ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ÇAPAR KÖYÜ (ŞABANÖZÜ, ÇANKIRI) DOLAYINDAKİ KİREÇTAŞLARININ AGREGA KAYNAĞI OLARAK KULLANILMASININ ARAŞTIRILMASI

Houssein HASSAN WABERİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇANKIRI
2022

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Houssein HASSAN WABERI tarafından hazırlanan **"Çapar Köyü (Şabanözü, Çankırı) Dolayındaki Kireçtaşlarının Agrega Kaynağı Olarak Kullanılmasının Araştırılması"** adlı tez çalışması 06/01/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman **:** Prof. Dr. Ender SARIFAKIOĞLU

Jüri Üyeleri **:**

Başkan **:** Prof. Dr. Ender SARIFAKIOĞLU
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Üye **:** Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Gazi Üniversitesi

Üye **:** Doç. Dr. Cihan DOĞRUÖZ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

Enstitü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum "**Çapar Köyü (Şabanözü, Çankırı) Dolayındaki Kireçtaşlarının Agrega Kaynağı Olarak Kullanılmasının Araştırılması**" konulu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, tezin Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nden başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve bu çalışmanın Çankırı Karatekin Üniversitesi tarafından kullanılan "Bilimsel İntihal Tespit Programı" ile tarandığını, "intihal içermediğini" beyan ederim. Çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması halinde ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm. Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim (06/01/2022).

Houssein HASSAN WABERİ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇAPAR KÖYÜ (ŞABANÖZÜ, ÇANKIRI) DOLAYINDAKİ KİREÇTAŞLARININ AGREGA KAYNAĞI OLARAK KULLANILMASININ ARAŞTIRILMASI

Houssein HASSAN WABERİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ender SARIFAKIOĞLU

Bu tez çalışmasında, Çapar köyü (Şabanözü, Çankırı) dolayındaki kireçtaşlarının agrega olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla, Çapar köyü çevresinden kireçtaşı numuneleri alınmış ve alınan numuneler üzerinde elek analizi, yoğunluk, su emme, yığın yoğunluğu, çok ince malzeme muhtevası, yassılık endeksi, metilen mavisi, parçalanma dayanımı, aşınma dayanımı, donma-çözülme, alkali-silika reaktivitesi, asitte çözünebilen sülfat, toplam kükürt deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, Çapar köyü (Şabanözü, Çankırı) dolayındaki kireçtaşı taşocağından elde edilen agregalarda yapılan deney sonuçları, standartlarda verilen sınır değerler ile karşılaştırıldığında bu kayaçların tüm özelliklerinin agrega olarak kullanılabilirliği belirlenmiştir.

2022, 55 sayfa

ANAHTAR KELİMELER: Kireçtaşı, Taşocakları, Agrega, Agrega kullanılabilirlik testleri

ABSTRACT

Master of Science Thesis

INVESTIGATION OF USING LIMESTONES AS AGGREGATE SOURCE AROUND ÇAPAR VILLAGE (ŞABANÖZÜ, ÇANKIRI)

Houssein HASSAN WABERİ

Çankırı Karatekin University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Advisor: Prof. Dr. Ender SARIFAKIOĞLU

In this thesis, the usability of the limestones around Çapar village (Şabanözü, Çankırı) as aggregate was investigated. For this purpose, limestone samples were taken from the vicinity of Çapar village and on the samples taken, sieve analysis, specific gravity, water absorption, bulk density, very fine material content, flatness index, methylene blue, disintegration strength, abrasion resistance, freeze-thaw, alkali-silica reactivity, acid soluble sulfate, total sulfur tests were carried out. As a result, when the results of the tests performed on aggregates obtained from the limestone quarry around Çapar village (Şabanözü, Çankırı) are compared with the limit values given in the standards. The usability of all properties of these rocks as aggregates was determined.

2022, 55 pages

Keywords: Limestone, Quarries, Aggregate, Aggregate usability tests

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

“Çapar Köyü (Şabanözü, Çankırı) Dolayındaki Kireçtaşlarının Agrega Kaynağı Olarak Kullanılmasının Araştırılması” adlı bu çalışma, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Öncelikle, tez danışmanı olarak çalışmanın her aşamasında bana yardımcı olan değerli danışman hocam. Prof. Dr. Ender SARIFAKIOĞLU’na şükranlarımı surmayı bir borç bilirim.

BULUTSAN Çimento Fabrikası’nın (Çankırı) tüm çalışanlarına bana laboratuvar deneylerini gerçekleştirme konusunda olağanüstü bir fırsat verdikleri için özellikle teşekkür etmek istiyorum.

Son olarak, her zaman yanımda olan harika aileme teşekkürlerimi sunarım.

Houssein HASSAN WABERİ
Çankırı, Ocak 2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**
ABSTRACT ..... **ii**
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR ..... **iii**
İÇİNDEKİLER ..... **iv**
SİMGELER DİZİNİ ..... **vi**
KISALTMALAR DİZİNİ ..... **vii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **viii**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **ix**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL BİLGİLER **3**
2.1 Agrega Sınıflandırılması **4**
2.1.1 Elde ediliş şekillerine göre agregalar **4**
2.1.2 Birim ağırlıklarına göre agregalar **5**
2.1.3 Tane boyutlarına göre agregalar **6**
2.1.4 Tane şekline göre agregalar **9**
2.2 Agregaların Fiziksel Özellikleri **11**
2.3 Agregaların Mekanik Özellikleri **22**
2.4 Agrega Yüzey Şekli Ve Biçimi **24**
2.5 Agregalarda Bulunan Zararlı Maddeler **24**
3. MATERYAL VE YÖNTEM **28**
3.1 Materyal **28**
3.2 Yöntem **28**
3.2.1 Tane büyüklüğü dağılımı (elek analizi) **29**
3.2.2 Tane yoğunluğu ve su emme oranı **30**
3.2.3 Yığın yoğunluğu **32**
3.2.4 Çok ince malzeme içeriği **33**
3.2.5 Yassılık endeksi **33**
3.2.6 Metilen mavisi **34**
3.2.7 İri agregaların parçalanma direnci **36**

3.2.8 İri agregaların aşınmaya karşı direnci 37
3.2.9 Agregaların donma çözülme karşı direnci 38
3.2.10 Alkali-silika reaktifliği 39
3.2.11 Asitte çözünebilen sülfat 40
3.2.12 Toplam kükürt 40
4. ARAŞTIRMA BULGULARI 41
4.1 Agreganın Özelliklerine İlişkin Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi 41
4.1.1 Tane büyüklüğü dağılımı deneyi sonucu 41
4.1.2 Tane yoğunluğu ve su emme oranı deney sonuçları 42
4.1.3 Yığın yoğunluğu deney sonuçları 43
4.1.4 Çok ince malzeme muhtevası deneyi sonuçları 44
4.1.5 Yassılık endeksi deneyi sonucu 45
4.1.6 Metilen mavisi deneyi sonucu 46
4.1.7 İri agregaların parçalanma direnci (los angeles katsayısı) deneyi sonucu 46
4.1.8 İri agregaların aşınmaya karşı direncinin (mikro-deval katsayısı mde) deneyi sonucu 47
4.1.9 İri agregaların donma-çözülme karşı direnci deneyi sonucu 48
4.1.10 Alkali-silika reaktifliği deneyi sonucu 49
4.1.11 Asitte çözünebilen sülfat deneyi sonucu 49
4.1.12 Toplam kükürt deneyi sonucu 49
5. SONUÇ VE TARTIŞMA 50
KAYNAKLAR 52
ÖZGEÇMİŞ 55

SİMGELER DİZİNİ

cm	Santimetre
cm^2	Santimetre kare
°C	Santigrat derece
di	Alt elek göz açıklığı
Di	Üst elek göz açıklığı
Dmax	Maksimum tane çapı
g	Gram
kg	Kilogram
kg/dm^3	Kilogram/desimetre küp
kgf/cm^2	Kilogram kuvvet/santimetre kare
lt	Litre
m^3	Metre küp
mg/m^3	Mega gram/metre küp
mL	Mililitre
mm	Milimetre
vd	ve diğerleri
WA24	24 Saatteki su emme oranı
%	Yüzde

KISALTMALAR DİZİNİ

LA	Los Angeles Katsayısı
MDE	Mikro-Deval Katsayısı
TS	Türk Standartları

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 İnce agrega 6
Şekil 2.2 İri agrega 8
Şekil 2.3 Karışık agrega 9
Şekil 2.4 Mineralojik yapısına göre agregalar 11
Şekil 2.5 Agregadaki değişik nem durumları (Uçar 2008) 15
Şekil 2.6 Birim hacim ağırlığın tayini 17
Şekil 2.7 Yoğunluk tayini 18
Şekil 2.8 Elek analizi limitleri (Dmax=32 mm) 19
Şekil 2.9 Yassılık endeksi 21
Şekil 2.10 Agrega çimento ve beton gerilme 23
Şekil 2.11 Doğal taşlarda basınç dayanımı (Özkul vd. 1999) 23
Şekil 3.1 Deney numunelerin alındığı kireçtaşları 28
Şekil 3.2 Elek sarsma makinesi 30
Şekil 3.3 Piknometre deneyinin uygulanışı 32
Şekil 3.4 Metilen mavisi deneyinin uygulanışı 35
Şekil 3.5 Los Angeles deneyinin uygulanışı 37
Şekil 4.1 Elek analizi eğrisi 42

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Kireçtaşlarının kimyasal bileşimleri 4
Çizelge 2.2 Kalsiyum karbonat içeriğine göre sınıflama 4
Çizelge 2.3 İnce agregaların (kırma taş tozu) granülometri sınır değerleri 7
Çizelge 2.4 İri agregaların granülometri sınır değerleri 8
Çizelge 2.5 Tane boyutunun en büyük değerleri 20
Çizelge 3.1 Yapılan deneyler ve ilgili standartlar 29
Çizelge 4.1 Tane büyüklüğü dağılımı uygunluk değerlendirme 41
Çizelge 4.2 İri agrega özgül ağırlığı ve su emme oranı değerleri 43
Çizelge 4.3 İnce agrega özgül ağırlığı ve su emme oranı değerleri 43
Çizelge 4.4 Yığın yoğunluğu değerleri 44
Çizelge 4.5 Çok ince malzeme muhtevası değeri 44
Çizelge 4.6 Çok ince malzeme muhtevası belirtilen ilgili kategorisi 45
Çizelge 4.7 Yassılık indeksi deney sonucu 45
Çizelge 4.8 Metilen mavisi deneyi sonucu 46
Çizelge 4.9 En yüksek Los Angeles katsayısı değerlerine göre kategoriler 46
Çizelge 4.10 İri agregaların aşınmaya karşı direnci deney sonucu 47
Çizelge 4.11 En yüksek aşınmaya karşı dirençi değerlerine göre kategoriler 48
Çizelge 4.12 İri Agregaların Donma-Çözülme karşı direnci deneyi sonucu 48
Çizelge 4.13 En yüksek Donma-Çözülme karşı direnç değerlerine göre kategoriler 48
Çizelge 4.14 Alkali-silika reaktifliği direnci deneyi sonucu 49
Çizelge 5.1 Elde edilen sonuçlar ve ilgili standartlar 50

1. GİRİŞ

İnşaat sektöründe en fazla kullanılan yapı malzemesi betondur. Beton, agrega, çimento, su, kimyasal ve puzolanik katkı maddesinin karışımıyla elde edilmektedir. Agrega, beton içinde hacimce oldukça büyük oranda bulunmaktadır. Agregalar, genellikle elde edilişlerine göre; kırma (mıcır), akarsu, göl, deniz, yamaç ve çöl gibi yerlerden elde edilerek isimlendirilmektedir.

Beton teknolojisindeki ve beton kimyasalarındaki hızlı gelişmeye bağlı olarak kırma taş agrega kullanımı oldukça artmıştır. Gerek kaynak yani yeni rezervlerin araştırılması, gerekse de mevcut rezervlerin geliştirilmesi ülke ekonomisine katkı sağlaması büyük önem taşımaktadır. Bu sebepten volkanik kayaç çeşitlerinin ve kireçtaşlarının gerek doğal taş sanayisinde gerekse agrega biçiminde inşaat alanında kullanılabilmesi, çok sayıda araştırmacı tarafından araştırılmış ve pozitif neticeler alınmak suretiyle ülke sanayisinin kullanımına arz edilmiştir.

Beton, agrega, çimento ve su ile kimyasal ve mineral katkıların uygun miktarlarda homojen bir şekilde birleştirilmesiyle elde edilen bir yapı malzemesidir. Beton yapımında, yaklaşık %70 oranında agrega kullanılır ve bunlar mineral yapılı küçük tanelerden oluşur (Şimşek 2020, Gezer 2009). Agrega, dayanım, geçirgenlik ve işlenebilirlik gibi betonun özellikleri üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla, beton özelliklerine tesir eden en önemli bileşenlerinden birisidir.

Beton maliyeti dikkate alınırsa agreganın çimentodan daha ucuz olması, agregayı beton için uygun maliyetli ve doğal bir dolgu maddesi haline getirmektedir. Agrega, iskelet ve dolgu malzemesi olarak sertleşen çimento hamurunda betonun hacim değişimini engel olmaktadır, çevresel etkilere karşı direncini arttırmaktadır ve ucuz maliyetinin yanı sıra betonun kendi mukavemeti ile gerekli mukavemete ulaşmasına yardımcı olmaktadır.

Bu çalışmada, Çankırı ili, Şabanözü ilçesi, Çapar köyü yakınlarındaki kireçtaşı ocağının fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri incelenmiş, Türk standartlarına uygun şekilde

yapılan analiz ve deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın beton malzemesi olarak kullanılan agregalarla ilgili ileriye dönük çalışmalara katkı sunması hedeflenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

Beton üretiminde kullanılacak agrega cinsi, sınıfı, yoğunluğu ne olursa olsun kaliteli beton üretebilmek için bulunması gerekli koşullar şunlardır:

- Sağlam olmalı, aşınmamalı, suyun etkisiyle yumuşamamalı,
- Çimento bileşenleriyle uyumlu olmalı,
- Donatı korozyona neden olacak bileşikler içermemeli,
- Tanelerin biçimi dokusu iyi olmalı,
- Tanelerin büyüklük bakımından dağılımı, amaca ve standartlara uygun olmalı,
- Agrega içinde zararlı maddeler bulunmamalıdır (Neville 1993).

Bu özellikleri sağlayan beton agregası, mineralojik olarak kireçtaşı oldgu bilinmektedir. Kireçtaşı genel olarak doğada yüksek kaliteli olarak bulunmaktadır. Bu kireçtaşıları, doğal rezerv bakımdan oldukça fazladır. Kireçtaşlarından üreten agregaların kimyasal ve fiziksel özellikleri bakımından inşaat sektörü için yüksek performanslı, düşük maliyetli, çevre dostu özellikler ve avantajlar sağlayan bir agrega çeşididir.

Genel olarak kireçtaşı ve kireçtaşı agregaların kimyasal bileşiminde en az %90 $CaCO_3$ içerirler. Kireçtaşlarının kimyasal bileşimleri Çizelge 2.1'de verilmiştir. Yerbilimciler tarafından mineralojik bileşiminde %90'a kadar kalsit içeren kayaları tanımlamak için kireçtaşı tanımlaması kullanırlar (DPT 2008). Aynı zamanda, kireçtaşının başlıca kalsit mineralinin yanısıra aragonit, dolomit ve manyezit gibi mineralleri de içerdiği belirtilmektedir (Boynton 1980). Yaygın olarak bulunan kireçtaşlarının çoğu kimyasal, kırıntılı veya organik maddeler içermektedir (DPT 2001, Önem 1997). Kalkerler, kalsiyum karbonatın yanı sıra; magnezyum karbonat, kil mineralleri, demir silikat-oksit ve sülfürleri, silikat asidi (SiO_2) gibi bileşikler içerirler. Kireçtaşı iki kategoriye ayrılabilir: yüksek kalsiyumlu kireçtaşı ve yüksek magnezyumlu kireçtaşı. Çizelge 2.2'de Kalsiyum karbonat içeriğine göre sınıflandırması verilmiştir.

Çizelge 2.1 Kireçtaşlarının kimyasal bileşimleri (Zarif vb. 2003)

AGREGA OCAĞI	**ANA ELEMENT OKSİTLERİ** (%)				
	CaO	SiO_2	MgO	Al_2O_3	Fe_2O_3
Ömerli	52.90	1.93	1.53	0.33	0.76
Ömerli-Hüseyinli - 1	38.98	0.50	16.09	0.46	1.13
Ömerli-Hüseyinli - 2	50.34	2.16	1.82	1.21	0.19
Kartal	49.44	5.35	1.71	1.39	0.64
Gebze-Pelitli	46.98	5.39	4.66	1.57	0.86
Gebze-Tavşanlı-1	31.88	0.83	19.88	0.23	0.55
Gebze-Tavşanlı-2	45.99	5.39	4.65	1.54	0.92
Hereke	48.06	5.42	2.69	1.42	0.78
Şile	46.00	6.76	4.47	1.60	1.20
Cebeciköy	50.44	2.16	0.91	0.74	0.82
Çatalca	51.92	2.34	0.82	0.54	0.86
İstinye	53.10	3.74	1.20	0.29	0.59

Çizelge 2.2 Kalsiyum karbonat içeriğine göre değerlendirme (DPT 2001)

KAYAÇ ADI	**BİLEŞİMİ**
Çok geniş kalsiyum içeriğine sahip kireçtaşı	En az %97 $CaCO_3$
Geniş kalsiyum içeriğine sahip kireçtaşı	En az %95 $CaCO_3$
Geniş karbonat içeriğine sahip kireçtaşı	En az %95 $CaCO_3$+$MgCO_3$
Kalsit bir tür kireçtaşı	%5 $MgCO_3$
Magnezyum kireçtaşı	%5-20 $MgCO_3$
Dolomitik kireçtaşı	%20-40 $MgCO_3$
Geniş magnezyum içeriğine sahip dolomit	%40-46 $MgCO_3$

2.1 Agrega Sınıflandırılması

2.1.1 Elde ediliş şekillerine göre agregalar

Doğal Agregalar: Yerkabuğunu oluşturan kayaların zamana bağlı, doğal olarak aşınması-parçalanması ile meydana gelen derecelenmiş taneli bileşenlerin akarsu yatağı, teras, deniz, buzul, göl, çöl agregaları ve eski dere yataklarında birikmesi ve bu çakıl-kum ocaklarından elde edilen mineral kökenli agregalara doğal agrega denilmektedir. Doğal agregalar içinde en yaygın kullanılan ise akarsu yatağından elde edilenlerdir (Albayrak 1987).

Tuz ve suda yaşayan organizmaların kabukları, denizlerden ve göllerden toplanan agregalarda bulunmakatadır. Agrega veya harçta aşırı miktarda tuz bulunduğunda çatlama ve parçalanma meydana gelir. Deniz yaratığı kabukları birkaç durumda sorunlu olabilir. İstenmeyen kimyasallardan arındırıldıktan sonra deniz ve göllerden elde edilen agregalar beton imalatında kullanılabilir. Arıtma yöntemi ek bir yatırım gerektireceğinden maliyet etkin değildir (Şimşek 2020).

Yapay Agregalar: Mekanik, fiziksel, kimyasal ve ısıl işlemler sonucunda taneli hale getirilen malzemeye yapay agrega denir. Yapay agregalar genellikle aynı kimyasal özelliklere sahip olmalarına karşın, teknofizik özelliği farklı olabilir (Şimşek 2020). Yüksek fırın cürufu, genleştirilmiş kil ve perlit, uçucu kül ve kırma agrega (mıcır) gibi agregalardır. Kırık kiremit veya tuğla, hızar talaşı ve rende talaşı agrega örnekleridir. Yüksek kaliteli tuğla parçalarından yapılan beton yangına dayanıklıdır. Gözenekli yapıları nedeniyle bu agregalar betonda ses-ısı yalıtımı ve hacim ayrımı için kullanılmaktadır (Baradan 1992).

Genleştirilmiş perlit; çıkarıldıktan sonra kırılıp öğütülerek belirli tane büyüklüğü sınıfına getirilen perlitin türüne göre yüksek sıcaklıktaki bir fırında kontrollü olarak genleştirilmesi ile elde edilen beyaz veya kirli beyaz renkli, gözenekli, hafif tanelerden oluşan malzemedir. Agrega olarak, hafif beton yapımında kullanılmak üzere uygun birim ağırlık ve granülometride hazırlanmış genleştirilmiş perlittir.
Örneğin: betonda ısı, ses geçirgenliği gibi özelliklerin istendiğinde farklı yapay agregalar seçilebilir.

2.1.2 Birim ağırlıklarına göre agregalar

Hafif Agregalar: Birim ağırlığı 2400 kg/m^3'den küçük olan agregalardır. Betonun birim yapısını düşürmek, betonun yapısına ses ve ısı yalıtım niteliği katabilmek amacıyla veya dönüşüm maddeleri değerlendirebilmek düşüncesiyle kullanılmakta olan agregalardır. Çoğunlukla saydam, geçirgen bir karakteri yapılarında barındırmaktadırlar ve su emmesi ve boşluk seviyeleri fazladır. Basınç, çarpma ve aşıma dayanımı, çok azdır. Doğadan doğrudan çıkartılabileceği gibi dolaylı olarak da çıkartılabilirler. Bu türe

örnek olarak; diyatomit, volkan tüfleri, hızar talaşı, yüksek fırın cürufları ve genleştirilmiş kil vb. verilebilir.

Ağır Agregalar: Kütle olarak ağırlık gerektiren betonlar üretebilmek amacıyla kullanılmaktadır. Birim ağırlığı 3000 kg/m^3'den büyüktür. Çoğunlukla nükleer santral, hastanelerin ve Stratejik Askeri nitelik barındıran inşaat yapıların betonlarının imalatında kullanılmaktadır. Bu türe girenlerden bir kismı ise barit, manyetit, hematit, limonit vb. Ağır agregayla oluşturulmuş betonun karıştırılabilmesi, yerleştirilebilmesi ve sıkıştırılabilmesi için ayrı bir itina gerekmektedir (Şimşek 2020).

Normal Agregalar: Birim ağırlıkları 2400-2800 kg/m^3 arasında olan agregalardır. En yaygın kullanılan agrega türüdür.

2.1.3 Tane boyutlarına göre agregalar

İnce Agrega (Kum): Doğal halde bulunan kum, kırma kum (ince mıcır) ya da bu türevlerin karıştırılmasından ortaya çıkan ve 4 mm göz açıklığı kare gözlü elekten geçebilen malzemelerdir (Şekil 2.1). Bu türün tanesi katı ve dayanıklı olmak zorundadır.



Şekil 2.1 İnce agrega

Şekil 2.1'de görüldüğü gibi ve Çizelge 2.3'de ifade edildiği gibi No.4 elekten geçen agregalar ince agrega şeklinde nitelendirilir. Bu agrega türü; toz, kil parçaları ve organik madde gibi zararlı diğer ürünlerden eleme ve yıkama metotları ile ayrıştırılması gereklidir. Bu agrega, iri agreganın arasında kalan boşlukları doldurmak suretiyle karışımında yoğunluğu sağlayabilmektedir. İmalatta kullanılabilecek ince agreganın; geometrik, fiziksel ve kimyasal oranları, şartnamede ifade edildiği gibi olmak zorundadır.

Çizelge 2.3 İnce agregaların (kırma taş tozu) granülometri sınır değerleri (TS EN 12620 2003)

TS EN 12620 ELEK SERİSİ (mm)	
Kare Göz Açıklığı (mm)	Elekten Geçen Malzeme (%)
8	100
4	90-100
2	55-75
1	35-60
0.5	20-40
0.25	15-30
0.125	5-15
0.063	0-7

İri Agrega (Çakıl): Doğal şekilde bulunabilen kırma taş (iri mıcır), çakıl ya da bu türevlerin birleşiminden ortaya çıkan ve 4 mm göz açıklıklı kare delgili elek üstünde kalan malzemelerdir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 İri agrega

Şekil 2.2'de görüldüğü gibi ve Çizelge 2.4'te ifade edildiği gibi No.4 elekten geçmeyen, elek üstünde kalan agregalar iri veya kaba agrega şeklinde isimlendirilir. Dayanıklı, sert ve tane biçimi açısından olabildiğince küp veya daireye yakın biçimde bulunmalıdır. Agrega parçalarında en büyük boyut ile en küçük boy seviyesi 3'ten yüksek olması halinde tane şekli hatalı sayılabilmektedir ve karışımlarda şartnamenin gerektirmiş olduğu miktardan daha fazla hatalı tane bulunduramaz.

Çizelge 2.4 İri agregaların granülometri sınır değerleri (TS EN 12620 2003)

ELEKTEN GEÇEN MALZEME (%)					
Elek Göz Açıklığı (mm)	Mıcır No 1	Mıcır No 2	Mıcır No 3	Balast	Tüvenan Çakıl veya Karışık Mıcır
40	100	100	100	100	100
31.5	100	100	100	0-20	95-100
16	95-100	20-60	0-20	0-10	50-70
8	25-55	0-5	0-5	0-3	20-34
4	0-10	-	-	-	0-10
2	0-4	-	-	-	-

Tüvenan (Karışık) Agrega: Doğal agrega ocaklarından direkt alınan, elenmemiş iri-ince agreganın birarada olduğu malzeme olup, kullanılması istenmez (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Karışık agrega

2.1.4 Tane şekline göre agregalar

Doğal agrega ocağından çıkan malzemeler genel olarak. Yuvarlak, yassı, uzun ve keskin köşelidirler. Bu geometrik durumlarına göre sınıflandırmaya tane şekline göre sınıflandırma denir. Aynı zamanda, kırma agrega da keskin köşeli agrega grubuna girer. Betonda kullanılacak agregaların yassı ve uzun agrega oranı ne kadar az ise o kadar iyi olur. Ayrıca, hassas olan beton işlerinde agrega kullanılmadan önce mutlaka yassılık indeksi belirlenmeli, ona göre kullanılmaya karar verilmelidir (Erdoğan 1995).

Tane şekli sınıflaması ve örnekleri

TANE ŞEKLİ	AÇIKLAMA	ÖRNEKLER
Yuvarlak	Tamamen su içerisinde sürtünme nedeniyle yuvarlaklaşmışlardır.	Nehir, deniz çakılları, çöl, deniz ve rüzgarın serpiştirdiği kumlar
Şekilsiz	Doğal olarak şekilsizdirler veya sürtünme nedeniyle kenarları yuvarlanmış, biraz şekillidirler.	Diğer çakıllar, kum veya adi çakmaktaşları
Köşeli	Pürüzlü düzlemsel yüzeylerin kenarlarda kesiştiği bir yapıdır.	Kırılmış kayaçların bütün çeşitleri, yamaç molozu, camsı cüruf
Yassı	Agrega kalınlığının diğer iki boyuta göre daha küçük olduğu agregalardır.	Laminalı kayaç
Uzun (Prizmatik)	Genellikle köşeli ve bir boyutun diğer iki boyuttan fark edilir şekilde daha büyük olduğu agregalardır.	Laminalı kayaç
Yassı ve Uzun	Tane uzunluğunun eninden ve enin bariz bir şekilde kalınlıktan daha büyük olduğu agregalardır.	Laminalı kayaç

Agregaları tane şekline göre sınıflandırılırken bazı tanımları bilmek gerekir. Köşeli agrega; tane yüzeyleri hemen hemen düzgün düzlemlerin kesişmesiyle oluşan belirgin kenarlarının oluşturduğu agregadır. Kübik agrega; üç boyutu (eni, boyu ve kalınlığı) birbirine yaklaşık eşit olan agregadır. Yassı agrega; agrega tanesinin üç boyutu arasında 1/3 oranından daha büyük boyut farkı var ise bu agregalara yassı denir (Albayrak 1987, Şimşek 2020).

Yüzey Dokusuna Göre Agregalar: Bu türdeki agregalar; düzgün, granüller, pürüzlü, kristalli ve petekli olmak üzere 5 biçimde listelenebilir (Akman 1992).

Jeolojik Orijinlerine Göre Agregalar: Bu türdeki agregalar; tortul, volkanik ve metamorfik biçimde listelendirilebilir (Albayrak 1987).

Mineralojik Yapısına Göre Agregalar: Bu türdeki agregalar; silis mineralli, karbonat mineralli ve mika mineralli şeklinde listelenebilir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 Mineralojik yapısına göre agregalar

2.2 Agregaların Fiziksel Özellikleri

Agregaların fiziksel özellikleri; yoğunlukları, kimyasal içeriklerine göre türleri, rengi, kristal yapıları, sertlik, mukavemet, erime noktası, porozite gibi özellikleri şeklinde sıralanabilir (Turan 2010).

Molekül Ağırlığı: $CaCO_3$: 100.09 g. MgCO3: 84.32 g

Renk: Kireçtaşının rengi, başlıca bileşiminin yani $CaCO_3$ içeriğine ilave diğer bileşikleri ihtiva etmesine bağlı olarak değişkenlik sunabilir. Beyaz renk tamamen $CaCO_3$'ten oluşur; gri tonlar, demir sülfürlerin varlığını gösterir; yeşil, kahverengi, kırmızı renkler demir ve mangan varlığını gösterir. Magnezyum içeriği, pembe renge sebep olurken dolomitik karekterli olduğunun belirtisidir.

Tekstür ve Kristal Yapısı: Kireçtaşlarının yoğunluk ve sertlik değerleri, kireçtaşlarını oluşturan kalsit kristallerinin boyutuna, homojenliğine ve sırasına göre değişir.

Kireçtaşı: Gözenekli bir yapıya ve yüksek organik içeriğe sahiptir. $CaCO_3$ oranı %95'in üzerinde ve $MgCO_3$ oranı yüzde 2-5 arasında yüksek kalsiyum içeriğine sahiptir.

$CaCO_3$, tebeşirin yüzde 98-99'unu oluşturur. %20 kirlilik içeren gri renkli tebeşirler de mevcuttur. Mermer, metamorfik yapıya ve $CaCO_3$ kimyasal bileşimine sahip sert bir taştır. Metalurjide kullanılan yüksek saflıkta $CaCO_3$ bileşimleri metalürjik karaktere sahip olanlardır. Çamlık Kireçtaşı ise düşük demir düzeyine ve yüksek saflıkta kalsit ve dolomitik yapıya sahiptir. Fosfatlı kireçtaşları %5 fosfor içerir. Magnezyum içeren kireçtaşlarında $MgCO_3$ oranı %5 ile %20 arasında değişmektedir.

Dolomit: $CaCO_3$ içeriği yüzde 54-58'dir. $MgCO_3$: Yüzde 40 ile 46 arasında değişir. $MgCO_3$ bileşimi %20'den fazla olan herhangi bir kireçtaşı ise dolomitik olarak sınıflandırılır. Yüksek Si, Al ve $CaCO_3$ konsantrasyonuna sahip çimentolu malzemeler Portland çimentosu oluşturmak için iyidir. Traverten sert bir yapıya sahiptir ve kaplıcalardaki yağışlarla oluşur. Marn, yüksek kirlilik seviyesine sahip yumuşak bir malzemedir. Bazı formlarda $CaCO_3$'ten daha fazla Si ve Al bulunabilir. Organik elementler, doğal asfalt ve petrol, bitümlü kireçtaşında bulunur (Yakut 2001).

Yoğunluk: Kalsit oda sıcaklığında 2.72 g/cm^3, dolomit 2.86 g/cm^3 ve aragonit 2.94 g/cm^3 yoğunluğa sahiptir.

Görünür Yoğunluk: Gözenek oranı ve gözeneklerdeki su miktarına bağlı olarak 1.5-2.3 g/cm^3 arasında değişir. 110C'de kurutulan etüvde bir kireçtaşının görünür yoğunluk.

Yığın Yoğunluğu: Kırılmış ve elenmiş kalkerin birim hacim başına ağırlığıdır. Görünen yoğunluk, boyut dağılımı, parçacık yapısı ve nem içeriğinin tümü yığın yoğunluğunu etkiler. Kireçtaşının kütle yoğunluğu kabaca 1.40-1.45 g/cm^3'tür. Kireçtaşının görünür yoğunluğu 2.7 g/cm^3, boyutlar içerisindeki oran 1.2 ve kireçtaşının görünür yoğunluğu 2.7 g/cm^3'tür. Malzeme inceldikçe %25'e varan artış gözlenmektedir (Kırıkoğlu 1996, Temur 2001).

Sertlik: Kireçtaşı tipik olarak 2-4 Mohs sertliğine sahiptir. Kalsit Mohs ölçeğinde 3 sertliğe sahipken, aragonit 3.5-4.0 sertliğe sahiptir. Dolomitik kalkerin kalsiyumca zengin kalkerlerden daha tok olduğunu bulmuşlardır (Yaşar ve Erdoğan 2002).

Mukavemet: Mermer ve traverten oluşumlarının mukavemeti oldukça büyük iken, tebeşir ve marn mukavemeti son derece düşüktür.

Isı İletkenliği: Gözenek durumuna ve yapısına bağlı olarak sıcaklık arttıkça termal iletkenlik azalır. 130°C'de kalkerde gözlenen değer 0.0039 cal.cm/cm^2 s.ºC'dir.

Isı Genleşme Katsayısı: 0.00001-0.000035 ºC-1 (100-150 ºC için).

Erime Noktası: Kireçtaşları erimeden önce oksitlerine dönüşürler. CaO'nun erime noktası 2800 ºC, MgO'nun erime noktası 2570 ºC'dir.

Agreganın Porozitesi ve Kompasitesi;

Porozitesi: Agrega tanelerinin bazı boşluklar içermesi doğaldır. Agrega tanelerindeki boşluğu değerlendirmek için bir su emme testi kullanılır.
İri agrega tanelerinin mukavemeti, küçük gözeneklilikleri nedeniyle fazla bir değer alması garanti edilir. Yüksek dayanımlı tanelerle yapılan betonlar mekanik olarak da güçlendirilebilir (Şimşek 2020).

Kompasitesi: Agreganın birim hacmindeki tanelerin kapladığı hacme agreganın bileşimi denir. Bir agreganın kompaktlığı, agreganın yoğunluğu ve birim ağırlıkları kullanılarak tahmin edilebilir.

Agreganın birim ağırlığı her zaman yoğunluğundan küçüktür. Sonuç olarak, yoğunluk birden düşüktür. Agreganın kompaktlığı, sıkıştırılmadan yerleştirildiğinde 0.40 ile 0.70 arasında ölçülür (Şimşek 2020).

Agreganın düşük kompaktlığının bir sonucu olarak aşağıdaki problemler ortaya çıkabilir:
1. Yapılan betonun yoğunluğu ve direnci zayıf olacaktır.
2. Kullanılmiş çimento tutarı artmış olacak.

3. Beton daha pahalı hale geliyor.
4. Donanım arızalarının sayısı artıyor. Sonuç olarak işlenebilirlik zarar görür.
5. Dış etkilere karşı daha düşük direnç.

Agrega - Su Bağıntısı: Agrega tarafından emilen su miktarı, partikülün orijini, yapısı ve granülometri bileşimi ile belirlenir. Agrega taneleri arasındaki yarıklarda dört çeşit su vardır (Şimşek 2020). Agrega içindeki su miktarı, agreganın birim ağırlığı ve yoğunluğu üzerinde etkilidir. Doymuş kuru yüzey durumunun birim ağırlığı ve yoğunluğu verilmiştir. Agreganın donma ve çevresel etkilere karşı dayanıklılığı, çok fazla boşluk bulunması nedeniyle zarar görür. İri ve ince agrega su emme yüzdesi limiti %1'dir. Fazla su emme yüzdesine sahip agrega kullanımı betonun mukavemetini ve dayanıklılığını azaltır**.**

Agregalarda Nem Hali: Kaba agrega parça boşluğunun (porozitesinin) yetersiz bulunması, bu tanenin koruyuculuğunun çoğunlukla üst derecede bir rakam çıkmasına neden olmaktadır. Porozitenin üst seviyede çıkması, agregaların don olaylarına karşı ve çevre faktörlerine dayanıklılığını düşürmektedir. Agregaların % 12'den daha küçük su emilmesine izin verilebilir. İçi boş bileşenlerimin donmaya dayanabilmesi için %80'den az doygunluğa sahip olması gerekir (Uçar 2008).
Agrega kısımlarındaki boşluklardan dolayı agrega içerisinde oluşabilecek nem-rutubet koşulları aşağıda özetlenmiştir.

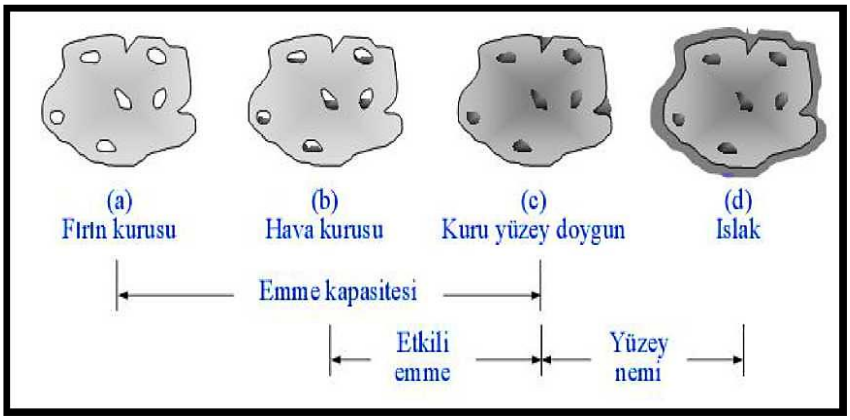
Fırın Kurusu: Bu özelliği ile agrega parçalarında su bulunmaz. Bu tür agrega malzemesi 100-110 ° C'de tutmak suretiyle oluşturulmaktadır.

Hava Kurusu: Agrega kuru havada kaldığında yüzey kısmından itibaren standart bir derinlikteki boşluğun nemli olmaması, iç bölümünün ise nem bulunması halidir.

Yüzey Kuru: Bu özellikteki agreganın satıhları kuru, iç kesimleri tamamıyla su ile dolmalıdır.

Islak: Bu özellikteki parçaların bütün boş kısımları ve satıhı su ile kaplıdır.

Nem halleri, Şekil 2.5'de liste biçiminde verilmiştir. Nem iki biçimde önemlidir. Birincisi, ince agrega yani kumda kabarmalara neden olabileceğinden kumlardaki kabarmalar önemsenmeden betona katılırsa asıl ölçüden fazla görünebileceğinden 1 m^3 betona katılan kum, az sayılacak ve neticede boşluklu bir beton imal edilmiş olacaktır. İkinci ve en mühimi ise su oranı göz önünde tutulmadan agrega kurumuş gibi su katılırsa, beton mukavemetinde çok su katılmasından dolayı önemli düşüşler olacaktır. Bu nedenle, nem oranı belirlenerek, o oranda karışıma az su eklenmesi gereklidir. Agrega niteliklerini tespit etmek için gerçekleştirilen incelemelerde ve beton karışım hesaplamalarında agregaların üstte bahsedilen koşullarda yüzey kuru suya doygun (YKSD) vaziyeti esas alınmaktadır. Bir yapı yerindeki ya da beton santralindeki agreganın mevcut su içeriği göz önünde tutularak, YKSD vaziyetine göre yer alan beton bileşkeleri için ihtiyaç duyulan iyileştirmeler gerçekleştirilmektedir (Postacıoğlu 1986) .



Şekil 2.5 Agregadaki değişik nem durumları (Uçar 2008)

Birim hacim Ağırlık: Belirli bir hacmi doldurmak için kullanılan agreganın ağırlığına birim ağırlık denilmektedir. Dökme birim ağırlık, gevşek agreganın kurutma için bir kaba konduğundaki ağırlığını ifade ederken, kompakt birim ağırlık, kurutma sırasında birçok kez sıkıştırılarak elde edilen ağırlığı ifade eder.

Agregadaki boşlukların miktarı birim ağırlık kullanılarak hesaplanabilir ve agreganın belirli uygulamalar için uygunluğu belirlenebilir. Ayrıca agreganın granülometri bileşimini ve hatalı malzemenin varlığını göstermektedir.

Birim ağırlığı etkileyen faktörler şunları içerir:

1. Boşlukların miktarı, agreganın granülometrisine göre değişir. Alan miktarı azaldıkça birim ağırlık artar.
2. Aşırı miktarda hatalı malzeme, boşluğu genişleterek birim ağırlığı azaltır.
3. Agrega V-hacimli bir kalıba yerleştirilirken titreştirilip bir çubukla delindiğinde çok az yer kaplayan kabı doldurur. Bunun nedeni birim ağırlığın önemli bir değere sahip olmasıdır.
4. Agreganın özgül ağırlığı yüksek ise agreganın ağırlığı da yüksektir. Sonuç olarak, birim ağırlık artar.

Birim ağırlığı yüksek olan betonun mukavemeti, dayanıklılığı ve taşıma kapasitesi yüksektir. Beton agregalarının ağırlıkları 1300 ile 1850 kg/m^3 arasında değişmektedir. Sıkıştırma oranı arttıkça agreganın basınç dayanımı ve dış etkilere karşı direnci artar.

Birim hacim ağırlık, aşağıdaki Eşitlik (2.1) kullanarak hesaplanır.

$$A = \frac{Pa}{V} \tag{2.1}$$

A: Birim Hacim ağırlık

Pa: Agregaların ağırlık durumu

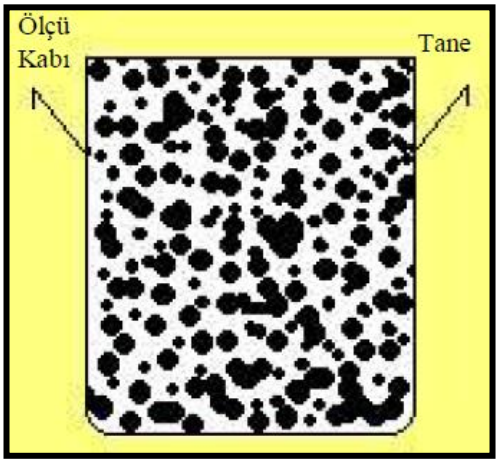
V: Ölçü kabının hacmi

Agreganın birim ağırlığı farklı nedenlere göre değişir. Bu değişkenler;

- Agregaların granülometrisi,
- Agrega tane şekli (parçaların daire veya köşeli olabilmesi),
- Hatalı ürün %,
- Yerleşme biçimi,
- Agregaların özgül ağırlığı,
- Agregaların su içeriği

Agreganın birim hacim ağırlığını belirlemek için gevşek veya sıkıştırılmış test metotları kullanılır. Agrega, birim hacim ağırlıkların belirlenmesi için üstten serbestçe aktarılarak

ölçü kabına yüklenir (Şekil 2.6). Bu arada agregaların sıkışmamasına ve ayrıştırılmasına dikkat edilmelidir.



Şekil 2.6 Birim hacim ağırlığın tayini

Yoğunluk: Bir maddenin belirli bir hacim ve sıcaklıktaki havadaki ağırlığının, aynı hacim ve sıcaklıktaki damıtılmış suyun ağırlığına oranıdır. Bu özellik, agreganın kaynağı hakkında bilgi sağlar ve beton bileşenlerini hesaplamak için kullanılır. Betonda kullanılan agreganın yoğunluğu 2.2-2.7 kg/dm^3 olmalıdır.

Yoğunlukları agreganın uygunluğunu yansıtır. Düşük yoğunluklar, kararsız bir malzemeyi belirtir; yüksek yoğunluk, yüksek kaliteli beton için uygun bir agregayı belirtir. Beton karışımlarının hesaplanmasında, düzeltilmesinde ve beton homojenliğinin gerekli olduğu durumlarda yoğunluk gereklidir. Agreganın düşük yoğunluğu, gözenekli ve kırılgan olduğunu gösterir.

Agregalara ait yoğunluklarının tespit etme metotları Şekil 2.7'de verilmiştir. Şekil 2.7A'da, agrega deney örneği su ile doldurulmuş ve üst kısmı kapakla kapanmış, daha sonra ölçü kabıyla beraber tartılmıştır. Şekil 2.7B'de, agrega örneği kabın içine konulduktan sonra terazide tartılmış ve ölçüm değeri edilmiştir. Yoğunluk, aşağıdaki Eşitlik (2.2) kullanarak hesaplanır.

$$Sa = \frac{w1}{(w2+w2+w3)} \quad (2.2)$$

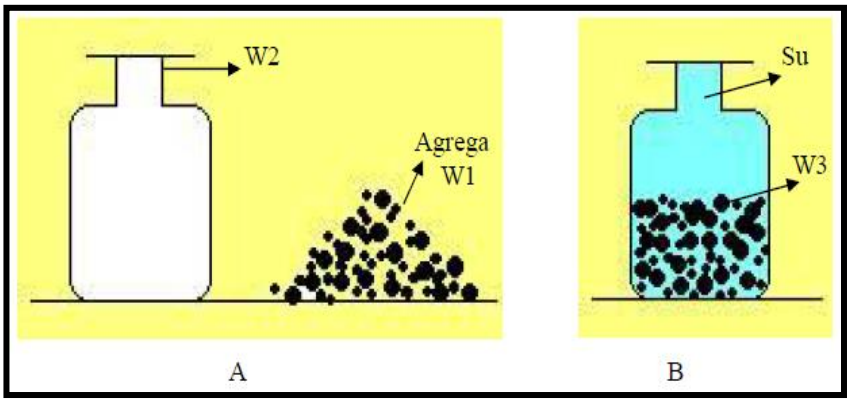
Sa: Agregaların yoğunlukları

w1: Örnek Ağırlıkları

w2: Su ile dolu ölçü kabı ağırlıkları

w3: İçerisine örnek konulmuş, su dolu kabın hacmi

Genel olarak normal agregaların yoğunlukları, çoğunlukla 2.2-2.7 kg/dm^3 oranları içerisindedir (Uçar 2008).



Şekil 2.7 Yoğunluk tayini

Kompasite: Agreganın kompasitesi, birim hacimlerindeki parçaların kaplamış olduğu gerçek hacimdir. Birim ağırlığın özgül ağırlığa bölünmesiyle bulunmaktadır. Agregaların kompasitesi aşağıdaki Eşitlik (2.3) kullanarak hesaplanır.

$$K = \frac{A}{Pa} \quad (2.3)$$

K: Agreganın kompasite

Pa: Agreganın özgül ağırlığı (g)

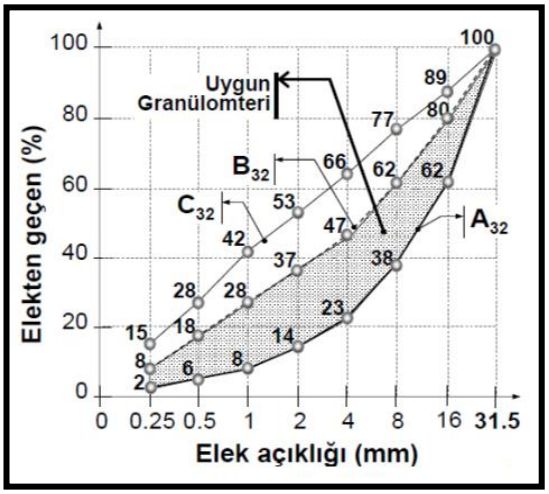
A: Agreganın birim ağırlığı (g)

Birim ağırlık, her zaman yoğunluktan daha az olacağından yoğunluk 1'den az olacaktır. Grup şeklindeki agregaların birim hacimlerindeki boşluk sıkıştırma bu senaryoda 1'e tamamlanan oran olacaktır (Uçar 2008).

Tane Dağılımı (Granülometri): Agregalardaki standart oranlardaki parçaların dağılımını ifade eden eğriye granülometri eğrisi denilmektedir. TS EN 12620 göz önünde bulundurulduğunda elek analizi deneyinde. 3 farklı ana elek grubundaki elek çeşitleri kullanılmaktadır. Bir küme üzerinde filtre analizi yapma yöntemi TS EN 933-1'de ifade edilmektedir.

Beton üretimi için gerekli olan karışım agrega tipinin elek analizi ile belirlenen "ideal bölgeler" olarak belirtilen alanlar içinde olmalıdır. Şekil 2.8'de verilmiştir.

A-B eğrileri arasındaki elek analizi değerleri son derece iyi (ideal). B-C eğrileri arasındakiler kullanılabilir olarak kabul edilmektedir. Diğer açıdan granülometrisi A ve C eğrileri dış kısmında bulunan agrega, beton imalatında kullanılmasından kaçınılmalıdır.



Şekil 2.8 Elek analizi limitleri (Dmax=32 mm)

Beton karışım agregaların uygun saha içerisinde olmasının arzu edilmesinin en mühim sebeplerinden biri kompasitesinin fazla olabilmesidir. Bu nedenle kompasitesi fazlalaşan betonun mukavemeti de yüksek oran alacaktır. Bir başka açıdan kompasitesi fazla agregaların kullanılabilmesi ile boşlukları doldurabilmesi için daha az miktarda çimento gerekecek, bu şekilde daha uygun biçimde beton imal edilmiş olabilecektir.

Çoğunlukla uygulamalarda kullanılmakta olan çimento hamurunun oranı agrega sayılarının aralarındaki boşluk oranlarının hacminden daha yüksek olabilmektedir. Agrega karışım granülometrisinin uygun saha içerisinde kalması su açısından da optimum bir netice sağlayabilmektedir. Zira agrega sayılarını ıslatabilmek için ihtiyaç duyulan su agreganın granülometrik yapısıyla yakından bağlantılıdır. Neticede ideal granülometrik yapıyı barındıran agrega, işlenebilme açısından da bir problem oluşturmayacaktır. Agregaların granülometrik eğrisi için altta yer alan nitelikler söylenilebilir;

- Elek analizi eğrisi, kenarlığı olan yükselen bir eğridir, ancak yatay çizgi parçaları mevcut olabilir.
- Eğrinin % 100 çizgisine yakınlığı karışımın iyi olduğunu, yüzde 0 çizgisine yakınlığı ise agreganın kaba olduğunu göstermektedir.
- Eğri bütün elek sahasında vardır; yüzde yüz veya yüzde sıfır çizgisiyle örtüşmesi, o sahalarda olmadığı anlamına gelmez.
- Toplam birikiminde iki eleke kalan malzeme oranı, birbirini takip eden iki elek numarasına karşılık gelen yüzde kriteri çıkarılarak hesaplanır.

Beton imalatında iri agregaların en geniş adet ölçüsünün (Dmax) tercihi mühimdir. Dmax'ı büyük agregalarda çoğunlukla iri parçalar çok sayıda bulunmaktadır. Dmax'ı büyük agregaların kullanılabilmesi betonun kompasitesini yükseltmektedir. Ayrıca, işlenebilmek için daha az su kullanılabilmesini olağan göstermektedir. Bu nedenle, pratikte imal edilen normal betonlar fazla dayanımlı ve daha uygun olabilecektir. Fakat, yapının donatı hali Dmax'ın büyük seçilebilmesini engelleyebilir. Küçük ölçekli faktörlere sahip bir inşaatta üretilen betonda ve güçlendirme sıklıkla kullanıldığında, mütevazı bir Dmax gereklidir. Sonuç olarak, beton yapılırken mümkün olan en büyük Dmax oranının kullanılması gerekmektedir. Çizelge 2.5'de, yapı türüne bağlı olarak belirtilecek en yüksek adet oranı değerleri sunulmaktadır (Özkul vd. 1999).

Çizelge 2.5 Tane boyutunun en büyük değerleri (Özkul vd. 1999)

YAPININ CİNSİ	MAKSİMUM TANE BOYUTU (Dmax) (mm)
Betonarme	16-32
Yol ve hava meydanları	32-90
Barajlar	90-250

Yassılık Endeksi: Yassılık endeksi deneyine göre bir ürünün yassı kabul edilmesi için incelemeye alınmış olan agrega parçasının iriliğinin nominal seviyesinin 0.6'sından küçük olabilmesi gereklidir (Yassı alet, Şekil 2.9'da verilmiştir). Yassı adetlerden meydana getirilen bir yapı, trafik yükü içerisinde temiz olmamaktadır. Yük basıncında basitçe kırılabilir ve karışımın koruyuculuğu düşebilir. Soyulma deneyi, su ve trafik etkisine karşı bir mukavemet deney çeşididir. Bazı asfalt karışımlarında, suyun etkisiyle agrega ile asfalt içerisindeki temas kaybolur ve bu şekilde yapılmış olan kaplama bozulmaktadır. Bu durumu önlemek amacıyla bu bağlantının kaybolmasını yani soyulmayı engelleyecek bir kısım katkı parçaları ile asfaltın agregalara daha iyi bütünleşmesi sağlanmaktadır.



Şekil 2.9 Yassılık endeksi

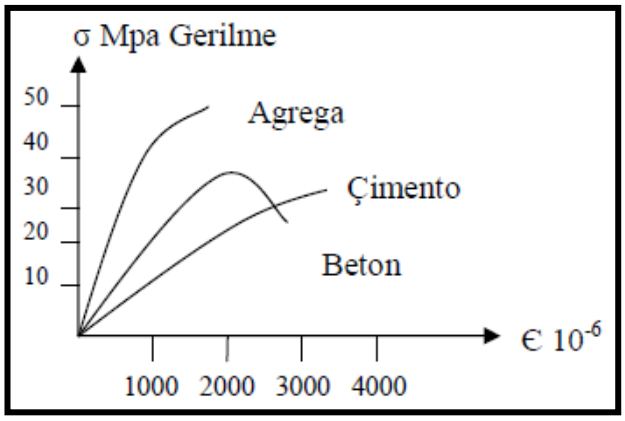
Donma-Çözülmeye Karşı Dayanımı: Soğuk iklime ait yerlerde imal edilen betonun donma nedeniyle satıhın parçalanmaması ve bir bütün olarak betonun soyulmaması istenmektedir. Betonların donmaya karşı mukavemetinde agrega önemli değere sahiptir. Bu sebeple donma etkisinde kalabilecek betonda kullanılabilmesi gerekli olan agregaların da donmaya karşı dirençli olması gereklidir. Agregaların donmaya karşı mukavemeti donmaya karşı gerçekleştirilen testler ile belirlenmektedir (Özkul vd.

1999).

Parçalanmaya Karşı Direnç (Los Angeles Deneyi): Los Angeles deneyinin yapılış nedeni, agregaların aşınma dayanımını test etmektir. Bu deneyin detayları TS EN 1907-2'de verilmiştir. Deneylerde kullanılmakta olan alet 2 kısmı kapatılmış ve kendi çevresinde dönüş sağlayabilen çelik silindirlerden meydana gelmektedir. Silindir içerisinde standart ağırlıklarda ve miktarda çelik bilyeler vardır. Adet genişliği grubuna göre sayısı belirlenen agrega, silindir tambur içerisine koyulur ve tambur çevrilmeye başlatılır. Deney esnasından parçalar çelik bilyelerin çarpması yoluyla dağılmaya başlar ve küçülür. Alet, devir sayısı ayarlanmış ve buna göre duracak biçimde programlıdır. Bu dönmeler neticesinde silindirden çıkartılan örnek, kare gözlü elekden geçirilerek, içeri geçmekte olan oranın yüzdesi bulunur. Bu oran incelemeden sonra kayıp oranını verir (Özkul vd. 1999. Postacıoğlu 1986).

2.3 Agregaların Mekanik Özellikleri

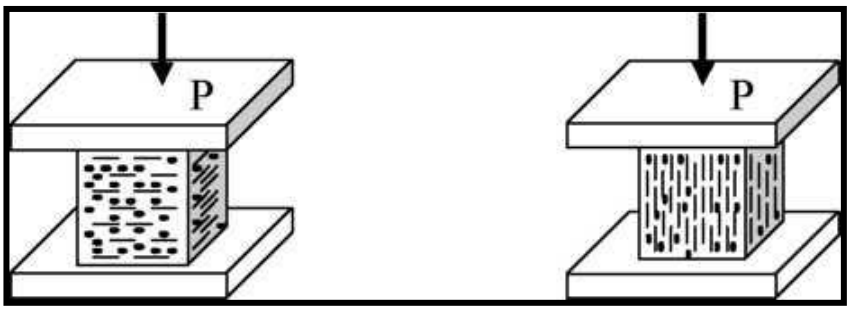
Çarpma Dayanımı: Yüksek mukavemetli beton imal edebilmek için mekanik mukavemeti standart oranlara ulaşmış olan agregaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle agreganın adet dayanımlarının da tespit edilmesi gereklidir (Özkul vd. 1999). Mekanik dayanıklılığı fazla olan agregalarla üretilen beton çeşitlerinin de mukavemeti fazla olmaktadır. Yani, mekanik mukavemet doğrusal biçimdedir. Mekanik mukavemetin denetiminin sağlanması için en uygun yöntem, basınç dayanıklılığını ölçebilmektir. Agreganın basınç dayanıklığı, betona göre olabildiğince fazladır (Şekil 2.10). Betonun durabilitesi, normal dayanımlı beton için 250 kgf/cm^2; yüksek dayanımlı beton için 500 kgf/cm^2 iken, agrega dayanımına bağlı olarak 3500 kgf/cm^2'ye ulaşabilmektedir.



Şekil 2.10 Agrega çimento ve beton gerilme

Kırılma Dayanımı: Agreganın basınç kuvveti için çelik bir silindir içerisine bir parça iri agrega konulur. Basınç uygulanmak suretiyle, küçültülüp sayısı ölçülmektedir. Agreganın 8 mm'lik elekden elenebildiğinde küçülme % 35'ten düşük olabilmesi durumunda mukavemetinin uygun olabildiği düşünülür. Los Angeles deneyi ile agregadaki aşınabilme oranı belirlenen çelik küreler, agrega ile beraber Los Angeles aletine yerleştirilir ve 100 ila 500 devirde küçülme seviyeleri kontrol edilir. 100 devirde küçülme, % 10'dan küçük ve 500 devirde küçülme % 50'den küçük olması durumunda beton üretimi için müsait olabildiği düşünülür (Uçar 2008).

Buna karşın, iri agrega numunesi için çakıl kullanılmışsa Şekil 2.11'de gösterilmekte olan basınç deneyi gerçekleştirmek imkânsız olabileceğinden yine bu agreganın üstünde aşınma mukavemeti testle incelenere, çakıl parçaların kuvvetliliği durumu hakkında da bilgi verilebilir (Özkul vd. 1999).



Şekil 2.11 Doğal taşlarda basınç dayanımı (Özkul vd. 1999)

2.4 Agrega Yüzey Şekli ve Biçimi

Agrega miktarlarının biçimi mümkün olduğunca daire biçiminde (küresel, kübik) olması gereklidir. Doğal agregalar, dış etkenlerle yuvarlak şekil alabilirler. Parçanın en geniş oranının en küçük derecesine oranı 3'ten yüksek bulunan agrega tanelerine biçimce hatalı parçalar denmektedir. Biçimce hatalı parçalar seviyesi. 8 mm parça iriliğindeki agrega içeresinde ağırlıkça % 50'den yüksek bulunmamalıdır. Hatalı parçaların en önemli etkisi, agrega küme boşluğuna ve bu boşluğun çimento hamuru ile kapatılamamasına neden olmaktadır. Kırma agregalar köşeli, kıyılı ve satıh kısımları pürüzlü biçimdedir. Kırma agregalar, konkasörlerin ayarsızlık durumuna bağlı olarak yassı ve çivi biçimi gibi biçimsiz parçalar olarak da gözlenebilmektedir. Bu durumun yan etkisi ise betonun yerleşim esnası sırasında işletilebilirliğin azalmasıdır. İşlenebilirliği sağlayabilmek için daha fazla su gerekmektedir. Kaliteli beton imalatında hatalı parçaların hiç olmaması istenmektedir (Şimşek 2019).

2.5 Agregalarda Bulunan Zararlı Maddeler

Agregaya zarar verebilecek maddeler şu şekilde sınıflandırılır (Karagüler 1979).

1. Kötü bir kimyasal reaksiyona neden olan maddeler,
2. Çatlaklar ve parçalanmalara neden olan genişletici maddeler,
3. Kil ve yüzey kaplayıcıları,
4. Yassı ve uzun taneler,
5. Yapısal olarak yumuşak ya da zayıf olan taneler.

Agregaların çimento hamuru ile aderansını bozan, prizini etkileyen ve çimento hamuru ile zararlı kimyasal etkilere sebep olan maddelerden temizlenmesi gerekir.

İnce Maddeler (Kil, Silt): İnce maddeler, partikül oranı 0.063 mm'den (63 mikron) daha az olan malzemelerdir. Bu malzemeler çoğunlukla kil. silt ve çok ince taş unlarıdır. Agregada yıkanmasında bir mahsur olamayan ince maddeler, kısıtlı sayıda olabilmesi arzu edilen zararlı etkenler şeklinde ifade edilebilir. Kil ve silt gibi 0.063 mm'den daha

ince parçalı malzemeler, agregalarda birikmiş, toz durumda dağılmış veya iri parçaların satıhına yapışmış biçimde olabilirler. Bunlardan en zarar verici olanı, yıkanabilir parçaların agrega parçacığının yüzey kısmına yapışmış olanlarıdır. Çünkü agrega ile çimento hamuru içerisindeki aderans oldukça zaqyıflatabilir ve betonun mukavemetini geniş oranda azaltabilir. Kırma kum agregalarında ince içerik miktarı yüksek olduğu takdirde kum eşdeğerliği testi ya da metilen mavisi testi gerçekleştirilebilir. Betonda önemli miktarda kolloidal kil, silt veya taş parçacıkları bulunması onu aşağıdaki şekillerde etkiler (Şimşek 2020).

Koloidal yapılı kil, silt ve taşunu parçalarının çok sayıda yer alması betona şu açılardan zararlı olacaktır.

- İri agrega ve çimento hamuru içerisindeki aderansı zayıflatır.
- Agregaların özgül yüzey oranını çarparlar. Bu durum sonucunda beton için ihtiyaç duyulan karışım suyu oranı yani su/çimento seviyesi yükselir. Bunun sonucunda dayanım ve dayanıklılığı düşük bir beton ortaya çıkar.
- Kil ve silt, en önemli niteliklerinden biri olan suyu tutma (emme) özelliğine sahiptir. Su emme, hacmin büyümesine neden olarak kasılmaların neden olduğu gerilimlere neden olur.
- Yapışmayı engellemek için çimento ile reaksiyona girerek çalışır. Hidrasyon ve sertleşme süreci yavaşlar. Ayrıca betondaki kil, silt ve silt miktarı betonun işlenebilirliğini ve su direncini artırır. Agregalarda kil ya da silt, çok yoğun olursa betonun su gereksinimi yükseleceği için mukavemeti yine olumsuz olarak etkileyecektir (Özkul vd. 1999). Olumsuz etkileri nedeniyle ince maddelerin mümkün olabildiğince az olmaları tercih edilmektedir. Beton agregaları içersinde limitler üstünde ince agrega bulunuyorsa, agregaların yıkanmak suretiyle kullanılabilmesi zorunluluğu bulunmaktadır (Postacıoğlu 1986).

Organik Maddeler: En fazla kumlarda gözlemlenmektedir. Turba, humus ve organik çamur, beton agregalarında bulunmaması gereken organik bileşenlerdir. Organik malzemeler betonun prizinin geciktirmektirmesine ve dolayısıyla beton gücünün

düşmesine neden olmaktadır. Hatta, bazı durumlarda betonların bozulmasına neden olabilmektedir (Özkul vd. 1999).

Hafif Maddeler: Agregalarda bulunan kömür, odun ve linyit parçaları, hayvan kabuk şekilleri, ayrılmış lifler ve diğer çeşitli yumuşak parçaların yoğunlukları, mineral agrega parçalarının genişliğinden daha azdır. Bu bileşenler, normal agregalara kıyasla hafif olabilmektedir. Agregada, bu maddelerin standart bir miktarın üzerinde bulunması halinde bu bileşenleri içeren agregayla üretilen betonun mukavemeti çok düşük olabilir. Bu nedenle, beton içerisinde yer almaları arzu edilmez. Hafif adetler don etkisinde kaldıkları zaman kolayca parçalanabilirler. Diğer taraftan bu çeşit adetlerin hacim sabitlik karakteri bulunmaz. Bunlar, bilhassa beton satıhına yakın olabilmeleri durumunda şişmek suretiyle beton yüzeyinde çatlamalara sebep olabilmektedir. Bilhassa, bu malzemelerin agregada çok yüksek oranda yer alması, betonların mukavemetine ve durabilmesine önemli ölçüde etki eder (Özkul vd. 1999). Ayrıca, kömür bileşenlerin bulunması, kükürdün olabileceğine işaret eder. Kükürt, beton için zararlı sülfat etkisine sebep olabilmektedir. Sülfat sıvısını hazırlayabilmek için kullanılmakta olan malzeme çok pahalıdır. Bu nedenle gözlemlerle belirlenir. Agregalarda çok yüksek sayıda yer alırsa, betonun mukavemetini etkilemektedir. Betonun satıhında ya da satıha yakın kısımlarda bulunursa betonun satıhında ufak çatlaklara ve lekelerin meydana gelmesine neden olmaktadır. Dayanıklılığı çok azdır. Su seviyesinin düşüp yükselmesi ile hacim durumlarında büyük farklılıklar olmaktadır. Donma-çözülme olaylarında basit biçimde parçalanabilirler ve çimento için zararlı etkenleri içerebilirler (Erdoğan 1995).

Sülfatlar: Agregalar içeresinde yer alması bu malzemenin çimento ile sülfo-alümünat ismi ile adlandırılan genişleyebilen bir tuzun meydana gelmesine neden olabilmesi açısından zararlıdır. Zamanla genişleyen kristaller biçiminde ilerler ve bu durum neticesinde beton dağılabilir. Bu açıdan sülfat (SO_3) miktarının ağırlıkça % 1'den yüksek bulunmamasına özen gösterilmelidir. 1 dm^3 betonda 1.4 g'dan az olabilecek biçimde sülfat yer almasına izin verilmektedir. Barit ($BaSO_4$) nemli alanda kimyasını değiştiremediğinden, beton agregası şeklinde kullanılabilmektedir (Neville 1993).

Alkali-Agrega Reaksiyonu: Alkali-agrega tepkimesi (AAR) betonlarda patlamalara neden olan kimyasal bir tepkimesi yaratabilir. Bu reaksiyon, belirli agregalardaki aktif mineral bileşikleri, çimentoda yaygın olarak bulunan sodyum ve potasyum alkalileri ile birleştiğinde meydana gelir. Alkali-silika reaksiyonu (ASR), AAR'nin en yaygın türüdür (Özkul vd. 1999).

ASR'nin ciddi seviyede meydana gelmesi üç etkene bağlıdır (Özkul vd. 1999).

1. Çimento içerisindeki alkali oksit (Na_2O + 0.658 K_2O) seviyesi % 0.6'dan yüksek ise;
2. Agregalarda alkaliğe hassas ise silisli mineraller bulunmaktaysa;
3. Betonlarda yeterli seviyede nem bulunmaktaysa;

ASR altta belirtilen 2 kademe sonucunda zararlı tesirini göstermektedir;

- Alkali + Silika + Jel (alkali silikat solüsyonu)
- Nem + Genleşme + Jel

Yukardaki 2. kademe neticesinde ortaya çıkan genleşme patlamalara sebep olarak betonu zarara uğratmaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Bu çalışmada, numuneler, Çankırı'nın Şabanözü ilçesine bağlı Çapar köyü dolayındaki kireçtaşı ocağından temin edilmiştir. Araştırmalarda kullanılan kireçtaşların temin edildiği kireçtaşları Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1 Deney numunelerin alındığı kireçtaşları

3.2 Yöntem

Çapar köyü (Şabanözü. Çankırı) dolayındaki kireçtaşları özelliklerinin tespiti için agrega olarak kullanılacak kireçtaşların fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerini belirlemek için TS EN 12620 standardına uygun olup olmadığı incelenmiştir. Bu çalışmanın fiziksel, mekanik ve kimyasal laboratuvar deneyleri, Bulutsan Çimento

Fabrikası (Çankırı) laboratuvarlarında yapılmıştır. Bu çalışmanın yapılan laboratuvar deneyleri ve bu deneyler için standartlar Çizelge 3.1'de sunulmaktadır.

Çizelge 3.1 Yapılan deneyler ve ilgili standartlar

DENEYLERİN ADI	DENEY STANDARTLARI
Tane büyüklüğü dağılımı	TS EN 933-1
Tane yoğunluğu ve su emme oranı	TS EN 1097-6
Yığın yoğunluğu	TS EN 1097-3
Çok ince malzeme muhtevası	TS EN 933-1
Yassılık endeksi	TS EN 933-3
Metilen mavisi	TS EN 933-9
İri agregaların parçalanma direnci	TS EN 1097-2
İri agregaların aşınmaya karşı direnci	TS EN 1097-1
Agregaların donma çözülme karşı direnci	TS EN 1367-1
Alkali-silika reaktifliği	TS 13516
Asitte çözünebilen sülfat	TS EN 1744-1
Toplam kükürt	TS EN 1744-1

3.2.1 Tane büyüklüğü dağılımı (elek analizi)

Agrega yığını, değişen boyutlarda tanelere sahiptir. Granülometrik veya elek analizi, tane boyutlarına göre bir agrega yığınının nasıl düzenlenmesi gerektiğini değerlendirmek için kullanmaktadır. Granülometrik kompozisyon, boyutları belirli sınırlar içinde kalan agrega malzemesinin boyut yüzdesini göstermektedir. Granülometrinin beton sıkıştırma, yoğurma suyu, mukavemet ve dayanıklılık üzerinde büyük etkisi vardır. Deney numunelerinin hazırlanmasında TS EN 12620 dikkate alınmıştır. Alınan numuneler. TS EN 933-1 standardına uygun olarak 110°C sıcaklıktaki etüvde (24 saat) sabit bir ağırlığa ulaşıncaya kadar kurutulmuştur. Numune etüvden çıkarılıp soğumaya bekletildikten sonra terazide tartılmış ve ölçüm değerleri not M1 edilmektedir. Numune bir kaba yerleştirilir, üzeri tamamen kaplanana kadar su ilave edilir ve daha sonra içerdiği topakları ayırmak için 24 saat suda tutulur. Etüvde 16-24 saat sabit kütleye ulaştıktan sonra soğumada bekletilir ve sonrasında terazide tartılıp, ölçüm değerleri not M2 edilmektedir. Elek sarsma makinesine yerleştirilen elek setinin en üstündeki eleğe numune konmuş ve elek sarsma makinesi çalıştırılıp elek işlemine başlanmıştır (her bir elek için yaklaşık 2 dakika olmalıdır). Eleme işlemi sonunda her bir elek üzerinde kalan agrega terazi ile tartılarak ölçülmelidir. Çalışmada kullanılan

elek sarsma makinesi Şekil 3.2'de verilmiştir. Her bir elek boyutuna ait yığılımlı ağırlık (%) hesaplanır. Aşağıdaki Eşitlik (3.1) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$Mk = \frac{Mk}{\sum Wk} * 100 \quad (3.1)$$

Mk: Herhangi bir tane büyüklüğü için karışık agreganın yığılımlı ağırlık yüzdesi (%)

Wk: Herhangi bir tane büyüklüğü için karışık agreganın etüv kurusu yığılımlı ağırlığı (g)

ΣWk: Etüv kurusu deney numunesinin ağırlığı (toplama kabının yığılımlı ağırlığı) (g)



Şekil 3.2 Elek sarsma makinesi

3.2.2 Tane yoğunluğu ve su emme oranı

TS EN 1097-6 standartlarına uygun şekilde gerçekleşmiş olan agregaların tane yoğunluğu ve su emme oranlarını tespit etmek için yapılmıştır. Agrega taneleri için piknometre yöntemiyle gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.3). Alınan deney numunesi, piknometredeki 22°C sıcaklıktaki su içerisinde bekletilir ve piknometre içerisinde hava kabarcıkları kalmaması için eğilir ve döndürülür. Deney numunesi. 22°C'ta 24 saat bekletildikten daha sonra piknometredeki sudan çıkarılır.

Piknometrenin taşacağı noktaya kadar su doldurulur ve kap içerisinde hava kabarcıkları kalmaması için üstü bir kapakla kapatılır. Piknometrenin dış kısmı kuruduktan sonra terazide tartılmış ve ölçüm değeri not (M2) edilmektedir. Agrega taneleri, sudan çıkarılıp kurumada birkaç dakika bekletilir. Piknometre su ile yeniden doldurularak kapak aynı şekilde kapatılır. Piknometrenin dış kısmı kuruduktan sonra terazide tartılır ve ölçüm değeri not (M3) edilmektedir. (M2) ve (M3) arasındaki fark 2°C'yi geçmemelidir**.**

Suyu süzülen numune kuru bezlerden birine aktarılır. Bırakılan agreganın yüzeyleri nazikçe kurutulur, ardından bu bez artık su çekmediğinde başka bir kuru, yumuşak emici bez üstüne bırakılır. Bu bez üstüne konulan agreganın kalınlığı bir agrega tanesini aşmamalıdır. Bu işlemler ihtiyatla yapılmalıdır.

Doygun ve yüzeyi kuru deney numunesi bir tepsiye dökülür ve tartılır değeri not (M1) edilmektedir. Agrega taneleri. 110°C sıcaklıktaki etüvde (24 saat) sabit bir ağırlığa ulaşıncaya kadar kurutulur ve oda sıcaklığına soğumaya bırakılır ve tartılır (M4).

Deney sonucunda aşağıdaki Eşitlikler (3.2, 3.3, 3.4 ve 3.5) kullanarak hesaplanır.

Görünür Tane Yoğunluğu (mg/m^3): $$Pa = \frac{M4}{M4-(M2-M3)} \quad (3.2)$$

Kuru Tane Yoğunluğu (mg/m^3): $$Prd = \frac{M4}{M1-(M2-M3)} \quad (3.3)$$

Doygun Kuru yüzey Tane Yoğunluğu (mg/m^3): $$Pssd = \frac{M1}{M1-(M2-M3)} \quad (3.4)$$

Su emme Oranı (%): $$WA24 = \frac{100*(M1-M4)}{M4} \quad (3.5)$$

M1: Doygun ve havada kurutulmuş malzeme kütlesi (g)

M2: Piknometre + Deney numunesi + Su kütlesi (g)

M3: Piknometre + Su kütlesi (g)

M4: Etüvde kurutulmuş deney numunesi (g)



Şekil 3.3 Piknometre deneyinin uygulanışı

3.2.3 Yığın yoğunluğu

TS EN 1097-3 standartlarına uygun şekilde gerçekleşmiş olan kuru agregaların yığın yoğunluğunun değerini belirlenmesi için yapılmaktadır. Deney örnekleri. TS EN 932-2 standartlarına uygun şekilde üç örnek deney hazırlanmaktadır.

Alınan numuneler. 110°C sıcaklıktaki etüvde (24 saat) sabit bir kütleye ulaşıncaya kadar kurutulmuştur. Numune kabına doldurulmak istenen kütlenin % 120-150'i konulur. Kuru, boş ve temiz ölçü kabını suyla doldurulmuş ve tartılarak kaydedilmiştir (m1). Bir kürek kullanarak, ölçüm kabı düz bir yüzey üzerinde numuneyle tamamen doldurulmuştur. Küreği numune ölçü kabı üst kısmına yerleştirerek dereceli kabı doldurulurken segregasyon azaltılmalıdır. Ölçü kabının üst yüzeyinden taşan agregalar yüzeyden iyice temizlenir ve segregasyonu önlemek için eşit dağılım verilmiştir. Numune dolu ölçü kabı tartılarak kütlesini (m2) olarak kayıt edilmiştir.

Deney sonucunda, aşağıdaki Eşitlik (3.6) kullanarak hesaplanır.

$$\rho b = \frac{m2-m1}{V} \quad (3.6)$$

ρb: Gevşek yığın yoğunluğu (mg/m^3)

m2: Ölçü kabı + deney numunesinin kütlesi (kg)

m1: Boş ölçü kabı kütlesi (kg)

V: Ölçü kabının hacmi (lt)

3.2.4 Çok ince malzeme içeriği

Bu deney TS EN 933-1 standartlarına uygun şekilde gerçekleşmiş olan çok ince malzeme içeriğini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Deney numuneler. TS EN 933-1 standartlarına uygun şekilde hazırlanmıştır.

3.2.5 Yassılık endeksi

Bu deney, iri agregaların yassılık indeksini tespit etmek için TS EN 933-3 standartlarına uygun şekilde yapılmıştır. Deney 6.3-63.5 mm arasında tane büyüklüğüne sahip agregalara uygulanmıştır.

Alınan numuneler, 110°C sıcaklıktaki etüvde (24 saat) sabit bir ağırlığa ulaşıncaya kadar kurutulmuştur. Numune etüvden çıkarılıp soğumaya bekletildikten sonra terazide tartılmış ve ölçüm değeri not (M0) kaydedilmiştir. Eleme işlemi, iki yöntem ile yapılabilir. Elek sarsma makinesi ile eleme, diğeri ise çubuk eleklerle eleme yöntemdir. Deney numunesi, elek sarsma makinesi ile eleme kullanılarak elenmiştir. 6.3-63.5 mm arasındaki her tane büyüklüğü fraksiyonu di/Di ayrı ayrı tartılıp işlem dışı bırakılmıştır.

Hepsi di/Di tane büyüklüğü fraksiyon kütlelerinin toplamından belirlenir ve değeri not (M1) kaydedilmiştir. Barlar arasında Di/2 ile elekten akan di/Di tane boyutu fraksiyonlarının her birinde tanelerin kütlelerinin toplamı hesaplanır ve bu değer de (M2) kaydedilmiştir.

Hesaplamalarda, yassılık endeksi (FI) için aşağıdaki Eşitlik (3.7) kullanılmıştır.

$$FI = \frac{M2}{M1} \times 100 \quad (3.7)$$

FI: Yassılık endeksi (%)

M1: Her tane boyutu fraksiyonundaki toplam tane kütlesi g

M2: barlar arasında Di/2 boşluk bırakılarak bar eleklerden akan tanelerin toplam kütlesi g'dır.

3.2.6 Metilen mavisi

TS EN 933-9 standartlarına uygun şekilde gerçekleşmiş olan ince agregaların metilen mavisi değeri (MB) belirlemek amacıyla yapılmıştır (Metilen mavisi testinin uygulaması Şekil 3.4'te verilmiştir). Bir metilen mavisi çözeltisinden elde edilen çözelti, su içerisindeki deney numunesindeki süspansiyonuna eklenir. Her çözelti uygulandıktan sonra filtre kâğıdı üzerinde leke testi yapılarak serbest boyayı tespit etmek için boya çözeltisinin test numunesi tarafından adsorpsiyonu test edilir. Serbest boya bulunursa metilen mavisi değeri (MB veya MBF) hesaplanır ve deneyde kullanılan boyanın gramı olarak gösterilir.

Test numunelerinde tane boyutu 0-2 mm olan en az 200 g agrega bulunmalıdır. 110 5°C'de numune kurutulur ve tutarlı bir ağırlığa gelinceye kadar soğutulur. Etkili ayırmanın toplanması için 2 mm'lik bir göz açıklığında 0-2 mm aralığındaki tüm taneler bir elekle elenir. Düzeltme sırasında, deney fırçası ve gerekirse elek koruyucusu kullanılmalıdır. Elekte 2 mm'lik bir göz açıklığı ile tutulan taneler ayrılır. Bu elekten geçen malzeme TS EN 932-2 standardına göre en az 200 g deneysel numune malzemesine indirgenir. Test numunesinin ağırlığı 200 g'ı geçmemelidir. Bir behere 500 ± 5 mL damıtık su konulur. Daha sonra kurutulmuş deney numunesi behere eklenir ve iyi karıştırılır. Karıştırıcının hızı dakikada 600 devire ayarlanır. Deney süresince beher içindeki malzeme (600 60) rpm'de 5 dakika, ardından (400 40) rpm'de sürekli karıştırılır, daha sonra deneyin geri kalanında sürekli olarak (400 ± 40) devir/dakika hız ile karıştırılır. 5 dakikalık karıştırma işleminin sonunda 400 devir/dakika hıza ayarlanan karıştırıcıya 1 dakika içerisinde 5 mL metilen mavisi çözeltisi eklenir.

Leke deneyinde her boya eklendikçe süspansiyondan bir damla alınır. Alınan damla filtre kâğıdında bırakılır. Deney, bu süreçlerden oluşur. Filtre kâğıdındaki koyu mavi leke, renksiz ıslak bir alanla çevrilidir. Genellikle, mavi renkli nokta, malzemenin birikmesinden oluşur. Alınan damla, filtre kâğıdında 8-12 mm'lik bir tortu çapı oluşturmalıdır. Nemli bölgede 1 mm civarında çok soluk mavi bir halka oluşmalıdır. Çok açık mavi halka, koyu mavi renkli depo/nokta çevresinde bu şekilde gerçekleşirse, deney sonucu pozitiftir.

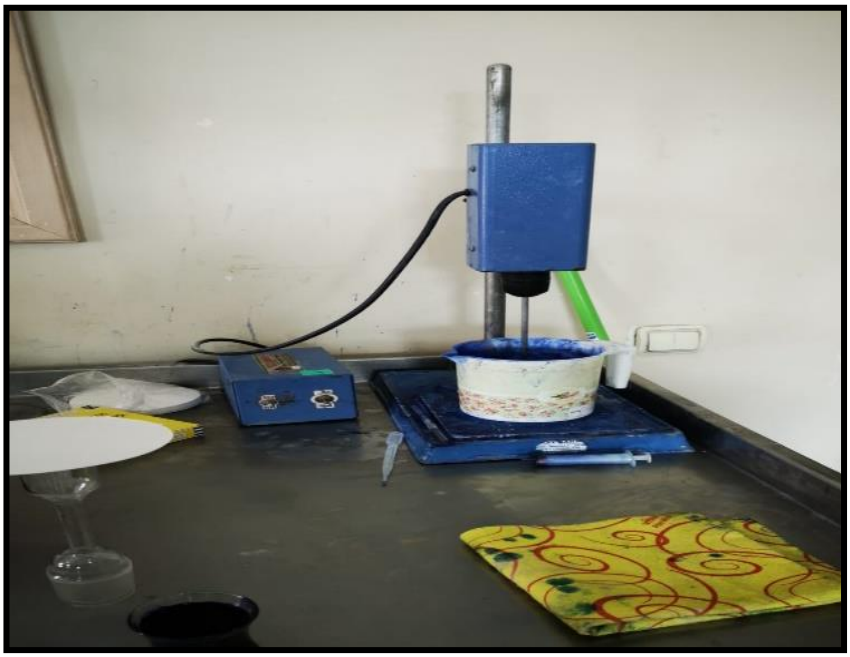
Hesaplamalarda, metilen mavisi (MB) aşağıdaki Eşitlik (3.8) kullanılarak hesaplanır.

$$MB = \frac{V1}{M1} \times 10 \qquad (3.8)$$

MB: Metilen mavisi (MB) (%)

M1: Deney numunesi kütlesi (g)

V1: Eklenen boya çözeltisinin toplam hacmi (mL)



Şekil 3.4 Metilen mavisi deneyinin uygulanışı

3.2.7 İri agregaların parçalanma direnci

TS EN 1097-2 standartlarına uygun şekilde gerçekleşmiş olan iri agregaların parçalanma direncinin belirlemek amacıyla yapılmıştır. Deney numuneleri 10-14 mm tane büyüklüğünde en az 15000 g agrega içermelidir.

Alınan deney numuneler yıkmış ve 110°C sıcaklıktaki etüvde (24 saat) sabit bir ağırlığa ulaşıncaya kadar kurutulmuştur. Numune etüvden çıkarılıp soğumaya bekletildikten sonra karıştırılır daha sonra TS EN 932-2 standartlarına uygun şekilde azaltılarak deney kütlesi 5000 g olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler, deney makinesinin 11 adet demir bilye içeren tambur kısmına yerleştirilmiş daha sonra dakikada 31 ila 33 devir sabit bir hızda 500 kez döndürülmüştür (Şekil 3.5).

Makinenin tambur aksamının açıklığı, işlem sonunda agrega kaybetmeden tepsinin hemen üzerine getirilir ve deney numunesi tepsiye konur. Tepsiden alınan test numunesini elemek için 1.6 mm elek kullanılır. 1.6 mm gözenekli elek üzerindeki test numunesi kısmı, daha sonra, tutarlı bir ağırlığa ulaşana ve tartılana kadar 110°C'de bir etüvde 24 saat kurutulmuştur.

Hesaplamalarda. Los Angeles Katsayısı (LA) için aşağıdaki Eşitlik (3.9) kullanılmıştır.

$$LA = \frac{5000-n}{50} \quad (3.9)$$

LA: Los Angeles Katsayısı (%)

n: 1.6 mm'lık elekten geçmeyen kısmı (g)



Şekil 3.5 Los Angeles deneyinin uygulanışı

3.2.8 İri agregaların aşınmaya karşı direnci

TS EN 1097-1 standartlarına uygun şekilde gerçekleşmiş olan iri agregaların aşınmaya karşı direncinin belirlemek amacıyla yapılmıştır. Deney numuneleri 10-14 mm tane büyüklüğünde en az 2000 g agrega içermelidir.

Alınan deney numuneleri yıkanır ve 110°C sıcaklıktaki etüvde (24 saat) sabit bir ağırlığa ulaşıncaya kadar kurutulmuştur. Numune etüvden çıkarılıp soğumada bekletildikten sonra karıştırılır daha sonra TS EN 932-2 standartlarına uygun şekilde azaltılarak deney malzemesi 500 g olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler, tamburun içine bırakılır sonra 5000 g göz açıklıklı bir yük meydana getirmesi için uygun gelecek şekilde çelik bilye eklenir ve 2.5 lt su eklenir. 100 devir/dakika hız ile 12000 devir döndürülmüştür.

İşlem sonunda, agrega kaybı olmadan agrega ve çelik bilyeler bir kapta derlenir. Tamburun içi ve kapağı, nemlendirici kullanılarak nemlendirilir ve nemlenen malzeme derlenir. 8 mm göz açıklıklı elek 1.6 mm'lik elek altına koruma amacıyla yerleştirildikten sonra malzemeler ve nemli suları üstüne dökülür. Dökülen malzemeleri

temizlemek için temiz su kullanılır. Tane kaybının olmadan çelik bilyeler, 8 mm'lik koruyucu elek içerisinde kalan agrega parçacıklarından iyice ayrılır. Agrega taneleri, elek üstündeki bilyelerden mıknatıslar yararlanılarak agregadan ayıklanır. 8 mm koruyucu elek içerisindeki agrega parçacıkları toplanır ve bir tepsiye yerleştirilir. Tepsiden kaybetmeden alınan deney numunesi 1.6 mm'lik elek kullanarak elenir. Daha sonra deney numunesinin 1.6 mm elek üstünde kalan kısmı 110°C sıcaklıktaki etüvde (24 saat) sabit bir ağırlığa ulaşıncaya kadar kurutulmuş ve tartılmıştır.

Hesaplamalarda. mikro-deval katsayısı (MDE) aşağıdaki Eşitlikle (3.10) kullanılmıştır.

$$MDE = \frac{500-n}{5} \quad (3.10)$$

MDE: Mikro-deval katsayısı (%)
n: 1.6 mm'lik elekten geçmeyen kısmı (g)

3.2.9 Agregaların donma çözülme karşı direnci

TS EN 1367-1 standartlarına uygun şekilde gerçekleşmiş olan iri agregaların donma-çözülme karşı direncinin belirlemek amacıyla yapılmıştır. Test numuneleri 10-14 mm arasında tane büyüklüğüne sahip agregalara uygulanmıştır.

Alınan test numuneler yıkanır ve 110°C sıcaklıktaki etüvde (24 saat) sabit bir ağırlığa ulaşıncaya kadar kurutulmuştur. Numune etüvden çıkarılıp soğumaya bekletildikten sonra terazide tartılmış ve ölçüm değeri not (M1) kaydedilmiştir. Hazırlanan numuneler su içerisinde konulur ve 24 saat sürede (20 ± 3)°C'de atmosfer basıncında tutulur. Tüm ıslatma süresince su seviyesi, test örneği parçalarının en küçük 10 mm üstünde olmalıdır. Test numuneleri aşağıda açıklandığı gibi 10 kere donma-çözülme döngüsüne tabii tutulur.

- 150 ± 30 dakikada sıcaklık. 20 ± 3°C'den 0°C'ye azaltılır ve 210 ± 30 dakika süresince 0°C'de bekletilir.

- 180 ± 30 dakikada sıcaklık. 0°C'den -17.5 ± 2.5°C'ye azaltılır ve hiç olmazsa 240 dakika süresince -17.5 ± 2.5°C'de bekletilir.

10 döngü bitirdikten sonra agrega test numunesi hazırlamak için uygulanan alt eleğin yarısı büyüklüğünde bir test eleğine üstüne dökülür. Dökülen test numuneleri yıkanır ve elenir. Elek üstünde kalan kısmı 110°C sıcaklıktaki etüvde (24 saat) sabit bir ağırlığa ulaşıncaya kadar kurutulmuş ve tartılmıştır.

Hesaplamalarda, donma-çözülme testi sonunda ağırlık kaybı oranı için aşağıdaki Eşitlik (3.11) kullanılmıştır.

$$F = \frac{M1-M2}{M1} \times 100 \quad (3.11)$$

F: Donma-çözülme testi sonunda ağırlık kaybı oranı (%)
M1: Test numunesinin toplam kuru ağırlık (g)
M2: Elek üstünde kalan kısmı (g)

3.2.10 Alkali-silika reaktifliği

TS 13516 standartlarına uygun şekilde gerçekleşmiş olan agregaların alkali-silika reaktifliğinin testi, harç çubuklarının genleşmesini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Deney numuneler. TS 13516 standartlarına uygun şekilde hazırlanmaktadır. TS EN 13516'ya göre boyca genleşme verilerinin değerlendirilmek için aşağıdaki işlemler yapılmaktadır:

- 16 günlük boyca genleşme <0.1'den ise agrega zararsızdır,
- 16 günlük boyca genleşme >%0.2'den ise agrega potansiyel olarak zararlıdır,
- 16 günlük boyca genleşme ≤%0.1-%0.2≥ ise deney, 28 günlük uzatılır ve agreganın petrografik analizi yapılmalıdır,

3.2.11 Asitte çözünebilen sülfat

TS EN 1744-1 standartlarına göre üretilmiş agregaların suda çözünür klorür iyonu konsantrasyonunun değerlendirilmesi amacıyla yapılmıştır. Deney numuneler. TS EN 1744-1 standartlarına uygun şekilde hazırlanmıştır.

Deney sonucunda, klorür iyon aşağıdaki Eşitlik (3.12) kullanılarak hesaplanır.

$$\text{Klorür iyon (\%)} = \frac{M7}{M6} \times 34.30 \quad (3.12)$$

M7: Çökeleğin ağırlığı (g)

M6: Deney örneğesin kısmının ağırlık (g)

3.2.12 Toplam kükürt

Toplam kükürt içeriğinin belirlenmesi TS EN 1744-1 standartlarına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri. TS EN 1744-1 standartlarına uygun şekilde hazırlanmıştır.

Deney sonucunda, toplam kükürt içeriği aşağıdaki Eşitlik (3.13) kullanılarak hesaplanır.

$$\text{Toplam kükürt muhtevası (\%)} = \frac{M5}{M4} \times 34.30 \quad (3.13)$$

M5: Çökeleğin ağırlığı (g)

M4: Deney örnek kısmının ağırlığı (g)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1 Agrega Özelliklerine İlişkin Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

4.1.1 Tane büyüklüğü dağılımı deneyi sonucu

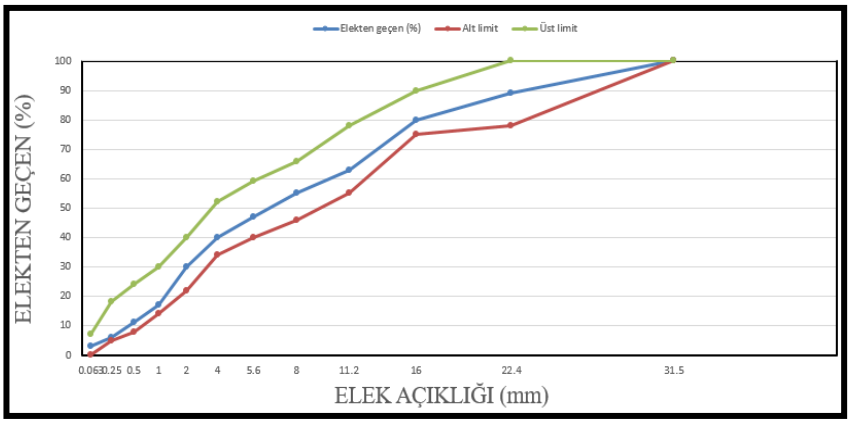
TS EN 933-1 standartlarına uygun şekilde gerçekleşmiş olan tane büyüklüğü dağılımını belirlemek amacıyla elek analizi deneyleri yapılmıştır. Tane büyüklüğü dağılımı deneyine ait sonuçlar Çizelge 4.1'de ve Şekil 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Tane büyüklüğü dağılımı uygunluk değerlendirme

UYGUNLUK DEĞERLENDİRME						
Tane Büyüklüğü (mm)		Elekten Geçen Kütlece %				
		2D	1.4D	D	d	d/2
İri Agrega Gc 85/20 D/2 <2. D<11.24 mm. D/2 >2. D>11.24 mm	Standart istenen	100	98-100	85-99	0-20	0-5
	Bulunan	100	100	89	3	1
	Sonuç	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun
İnce Agrega Gf 85 D≤4 mm. d=0	Standart istenen	100	95-100	85-99	-	-
	Bulunan	100	100	95	-	-
	Sonuç	Uygun	Uygun	Uygun	-	-

İri agrega: d/D uygun olarak seçilen iri agrega, Gc 85/20'ye kategorisi uygundur.

İnce agrega: Üst elek göz açıklığına (D) uygun olarak seçilen ince tane sınıfı kategorisi GF 85'e uygundur.



Şekil 4.1 Elek analizi eğrisi

Çalışmada kullanılan agregaya ait elek analiz eğrisi sonucu TS EN 12620 standartlarında verilen elek analiz eğrisi limitleri arasında kalmıştır.

4.1.2 Tane yoğunluğu ve su emme oranı deney sonuçları

Tane yoğunluğu TS EN 1097-6 standartlarına göre kütle/hacim oranı kullanılarak belirlenir. Deney numunesinin kütlesi, bir miktar tartılarak hesaplanır. Hacim, piknometre yöntemi kullanılarak su kütlesinin tartılmasıyla hesaplanır. Tane yoğunluğu ve su emme oranı TS EN 1097-6 standardında açıklanan yönteme göre gerçekleşmiştir. Laboratuvarda üç deney tekrarlanmış, elde edilen sonuçlar iri agregalar için Çizelge 4.2 ve ince agregalar için Çizelge 4.3'te verilmiştir. Genel olarak normal agregaların yoğunlukları 2.4-2.8 mg/m^3; Özgül ağırlığı 2.4 mg/m^3'den küçük ise hafif agregalardır (Bahattin 2000). Su emme oranı değeri, iri agrega için % 0.3-% 0.4 ve ince agrega için %0.5-% 1.2'dir. Çalışmada yapılan tüm agregaların yoğunlukları ve su emme oranı sınır değerleri içerisinde kalmıştır.

Çizelge 4.2 İri agrega özgül ağırlığı ve su emme oranı değerleri

M3 = PİKNOMETRENİN + SU KÜTLESİ (g)			**DENEY NUMUNESİNİN**								
			M1= DOYGUN VE HAVADA KURUTULMUŞ MALZEME KÜTLESİ (g)			**M2 = PİKNOMETRENİN + DENEY NUMUNESİ + SU KÜTLESİ (g)**			**M4=ETÜVDE KURUTULMUŞ DENEY NUMUNESİNİN KÜTLESİ (g)**		
1. Deney	2. Deney	3. Deney	1. Deney	2. Deney	3. Deney	1. Deney	2. Deney	3. Deney	1. Deney	2. Deney	3. Deney
3339	4202	4110.4	1165	900	900	4075.6	4706	4706	1160	897	896
Özgül Ağırlığı ve Su Emme Oranı											
Prd Kuru Tane Yoğunluğu			$Pssd$ Doygun Kuru Yüzey Tane			Pa Göruünür Tane Yoğunluğu			$WA24$ Su Emme Oranı %		
1. Deney	2. Deney	3. Deney	1. Deney	2. Deney	3. Deney	1. Deney	2. Deney	3. Deney	1. Deney	2. Deney	3. Deney
2.70	2.58	2.98	2.72	2.27	2.96	2.74	2.28	2.98	0.40	0.33	0.45
Ortalama: 2.75			Ortalama: 2.65			Ortalama: 2.66			Ortalama: 0.39		

Çizelge 4.3 İnce agrega özgül ağırlığı ve su emme oranı değerleri

M3 = PİKNOMETRENİN + SU KÜTLESİ (g)			**DENEY NUMUNESİNİN**								
			M1= DOYGUN VE HAVADA KURUTULMUŞ MALZEME KÜTLESİ (g)			**M2 = PİKNOMETRENİN + DENEY NUMUNESİ + SU KÜTLESİ (g)**			**M4=ETÜVDE KURUTULMUŞ DENEY NUMUNESİNİN KÜTLESİ (g)**		
1. Deney	2. Deney	3. Deney	1. Deney	2. Deney	3. Deney	1. Deney	2. Deney	3. Deney	1. Deney	2. Deney	3. Deney
3348	3348	3348	1068	1068	1068	4018	4018	4018	1062	1062	1062
Özgül Ağırlığı ve Su Emme Oranı											
Prd Kuru Tane Yoğunluğu			$Pssd$ Doygun Kuru Yüzey Tane			Pa Göruünür Tane Yoğunluğu			$WA24$ Su Emme Oranı %		
1. Deney	2. Deney	3. Deney	1. Deney	2. Deney	3. Deney	1. Deney	2. Deney	3. Deney	1. Deney	2. Deney	3. Deney
2.67	2.67	2.67	2.68	2.68	2.68	2.71	2.71	2.71	0.56	0.56	0.56
Ortalama: 2.67			Ortalama: 2.68			Ortalama: 2.71			Ortalama: 0.56		

4.1.3 Yığın yoğunluğu deney sonuçları

TS EN 1097-3 standartlarına uygun şekilde gerçekleşmiştir. Kuru agregaların yığın yoğunluğunun değerini belirlemek için yapılmıştır. Laboratuvarda üç deney numunesi tekrarlanmış olup, elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4 Yığın yoğunluğu değerleri

AGREGA SINIFI (mm)	SONUÇLAR			
	1. Deney	2. Deney	3. Deney	Ortalama
0-4	1.596	1.598	1.595	1.596
4-11.2	1.430	1.430	1.429	1.430
11.2-22.4	1.347	1.347	1.348	1.347

Yapılan üç deney sonucunda yukarıdaki değerler bulunmuş, bu değerlerin ortalaması alınarak yığın yoğunluğunun çıkarılıp ve daha sonra standartlarda verilen sınır değerlerle karşılaştırıldığında, TS EN 1097-3 Standartlarına uygun olduğunu göstermektedir.

4.1.4 Çok ince malzeme muhtevası deneyi sonuçları

TS EN 933-1 standardında açıklanan yönteme göre gerçekleşmiştir. Çok ince malzeme muhtevası deney sonuncunda bulanan değerler Çizelge 4.5'de verilmiştir. Çok ince malzeme muhtevası belirtilen ilgili kategorisi Çizelge 4.6'da verilmiştir. Bulunan çok ince malzeme muhtevası değeri, ince agrega için %18.25 olup f22 kategorisine uygundur; iri agrega için % 0.97 olup, f1.5 kategorisi uygundur.

Çizelge 4.5 Çok ince malzeme içeriği değeri

AGREGA SINIFI (mm)	SONUÇ (%)
0-4	18.25
4-11.2	1.97
11.2-22.4	0.97

Çizelge 4.6 Çok ince malzeme içeriği belirtilen ilgili kategorisi (TS EN 12620 2003)

AGREGA	0.063 MM GÖZ AÇIKLIKLI ELEKTEN GEÇEN KÜTLECE YÜZDE	KATEGORİ F
İri Agregalar	≤ 1.5	f1.5
	≤ 4	f4
	> 4	fbeyan
	Serbest	fNR
İnce Agregalar	≤ 3	f3
	≤ 10	f10
	≤ 16	f16
	≤ 16	f22
	> 22	fbeyan
	Serbest	fNR

4.1.5 Yassılık endeksi deneyi sonucu

TS EN 933-3 standardında açıklanan yönteme göre deney gerçekleşmiştir. Yassılık indeksi deney sonuncunda bulanan değerler Çizelge 4.7'de verilmiştir. Deney sonucunda yassılık indeksi tayini, belirtilen standart limitten daha küçüktür. Bu veri, uygun olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.7 Yassılık indeksi deney sonucu

ELEK AÇIKLIĞI (mm)	ELEKTE KALAN (g)	ELEKTE KALAN %	DENEYE GİREN (g)	APARATTAN GEÇEN (g)
63.5				
50				
37.5				
28	1000	100	1000	137
20	137	14	0	0
14				
10				
6.3				0
Toplam			1000	137

YASSILIK İNDEKSİ	STANDART LİMİTİ (TS EN 933-3)	SONUÇ
%14	%15	Uygun

4.1.6 Metilen mavisi deneyi sonucu

TS EN 933-9 standartlarına uygun şekilde gerçekleşmiştir. Metilen mavisi deneyi sonuncunda bulanan değeri Çizelge 4.8'de verilmiştir. Metilen mavisi deneyi standartta belirtilen maksimum değere sahip değildir. Bu çalışmada agrega olarak kullanılan 0 ile 4 mm arasında değişen kireçtaşı agregalar için MB 1.6 olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.8 Metilen mavisi deneyi sonucu

E.1 (0-2) mm'lik deney numunesi kısmının kuru kütlesi (en yakın gram olarak). M1	M1= 250 g
E.2 Kaolinit tarafından (eğer kullanılmışsa) adsorplanan çözeltinin hacmi. V′	V′= 0 mL
E.3 İlâve edilen boya çözeltisinin toplam miktarı. V1	V1= 40 mL
E.4 (0-2) mm aralığının beher kilogramı başına gram cinsinden boya miktarı olarak ifade edilen MB değeri;	MB= 1.6

4.1.7 İri agregaların parçalanma direnci (Los Angeles katsayısı) deneyi sonucu

İri agregaların parçalanma direnci deneyi TS EN 1097-2 standartlarına uygun şekilde yapılmıştır. Los Angeles katsayısı belirtilen ilgili kategorisi Çizelge 4.9'da verilmiştir. Deney sonucunda Los Angeles katsayısı %25 değerinde bulunmuş. TS EN 12620 standartlarına göre LA25 kategorisi uygun olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 4.9 En yüksek Los Angeles katsayısı değerlerine göre kategoriler (TS EN 12620 2003)

LOS ANGELES KATSAYISI	KATEGORİ. LA
≤15	LA15
≤20	LA20
≤25	LA25
≤30	LA30
≤40	LA35
≤50	LA50
>50	LA beyan
Serbest	LANR

4.1.8 İri agregaların aşınmaya karşı direncinin (mikro-deval katsayısı mde) deneyi sonucu

İri agregalarda aşınmaya karşı direncinin deneyi TS EN 1097-1 standartlarına uygun şekilde yapılmıştır ve belirtilen ilgili kategoriler, Çizelge 4.10'da verilmiştir. Deney sonucunda bulanan Mikro-Deval Katsayısı %16 olarak bulunmuş. TS EN 12620 standartlarına göre MD20 kategorisi uygun olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.10 İri agregaların aşınmaya karşı direnci deney sonucu

AGREGA SINIFI (mm)	**SONUÇ (%)**	
10-14	1. Tambur 15.5	Ortalama 16
	2. Tambur 15.6	

Çizelge 4.11 En yüksek aşınmaya karşı dirençi değerlerine göre kategoriler (TS EN 12620 2003)

MİKRO-DEVAL KATSAYISI	KATEGORİ. Mde
≤ 10	Mde10
≤15	Mde15
≤20	Mde20
≤25	Mde25
≤35	Mde35
≤35	Mde beyan
Serbest	MdeMR

4.1.9 İri agregaların donma-çözülme karşı direnci deneyi sonucu

İri agregalarda donma-çözülme karşı direncinin deneyi TS EN 1367-1 standartlarına uygun şekilde yapılmıştır ve belirtilen ilgili kategoriler Çizelge 4.12'de verilmiştir. Deney sonucunda bulanan değeri %2 olarak bulunmuştur. TS EN 12620 standartlarına göre F2 kategorisi uygun olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.12 İri Agregaların Donma-Çözülme karşı direnci deneyi sonucu

AGREGA SINIFI (mm)	SONUÇ (% $MgSO_4$)	
10-14	1. Sepet 2.1	Ortalama 2
	2. Sepet 2.0	

Çizelge 4.13 En yüksek Donma-Çözülme karşı direnç değerlerine göre kategoriler (TS EN 12620 2003)

DONMA-ÇÖZÜLME	KATEGORİ. F
≤ 1	F1
≤2	F2
≤4	F4
>4	Fbeyan
Serbest	FNR

4.1.10 Alkali-silika reaktifliği deneyi sonucu

TS 13516 uygun şekilde yapılmıştır. Deney sonucunda bulanan değeri Çizelge 4.14'te verilmiştir. TS 13516 göre deney sonucunda bulunan 16 günlük genleşme değeri, alkali-agrega reaksiyonu açısından zararsızdır.

Çizelge 4.14 Alkali-silika reaktifliği direnci deneyi sonucu

ÇİMENTO TİPİ	**CEM I 42.5 R**
Su/çimento	0.47
Boyca Genleşme Yüzdesi (16 günlük genleşme değeri)	0.063

4.1.11 Asitte çözünebilen sülfat deneyi sonucu

TS EN 1744-1 standartlarına göre sülfat oranı, malzeme için %0.0425 değeri bulunmuş olup, agrega malzemeleri için uygundur.

4.1.12 Toplam kükürt deneyi sonucu

TS EN 1744-1 standartlarına göre cüruf-S cinsinden toplam kükürt miktarı %0.00452 değeri bulunmuş olup, agrega malzemesi için bu parametre uygundur.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Çapar köyü (Şabanözü, Çankırı) dolayındaki kireçtaşlarının agrega olarak kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada, kireçtaşların agrega kaynağı olarak kullanılabilirliğinin tespiti için fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri standartlara uygun olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonunda elde edilen sonuçlar ile ilgi standartlarda belirtilen sınır değerleri, Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Elde edilen sonuçlar ve ilgili standartlar

DENEY	STANDARTLAR	KABUL SINIR	KİREÇTAŞI	SONUÇ
Elek Analizi	TS EN 933-1	-	-	**Uygun**
İri Agrega Özgül Ağırlığı (mg/m^3)	TS EN 1097-6	≥ 2.4	2.66	**Uygun**
İnce Agrega Özgül Ağırlığı (mg/m^3)	TS EN 1097-6	≥ 2.4	2.71	**Uygun**
İri Agrega Su Emme Oranı (%)	TS EN 1097-6	% 0.3 - % 0.4	0.39	**Uygun**
İnce Agrega Su Emme Oranı (%)	TS EN 1097-6	% 0.5 - % 1.2	0.56	**Uygun**
İri Agrega Yığın Yoğunluğu (mg/m^3)	TS EN 1097-3	< 1.418	1.347	**Uygun**
İnce Agrega Yığın Yoğunluğu (mg/m^3)	TS EN 1097-3	< 1.740	1.596	**Uygun**
İri Agrega Çok İnce Malzeme Muhtevası	TS EN 933-1	≤ 1.5	0.97	**Uygun**
İnce Agrega Çok ince Malzeme Muhtevası (%)	TS EN 933-1	> 22	18.25	**Uygun**
Yassılık Endeksi (%)	TS EN 933-3	< 15	14	**Uygun**
Metilen Mavisi Deneyi	TS EN 933-9	-	-	**Uygun**
Los Angeles Parçalama Dayanımı (LA) (%)	TS EN 1097-2	LA25 ≤ 25	25	**Uygun**
Mikro-Deval Aşınma Dayanımı (MDE) (%)	TS EN 1097-1	MDE20 ≤ 20	16	**Uygun**
Donma-Çözülme Karşı Direnci (%)	TS EN 1367-1	≤ 2	2	**Uygun**
Alkali-Silika Reaktifliği (%)	TS 13516	<0.10 (16 günlük)	0.063	**Uygun**
Asitte Çözünebilen Sülfat (%)	TS EN 1744-1	<0.2	0.0452	**Uygun**
Toplam Kükürt (%)	TS EN 1744-1	<1.0	0.0452	**Uygun**

- Çalışmada yapılan deney sonucunda uyguladığımız kireçtaşı örneğinin Yoğunluk Değerleri 2.66 mg/m^3 ve 2.71 2.66 mg/m^3 bulunmuştur. TS EN 1097-6 standartlarına göre uygun olduğu görülmüştür.
- Çalışmada yapılan deney sonucunda uyguladığımız kireçtaşı örneğinin Su Emme Oranı değerleri %0.39 ve %0.56 bulunmuştur. TS EN 1097-6 standartlarına göre uygun olduğu görülmüştür.

- Çalışmada yapılan deney sonucunda uyguladığımız kireçtaşı örneğinin Yığın Yoğunluğu değerleri 1.347 mg/m^3 ve 1.596 mg/m^3 bulunmuştur. TS EN 1097-3 Standartlarına göre uygun olduğu görülmüştür.
- Çalışmada yapılan deney sonucunda uyguladığımız kireçtaşı örneğinin Çok İnce Malzeme Muhtevası değerleri 0.97 ve 18.25 bulunmuştur. TS EN 933-1 Standartlarına göre uygun olduğu görülmüştür.
- Çalışmada yapılan deney sonucunda uyguladığımız kireçtaşı örneğinin Yassılık Endeksi değeri %14 bulunmuştur. TS EN 933-3 standartlarına göre uygun olduğu görülmüştür.
- Çalışmada yapılan deney sonucunda uyguladığımız kireçtaşı örneğinin Los Angeles Parçalama Dayanımı (LA) değeri %25 bulunmuştur. TS EN 1097-2 Standartlarına göre uygun olduğu görülmüştür.
- Çalışmada yapılan deney sonucunda uyguladığımız kireçtaşı örneğinin Mikro-Deval Aşınma Dayanımı (MDE) değeri %16 bulunmuştur. TS EN 1097-1 Standartlarına göre uygun olduğu görülmüştür.
- Çalışmada yapılan deney sonucunda uyguladığımız kireçtaşı örneğinin Donma-Çözülme Karşı Direnci değeri %2 bulunmuştur. TS EN 1367-1 Standartlarına göre uygun olduğu görülmüştür.
- Çalışmada yapılan deney sonucunda uyguladığımız kireçtaşı örneğinin Alkali-Silika Reaktifliği değeri %0.063 bulunmuştur. TS 13516 Standartlarına göre uygun olduğu görülmüştür.
- Çalışmada yapılan deney sonucunda uyguladığımız kireçtaşı örneğinin Asitte Çözünebilen Sülfat değeri %0.0452 bulunmuştur. TS EN 1744-1 Standartlarına göre uygun olduğu görülmüştür.
- Çalışmada yapılan deney sonucunda uyguladığımız kireçtaşı örneğinin Toplam Kükürt değeri %0.0452 bulunmuştur. TS EN 1744-1 Standartlarına göre uygun olduğu görülmüştür.
- Sonuç olarak; Çapar köyü (Şabanözü, Çankırı) dolayındaki kireçtaşı taşocağından elde edilen agregalarda yapılan deneylerin sonuçları, standartlarda verilen sınır değerler ile karşılaştırıldığında bu kayaçların tüm özelliklerinin agrega olarak kullanılabilirliğini göstermiştir.

KAYNAKLAR

Akman, S. 1992. Yapı Malzemeleri. İkinci Baskı. İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, Istanbul.

Albayrak, H. F. 1987. Beton Cep Kitabı. DSİ Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Daire Başkanlığı, Ankara.

Bahattin, K. 2000. Betonun dayanım ve durabilitesini sağlayan parametreler. Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6: 78-85.

Baradan, B. 1992. Yapı Malzemesi II. bağlayıcı maddeler: Agrega, beton. İkinci Baskı Dokuz Eylül Üniversitesi. Mühendislik Mimarlık Fak. Yayınları, İzmir.

Boynton, R.S. 1980. Chemistry and Technology of Lime and Limestone. John Wiley and Sons. Inc.. Second Edition. pp. 7-190, New York.

DPT. 2001. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı. Alçı-Kireç-Kum-Çakıl-Mıcır-Boya Toprakları-Tuğla Kiremit) Çalışma Grubu Raporu. DPT: 2615-ÖİK: 626, Ankara.

DPT. 2008. Dokuzuncu 2007/2013 Kalkınma Planı. Taş ve Toprağa Dayalı Sanayiler Özel İhtisas Komisyonu Raporu Cilt 1 DPT: 2773-ÖİK: 703, Ankara.

Erdoğan, Y. T. 1995. Betonu Oluşturan Malzemeler Agregalar. Türkiye Hazır Beton Birliği, Kavacık. 110 sayfa, İstanbul.

Gezer, B.B. 2009. Mersin İli Çelebili Köyü İçmeler Mevkiinde Yüzeyleyen Kireçtaşlarının Beton Ve Asfalt Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, 110 sayfa, Adnan.

Karagüler, M.E. 1979. Fenerbahçe deniz agregasının betonda kullanılma olanaklarının araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 135 sayfa, İstanbul.

Kırıkoğlu, M.S. 1996. Endüstriyel Kullanım Açısından Karbonat Kayaçları. I. Ulusal Kırmataş Sempozyumu. 14 sayfa, İstanbul.

Neville, A. M. 1993. Properties of concrete. Longman Scientific & Technical. pp. 576-580, New York.

Önem, Y. 1996. Sanayi Madenleri: Tanımlar. Doğada Bulunuşları. Dünya ve Türkiye Rezervleri. Yıllık Üretimleri. İhraç ve İthal Miktarları; Kozan Ofset, Ankara.

Özkul, H., Taşdemir, M.A., Tokyay. M. ve Uyan. M. 1999. Her yönüyle hazır beton. Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları, 40 sayfa, İstanbul.

Postacıoğlu, B. 1986. Beton (Bağlayıcı maddeler, agregalar, beton). Cilt 1. Teknik Kitaplar Yayınevi. 170 sayfa, İstanbul.

Şimşek, O. 2020. Beton ve Beton Teknolojisi. Altıncı Baskı. Seçkin yayıncılık. 400 sayfa, Ankara.

Şimşek, O. 2019. Yapı Malzemesi II. Altıncı Baskı. Seçkin Yayıncılık. 263 sayfa, Ankara.

Temur, S. 2001. Endüstriyel Hammaddeler. Üçüncü Baskı. Çizgi Kitabevi Yayınları. 386 sayfa, Konya.

Turan, Ç. 2010. Akarca Köyü (Hatay) Kireçtaşlarının Hammadde Özelliklerinin Belirlenmesi ve Kalsinasyon Davranışının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, 55 sayfa, Adana.

TS EN 12620. 2003. Beton agregaları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1097-1. 2011. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 1: Aşınmaya karşı direncin tayini (mikro-deval). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1097-2. 2000. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 2: Parçalanma direncinin tayini için metotlar. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1097-3. 1999. Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri için deneyler bölüm 3: Gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1097-6. 2002. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1367-1. 2008. Agregaların ısıl ve bozunma özellikleri için deneyler bölüm 1: Donmaya ve çözülmeye karşı direncin tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1744-1. 2013. Agregaların kimyasal özellikleri için deneyler bölüm 1: Kimyasal analiz. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 932-2. 1999. Agregaların genel özellikleri için deneyler bölüm 2: Laboratuvar numunelerin azaltılması metodu. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 933-1. 2012. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini – eleme yöntemi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 933-3. 2012. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 3: Tane şekli tayini – yassılık endeksi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 933-9. 2014. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 9: İnce tanelerin tayini – metilen mavisi deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 13516. 2012. Agregaların potansiyel alkali reaktivitesinin tayini (harç çubuğu yöntemi). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Uçar, H. 2008. Kırmataşların beton agregasında ve hazır beton tesislerinde kullanılma kriterleri örnek uygulama: Sağlıklı Köyü kalker ocağı. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, 96 sayfa, Adana.

Ün, H. 2007. Yapı malzemesi. Ders Notları. Pamukkale Üniversitesi. 90 sayfa, Denizli.

Yakut, E. 2001. İzmir İli Çevresindeki Kireçtaşlarının Mühendislik Özellikleri ve Kullanım Alanlarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi. 174 sayfa, İzmir.

Yaşar, E., Erdoğan, Y. 2002. Bazı Kayaçların Sertlik Değerleri ile Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İstatistiksel Analizi. KAYAMEK'2002-VI. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, s: 197-204, Konya.

Zarif, H.İ., Tuğrul A. ve Dursun G. 2003. İstanbul' Daki Kireçtaşlarının Agrega Kali Tesi Yönünden Değerlendirilmesi. İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi. C. 16. S. 2. SS. 61-70

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı ve Soyadı : Houssein HASSAN WABERI

Eğitim

Yüksek Lisans	Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	2019-Halen
Lisans	Djibouti Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü	2015-2018

İş Deneyimi

Yıl	**Kurum**	**Görev**