

"KAYA MEKANİĞİ VE AÇIK İŞLETMELERDE ŞEV STABİLİTESİ"

Sabahattin GAZANFER*

Özet

Büyük kazı, yükleme ve taşıma araçlarının açık işletmelerde gün geçtikçe artan bir çalışma sahası bulması ve böylelikle daha derin cevher rezervlerinin açık işletme olarak çalışılmaya başlanması, şev stabilitesi konusuna önem kazandırmıştır.

Yazıda bu konu, önce kaya mekaniği açısından incelenmiş ve matematiksel hesaplamalar açıklanmış, daha sonra G.L.İ. Açık işletmesinden örneklerle izah edilmeye çalışılmıştır.

1. Giriş

1971 yılı istatistiklerine göre (1), dünya mineral ihtiyacının %66'dan fazla bir kısmı açık işletmelerden karşılanmaktadır. Genellikle büyük kazı makineleri ve taşıma araçlarının açık işletmelerde gün geçtikçe daha fazla çalışma sahası bulması ve böylece işletme masraflarının kısmen düşük seviyede tutulabilmesi neticesi, bu oranın 1975 yılından önce %73'ü bulacağı tahmin edilmektedir.

Yüzeye yakın zengin cevher rezervlerinin tüketilmek üzere olması, maden işletmecüsünü daha derin açık işletmelerin planlanmasına zorlamaktadır. Fakat açık işletmecilikte derine gidildikçe, kaldırılması gereken örtü tabakası miktarı genellikle artacağından, cevheri çıkarma maliyeti de yükselecektir. Şev açısı 50° olan koni şeklinde bir açık işletmede 150 m derinliğe inilmesi için kaldırılması gereken malzeme hacmi 2.5

(*) Yük. Maden Mühendisi.

milyon m³* iken, Şev açısı 40° 'ye indirildiğinde bu rakam yaklaşık olarak 5 milyon m³ olur.

Her ne kadar, dekapaj miktarını asgariye indirmek Şev açısını artırmakla mümkünse de, heyelan tehlikesinin de buna paralel olarak artacağı muhakkaktır. Büyük çapta bu- heyelanın, maden işletme projesiyle tesbit edilmiş ekonomik dengeyi bozabileceğine de işaret etmekte fayda vardır.

Son yıllara kadar optimum Şev açısının tâyini pratik tecrübeye dayanmaktaydı. Fakat büyük yatırımlar isteyen maden işletmeciliğinde pratik tecrübenin yanında ilmî çalışmaların ve elde edilen neticelerin pratiğe tatbikinin faydalı olacağı şüphesizdir. Bu yazının amacı, Şev stabilités! konusunda kaya mekaniğinin yerini, bu konuda yapılan araştırmaları ve bunların pratiğe uygulanmasını kısaca özetlemektir.

2. Kayma Mekanizması

Şevlerde kayma mekanizmasını basit olarak Őekü l'de görüldüğü gibi yatay üe β açısı yapan eğik düzlem üzerindeki bir blokun hareketine benzetmek mümkündür. Kaymaya başlaması anında bloka etki eden kuvvetler Şunlardır:

W — Blok ağırlığı,

W Sin β — Blok ağırlığının düzlem doğrultusundaki bileşeni,

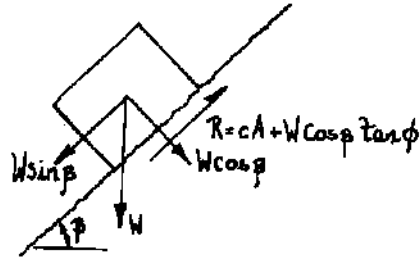
W Cos β — Blok ağırlığının düzleme dik doğrultudaki bileşeni,

R — Blok ve eğik düzlem arasındaki sahanın direnci (resistance) .

Őekü l'den görüleceği gibi, blok ağırlığının eğik düzlem doğrultusundaki bileşeni (W Sin β), bloku kaydırmak isteyecek, fakat alanın direnci (R) buna karşı koymaya çalışacaktır. Açık işletmelerdeki basamakların veya Şevlerin stabilitesi hakkında bilimsel fikir yürütmek, ancak bu kuvvetlerin ve onlarla ilgili faktörlerin hassasiyetle tesbitine ve incelenmesine bağlıdır.

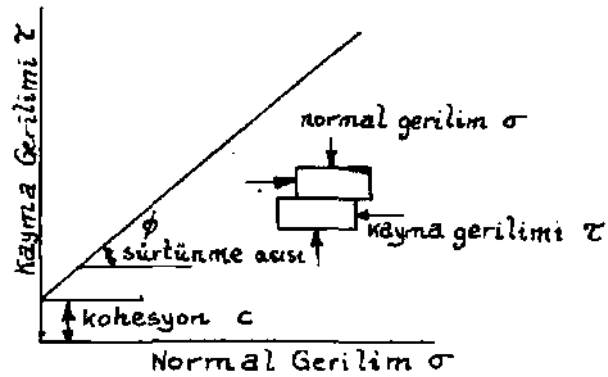
a) Kayma Mukavemetinin Ölçülmesi

Pratik tecrübelerden varılan neticelere göre, sert kayalar-
da açılmış şevlerde kayma, genellikle mevcut faylar veya bu
kayaların arasında bulunan çatlaklar üzerinde olmaktadır. Do-
iayısıyla, kayma mukavemetini Ölçme deneylerinin bu çatlak-
larda veya onlardan alacak numunelerde yapılması yerinde
olur.



Şekil 1. Eğik düzlem üzerinde duran bir
bloka etki eden kuvvetler

Kayma mukavemetini ölçme deneylerinde kayaların loru-
ma prensibi, basit olarak Şekil 2'deki gibi kohezyon ve içsel
sürtünme açısı ile ifade edilir. Coulomb teorisi olarak bilinen
bu prensip aşağıdaki gibi yazılabilir:



Şekil 2. Coulomb teorisine göre kayma

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \dots \dots \dots (1)$$

Burada;
T = Kayma gerilmesi,
a – Normal (dikey) gerilme,

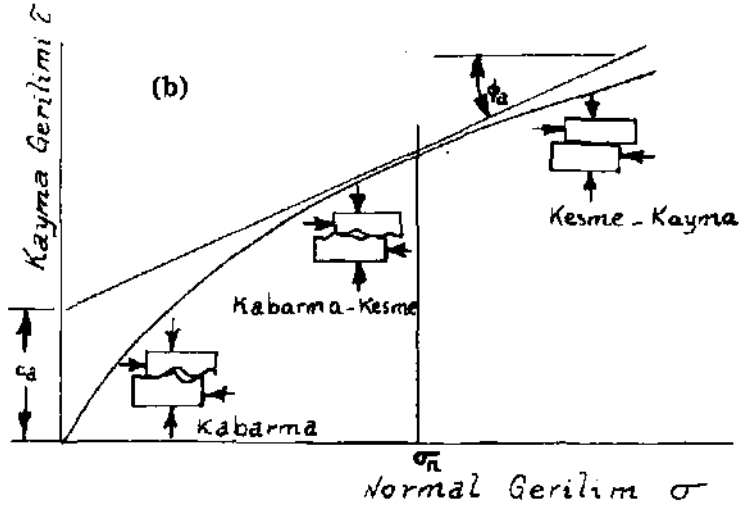
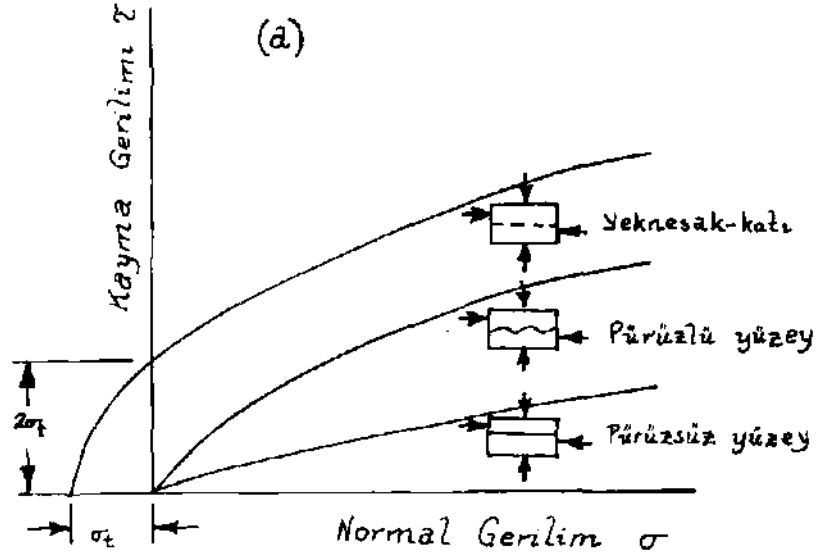
- c = Kayma yüzeyinin kohezyonu veya sıfır normal basınç altındaki kayma mukavemeti,
 θ = Kayma yüzeyindeki içsel sürtünme açısı olarak bilinir.

Hakikatte, kayma mukavemetini ölçme deneylerinden elde edilen neticeler Şekil 2'deki gibi basit olmayıp, kayaların ve çatlakların cinsine göre oldukça değişmektedir. Hoek ve Boyd (2), üç değişik kaya yapısı için T ve θ arasındaki münasebetin Şekil 3a'da gösterildiği gibi olduğunu açıklamıştır. Pürüzlü yüzlerin kayma deneyinde geçirdiği safhalar ise Şekil 3b'deki gibidir (2). Normal baskının az olduğu ilk safhada kabarma, daha sonra kabarma ve kesme ve belli bir ϕ_n değerinden sonra ise sadece kesme-kayma olayı meydana gelmektedir. Burada c ve θ değerleri c/n 'in eğriyi kestiği noktadan eğriye çizilen teğet yardımıyla bulunabilir.

Coulomb denklemi lineer bir ifade olduğundan, Şekil 3b'de gösterilen eğriyi tarif edememektedir. Bu nedenle, hassasiyet gerektiren bazı hesaplamalarda bu gibi eğrileri tarif edebilecek ifadelerin kullanılması Patton (3) ve Murrell (4) tarafından tavsiye edilmiştir.

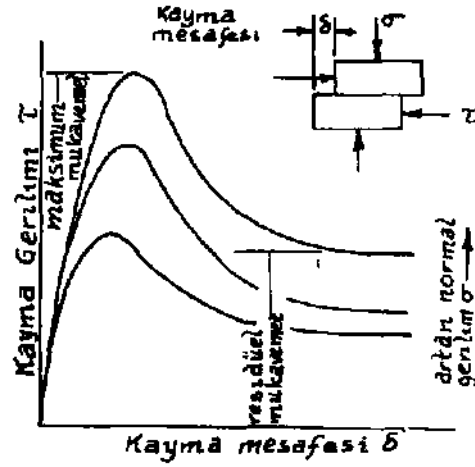
Kayma deneylerinde görülen diğer bir özellik ise, belli bir normal baskı altında, kayma gerilimi T ile kayma mesafesi (displacement) δ arasındaki münasebettir. Şekil 4'teki eğrilerden görüleceği gibi test edilen malzeme maksimum mukavemetine (peak strength) ulaşıncaya kadar yaklaşık olarak elâstik tarzda deforme olmakta, bu değerden sonra ise kayma devam ederken, kayma mukavemetinde bir azalma meydana gelmektedir. Belli bir kayma mesafesinden sonra ise kayma mukavemetinde önemli bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Malzemenin bu safhadaki mukavemetine "artık mukavemet" (residual strength) ve sürtünme açısına da "kalıcı sürtünme açısı" (residual angle of friction) denilmektedir.

Maksimum kayma mukavemeti ile résiduel kayma mukavemeti arasındaki fark kayaların cinsine, çatlakların arasında mevcut olabilecek yabancı maddelerin özelliklerine göre az veya çok olabilir.



Şekil 3. Kayalarda kayma gerilimi ile normal gerilim arasındaki bağıntı (2)

Deneylerden elde edilen neticeye göre (7), granit veya porfir gibi sert kayalarda résiduel mukavemet maksimum mukavemetin yarısından az olabilmektedir. Yumuşak bir zeminde ise bu iki değer arasındaki fark gayet azdır. Sert kayalarda açılmış şevlerde kayanın maksimum kayma mukavemeti aşıldığında, meydana gelecek kaymanın âni ve şiddetli olmasının nedenlerinden birisi de yukarıda belirtilen farktan ileri gelmektedir. Tablo 1 ve 2'de kayaların çatlaksız kaya haldeki kohezyon değerleri (c) ve çeşitli hallerdeki sürtünme açıları değerleri (θ) gösterilmiştir (6).



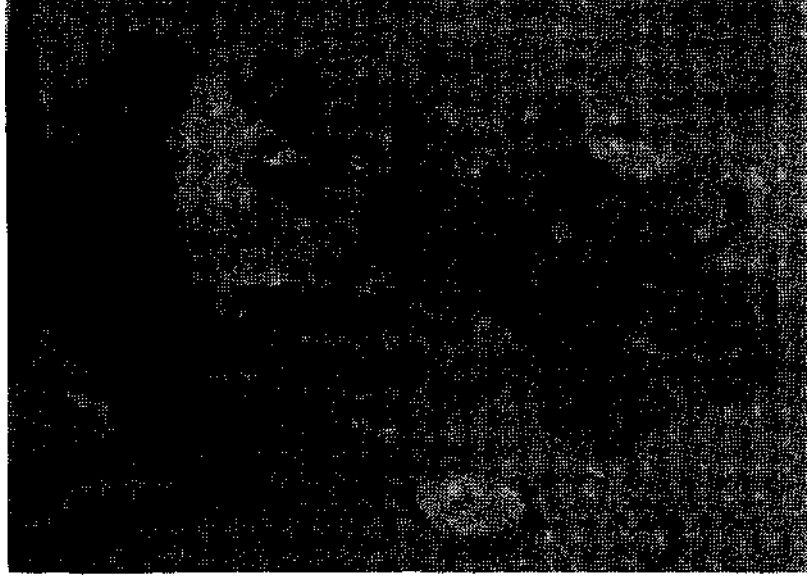
Şekil 4 Kayma gerilimi ve kayma mesafesi arasındaki bağıntı (7)

Kayma mukavemeti ile ilgili değerlerin deneysel tesbiti ve yorumlanması konusunda Jaeger (5) detaylı olarak incelemiştir.

Deney aletleri büyük kapasiteli (150 ton) olduğu gibi, arazide kullanılacak tipte, taşınabilir ve küçük kapasiteli (10 ton) de olabilmektedir (7) (Fotoğraf 1).

b) Jeolojik Faktörler

Elâstisite teorisinden faydalanılarak hazırlanan matematiksel modellere göre, yeknesak - katı malzemede heyelan, an-



Fotoğraf 1 — Kayaların ve çatlakların kayma mukavemetlerinin arazide ölçülmesi.

Tablo 1 — Toprak ve Kayaların "Yeknesak - Katı" Haldeki Kohezyon Değerleri*

Malzeme cinsi	c-kg/m*	c-lb/ft ²
Çok yumuşak toprak	170	35
Yumuşak toprak	340	70
Sıkı toprak	880	180
Sert toprak	2 200	450
Çok sert toprak	7.800	1.600
Çok yumuşak kaya	17.000	3.500
Yumuşak kaya	56.000	11.500
Sert kaya	170 000	35.000
Çok sert kaya	560.000	115.000
Çok çok sert kaya	1.000 000	230 000

cak çok yüksek ve dik şevlerde olabilmektedir. Örnek olarak, basma mukavemeti 3500 ton/m² ve özgül ağırlığı 2.9 ton/m³ olan kayada açılmış dikey bir şevde, heyelanın meydana gele-

(*) Değerler Jennings ve Robertson (6) tarafından teklif edilmiştir

Tablo 2 — Bazı Kayaların İçsel Sürtünme Açılarının Yaklaşık Değerleri*

Kaya cinsi	Yeknesak - Katı (0)	Çatlak (0)	Beztdttel (0)
Andezit	45	31—55	28—30
Bazalt	48—50	47	
Tebegİr		35—41	
Diorit	53—55		31—33
Granit	50—64		
Grevak	45—50		
Kalker	30—60		33—37
Monzonit	48—65		28—32
Porfir		40	30—34
Kuarsit	64	44	26—54
Kumtaşı	45—50	27—38	25—34
Şist	26—70		
Şeyi	45—64	37	27—32
Kiltaşı	50	43	
Arduaz	45—60		24—34

bilmesi için şev yüksekliğinin yaklaşık olarak 1200 m olması gerekmektedir (Terzaghi) (8). Fakat bu yükseklikte hiçbir dikey şev bulunmadığı gibi, yüksekliği ve eğimi çok daha az olan şevlerde bile kayma tehlikesinin mevcut olduğu veya heyelanların meydana geldiği arazi incelemelerinden anlaşılmaktadır. Bunun sebebi ise kayaların homojen ve elâstik kütleler olmayışı ve kayma olayının doğrudan doğruya jeolojik faktörler neticesi oluşu ile izah edilmektedir. Önemli jeolojik faktörler şunlardır:

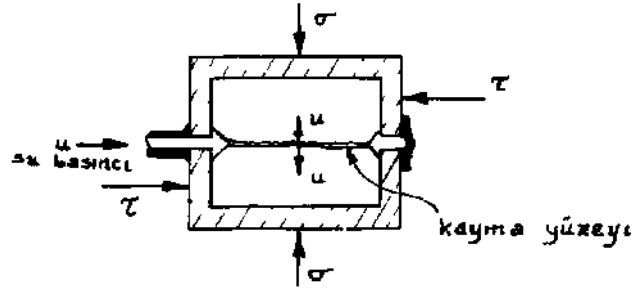
- Tabakalar, çatlaklar ve fayların yatımı ve devamlılık dereceleri,
- Çatlakların yüzey pürüzlülükleri nispeti,
- Fay ve çatlaklar arasında mevcut olabilecek kil, kum vs. yabancı maddelerin miktarı ve özellikleri,
- Çeşitli hava etkenlerinin tesiri,
- Hidrolojik etkenler (ayrıca incelenecektir).

(*) Değerler Jennings ve Robertson (6) tarafından teklif edilmiştir.

Yukarıda belirtilen jeolojik faktörlerin hassasiyetle tesbit edilebilmesi için, son yıllarda çeşitli metodlar ve cihazlar bulunmuş veya geliştirilmiştir. Bunlar arasında, yeni bir karot alma tekniğinin gelişmesi (Rocha) (9), çatlakların haritalanması ve stereonetlerin kullanılması (John) (10), sondaj kuyularının kamera, televizyon (Zemanck) (11) veya akustik cihazlarla incelenmesi (Brenden) (12), şev stabilitesi çalışmalarında gittikçe tatbikat sahası bulmaktadır.

c) Hidrolojik Faktörler

Heyelanlara sık rastlanıldığı Norveç'te yapılan istatistiklere göre ,kayma frekansı karların eridiği Nisan ile yağışın bol olduğu Ekim aylarında yükselmektedir. Yağan yağmur ve eriyen karın şev stabilitesi üzerindeki etkilerinden en önemlisi, kayaların ve çatlakların kayma mukavemetlerini azaltmasıdır. Normal gerilim kayma yüzeyleri arasında bulunan sudan dolayı (tr-u) olacaktır (Şekil 5). Bu değere efektif normal gerilim denmektedir. Buna göre (1) No.lu denklem;



Şekil 5. Su basıncının kayma mukavemetine etkisi

$$\tau = c + (\sigma - u) \tan \phi \quad \dots \dots \dots (2)$$

şeklini alacaktır. İlk olarak Terzaghi (13) tarafından farkedilen bu önemli husus, daha sonraları Skempton (14) tarafından detaylı olarak incelenmiştir.

Kayaların ve çatlakların permeabilitelerinin Ölçülmesi ve elde edilen değerlerin yorumlanması başlı başına bir konu teşkil ettiğinden bu yazının kapsamı dışında kalmaktadır.

3. Şev Stabilités! Hesaplamaları

a) Şevlerde Emniyet Katsayısı

Şev stabilitesi hesaplamalarında emniyet katsayısı genellikle aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$\text{Emniyet Katsayısı, E.K.} = \frac{\text{Kaymayı önleyen toplam kuvvetler}}{\text{Kaymayı başlatan toplam kuvvetler}}$$

Eğer;

E.K > 1 ise, şev denge durumunu muhafaza etmektedir,

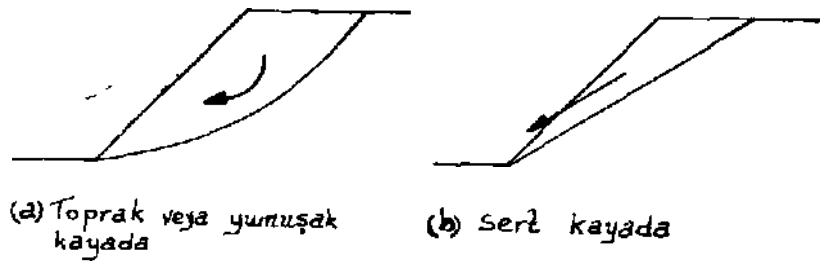
E.K < 1 ise, şev kaymış veya kayacaktır,

E.K = 1 ise, şev "limit denge" durumundadır.

İnşaat, makine, elektrik ve uçak mühendisliği gibi diğer mühendislik hesaplamalarında emniyet katsayısı genellikle çok yüksek bir değer olarak seçilmektedir. (Meselâ, uçak mühendisliğinde E.K=10 olabilmektedir.) Şev açısı tâyininde ise emniyet katsayısı normal olarak 1.3 olarak kabul edilmektedir.

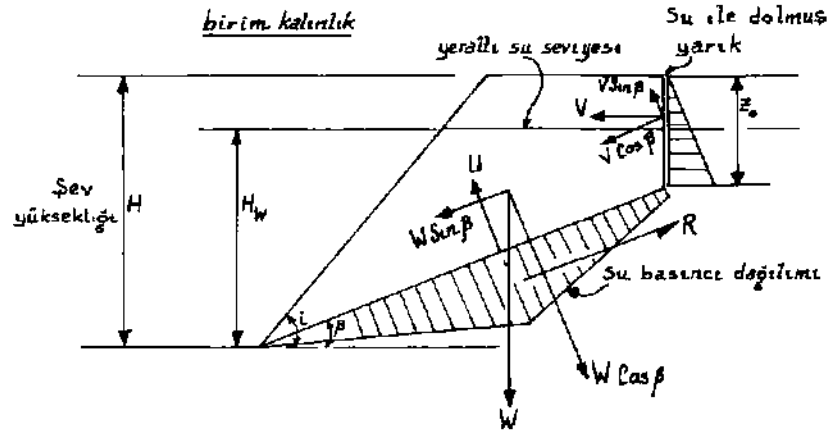
b) İki-Boyutlu Analiz (Two-Dimensional)

Yapılan gözlemlerden varılan neticelere göre, toprak veya yumuşak kayalarda açılmış şevlerde kayma yüzeyi, genellikle bir eğri üzerindedir (Şekil 6a). Böyle şevlerin emniyet katsayıları zemin mekaniğindeki metodlardan faydalanılarak hesaplanmaktadır (Bishop) (15), (Janbu) (16). Sert kayalarda açılmış şevlerde kayma ise daha önce de belirttiği gibi çatlaklar veya faylar üzerinde olmaktadır (Şekil 6b).



Şekil 6. Şevlerde kayma çeşitleri

Heyelan başlangıcı, ekseri hallerde şevlerin üst kısmında beliren yarıklardan anlaşılır. Yağışlı mevsimlerde bu yarıklar su ile dolabilir ve kaymayı biraz daha kolaylaştırmış olur. Şekil 7'de görülen böyle bir şevin matematiksel analizi aşağıdaki gibi yapılabilir.



Şekil 7 İki boyutlu analiz

Bloka etki eden kuvvetler:

W = Blok ağırlığı

$W \cos \beta$ = Blok ağırlığının kayma düzlemi üzerindeki normal bileşeni,

$W \sin \beta$ = Blok ağırlığının kayma yüzeyi doğrultusundaki bileşeni,

U = Su basıncının yukarıya doğru itme kuvveti,

V = "Tensional" yarıқта mevcut suyun yatay doğrultudaki kuvveti,

$V \sin \beta$ = V 'nin kayma yüzeyine dik doğrultudaki bileşeni,

$V \cos \beta$ = V 'nin kayma yüzeyi doğrultusundaki bileşeni,

E = Kaymayı önleyen toplamı kuvvetler.

Effektif normal kuvvet = $W \cos \beta - U - V \sin \beta$

(1) No.lu denklemden;

$$R = e A + (W \cos \beta - U - V \sin \beta) \tan \phi$$

$$\text{Emniyet Katsayısı} = \frac{R}{W \sin \beta + V \cos \beta}$$

$$\text{Emniyet Katsayısı} = \frac{eA + (W \cos \beta - U - V \sin \beta) \tan \phi}{W \sin \beta + V \cos \beta} \quad (3)$$

Şev geometrisinden:

$$W = \frac{1}{2} \gamma H^2 \left\{ (\cot \beta - \cot \alpha) - (Z_0/H)^2 \cot \beta \right\} \quad (4)$$

$$U = \frac{\gamma_w}{2 \sin \beta} \left\{ H_w^2 (1 - \cot \alpha \tan \beta) - (Z_0 + H_w - H)^2 \right\} \quad (5)$$

$$V = \frac{1}{2} \gamma_w Z_0^2 \quad (6)$$

$$A = \frac{H - Z_0}{\sin \beta} \quad (\text{Birim kalınlık için}) \quad (7)$$

Burada :

γ = Kayanın özgül ağırlığı,

γ_w = Suyun özgül ağırlığı,

H_w = Yeraltı su seviyesi,

Z_0 = "Tensional" yarık derinliğidir.

Su veya yarık ihtiva etmeyen şevlerde $U = 0$, $V = 0$, $Z_0 = 0$ 'dır. Bu durumdaki emniyet katsayısı:

$$E.K = \frac{eA + W \cos \beta \tan \phi}{W \sin \beta} \text{ dir.}$$

c) Üç-Boyutlu Analiz (Three-Dimensional)

iki-boyutlu analiz, kayan şevin dikey kesitinin şev aynası boyunca aynen devam ettiğini kabul etmektedir. Bu kabul hesaplamalarda kolaylık sağlamasına rağmen, bazan gerçek durumu tam olarak aksettiremez. Şevlerde kayma tetrahedral bloklar halinde de olabilir. Bu blokların şekli tabaka ve çatlakların teşekkül yönlerine göre değişir. Şekil 8, çeşitli blokların şev aynasına göre durumlarını ve bunların kayma ihtimallerini göstermektedir (17). Şekil 9'da tetrahedral bir bloka kayma anında etki eden kuvvetler belirtilmiştir. Bunlar:

W = Blok ağırlığı,

$W \cos \beta_{xx}$ = Blok ağırlığının kayan iki düzlemin arakesiti XX'e dik doğrultudaki bileşeni,

$W \sin \beta_{xx}$ = Blok ağırlığının XX doğrultusundaki bileşeni,

N_A = A düzleminin blok üzerindeki reaksiyonu,

N_B = B düzleminin blok üzerindeki reaksiyonudur.

Suyun mevcut olmadığı kabul edilirse $U = 0$.

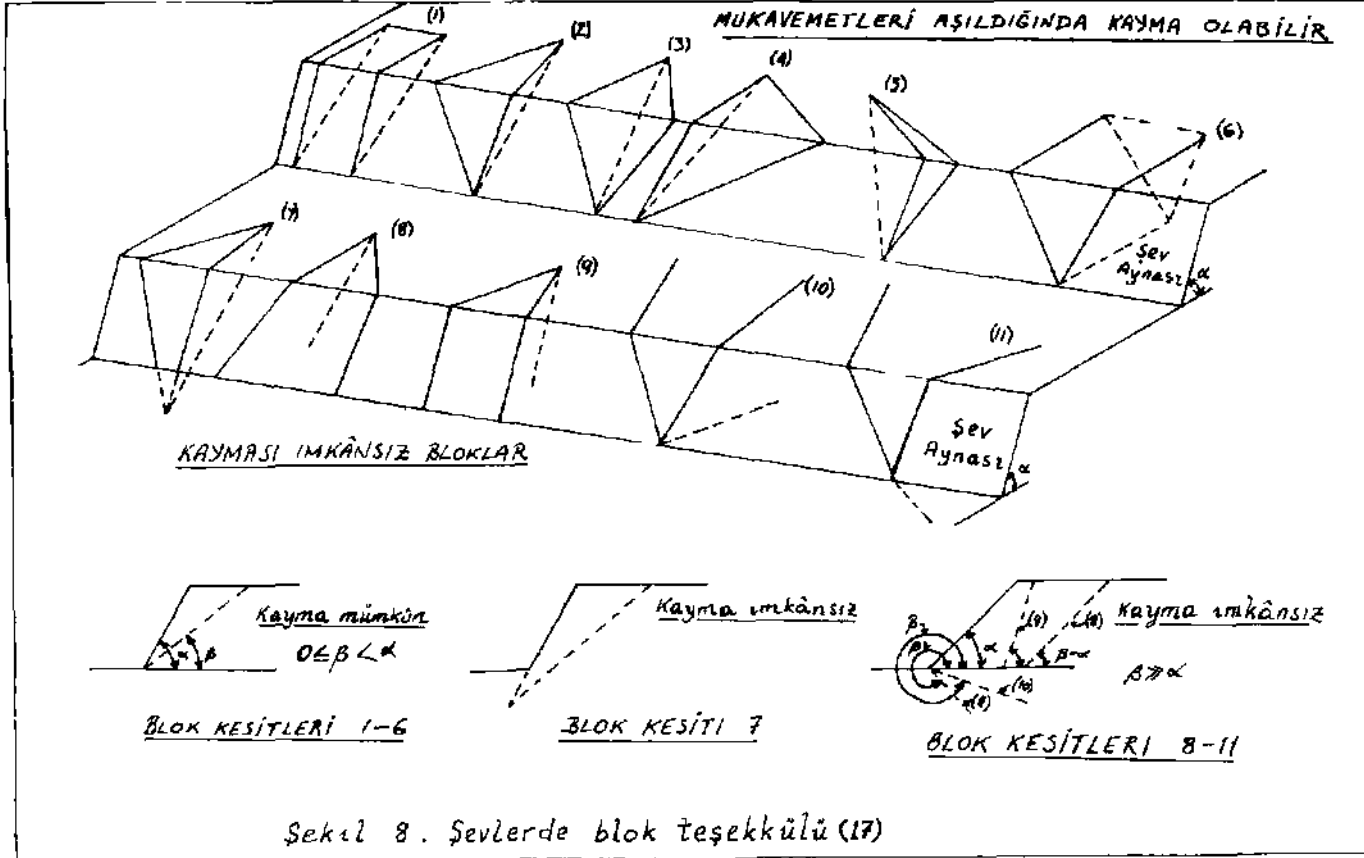
Kuvvet analizleri:

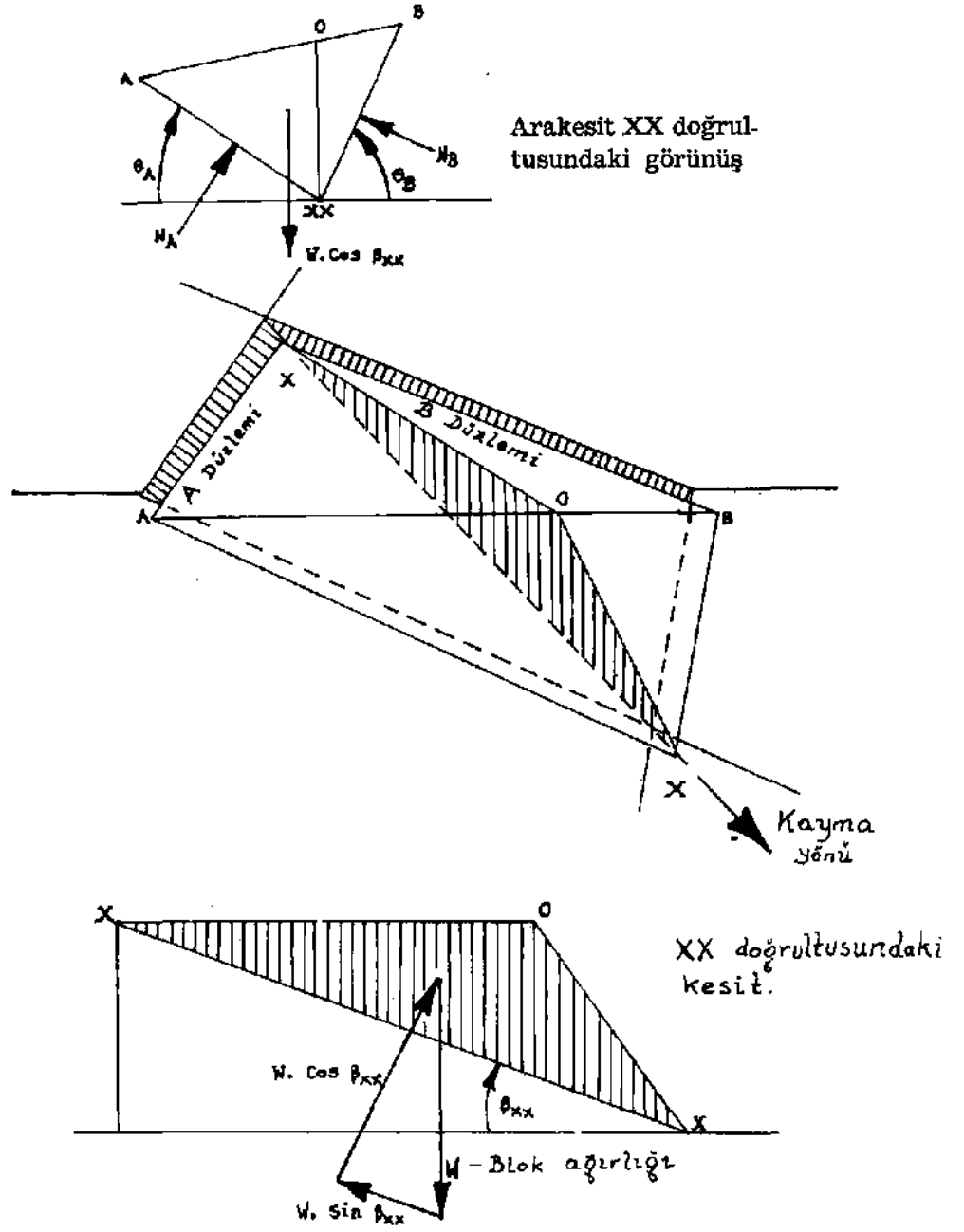
a) Yatay doğrultuda: $N_A \sin \theta_A = N_B \sin \theta_B \dots \dots \dots$ (8)

b) Dikey doğrultuda: $N_A \cos \theta_A + N_B \cos \theta_B = W \cos \beta_{xx} \dots \dots$ (9)

(8) ve (9) dan:
$$N = \frac{W \cos \beta_{xx} \sin \theta_A}{\sin (\theta_A + \theta_B)} \quad (10)$$

$$N = \frac{W \cos \beta_{xx} \sin \theta_B}{\sin (\theta_A + \theta_B)} \quad \dots \dots \dots (11)$$





Şekil 9. Üç-boyutlu analiz

C_A, C_B ve ϕ_A, ϕ_B A ve B çatlak yüzeylerin kohezyon ve sürtünme açıları değerleri olsun. A ve B yüzeylerinin kaymaya karşı koyacakları kuvvetler (1) No.lu denkleme göre:

$$R_A = c_A A_A + N_A \tan \phi_A \quad (12)$$

$$R_B = c_B A_B + N_B \tan \phi_B \quad (13)$$

Burada A_A ve A_B kayma yüzeylerinin alanlarıdır. Toplam direnç kuvveti:

$$R = c_A A_A + c_B A_B + \frac{W \cos \beta_{xx}}{\sin(\theta_A + \theta_B)} (\sin \theta_B \tan \phi_A + \sin \theta_A \tan \phi_B) \quad (14)$$

Koymayı balatan kuvvet = $W \sin \alpha_x$

$$\text{Emniyet Katsayısı} = \frac{c_A A_A + c_B A_B + \frac{W \cos \beta_{xx}}{\sin(\theta_A + \theta_B)} (\sin \theta_B \tan \phi_A + \sin \theta_A \tan \phi_B)}{W \sin \beta_{xx}}$$

$$\text{Emniyet Katsayısı} = \frac{c_A A_A + c_B A_B + \frac{\sin \theta_B \tan \phi_A + \sin \theta_A \tan \phi_B}{\tan \beta_{xx} \sin(\theta_A + \theta_B)}}{W \sin \beta_{xx}} \quad (15)$$

eğer $\phi_A = \phi_B = \phi$ ve $c_A = c_B = c$ 'lu denklemden

$$\text{Emniyet Katsayısı} = \frac{\tan \phi (\sin \theta_A + \sin \theta_B)}{\tan \beta_{xx} \sin(\theta_A + \theta_B)} \quad (16)$$

Üç-boyutlu şev stabilitesi analizleri vektör hesaplamalarla da yapılabilmektedir (Londe) (18), (Wittke) (19).

Detaylı analize ihtiyaç duyulmayan şev stabilitesi problemlerinde, emniyet katsayılarını hesaplamada veya belli bir emniyet katsayısı için maksimum şev açışımı tesbit etmekte kullanılacak dezayn eğrileri mevcuttur (Hoek) (7). Bu eğrilerden elde edilecek değerler yaklaşık değerlerdir ve şevin genel durumu hakkında bir ön fikir verebilmesi bakımından çok faydalıdır.

4. Şevlerde Kayma Hareketlerinin Tesbiti ve Stabilize Metodları

Gerek ekonomik ve gerekse emniyet yönünden incelendiğinde, şevlerde herhangi bir kayma hareketinin öncelikle tesbitinin uygun bir başlangıç noktası olacağı şüphesizdir. Alınacak tedbirler tesbit edilen değerlerin hassasiyet derecesine bağlıdır. Şevlerde meydana gelebilecek kayma hareketlerini ölçmeye yarayan çok hassas cihazlar geliştirilmiş veya imal edilmiştir. Bunlardan bazılarını aşağıdaki gibi sınıflandırmak mümkündür:

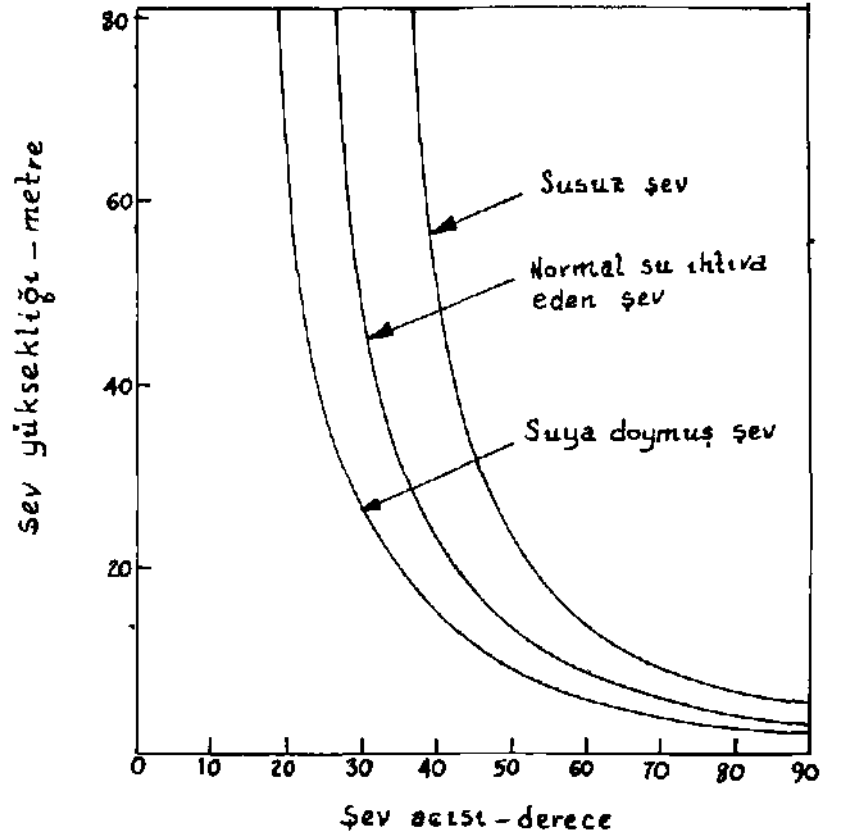
- a) Uzun mesafeleri (1-5 km) hassasiyetle (1/100.000) ölçmeye yarayan Geodimeter, Mekometer ve Tellurometer gibi topografya cihazları,
- b) Foto-teodolit gibi fotogrametri cihazları (Atkinson) (20),
- c) Yarıkların eşit zaman aralıklarında, verniyer (fotoğraf 2), çelik şerit veya "extensiometer" üe ölçülmesi,



Fotoca* 2 — "Tensional" yarıkların açılma mesafelerinin verniyer ile ölçülmesi.

- d) Kayma anında kayalardan çıkan seslerin frekansının akustik metod ve cihazlarla ölçülmesi ve böylece kayma hızının tayıni (Stateham) (21).

Kayma hareketleri mevcudiyetinin hissedilmesinden sonra ahnacak tedbirler arasmada, iyi bir drenaj sistemi düzenlemek



Şekil 10. Suyun şev açısına etkisi (22)

Malzeme : $c = 2000 \text{ kg/m}^2$

$\phi = 35^\circ$

$\delta = 4100 \text{ kg/m}^3$

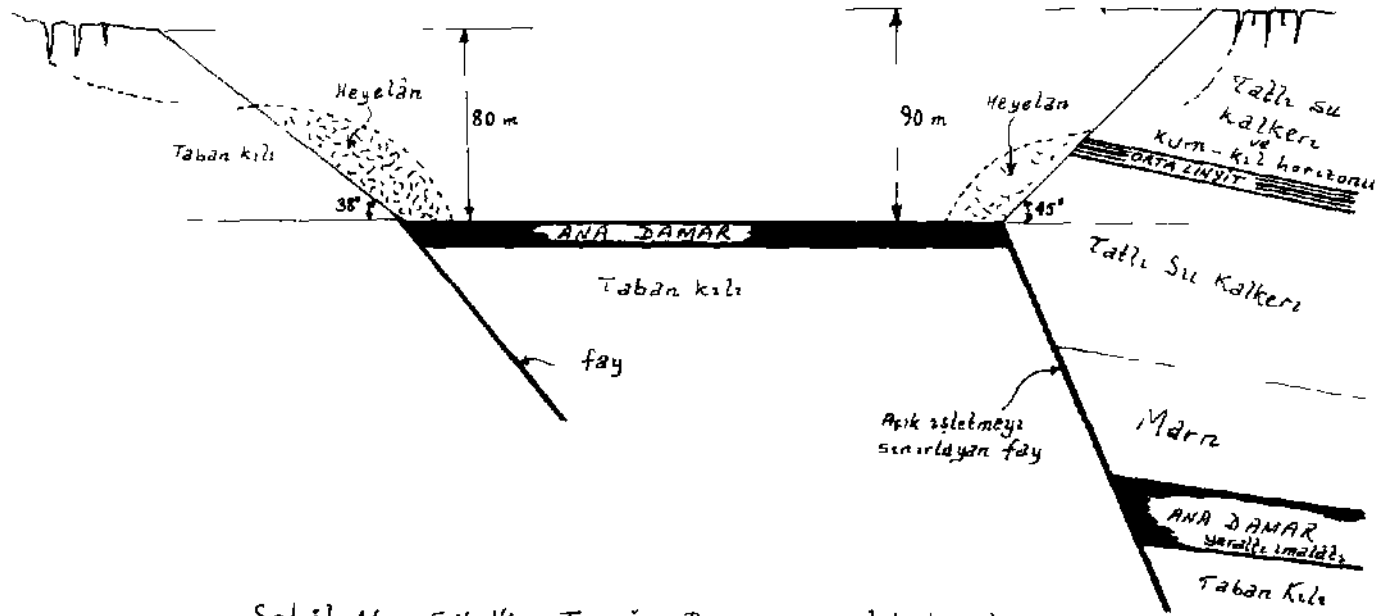
kaymayı önlemese bile heyelanı geciktireceği muhakkaktır. Sharp'a (22) göre 80 m yüksekliğinde, 'ümit denge' açısı 40° olan kuru bir şev, tamamıyla suya 'doymuş' olsaydı eğimi 22° 'ye inecekti (Şekil 10). Açık işletmelerde örtü tabakasını gevşetmek amacıyla atılan lâğımların meydana getirdiği zemin sarsıntısı ve arka kırılmanın asgariye indirilmesi, şevlerin kayması için gerekli ilk hareketi önlemesi bakımından tavsiye edilmektedir (23). Şev üst kısmının kazı yapılarak yükünün hafifletilmesi, şev alt kısmında topuk bırakılması veya yeraltı maden işletmeciliğinde kullanılan tavan civatalarının şev aynasına dik olarak yerleştirilmesi de heyelanı durdurma çareleri olarak düşünülebilir.

Bahsedilen metodların bir veya birkaçının heyelanı önlemesi bakımından etkili olmayacağı kanısına varıldığında, denge bozulmuş bulunan şevin kısmen veya tamamen kaymaya terk edilmesinden başka bir alternatif kalmayabilir. Ancak, yaklaşık kayma tarihinin daha önceden tesbit edilmesi gerek emniyet, gerekse ekonomik yönden çok faydalıdır. Kennedy ve Niermeyer (24), Şili'deki Chuquicamata bakır madeninde böyle bir çalışma yapmışlar ve 12 milyon tonluk bir kütle için kesin kayma tarihini beş hafta öncesinden tahmin edebilmişlerdir. Heyelan neticesi maden makineleri hiçbir hasara uğramadığı gibi, çalışmalar sadece üç günlük bir ara ile tekrar normale dönmüştür.

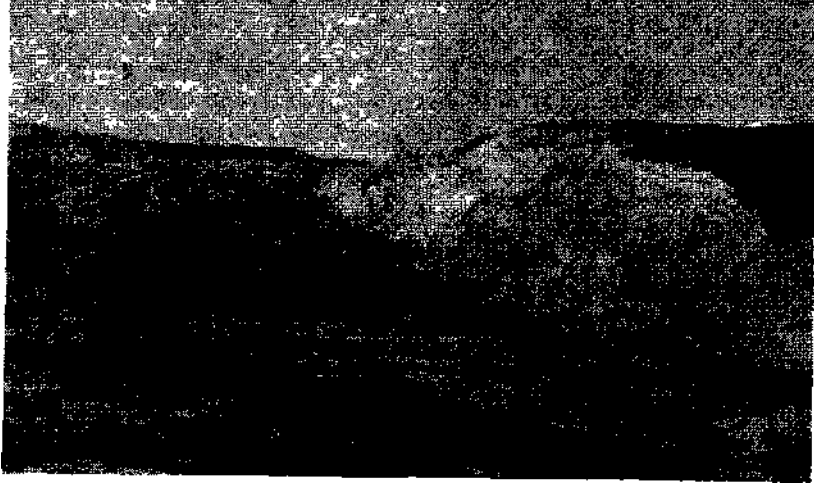
Soma Açık Ocağından Bir Örnek

T.K.İ. Kurumu, Garp Linyitleri İşletmesi Müessesesi'ne bağlı Soma Açık Ocağı'nda çalışılmakta olan 5 No. Vinç Topuğu panosundan çıkarılan kömür, $15-20^\circ$ Ük yatıma sahip olup fotoğraf 3 ve Şekil 11'de görüldüğü gibi sağ ve sol yanlarda mevcut faylarla sınırlandırılmıştır.

Sağ şev hududu 45° 'lik bir açıya göre tesbit edilmiştir. 90 m yüksekliğindeki şev, Miosen kalker, kum - kil ve orta linyit serilerini ihtiva etmektedir. Sağdaki fayla 150 m derine atılmış olan kömür ana damarı yeraltı işletmesi olarak çalışılmaktadır. Yeraltı imalatından meydana gelen zemin hareket-

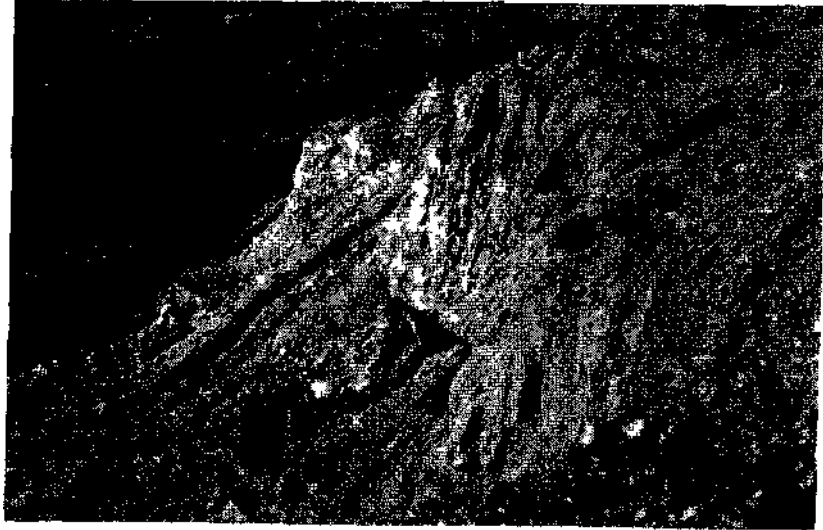


Şekil 11 5 No Vinç Topuğu Panosu şematik kesiti
G L I - SOMA



Fotoğraf 3 — G.L.L Soma Açık Ocağı, S No. Vinç Topuğu panosu.

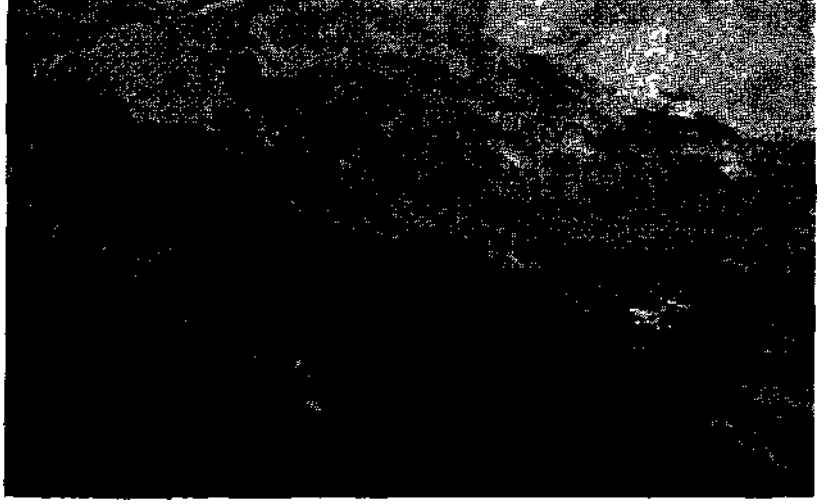
leri ve şev üst kısmında beliren çatlaklara yağın yağmurlardan sonra sızan su, şev dengesini bozmuş ve heyelana sebebiyet vermiştir (Fotoğraf 4). Üzeri kısmen örtülü kömür, şev aynasında bozulan basamakların tekrar düzenlenmesi ve kayan mal-



Fotoğraf 4 — Heyelan (GX.1 - Soma).

zemenin dekapajı yapılmak suretiyle alınmaktadır. Yeraltı imalâtının devam etmesi ve gev üst kısmında yarıkların mevcudiyeti, küçük çapta heyelanların tekrar belirmesi endişesini kuvvetlendirmektedir. Yarıkların açılma mesafeleri ve açılma hızlarının bir an evvel ölçülmesi teşebbüsüne geçilmesi düşünülmektedir.

Genellikle taban kili ihtiva eden sol gev aynası 38°'lik eğime ve 80 m'lik yüksekliğe sahipken, 9 m kalınlığındaki yeni dekapaj diliminin alınması şevde daha önce mevcut kaymayı hızlandırmıştır (Fotoğraf 5 ve 6). Fotoğraf 7'de şev üst kıs-



Fotoğraf 5 — Heyelan (G.L.I. - Soma).

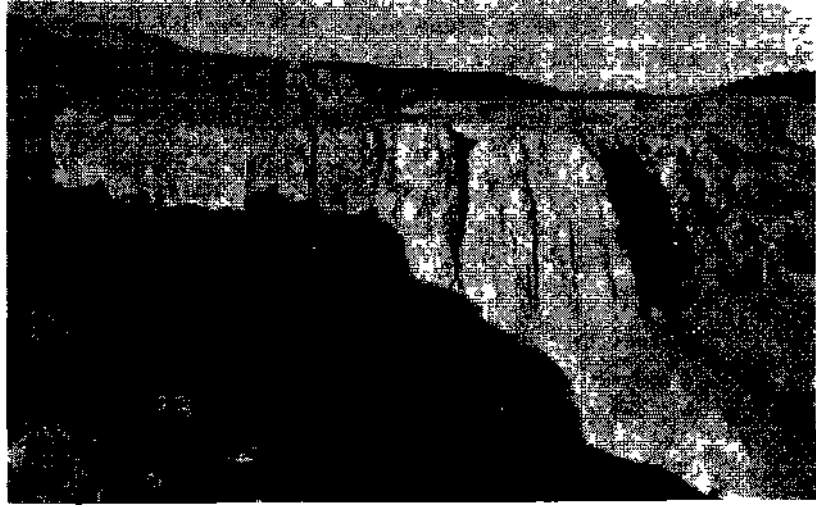
mim teşkil eden Miosen marında açılan "tensional" yarıkları görülmektedir. Müteakip dekapaj dilimleri Üe açılacak kömürün emniyetli bir şekilde alınabilmesi için, kayan malzeme şev aynasında emniyet basamakları yapıldıktan sonra dekapaj döküm sahasına taşınmıştır.

Sonuç

Büyük yatırımlar gerektiren açık işletmecilikte, şev stabilitesi konusunun pratik tecrübeler yanında bilimsel çahşma-



Fotoğraf 6 — Heyelan (G.L.İ. - Soma).



Fotoğraf 7 — "Tensional" yarıklar (G.L.İ. - Soma).

larla değerlendirilmesi artık zorunlu olmuştur. Kaya mekaniği incelemeleri henüz bu konudaki çalışmalara tamamiyle ışık tutabilecek seviyede değilse bile son yıllarda büyük aşamalar kaydettirebilmiştir.

Çeşitli jeolojik ve hidrolojik faktörlerin heyelanlara sebebiyet verebileceği ve bu faktörlerin mümkün olduğu kadar doğru tesbitiyle, gevin genel durumu hakkmda daha emin fikirler yürütülebileceği çoğunlukla kabul edilen bir gerçektir.

Yapılacak bilimsel araştırmalarla katlanılacak masrafları, varılacak sonuçlarla elde edilecek kârların rahatlıkla karşılayabileceği inancı yazarda mevcuttur.

Teşekkür

Açık işletmelerde şev stabilitesi, yazarın İngütere'nin Newcastle upon Tyne Üniversitesi'nde yaptığı "Ä&aster of Science" öğreniminin tez konusunu teşkil etmiştir (24). Yazar, çalışmaları sırasında gösterdiği alâkadan ve konu ile ilgili bazı diya-pozitif resimleri gönderme zahmetine katlanmasından dolayı Londra Üniversitesi, Imperial College'de Kaya Mekaniği Profesörü Sayın E. Hoek'a, Soma Açık işletmesi ile ilgili kısmı gözden geçiren Açık Ocak Bölüm Mühendisi Sayın A. Nafiz Fırat'a ve hesabına öğrenim yaptığı T.K.I. Kurumu'na teşekkürü bir borç sayar.

Bibliyografik Tanıtım

1. ———• (1971); Mining Magazine, Annual Review.
2. Hoek, E. and Boyd, J. M. (1971): "Stability of slopes In Jointed rock". Symp. Rock Mechanics in Highway Construction, University of Newcastle upon Tyne.
3. Patton, P. D. (1966): "Multiple modes of shear failure in rock". Proc. 1st Congr. Int. Soc. Rock Mech. 1, pp. 509-513.
4. Murrell, S. A. F. (1965): "The effect of triaxial stress systems on the strength of rocks at atmospheric temperatures". Geophys. J. 10, pp. 231-281.
5. Jaeger, J. C. (1971): "Friction of rocks and stability of rock slopes". Eleventh Rankine Lecture, Geotechnique, 21, No. 2.

6. Jennings, J. B. and Robertson, A. MacG. (1969): "The stability of slopes cut into natural rock". Proc. 7th Int. Conf. Soil Mech. Found. Engng. Mexico, vol. 2, pp. 585-590.
7. Hoek, E. (1970): "Estimating the stability of excavated slopes in opencast mines". Transactions Institution of Mining and Metallurgy, vol. 79.
8. Terzaghi, K. (1962): "Stability of steep slopes on hard unweathered rock". Geotechnique, 12, pp. 251-269.
9. Rocha, M. (1971): "A method of integral sampling of rock masses". Rock Mechanics, vol. 3/1.
10. John, K. W. (1968): "Graphical stability analysis of slopes in jointed rock". A.S.C.E. Journal of Soil Mech. and Found. Div. 94, SM 2.
11. Zemanck, J. (1968): "The Borehole Televiewer-A new logging concept for fracture location and other types of borehole inspection". Soc. of Petroleum Engineers, Houston, Texas.
12. Brenden, B. B. et al. (1970): "Borehole seismic multiply drill data". Engng. and Mining Journal, No. 2, p. 171.
13. Terzaghi, K. (1936): "The shearing resistance of saturated soils". Proc. 1st Int. Conf. Soil Mech., 1, pp. 54-56.
14. Skempton, A. W. (1960): "Significance of Terzaghi's concept of effective stress". From Theory to Practice in Soil Mechanics, J. Wiley and Sons, New-York, 1960.
15. Bishop, A. W. (1955): "The use of slip circle In the stability of slopes". Geotechnique, vol. 5, pp. 7-17.
16. Janbu, N. (1954): "Application of composite slip circles for stability analysis". Proc. European Conf. on Stability of Earth Slopes, Stockholm, vol. 3, pp. 43-49.
17. Pentz, D. L. (1970): "Methods of evaluation and analysis of stability of rock slopes". Symp. on Stability in Open-pit Mining, Vancouver, British Columbia.
18. Londe, P. (1964): "A three-dimensional method of analysis for rock slopes". Coyne and Bellier Engineers, Paris.
19. Wittke, W. (1965): "Verfahren zur Berechnung der Standsicherheit belasteter und unbelasteter Felsboscungen". Felsmechanik und Ing. Geol., Supplementum U.
20. Atkinson, K. B. and Ross-Brown, D. M. (1972): "Terrestrial pro-grammetry in open-pits". Trans, IMM, vol. 81.

21. Stateham, M R. et al (1971) "Microseismic and displacement investigations m an unstable Slope' USBM, RI 7470.
- 22 Sharp, J C and Hoek, E (1970) "Improving the stability of rock slopes by drainage". Symp on Planning of Open-pit Mines Johannesburg, South Africa
- 23 Ash, R L (1969) "The design of blasting rounds" Surface Mining, SMB of AIME, Chapter 7 3
- 24 Gazanfer, S (1971) "An investigation into the recent developmerts in the study of slope stability in opencast mines" Master of Science Thesis, University of Newcastle upon Tyne, England