

**BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İRİ ÇAKIL AGREGA MALZEMESİ DAYANIMININ KESTİRİMİ İÇİN YÖNTEM**  
**GELİŞTİRİLMESİ**

**MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**KORAY SELYANI**

**TEMMUZ 2017**

**BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İRİ ÇAKIL AGREGA MALZEMESİ DAYANIMININ KESTİRİMİ İÇİN YÖNTEM  
GELİŞTİRİLMESİ**

**MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Koray SELYANI**

**DANIŞMAN: Doç. Dr. Ahmet ÖZARSLAN**

**ZONGULDAK**

**Temmuz 2017**

**KABUL:**

Koray SELYANI tarafından hazırlanan “İri Çakıl Agregası Malzemesi Dayanımının Kestirimi İçin Yöntem Geliştirilmesi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 14/07/2017

**Danışman:** Doç. Dr. Ahmet ÖZARSLAN

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

**Üye:** Prof. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ

Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

**Üye:** Yrd. Doç. Dr. Gürkan BACAK

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

**ONAY:**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

....../....../2017

Doç. Dr. Ahmet ÖZARSLAN  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

*"Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim."*



Koray SELYANI

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **İRİ ÇAKIL AGREGA MALZEMESİ DAYANIMININ KESTİRİMİ İÇİN YÖNTEM GELİŞTİRİLMESİ**

**Koray SELYANI**

**Bülent Ecevit Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ahmet ÖZARSLAN**

**Temmuz 2017, 73 sayfa**

Tez çalışması kapsamında iri çakıl agrega malzemesinin dayanımının kestirimi için laboratuarda ve arazide uygulanabilecek yöntem geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Çalışma kapsamında incelenen iri çakıl ve moloz sınıflarında yer alan agrega malzemesi sahip olduğu boyutlar nedeniyle doğrudan kullanım alanı sınırlı olup genelde kırma-eleme işlemleri neticesinde kırma çakıl malzemesi olarak değerlendirilebilmektedir. En yaygın kullanım alanları beton, karayolu ve kıyı yapıları agrega malzemeleridir.

Çalışmada ikinci bölümde agrega malzemesinin tanımlanması, sınıflandırılması ve özellikleri hakkında genel bilgiler derlenmiştir. Üçüncü bölümde, iri çakıl agrega malzemelerinden numune alma, sınıflandırma, hazırlama, ince kesit, fiziksel ve dayanım özellikleri ile ilgili çalışmalar ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Ayrıca deneysel çalışmalardan elde edilen bulgular incelenmiş ve değerlendirilmiştir. İri çakıl ve moloz agrega malzemesinin dayanım özelliklerinin kestirimi için; Los Angeles aşınma dayanımı, agrega darbe dayanımı indeksi, nokta yükü dayanımı indeksi önemli deneysel yöntemlerdir.

## **ÖZET (devam ediyor)**

Yedi farklı kayaç türü için elde edilen deneysel veriler incelenmiş ve elde edilen bulgular değerlendirilmiştir. Agregada darbe dayanım indeksi deneyi (AIV) verileri ile Los Angeles aşınma dayanımı (LA) verileri arasında yakın bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Deneysel AIV verileri aracılığıyla LA değerlerinin yeterli güvenilirlikte kestirilebileceği saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Agregada, kaya, çakıl, dayanım

**Bilim Kodu:** 607.01.02



## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **DEVELOPMENT OF A METHOD FOR STRENGTH ESTIMATION OF COARSE GRAVEL AGGREGATE MATERIAL**

**Koray SELYANI**

**Bülent Ecevit University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mining Engineering**

**Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN**

**July 2017, 73 pages**

It is aimed to develop a method that can be applied in the laboratory and in the field to estimate the strength of coarse gravel aggregate material within the scope of the thesis study. Due to the dimensions of aggregate material of the coarse gravel and cobble material its direct usage is limited and generally it can be utilised as crushed gravel material due to crushing-screening operations. The most common areas of usage are for concrete, road and coastal aggregating materials.

In the second chapter of the thesis, general information about the identification, classification and properties of aggregate material are compiled. In the third chapter, studies on sampling, classification, preparation, thin section, physical and strength properties of coarse gravel aggregate materials are explained in detail. In addition, the findings obtained from experimental studies have been examined and evaluated. For estimating the strength properties of large gravel and cobble aggregate materials; Los Angeles abrasion resistance, aggregate impact strength index, point load strength index are important experimental methods.

## **ABSTRACT (continued)**

Experimental data obtained from seven different rock types were examined and the findings were evaluated. It has been found that there is a close relationship between experimental aggregate impact strength index (AIV) data and Los Angeles abrasion resistance (LA) data. It has been determined that LA values can be estimated reliable via experimental AIV data.

**Keywords:** Aggregate, rock, gravel, strength

**Science Code:** 607.01.02



## TEŞEKKÜR

Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırladığım bu çalışmamın yürütülmesi esnasında, çalışmalarına yön veren, bilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bana her türlü desteği sağlayan danışman hocam, Sayın Doç. Dr. Ahmet ÖZARSLAN'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tez çalışmam esnasında bana yol gösteren ve tecrübelerine başvurduğum Arş. Gör. Ekin KÖKEN'e müteşekkir olduğumu ifade etmek isterim.

Görüşleriyle katkıda bulunan Sayın Prof. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ ve Yrd. Doç. Dr. Gürkan BACAK'a teşekkür ederim.

Bu tezin hazırlanması esnasında yardımlarına başvurduğum Maden Mühendisi Göksel KESERCİ'ye minnet ve şükran duygularımı belirtmek isterim.

Bu yüksek lisans tezi, sadece bu çalışmam boyunca değil, tüm öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi koruyuculuğumu üstlenen babam Ayhan SELYANI'ye, annem Zahide SELYANI'ye, kardeşlerim Sait SELYANI ve Arda SELYANI'ye ithaf ediyorum.

Yüksek lisans tez çalışmam esnasında bana sürekli moral desteği veren ve varlığını her zaman hissettiren çok kıymetli arkadaşım Özlem USLUOĞLU'na en içten duygularıyla teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

|                                                                           | <u>Sayfa</u> |
|---------------------------------------------------------------------------|--------------|
| KABUL .....                                                               | ii           |
| ÖZET.....                                                                 | iii          |
| ABSTRACT .....                                                            | v            |
| TEŞEKKÜR.....                                                             | vii          |
| İÇİNDEKİLER.....                                                          | ix           |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                                      | xi           |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                                                   | xv           |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....                                       | xvii         |
| <br>BÖLÜM 1 GİRİŞ.....                                                    | <br>1        |
| 1.1 KONUNUN ÖNEMİ.....                                                    | 1            |
| 1.2 TEZİN AMACI .....                                                     | 1            |
| 1.3 TEZİN KAPSAMI.....                                                    | 2            |
| <br>BÖLÜM 2 AGREGA MALZEMESİ VE ÖZELLİKLERİ .....                         | <br>3        |
| 2.1 AGREGA MALZEMESİ .....                                                | 3            |
| 2.2 AGREGA MALZEMESİNİN SINIFLANDIRILMASI .....                           | 4            |
| 2.2.1 Çıkarıldıkları Yerlere Göre Sınıflandırma .....                     | 4            |
| 2.2.2 Birim Ağırlıklarına Göre Sınıflandırma.....                         | 5            |
| 2.2.3 Boyutlarına Göre Sınıflandırma.....                                 | 5            |
| 2.2.4 Agreg a Yüzey Şekli ve Biçimine Göre Sınıflandırma.....             | 7            |
| 2.2.5 Jeolojik Orjinlerine ve Mineral Yapılarına Göre Sınıflandırma ..... | 9            |
| 2.3 AGREGA KAYNAKLARI.....                                                | 12           |
| 2.3.1 Akarsu Yatakları .....                                              | 12           |
| 2.3.2 Sel Yatakları.....                                                  | 12           |
| 2.3.3 Dere ve Teras Ocakları .....                                        | 12           |

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

|                                                                             | <u>Sayfa</u> |
|-----------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 2.3.4 Taş Ocakları .....                                                    | 13           |
| 2.4 AGREGA ÖZELLİKLERİ .....                                                | 13           |
| 2.5 AGREGALARIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ .....                                  | 14           |
| 2.5.1 Porozite ve Nem Durumu .....                                          | 14           |
| 2.5.2 Agregaların Birim Ağırlıkları .....                                   | 15           |
| 2.5.3 Agregaların Özgül Ağırlığı .....                                      | 15           |
| 2.5.4 Agregaların Sıkıştırılabilirliği .....                                | 15           |
| 2.5.5 Agregalarda Dona Dayanıklılık .....                                   | 16           |
| 2.6 AGREGALARIN DAYANIM ÖZELLİKLERİ .....                                   | 18           |
| 2.6.1 Los Angeles Aşınma Dayanımı .....                                     | 18           |
| 2.6.2 Agrega Darbe Dayanımı .....                                           | 19           |
| 2.6.3 Nokta Yüğü Dayanımı İndeksi .....                                     | 21           |
| 2.7 ÇAKIL AGREGALARIN KULLANIM ALANLARI VE ÖZELLİKLERİ .....                | 25           |
| <br>BÖLÜM 3 ARAZİ VE LABORATUVAR ÇALIŞMALARI .....                          | <br>29       |
| 3.1 ARAZİ ÇALIŞMALARI .....                                                 | 29           |
| 3.2 LABORATUVAR ÇALIŞMALARI .....                                           | 31           |
| 3.2.1 Deney Numunelerinin Hazırlanması .....                                | 31           |
| 3.2.2 Petrografik İncelemeler .....                                         | 34           |
| 3.2.3 Kayaçların Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi .....                 | 38           |
| 3.2.4 Mekanik Dayanım Özelliklerin Belirlenmesi İçin Yapılan Deneyler ..... | 41           |
| 3.2.4.1 Los Angeles Aşınma Dayanımı Deneyi .....                            | 41           |
| 3.2.4.2 Darbe Dayanım İndeksi Deneyi .....                                  | 46           |
| 3.2.4.3 Nokta Yüğü Dayanım İndeksi Deneyi .....                             | 50           |
| 3.2.5 Agreganın Donma-Çözünme Dayanıklılığı (MgSO <sub>4</sub> ) .....      | 61           |
| 3.3 BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ .....                                      | 65           |
| <br>BÖLÜM 4 SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....                                      | <br>69       |
| <br>KAYNAKLAR .....                                                         | <br>71       |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                              | 73           |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>No</u>                                                                                                                                | <u>Sayfa</u> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 2.1 Yuvarlak taş (cobble) ve kaba (iri) çakıl agrega malzemesine ait görünüm. ....                                                 | 7            |
| Şekil 2.2 Yuvarlaklık ve köşelilik durumuna göre agrega sınıflandırmasının şematik görünümü.....                                         | 9            |
| Şekil 2.3 Magnezyum sülfat deneyinde kullanılan tipik sepet örneği .....                                                                 | 17           |
| Şekil 2.4 Tipik Los Angeles deney ekipmanı.....                                                                                          | 18           |
| Şekil 2.5 Agrega darbe dayanımı aleti.....                                                                                               | 20           |
| Şekil 2.6 Tipik nokta yükü dayanımı indeksi deney ekipmanı.....                                                                          | 21           |
| Şekil 2.7 Farklı test türleri için numuneler - örneklerde önerilen geometrik şartlar ve yükleme koşulları .....                          | 22           |
| Şekil 2.8 Geçerli ve geçersiz sınamalar için tipik başarısızlık modları.....                                                             | 23           |
| Şekil 3.1 Çalışma alanı yer bulduru haritası. ....                                                                                       | 30           |
| Şekil 3.2 Çalışma alanına ait görüntü. ....                                                                                              | 30           |
| Şekil 3.3 Arazide numunelerin litojilerine göre ayırma işlemi. ....                                                                      | 30           |
| Şekil 3.4 Numunelerin balyoz ve çeneli kırıcı ile kırma işlemi. ....                                                                     | 31           |
| Şekil 3.5 Agregaların istenilen boyutlarda eleme işlemi. ....                                                                            | 32           |
| Şekil 3.6 Numunelerden karot alma işlemi. ....                                                                                           | 33           |
| Şekil 3.7 Karotların disk kesici ile boyutlarının kesilmeleri. ....                                                                      | 33           |
| Şekil 3.8 Numunelerden pürüzsüz yüzey elde edilmesi. ....                                                                                | 34           |
| Şekil 3.9 Numunelerin kumpas ile ölçülmesi. ....                                                                                         | 34           |
| Şekil 3.10 Andezit, silisifiye kumtaşı, radyolaritli-çörtlü kireçtaşı ve oolitik kireçtaşı kayaç türlerinin ince kesit görüntüleri. .... | 36           |
| Şekil 3.11 Konglomera, granit-granodiyorit ve kumtaşı kayaç türlerinin ince kesit görüntüleri. ....                                      | 37           |
| Şekil 3.12 Petrografik incelemeler sonucunda 7 farklı litolojiye ayrılan ve hazırlanan agrega çakıl numuneleri. ....                     | 37           |

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

| No                                                                                                                               | Sayfa |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 3.13 Fiziksel özellikler deneyleri için hazırlanan disk şeklindeki karot numunleri. ....                                   | 38    |
| Şekil 3.14 Numunelerin desikatörde suyun içinde bekletilmesi ve tartımı. ....                                                    | 38    |
| Şekil 3.15 Farklı litolojiye sahip olan kayaç türleri için belirlenen kuru yoğunluklar. ....                                     | 40    |
| Şekil 3.16 Farklı litolojiye sahip olan kayaç türleri için belirlenen su emme değerleri. ....                                    | 41    |
| Şekil 3.17 Los Angeles deneyi için numunelerin hazırlanması. ....                                                                | 42    |
| Şekil 3.18 Los Angeles deney makinesi. ....                                                                                      | 42    |
| Şekil 3.19 Agregaların tambura konulması ve tepsiye dökülmesi. ....                                                              | 43    |
| Şekil 3.20 Los Angeles aşınma dayanımı deney aşamaları. ....                                                                     | 43    |
| Şekil 3.21 Farklı litolojilere sahip örnekler için elde edilen ortalama Los Angeles aşınma dayanımı değerleri. ....              | 46    |
| Şekil 3.22 Darbe dayanım indeksi deney aleti. ....                                                                               | 47    |
| Şekil 3.23 Agregada darbe dayanım indeksi deneyi aşamaları. ....                                                                 | 48    |
| Şekil 3.24 Kayaç türlerinin ortalama agrega darbe dayanım indeksi değerleri. ....                                                | 49    |
| Şekil 3.25 Nokta yükü dayanım indeksi deney aleti. ....                                                                          | 51    |
| Şekil 3.26 Nokta yükü dayanım indeksi deney aşamaları. ....                                                                      | 52    |
| Şekil 3.27 Nokta yükü dayanım indeksi sonucu kırılmış numuneler. ....                                                            | 52    |
| Şekil 3.28 Bozunma derecelerine göre tespit edilen ortalama nokta yükü dayanım değerleri. ....                                   | 58    |
| Şekil 3.29 Andezit ve silisifiye kumtaşı numunelerinin bozunma derecesine ait görüntüleri. ....                                  | 59    |
| Şekil 3.30 Radyolaritli-çörtlü kireçtaşı, oolitik kireçtaşı ve konglomera numunelerinin bozunma derecesine ait görüntüleri. .... | 60    |
| Şekil 3.31 Granit-granodiyorit ve kumtaşı numunelerinin bozunma derecesine ait görüntüleri. ....                                 | 61    |
| Şekil 3.32 Magnezyum sülfat (MgSO <sub>4</sub> ) deneyi için numunelerin hazırlanması. ....                                      | 62    |
| Şekil 3.33 Doygun magnezyum sülfat çözeltisi hazırlanması. ....                                                                  | 62    |
| Şekil 3.34 Numunelerin çözeltiye daldırma ve süzülme işlemi. ....                                                                | 63    |

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

| <u>No</u>                                                                                                                                           | <u>Sayfa</u> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 3.35 Numunelerin etüvde kurutulmaları ve soğutulması. ....                                                                                    | 63           |
| Şekil 3.36 Numunelerin magnezyum sülfattan arındırılması. ....                                                                                      | 64           |
| Şekil 3.37 Farklı litolojiye sahip olan kayaç türleri için belirlenen don kaybı ( $MgSO_4$ ) değerleri. ....                                        | 65           |
| Şekil 3.38 Agregada darbe dayanımı indeks (AIV) değerleri ile Los Angeles aşınma dayanımı (LA) değerlerinin karşılaştırılması. ....                 | 67           |
| Şekil 3.39 Agregada darbe dayanımı indeks (AIV) değerleri ile Los Angeles aşınma dayanımı (LA) değerleri doğrusal regresyon analizi sonuçları. .... | 68           |





## ÇİZELGELER DİZİNİ

| <u>No</u>                                                                                 | <u>Sayfa</u> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Çizelge 2.1 ISO 14688-1'e göre uluslararası zemin ve agregası sınıflandırması .....       | 6            |
| Çizelge 2.2 Agregalarda tane şekline göre sınıflandırma .....                             | 8            |
| Çizelge 2.3 ISO 14688-1'e göre agregası tane şekli sınıflandırması .....                  | 8            |
| Çizelge 2.4 Doğal kırmatas hammaddelelerinin sınıflandırılması .....                      | 10           |
| Çizelge 2.5 Agregası darbe dayanımı sınıflaması .....                                     | 21           |
| Çizelge 2.6 Nokta yükü dayanımı indeksi sınıflandırması .....                             | 25           |
| Çizelge 2.7 Kıyısı yapılarında kullanılacak agregası malzemesi için rehber değerler ..... | 26           |
| Çizelge 2.8 Karayolları için agregası malzemesinden talep edilen sınır değerler .....     | 27           |
| Çizelge 3.1 İncelenen kayalarla ait fiziksel özellikler. ....                             | 39           |
| Çizelge 3.2 Numunelerin Los Angeles aşınma dayanımı deneyi sonuçları. ....                | 45           |
| Çizelge 3.3 Agregası darbe dayanım indeksi sınıflandırılması .....                        | 49           |
| Çizelge 3.4 Kayaç türleri için agregası darbe dayanım indeksi deneyi sonuçları. ....      | 50           |
| Çizelge 3.5 Kayaçların nokta yükü dayanımı indeksi sınıfları .....                        | 53           |
| Çizelge 3.6 Agregaların bozunma dereceleri .....                                          | 53           |
| Çizelge 3.7 Nokta yükü dayanım indeksi deney sonuçları. ....                              | 54           |
| Çizelge 3.8 Kayaç türü ve bozunma derecelerine göre nokta yükü dayanımı değerleri .....   | 57           |
| Çizelge 3.9 Numunelerin magnezyum sülfata karşı gösterilen dirençlerin tayini. ....       | 64           |



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

|                    |                                                                 |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------|
| A                  | : Başlangıçta tartılan malzeme miktarı, A: Kesit alanı          |
| AIV                | : Agregada darbe dayanım indeksi                                |
| B                  | : 2,36 mm'lik elekten geçen malzeme miktarı                     |
| cm                 | : Santimetre                                                    |
| cm <sup>3</sup>    | : Santimetreküp                                                 |
| D                  | : Çap                                                           |
| d <sub>A</sub>     | : Birim ağırlık                                                 |
| D <sub>e</sub>     | : Eş değer karot çapı                                           |
| d <sub>G</sub>     | : Özgül ağırlık                                                 |
| dm <sup>3</sup>    | : Desimetreküp                                                  |
| D <sub>max</sub>   | : En büyük tane çapı                                            |
| F                  | : Kırılma yükü                                                  |
| g                  | : Gram                                                          |
| I <sub>a(50)</sub> | : Dayanım anizotropisi indeksi                                  |
| I <sub>s(50)</sub> | : Düzeltilmiş nokta yükü dayanım indeksi                        |
| I <sub>s</sub>     | : Düzeltilmemiş nokta yükü dayanım indeksi                      |
| k                  | : Malzemenin sıkıştırılabilirliği                               |
| kg                 | : Kilogram                                                      |
| kN                 | : Kilonewton                                                    |
| L                  | : Uzunluk                                                       |
| LA                 | : Los Angeles aşınma dayanımı katsayısı                         |
| m                  | : 1,6 mm'lik elek üzerinde kalan malzeme miktarı                |
| M <sub>1</sub>     | : Deney numunesinin ilk kütlesi                                 |
| M <sub>2</sub>     | : Deneyden sonra 10 mm'lik elekte kalan agreganın nihai kütlesi |
| m <sup>3</sup>     | : Metreküp                                                      |
| mm                 | : Milimetre                                                     |
| MPa                | : Megapascal                                                    |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|                |   |                             |
|----------------|---|-----------------------------|
| MS             | : | Magnezyum sülfat değeri     |
| n              | : | Görünür gözeneklilik        |
| V              | : | Toplam hacim                |
| V <sub>d</sub> | : | Agrega ile dolu kabın hacmi |
| W              | : | Agrega ağırlığı             |
| W <sub>1</sub> | : | Bozunmamış                  |
| w <sub>a</sub> | : | Ağırlıkça su emme           |
| ρ <sub>d</sub> | : | Doygun birim hacim ağırlık  |
| ρ <sub>k</sub> | : | Kuru birim hacim ağırlık    |
| γ <sub>d</sub> | : | Doygun yoğunluk             |
| γ <sub>k</sub> | : | Kuru yoğunluk               |
| W <sub>2</sub> | : | Az bozunmuş                 |
| W <sub>3</sub> | : | Orta derecede bozunmuş      |
| W <sub>4</sub> | : | Tamamen bozunmuş            |
| R <sup>2</sup> | : | Regresyon katsayısı         |

## KISALTMALAR

|       |   |                                                               |
|-------|---|---------------------------------------------------------------|
| ASTM  | : | Amerikan Test ve Malzeme Kurumu                               |
| BS    | : | İngiliz Standardı                                             |
| CIRIA | : | İngiltere İnşaat Sektörü Araştırma ve Enformasyon Kurumu      |
| CUR   | : | Hollanda İnşaat Mühendisliği Araştırma ve Standartlar Merkezi |
| DLH   | : | Demiryollar, Limanlar, Havameydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü |
| EN    | : | Avrupa Normları                                               |
| IS    | : | Hint Standardı                                                |
| ISO   | : | Uluslararası Standart Örgütü                                  |
| ISRM  | : | Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği                            |
| KGM   | : | Karayolları Genel Müdürlüğü                                   |
| THBB  | : | Türkiye Hazır Beton Birliği                                   |
| TSE   | : | Türk Standartları Enstitüsü                                   |

## **BÖLÜM 1**

### **GİRİŞ**

#### **1.1 KONUNUN ÖNEMİ**

İri çakıl agrega malzemesi dayanımının kestirimi, kum-çakıl ocaklarında moloz artığı diye ifade edilen, büyük boyutlu iri çakıl malzemesinin uygunluk açısından incelenmesi ve hammadde olarak değerlendirilmesine katkı sağlayacaktır. Kırmataş, kum ve çakıl en çok kullanılan doğal agrega türleridir. Uluslararası sınıflandırmalarda genellikle tane büyüklüğü 2 mm veya 4mm'den büyük olan agregalar çakıl olarak sınıflandırılmakta olup tane büyüklüğü 20 mm'den büyük olarak çakıllar kaba veya iri çakıl olarak tanımlanmaktadır. Doğal kum ve çakıl agrega malzemesi başlıca akarsular, dere yatakları ve deniz kıyılarından elde edilebilmektedir. Çakıl deniz kıyılarında ve akarsularda suyun aşındırma etkisi sonucunda sivrilikleri kaybolmuş, toparlak biçimindeki taş veya kaya malzemesidir. Doğal iri çakıl agregasının mekanik olarak kırılmasıyla kırma çakıl elde edilebilmekte ve agrega malzemesi olarak değerlendirilebilmektedir.

#### **1.2 TEZİN AMACI**

Bu tez çalışmasının amacı; iri çakıl agrega malzemesi dayanımının kestirimi için yapılacak çalışmalar ışığında arazide, şantiye koşullarında ve laboratuvarında uygulanabilecek ekonomik, hızlı ve tekrarlanabilirliği yüksek deney yöntemleri ile doğal iri çakıl agrega malzemesinin dayanım açısından uygunluğunun kestirimine katkı sağlamak olarak ifade edilebilmektedir. İri çakıl agregasının dayanımı aşınma ve darbeye dayanıklılık deneyleri uygulanarak incelenebilmektedir.

### 1.3 TEZİN KAPSAMI

İri akıl agrega malzemesi dayanımının kestirimi için yöntem geliştirilmesi başlıklı bu tez çalışması dört ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde; tez çalışmasının önemi, amacı, kapsamı ve içeriğine ilişkin zet bilgiler yer almaktadır. İkinci bölümde; agrega malzemesinin tanımlanması, sınıflandırılması ve özellikleri hakkında genel bilgiler yer almaktadır. Üçüncü bölümde; iri çakıl agrega malzemesi dayanımının kestirimi için; tez çalışması kapsamında numune alma, sınıflandırma, numune hazırlama, ince kesit, fiziksel ve dayanım özellikleri ile ilgili çalışmalara ve deneylere yer verilmiştir. Deneysel çalışmalardan elde edilen bulgular incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Dördüncü bölümde; iri çakıl agrega malzemesi dayanımının kestirimi için yöntem geliştirilmesine ilişkin elde edilen sonuçlara ve önerilere yer verilmiştir.

## BÖLÜM 2

### AGREGA MALZEMESİ VE ÖZELLİKLERİ

#### 2.1 AGREGA MALZEMESİ

Agrega; doğal, yapay veya her iki cins yoğun mineral malzemesinin genellikle 100 mm'ye kadar çeşitli büyüklüklerdeki kırılmamış veya kırılmış tanelerinin bir yığıdır. Agregas, beton yapımında çimento ve su karışımından oluşan bağlayıcı madde yardımı ile bir araya getirilen, organik olmayan, kum, çakıl, kırmataş gibi doğal kaynaklı veya yüksek fırın cürufu, gibi yapay kaynaklı olan taneli malzemedir. Ayrıca agrega, beton karışımında hacim olarak en büyük yüzdeyi oluşturan (%60-75) malzemedir (Özışık 1998).

Agrega, iri (kaba) ve ince agrega olarak iki kısımda incelenebilir. Şantiyelerde iri agrega çakıl, ince agrega kum olarak isimlendirilir. İri çakıl agrega; "D" değerinin 4 mm'den büyük veya 4 mm'ye, "d" değerinin ise 2 mm'den büyük veya 2 mm'ye eşit olduğu tane büyüklüklerindeki agregaya verilen isimdir. İnce kum agrega; "D" değerinin 4 mm veya 2 mm'den küçük veya 4 mm'ye eşit olduğu tane büyüklüğündeki agregaya verilen isimdir (ISO 2002, Ünsal ve Şen 2008).

Kum, çakıl veya kırmataş karışımı agrega olarak tanımlanmaktadır. Agregas esas olarak bir dolgu malzemesidir. Kum, doğal veya yapay olabilir. Doğal kum, kum ocaklarından, dere yataklarından veya deniz kıyısından elde edilir. Yapay kum ise taşların konkasörle kırılması ile mekanik olarak üretilir ve kırma kum adını alır. Doğal iri agrega dere yataklarından, kum-çakıl veya taş ocaklarından elde edilebilmektedir. Taş ocaklarında uygun nitelikteki kayaların konkasörle kırılmasıyla kırmataş elde edilmektedir (Ersoy 1985).

Doğal çakıl agregalar oluşumları gereği doğanın aşındırma etkisi ile yuvarlaklaştırılmışlardır. Yuvarlak agreganın yığın olarak yerleşmesi geometrik yapısı gereği daha kolay olup, özgül

yüzeyi de kırma agregaya göre daha küçük olduğundan daha az su ile işlenebilmektedir. Buna karşın kırma agregası köşeli ve yüzeyleri pürüzlüdür (Güner ve Süme 2001).

## **2.2 AGREGA MALZEMESİNİN SINIFLANDIRILMASI**

Agregalar; çıkarıldıkları yerlere, birim ağırlıklarına, boyutlarına, tane şekline, yüzey dokusuna, kaynaklarına, jeolojik ve mineralojik yapılarına göre sınıflandırılabilirler (Güner ve Süme 2001).

### **2.2.1 Çıkarıldıkları Yerlere Göre Sınıflandırma**

Bunlar, genel olarak üç grup altında sınıflandırılır.

i. Ocaklardan Elde Edilen Agregalar: Genelde sabit bir kaya kaynağından (kireçtaşı vb.) elde edilen agregalar çeşitli minerallerden oluşmakla birlikte, çoğunlukla tek kaya türü hakimdir. Agregalar işleminden geçirilirken tamamı ya da bir kısmı kırılır ve parçalanır. Taş ocaklarından çıkarılan agregalar için kırmataş terimi kullanılır. Kırmataş olarak en çok kullanılan kayaç türleri; kireçtaşı, dolomit, andezit, bazalt, granit, diyorit, kumtaşı ve kuvarsit şeklinde sıralanabilmektedir. Kum-çakıl ocaklarında çakıl malzemeleri akarsularda taşınma veya gölsel birikme sonucunda, çeşitli mesafelerde yer alabilen kaya kaynaklarından oluşması nedeniyle genelde sabit kaya türünden ve minerallerden meydana gelmemekte ve doğada çeşitli kayalardan karışım olarak bulunmaktadır.

ii. Denizden Elde Edilen Agregalar: Genelde dalgaların aşındırması ile düz yüzeyli ve yuvarlak şekillidirler. Bu doğal agrega malzemeleri titiz bir temizlik işleminden geçirilerek, kil, silt, klor, organik madde ve tuz miktarının kullanım amacına bağlı olarak standartlardaki sınırları aşmaması sağlanmalıdır. Geçmişte özellikle inşaat yapılarında yaygın olarak kullanılmasına karşın günümüzde demir ve beton malzemelerinde korozyon gibi zamanla oluşan olumsuz etkiler nedeniyle sınırlı kullanım alanı bulmaktadır.

iii. Dere Agregaları: Akarsu yataklarındaki agrega ocakları en çok rastlanan ve genellikle en fazla tercih edilen doğal agrega kaynaklarıdır. Parçalar genellikle yuvarlaktır. Akıntı dolayısı ile agregalar ufalanmakta ve uygun bir granülometriye sahip olmaktadır. Sürüklenme sırasında meydana gelen aşınmalar zayıf parçaların ufalanarak kısmen elenmesi

sağlanmaktadır. Bu agregalar genelde temiz düzgün tanelerden oluşur (Güner ve Süme 2001). Günümüzde dere ve akarsu yataklarında düzensiz kum-çakıl üretimi sonucunda akarsu yatak yapıları ve akış düzenlerinin değişmesi ile erozyon, toprak kayması, taşkın gibi sorunlara yol açabilmesi nedeniyle bölgesel özelliklere bağlı olarak üretimi sınırlanmaktadır.

### 2.2.2 Birim Ağırlıklarına Göre Sınıflandırma

Agrega malzemesinin birim ağırlıkları özellikle beton malzemesi için önemlidir ve başlıca üç grup altında sınıflandırılabilir (Güner ve Süme 2001).

i. Hafif Beton Agregaları: Betonun birim ağırlığını azaltmak ses ve ısı yalıtım özelliklerini artırmak için bazen de cüruf gibi atık maddeleri değerlendirmek için kullanılan agregalardır. Boşluklu yapıya sahiptirler. Su emmeleri ve boşluk oranları yüksektir. Agreganın kendi ağırlığı, yapının toplam ağırlığının büyük kısmını oluşturur. Bundan dolayı ağırlık ne kadar azaltılabilirse, yapı bittiğinde o kadar hafif olur. Bu agregalara örnek olarak, pomza, diatomit, genleştirilmiş kil, perlit, şist verilebilir. Birim ağırlıkları  $2,4 \text{ ton/m}^3$ 'ten küçüktür.

ii. Ağır Beton Agregaları: İhtiyaca göre ağır beton elde etmek için kullanılırlar. Ağır betonlar, radyasyon yayılmasının söz konusu olduğu nükleer santrallerle, hastanelerde röntgen odaları gibi geçirimsizliği az, sıkıştırılabilirliği yüksek beton üretimi istenen yerlerde kullanılır. Ağır agregalar arasında en çok kullanılanlar; demir cevherlerinden olan mineraller (manyetit, hematit v.s.), çelik veya kurşun parçacıklarıdır. Birim ağırlıkları  $2,8 \text{ ton/m}^3$ 'ten büyüktür.

iii. Normal Beton Agregaları: Birim ağırlıkları  $2,4-2,8 \text{ ton/m}^3$  arasında olan agregalardır. Uygulamada en çok kullanılan agrega çeşididir.

### 2.2.3 Boyutlarına Göre Sınıflandırma

Agregaları boyutlarına göre; iri, ince ve karışık agrega olmak üzere üç bölüme ayırmak mümkündür.

i. İnce Agregalar (Kum): Agreganın en fazla boyutu olan "D" değerinin 4 mm'den küçük veya 4 mm'ye eşit olduğu tane büyüklüğündeki agregaya verilen isim.

ii. İri Agregalar (Çakıl): Agreganın en fazla boyutu olan "D" değerinin 4 mm'den büyük veya 4 mm'ye, elek boyutu olan "d" değerinin ise 2 mm'den büyük veya 2 mm'ye eşit olduğu tane büyüklüklerindeki agregaya verilen isim.

iii. Karışık (Tüvenan) Agregalar: Doğal agrega ocağından doğrudan doğruya elde edilen elenmemiş ince ve iri agrega karışımıdır. Standartlar ve şartnameler, zorunlu kalmadıkça karışık agrega kullanılması istememektedir (Güner ve Süme 2001).

Uluslararası sınıflandırmalarda ISO (2002) tarafından önerilen zemin sınıflandırma sistemi yaygın kullanım görmektedir (Çizelge 2.1). ISO sınıflandırma sistemine göre boyutları 2 mm'den küçük olan zemin malzemeleri kum, 0,063 mm'den küçük olan zemin malzemeleri silt ve 0,002 mm'den küçük olan zemin malzemeleri kil olarak tanımlanmaktadır. Kum ve çakıl malzemesi kaba zemin malzemesi olarak tanımlanmakta olup, 2 mm-63 mm aralığında yer alan çakıl malzemesi kendi içinde ince-orta-kaba çakıl olarak ayrılmaktadır. 63 mm'den büyük çakıl agrega malzemeleri ise çok kaba zemin olarak tanımlanmakta olup, kendi içinde yuvarlak taş (cobble), yuvarlak moloz (boulder) ve büyük yuvarlak moloz (large boulder) olarak sınıflandırılmaktadır. Bu malzemeler genelde kum-çakıl ocaklarında eleme işlemi sonucunda ortaya çıkan elek üstü artık agrega malzemesi olup doğrudan sınırlı kullanım alanı bulmaktadır. Bu malzemelerden kırma çakıl üretiminde, dekoratif veya dolgu amaçlı iri çakıl malzeme taleplerinin karşılanmasında yararlanılabilmektedir.

**Çizelge 2.1** ISO 14688-1'e göre uluslararası zemin ve agrega sınıflandırması (ISO 2002).

| Zemin grupları | Alt grup                                                     | Orijinal isim                                                  | Sembol     | Tane aralığı (mm)         |
|----------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------|---------------------------|
| Çok kaba zemin | <b>Yuvarlak büyük moloz</b>                                  | <b>Large boulder</b>                                           | <b>LBo</b> | <b>&gt; 630</b>           |
|                | <b>Yuvarlak moloz</b>                                        | <b>Boulder</b>                                                 | <b>BO</b>  | <b>&gt;200-630</b>        |
|                | <b>Yuvarlatılmış taş</b>                                     | <b>Cobble</b>                                                  | <b>Co</b>  | <b>&gt;63-200</b>         |
| Kaba zemin     | <b>Çakıl</b><br>Kaba (iri) çakıl<br>Orta çakıl<br>İnce çakıl | <b>Gravel</b><br>Coarse gravel<br>Medium gravel<br>Fine Gravel | <b>Gr</b>  | <b>&gt;2-63 mm</b>        |
|                |                                                              |                                                                | CGr        | >20-63                    |
|                |                                                              |                                                                | MGr        | >6,3-20                   |
|                |                                                              |                                                                | FGr        | >2-6,3                    |
|                | <b>Kum</b><br>Kaba (iri) kum<br>Orta kum<br>İnce kum         | <b>Sand</b><br>Coarse sand<br>Medium sand<br>Fine sand         | <b>Sa</b>  | <b>&gt;0,063-2 mm</b>     |
|                |                                                              |                                                                | CSa        | >0,63-2                   |
|                |                                                              |                                                                | MSa        | >0,2-0,63                 |
|                |                                                              |                                                                | FSa        | >0,0063-0,2               |
| İnce zemin     | <b>Silt</b><br>Kaba (iri) silt<br>Orta silt<br>İnce silt     | <b>Silt</b><br>Coarse silt<br>Medium silt<br>Fine silt         | <b>Si</b>  | <b>&gt;0,002-0,063 mm</b> |
|                |                                                              |                                                                | CSi        | >0,02-0,063               |
|                |                                                              |                                                                | MSi        | >0,0063-0,02              |
|                |                                                              |                                                                | FSi        | >0,002-0,0063             |
|                | <b>Kil</b>                                                   | <b>Clay</b>                                                    | <b>Cl</b>  | <b>≤ 0,002 mm</b>         |

Tez çalışması kapsamında özellikle 20-63 mm boyut aralığında yer alan kaba (iri) çakıl ve 63 mm-200 mm'den büyük boyut aralığında yer alan yuvarlak taş (cobble) agreg a malzemesi incelenmiştir (Şekil 2.1).



**Şekil 2.1** Yuvarlak taş (cobble) ve kaba (iri) çakıl agreg a malzemesine ait görünüm ler.

#### **2.2.4 Agreg a Yüzey Şekli ve Biçimine Göre Sınıflandırma**

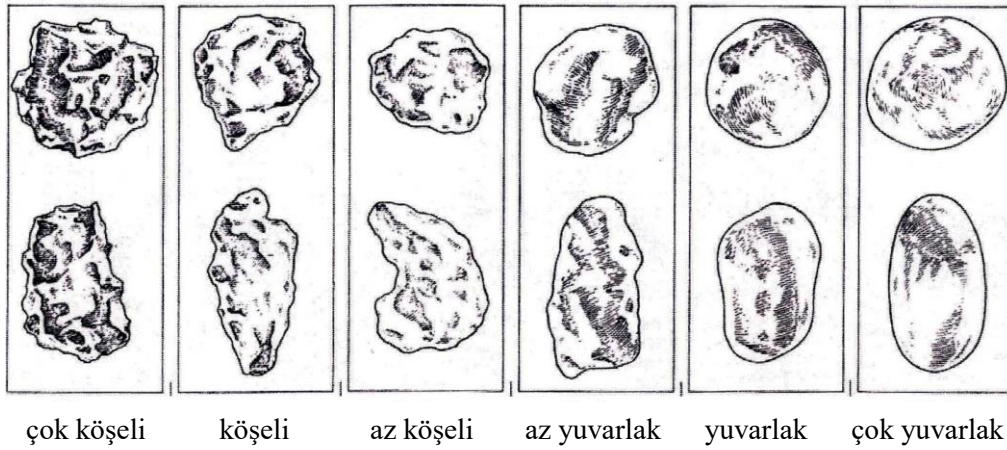
Agreg a tanelerinin şekli, yuvarlak, köşeli, yassı veya uzun olabilmektedir. Yuvarlak agreg a taneleri küresel veya küresel şekle yakın olan tanelerdir. Nehir yataklarından elde edilen agreg alardaki tanelerin çok büyük bir bölümü yuvarlak bir şekildedir. Kırmataş agreg alarındaki tanelerin şekli ise köşelidir. Agreg aların yüzey şekli ve biçimine göre sınıflandırılması Çizelge 2.2’de verilmiştir. ISO 14688-1’e göre uluslararası agreg a tane şekli sınıflandırması ise Çizelge 2.3’de verilmiştir (ISO 2002). Şekil 2.2’de yuvarlaklık ve köşelilik durumuna göre agreg a sınıflandırması şematik olarak verilmiştir. Çakıl agreg a malzemesi yuvarlık tipine göre başlıca üç sınıfa ayrılabilir. Agreg aları yüzey dokusuna göre düzgün, granüler, pürüzlü, kristalli ve petekli olmak üzere beş grupta sınıflandırılabilir.

**Çizelge 2.2** Agregalarda tane şekline göre sınıflandırma (Uğurlu 1999).

| Tane Şekli    | Açıklama                                                                                                | Örnekler                                                                                   |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Yuvarlak      | Tamamen su içerisinde sürtünme nedeniyle yuvarlaklaşmışlardır.                                          | Nehir ya da deniz kıyısı çakılları, çöl, deniz kıyısı ve rüzgarların serpiştirdiği kumlar. |
| Şekilsiz      | Tamamen şekilsizdirler veya sürtünme nedeniyle ve kenarları yuvarlanmış biraz şekillidirler.            | Diğer çakıllar, kum veya adi çakmak taşları.                                               |
| Köşeli        | Pürüzlü düzlemsel yüzeylerin kenarlarda kesiştiği bir yapıdır.                                          | Kırılmış kayaların bütün çeşitleri, yamaç molozu, camısı cüruf.                            |
| Yassı         | Agrega eninin diğer iki boyutuna göre daha küçük olduğu agregalardır.                                   | Laminalı kayaç.                                                                            |
| Uzun          | Genellikle köşeli ve bir boyutun diğer iki boyuttan fark edilir şekilde daha büyük olduğu agregalardır. | Laminalı kayaç.                                                                            |
| Yassı ve Uzun | Tane uzunluğunun eninden ve eninin fark edilir bir şekilde kalınlıktan daha büyük olduğu agregalardır.  | Laminalı kayaç.                                                                            |

**Çizelge 2.3** ISO 14688-1'e göre agregatane şekli sınıflandırması (ISO 2002).

| Ölçüt                 | Tane şekli                              |
|-----------------------|-----------------------------------------|
| Köşelilik/Yuvarlaklık | Çok köşeli<br>Köşeli<br>Az köşeli       |
|                       | Az yuvarlak<br>Yuvarlak<br>Çok yuvarlak |
| Şekli                 | Kübik<br>Yassı<br>Uzun                  |
| Yüzey yapısı          | Pürüzlü<br>Pürüzsüz (düzgün)            |



**Şekil 2.2** Yuvarlaklık ve köşelilik durumuna göre agrega sınıflandırmasının şematik görünümü (Powers 1953).

Agrega tanelerinin şekli olabildiğince yuvarlak (küresel, kübik) olmalıdır. Doğal agregalar oluşmaları gereği dış tesirlerin etkisi ile yuvarlaklaşmışlardır. Tanenin en büyük boyutunun en küçük boyutuna oranı 3’den büyük olan tanelere şekilce kusurlu taneler denir. Kusurlu tanelerin önemli etkisi agrega yığının boşluklu olması ve bu boşluğun çimento hamuru ile doldurulmamasıdır. Yuvarlak doğal agreganın yığın olarak yerleşmesi geometrik yapısı gereği daha kolay olup, özgül yüzeyi de (kırmataş ürünlerine göre) küçük olduğundan dolayı işlenebilirlik için az su gerektirir. Kırma agregalar köşeli, kenarlı ve yüzeyleri pürüzlüdür. Kırma agregalar konkasörlerin ayarsızlığına bağlı olarak yassı ve biçimsiz taneler içerirler. Bu da betonun yerleşmesi sırasında işlenebilirliğini güçleştirir. Köşeli agrega tanesinin yüzey alanı yuvarlak agrega tanesinin yüzey alanından daha büyüktür. Bu nedenle köşeli agregalarla yapılan betonlarda, agrega taneleri ile çimento hamuru arasındaki aderans daha iyi olmaktadır. Ayrıca köşeli agregalarla yapılan betonların dayanımı yuvarlak agregayla yapılan betonların dayanımından daha yüksek olabilmektedir (Erdoğan 1995).

## 2.2.5 Jeolojik Orjinlerine ve Mineral Yapılarına Göre Sınıflandırma

Doğal mineral agregaların bileşimi kayaç ve minerallerdir. Mineraller, kimyasal bileşimleri tanımlanmış özel kristal yapısına sahip doğal oluşumlardır. Agregalar mineralojik yapılarına göre başlıca; silis mineralli, karbonat mineralli ve mika mineralli olarak genelleştirilebilir. Kayaçlar ise bu minerallerin bir araya gelmesiyle oluşmuşlardır. Kaya kütleleri ve malzemeleri, erime, kristalleşme, çeşitli atmosfer etkileri ile dağılma, çökelme, basınç, ısı, tektonizma ve kimyasal faktörlerle dönüşüme uğrayabilmektedir. Doğal agrega olarak tanımlanan kum, çakıl ve kırmataşı meydana getiren başlıca kayaçlar Çizelge 2.4’de gösterilmiştir. Agregalar jeolojik

orijinlerine göre, magmatik (kor kırıntılı, plütonik ve volkanik), tortul (sedimanter) ve metamorfik (başkalaşım) şekilde sınıflandırılabilir (Koç 2001).

**Çizelge 2.4** Doğal kırmataş hammaddelerinin sınıflandırılması (Koç 2001).

| Grup       | Genel Sınıflama       | Kayaç                  | Ortalama Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> ) |
|------------|-----------------------|------------------------|---------------------------------------------|
| Magmatik   | Plütonik              | Granit                 | 2,6                                         |
|            |                       | Siye nit               | 2,7                                         |
|            |                       | Diyorit                | 2,8                                         |
|            |                       | Gabro                  | 2,9                                         |
|            |                       | Peridotit              | 2,9                                         |
|            | Volkanik              | Riyolit                | 2,6                                         |
|            |                       | Trakit                 | 2,6                                         |
|            |                       | Andezit                | 2,6                                         |
|            |                       | Bazalt                 | 2,8                                         |
|            |                       | Diyabaz                | 2,9                                         |
| Sedimanter | Kimyasal (Karbonatlı) | Dolomit                | 2,7                                         |
|            |                       | Kireç taşı             | 2,6                                         |
|            | Kırıntılı (Silisli)   | Konglomera             | 2,6                                         |
|            |                       | Kum taşı               | 2,6                                         |
|            |                       | Kuvarsit, Arkoz        | 2,6                                         |
|            |                       | Kıltaşı, Şeyl, Arjilit | 2,6                                         |
|            |                       | Çört, Grovak           | 2,6                                         |
| Metamorfik | Foliasyonlu           | Amfibolit              | 3                                           |
|            |                       | Şist                   | 2,8                                         |
|            |                       | Gnays                  | 2,7                                         |
|            |                       | Sleyt, Fillit          | 2,7                                         |
|            | Foliasyonsuz          | Mermer                 | 2,7                                         |
|            |                       | Kuvarsit               | 2,8                                         |

i. Magmatik Kayaçlar: Bu kayaçlar, magmanın yer içinde veya yeryüzü ile yeryüzüne yakın derinliklerde soğuyarak katılaşmasıyla oluşan nispeten homojen ve izotrop yapıli taşlardır. Magmanın yer kabuğu derinliklerinde soğumasıyla meydana gelmiş kayaçlara plütonik (derinlik) kayaçları denir. Magma derinlerde yavaş yavaş soğuduğundan iri ve tam kristallidir. Plütonik kayaçlar 1 mm'den daha büyük tane boyutuna sahip minerallerden oluşmuşlardır. Plütonik kayaçlar, genellikle çatlaklıdır. Ancak taze, ayrışmamış oldukları zaman kırılmaya ve basınca karşı dayanıklıdır. Plütonik derinlik kayaçlarına granit, siye nit,

gabro, diorit örnek verilebilir. Magmanın litosferin yüzey ve yüzeyine çok yakın kısımlarında çok hızlı olarak soğumasıyla meydana gelmiş kayaçlara ise volkanik kayaçlar denir. Yarı kristalli magmatik kayaçlardır. Hızlı soğuma nedeniyle camsı veya yarı camsı bir hamur içinde dağılmış halde kristaller olarak oluşmuşlardır. Volkanik kayaçlar 1 mm'den daha küçük tane boyuna sahip minerallerden oluşmuşlardır. Volkanik kayaçlara andezit, bazalt, diyabaz, perlit, trakit örnek verilebilir. Magmanın yer kabuğunun yüzeye yakın kısımlarında, çatlak ve yarıkları içinde soğuyup katılaşmasıyla oluşmuş kayaçlara damar kayaçlar denir. Magmanın soğuma hızı volkanik kayaçlarınkinden daha yavaştır. Görünüş ve yapı bakımından hem plütonitlere hem de volkanitlere benzerler. Damar taşlarının hamur maddesi genellikle mikrokristaller halindedir ve porfirik dokuya sahiptir (granit porfir, siyenit porfir, gabro Porfir, diyorit porfir vb.). Magmatik (püskürük) kayaçların çoğu sert, dayanıklı ve yoğun olduklarından çok iyi agrega malzemesidirler. Tüfler ve lavlar gaz kabarcıklarından dolayı gözenekli olmaktadır. Bunlar bu nedenden dolayı çoğu zaman düşük mukavemetli, hafif ve yüksek su emme özelliğine sahip olabilmektedir. Bundan dolayı hafif beton haricindeki beton agregası olarak kullanılması uygun olmamaktadır (Koç 2001).

ii. Tortul (Sedimenter) Kayaçlar: Magmatik ve metamorfik kayaçların çeşitli atmosferik ve tektonik olaylar sonucu parçalanarak tabakalar halinde tortullaşması ile meydana gelmiş, heterojen boşluklu ve bazen fosil yapıları kayaçlardır. Tabakaların yönü ve bağlayıcının cinsi mukavemeti ve su geçirimsizliği etkileyen faktörlerdir. Bağlayıcının silis esaslı olması mukavemeti artırmaktadır. Kumtaşları, kireçtaşı ve kalkerler, kayacı ufalanabilir ve yumuşak hale getiren kili de içerebilirler. Kil miktarının artması ile bunlar kumlu veya kalkerli şeyller sınıfına girmektedirler. Şeyller yumuşak, zayıf ve absorbtif olması nedeniyle genellikle iyi agrega malzemesi değildir. İnce tabakalar halinde oluşan şeyller düz ve kalın dilimli biçimde parçalanarak kum ve çakıl haline gelebilmektedir. Konglomeralar işlenme ve aşınma esnasında daha küçük parçalara ayrılmaya elverişli oldukları için genelde agrega malzemesi olarak uygun değildir (Koç 2001).

iii. Metamorfik (Başkalaşım) Kayaçlar: Püskürük ve tortul kayaçların sıcaklık, basınç ve gerilme etkisi altında kalarak yeni karakterler kazanması ile meydana gelen kayaçlara metamorfik kayaçlar denilmektedir. Metamorfik kayaçlar yeni yapı ve yeni mineralojik bileşim gösterirler. Metamorfik kayaçlar özellikleri bakımından çok değişiklik gösterirler. Mermer ve kuvarsitler genellikle masif, yoğun, sağlam ve dayanıklıdır. Gnayslar genel olarak çok sağlam ve dayanıklı olmakla beraber şistlerin istenmeyen özelliklerini de ihtiva edebilirler.

Şistler ince levhalardan oluştuklarından dilimler halinde ayrışırlar, genel olarak, büyük miktarda mikalı mineraller ihtiva ederler. Bu özellikler ise beton agregasında istenen mukavemeti azaltmaktadır. Arduvazlar ince levhalı olduklarından agrega olarak kullanılamazlar (Koç 2001).

## **2.3 AGREGA KAYNAKLARI**

Agrega kaynakları başlıca akarsu yatakları, sel yatakları, dere ve teras ocakları, taş ocaklarından oluşmaktadır.

### **2.3.1 Akarsu Yatakları**

Akarsu yatakları malzemenin en önemli özelliği sürekli olarak doğal yıkanma sonucunda, bağlayıcı kilden arınmaları ile beraber, tanelerin yuvarlak veya yassı olmalarıdır. Ancak, bunun yanında, tanelerin köşeli olmayışı, içsel sürtünmeyi azaltarak temel tabakalarının duraylılığı üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilmektedir. Bu olumsuz özelliklerinin yanında uzun mesafelerde sürüklenerek taşınmaları sonunda aşınmaya dayanımları olumlu özellikleri arasındadır (Şkriyelj 2001).

### **2.3.2 Sel Yatakları**

Yataklarında mevsimden mevsime ya da yağışlı zamanlarda su bulunan akarsu yatağına sel yatağı adı verilir. Kısa süreli fakat şiddetli olan seller büyük sürüklenme gücüne sahiptirler. Uzun mesafelerden taşınmadıkları için genelde taneleri daha köşeli olabilmektedir (Şkriyelj 2001).

### **2.3.3 Dere ve Teras Ocakları**

Teras akarsuların, göllerin, hatta eski iç denizlerin eski yataklarında biriktirdikleri malzemelerdir. Çakıl ve kum doğal agregalar olup dere malzemelerinin tipik örnekleridir. Kayalar, tabiatın fiziksel ve kimyasal etkileri sonucu aşınır ve bozunur. Bozunma işlemi sonucundaki ürünler genellikle su, rüzgar veya buzul etkisiyle hareket eder ve değişik yerlerde birikir. Çakıllar oldukça geniş bir dağılım gösterir ve bunların içinde kum silt bulundurmayan depolamalar çok enderdir. Kumlu toprak karışımları ise genellikle silt ve kil de bulundurur. Malzemeleri taşıyan dış etkiler tane şekillerini de etkiler (Şkriyejli 2001).

### 2.3.4 Taş Ocakları

Taş ocaklarında yaygınlık ve kullanılan kaya cinsleri açısından en fazla tercih edilen kireçtaşları (kalker) taş ocaklarıdır. Taş ocaklarının kum-çakıl ocaklarına göre üstün tarafları fazladır. Bunlar; malzemelerin daha homojen olması, kırılarak kullanılmaları köşeli yüzeylere sahip olması, malzeme miktarı ve özellikleri yönünden de genellikle yeterli yaygınlıkta olmalarıdır. İşlem görmüş agregalar kırılmış ve elenmiş doğal çakıl veya kırmataşları kapsar. Doğal çakıllar asfalt kaplamada kullanım için daha uygun duruma getirmek için kırılırlar. Kırma işlemi, tanelerin yüzey yapısını değiştirir, yuvarlak şekilli taneleri köşeli hale getirir ve tane boyu dağılımını iyileştirerek malzemenin kalitesini artırır. Büyük taşların veya kayaların kırılmasıyla elde edilen kırmataşlarda tüm agrega taneleri kırılmış yüzeylere sahiptir (Şkriyejli 2001).

## 2.4 AGREGA ÖZELLİKLERİ

Beton hacminin yaklaşık olarak %70'ini oluşturan ve yol yapımı, demiryolu yapımı gibi yaygın kullanımı olan agregaların nitelik ve nicelikleri, kalite ve ekonomisini büyük ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle agregaların taşınması gereken bir takım özellikler vardır (Güner ve Süme 2001). Bunlar;

- Agregalar kullanım yerine göre istenen koşulları sağlamalı.
- Agregalar sert, temiz, yüksek dayanımlı, kimyasal etkilere karşı dayanıklı olmalı.
- Agregaların çimento hamuru ile kimyasal reaksiyona girmemesi gerekir.
- Her mineral kökenli malzeme veya endüstriyel atık beton agregası olarak kullanılamaz.
- Agregada bir anlamda betonun iskeletini oluşturduğundan; özelliklerinin kullanılmalarından önce deneylerle belirlenmesi gerekir.
- Agreganın şekil ve yüzey durumu özellikle beton kalitesini önemli ölçüde etkiler. Uzun, yassı, yapraksı dokulu agregalar kusurlu tanelerdir. Bunların beton üretiminde en alt düzeyde kullanılması gerekir. Ayrıca agregaların yüzeylerinin pürüzlü olması, çimento harcına daha iyi yapışması (aderans) açısından tercih edilir.
- Agregalarda çok ince kil-silt boyutunda tanelerin varlığı betonun dayanımını düşürür. Agregada içinde bulunabilen organik maddeler kil toprakları, kömür-linyit taneleri yumuşak taneler, klor iyonları ve sülfat varlığı betonun davranışını olumsuz yönde etkiler.
- Beton agregaları donma-çözülme ve aşınma gibi fiziksel etkenlere dayanıklı olmalıdır.
- Agregalar uygun sağlamlıkta ve boşluksuz olmalıdır.

Ülkemizde beton agregalarında aranan özellikler TS 706 EN 12620+A1 standardında belirlenmiştir. Söz konusu özellikler, elek analizi, basınç dayanımı, aşınmaya dayanıklılık, kil-silt içeriği, organik madde içeriği, alkali agreg reaktivite deneyi gibi deneylerle belirlenir. Bu deneylerden olumlu sonuç alınması halinde, söz konusu agreganın betonda kullanımına ancak izin verilir. Her hammadde kaynağı, beton için uygun agregadır. Agreganın uygun biçimde seçilip deneylerle uygunluğu saptandıktan sonra beton üretiminde kullanılmasına izin verilmesi gerekir.

## 2.5 AGREGALARIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

### 2.5.1 Porozite ve Nem Durumu

Agrega tanelerinde bir miktar boşluk bulunması doğaldır. Agregatanelerindeki boşluk su emme deneyi yapılarak belirlenir. İri agregatanelerinin porozitesinin küçük olması ile bu taneler kullanılmasıyla beton dayanımının yüksek bir değer alması sağlanır. Dayanımı yüksek olan taneler kullanılarak üretilen betonların mekanik dayanımı da artırılabilir (Yiğit 2005). Porozitenin yüksek olması ise, agreganın donmaya ve çevre etkilerine dayanıklılığını azaltmaktadır. Agreganın emdiği su miktarı tanelerin kökenine, yapısına ve granülometri bileşimine bağlıdır. Agregataneleri arasındaki boşluklarda su varlığı dört şekilde ifade edilmektedir (Güner ve Süme 2001).

- Tamamen kuru taneler: Agregatanelerinde herhangi bir şekilde hiç su bulunmamaktadır.
- Kuru yüzeyli taneler: Tanelerin içindeki boşluğun bir kısmı su ile doludur. Fakat tane yüzeyi tamamen kurudur.
- Kuru yüzeyli doygun taneler: Tanelerin boşluklarının su ile dolması ve yüzeyinin tamamen kuru olması halidir.
- Islak taneler: Agregadaki boşluklar su ile dolu olduğu gibi yüzeyde de su vardır.

Agrega su miktarı, agreganın birim ağırlığına, hatta özgül ağırlığına da etki eder (Kırçıl 2008). Nem durumu iki şekilde önemlidir. Birincisi ince agregaya yani kumda kabarmaya sebep olur. Kumdaki kabarma dikkate alınmadan kullanılırsa gerçek hacminden fazla görüneceğinden  $1m^3$  betona giren kum az olacak, dolayısıyla boşluklu bir beton üretilmiş olacaktır. İkincisi ise su

miktarı göz önüne alınmadan agregası kuruymuş gibi su katılırsa beton dayanımında, fazla sudan dolayı önemli düşüşler olacaktır. Bundan dolayı nem miktarı tayin edilerek o miktarda karışıma daha az su ilave edilmesi gerekmektedir (Güner ve Süme 2001).

### **2.5.2 Agregaların Birim Ağırlıkları**

Belirli bir hacmi dolduran agreganın ağırlığına “birim ağırlık” denir. Agregayı kuru halde iken gevşek olarak bir kaba boşaltarak bulunan birim ağırlığa “gevşek birim ağırlık” ve kuru iken belli sayıda çubuk darbesi ile sıkıştırılarak bulunan birim ağırlığa ise “sıkışık birim ağırlık” denir. Birim ağırlıktan agregası içindeki boşluk miktarı hesaplanabilir. Ayrıca agreganın granülometri bileşimi ve kusurlu malzemenin varlığı hakkında da fikir verebilmektedir. Birim ağırlıkları yüksek bir betonun dayanımı, dayanıklılığı ve taşıma gücü fazladır. Agreganın sıkışma oranı ne kadar yüksek olursa basınç dayanımı ve dış etkilere dayanımı da o kadar yüksek olur (Şimşek 2003).

### **2.5.3 Agregaların Özgöl Ağırlığı**

Agregaların özgöl ağırlığı, gerçek birim hacmine karşılık gelen ağırlığı olarak tanımlanır. Bu özellik agregası kökeni hakkında bilgi verir ve betonda bileşenlerinin hesabında kullanılır. Betonda kullanılacak agreganın özgöl ağırlığının 2,2-2,7 kg/dm<sup>3</sup> arasında olması istenir. Özgöl ağırlık agreganın uygunluğunu belirtir. Düşük özgöl ağırlık sağlam olmayan malzemeyi, yüksek özgöl ağırlık ise kaliteli betona uygun agregayı tanımlar. Özgöl ağırlık karışım hesabında, bu hesapların düzeltilmesinde ve beton homojenliğinin zorunluluğu durumlarında gereklidir. Düşük özgöl ağırlık, agreganın boşluklu ve zayıf olmasına bir işarettir (Güner ve Süme 2001).

### **2.5.4 Agregaların Sıkıştırılabilirliği**

Agreganın sıkıştırılabilirliği ile birim hacimdeki agregası tanelerinin işgal ettiği toplam hacim anlaşılmaktadır. Agreganın özgöl ve birim ağırlıkları bilinmek suretiyle sıkıştırılabilirliği hesaplanabilir (Eşitlik 2.1-2.3). Agreganın birim ağırlığı her zaman için özgöl ağırlıktan küçük olduğundan sıkıştırılabilirliği 1’den küçük değer alır.

$$d_A = \frac{W}{V} \quad (2.1)$$

$$d_G = \frac{W}{V_d} \quad (2.2)$$

$$k = \frac{d_A}{d_G} = \frac{V_d}{V} \quad (2.3)$$

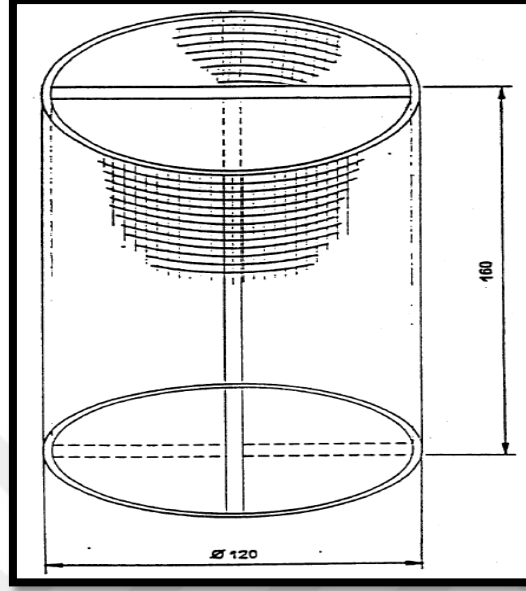
Burada; W, agrega ağırlığı (gr), V, toplam hacim (cm<sup>3</sup>), V<sub>d</sub>, agrega ile dolu kabın hacmi (cm<sup>3</sup>); d<sub>A</sub>, birim ağırlık (gr/cm<sup>3</sup>), d<sub>G</sub>: özgül ağırlık (gr/cm<sup>3</sup>) olarak ifade edilmektedir. k, malzemenin sıkıştırılabilirliği anlamına gelmektedir.

Muhtelif faktörlerin etkisi altında bulunan bu sıkıştırılabilirlik özelliği, agreganın herhangi bir sıkıştırma işlemine maruz bırakılmadan yerleştirilmesi sonucunda 0,40-0,70 arasında değer alır. Sıkıştırılabilirlik değerini (1)'e tamamlayan sayı agreganın birim boşluğudur. Agreganın sıkıştırılabilirliği düşük olması bazı zararlar meydana getirmesine rağmen bu özelliğin hangi değer altına düşmemesi gerektiği henüz hiçbir şartnamede belirtilmemiştir. Çakıl tanelerinin yuvarlak olması dolayısıyla daha az boşluk bırakarak belirli bir hacmi doldurabilir. Buna karşılık kırmataşlarda bulunan keskin köşeler, önemli boşlukların kalmasına sebep olur. Bu durumun sonucu olarak tane limit boyutları aynı olan çakıl ve kırmataş numunelerinden çakıl daha büyük sıkıştırılabilirlik özelliğine sahip olmaktadır (Güner ve Süme 2001).

### 2.5.5 Agregalarda Dona Dayanıklılık

Agregaların boşluklarına nüfuz eden su, sıcaklık derecesinin sıfırın altına düşmesi sonucunda, donarak boşluklar içinde bir hacim artması oluşturur. Agrega taneleri, bu hacim artması sonucunda oluşan içsel gerilmelere karşı dirençli değil ise parçalanabilirler. Böyle agregalarla üretilen betonlarda, tekrarlı “donma-çözülme” olaylarının sonucunda, çimento hamuru ile agrega arasındaki “aderans” da zarar görebilir. Agregaların donmaya karşı dayanıklılığını denetleyen temel faktörler; porozite (boşluk oranı), gözeneklerin geometrik boyutları ve dağılımı, yapı içinde porların birbiriyle bağlantı şekilleri (sürekli veya süreksiz), donma veya çözünme sıcaklıkları, donma veya çözülme çevrim sayısıdır (Arioğlu vd. 2006).

Deney standardı, TS EN 1367-2 Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 2: Magnezyum Sülfat Deneyi standardıdır. Magnezyum sülfat deneyinde kullanılan tipik sepet örneği Şekil 2.3’de gösterilmiştir.



**Şekil 2.3** Magnezyum sülfat deneyinde kullanılan tipik sepet örneği (TS EN 2011).

Betonda kullanılan agreganın dona dayanıklılığını araştırmak üzere en çok kullanılan deney yöntemi, agregaların sodyum sülfat ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) veya magnezyum sülfat ( $\text{MgSO}_4$ ) çözeltisinde tane büyüklüğü 10 mm ile 14 mm arasında olan deney numunesinin kütlesi 500 g olmalıdır. Agregada malzemesinin doymuş magnezyum sülfat çözeltisine yaklaşık 17 saat daldırılıp, 2 saat süzülerek sonra 24 saat boyunca etüvde kurutulduğu ve sonra 5 saat soğutularak bu işleminin 5 kez tekrarlandığı en son olarak da numunenin çözeltiden yıkanarak temizlenmesi ve etüvde 24 saat boyunca kurutulması şeklinde uygulanan bir yöntemdir. Deney sonunda, deney numunesi 10 mm’lik elekten eğer ve agreganın elek üstü kalan değeri hesaplanır. Bu deney sonucunda agregada meydana gelen kırılmalar ve ufalanmalar nedeni ile agregada ilk ağırlığına göre kayıplar vermektedir.

Agreganın dona dayanıklılığın hesaplanması;

$$MS = \frac{100(M_1 - M_2)}{M_1} \quad (2.4)$$

$M_1$ : Deney numunesinin ilk kütlesi,

M<sub>2</sub>: Deneyden sonra 10 mm'lik elekte kalan agreganın nihai kütlesi.

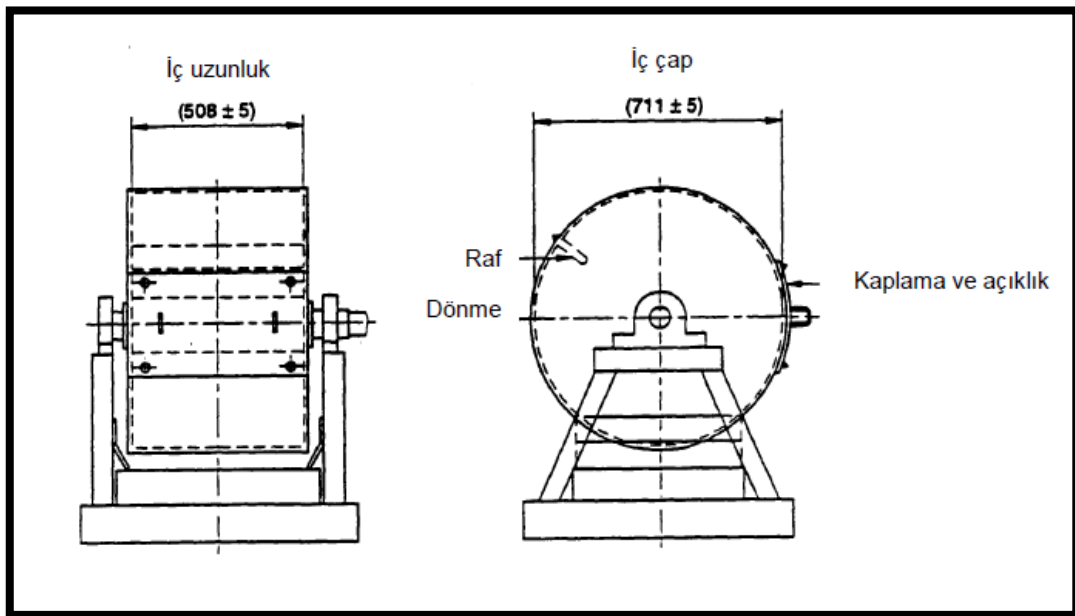
## 2.6 AGREGALARIN DAYANIM ÖZELLİKLERİ

Tez çalışması kapsamında agregaların dayanım özellikleri; Los Angeles Aşınma Dayanımı, Agregada Darbe Dayanımı ve Nokta Yüğü Dayanımı deneyleri ve özellikleri şeklinde incelenmiştir.

### 2.6.1 Los Angeles Aşınma Dayanımı

Doğal veya yapay agregaların aşınma, darbe ve öğütme etkileri altında parçalanma direncinin (aşınmaya karşı dayanıklılığın) tayini için kullanılan bir yöntemdir. Deney standardı, TS EN 1097-2 Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini İçin Metotlar standardıdır.

Aşınma dayanımı Los Angeles deneyi ile belirlenir. Agregada numunesi, dönen tamburda çelik bilyalar ile birlikte döndürülür. Dönme işlemi tamamlandıktan sonra 1,6 mm açıklıklı elekte kalan malzemenin miktarı belirlenir. Tipik Los Angeles deney ekipmanı şematik olarak Şekil 2.4'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Tipik Los Angeles deney ekipmanı (TS EN 1010).

Numunede malzemenin tane büyüklüğü 10 mm ile 14 mm arasında, deney kısmının kütlesi 5000 g olmalıdır. Deneyde numuneyi yüklemekten önce tamburun temiz olup olmadığı kontrol edilir. Makinaya önce dikkatlice bilyalar, sonra deney numunesi konulur. Kapak kapatılır ve makina 31 devir/dakika ile 33 devir/dakika arasında sabit hızda 500 devir döndürüldükten sonra deneye son verilir. Deney esnasında taneler birbirlerine ve bilyalara çarparak ufalanır. Agregaya kaybını önlemek için açıklık tepsinin tam üstüne getirilerek, agregalar tepsiye dökülür. Tambur temizlenir, ince tanelerin raf etrafında kalmamasına dikkat edilir. Agregaya kaybının olmamasına dikkat edilerek bilyalar tepside alınıp tepsideki malzeme, 1,6 mm'lik elek kullanılarak elenir ve yıkanır. 1,6 mm elekte kalan kısım,  $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ 'da ki etüvde sabit kütleye gelinceye kadar kurutulur ve tartılır.

Los Angeles aşınma dayanımı katsayısı LA aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

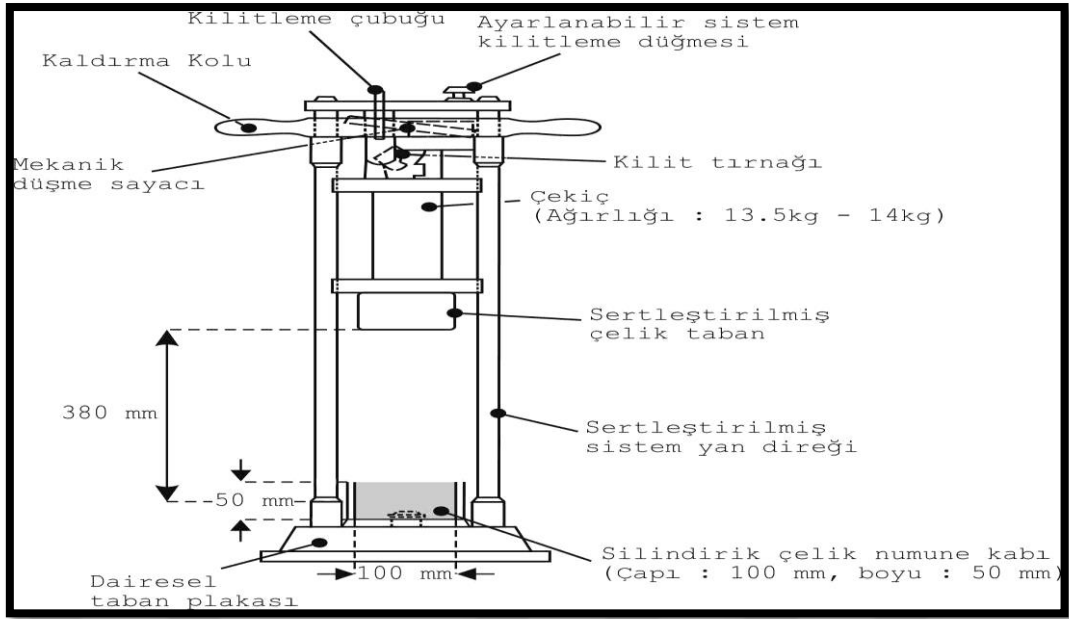
$$LA = \frac{5000 - m}{50} \quad (2.5)$$

m: 1,6 mm'lik elek üzerinde kalan malzeme miktarı (g)

### 2.6.2 Agregaya Darbe Dayanımı

Darbe dayanımı, standart boyutlardaki kayaçların belirli bir doğrultuda darbelere karşı gösterdiği dirençtir. Kayaçların kullanım alanlarının belirlenmesinde darbe dayanımının bilinmesi önemli bir konudur. Deney standardı, BS 812-112:1990 Agregaya Darbe Dayanımı İndeksi Yöntemi ve IS 2386-4 Beton İçin Agregaya İçin Test Yöntemleri ve Mekanik Özellikler – Bölüm 4: Agregaya Etki Değerinin Belirlenmesi standartlarıdır.

Agregaya darbe dayanımı deney aleti, iki kolonlu serbest düşme haznesi üzerine ağırlık bırakma mekanizması serbest düşüşü sağlamak amacıyla kullanılır. Dahili sayaç ile düşme sayısı takip edilebilir. Minimum aşınma için sertleştirilmiş çelik yüzeyli ve korozyona karşı galvaniz kaplı yapıda üretilirler. Şekil 2.5'de agregaya darbe dayanımı aleti gösterilmiştir.



**Şekil 2.5** Agrega darbe dayanımı aleti (IS 1963).

Agrega darbe dayanımı deneyinde, 12,5 mm’lik elekten geçen ve 10 mm’lik elek üzerinde kalan agregalar kullanılır. Agrega öncelikle etüvde 105°C’de 4 saat bekletilir ve desikatörde soğutulduktan sonra deneye tabi tutulur. Numune kütlesi en az 500 g agreg a kullanılır. Numune deney cihazı haznesine koyulur ve cihazın çelik gövdeli çekiç kısmı 15 kez hazne üzerine 380 mm’lik bir mesafeden bırakılır. Her serbest düşme arası zaman aralığı 1 saniyeden fazla olmalıdır. 15 düşmeden sonra hazne içindeki numune alınır ve 2.36 mm’lik elekten geçirilir. 2.36 mm’lik elekten geçen malzeme ile elek üstünde kalan malzeme toplamı, deneye tabi tutulan malzeme miktarından 1 g’dan daha az olmamalıdır. Aksi durumda deneyin tekrar edilmesi gerekmektedir.

Agrega darbe dayanımının hesaplanması:

Agrega darbe dayanım indeksi, 2,36 mm’lik elekten geçen malzeme miktarının başlangıçta deneye tabi tutulan malzeme miktarına yüzde olarak oranıdır.

$$AIV = \frac{B}{A} * 100 \quad (2.6)$$

A: Başlangıçta tartılan malzeme miktarı (g)

B: 2,36 mm’lik elekten geçen malzeme miktarı (g)

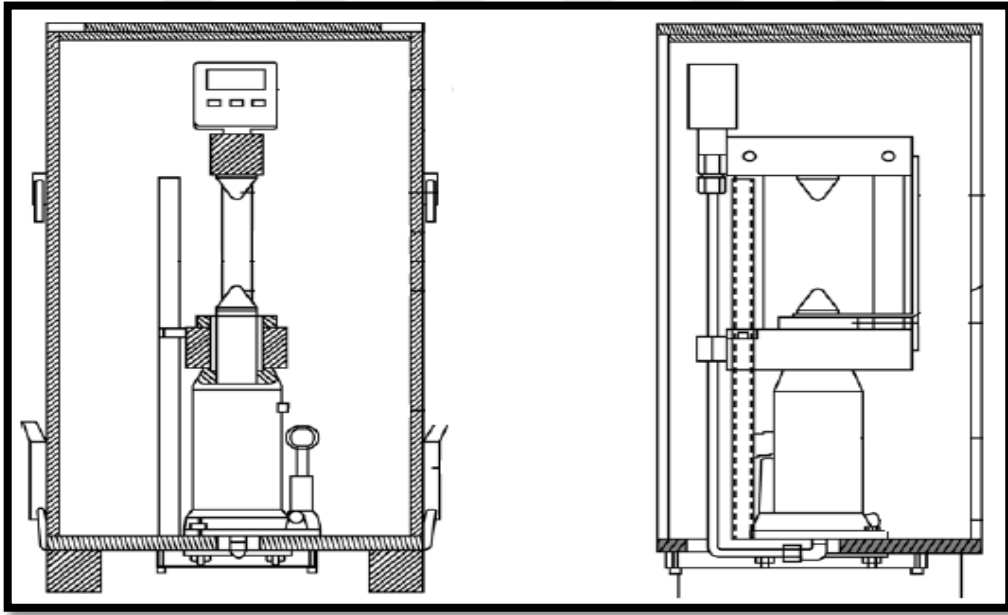
Bulunan sonuca göre agreg a darbe dayanım sınıflaması Çizelge 2.5’te verilmiştir.

**Çizelge 2.5** Agrega darbe dayanımı sınıflaması (IS 1963).

| Agrega Darbe Dayanım Sınıflandırması           | İndeks Değeri (%) |
|------------------------------------------------|-------------------|
| Çok Yüksek                                     | <10               |
| Yüksek                                         | 10 - 20           |
| Orta Yüksek (Yol kaplamaları için)             | 20 - 30           |
| Düşük (Yol kaplamaları için zayıf-uygun değil) | >35               |

### 2.6.3 Nokta Yüğü Dayanımı İndeksi

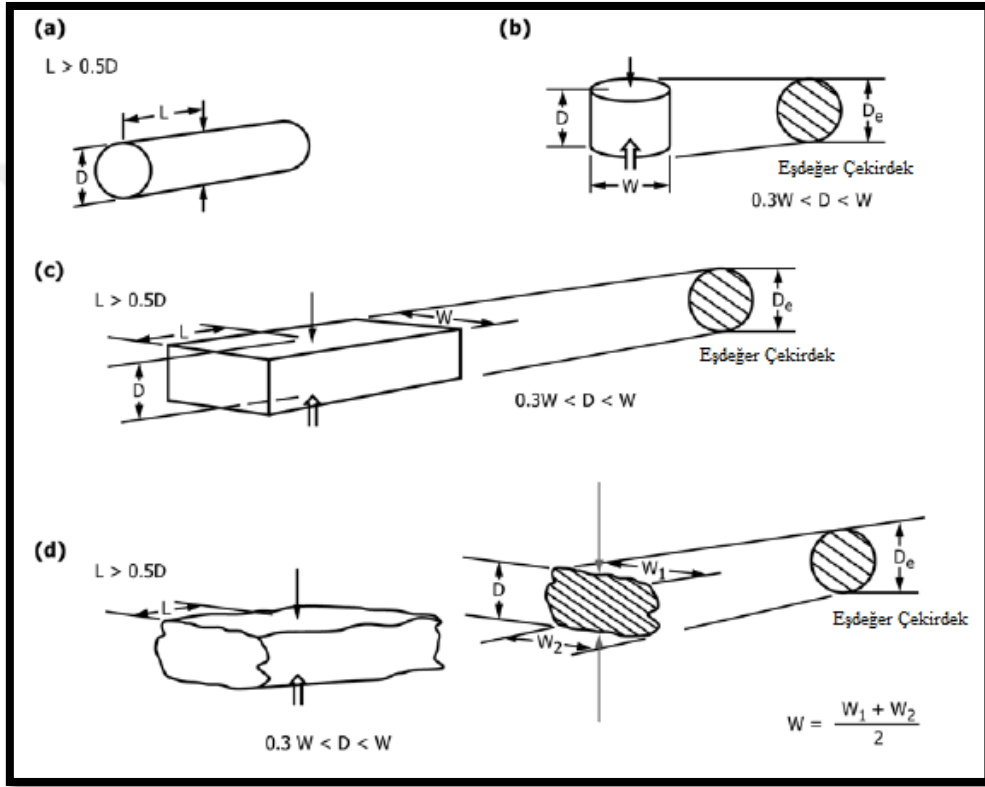
Nokta yüğü dayanımı indeksi, kaya malzemesinin dayanımını belirlemek için yapılan bir deneydir. Deney düzeneğinin basit bir yapıda olması ve taşınabilmesi sebebiyle laboratuvar ve arazide pratik olarak uygulanmaktadır. Test kaya malzemelerinin dayanımının kolay bir şekilde belirlenebilmesi için ilk kez 1972 yılında Uluslararası Kaya Mekanik Derneği (ISRM) tarafından önerilmiştir. Tipik nokta yüğü dayanımı indeksi deney ekipmanı Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



**Şekil 2.6** Tipik nokta yüğü dayanımı indeksi deney ekipmanı (ASTM 2008).

Nokta yüğü dayanım deneyi silindirik ve şekilsiz örnekler üzerinde yapılmaktadır. ISRM standartlarına göre hazırlanan numunelerde çapsal yükleme için  $L/D > 1$  olması (tercihen  $L/D = 1-1,4$ ), eksenel deneylerde ise kalınlık(D)/genişlik(W) oranının 0,3 ile 1 arasında olması gerekmektedir (Şekil 2.7). Blok ve düzensiz örneklerde ise kalınlık ve genişlik oranının

$0,3 < D/W < 1$  şeklinde olmalıdır. Uygun geometrik koşulların sağlanmasından sonra numuneler  $60^\circ$ 'lik tepe açısına sahip olan konik uçlara yerleştirilir. Numunelerin konik uçlara yerleştirilmesinde bazı kaidelerin yerine getirilmesi gerekir. Farklı test türleri için kullanılabilen numuneler Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Çapsal yükleme numune uzunluğunun yarısından daha fazla bir mesafeden (Şekil 2.7a), aksel yüklemde yaklaşık numune yarıçapından (Şekil 2.7b), blok ve düzensiz örneklerde ise çapsal yüklemeye benzer bir şekilde yükleme yapılmalıdır (Şekil 2.7c ve Şekil 2.7d).

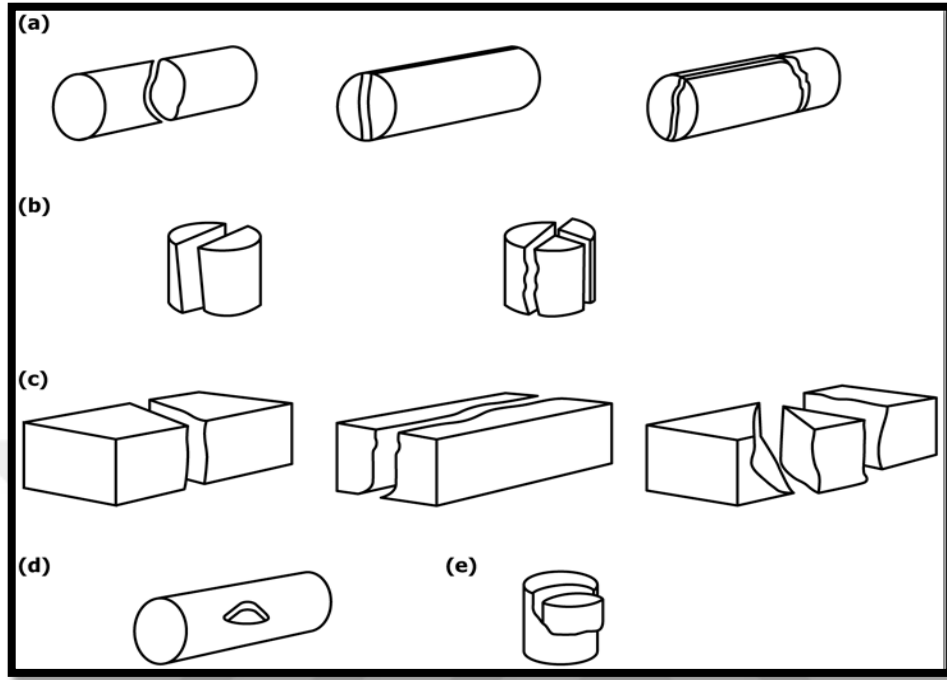


a) çapsal b) aksel c) blok d) düzensiz

**Şekil 2.7** Farklı test türleri için numuneler - örneklerde önerilen geometrik şartlar ve yükleme koşulları (ASTM 2008).

Uygun şekilde konik uçlara yerleştirilen numuneler kriko kolu ile nispeten sabit hızla sıkıştırılır. Numuneler ISRM (1985)'ye göre 10 ile 60 saniye arasında yenilecek şekilde kırılarak yenilmeyi sağlayan kuvvetler F (kN) kaydedilir. Numune yenildikten sonra bir sonraki numunenin deney düzeneğine konulması için kriko kolunun sol altındaki mandal gevşetilir. Böylece kriko düzeneği serbest hale gelir. Daha sonra ise kriko numunenin yerleştirilmesi için gerekli olan mesafeye kadar indirilerek yeni numune deney düzeneğine konulur. Deneylere bu

şekilde sistematik olarak devam edilebilir. Geçerli ve geçersiz sınamalar için tipik başarısızlık modları Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



a) Geçerli çapsal testler   b) Geçerli eksenel testler   c) Geçerli blok testleri  
d) Geçersiz çapsal test   e) Geçersiz eksenel test

**Şekil 2.8** Geçerli ve geçersiz sınamalar için tipik başarısızlık modları (ASTM 2008).

Nokta yükü dayanım indeksi hesaplanması:

Çapsal yükleme yapılan deneylerde düzeltilmemiş nokta yükü dayanımı ( $I_s$ , MPa) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmaktadır. Burada  $F$  kaya malzemesinin yenildiği yükü (kN)  $D_e$  ise eş değer karot çapı (mm) olarak tanımlanmaktadır.

$$I_s = \frac{F}{(D_e)^2} \quad (2.7)$$

Çapsal deneylerde eşdeğer karot çapı  $D_e^2 = D^2$  olurken, eksenel blok ve düzensiz örneklerde yapılan deneylerde ise  $D_e^2 = \frac{4 \times A}{\pi}$ ,  $A = W \times D$  olarak hesaplanmaktadır.

Burada D (mm) silindirik numunelerin çapını, A (mm<sup>2</sup>) ise konik başlıklardan geçen en küçük kesit alanını temsil etmektedir. W numune genişliği olmakta buna karşın şekil 2.4b, 2.4c ve 2.4d’de görülen D uzunluğu ise çapsal yüklemenin aksine numune çapı değil numune kalınlığı olarak tanımlanmaktadır.

I<sub>s</sub> değerinin standart bir karot çapına (D=50mm) göre düzeltilmesi ISRM (1985) tarafından onerilmektedir. Aşağıdaki eşitlikte ifade edilen üssel bağıntı kullanılarak bir düzeltme katsayısı elde edilir. Bu düzeltme katsayısının hesaplanmasındaki amaç, ortak bir eşdeğer karot çapının kullanılabilmesi içindir. Bundan dolayı, nokta yükü dayanımının I<sub>s</sub> değeri yerine I<sub>s(50)</sub> değeri olarak ifade edilmelidir.

$$F = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0,45} \quad (2.8)$$

Burada F nokta yükü dayanımı düzeltme katsayısı, D<sub>e</sub> ise eşdeğer karot çapıdır ve birimi milimetredir. Düzeltmiş nokta yükü dayanımı ise (I<sub>s(50)</sub>) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir.

$$I_{s(50)} = F \times I_s \quad (2.9)$$

Yüksek derecede anizotropi içeren kayaçlarda nokta yükü dayanım deneyi en az 10 adet yapılmalıdır. Bu değerlerden en büyük ve en küçüğü atılarak diğerlerinin ortalamasının alınmasıyla ortalama nokta yükü dayanımı belirlenmektedir. Nokta yükü dayanımı indeksi sınıfı izelge 2.6’da gösterilmiştir.

Eğer kaya malzemesi süreksizlik içeriyorsa (tabakalanma, kalsit veya kil bantları, şistozite, klivaj ve kesilme zonu gibi) süreksizliğe dik ve paralel yapılan nokta yükü dayanım değerleri birbirinden farklı çıkacaktır. Dayanım anizotropisi indeksi (I<sub>a(50)</sub>) süreksizlik düzlemine dik ve paralel yönde ölçülen değerlerin bir oranına eşit olup aşağıdaki eşitlik ile belirlenebilir.

**Çizelge 2.6** Nokta yükü dayanımı indeksi sınıflandırması (Bieniawski 1975).

| Kayaç Sınıfı | $I_{s(50)}$ (MPa) |
|--------------|-------------------|
| Çok Yüksek   | >8                |
| Yüksek       | 8-4               |
| Orta         | 4-2               |
| Düşük        | 2-1               |
| Çok Düşük    | <1                |

$$I_{a(50)} = \frac{I_{s(50)} \text{ (dik yönde)}}{I_{s(50)} \text{ (paralel yönde)}} \quad (2.10)$$

$I_{a(50)}$  değeri =1 koşulu kayacın izotrop  $I_{a(50)} > 1$  koşulu ise kayacın anizotrop olduğunu göstermektedir.

## 2.7 ÇAKIL AGREGALARIN KULLANIM ALANLARI VE ÖZELLİKLERİ

Agrega malzemelerinin en yaygın kullanım alanı beton bileşeni olmasıdır. Agregat betonun % 60-80'ini oluşturan mineral kökenli taneli malzemedir. Beton agregaları için en küçük boyut tane boyutu 0,06 mm'dir. Beton literatüründe kabaca 4,75 mm'den küçük ince taneli malzemeye "ince agregat" veya sadece "kum" denilir. "İri agregat" ise 4,75 mm ile en büyük boyut  $d_{max} = 40$  mm betonarme betonunda arasındaki taneli malzemeyi tanımlar. TS EN 206-1'in uygulamasına yönelik tamamlayıcı TS 13515 standartta beton bileşeni olarak en büyük agregat tane büyüklüğü 32 mm olarak belirtilmektedir (TS 2014).

Kıyı ve deniz yapıları betonunda kullanılacak olan agregaların donma ve çözülme, ısınma ve soğuma, ıslanma ve kuruma sırasında kırılma ve parçalanmaya karşı dayanıklı olmaları şarttır. Özellikle deniz yapılarında agregaların sülfatlı ve klor iyonlu ortamda bulunmaları nedeniyle sağlamlık deneyleri daha çok önem kazanmaktadır (DLH, 2007). Kıyı ve deniz yapıları ile ilgili olarak genelde İngiltere İnşaat Sektörü Araştırma ve Enformasyon Kurumu (CIRIA) ve Hollanda İnşaat Mühendisliği Araştırma ve Standartlar Merkezi (CUR) tarafından yayınlanan Kıyı Mühendisliği El Kitabı (1991) ile Karayolları Teknik şartnamesinde belirtilen esaslar ve sınır değerler dikkate alınmaktadır (DLH, 2007). Çizelge 2.7'de kıyı yapılarında kullanılacak agregat malzemesi için deney sonuçlarına göre kaya dayanımı için rehber değerler (yoğunluk, su emme, don kaybı, nokta yükü dayanımı indeksi) ve sınıflamalar verilmektedir.

**Çizelge 2.7** Kıyı yapılarında kullanılacak agrega malzemesi için rehber değerler (DLH, 2007'den; CIRIA/CUR 1991).

| Deney                                       | Çok İyi | İyi     | Marjinal | Zayıf | Açıklamalar                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------------|---------|---------|----------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kaya Yoğunluğu ( $t/m^3$ )                  | >2,9    | 2,6-2,9 | 2,3-2,6  | <2,3  | Hidrolik stabiliteyi etkileyen fiziksel özellik. Sıkı fakat ayrılmış bazik kayalar dışında sağlamlığın iyi bir göstergesi.                                                                   |
| Su Emme (%)                                 | <0,5    | 0,5-2   | 2-6      | >6    | Parçalanmaya karşı direncin tek önemli göstergesi. Ayrışma direncinin iyi bir göstergesi. Geniş serbest drenej boşlukları bulunan boşluklu kireçtaşı için çoğun yanıtıcı sonuçlar verebilir. |
| Don Kaybı ( $MgSO_4$ ) (%)                  | <2      | 2-12    | 12-30    | >30   | Ayrışmaya karşı direnci gösterir. Sıcak kuru iklimlerde kullanılacak poroz sedimanter kayalar için önemli bir deney                                                                          |
| Nokta Yük Yükleme İndeksi $I_{s(50)}$ (MPa) | >8      | 4-8     | 1,5-4    | <1,5  | Tip 2 kırılmalarına karşı direnci gösterir. Çok sayıda örnek için hızlı bir deney. Büyük blokların darbe dayanımı için yanıtıcı olabilir.                                                    |

Çakıl agrega malzemesi kayaların parçalanmasından sonra akarsular tarafından taşınarak depo edilen iri taneli agregalardır. Agregalar doğadan (akarsu yatakları, deniz kıyıları) doğrudan doğruya taneli olarak temin edilebildikleri gibi taş ocağı işletmeciliğiyle üretilen taş bloklarının kırılıp eleme işlemleri sonucunda da elde edilebilirler (Arıoğlu vd. 2006). Kıyı yapılarında agrega çakıl malzemesinden beton bileşeni olarak yararlanılabilmektedir. Kıyı yapılarında (rıhtım yapıları vb.) kullanılan beton malzemesinde en büyük tane boyutu 30 mm olarak belirtilmiştir (DLH 2007). Tez çalışması kapsamında incelenen iri boyutlu çakıllar ve yuvarlatılmış taşlar kırma-eleme işlemleri ile kırma çakıl olarak kullanılabilir. Kırma çakıl agrega malzemesi karayollarında alt temel, kaba agrega, bitümlü sathi kaplama, bitümlü temel, taş mastik asfalt, poroz asfalt ve beton yol malzemesi olarak kullanım alanı bulmaktadır (KGM 2013). Çizelge 2.8'de belirtilen karayolları malzemeleri için agrega malzemesinden su emme, don kaybı ( $MgSO_4$ ) ve parçalanma direnci (Los Angeles aşınma dayanımı) için talep edilen sınır değerler verilmiştir.

**Çizelge 2.8** Karayolları için agrega malzemesinden talep edilen sınır değerler (KGM 2013'den faydalanılarak).

| Deney Adı                            | Alttemel Malzemesinin Şartname Limitleri | Kaba Agrega Malzemesinin Şartname Limitleri | Bitümlü Sathi Kaplama Malzemesinin Şartname Limitleri | Makadam Sathi Kaplama Malzemesinin Şartname Limitleri | Bitümlü Temel Malzemesinin Şartname Limitleri | Taş Mastik Asfalt Malzemesinin Şartname Limitleri | Poroz Asfalt Malzemesinin Şartname Limitleri | Beton Malzemesinin Şartname Limitleri |
|--------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------|
| Su Emme (%)                          | ≤ 3,5                                    | ≤ 3                                         | ≤ 2,5                                                 | ≤ 3                                                   | ≤ 2,5                                         | ≤ 2                                               | ≤ 2                                          | ≤ 2                                   |
| Don Kaybı (MgSO <sub>4</sub> ) (%)   | ≤ 25                                     | ≤ 20                                        | ≤ 18                                                  | ≤ 18                                                  | ≤ 18                                          | ≤ 14                                              | ≤ 10                                         | ≤ 18                                  |
| Parçalanma Direnci (Los Angeles) (%) | ≤ 45                                     | ≤ 35                                        | ≤ 30                                                  | ≤ 30                                                  | ≤ 30                                          | ≤ 25                                              | ≤ 25                                         | ≤ 30                                  |



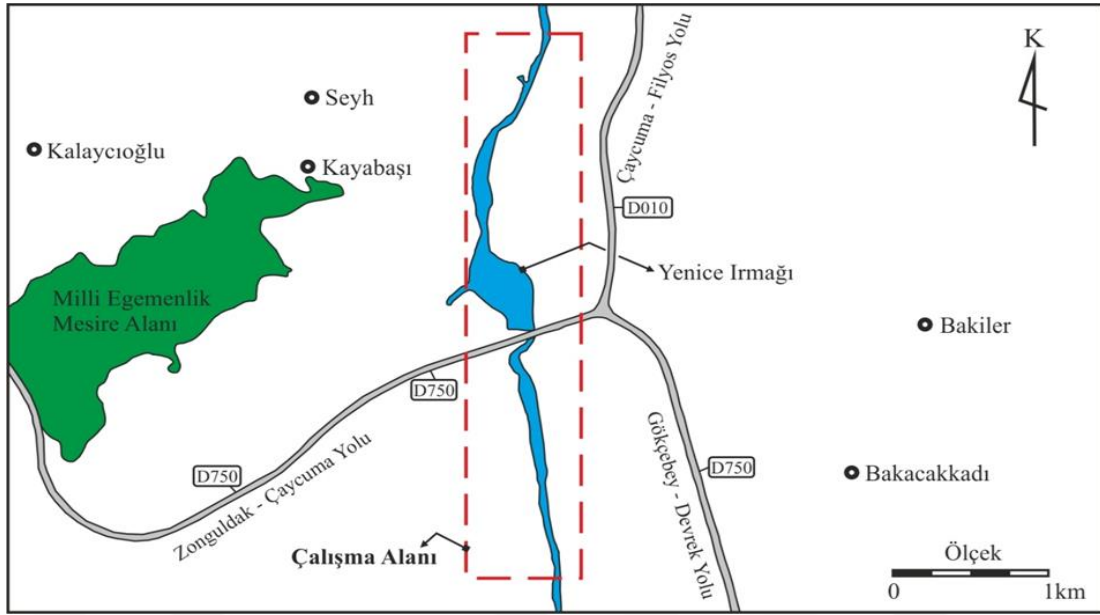
## BÖLÜM 3

### ARAZİ VE LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Tez çalışması kapsamında arazi ve laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Belirlenen çalışma alanından farklı litolojik özelliklere sahip iri çakıl numuneler alınmıştır. Çakıllar, derelerde suyun aşındırılması sonucu sivrilikleri kaybolmuş, toparlak biçimindeki bir taş ve kaya türünü oluşturmaktadır. Araziden alınan doğal çakıl agrega malzemeleri gözlem yöntemiyle çeşitli litolojilerine ayrılarak sınıflandırılmıştır. Agrega malzemesinin çeşitli özelliklerinin (fiziksel, petrografik, mekanik vb.) belirlenmesi için agrega deneyleri yapılmıştır. Agrega deneyleri kapsamında; deney numunesinin hazırlanması, petrografik incelemeleri, fiziksel özelliklerinin belirlenmesi, agreganın dona dayanıklılığı, Los Angeles deneyi, darbe dayanım indeksi deneyi ve nokta yükü dayanım deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmalardan elde edilen bulgular incelenip değerlendirilmiştir.

#### 3.1 ARAZİ ÇALIŞMALARI

Çalışmada kullanılan çakılların temin edildiği alan, Zonguldak ili, Devrek- Gökçebey yolu güzergahı ile Çaycuma-Filyos yolu güzergahının birleştiği Yenice ırmağıdır. Yenice ırmağının güney doğusunda Bakacakadı Beldesi, kuzey batısında Kalaycıoğlu tam batısında ise Milli Egemenlik Mesire Alanı bulunmaktadır. Çalışma alanının yer bulduru haritası Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Arazi çalışma alanına ait genel görünüm ise Şekil 3.2’de verilmiştir. Çakıl malzemesi stok yığın alan agrega üretiminin gerçekleştiği Yenice ırmağı kenarında yer almaktadır. Numuneler iri çakıl malzemesinin stoklandığı yığından seçilmiştir. Agrega yığını ağırlıklı olarak iri çakıl ve boyutları daha büyük olan yuvarlatılmış taş ile malzemelerinden oluşmaktadır. Araziden alınan numuneler gözlem ve inceleme yöntemi ile belirlenen litolojileri sınıflandırılarak ayrı sandıklarda toplanmıştır. Arazide numunelerin litolojilerine göre sınıflandırması Şekil 3.3’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.1** Çalışma alanı yer bulduru haritası.



**Şekil 3.2** Çalışma alanına ait görüntü.



**Şekil 3.3** Arazide numunelerin litojilerine göre ayırma işlemi.

Araziden alınan numuneler gerekli hassasiyet gösterilerek karayolu ulaşımı ile Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği laboratuvarına getirilmiştir. Arazide gözlemsel yöntem ile sınıflandırılması yapılan numunelerden laboratuvarda petrografik incelemesi yapılması için numuneler alınmış ve ana kayaç türleri belirlenmiştir.

### 3.2 LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

#### 3.2.1 Deney Numunelerinin Hazırlanması

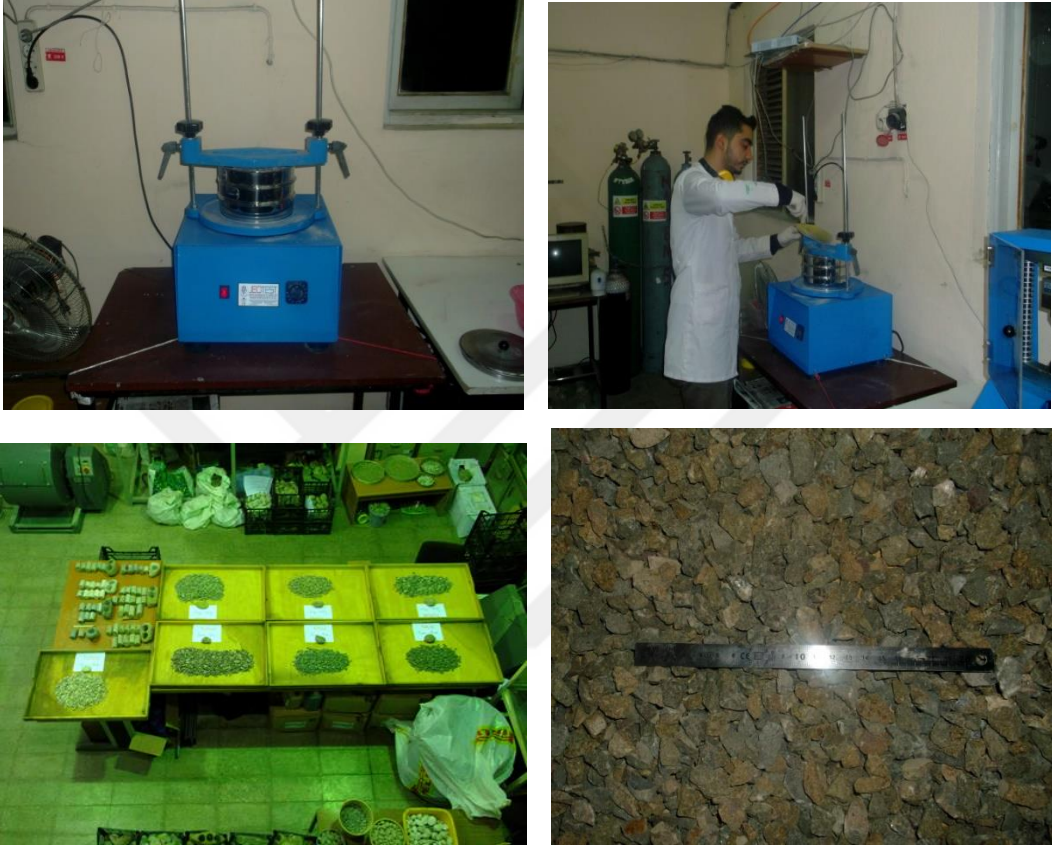
Numuneler kullanım amacına göre ilgili standartlarda belirtilen deneylerin uygulanabilmesini sağlayan nicelik ve nitelikteki agregalardır. Deney numuneleri uygun yöntemler ile küçültülerek, uygulanacak deneyler için yeterli miktarlarda tane boyuna indirilmiş numune kümeleri oluşturulmuştur. Deney numunelerini istenilen boyutta küçültülmeleri için, çeneli kırıcıda kırılması sağlanmıştır. Kullanılan çeneli kırıcının belli bir kırma boyutu olduğundan kırma kapasitesini aşmaması ve makinenin zarar görmemesi için iri boyutlu çakıl örneklerinin çeneli kırıcıya beslenmesi yapılmadan belli bir oranda boyutlarının kırılarak indirgenmesi gerekli olmuştur. Numuneler ilk önce balyoz ile belli oranda kırılması yapılarak kırma işlemi gerçekleştirilir. Belli oranda kırılan numuneler çeneli kırıcıya beslenerek deney için istenilen boyutta küçültülmeleri sağlanır. Numunelerin balyoz ve çeneli kırıcı ile kırma işlemi Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Numunelerin balyoz ve çeneli kırıcı ile kırma işlemi.

Çeneli kırıcı ile belli boyutlara küçültülen numuneler agrega deney standartlarında istenilen boyutta olması için eleme işlemine tabi tutulur. Agrega numunelerine deney standartlarına göre,

10 mm, 12,5 mm ve 14 mm arasında boyutlarında eleme işlemi yapılır. Agregaların istenilen boyutlarda eleme işlemi ve hazırlanmış numuneler Şekil 3.5'te gösterilmiştir. Çene ağzı açıklığı 100x100 mm, çenelerin alt açıklığı 0-30 mm aralığında ayarlanarak değiştirilebilmektedir. Kırıcı çeneler sert malzemeleri öğütebilecek kadar sert ve aşınmaya karşı özel manganlı çelik yatak bilyalar ile donatılmıştır.



**Şekil 3.5** Agregaların istenilen boyutlarda eleme işlemi.

Kayaçların fiziksel özelliklerinin belirlenmesi ve diğer kaya mekaniği deneyler için numune hazırlanması için BX tipi 42 mm çapındaki karotiyer kullanılarak örnekler alınmıştır. İri çakıl numunelerden karot alma işlemi Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



**Şekil 3.6** Numunelerden karot alma işlemi.

Karot alınan numuneler, ISRM (1981) tarafından önerilen boyutlarda kesilmiştir. Karotların disk kesici ile boyutlarının kesilmeleri Şekil 3.7’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.7** Karotların disk kesici ile boyutlarının kesilmeleri.

ISRM (1981)’de belirtildiği gibi numunelerin alt ve üst yüzeyleri en fazla 0,02 mm’ye kadar bir hata ile düzgün olmalı ve örnek eksenine diklik hassasiyeti 0,001 radyan ya da 50 mm’de 0,05 mm sapmadan küçük olmalıdır. Bunun gerçekleştirilmesi için numuneler önce taşlama

makinasında daha sonra da zımpara kağıtları kullanılarak pürüzsüz yüzeylerin elde edilmesine çalışılmıştır. Şekil 3.8’de numunelerin pürüzsüz yüzey elde edilmesi gösterilmiştir.



**Şekil 3.8** Numunelerden pürüzsüz yüzey elde edilmesi.

Numuneler hazırlandıktan sonra tek tek kumpas ile boy ve çapları ölçülmüş, kuru ağırlıkları tartılmıştır. Numunelerin kumpas ile ölçülmesi Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



**Şekil 3.9** Numunelerin kumpas ile ölçülmesi.

### 3.2.2 Petrografik İncelemeler

Kırılmamış dere çakılları üzerinde yapılan litolojik ve petrografik incelemeler sonucunda dere çakılları litolojik olarak başlıca; kireçtaşı, andezit, granit-granodiyorit, kumtaşı ve konglomera.

Laboratuvara getirilen dere çakılı agregalarının petrografik analizleri TS 10088 EN 932-3 (1997) standardına uygun olarak yapılmıştır. Dere çakıllarının petrografik analizleri, çakılların litolojilerine göre ayırtlanması ve her litolojinin jeolojik ve petrografik özelliklerinin tanımlanması şeklindedir. Petrografik analizler için numunelere ait ince kesitlerden yararlanılmıştır. Kırılmamış dere çakıllarında ayırtlanan 7 farklı litolojinin (Şekil 3.10, Şekil 3.11) genel litolojik ve petrografik bulgular aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

Litolojisi Andezit olan dere çakılları genellikle gri ve sarımsı renklerde gözlenmekte olup, andezitler genellikle hamur fazı ve Na açısından zengin (Albit ve Oligoklas) Feldispat minerallerinden oluşmaktadır. Andezitler Hiyalopilitik dokuda olup, Andezit çakıl yüzeylerinde oksitlenmeye bağlı olarak Limonit ve Götit mineralleri içeren ayrışma – bozunma izlerine rastlanmaktadır.

Litolojisi kireçtaşı olan dere çakılları radyolaritli-çörtlü ve oolitik olarak iki farklı sınıfta değerlendirilebilir. Radyolaritli-çörtlü kireçtaşları genellikle kırmızımsı renkte olup, 1 cm ile 4 cm arasında değişen kalsit damarları içermektedir. Oolitik kireçtaşları koyu gri, gri renklerde olup, 0,5 cm ile 2,0 cm arasında değişen kalsit damarları içermektedir. Bazı oolitik ve radyolaritli-çörtlü kireçtaşı çakıl yüzeylerinde yer yer oksitlenmeye bağlı ayrışma – bozunma izlerine rastlanmıştır.

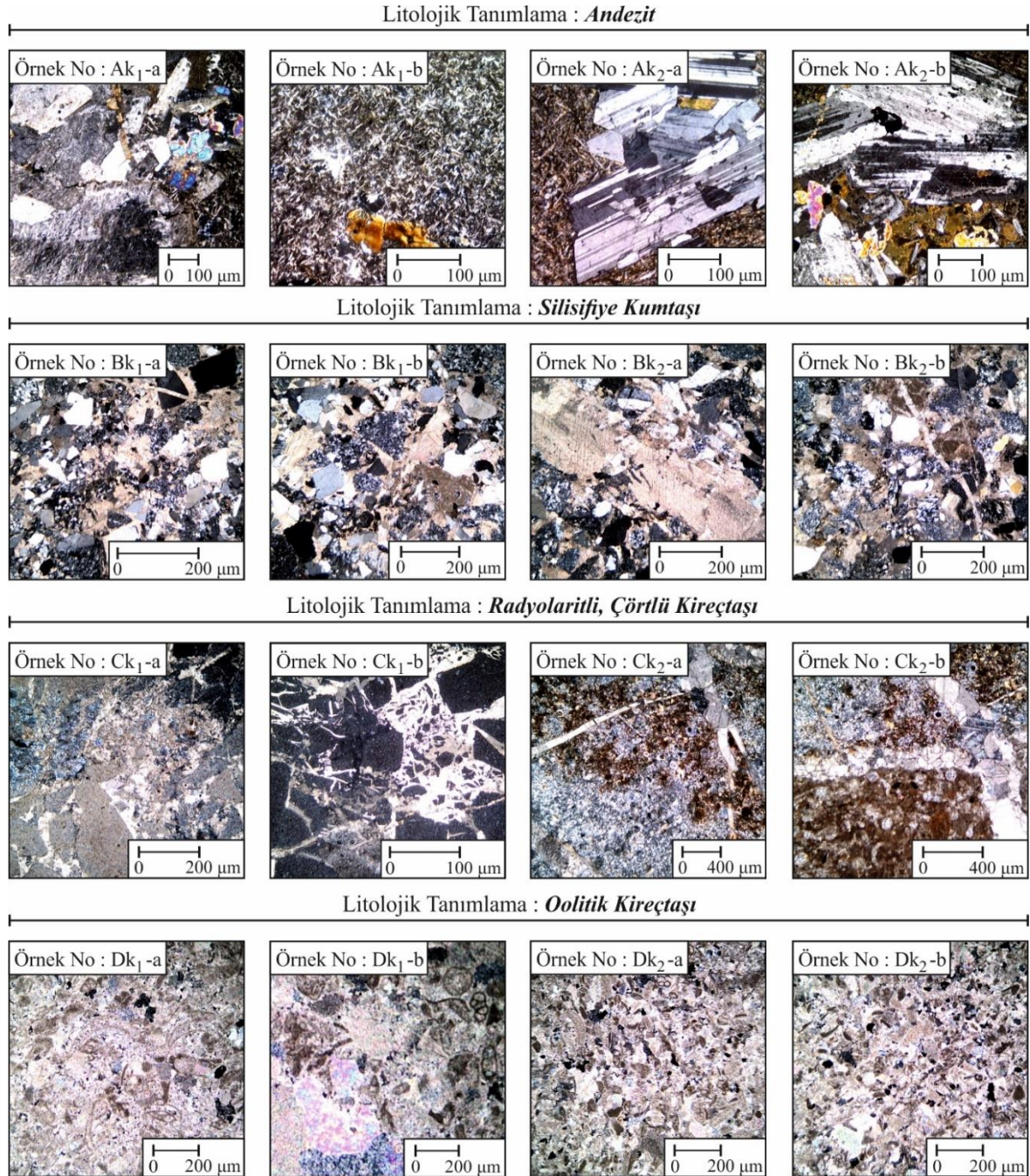
Litolojisi granit-granodiyorit olan dere çakılları faneritik dokuda olup, genellikle siyah, koyu yeşil ve koyu gri renklerde gözlenmektedir. Granodiyorit olan dere çakılları genellikle Kuvars, Na açısından zengin Feldispat (Albit, Oligoklas), Biyotit ve Hornblend minerallerinden oluşmaktadır. Feldispat minerallerinde Limonitleşme, Hornblend ve Biyotit minerallerinde ise kloritleşme şeklinde ayrışma – bozunma izleri gözlenmektedir.

Litolojisi kumtaşı olan dere çakılları, kuvars, feldispat ve kayaç parçasından oluşmakta olup, kumtaşları ince tanelidir. Kumtaşları silis çimentolu olup, 0,1 cm ile 1,2 cm arasında kuvars damarları içermektedir. Bazı kumtaşı çakıl yüzeylerinde ayrışma – bozunma izlerine rastlanmasına karşın, silisifiye kumtaşı çakıl yüzeylerinde ayrışma – bozunma izine rastlanmamıştır.

Litolojisi konglomera olan dere çakıllarının tane boyutu 0,1 cm ile 1,0 cm arasında değişmektedir. Konglomera karbonat ve silis çimentolu olup, genellikle andezit, kireçtaşı, granodiyorit ve kumtaşı parçalarından oluşmaktadır. Çakıl yüzeylerinde yer yer oksitlenme izleri gözlenmektedir. Kuvarsit

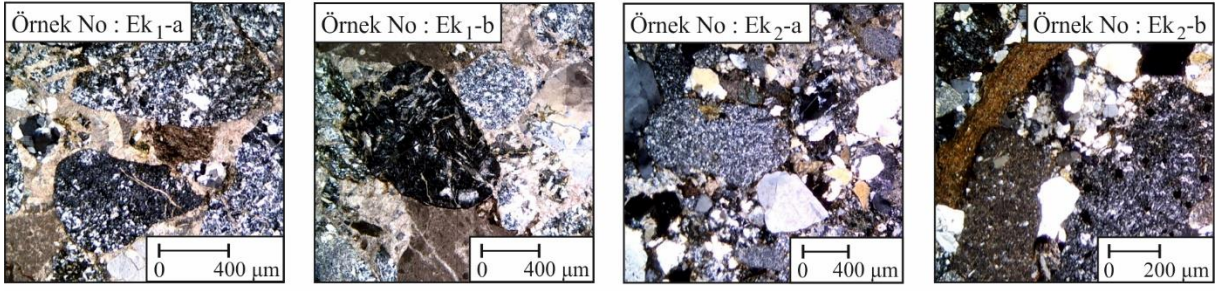
akılları çok ince taneli olup, bazı konglomera çakıllarda ayrışma – bozunma işaretlerine rastlanmamıştır.

Petrografik incelemeler sonucunda 7 farklı litolojiye göre ayrılan ve isimlendirilen agrega çakıl numuneleri deneyler öncesinde uygun saklama ortamında ayrı sandıklarda muhafaza edilmiştir (şekil 3.12).

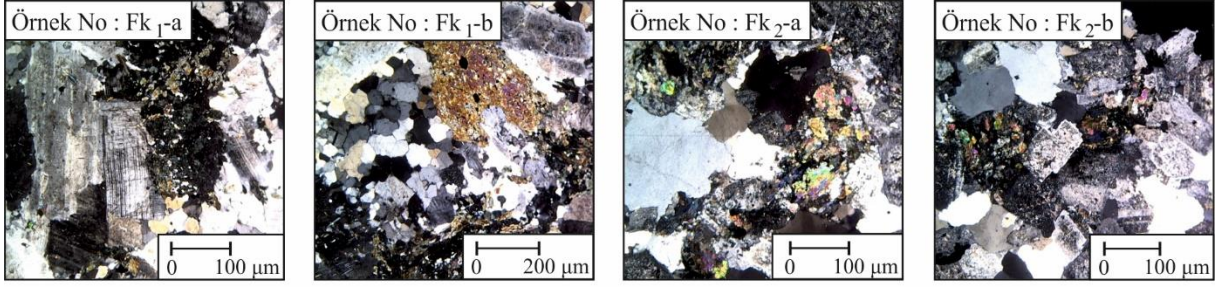


**şekil 3.10** Andezit, silisifiye kumtaşı, radyolaritli-çörtlü kireçtaşı ve oolitik kireçtaşı kayaç türlerinin ince kesit görüntüleri.

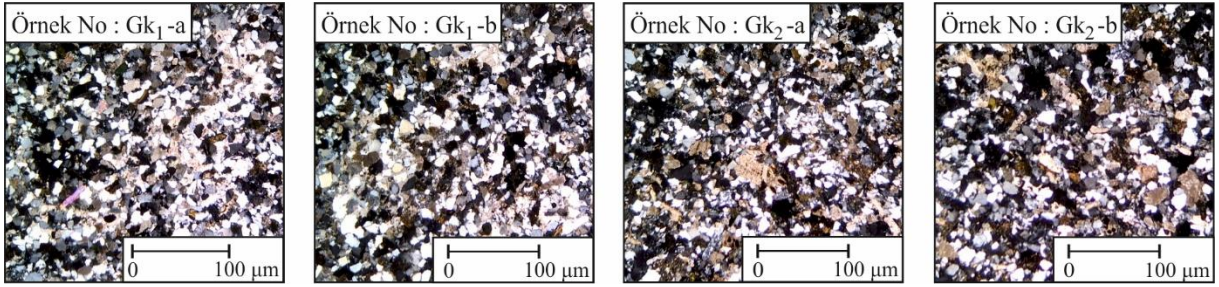
Litolojik Tanımlama : *Konglomera*



Litolojik Tanımlama : *Granit, Granodiyorit*



Litolojik Tanımlama : *Kumtaşı*



Şekil 3.11 Konglomera, granit-granodiyorit ve kumtaşı kayaç türlerinin ince kesit görüntüleri.



Şekil 3.12 Petrografik incelemeler sonucunda 7 farklı litolojiye ayrılan ve hazırlanan agrega çakıl numuneleri.

### 3.2.3 Kayaçların Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Kayaçların fiziksel özellikleri atmosferik şartlarda 18-20°C'deki suyun içinde 72 saat bekletilen andezit, kumtaşı, radyolaritli-çörtlü kireçtaşı, silisifiye kumtaşı, granit-granodiyorit, oolitik kireçtaşı ve konglomeralardan oluşan disk şeklindeki karot numunelerin kullanılmasıyla elde edilmiştir (Şekil 3.13). 72 saat içinde doygunluğa eriştiği kabul edilen numunelerin doygun ağırlıkları tartılmıştır. Numuneler daha sonra 105°C'deki etüvde kurutularak kuru ağırlıkları tartılmış ve kaya malzemelerinin fiziksel özellikleri belirlenmiştir (Çizelge 3.1). Numunelerin desikatörde suyun içinde bekletilmesi ve tartımı Şekil 3.14'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.13** Fiziksel özellikler deneyleri için hazırlanan disk şeklindeki karot numuneleri.

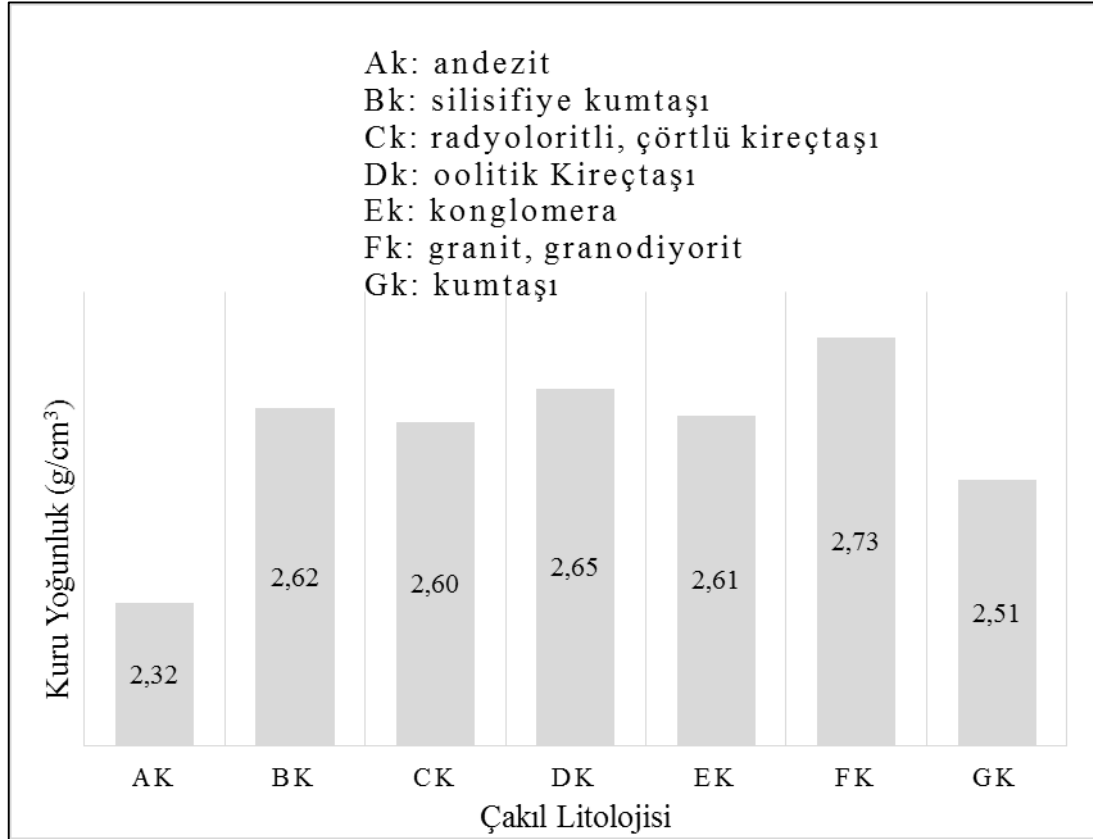


**Şekil 3.14** Numunelerin desikatörde suyun içinde bekletilmesi ve tartımı.

**Çizelge 3.1** İncelenen kayalara ait fiziksel özellikler.

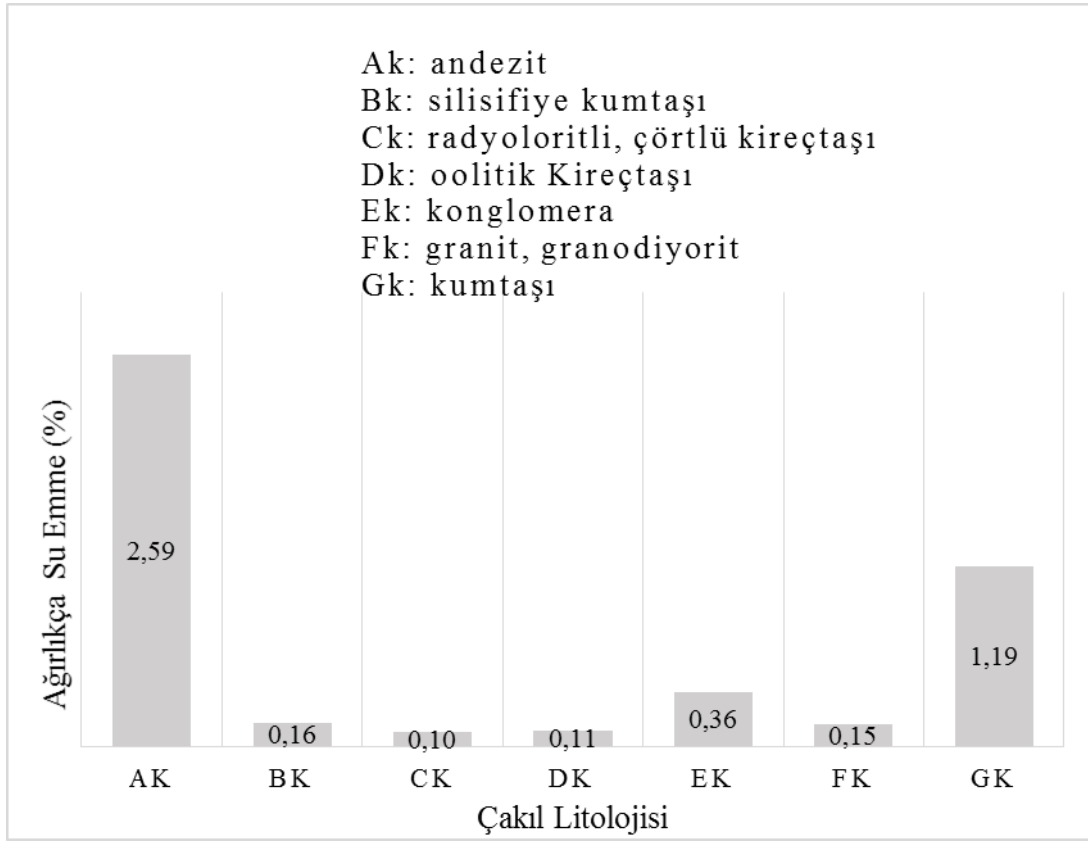
| <b>Kayaç Türü</b>             | <b>Numune Adedi</b> | <b>Ağırlıkça Su Emme, <math>w_a</math> (%)</b> | <b>Görünür Gözeneklilik, <math>n</math> (%)</b> | <b>Kuru yoğunluk, <math>\rho_k</math> (g/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>Doygun yoğunluk, <math>\rho_d</math> (g/cm<sup>3</sup>)</b> | <b>Kuru birim hacim ağırlık, <math>\gamma_k</math> (kN/m<sup>3</sup>)</b> | <b>Doygun birim hacim ağırlık, <math>\gamma_d</math> (kN/m<sup>3</sup>)</b> |
|-------------------------------|---------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Andezit                       | 15                  | 2,59 ± 0,95                                    | 5,95 ± 2,04                                     | 2,32 ± 0,08                                                  | 2,38 ± 0,06                                                    | 22,73 ± 0,77                                                              | 23,31 ± 0,59                                                                |
| Silisifiye Kumtaşı            | 15                  | 0,16 ± 0,09                                    | 0,42 ± 0,23                                     | 2,62 ± 0,03                                                  | 2,62 ± 0,03                                                    | 25,69 ± 0,30                                                              | 25,73 ± 0,31                                                                |
| Radyolaritli-Çörtlü Kireçtaşı | 14                  | 0,10 ± 0,01                                    | 0,26 ± 0,02                                     | 2,60 ± 0,07                                                  | 2,60 ± 0,07                                                    | 25,48 ± 0,64                                                              | 25,51 ± 0,65                                                                |
| Oolitik Kireçtaşı             | 10                  | 0,11 ± 0,03                                    | 0,28 ± 0,08                                     | 2,65 ± 0,03                                                  | 2,65 ± 0,03                                                    | 25,96 ± 0,30                                                              | 25,99 ± 0,30                                                                |
| Konglomera                    | 13                  | 0,36 ± 0,27                                    | 0,92 ± 0,69                                     | 2,61 ± 0,05                                                  | 2,62 ± 0,05                                                    | 25,63 ± 0,52                                                              | 25,72 ± 0,46                                                                |
| Granit-Granodiyorit           | 8                   | 0,15 ± 0,08                                    | 0,41 ± 0,20                                     | 2,73 ± 0,11                                                  | 2,74 ± 0,11                                                    | 26,80 ± 1,09                                                              | 26,84 ± 1,08                                                                |
| Kumtaşı                       | 13                  | 1,19 ± 1,09                                    | 2,89 ± 2,50                                     | 2,51 ± 0,11                                                  | 2,54 ± 0,08                                                    | 24,64 ± 1,04                                                              | 24,93 ± 0,80                                                                |

Farklı litolojiye sahip olan kayaç türleri için belirlenen kuru yoğunluklar sütun grafiği üzerinde Şekil 3.15’de gösterilmiştir. Kıyı ve deniz yapıları ile ilgili olarak İngiltere İnşaat Sektörü Araştırma ve Enformasyon Kurumu (CIRIA) ve Hollanda İnşaat Mühendisliği Araştırma ve Standartlar Merkezi (CUR) tarafından önerilen yoğunluk sınıflandırmasına (1991) göre incelenen kaya türleri iyi ve orta (marjinal) sınıfta yer almaktadır. Kayaçlarda yükseklik yoğunluk değerleri sağlamlığın bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir.



**Şekil 3.15** Farklı litolojiye sahip olan kayaç türleri için belirlenen kuru yoğunluklar.

Farklı litolojiye sahip olan kayaç türleri için belirlenen ağırlıkça su emme değerleri sütun grafiği üzerinde Şekil 3.16’da gösterilmiştir. CIRIA ve CUR (1991) tarafından önerilen su emme sınıflandırmasına göre incelenen kaya türleri arasında andezit orta, kumtaşı iyi ve diğer kayaç türleri ise çok iyi sınıfta yer almaktadır. Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından hazırlan karayolu teknik şartnamesine (2013) ve beton yol teknik şartnamesine (2016) göre edilen su emme yüzdeleri andezit kaya haricinde kırma çakıl agrega malzemesi olarak karayollarında alt temel, kaba agrega, bitümlü sathi kaplama, bitümlü temel, taş mastik asfalt, poroz asfalt ve beton yol malzemesi olarak uygunluk sağlamaktadır. Andezit kaya türünden elde edilen kırma çakıl malzemesi ise alt temel ve kaba agrega sınır koşullarını sağlamaktadır.



Şekil 3.16 Farklı litolojiye sahip olan kayaç türleri için belirlenen su emme değerleri.

### 3.2.4 Mekanik Dayanım Özelliklerin Belirlenmesi İçin Yapılan Deneyler

#### 3.2.4.1 Los Angeles Aşınma Dayanımı Deneyi

Bu deney, TS EN 1097-2 Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini İçin Metotlar standardına göre yapılmıştır. Andezit, kumtaşı, radyoloritli-çörtlü kireçtaşı, silisifiye kumtaşı, granit-granodiyorit, oolitlik kireçtaşı ve konglomeralardan oluşan 7 farklı deney numuneleri Los Angeles deneyi ile parçalanma direnci için; numuneler öncelikle 10 mm ile 14 mm arasında boyuta indirgenerek her birinden deney kısmının kütlesi olarak 5000 gram olacak şekilde numuneler elde edilmiştir. Numuneler daha sonra yıkanmış ve sabit kütleye ulaşınca kadar 110°C’de etüvde kurutulmuş ve numuneler hazır hale getirilmiştir. Los Angeles deneyi için numunelerin hazırlanması Şekil 3.17’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.17** Los Angeles deneyi için numunelerin hazırlanması.

Los Angeles deney aletine, numuneyi yüklemekten önce tamburun temiz olup olmadığı kontrol edildikten sonra makineye önce bilyalar, sonra deney kısmı konulur ve kapak kapatılır. Los Angeles deney makinesi Şekil 3.18’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.18** Los Angeles deney makinesi.

Makine 31 devir/dakika ile 33 devir/dakika arasında sabit hızda 500 devir ayarlanır ve döndürülür. Dönme işlemi tamamlandıktan agregaya kaybını önlemek için açıklık tepsinin tam üstüne getirilerek, agregalar tepsiye dökülmesi sağlanır. Sonra tambur temizlenir, ince tanelerin raf etrafında kalmamasına özen gösterilir. Agregaların tambura konulması ve tepsiye dökülmesi Şekil 3.19’da gösterilmiştir.



**Şekil 3.19** Agregaların tambura konulması ve tepsiye dökülmesi.

Agrega kaybının olmamasına dikkat edilerek bilyalar tepside alınarak, malzeme eleme işlemine geçilir. Tepsideki malzeme, 1,6 mm'lik elek kullanılarak yıkanır ve elemesi yapılır. 1,6 mm'lik elekte kalan kısım, 110°C'de ki etüvde kurutulur, kütlesi tartılır ve deney işlemi tamamlanır. Los Angeles aşınma dayanımı deney aşamaları Şekil 3.20'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.20** Los Angeles aşınma dayanımı deney aşamaları.



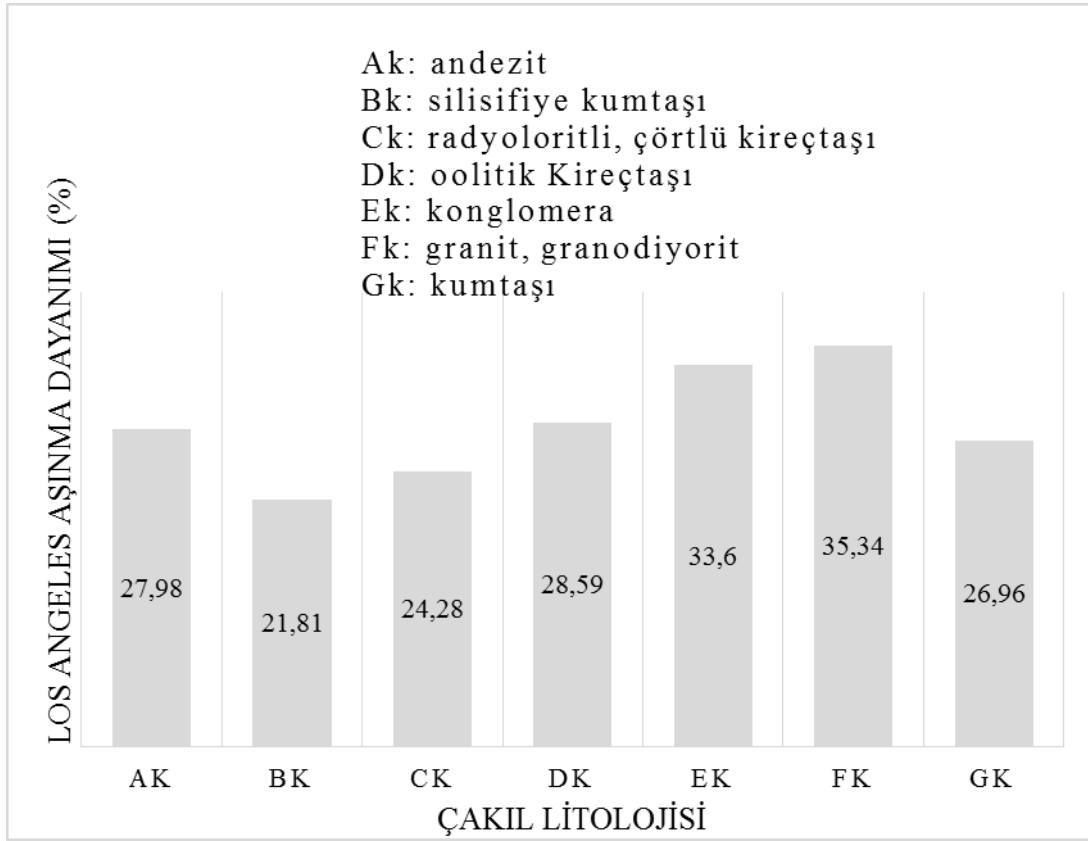
Şekil 3.20 (devam ediyor).

7 farklı litolojiye sahip olan numunelerin her bir kayaç türünden üçer adet deney yapılmıştır. Numunelerin Los Angeles aşınma dayanımı deneyi sonuçları Çizelge 3.2’te verilmiştir.

Şekil 3.21’de farklı litolojilere sahip örnekler için elde edilen ortalama Los Angeles Aşınma Dayanımı değerlerinin grafiksel görünümü verilmiştir. Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından hazırlan karayolu teknik şartnamesine (2013) ve beton yol teknik şartnamesine (2016) göre elde edilen Los Angeles aşınma dayanımı değerleri tüm kayaç türleri için kırma çakıl agrega malzemesi olarak alt temel ve kaba agrega, şartname sınırları ile uyum göstermektedir. Silisifiye kumtaşı ve radyoloritli-çörtlü kireçtaşı aşınma dayanımı değerleri taş mastik ve poroz asfalt şartname sınırlarını sağlamaktadır. Konglomera ve granit-granodiyorit kayaç türleri haricinde diğer kayaç türleri bitümlü sathi kaplama, bitümlü temel ve beton malzemeleri şartname sınırlarına uyum göstermektedir.

**Çizelge 3.2** Numunelerin Los Angeles aşınma dayanımı deneyi sonuçları.

| Numune Adı                         | İlk Ağırlık<br>(g) | Son Ağırlık<br>(g) | LA<br>(%) | Ortalama<br>(%) | Standart<br>Sapma (%) |
|------------------------------------|--------------------|--------------------|-----------|-----------------|-----------------------|
| Andezit 1                          | 5000               | 3631,1             | 27,38     | 27,98           | 0,522                 |
| Andezit 2                          | 5000               | 3583,1             | 28,34     |                 |                       |
| Andezit 3                          | 5000               | 3589,3             | 28,21     |                 |                       |
| Silisifiye Kumtaşı 1               | 5000               | 3900,2             | 22,00     | 21,81           | 0,706                 |
| Silisifiye Kumtaşı 2               | 5000               | 3879,7             | 22,41     |                 |                       |
| Silisifiye Kumtaşı 3               | 5000               | 3948,5             | 21,03     |                 |                       |
| Radyolaritli-Çörtlü<br>Kireçtaşı 1 | 5000               | 3788               | 24,24     | 24,28           | 0,403                 |
| Radyolaritli-Çörtlü<br>Kireçtaşı 2 | 5000               | 3764,7             | 24,71     |                 |                       |
| Radyolaritli-Çörtlü<br>Kireçtaşı 3 | 5000               | 3804,8             | 23,90     |                 |                       |
| Oolitik Kireçtaşı 1                | 5000               | 3565               | 28,70     | 28,59           | 0,689                 |
| Oolitik Kireçtaşı 2                | 5000               | 3607,4             | 27,85     |                 |                       |
| Oolitik Kireçtaşı 3                | 5000               | 3539,2             | 29,22     |                 |                       |
| Konglomera 1                       | 5000               | 3293,7             | 34,13     | 33,60           | 0,568                 |
| Konglomera 2                       | 5000               | 3350,1             | 33,00     |                 |                       |
| Konglomera 3                       | 5000               | 3316,4             | 33,67     |                 |                       |
| Granit-Granodiyorit 1              | 5000               | 3229               | 35,42     | 35,34           | 0,322                 |
| Granit-Granodiyorit 2              | 5000               | 3219,1             | 35,62     |                 |                       |
| Granit-Granodiyorit 3              | 5000               | 3250,6             | 34,99     |                 |                       |
| Kumtaşı 1                          | 5000               | 3614,6             | 27,71     | 26,96           | 0,749                 |
| Kumtaşı 2                          | 5000               | 3652,5             | 26,95     |                 |                       |
| Kumtaşı 3                          | 5000               | 3689,5             | 26,21     |                 |                       |



**Şekil 3.21** Farklı litolojilere sahip örnekler için elde edilen ortalama Los Angeles aşınma dayanımı değerleri.

#### 3.2.4.2 Darbe Dayanım İndeksi Deneyi

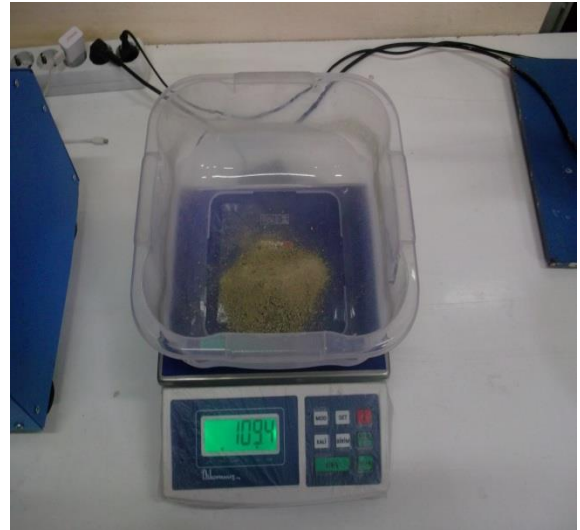
Bu deney, BS 812-112:1990 Agregada Darbe Dayanımı İndeksi Yöntemi ve IS 2386-4 Beton İçin Agregada İçin Test Yöntemleri ve Mekanik Özellikler – Bölüm 4: Agregada Etki Değerinin Belirlenmesi standardına göre yapılmıştır.

Andezit, kumtaşı, radyolaritli-çörtlü kireçtaşı, silisifiye kumtaşı, granit-granodiyorit, oolitik kireçtaşı ve konglomeralardan oluşan 7 farklı deney numuneleri darbe dayanım indeksi için; 10 mm ile 12,5 mm arasında boyuta indirgenerek her birinden deney kısmının kütlesi olarak 500 gram olacak şekilde numuneler elde edilmiştir. Agregalar daha sonra 105°C’de etüvde 4 saat bekletilmiş ve soğuduktan sonra deneye tabi tutulmuştur. Darbe dayanım indeksi deney aleti Şekil 3.22’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.22** Darbe dayanım indeksi deney aleti.

Agregalar deney cihazı haznesine konur ve cihazın çelik gövdeli çekiç kısmı 15 kez hazne üzerine 380 mm'lik bir mesafeden bırakılır. Her serbest düşme arası zaman aralığı 1 saniyeden fazla olmalıdır. 15 düşmeden sonra hazne içindeki numune alınır. Agreganın numunesi sonra 2,36 mm'lik elekten elenir. 2,36 mm'lik elekten geçen malzeme miktarı tartılır ve darbe dayanım indeksi değeri hesaplanır. Agreganın darbe dayanım indeksi deneyi aşamaları Şekil 3.23'de gösterilmiştir.



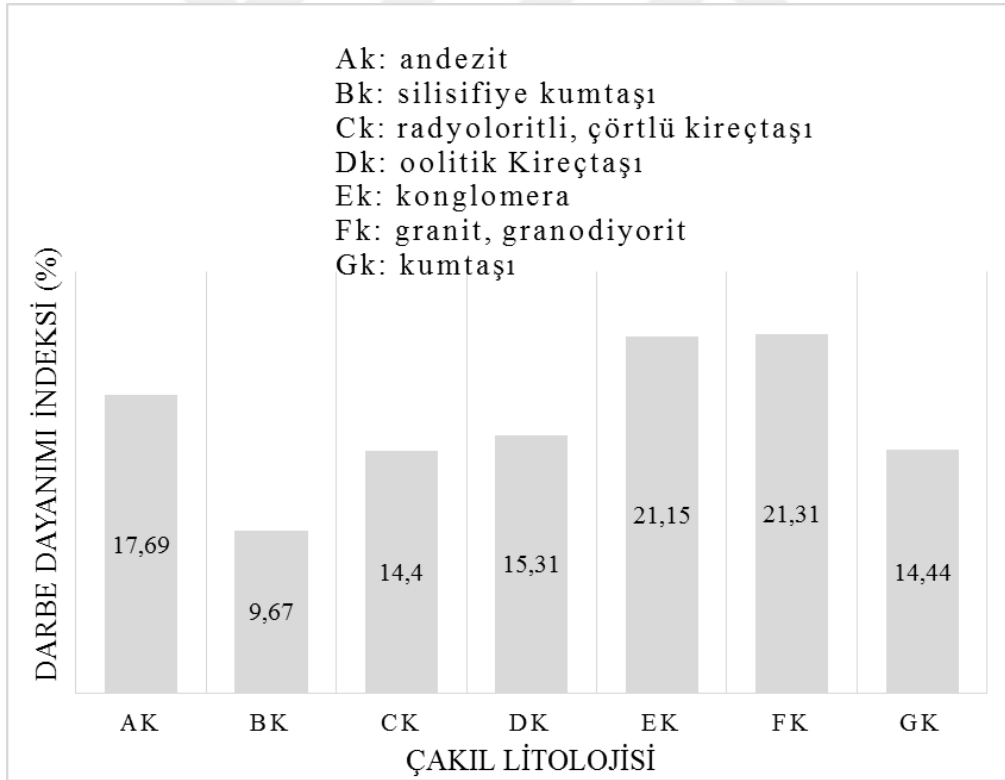
Şekil 3.23 Agrega darbe dayanım indeksi deneyi aşamaları.

Hindistan standardında (IS 2386-4) yer alan Agrega darbe dayanım indeksi (AIV) sınıflandırılması Çizelge 3.3’de verilmiştir.

**Çizelge 3.3** Agrega darbe dayanım indeksi sınıflandırılması (IS 1963).

| Agrega Darbe Dayanım Sınıflandırması           | İndeks Değeri (%) |
|------------------------------------------------|-------------------|
| Çok Yüksek                                     | <10               |
| Yüksek                                         | 10 - 20           |
| Orta Yüksek (Yol kaplamaları için)             | 20 - 30           |
| Düşük (Yol kaplamaları için zayıf-uygun değil) | >35               |

Farklı litolojilere sahip agregâ örneklerinin agregâ darbe dayanımı indeks değerlerini belirlemek için her bir kayaç türünden üçer adet deney yapılmıştır. Numunelerin, darbe dayanım indeksi deneyi sonuçları IS 2386-4'e göre önerilen dayanım sınıfları ile birlikte Çizelge 3.4'te verilmiştir. 7 farklı litolojiye sahip olan kayaç numunelerin agregâ darbe dayanım indeksi sonuçlarının sütun grafik üzerinde görünümü ise Şekil 3.24'de verilmiştir. Agregâ darbe dayanımı değerleri tüm kayaç türleri için yüksek dayanım sınıfında yer almaktadır.



**Şekil 3.24** Kayaç türlerinin ortalama agregâ darbe dayanım indeksi değerleri.

**Çizelge 3.4** Kayaç türleri için agrega darbe dayanım indeksi deneyi sonuçları.

| Numune Adı                      | İlk Ağırlık (g) | Son Ağırlık (g) | AIV (%) | Dayanım Sınıfı | Ortalama (%) | Standart Sapma (%) |
|---------------------------------|-----------------|-----------------|---------|----------------|--------------|--------------------|
| Andezit 1                       | 500             | 85,6            | 17,12   | Yüksek         | 17,69        | 0,580              |
| Andezit 2                       | 500             | 88,3            | 17,66   | Yüksek         |              |                    |
| Andezit 3                       | 500             | 91,4            | 18,28   | Yüksek         |              |                    |
| Silisifiye Kumtaşı 1            | 500             | 46,1            | 9,22    | Çok Yüksek     | 9,67         | 0,519              |
| Silisifiye Kumtaşı 2            | 500             | 47,8            | 9,56    | Çok Yüksek     |              |                    |
| Silisifiye Kumtaşı 3            | 500             | 51,2            | 10,24   | Yüksek         |              |                    |
| Radyolaritli-Çörtlü Kireçtaşı 1 | 500             | 69,1            | 13,82   | Yüksek         | 14,40        | 0,552              |
| Radyolaritli-Çörtlü Kireçtaşı 2 | 500             | 72,3            | 14,46   | Yüksek         |              |                    |
| Radyolaritli-Çörtlü Kireçtaşı 3 | 500             | 74,6            | 14,92   | Yüksek         |              |                    |
| Oolitik Kireçtaşı 1             | 500             | 75,9            | 15,18   | Yüksek         | 15,31        | 0,142              |
| Oolitik Kireçtaşı 2             | 500             | 76,4            | 15,28   | Yüksek         |              |                    |
| Oolitik Kireçtaşı 3             | 500             | 77,3            | 15,46   | Yüksek         |              |                    |
| Konglomera 1                    | 500             | 98,3            | 19,66   | Yüksek         | 21,15        | 1,315              |
| Konglomera 2                    | 500             | 108,1           | 21,62   | Orta Yüksek    |              |                    |
| Konglomera 3                    | 500             | 110,8           | 22,16   | Orta Yüksek    |              |                    |
| Granit-Granodiyorit 1           | 500             | 98,9            | 19,78   | Yüksek         | 21,31        | 1,561              |
| Granit-Granodiyorit 2           | 500             | 106,3           | 21,26   | Orta Yüksek    |              |                    |
| Granit-Granodiyorit 3           | 500             | 114,5           | 22,90   | Orta Yüksek    |              |                    |
| Kumtaşı 1                       | 500             | 74,6            | 14,92   | Yüksek         | 14,44        | 0,445              |
| Kumtaşı 2                       | 500             | 71,8            | 14,36   | Yüksek         |              |                    |
| Kumtaşı 3                       | 500             | 70,2            | 14,04   | Yüksek         |              |                    |

### 3.2.4.3 Nokta Yüğü Dayanım İndeksi Deneyi

Bu deneyde, agregaların nokta yüğü dayanım indeksi incelenmiştir. Bu agregalar; andezit, kumtaşı, radyolaritli-çörtlü kireçtaşı, silisifiye kumtaşı, granit-granodiyorit, oolitik kireçtaşı ve konglomeralardan oluşan agregalardır.

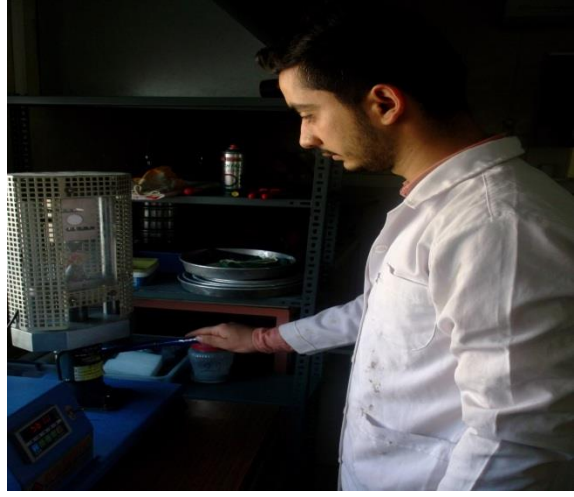
Nokta yüğü dayanım indeksi için, litojileri birbirinden farklı olan kayaç türleri öncelikle BX tipi 42 mm çapında karotiyerle karotları alındıktan sonra düzgün yüzey elde etmek için disk

kesici ile kesimi yapılmıştır. Kesimi yapılan numuneler pürüzsüz yüzey olması için zımpara işlemi uygulanmıştır. Böylelikle nokta yükü deneyi için numuneler hazır hale getirilmiştir. Numuneler hazır hale getirildikten sonra deney aşamasına geçilmektedir. Nokta yükü dayanım indeksi deney aleti Şekil 3.25’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.25** Nokta yükü dayanım indeksi deney aleti.

Öncelikle, uygun şekilde konik uçlara yerleştirilen numuneler kriko kolu ile sabit hızla sıkıştırılır. Numuneler ISRM (1985)’ye göre 10 ile 60 saniye arasında yenilecek şekilde kırılarak yenilmeyi sağlayan kuvvetler  $F$  (kN) kaydedilir. Numune yenildikten sonra bir sonraki numunenin deney düzeneğine konulması için kriko kolunun sol altındaki mandal gevşetilir. Böylece kriko düzeneği serbest hale gelir. Daha sonra ise kriko numunenin yerleştirilmesi için gerekli olan mesafeye kadar indirilerek yeni numune deney düzeneğine konulur. Deneylere bu şekilde sistematik olarak devam edilebilir. Nokta yükü dayanım indeksi deney aşamaları Şekil 3.26’da gösterilmiştir.



**Şekil 3.26** Nokta yükü dayanım indeksi deney aşamaları.

Nokta yükü dayanım indeksi deneyi ile numunelerin dayanımları tespit edilmiştir. Deney sonunda oluşan kırılmış numuneler Şekil 3.27’de gösterilmiştir. Kırılma şekli uygun olan numuneler için elde edilen yenilme yüklerinden yararlanarak nokta yükü dayanım indeksi değerleri hesaplanmıştır.



**Şekil 3.27** Nokta yükü dayanım indeksi sonucu kırılmış numuneler.

Litolojileri farklı olan numunelerin nokta yükü deneyi sonucu ile dayanım sınıflandırması Bieniawski tarafından önerilen dayanım sınıfı aralıklarına göre yapılmıştır (Çizelge 3.5).

**Çizelge 3.5** Kayaçların nokta yükü dayanımı indeksi sınıfları (Bieniawski 1975).

| Kayaç Sınıfı | $I_{s(50)}$ (MPa) |
|--------------|-------------------|
| Çok Yüksek   | >8                |
| Yüksek       | 8-4               |
| Orta         | 4-2               |
| Düşük        | 2-1               |
| Çok Düşük    | <1                |

Litolojileri farklı olan numunelerin nokta yükü dayanım indeksi sonucunda kaba çakıl kaya malzemesinin dayanımları belirlenmiştir. Aynı kaya türünde numunelerin bozunma derecelerine göre farklı yenilme yükleri elde edilip farklı nokta yükü dayanımları tespit edilmiştir. Bozunma derecelerinin sınıflandırılmasında ISRM (1981) tarafından önerilen sınıflama tanımları kullanılmıştır (Çizelge 3.6). Numunelerin bozunma durumlarını ifade edebilmek için; bozunmamış ( $W_1$ ) ve az bozunmuş ( $W_2$ ) dereceler  $W_1$ - $W_2$  grubuna, orta derecede bozunmuş ( $W_3$ ) ve tamamen bozunmuş ( $W_4$ ) dereceler ise  $W_3$ - $W_4$  grubuna ayrılmıştır. Numunelerin nokta yükü dayanım indeksi sonuçları bozunma dereceleri ile birlikte Çizelge 3.7’de verilmiştir.

**Çizelge 3.6** Agregaların bozunma dereceleri (ISRM 1981).

| Bozunmanın Derecesi | Tanımlama              |
|---------------------|------------------------|
| $W_1$               | Bozunmamış             |
| $W_2$               | Az bozunmuş            |
| $W_3$               | Orta derecede bozunmuş |
| $W_4$               | Tamamen bozunmuş       |

**Çizelge 3.7** Nokta yükü dayanım indeksi deney sonuçları.

| EKSENEL | Numune Adı | Bozunmanın Derecesi            | Numune No       | Boy (mm) | Çap (mm) | Yenilme Yüğü (kN) | $D_e^2$ (mm <sup>2</sup> ) | $I_s$ (MPa) | F     | $I_{s(50)}$ (MPa) | Dayanım Sınıfı |
|---------|------------|--------------------------------|-----------------|----------|----------|-------------------|----------------------------|-------------|-------|-------------------|----------------|
|         | ANDEZİT    | W <sub>1</sub> -W <sub>2</sub> | A <sub>25</sub> | 26,94    | 40,97    | 13,54             | 1405,31                    | 9,64        | 0,878 | 8,466             | Çok Yüksek     |
|         |            |                                | A <sub>6</sub>  | 29,67    | 40,98    | 12,63             | 1548,1                     | 8,16        | 0,898 | 7,326             | Yüksek         |
|         |            |                                | A <sub>24</sub> | 28,63    | 40,95    | 11,73             | 1492,74                    | 7,86        | 0,890 | 6,995             | Yüksek         |
|         |            |                                | A <sub>23</sub> | 31,91    | 40,96    | 10,07             | 1664,17                    | 6,05        | 0,912 | 5,521             | Yüksek         |
|         |            |                                | A <sub>3</sub>  | 28,92    | 40,96    | 9,75              | 1508,23                    | 6,46        | 0,893 | 5,767             | Yüksek         |
|         |            | W <sub>3</sub> -W <sub>4</sub> | A <sub>2</sub>  | 32,55    | 40,97    | 7,80              | 1697,96                    | 4,59        | 0,917 | 4,209             | Yüksek         |
|         |            |                                | A <sub>5</sub>  | 30,76    | 40,96    | 7,66              | 1604,19                    | 4,77        | 0,905 | 4,321             | Yüksek         |
|         |            |                                | A <sub>16</sub> | 28,73    | 40,98    | 7,44              | 1499,06                    | 4,96        | 0,891 | 4,423             | Yüksek         |
|         |            |                                | A <sub>22</sub> | 27,63    | 40,97    | 7,07              | 1441,31                    | 4,91        | 0,883 | 4,334             | Yüksek         |
|         |            |                                | A <sub>1</sub>  | 31,85    | 40,92    | 6,02              | 1659,42                    | 3,63        | 0,912 | 3,309             | Orta           |
|         |            |                                | A <sub>4</sub>  | 29,69    | 40,88    | 4,11              | 1545,37                    | 2,66        | 0,897 | 2,385             | Orta           |
|         |            |                                | A <sub>7</sub>  | 29,05    | 40,91    | 3,19              | 1513,16                    | 2,11        | 0,893 | 1,886             | Düşük          |

Çizelge 3.7 (devam ediyor).

|         |                               |                                |                 |       |       |       |         |      |       |       |            |
|---------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------|-------|-------|-------|---------|------|-------|-------|------------|
| EKSENEL | SİLİSİFİYE KUMTAŞI            | W <sub>1</sub> -W <sub>2</sub> | B <sub>17</sub> | 29,8  | 40,99 | 12,82 | 1555,26 | 8,24 | 0,899 | 7,407 | Yüksek     |
|         |                               |                                | B <sub>6</sub>  | 29,63 | 40,97 | 10,17 | 1545,64 | 6,58 | 0,897 | 5,904 | Yüksek     |
|         |                               |                                | B <sub>12</sub> | 29,09 | 40,98 | 10,04 | 1517,84 | 6,61 | 0,894 | 5,909 | Yüksek     |
|         |                               |                                | B <sub>5</sub>  | 29,84 | 40,99 | 9,34  | 1557,35 | 6,00 | 0,899 | 5,391 | Yüksek     |
|         |                               |                                | B <sub>8</sub>  | 29,86 | 40,97 | 9,13  | 1557,64 | 5,86 | 0,899 | 5,272 | Yüksek     |
|         |                               |                                | B <sub>11</sub> | 32,71 | 40,99 | 8,30  | 1707,14 | 4,86 | 0,918 | 4,460 | Yüksek     |
|         | RADYOLARİTLİ-ÇÖRTLÜ KİREÇTAŞI | W <sub>1</sub> -W <sub>2</sub> | C <sub>2</sub>  | 29,05 | 40,95 | 14,00 | 1514,64 | 9,25 | 0,893 | 8,260 | Çok Yüksek |
|         |                               |                                | C <sub>3</sub>  | 30,69 | 40,96 | 14,08 | 1600,54 | 8,80 | 0,905 | 7,956 | Yüksek     |
|         |                               |                                | C <sub>12</sub> | 32,44 | 40,98 | 13,38 | 1692,63 | 7,91 | 0,916 | 7,242 | Yüksek     |
|         |                               |                                | C <sub>5</sub>  | 27,58 | 40,98 | 13,26 | 1439,05 | 9,22 | 0,883 | 8,140 | Yüksek     |
|         |                               |                                | C <sub>13</sub> | 29,6  | 40,98 | 10,91 | 1544,45 | 7,06 | 0,897 | 6,337 | Yüksek     |
|         |                               | W <sub>3</sub> -W <sub>4</sub> | C <sub>11</sub> | 29,72 | 40,99 | 6,63  | 1551,09 | 4,27 | 0,898 | 3,839 | Orta       |
|         |                               |                                | C <sub>14</sub> | 27,19 | 40,97 | 6,49  | 1418,36 | 4,58 | 0,880 | 4,029 | Orta       |
|         | OOLİTİK KİREÇTAŞI             | W <sub>1</sub> -W <sub>2</sub> | D <sub>6</sub>  | 30,4  | 40,97 | 6,50  | 1585,8  | 4,10 | 0,903 | 3,698 | Orta       |
|         |                               |                                | D <sub>9</sub>  | 26,16 | 40,96 | 6,42  | 1364,29 | 4,71 | 0,873 | 4,109 | Yüksek     |
|         |                               |                                | D <sub>7</sub>  | 25,86 | 40,95 | 6,31  | 1348,32 | 4,68 | 0,870 | 4,074 | Yüksek     |
|         |                               |                                | D <sub>8</sub>  | 29,56 | 40,99 | 6,18  | 1542,74 | 4,01 | 0,897 | 3,596 | Orta       |
|         |                               | W <sub>3</sub> -W <sub>4</sub> | D <sub>3</sub>  | 31,62 | 40,94 | 5,13  | 1648,24 | 3,11 | 0,911 | 2,834 | Orta       |
|         |                               |                                | D <sub>10</sub> | 30,18 | 40,95 | 4,69  | 1573,56 | 2,98 | 0,901 | 2,685 | Orta       |

Çizelge 3.7 (devam ediyor).

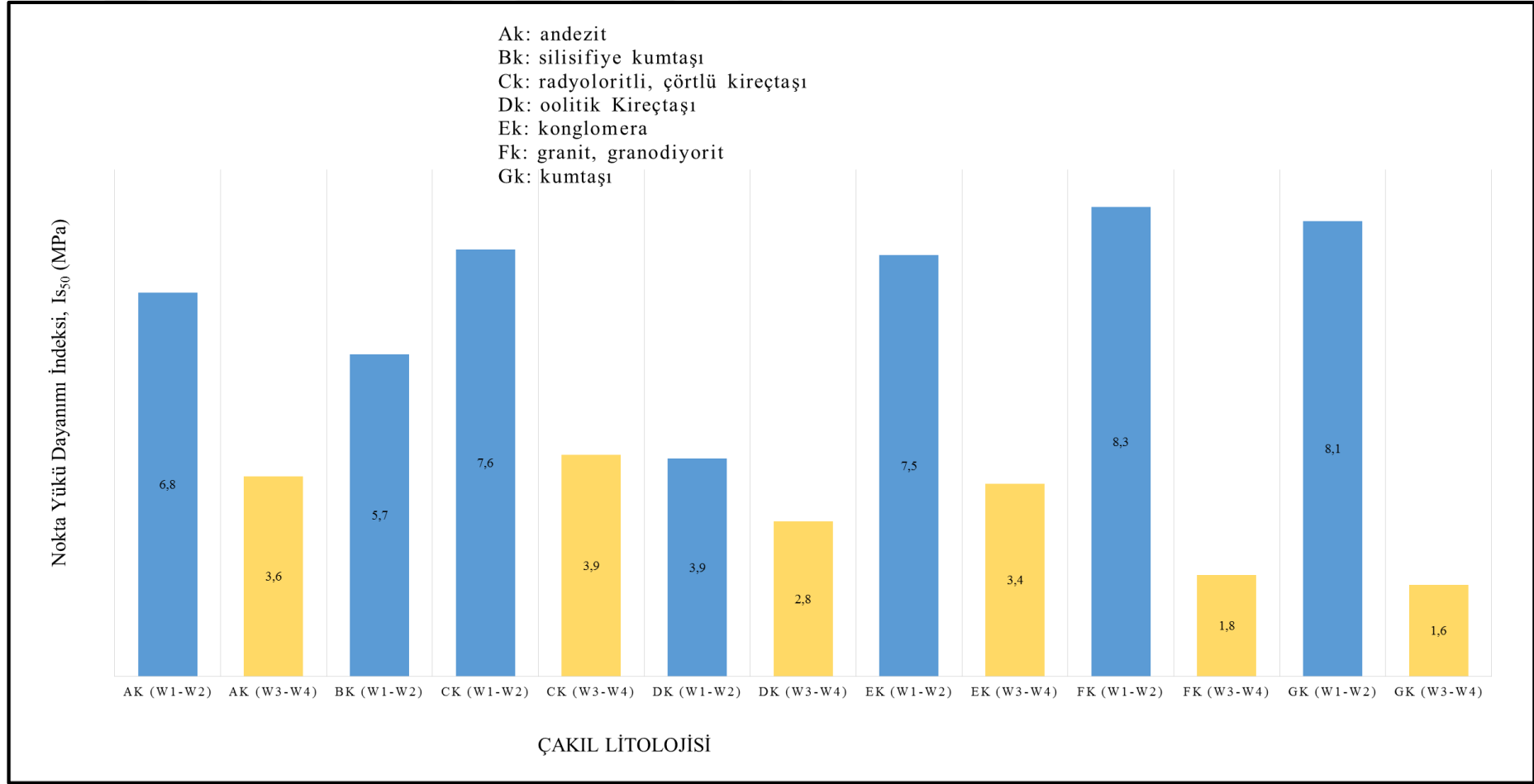
|         |                        |                                |                 |       |       |       |         |       |       |       |            |
|---------|------------------------|--------------------------------|-----------------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|------------|
| EKSENEL | KONGLOMERA             | W <sub>1</sub> -W <sub>2</sub> | E <sub>5</sub>  | 29,3  | 40,96 | 14,10 | 1528,05 | 9,23  | 0,895 | 8,258 | Çok Yüksek |
|         |                        |                                | E <sub>6</sub>  | 32,13 | 40,95 | 14,02 | 1675,23 | 8,37  | 0,914 | 7,648 | Yüksek     |
|         |                        |                                | E <sub>9</sub>  | 28,66 | 40,94 | 10,96 | 1493,94 | 7,34  | 0,891 | 6,535 | Yüksek     |
|         |                        | W <sub>3</sub> -W <sub>4</sub> | E <sub>10</sub> | 29,66 | 40,94 | 8,09  | 1546,07 | 5,23  | 0,898 | 4,696 | Yüksek     |
|         |                        |                                | E <sub>4</sub>  | 30,15 | 40,97 | 6,85  | 1572,76 | 4,36  | 0,901 | 3,924 | Orta       |
|         |                        |                                | E <sub>1</sub>  | 28,71 | 40,93 | 2,77  | 1496,18 | 1,85  | 0,891 | 1,649 | Düşük      |
|         | GRANİT-<br>GRANODİYORİ | W <sub>1</sub> -W <sub>2</sub> | F <sub>3</sub>  | 27,97 | 40,94 | 13,95 | 1457,98 | 9,57  | 0,886 | 8,475 | Çok Yüksek |
|         |                        |                                | F <sub>7</sub>  | 27,58 | 40,94 | 13,36 | 1437,65 | 9,29  | 0,883 | 8,207 | Çok Yüksek |
|         |                        | W <sub>3</sub> -W <sub>4</sub> | F <sub>6</sub>  | 29,05 | 40,98 | 3,07  | 1515,75 | 2,02  | 0,894 | 1,808 | Düşük      |
|         |                        |                                | F <sub>8</sub>  | 27,56 | 40,97 | 2,97  | 1437,66 | 2,07  | 0,883 | 1,827 | Düşük      |
|         | KUMTAŞI                | W <sub>1</sub> -W <sub>2</sub> | G <sub>13</sub> | 27,06 | 40,96 | 14,25 | 1411,23 | 10,10 | 0,879 | 8,878 | Çok Yüksek |
|         |                        |                                | G <sub>14</sub> | 31,16 | 40,94 | 14,13 | 1624,26 | 8,70  | 0,908 | 7,896 | Yüksek     |
|         |                        |                                | G <sub>9</sub>  | 28,19 | 40,95 | 14,09 | 1469,8  | 9,59  | 0,887 | 8,506 | Çok Yüksek |
|         |                        |                                | G <sub>11</sub> | 27,45 | 40,95 | 13,90 | 1431,22 | 9,71  | 0,882 | 8,564 | Çok Yüksek |
|         |                        |                                | G <sub>34</sub> | 30,38 | 40,91 | 11,21 | 1582,44 | 7,08  | 0,902 | 6,389 | Yüksek     |
|         |                        | W <sub>3</sub> -W <sub>4</sub> | G <sub>12</sub> | 30,97 | 40,97 | 2,90  | 1615,54 | 1,80  | 0,906 | 1,628 | Düşük      |

Kayaç türü ve bozunma derecelerine göre ortalama nokta yükü dayanımı değerleri Çizelge 3.8’de verilmiştir.

**Çizelge 3.8** Kayaç türü ve bozunma derecelerine göre nokta yükü dayanımı değerleri.

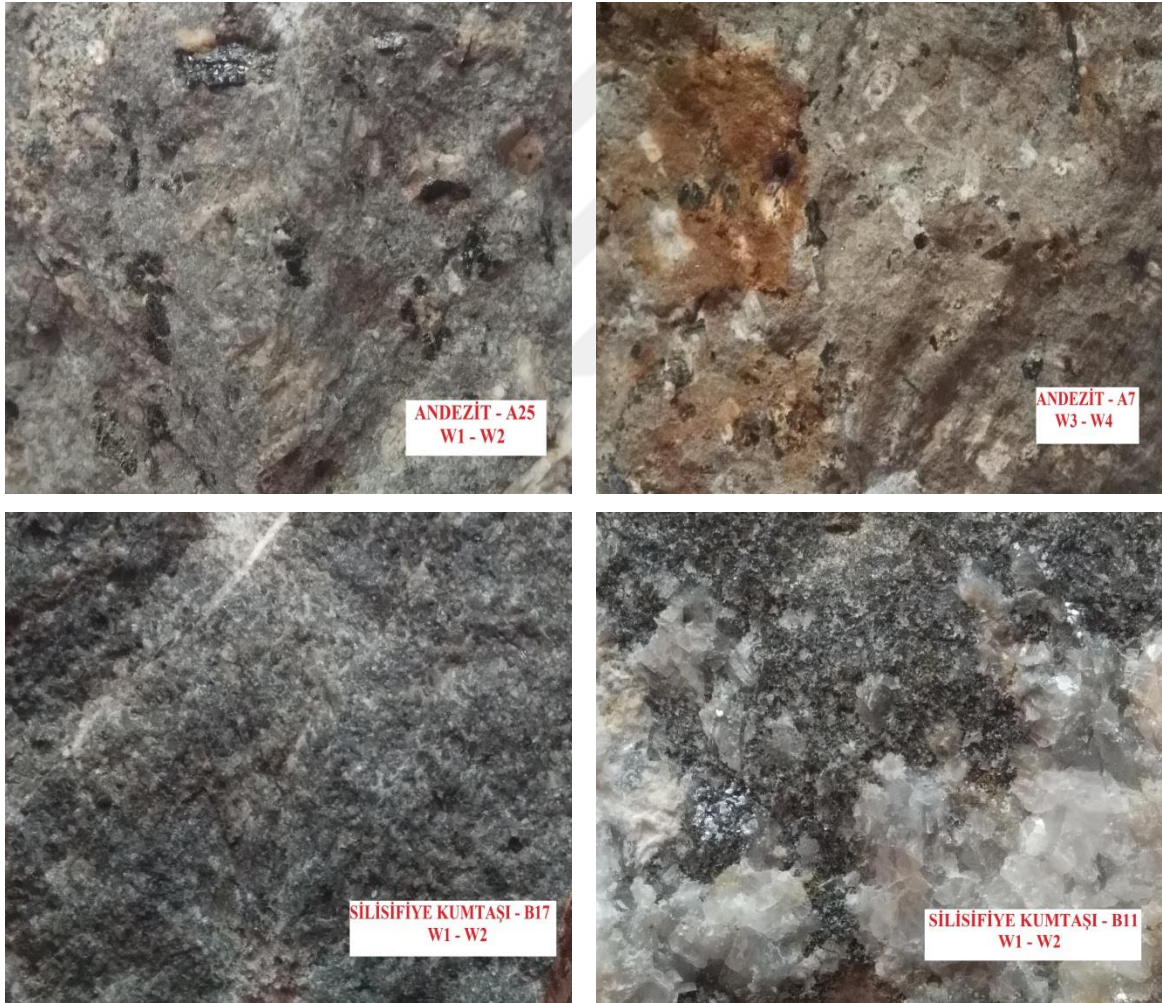
| Kaya Tipi                      | Kaya Kodu | Örnek Adedi | Bozunma Dereceleri | Ort. NYD (MPa) | NYD Oranı (B/A) | Toplam Ort. NYD (MPa) |
|--------------------------------|-----------|-------------|--------------------|----------------|-----------------|-----------------------|
| Andezit                        | Ak        | 5           | W1-W2              | 6,81           | 0,52            | 5,18                  |
| Andezit                        | Ak        | 7           | W3-W4              | 3,55           |                 |                       |
| Silisifiye Kumtaşı             | Bk        | 6           | W1-W2              | 5,72           | 1,00            | 5,72                  |
| Radyoloritli, çörtlü kireçtaşı | Ck        | 5           | W1-W2              | 7,58           | 0,52            | 5,76                  |
| Radyoloritli, çörtlü kireçtaş  | Ck        | 2           | W3-W4              | 3,93           |                 |                       |
| Oolitik Kireçtaşı              | Dk        | 4           | W1-W2              | 3,86           | 0,71            | 3,31                  |
| Oolitik Kireçtaşı              | Dk        | 2           | W3-W4              | 2,76           |                 |                       |
| Konglomera                     | Ek        | 3           | W1-W2              | 7,48           | 0,46            | 5,45                  |
| Konglomera                     | Ek        | 3           | W3-W4              | 3,42           |                 |                       |
| Granit, Granodiyorit           | Fk        | 2           | W1-W2              | 8,34           | 0,21            | 5,07                  |
| Granit, Granodiyorit           | Fk        | 2           | W3-W4              | 1,80           |                 |                       |
| Kumtaşı                        | Gk        | 5           | W1-W2              | 8,04           | 0,20            | 4,83                  |
| Kumtaşı                        | Gk        | 1           | W3-W4              | 1,62           |                 |                       |

Görüldüğü üzere bozunma derecesinin kaya numunelerinin dayanım değerleri üzerinde önemli etkisi bulunmaktadır. Dayanım azalması değerleri %30-80 aralığında değişim göstermiş olup ortalama dayanım azalması %50 olarak ifade edilebilmektedir. Bozunma derecelerine göre tespit edilen ortalama nokta yükü dayanım değerleri Şekil 3.28’de sütun grafik üzerinde gösterilmiştir. İncelenen litolojik kaya türlerinde bozunma derecesine bağlı olarak dayanım azalmasının etkin olduğu görülebilmektedir.



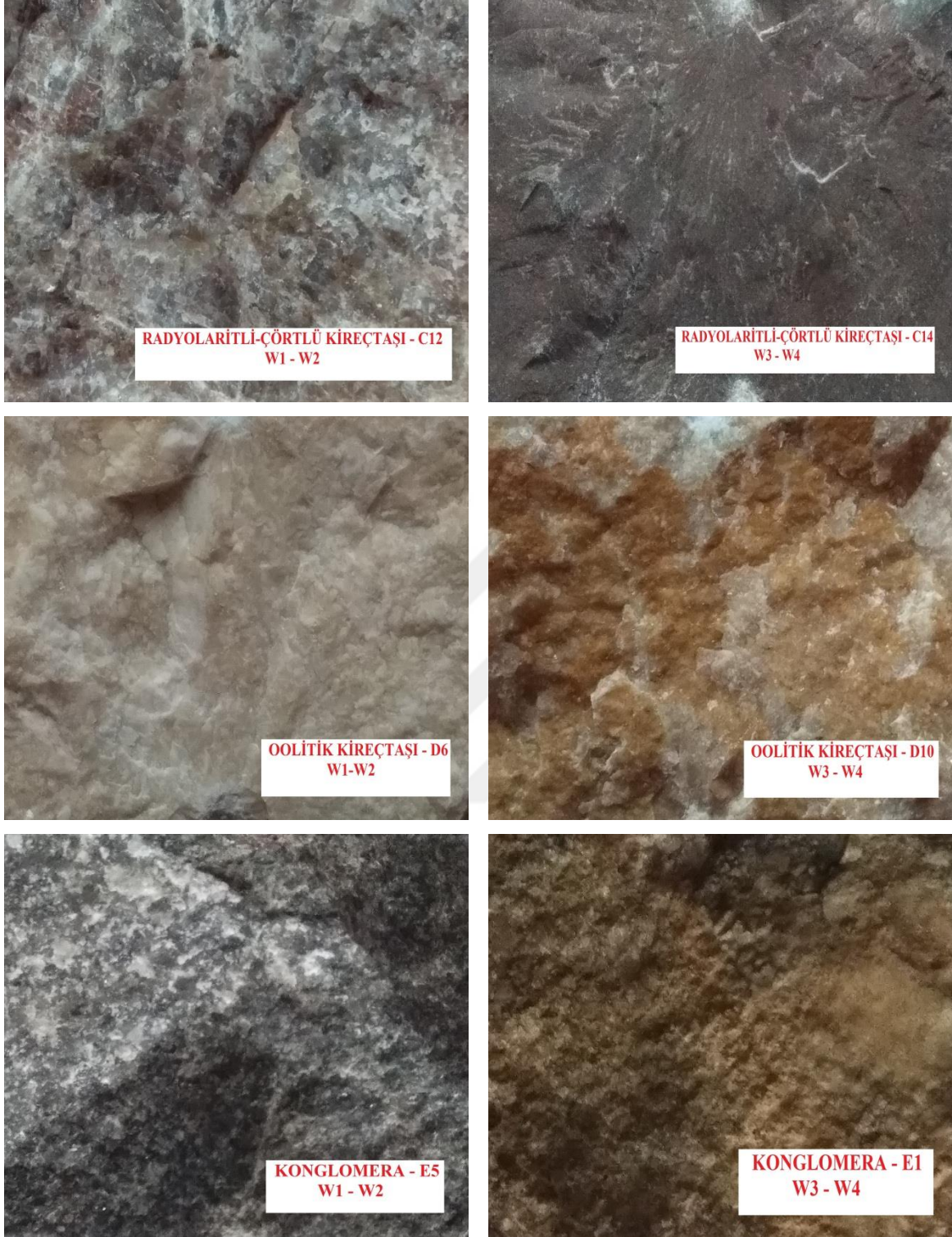
**Şekil 3.28** Bozunma derecelerine göre tespit edilen ortalama nokta yükü dayanım değerleri.

Kayaç türlerimizdeki dayanımını etkileyen bozunmayı, kimyasal ve fiziksel süreçler olmak üzere iki kısım altında toplayabiliriz. Bu iki bozunma süreci çoğunlukla birbirine ortam hazırlar. Hava bileşiminde yer alan gazlar, su, sıcaklık, canlı ve organik maddeler bozunma sürecinin başlıca etkenleridir. Kayaç türlerimizdeki fiziksel bozunma suyun mekanik etkisi (don), ani sıcaklık değişimleri, basınç serbestlenmesi ve kimyasal çözünmenin mekanik etkisi gibi olaylarla oluşur. Kayaç türlerimizdeki kimyasal yollarla bozunması ise; oksidasyon, karbonasyon, hidroliz, hidratasyon vb. yoluyla gerçekleşir. Numunelerimizdeki dayanımı etkileyen bozunmalar kayacın renk değişikliği, içerisinde bozunma etkisi ile sararma ve çatlaklı yapı oluşması gibi pek çok etmenler olduğu görülmüştür. Andezit ve silisifiye kumtaşı numunelerinin bozunma derecesine ait görüntüleri Şekil 3.29’da gösterilmiştir.



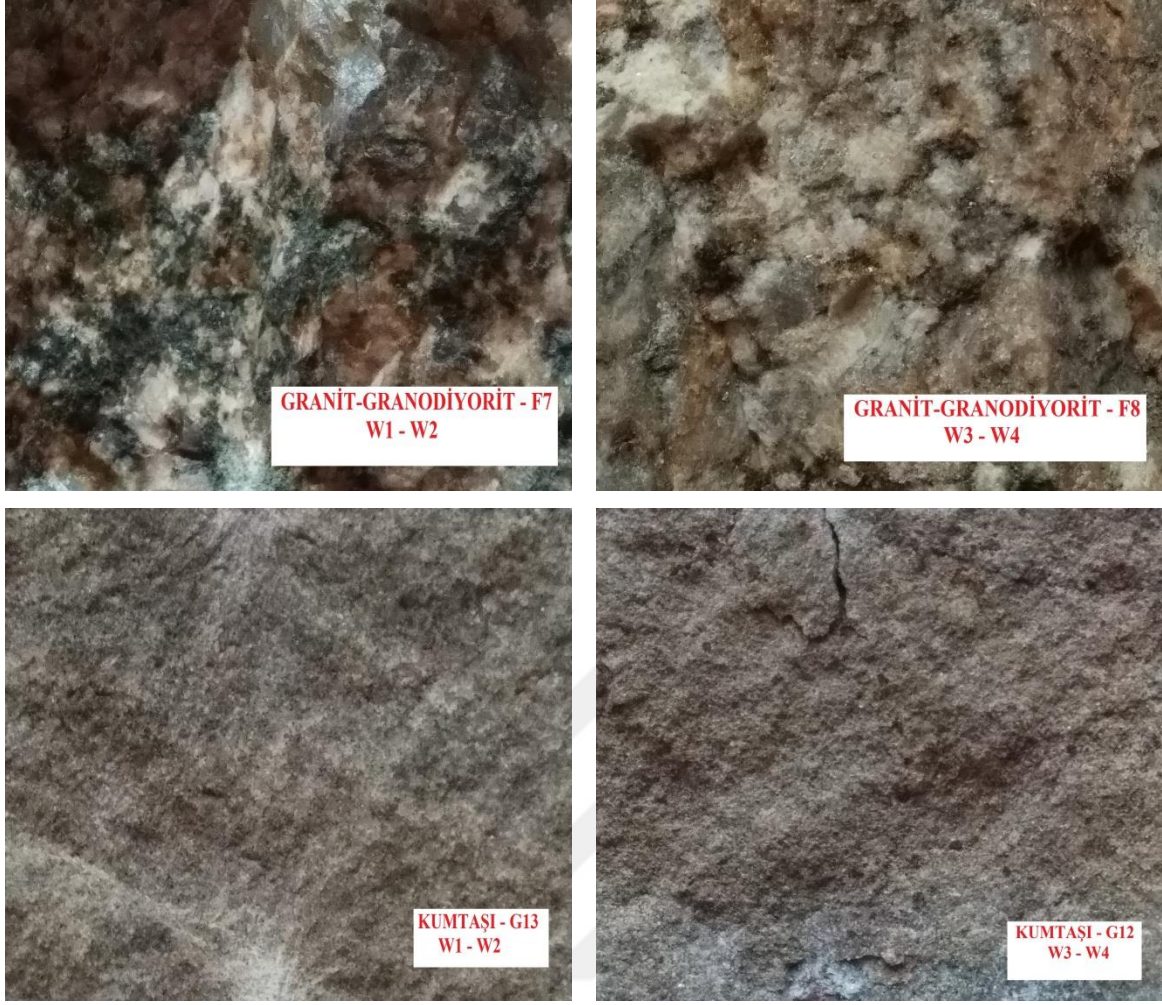
**Şekil 3.29** Andezit ve silisifiye kumtaşı numunelerinin bozunma derecesine ait görüntüleri.

Nokta yükü dayanımı deneyinde kullanılan diğer radyolaritli-çörtlü kireçtaşı, oolitlik kireçtaşı ve konglomera numunelerinin bozunma derecesine ait görüntüleri Şekil 3.30’da gösterilmiştir.



**Şekil 3.30** Radyolaritli-çörtlü kireçtaşı, oolitlik kireçtaşı ve konglomera numunelerinin bozunma derecesine ait görüntüleri.

Nokta yükü dayanımı deneyinde kullanılan numunelerin diğerleri ise granit-granodiyorit ve kumtaşının bozunma derecesine ait görüntüleri Şekil 3.31’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.31** Granit-granodiyorit ve kumtaşı numunelerinin bozunma derecesine ait görüntüleri.

### 3.2.5 Agreganın Donma-Çözünme Dayanıklılığı ( $MgSO_4$ )

Bu deney, TS EN 1367-2 Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 2: Magnezyum Sülfat Deneyi standardına göre yapılmıştır. Andezit, kumtaşı, radyolaritli-çörtlü kireçtaşı, silisifiye kumtaşı, granit-granodiyorit, oolitlik kireçtaşı ve konglomeralardan oluşan 7 farklı deney numuneleri magnezyum sülfata ( $MgSO_4$ ) karşı gösterilen direncin tayini için; numuneler öncelikle 10 mm ile 14 mm arasında boyuta indirgenerek her birinden en az 500 gram kütleli deney numuneleri elde edilir. Elde edilen her deney numunesi damıtık suyla tozlarından arıncaya kadar yıkanır, süzülür ve  $110^{\circ}C$ 'lik etüvde 24 saat boyunca kurutulması yapılarak deney numuneleri hazır hale getirilir. Magnezyum sülfat deneyi için numunelerin hazırlanması Şekil 3.32'de gösterilmiştir.



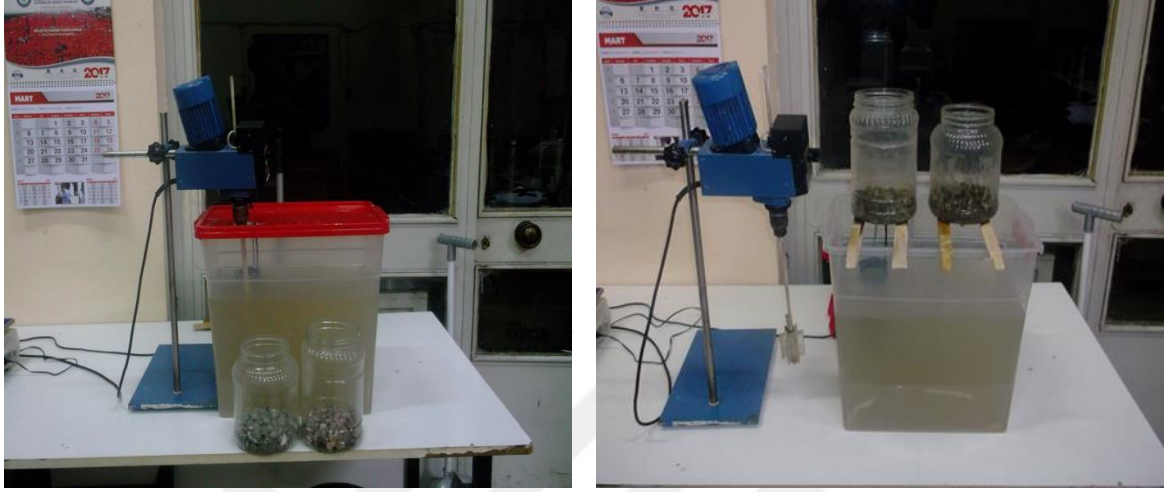
**Şekil 3.32** Magnezyum sülfat ( $MgSO_4$ ) deneyi için numunelerin hazırlanması.

Daha sonra doymuş magnezyum sülfat çözeltisi hazırlama işlemine geçilir. Çözeltinin hazırlanması ise, magnezyum sülfat heptahidratın damıtık veya deionize su içerisinde çözülmesi yapılarak, çözelti de bir litre su için 1500 gram kristal tuzun yavaş yavaş ilave edilerek çözünmesi sağlanır. Her deney numunesi için en az 3 litre su ile yapılması sağlanır. Çözelti hazırlanırken, sıcaklık  $25^{\circ}C$  ile  $30^{\circ}C$  arasında tutulur ve hazırlama işlemi tamamlandıktan sonra  $20^{\circ}C$ 'ye düşürülerek sıcaklığı muhafaza edilir. Daha sonra deney sırasında çözeltinin yoğunluğu kontrol edilerek duruma göre değişiklik olursa ikinci çözelti hazırlanır. Doymuş magnezyum sülfat çözeltisi hazırlanması Şekil 3.33'te gösterilmiştir.



**Şekil 3.33** Doymuş magnezyum sülfat çözeltisi hazırlanması.

7 farklı litolojiye sahip olan numuneler, hazırlanan doygun magnezyum sülfat çözeltisine 17 saat boyunca kalacak şekilde daldırılır. Daldırma işleminden sonra numuneler çözeltiden çıkarılarak 2 saat boyunca süzölmeleri sağlanır. Numunelerin çözeltiye daldırma ve süzölme işlemi Şekil 3.34'te gösterilmiştir.



**Şekil 3.34** Numunelerin çözeltiye daldırma ve süzölme işlemi.

Numuneler süzöldükten sonra, 110°C'lik etüvde 24 saat boyunca kurutulmaları yapılır ve 5 saat boyunca laboratuvar sıcaklığına ulaşması için soğutulur. Numunelerin etüvde kurutulmaları ve soğutulması Şekil 3.35'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.35** Numunelerin etüvde kurutulmaları ve soğutulması.

Çalışma periyodu aynı şekilde 5 defa uygulanarak yapılmalıdır. İşlemlerin 5 defa tekrar edilmesinden sonra, agrega magnezyum sülfattan arındırılana kadar musluk suyuyla yıkama

işlemi yapılır. Daha sonra deney numuneleri 110°C'lik etüvde 24 saat boyunca kurutulur ve soğutulur. Numunelerin magnezyum sülfattan arındırılması Şekil 3.36'da gösterilmiştir.



**Şekil 3.36** Numunelerin magnezyum sülfattan arındırılması.

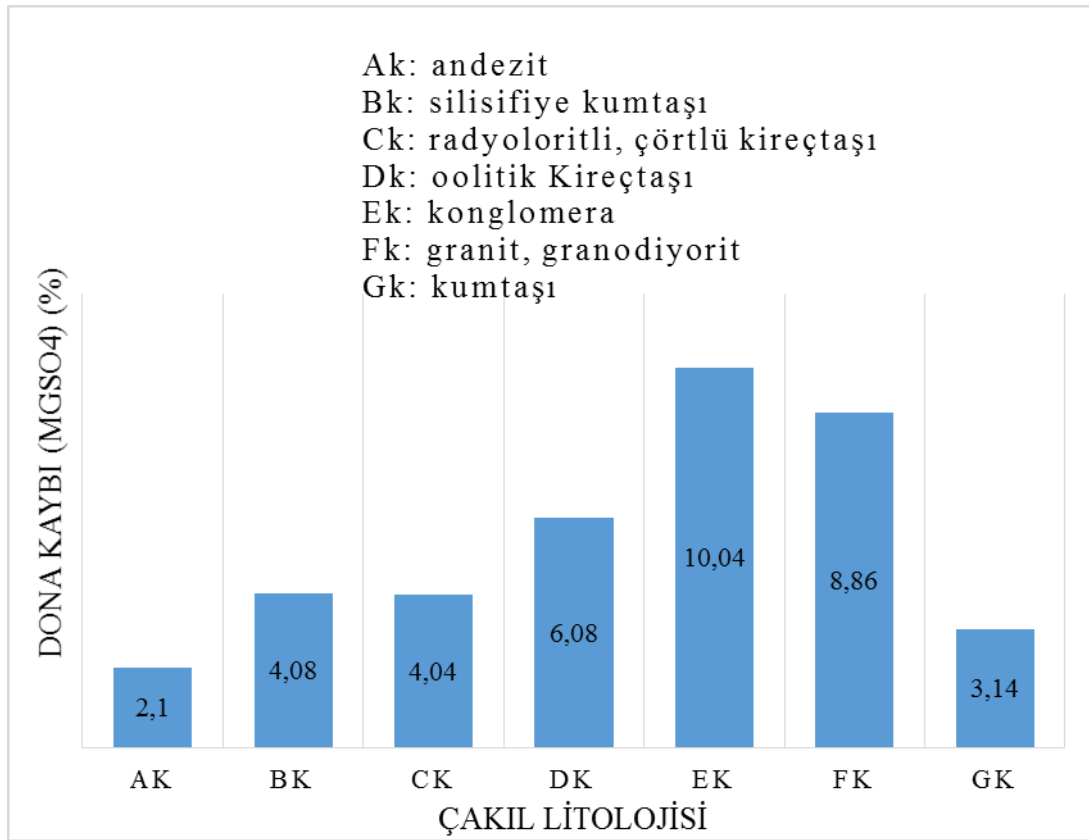
Deney aşamaları tamamlandıktan sonra her deney numunesi 10 mm'lik elekten elenir ve elek üstü kütlesi kaydedilir. Sonra numunelerin magnezyum sülfat değeri kütlece yüzdesi hesaplanır ve numunelerin magnezyum sülfata karşı gösterilen dirençleri tayin edilmiş olur. Farklı litolojilere sahip kırma çakıl numunelerin magnezyum sülfata karşı gösterilen dirençlerin tayini Çizelge 3.9'da verilmiştir.

**Çizelge 3.9** Numunelerin magnezyum sülfata karşı gösterilen dirençlerin tayini.

| Numune Adı                    | İlk Ağırlık (g) | Son Ağırlık (g) | MgSO <sub>4</sub> (%) |
|-------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------------|
| Andezit                       | 500             | 489,5           | 2,10                  |
| Silisifiye Kumtaşı            | 500             | 479,6           | 4,08                  |
| Radyolaritli-Çörtlü Kireçtaşı | 500             | 479,8           | 4,04                  |
| Oolitik Kireçtaşı             | 500             | 469,6           | 6,08                  |
| Konglomera                    | 500             | 449,8           | 10,04                 |
| Granit-Granodiyorit           | 500             | 455,7           | 8,86                  |
| Kumtaşı                       | 500             | 484,3           | 3,14                  |

Farklı litolojiye sahip olan kayaç türleri için belirlenen don kaybı (MgSO<sub>4</sub>) değerleri sütun grafiği üzerinde Şekil 3.37'de gösterilmiştir. CIRIA ve CUR (1991) tarafından önerilen don kaybı (MgSO<sub>4</sub>) sınıflandırmasına göre incelenen tüm kayaç türleri iyi sınıfta yer almaktadır. İyi kalite don kaybı değerleri soğuk iklim şartlarında bozunmaya karşı bir direnç göstergesi olarak kabul edilmektedir. Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) tarafından hazırlan karayolu teknik

şartnamesine (2013) ve beton yol teknik şartnamesine (2016) göre tüm kayaç türleri don kaybı sınır koşullarına göre kırma çakıl agregası malzemesi olarak alt temel, kaba agregası, bitümlü sathi kaplama, bitümlü temel, taş mastik asfalt, poroz asfalt ve beton yol malzemesi olarak uygunluk sağlamaktadır. En iyi don kaybı değeri andezit kaya türü için elde edilmiştir. Bunun nedeni olarak akarsularda aşındırma etkisi ile gözenekli yapıya sahip olan andezitlerin zayıf kısımları ayrılmış olup, iri çakıl andezitlerde çimentolanma iyi olduğundan don kaybı değeri düşük çıktığı tahmin edilmektedir. Don kaybı ( $MgSO_4$ ) değerleri ile ilgili olarak sınırlı sayıda deney verisi olması nedeniyle yorumlar ile ilgili olarak bir genelleştirme yapılamamaktadır.



**Şekil 3.37** Farklı litolojiye sahip olan kayaç türleri için belirlenen don kaybı ( $MgSO_4$ ) değerleri.

### 3.3 BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Tez çalışması kapsamında incelenen iri çakıl ve moloz sınıflarında yer alan agregası malzemesi sahip olduğu boyutlar nedeniyle doğrudan kullanım alanı sınır olup genelde kırma-eleme işlemleri neticesinde kırma çakıl malzemesi olarak değerlendirilebilmektedir. En yaygın kullanım alanları beton, karayolu ve kıyı yapıları malzemeleridir. Farklı kullanım alanlarına uygunluğunun değerlendirilebilmesi için agregası malzemesinin genelde şartnamelerde belirtilen

özelliklere (fiziksel, mekanik) sahip olması gerekmektedir. Bu özellikler arasında tez çalışması kapsamında ayrıntılı incelenen iri çakıl agrega malzemesinin dayanım özellikleri önem arz etmektedir. İri çakıl ve moloz agrega malzemesinin dayanım özelliklerinin kestirimi için; Los Angeles aşınma dayanımı, agrega darbe dayanımı indeksi, nokta yükü dayanımı indeksi deneyleri ön plana çıkmaktadır. Ayrıca, iklim ve kullanım şartlarına bağlı olarak don kaybı deneyi de önem taşımaktadır. Tez çalışması kapsamında konu ile ilgili olarak edilen bulgular belirtilmiştir.

Petrografik analizler neticesinde stok sahasından elde edilen agrega iri çakıl malzemesinin 7 ana litolojik sınıfa ait olduğu belirlenmiştir. Tez çalışması kapsamında incelenen litolojik sınıflar başlıca; andezit, silisifiye kumtaşı, radyolaritli-çörtlü kireçtaşı, oolitik kireçtaşı, konglomera, granit-granodiyorit ve kumtaşı kayalar türlerinden oluşmaktadır.

Fiziksel özellikler arasında yer alan yoğunluk ve ağırlıkça su emme değerleri çakıl agrega malzemesinin parçalanmaya ve bozunmaya karşı dayanımın önemli bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir. İncelenen kayalar türleri yoğunluk ve su emme özellikleri açısından genelde iyi sınıfta yer almaktadır.

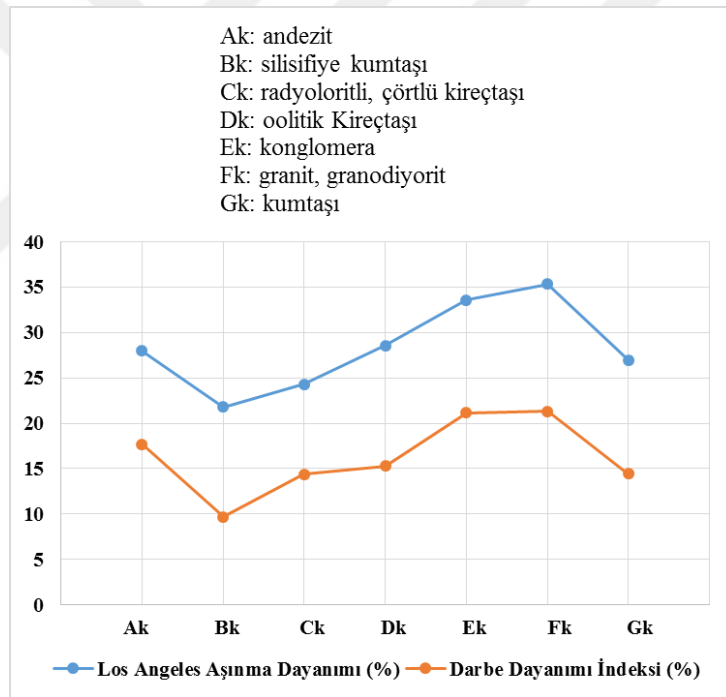
Agrega malzemesinin aşınma dayanımının kestirimi için uygulanan Los Angeles aşınma dayanımı değerleri incelendiğinde, farklı kayalar türleri için elde edilen aşınma dayanımı değerleri karayolları kırma çakıl yol agrega malzemesi ve kıyı yapıları için talep edilen agrega özelliklerini önemli ölçüde sağladığı belirlenmiştir.

Nokta yükü dayanımı deneyi için gerekli olan karot şeklinde numuneler sahadan temin edilen yuvarlak taş ve moloz sınıfında yer alan çakıl örnekleri aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Karot kesim ve yüzey düzeltme işlemleri ile standartta ön görülen şekil ve boyutlara sahip disk şeklinde kaya örnekleri hazırlanmıştır. Eksenel nokta yükü dayanımı deneyleri gerçekleştirilerek farklı kayalar türleri için dayanım değerleri elde edilmiştir. Nokta yükü dayanım değerlerinden genelde incelenen kayalara ait dayanımların yüksek dayanım sınıfında yer aldığı belirlenmiştir.

Hem laboratuvar hem de arazi ortamında pratik olarak uygulanabilen agrega darbe dayanımı indeks deneyi ile farklı kayalar türlerine ait kırma çakıl malzemesinin parçalanmaya karşı

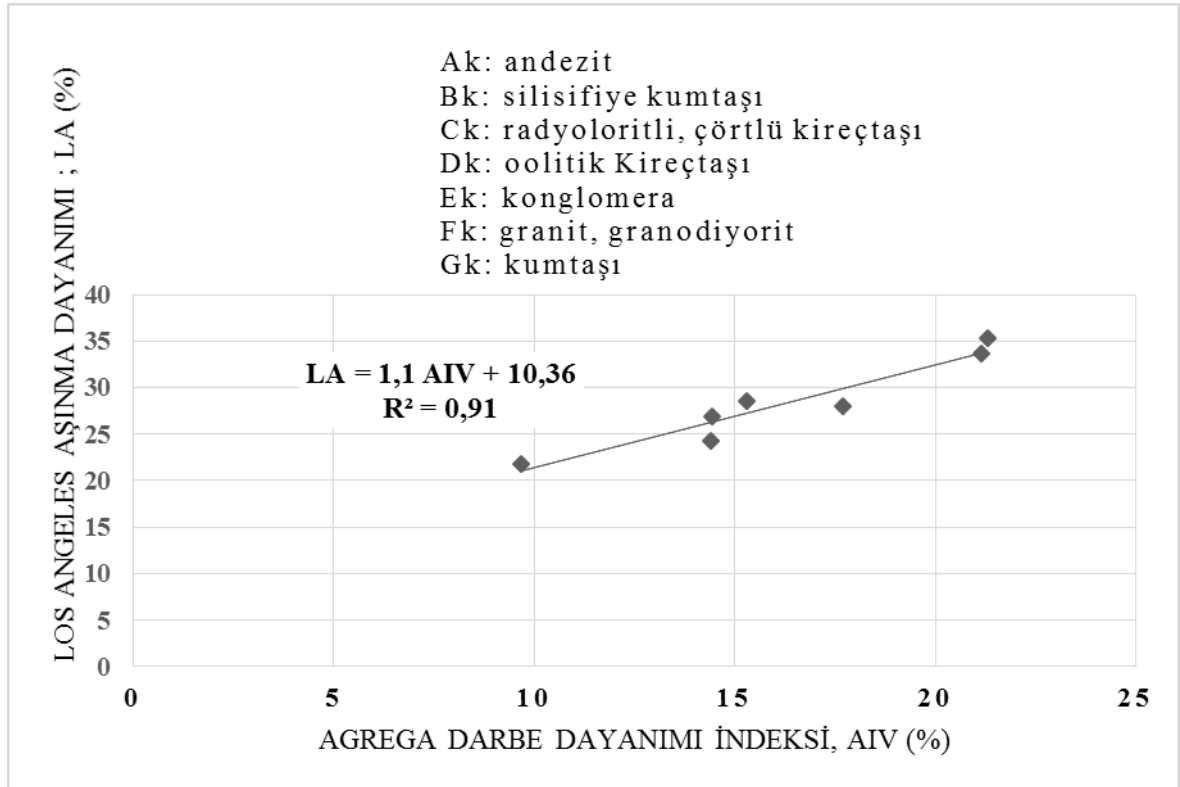
dayanımı dolaylı olarak incelenip tahmin edilmiştir. Agregada darbe dayanımı sınıflandırması açısından incelenen kaya agregada malzemeleri genelde yüksek dayanım sınıfında yer almıştır.

Los Angeles aşınma dayanımı deneyine kıyasla daha kolay uygulanabilen, daha az agregada malzemesine ihtiyaç duyulan ve laboratuvar ortamı haricinde arazide de kullanıma elverişli olan agregada darbe dayanım indeksi deney verileri ile Los Angeles aşınma dayanımı verileri arasındaki olası ilişkiler araştırılmıştır. Tez çalışması kapsamında incelenen yedi farklı litolojiye sahip kırma-çakıl agregada malzemesi için elde edilen agregada darbe dayanımı indeksi (AIV) değerleri ve Los Angeles aşınma dayanımı (LA) değerleri karşılaştırılmıştır (Şekil 3.38). Şekilden anlaşıldığı gibi agregada darbe dayanım indeksi değerleri ile Los Angeles aşınma dayanımı değerleri arasında önemli ölçüde paralellik bulunmaktadır. Bundan dolayı AIV ile LA değerleri arasında yakın bir ilişki belirlenmiştir.



**Şekil 3.38** Agregada darbe dayanımı indeksi (AIV) değerleri ile Los Angeles aşınma dayanımı (LA) değerlerinin karşılaştırılması.

Yedi farklı kayac türü için elde edilen ortalama AIV ve LA deneysel veriler doğrusal regresyon analizine tabi tutulduğunda yaklaşık %90 oranında bir ilişki katsayısı ( $R^2$ ) tespit edilmiştir (Şekil 3.39). Bundan dolayı, AIV değeri aracılığıyla LA değerlerinin yeterli güvenilirlikte kestirebilirliği saptanmıştır. Elde edilen bağıntı eşitlik 3.1’de verilmiştir.



**Şekil 3.39** Agregada darbe dayanımı indeksi (AIV) değerleri ile Los Angeles aşınma dayanımı (LA) değerleri doğrusal regresyon analizi sonuçları.

$$LA = 1,1 AIV + 10,36 \quad (3.1)$$

Burada;

LA Los Angeles aşınma dayanımı değeri

AIV Agregada darbe dayanımı indeksi değeri

Farklı litolojiye sahip olan kayaç türleri için belirlenen don kaybı ( $MgSO_4$ ) değerleri CIRIA ve CUR (1991) tarafından önerilen don kaybı ( $MgSO_4$ ) sınıflandırmasına göre tüm kayaç türleri iyi sınıfta yer almaktadır. İyi kalite don kaybı değerleri soğuk iklim şartlarında bozunmaya karşı bir direnç göstergesi olarak kabul edilmektedir. Don kaybı ( $MgSO_4$ ) değerleri ile ilgili olarak sınırlı sayıda deney verisi elde edilebilmesi nedeniyle yorumlar ile ilgili olarak bir genelleştirme yapılamamıştır.

## BÖLÜM 4

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışması ile ilgili elde edilen genel sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Tez çalışması kapsamında incelenen ve doğrudan kullanım alanları sınırlı olan iri çakıl ile moloz sınıflarında yer alan agrega malzemelerinin kırma-eleme işlemleri neticesinde kırma çakıl hammadde malzemesi olarak değerlendirme olanağı bulunmaktadır. Kırma çakıl malzemesinin en yaygın kullanım alanlarını beton imalatı, karayolu yol yapısı ve kıyı yapıları oluşturmaktadır.
- Agrega malzemesinin farkı kullanım alanlarında uygunluğunun değerlendirilebilmesi için şartnamelerde belirtilen fiziksel (yoğunluk, su emme vb.) ve mekanik (aşınma dayanımı, darbe dayanımı vb.) özelliklere sahip olması gerekmektedir. İklim ve kullanım koşullarına bağlı olarak don kaybı deneyi de önem arz etmektedir.
- İri çakıl agrega malzemesinin dayanımının kestirimi için doğrudan Los Angeles aşınma dayanımı ve dolaylı olarak agrega darbe dayanımı ile nokta yükü dayanımı indeksi deneyleri kullanılabilmektedir.
- Çalışma kapsamında stok sahasından alınan agrega malzemeleri petrografik analizler neticesinde 7 farklı litolojik kayaç türüne ayrılmıştır. Bu kayaç türleri; andezit, silisifiye kumtaşı, radyolaritli-çörtlü kireçtaşı, oolitlik kireçtaşı, konglomera, granit-granodiyorit ve kumtaşından oluşmaktadır.
- Çakıl agrega malzemesinin parçalanmaya ve bozunmaya karşı dayanımın önemli fiziksel özellikleri olarak kabul edilen yoğunluk ve su emme değerleri incelenen kayaçlar için iyi sınıfta yer almaktadır.

- İncelenen farklı kayaç türleri için elde edilen Los Angeles aşınma dayanımı değerleri karayolları kırma çakıl yol agregası malzemesi ve kıyı yapıları için talep edilen agregası özelliklerini önemli ölçüde sağlamaktadır.

- İri çakıl kaya malzemesinin basınç dayanımının dolaylı olarak belirlenebilmesi için yuvarlak taş ve moloz sınıfında yer alan boyutlara sahip çakıl örneklerinden karot alma yöntemiyle örnek alımı gerçekleştirebilmektedir. Karot kesim ve yüzey düzeltme işlemleri ile eksenel nokta yükü dayanımı deneyinde kullanılan standartlara uygun şekil ve boyutlara sahip disk şeklinde kaya örnekleri hazırlanabilmektedir. Eksenel nokta yükü dayanımı deneyleri gerçekleştirilerek farklı kayaç türleri için elde dayanım değerleri yüksek dayanım sınıfında yer almaktadır. Kayanın bozunma derecesinin malzeme dayanımında önemli miktarda azalmaya yol açmaktadır.

- Hem laboratuvar hem de arazi ortamında pratik olarak uygulanabilen agregası darbe dayanımı indeks deneyi ile farklı kayaç türlerine ait kırma çakıl malzemesinin parçalanmaya karşı dayanımı dolaylı olarak incelenip tahmin edilebilmektedir. Agregası darbe dayanımı sınıflandırması açısından incelenen kaya agregası malzemeleri genelde yüksek dayanım sınıfında yer almaktadır.

- Tez çalışması kapsamında incelenen yedi farklı litolojiye sahip kırma-çakıl agregası malzemesi için elde edilen agregası darbe dayanımı indeks (AIV) değerleri ve Los Angeles aşınma dayanımı (LA) değerleri arasında doğrusal regresyon analizi sonucunda yakın bir ilişki elde edilmiştir. Önerilen eşitlik ile Los Angeles aşınma dayanımı deneyine kıyasla daha kolay uygulanabilen, daha az agregası malzemesine ihtiyaç duyulan ve laboratuvar ortamı haricinde arazide de kullanıma elverişli olan agregası darbe dayanım indeksi deney verileri aracılığıyla Los Angeles aşınma dayanımı değeri güvenli bir şekilde kestirimi yapılabilmektedir.

Tez çalışması kapsamında incelenen ve doğrudan kullanım alanları sınır olan genelde artık şeklindeki iri çakıl ile moloz sınıflarında yer alan agregası malzemelerinin kırma çakıl malzemesi olarak kullanılması ile ekonomiye kazandırılabilir. Tez çalışması deney aşaması oldukça zahmetli ve zaman alıcı olan nispeten sınırlı sayıda örnek üzerinde gerçekleştirilmiştir. Gelecekte tez çalışması kapsamında belirtilen deney yöntemleri kullanılarak ilave veriler aracılığıyla agregası malzeme uygunluğunun güvenli bir şekilde kestirimi için çalışmanın geliştirilmesi önerilmektedir. Konu ayrıca enerji sarfıyatı, mekanik aşınma, verimlilik ve maliyet açısından da irdelenmelidir.

## KAYNAKLAR

- Arioğlu E, Arioğlu N ve Yılmaz A O** (2006) *Beton Agregaları – Çözümlü Problemler – Bilgi Föyleri*. Evrim Yayınevi, İstanbul, 174.
- ASTM D5731-08** (2008) Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock and Application to Rock Strength Classifications.
- Bieniawski Z T** (1975) The Point-Load Test in Geotechnical Practice, *Engineering Geology*, 9, M Ipp.
- BS 812-112** (1990) Testing Aggregates. Method for Determination of Aggregate Impact Value.
- CIRIA CUR** (1991) *Kıyı Mühendisliği El Kitabı*. İngiltere İnşaat Sektörü Araştırma ve Enformasyon Kurumu ile Hollanda İnşaat Mühendisliği Araştırma ve Standartlar Merkezi.
- DHL** (2007) *Demiryolları Malzeme, Yapım, Kontrol ve Bakım Onarım Teknik Esasları*. T.C. Ulaştırma Bakanlığı Demiryollar, Limanlar, Havameydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Erdoğan T Y** (1995) *Betonu Oluşturan Malzemeler: Agregalar*. Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, İstanbul.
- Ersoy U** (1985) *Betonarme*. Cilt 1, Evrim Yayınevi, İstanbul.
- Güner M S ve Süme V** (2001) *Yapı Malzemesi ve Beton*. 3. Baskı, ISBN: 9756755210, Aktif Yayınevi, İstanbul.
- IS 2386-4** (1963) Methods of Test for Aggregate for Concrete, Mechanical Properties, Indian Standard, 10th Edition, New Delhi, 10–16.
- ISO 14688-1** (2002) Geotechnical Investigation and Testing - Identification and Classification of Soil - Part 1: Identification and Description, 4-9.
- ISRM** (1981) Basic Technical Description of Rock Masses, *International Journal of Rock Mech. and Mining Sci. and Geomech. Abst.*, 18, 85-110.
- ISRM** (1985) Point Load Test, Suggested Method for Determining Point Load Strength, *International Journal of Rock Mech. and Mining Sci. and Geomech. Abst.*, 22, 55-60.
- KGM** (2013) Karayolları Teknik Şartnamesi, 401-417.
- KGM** (2016) *Beton Yol Kaplamaları Teknik Şartnamesi*. Karayolları Genel Müdürlüğü Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı, 14.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Kırçıl M S** (2008) *Betonarme Ders Notları*. Yıldız Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Koç A** (2001) Betonda Kullanılan Agregaların Petrografisinin Beton Mukavemetine Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Özışık G** (1998) *Beton*. İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Powers M C** (1953) *A New Roundness Scale for Sedimentary Parti-Cles*. Journal of Sedimentary Research, 23.2.
- Şimşek O** (2003) *Yapı Malzemesi II*. 2. Baskı, Beta Basım Yayım A.Ş., Ankara.
- Şkriyelj S** (2001) Kırmataşların (Agregaların) Yol İnşaatlarındaki Kullanımının Değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana.
- TS 706 EN 12620+A1** (2009) Beton Agregaları. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS 10088 EN 932-3** (1997) Agregaların Genel Özellikleri İçin Deneyler Kısım 3: Basitleştirilmiş Petrografik Tanımlama İçin İşlem ve Terminoloji. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-2** (2010) Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler – Parçalanma Direncinin Tayini İçin Metotlar. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS 13515** (2014) TS EN 206'nın Uygulamasına Yönelik Tamamlayıcı Standard. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1367-2** (2011) Agregaların Termal ve Bozunma Özellikleri İçin Deneyler – Bölüm 2: Magnezyum Sülfat Deneyi, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- Uğurlu A** (1999) *Agrega – Çimento Hamuru Bağ Üzerine. II. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul.
- Ünsal A ve Şen H** (2008) *Beton ve Beton Malzemeleri Laboratuvar Deneyleri*. T.C Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Yiğit A** (2005) Çerçideresi Taş ocağı Malzemesinin Beton ve Asfalt Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Sivas.

## ÖZGEÇMİŞ

Koray SELYANI 1991 yılında Zonguldak'ta doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Zonguldak ili Devrek ilçesinde tamamladı. 2010 yılında Niğde Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümünde başladığı lisans eğitimini 2014 yılında bölüm birincisi olarak tamamladı. Halen 2014 yılında girdiği Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programına devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ:**

**Adres:** Karşıyaka Mahallesi Erenleraltı Sokak  
No: 10 Kat: 3 Daire: 5 Devrek/Zonguldak

**Tel:** (531) 511 16 02

**E-posta:** korayselyani@gmail.com