

Ankara Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi  
Jeoloji Mühendisliği Bölümü

**KAYA MEKANİĞİ**

**DERS NOTLARI**

Prof. Dr. Recep KILIÇ

# 1. GİRİŞ

İnsanların güvenerek kullandığı en eski, en yaygın olan ve bu özelliğini halen koruyan yapı malzemesi **taş** tır. Ancak barınak ve temel olarak kullanımda kayaya olan güvenin artırılması gereği ortaya çıkmıştır. Kaya üzerindeki yapıların kat sayısının ve kaya içerisindeki yapı boyutlarının büyümesi v.b. gibi nedenler kayayı incelemeyen kullanılmaya karşı güveni azaltmıştır.

Kayanın ayrışması ve aşınması ile oluşan, gevşek, çimentosuz kayalar yani zeminler üzerindeki araştırmalar 200 yıldan beri devam etmektedir. Temel olma açısından zeminlerin güvenilirlik dereceleri ancak denenerek ve ölçülerek belirlenmektedir. Zeminlerin bu özelliği nedeni ile zemin mekaniği bilimi gelişmesini kaya mekaniğine göre daha önce sağlamıştır.

İkinci Dünya Savaşı sonrasında başlayan hızlı endüstrileşmeye paralel olarak yapılan;

- büyük barajlar,
- nükleer santraller,
- uzun ve geniş çaplı tüneller,
- madencilik kazıları,
- gökdelenler,
- alışveriş merkezleri
- viyadükler,
- köprüler ve
- bunun gibi büyük ve hassas mühendislik yapıları

temelde bulunan kayanın, güvenilir bir ortam olup olmadığının belirlenmesi için denenmesini ve incelenmesini gerektirmiştir.

Zemine oranla kayanın geçirimsiz, sıkışmaz ve sonsuz kayma direncine sahip olduğu görüşü yaygın olmasına karşılık, yapıların ve yüklerin artması ile meydana gelen yenilme ve deformasyonlar bu kanaatin yanlış olduğunu göstermiştir.

Kayanın mekanik davranışının, yenilme kriterlerinin belirlenmesi ve kaya ortamlardaki yapıların bu verilere göre boyutlandırılması kaya mekaniği biliminin ortaya çıkmasını sağlamıştır.

Kaya mekaniği, kayaların mekanik özelliklerini ve davranışını inceleyen teorik ve uygulamalı, disiplinler arası bir bilim dalıdır. Kayanın çevresindeki kuvvet sahalarına karşı davranışlarını inceler.

Kaya mekaniği, kaya ortamın ilk durum girdilerini belirliyerek, teknik girişimden sonra oluşacak yeni durumu ve dolayısı ile kaya ile yapı arasındaki karşılıklı ilişkileri inceleyen, belirleyen ve buna bağlı olarak yeraltı kaya yapılarını boyutlandıran teknik bilim dalıdır.

Bu konu içerisinde ancak ulaşılabilen kayaların özellikleri tutumları ve değişen gerilme şartlarındaki davranışları incelenebilmektedir.

Ulaşılabilen kaya yerkabuğunun belli bir derinliğe kadar üst kısmını oluşturur. Kayanın sağlam ve masif olupta ulaşılamayan kısmı ile yapısal jeoloji uğraşır.

Kaya mekaniğinin gelişimi 1950 yılından bu yana devam etmektedir. Kaya mekaniğinin gelişimini hızlandıran etkenlerin bazıları şunlardır:

1. Matematik ve fizik gibi temel bilimlerdeki gelişmelere paralel olarak gerilme ve deformasyonların daha duyarlı olarak ölçülebilmesi,
2. Petrol ve madencilikte derin işletmelere geçiş zorunluluğu,
3. Baraj, tünel, yeraltı santrali v.b. gibi yapılarda boyutların artması,
4. Askeri amaçlı yapılar ve yeraltı depolarına olan isteğin artması

## **Kaya mekaniğinin inceleme konuları:**

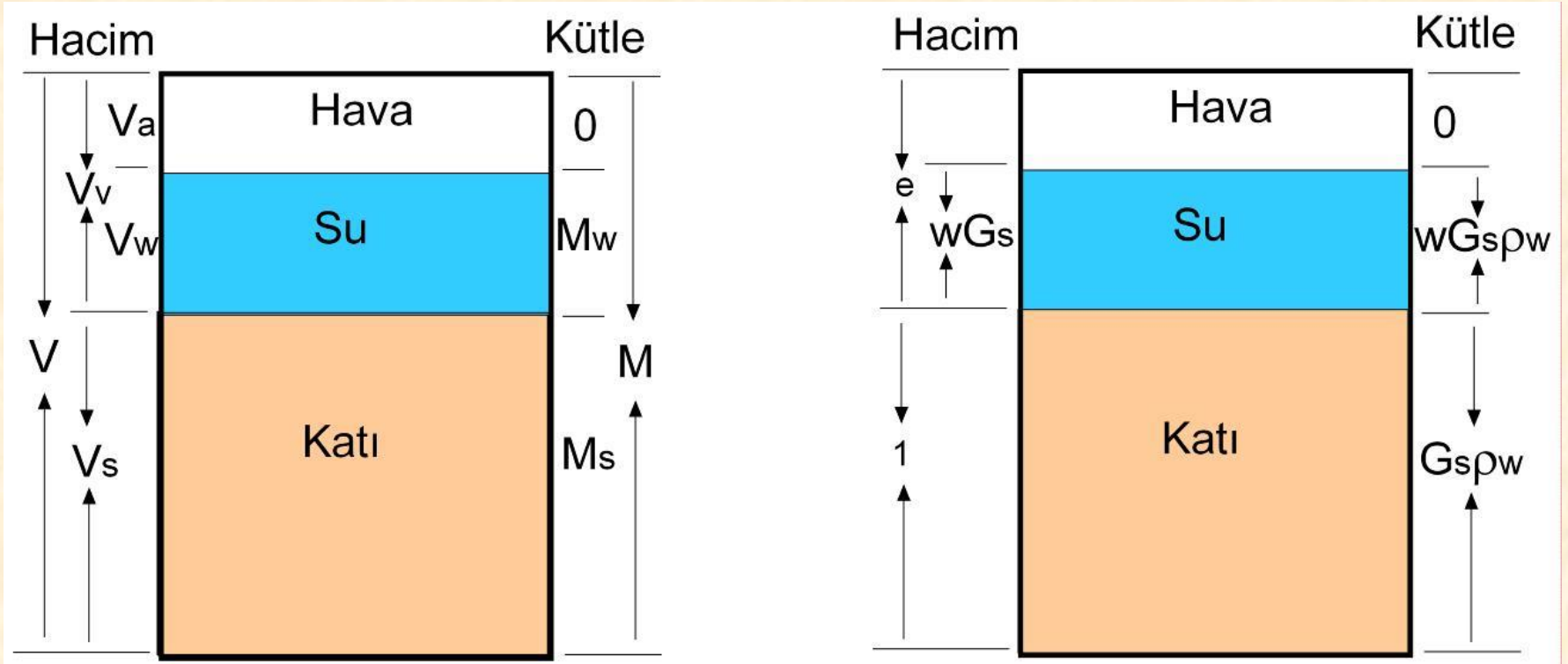
Kaya mekaniğinin inceleme konularının başlıcaları aşağıda verilmiştir.

1. Mühendislik amaçlı olarak kayayı mekanik ve jeolojik yönden incelemek.
2. Kayayı tanımlamak ve sınıflandırmak.
3. Kayanın basma, çekme, ve kayma kuvvetleri altındaki dayanımını belirlemek için standart deney yöntemleri ve cihazları geliştirmek.
4. Kayanın statik ve dinamik yükler altındaki yenilme durumlarını incelemek ve ölçmek için deney yöntemlerini geliştirmek.
5. Su ve sıcaklık şartları altında kayanın davranışını incelemek.
6. Kaya ortamda inşa edilecek yapıların statik problemini araştırmak ve boyutlandırmak.



## 2. KAYANIN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Kayanın fiziksel özellikleri Şekil 2.1 deki kütle - hacim diyagramı üzerinde açıklanabilir



Şekil 2.1. Kütle - hacim diyagramı



**Doğal su içeriği (w):** Kayanın boşluklarındaki suyun ağırlığının kuru ağırlığına oranıdır. Yüzde olarak ifade edilir.

$$\omega = \frac{W_w}{W_s} = \frac{W_n - W_s}{W_s}$$

$$\omega = \frac{M_w}{M_s} = \frac{\text{Suyunkütlesi}}{\text{Katininkütlesi}} \times 100 = \%$$

**Yoğunluk ( $\rho$ ):** Toplam kütlenin toplam hacme oranıdır.

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{\text{Toplamkütle}}{\text{Toplamhacim}} \quad g / cm^3$$

**Birim hacim ağırlığı ( $\gamma$ ):** Zeminin ağırlığının hacmine oranıdır. Birimi, metrik sistemde  $g / cm^3$  veya  $t/m^3$ , uluslararası birim sisteminde (SI)  $kN/m^3$  dür.

$$\gamma = \frac{\text{Ağırlık}}{\text{Hacim}} = \frac{W}{V} \quad \gamma = \frac{W}{V} = \frac{M}{V} \cdot g = \rho \cdot g \quad kN/m^3$$

**Doğal birim hacim ağırlığı** ( $\gamma_n$ ): Kayanın doğal haldeki ağırlığının toplam hacmine oranıdır

$$\gamma_n = \frac{W_{tabii}}{V_{toplam}}$$

**Kuru birim hacim ağırlığı** ( $\gamma_k$ ): Örneğin 105 5 oC de kurutulmuş ağırlığının toplam hacme oranıdır.

$$\gamma_k = \frac{W_{kuru}}{V_{toplam}}$$

**Doygun birim hacim ağırlığı** ( $\gamma_d$ ): Boşlukları tamamen doygün kayanın ağırlığının, toplam hacme oranıdır.

$$\gamma_d = \frac{W_{doygun}}{V_{toplam}}$$

**Gözeneklilik (porozite, n):** Toplam boşluk hacminin toplam hacme oranıdır.

$$n = \frac{V_v}{V} = \frac{\text{Toplam boşluk hacmi}}{\text{Kayacın toplam hacmi}} \times 100 = \%$$

**Boşluk Oranı (e):** Boşluk hacminin, katının hacmine oranıdır. Birimsizdir ve yüzde olarak ifade edilir.

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{\text{Boşluk hacmi}}{\text{Katının hacmi}} \times 100 = \%$$

$$e = \frac{n}{1 - n} \quad n = \frac{e}{1 + e}$$

**Özgül ağırlık (G<sub>s</sub>):** Kayanın birim hacim ağırlığının suyun birim hacim ağırlığına oranıdır. Birimi, metrik sistemde  $g / cm^3$  ve SI sisteminde birimsizdir.

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \quad G_s = \frac{M_s}{V_s \rho_w}$$

## Doygunluk derecesi (Sr):

Kayanın boşluklarındaki suyun hacminin ( $V_w$ ), boşluk hacmine ( $V_v$ ) oranıdır.

$$S_r = \frac{V_w}{V_v}$$

Tamamen kuru kayada,  $S_r=0$  ve tamamen doymuş kayada ise  $S_r =1$  dir.

Boşluk oranının tanımından eğer katının hacmi 1 birim ise boşluğun hacmi de  $e$  dir. Tanelerin kütlesi,  $G_s \cdot \gamma_w$  ve su içeriğinin tanımından suyun kütlesi ise  $w G_s \cdot \gamma_w$  ya eşittir.

Suyun hacmi  $w G_s$  dir.

$$S_r = \frac{w G_s}{e} = \frac{\text{Suyun hacmi}}{\text{Boşluk hacmi}} \times 100 = \%$$

Doygunluk %100 olursa  $S_r =1$  dir. Bu durumda;

$$e = w G_s \quad \text{olur.}$$

$$\rho = \frac{G_s(1+\omega)}{1+e} \rho_w \quad \rho = \frac{G_s + S_r e}{1+e} \rho_w$$

Sr = 1 için

$$\rho_{sat} = \frac{G_s + e}{1+e} \rho_w$$

$$\gamma = \frac{G_s(1+\omega)}{1+e} \gamma_w \quad \gamma = \frac{G_s + S_r e}{1+e} \gamma_w$$

$$\gamma_{batmýp} = \frac{G_s \gamma_w - \gamma_w}{1+e} = \frac{G_s - 1}{1+e} \gamma_w$$

$$\gamma_w = 9.8 \text{ kN} / \text{m}^3$$

$$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

## Geçirgenlik (Permeabilite, K):

Darcy yasasına göre hesaplanır

$$K=V/i$$

$$V=Q/A$$

Burada;

K= Geçirgenlik katsayısı (m/s, cm/s)

V= Boşluklardan geçen suyun hızı (m/s, cm/s)

Q= Suyun debisi (m<sup>3</sup>/s veya cm<sup>3</sup>/s)

A= Alan (m<sup>2</sup> veya cm<sup>2</sup>)

Bazı kaya türlerinin geçirimsizlik katsayıları Çizelge.2.1 de ve Kayanın eklem durumu, geçirimsizlik katsayısı ve sınıflaması Çizelge 2.2. de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Bazı kaya türlerinin geçirgenlik katsayıları

Kaya türü	Geçirgenlik katsayısı (K, cm/s)
Bazalt	$10^{-5}$
Breş	$10^{-7} - 10^{-8}$
Dolomit	$10^{-8} - 10^{-9}$
Granit	$10^{-10} - 10^{-11}$
Ayrışmış granit	$10^{-5}$
Kireçtaşı	$10^{-7} - 10^{-10}$
Kuvarsit	$10^{-5} - 10^{-7}$
Şist	$10^{-7} - 10^{-8}$

Çizelge 2.2. Kayanın eklem durumu, geçirimsizlik katsayısı ve sınıflaması (Bell 1992)

Çatlak sıklığına göre kaya kütlesi tanımı	Geçirimsizlik m/s)	Geçirimsizlik derecesi
Çok dar-aşırı derecede dar	$10^{-2}-1$	Çok geçirimli
Dar-orta derecede yakın	$10^{-5}-10^{-2}$	Orta geçirimli
Geniş-çok geniş aralıklı	$10^{-9}-10^{-5}$	Az geçirimli
Eklemsiz	$< 10^{-9}$	Geçirimsiz