

# Kaya Sapmaları İçin Sayısal Yöntemlerle Tahkimat Tasarımı

## Support Design for Rock Bolts with Numerical Methods

Olgay YARALI (\*)  
Yadigar V. MÜFTÜOĞLU (\*\*)

### ÖZET

Bu çalışmanın amacı, kaya saplamaları ile tahkimat tasarımı yapan ve kısıtlı verilere sahip tasarımcıya yol göstermektir.

İki boyutlu sınır elemanları gerilme çözümlemesi bilgisayar paket programı kullanılarak tanımlanmış model geometrisi çevresindeki Hoek-Brown yenilme ölçütüne göre emniyet katsayısının dağılımı belirlenmiş ve olası yenilme bölgeleri bulunmuştur. Böylece, ön tasarım aşamasında modellenmesi daha pratik olan bir geometri ile yalnızca genişliğin tanımlanmasıyla 4 ayrı ( B14, B16, B18, B20 ) galeri kesitleri için geçerli olabilecek bazı sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmanın sonucu geliştirilmiş yöntemler ile ; galeri açıklıkları çevresindeki oluşabilecek yenilme bölgesinin kalınlığı, saplama boyu, saplamalar arası mesafe, saplama sayısı ve saplamaların yerleştirilme açısı belirlenebilmektedir.

### ABSTRACT

The objective of this study is to give some guidelines to the designer who is to design rock bolt supports with limited data.

By using a computer packet programme for two dimensional boundary element stress solutions, the distribution of factor of safety and potential failure zones around the defined model geometry are determined by employing Hoek - Brown failure criterion. Consequently by using a geometry which is much more practical to be modelled at the initial design phase, some results which are valid for 4 different ( B14, B16, B18, B20 ) gallery geometries are obtained.

Based on results developed in this study, the thickness of the potential failure zones around the opening, bolt length, its spacing and installation angle can be determined.

(\*) Araş. Gör. Maden Yük. Müh./H.U.Z.M.F. Maden Müh. Böl., Zonguldak

(\*\*) Doç. Dr. Maden Yük. Müh. H.Ü.Z.M.F. Maden Müh. Böl., Zonguldak

## 1. GİRİŞ

Herhangi bir yeraltı açıklığının tasarımında temel amaç, çevre kayacı asıl yapı malzemesi olarak kullanmak, kazı sırasında çevre kayacı mümkün olduğunca az düzeyde rahat bırakmak, mümkün olduğunca az miktarda beton ya da çeliği tahkimat olarak kullanmaktır. Sağlam durumlarda ve basınç gerilmeleri altında birçok sert kayaç betondan daha dayanımlı ve bazıları da çeliğinkine yakın dayanımdadır. Bu durumda, tek başına yeterli derecede uygun olabilecek bir malzeme yerine, ondan daha iyi olmayan malzemeler kullanmak, ekonomik açıdan anlamsız olacaktır (1).

Yeraltı açıklıklarının tasarımında tahkimat sisteminin seçimi oldukça önemlidir. Seçim yapılırken emniyet gereksinimlerinin ekonomik sınırlar içinde olmasına dikkat edilmelidir. Ayrıca, yeraltı açıklıklarının duraylılığını etkileyen faktörler göz önünde bulundurularak, optimum tahkimat tasarımı yapılmalıdır.

Kaya sapalmaları ile tahkimat, galerinin duraylılığını sağlamaları için kullanılan en etkin tahkimat yöntemlerinden bir tanesidir. Kaya sapalmaları ile, bir kazı sonucu çevre kayaçlarda oluşan gerilmeler neticesinde, duraylılığını kaybetmiş kayaç kütlelerinin oluşturacağı deformasyonu azaltacak şekilde tasarım yapılmalıdır.

Analitik yöntemlerle tasarım, yapısal malzemenin davranışını temsil eden bir matematiksel ifadedir. Analitik çözüm yöntemi, malzemenin mekanik özelliklerinin ve yapı geometrisinin basit olduğu ve genellikle yapının sonsuz bir ortam içinde varsayıldığı durumlar için geçerlidir. Malzeme özelliklerinin ve yapı geometrisi ile sınır koşullarının karşılaştırıldığı durumlarda sayısal yöntemler kullanılır. Sınır elemanları gerilme çözümlemesi yöntemi bunlardan birisidir.

Bu çalışmada, T.T.K. ( Türkiye Taşkömürleri Kurumu )'da rehabilitasyon projeleri verilerinden yararlanılarak, sınır elemanları yöntemi kullanılarak, galerilerde gerilme ve duraylılık analizleri yapılmıştır.

## 2. TASARIM GEOMETRİSİNİN TANIMLANMASI

Bu çalışmada, sınır elemanları yöntemiyle gerilme çözümlemesi yapılırken, önce açıklık geometrisi tanımlanmıştır. Açıklık geometrisinin belirlenmesinde halen T.T.K.'da uygulanan DİN 21531 normuna ait galeri kesit geometrileri temel alınmıştır.

Yapılan ön incelemede, B14, B16, B18, B20 galerileri kesitlerinin hepsinde genişlik / yükseklik oranının yaklaşık olarak 0,66 olması göz önünde bulundurularak, modellenmesi pratik olan basit bir geometrinin kullanılabileceği anlaşılmıştır. Öyle ki, açıklık geometrisini belirleyen tüm önemli büyüklükler, açıklığın genişliğine bağlı olarak tanımlanmış ve böylece bir tek geometri ile yukarıda bahsedilen tüm kesitler yazarlara göre kabul edilebilir bir yaklaşıklıkla ( maksimum % 10 hata ile ) modellenmiştir.

Şekil 1'de DIN 21531 normundaki standart kesit geometrisi ile analizde kullanılan basitleştirilmiş geometri gösterilmiş ve boyutların karşılaştırılmaları verilmiştir.

Sonuçta öyle bir açıklık geometrisi elde edilmiştir ki, yalnızca genişliğin tanımlanmasıyla çok yakın olarak 4 ayrı galeri kesiti için geçerli olabilecek sonuçlara varılmıştır. Başka bir deyişle, açıklık çevresinde çeşitli koşullara göre belirlenen aşırı gerilme altındaki yenilme potansiyeli yüksek olan bölgenin kalınlığının, açıklık genişliği cinsinden belirlenmesi mümkün olmaktadır.

### 3. TASARIM KOŞULLARININ TANIMLANMASI

Tüm analizlerde gerilmeler, düşey birincil gerilme olan " $P_v$ " ye göre normalleştirilmiştir. Verilerde ;

- a.  $P_v$  yerine  $P_v / P_v = 1$ ,  $P_h$  i n e d e  $P_h / P_v = k$ ,
- b. E yerine  $E / P_v$ ,
- c.  $a$  yerine  $\sigma_c / P_v$  alınmıştır,

Burada ;

- $P_h$  : Yatay birincil gerilme,
- E : Ortamın deformasyon modülü.

Böylece açıklık yüzeyi ve çevresindeki gerilmelerin dağılımında maksimum ve minimum asal gerilmeler ( $\sigma$  ve  $\sigma_o$ ) yerine, daha anlamlı olan düşey birincil gerilmeye göre normalleştirilmiş asal gerilmelerin ( $\sigma_{max} / P_v$  ve  $\sigma_{min} / P_v$ ) yani asal gerilme yığılmalarının dağılımı elde edilmiştir.

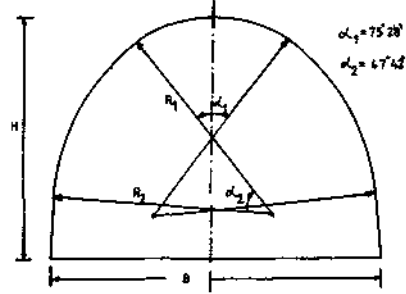
Analizlerde birincil gerilmeler yerine bunların  $P_v$ 'ye göre normalleştirilmiş değerleri kullanıldığından, bağıl yer değiştirmelerin de gerçek değerlerini elde etmek için E yerine  $E / P_v$  kullanılmıştır. Aslında, iki boyutlu analizlerden bilindiği gibi, ortamın deformasyon modülü açıklık çevresindeki ikincil gerilmelere etki etmemektedir.

"a" şıkkının sonucu olarak Hoek - Brown yenilme ölçütü (1) bağıntısındaki  $a$  a s l  $\sigma_{max} / P_v$  ve  $\sigma_{min} / P_v$  r ( Şekil 2 ).

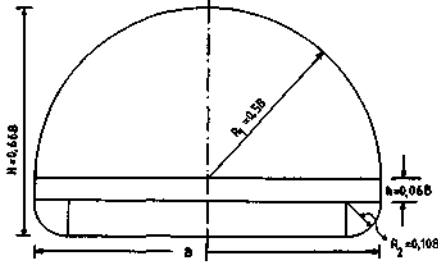
Sonuçta düşey birincil gerilmeye göre normalleştirilmiş Hoek - Brown yenilme ölçütü Eşitlik 1'deki hale dönüşür (3) ;

$$\sigma_{max} / P_v = \sigma_{min} / P_v + ( m_r \cdot \sigma_c \cdot \sigma_{min} / P_v^2 + s_r \cdot \sigma_c^2 / P_v^2 )^{1/2} \quad \text{fi]}$$

Böylece Eşitlik 1'de gösterilen bağıntı, açıklık çevresindeki noktalardaki Hoek - Brown yenilme ölçütüne göre Şekil 2'de tanımlanan güvenlik katsayılarını etkilemeyecek şekilde düzeltilmiştir.



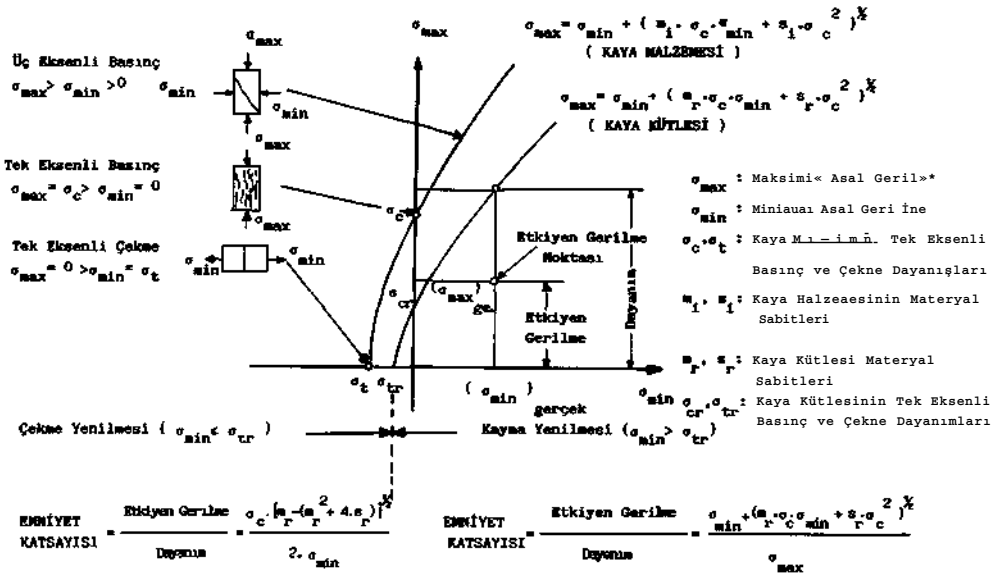
DIN 21531 normuna göre açıklık geometrisi:



Basitleştirilmiş model geometrisi:

TIP	DIN 21531'E GÖRE				BASİTLEŞTİRİLMİŞ MODEL			
	Ø (mm)	H (mm)	H/B	KESİT ALANI (mm²)	B (mm)	H/B (mm)	ALAN (cm²)	NATA, %
B14	3300	3500	0,662	14	5300	0,66	15,4	+10
B16	5600	3716	0,664	16	5600	0,66	17,2	+7,5
B18	6000	3937	0,656	18	6000	0,66	19,7	+9,5
B20	8300	4467	0,661	20	8300	0,66	21,9	+8,9

Şekil 1. DIN 21531 normundaki standart kesit geometrisi ile analizde kullanılan basitleştirilmiş modelin geometrisi ve boyutlarının karşılaştırılması (2).



Şekil 2. Hoek - Brown yenilme ölçütüne göre güvenlik katsayısının tanımlanması (1).

Analizlerde kaya kütlesi kalitesi ( RMR ), laboratuvar örneklerinin tek eksenli basınç dayanımı (  $\sigma_c$  ) ve yatay birincil gerilmelerin düşey birincil gerilmeye oranı (  $k$  ) göz önüne alınmıştır. Seçilen kriterler için bir alt ve üst limit belirlenmiştir.

### 3.1. Birincil Gerilme Alanı

Analizlerde "k" değeri, 0,5; 1 ve 2 olarak alınmıştır. Zonguldak Havzası'nın tektonik yapısının bozuk olmasından dolayı, birincil gerilmelerin değeri ve birbirine oranı, aynı bölgede, hatta aynı üretim katında dahi farklılıklar gösterecektir.

Bu konuyla ilgili havza için mevcut çalışma yapılmamıştır, "k" değerinde sınırlandırma yapılmasındaki amaç, tasarımcıya bir fikir vermektir, "k" değerinin 2'den büyük yani yatay birincil gerilmelerin çok fazla olduğu durumlarda genellikle taban kabarmaları oluşur. Bu sebeple açıklığın tahkiminde kaya saplamaları tek başına yeterli olmaz ve yardımcı tahkimat sistemleriyle birlikte kullanılmalıdır.

### 3.2. Kaya Kütlesi Özellikleri

Analizlerde kaya kütlesi özellikleri olarak RMR,  $a_c$  ile Hoek - Brown yenilme ölçütündeki " $m_r$ " ve " $s_r$ " parametreleri kullanılmıştır.

Yapılan analizlere göre, RMR değerinin 60'dan az olması durumunda, açıklık çevresindeki olası yenilme bölgesi çok fazla olmakta ve galerinin kaya saplamaları ile tahkimi incelenen parametreler koşulunda tek başına yeterli olmayacağı belirlenmiştir. Bu sebeple analizlerde yalnızca RMR değeri 60,70,80 ve 90 olan kaya kütleleri göz önünde bulundurulmuştur.

Hoek - Brown yenilme ölçütündeki " $m_r$ " ve " $s_r$ " parametreleri, RMR değerine bağlı olarak ve havzadaki patlatma uygulamalarındaki sıkıntılar nedeniyle rahatsız edilmiş kaya kütlesi için önerilen aşağıdaki bağıntılardan hesaplanmıştır (4) :

$$m_r = m_i \cdot \exp\left(\frac{RMR - 100}{14}\right) \quad [2]$$

$$s_r = \exp\left(\frac{RMR - 100}{6}\right) \quad [3]$$

Eşitlik 2'deki "m." değeri, ince taneli çimentolanmış tortul kayalar ( çamurtaşı, kiltası, silttaşı ve şeyi vb. ) için 10 olarak kullanılmıştır.

Eşitlik 2 ve 3'deki " $m_r$ " ve " $s_r$ " parametreleri rahatsız edilmiş kaya kütlesi için önerilen değerler olduğundan, açıklık çevresindeki olası yenilme bölgesinin aşırı genişliğe ulaşabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Benzer şekilde, diğer kayalar türleri ( örneğin, kumtaşı vb. ) için önerilen " m." değerleri farklı olabilmektedir. Bu çalışmanın sonuçları yalnızca yukarıda kullanılan bağıntı ve değerler göz önünde

bulundurulacak deęerlendirilmelidir.

Havzadaki üretim önümüzdeki yıllar içinde 1000 m derinliğe inileceği düşünülerek,  $a_c / P_v$  oranının ( örtü katmanının ortalama birim hacim ağırlığı 25 kN/m<sup>3</sup> olarak kabul edilmiştir ) alt ve üst limitleri aşağıda belirtilmiştir :

h ( m )	P ( MPa ) v
250	6,25
500	12,50
750	18,75
1000	25,00

$a_c = 50 - 100$  MPa olduğu düşünülerek ;

$$( a_c / P_v )_{\text{alt limit}} = 2$$

$$( a_c / P_v )_{\text{üst limit}} = 16$$

olarak bulunur.

T.T.K. Asma İşletmesi Bölgesi'nde - 200 **kotundan** (5), Gelik - 260 kotunda» (6), Armutçuk - 300 kotandan (7) itibaren O.D.T.Ü.'ve H.Ü. Zong. Müh. Fak. Maden MÜhendislięi Bölümleri tarafından yapılan kaya "mekaniği çalışmaları sonuçları incelendiğinde ,  $a_c / P_v$  oranı değişiminin, yukarıda belirtilen sınırlar içinde kaldığı görülmüştür.

#### 4. SONUÇLARIN DEğERLENDİRİLMESİ

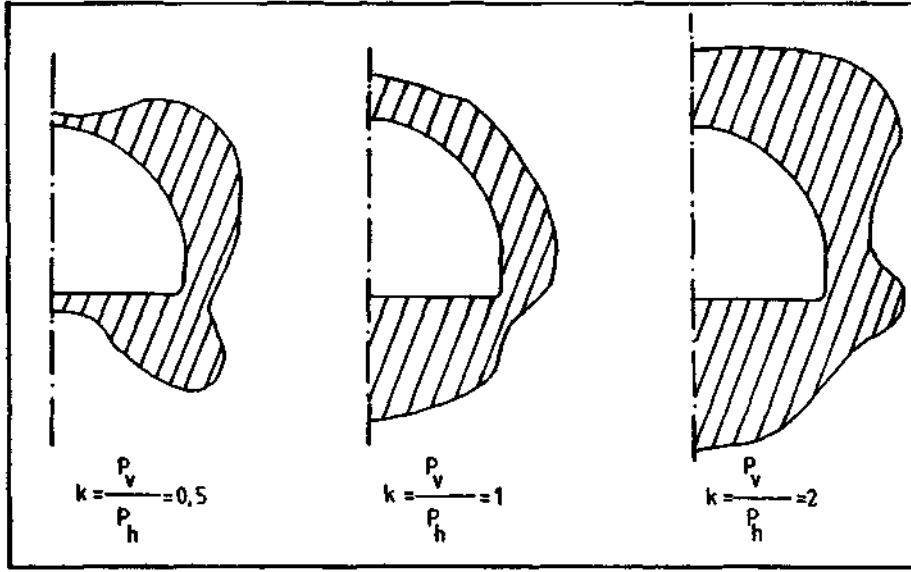
Analiz sonucunda yatay gerilmeler artmaya devam ettikçe, olası yenilme bölgesinin yüksekliği ve dolayısıyla kaya yükü yüksekliği de artmaktadır. Buna paralel olarak yenilmeler de "k" değeri arttıkça kayma yenilmelerine dönüşmektedir. Yatay gerilmelerin fazla olmadığı koşullarda, tavan üzerindeki olası yenilme bölgesi kenarlarda daha yüksektir. Yatay gerilmelerin fazla olduğu ve kaya kütlesi belirtecinin ( RMR ) düşük olduğu koşullarda, olası yenilme bölgesinin yüksekliğinin açıklık tavanının merkezinde oldukça fazlalaştığı gözlenmiştir.

Tüm analizler, aynı birincil gerilme koşullarında ?

- kaya kütlesi kalitesi ( RMR ),
- kayacın tek eksenli basınç dayanımının düşey birincil gerilmeye oranı (  $a_c / P_v$  ),

arttıkça, açıklık çevresindeki olası yenilme bölgesi küçülmektedir.

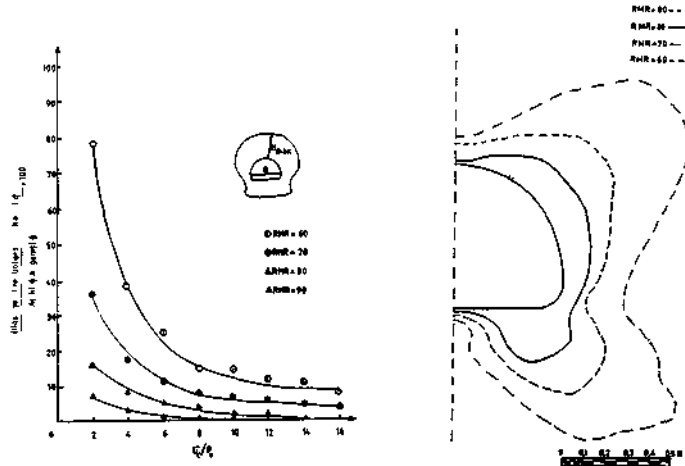
Birincil gerilmelerin oranındaki ( k'daki ) değişim de açıklık çevresindeki olası yenilme bölgesindeki tipik değişimler Şekil 3'de niteliksel olarak gösterilmiştir.



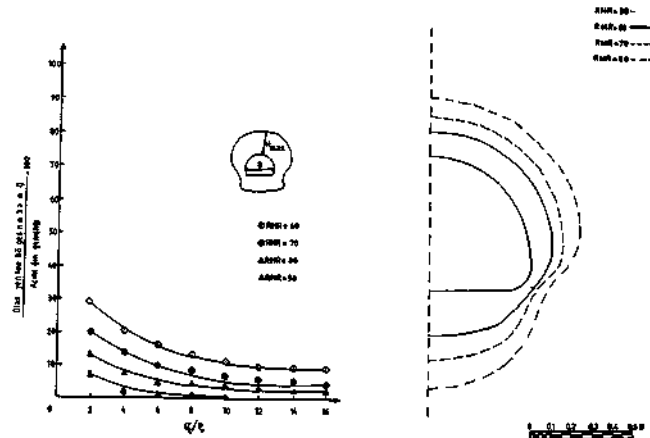
Şekil 3.  $k$ 'ya bağlı olarak açıklık çevresindeki olası yenilme bölgesindeki tipik değişimler (2).

Analizler değerlendirildiğinde, Şekil 4' de yatay birincil gerilmelerin düşey birincil gerilmelerin yarısı (  $k= 0,5$  ); Şekil 5'de yatay birincil gerilmelerin düşey birincil gerilmelerle aynı (  $k= 1$  ); Şekil 6'da yatay birincil gerilmelerin düşey birincil gerilmelerin iki katı (  $k= 2$  ) olması durumunda, farklı RMR ( 60,70,80,90 ) ve  $\sigma_c / \sigma_p$  ( 2 - 16 ) oranlarında açılan açıklık çevresinde genişliğe bağlı olarak yenilme miktarları ve emniyet katsayısının dağılımını gösteren tipik bir şekilde birlikte gösterilmiştir.

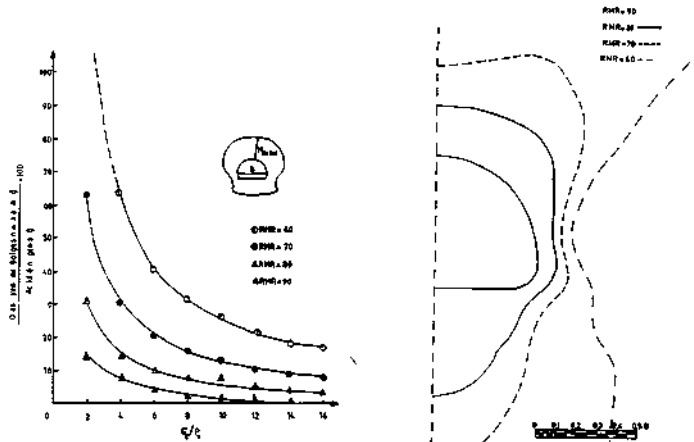
Ancak unutulmamalıdır ki, programda açıklık çevresindeki ortamın, homojen, izotropik ve elastik davranış gösteren bir ortam olduğu kabul edilmiştir. Gerçekte ise, karşılaşılan ortam, süreksizlikler içeren, heterojen, anizotropik özellikle elasto - plastik ve hatta zamana bağlı davranış gösteren bir ortamdır. Bu yüzden analizlerdeki sonuçların değerlendirilmesi yalnızca ön tasarım aşamasında göz önünde bulundurulmalıdır.



Şekil 4 Olası yenilme bölgesinin genişliğinin dayanma parametresi ( $\sigma_c / P_v$ ) ile ilgili bazı yüklerdeki değişimi ( $K=0,5$ ) ve emniyet katsayısının ( $\sigma_c / P_v = 2$ ) gösteren tipik bir şekil (2).



Şekil 5 Olası yenilme bölgesinin maksimum genişliğinin dayanma parametresi ( $\sigma_c / P_v$ ) ile ilgili bazı yüklerdeki değişimi ( $K=1$ ) ve emniyet katsayısının ( $\sigma_c / P_v = 2$ ) gösteren tipik bir şekil (2).



Şekil 6 Olası yenilme bölgesinin maksimum genişliğinin dayanma parametresi ( $\sigma_c / P_v$ ) ile ilgili bazı yüklerdeki değişimi ( $K=2$ ) ve emniyet katsayısının ( $\sigma_c / P_v = 2$ ) gösteren tipik bir şekil (2).



## 5. TASASIN ÖRNEĞİ

T.T.K. Üzülmez Müessesesi, Asma İşletmesi'nde - 250 kotunda, ince taneli kumtaşı içerisinde sürülecek olan B14 kesitli hazırlık galerisinde çelik hasır ve kaya saplamaları kullanılacaktır. Tasarım verileri aşağıda verilmiştir :

- Kaya kütlelerinin kalitesi, RMR =60
- Kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı,  $a_c = 105$  MPa
- Örtü katmanının ortalama birim hacim ağırlığı,  $\gamma_{ort}^c = 25$  kN/m
- Çalışma bölgesinin yüzey kotu = + 50  
( buna göre derinlik, h = 3000 m )

### Çözüm ;

Verilen problemin çözümü için aşağıda belirtilen aşamalar izlenir ;

**Asama 1** : Önce  $e_r / P_v$  oranı bulunur,

$$P_v = \gamma_{ort} \cdot h \Rightarrow P_v = 0,025 \cdot 300$$
$$P_v = 7,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c / P_v = 14$$

**Aşama 2** : Farklı "k" değerleri için ( 0,5; 1; 2 ) olası yenilme bölgesinin kalınlığı tespit edilir.

Şekil 4 ( k= 0,5 ), Şekil 5 ( k= 1 ), Şekil 6 ( k= 2 ) lere bakıldığında, olası yenilme bölgesinin kalınlığı "k" ya göre değiştiği gözlenir ( galeri tabanındaki yenilme bölgesi göz önünde bulundurulmamıştır ). Buna göre, Çizelge 1'de DİN 21531 normuna göre çeşitli galeri tipleri ile olası yenilme bölgesinin farklı "k" değerleri/ için kalınlığı verilmiştir.

**Aşama 3** : Saplama boyu belirlenir.

Çizelge 1'deki değerlere bakıldığında 1,22 m ( 4 ft )'lik standart boydaki kaya saplaması yeterli olacağı anlaşılmaktadır. Ancak, koşullar değiştiğinde, saplama boyunun da değişeceği göz önünde bulundurulursa, işletme genelinde tek tip saplama boyu belirlenerek kullanılması uygun olur.

**Aşama 4** : Saplama arası mesafe belirlenir.

Yazarlara göre etkin bir basınç kemeri için saplamalar arası mesafe, saplama boyunun ( L ) % 65 - 70'i arasında olmalıdır. Eşitlik 4'de, saplama boyu ile saplamalar arası mesafe ( b ) ilişkisi gösterilmiştir (8) :

$$L / b \geq 1,5$$

[4]

Çizelge 1. DIN 21531 normuna göre çeşitli galeri tipleri ile olası yenilme bölgesinin kalınlığının karşılaştırılması ( 2 ).

Galeri tipi	k	Olası yenilme bölgesinin max. kalınlığı	
		Genişlik (B) cinsinden (%)	Uzunluk olarak (m)
B14 B= 5300 m	0,5	11	<v/ 0,6
	1	8	^/ 0,4
	2	18	/v 0,9
B16 B= 5600 m	0,5	11	-v/ 0,6
	1	8	ısj 0,45
	2	18	^ 1,0
B18 B= 6j000 m	0,5	11	A/ 0,7
	1	8	N 0,5
	2	18	V 1,1
B20 B= 6^00 m	0,5	11	^ 0,7
	1	ë	<~ 0,5
	2	18	/v 1,1

Buna göre ;

L= 1,22 m için L/b ^1,5 olacak şekilde b^0,80 bulunur.

Aynı şekilde ;

L= 1,50 m için de b^1.0 hesaplanır.

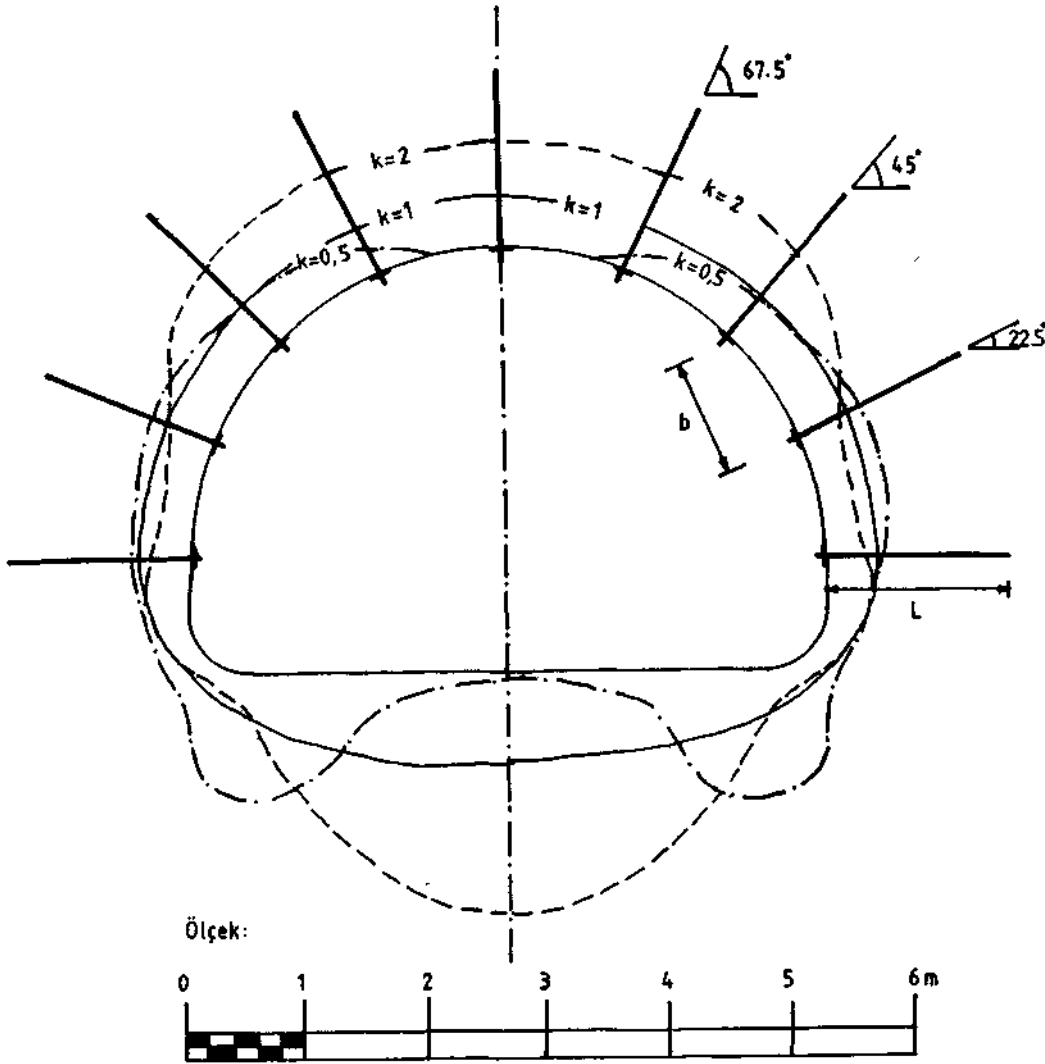
**Aşama 5** : Bir saplama sırasında kullanılacak saplama sayısı ve düzeni belirlenir.

Her bir saplama sırasında kullanılacak saplama sayısı, ya basitleştirilmiş model geometrisi üzerine yukarıda bahsedilen işlemler yapılarak, ya da Eşitlik 5'deki matematiksel bağıntıyla belirlenir (2),

$$\text{Saplama sayısı} = 2 \cdot \left[ \frac{B \times \pi}{4} / b \right]^* + 1 \quad [5]$$

\* Tam sayıya yuvarlatılacak.

Şekil 7'de basitleştirilmiş model üzerine farklı "k" değerleri için ( 0,5; 1;2 ) olası yenilme bölgesinin sınırlarını gösteren eğriler çizilmiştir. B14 tipi galeri göz önünde bulundurularak, saplama boyu 1,5 m ( 5 ft ), sapslamalar arası mesafe 1 m seçilmiştir ve saplama düzeni ( 9 adet / saplama sırası ), Şekil 7'de gösterilmiştir. Ayrıca sapslamaların yerleştirme açıları da belirtilmiştir.



Şekil 7. B14 tipi galeride tahkimat tasarımı (2).

## 6. SONUÇ

Kaya saplamaları ile yapılacak ön tasarım çalışmalarına yönelik olarak, sınır elemanları gerilme çözümlemesi ile yapılan analizler sonucunda; aynı birincil gerilme koşullarında, kaya kütle kalitesi ( RMR ) ve kayacın tek eksenli basınç dayanımının düşey birincil gerilmeye oranı (  $\frac{\sigma_c}{P}$  ) arttıkça, açıklık çevresindeki olası yenilme bölgesinin kalınlığının küçüldüğü, birincil gerilmelerin oranındaki (  $k = \frac{P_h}{P_v}$  ) değişim arttığında ise, açıklık çevresindeki olası yenilme bölgesinin kalınlığının büyüdüğü sonucuna varılmıştır.

Bu çalışma sonucunda elde edilmiş olan bilgiler kullanılarak, aşağıda belirtilen durumlar tesbit edilebilir :

- Açıklık çevresinde olabilecek yenilme bölgesinin kalınlığı,
- Saplama boyu
- Saplama arası mesafe,
- Saplama sayısı ve düzeni,
- Saplamaların yerleştirme açısı.

Daha değişik RMR, "m ", "s " kayaç türleri ( m.) ve "k" değerleri geliştirilerek yenilme bölgesinin büyüklüğünü ne yönde etkileyeceğini gösteren duraylılık analizleri yapılabilir.

Burada önerilen tasarım prosedürü delik çapı, saplama çeliğinin teknik özellikleri ve ankraj kapasitesi vb. gibi parametreleri de göz önünde bulunduracak şekilde geliştirilebilir.

#### **TEŞEKKÜR**

Yazarlar, bu bildirisinin konusunu oluşturan çalışmadaki öneri ve katkılarından dolayı Sayın Doç. Dr. Hasan **GERÇEK**'e teşekkürü borç bilirlirler.

#### **KAYNAKLAR**

1. **HOEK, E. and BROWN, E. T.**, Underground Excavation in Rock, The Institution of Mining and Metallurgy, London, 1980.
2. **YARALI, O.**, Kaya Saplama, Uygulamaları, Tasarımı ve Kullanılmalarına İlişkin Yönergeler, Yüksek Mühendislik Tezi, H.Ü. Zong. Müh. Fak. Maden Müh. Böl., 1991, 220 s.
3. **GERÇEK, H.**, Kişisel Görüşmeler, H.Ü. Zong. Müh.Fak. Maden Müh.Böl., Zonguldak, 1991.
4. **BIENIAWSKI, Z. T.**, Engineering Rock Mass Classifications, John Willey and Sons, New York, pp. 251.
5. **PAŞAMEHHETOĞLU, A. G. ve Ark.**, Asma İşletmesi Kömür ve Kayaların Kaya Mekaniği ve Dizayn Parametrelerinin Çıkartılmasının Araştırılması, T.T.K. Genel MÜd. İçin Hazırlanan Nihai Rapor, O.D.T.Ü.Maden Müh. Böl. 1990.
6. **TÜSTAŞ**, Gelik İşletmesi Rehabilitasyon Projesi 3. Ara Raporu, 1989.
7. **PAŞAMEHHETOĞLU, A. G. ve Ark.**, Kandilli İşletmesi Kömür Yapılarının Kaya Mekaniği ve Dizayn Parametrelerinin Çıkartılmasının Araştırılması, T.T.K. Genel MÜd. İçin Hazırlanan 3. Ara Raporu, O.D.T.Ü. ve H.Ü.Z.M.F. Maden Müh. Bölümleri, 1990.
8. **LANG, T. A. and BISCHOFF, J.A.**, Stabilization of Rock Excavation Using Rock Reinforcement, Proc. of 23 rd U.S. Symposium on Rock Mechanics, New York, 1982, pp. 935 - 944.