

# **SERT KAYAÇLARDA DELİNEBİLİRLİK TAYİNİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Yüksek Lisans Tezi  
Maden Mühendisliği Bölümü, Maden İşletme Anabilim Dalı**

**Engin KARAMAN**

**Aralık, 2008**

**İZMİR**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

**ENGİN KARAMAN** tarafından **YRD. DOÇ. DR. HAYATİ YENİCE** yönetiminde hazırlanan “**SERT KAYAÇLARDA DELİNEBİLİRLİK TAYİNİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....  
\_\_\_\_\_  
Yönetici

.....  
\_\_\_\_\_  
Jüri Üyesi

.....  
\_\_\_\_\_  
Jüri Üyesi

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Bu projenin tamamlanması için gerekli olan makina ve ekipmanın bölümümüze kazandırılmasında büyük emeği geçen ve projenin yazılması hakkında öneri ve görüşlerini esirgemeyen sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Hayati YENİCE' ye, Araş. Gör. Dr. Doğan KARAKUŐ, Araş. Gör. Dr. Kemal ÖZFIRAT' a ve Karaelmas Üniversitesi öğretim üyesi Yrd. Doç. Dr. Olgay Yaralı' ya teşekkür ederim. Çalışmada kullanılan deney aletlerinin orijinali Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi SINTEF kayaç ve zemin mekaniği laboratuvarında bulunmaktadır. Çalışmalarımnda yayınlarından yararlandığım SINTEF kurumuna ve Prof. Dr. Filip DAHL'a teşekkürü bir borç bilirim.

Engin KARAMAN

## SERT KAYAÇLARDA DELİNEBİLİRLİK TAYİNİ

### ÖZ

Bu çalışmada, makina ekipman ve kesici uç (keski) özelliklerine bakılmaksızın kayaç özelliklerine bağlı olan delinebilirlik teriminin, çeşitli laboratuvar deneyleri ile tanımlanması hedeflenmiştir. Bu amaçla; belirli bölgelerden alınan karot ve küp şekilli numunelere birim hacim ağırlık, gözeneklilik oranı, tek eksenli basınç dayanımı, deformasyon, shore sertliği gibi temel kaya mekaniği deneylerinin yanı sıra, delinebilirlik deneylerinde kullanılan DRI laboratuvar deneyleri olan kırılma ve minyatür delme deneyi (Brittleness testi ve Sievers' J deneyi) yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar birbiri ile karşılaştırılmıştır.

**Anahtar sözcükler:** Kırılma, Brittleness, Delinebilirlik, DRI, Sievers' J

## **DETERMINATION OF DRILLABILITY IN HARD ROCKS**

### **ABSTRACT**

In this thesis; defining of the term of drillability which is depended on rock properties regardless of machine, equipment and cutter bit properties, is aimed with various laboratory tests. To this end; density, porosity, uniaxial compressive strength, deformation, shore hardness and DRI (Brittleness and Sievers' J tests) tests are applied to cubical and cylindrical shaped samples which received from certain locations. Eventually, test results compared with drilling rate index.

**Keywords:** Drillability, DRI, Brittleness, Sievers' J

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ .....	iv
ABSTRACT .....	v
<b>BÖLÜM BİR – GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>BÖLÜM İKİ - DELİNEBİLİRLİĞE ETKİ EDEN FAKTÖRLER.....</b>	<b>2</b>
2.1 Doku ve Tane Boyları .....	2
2.2 Mohs Sertliği.....	3
2.3 Tek Eksenli Basınç Dayanımı .....	4
2.4 Süreksizliklerin Durumu, Kırıklar ve Çatlaklar .....	5
<b>BÖLÜM ÜÇ - DELİNEBİLİRLİK TAYİNİNDE YAPILAN DENEYLER .....</b>	<b>8</b>
3.1 Birim Hacim Ağırlık (Yoğunluk) Deneyi .....	8
3.1.1 Boşluk Hacminin Bulunması.....	9
3.1.2 Porozitenin Bulunması .....	10
3.1.3 Boşluk Oranının Bulunması .....	10
3.2 Shore Skleroskopu ile Yüzey Sertliğinin Ölçülmesi.....	10
3.3 Tek Eksenli Basınç Dayanımı, Deformasyon ve Spesifik Tahrip Enerjisi .....	11
3.4 Delinebilirlik Oranı İndeksi (DRI, Drilling Rate Index).....	16
3.4.1 Kırılganlık (Brittleness) Testi .....	17
3.4.2 Sievers' J Minyatür Delme Testi .....	20
3.4.3 Delinebilirlik Oranı (DRI) Tayini.....	23
<b>BÖLÜM DÖRT - YAPILAN DENEYLERİN SONUÇLARI.....</b>	<b>26</b>
4.1 Numunelerin Fiziksel Özellikleri .....	26

4.2 Numunelerin Tek Eksenli Basınç Dayanımları.....	28
4.3 Numunelerin Shore Sertlikleri ve Mohs Sertlikleri .....	30
4.4 Numunelerin Minyatür Delme (Sievers' J), Kırılmalık (Brittleness) Değerleri ve Delinebilirlik Oranı (DRI) Tayini .....	30
4.4.1 Sievers' J Minyatür Delme Deneylerinin Yapılması.....	31
4.4.2 Kırılmalık (Brittleness) Deneylerinin Yapılması.....	37
4.4.3 Delinebilirlik Oranı (DRI) Değerlerinin Bulunması .....	37
4.5 Deformasyon Deneyleri ve Spesifik Tahrip Enerjisi Tayini.....	40
4.6 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	50
<b>BÖLÜM BEŞ - SONUÇLAR .....</b>	<b>54</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>55</b>

## BÖLÜM BİR

### GİRİŞ

Günümüzde, insanoğlunun artan nüfusu nedeni ile gereksinimlerini karşılamak için yeraltı zenginliklerinin önemi daha da artmıştır. Yeraltı zenginliklerini insanoğluna ulaştırmak yani insanoğlunun kullanımına sunmak için ilk önce bu zenginliklere ulaşılması gereklidir. Bunun için yeraltı zenginliklerini kaplayan örtü tabakasının aşılması gereklidir. Yine aynı şekilde yerüstü ulaşımının yetersiz kaldığı durumlarda yeraltından ulaşımın gerekliliği ortaya çıkmıştır. Yerüstünden yeraltına bir yol yani bir geçidin açılması gereklidir. Bu geçidin açılması içinde örtü tabakasının delinmesi gerekliliktir. Sadece yeraltındaki zenginliklere erişmek yada yeraltında yapılar oluşturmak için değil, yeryüzünde kayaca bağlı yapılar oluşturmak içinde kayaçların delinmesi gereklidir. Kısacası kayaçların delinmesini gerektiren her durumda “delinebilirlik” kavramı ortaya çıkmaktadır.

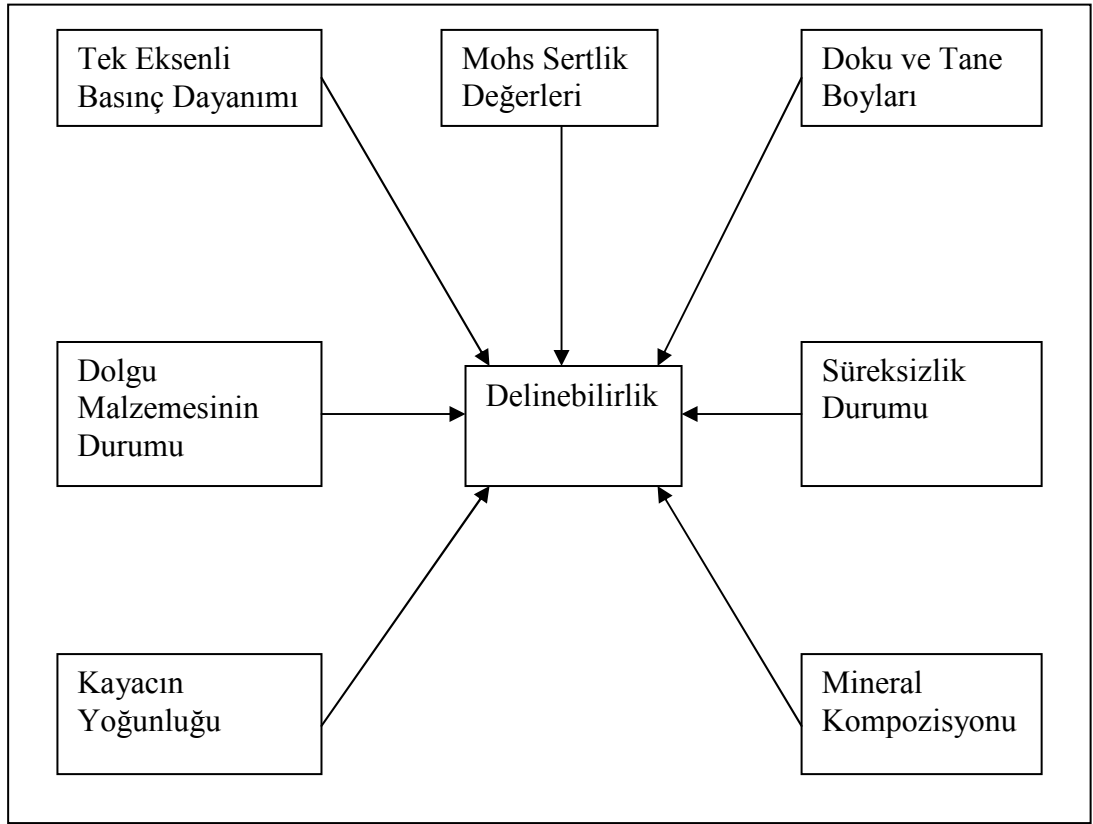
Delinebilirlik; delici ucun kayaç içinde belirli bir zamanda kayacı delerek ilerlemesidir. Bir diğer ifade ile kaya kütlesinde delik delme kolaylığıdır. Delinme hızı ise kayaç içerisinde, dakikadaki santimetre ilerleme hızı olarak ölçülür. Delinebilirlik ile delinme hızı aynı kavram olarak tanımlanabilir. Delinebilirlik kolay ya da zor olarak delinme hızı ise hızlı ya da yavaş olarak ifade edilir. Delinebilirliğe etki eden birçok parametre vardır. Bunlar makine ve ekipmana bağlı parametreler (delme makinasının tipi, dönme hızı, bastırma kuvveti, keski tipi v.b.), delme işlemine bağlı parametreler (delme metotları, makinanın çalışma ve bakımı, makine operatörünün deneyimi, v.b.) ile jeolojik parametreler (kaya tipi, kayaların mekanik özellikleri, süreksizlikler, mineral kompozisyonu) dir. Makine, ekipman ve delme işlemine bağlı parametreler kontrol edilebilir parametreler olup, jeolojik özelliklere bağlı parametreler ise kontrol edilemeyen parametrelerdir. Bu proje kapsamında, kayaca bağlı olan yani belirli jeolojik özelliklere bağlı delinebilirlik özellikleri incelenmiş, bu özelliklere bağlı laboratuvar deneyleri yapılmıştır.



## BÖLÜM İKİ

### DELİNEBİLİRLİĞE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Delinebilirliğe etki eden kaya yapısına bağlı faktörler, kaya formasyonundan, Mohs sertliğine, tek eksenli basınç dayanımından kayacın birim hacim ağırlığına, kaya kütlelerinin yapısal özelliklerinden (kırıkların durumu, çatlaklar v.b.), kayacın dokusal özelliklerine kadar birçok değişkene bağlıdır. Şekil 2.1’ de delinebilirliğe etki eden faktörler gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Delinebilirliğe etki eden faktörlerin şematik gösterimi

#### 2.1 Doku ve Tane Boyları

Kayaç dokusu ve tane boyu, delinebilirliği etkileyen faktörlerden biridir. Tane boyları ince ve doku kompakt (yoğun) olduğu zaman delinebilirlik düşmektedir. İri tane boyuna ve daha gözenekli dokuya sahip kaya türlerinde ise delinebilirlik yüksektir. Tablo 2.1 de doku ve tane boyutuna göre delinme hızları verilmiştir.

Tablo 2.1 Doku ve tane boyu ile delinme hızı arasındaki ilişki (Wilbur, 1982)

Delinme durumu	Doku ve tane boyu
Hızlı	Poroz (Gözenekler çok belirgin)
Orta – Hızlı	Parçalı (Parçalar gevşek yada yarı sağlam)
Orta	Granitoid (Tane boyları farkına varılacak kadar büyük, orta derecede tane boyutlu granit)
Orta – Yavaş	Porfiritik (İnce taneli granit içinde iri kristaller)
Yavaş	Yoğun (Tane yapısı çıplak gözle görülemeyecek kadar ince)

## 2.2 Mohs Sertliği

Sertlik; basit bir tabir ile kayacın delinmeye karşı olan direnci, olarak tanımlanabilir. Kayaç sertliği, delme işlemi sırasında karşılaşılan ilk zorluktur. Delici ucun kayaç içerisine girene kadar kayaç yüzeyindeki zorlanması kayaç sertliğinden doğmaktadır. Delici ucun kayacın içine girdikten sonraki delme işlemi nispeten daha hızlıdır. Kayaç sertliği, delinebilirliğin yavaş yada hızlı olmasında bunun yanında delici uçların hızlı yada yavaş aşınmasında etkili rol oynamaktadır. Kayaç sertliğine etki eden parametreler ise; kayacı oluşturan minerallerin çeşidi, dağılımı ve homojenliği, kayacı oluşturan minerallerin tane boyu ve şekilleri, kayacın su içeriği v.b. dir. Delinebilirlik açısından, tek eksenli basınç dayanımından sonra en çok fikir veren özelliktir. Mohs sertlik değerlerinin tayini tek eksenli basınç dayanımına göre daha kolaydır.

Minerallerin sertlik değerleri Tablo 2.2 de verilmiştir. Burada, her mineralin karşısında bulunan numara, mineralin sertliğini bildirmektedir. Mineraller, kendi numarası ile aynı yada daha düşük olan diğer mineralleri çizerler. Kayaçlar genelde birden fazla mineral içerdiklerinden, kayaç numunesinin farklı noktalarında ölçüm yapmak, ortalama kayaç sertliğini bulmak açısından önemlidir. Tablo 2.3 de ise Mohs sertlik değerlerine göre kayaçların sınıflandırılması verilmiştir.

Tablo 2.2 Mohs sertlik değerleri (NAST, 1955)

1	Talk	6	Feldspat
2	Jips	7	Kuvars
3	Kalsit	8	Topaz
4	Flüorit	9	Korundum
5	Apatit	10	Elmas

Tablo 2.3 Mohs sertlik değerlerine göre kayaçların sınıflaması (Hoseinie S.H., 2007)

Mohs sertliği	1 – 3	3 – 4,5	4,5 – 6	6 – 7	> 7
Açıklama	Çok Yumuşak	Nispeten Yumuşak	Nispeten Sert	Sert	Çok Sert

### 2.3 Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Tek eksenli basınç dayanımı kayaçların en önemli mühendislik özelliğidir. Tek eksenli basınç dayanımı birçok kayaç sınıflama sisteminde kullanılan en önemli parametredir. Çünkü kayacı oluşturan malzemenin sağlamlığı, genel kaya kütesinin dayanımını arttırmaktadır. Tek eksenli basınç dayanımını etkileyen önemli faktörlerin başında; kayacı oluşturan mineraller ve dağılımları, mikro çatlaklar, porozite, yoğunluk, elastisite v.b. gelmektedir. Düşük poroziteli kayaçlar genelde yüksek yoğunluk değerlerinde olmakla birlikte, yüksek basınç dayanımları vermektedirler. Bunun terside, düşük yoğunluk değerli kayaçların düşük basınç dayanımı verdikleri görülmüştür. Tablo 2.4 de tek eksenli basınç dayanımları ve kayaçların dayanım durumları gösterilmiştir.

Tablo 2.4 Tek eksenli basınç dayanımlarına göre kayaçların sınıflandırılması (Hoseinie S.H., 2007)

Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	1 – 25	25 – 50	50 – 100	100 – 200	> 200
Açıklama	Çok Zayıf	Zayıf	Orta Sağlamlıkta	Sağlam	Çok Sağlam

## 2.4 Süreksizliklerin Durumu, Kırıklar ve Çatlaklar

Kaya kütlelerinin genel yapısı delme işleminin etkinliğinde önemli rol oynar. Kaya kütlelerinin yapısı ile kaya delinebilirliği arasında önemli bir ilişki vardır. Eklemlili kaya yapılarında delik delmek, sağlam yapılara oranla çok daha zordur. Aşırı eklemlili, süreksizlik araları açık bölgelerde delik delmek beraberinde birçok sorun getirir. Bu formasyonlarda delik delme işlemi sırasında delici ucun sıkışması delinebilirliğin düşmesi açısından en büyük etkidir.

Eklemlili sistemlerdeki en önemli karakteristik özellik, süreksizlikler arasındaki mesafedir. Kayanın delinebilirliği, bu mesafeye bağlıdır. Süreksizlikler arası mesafe, kaya kütlelerinin kalitelerinin sınıflandırılmasında kullanılan önemli bir parametredir. Bu mesafe azaldıkça, delme ortamının sürekliliği de azalacak, bunun sonucunda, delinebilirlikte azalacaktır. Yapılan araştırmalarda elde edilen sonuçlara göre, 1 metre ve üzerindeki süreksizlikler arasındaki mesafelerde, delme işlemi daha etkili olmaktadır. 50 cm ve altındaki mesafelerde ise, delinebilirlik çok düşüktür (Hoseinie, 2008).

Delinebilirliğe etki eden süreksizlikler ile ilgili bir diğer önemli özellikte, süreksizliklerin açıklıkları ve bu açıklıkları dolduran dolgu malzemesinin varlığıdır. Arası kapalı çatlaklar veya eklemlilerin olduğu durumların, delinebilirlik üzerine çokta olumsuz bir etkisi yoktur. Açık eklemlilerin bulunması, delici uçların eksenden sapmasına, temizlik elemanlarının (basınçlı hava, su) buralardan kaçmasına ve delici uçların kilitlenmesine neden olmaktadır. Süreksizlikleri dolduran dolgu malzemesi ana kayaktan daha yumuşaksa, delici uçlar bu süreksizliklerin açısında devem etmek isteyeceklerinden dolayı, delinebilirlik azalacaktır. Tam tersi durumlarda ise delinebilirlik etkilenmeyecektir. Kısacası süreksizlik dolgu malzemesinin delme işlemi yapılan kayadan daha sert yada aynı sertlikte olması delinebilirliğe olumsuz bir etki yapmayacaktır. Yapılan deneyler, daha küçük yapıllı dolgu malzemelerinin olduğu süreksizliklerde delinebilirliğin olumsuz yönde etkilendiği görülmüştür. Bu gibi durumlarda, delik dibindeki ufalanmış kayacın dışarı çıkması zorlaşmaktadır ve sonuçta yine delinebilirlik olumsuz yönde etkilenmektedir.

Tablo 2.5 Kaya formasyonu ile delinme arasındaki ilişki (Wilbur, 1982)

<b>Delinme durumu</b>	<b>Formasyon</b>
Hızlı	Masif (Katı yada yoğun damarsız)
Orta – Hızlı	Tabakalı (İnce yatay süreksizliklerle bölünmüş kalın tabakalar)
Orta	İnce tabakalı (Yatay süreksizliklerle bölünmüş ince tabakalar)
Orta - Yavaş	Damarlı (Birçok açık yatay ve düşey süreksizlikler bulunmakta)
Yavaş	Blok şekilli (Her yönde arası açık yada dolgu malzemeli birçok süreksizliklerin bulunduğu durum)

Eklemlerin eğimi de delinebilirliği etkileyen faktörlerdendir. Eklemler deliğin sapmasına ve bunun sonucunda delme yükü ile delinme performansı olumsuz yönde etkilenir. Dolgu malzemesi ile dolmuş eklem takımlarında eğime bağlı olarak delme işlemi sırasında ve sonrasında, delik içine dolabilir buda delici ucun sıkışmasına neden olabilir. Yapılan deneyler sonucunda, delik istikameti ile eklem yüzeyi arasındaki açı artar ise, delinebilirlik kolaylaşabilir.

Süreksizliklerin içinde birde daha küçük boyutlu kırık ve çatlakları (mikro çatlak) da sayabiliriz. Delinebilirlik tanımında kırıklar, bir çekiç darbesi ile kayacın nasıl kırılacağını ifade eder. Masif kırıksız kayalar daha yavaş delinirken, dayanımsız kayalar daha hızlı delinmektedir. Tablo 2.6 da kırılma tipine göre delinme hızları verilmiştir.

Tablo 2.6 Kırılma şekline göre delinme durumu (Wilbur, 1982)

<b>Delinme Durumu</b>	<b>Kaya çeşidi ve kırılma şekli</b>
Hızlı	Çekiçle hafifçe vurulduğunda, küçük parçalara dağılma
Orta – Hızlı	Gevrek (Hafif çekiç darbesi ile kolayca kırılma)
Orta	Dilimli (Çekiçle vurulduğunda dilimlere ayrılır)
Orta – Yavaş	Sağlam (Sert çekiç darbelerinde bile kırılmaya dayanıklı)
Yavaş	Dövülebilir (Kaya, çekiç darbeleri altında kırılma özelliği göstermek yerine (sac levha şeklinde) düzlenmektedir.

Bu özelliklerin dışında kayaç yapısına bağlı olarak delinebilirliği etkileyen diğer faktörler ise; kuvars mineralini içerme oranı, porozite, anizotropi, su içeriği dir.

Delinebilirliğe etki eden başlıca faktörleri inceledikten sonra, bir sonraki bölümde delinebilirlik tayini için gerekli olan DRI (Drilling Rate Index) yani delinme oranı endeksi ile belirli kaya mekaniği deneylerinin açıklaması yapılmıştır.

## BÖLÜM ÜÇ

### DELİNEBİLİRLİK TAYİNİNDE YAPILAN DENEYLER

Delinebilirlik tayini deneylerinde; delinebilirlik ile ilgili kesin sonuçları veren deneyler; delinebilirlik oranı, DRI (Kırılabilirlik, Brittleness ile Sievers' J, minyatür delik delme) deneyleri, kayaçların diğer özelliklerine bağlı deneylerin (tek eksenli basınç dayanımı, porozite, shore sertlik değerleri, birim hacim ağırlıkları ve deformasyon deneyi) yapılması kayaç özellikleri ile delinebilirlik arasındaki ilişkiyi vermesi açısından yapılması gereklidir.

Bu bölümde yapılan laboratuvar deneylerinin tanımı yapılmıştır. Bir sonraki bölümde ise deneylerdeki çalışmalar ve deney sonuçları verilmiştir.

#### 3.1 Birim Hacim Ağırlık Deneyi

Birim hacim ağırlık, kayaç (numune) toplam ağırlığının, kayacın toplam hacmine bölünmesi ile bulunmaktadır. Sembolü  $d$  harfi yada uluslararası kullanımda Yunan Alfabesi' n den  $\rho$  (rho) harfidir.

$$d = \frac{m}{v} \quad \text{veya} \quad \rho = \frac{W}{V} \quad \text{şeklinde formüle edilir. Burada;}$$

$m$  veya  $W$  : Numunenin toplam ağırlığını,

$v$  veya  $V$  : Numunenin toplam hacmini,

$d$  veya  $\rho$  : Birim hacim ağırlığını göstermektedir. Birimi  $gr/cm^3$  veya  $ton/m^3$  olarak ifade edilir.

$$\text{Numune tane hacimleri; } V = \frac{M_{SAT} - M_{SUB}}{\rho_W} \text{ formülü ile hesaplanır. Burada;}$$

$V$  : Numune tane hacmini,

$M_{SAT}$  : Numunenin suya doygun haldeki ağırlığını,

$M_{SUB}$  : Numunenin su içindeki batık kütesinin ağırlığını,

$\rho_W$  : Suyun yoğunluğu dur.

Düzgün şekilli numunelere yada düzgün geometrik şekli olmayan numunelerde birim hacim ağırlık ölçülebilir. Delinebilirlik deneylerinde düzgün şekilli küp ve silindirik numuneler kullanıldığı için, geometrik şekli düzgün olmayan numunelerin birim hacim ağırlık ölçümlerine değinilmemiştir. Düzgün şekilli numunelerin birim hacim ağırlıklarının tayininde küp şeklinde ya da silindirik numuneler kullanılır. Boyutları 0,1 mm duyarlılıkla ölçülen numunelerin hacimleri hesaplanır. Sonra  $105 \pm 5$  °C sıcaklıktaki etüvde değışmez ağırlığa (8' er saatlik aralıklarla yapılan ağırlık ölçümlerinde, ağırlıklar arası fark numune ağırlığının % 0,1' in den az ise değışmez ağırlıktır) gelene kadar kurutulur. Daha sonra oda sıcaklığında nem almayacak şekilde (desikatör) soğutulan numunelerin ağırlıkları ölçülür. Numunenin kuru ağırlığının numune hacmine oranı birim hacim ağırlığını vermektedir. En az 3 numune kullanılarak elde edilen yoğunluk değerlerinin ortalaması alınarak ortalama numune yoğunluğu hesaplanır.

Birim hacim ağırlık deneylerinin yanında delinebilirliğe etkisinden dolayı gözeneklilik (porozite) ve buna bağlı boşluk hacmi ve boşluk oranlarının hesaplanmasında fayda vardır.

### **3.1.1 Boşluk Hacminin Bulunması**

Boşluk hacmi, kayaç numunelerinin, kuru ağırlıkları ile suya doymuş ağırlıkları arasındaki farktan bulunur.  $105 \pm 5$  °C sıcaklıktaki bir etüvde değışmez sıcaklığa gelene kadar kurutulmuş numuneler daha sonra vakumda yada normal şartlarda suya doymuş hale getirilir. 24 saat suda bekletilen numunelerin belirli aralıklarla ağırlıkları ölçülür. Elde edilen değerler arasındaki fark % 0,1 den az ise numune değışmez ağırlığa ulaşmış doymuş hale gelmiş sayılır. Doymuş numune ağırlığı ile kuru numune ağırlığı arasındaki farkın suyun yoğunluğuna bölünmesi boşluk hacmini verecektir. Boşluk hacmi  $V_v$  ile gösterilmektedir.

$$V_v = \frac{W_{doy} - W_{kuru}}{\rho_{su}}, \text{ formülü ile hesaplanmaktadır. Burada,}$$

$W_{doy}$  : Numunenin suya doymuş halinin ağırlığı,



$W_k$  : Kuru numunenin ağırlığı,

$\rho_{su}$  : Suyun birim hacim ağırlığı,

$V_V$  : Boşluk hacmidir. Birimi  $cm^3$  dür.

### 3.1.2 Porozitenin Bulunması

Porozite; boşluk hacminin, numune hacmine oranlanması ile elde edilir. Yüzde (%) olarak ifade edilir.

$$n = \frac{V_V}{V} \times 100, \text{ formülünden hesaplanır. Burada;}$$

$V_V$  : Boşluk hacmi,

$V$  : Numune hacmi,

$n$  : Porozite dir.

### 3.1.3 Boşluk Oranının Bulunması

Boşluk oranı, gözenekliliğin kayaca oranı olarak tanımlanabilir.

$$e = \frac{n}{100 - n} \text{ formülü ile hesaplanır. Burada,}$$

$n$  : Porozite,

$e$  : Boşluk oranı dır.

## 3.2 Shore Skleroskopu ile Yüzey Sertliğinin Ölçülmesi

Belirli bir ağırlığa ( $\approx 2,40$  gr) sahip elmas yada sertleştirilmiş metal uçlu bir çekice, sabit bir ( $\approx 25$  cm) yükseklikten yatay durumda konumlandırılmış bir numune üzerinde serbest düşme yaptırılır. Bu çekiç, örneğin yapısına göre enerjisinin bir kısmını yüzeyde deformasyon oluşturacak şekilde numuneye aktarır kalan enerjisi ile de numune üzerinden zıplar. Çekicinin zıplama yüksekliği skleroskopun kadranından okunur. Bu kadran skleroskopun tipine göre değişkenlik göstermektedir. Bazı tiplerde 100 bölümlü, bazılarında ise 140 bölümlü olmaktadır. Zıplama

yüksekliği, shore sertliği olarak kabul edilir. Deney yapmadan önce skleroskop ile birlikte gelen referans çubukları ile skleroskopun kalibrasyonu kontrol edilmelidir. Yine deneylere başlamadan önce, skleroskopun üzerinde bulunduğu yüzeye tam oturması gerekmektedir. Bunun için kenarlarda bulunan su terazileri ile skleroskopun tam düşey konuma getirilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde, yapılan okumalar yanlış olacaktır.

Shore sertliği ölçülecek numunelerin yüzeyleri pürüzsüz olmalıdır. Pürüzlü yüzeylerde yapılan ölçümler, numunelerin gerçek shore değerlerinden düşük değerler verecektir. Numuneler pratikte her noktada homojen bir yapı göstermeyeceği için numunelerden en az 40 okuma yapılması uygundur. Bunun için numune yüzeyleri 5 mm aralıklara bölünerek numune yüzeyinin farklı noktalarından ölçümler yapılmalıdır. Ölçüm yapılacak numunelerin, en az 10 cm<sup>2</sup> yüzey alanına ve 1 cm kalınlığa sahip olması gerekmektedir. Shore sertlik değeri yapılan ölçümlerin ortalaması olarak kabul edilir.

### **3.3 Tek Eksenli Basınç Dayanımı, Deformasyon ve Spesifik Tahrip Enerjisi**

Kaya numunelerinde basınç dayanımı, üzerine uygulanan basınç kuvvetine karşı, kayarlın kırılmadan önceki dayanma yeteneği olarak tanımlanır. Kısacası kayaçların kırılmaya karşı gösterdikleri dirençtir. Düzgün geometrik şekilli numunelerin basınç dayanımlarının bulunmasında kullanılan en yaygın yöntemdir. Uygulaması kolay bir deney olmasına karşın kullanılan numunelerin özenle hazırlanması gereklidir.

Deneyde kullanılacak numuneler, silindirik yada küp şeklinde olmalıdır. Silindirik numuneler, NX karot çapından (54 mm) küçük olmamalıdır. Numunelerin boy / çap oranı 2 – 2,5 olmalıdır. Numunelerin alt ve üst yüzeyleri pürüzsüz ve düz olmalıdır. Numunelerin yan yüzeyleri düz olmalı, boyutları her yönde 0,3 mm den fazla sapma göstermemelidir. Numune ile deney plakaları arasında herhangi bir madde bulunmamalıdır. Aksi takdirde elde edilen tek eksenli basınç değerleri yanlış olacaktır. Numunelerin doğal su içerikleri ile deneylerin yapılması önemlidir. Çünkü kurutulmuş numuneler veya suya doygun numuneler deney sonuçlarının artmasına

yada azalmasına neden olacaktır. Numunelerin yükleme hızı belirli bir seviyede (0,5 MPa / sn) olmalıdır. Aşırı hızlı yüklemelerde numuneler çok daha fazla direnç göstereceğinden, elde edilen bulgular yanıltıcı olmaktadır. Küp şekilli numunelerde ise boyutlar 7 cm × 7 cm × 7 cm olmalı, yükleme hızı ise 0,2 – 0,5 MPa/sn civarında olmalıdır.

Tek eksenli basınç dayanımına etki eden faktörler; süreksizlikler, su içeriği, çimentolanma derecesi, izotropluk, boy / çap oranı, yükleme hızı, numunelerin alt ve üst yüzeylerinin nitelikleridir.

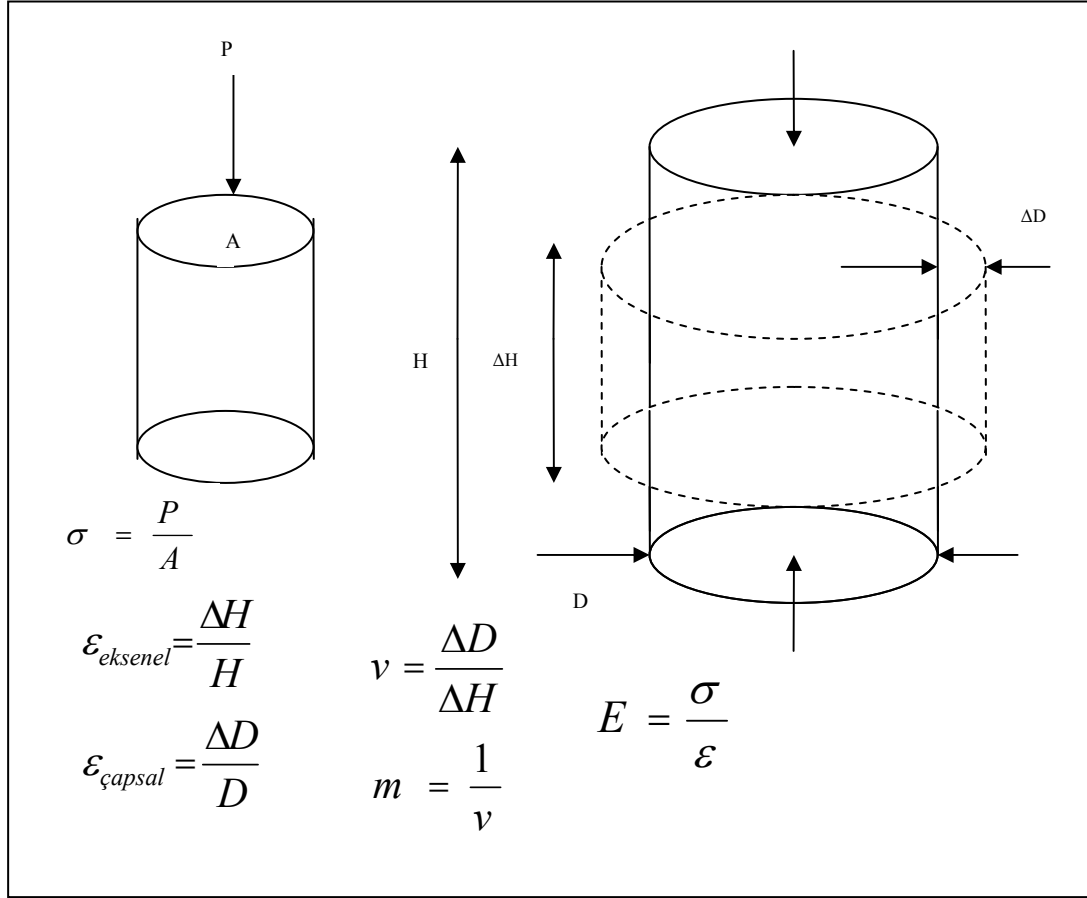
Tek eksenli basınç dayanımı;  $\sigma = \frac{P}{A}$  formülünden hesaplanır. Burada;

$P$  : Numunenin kırıldığı anda üzerinde bulunan yük,

$A$  : Yükün uygulandığı yüzeyin alanı,

$\sigma$  : Basma dayanımıdır. Genellikle, kg / cm<sup>2</sup> cinsinden hesaplanır.

Tek eksenli basınç dayanımı deneyleri ile birlikte deformasyon deneyide yapılabilir. Bunun için, tek eksenli basınç deneyi numunelerine strain gauge denilen mikro dirençler, yatay ya da düşey yönde yapıştırılmalıdır. Üzerine strain gauge yapıştırılan numuneler, üzerilerine yük almaya başladıklarında hem yatay yönde hem de düşey yönde bir miktar boyutsal değişime uğrar. Yatay yönde bir genişleme olurken düşey yönde bir kısalma meydana gelmektedir. Deformasyon cisme üç ayrı şekilde etki etmektedir. Birincisi; elastik deformasyon denilen, cisme etki eden kuvvetin kaldırılması ile deformasyonun kalkması durumudur. İkincisi; plastik deformasyon olup, burada cisme etki eden kuvvet kalksa da deformasyon ortadan kalkmayacaktır. Üçüncü durum ise viskoz deformasyonda ise, cisme etki eden kuvvet kalksa dahi cismin deformasyonunun sürekli artması şeklindedir. Kaya mekaniği deneylerinde çalışılan, numuneler ise elastik deformasyon ile plastik deformasyon arasında elasto – plastik deformasyon özellik göstermektedir. Burada cisme etkiyen kuvvet kalkınca deformasyonun bir kısmı ortadan kalmakta bir kısmı da cisim üzerinde kalmaktadır. Şekil 3.1 de tek eksenli basınç dayanımı ile oluşan deformasyon gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Tek eksenli basınç dayanımı deneyi ve oluşan deformasyonun şematik gösterimi.

Birim uzunluğu  $L$  kadar olan bir numune, düşey doğrultuda üzerine etkiyen yük nedeni ile  $\Delta l$  kadar kısalmaktadır. Kısalma miktarının tüm boya oranına deformasyon denir ve  $\varepsilon$  ile gösterilir.

Yük eksenini dışında kalan diğer iki eksenindeki boy değişiminin birbirine oranı Poisson oranını ( $\nu$ ) vermektedir. Bu oranın tersine ise Poisson sayısı ( $m$ ) denir. Gerilme ile deformasyonun birbirine oranına da “Elastisite Modülü” veya “Young Modülü” denir.  $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$ , formülü ile gösterilir. Birimi  $\text{kg} / \text{cm}^2$  dir. Deformasyon, delinebilirlik deneylerinde kayacın davranışını kavrayabilmek açısından önemlidir.

Deformasyon deneyi ile bulunabilecek bir diğer kavram ise spesifik tahrip enerjisi (Destruction Specific Energy,  $SE_{DES}$ ) kavramıdır. Delinebilirlik kavramına referans olabilecek bir kavram olan spesifik tahrip enerjisi ( $SE_{DES}$ ), deformasyon deneyi sonunda elde edilen  $\sigma - \varepsilon$  grafiğinin altında kalan alan olarak hesaplanır (Ersoy,

2003). Daha açık ifadeler ile tanımlamak gerekirse, kaya içinde yeni yüzeyler ya da yeni çatlaklar için gereken enerji miktarıdır. Birimi genellikle  $\text{kJ/m}^3$  olarak ifade edilir.



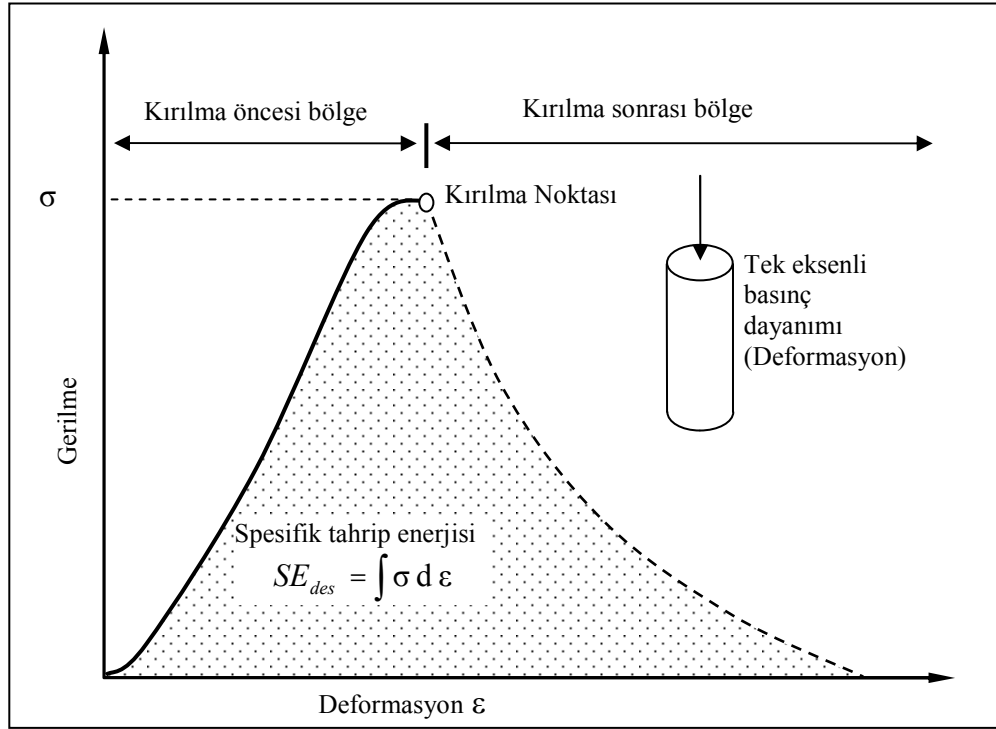
Şekil 3.2 Tek eksenli basınç dayanımı ve deformasyon deney düzeneği



Şekil 3.3 Tek eksenli basınç dayanımı deneyi sonunda numunede meydana gelen kırılmalar



Şekil 3.4 Tek eksenli basınç dayanımı ve deformasyonun ölçülmesi için kurulan düzenek



Şekil 3.5 Gerilme – Deformasyon eğrisine bağlı spesifik tahrip enerjisi grafiği (A. Ersoy)

Buraya kadar, delinebilirlik deneylerine yardımcı olacak deneyler anlatılmıştır. Bundan sonra anlatılacak deneyler delinebilirliğin tayini için yapılacak ana deneylerdir.

### 3.4 Delinebilirlik Oranı İndeksi (DRI, Drilling Rate Index)

DRI ya da delinme oranı indeksi, Norveç Teknoloji Enstitüsü (Norwegian Institute of Technology) SINTEF de 1960' lı yıllardan itibaren kayaçların delinebilirlik için yapılan çalışmaların toparlanması ile geliştirilmiştir. 1988 yılından itibaren İskandinav ülkelerinde delinebilirlik konusunda standart bir dene haline gelmiştir. Bu indeks Kırılma ve Minyatür delme (Sievers) testleri sonucunda elde edilen verilerin delinebilirlik oranı indeksi grafiğinden bulunmaktadır. Bu iki deneyde kullanılan deney aletlerinin orijinali Norveç Bilim ve Teknoloji Üniversitesi SINTEF Kayaç ve Zemin Mekaniği Laboratuvarında (Norwegian University of Science and Technology (NTNU) SINTEF Rock and Soil Mechanics) bulunmaktadır. Bu deney yöntemi özellikle sert kayaç kazılarındaki delme performansının tahmininde kullanılmaktadır (Yaralı, Soyer, 2007).

### 3.4.1 Kırılmalık (Brittleness) Testi

Devam eden darbelerle kayanın kırılmaya karşı olan direncinin ölçüldüğü bir deneydir. Test metodu 1943 yılında, N. von Matern ve A. Hjelmer tarafından İsveç'te geliştirilmiştir. Çeşitli kullanım amaçları için, testin, birkaç modifiye edilmiş versiyonu geliştirilmiştir. Bu standartta tanımlanan Kırılmalık (Brittleness) testi 1950'lerin sonundan beri kaya delinebilirliğinin tayininde kullanılmaktadır (Dahl, 2003).

Brittleness deneyinde kullanılacak numuneler çene açıklığı 13,6 mm' ye ayarlanmış bir çeneli kırıcıdan elde edilmektedir. Çeneli kırıcıdan elde edilen malzeme 11,2 mm ve 16 mm lik elekler (şekil 3.6) ile elenmektedir. 16 mm' nin üzerinde kalan malzeme gerekirse tekrar kırılmak üzere çeneli kırıcı için ayrılabilir. 11,2 mm altına geçen malzeme ise gerekirse yoğunluk deneyi için muhafaza edilebilir. 11,2 mm – 16 mm fraksiyonu arasındaki malzeme ise Brittleness deneyinde kullanılmak üzere ayrılmalıdır.

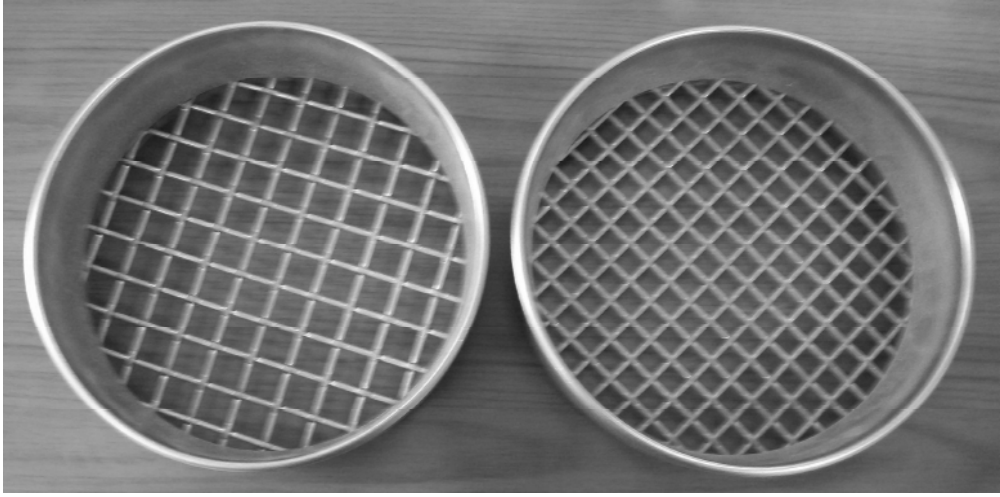
Havana konacak malzemenin ağırlığı,  $G = \frac{\rho}{2,65} \times 500$  formülü ile hesaplanır.

Burada; G, havana konacak malzemenin ağırlığını (gr),  $\rho$ , havana konacak malzemenin yoğunluğunu göstermektedir (Dahl, 2003). Çalışılan malzeme toz malzeme olmadığı için, tam anlamı ile gramajı tutturmak zor olacağından dolayı bu formülden elde edilen ağırlığa mümkün olduğunca yakın ağırlık değerleri numune ağırlığı olarak almak yeterlidir.

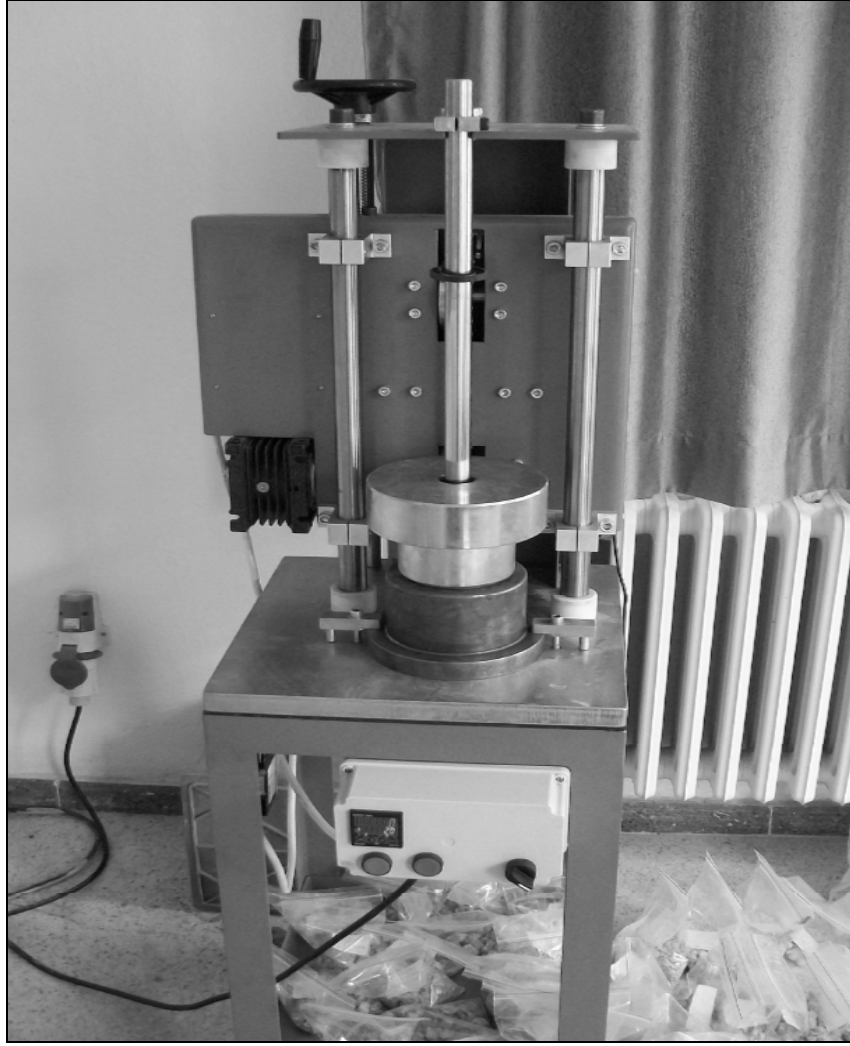
11,2 mm – 16 mm arasındaki çeneli kırıcıdan elde edilmiş ve ağırlığı hesaplanmış malzeme Brittleness test cihazının havan kısmına yerleştirilir. Havan kısmına yerleştirilen malzeme üzerine 25 cm yükseklikten 14 kg ağırlığa sahip tokmak 20 kere düşürülür. 20 darbenin sonunda havadaki malzeme 11,2 mm elek açıklığına sahip elekte tekrar elenir. 11,2 mm fraksiyonu altına geçen malzemenin yüzde olarak değeri Kırılmalık (Brittleness) değerini verir. Bu işlemin en az üç farklı numune üzerinde yapılması gerekmektedir. Brittleness değeri ise numunelerden elde edilen



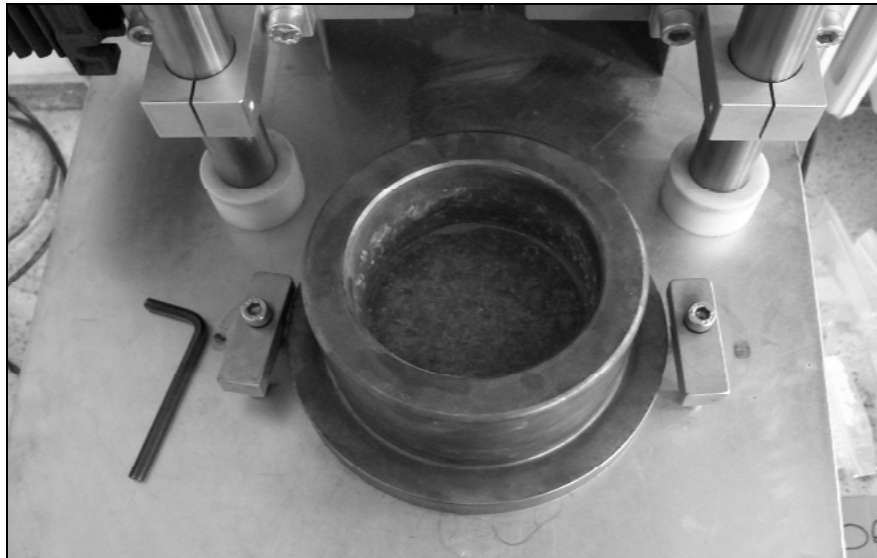
11,2 mm altına geçen malzemenin yüzdelерinin ortalamasıdır. Şekil 3.7 de Brittleness test cihazı, şekil 3.9 da ise kırılmalık test işleminin şeması gösterilmiştir.



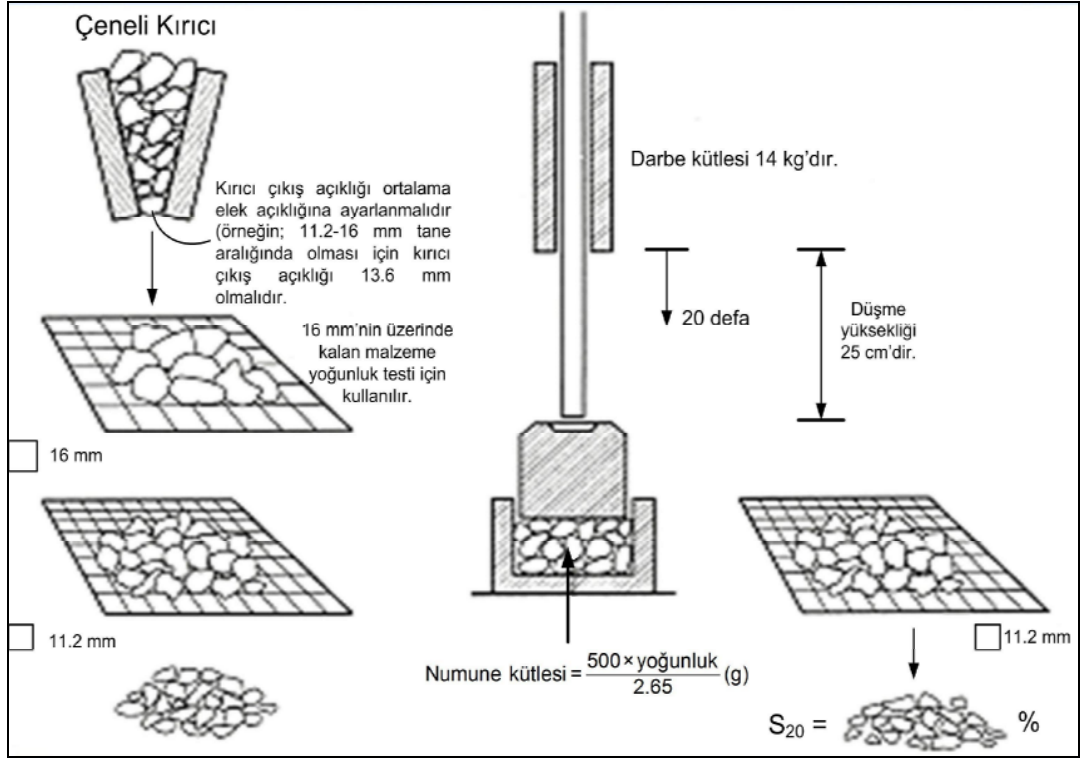
Şekil 3.6 Kırılmalık (Brittleness) deneyinde kullanılan elekler (16 mm ve 11,2 mm)



Şekil 3.7 Kırılgnlık (Brittleness) test cihazı



Şekil 3.8 Kırılgnlık (Brittleness) test cihazı havan elemanı



Şekil 3.9 Brittleness testinin şematik görünüşü (Dahl, 2003)

### 3.4.2 Sievers' J Minyatür Delme Testi

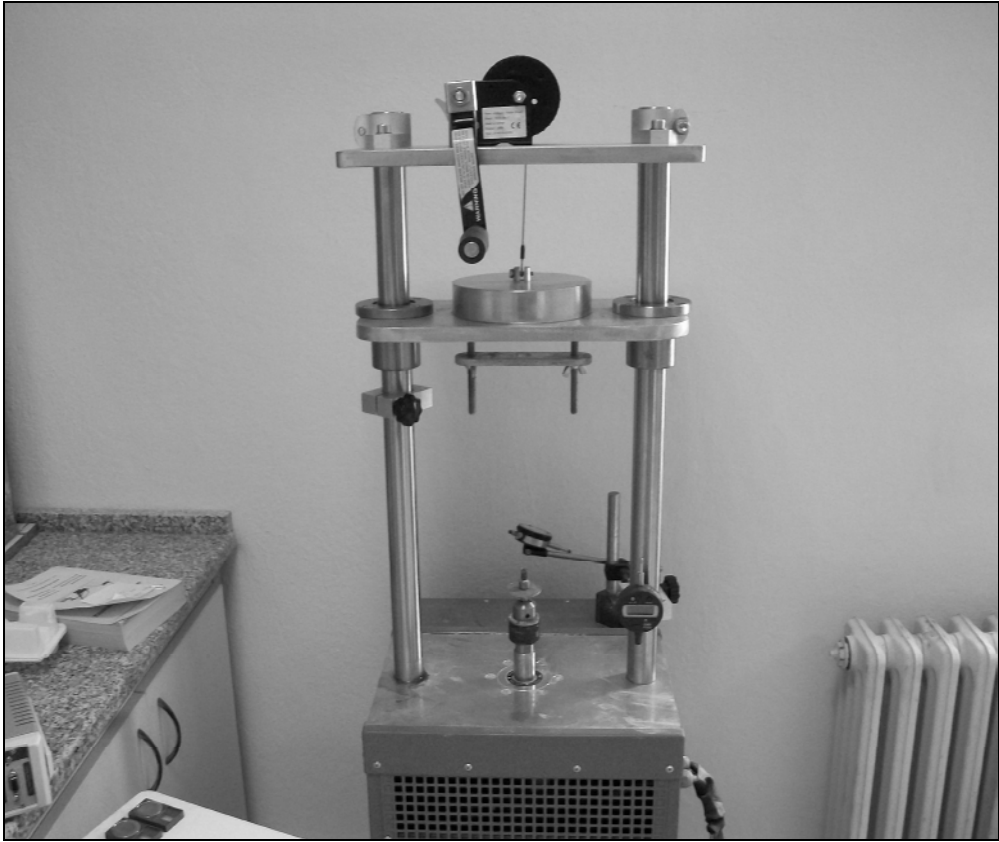
DRI tayininde Sievers' J – Değeri hesaplanmasında Sievers' in minyatür delme testi yapılır. Bu test kayanın yüzey sertliğinin (ya da oyulmaya karşı direncinin) ölçülmesinde kullanılır. Bu test metodu 1950'lerde H. Sievers tarafından geliştirilmiştir (Dahl, 2003).

Sievers' J deneyinde kullanılacak numuneler, bıçaklı bir elmas testere yardımı ile 25 – 30 mm kalınlığında dilimler halinde kesilir. Uzunluk ve genişlik 50 – 100 mm arasında olmalıdır. Numunenin kesilen yüzeyleri paralel olmalı, pürüzsüz olmalı ve foliasyonlu kayalar için foliasyon düzlemine dik olmalıdır.

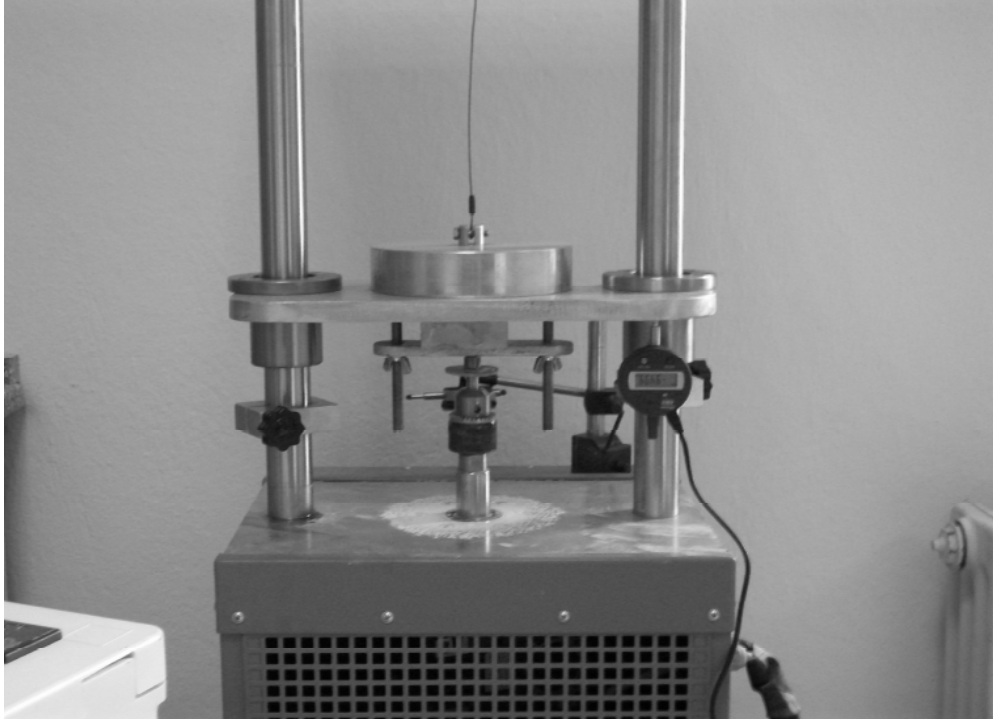
Sievers' J minyatür delme deneyinde kullanılacak uçlar; 110° giriş açısına, 8,5 mm kalınlığa sahip olmalı ve tungsten karbid olmalıdır.

Sievers' in minyatür delme cihazına yerleştirilen numune, şekil 3.11 de görüldüğü gibi üstüne bağlı 20 kg 'lık ağırlıkla delici ucun üzerine oturtularak serbest bırakılır. Numune üzerinde daha önce 4 – 8 adet arasında işaretlenen noktalar üzerinde delme işlemi başlatılır. Noktaların işaretlenmesi, kayanın yapısına göre seçilmelidir. Delme noktaları, kayanın görsel incelemesine göre, yumuşak ve sert tabakalarda konumlanmalıdır. Örneğin, % 60' ı sert malzemedden ve % 40' ı yumuşak malzemedden oluşan bir numunede, 3 delik sert tabakada, 2 delik ise yumuşak tabakada oluşturulur (Dahl, 2003). Üzerinde serbest olarak bulunan 20 kg ağırlıkla numune delinmeye başlanır.

Sievers' J – Değeri, 1/10 mm de, minyatür keskinin dakikada 200 dönüşü sonrasında ölçülen delik derinliğidir. Ortalama Sievers' J – Değeri ise 4 – 8 delikten elde edilen test sonuçlarının ortalamasıdır (Dahl, 2003). Şekil 3.14 de minyatür delik delme cihazının şematik görünüşü verilmiştir.



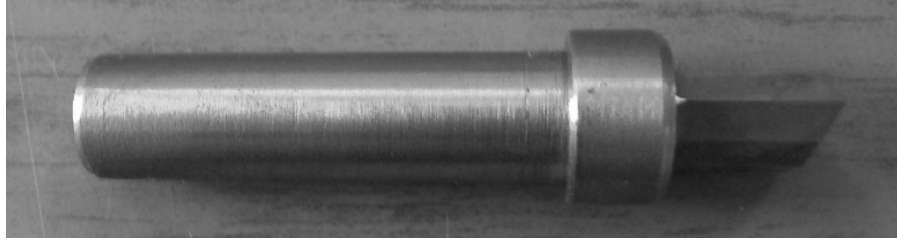
Şekil 3.10 Sievers' J minyatür delik delme cihazı



Şekil 3.11 Sievers' J cihazı; delici uç deney numunesini delerken



Şekil 3.12 Üzerinde dört delme yapılmış numune



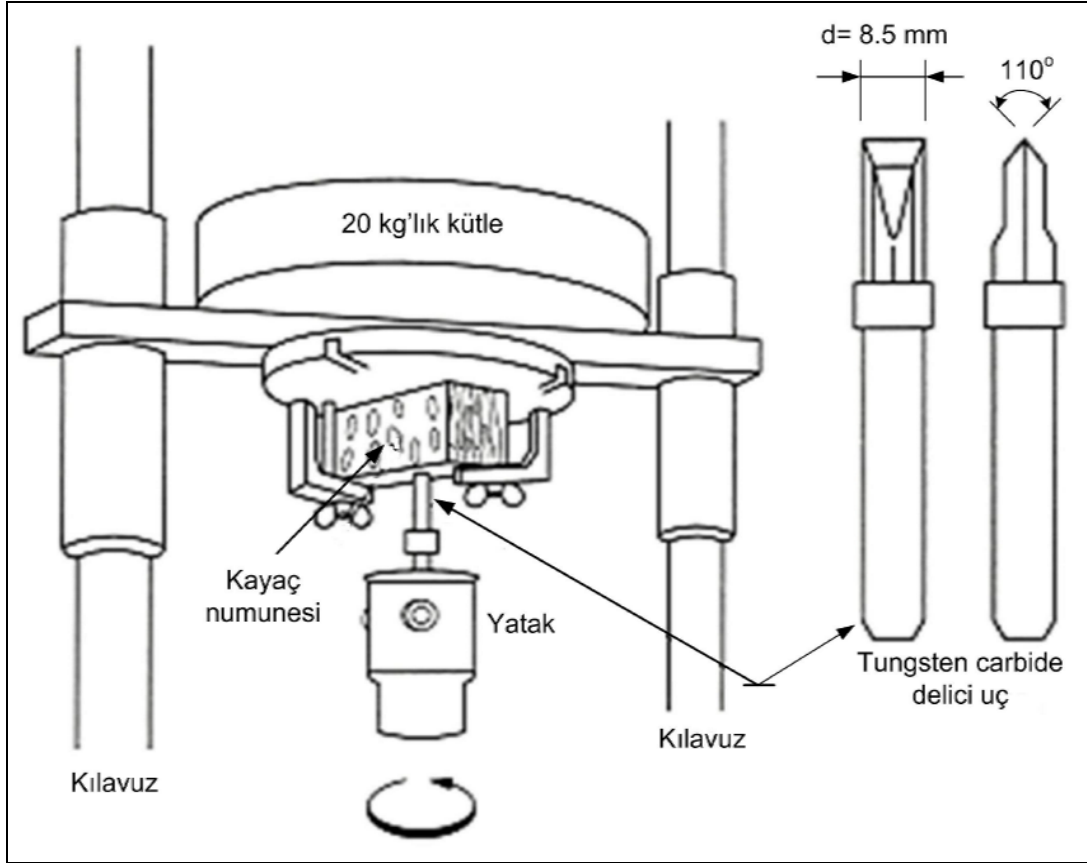
Şekil 3.13 Sievers' J minyatür delik delme cihazında kullanılan delici uç

### 3.4.3 Delinebilirlik Oranı (DRI) Tayini

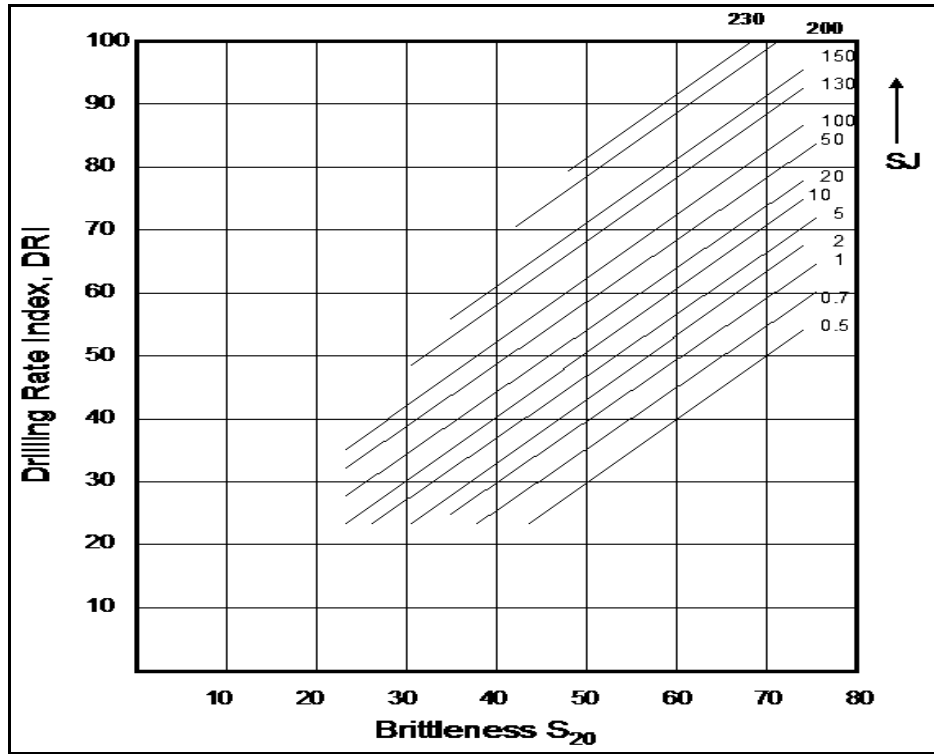
Delinebilirlik oranının tayini, Brittleness testi ve Sievers minyatür delme deneyi sonrasında elde edilen değerlerin şekil 3.15 de ki grafikten kesiştirilmesi ile bulunmaktadır. Burada Sievers' J değerleri on ile çarpılarak grafikte aranmalıdır. Grafiğin alt kısmında kırılma değerleri, tablo içinde ise minyatür delme değerleri bulunmaktadır.

Deneylerin yapıldığı anda, verilen sağlıklı olarak elde edilebilmesi için multimedya platformlardan yararlanılmıştır. Sievers minyatür delik delme makinasına bağlanan mikrometre komparatör ile mikrometre hassasiyetle delik derinliği ölçülebilmektedir. Yardımcı elemanlar ve bağlantı kutusu ile bilgisayara bağlanan komparatör, Şekil 3.16 da görülmektedir. Bu düzenek sayesinde hasas veri elde etmek mümkün olabilmektedir.

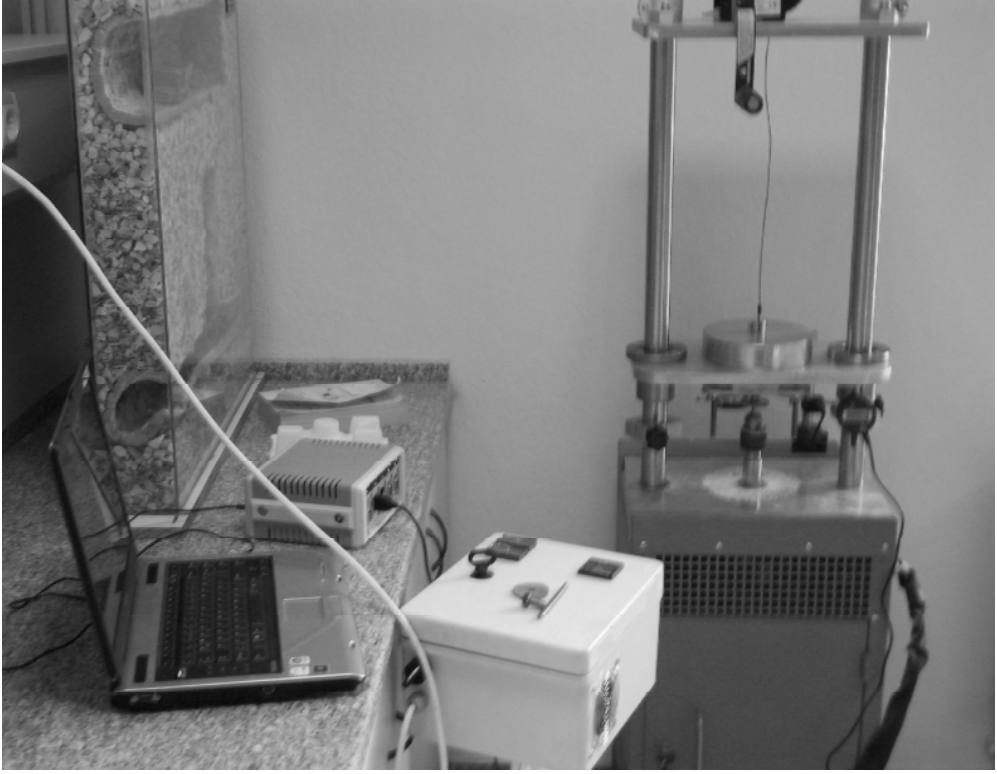
Delinebilirlik tayini deneylerinde yapılacak işlemler genel hatları ile anlatılmıştır. Bir sonraki bölümde, deney sonuçlarının hesaplanması ve karşılaştırılması yapılacaktır.



Şekil 3.14 Minyatür delme (Sievers' J) cihazının şematik görünüşü (Dahl, 2003)



Şekil 3.15 Delinebilirlik oranı (DRI) tayininde kullanılan diyagram (Dahl, 2003)



Şekil 3.16 Sievers minyatür delik delme makinasından alınan verilerin bilgisayara taşınması



## BÖLÜM DÖRT

### YAPILAN DENEYLERİN SONUÇLARI

Bu bölümde çeşitli bölgelerden elde edilen silindirik ve küp şekilli numunelere uygulanan porozite, birim hacim ağırlık, shore sertliği, tek eksenli basma dayanımı, deformasyon, spesifik tahrip enerjisi ile delinme oranı deneylerinden elde edilen sonuçlar yorumlanacaktır.

Tablo 4.1 Deneylerde kullanılan numunelerin tanımı

Numunenin Geldiği Bölge	Numunenin Tanımı	Numunenin Şekli
İzmir (Çimentoş)	8. Basamak	Karot
İzmir (Çimentoş)	10. Basamak	Karot
Muğla - Fethiye	Fethiye Bej	Küp – Karot
Muğla - Fethiye	Fethiye Kahve	Küp
Muğla - Fethiye	Fethiye Rose	Küp
Antalya - Kaş	Likya - Bej	Küp
Gümüşhane	Yeşil Bazalt	Karot
Bergama	Granit	Karot

#### 4.1 Numunelerin Fiziksel Özellikleri

Bir önceki bölümde anlatılan hesaplama yöntemleri ile elde edilen, numune fiziksel özelliklerine ilişkin değerler Tablo 4.3 de, fiziksel özelliklerin ortalaması ise Tablo 4.2 de gösterilmiştir.

Tablo 4.2 Deneylerde kullanılan numunelerin fiziksel değerleri (ortalama)

Numune Tanımı	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Porozite (%)	Boşluk Oranı
Çimentoş 8. Basamak	2,68	0,69	0,007
Çimentoş 10. Basamak	2,66	1,54	0,016
Muğla Fethiye Bej	2,69	0,37	0,0037
Muğla Fethiye Rose	2,69	0,17	0,0017
Muğla Fethiye Kahve	2,67	0,42	0,0044
Antalya Kaş Likya Bej	2,55	4,27	0,044
Yeşil Bazalt	2,54	5,56	0,059
Granit	2,62	0,92	0,0093

Tablo 4.3 Deneylerde kullanılan numunelerin fiziksel özellikleri

Numune Tanımı ve No	Kuru Ağırlık (gr)	Suya Doygun Ağırlık (gr)	Tane Hacmi (cm <sup>3</sup> )	Birim Hacim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Boşluk Hacmi (cm <sup>3</sup> )	Porozite (%)	Boşluk Oranı
Çimentoş 8. Basamak No: 15	670,77	673,43	251,24	2,67	2,66	1,06	0,011
Çimentoş 8. Basamak No: 4	639,83	641,38	238,41	2,68	1,55	0,65	0,0065
Çimentoş 8. Basamak No: 1	570,64	571,40	212,30	2,69	0,76	0,36	0,0036
Çimentoş 10. Basamak No: 9	593,77	597,72	224,90	2,64	3,95	1,76	0,018
Çimentoş 10. Basamak No: 3	694,12	697,26	260,17	2,67	3,14	1,20	0,012
Çimentoş 10. Basamak No: 1	711,33	715,74	267,96	2,66	4,14	1,65	0,017
Muğla Fethiye Bej (Karot) No: 2	789,29	790,33	294,75	2,68	1,04	0,35	0,0035
Muğla Fethiye Bej (Karot) No: 12	764,56	765,52	285,13	2,68	0,96	0,34	0,0034
Muğla Fethiye Bej (Karot) No: 5	761,49	762,62	284,90	2,67	1,13	0,40	0,0040
Muğla Fethiye Bej (Küp) No: 1	899,23	900,49	335,15	2,68	1,26	0,38	0,0038
Muğla Fethiye Bej (Küp) No: 2	879,32	880,61	326,11	2,70	1,29	0,40	0,0040
Muğla Fethiye Bej (Küp) No: 3	909,93	911,09	334,05	2,72	1,16	0,35	0,0035
Muğla Fethiye Rose No: 1	959,79	960,27	356,85	2,69	0,48	0,13	0,0013
Muğla Fethiye Rose No: 2	966,16	966,89	359,85	2,68	0,73	0,20	0,0020
Muğla Fethiye Rose No: 3	966,35	966,99	359,87	2,69	0,64	0,18	0,0018
Muğla Fethiye Kahve No: 1	1010,17	1011,22	377,36	2,68	1,05	0,28	0,0028
Muğla Fethiye Kahve No: 2	983,16	985,43	369,07	2,66	2,27	0,62	0,0062
Muğla Fethiye Kahve No: 3	990,36	991,92	369,57	2,68	1,56	0,42	0,0042
Antalya Kaş Likya Bej No: 1	919,42	936,17	355,37	2,59	16,75	4,71	0,049
Antalya Kaş Likya Bej No: 2	903,13	920,99	353,89	2,55	17,16	4,85	0,051
Antalya Kaş Likya Bej No: 3	867,57	878,71	343,71	2,52	11,14	3,24	0,033
Yeşil Bazalt No: 1	746,34	762,58	294,27	2,54	16,24	5,52	0,058
Yeşil Bazalt No: 2	747,88	764,32	294,26	2,54	16,44	5,59	0,059
Granit No: 1	715,38	717,92	273,11	2,62	2,54	0,93	0,0094
Granit No: 2	719,18	721,66	274,42	2,62	2,48	0,90	0,0091

#### 4.2 Numunelerin Tek Eksenli Basınç Dayanımları

Deneylerde kullanılan numunelerin tek eksenli basınç dayanımları aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 4.4 İzmir Çimentoş 8.basamak numunelerinin tek eksenli basınç dayanımları

Örnek No	Çap(cm)	Boy(cm)	Alan (cm <sup>2</sup> )	Yenilme Yüğü (kg)	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (MPa)
5	5,4	10,80	22,90	15860	692,58	69,26
12	5,4	10,92	22,90	11540	503,93	50,39
21	5,4	11,22	22,90	16990	741,92	74,19
Ortalama $\sigma$ (MPa) = 64,61						

Tablo 4.5 İzmir Çimentoş 10.basamak numunelerinin tek eksenli basınç dayanımları

Örnek No	Çap(cm)	Boy(cm)	Alan (cm <sup>2</sup> )	Yenilme Yüğü (kg)	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (MPa)
22	5,41	11,12	22,99	8670	377,12	37,71
24	5,41	12,71	22,99	8990	391,03	39,10
Ortalama $\sigma$ (MPa) = 38,41						

Tablo 4.6 Muğla – Fethiye Bej numunelerinin tek eksenli basınç dayanımları

Örnek No	Çap(cm)	Boy(cm)	Alan (cm <sup>2</sup> )	Yenilme Yüğü (kg)	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (MPa)
8	5,41	12,22	22,99	27200	1183,12	118,31
9	5,41	12,55	22,99	26380	1147,46	114,75
Örnek No	Boyutlar		Alan (cm <sup>2</sup> )	Yenilme Yüğü (kg)	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (MPa)
B1	6,75	6,99	47,18	69610	1475,41	147,54
B2	6,95	6,89	47,89	75800	1582,79	158,28
Ortalama $\sigma$ (MPa) = 134,72						

Tablo 4.7 Muğla – Fethiye Rose numunelerinin tek eksenli basınç dayanımları

Örnek No	Boyutlar		Alan (cm <sup>2</sup> )	Yenilme Yüğü (kg)	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (MPa)
R1	7,00	7,05	49,35	83170	1685,31	168,53
R2	7,00	7,20	50,40	90390	1793,45	179,35
R3	7,02	7,06	49,56	83610	1687,05	168,71
R4	6,90	7,00	48,30	78710	1629,61	162,96
Ortalama $\sigma$ (MPa) = 169,89						

Tablo 4.8 Muğla – Fethiye Kahve numunelerinin tek eksenli basınç dayanımları

Örnek No	Boyutlar		Alan (cm <sup>2</sup> )	Yenilme Yüğü (kg)	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (MPa)
K1	7,20	7,21	51,91	76150	1466,96	146,70
K2	7,21	7,38	53,21	79580	1495,58	149,56
K3	7,17	7,20	51,63	79170	1533,41	153,34
Ortalama $\sigma$ (MPa) = 149,87						

Tablo 4.9 Antalya – Kaş Likya Bej numunelerinin tek eksenli basınç dayanımları

Örnek No	Boyutlar (cm)		Alan (cm <sup>2</sup> )	Yenilme Yüğü (kg)	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (MPa)
A1	6,80	7,10	48,28	58560	1212,92	121,29
A2	7,09	7,21	51,12	61190	1196,99	119,70
A3	7,16	7,06	50,55	60820	1203,17	120,32
Ortalama $\sigma$ (MPa) = 120,44						

Tablo 4.10 Granit numunelerinin tek eksenli basınç dayanımları

Örnek No	Çap(cm)	Boy(cm)	Alan (cm <sup>2</sup> )	Yenilme Yüğü (kg)	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (MPa)
G1	5,40	12,04	22,90	36080	1575,55	157,56
G2	5,40	11,97	22,90	41360	1809,11	180,61
G3	5,40	12,30	22,90	44710	1952,40	195,24
Ortalama $\sigma$ (MPa) = 177,80						

Tablo 4.11 Yeşil bazalt numunelerinin tek eksenli basınç dayanımları

Örnek No	Çap(cm)	Boy(cm)	Alan (cm <sup>2</sup> )	Yenilme Yüğü (kg)	$\sigma$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma$ (MPa)
B1	5,39	12,96	22,82	24350	1057,05	105,71
B2	5,38	12,97	22,73	21970	966,56	96,66
B3	5,38	12,96	22,73	21640	952,05	95,21
Ortalama $\sigma$ (MPa) = 99,19						

### 4.3 Numunelerin Shore Sertlikleri ve Mohs Sertlikleri

Deneylerde kullanılan numunelerin Shore sertlik değerleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 4.12 Numunelerin Shore ve Mohs sertlik değerleri

Numune Tanımı	Shore Sertlik Değerleri	Mohs Sertlik Değerleri
Çimentoş 8. Basamak	61	3 – 3,5
Çimentoş 10. Basamak	59	3 – 3,5
Muğla Fethiye Bej	59	3 – 3,5
Muğla Fethiye Rose	66	3 – 3,5
Muğla Fethiye Kahve	61	3 – 3,5
Antalya Kaş Likya Bej	47	3 – 3,5
Granit	93	6,5 – 7
Yeşil Bazalt	57	5 – 5,5

### 4.4 Numunelerin Minyatür Delme (Sievers' J), Kırılmalık (Brittleness) Değerleri ve Delinebilirlik Oranı (DRI) Tayini

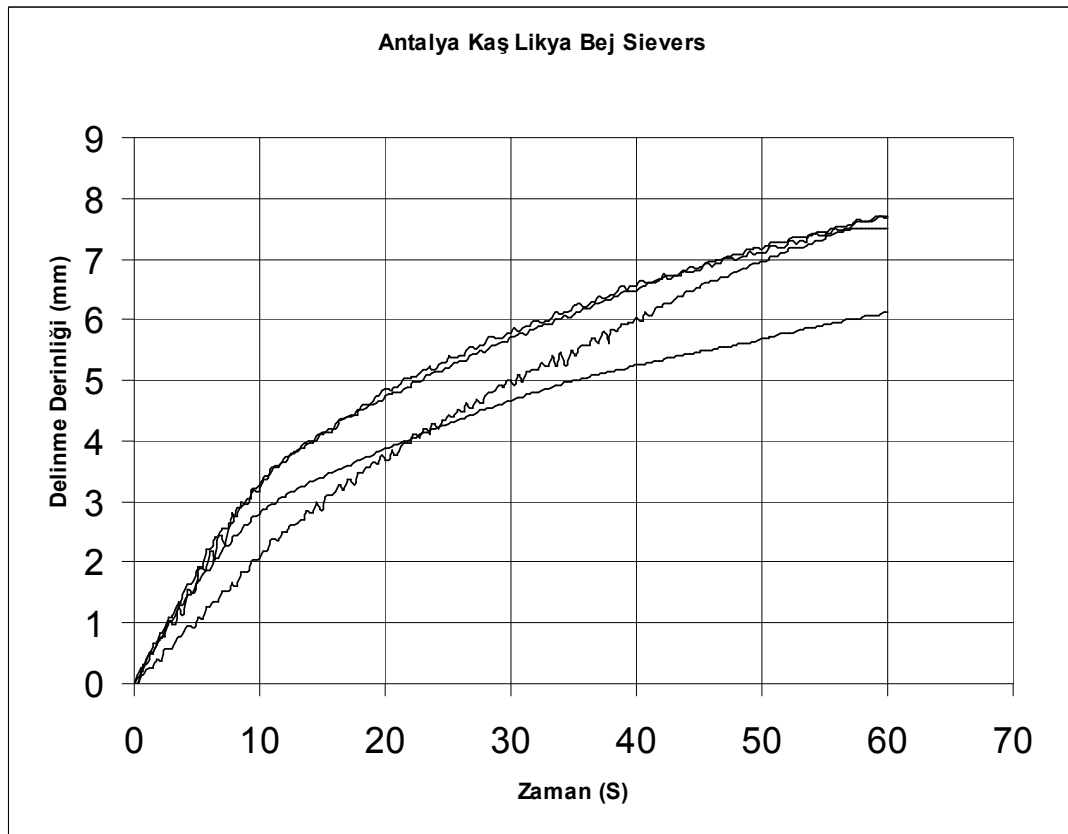
DRI tayini için, daha öncede belirtildiği gibi, önce Brittleness deneyi ve Sievers' J deneyi yapılmıştır. Bu iki deneyden elde edilen veriler, DRI grafiğinde kesitirildiğinde numunelerin DRI yani delinebilirlik değerleri elde edilmiştir.

#### 4.4.1 Sievers' J Minyatür Delme Deneylerinin Yapılması

Aşağıdaki tablolarda minyatür delik delme deneylerinden elde edilen delik derinlikleri ve buna bağlı olarak delme zamanı – delme derinliği grafikleri gösterilmiştir.

Tablo 4.13 Antalya Kaş Likya Bej numunelerinin delinme derinliği

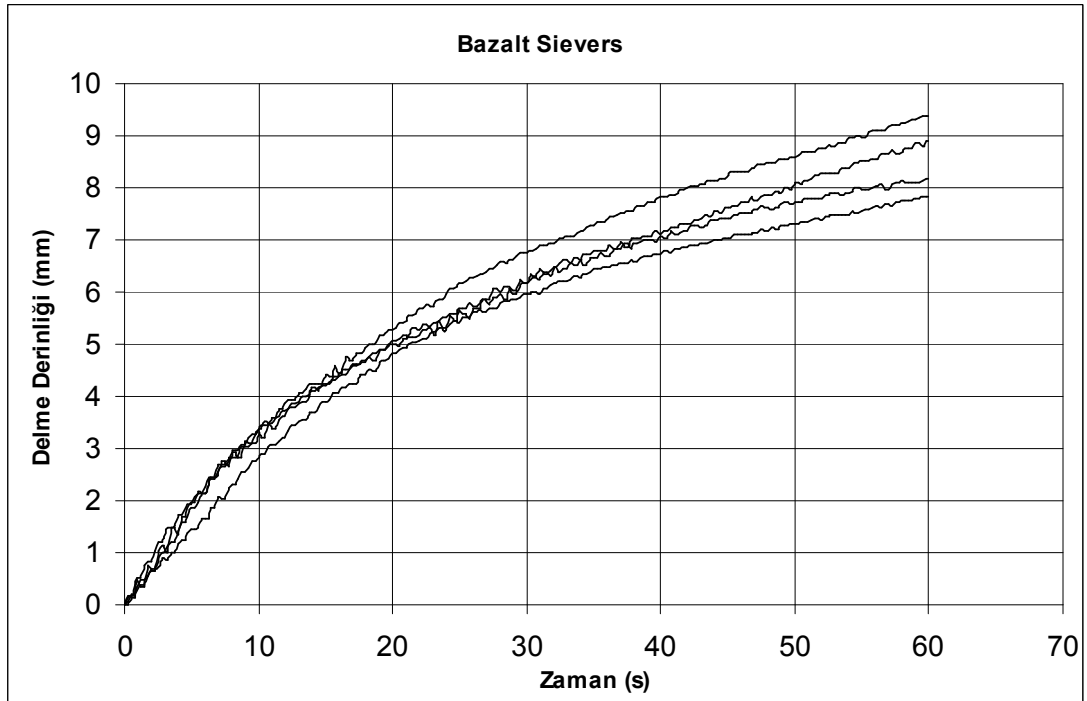
Numune No	200 d/dak sonrasındaki delik derinliği (mm)
1	7,69
2	7,69
3	7,51
4	6,12
Sievers = 7,25	



Şekil 4.1 Antalya Kaş Likya Bej numunelerinin delinme grafiği

Tablo 4.14 Yeşil bazalt numunelerinin delinme derinliği

Numune No	200 d/dak sonrasındaki delik derinliği (mm)
1	8,91
2	9,37
3	7,82
4	8,19
Sievers = 8,57	



Şekil 4.2 Yeşil bazalt numunelerinin delinme grafiği

Tablo 4. 15 Çimentoş 8. Basamak numunelerinin delinme derinliği

Numune No	200 d/dak sonrasındaki delik derinliği (mm)
1	5,26
2	5,42
3	6,94
4	6,30
Sievers = 5,98	



Şekil 4.3 Çimentaş 8. Basamak numunelerinin delinme grafiği

Tablo 4.16 Çimentaş 10. Basamak numunelerinin delinme derinliği

Numune No	200 d/dak sonrasındaki delik derinliği (mm)
1	2,45
2	2,01
3	4,97
4	5,10
Sievers = 3,63	

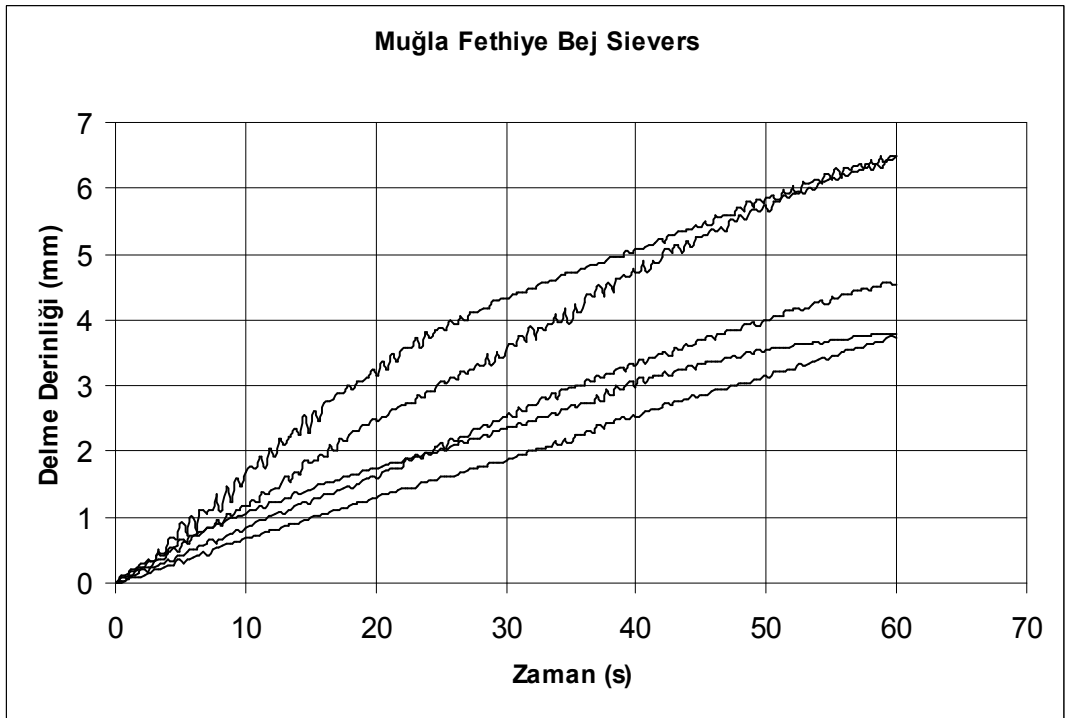
Tablo 4.17 Muğla Fethiye Bej numunelerinin delinme derinliği

Numune No	200 d/dak sonrasındaki delik derinliği (mm)
1	3,80
2	4,55
3	6,50
4	6,49
5	3,74
Sievers = 5,02	





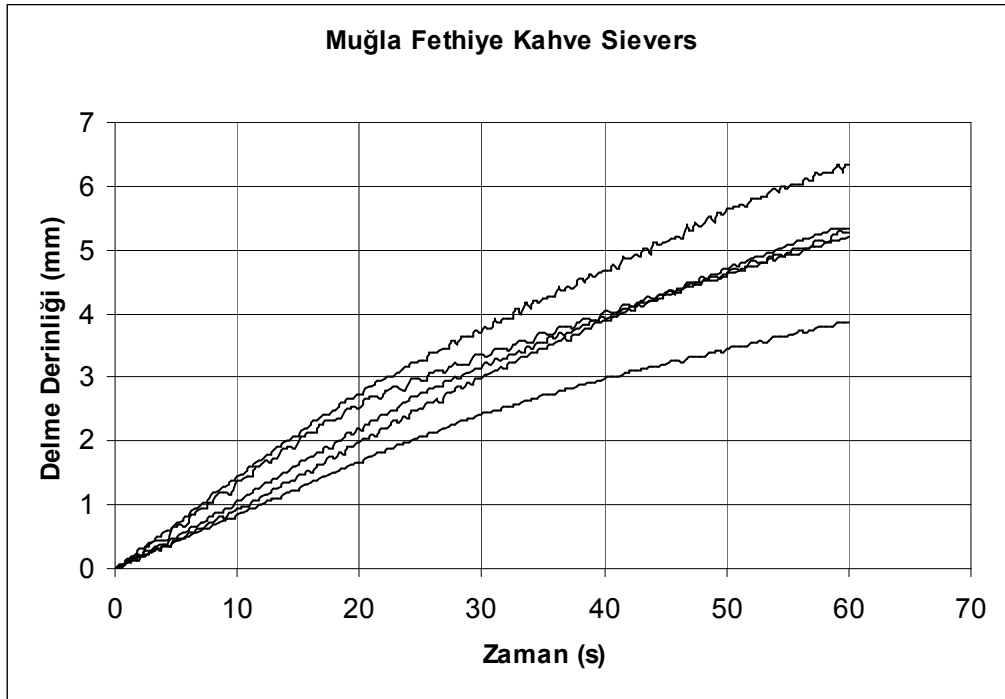
Şekil 4.4 Çimentoş 10. Basamak numunelerinin delinme grafiği



Şekil 4.5 Muğla Fethiye Bej numunelerinin delinme grafiği

Tablo 4.18 Muğla Fethiye Kahve numunelerinin delinme derinliği

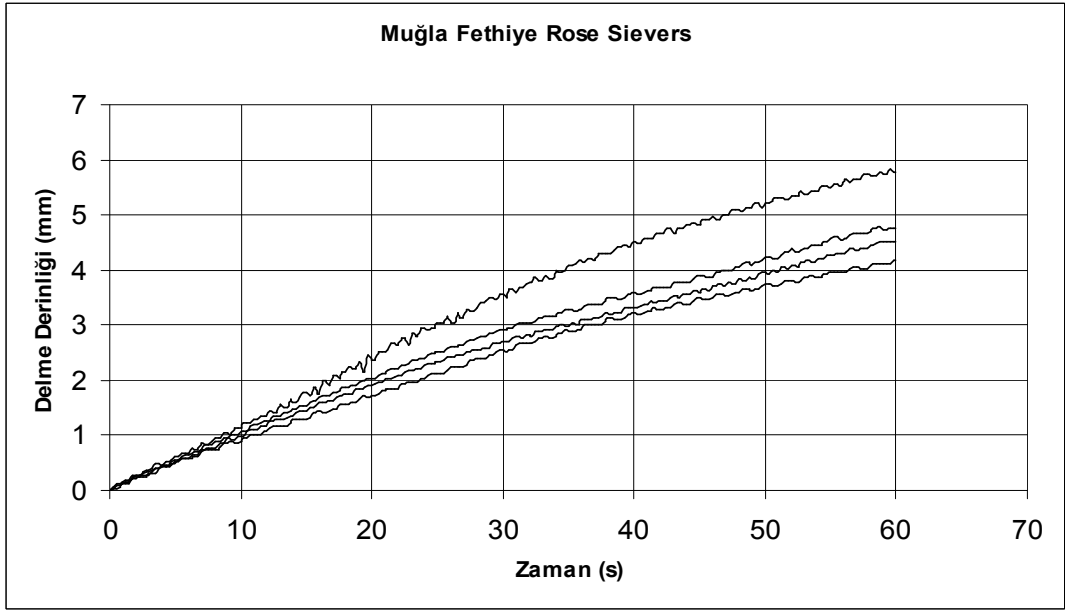
Numune No	200 d/dak sonrasındaki delik derinliği (mm)
1	5,33
2	6,35
3	5,26
4	5,21
Sievers = 5,54	



Şekil 4.6 Muğla Fethiye Kahve numunelerinin delinme grafiği

Tablo 4.19 Muğla Fethiye Rose numunelerinin delinme derinliği

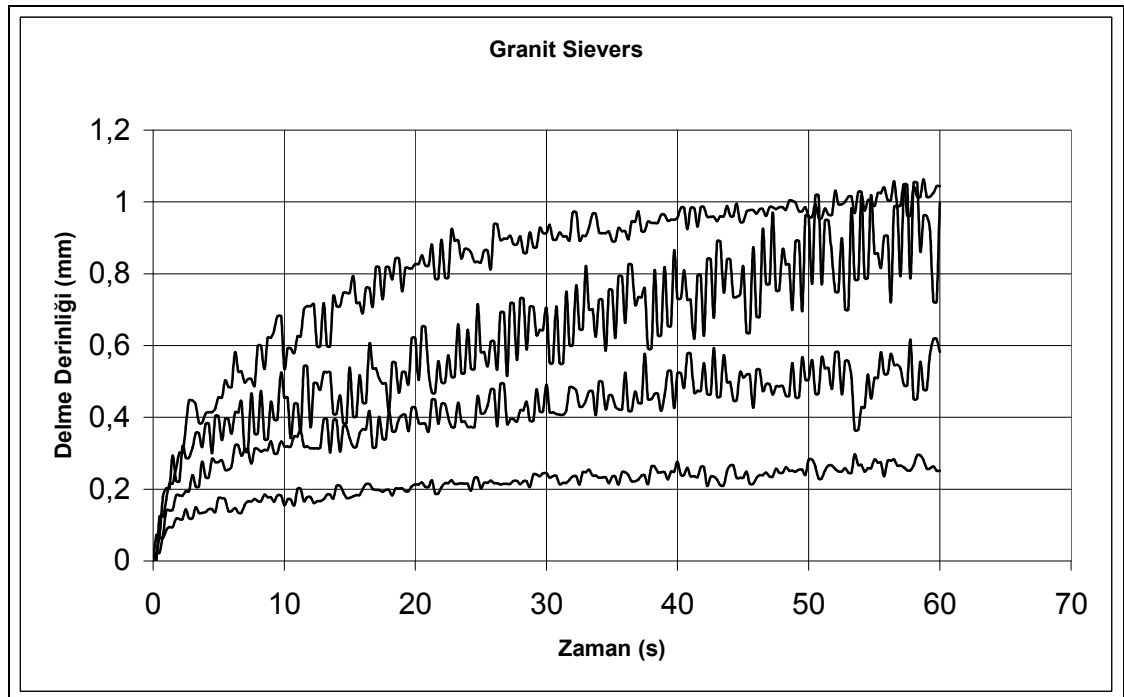
Numune No	200 d/dak sonrasındaki delik derinliği (mm)
1	5,78
2	4,18
3	4,50
4	4,77
Sievers = 4,81	



Şekil 4.7 Muğla Fethiye Rose numunelerinin delinme grafiği

Tablo 4.20 Granit numunelerinin delinme derinliği

Numune No	200 d/dak sonrasındaki delik derinliği (mm)
1	1,04
2	0,58
3	0,25
4	0,99
Sievers = 0,72	



Şekil 4.8 Granit numunelerinin delinme grafiği

#### 4.4.2 Kırılmalık (Brittleness) Deneylerinin Yapılması

Brittleness testinden elde edilen sonuçlar aşağıdaki tablolarda verilmiştir. Burada G, havana konulan malzemenin ağırlığıdır.

Tablo 4.21 Çimentaş 8. Basamak numunelerinin Brittleness değerleri

Numune No	1		2		3	
	G	%	G	%	G	%
11,2 mm – 16 mm fraksiyonu	505,25	100	505,16	100	505,21	100
> 11,2 mm fraksiyonu	250,70	49,62	236,39	46,80	259,24	51,31
< 11,2 mm fraksiyonu	254,55	50,38	268,77	53,20	245,97	48,69
Brittleness = 50,76						

Tablo 4.22 Çimentaş 10. Basamak numunelerinin Brittleness değerleri

Numune No	1		2		3	
	G	%	G	%	G	%
11,2 mm – 16 mm fraksiyonu	501,53	100	501,49	100	501,43	100
> 11,2 mm fraksiyonu	262,67	52,37	268,98	53,64	275,30	54,90
< 11,2 mm fraksiyonu	238,86	47,63	232,51	46,36	226,13	45,10
Brittleness = 46,36						

Tablo 4.23 Muğla Fethiye Bej numunelerinin Brittleness değerleri

Numune No	1		2		3	
	G	%	G	%	G	%
11,2 mm – 16 mm fraksiyonu	506,86	100	506,70	100	507,17	100
> 11,2 mm fraksiyonu	244,11	48,16	254,67	50,26	255,01	50,28
< 11,2 mm fraksiyonu	262,75	51,84	252,03	49,74	252,16	49,72
Brittleness = 50,43						

Tablo 4.24 Muğla Fethiye Rose numunelerinin Brittleness değerleri

Numune No	1		2		3	
	G	%	G	%	G	%
11,2 mm – 16 mm fraksiyonu	507,59	100	507,55	100	507,37	100
> 11,2 mm fraksiyonu	242,51	47,78	262,72	51,76	232,85	45,89
< 11,2 mm fraksiyonu	265,08	52,22	244,83	48,24	274,52	54,11
Brittleness = 51,52						

Tablo 4.25 Antalya Kaş Likya Bej numunelerinin Brittleness değerleri

Numune No	1		2		3	
	G	%	G	%	G	%
11,2 mm – 16 mm fraksiyonu	480,40	100	480,15	100	480,60	100
> 11,2 mm fraksiyonu	118,51	24,67	93,27	19,43	103,39	21,51
< 11,2 mm fraksiyonu	361,89	75,33	386,88	80,57	377,21	78,49
Brittleness = 78,13						

Tablo 4.26 Muğla Fethiye Kahve numunelerinin Brittleness değerleri

Numune No	1		2		3	
	G	%	G	%	G	%
11,2 mm – 16 mm fraksiyonu	503,71	100	503,53	100	503,67	100
> 11,2 mm fraksiyonu	245,02	48,64	233,89	46,45	221,54	43,99
< 11,2 mm fraksiyonu	258,69	51,36	269,64	53,55	282,13	56,01
Brittleness = 53,64						

Tablo 4.27 Yeşil Bazalt numunelerinin Brittleness değerleri

Numune No	1		2		3	
	G	%	G	%	G	%
11,2 mm – 16 mm fraksiyonu	481,57	100	481,65	100	481,74	100
> 11,2 mm fraksiyonu	272,27	56,54	274,70	57,03	264,22	54,85
< 11,2 mm fraksiyonu	209,30	43,46	206,95	42,97	217,52	45,15
Brittleness = 43,86						

Tablo 4.28 Granit numunelerinin Brittleness değerleri

Numune No	1		2		3	
	G	%	G	%	G	%
11,2 mm – 16 mm fraksiyonu	498,24	100	498,25	100	498,33	100
> 11,2 mm fraksiyonu	251,41	50,46	232,15	46,59	259,01	51,98
< 11,2 mm fraksiyonu	246,83	49,54	266,10	53,41	239,32	48,02
Brittleness = 50,32						

#### 4.4.3 Delinebilirlik Oranı (DRI) Değerlerinin Bulunması

Brittleness testi ve Sievers' J minyatür delme testinden elde edilen veriler DRI tablosunda karşılaştırılmıştır. Sonucunda elde edilen DRI değerleri tablo 4.29 da görülmektedir.

Tablo 4.29 Numunelerin Brittleness ve Sievers' J değerlerine bağlı delinebilirlik değerleri

<b>Numune Tanımı</b>	<b>Brittleness S<sub>20</sub> (Kırılgenlık) Değeri</b>	<b>Sievers' J minyatür delme değeri</b>	<b>DRI</b>
Çimentaş 8. Basamak	50,76	5,98	59
Çimentaş 10. Basamak	46,36	3,63	52
Muğla Fethiye Bej	50,43	5,02	58,50
Muğla Fethiye Kahve	53,64	5,54	62
Muğla Fethiye Rose	51,52	4,81	60
Antalya Kaş Likya Bej	78,13	7,25	87,50
Yeşil Bazalt	43,86	8,57	54
Granit	50,32	0,72	48

Tablo 4. 30 DRI' nın sınıflaması (Dahl, 2003)

<b>Sınıf</b>	<b>DRI</b>
Oldukça düşük	≤25
Çok düşük	26-32
Düşük	33-42
Orta	43-57
Yüksek	58-69
Çok yüksek	70-82
Oldukça yüksek	≥ 83

#### 4.5 Deformasyon Deneyleri ve Spesifik Tahrip Enerjisi Tayini

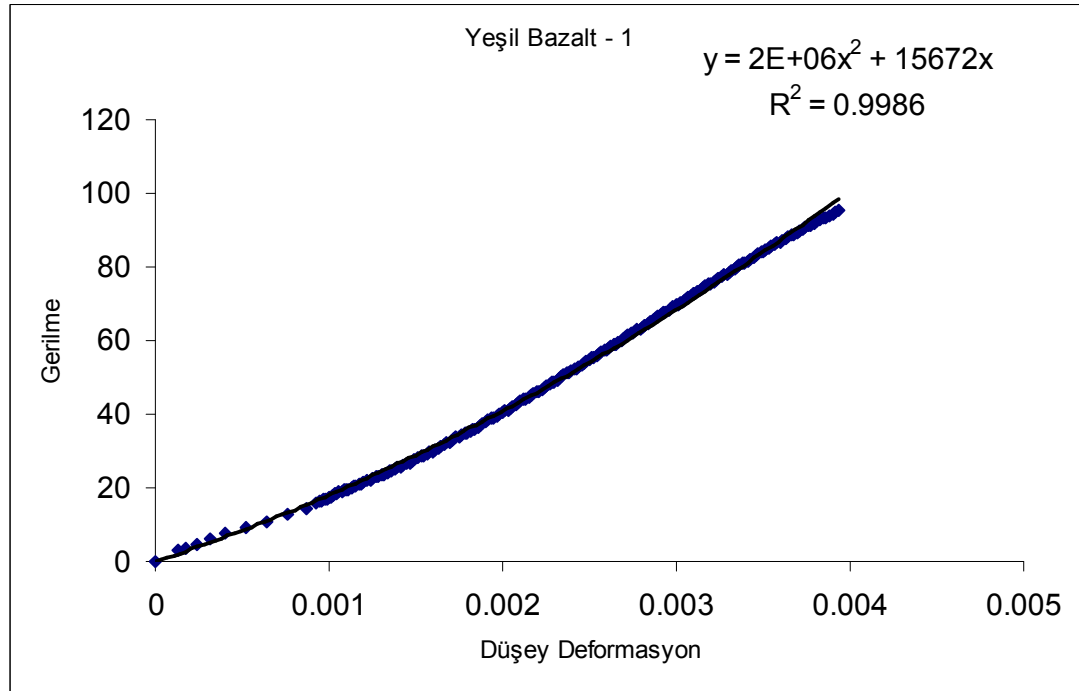
Deformasyon deneylerinde elde edilen sonuçlar aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 4.31 Yeşil Bazalt – 1 numunesinin gerilme – deformasyon tablosu

Numune Yüksekliği (cm)	Numune Çapı (cm)	Yük (kg)	Gerilme (MPa)	Eksenel Deformasyon ( $\times 10^{-6}$ )
12,96	53,82	0	0	0
		815,23	3,58	170,651
		1800,91	7,92	405,018
		4210,22	18,51	1047,82
		6035,47	26,53	1445,35
		8079,74	35,52	1810,82
		12545,50	55,15	2511,16
		16609,70	73,01	3111,01
		21708,20	95,42	3932,74

Tablo 4.32 Yeşil Bazalt – 2 numunesinin gerilme – deformasyon tablosu

Numune Yüksekliği (cm)	Numune Çapı (cm)	Yük (kg)	Gerilme (MPa)	Eksenel Deformasyon ( $\times 10^{-6}$ )
12,96	53,81	0	0	0
		1082,98	4,76	44,272
		4806,47	21,14	485,812
		8018,90	35,26	792,827
		14017,90	61,64	1198,50
		20905,10	91,93	1785,08



Şekil 4.9 Yeşil Bazalt – 1 numunesinin deformasyon grafiği

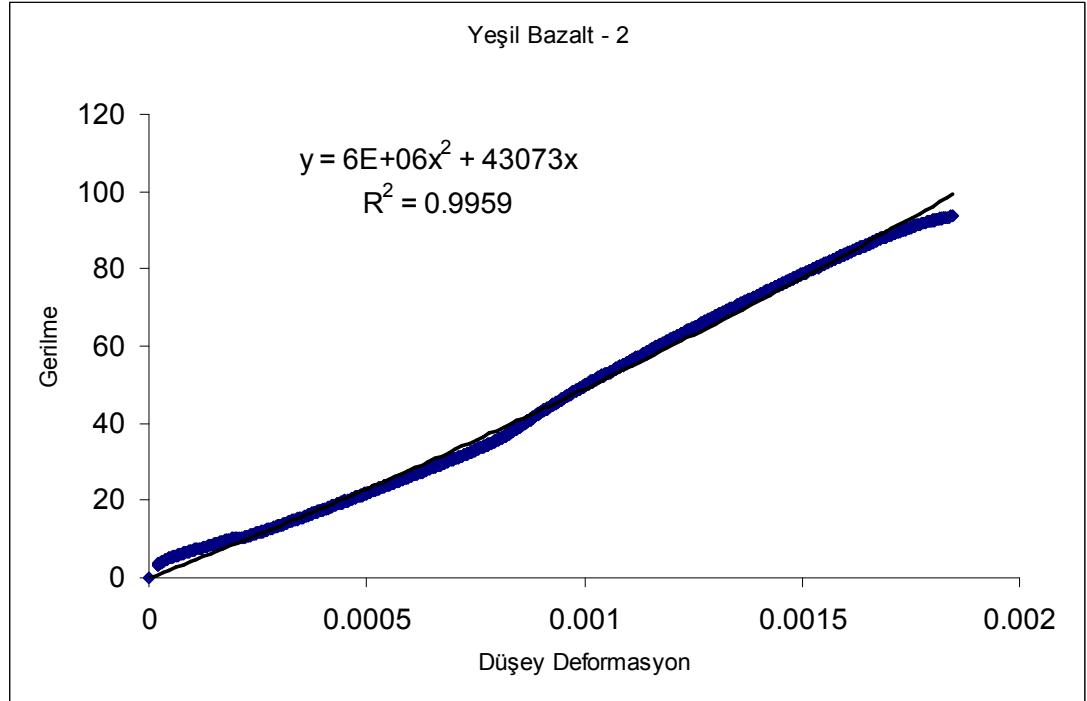


Tablo 4.33 Yeşil Bazalt – 2 numunesinin gerilme – deformasyon tablosu

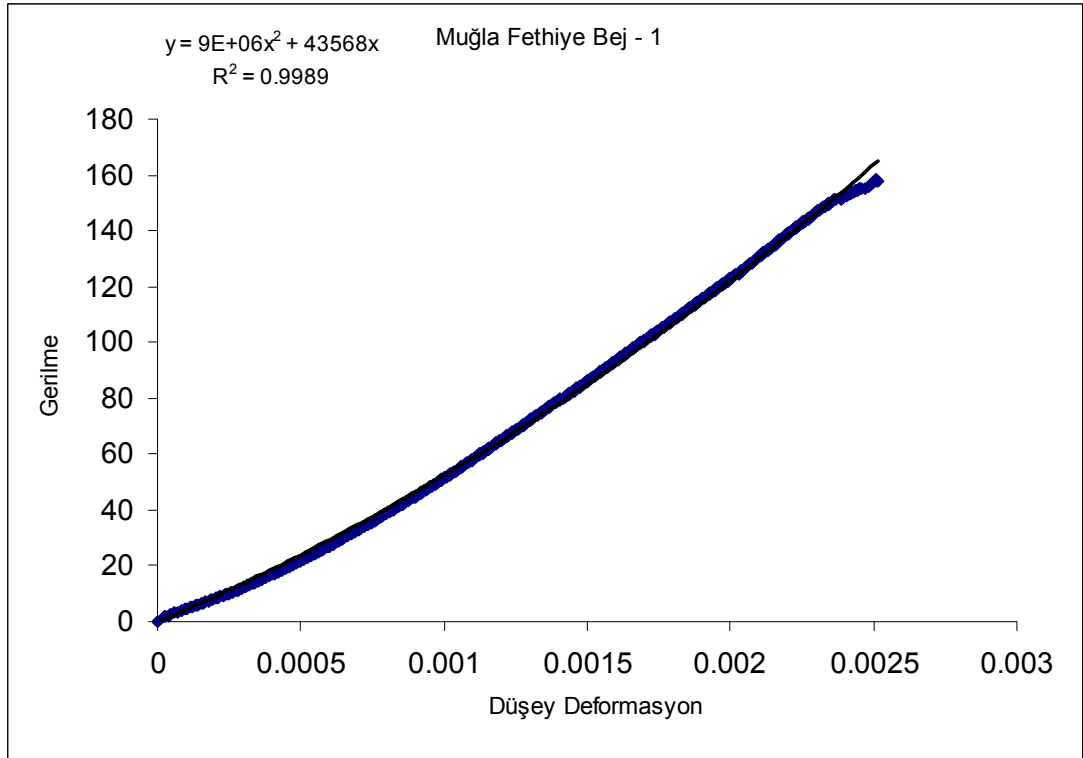
Numune Yüksekliği (cm)	Numune Çapı (cm)	Yük (kg)	Gerilme (MPa)	Eksenel Deformasyon ( $\times 10^{-6}$ )
12,96	53,81	0	0	0
		1082,98	4,76	44,272
		4806,47	21,14	485,812
		8018,90	35,26	792,827
		14017,90	61,64	1198,50
		20905,10	91,93	1785,08

Tablo 4.34 Muğla Fethiye Bej – 1 numunesinin gerilme – deformasyon tablosu

Numune Yüksekliği (cm)	Numune Boyutları (cm)	Yük (kg)	Gerilme (MPa)	Eksenel Deformasyon ( $\times 10^{-6}$ )
6,91	70,69 – 68,82	0	0	0
		2117,28	4,37	94,193
		16123	33,29	706,121
		30177,3	62,31	1160,80
		50607,90	104,49	1753,15
		70004,10	144,55	2273,51
		76599,30	158,17	2511,56



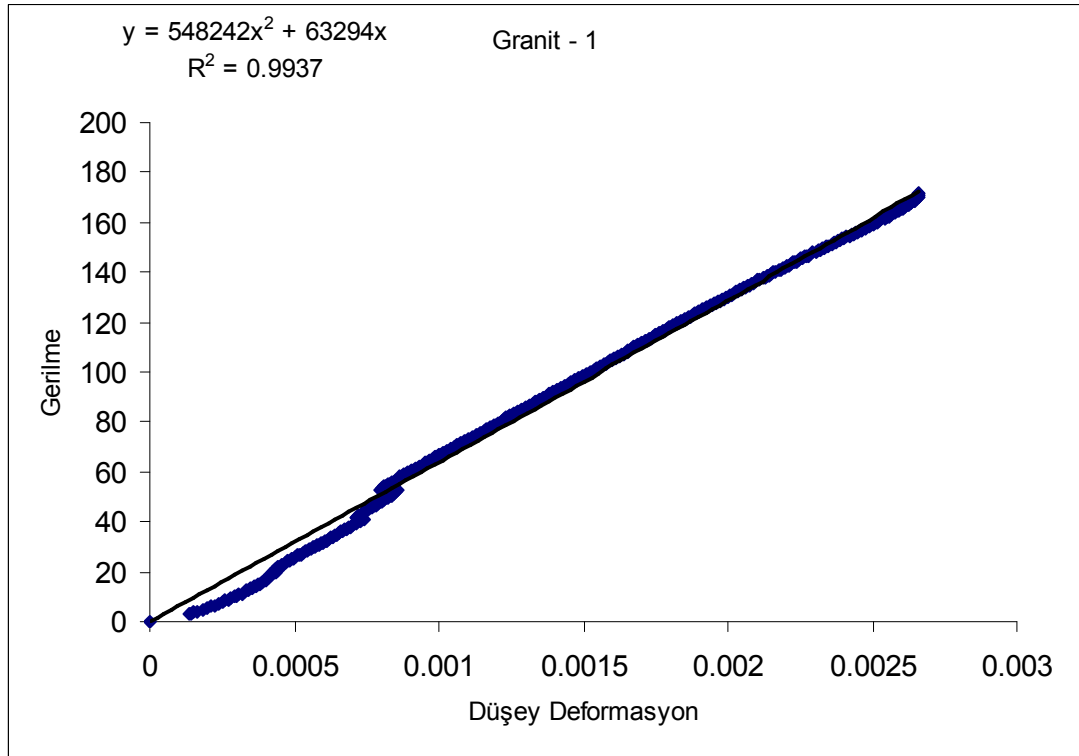
Şekil 4. 10 Yeşil Bazalt – 2 numunesinin deformasyon grafiği



Şekil 4.11 Muğla Fethiye Bej – 1 numunesinin deformasyon grafiği

Tablo 4.35 Granit – 1 numunesinin gerilme – deformasyon tablosu

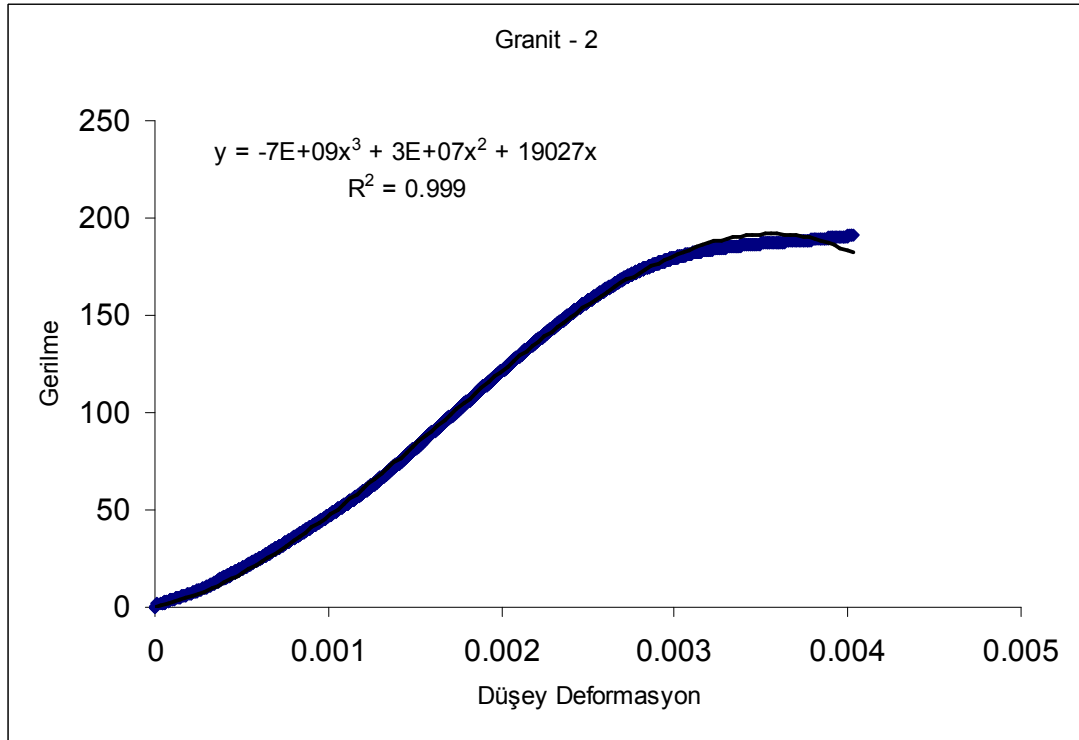
Numune Yüksekliği (cm)	Numune Çapı (cm)	Yük (kg)	Gerilme (MPa)	Eksenel Deformasyon ( $\times 10^{-6}$ )
11,97	53,96	0	0	0
		1229	5,37	195,087
		10099,70	44,16	749,343
		17084,30	74,70	1128,48
		25334,40	110,78	1689,17
		31248,10	136,63	2104,31
		39340	172,02	2656,72



Şekil 4.12 Granit – 1 numunesinin deformasyon grafiği

Tablo 4.36 Granit – 2 numunesinin gerilme – deformasyon tablosu

Numune Yüksekliği (cm)	Numune Çapı (cm)	Yük (kg)	Gerilme (MPa)	Eksenel Deformasyon ( $\times 10^{-6}$ )
12,03	54,01	0	0	0
		2567,51	11,21	315,029
		10172,70	44,40	956,91
		20150,70	87,96	1579,35
		30116,50	131,46	2132,55
		43732,80	190,89	4030,61



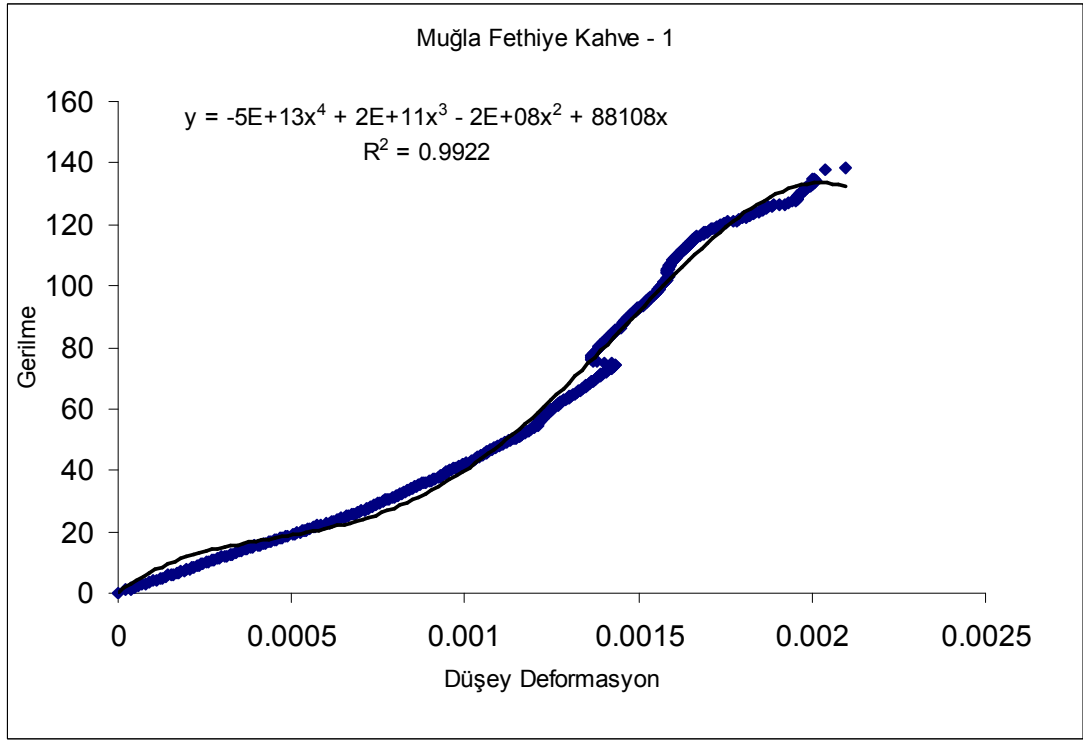
Şekil 4.13 Granit – 2 numunesinin deformasyon grafiği

Tablo 4.37 Muğla Fethiye Kahve – 1 numunesinin gerilme deformasyon tablosu

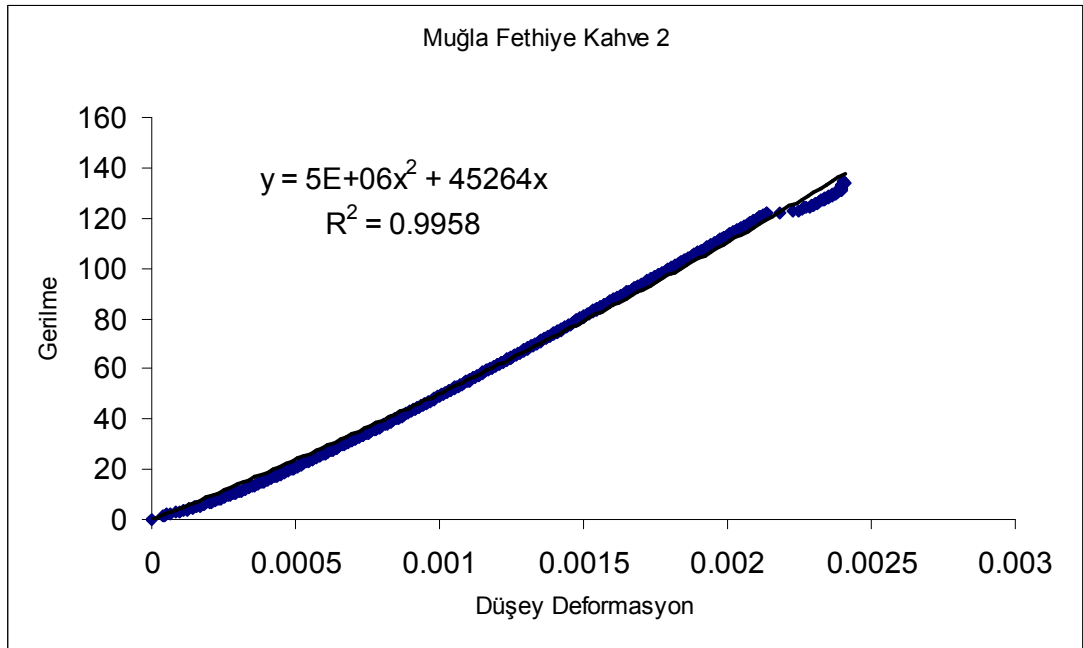
Numune Yüksekliği (cm)	Numune Boyutları (cm)	Yük (kg)	Gerilme (MPa)	Eksenel Deformasyon ( $\times 10^{-6}$ )
7,35	7,16 – 7,21	0	0	0
		3078,57	5,96	152,391
		10075,30	19,52	516,027
		21026,80	40,73	970,835
		40970,60	79,36	1381,63
		61109,10	118,38	1711,11
		72510,80	140,47	3252,36

Tablo 4.38 Muğla Fethiye Kahve – 2 numunesinin gerilme deformasyon tablosu

Numune Yüksekliği (cm)	Numune Boyutları (cm)	Yük (kg)	Gerilme (MPa)	Eksenel Deformasyon ( $\times 10^{-6}$ )
7,30	7,17 – 7,20	0	0	0
		8663,81	16,78	421,045
		20734,70	40,17	849,185
		35409,70	68,59	1312,66
		55426,50	107,37	1914,87
		69493	134,62	2405,54



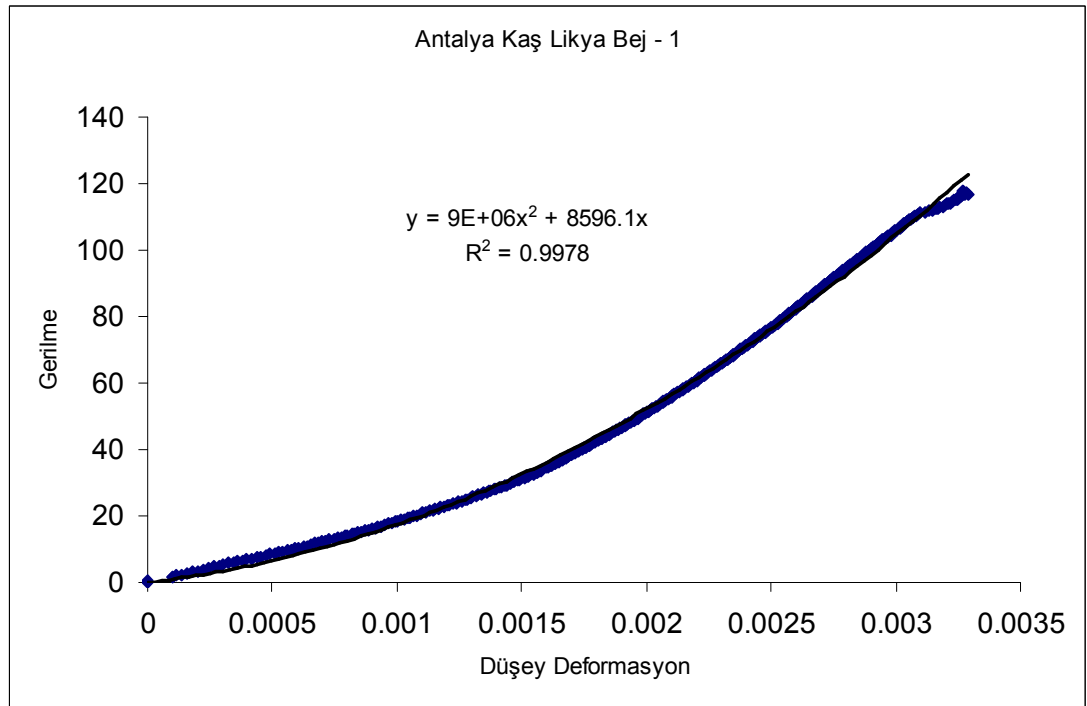
Şekil 4.14 Muğla Fethiye Kahve – 1 numunesinin deformasyon grafiği



Şekil 4.15 Muğla Fethiye Kahve – 2 numunesinin deformasyon grafiği

Tablo 4.39 Antalya Kaş Likya Bej – 1 numunesinin gerilme deformasyon tablosu

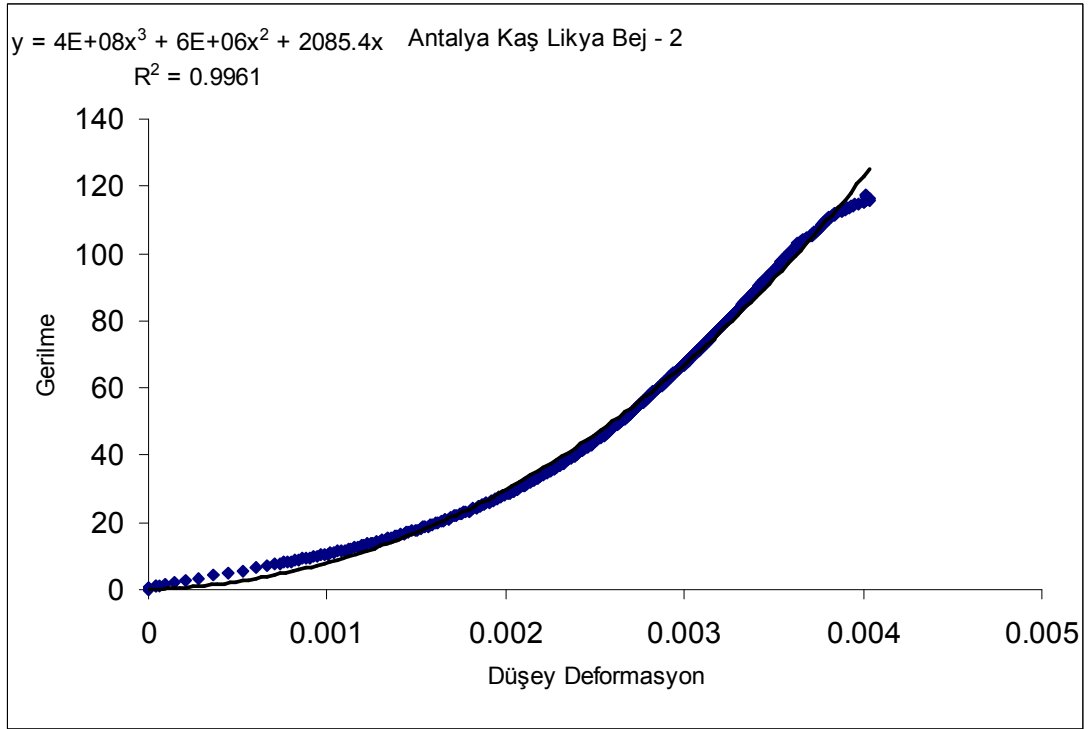
Numune Yüksekliği (cm)	Numune Boyutları (cm)	Yük (kg)	Gerilme (MPa)	Eksenel Deformasyon ( $\times 10^{-6}$ )
7,03	7,16 – 7,06	0	0	0
		7033,27	13,91	788,754
		15052,20	29,77	1451,65
		30080	59,48	2172,75
		40751,60	80,58	2568,57
		50656,50	100,17	2898,45
		59563,70	117,78	3266,81



Şekil 4.16 Antalya Kaş Likya Bej – 1 numunesinin deformasyon grafiği

Tablo 4.40 Antalya Kaş Likya Bej – 2 numunesinin gerilme deformasyon tablosu

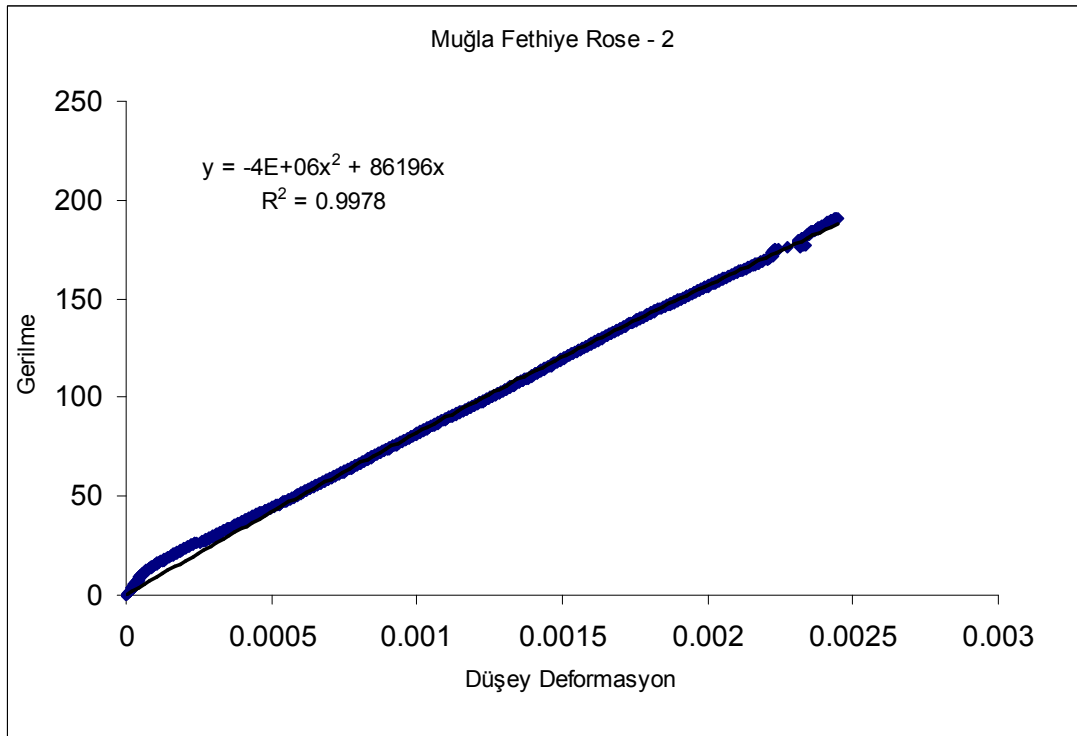
Numune Yüksekliği (cm)	Numune Boyutları (cm)	Yük (kg)	Gerilme (MPa)	Eksenel Deformasyon ( $\times 10^{-6}$ )
7,09	7,09 – 7,21	0	0	0
		8067,57	15,79	1376,12
		20406,20	39,96	2385,31
		30420,70	59,57	2844,98
		45059,10	88,23	3382,81
		59940,90	117,37	4018



Şekil 4. 17 Antalya Kaş Likya Bej – 2 numunesinin deformasyon grafiği

Tablo 4.41 Muğla Fethiye Rose – 2 numunesinin gerilme deformasyon tablosu

Numune Yüksekliği (cm)	Numune Boyutları (cm)	Yük (kg)	Gerilme (MPa)	Eksenel Deformasyon ( $\times 10^{-6}$ )
7,04	6,98 – 7,14	0	0	0
		9016,69	18,08	131,766
		25918,40	51,97	606,279
		36796,90	73,79	896,347
		50997,30	102,26	1280,48
		65745,20	131,83	1657,64
		77755,30	155,92	1992,12
		90957,90	182,39	2343,27
		95168,10	190,83	2447,06



Şekil 4.18 Muğla Fethiye Rose – 2 numunesinin deformasyon grafiği

Tablo 4. 42 Numunelerin  $SE_{DES}$  değerleri

Numune Tanımı	Spesifik Tahrip Enerjisi ( $\text{kJ/m}^3$ )	Ortalama $SE_{DES}$
Muğla Fethiye Bej 1	185,29	185,29
Muğla Fethiye Rose 2	238,54	238,54
Muğla Fethiye Kahve 1	165,32	157,72
Muğla Fethiye Kahve 2	150,12	
Antalya Kaş Likya Bej 1	153,23	162,99
Antalya Kaş Likya Bej 2	172,76	
Granit 1	226,35	271,94
Granit 2	317,53	
Yeşil Bazalt 1	160,31	163,15
Yeşil Bazalt 2	165,99	

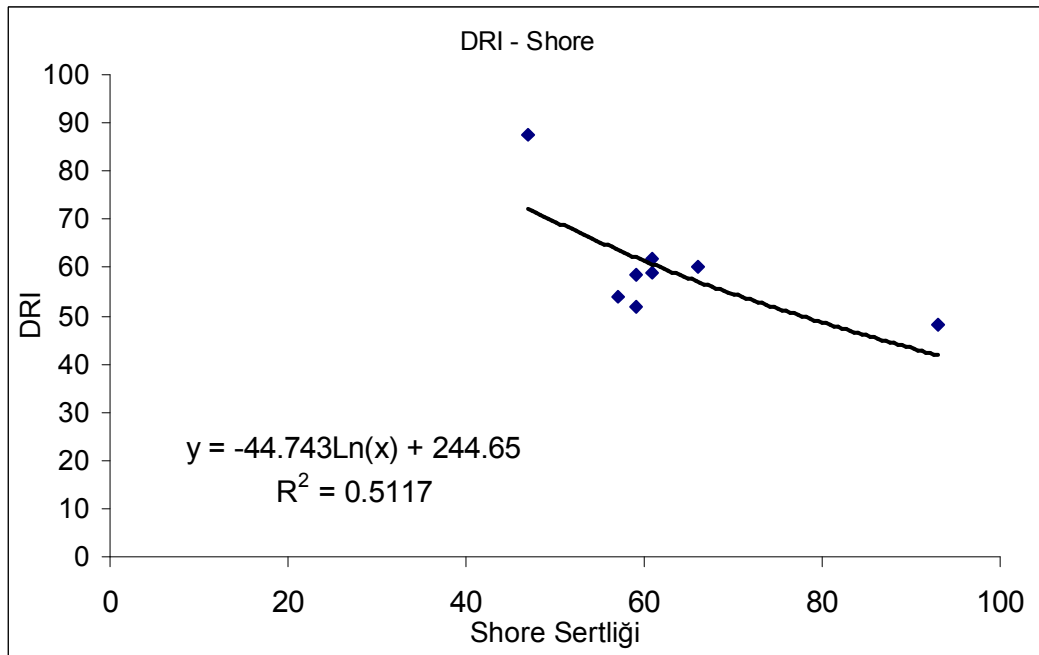
Deformasyon eğrilerinin altında kalan alanının hesaplanması ile spesifik tahrip enerjisi bulunmuş. Atıcı ve Ersoy' un 2008 de yaptığı çalışmada spesifik tahrip enerjisi belirli integral yöntemi ile hesaplanmıştır.



#### 4. 6 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

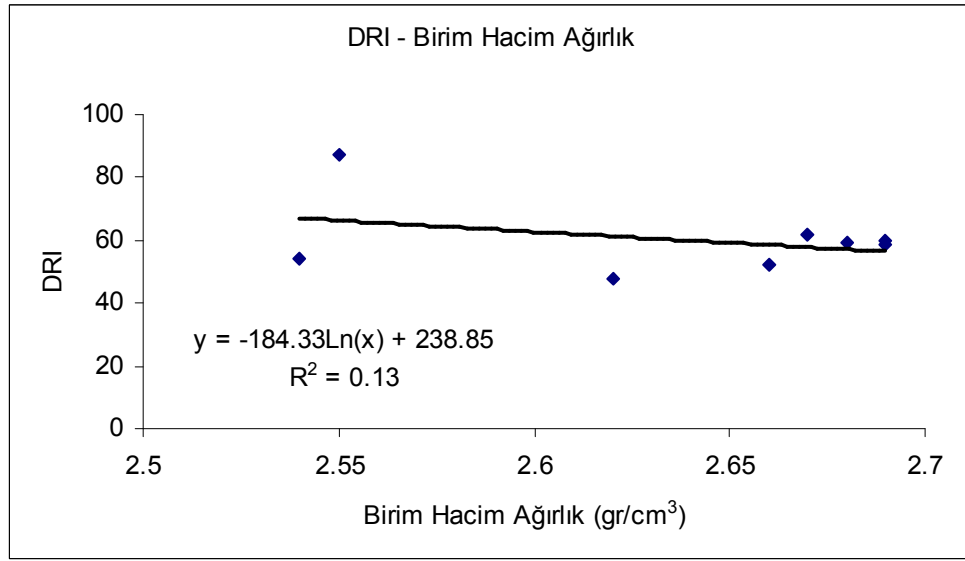
Deneylerden elde edilen verileri incelerken delinebilirliğe etki eden faktörler olarak ele alacak olursak, delinebilirlik değerini (DRI); porozite, yoğunluk, boşluk oranı, shore sertlik değeri, tek eksenli basınç dayanımı, deformasyona bağlı spesifik tahrip enerjisi ile karşılaştırmak gereklidir. Bu proje kapsamında kayacın belirli fiziksel özellikleri, Brittleness ve Sievers' J minyatür delme testlerinden elde edilen DRI değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Deney numunelerinin DRI değerleri Tablo 4.30 daki sınıflamaya göre, Çimentoş 8. Basamak numuneleri yüksek, Çimentoş 10. Basamak numuneleri orta, Muğla Fethiye Kahve, Bej ve Rose numuneleri yüksek, Antalya Kaş Likya Bej numuneleri oldukça yüksek, yeşil bazalt numunelerinde orta, granit orta sınıfta bulunmuştur.



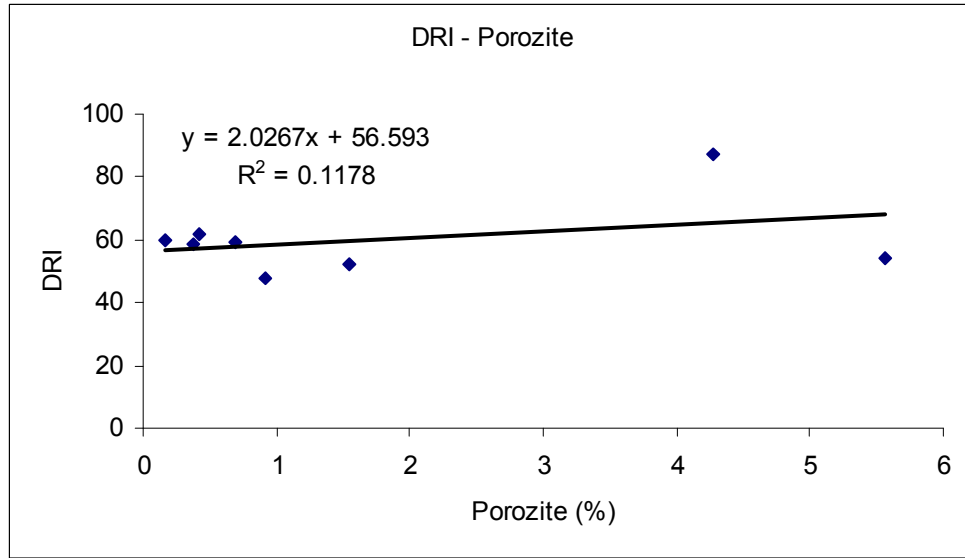
Şekil 4. 19 DRI değerleri ile Shore sertlik değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.19 daki grafikten görüldüğü üzere, kayacın Shore sertliği arttıkça delinebilirlik oranı düşmektedir. Yaralı ve Soyer' in 2008 de yaptıkları çalışmada, kayacın yüzey sertliği ile delinebilirliği arasında ilişki olduğu bulunmuştur.



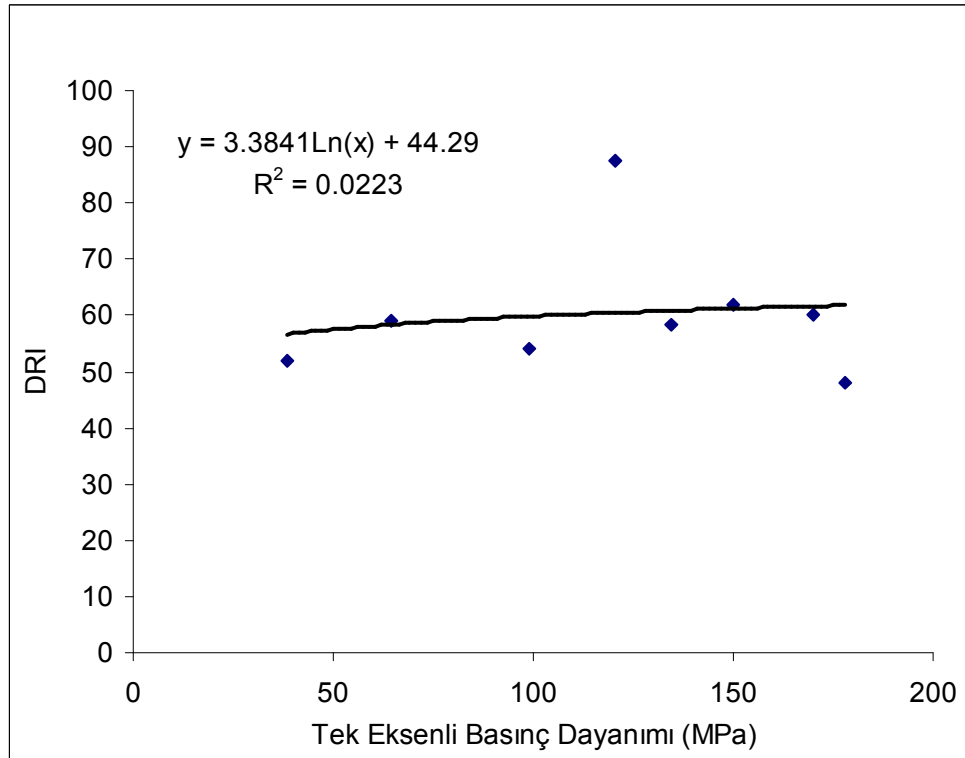
Şekil 4.20 DRI değerleri ile birim hacim ağırlık değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.20’de görüldüğü gibi kayaçların birim hacim ağırlığı arttıkça az da olsa delinebilirliği azalmaktadır. Fakat kayaçların doğal birim hacim ağırlığı ile delinebilirliği arasındaki ilişki oldukça zayıftır.



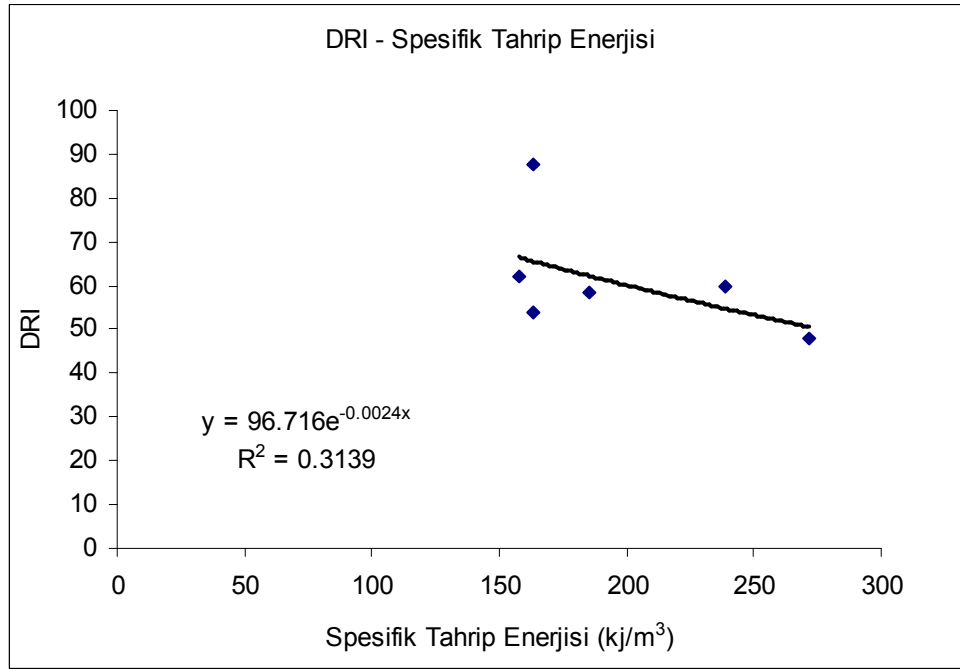
Şekil 4.21 DRI değerleri ile porozite değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.21’de kayaçların gözenekli olma durumunda delinebilirliğinin nasıl değiştiği incelenmiştir. Kayaçların porozitesi arttıkça delinebilirliğinin arttığı gözlenmiştir.



Şekil 4.22 DRI ile tek eksenli basınç dayanımının karşılaştırılması

Kayaçların tek eksenli basma dayanımı ile delinebilirliği arasındaki ilişki şekil 4.22’te görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi kayaçların dayanımı ile delinebilirliği arasında net bir ilişki bulunamamıştır. Bu yönde çalışmalarda farklı yörelerden numuneler üzerinde oldukça fazla deney yapılması ilişkinin nasıl olduğuna yönelik daha faydalı bilgiler verecektir. Aynı yöreden aynı tür iki kayacın bile dayanımları arasında yapılarındaki mineralojik ve jeolojik farklılıklar nedeni ile farklı sonuçlar vermesi dayanım ile delinebilirlik arasında bir ilişki kurulmasını zorlaştırmaktadır.



Şekil 4.23 DRI ile spesifik tahrip enerjisinin karşılaştırılması

Spesifik tahrip enerjisi ile delinebilirlik oranı arasındaki ilişki Şekil 4.23'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi delinebilirlik oranı azaldıkça kayaç daha zor delinebileceğinden daha fazla enerji tüketmek gerekecektir.

## BÖLÜM BEŞ

### SONUÇLAR

Kayaçların fiziksel ve mekanik özellikleri ile delinebilirlik oranları arasında bazı ilişkiler bulunmuştur. Kayacın shore sertliği arttıkça delinebilirlik oranının azaldığı belirlenmiştir.

Kayaçların birim hacim ağırlığı ile delinebilirliği arasındaki ilişkinin ters orantılı olduğu belirlenmiştir. Doğal birim hacim ağırlık arttıkça kayacın delinebilirliği azalmaktadır.

Kayaçların poröz yapıda olması dayanımlarını düşürdüğünden gözenekliliği fazla olan kayaçların delinebilirliği de fazla bulunmuştur.

Kayaçların dayanımı ile delinebilirliği arasında net bir ilişki bulunamamıştır. Bu yönde çalışmalarda farklı yörelerden numuneler üzerinde oldukça fazla deney yapılması ilişkinin nasıl olduğuna yönelik daha faydalı bilgiler verecektir.

Delinebilirlik oranı azaldıkça kayacı delmek için gerekli olan spesifik enerji miktarı artmaktadır. Yani yapısal olarak sağlam kayaçlarda kayacı delmek için gerekli olan enerji miktarı daha fazla olacaktır.

İlerleyen çalışmalarda bu çalışmada kullanılan “Norwegian SINTEF” sisteminin kullanıldığı delinebilirlik test deneylerinin yanı sıra “Colorado school of Mines” modelinde kullanılan deney aletleri ile çalışmalar yapılabilir.

Kayaçların laboratuvar çapta bulunan delinebilirlik özelliği ile sahada sondaj uygulamaları, tünel uygulamaları, kazılabilirlik performanslarının belirlenmesi ve tünel açma keski performans ve güç tüketimleri konularında araştırmalar yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- Atıcı, U., Ersoy, A.; (2008). “Evaluation of destruction specific energy of fly ash and slag admixed concrete interlocking paving blocks (CIPB)” *Construction and Building Materials*, 22, 1507-1514.
- Bruland, A.; (1998). “Hard Rock Tunnel Boring, Drillability Test Methods”, Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet NTNU Trondheim.
- Dahl, F., Grøv, E., Breivik, T.; (2006) “Development of a new direct test method for estimating cutter life, based on the Sievers’ J miniature drill test” *Tunnelling and Underground Space Technology*, 22, 106–116.
- Dahl, F.; (2003). DRI, BWI, CLI Standarts, NTNU, Angleggsdrift, Trondheim, p. 21.
- Ersoy, A.; (2003) “Automatic drilling control based on minimum drilling specific energy using PDC and WC bits” *Mining Technology: IMM Transactions section A*, 112, 86-96.
- Hoseinie, S.H., Aghababaei, H., Pourrahimian, Y., (2008) “Development of a new classification system for assessing of rock mass drillability index (RDi)” *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 45, 1–10.
- Nast, Paul. H. (1955). “Drillers Handbook on Rock”, Davey Compressor Company, Kent Ohio. *Tunnel Engineering Handbook*, Ed. Bickel, Jon, O. ve Kuesel, T. R
- Thuro, K.; (1997). “Prediction of Drillability in Hard Rock Tunneling and Blasting”, *Tunnels for People*, TU München, Germany.
- Thuro, K.; (1997). “Drillability prediction: geological influences in hard rock drill and blast tunneling, Springer-Verlag

Wilbur, Lyman, D.; (1982). "Rock Tunnels", *Tunnel Engineering Handbook* Bölüm 7, Ed. Bickel, Jon, O. ve Kuesel, T. R, 123-207

Yaralı, O., Soyer, E.; (2007). "Tünel açma makinalarının performans analizinde kullanılan delme oranı indeksinin (DRI) tahmini". 2. *Ulaşımında Yeraltı Kazıları Sempozyumu*, 169-179.