

# Kaya Kütlesinin Davranışlarını Önceden Saptamak İçin Geliştirilen Jeomekanik Sınıflama Sistemi

Z. T. BIENIAWSKÎ\*\*

*Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Merhem, O Afrika*

ÇEVİREN: GÜNGÖR UN AY E.J.E. İdaresi Genel Direktörlüğü, Ankara

Jeomekanik sınıflama sistemi kaya kütlesi» nin mühendislik verilerini saptamaya yarayan bir yöntemdir\* Bu yöntem tüneller, temeller, Şev yamaçları ve diğer yeraltı inşaatlarında uygun kaya payanda ve takviye önlemlerinin seçiminde kullanılmaktadır.

Kayayı mühendislik yönünden sınıflamada çeşitli yöntemler bulunmakta ise de, Jeomekanik sınıflama yöntemi bunların en yararlısı olup, kaya davranışında aşağıda belirtilen son derece önemli altı parametreyi içermektedir :

- a. Kayanın tek eksenli basınç mukavemeti
- b. Sondaj karotlarından elde edilen RQD (Kaya Niteliğinin tanımlanması) değerleri.
- e\* Yeraltı suyu gözlemleri
- d. Eklem sıklığı
- e. Eklem durumları
- f. Eklem yönlenimi

Bu parametrelerin tümü sahada ölçülebilir, bunlardan tek eksenli basınç mukavemeti son« daj karotları üzerinde kutursal uç yükleme deneyleri (point load testa) yapmak suretiyle saptanabilir.

Jeomekanik sınıflama Tablo 1 de görülmektedir. Tablo kendiliğinden kolaylıkla anlaşılabilir ayrındadır. Özellikle uygulama alanında kullanılan Jeomekanik sınıflamada dikkat edilecek husus, düşünülen mühendislik projesine bakılmaksın Önce kaya kütlesinin niteliği hakkında genel bir değerlendirmeye ulaşılmıştır\* Bu da sınıflama parametrelerinin ilk beşini kullanmak suretiyle elde edilir. Daha sonra değerlendirmeler tünel, yamaç veya bir temel durumuyla ilgili olup olmamasına bağlı olarak eklemelerin doğrultu ve eğim yönlerine göre düzeltilir (Tablo 2),

\* Bu çeviri, World Construction» Mayıs 1976 tarihli derginin "Classification system is used to predick rock mass behavior" adlı makaleden yapılmıştır.

\*•• Jeomekanik bölümü başkanı.

## A. SINIFLAMA PARAMETRELERİ VE DERECELERİ

| 1              | Sağlam kayanın mukavemeti | Uç-yük mukavemet endeksi   | > 8 MPa   | 4 - 8 MPa  | 2 - 4 MPa  | 1 - 2 MPa   | Yeğlenen tek eksenli basınç deneyini kullan |            |           |
|----------------|---------------------------|--|---|--|--|---|---|------------|-----------|
|                |                           | Tek eksenli basınç mukavemeti  | > 200 MPa   | 100 - 200 MPa  | 50 - 100 MPa   | 25 - 50 MPa   | 10 - 25 MPa                                 | 3 - 10 MPa | 1 - 3 MPa |
|                | Derecelendirme            |  | 15  | 12   | 7  | 4   | 2   | 1          | 0         |
| 2              | Sondaj Karot Kalitesi RQD | % 90 - % 100   | % 75 - % 90   | % 50 - % 75  | % 25 - % 50  | < % 25  |   |            |           |
|                | Derecelendirme            | 20   | 17  | 13   | 8  | 3   |   |            |           |
| 3              | Eklemlerin sıklığı        | > 3m   | 1 - 3m  | 0,3 - 1m   | 50 - 300m  | < 50 mm   |   |            |           |
|                | Derecelendirme            | 30   | 25  | 20   | 10   | 5   |   |            |           |
| 4              | Eklemlerin durumu         | Çok kaba yüzler Sürekli değil Ayrılma yok Eklemler sert duvar kayası | Az kaba yüzler Ayrım < 1mm Eklemler sert duvar kayası | Az kaba yüzler Ayrım < 1mm Eklemler yumuşak duvar kayası | Sürtünme izli yüzler veya fay kili < 5mm veya 1-5mm açık eklemler sürekli eklemler | Yumuşak fay kili > 5mm kalınlık veya açık eklemler > 5mm sürekli eklemler |   |            |           |
|                | Derecelendirme            | 25   | 20  | 12   | 6  | 0   |   |            |           |
| 5              | Yeraltı suyu              | Tünelin 10 m. lik kısmından gelen su                                 | Yok   |  | < 25 litre/dak.  | 25 - 125 litre/dak.   | > 125 litre/dak.                            |            |           |
|                |                           | Eklemlerdeki su basıncı  | 0   |  | 0,0 - 0,2  | 0,2 - 0,5   | > 0,5                                       |            |           |
|                |                           | Ana asal gerilme   | Tamamen kuru  |  | veya Yalnızca nemli ( kırıklardaki su)   | veya Orta basınç altında su   | veya Önemli su problemleri                  |            |           |
|                | Genel Koşullar            |  |   |  |  |   |   |            |           |
| Derecelendirme |                           | 10   |   | 7  |  | 4   | 0   |            |           |

## B. EKLEM YÖNLENİMİNE GÖRE DÜZELTME

| Eklem yönlenimi ve eğim yönlenimi |          | Çok iyi | İyi | Orta | Kötü | Çok kötü |
|-----------------------------------|----------|---------|-----|------|------|----------|
| Derecelendirme                    | Tüneller | 0       | -2  | -5   | -10  | -12      |
|                                   | Temeller | 0       | -2  | -7   | -15  | -25      |
|                                   | Yamaçlar | 0       | -5  | -25  | -50  | -60      |

## C. KAYA SINIFLAMALARI ve DERECELERİ

| Sınıflama No.  | I            | II       | III       | IV         | V              |
|----------------|--------------|----------|-----------|------------|----------------|
| Tanımlama      | Çok iyi kaya | İyi kaya | Orta kaya | Zayıf kaya | Çok zayıf kaya |
| Derecelendirme | 100 ← 90     | 90 ← 70  | 70 ← 50   | 50 ← 25    | < 25           |

## D. KAYA SINIFLAMA YORUMLARI

| Sınıflama No.                    | I                    | II                               | III                   | IV                                | V                         |
|----------------------------------|----------------------|----------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| Ortalama dayanma süresi          | 5m. açıklıkta 10 yıl | 4m. açıklıkta 6 ay               | 2m. açıklıkta 1 hafta | 1,5m. açıklıkta 5 saat            | 0,5m. açıklıkta 10 dakika |
| Kaya kütlelerinin kohezyonu      | > 300 kPa            | 200 - 300 kPa                    | 150 - kPa             | 100 - 150 kPa                     | < 100 kPa                 |
| Kaya kütlelerinin sürtünme açısı | > 45°                | 40° - 45°                        | 35° - 40°             | 30° - 35°                         | < 30°                     |
| Çevrenin kazılabilirliği         | Çok zayıf            | Kolaylıkla büyük parçalar çıkmaz | Orta                  | Kolaylıkla kazılır iyi parçalanma | Çok iyi                   |

Tablo 1: Eklemlerli kaya kütlelerinin jeomekanik sınıflaması.

| Tünel eksenine dik doğrultu |              |               |              | Tünel eksenine paralel doğrultu |              | Doğrultuya bakılmaksızın eğim 0°-20° |
|-----------------------------|--------------|---------------|--------------|---------------------------------|--------------|--------------------------------------|
| Eğim yönünde açım           |              | Eğim dik açım |              |                                 |              |                                      |
| Eğim 45°-90°                | Eğim 20°-45° | Eğim 45°-90°  | Eğim 20°-45° | Eğim 45°-90°                    | Eğim 20°-45° |                                      |
| Çok uygun                   | Uygun        | Orta          | Uygun değil  | Çok uygun                       | Orta         | Uygun değil                          |

Tablo 2: Tünelde eklem doğrultu ve eğim yöneliminin etkisi.

Jeomekanik sınıflamayı uygulamak için, mühendis önce kaya kütlelerini bir serî yapısal bölgelere ayırır, her bölgenin yalnız tek tip iksa (support) gerektirecek belirli bitevü özellik ve benzer niteliklere sahiptir. Sahada ölçümlerden her bir yapısal bölge için sınıflama parametreleri saptanır. Bu amaçla özel bir bilgisayar programı geliştirilmiştir, Daha sonra sınıflama parametrelerine ilişkin Önemli derecelendirmeler seçilir\*

Sınıflama parametrelerinin Önemli derecelendirmeleri oluşturulunca beş parametre (Tablo Tin A bölümü) toplanır önce kaya kütleleri için yerindeki değerler saptanır (yani düşünülen yapısal bölgesi), yüksek değerler en iyi kaya koşullarını vermektedir. Bu basit değerlendirme bilâhare son değerlendirme için Tablo 1 in B bölümüne göre düzeltilir. Tablonun C bölümü son derecelendirmeleri beş kaya grubu halinde toplamaktadır. Tablonun D bölümü ise kayanın her gruptaki pratik anlamını vermekte olup» bunların gerektiğinde mühendislik problemleriyle bağlantısı sağlanır.

Kayaların Jeomekanik sınıflama sistemini deneyiminin en iyi yöntemi gerçek durumlarda güvenilirliğini sınamaktır.

#### Tüneller ve Yeraltı Boşlukları

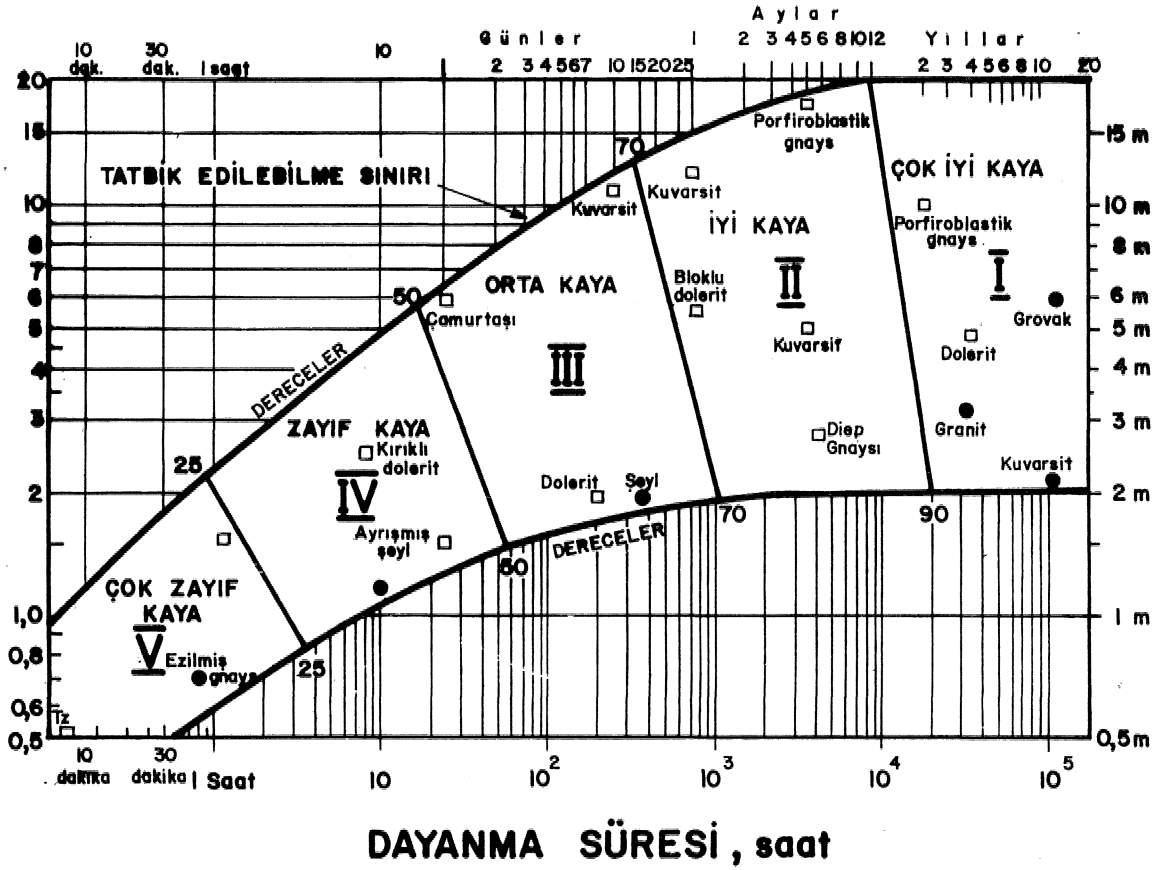
Atnalı biçiminde, 5 m genişlikte ve 6 m yüksekliğindeki bir tünel kırıklı dolerit içinde sondaj ve patlatma yöntemiyle açılmıştır. Tavana iksa konmamış, ancak 2\*4 m genişliğinde ve 6 m uzunluğundaki bir kısım patlatmadan sekiz

saat sonra çökmüş ve 3 m yüksekliğinde büyük bir boşluk oluşmuştur. Tüneldeki değerlendirme Tablo 8 deki gibi değerlendirilmiştir.

| Paramétra                                | Değer  | Derece |
|--|--|--------|
| Gereç mukavemeti                         | 50 - 100 MPa   | 7      |
| RQD                                      | % 25 - 50  | 4      |
| Eklemlerin aralıkları (takımlar halinde) | (1) 0.3 - 1m.<br>(2) 50 » 300m,<br>(3) 0.3 - 1m.                       | 15     |
| Eklemlerin durumu                        | Sıkı sürekli az kaba yüzlü eklemler, sert eklem duvarı, fay kili <5mm. | 6      |
| Yeraltı suyu akımı                       | < 2.5 lifle/dak.   | 7      |
| YERİNDEKİ İLK KAYÂ DEĞERİ                |  | 39     |
| Eklemlerin yönelimi için düzeltme        | Çok kötü   | -12    |
| TÜNEL İÇİN SON KAYÂ DEĞERİ               |  | 27     |

Tablo 3; Sınıflama sistemi çöken tünelin derecelenmesinin yalnızca 27 olduğunu göstermektedir,

Sınıflama sistemini kullanmak suretiyle 27 değeri (gekil 1 e bakınız) iki saatlik bir dayanma süresine (stand up time) eşgelaaktadır\* Derecelendirme patlatma öncesi yapılmış olaydı, müteahhit uygun bir iksanm gerekliliği konusunda uyarılabilirdi.



Şekil 1: Tünelcilik için kaya kütlelerinin jeomekanik sınıflaması tipik Alp dağlarına ait örnekler içi dolu yuvarlak noktalarla, oysa tipik Güney Afrika örnekleri küçük karelerle gösterilmiştir.

## Temeller

Jeomekanik sınıflama sistemi her ikisinde büyük köprülerle ilgili olmak üzere kayadaki temel problemlerine uygulanmıştır. Sistem baraj temellerine uygulanmamıştır, ancak bu yönde çaba göstermenin bir gereği yoktur. Köprü ile ilgili temel problemlerinden birisi Özellikle ilging olup, bu amaçla büyük ölçekli yerinde deney (gift krikolu yüklemeye deneyi) yapılmıştır.

Köprü ayakları 22 ilâ 11 m boyutlu bir alanı kaplamış ve ayrılmış migmatitik kaya içinde yaklaşık 5 metre girmiştir. Ana sorun temel deplasmanlarının kemer köprü projelendirme değerleri içinde kalıp kalmıyacağı konusunda gelişmiştir. Aşırı yüklemeye sonucu oluşabilecek yıkılmada gözönüne alınmıştır. Proje Jeolojik haritalamayı, laboratuvar deneylerini ve sondaj karot analizlerine ek olarak büyük ölçekli yerinde deneylerin yapılmasını gerektirmiştir.

Hidrolik kriko ile yapılan yüklemeye sonucunda kayanın deformasyon modülü 500 MPa (5000 kg/cm<sup>2</sup>) olarak bulunmuştur. Beklenilmeyen bir olay hidrolik kriko yüklemeye deneyi sırasında son yük verildiğinde kayanın toplam bir yenilmeye (total failure) uğramış olmasıdır. Bu kaya jeomekanik sınıflama sisteminde 36 derecelenme ile IV ncü sınıfa (zayıf kaya) sokulmuştur.

## Madencilik ve Diğer Yeraltı Yapıları

Jeomekanik sınıflama Tablo 4 de verilen klavuza göre maden galerilerinin açımında ve madenin galeriden taşınmasında ilk iksa seçiminde başarıyla kullanılmıştır, Büyük maden boşluklarının (chambers) düzeltilmiş sınıf HI veya daha iyisiyle yalnızca kaya kütlelerinde kazılması önerilmektedir.

| KAYA KÜTLESİ SINIFLAMASI  | KAZI  | BİRİNCİL İKSA   |   |   |
|---|---|---|---|---|
|   |   | Kaya bulonları *<br>(10 m. genişlikteki)<br>tünel için uzunluk  | Şatkrit   | Çelik takımlar  |
| I   | Tam kesit<br>3 m. ilerleme  | Bazı bulonların haricinde genellikle iksa gerektirmez.  |   |   |
| II  | Tam kesit<br>1,0-1,5 m.<br>ilerleme                               | Kemerin 2-3 m. sinde yer yer bulonlar, tel kafeslerle 2-2,5 m. aralıklı, aynaya 20 m. ye kadar gereklidir.                      | Su geçirmezlik için tavan kemerinde 50 mm.  | Yok   |
| III   | Tavan kemeri ve tabandan ilerleme<br>Tavandan 1,5-3 m. ilerleme   | 3-4 m. uzunlukta sistematik bulonlar, kederde tel kafesli duvarlar ve kederde 1,5-2 m. aralıklı, aynaya 10 m. ye kadar gerekli. | Tavan kemerinde 50-100 mm. yan duvarlarda 30 mm.  | Yok   |
| IV  | Tavan kemeri ve tabandan ilerleme<br>Tavandan 1,0-1,5 m. ilerleme | Tel kafesli duvarlarda ve kederde 1-1,5 m. aralıklı, 4-5 m. uzunluklu sistematik bulonlar.<br>Aynaya 10 m. ye kadar gerekli     | Tavan kemerinde 100-150 m. ve yan duvarlarda 100 mm. Kazı ilerledikçe iksa yerleştirilmelidir.                  | Gereken yerde 1,5 m. aralıklı yer yer hafif traversler (ribs) |
| V   | Tavan ve taban müşterek ilerleme<br>Tavandan 0,5-1 m. ilerleme    | Tel kafesli duvarlarda ve kederde 1-1,5 m. aralıklı, 5 m. uzunluklu sistematik bulonlar.<br>Aynaya 5 m. ye kadar gerekli        | Tavan kemerinde 150-200 mm. yan duvarlarda 150 mm. Aynada 50 mm.<br>Patlamadan hemen sonra şatkrit uygulanmalı. | Çelik iksalı 0,75 m. aralıklı ağır traversler.                |
| * 20 mm. çaplı tamamen reçine bağlantılı, uzunluk tünel genişliğinin yarısı |   |   |   |   |

Tablo 4: Atnalı şekilli tünellerde ilk iksanın seçiminde gösterilen kılavuz (genişlik 5 ila 12 m; düşey gerilme 30 MPa; inşaat sondaj ve patlama ile)

### Gelecekteki Uygulamalar

Geçmişteki incelemeler jeomekanik Sınıflamanın inşaat mühendisliğinde ve maden işlerinde yararlığı açıkça görülmektedir. Bununla beraber, bu sınıflamanın yalnızca amaca giden bir yol olduğu hatırdan çıkarılmamalıdır, en son mühendislik hesabının yerini alamaz, Eöas olarak

ampirik bir yaklaşımı temsil etmekte olup, inşaat sırasında uygun saha ölçümleriyle kontrol edilmelidir. Bir kere bu yapılmıca\* Jeomekanik Sınıflama kaya kütle koşullarının saptanmasında, kaya takviye önlemleri ve iksanın seçiminde ve mühendislik projelerinde iletişimin sağlanmasında çok etkin bir yoldur.