



# INM 308

## Zemin Mekaniği

*Yamaç ve Şevlerin Stabilitesi; Temel Kavramlar*

Doç. Dr. İnan KESKİN

[inaneskin@karabuk.edu.tr](mailto:inaneskin@karabuk.edu.tr), [inaneskin@gmail.com](mailto:inaneskin@gmail.com)

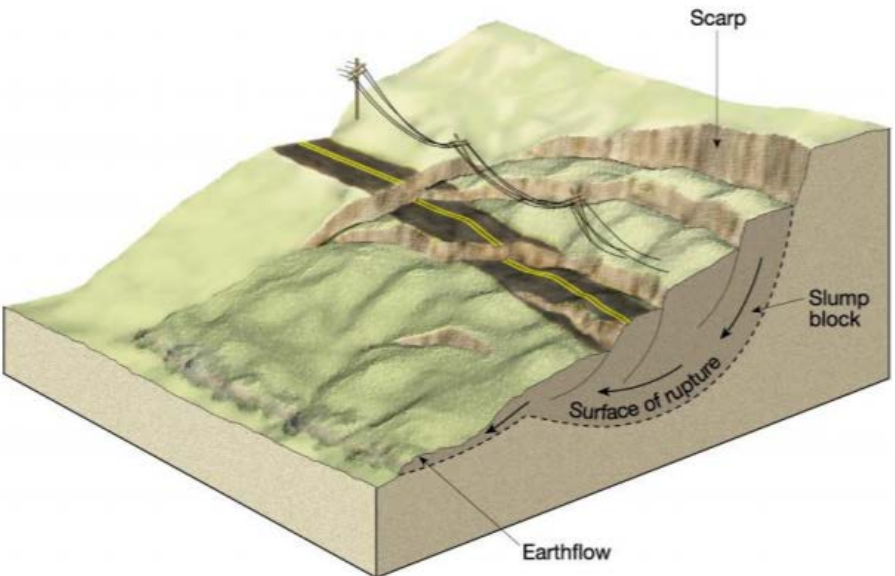
[www.inaneskin.com](http://www.inaneskin.com)

# ZEMİN MEKANİĞİ

## Haftalık Konular

Hafta 1:	Zemin Etütleri Amacı ve Genel Bilgiler
Hafta 2:	Kil Minarelleri ve Zemin Yapısı
Hafta 3:	Zeminlerde Kayma Direnci Kavramı, Yenilme Teorileri
Hafta 4:	Zeminlerde Kayma Direncinin Ölçümü; Serbest Basınç Deneyi, Kesme Kutusu Deneyi, Üç Eksenli Basınç Deneyi, Vane Kanatlı sonda Deneyi
Hafta 5:	Zeminlerde Kayma Direncinin Belirlenmesine Yönelik Deneyler; Laboratuvar Uygulaması
Hafta 6:	Zeminlerde Kayma Direncinin Belirlenmesine Yönelik Problem Çözümleri
Hafta 7:	Yanal Zemin Basınçları
Hafta 8:	Yanal Zemin Basınçları; Uygulamalar
Hafta 9:	Yamaç ve Şevlerin Stabilitesi; Temel Kavramlar
Hafta 10:	Yamaç ve Şevlerin Stabilitesi Örnek Problemler
Hafta 11:	Zeminlerin Taşıma Gücü; Sığ Temeller
Hafta 12:	Zeminlerin Taşıma Gücü; Kazıklı Temeller
Hafta 13:	Zemin Sıvılaşması ve Analizi
Hafta 14:	Genel Zemin Mekanik Problem Çözümleri
Hafta 15:	Final Sınavı

# YAMAÇ VE ŞEVLERİN STABİLİTESİ; TEMEL KAVRAMLAR

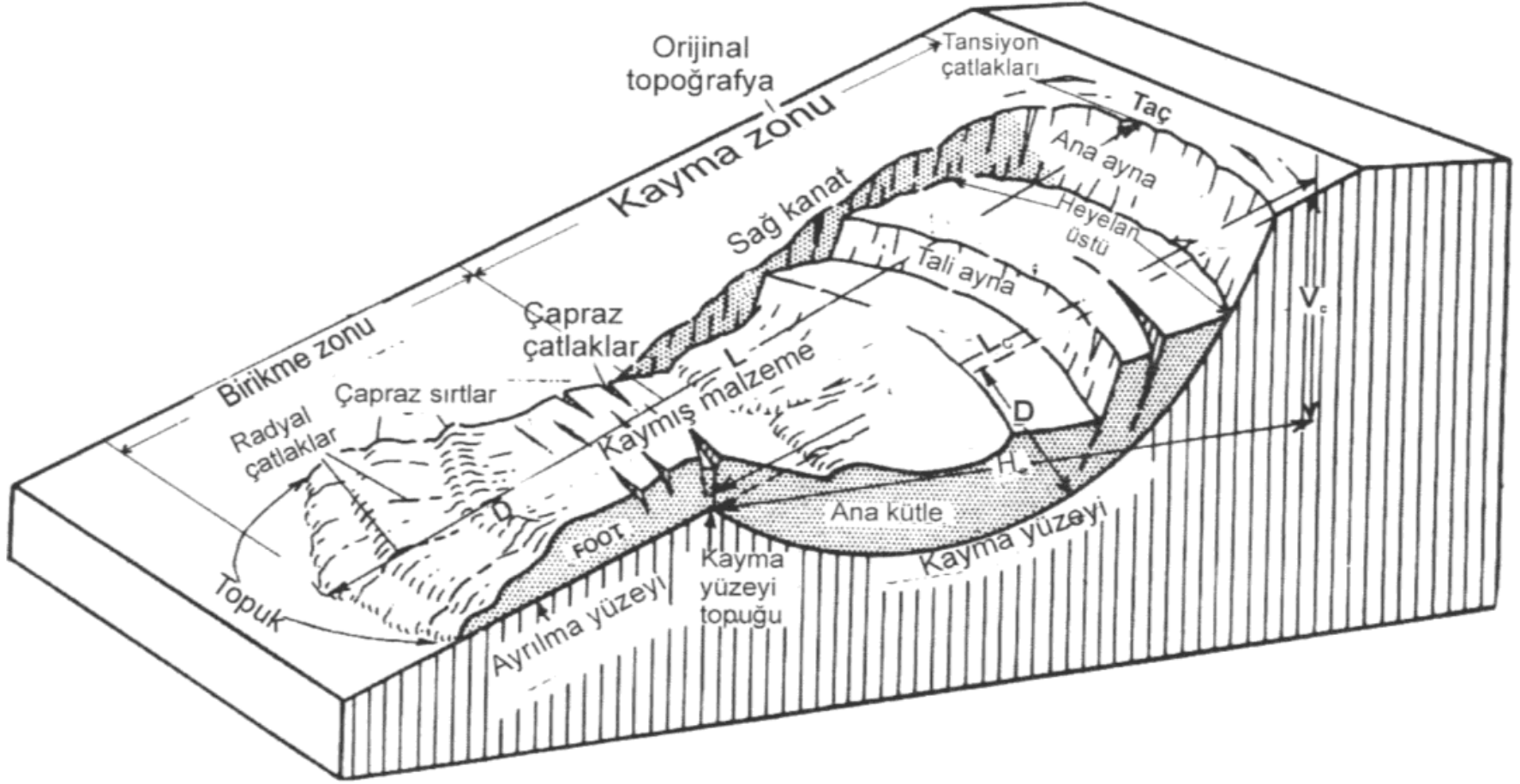


# YAMAÇ VE ŞEVLERİN STABİLİTESİ/Neden mi Önemli?





# YAMAÇ VE ŞEVLERİN STABİLİTESİ; TEMEL KAVRAMLAR



**Taç:** Heyelanın en üst seviyesidir. Arkasında gerilme çatlakları gözlenir.

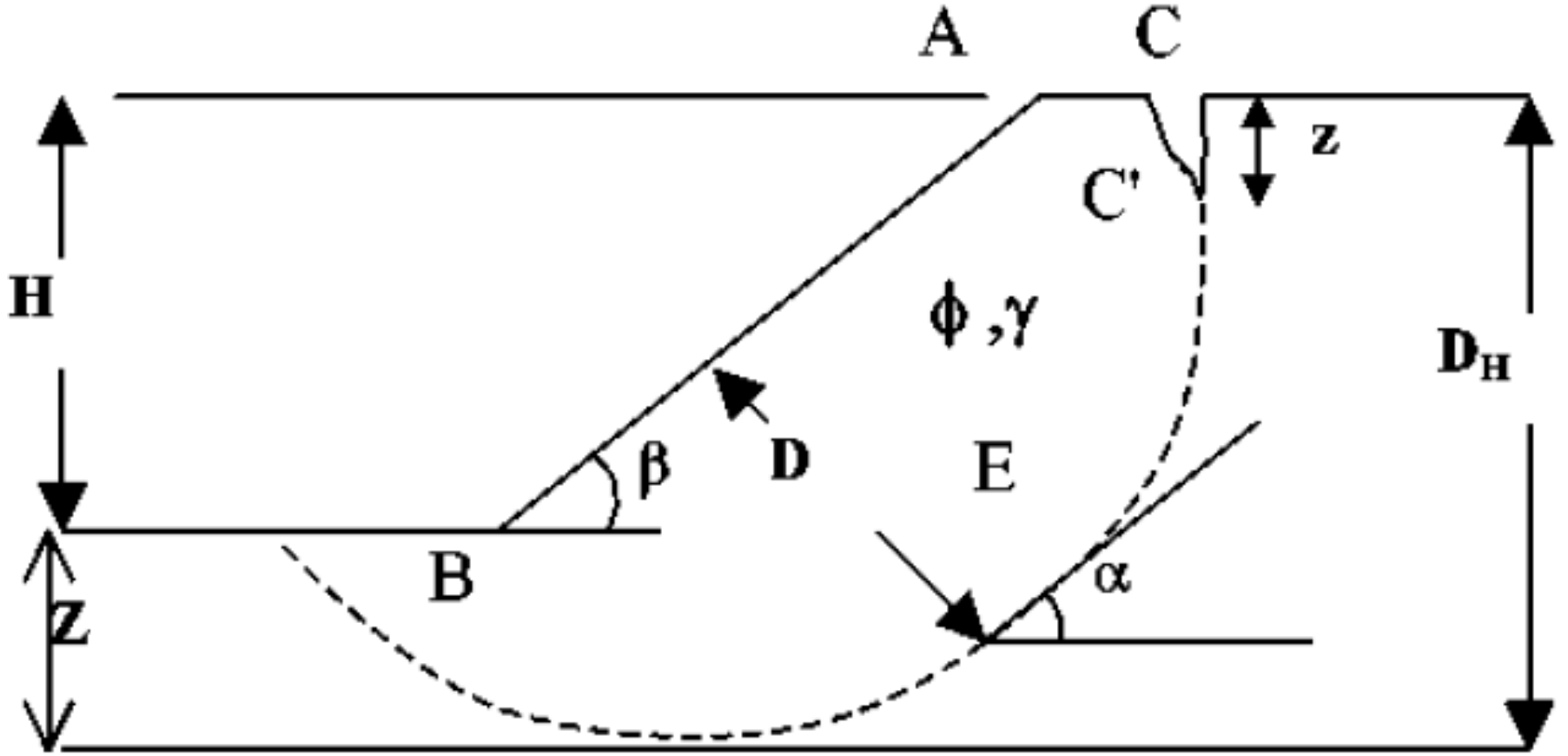
**Ayna:** Kayan zemin kitlesinin dik veya dike yakın yüzeyidir.

**Ana Kütle:** Kayma yüzeyi boyunca hareket eden malzemenin tümüdür.

**Çapraz (Enine) Çatlaklar:** Heyelanın topuğunun üst kısmında meydana gelen çatlaklardır.

**Topuk:** Hareket eden kütle için en son kısımdır. Heyelan sınıflamalarında malzemenin toplandığı yer olarak tanımlansa da topuk genellikle dairesel kaymalarda kullanılan bir terimdir.

# YAMAÇ VE ŞEVLERİN STABİLİTESİ; TEMEL KAVRAMLAR



$H$  :şev yüksekliği,

$\beta$  :şev açısı,

$D$  : Kayma yüzeyinin yamaç yüzeyinden derinliği,

$\phi$  : Kayma mukavemeti açısı,

$\gamma$  : Zemin tabii birim hacim ağırlığı,

$\alpha$  : Kayma yüzeyinin herhangi bir noktadaki eğimi,

$D_H$  : Kayma dairesi yüksekliği,

$z$  : Çekme çatlak derinliği.

$Z$  : Sağlam tabakaya olan derinlik.

# YAMAÇ VE ŞEVLERİN STABİLİTESİ; TEMEL KAVRAMLAR

1. Düşme

2. Devrilme

3. Kayma

\* Düzlemsel Kayma (Translational/Planer)

\* Dairesel (Rotational)

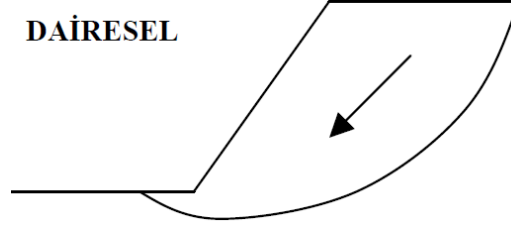
1. Akma

2. Krip

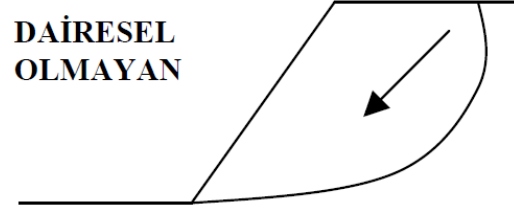
3. Yanal Yayılma

4. Karmaşık

DAİRESEL

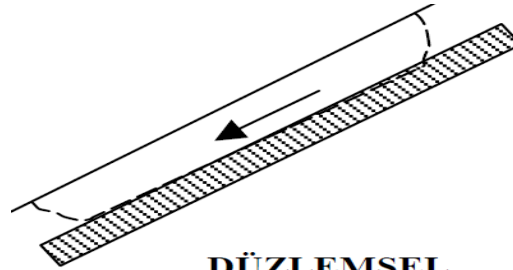


DAİRESEL  
OLMAYAN

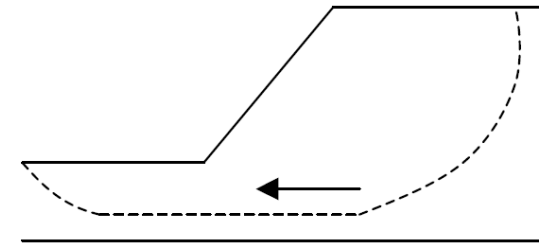


Kayma hareketi en fazla gözlenen zemin yenilme türüdür. Heyalan olarak da tariflenir. Bu ders kapsamında daha çok yoğunlaşacağımız şev hareketlerini oluşturur

DÜZLEMSEL

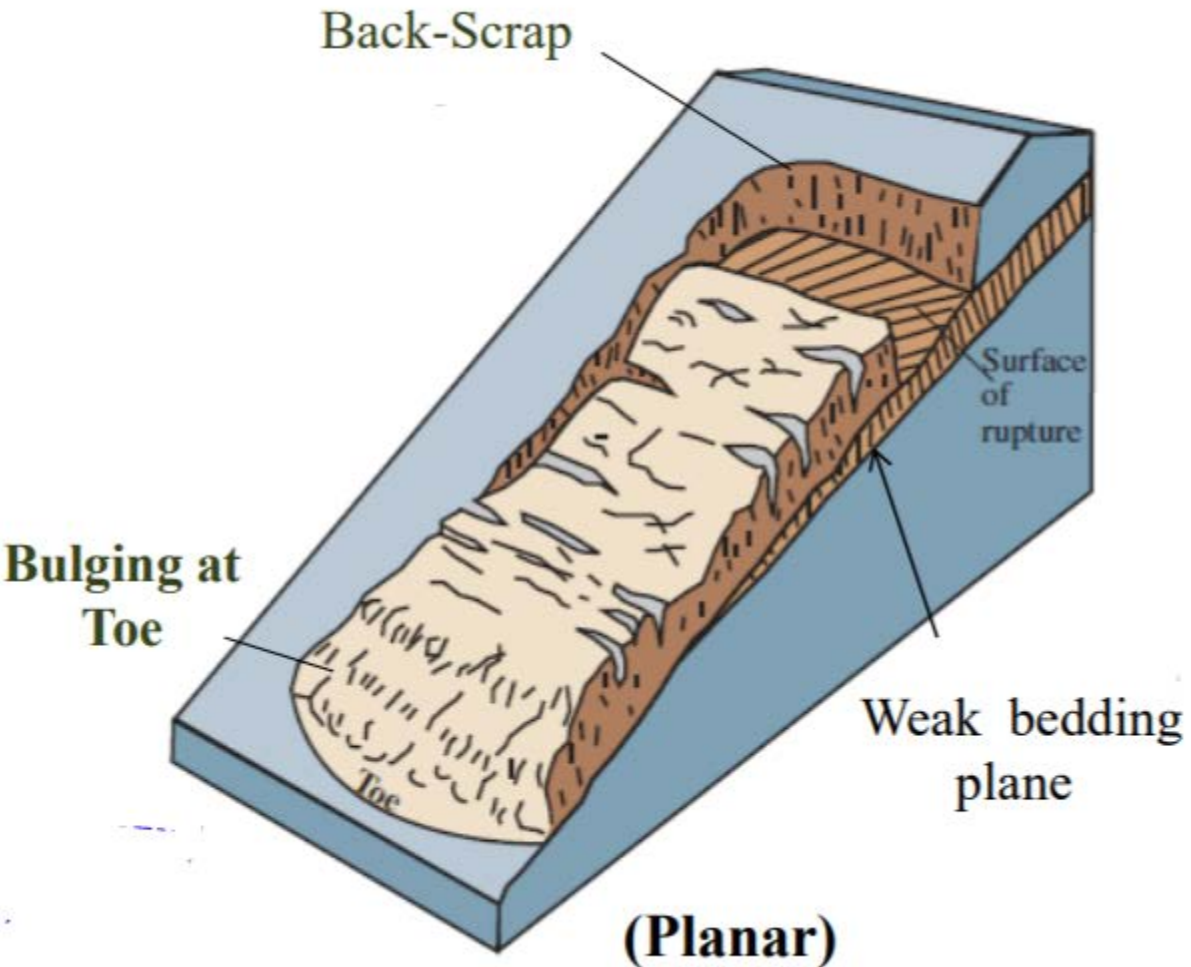


KARIŞIK



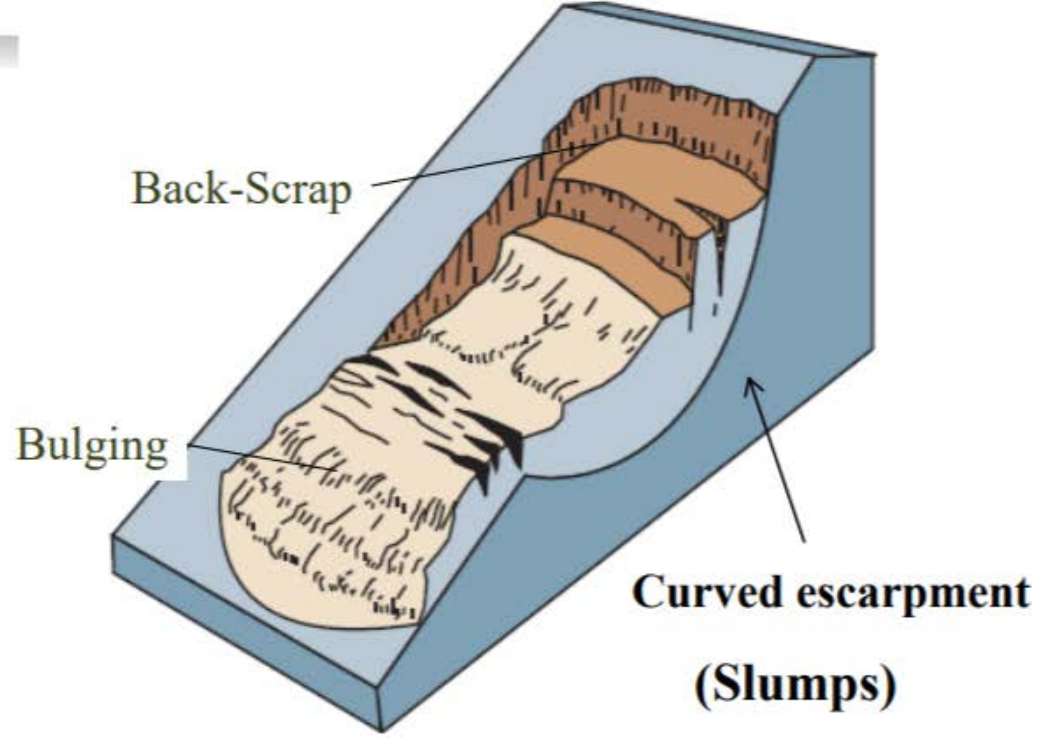
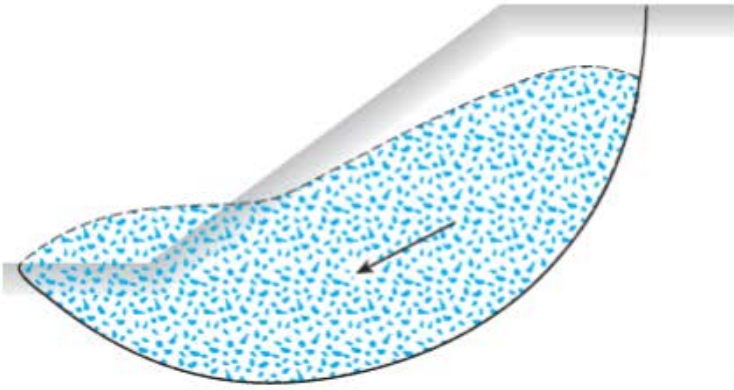
# YAMAÇ VE ŞEVLERİN STABİLİTESİ; TEMEL KAVRAMLAR

## Düzlemsel Kayma



# YAMAÇ VE ŞEVLERİN STABİLİTESİ; TEMEL KAVRAMLAR

## *Dairesel Kayma*





# ŞEV STABİLİTESİ ÜZERİNDE ETKİLİ OLAN PARAMETRELER

Bütün kütle hareketlerin nedeni Yer çekim kuvvetidir. Düşme tipi hareketler haricinde bütün kütle hareketleri zeminlerin kesme kuvveti etkisi altında dengelerinin bozulmasıyla meydana gelirler.

Gerilme artışı ortam direncinden fazla olduğu zaman yamaçta denge kaybı oluşmaktadır. Yamaç hareketlerine sebep olan etmeler incelendiğinde çoğu etkenin yüzey yada yeraltı suyundaki değişimler olduğu ortaya çıkmaktadır.

## *Gerilme artışına ve dirençte azalmaya neden olan etmenler*

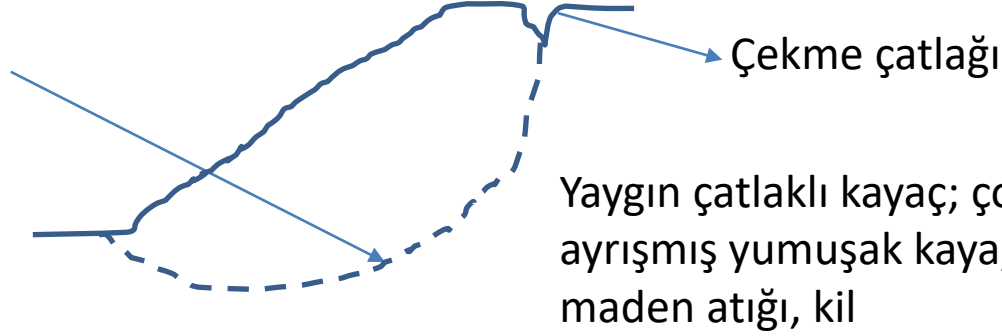
<b>I GERİLME ARTIŞI</b>	<b>II KAYMA MUKAVEMETİNDEKİ AZALMA</b>
Şev üstündeki yüklerin artışı	Aşınma ve yıpranma
Topuk bölgesindeki malzemenin alınması	Süreksizlerdeki su basıncı
Deprem ve diğer dinamik olaylar	Kuru ortamdaki ani ıslanma ve buna bağlı olarak yapıdaki bozulma
Boşluk suyundaki artış	Zaman ve devam eden hareket sonucu dayanımdaki kayıp
Progresif hareket	Bağlayıcı malzemenin yıkanması
Ani su yükselmesi yada düşmesi	Killi yapılarda şişme

# KAYMA YÜZEYİNİN OLUŞMASI

**Bir yamaçta hesaplamalar, alanın jeolojisini anlamadan ve gerekli ayrıntıda sondajlarla değerlendirmeden hatalı olmaktadır.** Jeolojik birimler kayma yüzeylerini oldukça fazla etkilemektedir.

## İZOTROP (EŞYÖNLÜ) ORTAM

Ortam özellikleri yeterince eş ise yüzey dairesel yöneliyor.



## ANİZOTROP (EŞYÖNSÜZ) ORTAM

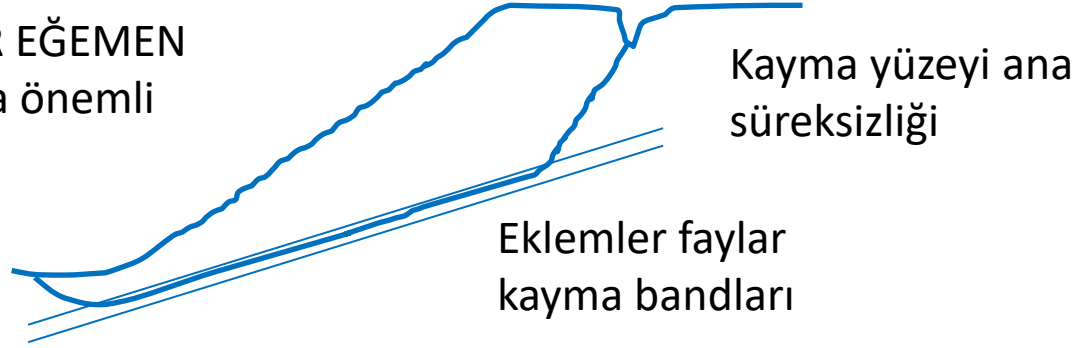
Ortam yapısı yapraksı, tabakalı, Kayma yüzeyi var olan bir süreksizlik zonuna paralel uzanıyor ve dairesellikten uzaklaşıyor



Kayrak, çamurtaşı, şist gibi yapraklanma gösteren veya yaygın/düzensiz çatlaklı kaya, tabakalı killer

# KAYMA YÜZEYİNİN OLUŞMASI

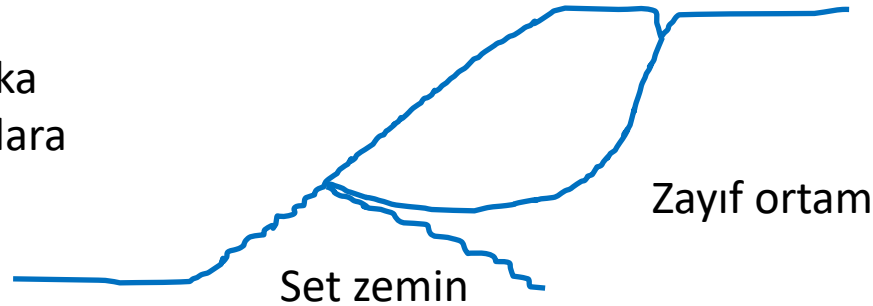
**ORTAMDA ÖNEMLİ İKİNCİL YAPILAR EĞEMEN**  
Yamaç dengesizlik bölgesi yakınında önemli bir süreksizlik varsa kayma düzlemi çoğunlukla bu yapıya uyuyor.



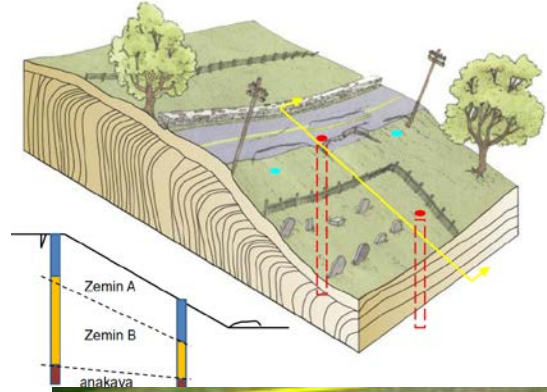
**DÜŞÜK KOHEZYONLU/İRİ TANELİ ZEMİNLER**  
İritaneli/kohezyonsuz ortamda kayma yüzeyi eğriliği minimum olur ve düzleme yönelir; yamaç başında çekme çatlağı oluşmaz.



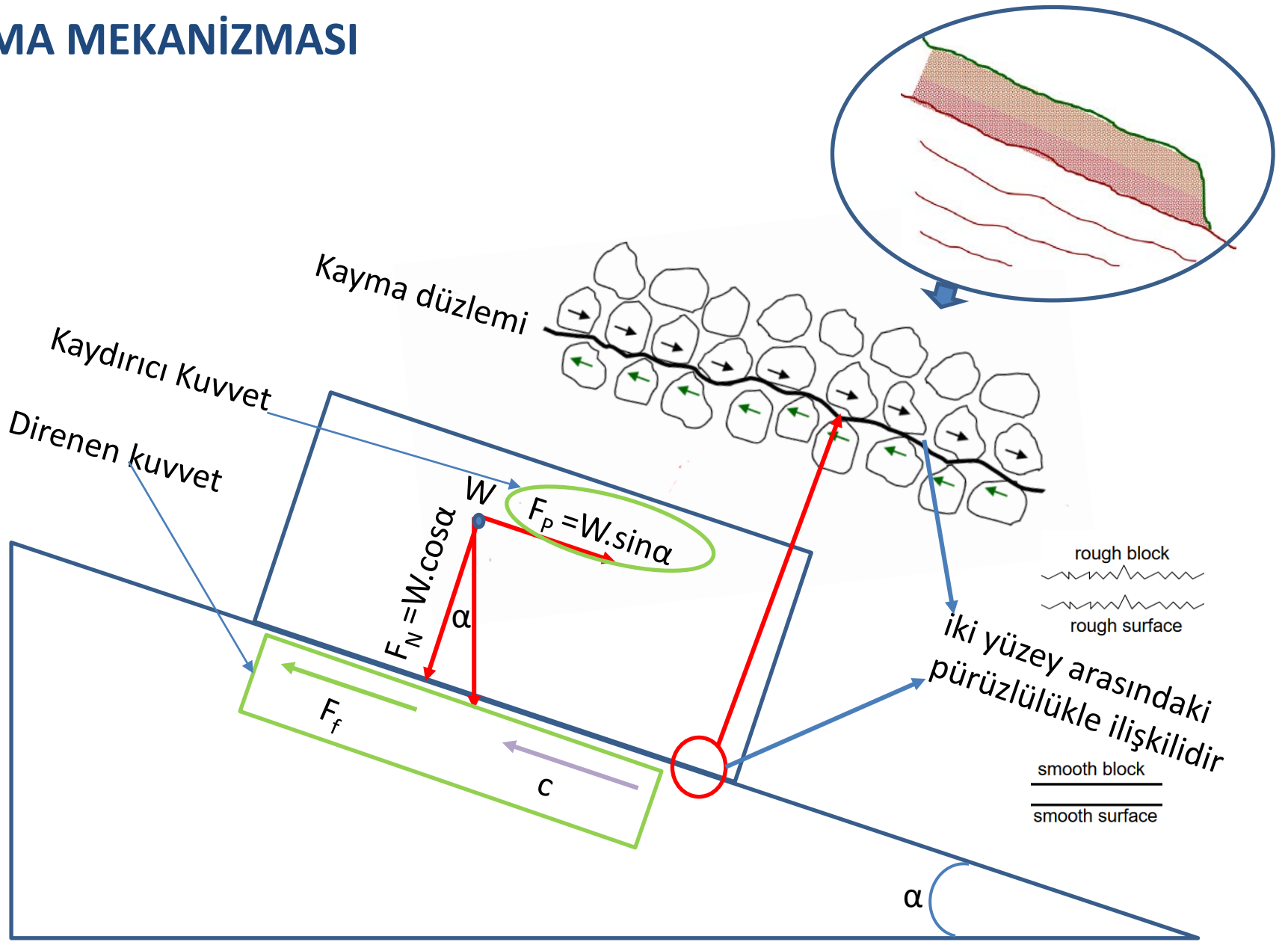
**HETEROJEN ORTAM**  
Kayacak kitle altında sert bir tabaka bulunması kayma yüzeyinin aşağılara inmesini kısıtlıyor.



# ZEMİN İNCELEMESİ/Geoteknik Model Oluşturulması



# KAYMA MEKANİZMASI



$F_N$  = Ağırlığın normal bileşeni

$F_f$  = Sürtünme kuvveti =  $F_N$  \* sürtünme katsayısı ( $\mu$  ( $\tan \phi$ ))

$F_p$  = Ağırlığın paralel bileşeni



# GÜVENLİK SAYISI KAVRAMI

$$G_s = F = \frac{\text{direnen kuvvetler (kohezyon + sürtünme)}}{\text{kaydırmaya çalışan kuvvetler (Fp)}} = \frac{c.L + W.\cos\alpha.\tan\phi}{W.\sin\alpha}$$

$$FOS = \frac{\text{Sum of resisting forces}}{\text{Sum of driving forces}}$$

$$FOS = \frac{\text{shear strength}}{\text{shear stress}}$$

FS > 1.0 represents a stable situation

FS < 1.0 denotes failure

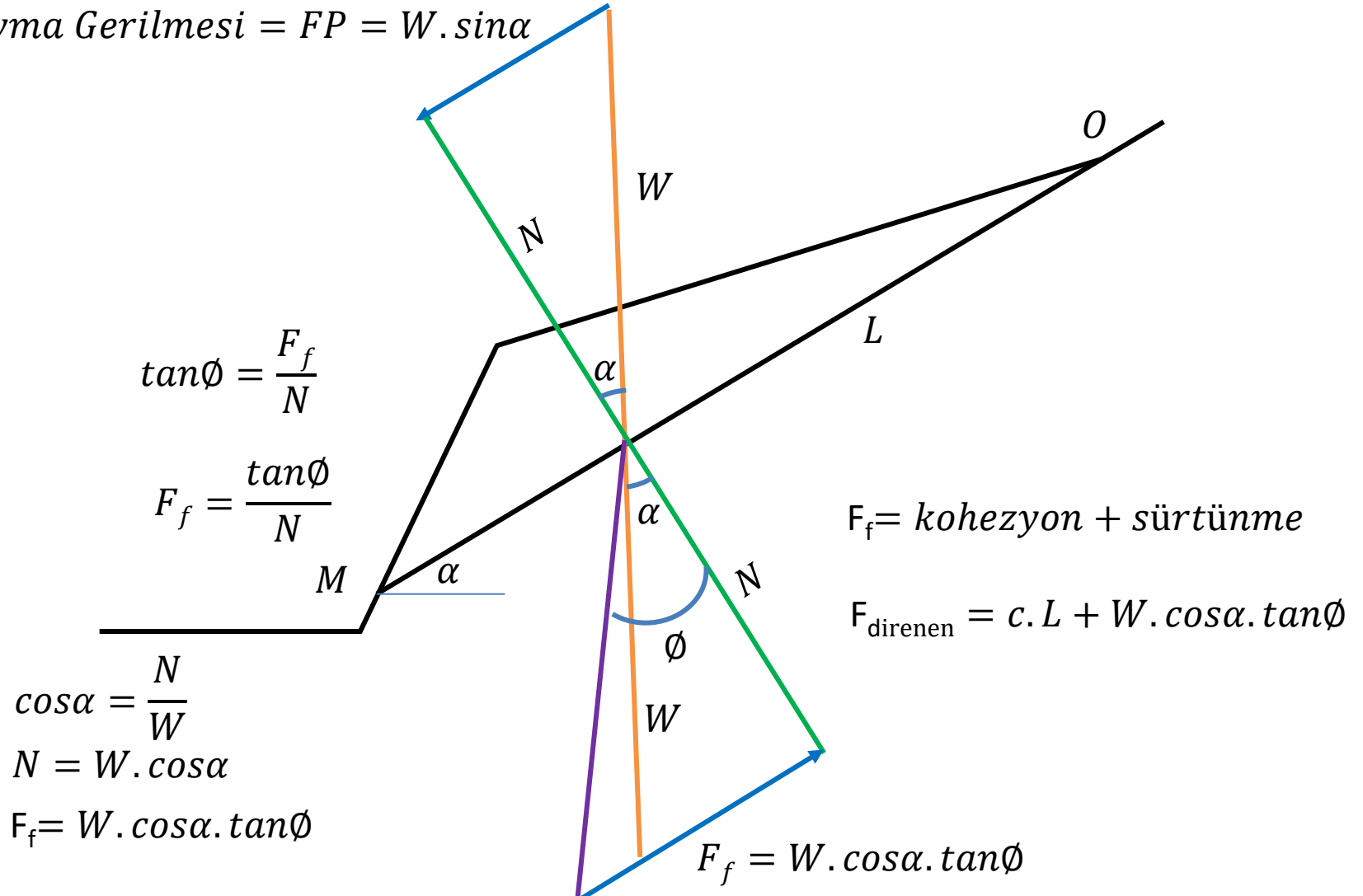
GÜVENLİK KATSAYISINI hesaplamak için bir kayma düzlemi varsayımında bulunulur ve varsayılan her bir kayma düzlemi için gerilmeleri ve emniyet katsayısını hesaplamada bir veya daha fazla sayıda statik denge denklemleri kullanılır. Buradaki kayma yüzeyi, üzerinde kayma veya yırtılmanın meydana geldiği kabul edilen yüzeye işaret eder. Ancak, şev duraylılık hesaplamalarında amaç, şevlerin böyle yüzeyler üzerinde kayma meydana gelmeyecek şekilde tasarlanmasıdır.

En küçük emniyet katsayısını veren kayma yüzeyini bulmak için, çok sayıda kayma yüzeyi varsayımında bulunmak gerekir. Emniyet katsayısı en küçük olan yüzeye **kritik kayma yüzeyi** denir.

# GÜVENLİK SAYISI KAVRAMI

$$G_s = F = \frac{\text{direnen kuvvetler (kohezyon + sürtünme)}}{\text{kaydırmaya çalışan kuvvetler (Fp)}} = \frac{c.L + W.\cos\alpha.\tan\phi}{W.\sin\alpha}$$

$$\text{Kayma Gerilmesi} = FP = W.\sin\alpha$$



# GÜVENLİK SAYISI KAVRAMI

KOŞULLAR	TOPLAM GERİLME ANALİZİ	EFEKTİF GERİLME	DEPREMLİ
Dolgularda yapım sonu	1.5	-	-
Yarmalar	1.5	1.25	1.00
Barajlarda kararlı sızıntı	1.5	1.25	-
Barajlarda ani göl boşalması	1.5	1.10	-
Labaratuar pik değerleriyle analiz	1.5	1.35	1.00
Kalıcı direnç parametleriyle analiz	1.5	1.35	1.00
Uzun vadede duraylılık	-	1.20	-
Yamaç üzerinde yapı olması durumu	1.80	1.50	1.20
Fisürlü kil ortamında	-	1.50	-

*Limit denge koşullarında önerilen güvenlik sayıları TS8853/1988*

# ŞEV STABİLİTESİ ANALİZ METOTLARI

Şev stabilite hesaplarında farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlar iki başlık altında toplanabilir. Bunlar;

## **1. Deterministik yaklaşımlar:**

Hesaplanan güvenlik katsayılarının kesin olduğu düşünülen yaklaşımlar bu grupta yer alır.

- Limit Denge Analizleri
- Mukavemet Azalım Tekniği ve Sonlu Elemanlar Analizleri

## **2. Probabilistik – Olasılıksal yaklaşımlar:**

Zemin özelliklerinden veya hesaplamalardan kaynaklanabilecek belirsizlikler güvenlik katsayılarının hesabında olasılık teorileri kullanılarak dikkate alınır.

- Monte Carlo Simülasyonu
- Taylor Serisi Yöntemi

# ŞEV STABİLİTESİ ANALİZ METOTLARI

*Taşıma gücüne bağlı olarak geliştirilmiş oldukça basit bir yaklaşım*

$$FS \cong \frac{6 c}{\gamma_{\text{Fill}} \times H_{\text{Fill}}}$$

Where:  $c$  = unit cohesion of clay foundation soil (psf)  
 $\gamma_{\text{Fill}}$  = unit weight fill (pcf)  
 $H_{\text{Fill}}$  = height of fill (feet)

For example, the factor of safety for the proposed embankment illustrated in Figure 6-6 can be computed as follows:

$$FS = \frac{(6)(1,100 \text{ psf})}{(130 \text{ pcf})(30 \text{ ft})} = 1.69 \quad \text{Use Rule of Thumb 6-13}$$

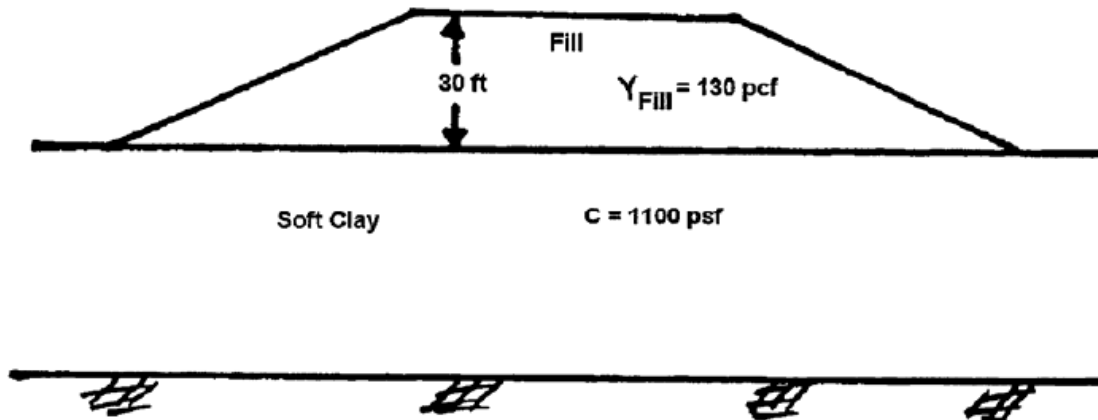


Figure 6-6. Example proposed embankment.



# LİMİT DENGE ANALİZLERİ/*Sonsuz Şev Analizleri*

Yenilme yüzeyinin şevin yüzeyine paralel olması hariç, düzlemsel analize benzer. **Şevde derinlik uzunluğa kıyasla çok küçüktür.** Kayma düzeminde paralel ve dik olan kuvvetlerin toplanmasıyla, düzlem üzerindeki **kesme kuvveti (S) ve normal kuvvet (N)** için aşağıdaki eşitlikler elde edilir

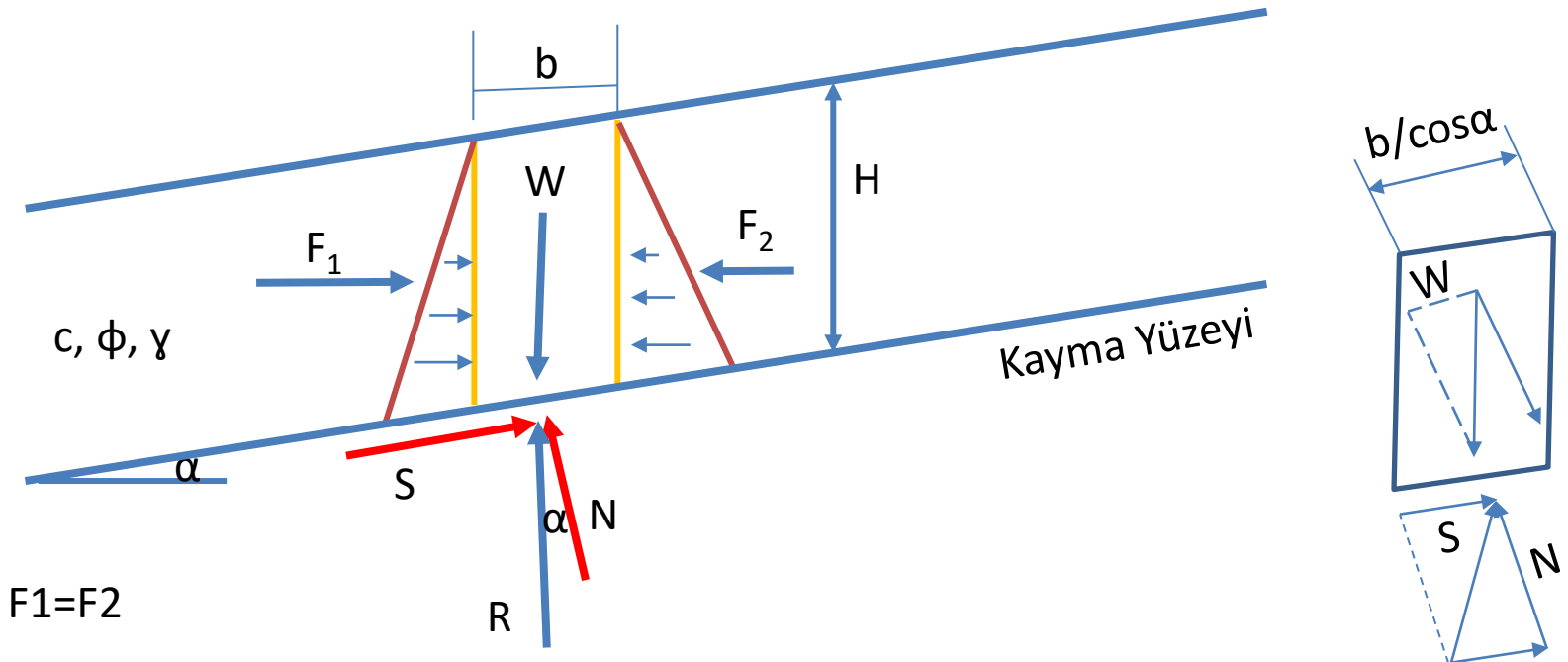
$$W = \gamma H b \cos \alpha$$

$$N = W \cos \alpha = \gamma H b \cos \alpha$$

$$S = W \sin \alpha = \gamma H b \sin \alpha$$

$$\sigma = \frac{N}{b / \cos \alpha} = \frac{\gamma b H \cos \alpha}{b / \cos \alpha} = \gamma H \cos^2 \alpha$$

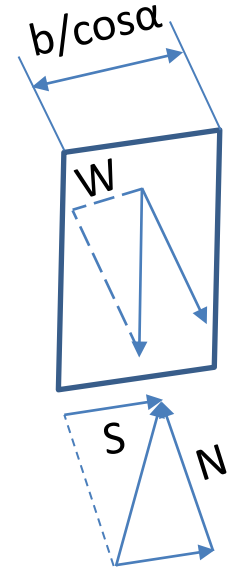
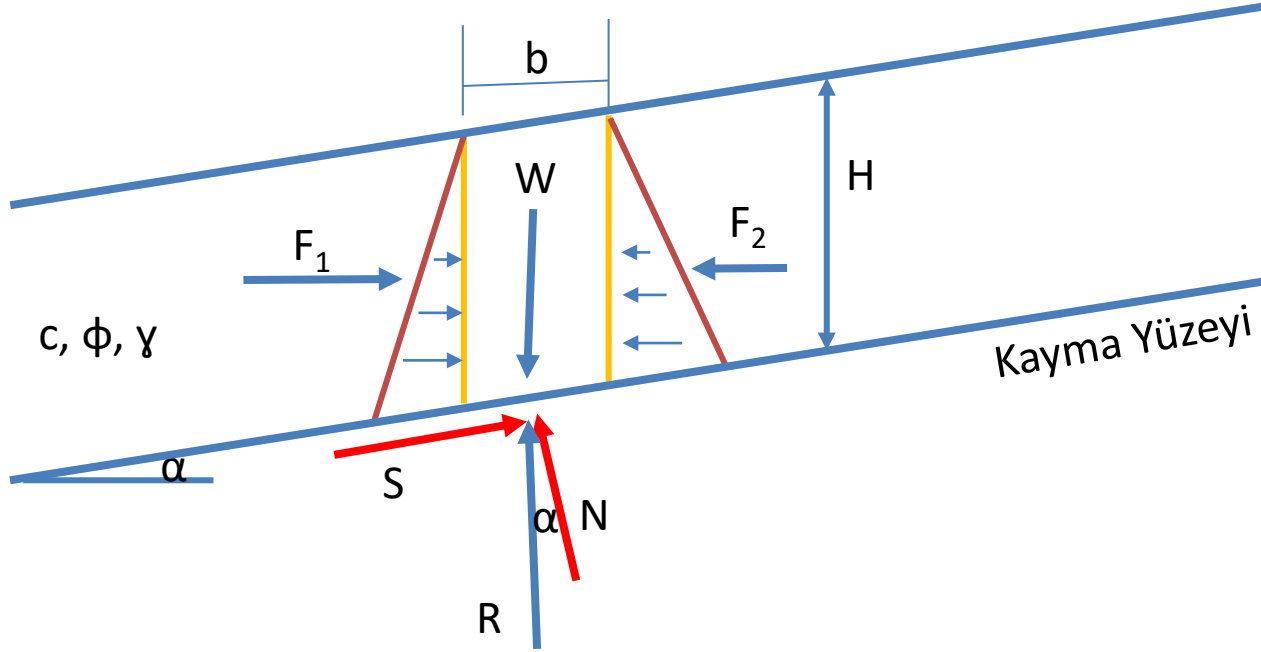
$$\tau = \frac{S}{b / \cos \alpha} = \frac{\gamma b H \sin \alpha}{b / \cos \alpha} = \gamma H \sin \alpha \cos \alpha$$



$$F_1 = F_2$$

# LİMİT DENGE ANALİZLERİ/*Sonsuz Şev Analizleri*

Yenilme yüzeyinin şevin yüzeyine paralel olması hariç, düzlemsel analize benzer. Şevde derinlik uzunluğa kıyasla çok küçüktür.



$$G_k = F_s = \frac{c + \gamma H \cos^2 \alpha \tan \phi'}{\gamma H * \sin \alpha * \cos \alpha}$$

$$\phi' = 0 \text{ zeminlerde } G_k = \frac{c'}{\gamma H * \sin \alpha * \cos \alpha}$$

$$c' = 0 \text{ ve } z_w \text{ olduğu zaman bu eşitlik; } G_k = F_s = \frac{\tan \phi'}{\tan \alpha}$$

$$W = \gamma H b - R$$

$$N = W \cos \alpha = \gamma H b \cos \alpha$$

$$S = W \sin \alpha = \gamma H b \sin \alpha$$

$$F_1 = F_2$$

# LİMİT DENGE ANALİZLERİ/*Sonsuz Şev Analizleri*

## *Değerlendirme*

Zemin kohezyonsuz olduğu sürece herhangi bir şev sonsuz şev olarak değerlendirilebilir.

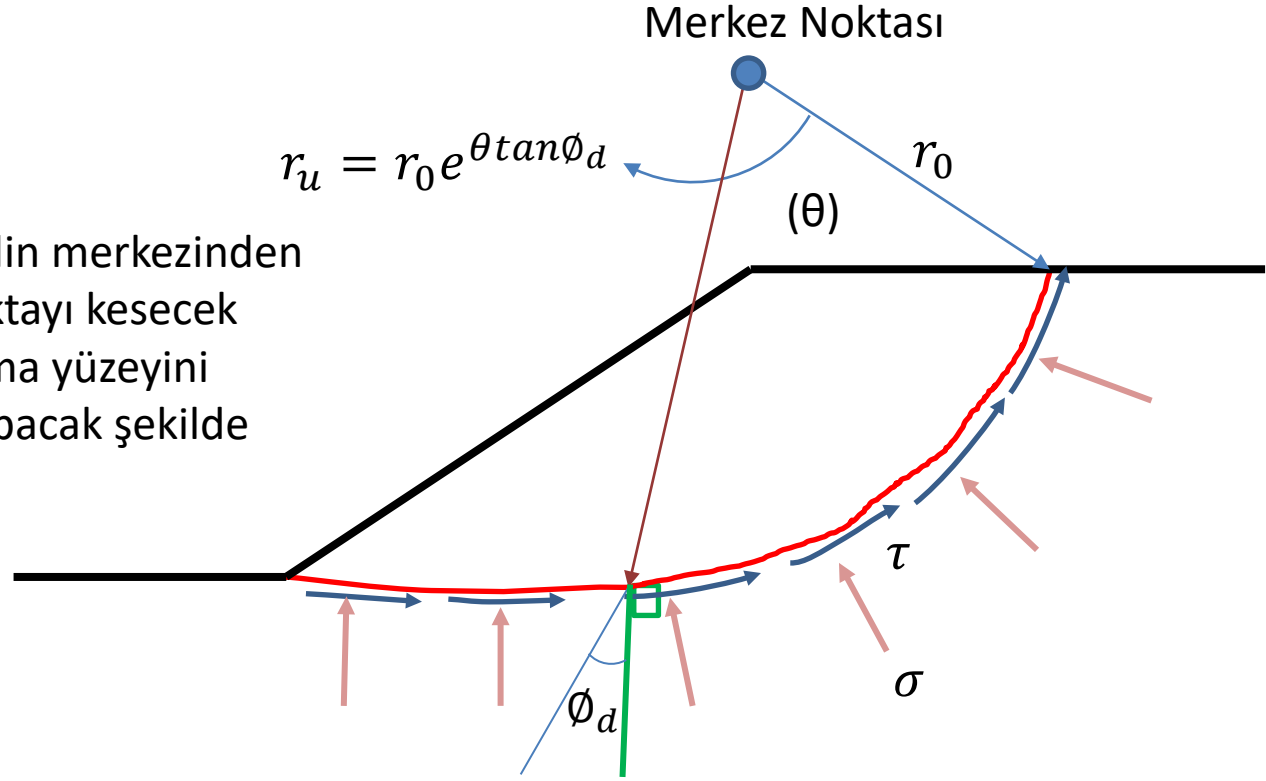
Kohezyonsuz bir şev için emniyet katsayısı kayma yüzeyi derinliğinden bağımsız olduğundan, sonsuz küçük derinlikteki bir kayma yüzeyinin daha derin kayma yüzeyler ile aynı emniyet katsayısına sahip olması mümkündür.

***Kayma yüzeyinin şev yüzeyine paralel bir sağlam tabaka ile sınırlanması şartıyla kohezyonlu zeminlere de uygulanabilir.*** Şevin yanal boyutlarına kıyasla küçük sayılabilecek bir derinlikte böyle bir tabakanın mevcut olması durumunda, duraylılık hesaplamalarında sonsuz şev analizi uygun bir yaklaşım sağlar.

***Sonsuz şev denklemleri*** birbirine dik iki düzlemdeki kuvvetler dengesinin göz önüne alınmasıyla türetilmiş olup, ***bütün kuvvet denge koşullarını sağlarlar. Moment dengesi açık bir şekilde göz önüne alınmamıştır.***

# LİMİT DENGE ANALİZLERİ/Logaritmik spiral yöntemi

Logaritmik spiral yönteminde kayma yüzeyinin Şekil 6.3'deki gibi bir logaritmik spiral olduğu varsayılır (Frohlich, 1953). Spiral, bir merkez noktası ve bir başlangıç yarıçapı ( $r_0$ ) ile tanımlanır. Aşağıdaki ifadeye göre, spiralin yarıçapı merkez etrafındaki dönme açısı ( $\theta$ ) ile birlikte değişir:



Logaritmik spiralin özeliği, spiralin merkezinden kayma yüzeyi üzerindeki bir noktayı kesecek biçimde uzatılan yarıçapın, kayma yüzeyini (yüzeyin normali ile)  $\phi_d$  açısı yapacak şekilde kesmesidir.

$$\tau = \frac{c}{F} + \sigma \frac{\tan \phi}{F}$$

$\phi_d =$  mobilize sürtünme açısı olup, zeminin ürtünme açısına ve emniyet katsayısına bağlıdır.

# LİMİT DENGESİ ANALİZLERİ/Logaritmik spiral yöntemi

## *Değerlendirme;*

***Kayma yüzeyinin varsayılan şeklinden dolayı logaritmik spiral denklemleri karmaşık olup, elle hesaplanmaları bezdiricidir.***

Logaritmik spiral yöntemi moment dengesini doğrudan ve kuvvet dengesinin tamamını da dolaylı olarak sağlar. Tam denge sağlanmış olduğundan, yöntem nispeten doğrudur.

Logaritmik spiral yöntemi homojen şevlerin analizi için teorik olarak en iyi yöntemdir. Boyutsuz şev duraylılık diyagramları geliştirmek suretiyle, analiz için gerekli çabanın çoğu azaltılabilir (Leshchinsky, 1985, 1994).

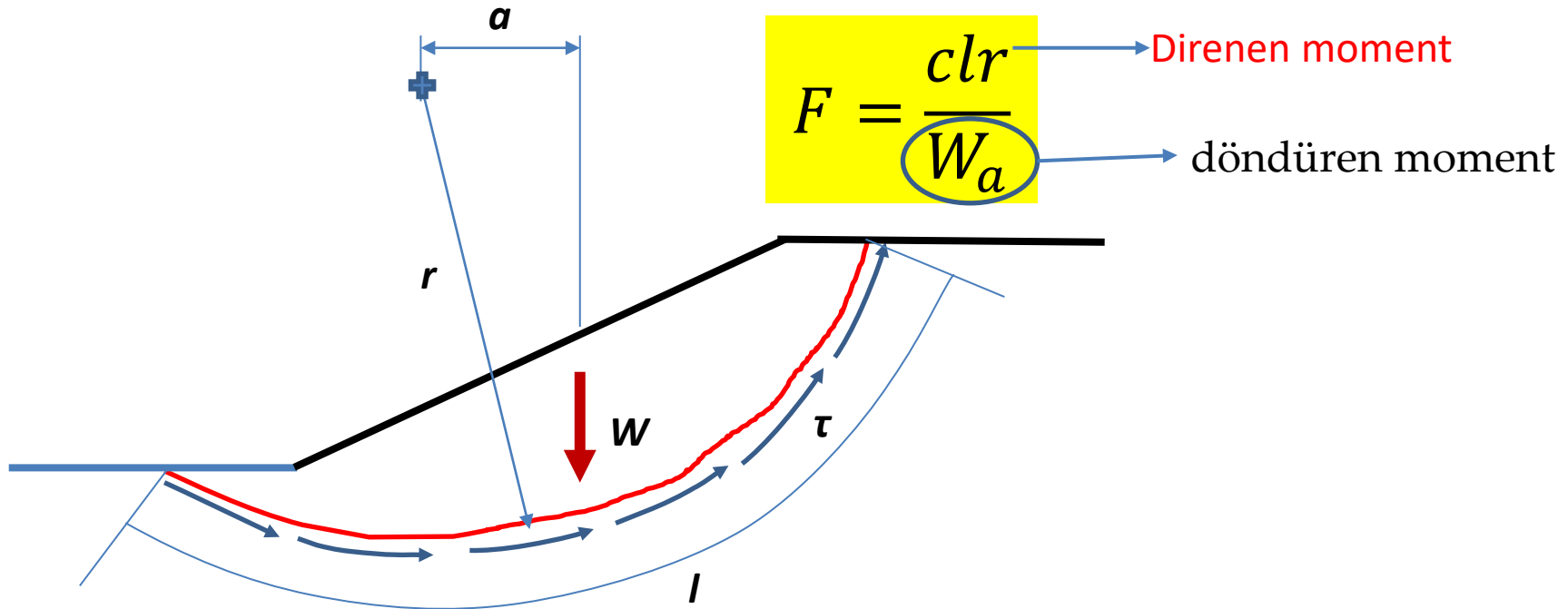
Logaritmik spiral yöntemi geogridler, zemin çivileri vb. araçlar kullanarak güçlendirilen şevlerin tasarımı ile ilgili bazı bilgisayar programlarında kullanılmaktadır.



# LİMİT DENGE ANALİZLERİ/İsveç Daire ( $\emptyset = 0$ ) Yöntemi

İsveç Daire Yönteminde **kayma yüzeyinin dairesel bir yay olduğu kabul edilir** ve dairenin merkezine göre **momentlerin toplamı alınarak emniyet katsayısı hesaplanır**. Yöntemde sürtünme açısı sıfır kabul edilmekte ve kesme dayanımının sadece kohezyondan ileri geldiği varsayılmaktadır. Bu nedenle, İsveç Daire Yöntemi aynı zamanda  $\emptyset=0$  yöntemi olarak da adlandırılmaktadır.

**\*İsveç Daire veya  $\emptyset=0$  yöntemi aslında logaritmik spiral yönteminin özel bir şeklidir:  $\emptyset=0$  olduğu zaman, logaritmik spiral bir daire olur.**



İsveç daire ( $\emptyset=0$ ) yöntemi için şev ve kayma yüzeyi.

# LİMİT DENGİ ANALİZLERİ/İsveç Daire ( $\emptyset = 0$ ) Yöntemi

Şev ile dairesel kayma yüzeyi için, zemini daire merkezi etrafında dönmeye zorlayan kaydıran (döndüren) moment şu şekilde ifade edilebilir:

$$M_d = W_a$$

Direnen moment ise, dairesel yay boyunca etkiyen kesme gerilmeleri ( $\tau$ ) tarafından sağlanır. Direnen moment şu şekilde ifade

$$M_r = \tau l r$$

Dengenin sağlanması için direnen ve döndüren momentler eşit olmalıdır. Buna göre:

$$W_a = \tau l r$$

Bu denklemdeki kesme gerilmesi  $F = s / \tau$  eşitliğini kullanmak suretiyle kesme dayanımı ve emniyet katsayısı cinsinden ifade edilebilir. Bu eşitlikten yararlanmak ve kesme dayanımı yerine kohezyon (c) kullanmak suretiyle İsveç Daire Yöntemi emniyet katsayısı eşitliği elde edilir.

$$F = \frac{clr}{W_a}$$

Direnen moment

döndüren moment

$W$  = kayma yüzeyi üzerinde bulunan zeminin ağırlığı

$a$  = Zeminin ağırlık merkezi ile daire merkezi arasındaki yatay mesafe veya moment koludur.

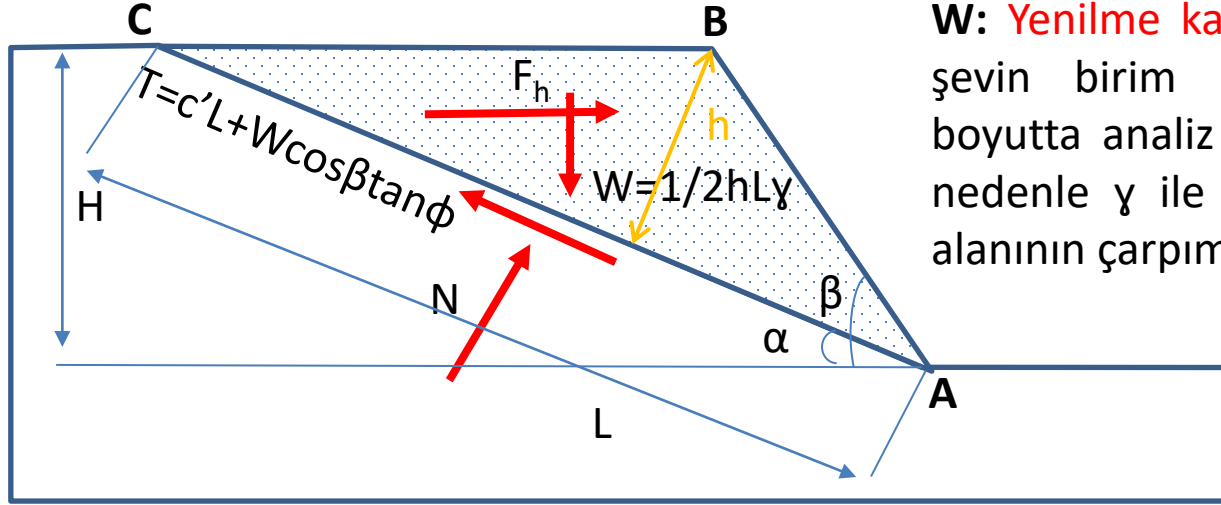
$l$  = dairesel yayın uzunluğu

$r$  = yarıçap

$\tau$  = Dairesel yay boyunca etkiyen kesme gerilmeleri

# LİMİT DENGE ANALİZLERİ/*Düzlemsel Kayma Analizleri*

Şev stabilite analizinin en basit şekilli yöntemidir. Kaya zeminlerde daha yaygın olup, şev tek dilim olarak analiz edilir. Bu yöntemde dahil olmak üzere çoğu limit denge analizleri iki boyutludur.



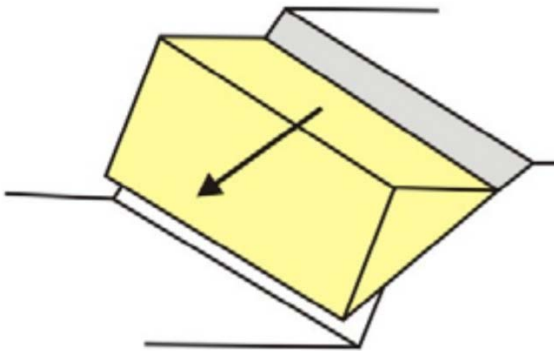
**W:** Yenilme kamasının ağırlığı (kN). Genellikle şevin birim uzunluğuna dayalı olarak iki boyutta analiz yapılır (şev uzunluğu 1 m). Bu nedenle  $\gamma$  ile yenilme kamasının enine kesit alanının çarpımı olarak hesaplanır.

**$F_h$ :**  $k_h W$ : Şevin içerisinde dışarı doğru etkiyen ve kayan kütlelerin ağırlık merkezinde geçen yatay deprem kuvveti.

**N:** Kayma yüzeyine etkiyen normal kuvvet (kN)

**T:** Kayma yüzeyi boyunca etkiyen kesme kuvveti (kN), kamanın kaymasına karşı koyduğundan tutucu kuvvet olarak bilinir.

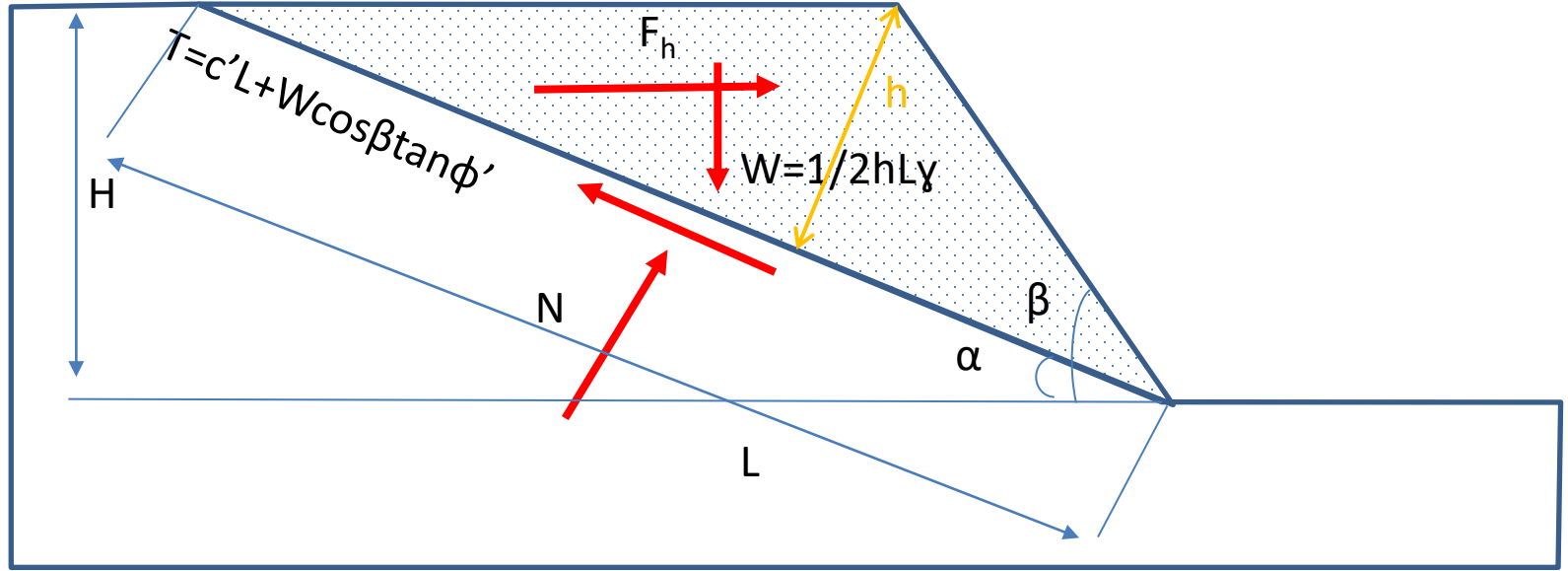
**L:** Uzunluk



$$AB = \frac{h}{\sin(\beta - \alpha)} = \frac{H}{\sin\beta} \Rightarrow h = \frac{H \sin(\beta - \alpha)}{\sin\beta}$$

$$W = \frac{1}{2} h L \gamma \Rightarrow W = \frac{1}{2} L \gamma H \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin\beta}$$

# LİMİT DENGE ANALİZLERİ/*Düzlemsel Kayma Analizleri*



$$s = c'L + W \cos \beta \tan \phi'$$

$$G_k = F_S = \frac{c' + W * \left[ \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin \beta} \right] \cos \alpha * \tan \phi'}{W * \left[ \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin \beta} \right] \sin \alpha}$$

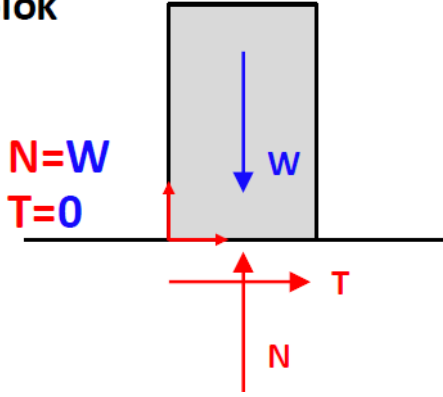
$$G_{k \text{ Depremlı}} = F_S = \frac{c' + (W * \left[ \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin \beta} \right] \cos \alpha - F_h \sin \alpha - uL) * \tan \phi'}{W * \left[ \frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin \beta} \right] \sin \alpha}$$

# LİMİT DENGE ANALİZLERİ/**Dairesel Kayma**/*Dilim Yöntemleri*

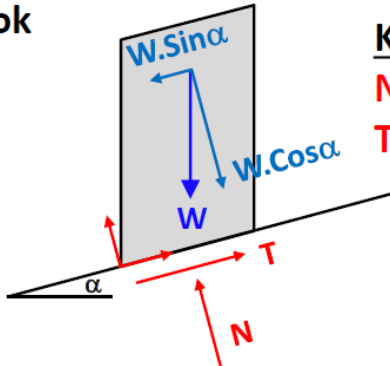
## *Genel Değerlendirme*

Kayma düzlemini tek düzlem olarak kabul etmek şev stabilitesi açısından kimi eksiklikler oluşturmaktadır. Bu durumdan kaçınmak için kayma yüzeyi dairesel olarak kabul edilerek, **şev belirli sayıda dilime ayrılıp analiz edilir**. Bu yöntemin en önemli özelliği tüm denge denklemlerini sağlamak için dilimler arası kuvvetlerin de hesaba katılabilmesidir.

Yatay yüzey üzerindeki  
bir blok



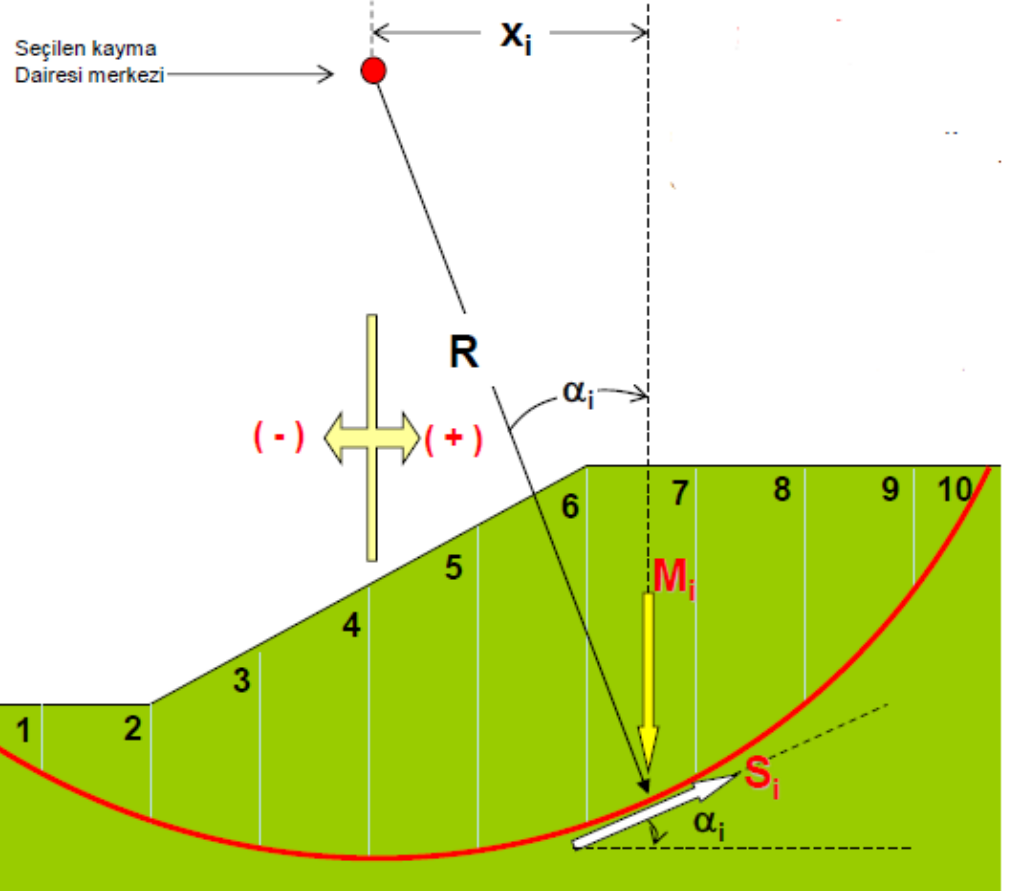
Eğimli yüzey üzerindeki  
bir blok



Kritik Denge

$$N=W.\text{Cos}\alpha$$

$$T=W.\text{Sin}\alpha$$

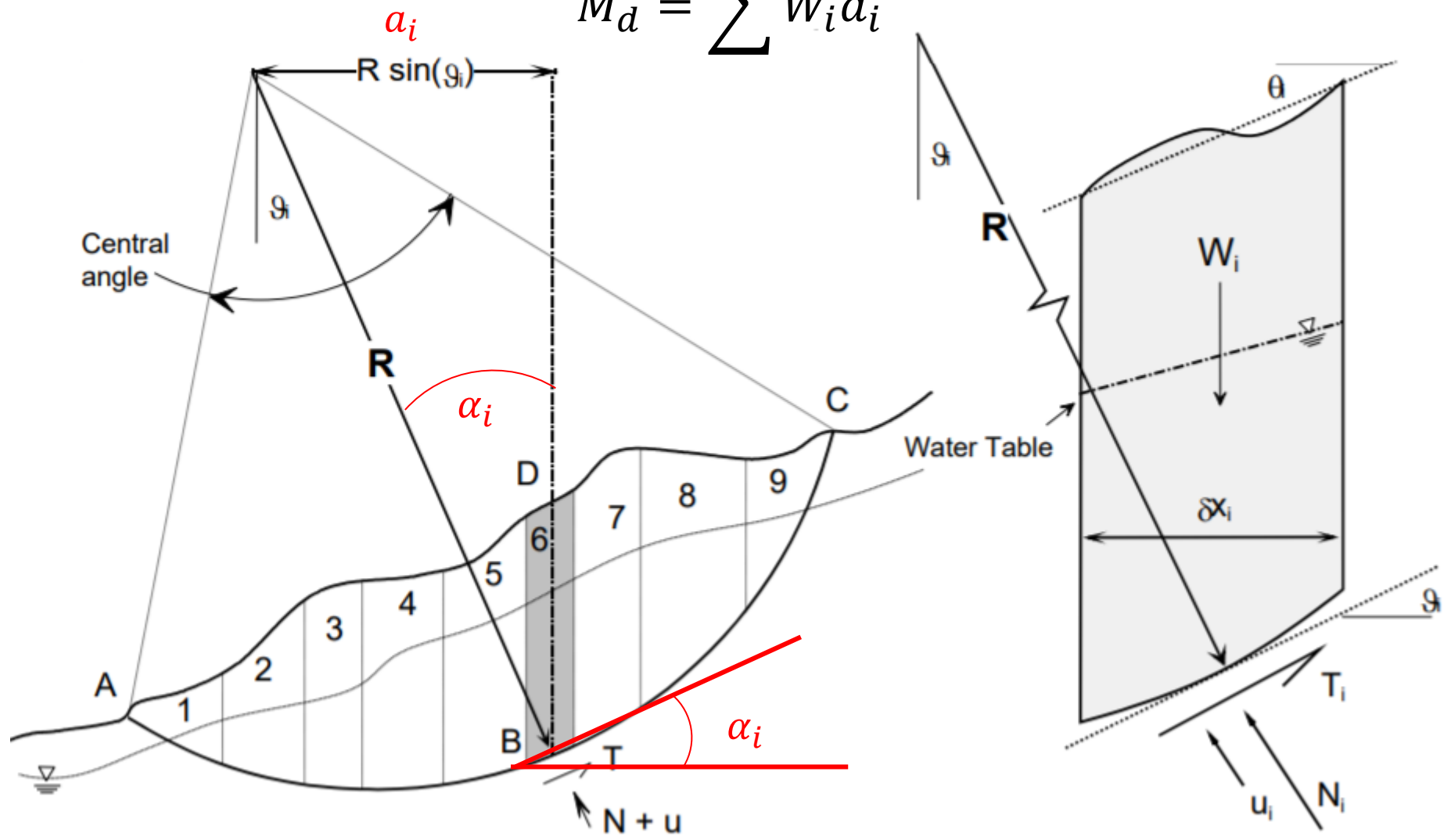


# LİMİT DENGE ANALİZLERİ/Dairesel Kayma/Dilim Yöntemleri

## Genel Değerlendirme

Dairesel kayma yüzeyine dayalı yöntemlerde daire merkezi etrafındaki momentlerin dengesi göz önüne alınır. kayma dairesi için döndüren moment aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$M_d = \sum W_i a_i$$



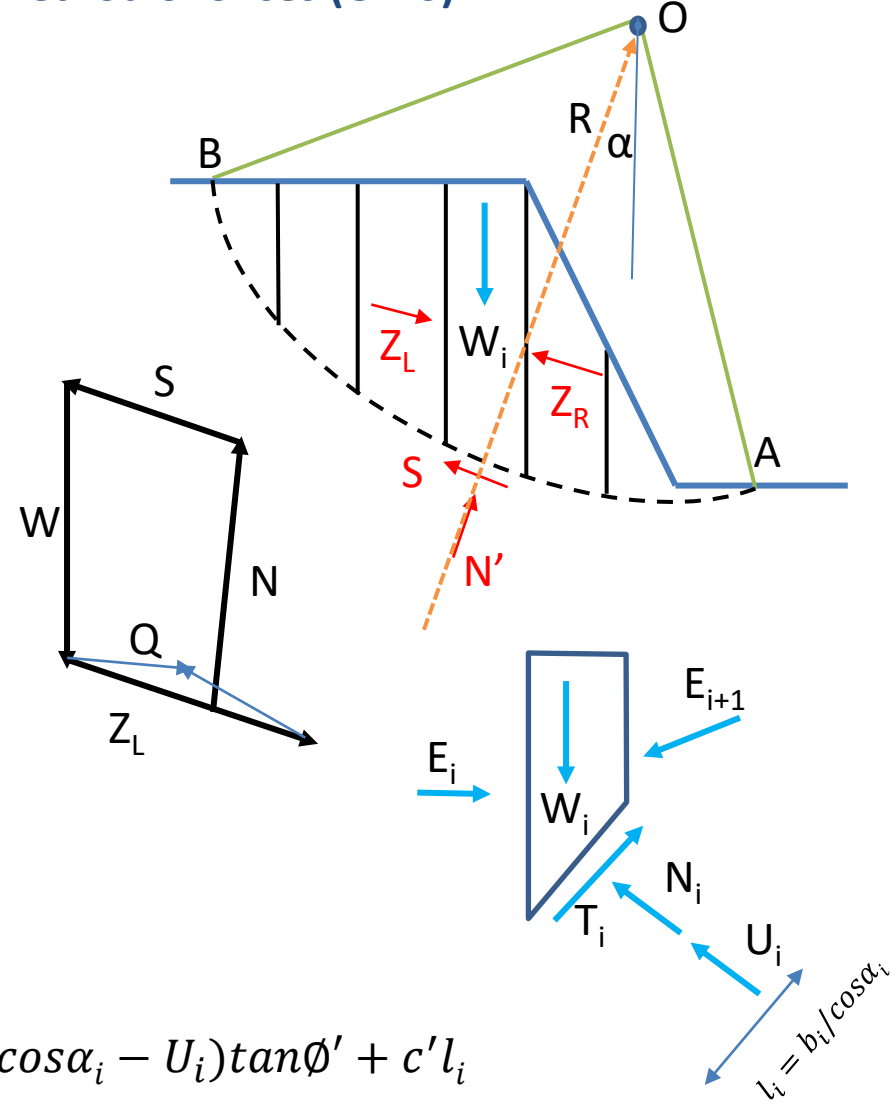


# LİMİT DENGİ ANALİZLERİ/**Dairesel Kayma/Dilim Yöntemleri**

## FELLENİUS METODU/Adi Dilim Yöntemi/Ordinary method of Slices (OMS)

Fellenius Metodunda daireysel kayma yüzeyi dilimlere bölünür ve her bir dilime etkiyen kuvvetler göz önüne alınır. Dilim ağırlığı, dilim tabanına dik ve paralel yöndeki bileşkelerine ayrılır. Dilim tabanına paralel doğrultuda etkiyen dilim ağırlığının bileşkesi ise şevi iten ve dengesini bozmaya çalışan kuvvettir.

**Yapılan ana varsayım dilimler arası kuvvetlerin bileşkesinin (Q) tabana paralel olduğudur. En küçük  $G_s$  bu yöntem ile bulunur.** Bir kayma yüzeyi boyunca oluşan kuvvetlerin momentleri toplamından kayma yüzeyinin güvenlik sayısı elde edilir. **Dilimler arası kuvvet yok sayılır.**



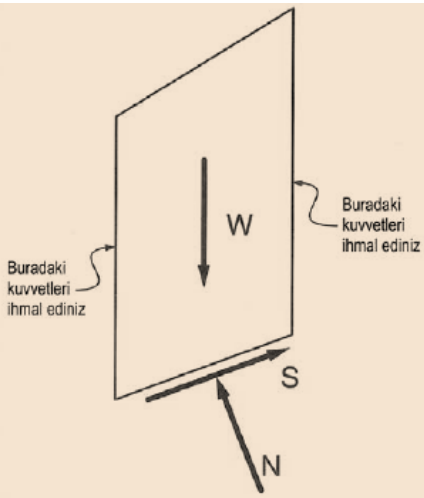
$$W_i = A \cdot \gamma_i$$

$$N_i = W_i \cos \alpha_i$$

$$T_i = W_i \sin \alpha_i$$

$$S_i = N_i \tan \phi' + c' l_i = (W_i \cos \alpha_i - U_i) \tan \phi' + c' l_i$$

$$G_k = \frac{\sum [c' l + (W \cos \alpha - u w l) \tan \phi']}{\sum W \sin \alpha}$$



# LİMİT DENGİ ANALİZLERİ/**Dairesel Kayma**/*Dilim Yöntemleri*

## FELLENİUS METODU/*Adi Dilim Yöntemi*/Ordinary method of Slices (OMS)

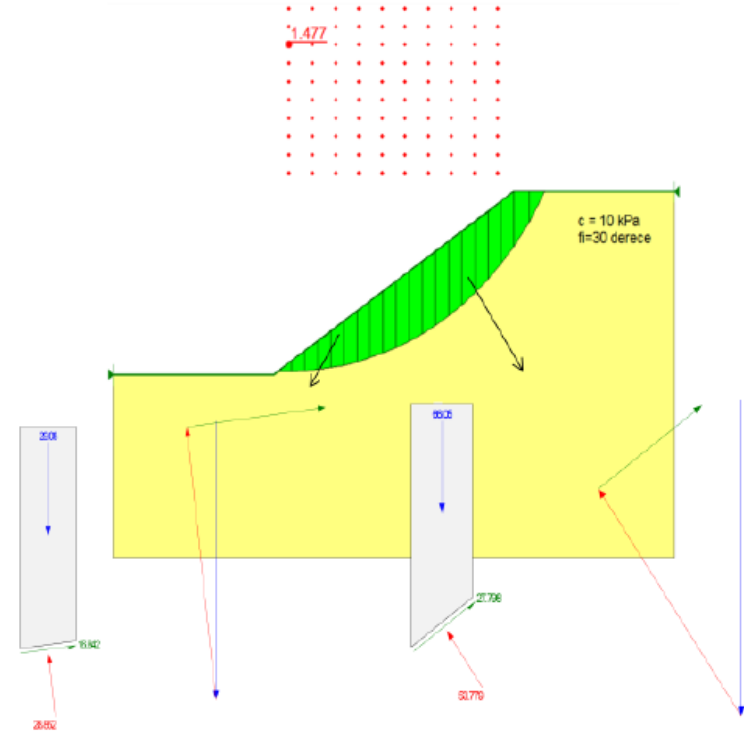
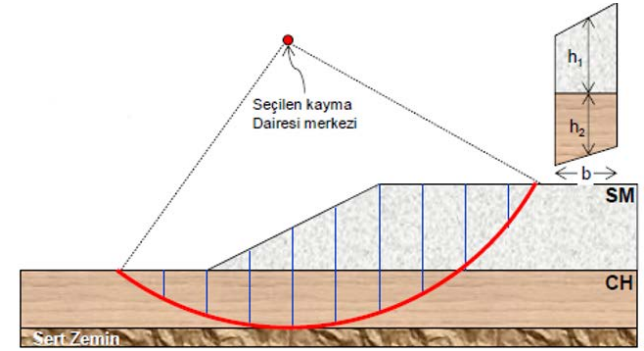
Diğer yöntemler ile karşılaştırıldığında, güvenlik sayısı genellikle % 5-20 arasında düşük değerler almaktadır. Bu yüzden, bu yöntemin kuru şevlerde ve diğer şev stabilitesi yöntemlerinin kontrolünde kullanması önerilmektedir.

Basit Dilim Yönteminde kayma yüzeyinin dairesel olduğu varsayılır ve dairenin merkezi etrafındaki momentler toplanır; yöntem sadece moment dengesini sağlar.

Basit Dilim Yöntemi  $\phi = 0$  için İsveç Daire Yöntemi ile aynı emniyet katsayısı değerini verir.

Basit Dilim Yöntemi emniyet katsayısının doğrudan hesaplanmasına izin verir. Bundan sonra tanımlanan dilim yöntemlerinin hepsinde, emniyet katsayısı tekrarlı deneme-yanılma çözümleri ile elde edilir. Yöntem bu nedenle elle hesaplamalar için uygundur.

Basit Dilim Yöntemi diğer dilim yöntemleri kadar hassas değildir. Doğruluk derecesi efektif gerilme analizlerinde daha düşük olup, boşluk suyu basınçlarının büyümesiyle azalmaktadır.



# LİMİT DENGE ANALİZLERİ/**Dairesel Kayma**/**Dilim Yöntemleri**

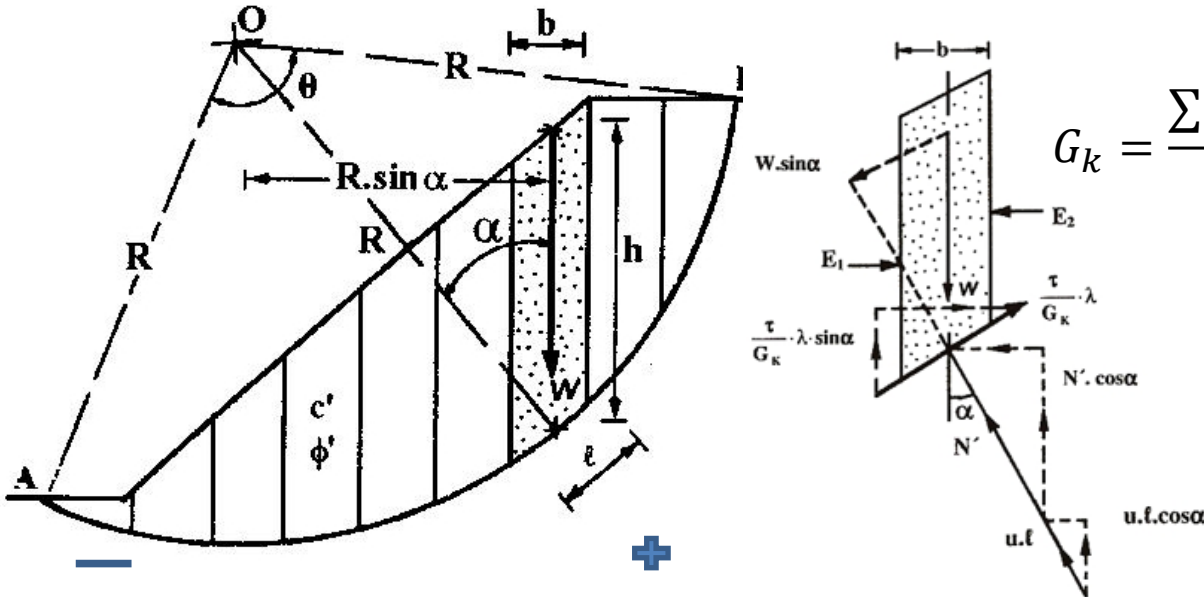
## BISHOP YÖNTEMLERİ

Bishop 1954 de dairesele kayma yüzeyinde hem kuvvet hemde momet denge koşullarını sağlayan yöntem geliştirmiştir. Bu yöntem,

- \* Dilimler arası normal kuvveti (E) hesaba dahil eder (yatay)
- \* Dilimler arası kayma kuvveti (X) ihmal eder (0 alır).
- \* Moment dengesini gözetererek hesap yapar.

Bishop denkleminin her iki tarafında da  $G_k$  olduğu için tek bir çözüm yoktur ve iterasyon yapmak gereklidir. Genelleştirilmiş Bishop yöntemi çok uzun olduğu için yaygın uygulama alanı bulmamış onun yerine sadeleştirilmiş Bishop yöntemi kullanılmaktadır. **Genel varsayım dilinim ağırlık vektörünün dilinim tabanının tam ortasında etkidir.**

$$m_\alpha = \left( 1 + \frac{\tan \alpha * \tan \phi}{G_k} \right) * \cos \alpha$$

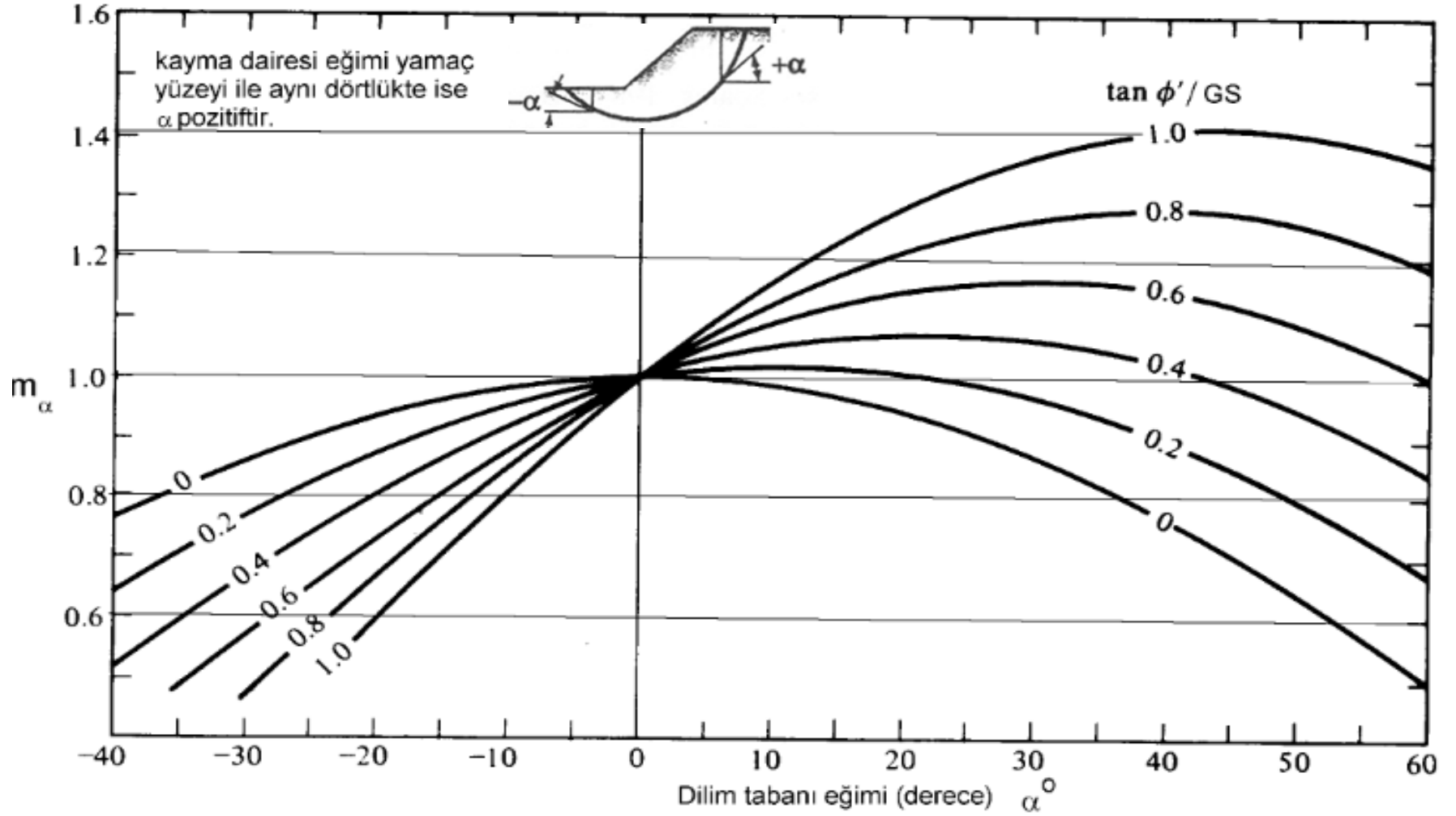


$$G_k = \frac{\sum [(W_i - uwb) \tan \phi' + c' \cdot b] \div m_\alpha}{\sum W \cdot \sin \alpha}$$

$W$  = dilim ağırlığı  
 $b$  = dilim genişliği

# LİMİT DENGE ANALİZLERİ/Dairesel Kayma/Dilim Yöntemleri

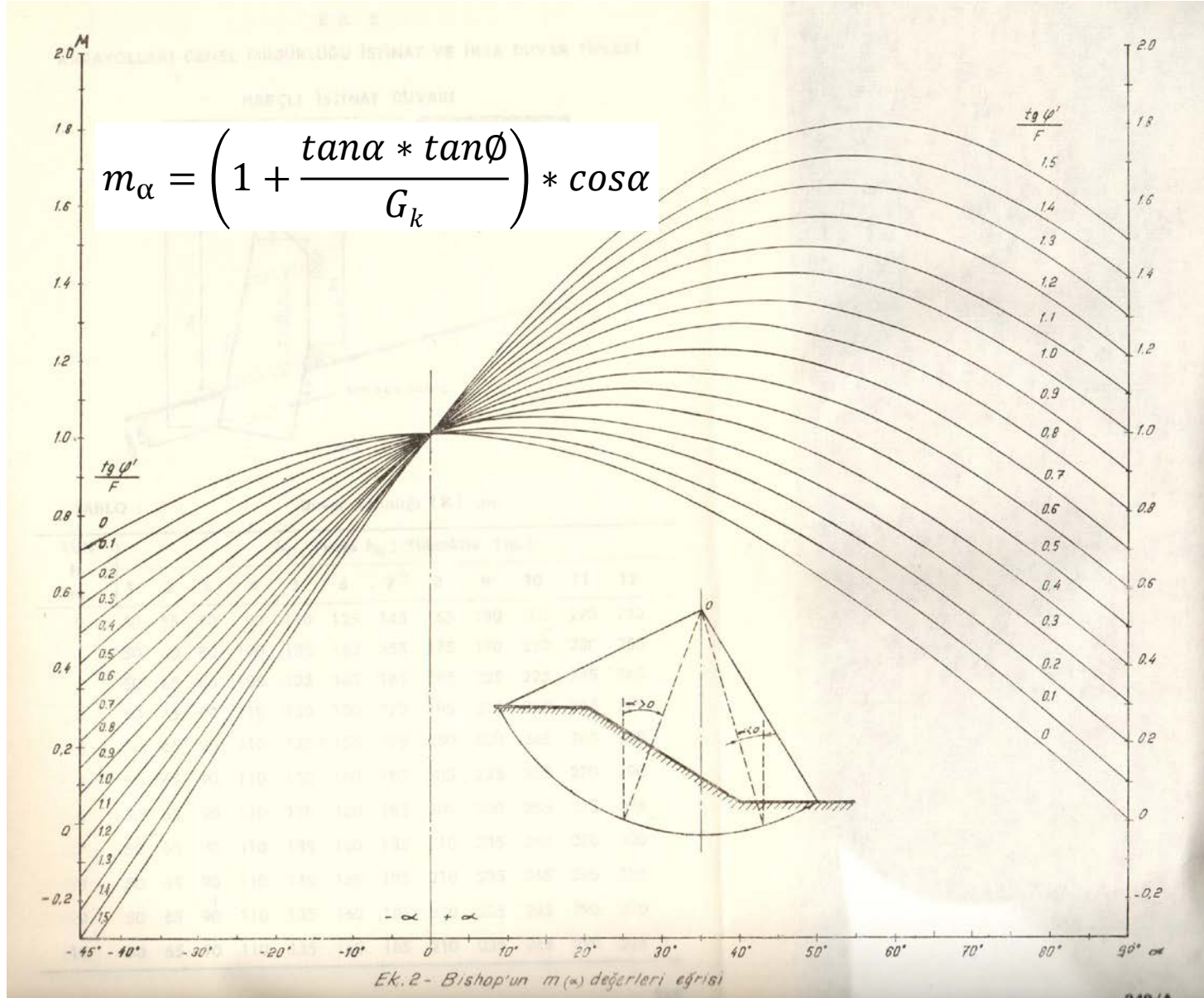
## BISHOP YÖNTEMLERİ



$$m_\alpha = \left( 1 + \frac{\tan \alpha * \tan \phi}{G_k} \right) * \cos \alpha$$

# LİMİT DENGE ANALİZLERİ/**Dairesel Kayma**/**Dilim Yöntemleri**

## BISHOP YÖNTEMLERİ



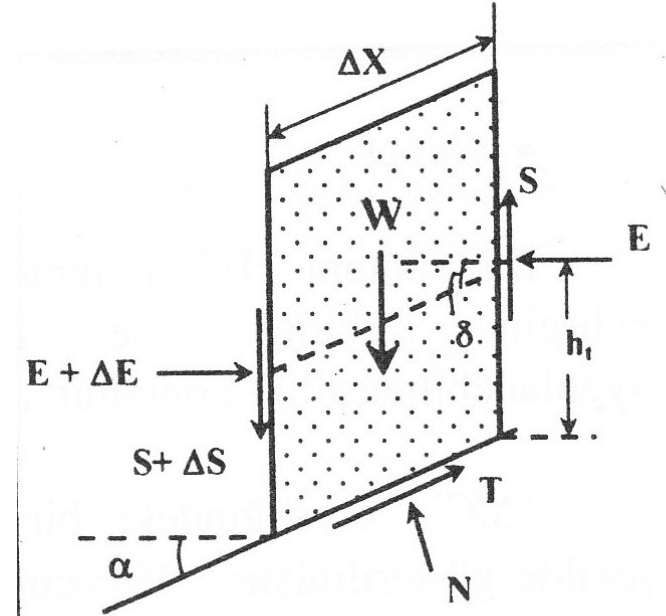
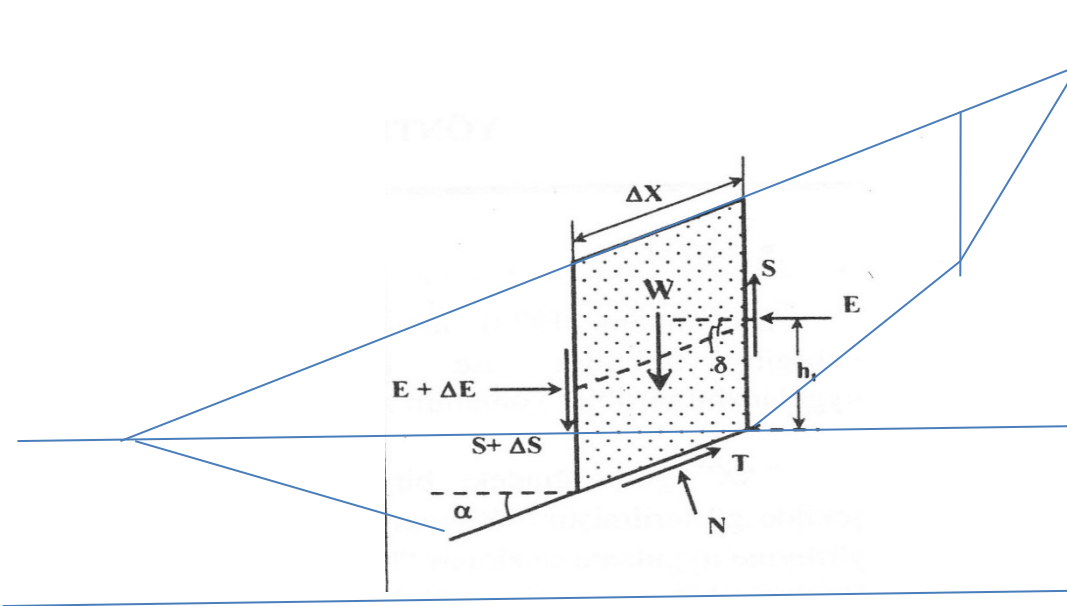
# LİMİT DENGİ ANALİZLERİ/**Dairesel Olmayan Kayma**/*Dilim Yöntemleri*

## JANBU YÖNTEMİ

Sadeleştirilmiş Bishop yöntemine dayandırılan ve Janbu tarafından önerilen bu yöntem, genel şekilli kayma yüzeylerine uygulanmaktadır. Sadeleştirilmiş Bishop yönteminde farklı iki temel özelliği vardır.

### Temel Varsayımları

1. Kayma yüzeyi bir seri kritik daire kabulü yerine bir kayma yüzeyi kabulüne dayandırılır.
2. Güvenlik Sayısı düzeltme sayısı ( $f_0$ ) ile belirlenir.
3. Yatay kuvvetleri dengede kabul eder.





# LİMİT DENGE ANALİZLERİ/**Dairesel Olmayan Kayma**/Dilim Yöntemleri

## JANBU YÖNTEMİ

Sadeleştirilmiş Bishop yöntemine dayandırılan ve jambu tarafından önerilen bu dilim yöntemi genel şekilli kayma yüzeylerine uygulanabilmektedir. Bishop yönteminden farklı iki temel özelliği vardır. Bunlardan birincisi; kayma yüzeyi birtakım kritik daire yerine bir kayma yüzeyine dayandırılır. İkincisi, güvenlik sayısı düzeltme sayısı ile ( $f_0$ ) belirlenir.

$$G_s = f_0 \frac{\sum c'.b + (W - u.b)\tan\phi' \frac{1}{\cos\alpha.m\alpha}}{\sum W.tan\alpha}$$

- $G_K$  = Güvenlik katsayısı  
 $c'$  = Zeminin efektif kohezyon değeri  
 $\phi'$  = Efektif içsel sürtünme açısı  
 $b$  = Dilim genişliği  
 $W$  = Dilimin statik ağırlığı  
 $u$  = Boşluk basıncı
- Janbu dairesel olmayan kayma yüzeyinde,  
\*dilimler arası normal kuvveti (E) hesaba dahil eder.  
\*dilimler arası kayma kuvveti (X) ihmal eder.  
\*ve yatay kuvvet dengesini gözeterek hesap yapar.

$m_a$  =  $f\left(\frac{\tan\phi'}{G_K}, \alpha\right)$  değişimi Abak yada fomülle

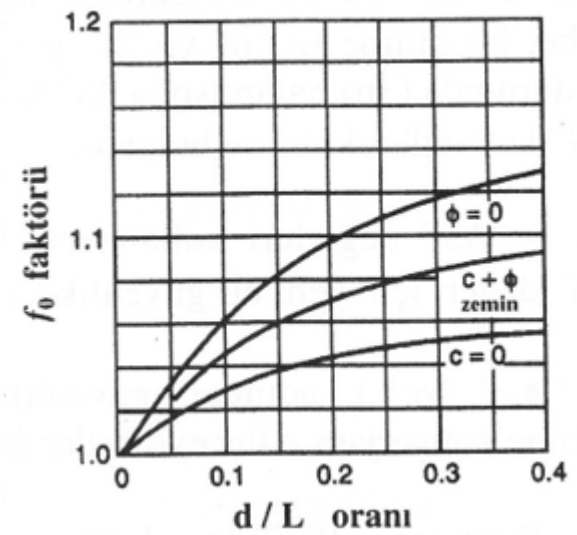
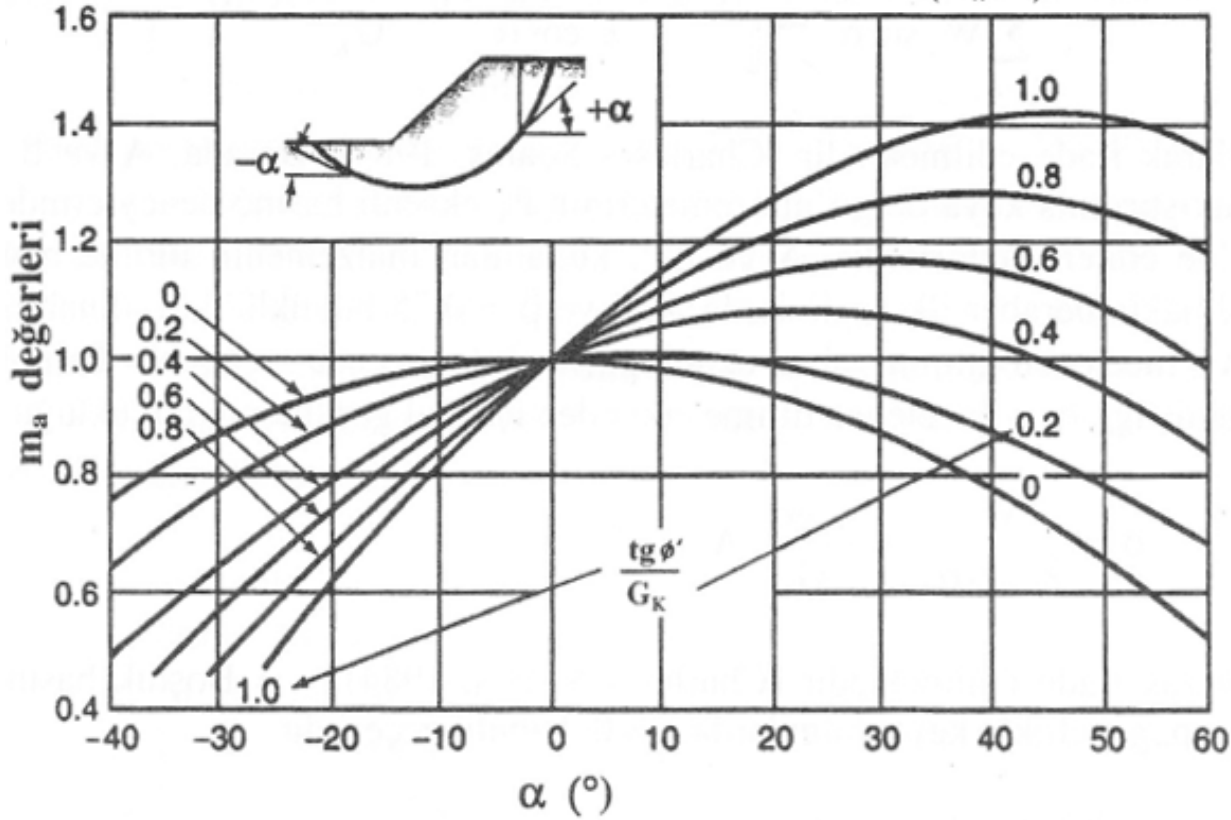
$f_0$  = Düzeltme faktörü. Bu faktör, kabûl edilen kayma yüzeyinin geometrik büyüklüklerine ve zeminin türüne (granüler, kohezyonlu, granüler - kohezyonlu - siltli zemin) bağlıdır. Janbu tarafından geliştirilen  $f_0 = f(d/L, \text{zemin türü})$  abağından kestirilir



# LİMİT DENGE ANALİZLERİ/**Dairesel Olmayan Kayma**/*Dilim Yöntemleri*

## JANBU YÖNTEMİ

$$m_a = f\left(\frac{\text{tg}\phi'}{G_K}, \alpha\right) \text{ de\u0131işimleri}$$



Janbu yönteminde düzeltme faktörü abağı  
 $\phi = 0$ : Kohezyonlu (ince daneli) zemin  
 $c = 0$ : Granüler (iri daneli) zemin

# LİMİT DENGE ANALİZLERİ/**Dairesel-Dairel Olmayan Kayma**/*Dilim Yöntemleri*

## MORGENSTERN-PRICE YÖNTEMİ

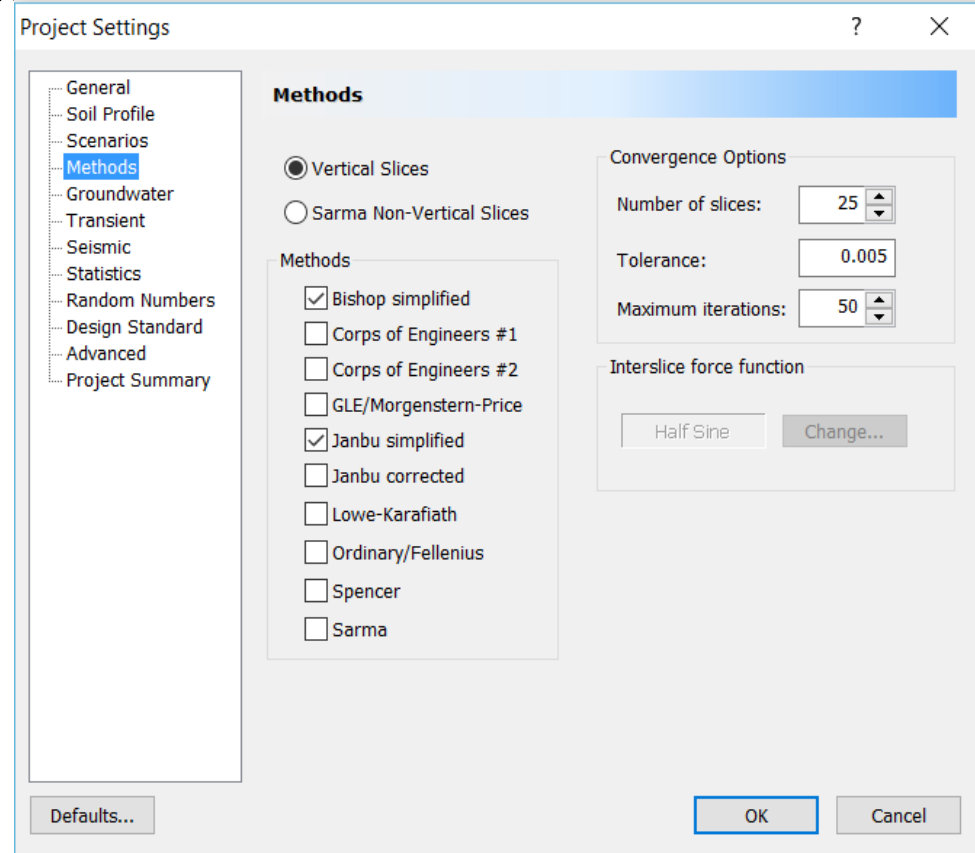
Bu yöntem genel şekilli kayma analizleri için uygundur. Ancak bilgisayarda yapılmaktadır. Yöntem her dilim arasındaki kuvvetlerin değişimi kabulüne dayanmaktadır.

Bishop sonuçları ile arasında genellikle % 7 yada daha fark olmaktadır. Bu yöntem ile elde edilen güvenlik sayısı Fellunus çözümünden önemli ölçüde farklı olmakta ancak güvenli tarafta alınan sonuçlar elde edilmektedir.

## SPENCER YÖNTEMİ

Spencer yöntemi güvenilir doğruluk ile kullanım kolaylığını birleştirmesi açısından Jeo/Geoteknik mühendisleri arasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Çözüm için bilgisayar programları gerekli olsa da kullanıcı girdileri çok basittir.

Spencer her dilim kenarındaki normal ve kesme kuvvetlerin bileşkesinin aynı hat üzerinde olduğunu ve  $\theta$  açısında etkidiğini varsaymıştır. İşlem aşamaları çok uzun olduğu için bilgisayarla yapılması değerlendirmeyi kolaylaştırmaktadır.



# LİMİT DENGE ANALİZLERİ/**Dairesel-Dairel Olmayan Kayma**/*Dilim Yöntemleri*

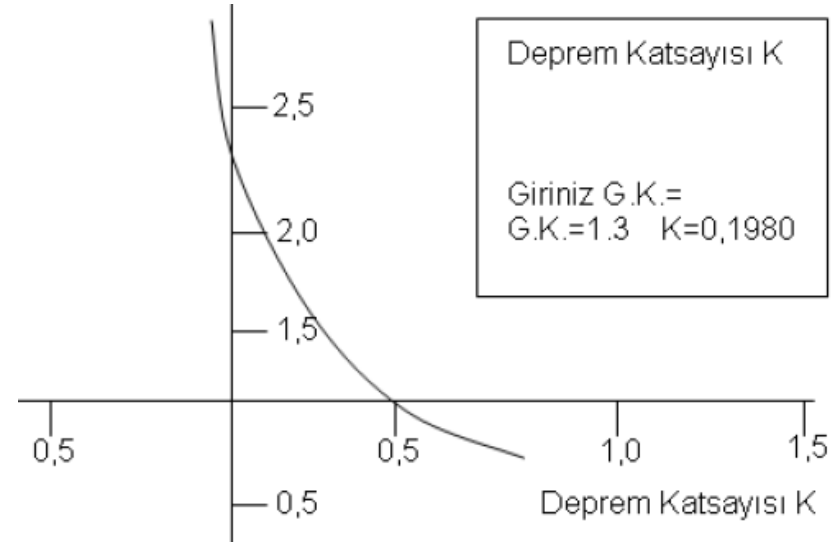
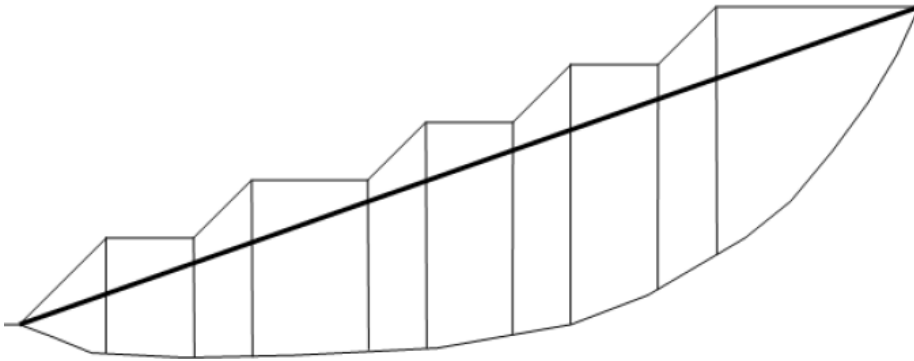
## SARMA YÖNTEMİ

Sarma yöntemi dairesel, düzlemsel ve kompleks kayma düzlemleri için uygulanmaktadır. Yöntemin esasını dilimlere ayırma ile hesaplama oluşturmaktadır olup ana prensibi şevin duraylılığını kaybettirecek uniform yatay ivmenin kritik değerini bulmaktır. Bu metoda hesaplama tek bir kayma yüzeyi için X ve Y koordinatlarının verilmesi suretiyle yapılmaktadır.

Bu yöntemde de deprem katsayısına bağlı olarak güvenlik katsayısı değeri tespit edilmektedir. Sarma yöntemi kullanılmak yoluyla elde edilen grafik Şekil'de verilmektedir.

Şekilde;

- Şev geometrisi,
- Kayma yüzeyi,
- Deprem katsayısına bağlı olarak elde edilen güvenlik katsayısı, durumları da gösterilmektedir



# ŞEV ANALİZLERİ/Genel değerlendirme

Yöntem	Varsayımlar	Sağlanan denge denklemleri	Çözülmesi gerekli bilinmeyenler
Sonsuz Şev	Sonsuz uzanımlı bir şev; kayma yüzeyi şev yüzüne paralel	Şeve dik kuvvetler toplamı	Emniyet katsayısı ( $F$ )
		Şeve paralel kuvvetler toplamı	Kesme yüzeyinde normal kuvvet ( $N$ )
		Toplam denklem sayısı (moment dengesi dolaylı olarak sağlanır)	Toplam bilinmeyen
Logaritmik Spiral	Kayma yüzeyi bir logaritmik spiraldir.	Spiralin merkezine göre momentler toplamı	Emniyet katsayısı ( $F$ )
		Toplam denklem sayısı (kuvvet dengesi dolaylı olarak sağlanır)	Toplam bilinmeyen
İsveç Dairesi ( $\phi = 0$ )	Kayma yüzeyi dairesel; sürtünme açısı = 0	Dairenin merkezine göre momentler toplamı	Emniyet katsayısı ( $F$ )
		Toplam denklem (kuvvet dengesi dolaylı olarak sağlanır)	Toplam bilinmeyen
Basit Dilim Yöntemi (Fellenius Yöntemi ve İsveç Dilim Yöntemi olarak da bilinir)	Kayma yüzeyi dairesel; dilim kenarındaki kuvvetler ihmal edilir.	Dairenin merkezine göre momentler toplamı	Emniyet katsayısı ( $F$ )
		Toplam denklem sayısı	Toplam bilinmeyen
Basitleştirilmiş Bishop	Kayma yüzeyi dairesel; dilim kenarındaki kuvvetler yatay (yani, dilimler arasında kesme kuvveti yok).	Dairenin merkezine göre momentler toplamı	Emniyet katsayısı ( $F$ )
		düşey yöndeki kuvvetler toplamı	Dilim tabanı üzerinde normal kuvvet ( $N$ )
		Toplam denklem sayısı	Toplam bilinmeyen $n+1$

# ŞEV ANALİZLERİ/Genel değerlendirme

Yöntem	Varsayımlar	Sağlanan denge denklemleri	Çözülmesi gerekli bilinmeyenler
Kuvvet dengesi (Lowe ve Karafiath, Basitleştirilmiş Janbu, Corps of Engineers'ın Değişkenmiş İsveç ve Janbu'nun GPS yöntemi)	Dilimler-arası kuvvetlerin eğimleri varsayılır; varsayımlar yönetime göre değişir.	yatay kuvvetler toplamı	$n$ Emniyet katsayısı ( $N$ )
		düşey kuvvetler toplamı	$n$ Dilim tabanı üzerinde normal kuvvet ( $N$ )
			Bileşke dilimler-arası kuvvetler ( $Z$ )
		Toplam denklem sayısı	$2n$ Toplam bilinmeyen
Spencer	Dilimler-arası kuvvetler paralel (yani, hepsinin eğimi aynı). Normal kuvvet ( $N$ ) tipik olarak dilim tabanı merkezine etkir.	Seçilmiş herhangi bir noktaya göre toplam momentler	$n$ Emniyet katsayısı ( $F$ )
		yatay kuvvetler toplamı	$n$ Dilimler-arası kuvvet
		düşey kuvvetler toplamı	$n$ Dilim tabanı üzerinde normal kuvvet ( $N$ )
			Bileşke dilimler-arası kuvvetler ( $Z$ )
			Kenar kuvvetlerinin (itki hattının) yeri
		Toplam denklem sayısı	$3n$ Toplam bilinmeyen
Morgenstern ve Price	Dilimler-arası kesme kuvveti ile dilimler-arası normal kuvvet arasındaki ilişki $X = \lambda f(x)E'$ dir; normal kuvvet ( $N$ ) tipik olarak dilim tabanı ortasına etkir.	Seçilmiş herhangi bir noktaya göre toplam momentler	$n$ Emniyet katsayısı ( $F$ )
		yatay kuvvetler toplamı	$n$ Dilimler-arası kuvvet eğimi
		düşey kuvvetler toplamı	$n$ "ölçekleme" faktörü ( $\lambda$ )
			$n$ Dilim tabanı üzerinde normal kuvvet ( $N$ )
			Dilimler-arası yatay kuvvetler
			Dilimler-arası kuvvetlerin yeri (itki hattı)
		Toplam denklem sayısı	$3n$ Toplam bilinmeyen

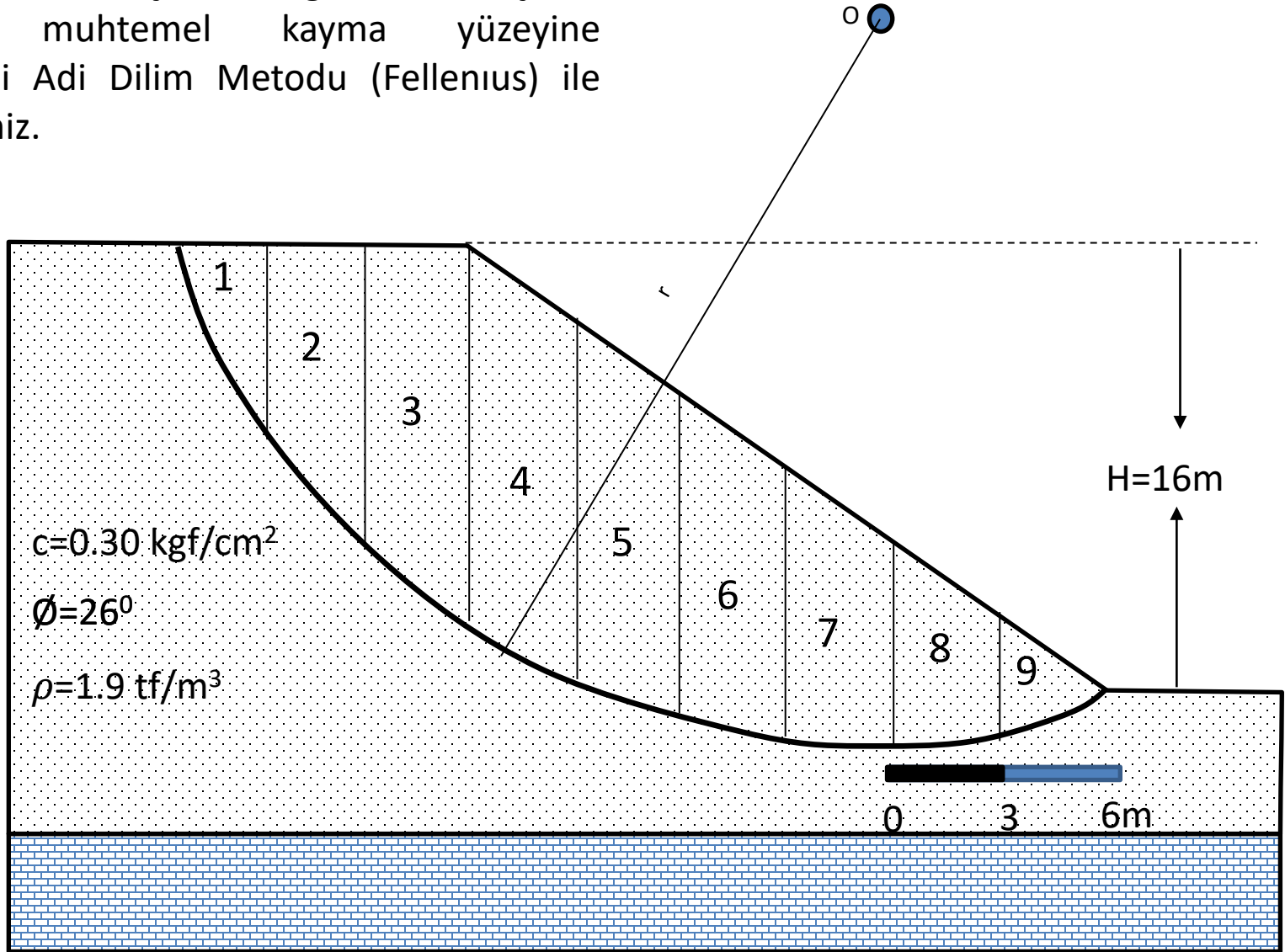
# ŞEV ANALİZLERİ/Genel değerlendirme

Yöntem	Varsayımlar	Sağlanan denge denklemleri	Çözülmesi gerekli bilinmeyenler
Chen ve Morgenstern	Dilimler-arası kesme kuvveti ile dilimler-arası normal kuvvet arasındaki ilişki $X = [\lambda f(x)+f_0(x)]E'$ dir; normal kuvvet ( $N$ ) tipik olarak dilim tabanı ortasına etkir.	Seçilmiş herhangi bir noktaya göre toplam momentler	Emniyet katsayısı ( $F$ ) 1
		yatay kuvvetler toplamı	Dilimler-arası kuvvet eğimi "ölçekleme" faktörü ( $\lambda$ ) 1
		düşey kuvvetler toplamı	Dilim tabanı üzerinde normal kuvvet ( $N$ ) "
			Dilimler-arası yatay kuvvetler $n-1$
			Dilimler-arası kuvvetlerin yeri (itki hattı) $n-1$
		Toplam denklem sayısı	3 $n$
			Toplam bilinmeyen 3 $n$
Sarma	Dilimler-arası kesme kuvveti ile dilimler-arası kesme dayanımı ( $S_v$ ) arasındaki ilişki $X = \lambda f(x)S_v'$ dir; dilimler-arası kesme dayanımı kesme dayanımı parametrelerine, boşluk suyu basınçlarına ve dilimler-arası kuvvetin yatay bileşenine bağlıdır; normal kuvvet ( $N$ ) tipik olarak dilim tabanı ortasına etkir.	Seçilmiş herhangi bir noktaya göre toplam momentler	Emniyet katsayısı ( $F$ ) 1
		yatay kuvvetler toplamı	Dilimler-arası kuvvet eğimi "ölçekleme" faktörü ( $\lambda$ ) 1
		düşey kuvvetler toplamı	Dilim tabanı üzerinde normal kuvvet ( $N$ ) "
			Dilimler-arası yatay kuvvetler $n-1$
			Dilimler-arası kuvvetlerin yeri (itki hattı) $n-1$
		Toplam denklem sayısı	3 $n$
			Toplam bilinmeyen 3 $n$



# UYGULAMA

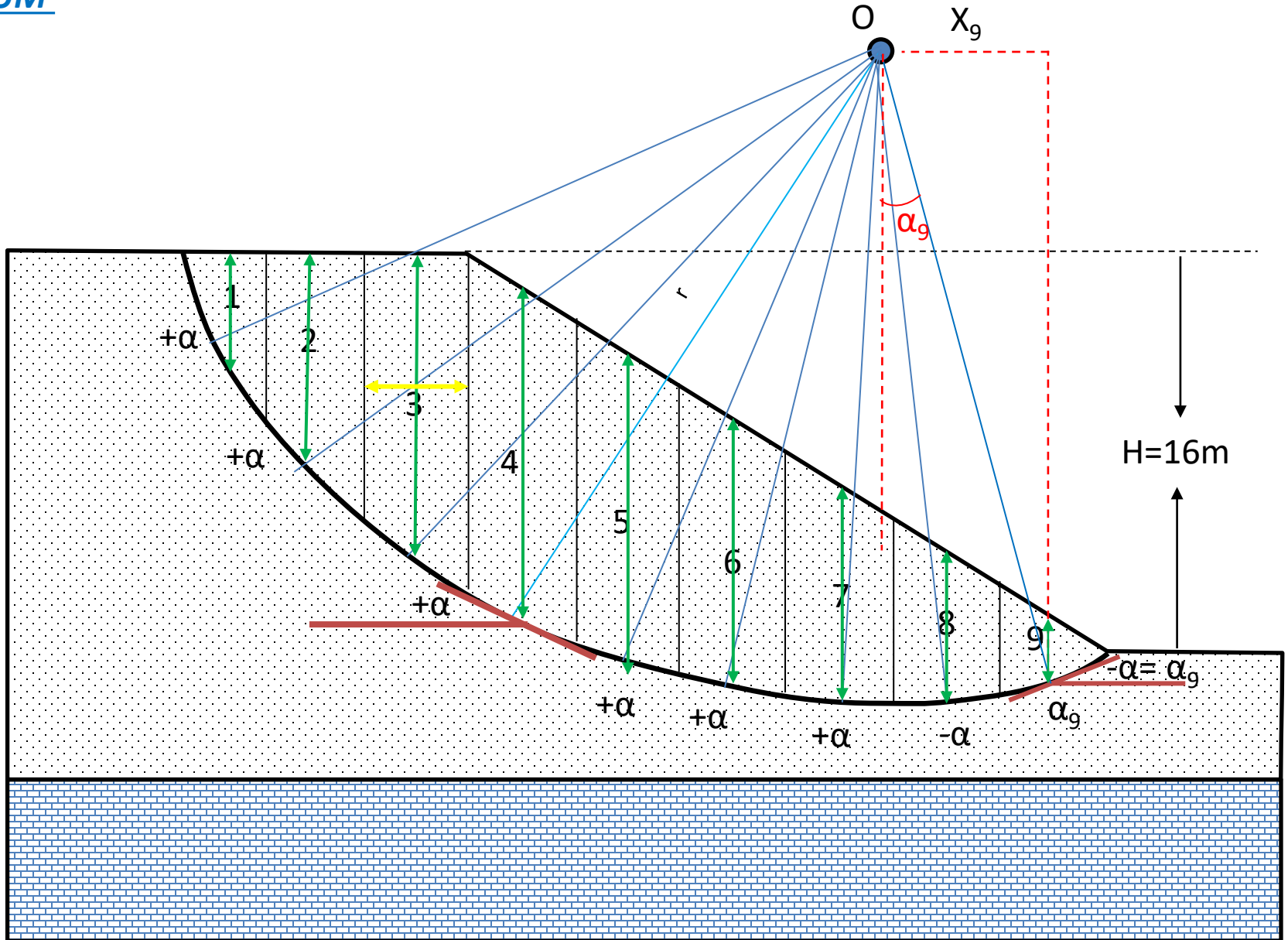
**SORU: 1** Özellikleri şekildeki gibi olan bir şevin belirtilen muhtemel kayma yüzeyine stabilitesini Adi Dilim Metodu (Fellenius) ile tahkik ediniz.





# UYGULAMA

## ÇÖZÜM



# UYGULAMA

## ÇÖZÜM

Dilim yay uzunluğu

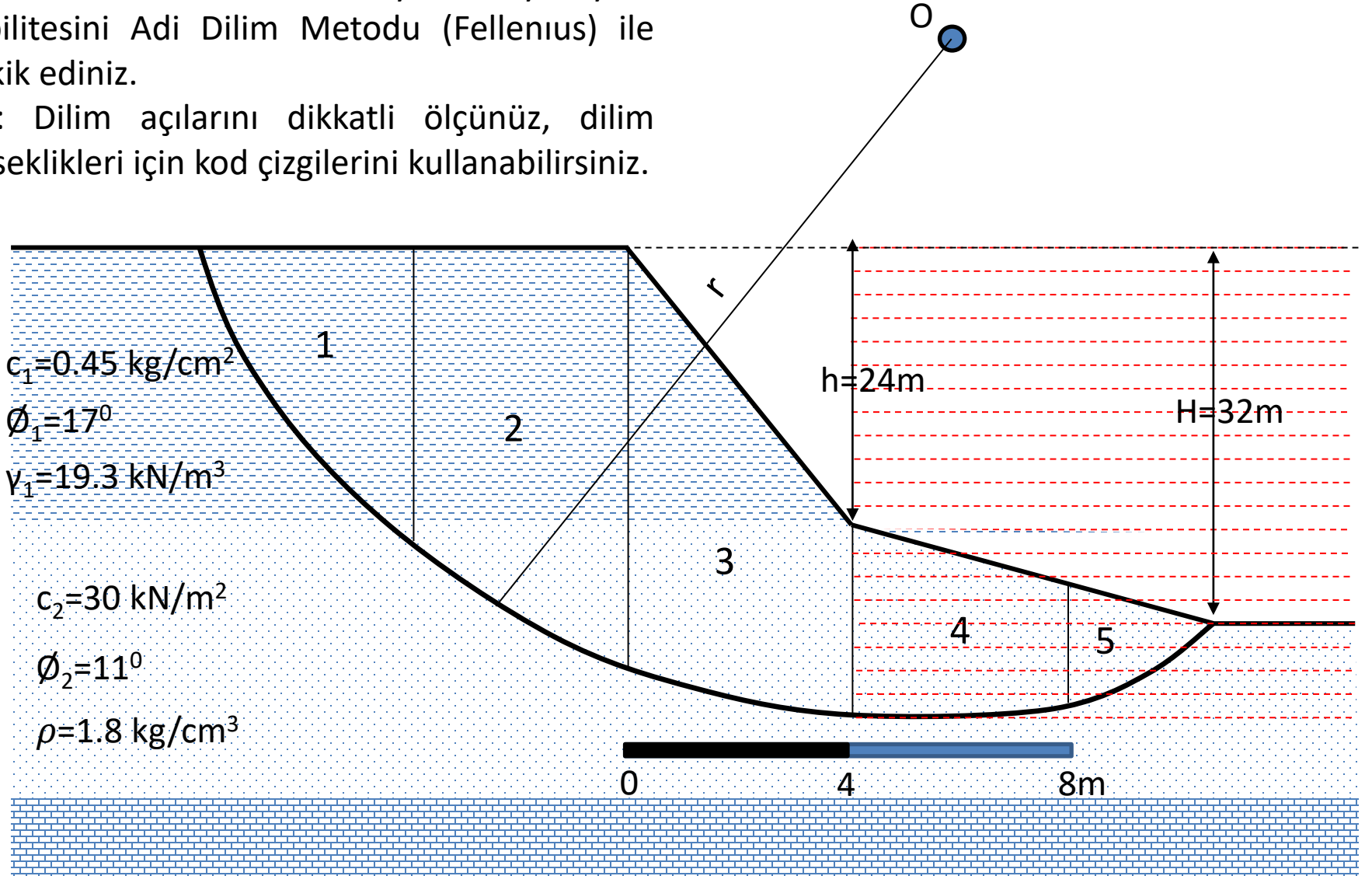


Dilim No	b (m)	h (m)	W=γ*b*h (ton)	α (°)	cosa	sina	l=b/cosa	cb/cosa	W*cosα*tanØ (ton)	W*sina (ton)
1.00	3.00	4.00	22.80	68.00	0.38	0.93	8.00	23.99	4.17	21.13
2.00	3.00	9.10	51.87	51.00	0.63	0.78	4.76	14.29	15.92	40.30
3.00	3.00	12.20	69.54	40.00	0.77	0.64	3.92	11.75	25.97	44.68
4.00	3.00	12.80	72.96	30.00	0.87	0.50	3.46	10.39	30.80	36.46
5.00	3.00	11.60	66.12	21.00	0.93	0.36	3.21	9.64	30.09	23.68
6.00	3.00	9.85	56.15	12.00	0.98	0.21	3.07	9.20	26.77	11.67
7.00	3.00	7.60	43.32	4.00	1.00	0.07	3.01	9.02	21.06	3.02
8.00	3.00	5.00	28.50	-4.00	1.00	-0.07	3.01	9.02	13.86	-1.99
9.00	3.00	1.70	9.69	-12.00	0.98	-0.21	3.07	9.20	4.62	-2.01
Toplam								106.50	173.27	176.95
$G_s = \frac{\sum(\frac{cb}{\cos\alpha} + w * \cos\alpha * \tan\phi)}{\sum W * \sin\alpha}$										1.58

# UYGULAMA

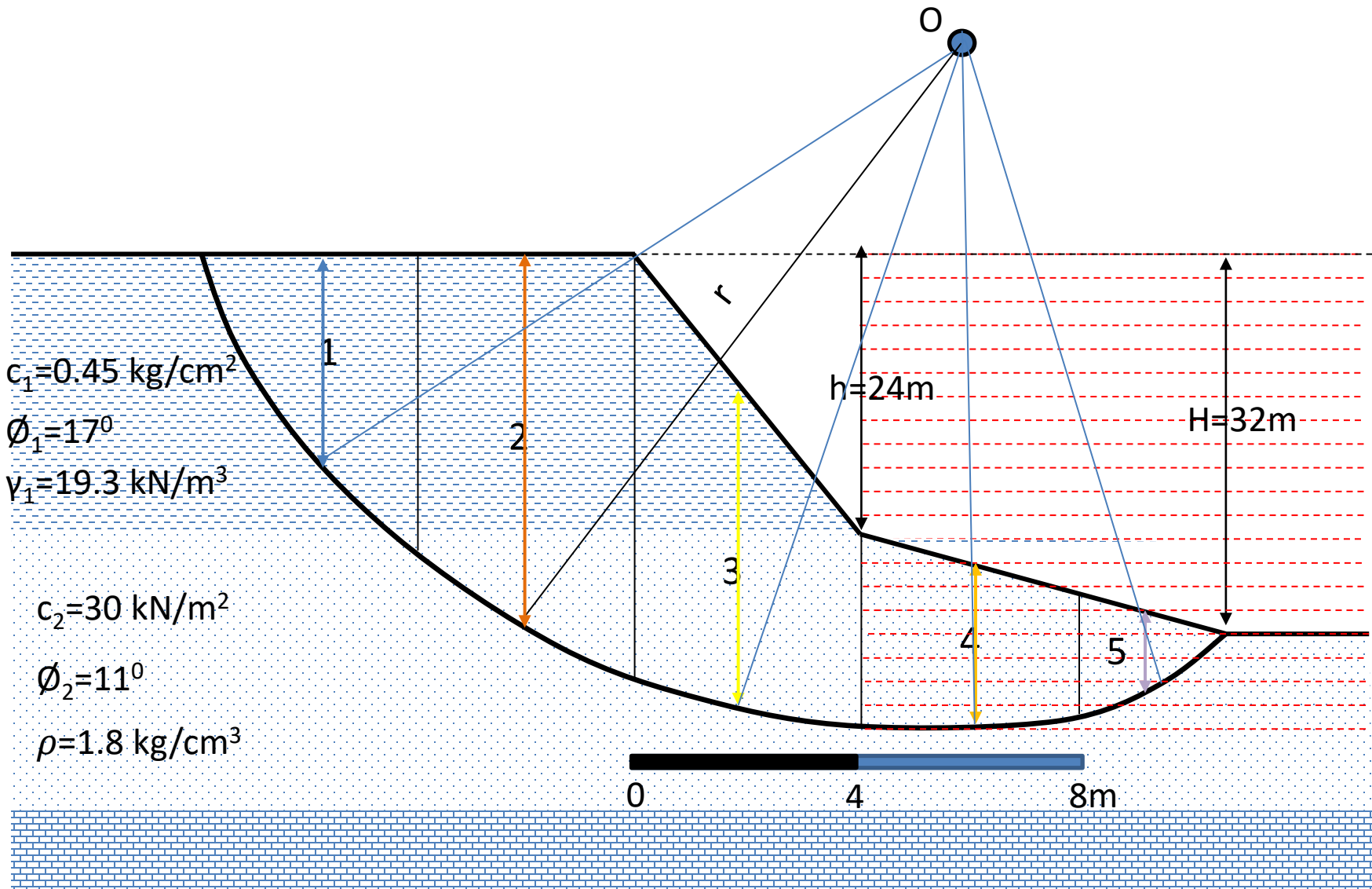
**SORU 2:** Özellikleri şekildeki gibi olan bir şevin belirtilen muhtemel kayma yüzeyine stabilitesini Adi Dilim Metodu (Fellenius) ile tahkik ediniz.

Not: Dilim açılarını dikkatli ölçünüz, dilim yükseklikleri için kod çizgilerini kullanabilirsiniz.



# UYGULAMA

## ÇÖZÜM:



# UYGULAMA

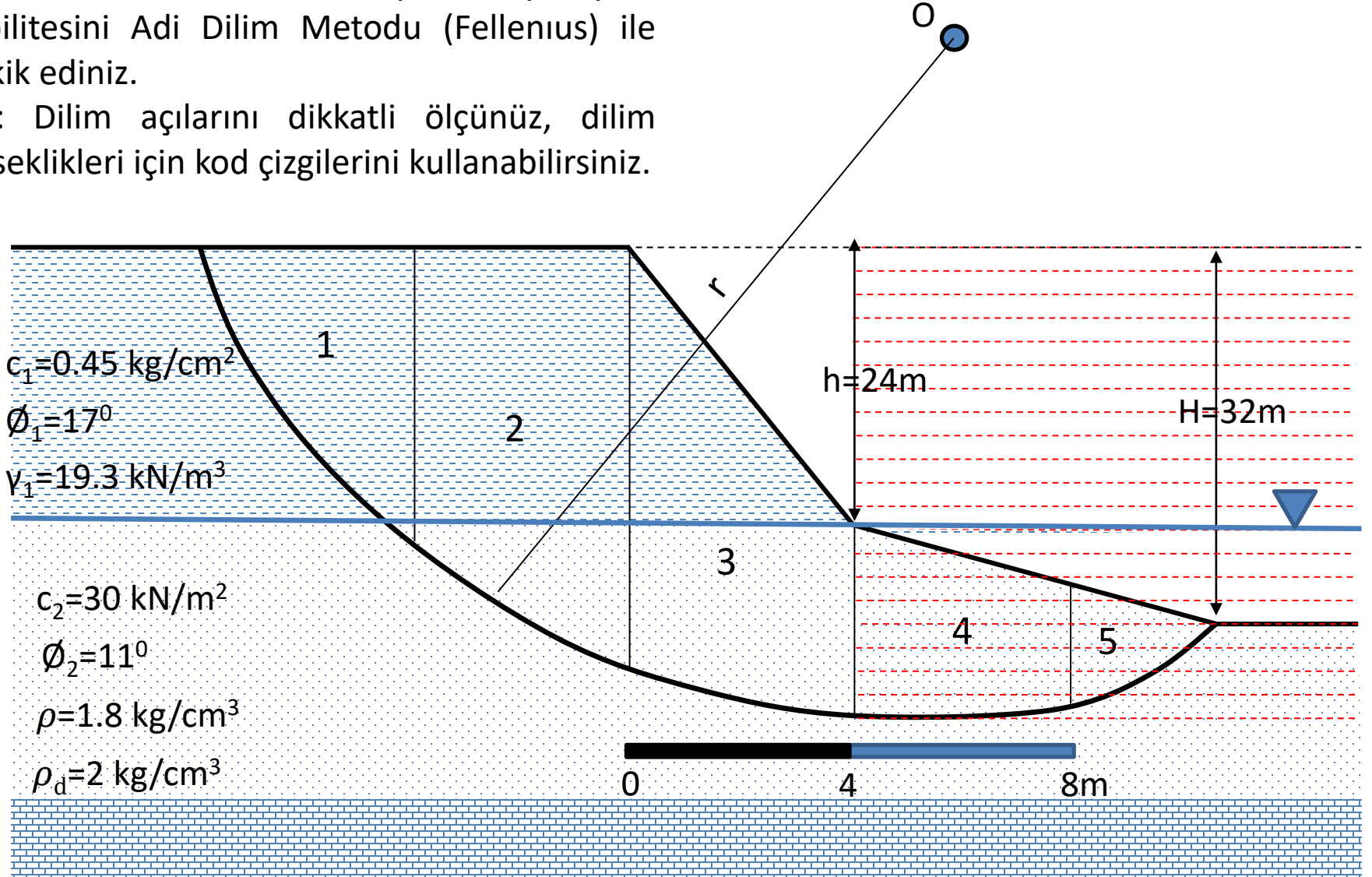
## ÇÖZÜM:

Dilim No	b (m)	Dilim Yüksekliği (m)		W=γ*b*h (kN)	α (°)	cosα	sinα	l=b/cosα	cb/cosα	W*cosα*tan∅	W*sinα
		h1	h2								
1.00	4.00	18.00	0.00	1389.60	54.00	0.59	0.81	6.80	306.03	398.40	1123.82
2.00	4.00	24.00	8.00	2428.80	34.00	0.83	0.56	4.82	144.72	391.27	1357.56
3.00	4.00	11.00	16.00	2001.20	16.00	0.96	0.28	4.16	124.83	373.75	551.33
4.00	4.00	0.00	14.00	1008.00	-5.00	1.00	-0.09	4.02	120.46	195.09	-87.81
5.00	2.40	0.00	6.00	259.20	-32.00	0.85	-0.53	2.83	84.89	42.71	-137.29
Toplam									780.92	1401.22	2807.61
$G_s = \frac{\sum(\frac{cb}{\cos\alpha} + W * \cos\alpha * \tan\emptyset)}{\sum W * \sin\alpha}$										0.78	

# UYGULAMA

**ÖDEV:** Özellikleri şekildeki gibi olan bir şevin belirtilen muhtemel kayma yüzeyine stabilitesini Adi Dilim Metodu (Fellenius) ile tahkik ediniz.

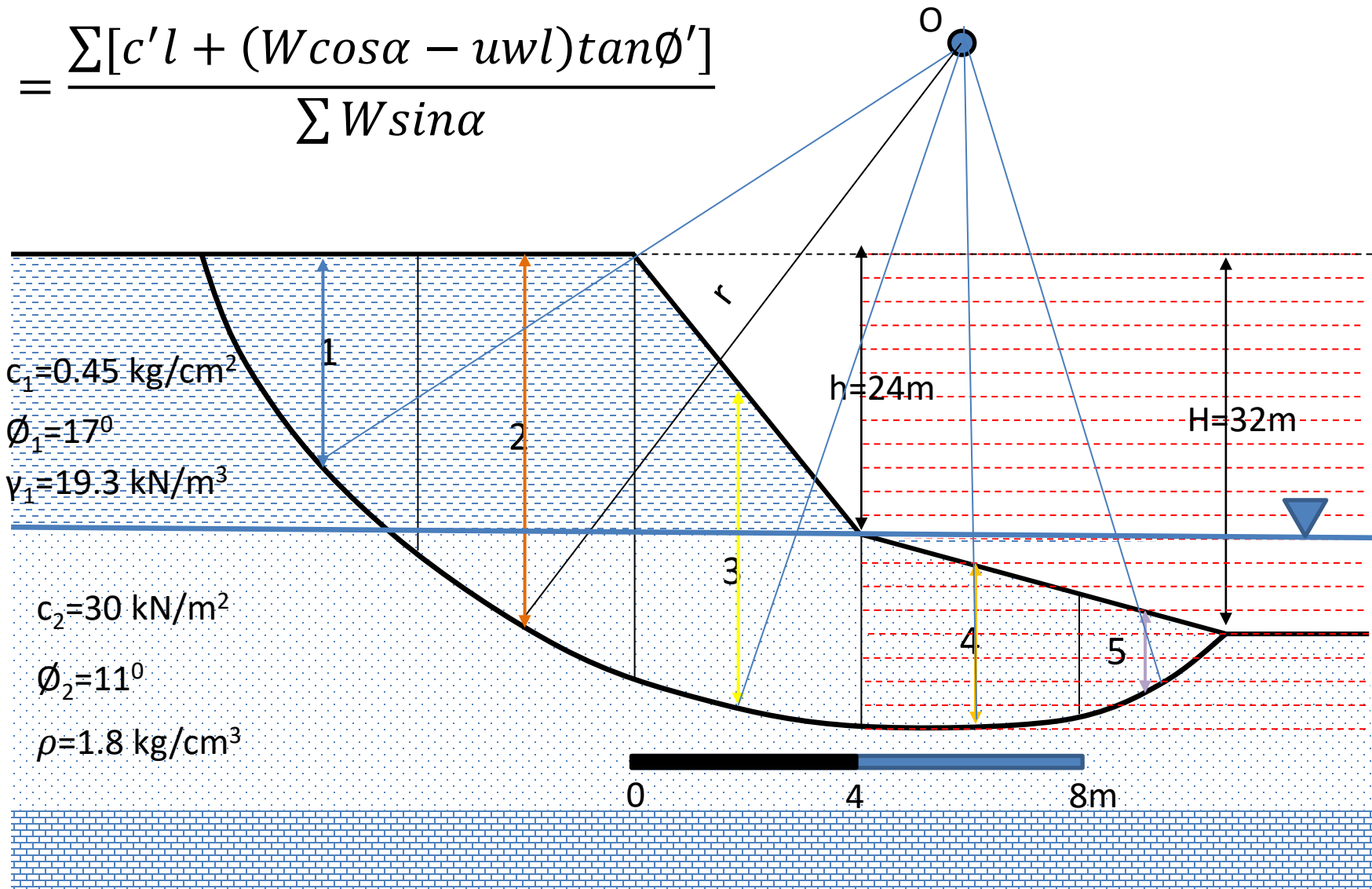
Not: Dilim açılarını dikkatli ölçünüz, dilim yükseklikleri için kod çizgilerini kullanabilirsiniz.



# UYGULAMA

ÇÖZÜM için formüle dikkat

$$G_k = \frac{\sum [c'l + (W \cos \alpha - uwl) \tan \phi']}{\sum W \sin \alpha}$$





## ***Yararlanılan Kaynaklar***

- Duncan, J.M. and Wright, S.G. (2005) Soil Strength and Slope Stability. John Wiley & Sons Inc.
- Duncan, J. M.; Wright, S. G. Zemin Şevlerinin Duraylılığı, Çeviren Kamil Kayabalı
- Bishop, A. W. (1955). The use of slip circles in the stability analysis of earth slopes Geotechnique, 5(1), 7-17.
- Bishop, A. W., and Morgenstern, N. (1960). Stability coefficient
- Kayabalı K. 2006, Zemin Şevlerinin Duraylılığı, Çeviri, Gazi kitabevi, Ankara
- Janbu, N. (1954a). Application of composite slip surface for stability analysis. Proceedings of the European Conference on Stability of Earth Slopes, Stockholm, Vol. 3, pp. 43-49.
- Janbu, N. (1954b). Stability Analysis of Slopes with Dimensionless Parameters, Harvard Soil Mechanics Series 46, Harvard University Press, Cambridge MA.
- Janbu, N. (1968). Slope stability computations. Soil Mechanics and Foundation Engineering Report, The Technical University of Norway, Trondheim.
- Janbu, N. (1973). Slope stability computations, in Embankment-Dam Engineering: Casagrande Volume, R. C. Hirschfeld and S.