

Kaya Şevlerinin Stabilitesi Ve Stereografik İzdüşüm Yöntemi İle Stabilité Analizi

Caner ZANBAK *

ÖZET

Bu makalede açık işletmelerde ve yüksekliği fazla kazılarda, önemli problemlerden biri öten, kaya şevlerinin stabilitesi konusu ve ele alınan kavramlar kısaca özetlenmekte ve kaya şevlerinde, çok görülen bir kayma tipi olan, bir kaya kamasının stereografik izdüşüm yöntemi ile stabilite analizinin esasları bir örnek üzerinde açıklanmaktadır.

SUMMARY

The concept of rock slope stability, which is one of the important problems in the open cast mines and high cuts, is outlined and the principles of stability analysis of wedge type failure by stereographic projection method are described on an example.

1 — GİRİŞ:

Açık işletmelerde ve yüksek şevli karayollarının yapımında, proje safhasında ilk olarak ele alınması gerekli konu olan, ortaya çıkacak şevlerin stabiliteilerinin sağlanması, mühendislik açısından büyük öneme sahiptir. Şevlere verilmesi düşünülen açının artırılması her ne kadar ekonomik yönden istenilir ise de, ortaya çıkabilecek şev bozulmaları nedeni ile uğranılacak maddi ve insan hayatı şeklindeki zararlar, elde edilecek avantajları yok edebilir. Sonuç olarak; mühendisten beklenen, emniyet ile ekonomi arasındaki optimum noktayı yani, şeve verilmesi gerekli optimum eğim açısını bulmak olacaktır.

Şev stabilitesi problemi yer kabuğu üzerinde mühendislik işlemlerinin başlaması ile ortaya çıkmış ve uzun süreden beri üzerinde çalışılmakta olan bir konudur. Önceleri teknik imkânların yetersizliği nedeni ile pek fazla olmayan şev yüksekliklerinin, son zamanlarda, bilhassa metal madenlerde, çok fazla artırılması yoluna gidilmektedir. Az yükseklikli şevlerde meydana gelen bozulmaların genellikle düşük mukavemetli ve zemin olarak adlandırılan malzeme içinde olmaları nedeni ile zemin mekaniği prensipleri, bu sorunu cevaplayabiliyordu ve şev malzemesinin kaya olması halinde az yükseklikli şevlerde bir stabilite problemi bulunmamakta idi. Ancak şev yüksekliklerinin artması nedeni ile kaya şevlerinde de bozulmaların görülmesi zemin mekaniği prensipleri ile açıklanamamaktadır. Bu nedenle kaya şevlerinin stabilitesi

problemi ayrıca incelenmesi gerekli bir konu olmuştur.

Bu makalede kaya şevlerinin stabilitesinde göz önüne alınan ana kavramlar, şevlerin bozulma mekaniğinin esasları ve bozulmaya karşı alınabilecek tedbirler anahtarı ile derlenecek ve stabilite analizi için bir yöntem olarak stereografik izdüşümlerin kullanılışı açıklanacaktır. Makalenin hazırlanmasında yararlanılan kaynaklar referans bölümünde belirtilmiştir.

2 — ŞEV STABİLİTESİ KAVRAMI VE ÖN ÇALIŞMALAR :

Çeşitli mühendislik amaçları için yapılan şevlerin bozulmadan, sağlam olarak kalabilmesi için yapılan her türlü çalışma «Şev Stabilitesi» çalışması olarak adlandırılmaktadır. Bu tip çalışmalar mühendislik açısından iki kısma ayrılabilir.

1 — Şevin stabilitesinin bozulmasının yani kayma ihtimalinin bulunup bulunmadığı,

2 — Belirli bir emniyet faktörünü sağlamak için şev üzerinde yapılabilecek, dengesinin bozulmasını önleyici tedbirlerin alınması.

Birinci kısımdaki çalışmaların esası, kayması mümkün kitle ve civarının jeolojik şartları, topografyası, yeraltı suyu durumu, şevin yapılması esnasında kullanılacak teknik ve bölge sismisitesinin detaylı incelenmesi ve bu araştırmalar sonucu elde edilen sayısal değerleri mekanik açıdan yorumlamaktır.

Şev civarının jeolojik durumu genellikle normal jeolojik araştırmalarda kullanılan ölçeklerden ;ok

* Asistan, Maden Y. Müh.
I.T.Ü. Maden Fakültesi, Tatbiki Jeoloji KBrOsfl.

daha büyük olan 1/1000 lık ölçekli plânlar üzerinde yapılır ve her türlü jeolojik özellik plâna işlenir.

Şevin bulunduğu ortamın kaya olması halinde yüzeyde görülen veya yapılan sondaj ve inceleme çukurlarındaki bütün süreksizliklerin plâna işlenmesi gereklidir. Bu arada süreksizlik aralarındaki dolgu maddelerinin de özellikleri belirlenmeli ve mekanik özellikleri saptanmalıdır.

Ortamın ayırık, zayıf çimentolanmış olması halinde ise, zemin olarak tanımlanan bu malzemeden numuneler alınarak mekanik özellikleri saptanmalıdır.

Bölgenin yeraltı suyu şartları da çevredeki kuyular, kaynaklar veya araştırma sondajları yardımı ile ortaya çıkarılmalıdır.

Şevin açılması esnasında kullanılan teknik veya bölgenin depremselliğine bağlı olarak ortaya çıkabilecek dinamik kuvvet değerleri, yerçekimi ivmesinin bir katsayısı şeklinde statik olarak hesaplanmalıdır.

3 — ŞEV MALZEMESİNİN CİNSİNİN ÖNEMİ :

Herhangibir ortam içinde bir şev açılması halinde ortamdaki gerilme dağılımı ilk durumundan çok farklı olacaktır. Mekanik Prensiplerine göre malzeme özellikleri nedeni ile ortam içinde mevcut bulunan malzeme direnci, ortamdaki gerilmelere üstün olduğu sürece şev bozulmayacaktır. Mühendislik açısından :

$$G_s = \frac{\text{Karşı koyucu kuvvetler}}{\text{Hareket ettirici kuvvetler}}$$

şeklinde bir güvenlik sayısı tanımlanabilir.

Bir şev içindeki hareket ettirici kuvvetler, kayması mümkün kitlenin hacmine bağlı olarak değişir. Buna göre kayması mümkün kitlenin şekli ve dolayısı ile ağırlığı bulunmalıdır.

Bu İşlemin yapılabilmesi için kayabilecek kitlenin özelliklerinin bilinmesi, kaya veya zemin sınırından birine sokulması gereklidir. Zira homoje», sürekli ve çoğunlukla da izotrop kabul edilen zeminlerle, süreksiz bir ortam olan kayaların mekanik özellikleri ve dolayısı ile bunlarda uygulanması düşünülen yöntemler çok farklıdır.

Şev bozulması sırasında malzemenin kendisinin kesildiği düşüncesi ile zemin şevlerine uygulanan metotların kaya şevlerine uygulanması imkânsızdır. Çünkü zemin mekaniği metotları ile 500-600 m. yükseklikte düşey bir kalker şevinin sağlam olarak durabileceğinin hesaplanmasına karşılık, hakikatte böyle bir şevin en İdeal durumda 75-80 m. de bozulduğu görülmektedir.

Bu gibi gözlemler sonucunda kayalar içinde bulunan süreksizlik düzlemlerinin şevlerin stabilitesinde büyük öneminin olduğu ortaya çıkar.

Kaya şevlerinde bozulmalar dalma düzlemsel kayma şeklinde olmaktadır ve kayması mümkün kitle kohezyonunun, süreksizlik yüzeyinin kohezyonu yanında çok yüksek (15-20 misli) olması nedeni ile kayan kitleler rijit olarak gözönüne alınmaktadır.

Bu durumda kaya kitlesini hareket ettirici kuvvet olan kendi ağırlığına karşı, kayma yüzeyi boyunca ortaya çıkan karşı koyucu kuvvetler, çok zayıf olan çatlak kohezyonu ve esas kuvvet olan sürtünme kuvvetleridir. Buna göre kayması mümkün kitlenin* kaya olması halinde yapılacak en önemli çalışmalardan biri, süreksizlik yüzeylerinin kohezyon ve sürtünme katsayılarının saptanmasıdır. Bu özellikler kesme kutusu kullanılarak tespit edilebilir.

4 — KAYA ŞEVLERİNİN STABİLİTE ANALİZİ :

4.1 — İki Boyutlu Analiz :

Süreksizliklerle sınırlanan bir kaya bloğunu kaymaya karşı tutucu kuvvetlerin Coulomb bağıntısından :

$$T = C + (\sigma - U) \text{tg} \theta$$

olduğu bilinmektedir. Burada :

T : Bloğun kayma direnci

C : Süreksizlik yüzeyinin kohezyonu -

σ : Süreksizlik yüzeyine uygulanan normal gerilme

U : Süreksizlik yüzeyindeki çatlak suyu basıncı

θ : Süreksizlik yüzeyinin sürtünme açısı

Bu denklemdeki çatlak suyu basıncı yeraltı su seviyesine bağlı olarak değişmekte ve piezometreler yardımı ile ölçülebilmektedir.

Bu bilgilere göre, içi su dolu bir açık çatlak bulunan eğik bir süreksizlik yüzü üzerindeki bir kaya bloğuna etkiyen kuvvetler, limit denge halinde :

$$W \sin \alpha + U_2 = C + (W \cos \alpha - U_1) \text{tg} \theta$$

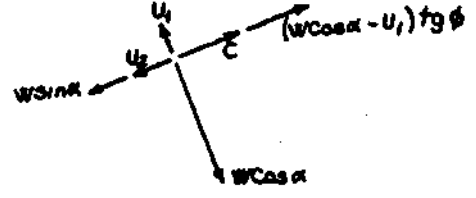
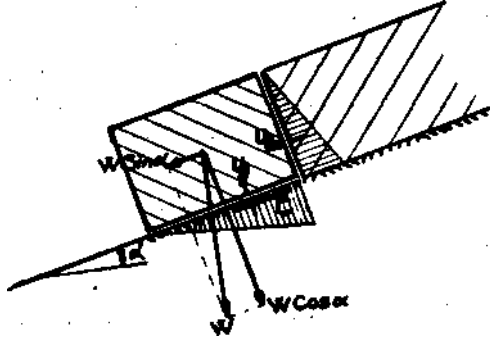
U₁ : Süreksizlik yüzeyi üzerindeki çatlak suyu basıncı,

U₂ : Açık çatlaktaki çatlak suyu basıncı, olarak bulunabilir (Şekil 1).

Bu eşitlikten güvenlik sayısı tanımı :

$$G_s = \frac{C + (W \cos \alpha - U_1) \text{tg} \theta}{W \sin \alpha + U_2} = t$$

şeklinde yapılabilir.



Şekil 1
Eğik bir süreksizlik yüzeyi üzerindeki bir
kaya bloğuna etkiyen kuvvetler.

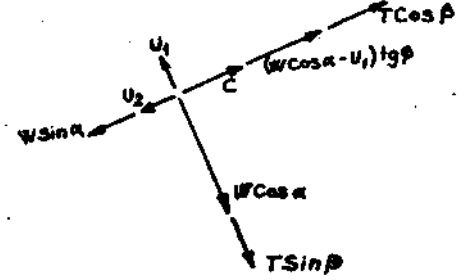
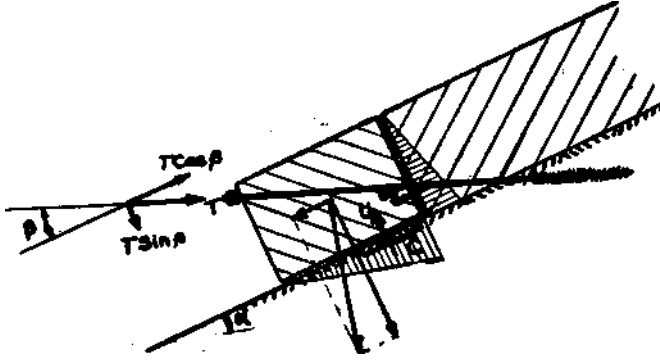
Stabilitesi kritik durumda olan blokların sağlamlaştırılması için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Böyle bir durumdaki bir bloğun güvenlik sayısını arttırmak için bu yöntemlerden biri olan kaya civatası kullanılması halinde, kuvvetler dengesi tutucu kuvvetler tarafında artacak şekilde değişir (Şekil 2).

$$C + (W \cos \alpha - U_1 + T \sin \alpha) \operatorname{tg} \phi$$

$$W \sin \alpha + U_1 - t \cos \alpha$$

dir.

Kaya blokları düzlemsel olarak kayabildikleri gibi, ağırlık merkezleri taban yüzeyleri dışına çıktığı anda devrilmeye uğurlar (Şekil 3).



Şekil 2
Bir kaya civatası ile ana kayaya bağlanan bir
kaya bloğuna etkiyen kuvvetler

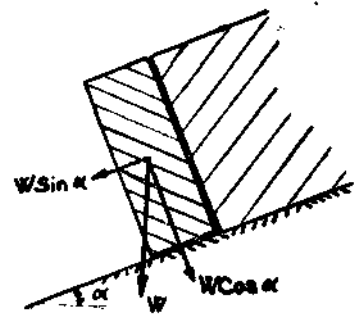
Limit Denge Halinde :

$$W \cdot \sin \alpha + U_2 = C + T \cdot \cos \beta + (W \cdot \cos \alpha - U_1 + T \cdot \sin \alpha) \operatorname{tg} \phi$$

T : Kaya civatasının uyguladığı normal kuvvet. Pasif kaya civatası halinde :

$$G_s = \frac{C + T \cos \beta + (W \cos \alpha - U_1 + T \sin \alpha) \operatorname{tg} \phi}{W \sin \alpha + U_2}$$

ön gerilmeli kaya civatası halinde :



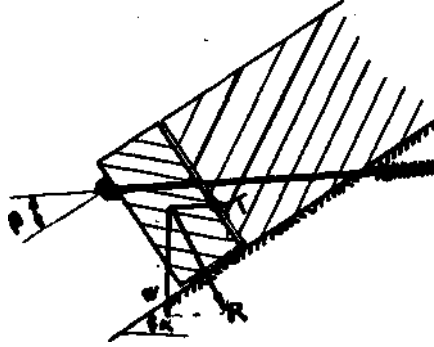
Şekil 3
Devrilme durumundaki bir kaya bloğu.

Böyle durumlardaki kaya bloklarında düzlemsel kayma kavramı artık geçerli değildir. Güvenlik sayısı hesaplanması :

$$Q_s = \frac{b}{h \cdot \text{tga}}$$

şeklindedir.

Devrilmenin önlenmesi de kaya cıvataları ile yapılabilir (Şekil 4).



Şekil 4

Devrilme durumundaki bir kaya bloğunun kaya cıvatası ile sağlamlaştırılması.

R bileşkesi bloğun taban alanı içine yönelmiş ve stabilite sağlamıştır.

4.2 — Oç Boyutlu Analiz

Kaya şevlerinde kaya bloklarının bir düzlem üzerinde kayması düşüncesi her ne kadar elemente r ise de doğada çeşitli yönelimli süreksizliklerin birbirini kesmesi sonucu iki veya daha fazla yüzeyle sınırlanmış kaya kama (biok) lârının meydana geldiği görülmekte ve bunların stabilites) mühendislik işlerinde daha çok söz konusu olan durumlardır. Böyle durumlarda kaya kamasının kayabilmesi, bir düzlem üzerinde değil, iki düzlem üzerinde ve hareketi iki düzlemin arakesiti doğrultusunda olabilecektir, iki düzlemlle sınırlanmış bir kaya kaması iki düzlem ile de temas halinde ise kayma ancak arakesit doğrusu boyunca olabilir ve bu doğrunun eğimi, şev eğiminden daha az ise olay meydana gelebilir.

Kaya kamasının hareketi halinde, karşı koyucu kuvvetler iki düzlem üzerinde etkiyecekler ve dolayısı ile problem bir boyut daha kazanacaktır. Bu nedenle bu tip problemlerin çözümü, düzlem kayma halindeklere göre, daha karmaşık olacaktır.

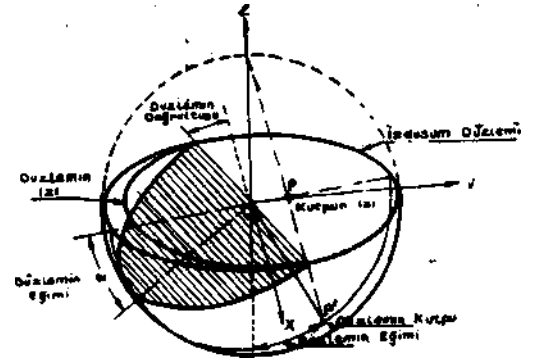
Kaya kamasına etkiyen kuvvetlerin üç boyutta analizi için vektörel analiz metotları kullanılabilir. Ancak yapısal jeolojide kullanılan stereografik izdüşüm yöntemi de düzlemler ve doğrular arasındaki açısal bağıntıların incelenmesini sağladığından dolayı, şevlerdeki kaya kamalarının stabilite analizleri için kullanılmaktadır.

5 — STEREOGRAFİK İZDÜŞÜM YÖNTEMİNİN ESASLARI :

Stereografik izdüşüm yöntemleri kullanılarak stabilite analizi yapılmasına geçmeden önce, izdüşümler hakkında bazı önbilgilerin verilmesinde yarar görmekteyiz.

Izdüşümü elde edilmek istenen doğru veya düzlem bir x-y-z ortogonal referans sisteminin orjinine yerleştirilir. Bu orjin etrafında varlığı düşünülen R yarıçaplı bir küre ile bu düzlem veya doğruların arakesitlerinin x-y düzlemi üzerine, Şekil 5'deki yöntemle izdüşürülmesi sonucunda düzlem veya doğruların stereografik izdüşümleri elde edilir.

Düzlem veya doğruların izdüşümlerinin alt yarı küredeki parçalarının kullanılması halinde izdüşüm; «Alt Yan Küre izdüşümü», üst yarı küredeki parçaların kullanılması halinde «üst Yan Küre izdüşümü» şeklinde adlandırılmaktadır.

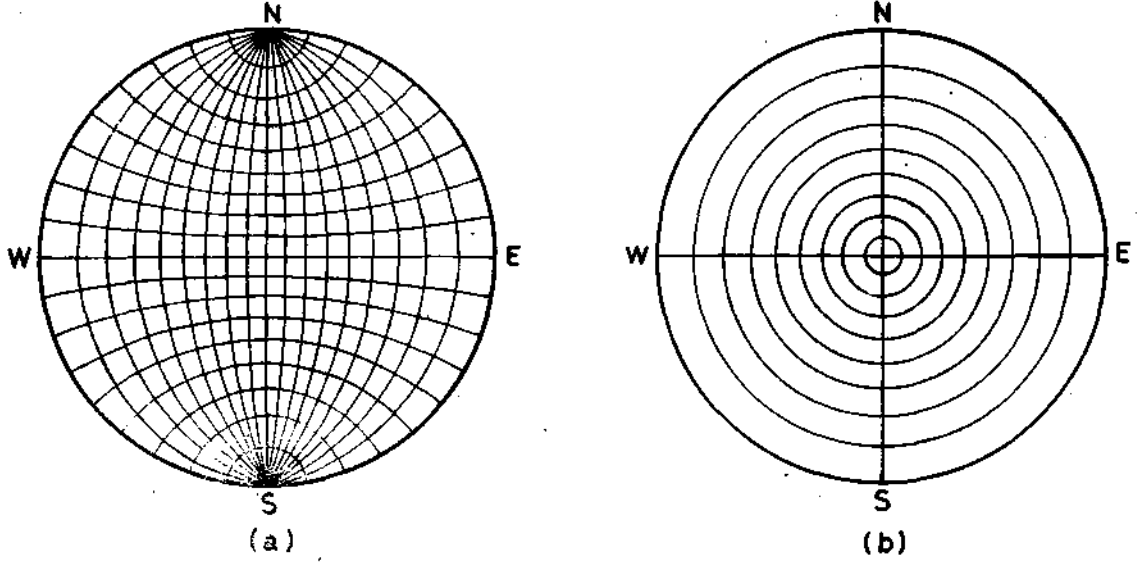


Şekil 5

Stereografik izdüşüm yöntemi ile bir düzlemin büyük daire ve kutpunun elde edilmesi.

Herhangibir eğimli bir düzlemin stereografik izdüşümünün elde edilmesi için bu izdüşüm sisteminin tarifinden giderek çizim yapmanın pratik olmaması nedeni ile yataydan 2° lik eğim farkı ile mümkün bütün düzlemlerin izdüşümleri bir şablon şeklinde hazırlanmıştır. (Eş-açı Meridyenel Ağı, Wulf Ağı, (Şekil 6.a).

Aynı şekilde Z eksenini etrafında yatay düzlem ile 2°'şer derecelik farklı açı doğruların geometrik yerleri olan dönel konilerin x-y düzlemi üzerindeki izdüşümleri şablon halinde hazırlanmıştır (Eş-Açı Ekvatorial Ağı, Şekil 6b).



Şekil 6
Meridyenel (a) ve Ekvatorial (b) eş-açı ağları
(Eğim aralıkları 10°)

üç boyutlu bir ortamdaki düzlem ve doğruları ve aralarındaki açısal bağıntılar! iki boyutlu bir ortam olan çizim düzlemi içinde belirlemek için gerekli ön bilgiler hatırlamayı sağlamak için, şöylece özetlenebilirler :

- Bir düzlemin «Büyük Dairesi ve Kutbu»,
- İki doğrultu arasındaki «Açı»,
- iki düzlemin «Arakesit Doğrultusu»,

Çalışmaların istatistiksel açıdan değerlendirilmesi halinde eş-alan meridyenel ağı, sadece düzlem ve doğrular arasındaki açısal bağıntıların incelenmesi halinde ise eş-alan veya eş-açı meridyenel ağları kullanılabilir. İstatistiksel değerlendirmelerin gereksiz olması hallerinde eş-açı ağlarının kullanılması, çizim kolaylıkları nedeni ile tercih edilmektedir.

üç boyutta yönelmiş olan Süreksizlik Düzlemleri, düzlemin doğrultu ve eğimi ile tanımlanmaktadır. Düzlemlerin bu yönelimleri jeolog pusulası ile ölçülebilmektedir.

Şev stabilitesi problemlerinde düzlemler, yapısal jeoloji problemlerinde olduğu gibi, alt yarı küre izdüşümleri ile belirtilirler. Bu kabulden sonra yukarıda belirtilen üç ön bilginin tanımlaması aşağıdaki şekilde yapılabilir.

a) Bir düzlemi, Büyük Dairesi ve Kutbu ile belirlemek için, bir eş - açı meridyenel ağı üzerine bir saydam çizim kâğıdı yerleştirilir ve ağın merkezinden bu kâğıt iğneyle tutturulur. Çizim kâğıdı

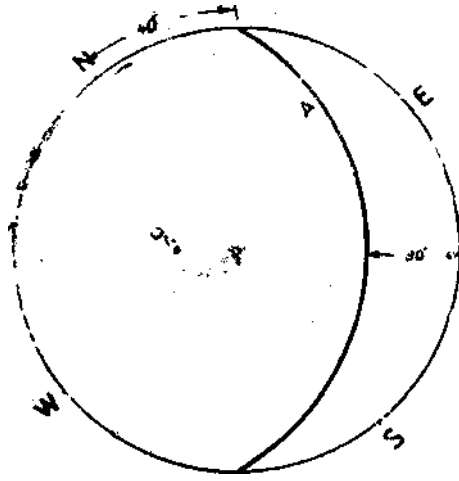
üzerine alttaki ağın dış dairesi çizilir ve kuzey noktası işaretlenir.

Doğrultusu ve eğimi bilinen düzlemin doğrultu açısı kadar açı E veya W ya doğru dış daire üzerinde işaretlenir. Daha sonra çizim kâğıdı üzerindeki bir işaret, kâğıt döndürülmek sureti ile ağın N noktasına getirilir ve eğim yönüne bağlı olarak (Doğrultu N.....E şeklinde ise SE veya NW, doğrultu N.....W şeklinde ise SW veya NE) uygun kadran içinde ve eğim değerine bağlı olarak alttaki ağ üzerindeki büyük dairelerden biri çizim kâğıdına kopya edilir. Stereo-ağ üzerinde «büyük dairelerin eğim dereceleri», dış daireden merkeze doğru gelindikçe artmaktadır.

Bu düzlemin kutbunu işaretlemek için çizilen bu büyük dairenin kirişine dik ve kirişin dış tarafındaki doğru üzerinde düzlemin eğim derecesine bağlı olan nokta işaretlenir. Stereo-ağ üzerinde düzlemlerin kutuplarının eğim dereceleri merkezden dışa doğru artmaktadır.

Şekil 7. de N 40 E, 30 SE yönelimli bir düzlemin büyük daire ve kutbunu göstermektedir.

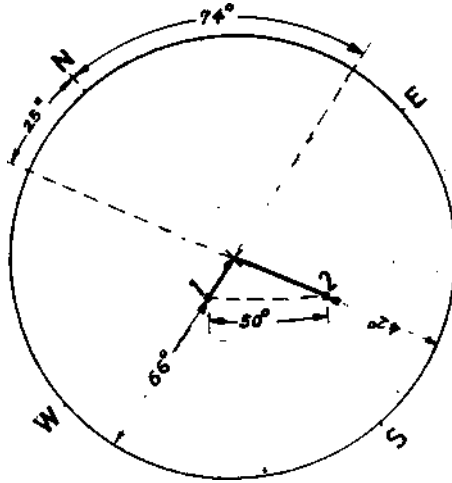
b) İki doğru arasındaki açıyı bulabilmek için bu iki doğrunun bir düzlem içinde bulunmaları gerekir. Bu nedenle stereo - ağ üzerinde doğruların izleri olan noktalar merkezle birleştirilir ve çizim kâğıdı, iki nokta ağ üzerindeki herhangi bir büyük dairenin üzerine gelinceye kadar döndürülür. İki noktanın bir büyük daire üzerinde bulunması iki doğrunun aynı düzlem içinde bulunması demektir.



Şekil 7
N 40 E, 30 SE yönelimli bir düzlemin büyük daire ve kutpu.

Bu büyük daire üzerinde iki nokta arasındaki açı değeri, sayılarak elde edilir.

Şekil 8'de N 74 E, 66 SW ve N 25 W, 42 SE yönelimli doğruların arasındaki açının 50° olduğu görülmektedir.

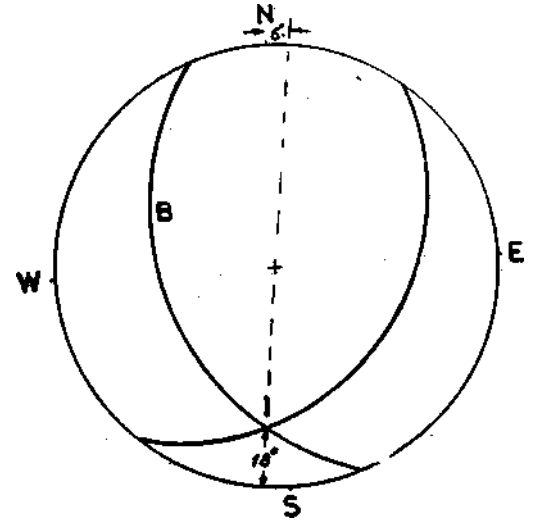


Şekli 8
N 74 E, 66 SW ve N 25 W, 42 SE yönelimli doğrular arasındaki açı.

c) iki düzlemin arakesit doğrusunun, doğrultu ve eğimini bulmak için iki düzlemin büyük daireleri daha önce belirtildiği gibi çizilir. Çizim kâ-

ğıdı üzerinde kesiştikleri nokta merkeze birleştirilir ve uzatılır, çizim kâğıdının ilk önce çizilen N işareti stereo-ağın N ile çakıştırıldıktan sonra bu çizilen doğrunun doğrultusu N den itibaren ilk çizilen daire üzerinden sayılarak bulunur. Çizilen bu doğru, stereo-ağın E-W eksenine çakıştırıldıktan sonra, noktanın eğim derecesi alttaki ağ üzerinden okunur. Arakesit doğrularının eğim dereceleri ilk daireden merkeze doğru artmaktadır.

Şekil 9'da N 40 E, 30 SE ve N 20 W, 35 SW yönelimli sırası ile A ve B, düzlemlerinin arakesit doğrusunun doğrultu ve eğiminin bulunmasını göstermektedir. Buna göre arakesit doğrusunun yönelimi N 6 E, 18 SW dir.

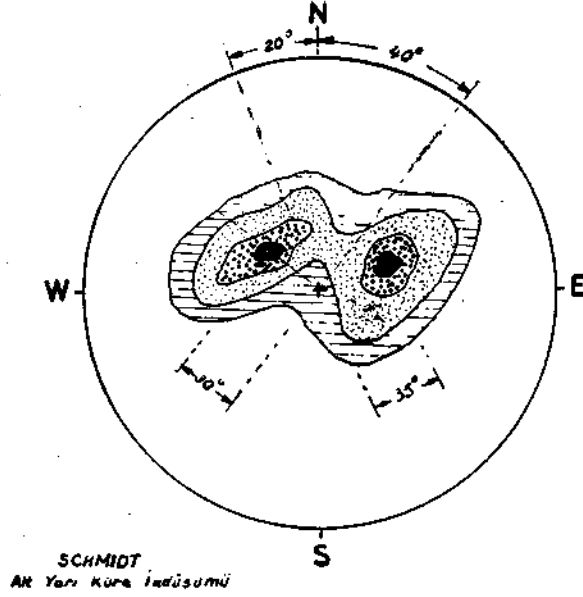


Şekil 9
N 40 E, 30 SE ve N 20 W, 35 SW yönelimli düzlemlerin arakesitinin doğrultu ve eğimi.

6 — STEREOGRAFIK İZDÜŞÜM YÖNTEMİ İLE STABİLİTE ANALİZİ :

6.1 — Stabilité Analizinde Kullanılacak Süreksizlik Düzlemlerinin Seçimi :

Şev stabilitesi analizi yapılacak bir bölgedeki süreksizliklerin stereo-ağ üzerine işlenmesi, süreksizlik sayısının 10 dan az olması halinde, büyük dairelerin çizilmesi ile yapılabilir. Ancak daha fazla sayıda süreksizlik yönelimi ölçülmesi halinde, bu sahada hakim süreksizlik yönelimlerini elde etmek için çok sayıda büyük daire çizimi çok karmaşık bir durum ortaya çıkarır. Bu nedenle 10 dan fazla süreksizlikler stereo-ağ üzerinde kutupları ile belirtilirler. Ancak yapılacak işlem bir istatistiksel değerlendirme olacağından, sonuçlarda hata miktarını azaltmak için eş-alan (Lambert-Schmidt) ağlarını kullanmak gereklidir.



Hakim süreksizlik yönelimleri :

- A. N40E, 30 SE
B. N20W, 35 SW

■	% 10	Süreksizlik
▨	% 6	.
▩	% 4	.
▧	% 2	.
□	>% 2	.

Şekil 10

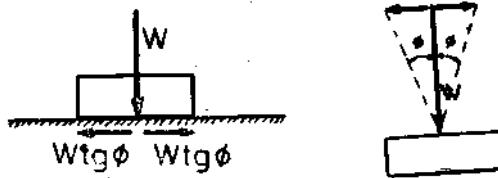
Bir bölgedeki hakim süreksizlik yönelimlerinin bulunması.

Bölgede yapılan çok sayıda süreksizlik yönelimi ölçmelerinin bir eş-alan ağına yerleştirilmesi ve yapılan belirli bir istatistik değerlendirme sonucu, bölgedeki süreksizlik yönelimlerinin sıklık dağılımları bir kontur diagramı şeklinde elde edilir. Bu diagramdan maksimum sıklıktaki yönelimler, hakim süreksizlik yönelimleri olarak adlandırılırlar ve stabilite analizinde kullanılacak düzlemleri belirlerler (Şekil 10).

Bu süreksizlik düzlemlerinin kaya şevlerinin stabilitesi açısından gerekli mekanik özellikleri; kohezyonları ve sürtünme katsayılarıdır. Bu özellikler araziden alınan süreksizlik ihtiva eden numunelerin kesme deneyleri sonucunda saptanabilirler.

6.2 — Sürtünme Konisi Kavramı :

Yatay bir düzlem üzerinde W ağırlığındaki bir bloğu düzleme paralel bir doğrultuda kaydırabilmek için gerekli kuvvetin iki yüzey arasındaki kohezyon ve sürtünme kuvvetini aşması gerekir. İki yüzey arasındaki kohezyonun sıfır olduğu kabul edilirse kayma için gerekli kuvvet $W \tan \theta$ olmalıdır. (Şekil 11).

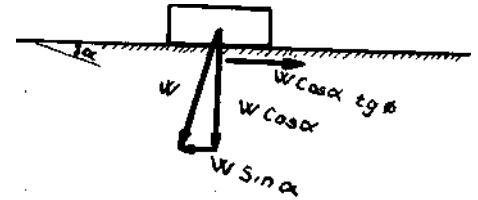


Şekil 11

Sürtünme konisi kavramı.

Buna göre blok üzerine etkiyecek kuvvetlerin bloğu kaydırabilmesi için yatay bileşenlerinin $W \tan \theta$ den büyük olmaları gerekecektir. Eğer blok üzerine etkileyecek kuvvetler blok ağırlığı cinsinden ifade edilebilirse, düzlem normali ile sürtünme açısı kadar açı yapan kuvvetler, bloğu limit denge durumuna sokarlar. Bu açının büyümesi halinde blok kaymaya başlar. Yüzey üzerindeki sürtünme katsayısının homojen olduğu kabul edilirse, bu limit denge durumu üç boyutta normal ile 0 açısı yapan bir koni kavramı ortaya çıkarır. Bu koni «Sürtünme Konisi» olarak adlandırılmaktadır.

Blok üzerine etkiyen kuvvetler, bloğun eğimli bir düzlem üzerinde bulunması nedeni ile, kendi ağırlığı altında oluşuyor ise blok limit denge durumuna :



Şekil 12

Kendi ağırlığı altında, eğik bir düzlem üzerindeki bir bloğa etkiyen kuvvetler.

$$W \sin \alpha = W \cos \alpha \cdot \tan \theta$$

$$\tan \alpha = \tan \theta$$

$\alpha = 0$ halinde girer. (Şekil 12).

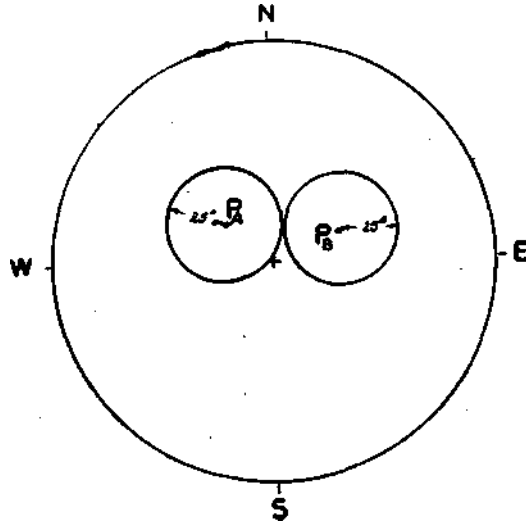
Birbiri ile belirli bir açı yapan iki süreksizlik düzlemi tarafından oluşturulmuş bir kaya kamasının kayma mekaniği üç boyutlu olarak incelenildiğinden, sürtünme konisi kavramının stereografik izdüşüm yönetiminde kullanılması gerekecektir.

Sürtünme konisi, bir düzlemin normali ile 0 açısı yapan, bir dönel koni olduğuna göre, bu koninin eş-açı izdüşümü de düzlemin kutbu etrafında 25° lik açı uzunluğu yarı çapında bir daire olacaktır. Ancak bu dairenin merkezi, izdüşüm yönteminin özelliklerinden dolayı düzlemin kutpu değildir, (düzlemin yatay olması durumu hariç).

Burada, bir koninin izdüşümünün elde edilmesinin kısaca açıklanması gerekir.

Bu işlem için yönelimi belirtilen düzlemin büyük dairesi ve kutpunun izi çizim kâğıdına yerleştirilir. Daha sonra çizim kâğıdı, kutup stereo-ağın E-W doğrultusu üzerine gelecek şekilde döndürülür. Kutuptan itibaren E-W doğrultusunda iki taraftan 0 açısı kadar aralık sayılır ve noktalar işaretlenir. Aynı şekilde kutuptan geçen büyük daire üzerinde iki tarafta 0 açısı kadar aralık sayılır ve noktalar işaretlenir. Elde edilen bu noktalardan geçen daire pergel ile çizilir.

Şekil 13 de N 40 E, 30 SE ve N 20 W, 35 SW yönelimli iki düzlemin 25° ilk sürtünme konilerinin izdüşümleri görülmektedir.



Şekil 13

N 40 E, 30 SE ve N 20 W, 35 SW yönelimli iki düzlemin 25° lik sürtünme konileri.

6.3 — Stereografik İzdüşüm Yöntemi İle Stabilité Analizi İçin Kabuller:

Kaya şevlerinin stabilité analizlerinin stereografik izdüşüm metodu ile yapılması için bir takım

öncabuller yapılmaktadır. Bunlar şöylece sıralanabilirler :

1 — Şevin stabilitesi kaya içindeki süreksizlikler arasındaki blokların herbirinin stabilitesine bağlıdır.

2 — Süreksizlikler arasında kalan bloklar rijittir.

3 — Düzlemsel jeolojik süreksizlikler Coulomb kesme direncine sahiptirler (c, 0).

4 — Süreksizliklerde su basıncı olmaması halinde etkin sürtünme açıları :

$$\begin{aligned} \text{tg } 0_a &= \frac{R \text{ sürtünme} + R \text{ kohezyon}}{N} \\ &= \text{tg } 0 + \frac{C.A}{W \cdot \text{Cos } \alpha} \end{aligned}$$

olarak tariflenmektedir. Ancak, kohezyonun hesaba katılmaması, emniyetli tarafta hata verecektir.

5 — Blokların hareketi (yani stabilitenin bozulması) süreksizlik düzlemleri üzerinde veya bunların arakesitleri doğrultusunda olmaktadır.

6 — Bloklar üzerine etkileyerek hareket etmelerine sebep olabilecek kuvvetler :

a) Kaya bloğunun ağırlığı ve varsa blok üzerindeki yapının ağırlığı (düşey), W.

b) Herhangibir yapının (örneğin bir baraj aksının) blok üzerindeki etkisinin bileşke kuvveti, (herhangibir yönlü), P.

c) Bloğun yüzeylerine etkileyen su etkileri, (herhangibir yönlü), U.

d) Sismik şoklara eşdeğer statik kuvvet, (yatay veya düşey), S.

e) Stabilitéyi sağlamak için alınacak çare dolayısı ile bloğa uygulanacak kuvvet, (Herhangibir yönlü), T.

7 — Bütün bu kuvvetler bloğun ağırlık merkezinde etkili olurlar.

8 — Kaya kamasının güvenlik sayısı; kamanın etkin sürtünme açısının, kama üzerine etkileyen kuvvetlerin bileşkesinin arakesit normali ile yaptığı açının, tanjantlarının oranı olarak tariflenmiştir.

6.4 — Örnek Uygulama :

Bu ön bilgi ve öncabullerden sonra, bir örnek üzerinde bir kaya kamasının stabilité analizi stereografik izdüşüm yöntemi ile aşağıdaki şekilde yapılmıştır.

Kaya kamasının daha önceki örneklerde kullanılan N 40 E, 30 SE ve N 20 W, 35 SW yönelimli A ve B süreksizlikleri tarafından oluşturulduğu ve bu süreksizliklerin sürtünme açılarının 25° oldukları ve kohezyonlarının sıfır olduğu gözönüne alınsın ve bu kaya kamasının emniyet faktörü bilinmek istensin.

Böyle bir kamada, yüzeyler boyunca etkiyen kuvvetler şekil 14'de toplu halde görülmektedir. Bu şekildeki kuvvetler :

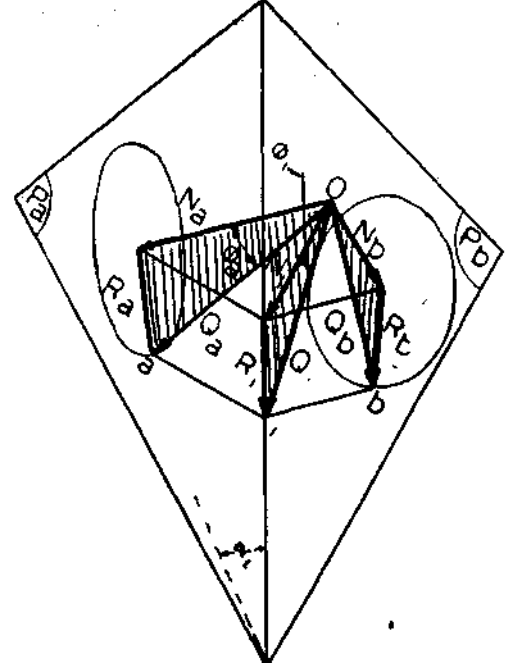
N : Yüzeylere etkili olan normal kuvvetler,

R : Yüzeyler boyunca etkili olan sürtünme kuvvetleri,

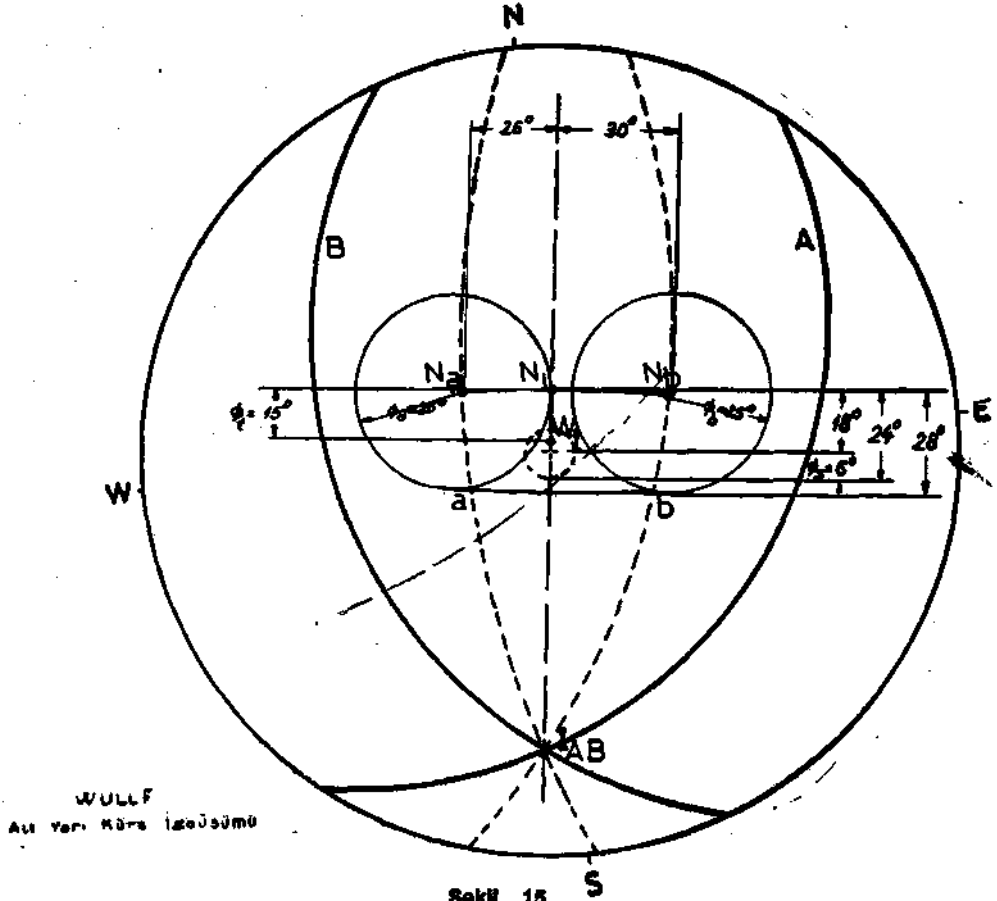
Q : Sürtünme kuvvetlerini yenmeğe çalışan hareket ettirici kuvvetlerdir.

Analizin bundan sonraki kısmında yapılan çalışmalar, bu kuvvetleri uygun düzlemler içine sokarak aralarındaki açıları bulmak ve hareket ettirici kuvvetler bileşkesinin sürtünme konilerinin içinde kalıp kalmadığını incelemek olacaktır.

Analizin ilk adımı olarak A ve B düzlemleri çizim kâğıdında büyük daire ve kutupları ile be-



Şekil 14
Bir kaya kamasında etkin kuvvetler.

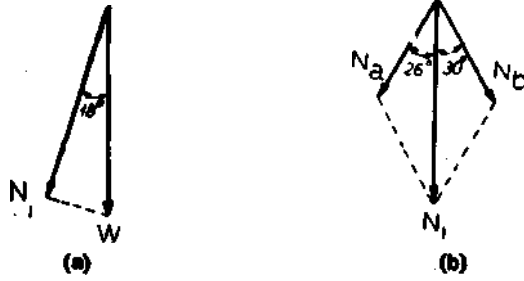


Şekil 15
Şekli 15

25°'lik sürtünme açılı N 40 E, 30 SE ve N 20 W, 35 SW yönelimli düzlemlerle sınırlı bir kaya kamasının stabilite analizi.

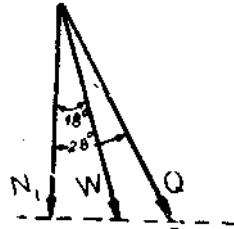
lirlenecektir. Daha sonra kutuplar etrafındaki sürtünme konilerinin izleri ve arakesit doğrultusu çizilecektir (Şekil 15).

Şekil 14 de N_a , N_i ve N_b normal kuvvetlerinin bir düzlem içinde oldukları görülmektedir. Bu nedenle çizim kâğıdı döndürülmek sureti ile N_a ve N_b noktaları uygun bir büyük daire üzerine getirilir ve bu büyük daire çizim kâğıdına çizilir. Bu büyük dairenin arakesit doğrultusu ile kesim noktası arakesite dik normal kuvvetin yönelimini belirler. N_a , N_i ve N_b nin üzerinde bulunduğu büyük daire üzerinden N_a ile N_i ve N_i ile N_b arasındaki açılar 26° ve 30° olarak bulunabilir (Şekil 15). Aynı şekilde N_i kuvveti W ağırlığı ile birlikte özel bir büyük daire olan arakesit doğrultusundan geçen bir büyük daire üzerinde bulunur. Düşey olduğu için ağırlık merkezinde bulunan W kuvveti ile N_i arasındaki açı da ağırlık üzerinden 18° olarak okunur. Elde edilen açılardan Şekil 16 a ve b deki vektör diagramları hazırlanabilir.



Şekil 16
Stabilite analiz! İçin vektör diagramları.

Sürtünme kuvvetlerinin doğrultusu arakesit doğrultusuna paralel ve normal kuvvetlerle aynı düzlem içinde olacağından dolayı; N_a ve N_b kuvvetlerinin izlerinin, arakesit doğrultusunun izinin içinde buldukları büyük daireler, çizim kâğıdına kopya edilir (Şekil 15 kesikli çizgiler). Bu büyük dairelerin sürtünme konileri ile kesim noktaları olan a, b elde edilir, a ve b noktalarının belirlediği Q_a ve Q_b vektörleri aynı düzlem içinde olduklarından dolayı a, b noktalarından geçen büyük daireler de çizilir. Q_a ve Q_b vektörlerinin düzleminde bulunan,



Şekil 17
Stabilite analizi için vektör diagramı.

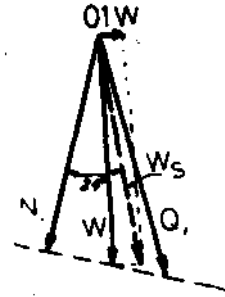
arakesit üzerindeki Q_s vektörünün izi de bu arada elde edilir. Q_s vektörü ile N_i vektörü aynı düzlem içinde olduklarından dolayı ikisi arasındaki açı: 28° olarak bulunur (Şekil 17). Bir düzlem üzerinde kaymaya karşı 25° olan sürtünme açısının böyle bir sistem halinde etkin değerinin 28° çıktığı açıkça görülmektedir (Şekil 15).

Kamayı hareket ettirici kuvvet olan W vektörü sistemin sürtünme bölgesi içinde kalmaktadır ve bu durumda kamanın kayma ihtimali yoktur ve güvenlik sayısı:

$$G_s = \frac{\text{tg } 28^\circ}{\text{tg } 18^\circ} = \frac{0.532}{0.325} = 1.61$$

dir.

Bu şevin bulunduğu bölgenin depremselliği gözönüne alındığında, bulunan güvenlik sayısı önemli ölçüde azalacaktır, örnek olarak bu şevin 0.1 g lik yanal ivmeli bir sarsıntı etkisi altında kalacağı gözönüne alınsın. Bütün vektörler gravite kuvvetinin bir katsayısı olarak ele alındıklarından, bu vektörün şiddeti 0.1 olarak değerlendirilir. Sarsıntının her yönden gelebileceği düşünülduğünden dolayı 0.1 g lik vektör ağırlık merkezi etrafında $\text{tg } \theta_s = 0.1$ ($\theta_s = 6^\circ$) olan bir koninin tabanında bulunacak şekilde ağırlık üzerine yerleştirilir. En tehlikeli sarsıntı yönü arakesit doğrultusu olması nedeni ile bu doğrultudan geçen bir düzlem içindeki vektörlerin durumu:



Şekil 18
Yanal ivme etkisi altındaki kaya kaması için vektör diagramı.

Şekil 18 deki gibi olacak ve bu durumda güvenlik sayısı:

$$G_s = \frac{\text{tg } 28^\circ}{\text{tg } 24^\circ} = 1.19$$

a inecektir (Şekil 18).

Uzun süreli şevlerde emniyet katsayısının 1.5 olması istediğinden güvenlik sayısını arttırmak için bir takım tedbirlerin alınması gerektiği anlaşılacaktır.

Bu tip tedbirlerden biri olarak bilinen ve sadece tek doğrultuda yük taşıyan kaya civatası kullanılması halinde, bu tedbir ile bloğa uygulanacak kuvvet de bir vektör şeklinde gösterilebilir ve bu vektörün izi stereo-ağ yardımı ile gizim kâğıdına taşınabilir (Şekil 15, W_1).

0.1 g yanal deprem ivmesi etkisi altında emniyet faktörü 1.2'e düşen bu şevin emniyet faktörünü 2.0'ye çıkarmak için gerekli kaya civatasının yöneliminin bulunması aşağıdaki işlemlerle yapılabilir.

Kaya civatası tarafından sağlanacak kuvvet W ile belirtilirse, deprem halinde bloğa etkiyen kuvvetler dengesinden (Şekil 19) güvenlik sayısı :

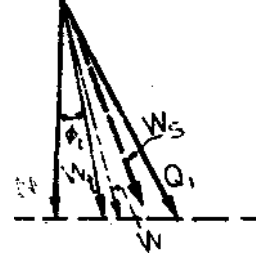
$$2 = \frac{W}{W_s} \cdot \frac{1}{\sin \phi} \cdot \cos \alpha$$

olacak ve bu eşitlikten :

$$\phi = 15^\circ$$

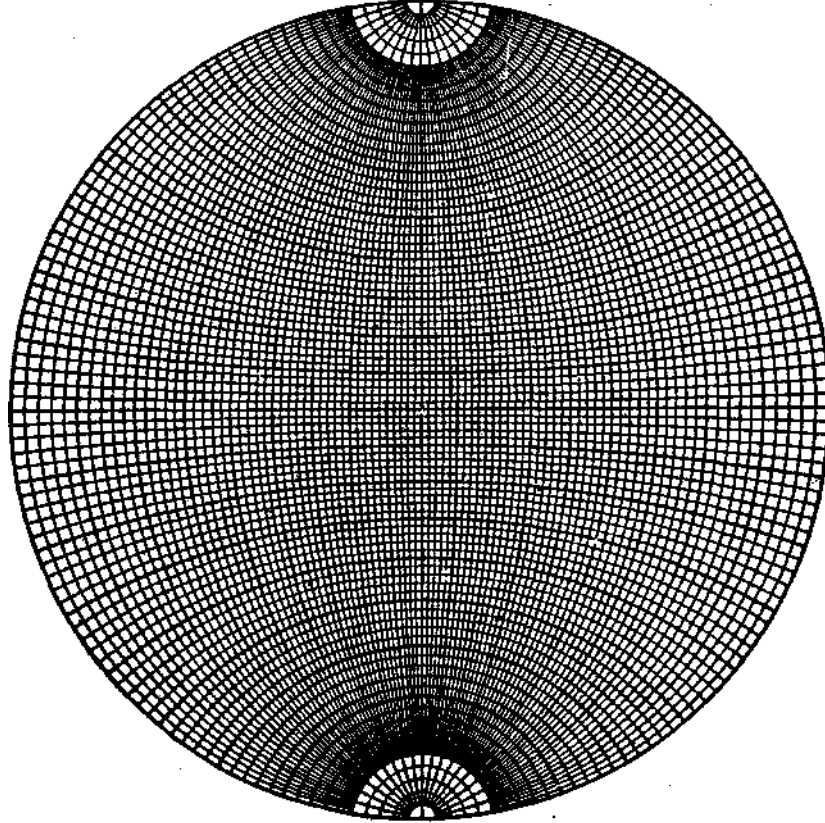
elde edilecektir. Bütün bu kuvvetler arakesit doğ-

rultusundan geçen düşey bir düzlem üzerindedirler. W ile N_j vektörü arasındaki açı 15° olduğuna göre çizim kâğıdı üzerinde bu vektör işaretlenir. (Şekil 15). Daha sonra bu vektörün yönelimi alttaki stereo-ağ üzerinden $N 15, 87 NE$ olarak elde edilebilir.



Şekil 19

Kaya civatası kullanılması halinde vektör diagramı.



Şekil 20

Stabilite analizi için Şekil 15 de kullanılan Wulf ağı.

r— SONUÇLAR:

Kâyâ şevlerinde kama tipi bir kaymanın kinematik olarak mümkün olması halinde, stabilite analizi için ele alınacak ana kavramlar yukarıda açıklanmıştır. Burada kaya kaması düzlemler arasında izole edilmiş bir blok şeklinde düşünülmekte ve bu bloğun belirli sürtünme katsayılı düzlemler üzerinde kayıp kaymayacağı incelenmektedir. Bu teorik düşünceden hareket edilerek yapılacak stabilite analizlerinde bölgeyi karakterize eden sayısal değerlerin saptanması, problemin en önemli kısmıdır.

Stabilite problemlerinde ele alınan sayısal değerler; süreksizlik yüzeylerin yönelimleri, bu yüzeyler arasındaki ortalama sürtünme katsayıları, kayması mümkün kamanın boyutları ve yüzeyler arasındaki çatlak suyu basınçları olarak özetlenebilir. Bu değerler çeşitli ölçme teknikleri kullanılarak bulduklarından dolayı, belirli bir hataya sahiptirler. Dolayısı ile bir kaya şevinin stabilite analizi, elde edilen bu özelliklerin maksimum ve minimum değerleri içinde de yapılmalıdır. Elde edilecek güvenlik sayılarının en küçüğü, kaymayı önleyici tedbirlerin boyutlandırılmasında kullanılmalıdır.

BİBLİYOGRAFİK TANITIM

1. GOODMAN, R. E. 1964): The resolution of stresses in rock using stereographic projection. Intl. J. Rock Mech. Mining Vol. 1 Sci. pp 497-526.
2. GOODMAN, R. E.-Taylor, R. L. (1967): Methods of analysis for rock slopes and abutments : a review of recent developments. In Failure and Breakage of Rocks. AIME. Chapter 12, pp 303-320.
3. GLOE, C. S.-JAMES, J.P.-BARTON, C. M." (1971) : Geotechnical Investigations for slope stability studies in Brown Coal Open Cuts. Proc. of. the First Australia - New Zealand Conf. on Geomechanics, Melbourne, Vol. 1. pp. 329 - 336.
4. HEUZE, F. E.- GOODMAN, R. E. (1971): A Design Procedure for High Cuts in Jointed Hard Rock, Three Dimensional Solutions. Final Report on Contract 14-06-D- 6990. United States Bureau of Reclamation, Denver, Colorado
5. HOEK, E. (1971) : Rock Slope Stability-How Far Away Are Reliable Design Methods?, Proc. of the First Australia New Zealand Conf. on Geomechanics, Melbourne, Vol. 1, pp. 307 -313.
6. HOEK, E. - BRAY, J. W. - BOYD, J. M. (1972) : The Stability of a Rock Slope Containing a Wedge Resting on Two Intersecting Discontinuities. Rock Mechanics Research Report No. 17. Imperial College, London, 63. p.
7. HOEK, E. (1972) : Rock Slope Engineering (Rock Stability in open cast Mining) Imperial College, Rock Mechanics Progress Report, No. 8.
8. JOHN, K. W. (1968) : Graphical stability analysis of slopes in Jointed rock. J. Soil Mech. Foundation Div. ASCE. Vol. 94 No. SM 2, pp 497-526.
9. JOHN, K. W. (1970) : Engineering analysis of three-dimensional stability problems utilizing the reference hemisphere. Proc. 2nd. Intl. Rock Mech. Congress. Belgrade. Vol. 2, pp. 7-16.
10. LONDE, P.-VIGIER, G. -VOLMERINGER, R. (1970): Stability of slopes -graphical methods. J. Soil Mech. Foundation Div. ASCE Vol. 96 No. SM4, pp 1411-1434.
11. MARKLAND, J. T. (1972):. A Useful Technique for Estimating the stability of Rock Slopes When the Rigid Wedge Sliding Type of Failure is Expected. Imperial College Rock Mechanics Research Report, No. 19, 10 p.
12. McMAHON, B. K. (1971) : A statistical method for the design of rock slopes. Proc. 1 st. Australian - New Zealand Geomechanics Conf. Melbourne. Vol 1, pp. 314-321.
13. PHILLIPS, F.C. (1971) : The use of stereographic projection in structural geology. Edward Arnold, London. Third Edition (Paperback) 90 P.
14. TURNER, F. J.-WEISS, L. F. (1963): Structural Analysis of Metamorphic Tectonites. McGraw-Hill Book Co. New York, 545 p.