

DAİRESEL OLMAYAN YERALTI AÇIKLIKLARINDA DURAYLIĞIN KARŞILAŞTIRMALI BİR İNCELEMESİ

A COMPARATIVE STUDY OF STABILITY FOR NON-CIRCULAR UNDERGROUND OPENINGS

H. GERÇEK

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak

M. GENİŞ

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Zonguldak

ÖZET: Bu bildiriye, dairesel olmayan çeşitli yeraltı açıklıklarının duraylıklar karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, açıklık çevresinde oluşan aşın gerilme bölgesinin bağıl büyüklüğü ve bu bölgenin geometrisini etkileyen faktörler göz önünde bulundurulmuştur. Analitik bir çözüm ve görgül bir yenilme ölçütü yardımıyla, açıklık geometrisinin ve birincil gerilme alanının beklenen duraylığa etkisini göstermek mümkün olmuştur.

ABSTRACT: In this paper, stabilities of various non-circular underground openings are compared. For this purpose, the relative size of the overstressed zone occurring around the opening and the factors affecting the geometry of this region have been considered. Using an analytical solution and an empirical failure criterion, it has been possible to demonstrate the effects of opening geometry and in situ state of stress on the expected stability.

1. GİRİŞ

Yeraltı açıklığı çevresindeki gerilme dağılımının belirlenmesi, masif ve elastik kaya kütlelerinin içinde oluşturulan açıklıkların tasarımında önemli bir zorunluluktur. Eğer gerilme analizi bir tür yenilmeyi öngörüyorsa, açıklık çevresindeki yenilmenin sınırlandırılması amacıyla tasarım değişkenlerinde uygun düzenlemelerin yapılması gerekir. Açıklık geometrisi ve konum, iki boyutlu yeraltı açıklıktan (tünel, galeri vb.) için göz önünde bulundurulabilecek birkaç tasarım değişkeninden ikisi olup, tasarımcının bunlarla ilgili, pratik olarak mümkün değişiklikleri göz önünde bulundurması gerekir. Eğer kazı geometrisi tasarım sınırlandırılan arasında değilse, tasarımcı verilen bir takım koşullar için en uygun açıklık geometrisini belirlemek zorundadır. Bunu sağlamanın en yaygın yollardan biri de çeşitli geometrideki açıklıklar çevresindeki olası yenilme bölgelerini inceleyerek, beklenen duraylığın karşılaştırılmasıdır.

Bu çalışmada, masif ya da eklemli (üç veya daha fazla eklem takımı içeren) kaya kütleleri içinde oluşturulan ve dairesel olmayan çeşitli yeraltı açıklıklarında duraylığın karşılaştırılması olarak incelenmesi için bir yaklaşım sunulmaktadır. Bildiriye önce, yaklaşımda kullanılan analitik çözüm

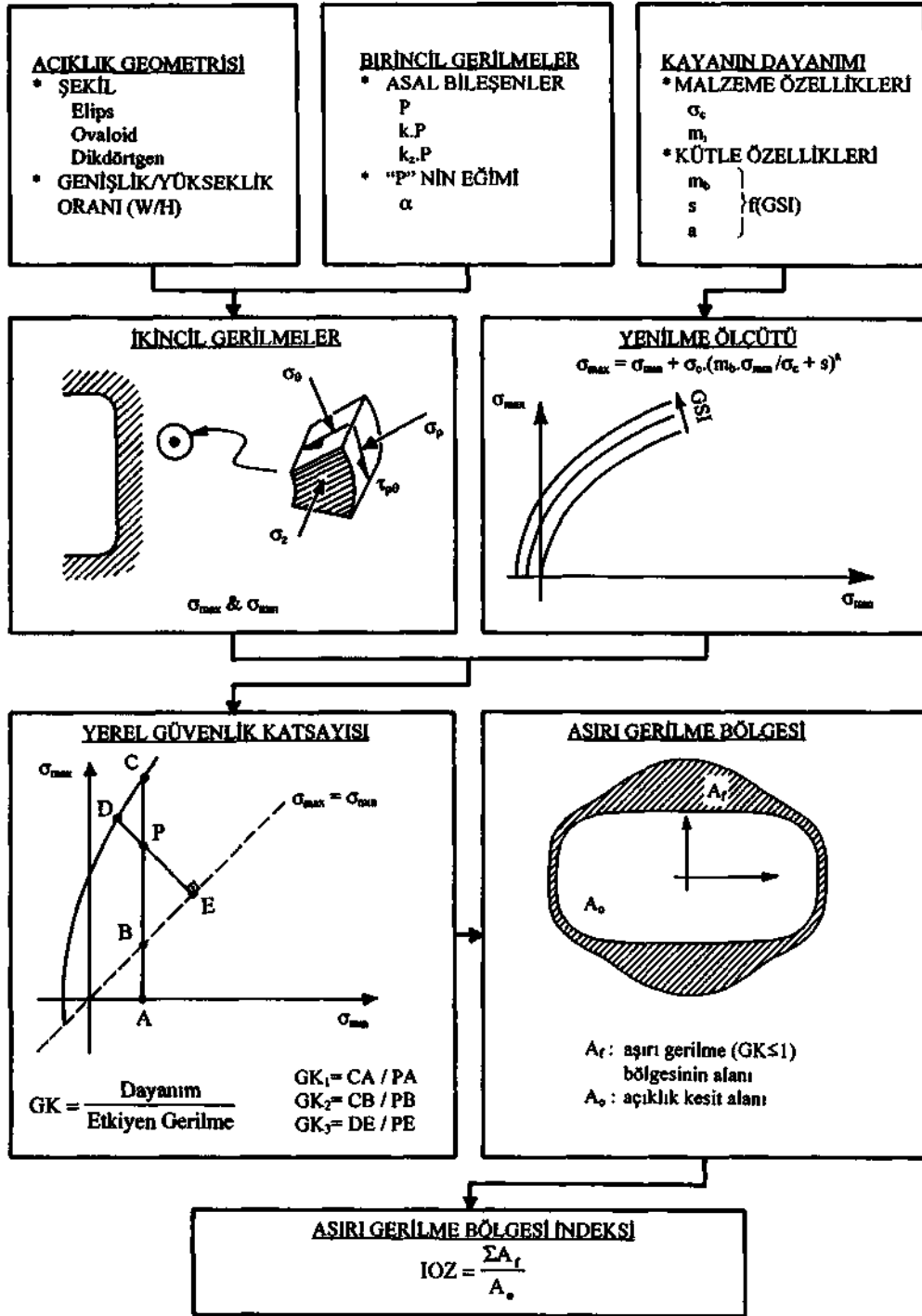
ve yenilme ölçütü hakkında bilgiler verilerek, yöntem ana hatlarıyla tanıtılmıştır. Daha sonra, örnek uygulamalar yardımıyla yöntemin pratik yararları vurgulanmıştır.

2. YAKLAŞIMIN ANA HATLARI

Dairesel olmayan yeraltı açıklıktan çevresindeki olası yenilme bölgelerinin tahmini ve beklenen duraylıkların karşılaştırılması için geliştirilen yaklaşımın ana hatları Şekil 1'de gösterilmiştir.

2.1. Analitik Çözüm

Bu yaklaşımda, genelleştirilmiş bir birincil gerilme alanında açılan ve dairesel olmayan bir yeraltı açıklığı çevresindeki elastik gerilme dağılımını düzlem birim şekil değiştirme durumuna göre veren ve Gerçek (1993) tarafından geliştirilen analitik bir çözüm kullanılmaktadır. Söz konusu çözüm, herhangi bir genişlik/yükseklik (W/H) oranına sahip elips, ovaloid ve dikdörtgen kesitli açıklıklara uygulanabilmektedir. Çözümde, birincil gerilme alanı "P" ve "k-P" asal bileşenleriyle tanımlanırken, "P" bileşeninin yatay ile saatgidişinin tersi yönünde yaptığı açı (α) da girdiler arasında yer almaktadır.



Şekil 1. Çalışmada kullanılan yaklaşımın ana hatları.

Ayrıca, birincil gerilme alanının açıklığın uzun eksenine paralel üçüncü asal bileşeni ($P_3 = k_3 \cdot P$) de göz önünde bulundurulabilmektedir. Karmaşık değişkenlerle ilgili cebirsel işlemlerden oluşan hesap dizisi bilgisayarda sayısal değerler elde edecek şekilde programlandığında, açıklık çevresindeki noktalarda oluşan elastik ikincil gerilmelerin radyal (σ_r), teğetsel (σ_θ), eksenel (σ_z) ve kayma (τ_{rz}) bileşenleri hesaplanabilir. Buradan da açıklık çevresindeki asal ikincil gerilmelerin (σ_1 ve σ_3) dağılımı elde edilmektedir.

2.2. Yenilme Ölçütü

Kaya kütlelerinin dayanımı Hoek-Brown yenilme ölçütü ile tanımlanmaktadır. İlk defa 1980'de önerilen bu görgül (ampirik) ölçütte (Hoek ve Brown, 1980a, 1980b), zamanla bazı değişiklikler yapılmıştır (Hoek ve Brown, 1988; Hoek vd., 1992). Seksenli yılların kaya mekaniğindeki en dramatik gelişmelerinden biri olan bu ölçüt, en genel haliyle

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_c \left(\frac{\sigma_3 - \sigma_1}{\sigma_c} + s \right)^b \quad (D)$$

bağıntısıyla verilmektedir (Hoek vd., 1995). Burada; σ_1 ve σ_3 sırasıyla, maksimum ve minimum asal etkin gerilmeler; σ_c , sağlam kaya malzemesinin tek eksenli basınç dayanımı; s ve a da kaya kütlelerinin karakteristiklerine bağlı sabitlerdir. Bu sabitlerin rahatsız edilmemiş kaya kütleleri için belirlenmesinde jeolojik dayanım indeksi (GSI: geological strength index) adlı bir büyüklük kullanılmaktadır (Hoek vd., 1995). Kaya kütlelerine ait s sabitinin tahmin için

$$s = m \cdot \exp[(GSI - 100)/28] \quad (2.a)$$

bağıntısı önerilmiştir. Burada m , sağlam laboratuvar örnekleri üzerinde yapılan dayanım deneylerine ait verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesiyle elde edilen bir malzeme sabitidir. Diğer iki sabitin belirlenmesi için de aşağıdaki görgül bağıntılar önerilmektedir:

$$GSI > 25 \text{ için } s = \exp[(GSI - 100)/9] \text{ ve } a = 0.5 \quad (2.b)$$

$$GSI < 25 \text{ için } s = 0 \text{ ve } a = 0.65 - GSI/200 \quad (2.c)$$

Yukarıdaki bağıntılarda yer alan GSI değeri ise Bieniawski'nin (1976, 1989) Jeomekanik Sınıflama Sistemi'ndeki kaya kütleleri puanı (RMR: rock mass rating) ya da Barton vd.'nin (1974) tünellilik niteliği indeksi (Q: tunnelling quality index) kullanılarak bulunmaktadır. Hoek vd.'ne (1995) göre; RMR

değerinin belirlenmesinde Bieniawski'nin 1976 ya da 1989'daki puanlamalarında, yeraltı suyu koşulları için "tamamen kuru" durumunun ve eklem takımının konumu için de "en uygun" konumun (düzeltme değeri sıfır) göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu durumda, aşağıda verilen

$$RMR_{76} > 18 \text{ için } GSI = RMR_{76} \quad (3.a)$$

$$RMR_{76} < 9 \text{ için } GSI = RMR_{76} - 5 \quad (3.b)$$

bağıntılarından birinin kullanılması önerilmektedir. $RMR_{76} < 18$ veya $RMR_{76} < 9$ olması durumunda ise jeolojik dayanım indeksi,

$$GSI = 9 \ln Q' + 44 \quad (4)$$

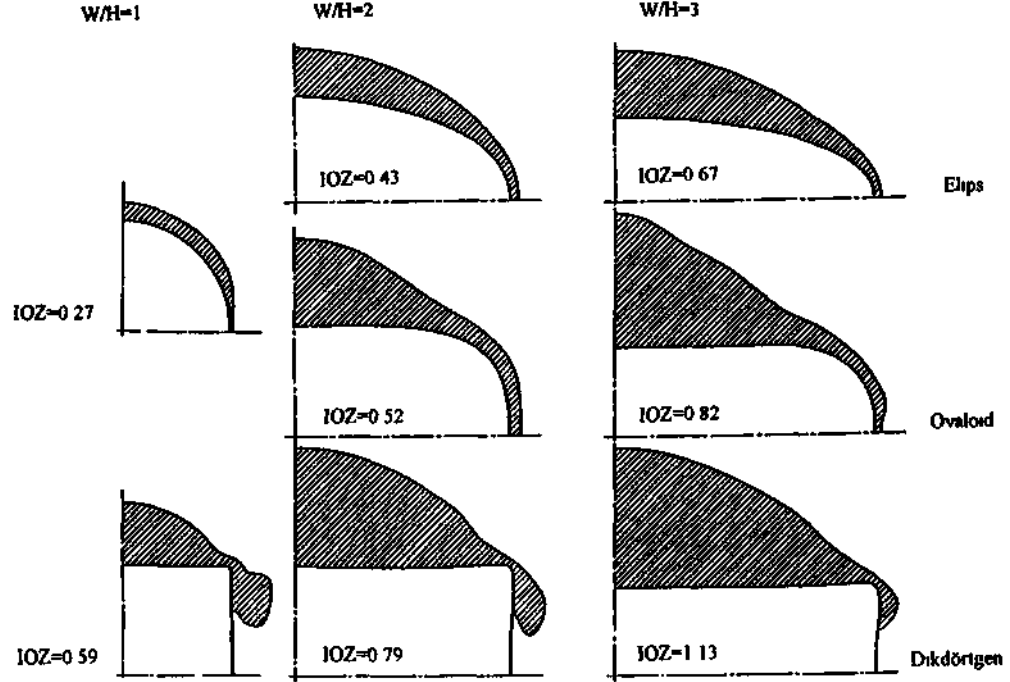
bağıntısıyla verilmektedir. Burada Q' , değiştirilmiş tünellilik niteliği indeksi olup, Barton vd.'nin (1974) sınıflandırmasındaki Q değeri hesaplanırken eklem suyu indirgeme ve gerilme indirgeme aktörlerinin (J_w ve SRF) her ikisinin de 1.0 alınmasıyla bulunur.

2.3. Aşın Gerilme Bölgesi

Açıklığı çevreleyen noktalarda, analitik çözüm yardımıyla hesaplanan asal ikincil gerilmeler ile görgül yenilme ölçütü kullanılarak bulunan dayanım karşılaştırılarak yerel güvenlik katsayılarının (GK) dağılımı elde edilmektedir. Böylece, açıklık çevresinde aşın gerilme altındaki ($GK < 1$) olan bölgenin sınırları belirlenmektedir. Bu aşamadan sonra, farklı geometrideki açıklıklar çevresindeki yenilme potansiyeli yüksek bölgelerin karşılaştırılabilmesi için basit fakat anlamlı bir niceliksel ölçü kullanılmaktadır. Aşın gerilme bölgesi indeksi (IOZ: index of overstressed zone) olarak adlandırılan bu büyüklük, basitçe, açıklık çevresindeki aşın gerilme bölgesi alanının açıklığın kesit alanına oranı olarak tanımlanmıştır. Aynı koşullarda açılan farklı geometrideki açıklıklar çevresinde, aşın gerilmeler nedeniyle oluşabilecek duraysızlıkların derecesindeki değişim, bir bakıma, IOZ değerlerindeki değişimle kendini gösterecektir.

3. ÖRNEK UYGULAMALAR

Bazı durumlarda, belirli deşitirgelerin (parametrelerin) IOZ'yi nasıl etkileyeceği kolaylıkla tahmin edilebilmektedir, örneğin; verilen bir gerilme alanında açılan belirli bir geometrideki yeraltı açıklığı için, kaya kütlelerinin dayanımı (σ_c , m , veya GSI değerleri) arttıkça IOZ değeri azalacaktır;



Şekil 2. Aşırı gerilme bölgesi geometrisinin açıklık şekli ve genişlik/yükseklik (W/H) oranı ile değişimi ($\alpha=0^\circ$).

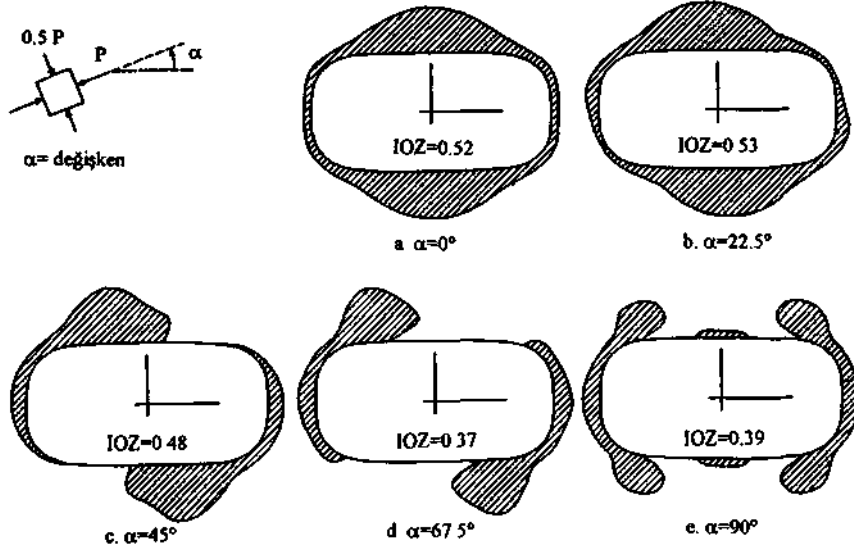
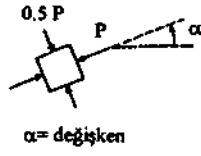
dairesele açıklıklarda IOZ değeri, asal birincil gerilmelerin konumundan (α açısındaki değişimlerden) etkilenmeyecektir; vs. öte yandan, diğer bazı değişirgelerin duraylığı ne yönde etkileyeceğini önceden kestirmek pek o kadar kolay olmamaktadır.

Yukarıda özetlenen yaklaşım kullanılarak, açıklık geometrisinin ve birincil gerilme alanının duraylığı nasıl etkileyeceğini gösteren birkaç durum incelenmiştir. İncelenen tüm durumlarda, belirli değişirgelere sabit değerler ($k=k_z=0.5$; $O_c=4P$; $m_z=10$; $GSI=60$) verilerek IOZ'deki değişimin bunlardan etkilenmesi önlenmiştir. •

Önce, aşırı gerilme bölgesi geometrisinin açıklığının şekli ve W/H oranıyla değişimi Şekil 2' de gösterilmiştir. Seçilen birincil gerilme ve dayanım değişirgelerine göre, IOZ artan W/H oranıyla birlikte artmakta olup dikdörtgen açıklıklar için en

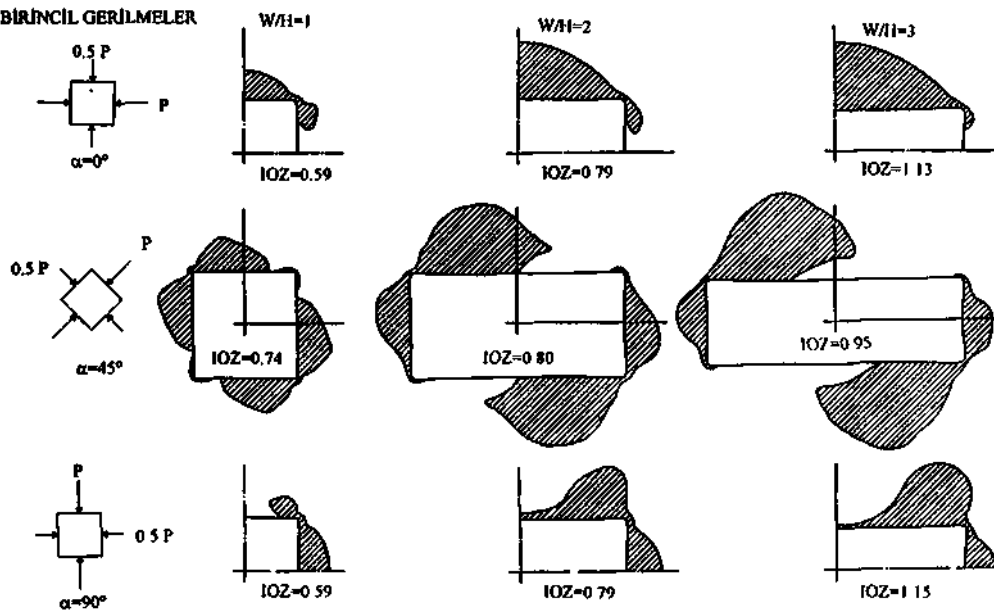
yüksek değerleri almaktadır. Sonra, W/H=2 olan ovaloid kesitli bir açıklıkta, birincil gerilme alanının asal bileşenlerinin konumunun (α açısındaki değişimlerin) aşırı gerilme bölgesinin şekli ve büyüklüğüne etkisi araştırılmıştır (Şekil 3). Daha sonra, birincil gerilmelerin konumu ile açıklığın W/H oranının dikdörtgen açıklıkların duraylığına etkisi incelenmiştir (Şekil 4). Bütün bunlara ek olarak, belirli değişirgelerin IOZ'yi etkileyişinde oldukça düzenli değişimlerin de olduğu gözlenmiştir, örnek olarak, IOZ'nin açıklığın W/H oranındaki değişimlerden etkilenişi elips ve dikdörtgen açıklıklar için Şekil 5'te sunulmuştur. Buna göre; seçilen birincil gerilme alanında ve dayanım koşullarında, dikdörtgen açıklık elips kesitli açıklığa kıyasla daha duraysızdır. Her iki geometride de, W/H=1 olan açıklıkların IOZ değeri minimum olmaktadır.

BİRİNCİL GERİLMELER

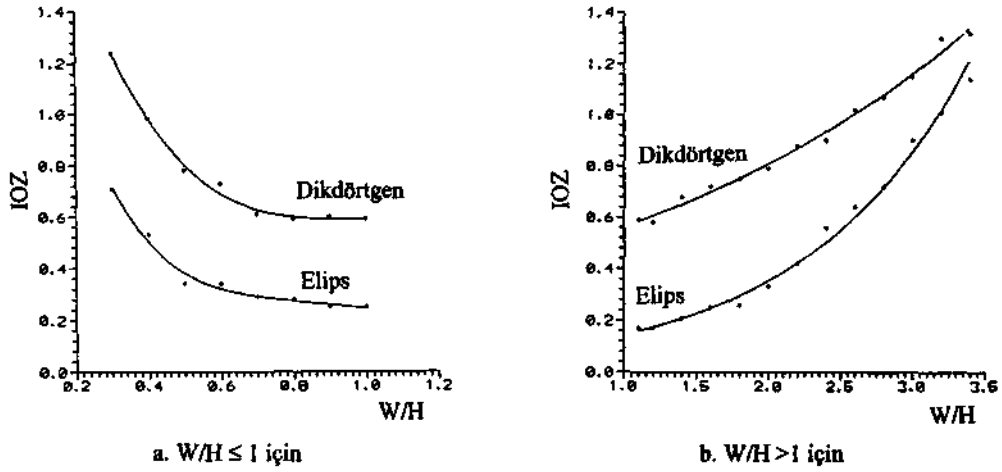


Şekil 3. $W/H=2$ olan bir ovaloid açıklık için aşırı gerilme bölgesinin birincil gerilmelerin konumu ile değişimi.

BİRİNCİL GERİLMELER



Şekil 4. Dikdörtgen açıklıklarda, aşırı gerilme bölgesinin birincil gerilme alanı ve açıklığın genişlik/yükseklik (W/H) oranı ile değişimi ($OF=90^\circ$).



Şekil 5. Aşın gerilme bölgesi indeksinin (IOZ), açıklığın genişlik/yükseklik (W/H) oram ile değişimi ($\alpha=90^\circ$).

4. SONUÇ

Sonuç olarak, IOZ değerinin açıklıklar çevresindeki aşın gerilme bölgelerinin karşılaştırmasında kolaylık sağlayan bir ölçüt olabileceği anlaşılmıştır. Burada sunulan yaklaşım kullanılarak; açıklık geometrisi, birincil gerilme alanı ve kaya kütlesi dayanımının çevre kayaktan beklenen duraylılığa etkileri kolayca incelenebilmektedir.

KAYNAKLAR

- Barton, N.R., Lien, R. and Lunde, J. 1974. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. *Rock Mechanics*, 6(4): 189-239.
- Bieniawski, Z.T. 1976. Rock mass classification in rock engineering. *Proc. Symp. on Exploration for Rock Engineering*, Balkema, Cape Town, 1:97-106.
- Bieniawski, Z.T. 1989. *Engineering Rock Mass Classifications*. Wiley, New York.
- Gerçek, H. 1993. Qualitative prediction of failures around non-circular openings. *Proc. Int. Symp. on Assessment and Prevention of Failure Phenomena in Rock Engineering*, Balkema, Rotterdam: 727- 732.
- Hoek, E. and Brown, E.T. 1980a. *Underground Excavations in Rock*. IMM, London.
- Hoek, E. and Brown, E.T. 1980b. Empirical strength criterion for rock masses. *J. Geotech. Engng. Div., ASCE*. 106 (GT9): 1013-1035.
- Hoek, E. and Brown, E.T. 1988. The Hoek-Brown failure criterion - a 1988 update. *Proc. 15th Canadian Rock Mech Symp.*, Univ. of Toronto, Toronto: 31-38.
- Hoek, E., Wood, D. and Shah, S. 1992. A modified Hoek-Brown criterion for jointed rock masses. *Proc. Int. Symp. on Rock Characterization (Eurock'92)*, Brit. Geol. Soc, London: 209-214.
- Hoek, E., Kaiser, P.K. and Bawden, W.F. 1995. *Support of Underground Excavations in Hard Rock*. Balkema, Rotterdam.