

DÜZLEMSEL KAYMANIN OLUŞTUĞU BİR KİREÇTAŞI OCAĞINDA GÜVENLİK KATSAYILARININ BELİRLENMESİ: ÖRNEK UYGULAMA

DETERMINATION OF THE COEFFICIENTS OF SLOPE SAFETY FACTOR FOR PLANAR SLIDING METHOD OCCURED IN A LIMESTONE QUARRY: A CASE STUDY

Bayram ERÇIKDI, Ferdi CİHANGİR, Ayhan KESİMAL
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 61080/TRABZON

ÖZ: Bir şevin duraylılığı, genel olarak, kaymaya karşı koyan toplam kuvvetlerin kaymaya neden olan kuvvetlere oranı olarak ifade edilir. Buradaki oran aynı zamanda güvenlik katsayısını ifade etmektedir ve şev duraylılık analizlerinde kullanılmaktadır. Bu çalışma, Araklı-Taşönü kireçtaşı sahasında heyelan sonrası oluşan yeni şevin duraylılığının araştırılmasına yöneliktir. Düzlemsel kayma türü duraysızlığının gözlemlendiği kireçtaşı sahasında değişen durumlar için iki farklı modele göre güvenlik katsayısı hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan analizlerden elde edilen güvenlik katsayısı değerlerinin genel itibarı ile şevlerin uzun dönemde duraylı kalması için güvenlik sınırı olarak kabul edilen 1.2 limit değerinin genelde altında olduğu, heyelan sonucu oluşan yeni şevin uzun dönemde duraylılığını koruyamayacağı ve çevresel açıdan risk taşıdığı anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Şev stabilitesi, limit denge analizi, ivme, güvenlik katsayısı

ABSTRACT: The stability of a slope is often expressed as the ratio of the total strength of the material to the stresses in the slope. The strength to stress ratio is also refers to the safety factor which is extensively used for the analysis of slope stability. This study aimed to evaluate its stability and durability of the new slope formed after an earlier failure at Araklı-Taşönü limestone quarry. Within the scope of this study, the coefficients of slope safety factor for the planar failure observed in the quarry were determined according to two different Models. From the analysis of slope stability, the coefficients of safety factor generally were found to be lower than 1.2, which was below the accepted safety limit for the long term durability of slopes and these low values indicated that existing slopes couldn't sustain its stability in long-term with the high potential risk for the surrounding area.

Key Words: Slope stability, limit equilibrium analysis, acceleration, safety factor

GİRİŞ

Son yıllarda cevher zenginleştirmedeki olumlu teknolojik gelişmeler düşük tenörlü maden yataklarının da işletilebilmesini mümkün kılmaktadır. Hem denetimli patlatma uygulamalarındaki yenilikler (ateşleme sistemleri, patlayıcı maddeler vb.), hem de iş makinelerindeki kapasite ve güç artışı açık ocak madenciliğinin verimini ve önemini artırmıştır (Bye ve Bell, 2001).

Ekonomik, verimli ve güvenli bir yerüstü madenciliğinin yapılabilmesi bakımından şevlerin tasarımı önemlidir. Açık işletmelerde optimum genel şev açısının belirlenmesi, şevlerin tasarımı açısından

önemlidir. Şev açısının yüksek tutulması yapılacak kazı miktarında azalma ve ekonomik yönden tasarruf sağlarken, aşırı dik şevler kaymalara neden olarak ocak içinde iş kazalarına sebebiyet verebilmekte ve bunun sonucunda üretim azalmaktadır. Bu nedenle, çalışılan malzemenin özelliklerine uygun olarak açık ocaklarda optimum genel şev açısının belirlenmesi madencilik açısından oldukça önemlidir (Özgenoğlu, 2005).

Açık ocaklarda şev durabilitesini jeolojik yapısal özellikler, şevin geometrisi, yeraltı suyu durumu, malzeme özellikleri ve uygulanan kazı tekniği (patlatmalı kazı, mekanize kazı) gibi çeşitli faktörler kontrol etmektedir. Patlatmadan kaynaklanan dinamik

gerilmeler ve oluşan gaz basıncının kaya ortamı içerisinde yayılması, yeni çatlakların oluşmasına ve var olan çatlak ve süreksizliklerin genişlemesine yol açmaktadır. Bu durum, kaya kütlelerinin dayanımını olumsuz yönde etkilemektedir (Onur vd., 2000; Glass ve Charles, 2001; Kahrıman, 2004, Erçikdi vd., 2004).

Pratikte şevlerin duraylılığını değerlendirmek için limit denge analiz metotlarına göre güvenlik katsayısı (F) hesaplanmaktadır (Vardar, 1987; Kim vd., 2004; Huang, 2004). Yapılan bilimsel çalışmalar ve pratik tecrübeler, uzun süreli duraylılık gerektirmeyen açık ocak şevlerinde F değerlerinin, 1.0-1.3 aralığında, uzun süre duraylılık gerektiren ve önemli yapılara ya da nakliye yollarına yakın kritik şevlerde bu değer en az 1.5 olması gerektiğini göstermiştir (Hoek ve Bray, 1981; Paşamehmetoğlu vd., 1999; Öztekin vd., 2006).

Bu çalışmanın amacı, düzlemsel kayma türü modunun gözlemlendiği bir kireçtaşı ocağında kayma sonucu oluşan yeni şevin uzun dönemde duraylılığını koruyup koruyamayacağını araştırılmasına yöneliktir. Bunun için iki farklı yöntemle göre güvenlik katsayısı hesaplamaları gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır. Söz konusu oluşan yeni şevin yüksek ve dike yakın olması, şev gerisinde gerilme çatlaklarının oluşması, bölgenin aşırı miktarda yağış alması ve şeve yakın mesafede okul, cami, öğrenci yurdu ve yerleşim birimlerinin bulunması nedeniyle bu çalışmada kriter olarak $F=1.2$ koşulu göz önüne alınmıştır.

ŞEV GÜVENLİK KATSAYISININ HESAPLANMASI

Açık işletmelerdeki şevlerin duraylılığını koruyup koruyacağı hakkında bilgi edinmek için genellikle F değerleri hesaplanmakta ve elde edilen sonuçlara göre ocak için belirlenen dizayn kriterleri (genel eğim açısı, basamak yüksekliği, genişliği vb.) tekrar gözden geçirilerek optimize edilmektedir. Şevlerin uzun dönemde duraylı kalmasını sağlayacak koşulların oluşturulması ocakta çalışan işçi ve ekipmanların güvenliğini artırarak muhtemel iş kazalarını önlemesinin yanısıra yapılan üretimin verimini artırarak ekonomik açıdan kar oranını yükseltmektedir. Bu yüzden şev durabilite analizlerinde F hesaplamalarının yapılması önemlidir.

Eğimli bir düzlem üzerinde duran bir bloğun durabilitesini tanımlayan tüm eşitlikler; kaymayı teşvik edici kuvvetlerin kaymaya karşı koyan kuvvetlerle dengelendiğini varsayan "denge sınırı" yöntemine dayandırılmaktadır. Şevlerin durabilitelelerini karşılaştırmak açısından, denge sınırının dışında bazı göstergeler gereklidir ve en uygun olarak kullanılan indeks ise şev güvenlik katsayısıdır. Şev güvenlik katsayısı, (F), kaymaya karşı koyan toplam kuvvetlerin, kaymayı teşvik eden toplam kuvvetlere oranı olarak ifade edilmektedir (Goodman, 1995).

Düzlemsel kayma yöntemine (Şekil 1 ve 2) göre şev güvenlik katsayılarının hesaplanması için literatürde genellikle iki farklı model kullanılmaktadır. Bunlar sırasıyla Model I ve Model II'dir (Hoek ve Bray, 1981). Model I'de (Şekil 1) gerilme çatlaklarının çok kritik bir konumda ve şevin drene olduğu bir zamanda olduğu ve bölgedeki fazla yağış nedeni ile z_w seviyesine kadar su ile dolduğu varsayılmaktadır. Aynı zamanda şevlerin oluşan deprem veya patlatmalı kazılar nedeni ile değişik büyüklüklerdeki ivmelere maruz kalacağı düşünülmektedir. Bu varsayımları göz önüne alan Model I'de güvenlik katsayısı hesaplamaları aşağıda verilen Eşitlik 2.1 kullanılarak yapılmaktadır.

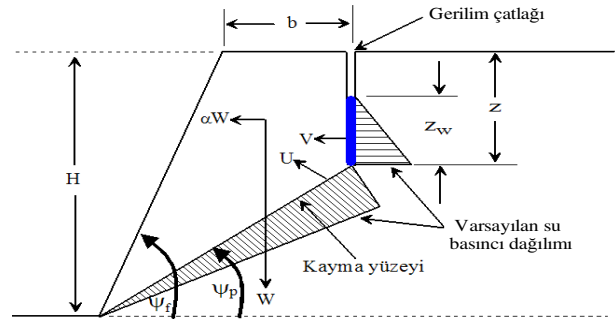
$$F = \frac{c * A + (W (\cos \psi_p - \alpha * \sin \psi_p) - U - V * \sin \psi_p) \tan \phi}{W (\sin \psi_p + \alpha * \cos \psi_p) + V * \cos \psi_p} \quad \dots(2.1)$$

Burada;

$$z = H(1 - \sqrt{\cot \psi_f * \tan \psi_p}), \quad A = (H - z) \cot \psi_p$$

$$U = \frac{1}{2} * \gamma_w * z_w * A, \quad V = \frac{1}{2} * \gamma_w * z_w^2$$

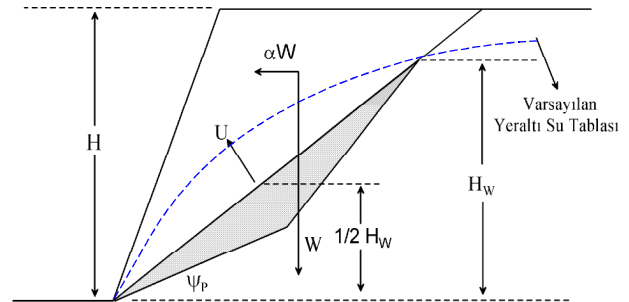
$$W = \frac{1}{2} * \gamma * H^2 ((1 - (z/H)^2) \cot \psi_p - \cot \psi_f)$$



Şekil 1: Model I için Öngörülen Durum (Hoek ve Bray, 1981)

Figure 1: Slope Stability Analysis According to Model I

Model II'de (Şekil 2), yeraltı suyunun varlığı ve yer sarsıntılarının oluşturacağı ivmelerin etkisi dikkate alınmaktadır. Model II için güvenlik katsayısı hesaplamaları aşağıda verilen Eşitlik 2.2 kullanılarak yapılmaktadır.



Şekil 2: Model II için Öngörülen Durum (Hoek ve Bray, 1981)

Figure 2: Slope Stability Analysis According to Model II

$$F = \frac{c * A + (W(Cos\psi_p - \alpha * Sin\psi_p) - U)Tan\Phi}{W(Sin\psi_p + \alpha * Cos\psi_p)} \quad \dots(2.2)$$

Burada;

$$A = H * Co \sec\psi_p, U = \frac{1}{4} * \gamma_w * H_w^2 * Co \sec\psi_p,$$

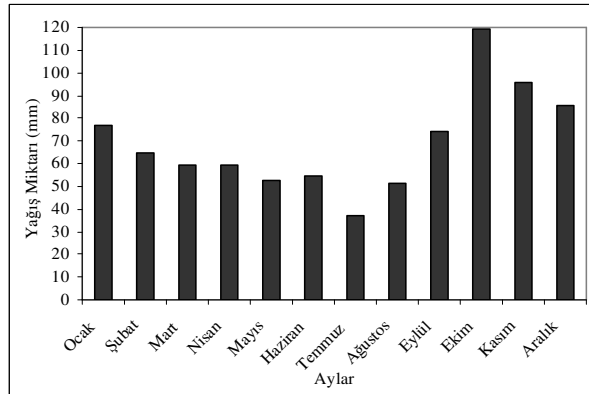
$$W = \frac{1}{2} * \gamma * H^2 * (1 - (\frac{1}{H})^2) * Cot\psi_p - Cot\psi_f$$

Her iki modelde c ve ϕ , süreksizliğe ait kohezyon ve içsel sürtünme açısını; α , deprensnel veya patlatma kaynaklı yatay ivmeyi; A, kayan kütle birim alanını, U ve V, su basıncını; W, kayma düzlemi üzerinde bulunan kütle ağırlığını, z ise gerilme çatlağının derinliğini ifade etmektedir.

ÇALIŞMA SAHASINDAKİ MEVCUT DURUMUN DEĞERLENDİRİLMESİ

Araklı Taşönu kireçtaşı hammadde sahası, Trabzon'un 40 km doğusunda, deniz seviyesinden 190 m yükseklikte, Araklı ilçesinin yaklaşık 5 km güney batısında bulunmaktadır. Kireçtaşı ocağı genellikle marn, marnlı kalker, kalker ve travertenden oluşmakta olup, bazı bölgelerde karstik boşluklar bulunmaktadır (Erguvanlı, 1975).

Trabzon'da yıllık yağış ortalaması yaklaşık 900 mm civarında ve nispi nem kış aylarında %65-70, bahar ve yaz aylarında %70-80 arasında (Şekil 3) değişmektedir (MBM, 2005). Bölgedeki yağış miktarının fazla olması ocakta hem yeraltı suyu seviyesinin yükselmesine neden olmakta, hem de yapılan çalışmaların verimini ve şevlerin durabilitesini olumsuz yönde etkilemektedir.



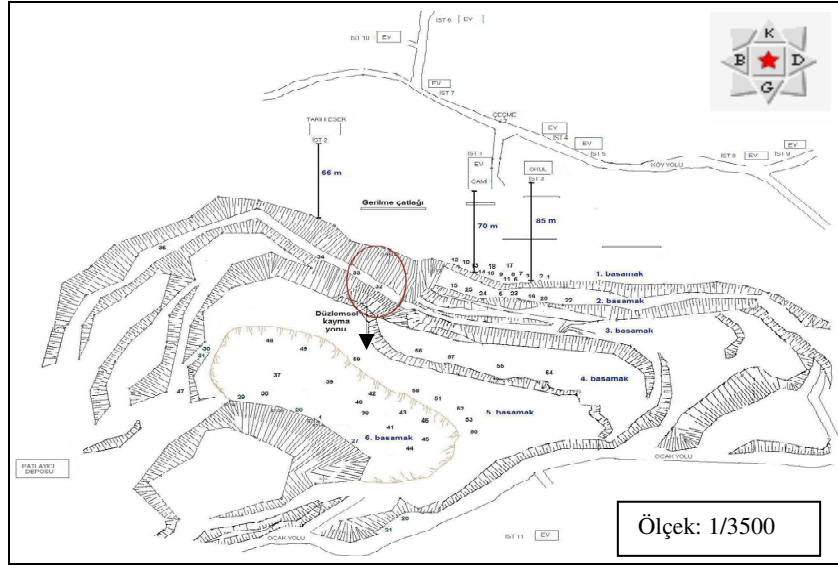
Şekil 3: Çalışma Sahasında Aylık Ortalama Yağış Dağılımı
Figure 3: Distribution of Monthly Average Precipitation in the Study Area

Kireçtaşı ocağında üretimin önceleri galeri atımı ile gerçekleştirildiği bilinmektedir. Galeri patlatmalarının çevrede oluşturduğu olumsuz etkilerden dolayı sonradan ocağın bazı bölgelerinde kademeler oluşturulmuş ve üretime düşey delikli basamaklı atımlar ile devam edilmiştir. Ocakta düzlemsel kaymanın görüldüğü bölgenin yüksekliği yaklaşık 60-70 m ve genel şev açısı yaklaşık 80-90° arasında değişmektedir. Ocağın en alt taban kotu ortalama 75 m, en üst basamak kotu ortalama 150 m civarındadır. Ocakta kademelerin bulunduğu bölgede ise toplam 6 adet basamak bulunmakta olup, basamakların yükseklikleri 6-20 m arasında değişmektedir (Şekil 4).

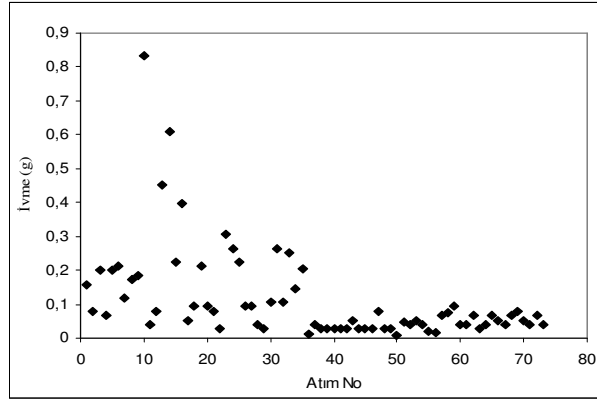
Basamakların şev açıları ortalama 1. ve 2. basamak için 75°, 3. basamak için 70°, 4. basamak için 60°, 5. ve 6. basamak için ise 55°'dir. Kireçtaşı ocağındaki en üst basamağın en yakın yapı olan tarihi esere uzaklığı 66 m, camiye 70 m, okula 85 m ve yerleşim birimlerine ortalama 100 m'dir (Şekil 4). Ocakta yapılan patlatmaların çevre yapıları üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla belirli dönemlerde 12 farklı istasyonda 59 atıma ait (Şekil 4) toplam 73 adet titreşim ölçümü alınmış olup (Kesimal vd., 2005a), ölçümlere ait ivme değerleri Şekil 5'te verilmiştir.

Şekil 5 incelendiğinde, ivme değerlerinin 0.0133 g ile 0.835 g arasında değiştiği ve 1-35 no'lu ölçümlerde kaydedilen ivme değerlerinin diğer ölçümlerde (36-73) kaydedilen değerlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun başlıca nedeni, gecikme başına düşen patlayıcı miktarının yüksek olması ve ölçüm istasyonu ile patlatma noktası arasındaki mesafenin yakın olmasıdır. Ayrıca, ilk 35 ölçüme ait ivme değerlerinin %34'ü 0-0.1 arasında, %26'sı 0.1-0.2 g arasında ve %40'ı 0.2 g'den daha yüksektir. 73 adet kayıt için yapılan istatistiksel analiz sonucunda maksimum parçacık hızının artması ile birlikte ivmenin de arttığı ve aralarında $R^2 = 0.8$ lik bir korelasyon olduğu görülmüştür.

Heyelandan önce ocak çevresindeki binalarda yapılan incelemelerde köydeki birçok yapıda çatlakların bulunduğu ve bu çatlakların büyük bir kısmının daha önce yapılan kontrolsüz atımlardan; bir kısmının ise yapıların uygun inşa edilmemesinden dolayı taşıyıcı özelliklerini kaybetmesinden dolayı ortaya çıktığı anlaşılmıştır. Ocakta oluşan heyelan sonucunda geride yaklaşık 70 m yüksekliğinde düzensiz bir ayna ortaya çıkmıştır (Şekil 6).



Şekil 4: Kireçtaşı Ocağında Yapılan Atımların Yerlerinin ve Kaymaların Plan Görüntüsü
Figure 4: Plan View Showing the Shot Points and Failure Areas at Quarry



Şekil 5: Çalışma Sahasında Kaydedilen İvme Değerlerinin Dağılımı
Figure 5: Variation of Acceleration Values Recorded in the Study Area



Şekil 6: Şevlerin Kayma Oluştuktan Sonraki (a) ve Yakından Görünümü (b)
Figure 6. A View of the Slopes After Failure (a) and a Close View of the Failure (b)

Yerinde yapılan incelemeler sonucunda oluşan kayma tipinin düzlemsel kayma şeklinde geliştiği ve kayma yüzeyi açısının (ψ_p) yaklaşık 35° olduğu tespit edilmiştir. Kayma neticesinde şev gerisinde ve binalara çok yakın mesafelerde bir takım gerilme çatlakları oluşmuştur (Şekil 7). Bu gerilme çatlaklarının genişlikleri ilk başlarda 5-10 cm, derinlikleri 5-10 m iken, bölgenin aşırı miktarda yağış alma özelliğinden dolayı zamanla çatlakların genişlikleri 50-150 cm,

derinlikleri ise 10-40 m'ye kadar ulaşmıştır. Bu gerilme çatlaklarının tarihi esere uzaklığı 55 m, camiye 10 m, okula 20 m'dir.

Şev gerisinde oluşan bu gerilme çatlakları beraberinde çevredeki yapılarda yeni çatlakların oluşmasına ve var olan çatlakların genişlemesine yol açmıştır. Şekil 8, heyelan sonrası binalarda oluşan yapısal hasarları göstermektedir.



Şekil 7: Kayma Sonucu Şev Gerisinde Oluşan Gerilme Çatlakları
Figure 7: Tension Cracks Occurred on Surface due to Slope Failure



Şekil 8: Kayma Sonucu Çevredeki Binalarda Oluşan Yapısal Hasarlar
Figure 8: Structural Damages to Buildings due to Slope Failure

ŞEV STABİLİTE ANALİZLERİ

Şev durabilite analizlerine yönelik olarak kireçtaşı sahasındaki malzemelerin mühendislik özellikleri ile ilgili veriler laboratuvarda yapılan tek ve üç eksenli basınç, nokta yükleme, makaslama dayanımı ve Schmidt çekici ile belirlenmiştir. Laboratuvarda yapılan

makaslama dayanımı deneyi sonucu süreksizlik düzlemine ait kohezyon değerinin, c , 100-300 kPa, içsel sürtünme açısının ise, ϕ , $25-35^\circ$ aralığında değiştiği görülmüştür. Ayrıca, ($F=1$ koşulu için) geriye dönük analizlerden elde edilen c ve ϕ değerlerinin, laboratuvar

deneylerinden elde edilen değerlerle birbirine çok yakın olduğu görülmüştür.

Ocakta yeraltı suyu seviyesinin kış aylarında genellikle 140-150 m, yaz aylarında ise 100-120 kotlarında değiştiği gözlemlenmiştir. Şev durabilite analizleri için düzlemsel kaymanın görüldüğü bölgeden ocak planına göre kesitler alınmış ve hesaplamalar bu kesitler göz önüne alınarak gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalarda düzlemsel kaymada kullanılan Model I ve Model II için ayrı ayrı hesaplamalar yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Model I ve II için F hesaplamalarında kullanılan ortalama şev yüksekliği, genel şev açısı, kayma yüzeyi açısı, birim hacim ağırlık, suyun birim hacim ağırlığı, içsel sürtünme açısı, çatlaktaki suyun yüksekliği, yeraltı suyu seviyesinin konumu ve ivme (Şekil 5) gibi parametreler Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1: F Hesaplamalarında Kullanılan Sembol ve Açıklamaları.

Table1: Symbols and Explanation Used in Determining the F

Semboller	Mevcut Durumda
Ortalama şev yüksekliği, H, m	68
Genel şev açısı, ψ_s , °	85
Kayma yüzeyi açısı, ψ_p , °	35
Birim hacim ağırlık (Kalker) _{ort} , γ , kN/m ³	19.035
Su birim ağırlığı, γ_w , kN/m ³	10.0
Kohezyon (Kireçtaşı), c, kPa	100-300
İçsel sürtünme açısı (Kireçtaşı), ϕ , °	25, 30, 35
Çatlaktaki su yüksekliği, Z_w , m	0-15 (Model I için)
Yeraltı suyu seviyesi yüksekliği, H_w , m	0-50 (Model II için)
İvme, α , g	0.0133, 0.145, 0.835

Ocağın Mevcut Durumunun Model I ve Model II’ye Uygulanışı

Ocağın herhangi bir çalışma yapılmadan (şev kademelendirilmesi vb.) terk edildiği takdirde şevin duraylılığını koruyup koruyamayacağını anlaşılmasına yönelik olarak, Model I ve II göz önüne alınarak F hesaplanmıştır (Kesimal vd., 2005b). Bölgede yağış miktarının fazla olması, yeraltı suyu seviyesinin değişiklik arz etmesi ve ocağın başka bir bölgesinde üretim patlatmalarının devam etme olasılığı nedeniyle her iki model, güvenlik katsayısı hesaplamalarında göz önüne alınmıştır. Model I ve II için hesaplamalarda göz önüne alınan kesit, kopmanın görüldüğü bölgeden alınmış olup, Şekil 9 ve 10’da verilmiştir.

Ocaktaki gerilim çatlağı derinliklerinin farklılık göstermesi ve yeraltı suyu seviyesinin değişmesinden dolayı değerler geniş aralıklarda alınmıştır. Ayrıca hesaplamalarda, şevlerin bundan sonra ocağın herhangi bir bölgesinde yapılacak olası patlatmalı kazılardan veya ocakta çalışacak ekipmanlardan dolayı etkilenip etkilenmeyeceğine yönelik, daha önce ocakta kaydedilen ve Şekil 5’te dağılımı gösterilen değişik

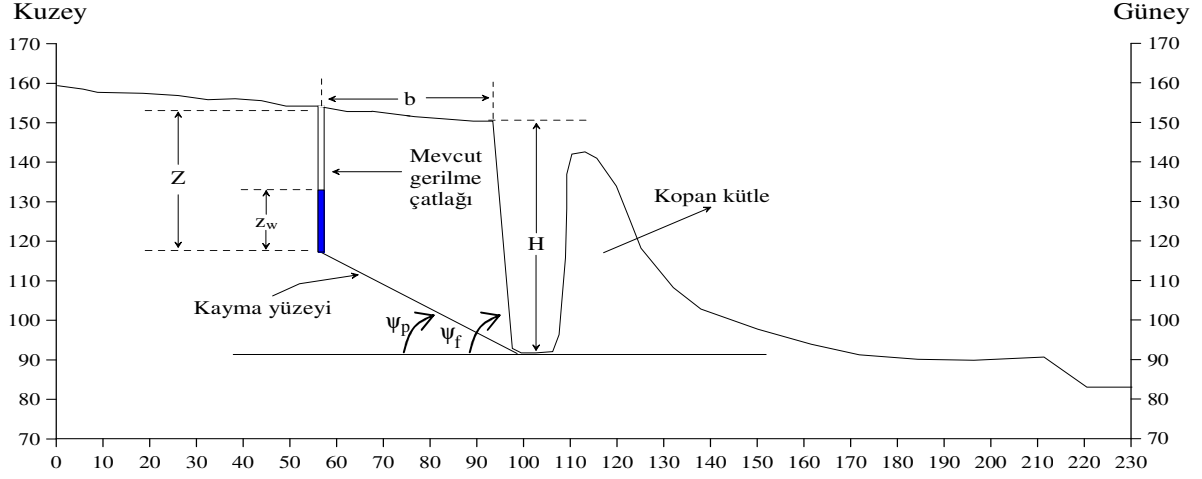
büyüklerdeki ivme değerleri de göz önüne alınmıştır. Hesaplamalarda Model I için Eşitlik 2.1, Model II için Eşitlik 2.2 kullanılmış olup, Model I ve II göz önüne alınarak hesaplanan F değerleri sırasıyla Çizelge 2 ve 3’te verilmiştir.

Çizelge 2 ve 3 incelendiğinde, Model I ve II göz önüne alınarak hesaplanan F değerlerinin 0.175 ile 1.703 arasında değiştiği görülmektedir. Şevin 0.845 g ve 0.145 g’lik ivme değerlerine maruz kalabileceği düşünülerek yapılan hesaplamalarda F değerleri genel olarak Model I için 1.2 seviyesinin oldukça altındadır. 0.0133 g’lik bir ivme için kohezyonun 200-300 kPa olduğu durumlarda genel itibari ile 1.2 değerinden yüksek, 100 kPa olduğu durumda ise 1.2 değerinden düşüktür. Model II göz önüne alınarak elde edilen F değerlerinin, şevin 0.845 g’lik bir ivmeye maruz kalması durumunda 1.2 değerinden düşük, 0.0133 g’lik bir ivme durumunda ise 200-300 kPa için 1.2 değerinden yüksek olduğu görülmüştür. 0.145 g’lik bir ivme durumunda ise 100-200 kPa için F değerleri 1.2 den düşük, kohezyonun 300 kPa olduğu durumda ise yüksektir. Genel itibari ile her iki Model göz önüne alınarak hesaplanan F değerlerinin, ivmenin artmasıyla birlikte düştüğü, azalması durumunda ise arttığı görülmüştür. Bu durum, patlatmalardan açığa çıkan ivme değerlerinin şevin durabilitesi üzerinde etkili olduğunu ve bu yüzden şev durabilite hesaplamalarında ivme değerlerinin mutlaka göz önüne alınması gerektiğini göstermektedir.

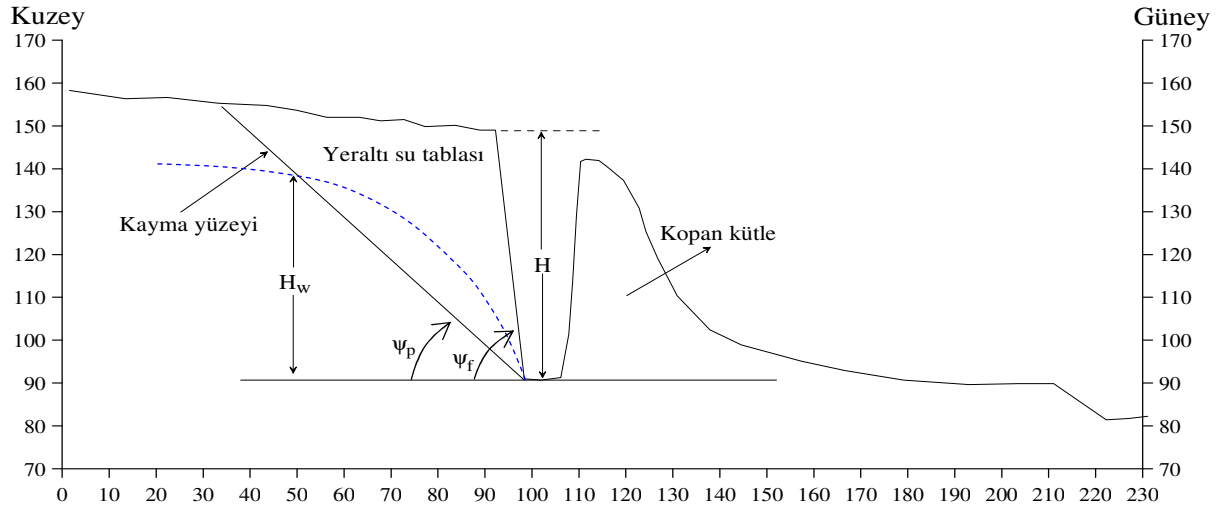
Şev gerisinde oluşan gerilme çatlakları içerisinde bulunan suyun şevin durabilitesi üzerinde olumsuz bir etki oluşturacağı, elde edilen düşük F değerlerinden anlaşılmaktadır. Çizelge 2 incelendiğinde gerilme çatlağı içerisindeki su miktarının artmasıyla birlikte F değerlerinin azaldığı görülmektedir. Aynı şekilde Çizelge 3 incelendiğinde, yeraltı suyu seviyesinin yükselmesi ile birlikte F değerleri düşmekte ve dolayısıyla yeraltı suyu şevin duraylılığını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu yüzden suyun fazla olduğu yerlerde drenaj kuyuları açılarak yeraltı suyunun ortamdaki uzaklaştırılması veya daha alt seviyelere çekilmesi gerekmektedir. Ayrıca, yılın tamamına yakınında bölgenin fazla yağış almasından dolayı yeraltı su seviyesinin daha da üst seviyelere yükseleceği göz önüne alındığında, açılacak drenaj kuyularının hem üretimdeki verimin artmasına hem de şevlerin duraylılığına olumlu katkı yapacağı görülmektedir.

F değerleri, kohezyonun artmasıyla birlikte her iki modelde artmakta, düşmesi halinde ise azalmaktadır. Ancak kohezyonun gerek ocakta yapılan üretim faaliyetlerinden ve gerekse yağış vb. gibi dış nedenlerden dolayı azalması beklenen bir durumdur. Bu yüzden kohezyonun düşük olduğu bölgelerde güvenlik katsayısının artması için genel şev açısının düşürülmesi, basamak yüksekliklerinin azaltılması gibi gerekli emniyet tedbirlerinin alınması gerekmektedir. Ayrıca Çizelge 2 ve 3 incelendiğinde, sabit bir kohezyon için hesaplanan F değerlerinin içsel sürtünme açısının artmasıyla birlikte arttığı ve düşmesiyle azaldığı

görülmektedir. Bu durum, içsel sürtünme açısının artmasıyla birlikte malzemenin kaymaya karşı olan direncinin artmasından dolayıdır.



Şekil 9: Model I için Göz Önüne Alınan Kuzey-Güney Kesiti
Figure 9: North-South Cross-Section Considered for Model I



Şekil 10: Model II için Göz Önüne Alınan Kuzey-Güney Kesiti
Figure 10: North-South Cross-Section Considered for Model II

Çizelge 2: Model I'e Göre Hesaplanan Güvenlik katsayısı Sonuçları

Table 2: The Results of Coefficient of Slope Safety Factors According to Model I

Z_w (m)	ϕ (°)	Güvenlik Katsayısı, F $\alpha = 0.835$ g için			Güvenlik Katsayısı, F $\alpha = 0.145$ g için			Güvenlik Katsayısı, F $\alpha = 0.0133$ g için		
		c 100 kPa	c 200 kPa	c 300 kPa	c 100 kPa	c 200 kPa	c 300 kPa	c 100 kPa	c 200 kPa	c 300 kPa
0	25°	0,225	0,326	0,427	0,684	0,869	1,054	0,871	1,090	1,309
	30°	0,254	0,355	0,456	0,801	0,986	1,171	1,024	1,243	1,462
	35°	0,286	0,387	0,488	0,929	1,114	1,298	1,191	1,410	1,628
5	25°	0,212	0,312	0,413	0,657	0,840	1,024	0,837	1,055	1,272
	30°	0,238	0,338	0,439	0,768	0,951	1,135	0,983	1,200	1,417
	35°	0,266	0,367	0,467	0,888	1,072	1,256	1,141	1,358	1,575
10	25°	0,195	0,294	0,394	0,618	0,798	0,978	0,787	1,000	1,212

15	30°	0,217	0,317	0,416	0,720	0,900	1,081	0,922	1,134	1,347
	35°	0,241	0,341	0,441	0,832	1,012	1,192	1,069	1,281	1,494
	25°	0,175	0,273	0,371	0,569	0,744	0,919	0,725	0,930	1,135
	30°	0,193	0,291	0,389	0,662	0,836	1,011	0,846	1,051	1,256
	35°	0,212	0,310	0,408	0,762	0,937	1,112	0,979	1,184	1,389

Çizelge 3: Model II'ye Göre Hesaplanan Güvenlik katsayısı Sonuçları

Table 3: The Results of Coefficients of Slope Safety Factor According to Model II

H _w (m)	φ (°)	Güvenlik Katsayısı, F α = 0.835 g için			Güvenlik Katsayısı, F α = 0.145 g için			Güvenlik Katsayısı, F α = 0.0133 g için		
		c 100 kPa	c 200 kPa	c 300 kPa	c 100 kPa	c 200 kPa	c 300 kPa	c 100 kPa	c 200 kPa	c 300 kPa
0	25°	0,290	0,453	0,616	0,809	1,109	1,409	1,004	1,354	1,705
	30°	0,320	0,483	0,646	0,929	1,228	1,528	1,156	1,507	1,858
	35°	0,352	0,516	0,679	1,059	1,358	1,658	1,323	1,674	2,025
15	25°	0,284	0,447	0,610	0,798	1,098	1,397	0,990	1,341	1,692
	30°	0,312	0,475	0,638	0,914	1,214	1,514	1,140	1,491	1,841
	35°	0,343	0,506	0,669	1,041	1,341	1,641	1,303	1,654	2,005
30	25°	0,265	0,428	0,591	0,763	1,063	1,363	0,950	1,300	1,651
	30°	0,289	0,452	0,615	0,872	1,171	1,471	1,090	1,441	1,792
	35°	0,315	0,478	0,641	0,990	1,290	1,590	1,242	1,593	1,944
45	25°	0,234	0,397	0,560	0,706	1,005	1,305	0,882	1,233	1,584
	30°	0,250	0,413	0,577	0,801	1,100	1,400	1,006	1,357	1,708
	35°	0,268	0,431	0,595	0,904	1,204	1,504	1,142	1,493	1,844
60	25°	0,190	0,353	0,516	0,625	0,925	1,224	0,788	1,138	1,489
	30°	0,196	0,359	0,522	0,701	1,001	1,300	0,890	1,241	1,592
	35°	0,203	0,366	0,529	0,784	1,084	1,383	1,001	1,352	1,703

SONUÇLAR

Bir açık ocak işletmesinin başarısı, üretimin istenilen miktarda en düşük maliyetle gerçekleştirilmesi, çevredeki yapılara minimum zararın verilmesi ve ocak içerisindeki şevlerin, çalışanların ve iş makinalarının güvenliğinin sağlanması ile ölçülmektedir. Bunların gerçekleştirilmesi için optimum bir şev dizaynının yanında, patlatmalardan açığa çıkan sarsıntı değerlerinin izin verilen limitler içerisinde olması gerekmektedir. Çünkü yüksek sarsıntı değerleri, yan kayalarda yeni çatlakların oluşmasına ve var olanların genişlemesine, kaya kütlelerinin dayanımının azalmasına ve çevre yapılarında istenmeyen hasarların oluşmasına yol açmaktadır.

Bu çalışmada, Araklı-Taşönü kireçtaşı ocağında oluşan heyelan sonrası geride kalan nihai aynanın uzun dönemli durabilitesini değerlendirmek ve alınması gereken tedbirleri belirlemek için iki farklı model göz önüne alınarak şev durabilite analizi yapılmıştır. Yerinde yapılan incelemeler sonucunda, oluşan kaymanın düzlemsel kayma şeklinde gerçekleştiği ve bunun nedenleri olarak ocaktaki üretim aynalarının düzensiz ve dike yakın olması, kontrolsüz atımların yapılması, yeraltı suyu seviyesinin yüksekliği ve bölgenin aşırı miktarda yağış alması gösterilebilir. Düzlemsel kayma metoduna göre Model I ve II göz önüne alınarak hesaplanan güvenlik katsayısı değerlerinin genelde 1.2 limit seviyesinin altında olduğu

görülmüştür. Heyelan sonrası şev gerisinde oluşan gerilme çatlaklarının genişliğinin ve derinliğinin gün geçtikçe artması, binalarda gözlemlenen yapısal hasarların fazlaşması ve hesaplanan düşük şev güvenlik katsayıları, ocağın mevcut durumunun hem çevredeki yerleşim birimleri hem de işletmedeki işçi ve ekipmanların güvenliği açısından tehlike arz ettiği ve ocağın bu haliyle terk edilemeyeceğini göstermiştir. Ayrıca yapılan kontrolsüz patlatmaların çevredeki yapılarda hasar oluşumunda ve şevlerin durabilitesini kaybetmesinde etkili olduğu ve ocağın herhangi bir bölgesinde yapılacak patlatmaların dizayn parametrelerinin gözden geçirilerek optimize edilmesi gerektiği anlaşılmıştır.

SUMMARY

The optimum design of a typical open pit is based on the maximizing the slope angle to minimize the stripping and hence increase the recoverable ore, which produces a higher benefit on investment. However, the increase in the slope angle may adversely affect the stability of the slope. Because of the variability of geologic structure and rock properties, the maximum angle of slope at which stability is still sustained is controlled by the geological structure and rock properties. Slope failures result in high operating

costs due to the expense of cleaning up of failed materials, production losses, and unrecovered ore.

Many factors such as blasting, rainfall, geological conditions, groundwater etc., induce the loss of slope stability. To prevent slope instability, a mine operator should exert more control over blasting than over groundwater since the geology of a pit cannot be changed. The most effective technique is to reduce charge weight per delay to minimize blasting effect on slope stability.

Water can have deleterious effects on surface mining operations, with direct rainfall and associated run on being significant factors in regions of high precipitation. The most significant groundwater-related problem is the effect of water pressure on the angle at which slopes can be excavated. Water pressure in the discontinuities (i.e., joints, fractures, bedding planes, etc) in a rock mass reduces the effective stresses with a consequent reduction in shear strength of the rock mass.

The purpose of this paper was to evaluate the influence of some factors such as blasting, groundwater, tension cracks on the stability of slopes at Araklı-Taşönü limestone quarry. Two different Models were used for the determination of the coefficients of slope safety factor to foresee the stability of final slopes remained after the plane failure. The instability of slopes was observed to result in the occurrence of tension cracks behind the final slopes and to cause the structural damage on the buildings in the surrounding area. The low values of the coefficients of safety factor were obtained from the slope stability analysis, which could be attributed to high level of underground water and uncontrolled blasting operations. This study has shown that slope instability could be successfully predicted by the slope stability analysis using Model I and II and safer working conditions could be maintained.

Yayına Geliş - Received : 28.04.2006

Yayına Kabul - Accepted : 16.03.2007

DEĞİNİLEN BELGELER

- Bye A.R. and Bell, F.G., 2001**, Stability assesment and slope design at Sandsloot open pit, South open pit, South Africa, International Journal of Rock Mechanics&Mining Sciences, 38, 449-466.
- Erçıkıdı, B., Kesimal, A., Yılmaz, E. ve Cihangir, F., 2004**, Patlatma kaynaklı yer sarsıntısı ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi, Fen Bilimleri Dergisi, Dumlupınar Üniversitesi, 7, 195-216.
- Erguvanlı, K., 1975**, Trabzon Çimento Fabrikası Araklı-Taşönü köyü hammadde raporu, 35.
- Glass, E. and Charles, D., 2001**, The influence of seismic events on slope stability, Slope Stability in Surface Mining, Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc, (SME), 89-96.
- Goodman, R, E., 1995**, Block theory and its application, Geotechnique, 45(39), 383-422.

- Hoek, E. and Bray, D., 1981**, Rock slope engineering, London: Institution of Mining and Metallurgy, Rev. 3rd Edition.
- Huang, L., 2004**, Stability analysis of mine pit slopes interior Alaska, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 41 (3), CD-ROM.
- Kahrman, A., 2004**. Analysis of parameters of ground vibration produced from bench blasting at a limestone quarry, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 24, 887-892.
- Kesimal, A., Erçikdi, B. ve Cihangir, F., 2005a**, Trabzon ili, Araklı İlçesi, Taşönü Köyü hudutlarında bulunan kalker taşocağının üretiminde patlatmadan kaynaklanan titreşim ölçüm sonuçları ve değerlendirilmesi, Ara Rapor 2, Döner Sermaye Projesi, Trabzon, 25.
- Kesimal, A., Erçikdi, B. ve Cihangir, F., 2005b**, Trabzon İli, Araklı İlçesi, Taşönü Köyü hudutlarında bulunan kalker ocağında oluşan heyelanlı bölgenin basamaklandırma ve kazı projesi, Döner Sermaye Projesi, Trabzon, 72.
- Kim, J., Jeong, S., Park, S. and Sharma, J., 2004**, Influence of rainfall-induced wetting on the stability of slopes in weathered soils, Engineering Geology, 75, 251-262.
- MBM, 2005**, Trabzon İlinin 2005 yılı meteorolojik verileri, Meteoroloji Bölge Müdürlüğü, 15.
- Onur, H. A., Konak, G., Köse, H. ve Karakuş, D., 2000**, TKİ Çan Linyitleri İşletmesinde delme-patlatma faaliyetlerinin şev stabilitesi üzerindeki etkileri, 4. Delme ve Patlatma Sempozyumu, Ankara, 173-180.
- Özgenoğlu, A., 2005**, Açık işletmelerde şev stabilitesi analizi, Maden Mühendisliği Açık Ocak İşletmeciliği El Kitabı, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 337-387.
- Öztekin, B., Topal, T. and Kolat, C., 2006**, Assesment of degradation and stability of a cut slope in limestone, Ankara-Turkey, Engineering Geology, 84, 12-30.
- Paşamehmetoğlu, A. G., Özgenoğlu, A. ve Karpuz, C., 1999**, Kaya şev stabilitesi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını, 4. Baskı, 358.
- Vardar, M., 1987**, Kaya şevlerini projelendirme esasları, Dayanma Yapıları Semineri, DSİ, Cilt II, 1-25.