek	4-8	5-10
C veya 3	Orta	2-4	2,5-5
D veya 4	Düşük	1-2	1,25-2,5
E veya 5	Çok Düşük	<1	<1,25

2.4.7. Suda Dağılmaya Karşı Dayanım Deneyi

Suda dağılmaya karşı dayanım indeksi deneyi ile kayaların ıslanma-kurumadan kaynaklan bozulma direnci belirlenebilmektedir. Bu deney ISRM 1981'e göre yapılmıştır.

Kayaçtan 50-60 gr aralığında, kenarları küresele yakın 10 adet numune alınmıştır. Numuneler, tambur ile birlikte 20 C° su ile yarıya kadar doldurulmuş olan hazne içerisine konulmuştur. Deney cihazındaki tamburun dönüş hızı dakikada 20 devir olacak şekilde 10 dakika boyunca döndürülmüştür. Her bir çevrim sonrasında örnekler ve tambur fırında kurutularak ağırlıkları ölçülmüştür. Herhangi bir çevrim sonrasına ait kuru ağırlığın, o

çevrim öncesine ait olan kuru ağırlığa oranı, ilgili çevrim için suda dağılmaya karşı dayanım indeksini (I_d) vermektedir. Deneye ait sonuçlar Tablo 2.9.'da verilmiş olup Tablo 2.10.'da verilen sınıflamaya göre dayanım sınıflamasının çok yüksek olduğu görülmüştür.



Şekil 2.13. Suda dağılma deney düzeneği

Tablo 2.9. Suda dağılma dayanımı deney sonucu ve hesaplanması

Deney No	Numune + Tambur (gr),(A)	Numune + Tambur (gr),(B) 1.dön. sonra	Numune + Tambur (gr),(C) 2.dön. sonra	Tambur Ağırlığı (gr),(D)	1. indeks Değeri (%) $I_{d-1} = \frac{B-D}{A-D} \times 100$	2. indeks Değeri (%) $I_{d-2} = \frac{C-D}{A-D} \times 100$
1	2327,52	2324,43	2321,93	1759,73	99,46	99,02

Tablo 2.10. Gamble's Suda Dağılma Sınıflaması (Düzyol, 2004).

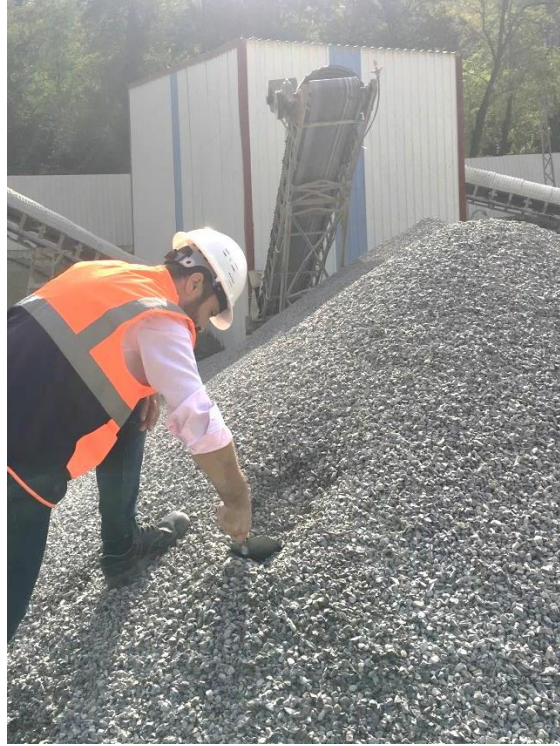
İndeks Değeri I_{d-1} (%)	İndeks Değeri I_{d-2} (%)	Dağılma Dayanım Sınıflaması
<60	<30	Çok Düşük
60-85	30-60	Düşük
85-95	60-85	Orta Derecede
95-98	85-95	Orta Yüksek
98-99	95-98	Yüksek
>99	>98	Çok Yüksek

2.5. Beton Agregalarına Uygulanan Deneyler

Bu bölümde, agreganın beton yapımına uygunluğunun araştırılmasında yapılması gereken işlemlerden; numune almadan başlayarak, agreganın fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deney ve deney metotlarının yanında bazı taze ve sertleşmiş beton deneylerine de yer verilmiştir.

2.5.1. Agregalardan Numune Alma ve Hazırlama

Agregalarda numune alımında TS EN 932-1'in gereklilikleri yerine getirilmiştir. İncelenen malzemenin doğru analizi için ilk olarak dikkat edilmesi gereken, malzemeyi tam olarak temsil edecek numunemin alınmasıdır (Şekil 2.14.). Numune alımındaki yanlış, yapılacak olan tüm deneysel çalışmaların sonuçlarının yanıltıcı olmasına neden olacaktır.



Şekil 2.14. Agregalardan numune alımı

2.5.2. Agregalara Uygulanan Fiziksel Deneyler

2.5.2.1. Agreganın Tane Büyüklüğü Dağılımı (Elek Analizi)

Elek analizi, beton üretiminde kullanılan ince ve iri agregaların tane büyüklüğü dağılımının (granülometrik bileşiminin) belirlenmesi için kullanılır. Elek analizi yapılırken TS EN 933-1'in gereklilikleri yerine getirilmiştir. Kırma eleme tesisinde üç ayrı boyuta kırılan (0-5 mm/ 5-12 mm/ 12-25 mm) agregaya yığınlarından alınan numunelere ayrı ayrı elek analizi yapılmıştır. Deneyde kullanılan elek serisinin boyutları büyükten küçüğe doğru (mm); 45-31,5-22,4-16-8-4-2-1-0,5-0,25-0,15-0,063'dir. Deneydeki en büyük tane boyutu 25 mm olduğu için en üst elek 22,4 mm seçilmiştir. Elek analizinde (Şekil 2.15.);

- Elekler elek sarsma makinesinin üzerine yerleştirilmiş; en alta toplama kapından başlayarak üste doğru göz açıklıkları küçükten büyüğe gelecek şekilde sıralanmıştır.

- Etüvde kurutulmuş olan numune dışarı dökülmeyecek şekilde elek serisinin en üstünden boşaltılarak elek serisinin üst kapağı ve elek sarsma makinesinin güvenlik kapağı kapatılmış ve sarsma işlemi iyi bir eleme gerçekleşmesi için 5-10 dakika kadar sürmüştür.

- Eleme işlemi tamamlandıktan sonra hassas terazinin üzerine bir kap konulmuş ve elekler üstünde kalan agregalar darası alınan kap üzerine eleklerde agregaya kalmayacak şekilde boşaltılmıştır. Her boşaltmada okunan değer kayıt edilmiştir. Bu ağırlıklar kümülatif olarak bir alttaki elekten üstteki eleklerin toplamı şeklinde kayıt edilmiştir.

- En son toplama kapındaki agregaya da kaba alındıktan sonra okunan ağırlıkla başlangıçtaki numune ağırlığı karşılaştırılıp sapma olup olmadığına bakılmıştır.

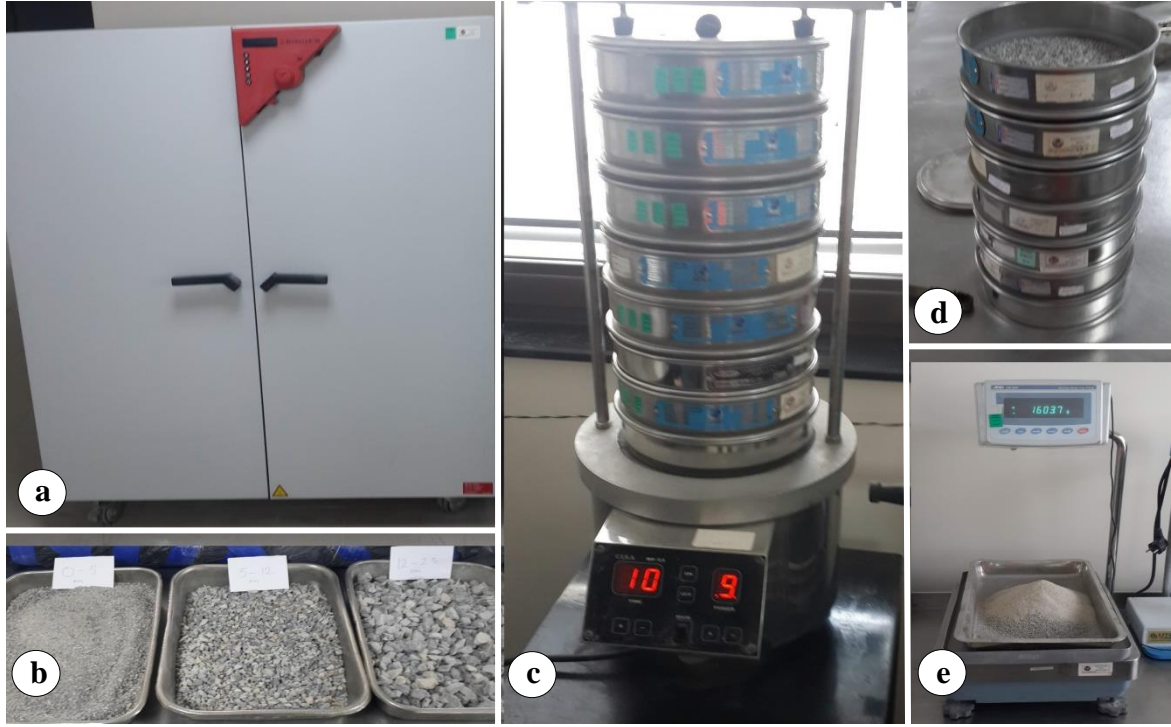
- Deney sonunda toplam kümülatif ağırlık dikkate alınmış ve her elek üstünde kalan kümülatif miktarlar toplam ağırlığa bölünerek elekler üzerinde kalan agregaların %'si hesaplanmıştır.

- Elekler üzerinde kalan % değerleri 100'den çıkartılarak elek altına geçen değerler hesaplanmıştır. Yapılan bu deneye ilişkin veriler Tablo 2.11.'de verilmiştir.

Yüzdece toplam kümülatif kalanların 100'e bölünmesiyle agreganın tane dağılımı özelliğini açıklayan amprik bir büyüklük olan incelik modülü bulunmuştur. İnce agregalar için bulunan incelik modülü 3,3 olup bu değer TS EN 706 12620'deki 2,4 ile 4 arasında kalmaktadır.

İncelik modülünün küçük değerler alması agregaya tane dağılımının ince özellik taşıdığını ifade edebilir. Agregaya taneleri küçüldükçe incelik modülü azalır, taneler

irileştikçe incelik modülü artar (Özkul vd., 1999; Arıoğlu vd., 2006).



Şekil 2.15. Elek analizi; a) etüv, b) sınıflandırılmış etüv kurusu agregalar, c) elek seti ve elek sarsma cihazı, d)elenen agregalar, e) elek üstü agregaların tartılması

Tablo 2.11. Elek analizi deney sonuçları

Elekler (mm)	Agregalar								
	Kırma Kum (0-5)			1. No Mıçır (5-12)			2. No Mıçır (12-25)		
	Kümülatif Ağırlık (g)	Elek Üstü Kalan (%)	Elek Altı Geçen (%)	Kümülatif Ağırlık (g)	Elek Üstü Kalan (%)	Elek Altı Geçen (%)	Kümülatif Ağırlık (g)	Elek Üstü Kalan (%)	Elek Altı Geçen (%)
31,5			100			100			100
22,4			100			100	67,5	1,9	98
16			100			100	1596	45,9	54
8			100	655,2	35,4	65	3468,7	99,8	
4	55,4	3,5	97	1775,3	95,8	4			
2	473,7	29,5	70			0			
1	881,5	55,0	45			0			
0,5	1144,3	71,4	29			0			
0,25	1329,9	82,9	17			0			
0,15	1420,8	88,6	11			0			
0,063	1536,1	95,7	4			0			
Tava	1603,6	100	0	1852,9		0	3475		
İncelik Modülü		3,3							

2.5.2.2. Agreganın Özgül Ağırlığı ve Su Emme Oranı Tayini

2.5.2.2.1. İnce Agreganın Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranının Tayini

TS EN 1097–6 standardına göre yapılan deneyde;

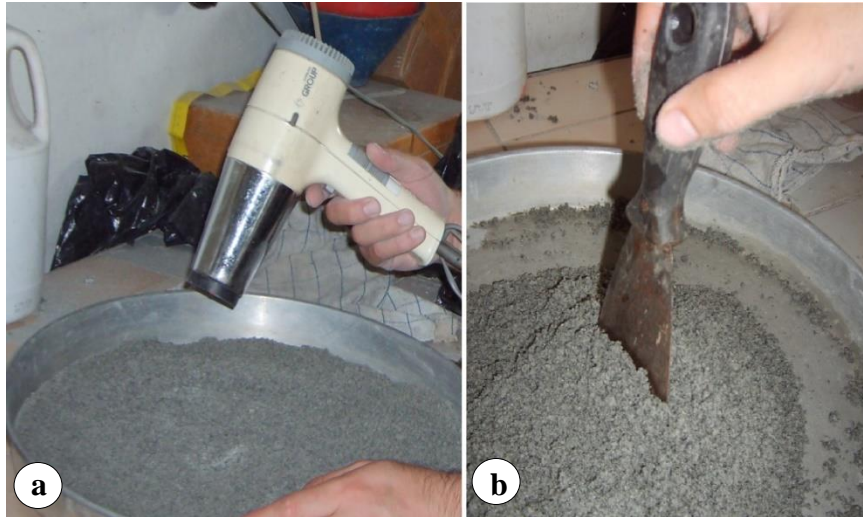
- Hazırlanan numune 24 saat su içinde bekletilir. 24 saat sonunda numune üzerindeki fazla su, ince taneler kaybolmayacak şekilde süzülür. Daha sonra fön yardımıyla DKY (doygun kuru yüzey) haline gelene kadar kurutulur (Şekil 2.16.a).

- DKY olduğu tahmin edilen numune yarım küre şeklinde bir yığın haline getirilir. Yığın, sıpatula ile düşey olarak ikiye bölünür (Şekil 2.16.b). Bölünen ara yüzeyler kendilerini tutuyor ise kurutmaya devam edilir. Bu yüzeylerin yıkıldığı durumda DKY haline geldiği anlaşılır. Kurutulan numune tartılarak DKY ağırlığı kaydedilir.

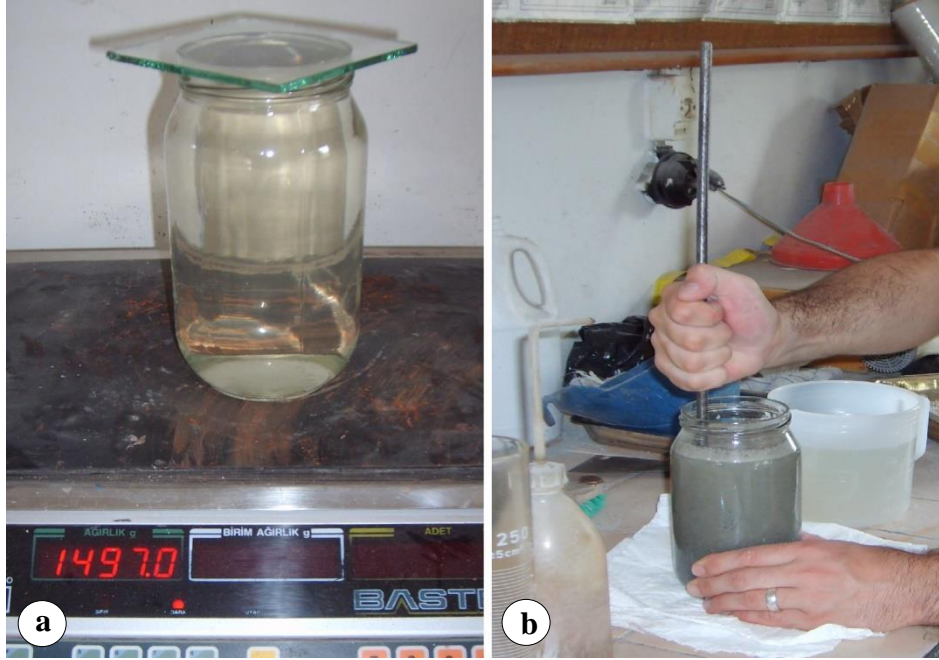
- Ölçü kabı su ile doldurularak ağırlığı tespit edilir ve kaydedilir (Şekil 2.17.a). Daha sonra kaptaki su yarıya kadar boşaltılır. Yarisına kadar su dolu olan ölçü kabına DKY halindeki numune doldurulur.

- Ölçü kabına düz bir yüzey üzerinde hafif hafif vurularak ve aynı zamanda döndürülerek hava kabarcıklarının çıkması sağlanır (Şekil 2.17.b). Kabın üstüne su ilave edilerek tartılır ve ağırlığı kaydedilir.

- Su emme oranı için DKY halindeki numuneden bir miktar tartılır ve ağırlığı kaydedilir. Numune etüv kurusu durumuna getirilir ve oda sıcaklığına soğutulur. Daha sonra tartılarak ağırlığı kaydedilir.



Şekil 2.16. Özgül ağırlık ve su emme deneyi; a) numunenin fön ile DKY haline getirilmesi, b) DKY kontrolü.



Şekil 2.17. a) Su dolu ölçü kabının tartılması, b) numunenin içindeki havanın çıkarılması

İnce agregalar için yapılan özgül ağırlık ve su emme kapasitesi belirleme deney sonuçları Tablo 2.12.'de verilmiştir.

Tablo 2.12. Kırma kum için özgül ağırlık ve su emme kapasitelerinin hesaplanması

İnce Agregaya Yoğunluk, Bağlı Yoğunluk ve Su Emme Oranı Hesaplanması					
Deney No	[S] DKY Numunesi gr	[B] Cam + Su gr	[C] Cam + Su + Numune gr	Su Sıcaklığı C ⁰	[A] Numune Etüv Kurusu gr
1	500	650,9	960,5	23	488,6
2	500	650,9	960,8	23	488,9
Hesaplama					
Deney No	Bağlı Yoğunluk gr/cm ³		Görünür Yoğunluk gr/cm ³	Su Emme Oranı %	[S-A]x100/[A]
	Etüv Kur.	DKY			
	[A]/[B+S-C]	[S]/[B+S-C]	[A]/[B+A-C]		
1	2,57	2,63	2,73	2,3	
2	2,57	2,63	2,73	2,3	
23 C ⁰ Suyun yoğunluğu 997.5 kg/m ³ için düzeltme (997.5 ile çarpılarak)					
1	2560	2620	2720		
2	2560	2620	2720		
Ort. gr/cm³	2,56	2,62	2,72		

2.5.2.2.2. İri Agreganın Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranının Tayini

TS EN 1097-6 standardına göre yapılan deneyde;

- Hazırlanan numune 24 saat su içinde bekletilir ve bu süre sonunda numune üzerindeki fazla su, ince taneler kaybolmayacak şekilde süzülür,
- Daha sonra teker teker bir bez ve fön yardımıyla DKY haline gelene kadar kurutulur (Şekil 2.18.a).
- Kurutulan numune zaman geçmeden özgül ağırlık deneyi ekipmanının terazisinde tartılarak DKY ağırlığı terazinin hafızasına kaydedilir.
- Terazide özel düzeneğe asılı olan kafes örgülü tel sepete konarak su dolu kovanın içine su yüzeyinden 5 cm aşağıda kalacak şekilde daldırılır (Şekil 2.18.b). Kova Sağa sola 10 kez sallanarak mevcut hava dışarı çıkarılır.
- DKY halindeki ağırlıktan su içindeki ağırlık çıkartılarak, DKY ağırlığı bulunan ağırlığa bölünerek özgül ağırlık bulunur.
- Su emme oranı için DKY halindeki numuneden bir miktar tartılır ve ağırlığı kaydedilir. Numune etüv kurusu durumuna getirilir ve oda sıcaklığına soğutulur. Daha sonra tartılarak ağırlığı kaydedilir.



Şekil 2.18. a) DKY haline getirilen iri agregalar, b) özgül ağırlık deney düzeneği

İri agregalar için yapılan özgül ağırlık ve su emme kapasitesi belirleme deney sonuçları Tablo 2.12., 2.13. ve 2.14.'te verilmiştir.

Tablo 2.13. 1 No mıcır için özgül ağırlık ve su emme kapasitelerinin hesaplanması

(5-12 mm) 1 No Mıcır İçin Yoğunluk, Bağlı Yoğunluk ve Su Emme Oranı Hesaplanması				
Deney No	[B] DKY Numunesi gr	[C] DKY Su İçinde gr	[A] DKY Kuru gr	Su Sıcaklığı C⁰
1	2025,1	650,9	960,5	23
2	2025	650,9	960,8	23
Hesaplama				
Deney No	Bağlı Yoğunluk gr/cm³		Görünür Yoğunluk gr/cm³	Su Emme Oranı %
	Etüv Kur.	DKY		
	[A]/[B-C]	[B]/[B-C]	[A]/[A-C]	[B-A]x100/[A]
1	2,69	2,7	2,72	0,4
2	2,69	2,7	2,72	0,4
23 C ⁰ Suyun yoğunluğu 997.5 kg/m ³ için düzeltme (997.5 ile çarpılarak)				
1	2680	2690	2710	
2	2680	2690	2710	
Ort. gr/cm³	2,68	2,69	2,71	

Tablo 2.14. 2 No mıcır için özgül ağırlık ve su emme kapasitelerinin hesaplanması

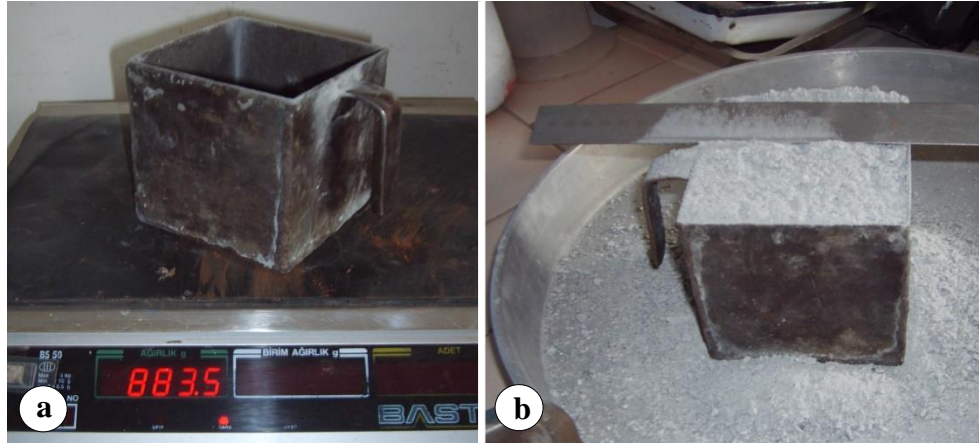
(12-25 mm) 2 No Mıcır İçin Yoğunluk, Bağlı Yoğunluk ve Su Emme Oranı Hesaplanması				
Deney No	[B] DKY Numunesi gr	[C] DKY Su İçinde gr	[A] DKY Kuru gr	Su Sıcaklığı C⁰
1	3170,7	1994,1	3159,9	23
2	3170,5	1994	3160,2	23
Hesaplama				
Deney No	Bağlı Yoğunluk gr/cm³		Görünür Yoğunluk gr/cm³	Su Emme Oranı %
	Etüv Kur.	DKY		
	[A]/[B-C]	[B]/[B-C]	[A]/[A-C]	[B-A]x100/[A]
1	2,69	2,69	2,71	0,3
2	2,69	2,69	2,71	0,3
23 C ⁰ Suyun yoğunluğu 997.5 kg/m ³ için düzeltme (997.5 ile çarpılarak)				
1	2680	2690	2700	
2	2680	2690	2700	
Ort. gr/cm³	2,68	2,69	2,7	

2.5.2.3. Agreganın Birim Ağırlığının Tayini

Bu deney, TS EN 1097-3 ve TS EN 1098'in gereklilikleri yerine getirilerek agreganın kompasitesini ve işleme esasını anlayabilmek için yapılmıştır.

2.6.2.3.1. Gevşek Birim Ağırlık Tayini

- Deney numunesi agregaya yığınının temsilen hazırlanır. İlgili standarttan tane boyuna karşılık numune miktarı ve kabın ebatları seçilir (Şekil 2.19.a).
- Hava kurusu durumuna getirilmiş olan numune, hacmi belli olan ölçü kabı içine kürekle 5cm yukarıdan taşarcasına doldurulur. Doldurma esnasında agreganın sıkışmamasına ve ayrışmamasına dikkat edilmelidir.
- Ölçü kabının üstü çelik cetvelle bastırılmadan düzlenir. Düzleme esnasında sıyrma düzleminden taşan iri agregaya varsa çıkarılarak yerine ince agregaya eklenir (Şekil 2.19.b).
- Daha sonra içi dolu kap tartılarak ağırlığından kap ağırlığı çıkarılarak net agregaya bulunur ve bu ağırlık ölçü kabının hacmine bölünerek gevşek birim ağırlığı bulunur.



Şekil 2.19. a) Deneyde kullanılan numune kabı, b) kabın cetvelle sıyrılması

Üç ayrı sınıfta olan agregaya boyutlarının her biri için üç kere bu deney tekrarlanarak Tablo 2.15.'te hesaplaması verilen sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 2.15. Numunelerin gevşek birim ağırlıkları

İşlem	Gevşek Birim Ağırlık Tayini								
	0-5 (mm)			5-12 (mm)			12-25 (mm)		
V= Ölçeğin hacmi (cm ³)	1000 cm ³			1000 cm ³			1000 cm ³		
W ₁ =Boş ölçeğin ağırlığı (g)	883,5			883,5			883,5		
W ₂ =Dolu ölçeğin ağırlığı (g)	2348	2350	2255	2263	2259	2275	2258	2252	2250
Ag.B.Ağır.= $\frac{W_2 - W_1}{V}$	1,46	1,47	1,47	1,38	1,37	1,39	1,37	1,36	1,36
Ort .Birim Ağır.(gr/cm³)	1,47			1,38			1,36		

2.6.2.3.2. Sıkışık Birim Ağırlık Tayini

Bu deneyde, yukarıdaki bölümde bahsedilen gevşek birim hacim ağırlık deneyinden farklı olarak;

- Deney numunesi ölçü kabı agregası ile üç defada doldurulur ve her doldurmada şişleme çubuğu yardımıyla 25 kez şişlenerek agregası tanelerinin sıkışması sağlanır.
- Üç ayrı sınıfta olan agregası boyutlarının her biri için üç kere bu deney tekrarlanarak Tablo 2.16.'da hesaplaması verilen sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 2.16. Numunelerin sıkışık birim ağırlıkları

İşlem	Sıkışık Birim Ağırlık Tayini								
	0-5 (mm)			5-12 (mm)			12-25 (mm)		
V= Ölçeğin hacmi (cm ³)	1000 cm ³			1000 cm ³			1000 cm ³		
W ₁ =Boş ölçeğin ağırlığı (g)	883,5			883,5			883,5		
W ₂ =Dolu ölçeğin ağırlığı (g)	2595	2600	2606	2500	2480	2470	2510	2508,5	2507
Ag.B.Ağır.= $\frac{W_2 - W_1}{V}$	1,71	1,72	1,72	1,62	1,59	1,59	1,63	1,62	1,62
Ort .Birim Ağır.(gr/cm³)	1,72			1,60			1,62		

2.5.2.4. Yassılık İndeksi

Bu deney, BS 812'ye göre yapılmıştır. Deneyde Şekil 2.20.'de verilen yassılık indeksi belirleme şablonu kullanılmıştır. BS 812 standardına göre hazırlanmış bu şablon ile agrega yığını içindeki yassı tane miktarının kabul edilebilir sınırlarda olup olmadığı kontrol edilmiştir.

Deneye alınan agrega numunesi, 63 mm ile 6,3 mm arası yedi farklı tane sınıfına ayrılarak her bir tane sınıfı ayrı ayrı analiz edilmiş olup, elek sınıfına göre alınan numune miktarları ve hesaplamalar Tablo 2.17.'de verilmiştir.



Şekil 2.20. Yassılık indeksi deney aleti

Tablo 2.17. Yassılık indeksi deneyi için hesaplama ve sonuç

Elek Açıklığı	Geçen	Kalan	Düzeltilmiş Tane Dağılımı		Elek Açıklığı	Deneye Alınan Malzeme [A]	Yassı Tane Ağırlığı [B]	Yassı Tane Yüzdesi [B/A] X 100	Düzeltilmiş Yassı Tane Yüzdesi
			% Geçen	% Kalan					
37,50	100	0	100	0	50-37,5				0
28,00	100	0	100	0	37,5-28	0	0	0,00	0
20,00	87,3	12,7	87	12,9	28-20	426,5	147	34,44	4,44
14,00	50,6	36,7	50	37,3	20-14	1000	116,9	11,69	4,36
10,00	27,9	22,7	27	23,0	14-10	500	51,9	10,38	2,39
6,30	1,5	26,4	0	26,8	10-6,3	250,5	39,6	15,81	4,24
Toplam [A]		99		100	Yassılık indeksi				15,4

2.5.3. Agregalara Uygulanan Mekanik Deneyler

2.5.3.1. Donma ve Çözölmeye Karşı Dayanıklılık

Bu deney uzun zaman hava tesirleri altında kalan agregaların don ve çözölmeye karşı mukavemetlerinin ölçölmesinde çabuklaştırılmış bir deneydir. Aynı zamanda elde edilen deney sonuçları, agreganın, atmosferik etkiler nedeniyle bozunum biçimine karşı gösterdiği direncini de belirler. Deneyde sodyum sülfat (Na_2SO_4) veya magnezyum sülfat (MgSO_4) çözeltileri kullanılabilir. Ancak sodyum sülfat çözeltisi ile yapılan deney daha ucuz ve kullanılışı daha kolay olduğundan tercih edilir (Batmaz, 2006).

Bu deney Devlet Su İşleri laboratuvarında ASTM C 88 standartlarına göre hazırlanan talimatlar doğrultusunda yapılmıştır. Yapılan deneyde sodyum sülfat çözeltisi kullanılmış olup, ince ve iri agregalar için ayrı ayrı donma ve çözölmeye karşı olan dirençleri tayin edilmiştir.

- İnce agrega numunesinin hazırlanması: ASTM elek serilerinden olan 9,5 mm göz açıklı elekten geçen agregalar deneye alınır. Yani, 4,75 mm, 2,36 mm, 1,18 mm, 0,590 mm, 0,297 mm eleklerden ince agrega elenir. Numune, her elek üzerinde yaklaşık 110 g kalacak miktarda olmalı ve yine her elekte kalan malzeme miktarı esas numunenin en az %5'ini temsil etmelidir. Daha sonra 300 μm (50#) kare göz açıklı elek üzerinde tüm numuneler yıkanır ve 105 ± 5 $^{\circ}\text{C}$ etüvde kurutulur ve tekrar aynı elek serisinden elenir. Elek üzerinde kalan malzeme hassas olarak tartılır.

- İri agrega numunesinin hazırlanması: Numune, Tablo 2.18.'de verilen miktarlarda olacak şekilde seçilir. İri agregalar 4,76 mm (4#) elekten elenerek elek üstünde kalan agregalar deneye alınır. Elek üstü malzeme yıkanarak 105 ± 5 $^{\circ}\text{C}$ etüvde kurutulur. Daha sonra kurutulan malzeme yine Tablo 2.18.'de verilen uygun tane sınıfına ayrılır. Elenen numunenin her elek üzerinde kalan miktarı, esas numunenin % 5'inden az olmamalıdır.

Tablo 2.18. Deneyde kullanılacak numune miktarları ve elekler

Tane Sınıfı mm	Alınacak Miktar(g)			Deney sonunda elendiği elek
	%	Her Elek	Toplam	
4,76–9,52	100	300	300±5	4 mm/ No.5
9,52–12,7 12,7–19,1	33 67	330 670	1000±10	8 mm/ 5/16”
19,1–25,4 25,4–38,1	33 67	500 1000	1500±50	16 mm/ 5/8”
38,1–50,8 50,8–63,5	50 50	2000 3000	5000±300	31,5 mm/ 1 ¼”
25 mm(1 inc) sınıfından daha büyük tane sınıfları			7000±1000	Üzerinde kaldığı elekten

- Yukarıda belirtildiği gibi hazırlanan iri ve ince agrega numuneleri özel tel sepetler veya elekler içine konarak, üstünü en az 12,5 mm kaplayacak şekilde Na_2SO_4 çözeltisinin içine daldırılarak 21°C 'de 16-18 saat bırakılır. Bu işlemde çözelti hacmi, numune hacminin 5 mislinden az olmamalıdır. Na_2SO_4 çözeltilerinin bulunduğu kalıpların üst kısmı, buharlaşmayı önlemek için kapalı tutulmalıdır.

- Daldırma süresi sonunda numune çözeltiden çıkarılarak 15 dakika süzölmeye bırakılır ve $105\pm 5^\circ\text{C}$ 'de sabit ağırlığa kadar kurutulur.

- Daha sonra etüvden çıkarılarak çözelti sıcaklığına ($20\pm 2^\circ\text{C}$) gelmesi beklenir ve tekrar çözeltiye daldırılır, tekrar çözeltiden çıkarılıp kurutulur.

- Bu işlemler normal beton agregaları için 5 defa tekrarlanır.

- Her kuruma işleminden sonra tanelerde ufalanma, ayrılma, çatlama, parçalanma, dağılma olup olmadığı kontrol edilir.

- Deney sonu her bir tane sınıfı için elendiği elekte kalan numune kütlesi tartılır. İlk numune kütlesi ile arasındaki fark yüzde kayıp olarak hesaplanır (Tablo 2.19.).

Tablo 2.19. İri agregalara uygulanan donma çözülme deney sonucu ve hesaplamalar

Elek No		Tane Dağılımı	İlk Numune Miktarı	Yıkama Eleklere	Deney Sonu Ağırlık	Agrega Kütle Kaybı	Düzeltilmiş Kütle Kaybı
İnç	mm	%	g	mm	g	%	%
1"-3/4"	25 / 19	0	0	0	0	0	0
3/4"-1/2"	19/ 12,5	40,9	670	5/ 16" (8 mm)	997,8	0,2	0,1
1/2"-3/8"	12,5/ 9,5		330				
3/8 "- 4#	9,5 / 4,75	59,1	300	#5(4 mm)	295,1	1,6	1,0
<4#	<4,75	0,0	0			1,6	
Σ Gradasyon %		100,0	İri Agregaya Kaybı (%)				1,1

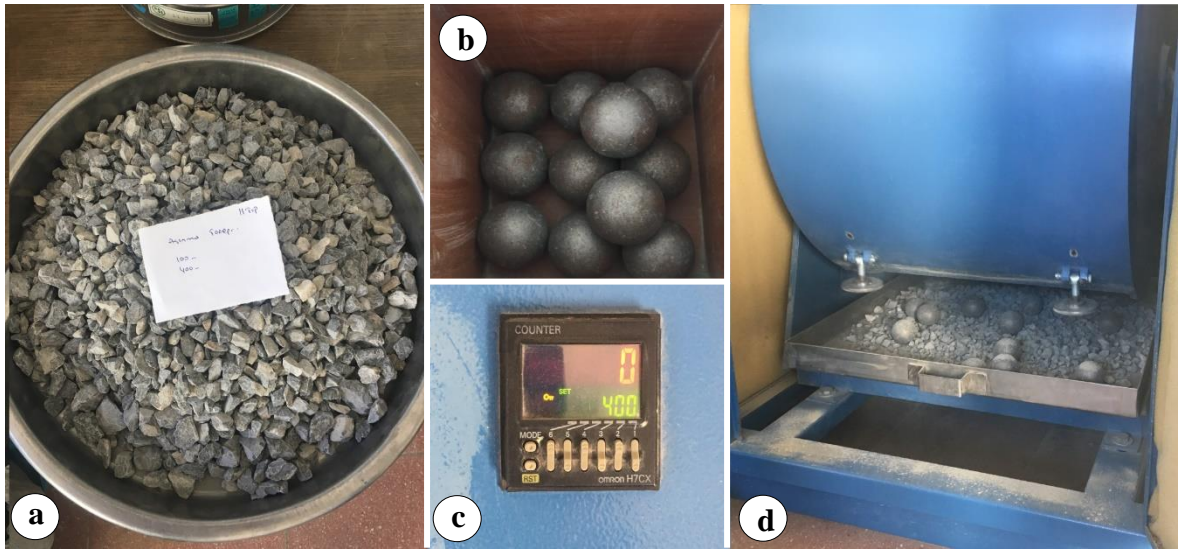
2.5.3.2. Agregaların Aşınmaya Karşı Direnci (Los Angeles Deneyi)

Bu deney, 37,5 mm'den küçük iri agregaların parçalanmaya karşı direncinin belirlenmesi için yapılmış olup ASTM C131 standardının gereklilikleri yerine getirilmiştir.

Bu yöntem, standart tane dağılımına sahip agregaların, tane dağılıma bağlı olarak belirli sayıda çelik bilyeler içeren döner çelik tambur içerisinde aşınma, darbe ve öğütme etkilerinin birleşimi altında parçalanmaya karşı dayanıklılığını tayin etmek için kullanılmaktadır. Tambur döndükçe, tambura bağlı raf agregaya ve çelik bilyeleri yukarı doğru taşımakta ve belirli bir yükseklikle agregaya ve çelik bilyeler düşerek tamburun karşı yüzünde aşındırma ve darbe etkisini oluşturmaktadır. Tambur içerisindeki malzemeler yuvarlanarak aşınma ve öğütme etkisine maruz kalmaktadır. Belirli döngü sayısına ulaşıncaya tambur içerisindeki malzemeler bir kap içerisine alınarak belirli bir elekten (1.70 mm) eleyerek, aşınarak ufalanmış malzemelerin oranını saptanmaktadır.

DeneySEL çalışmaların başında 3 ayrı boyuta sınıflandırılmış olan agregalarımızdan iri agregaların tane dağılımı 19 mm- 12,5 mm, 12,5 mm- 9,5 mm aralıklarında (B tane sınıfında) olduğundan, standarda göre bu iki aralıktaki malzemelerden 2500±10 gr, toplamda 5000 gr alınır. Sınıflandırılan numuneler 4 No elek içinde, üzerlerindeki ince maddelerin uzaklaştırılması amacıyla yıkanır. Yıkılarak etüvde kurutulmuş numuneler Şekil 2.21.'de verilen Los Angeles aşınma deney düzeneğine konulur.

B tane sınıfındaki numuneler için standarda göre 11 adet olarak alınan bilyeler tamburun içine yerleştirilir. Bu bilyelerin ağırlıkları 400-440 gr aralığında olup çapları 46,8 mm'dir (Şekil 2.21.). Tambur dakikada 30–33 devir olacak şekilde önce 100 sonra 400 devir olmak üzere toplam 500 devir attırılır. Bu işlem yaklaşık 16 dakika kadar sürer. 100 ve 500 devir sonunda makinenin kapağı açılarak toplama kabına makinenin içi boşaltılır. Kapın içinden numuneyle birlikte bulunan bilyeler çıkartılır (Şekil 2.21.). Makineden alınan numune daha sonra No,12 (1,7 mm) elekten elenerek üzerinde kalan malzeme tartılır ve hesaplamalara geçilir (Tablo 2.20.).



Şekil 2.21. Los Angeles deneyi; a) deney numunesi b) bilyeler c) devir saati d) deney sonu

Tablo 2.20. Los Angeles aşınma deneyi hesaplamaları ve sonucu

Sınıf ve Top. Adedi	Elek No.	Deney Num. Kütle, g	Yıkama Eleklere	Deney Sonu Kütle, g		Kütle Kaybı, % $C=(A-B) \times 100/A$		Ortalama %		
				100 Devir	500 Devir	100 Devir	500 Devir	100 Devir	500 Devir	
B	11	3/4 " - 1/2 "	2500	#12 1,68 mm	4713	3775	5,7	24,5	5,7	24,5
B	11	1/2 " - 3/8 "	2500							
Toplam									5,7	24,5

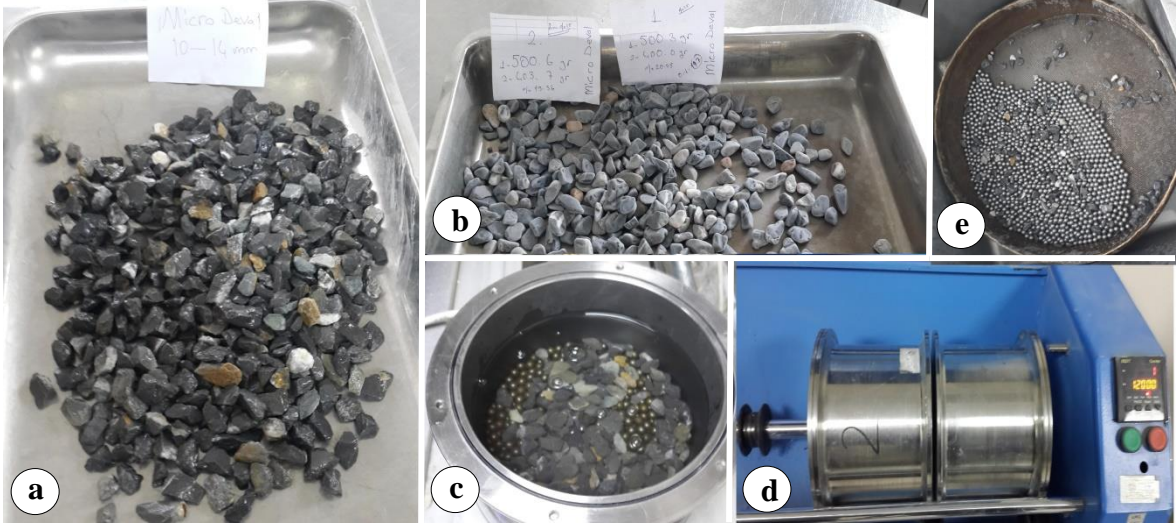
2.5.3.3. Agregaların Aşınmaya Karşı Direnci (Micro Deval Deneyi)

Beton ve asfaltın vazgeçilmezi olan agregalar üretim aşamalarından itibaren birçok yüklere maruz kalmaktadırlar. Yüklere maruz kalan bu agregalardan yapıların performansı etkilenmektedir. Bu nedenle beton ve asfaltın üretimleri ve kullanımları sırasında içerdikleri agregaların aşınma ve parçalamaya karşı dirençlerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerden biri de Micro Deval deneyidir. Deneyde aşağıdaki adımlar izlenir.

- Mikro Deval deneyi, belirli boyutlara göre sınıflandırılan agrega numunelerinin bir tambur içerisinde ve yaş ortamda, belirli bir dönüş hızında ve belirli bir tur sayısı boyunca aşındırılması şeklinde yapılmaktadır. Deney sonucu, deneyde aşınan agregaların standartlarla belirlenmiş elekten elenmesiyle birlikte elekten geçen malzeme miktarının ilk malzeme miktarına oranlanmasıyla bulunur.

- Mikro Deval deneyinde TS EN 1097-1'in gereklilikleri yerine getirilmiştir. Deney için 14 mm göz aralıklı elekten geçen ve 10 mm göz aralıklı elekte tutulan etüv kurusu agregalardan 500 ± 2 g ağırlığa sahip iki deney numunesi hazırlanır ve içinde 10 mm çaplı beş kilo çelik bilyenin bulunduğu tamburlara dökülür (Şekil 2.22.).

- Her iki tambura ayrı ayrı 2,5 litre su eklenir ve kapakları kapatılarak mil üzerine yerleştirilir ve dakikada 10 devir olacak şekilde 12000 devir döndürüldükten sonra tamburların içindeki bilye ve agregalar her tambur ayrı olacak şekilde 1,6 mm göz açıklıklı elekte yıkanır (Şekil 2.22.). Yıkamadan sonra bilye ve agregalar seçilerek birbirinden ayrılır. Agregalar etüvde kurutulduktan sonra ilk agregaların kütesinden deney sonucu agregaların kütlesi çıkarılıp beşe bölünmesiyle Micro Deval katsayısı bulunur. Bulunan iki değer in ortalaması aşınma miktarını vermektedir.



Şekil 2.22. Micro Deval deneyi; a-b) yıkanmış/etüv kurusu numune, c) bilye, numune, su içeren tambur, d) mil üzerindeki tamburlar, e) yıkama eleğinde bilye- numune ayrımı

Her bir deney numunesi için Mikro Deval katsayısı (M_{DE}) 0,1 birim yaklaşımla aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır.

$$M_{DE} = (500-m)/5 \quad (2.2)$$

Burada;

M_{DE} : Mikro Deval katsayısı

m : 1,6 mm göz açıklı elek üzerinde tutulan fraksiyonun kütlesi, g.

Bu hesaplardan ortalama $M_{DE}= 19,7$ olarak bulunmuştur.

2.5.4. Agregalarda Zararlı Maddelerin Tayini

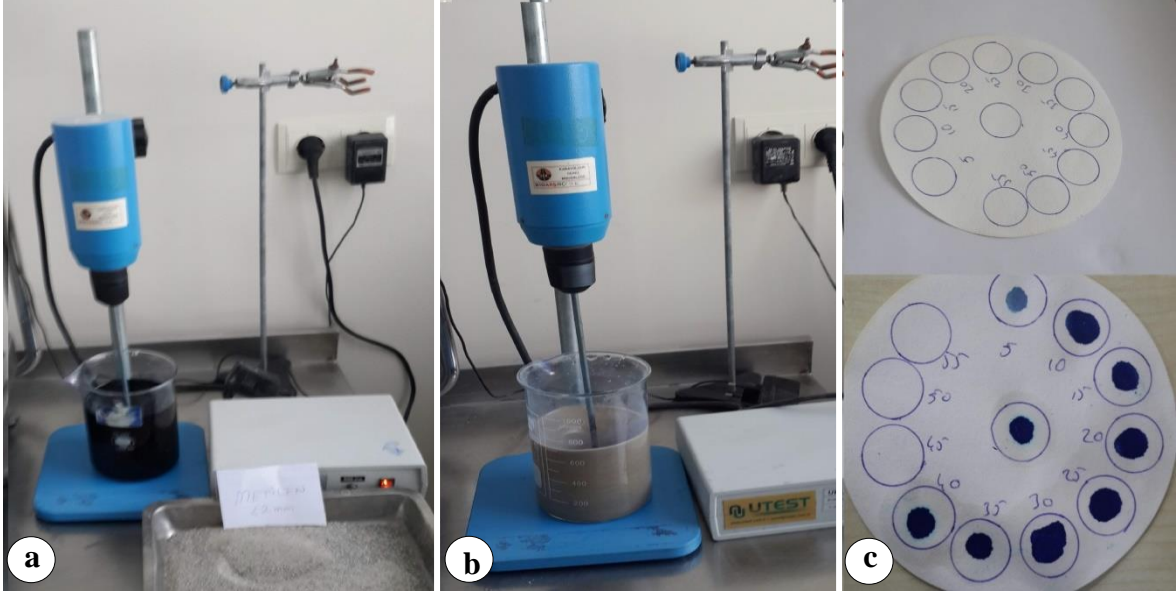
2.5.4.1. İnce Madde Oranı Tayini (Metilen Mavisi Deneyi)

İnce agregalardaki ince madde miktarı (0-2) mm, metilen mavisi deney yöntemi TS EN 933-9 gereklilikleri yerine getirilerek bulunmuştur. Deneyde aşağıdaki adımlar izlenir.

- 40 °C'deki 700 gr saf suya 10 gr metilen katılıp 45 dakika karıştırılarak çözelti hazırlanır (Şekil 2.23.).

- 2 mm' lik elekten geçen etüv kurusu numuneden 200 gramın üstünde numune alınır. Bu numune ile 500 gr su beş dakika kadar karıştırılır (Şekil 2.23.).

- İlk seferde 5 ml kadar metilen çözeltisi eklenerek 1 dakika karıştırılır. Bir dakikanın sonunda üzerinde halkalar bulunan süzgeç kâğıdına bu karışımdan damlatılır.
- Süzgeç kâğıdı üzerine damlatma işlemi sonrasında mavi damlanın etrafında turkuaz renkli hale çıkıncaya kadar bu işlem 5 ml metilen çözelti eklenerek devam eder.



Şekil 2.23. Metilen mavisi deneyi; a) çözelti hazırlama, b) numune hazırlığı c) fon kağıdı

Deney sonucu Tablo 2.21.'de verilmiştir.

Tablo 2.21. Metilen mavisi miktarının hesaplanması

Deney Numune Kütle, g	M_1	210
İlave Edilen Boya Çözeltisinin Toplam Hacmi, mL	V_1	40
Beher Kilogramı Başına Boya Miktarı Metilen Mavisi Değeri, g	$MB=(V_1/M_1) \times 10$	1,9

2.5.4.2 Agregada İnce Madde Oranı Tayini (Yıkama Yöntemi)

Kırma kumdaki çok ince malzeme miktarı, ince agreganın 0,063 mm kare gözlü elekten yıkanarak elenmesi sonucu yüzde bulunur. Bulunan sonuç kirlilik hakkında bilgi vermez. Çünkü yıkanabilir çok ince malzeme içinde kil, silt ile birlikte taşın kendi tozu da bulunabilir.

Şekil 2.24.'te görüldüğü üzere; TS EN 933-1'e göre yapılan bu deneyde 4 mm elekten geçen 500 gr numune kullanılır. Etüv kurusu olan numune daha sonra 0,063 mm 'lik eleğin içinde musluk altında yıkanır. Eleğin altından berrak su gelinceye kadar yıkama işlemi devam eder. Yıkama işleminden sonra numune kurutulur. Yıkanabilen ince madde oranı 0,063 mm göz açıklıklı elekten geçen madde ağırlığının agreganın ilk baştaki etüv kurusunun ağırlığına oranı ile bulunur (Tablo 2.22.).



Şekil 2.24. Yıkama yöntemi ile ince madde miktarının belirlenmesi; a) etüv kurusu numune, b) yıkama, c) yıkanan numune

$$M_y = [(M_1 - M_2) / M_1] \times 100 \quad (2.3)$$

Burada;

M_y : Yıkanabilir madde miktarı, ağırlıkça % olarak

M_1 : Deney Numunesinin ilk kuru ağırlığı, (g)

M_2 : Yıkanan deney numunesinin kuru ağırlığı, (g)

Tablo 2.22. Yıkanabilir madde miktarının hesaplanması

İşlem	< 4 mm Elek
M_1 : İlk Ağırlık (etüv) (gr)	500
M_2 : Son Ağırlık (etüv) (gr)	430
İnce Madde Miktarı (%)	14

2.5.4.3 Agregaların Potansiyel Alkali Reaktivitesinin Tayini (ASR)

Çimento içerisinde bulunan alkali hidroksitlerle agregalarda bulunan bazı reaktif minerallerin reaksiyonu sonucu oluşan alkali silis reaksiyonu beton yapılarda jel oluşumu yoluyla çatlamlara ve şişmelere sebep olmaktadır. Oluşan bu jel, su emerek genişleyen ürünler meydana getirmektedir. Beton içerisinde meydana gelen şişme sebebiyle oluşan hacim artışı çekme gerilmelerinin doğmasına sebep olarak betonda çatlamlara yol açar. Betonun çekme dayanımı, basınç dayanımının % 7'si ile % 11'i arasında olduğundan, % 0.04 – 0.005 gibi genişleme miktarı birim deformasyonu betonun çatlamasına yeterli olacaktır (Aydın, 2012).

Alkali silis reaksiyonunun ($\text{SiO}_2 + 2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) oluşumu için üç koşul gereklidir. Bunlar, Agregada reaktif silika (SiO_2), Sodyum ve Potasyum Alkalileri (Na^+ , K^+), Nem (H_2O)'dir. Bu üç koşuldaki birinin eksik olması alkali silis reaksiyonunun oluşumuna engel olmaktadır. Alkali silis reaksiyonunu belirlemek için, hızlandırılmış harç çubuğu, harç çubuğu, kimyasal, petrografik analiz ve beton prizma metodu gibi pek çok yöntem kullanılmaktadır (Varol ve Türkmenoğlu, 2016).

Bu deneyde ise Agregaların potansiyel alkali reaktivitesinin belirlenebilmesi amacıyla TS 13516'nın gereklilikleri yerine getirilerek hızlandırılmış harç çubuğu yöntemi kullanılmıştır. Harç yapımında kullanılacak agregalar, ince agrega sınıfından Tablo 2.23.'te verilen karışım oran ve miktarlarında kullanılır. Deneyde aşağıdaki adımlar izlenir.

Tablo 2.23. Deneyde kullanılan agregaların tane boyut dağılımı

Elek boyutu (mm)		Ağırlıkça, %
Geçen	Kalan	
4,75 (No.4)	2,36 (No.8)	10
2,36 (No.8)	1,18 (No.16)	25
1,18 (No.16)	0,60 (No.30)	25
0,60 (No.30)	0,30 (No.50)	25
0,30 (No.50)	0,15 (No.100)	15

- Deneyde TS EN 197-1'e uygun bir portland çimentosu yani 42,5 veya daha yüksek bir dayanıma sahip CEM I ve CEM I-SR, kullanılır. Kullanılan çimentonun alkali

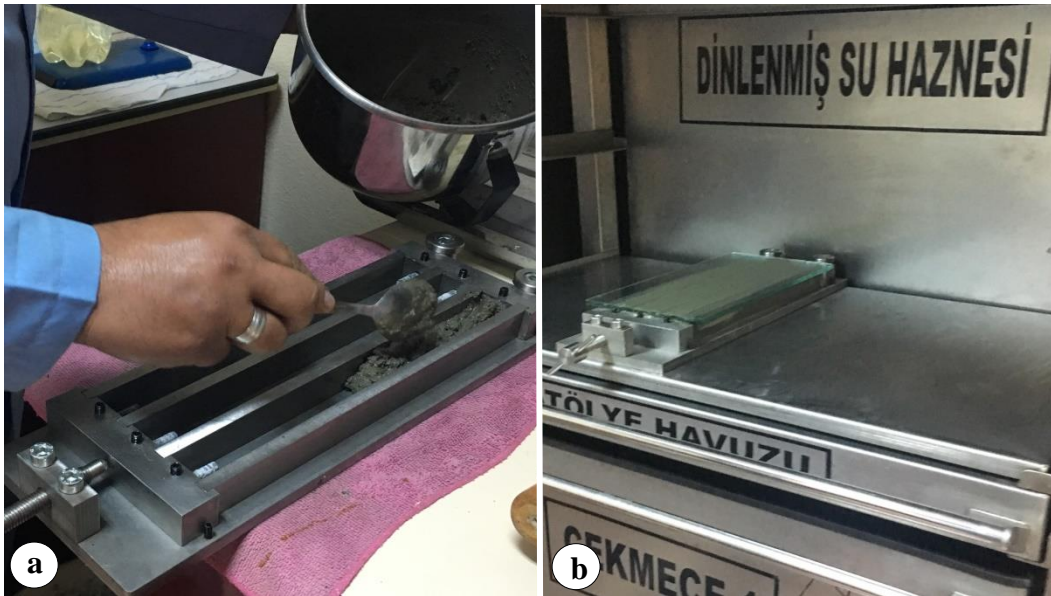
içeriği en az % 0,6 Na₂O eşdeğeri olmalıdır. Bu eşdeğer, çimento içerisinde bulunan sodyum oksit (Na₂O) yüzdesiyle potasyum oksit (K₂O) yüzdesinin 0,658 ile çarpılıp toplanmasıyla bulunan değerdir.

- Harç çubuklar için deney harcının hazırlanmasında, deneyde kullanılan agregalar gibi etüv kurusu bağıl yoğunluğu 2,45 veya daha yüksek olan agregalar için kuru malzeme oranı kütlece 1 birim olan çimentoya 2,25 birim sınıflandırılmış agrega kullanılmalıdır.

- Üç adet çubuk hazırlamak için, tek seferde harç karışımı için 440 g çimento, Tablo 2.23.'teki oranlar ile oluşturulmuş toplam 990 g agrega kullanılmalıdır. Suyun çimentoya oranı ise 0,47 olarak alınmalıdır.

- Oluşturulan harç ile 25x25x285 mm boyutlarındaki kalıplara dökülür ve yerleştirme için şişlenir (Şekil 2.25.). Ayrıca bu kalıpların ucuna, çubuklardaki boy değişimini ölçmede kullanılan pirinç pimler yerleştirilir.

- Kalıplar % 90 nispi nem bulunan kür odasında 23 °C'de 24 saat bekletilir. Bu süre sonunda kalıplardan çıkarılan numunelerin boyları ölçülür. Daha sonra numuneleri tamamen daldıracak şekilde yeterli miktarda su bulunan bir kaba yerleştirilerek kapatılır. Bu kap 24 saat süreyle 80 °C'de bir etüv veya su banyosuna yerleştirilir (Şekil 2.25.).



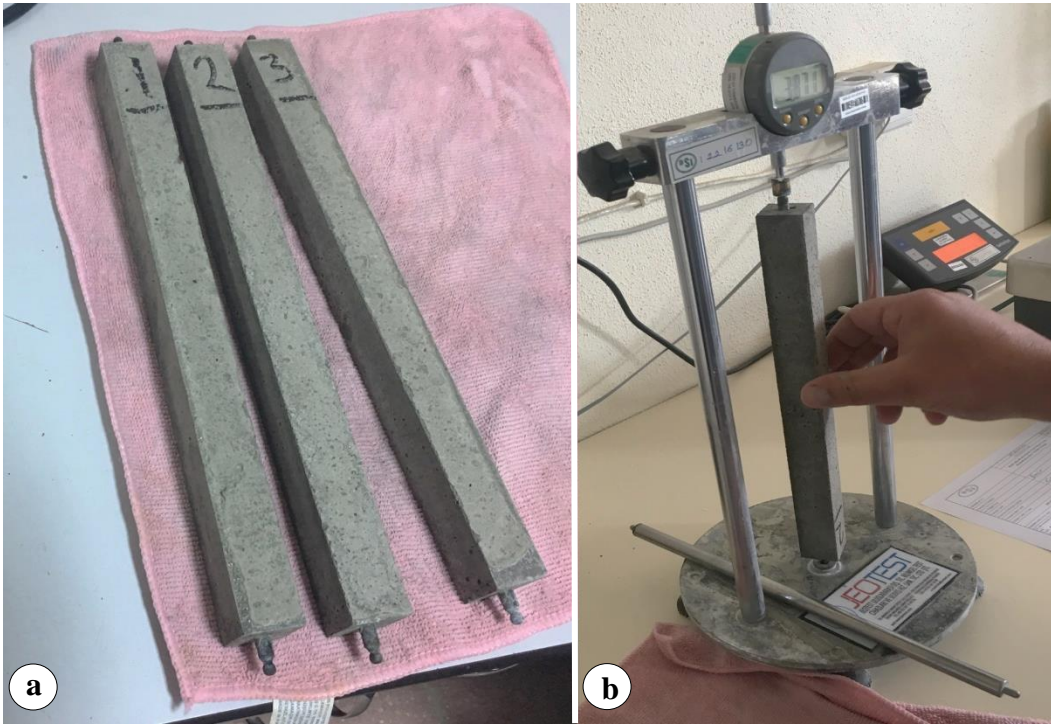
Şekil 2.25. Alkali deneyi; a) harç çubuklarının hazırlanması, b) çubukların kürlenmesi

Bu süre sonunda kür banyosundan çıkarılan numunelerin boyları ölçülerek tekrar kür banyosuna geri konular. 48 saat sonundaki bu ölçümler başlangıç okuması olarak

kaydedilir. Daha sonra bu harç çubukları 80 °C NaOH tankında bekletilerek (Şekil 2.26.) başlangıç okumasından 14 gün sonra aynı saatte boy okuması yapılır (Şekil 2.27.). Yapılan deneye ait hesaplama ve sonuçlar Tablo 2.24.'te verilmiştir.



Şekil 2.26. 80 °C'deki NaOH tankı



Şekil 2.27. Alkali deneyi; a) harç çubukları, b) çubukların boy okumaları

Tablo 2.24. Alkali silika deneyindeki hesaplama ve sonuçlar

Deneyler		1. Numune		2. Numune		3. Numune	
		Üst	Alt	Üst	Alt	Üst	Alt
Standart Çubuk Boyu, mm	L_s	365	310	365	310	365	310
24 saat sonundaki boy değişimi, mm 06.11.2018 Saat: 09.15	$\pm\Delta L_{ilk}$	3,72	3,676	3,813	3,871	3,638	3,632
Numune İlk Boyları	$L_{ilk}=L_s+\Delta L_{ilk}$	368,72	313,68	368,81	313,87	368,64	313,63
48 saat sonundaki boy değişimi, mm 80 °C'deki saf suda 07.11.2018 Saat: 09.15	ΔL_{su}	3,91	3,85	3,99	4,04	3,79	3,77
16 günlük boy değişimi, mm 80 °C'deki NaOH çözeltisinde 21.11.2018 Saat: 09.15	ΔL_{16}	4,15	4,08	4,26	4,29	4,04	4,01
Hesaplamalar							
$L_0=L_{ilk}+\Delta L_{su}$ (mm)		372,63	317,53	372,80	317,92	372,42	317,40
$L_{16}=L_{ilk}+\Delta L_{16}$ (mm)		372,87	317,76	373,07	318,16	372,67	317,64
$G_{16}=(L_{16}-L_0)/L_0$ (mm)		$65/10^5$	$73/10^5$	$71/10^5$	$78/10^5$	$67/10^5$	$76/10^5$
Her bir numunede 16 günlük boy değişimi $G_{16 \text{ ort}}=[((L_{16}-L_0)/L_0)_{\text{ÜST}}-((L_{16}-L_0)/L_0)_{\text{ALT}}]*100/2$ %		0,069		0,075		0,071	
16 günde boyca toplam ort. Genleşme, $G_{16 \text{ TOP. ORT.}}=(G_{16-1}+G_{16-2}+G_{16-3})/3$		0,072					

2.6. Beton Karışım Tasarımı

Deneysel çalışmanın bu aşamasında, agrega olarak kullanılabilirliği araştırılan Berdiga kireçtaşlarına fiziksel ve mekaniksel deneyler uygulanarak mevcut agrega özelliklerinin gün ışığına çıkması sağlanmış ve agrega olarak kullanılabilirliği uygun görülmüştür. Bu bağlamda ne kadar uygun olup olmadığının anlaşılabilmesi amacıyla, TS 802 ve TS EN 206-1'e göre beton karışım tasarımları hazırlanmış ve böylelikle Berdiga kireçtaşlarının beton için uygun olup olmadığının anlaşılma aşamasına geçilmiştir.

Beton karışım oranlarının tespiti için birçok metot mevcutsa da bunların hiç biri, istenilen özellikteki betonu bir defada hesaplamaya yeterli olamaz. Bunlar, karışım oranlarını bulmak için başlangıç noktalarıdır. Tam değerleri denemelerle tespit etmek gerekir. Zira beton karışımlarında esas, istenilen derecede işlenebilme kabiliyetine sahip olan ve sertleştikten sonra istenilen özellikleri gösteren bir karışım teşkil eden, en

ekonomik ve en uygun agrega, çimento, su ve bazı hallerde katkı maddelerini tayin etmektir. Bu faktörlerin hepsini arzu edilen derecede tayin etmek ancak bir seri denemelerle gerekli düzeltmeler yapmak suretiyle mümkündür. İstenilen beton harman ağırlığını tayin için mevcut malzemelerin özelliklerine uygun mantıki bir sıra ile kademeler halinde hesaplamalar yapılır (Öztabak, 2002).

Beton karışım hesap ve denemelerine başlamadan önce, maksimum su/çimento oranı, minimum çimento miktarı, hava miktarı, çökme değeri, maksimum agrega boyutu gibi bilinmesi gereken değerler vardır. Bu gerekli bilgiler haricinde kullanılacak malzeme özelliklerinden; ince ve kaba agreganın kuru özgül ağırlığı ile su absorpsiyon yüzdesi, kaba agreganın kuru sıkışık birim ağırlığı, ince agreganın incelik modülü, çimentonun özgül ağırlığı, ince ve kaba agreganın rutubet yüzdelerinin bilinmesinde fayda vardır (Öztabak, 2002).

Beton karışım hesabı yapılırken, betonun döküleceği elemanın boyutları, elemanın maruz kalacağı çevresel etkiler (sülfat ve klorür gibi zararlı kimyasal etkiler, donma-çözülme, ıslanma-kuruma gibi), elemanın sahip olması gereken geçirimsizlik, dayanım, dayanıklılık, yoğunluk, işlenebilme, vb. özellikleri göz önünde bulundurulur (URL-7, 2019)

2.6.1. Karışım Hesabının Deneylerle Gerçekleşmesi

Berdiga Formasyonu'na ait kireçtaşlarının agrega olarak kullanılabilirliğinin araştırılması kapsamında yapılan deneylerden yola çıkılarak beton agregası olarak kullanılabilmesi düşünülmüş ve beton içindeki dayanımının öğrenilmesi amacıyla TS 802'den faydalanılarak beton karışım dizaynı yapılmıştır.

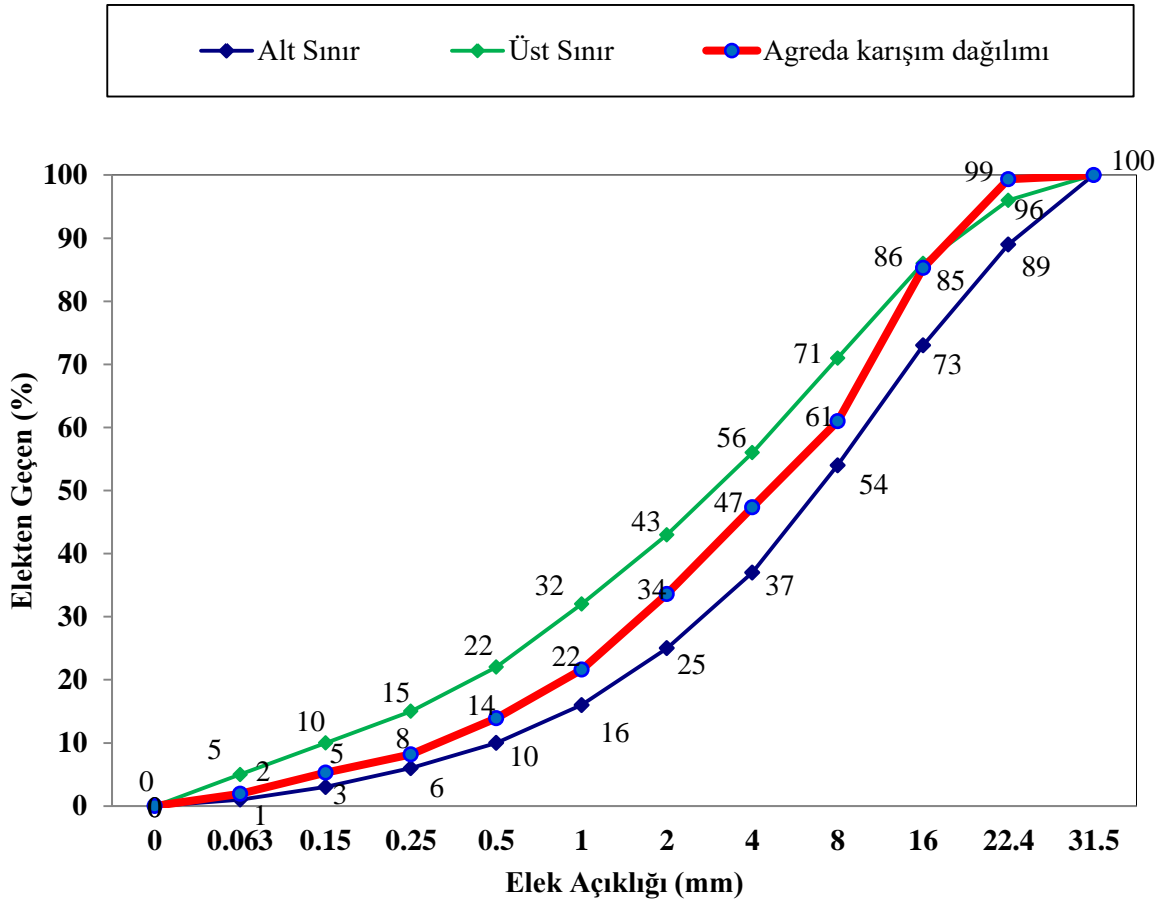
Betonlarda hidrolik bağlayıcı olarak bölgede yaygın kullanıma sahip farklı iki markada CEM I 42,5 R çimento kullanılmıştır. Belirli bir taze beton çökme sınıfı hedeflenerek, agrega özelliklerinin yanında farklı çimento markalarının, farklı katkı türlerinin ve farklı beton çökme değerinin beton dayanımına olan etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Deneyisel çalışmalarda 8 adet beton tasarımı yapılmış olup tüm tasarımlarda pompalanabilir betonlar için kullanılan agrega karışım eğrisi kullanılmış, agrega karışım oranlarında düzeltmeler yapılarak ideal karışım aralığında olması sağlanmıştır. Karışıma

ait grafik Şekil 2.28.'de verilmiştir. Tasarımlarda kullanılan malzemeler ve miktarları ise Tablo 2.25.'te verilmiştir.

Tüm karışımlarda çimento miktarı 320 kg/m^3 alınmıştır. Sekiz tasarımın yedi tanesinde taze beton çökme değeri 16 cm seçilmiş olup bu değerin elde edilebilmesi için taze beton üretimi esnasında slump (çökme) deneyi yapılarak gerekli miktarlarda su düzeltilmesi yapılmıştır. Agregaların rutubet durumu da göz önünde bulundurularak düzeltilen su miktarlarına göre su/çimento oranları değişkenlik göstermiştir.

Sekiz tasarımdan bir tanesinde çökme değeri 14 cm seçilmiş ve beton dayanımı üzerindeki etkisi görülmüştür. Sekiz tasarımdan iki tanesinde katkı kullanılmamış, geriye kalanlarda ise farklı su kesme özelliği olan katkıları çimentonun %1,2'si kadar kullanılmış olup su kesme miktarları belirlenerek beton dayanımı üzerinde etkileri görülmüştür.



Şekil 2.28. Denede kullanılan agrega karışımının tane dağılım eğrisi

Agrega karışım eğrisi oluşturulurken bölüm 2.6.2.1’de verilen elek analizi sonuçları kullanılmış olup en büyük tane boyutu olan 25 mm için standartta verilen dağılım eğrisinde kabul edilebilir sınırlarda kalması amacıyla karışımda kullanılacak agrega tane sınıflarının oranlarında düzeltmeler yapılmıştır. 0-5 mm kumdan, agrega karışımının %48’ni, 5-12 mm 1 numara mıcırdan karışımın %20’sini, 12-25 mm 2 numara mıcırdan ise karışımın %32’sini oluşturacak şekilde Şekil 2.28.’de verilen agrega dağılım grafiği elde edilmiştir.

Grafikten, iri boyutta inceleme olduğu görülmektedir. Bu incelmenin sebebi kayacın kırılması sırasında kullanılan ekipmanların kırma ve eleme şekillerinden kaynaklanabilir.

Tablo 2.25. Beton tasarımlarının içerdiği malzemeler ve miktarları

Dizayn No	Agregalar, dm ³				Çimento			Su	Katki			S/Ç	Stamp
	0-5 mm	5-12 mm	12-25 mm	Toplam	Marka	kg	dm ³	dm ³	Çimentonun % 1,2’si		Katki Türü		
	% 48	% 20	% 38	% 100					kg	dm ³			
1	305,3	127,2	203,6	636,1	A	320	106,3	239	3,84	3,6	Orta Akış.	0,75	16
2	296,9	123,7	197,9	618,7	A	320	106,3	260	3,84	3,6	Katkısız	0,81	16
3	324,5	135,2	216,4	676,1	B	320	106,3	199	3,84	3,6	Orta Akış.	0,62	16
4	325,7	135,7	217,2	678,7	B	320	106,3	218	3,84	3,6	Katkısız	0,68	16
5	316,3	131,8	210,9	659,1	A	320	106,3	216	3,84	3,6	Hiper Akış.	0,68	16
6	319,7	133,2	213,1	666,1	B	320	106,3	208	3,84	3,6	Hiper Akış.	0,65	16
7	314,4	131	209,6	655,1	A	320	106,3	220	3,84	3,3	Süper Akış.	0,69	16
8	321,8	134,1	214,5	670,4	B	320	106,3	205	3,84	3,6	Hiper Akış.	0,64	14

Yapılan beton tasarımlarının 7 ve 28 günlük beton basınç dayanımlarını öğrenebilmek için her bir tasarımdan altışar adet (15x15x15) cm³’lük küp numuneler alınmıştır. 6 adet küpü dolduracak şekilde 20 dm³ civarında betonun hazırlanması için gerekli malzeme miktarları Tablo 2.25.’te verilen miktarlardan oranlanarak hesaplanmıştır. Ayrıca tüm tasarımlarda hava miktarı 1 m³ karışım için 15 dm³ alınmıştır.

Hesaplanan miktarlara göre, her tasarım için ayrı ayrı tartılarak hazırlanan malzemeler Şekil 2.29.’da verilen karıştırıcının içine boşaltılıp homojenliğin sağlanması için karıştırıldıktan sonra katkı kullanılmışsa katkı ve su birlikte ilave edilmiştir.

Homojen bir görünüm sağlanıncaya kadar karıştırıldıktan sonra taze betona çökme deneyi uygulanarak hedef çökmenin gerçekleşip gerçekleşmediğinin kontrolü yapılmış ve çökme değerlerine göre gerekli su ilaveleri yapılmıştır. Oluşturulan taze betonlardan küp numuneler alınmış ve alınan küp numuneler 24 saat sonunda 20-22 derecelik kür tankına yerleştirilerek 7. ve 28. gün sonunda kırılarak beton basınç dayanımları bulunmuştur.



Şekil 2.29. Beton karıştırıcı (betoniyer)

2.7. Taze ve Sertleşmiş Betona Uygulanan Deneyler

2.7.1. Çökme (Slump) Deneyi

Taze betonun kıvamı, çökme (slump) hunisi metodu ile TS EN 12350-2'ye göre belirlenmiştir. Deneyde aşağıdaki adımlar izlenir.

- Deney numunesi, beton karışımını temsilen alınır.
- Çökme hunisinin (Şekil 2.30.a) içi ıslak bez ile silinir veya su ile ıslatılır.
- Huni taban plakası üzerine yerleştirilir.
- Betonun yerleştirilmesi esnasında, huninin tabanında bulunan basma parçasına basılarak tava üzerinde sabitlenir (Şekil 2.30.b).

- Taze beton huni içine üç eşit tabaka halinde (6,5–15–30 cm olarak) yerleştirilir ve her tabaka şişleme çubuğu (61 cm boyunda ve 16 mm çapında ucu konikleştirilmiş) ile kenarlardan ortaya doğru dairesel olarak düşey şekilde 25 kez şişlenir (Şekil 2.30.c).
- Şişleme esnasında en alt tabaka bütün tabaka derinliğince şişlenir. Diğer tabakaların şişlenmesinde şişin bir önceki tabakaya 2,5 cm kadar girmesi sağlanır.
- Şişleme işlemi tamamlandıktan sonra huninin üstü mala ve şişleme çubuğu ile düzlenir. Huninin etrafına dökülen beton temizlenir.
- Huni saplarından tutularak yavaşça ve titizlikle düşey şekilde yukarı doğru çekilir.
- Boşa çıkan huni çöken taze beton yığınının yanına yerleştirilir.
- Huninin üzerine şişleme çubuğu yatay olarak yerleştirilir. Şişleme çubuğunu alt yüzeyi ile çöken betonun üst yüzeyinin ortalama yüksekliği arasındaki mesafe cetvele en yakın 0,5cm'ye kadar ölçülür. Bulunan değer betonun çökme değeridir (Şekil 2.30.d).
- Tüm deney, huninin betondan çekilme anı dâhil, hiçbir kesintiye uğramadan 2 dk içinde bitirilmelidir.



Şekil 2.30. Çökme deneyi; a) huni, b) dolum, c) şişleme, d) ölçüm

Tasarımı yapılmış beton karışımların yedi tanesinde hedef slump 16 cm, bir tanesinde ise 14 olarak belirlenmiştir. Bu değerler bu deneyin standardında bulunan ve bölüm 1.6.2.1’de de değinilen limitler arasında olup, 16 slump S4 kıvam sınıfında, 14 slump ise S3 kıvam sınıfındadır. İşlenebilirliği çökmenin yüksek olmasından dolayı kolay, fakat daha yüksek su/çimento oranlarında kuma (ayrışma) göstermesi muhtemeldir. Ayrıca işlenebilirliği yüksek olan karışımın kalıplara iyi yerleşmesi ve donatıların aralarını doldurarak boşluk kalmamasının göstergesidir.

2.7.2. Taze Beton Yoğunluk Deneyi

Bu deney TS EN 12350-6’ya göre yapılmıştır. Deneyde en az 5 lt kapasiteli, silindirik kap kullanılmıştır.

Hacmi (V) ve kütlesi (M) bilinen kabın içine dökülen taze betonda tam sıkışma elde edilecek ancak ayrışma olmayacak ve yüzeye aşırı şerbet çıkmayacak şekilde vibratör yoluyla sıkıştırılmıştır.

Dolu kap tartılarak, boş kabın ağırlığı bu ağırlıktan çıkartılmıştır. Bulunan ağırlığın kabın hacmine bölünmesiyle taze betonun yoğunluğu bulunmuştur. Yapılan bu deneye ilişkin görüntü Şekil 2.31.’de ve sonuçlar Tablo 2.26.’da verilmiştir.



Şekil 2.31. Taze beton yoğunluk deneyi

Tablo 2.26. Taze beton yoğunluk deneyi sonuçları

Dizayn No	Kap Ağırlığı g (M_1)	Kap Hacmi cm^3 (V)	Dolu Kap Ağırlığı, g, (M_2)	Yoğunluk g/cm^3 (D) $D=(M_2-M_1)/ V$
1	8450	14100	40970	2,31
2	8450	14100	40850	2,30
3	8450	14100	41350	2,33
4	8450	14100	41360	2,33
5	8450	14100	41000	2,31
6	8450	14100	41210	2,32
7	8450	14100	41090	2,31
8	8450	14100	41090	2,31

2.7.3. Taze Beton Hava İçeriği Tayini Deneyi

Bu deney TS EN 12350-7'ye göre, en büyük tane boyu 63 mm'ye kadar olan, normal ağırlıklı veya yoğun kabul edilen agrega ile yapılmış, sıkıştırılmış taze betonda, hava muhtevasının tayini için yapılmıştır.

Deneyde basınç ölçme metodu kullanılmıştır. Bu deneyde, üzerinde basınç ölçme düzeneği, hava pompası ve kapağı bulunan Şekil 2.32.'de görülen, silindirik şekilli, çimento hamurundan kısa sürede etkilenmeyen çelik veya diğer rijit metalden yapılmış, hacmi en az 5 litre ve çap / yükseklik oranı 0,75'den az, 1,25'den fazla olmayan kap kullanılmıştır.



Şekil 2.32. Taze beton hava ölçme deneyi; a) deney cihazı, b) ölçüm sayacı

Yapılan deneylerde yaş betonlar içerisindeki hava miktarı 1 metreküp betona karşılık olarak 15 dm^3 - 25 dm^3 arasında değişmiştir.

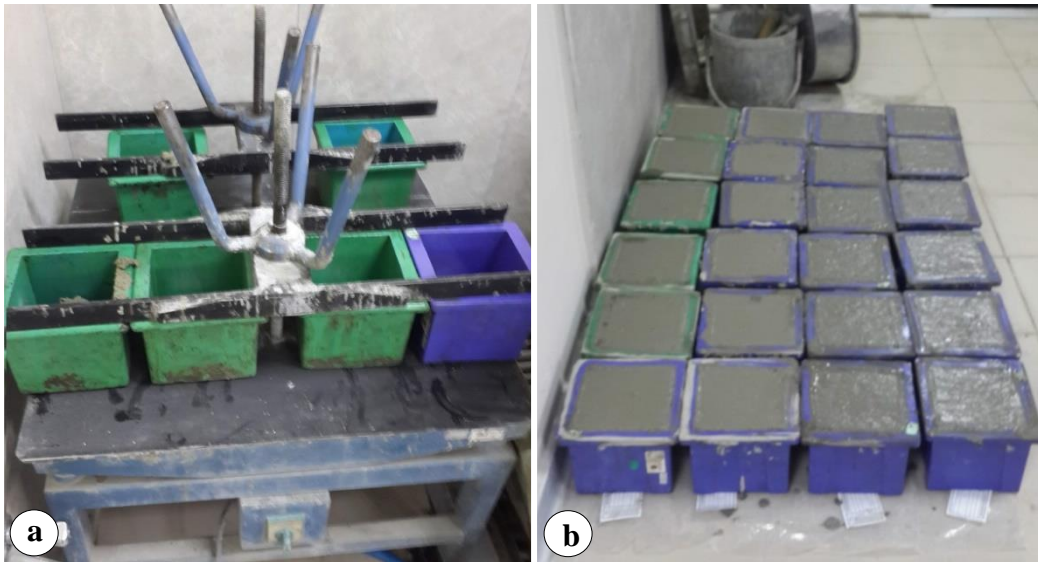
2.7.4. Beton Numunelerin Hazırlanması, Kürü ve Dayanımının Tayini

Bu deney TS EN 12390-3'ün gereklilikleri yerine getirilerek yapılmıştır.

2.7.4.1. Küp Numunelerin Oluşturulması

Beton numuneler oluşturulurken aşağıdaki adımlar takip edilmiştir.

- Beton numuneler (15x15x15) cm küp kalıplarda hazırlanır.
- Küpler doldurulmadan önce içleri temizlenir ve yağlanır.
- Küp içine taze beton 3 eşit tabaka halinde kürekle dökülür.
- Her tabaka beton içinde hava boşluğu kalmaması amacıyla 25 kez şişlenir.
- Küpler vibrasyon yöntemiyle sıkıştırılacak ise iki tabaka halinde doldurulur ve her tabakada vibrasyon uygulanır (Şekil 2.33.).
- Küpün açık yüzeyi mala yardımıyla düzlenir.
- Daha sonra küpler 24 saat bekletildikten sonra açılarak ortalama $22 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'lik kür tanklarına yerleştirilirler (Şekil 2.33. ve şekil 2.34.).
- Kür tanklarında 7, 28 ve diğer belirlenen günler kadar bekletilen numuneler hidrolik pres ile kırılarak basınç dayanımları bulunur.



Şekil 2.33. a) Küplerin doldurulması, sıkıştırılması, b) 24 saat boyunca bekletilmesi

2.7.4.2. Küp Numunelerin Kürü

Basınç dayanımını etkileyen faktörlerden biri de beton yapıldıktan sonraki muhafaza şeklidir. Beton numuneleri değişik şekillerde kür edilirse değişik basınç dayanımları verirler. Beton yapıldıktan sonra uzun müddet rutubetli küre tabi tutulmazsa rötreye (büzülme) çatlakları meydana gelir, bu da dayanımı olumsuz etkiler.

Laboratuvarda hazırlanan numunelerin küründe aşağıdaki adımlar izlenir.

- 16–27 °C'de 20–48 saat kalıp içinde bekletilirler. 24 saat sonra beton yeterli dayanıma ulaşmışsa kalıptan çıkartılmıştır.
- Kalıplardan alınan numuneler, basınç dayanımı deneyine tabi tutulacağı ana kadar bağıl rutubeti en az % 95 ve sıcaklığı 21–25 °C olan rutubetli odada bekletilmiştir (Şekil 2.34).
- Numunelerin bekletilmesi sırasında, prizmalar su içinde bütün yüzeylerine su değecek şekilde ve birbirlerine zarar vermeyecek şekilde ayrı olarak yerleştirilmiştir.
- Prizmalar basınç dayanımı deneyinden önce sudan çıkarılıp yüzeyleri kurulandıktan sonra deneye tabi tutulmuştur (Batmaz, 2006; Şimşek, 2007).
- Tez çalışması kapsamında oluşturulan küp beton numuneleri 7 ve 28 gün olarak kür edildikten sonra basınç dayanımları belirlenmiştir.



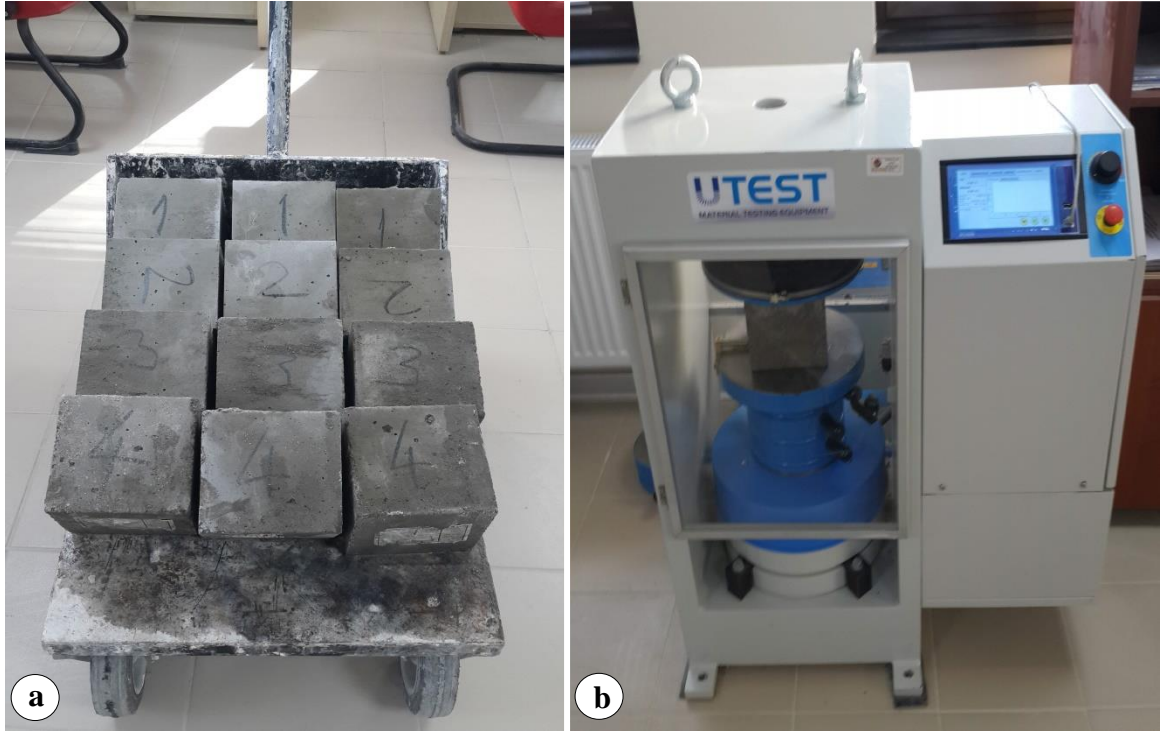
Şekil 2.34. Kür; a) kürdeki numuneler b) kür tankı c) kür işlemindeki numuneler

2.7.4.3. Beton Basınç Dayanımının Belirlenmesi

Bu deney TS EN 12390-3'e göre aşağıdaki adımlar izlenerek yapılmıştır.

- Deney numuneleri kür havuzundan çıkarılarak yüzeylerindeki suyun kuruması beklenmiştir (Şekil 2.35.).
- Küp numuneler döküm yönüne dik yönde presin (Şekil 2.35.) alt başlık bloğunun üzerine yerleştirilmiştir.
- Deney numunesi kırıldığı anda pres göstergesindeki yenilme yükü okunmuştur.
- Elde edilen yük deney numunesinin yüzey alanına bölerek basınç dayanımını bulunmuştur.

Oluşturulan beton numunelerine ait basınç dayanımları Tablo 2.27.'de verilmiştir.



Şekil 2.35. a) Kürden çıkarılan küp numuneler b) basınç dayanım test makinesi

Tablo 2.27. Beton tasarımlarına ait numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları

Dizayn No	Çimento Markası	Katkı	Slamp	Numunelerin Kür Sonundaki Basınç Dayanımı (MPa)							
				7 Günlük				28 Günlük			
				1.	2.	3.	Ort.	1.	2.	3.	Ort.
1	A	O.A	16	21,4	20,2	20,4	20,7	26,2	24,2	24	24,8
2	A	Yok	16	17,7	16,9	17,1	17,2	22,2	22,1	22,2	22,2
3	B	O.A	16	22,8	22,3	21,8	22,3	28,3	27,5	27,8	27,9
4	B	Yok	16	17,9	18,5	18,1	18,2	23,1	21,8	23,7	22,9
5	A	H.A	16	22,5	24,2	23,5	23,4	28,5	26,5	25,3	26,7
6	B	H.A	16	27,2	27,8	27	27,3	31,7	32,8	32,3	32,3
7	A	S.A	16	-	-	-	-	28,8	28,6	27	28,1
8	B	H.A	14	-	-	-	-	34,5	34,2	33,5	34,1
O.A: Orta akışkanlaştırıcı				S.A: Süper akışkanlaştırıcı				H.A: Hiper akışkanlaştırıcı			

3. İRDELEME

3.1. Kayaç Özelliklerinin İrdelenmesi

Kireçtaşı, kirecin hammaddesi olan ve doğada bol miktarda bulunan karbonatlı tortul kayaç ve fosiller için kullanılan genel bir deyim olup, yapısında prensip olarak kalsiyum karbonat veya kalsiyum karbonat/magnezyum karbonat bileşikleri ($\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3$) kombine halde bulunur. Bunun yanı sıra içinde değişik oranlarda demir, alüminyum, silisyum, kükürt gibi safsızlıklara da rastlanabilir.

Kalsit ise karbonatlı kayaçları oluşturan bir mineralin adı olup kimyasal yapısı CaCO_3 'dür ve karbonatlı kayaçların (kireçtaşı, mermer, tebeşir) ana mineralidir. (URL-8, 2019).

Tez çalışmasında konu olan Berdiga kireçtaşının kimyasal bileşimi incelenmiş olup, kayacın % 86,46'sı CaCO_3 , % 8,08 SiO_2 , % 0,65 MgO , % 5,46 kil ve diğer minerallerden oluşmaktadır. Büyük çoğunluğu karbonatlı olan bu kayacın kireçtaşı olduğu görülmüştür. Kalsiyum karbonattan geriye kalan safsızlıklar bu kireçtaşının kullanım alanına göre kalitesini etkileyecektir. Örneğin, kireç üretiminde kullanılabilmesi için % 90'nın üzerinde CaCO_3 içermesi gerekir. Çimento yapımında kullanılabilmesi için magnezyum oranının % 5'in altında olması ve diğer kil minerallerini içermesi gerekir. Beton yapımında agrega olarak kullanılabilmesi için ise betonda alkali reaksiyonuna neden olacak aktif silisleri içermemelidir. Yapılan kimyasal analizde SiO_2 %8,08 gibi yüksek değer olmasına karşın yapılan alkali silika deneyinde bu silislerin reaksiyon değeri % 0,072 bulunarak, TS 13516 2012'ye göre aktif silis reaksiyon sınır değeri olan %0,10'dan küçük olduğu görülmüştür.

Kayacın fiziksel ve mekanik şartlar altındaki davranışı bu kayaçla yapılacak yapının kalitesini etkilediğinden dolayı kayaca fiziksel ve mekanik deneyler uygulanmıştır.

Bu deneylerden;

Tek eksenli basınç dayanımı deneyinde, kayacın ortalama basınç dayanımı 54,36 MPa bulunmuştur. Bu değer, ISRM 1981'e göre kayacın "orta dayanımda" olduğunu göstermiştir.

Schmidt çekiçi deneyinde, Schmidt sertlik değeri 49 bulunmuş ve bu değer ISRM 1978'e göre kayacın "sert" sınıfta olduğunu göstermiştir.

Brazilian dolaylı çekme dayanımı deneyinde, kayacın çekme dayanımı 4,04 MPa olarak bulunmuştur. Literatürde dolaylı çekme dayanımından yola çıkılarak tek eksenli basınç dayanımının belirlenmesine dair çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan Arıoğlu ve Tokgöz, 1993'te; kayaların çekme dayanımlarının tek eksenli basınç dayanımlarının ortalama % 9'u kadar kabul edilerek kullanılabileceğini önerilmiştir. Buradan yola çıkılarak tek eksenli basınç dayanımı ortalama 54,36 MPa olan kayacın dolaylı çekme dayanımı 4,89 MPa bulunmuş deney sonucu bulunan 4,04 MPa'dan yaklaşık % 17 fazla olduğu görülmüştür.

Nokta yükü dayanım indeksi deneyinde indeks değeri 2,76 MPa bulunmuş ve Bieniawski 1975'e göre kayacın "orta dayanımda" olduğu görülmüştür.

Suda dağılma dayanıma deneyinde ise kayacın suda dağılmaya karşı direnci % 99,02 bulunmuş ve Düzyol 2004'te geçen Gamble'ın sınıflamasına göre "çok yüksek" dayanımda olduğu görülmüştür.

Bu deneylerin geneline bakıldığında, kayacın orta dayanım sınıfında tespit edilmiştir. Kayaca uygulanan dayanım deneylerinde kayaç numunesinin, kayaç içerisinde bulunan kalsit damarları boyunca kırıldığı gözlemlenmiştir. Genel olarak kalsit damarları içeren bu formasyonun yüksek dayanım sınıfında olmaması, içerisinde bulunan kalsit damarları boyunca kırılması nedeniyle olduğu düşünülmektedir.

3.2. Agrega Özelliklerinin İrdelenmesi

Tez çalışmasına konu olan kayacın agrega özelliklerini belirlemek için birçok deney yapılmıştır. Bu deneylerde;

TS 706 EN 12620'ye göre 3 ayrı boyuta sınıflandırılmış olan agregalara yapılan elek analizine göre en büyük agrega boyutu 25 mm bulunmuştur. Agrega karışımına ait tane dağılım eğrisinin TS 802'de verilen sınır değerler arasında kaldığı görülmüştür. Yalnızca bu eğriden, agrega karışımı içerisindeki iri tanelerde incelme olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum agreganın üretildiği kırma eleme tesisindeki kırma teknolojisindeki eksikliklerden kaynaklanabilmekle birlikte düzeltilmesi mümkün olan bir durumdur.

Elek analizinde, ince agregalar için bulunan incelik modülü 3,3 olup bu değer TS EN 706 12620'deki 2,4 ile 4 arasında kalmaktadır.

Agregalara uygulanan su emme, özgül ağırlık deneylerinden elde edilen sonuçlara bakıldığında; agrega kuru özgül ağırlık değeri $2,56-2,72 \text{ gr/cm}^3$, doymun yüzey kuru özgül ağırlık $2,68-2,71 \text{ gr/cm}^3$, görünür özgül ağırlık, $2,68-2,70 \text{ gr/cm}^3$ arasında olduğu görülmüştür.

Erdoğan, 2004'e göre genel olarak etüv kurusu yoğunlukları $2,0 \text{ kg/dm}^3$ 'den büyük, $3,0 \text{ kg/dm}^3$ 'den küçük olan agregalara normal agregalar denilmektedir. Tez çalışmasına konu olan agregaların yoğunlukları $2,56-2,72 \text{ gr/cm}^3$ değerleri arsında kaldığı için normal agregalar olarak değerlendirilebilir. Şimşek 2007'ye göre ise beton agregalarının yoğunlukları 2,2 ile $2,9 \text{ kg/dm}^3$ arasında olmalıdır. Buna göre söz konusu agregalar beton yapımı için uygundur. Ayrıca, BS 812'ye göre beton agregaları için kuru özgül ağırlık en az 2,65 olmalıdır. ASTM C 127-88'e göre ise agregaların görünür özgül ağırlıkları en az 2,65 olması istenmektedir. Böylelikle, yapılan çalışmalarda agregaların yoğunluklarının standartlarda belirtilen değerler içinde olduğu görülmüştür.

TCK 2013'e göre yapı türlerine göre değişmekle birlikte betonda kullanılacak agregaların su emme değerlerinin % 2,5 veya % 3'ten küçük olması gerekmektedir. Yine BS 8007'ye göre % 3'ten küçük, ASTM C 127-88'e göre ise % 2,5'ten küçük olması gerekmektedir. İncelenen kireçtaşının su emme değerleri % 0,3-2,3 arasında olduğundan beton agregası için istenen standartlara uymaktadır.

Agregaların gevşek birim ağırlıkları $1,36$ ile $1,47 \text{ kg/dm}^3$, sıkışık birim ağırlıkları ise $1,62$ ile $1,72 \text{ kg/dm}^3$ arasında değişmektedir. Şimşek 2007'ye göre beton agregalarının birim ağırlığı $1,30-1,85 \text{ kg/dm}^3$ arasında değiştiği için incelenen agregalar beton yapımı açısından uygundur.

İnceleme kapsamında BS 812 standardına göre yapılan yassılık indeksi deneyinde agregaların yassılığı % 15,4 bulunmuştur. TCK 2013 teknik şartnamesine betonda kullanılan agregaların yassılığı % 25'e kadar kabul edildiği için incelenen agregalar beton yapımı açısından uygundur.

İri agregaların donma çözünmeye karşı dayanımı ASTM C88'e göre sülfat kullanılarak yapılmış ve yüzde kayıp değeri % 1,1 bulunmuştur. Bu değer ASTM C 88'e göre donma çözünme kaybı % 12' den küçük olan iri agregalar betonda kullanılabildiği için beton yapımında kullanılmasının uygun olduğu görülmüştür.

Agregaların parçalanmaya karşı direncinin tayini için yapılan Los Angeles deneyi sonucunda agreganın kaybı % 24,5 bulunmuştur. TCK 2013'e göre agregaların beton yapımında kullanılabilmesi için parçalanma değerinin % 35'in altında olması gerekmektedir. Buna göre, incelenen agregaların beton yapımında kullanılabileceği görülmüştür.

Agregaların aşınmaya karşı direncinin tayini için yapılan "Micro-Deval" deneyi sonucunda $M_{DE}= 19,7$ olarak bulunmuştur. Bu değer TCK teknik şartnamesinde yapı türlerine göre % 25 ile % 30 arasında değişmektedir. Buradan deneye alınan numunelerin aşınma değerinin uygun olduğu görülmüştür.

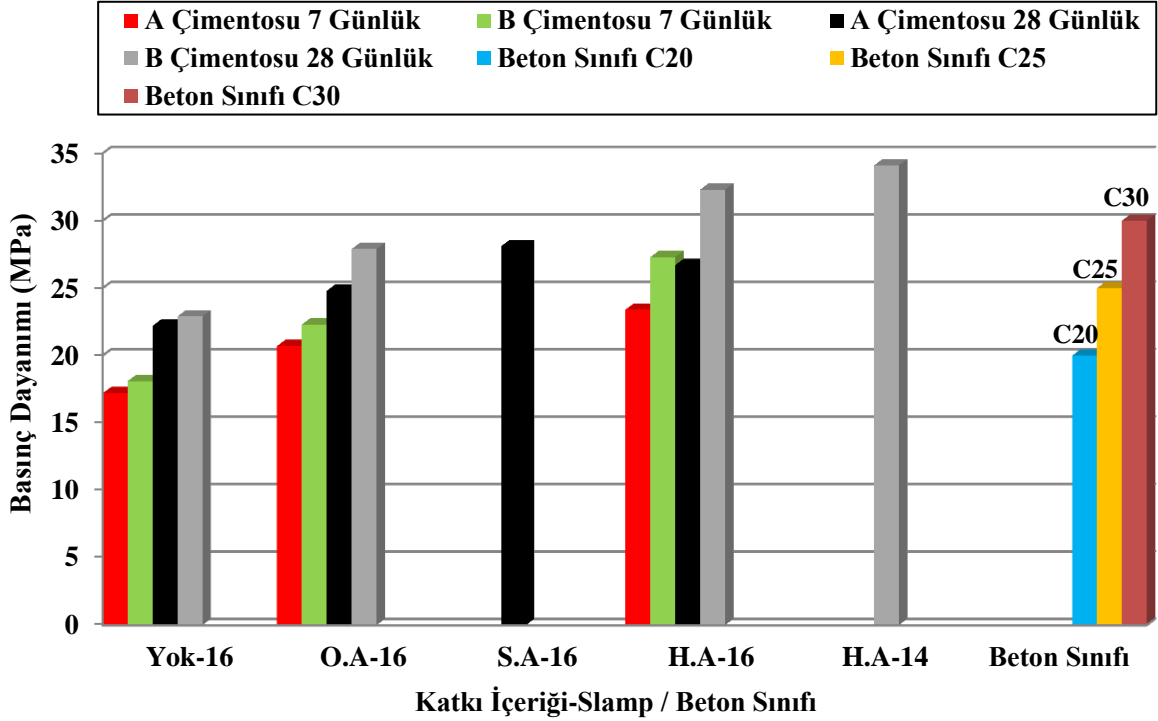
Agregaların kirliliğinin tayini için yapılan metilen mavisi deneyinde ince agreganın kirliliği 1,9 g/kg bulunmuştur. TCK 2013'e göre betonda kullanılacak ince agreganın metilen mavisi deneyi sonucunun kireçtaşları için 1,5'dan küçük olması istenilmektedir. Yapılan çalışmalarda ince agreganın kirliliğinin limit değerden yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumda beton yapımında kullanılacak kirliliği agregası, betonda dayanım kayıplarına neden olacaktır. Bu durum agregaların yıkanmasıyla giderilebilmektedir.

İnce agregalarda bulunabilecek ince madde oranının yıkama deneyi ile % 14 olarak belirlenmiştir. ASTM standartlarında, aşınmaya maruz betonlardaki ince agregada bulunabilecek maksimum ince madde miktarı % 3 olarak vermektedir; diğer betonlardaki ince agregası için maksimum ince madde miktarı % 5'tir. İri agregada bulunabilecek maksimum ince taneler miktarı % 1 olarak belirtilmektedir. Buradan, incelenen agregalardaki ince madde miktarının fazla olduğu görülmekle birlikte bu durum agregaların üretimi aşamasında yıkanması ile bertaraf edilebilir. İnce maddenin fazlalığı betonda dayanım kayıplarına neden olmaktadır.

Yukarıdaki satırlarda belirtildiği üzere agreganın özelliklerinin metilen mavisi deneyi sonucundaki kirliliği dışında genel olarak beton yapımına uygun standartlar içinde olduğu görülmüş ve agregaların belirlenen özellikleri ile TS 802'ye göre beton karışım tasarımları yapılmıştır. Yapılan tasarımlarla oluşturulan betonlardan 15x15x15 küp numuneler alınarak 7 ve 28 günlük kür süreleri sonunda basınç dayanımları belirlenmiştir. Belirlenen basınç dayanımlarının irdelenmesi 3.3 başlığı altında yapılmıştır.

3.3. Beton Dayanım Sonuçlarının İrdelenmesi

Yapılan çalışmalar neticesinde bulunan beton basınç dayanımları, “2.8.4.3. Beton Basınç Dayanımının Belirlenmesi” başlığı altındaki Tablo 2.29.’da verilmiş olup bu tabloya ait grafik Şekil 3.1.’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Tasarımlara ait 7 ve 28 günlük beton basınç dayanımları

Tablo 2.29. ve Şekil 3.1.’deki veriler irdelendiğinde;

Hedef çökme değeri (slump) ile tasarlanan betonların 28 günlük karakteristik basınç dayanımlarına göre C20’nin üstünde olduğu görülmüştür. Fakat laboratuvar ortamlarında üretilen betonların sınıfları belirlenirken standartta belirtilen değerlerin 5-6 MPa üstünde alınmaktadır. TCK 2013’e göre, C10-C22 arasında 5 MPa, C25-C37 arasında 6 MPa, C45-C60 arasında 8 MPa fazla alınarak hangi beton sınıfında olduğu belirlenmektedir. Bu durumda tüm 28 günlük tasarımların C20 ile C25 beton sınıfı arasında yer aldığı görülmüştür.

7 günlük beton dayanımı 28 günlük beton dayanımının en az 2/3’ünü sağlaması gerekmektedir. Tablo 2.29.’da verilen sonuçlara bakıldığında 7 günlük dayanımların, 28

günlük dayanımların 2/3'ünün üstünde sağladığı ve bu oranların ilk altı tasarım için sırasıyla, 0,83-0,77-0,80-0,80-0,88-0,84 olduğu görülmüştür. Bu oranı artıran sebeplerin ise tasarımlardaki katkı kullanımı ve katkının türü olduğu düşünülmektedir.

Aynı özellikteki farklı iki markaya ait çimentolar ile dökülen numunelerin basınç dayanımları arasındaki kıyaslamada, B marka çimento ile dökülen numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının, A marka çimento ile dökülen betonlara göre yüksek olduğu görülmektedir. Bu farkın çimentoların kimyasal içeriği ile alakalı olduğu düşünülmüştür.

Katkı kullanımı açısından bakıldığında, akışkanlaştırıcı katkı kullanılan betonların basınç dayanımlarının, katkı kullanılmayan betonların basınç dayanımlarından yüksek olduğu görülmekle birlikte katkıların akışkanlaştırıcı seviyelerinin artmasına paralel olarak kestikleri su miktarının artmasıyla dayanımların da arttığı görülmüştür.

Betonda kullanılan katkıların karışımdaki su miktarını düşürerek betonun dayanımını artırdığı bilindiği üzere karışımdaki su miktarının azalması beton dayanımının artmasını sağlamıştır.

Günümüzde betonların kullanım amaçlarına göre beton karışımlarında kullanılan birçok katkı bulunmaktadır. Bu katkıları, karışımda kullanılan her agregada ve her çimentoda aynı sonuçları vermemektedir. Katkıların performansı ancak ve ancak deneme çalışmaları ile belirlenmektedir. Örneğin yapılan deneysel çalışmada, 5 numaralı tasarımda su kesme özelliği fazla olan hiper akışkanlaştırıcı, 7 numaralı tasarımda ise süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Hiper akışkanlaştırıcı süper akışkanlaştırıcıya göre metreküpde 4 kilogram su keserek daha yüksek dayanım elde etmesi beklenmiştir. Fakat sonuçlara bakıldığında süper akışkanlaştırıcı kullanılan betonun 28 günlük dayanımının %5 daha yüksek olduğu görülmüştür. Arazi çalışmalarında, deneysel çalışmalarda ve pratikte elde edilen tecrübeler göre hiper akışkanlaştırıcı katkıların, agregaların ve çimentoların özelliklerinden etkilenmiş olabileceğidir. Şöyle ki deneysel çalışmalarda kullanılan ince agregalardaki kirliliğin varlığı hiper katkıyı etkilemiş olabilir.

Beton çökme değeri açısından irdeleme yapılırsa, çökme değeri 14 seçilen tasarımın 28 günlük dayanımı, çökme değeri 16 olan tasarıma göre daha yüksektir. Bunun nedeni betondaki su miktarının azalmasına paralel olarak beton içindeki boşlukların azalması ile dayanımın artmasıdır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Berdiga Formasyonu'na (Düzköy-Trabzon) ait kireçtaşlarının agrega olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, Trabzon-Düzköy'de bulunan özel bir taş ocağı ve aynı ocağa ait kırma eleme tesisinden numuneler temin edilmiştir. Temin edilen kayaç numuneleri ile 3 farklı boyuta (0-5 mm, 5-12 mm, 12-25 mm) sınıflandırılmış agrega numuneleri üzerinde, kayaçlara ve agregalara yönelik ilgili ulusal ve uluslararası standartlara tanımlanan deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, agregalar için standartlarda öngörülen değerler dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda agregaların betonda kullanılabilirliği düşünülmüş ve bulunan agrega özellikleri kullanılarak beton karışım hesabı yapılmıştır. Yapılan beton karışımları ile deneme betonları üretilerek basınç dayanımları değerlendirilmiştir. Çalışma sonuçlarını aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür.

Kayacın özelliklerinin belirlenmesi için yapılan deneylerin sonucunda;

- Kayacın orta ve sert dayanım sınıfında, suda dağılmaya karşı yüksek mukavemet gösteren, kalsiyum karbonat oranı (CaCO_3) %86,46 olan kireçtaşı olduğu görülmüştür. Bu kireçtaşının içinde SiO_2 ve kil mineralleri gibi bazı safsızlıkların bulunduğu ve bu safsızlıkların agrega özelliğine etkisinin olmadığı anlaşılmıştır.

Agregaların fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için yapılan deneylerin sonucunda standartlarda belirtilen değerler içinde kaldığı görülmüştür. Bu deneylerin sonucunda;

- TS 706 EN 12620'ye göre 3 ayrı boyuta sınıflandırılmış olan agregalara yapılan elek analizine göre en büyük agrega boyutu 25 mm bulunmuştur. Agrega karışımına ait tane dağılım eğrisinin TS 802'de verilen sınır değerler arasında kaldığı,

- Agrega kuru özgül ağırlık değeri 2,56-2,72, doymun yüzey kuru özgül ağırlık 2,68-2,71, görünür özgül ağırlık, 2,68-2,70 arasında olduğu, agregaların su emme değerinin ise % 0,3-2,3 arasında olduğu,

- Agregaların gevşek birim ağırlıkları 1,36 ile 1,47 kg/dm^3 , sıkışık birim ağırlıkları ise 1,62 ile 1,72 kg/dm^3 arasında değiştiği,

- Agregaların yassılığının % 15,4 olduğu,
- İri agregaların donma çözünmede kayıp değerinin %1,1 olduğu,
- Agregaların aşınmaya karşı kaybının (Los Angeles) % 24,5 olduğu,
- Agregaların aşınmaya karşı kaybının (Micro Deval) % 19,7 olduğu,
- Agregaların kirliliğinin tayini için yapılan metilen mavisi deneyinde ince agreganın kirliliği 1,9 g/kg bulunduğu ve bu değer in standartta verilen %1,5'in üstünde olduğu ve bu durumun agrega üretimi aşamasında yıkama tesisi kullanılarak giderebileceği,

- İnce agregalardaki ince madde oranının % 14 bulunduğu bu oran in beton agregalarına ait standartlardaki değerlerden yüksek olup betonda dayanım kayıplarına neden olabileceği ve yine bu durumun agrega üretimi sırasında giderebileceği görülmüştür.

- Kayaca yapılan kimyasal analizde SiO_2 'in %8,08 gibi yüksek değer de olması nedeniyle agregaların betonda alkali silis reaksiyonuna neden olabileceği düşünülmüş ve agregalara yapılan alkali silika deneyinde bu silislerin reaksiyon değeri % 0,072 bulunarak, TS 13516 2012'ye göre aktif silis reaksiyon sınır değeri olan %0,10'dan küçük olduğu görülmüştür.

Agregaların betonda kullanılabilirliğinin araştırılması için yapılan beton çalışmalarının sonucunda;

- Çalışmalarda CEM I 42,5 R olan iki farklı çimento kullanılmış olup, B marka çimento ile dökülen küp numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları A marka çimento ile dökülen betonlara göre daha fazla olduğu görülmüştür. Bu durum çimentoların kimyasal bileşimleriyle ilgili olabileceğinden dolayı aynı kayaç ile oluşturulan betonlarda kullanılan çimentoların kimyasal içeriklerinin beton dayanımı üzerindeki etkilerinin araştırılmasına gereksinim vardır.

- Belirli bir beton sınıfı gözetilmeksizin hedef çökme değeri (slamp) ile tasarlanan betonların 28 günlük karakteristik basınç dayanımlarına göre C20'nin üstünde olduğu görülmüştür. Fakat laboratuvar ortamlarında üretilen betonların sınıfları belirlenirken standartta belirtilen değerin 5-6 MPa üstünde alınmasından dolayı numune betonların 28 günlük basınç dayanımlarına göre C20 beton sınıfında yer aldığı görülmüştür.

- Beton tasarımları yapılırken ince agreganın kirliliğinin yüksek olmasından dolayı betonlarda dayanım kayıplarının olduğu düşünülmektedir. Bu durumda kirliliğ in beton dayanımına etkilerinin anlaşılabilmesi için yıkanmış agregalarla aynı tasarım

parametrelerinde betonlar dökülüp basınç dayanım sonuçlarının karşılaştırılmasına gereksinim vardır.

- Çalışmada kullanılan katkıların akışkanlaştırma derecelerine göre su/çimento oranları düşmüş ve beton dayanımları 4 ile 8 MPa arasında artırdığı görülmüştür.

- Betonda çökme değerinin 16'dan 14'e düşürülmesiyle beton dayanımının yaklaşık % 18 arttığı görülmüştür.

- 5 numaralı tasarımda su kesme özelliği fazla olan hiper akışkanlaştırıcı, 7 numaralı tasarımda ise süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Hiper akışkanlaştırıcı süper akışkanlaştırıcıya göre metreküpte 4 kilogram su keserek daha yüksek dayanım elde etmesi beklenmiştir. Fakat süper akışkanlaştırıcı kullanılan betonun 28 günlük dayanımının %5 daha yüksek olduğu görülmüştür. Burada, hiper akışkanlaştırıcı katkıların, agregaların ve çimentoların özelliklerinden etkilenmiş olabileceği düşünülmekle birlikte deneysel çalışmalarda kullanılan ince agregalardaki kirliliğin varlığı hiper katkıyı etkilemiş olabilir. Bu durumda aynı tasarım parametrelerinde yıkanmış agregalarla oluşturulacak betonların dayanımlarının karşılaştırılmasına gereksinim vardır.

Tez kapsamında elde edilen tüm sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, Berdiga Formasyonu'na ait kireçtaşlarının beton agregası olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca, tez kapsamında çalışılan kayaç ve agregaların, asfalt agregalarında, balast malzemelerde ve deniz tahkimatında kullanılacak kayaçlarda aranan özelliklerin büyük bir kısmını taşımasından dolayı asfalt agregası, deniz tahkimat taşı ve balast malzeme olarak kullanılıp kullanılmayacağı konularında araştırmalara gereksinim vardır.

5. KAYNAKLAR

- Ağar, Ü., 1977. Demirözü (Bayburt) ve Köse (Kelkit) bölgesinin jeolojisi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Akakın. T., 2004. Beton Teknik Terimleri, 16. s., THBB Yayınları, Ankara.
- Altınbaş, A.F., 1994. Maçka (Meryemana) Medoş Taşocağındaki Kireçtaşının Agregata Olma Açısından İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Arioğlu E., 1993. Tokgöz N., A Statistical Study on Relationships Between the Uniaxial Compressive and Tensile Strengths of Rocks", Geosound, 17-25, Adana.
- Arioğlu, E., Arıoğlu, N. ve Yılmaz, A.O., 1999. Çözümlü Beton Agregaları Problemleri, 1. Baskı, 178 s., Evrim Yayın Evi, İstanbul.
- Arioğlu, E., Arıoğlu, N. ve Yılmaz, A.O., 2006. Beton Agregaları Çözümlü Problemler, Bilgi Föyleri, 1. Baskı, 287 s., Evrim Yayın Evi, İstanbul.
- ASTM C127-88, 2001. Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of coarse aggregate, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C88-13, 2001. Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C131 / C131M-14, 2006. Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Aydın, E., G., 2012. Çeşitli Mineral Katkıların Betonda Alkali Silika Reaksiyonuna Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Batmaz, A., 2006. Rize İli ve Çevresindeki Derelerden Elde Edilen Agreganın Beton Yapımına uygunluğunun Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Bieniawski, Z.T., .1975,. The point-load test in geotechnical practice. Engineering Geology, 9, M lpp.
- BS 812 Part 2, 1975. Testing Aggregates, Methods for determination of physical properties, British Standards Institution.
- Çakır, A., Ö., 2007. Alkali-Agregata Reaktivitesinin Tespitinde Kullanılan Deney Metotlarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

- Çağlayan, M., Haberveren, S., İpekoğlu, B., ve Kurşun, İ., 1999. Beton Yapımında Kullanılan Agregaların Özellikleri ve Örnek Bir Kuruluş "İston", 2. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, Haziran, Ankara, Bildiriler Kitabı, I: 69 - 79.
- Çavuşoğlu, İ., 2005. Harşit Çayından (Giresun-Tirebolu) Elde Edilen Kırılmış Dere Malzemesinin Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Deere, D. V. ve Miller, R. L., 1966. Engineering classification and index properties of intact rock, Department of Civil Engineering, University of Illinois, Urbana, 90-101.
- Demir, İ., ve Arslan, M., 2006. Kırşehir Yöresi Kırmataşlarının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği, Yapı Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- D.P.T.,2001 Sekizinci 5 Yıllık Kalkınma Planı (2001-2005), Madencilik ÖİK Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri III Çalışma Grubu Raporu, Ankara.
- Düzyol, S., 2004. Kaya Tuzuna Ait Mekanik Parametrelerin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Erdoğan, T.Y., 2004. Beton Malzemeleri, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, İstanbul.
- Eren, M., 1983. Gümüşhane Kale arasının jeolojisi ve mikrofasiyes incelemesi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Esenli, V., 1996. Kırmataş Hammaddeleri ve Standartları, 1. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, Haziran, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 1-18.
- Güler, B., 2006. İstanbul Ayazağa-Cebeci-Çatalca Bölgelerindeki Agregaya Kaynaklarının Yüksek Dayanımlı Betonda Kullanılabilirliği, İ.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Güven, İ.H., 1993. Doğu Pontidlerin jeolojisi ve 1/250000 ölçekli komplikasyonu, MTA, Ankara.
- ISRM, 1978. Suggested Methods for Determining Hardness and Abrasiveness of Rocks, International Rock Mechanics and Mining Sciences, Geomech. Abstr, 15, pp. 89-97.
- ISRM, 1981. ISRM Suggested Methods Rock Characterization, Testing and Monitoring. E. T. Brown (ed.), Pergamon Press, London, 211 s.
- ISRM,1985. Suggested method for determining point load strength.. International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanical Abstracts, 22, 51-60pp.
- ISRM. Ulusay R. and Hudson J. A. (eds)., 2007. The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring, 1974–2006. Suggested methods prepared by the commission on testing methods. Compilation arranged by the ISRM Turkish National Group, Ankara, 87-88.

- Kafalı, M., A., 2004. Hazır Beton Sektör Araştırması, Türkiye Kalkınma Bankası A.Ş. Araştırma Müdürlüğü, Ankara.
- Kandemir, R., 2004. Gümüşhane ve yakın yöresindeki Erken-Orta Jura yaşlı Şenköy Formasyonunun çökel özellikleri ve birikim koşulları, KTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.
- Koçal, O., 1999. Trabzon-Maçka Başar Taşocağındaki Kireçtaşının Agregaya Olması Açısından İncelenmesi, Türkiye 16. Uluslararası Madencilik Kongresi, Haziran, Ankara, Bildiriler Kitabı, 279 - 284.
- Manzak, O., Dondurmacı, A., Köylüoğlu, Ö., S., ve Arıoğlu, E., 1996. Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş.'de Beton Agregaya Kalite Denetimi ve Değerlendirilmesi, 1.Ulusal Kırmataş Sempozyumu'96, İstanbul, Bildiriler Kitabı I: 163-178.
- Muratoğlu, Ö., 2006. Batı Karadeniz Taşocağı Agregalarının Durabilite Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelemeş Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- NACS (North American Commission on Stratigraphy), 1983, The American association of petroleum geologists bulletin, 841-875.
- Özkul, H., Taşdemir, M., A., Tokyay, M., ve Uyan, M., 1999. Meslek Liseleri İçin Her Yönüyle Beton, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul, 121 s.
- Öztabak, F., H., ve Gürsu, Y., 2002. Beton ve Beton Malzemeleri Ders Notları, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara, 90 s.
- Özbebek, H., ve Açıık, H., 2012. İnce Agregalarda Yapılan Metilen Mavisi ve Kum Eşdeğerliği Deney Sonuçlarının Beton Özelliklerine ve Maliyetine Etkisi, Türkiye Hazır Beton Birliği, Hazır Beton Makale Dergisi, 84-92.
- Pelin, S., 1977. Alucra (Giresun) güneydoğu yöresinin petrol olanakları bakımından incelenmesi, Doçentlik Tezi, KTÜ. Yayın No:87, Trabzon.
- Postacıoğlu, B., 1987. Beton (Agregalar, Beton), Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul, 333 s.
- Şimşek, O., 2004. Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yayıncılık San, ve A.Ş., Ankara.
- Şimşek, O., 2007. Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yayıncılık San, ve A.Ş., 2. Baskı, Ankara, 230 s.
- Şimşek, O., 2007. Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri, Seçkin Yayıncılık San, ve A.Ş., 2. Baskı, Ankara, 334 s.
- T.C.K., 2013. Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Karayolu Teknik Şartnamesi, Ankara.

- Turan, Ç., 2010. Akarca Köyü (Hatay) Kireçtaşlarının Hammadde Özelliklerinin Belirlenmesi ve Kalsinasyon Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- TS 500, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, T.S.E., Ankara.
- TS 706 EN 12620+A1, 2009. Beton Agregaları, T.S.E., Ankara.
- TS 802, 2016. Beton Karışım Hesap Esasları, T.S.E., Ankara.
- TS EN 12350-2, 2010. Beton, Taze Beton Deneyleri, Çökme (Slump) Deneyi, T.S.E., Ankara.
- TS EN 12350-6, 2010. Beton, Taze Beton Deneyleri, Yoğunluk Deneyi, T.S.E., Ankara.
- TS EN 12350-7, 2010. Beton, Taze Beton Deneyleri, Hava Muhtevasının Tayini (Basınç Yöntemi), T.S.E., Ankara.
- TS EN 12390-3, 2010. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri, Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, T.S.E., Ankara.
- TS EN 1097-1, 2015. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler, Aşınmaya Karşı Direncin Tayini (Mikro-Deval), T.S.E., Ankara.
- TS EN 1097-2, 2015. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler, Parçalanma Direncinin Tayini, T.S.E., Ankara.
- TS EN 1097-3, 1999. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler, Gevşek Yığın Yoğunluğunun ve Boşluk Hacminin Tayini, T.S.E., Ankara.
- TS EN 1097-6, 2015. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler, Tane Yoğunluğunun ve Su Emme Oranının Tayini, T.S.E., Ankara.
- TS EN 933-1, 2015. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler, Tane Büyüklüğü Dağılımının Tayini, Eleme Yöntemi, T.S.E., Ankara.
- TS EN 933-2, 1995. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler, Tane Büyüklüğü Dağılımının Tayini, Deney Elekleri, Elek Göz Açıklıklarını Anma Büyüklükleri, T.S.E., Ankara.
- TS EN 933-3, 2012. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler, Tane Şekli Tayini, Yassılık Endeksi, T.S.E., Ankara.
- TS EN 933-9, 2015. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler, İnce Tanelerin Tayini, Metilen Mavisini Deneyi, T.S.E., Ankara.
- TS EN 933-10, 2010. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler, İnce Malzeme Tayini, T.S.E., Ankara.
- TS 3528, 2011. Beton Agregalarında Hafif Madde Oran Tayini, T.S.E., Ankara.

- TS EN 1744-1+A1, 2017. Agregaların Kimyasal Özellikleri İçin Deneyler, Kimyasal analiz, T.S.E., Ankara.
- TS EN 932-1, 1997. Agregaların Genel Özellikleri İçin Deneyler, Numune Alma Metotları, T.S.E., Ankara.
- TS EN 932-2, 1999. Agregaların Genel Özellikleri İçin Deneyler, Laboratuvar Numunelerinin Azaltılması Metodu, T.S.E., Ankara.
- TS 13516, 2012. Agregaların Potansiyel Alkali Reaktivitesinin Tayini (Harç Çubuğu Yöntemi), T.S.E., Ankara.
- TS EN 206, 2013+A1, 2014. Beton: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, T.S.E., Ankara.
- TS EN 1367-1, 2009. Agregaların Isıl ve Bozunma Özelliklerini Tayin İçin Deneyler, Donmaya ve Çözölmeye Karşı Direncin Tayini, T.S.E., Ankara.
- Uğurlu, A., 2002. Betonda Agregas-Çimento Hamuru Aderansı Üzerine, THBB Hazır Beton Dergisi, 9,49, 66-74.
- Usta, H., Hazır Beton Sektörünün Araştırılması, İstanbul Ticaret Odası, <http://www.ito.org.tr/itoyayin/0015983.pdf>. 25 Mart 2019
- URL-1, www.betonsa.com.tr/bilgibankasi/hazir-beton. 24 Mart 2019.
- URL-2, www.thbb.org/teknik-bilgiler/cimento. 24 Mart 2019.
- URL-3, www.mabetas.com.tr. 24 Mart 2019.
- URL-4, www.gumustas.com.tr/Hazir-Beton/Teknik-Bilgiler. 24 Mart 2019.
- URL-5, www.yapisor.com/734/vebe-deneyi-nedir. 24 Mart 2019.
- URL-6, www.turkiyerehberi.gen.tr/sehirler/book/export/html/218. 25 Mart 2019.
- URL-7, http://www.anadoluissagligi.com/img/file_3027.pdf. 15 Nisan 2019.
- URL-8, www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/kalsit. 15.Nisan.2019.
- Varol O.O., ve Türkmenoğlu Z. F., 2016. Betonda alkali silis reaksiyonu, 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress Çukurova University, Congress Center, Ekim, Adana, Bildiriler Kitabı, 2080-2085.
- Yılmaz A.O., Koç E., Demir Şahin D., 2015. Trabzon İli Araklı İlçesi Kaymaklı Köyünden Alınan Kireçtaşı Örneklerinin Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Türkiye 24. Uluslararası Madencilik Kongresi, Nisan, Antalya, Bildiriler Kitabı, 820-825.

ÖZGEÇMİŞ

Ahmet MUSLU, 03.01.1985 yılında Karabük'te doğdu. İlköğrenimine Zonguldak'ın Gökçebey Beldesinde başladı ve Bartın'da tamamladı. Yazar, orta öğrenimini Bartın Hendekyanı İlköğretim Okulu'nda, lise öğrenimini ise Bartın Köksal Toptan Süper Lisesi'nde tamamladı. 2004–2005 eğitim-öğretim yılında K.T.Ü. Maden Mühendisliği Bölümünde Lisans eğitime başlayarak 2008 yılı Haziran ayında lisans eğitimini birincilikle tamamladı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. 2010 Ocak ayında özel sektörde işe başladı ve hala özel sektörde maden mühendisi olarak görevine devam etmektedir.