



TMMOB
İNŞAAT
MÜHENDİSLERİ
ODASI

ŞEV STABİLİTESİ

Yrd. Doç. Dr. Nejan Huvaj
ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü
Geoteknik Anabilim Dalı
nejan@metu.edu.tr

19 Kasım 2017
İstanbul



Bluebird Canyon-Laguna Beach, California
Haziran 2005



Amaç ve Kapsam

Bu seminerin sonunda katılımcılar aşağıdaki konularda bilgi sahibi olacaklardır:

- Heyelan çeşitleri - sınıflandırması
- Duraylı (stabil) olmayan bir şevin boyutlarının ve geometrik özelliklerinin tespit edilmesi
- Arazi etüd çalışmalarının ve gerekli enstrümantasyonun planlanması
- Şev stabilitesi analizlerinde gereken malzeme özellikleri, laboratuvar ve arazi deneyleri
- Kısa dönem ve uzun dönem şev stabilitesi analizlerinin farkı
- Limit denge metodu ile şev stabilitesi analizi
- Geri analiz ile kayma dayanımının bulunması
- Duraysız bir şev için alternatif stabilizasyon önerileri
- Sismik (yarı-dinamik) şev stabilite analizi

Japonya’ da heyelan, Ağustos 2004:

<http://www.youtube.com/watch?v=VMJiibdVYjE>



İçerik

- Heyelanların sınıflandırması, belirtileri, boyutları, terminoloji
- Şevlerde zemin hareketleri ölçümü
- Şev stabilitesi analiz metodları
 - Limit Denge – Sonlu Elemanlar
 - 2 Boyut / 3 Boyut etkisi
- Malzeme Parametresi Belirlenmesi
 - Drenajlı (uzun dönem) / Drenajsız (kısa dönem) analiz
- Geri Analiz
- Şev stabilitesi ıslah metodları
- Sismik şev stabilitesi (yarı dinamik) analizi



Şev kayması:

Belirli bir eğimde ve dengedeki kaya veya zemin kütlesi duraylılığının (stabilitesinin) çeşitli etkilerle bozularak hareket etmesi.

Tetikleyici faktörler:

A) Doğal nedenler

- Kuvvetli yer sarsıntıları
- İklim etkilerine bağlı olarak zemin-kayaç yapısında oluşan ayrışma
- Yağış: Suyu doymun olmayan zeminde yağışın etkisiyle zemin dayanımının azalması. Suyu doymun haldeki zeminde pozitif boşluk suyu basıncının artması, zemin dayanımının azalması

B) Yapay nedenler

- Bilinçsiz mühendislik kazıları ve dolguları yapılması, insan yapısı titreşimler





İnsan yapısı şevlerde, yol yarmalarında stabilite



Evsel çöp atık depo sahalarında stabilite

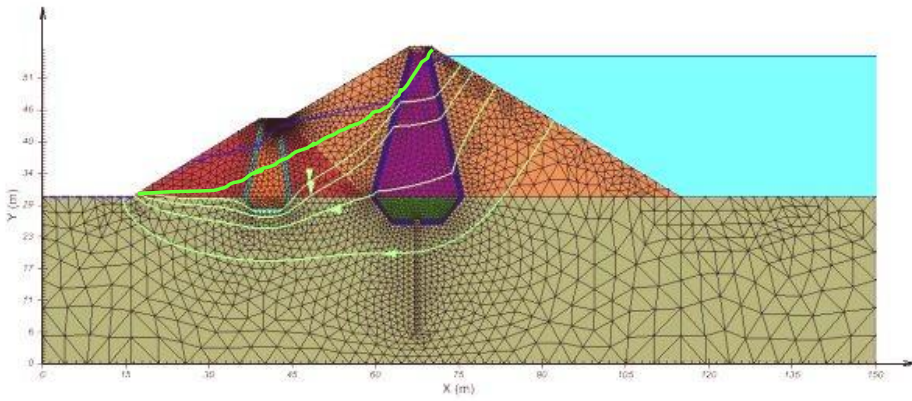
Filipinler'de bir çöp atık sahası 2005



Toprak dolgu barajlar



Toprak dolgu barajlar – su akışı ve şev stabilitesi



Açık maden ocakları



Maden atık barajları

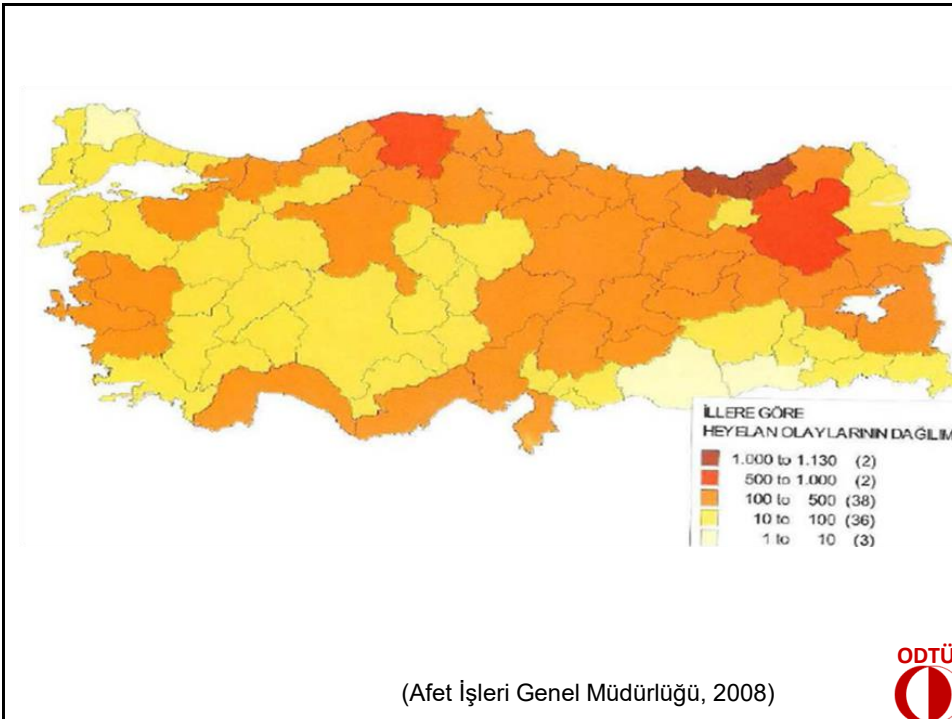


Ekim 2010 Macaristan, maden atık seddesinde göçme



Dünyada heyelanlar artmakta:

- Şehirleşmede artış ve uygun olmayan yerlere uygun olmayan bina temel tipleri ile yerleşim
 - Kontrolsüz arazi kullanımı
 - Ormanların azaltılması
 - Yağışların şiddeti ve extrem yağışların sıklığının artması
- Batı Karadeniz Bölgesi'nde 1965-2005 yılları arasında yıllık ortalama yağış 600 mm'den 1000 mm'ye yükseldi (Can v.d. 2005)
 - Dünyada yıllık ortalama heyelan maliyeti \$10-20 milyar dolar, yılda ortalama 1000 kişinin ölümü (Schuster, 2003).



2010 Rize









HEYELANLAR / ŞEV KAYMALARININ SINIFLANDIRMASI

- Mekanizmasına göre
- Kayma yüzeyinin şekline göre
- Kayma derinliğine göre
- Heyelan hareket hızına göre

yapılabilir

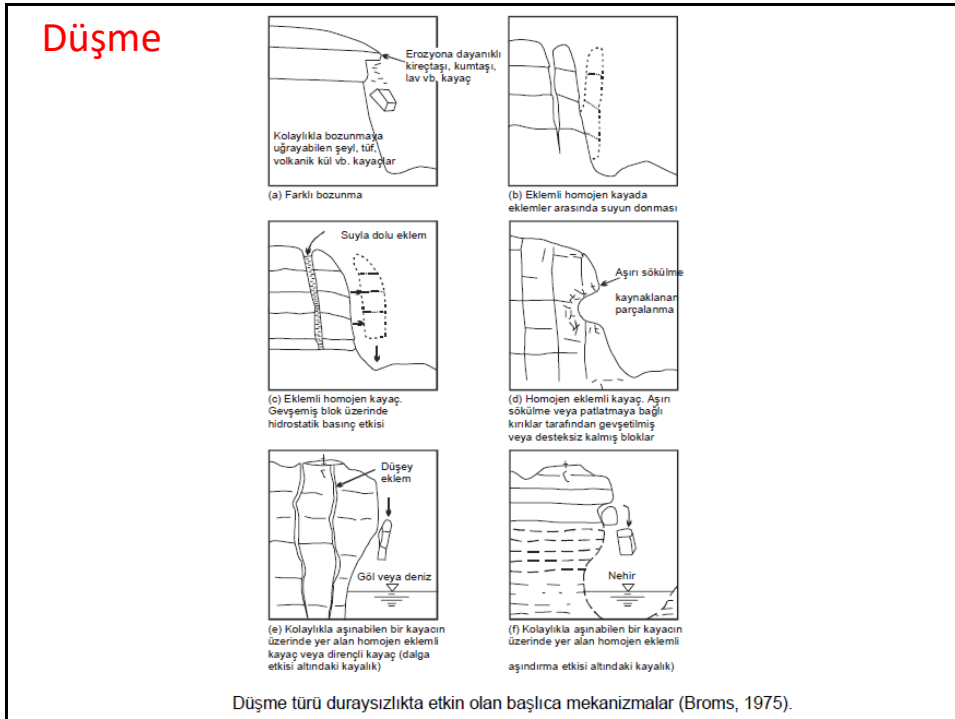
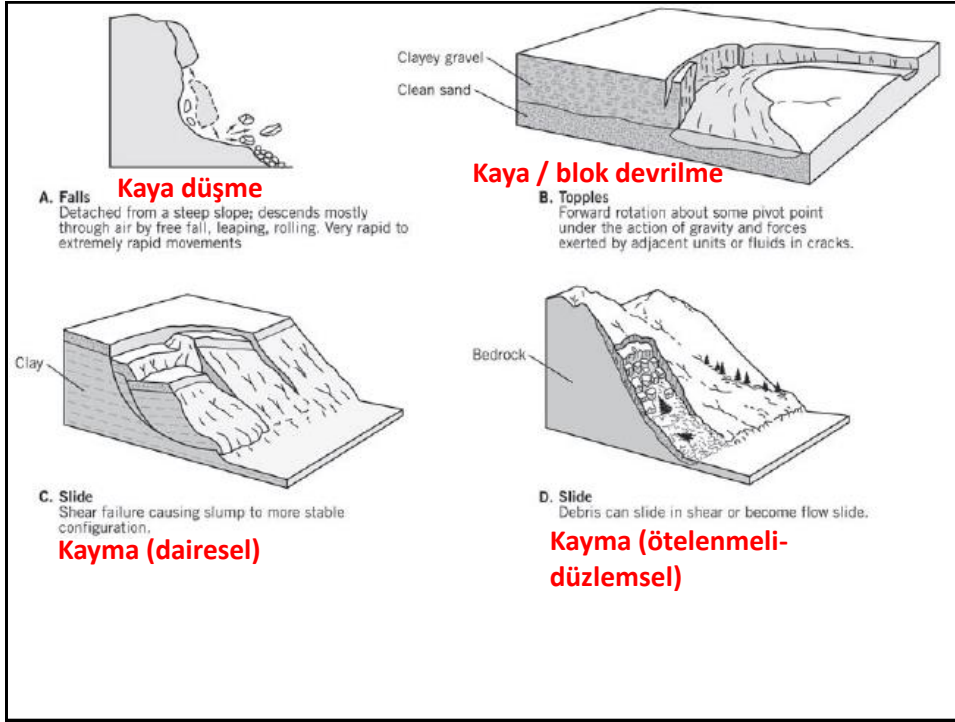
HEYELANLAR / ŞEV KAYMALARININ **KAYMA MEKANİZMASINA GÖRE** SINIFLANDIRMASI

- Düşme
- Devrilme
- Kayma
- Yanal yayılma
- Akma
- Karmaşık / Birleşik

Varnes (1978) veya Cruden ve Varnes (1996) sınıflandırma sistemi

Çizelge 2.1. Şev duraysızlığı türleri için Varnes (1978) mühendislik sınıflaması.

DURAYSIZLIK TÜRÜ		MALZEMENİN TÜRÜ		
		TOPRAK ZEMİNLER		ANA KAYA
		İNCE TANELİ	İRİ TANELİ	
DÜŞME		Zemin düşmesi	Moloz düşmesi	Kaya düşmesi
DEVRİLME		Zemin devrilmesi	Moloz devrilmesi	Kaya devrilmesi
KAYMA	DÖNEL (Dairesel)	Zeminde dairesel kayma	Molozda dairesel kayma	Kayada dairesel kayma
	ÖTELENMELİ	Zeminde blok türü ötelenme	Molozda blok türü ötelenme	Kayada blok türü ötelenme
		Zemin kayması	Moloz kayması	Kaya ötelenmesi
YANAL YAYILMA		Zemin yayılması	Moloz yayılması	Kaya yayılması
AKMA		Zemin akması	Moloz akması	Kaya akması
		(Zeminde krip)		
AKMA		(Derin krip)		
KARMAŞIK DURAYSIZLIKLAR Veya Birleşik		Yukarıda belirtilen diğer duraysızlık türlerinden ikisinin veya birkaçının birbirini izlemesiyle gelişen duraysızlıklar		



Devrilme



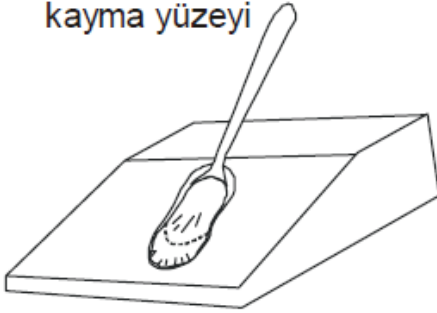
Sert kaya şevlerde devrilme
(Hoek ve Bray 1977)



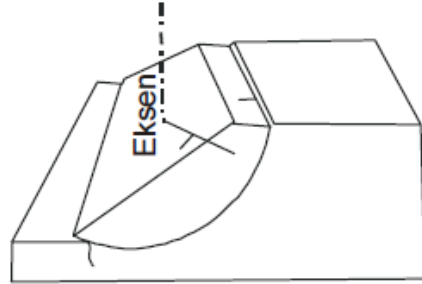
Kastamonu'dan bir örnek
(Fotoğraf: R. Ulusay)

Dairesel kayma

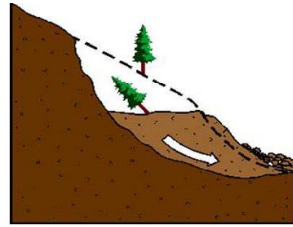
Kaşık şeklinde
kayma yüzeyi



dairesel kayma

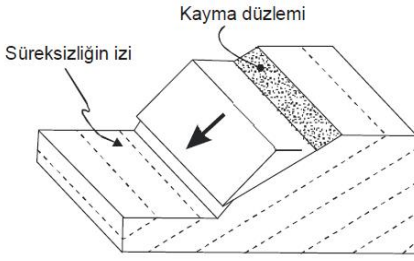


Üniform bir malzemed gelişmiş dairesel kayma
(Varnes, 1978)



Düzlemsel kayma

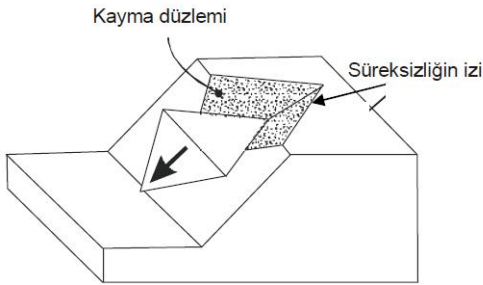
Genellikle düz veya az dalgalı bir süreksizlik yüzeyi boyunca gelişir. Kütle genellikle süreksizlik düzleminin eğimine paralel yönde hareket eder.



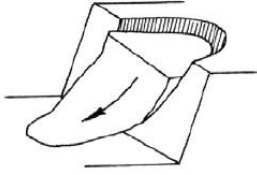
(Fotoğraf: R. Ulusay)

Kama türü kayma

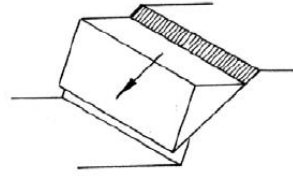
Eklemli sert kaya kütlelerinde ve devamlılığı yüksek fisürlere (çatlaklara) sahip aşırı konsolide killerde süreksizliklerin veya fisürlerin kesişmesi sonucu kama blokları oluşur. Süreksizliklerin kesişme hattının dalım açısının şevin eğiminden küçük olması ve bu yüzeylerin kayma mukavemetinin aşılması halinde, kama bloklar kayar.



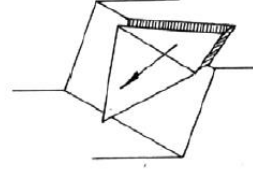
(Fotoğraf: R. Ulusay)



Dairesel
kayma



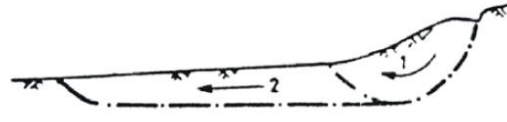
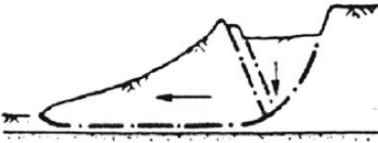
Düzlemsel
kayma



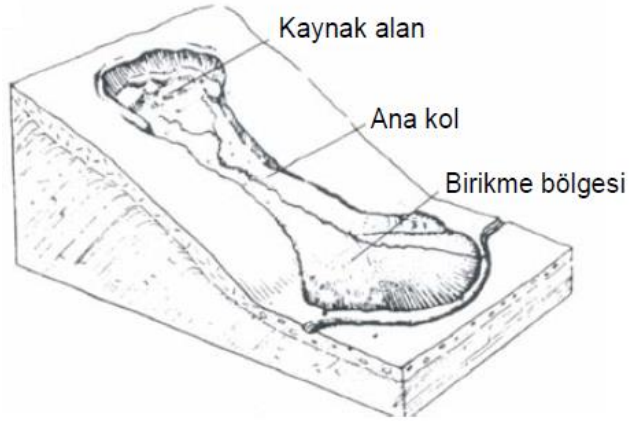
Kama türü
kayma

Birleşik kayma

Kayma yüzeyleri, üstte dik ve eğrisel-dairesel, alt kısımlarda düzlemsel olmak üzere iki veya daha fazla yüzeyin birleşmesinden oluşabilir.

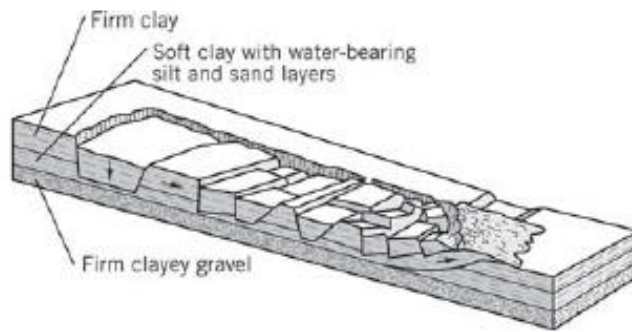


Akma



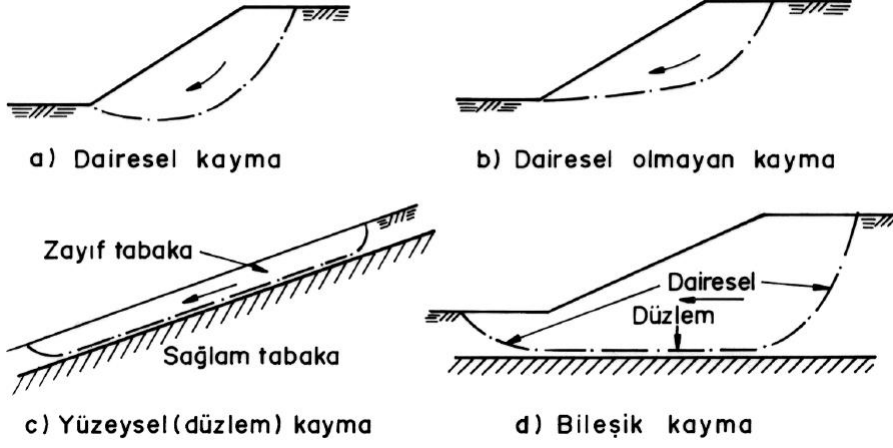
Zemin akması (Cruden ve Varnes, 1996)

Yanal yayılma



F. Lateral spread
Shear failure or liquefaction along nearly horizontal soil layers

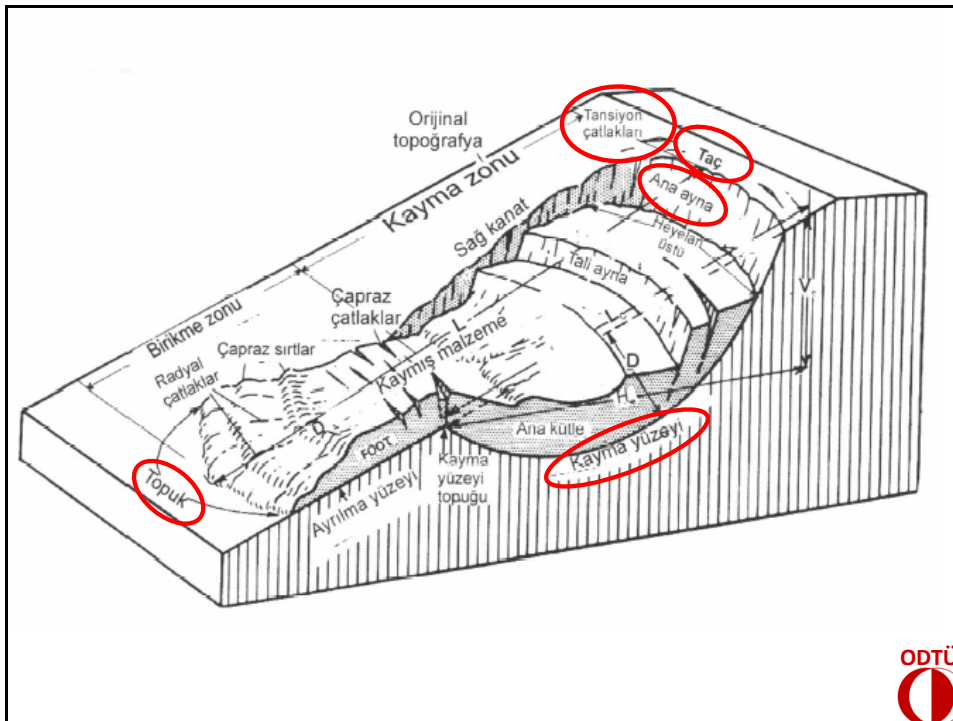
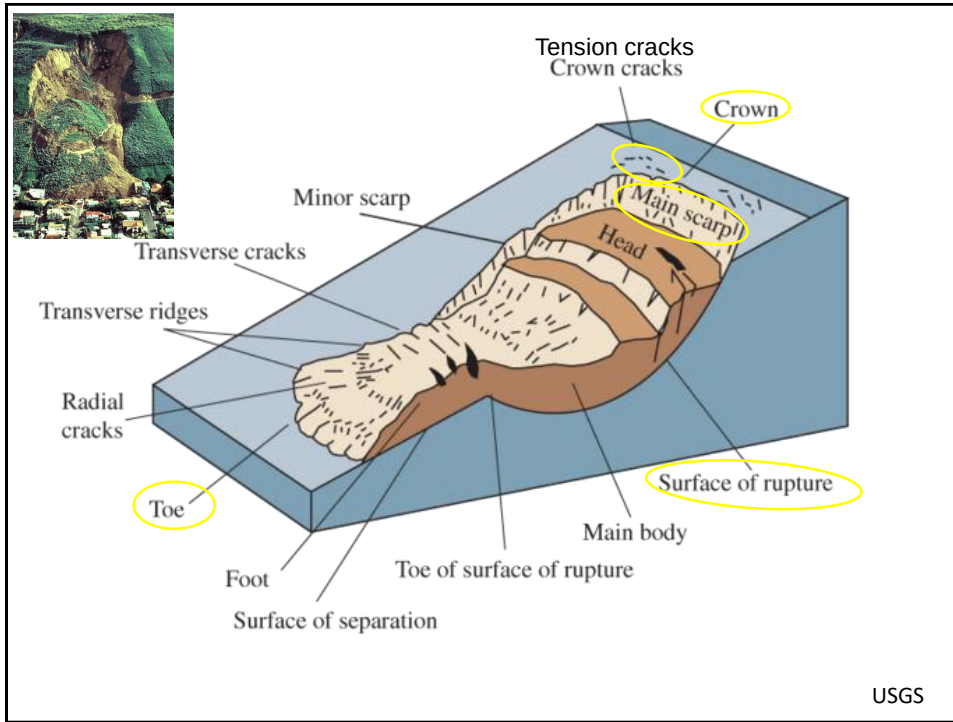
Zeminlerde tipik kayma mekanizmaları



İçerik

- Heyelanların sınıflandırması, belirtileri, boyutları, **terminoloji**
- Şevlerde zemin hareketleri ölçümü
- Şev stabilitesi analiz metodları
 - Limit Denge – Sonlu Elemanlar
 - 2 Boyut / 3 Boyut etkisi
- Malzeme Parametresi Belirlenmesi
 - Drenajlı (uzun dönem) / Drenajsız (kısa dönem) analiz
- Geri Analiz
- Şev stabilitesi ıslah metodları
- Sismik şev stabilitesi (yarı dinamik) analizi





Ana ayna (veya ayna):

Kayan malzemenin hareketi sonucu gelişmiş ve kaymayı çevreleyen örselenmemiş zemin üzerindeki dik veya dike yakın yüzey.

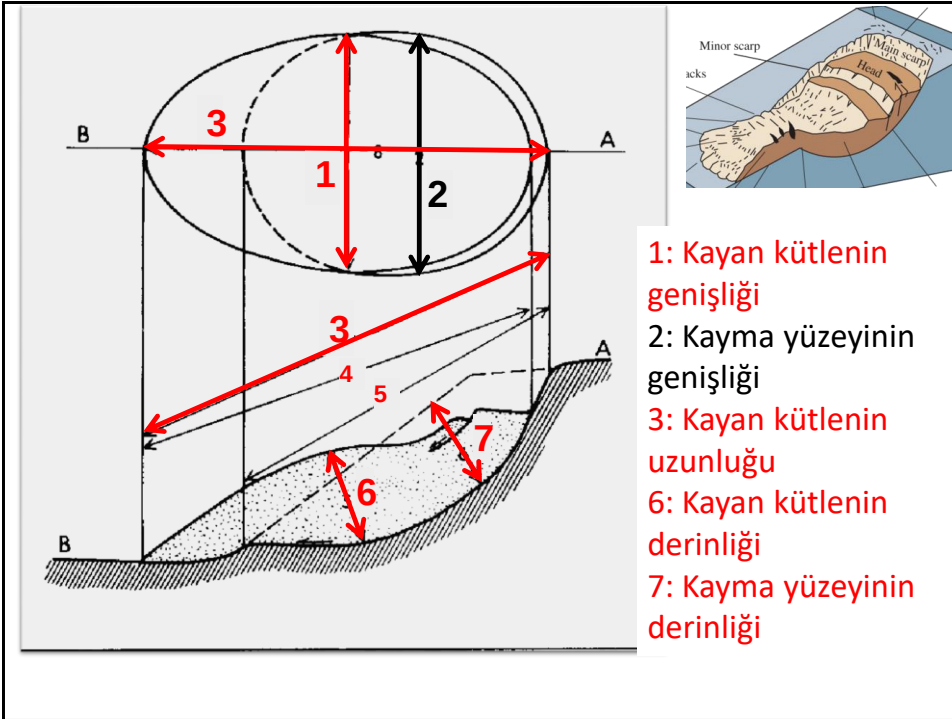
Taç:

Bir heyelanda ana aynanın en yüksek kısmına yakın konumdaki yerdeğiştirmemiş malzeme.

Topuk:

Ana aynadan en uzakta bulunan yerdeğiştirmemiş malzemenin uç (kenar) kısmı.

Gerilme Çatlakları



Heyelanların **kayma derinliğine göre** sınıflandırılması

< 1.5 m derinlik: Yüzey hareketi

1.5 - 5 m : Sığ Heyelan

5 – 20 m : Derin Heyelan

> 20 m : Çok Derin Heyelan



Heyelanların zemindeki **hareketin hızına göre** sınıflandırılması

Hız sınıfı	Hız sınırları	cm/gün	m/yıl
Aşırı hızlı	> 5 m/s	$>4.3 \times 10^7$	$>1.6 \times 10^8$
Çok hızlı	3 m/dk – 5 m/s	$4.3 \times 10^5 - 4.3 \times 10^7$	$1.6 \times 10^6 - 1.6 \times 10^8$
Hızlı	1.8 m/sa – 3 m/dk	$4.3 \times 10^3 - 4.3 \times 10^5$	$1.6 \times 10^4 - 1.6 \times 10^6$
Orta hızlı	13 m/ay – 1.8 m/sa	$43.3 - 4.3 \times 10^3$	$156 - 1.6 \times 10^4$
Yavaş	1.6 m/yıl – 13 m/ay	0.4 – 43.3	1.6 – 156
Çok yavaş	16 mm/yıl – 1.6 m/yıl	$4.4 \times 10^{-3} - 0.4$	0.016 - 1.6
Aşırı yavaş	< 16 mm/yıl	$<4.4 \times 10^{-3}$	<0.016

IUGS 1995, Cruden ve Varnes 1996

İtalya 2010 heyelanı

http://www.youtube.com/watch?v=R_3DYQCVnA

Japonya’da heyelan, Ağustos 2004:

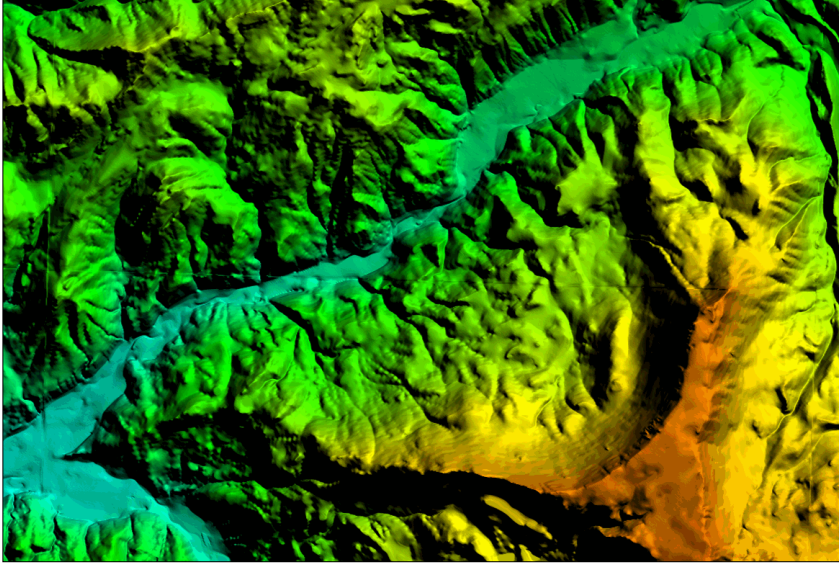
<http://www.youtube.com/watch?v=VMJiibdVYjE>



Heyelan Belirtileri

- Arazide daha önce olmayan su sızıntılarının oluşması
- Arazide veya yollarda çatlakların, yarıkların veya açılmaların oluşması
- Dalgalı ve kesikli topoğrafya
- Eğimde ani değişiklikler
- Bina temelleri altında çatlama bina döşemelerinde ve duvarlarda sürekli genişleyen çatlakların oluşması
- Yeraltı su borularında kırılma ve çatlakların oluşması
- Telefon direklerinde, çitlerde ve ağaçlarda yamaç aşağı eğilme gözlemlenmesi
- Tel veya ahşap çitlerde yer değiştirmelerin görülmesi
- Daha önce o bölgede heyelan meydana gelmiş olması
- Zeminin merdiven basamağı şekli
- Yer yer kabarmış zemin





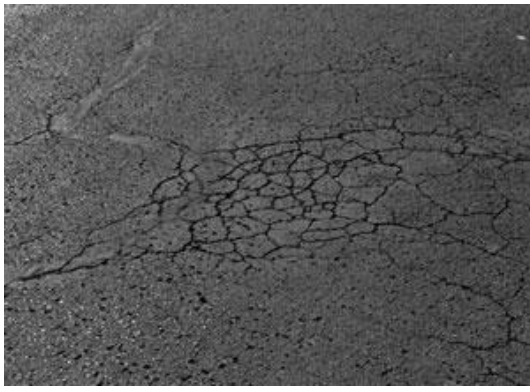
Buford Peak Heyelanı, Colorado.

D. Rogers'a teşekkürler



Yol kaplamalarında çatlaklar
(heyelan çatlağını asfalt çatlağından nasıl ayırırız?

Hayward Baker Inc. teşekkürler



Yol kaplamalarında
çatlaklar

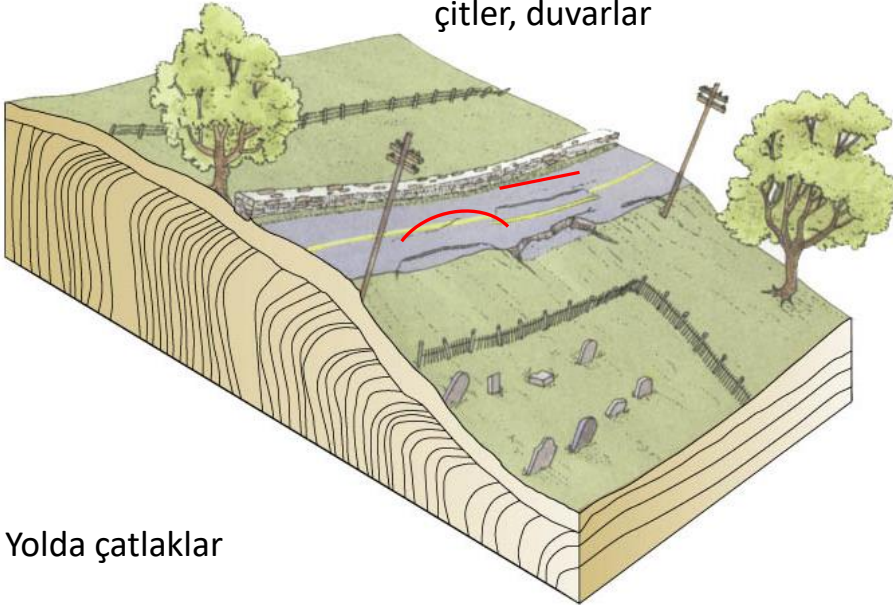






Şev içinde (veya şev üzerinde) deforme olmuş borular

Hayward Baker, teşekkürler



Yolda çatlaklar





Binalarda, istinat duvarlarında çatlamlar

Amasya 2010



Amasya 2010

Kayma yüzeylerindeki malzemelerden görüntüler



Kayma yüzeylerindeki malzemelerden görüntüler

- (a) Kil, Washington Park Reservoir heyelanı, 1904, yaklaşık 33 m derinden
- (b) Vallcebre heyelanı İspanya, fisürlü aşırı konsolide kil/şeyl (Corominas v.d. 2005),
- (c) Rize 2015, katı kil – kıltaşı yüzeyler

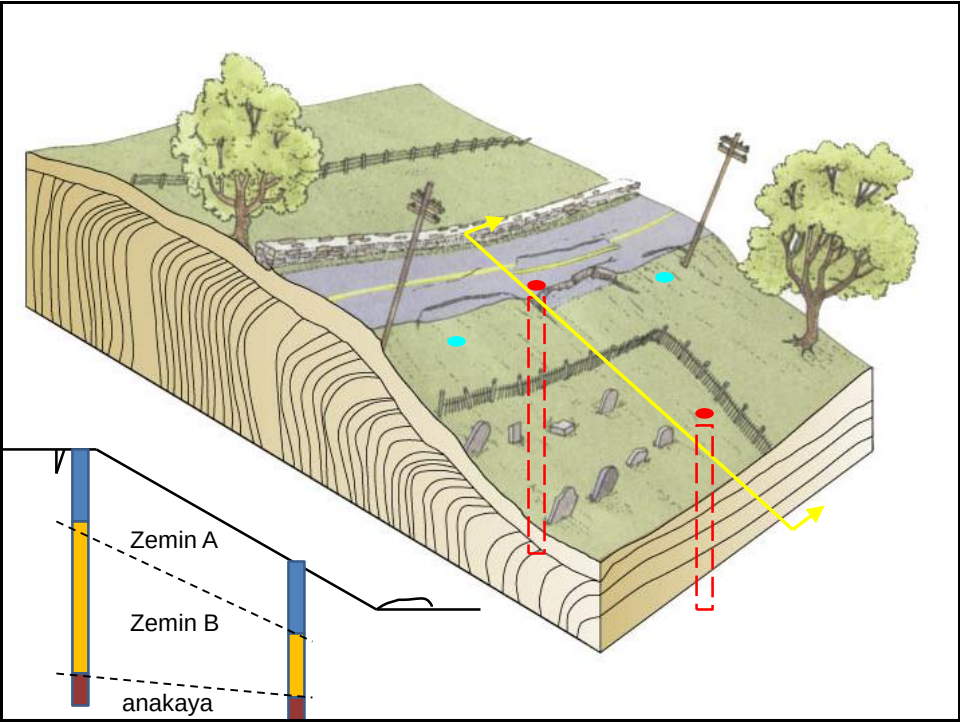
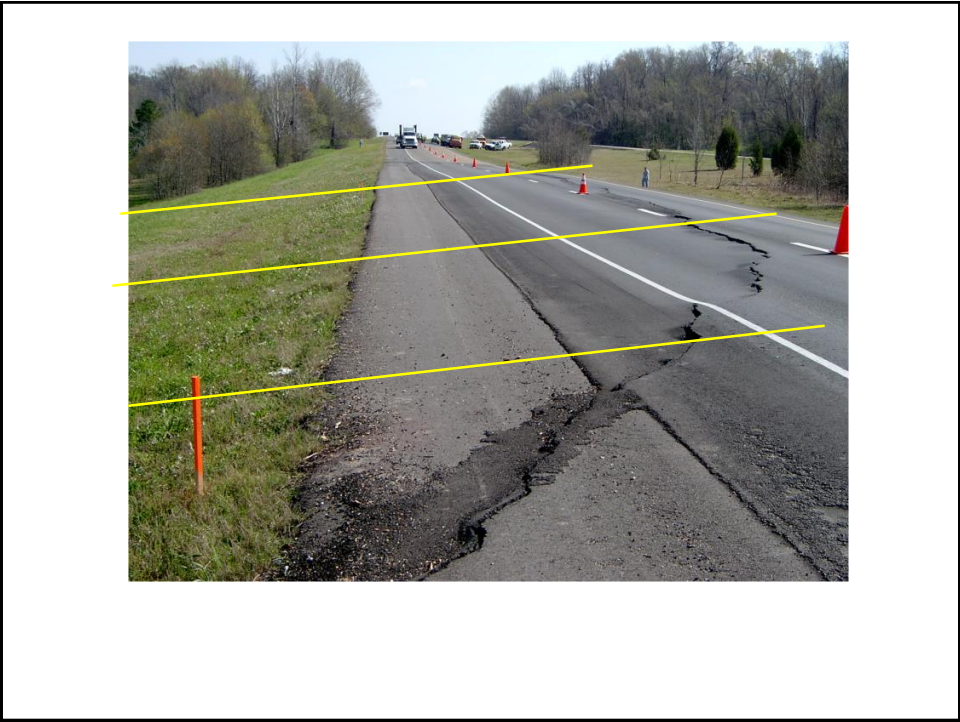


Moving Slide Plane – 6 inches in 4 hours!!



Tennessee 2003 (Hayward Baker, teşekkürler)





Güvenlik Sayısı:

Zeminin kayma mukavemetinin, kayma yüzeyinde zemine etkiyen kayma gerilmesine oranıdır

$$G.S. = \frac{\tau_f}{\tau_m}$$

zemin kayma dayanımı

Kayma yüzeyi üzerinde
zemine etkiyen kayma gerilmesi

Şev oluşturan malzemenin kayma dayanımının doğru bilinmesi çok önemlidir!



ŞEV STABİLİTE ANALİZ METODLARI

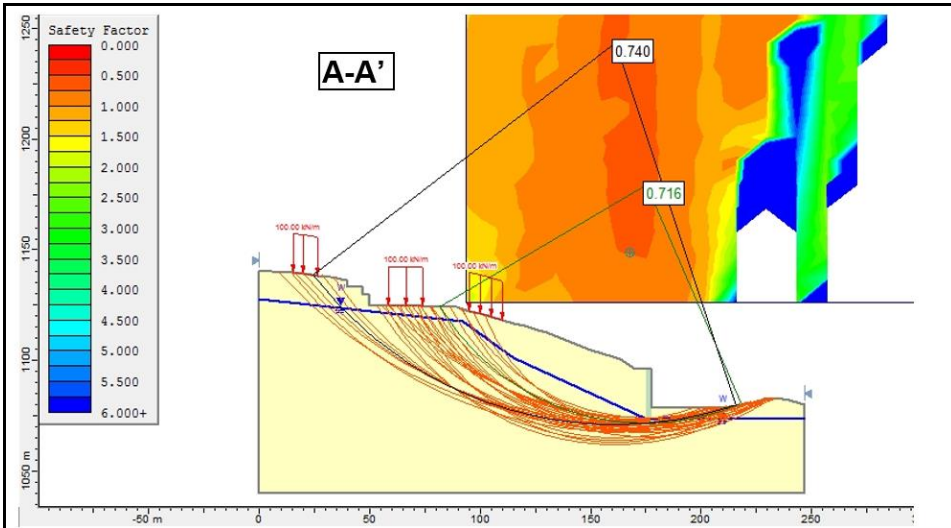
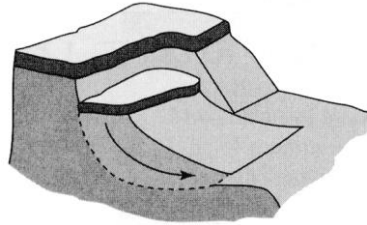
Limit denge analizi

Sonlu elemanlar
deformasyon analizi



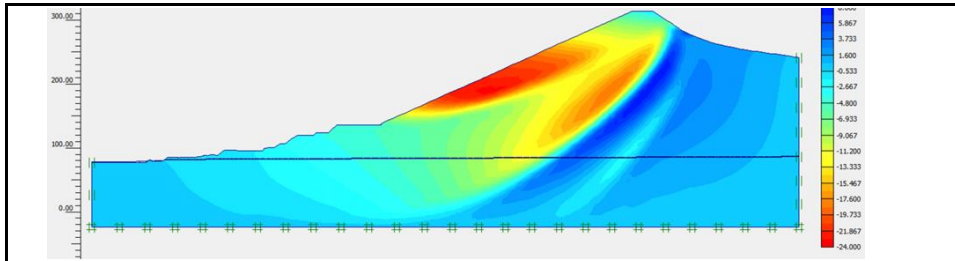
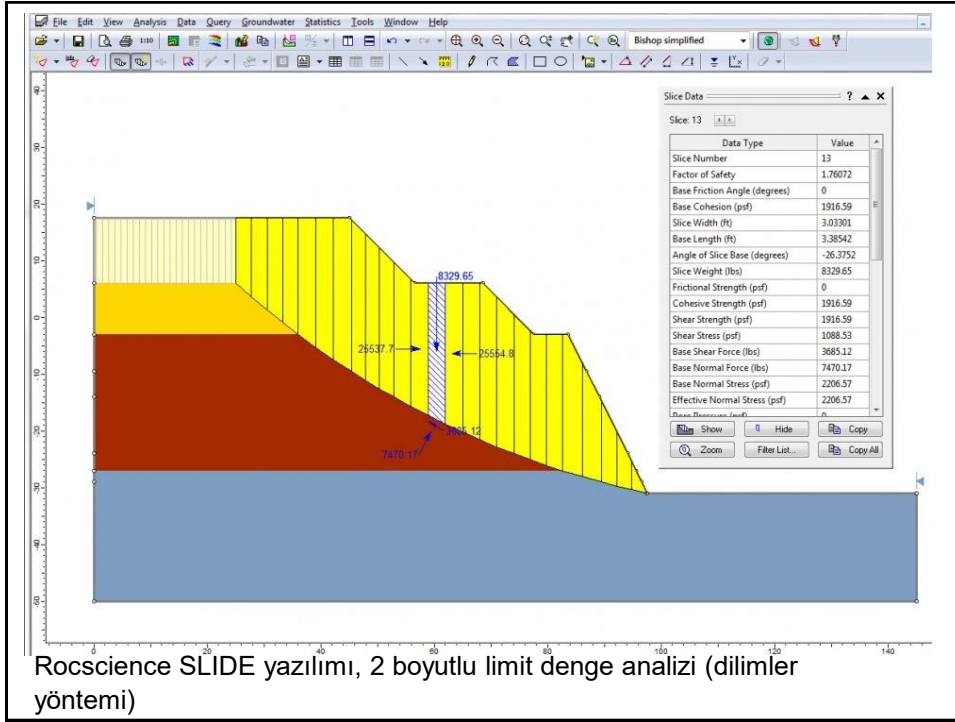
Limit Denge Analizi

1. Potansiyel bir kayma düzlemi seçilir (düzlemsel, dairesel veya bunların kombinasyonu)
2. Bu kayma düzlemi üzerindeki zemin kütesine etkiyen kuvvetler göz önüne alınır, kayma düzleminde mobilize olan zemin kayma dayanımı, kuvvet ve/veya moment statik dengesi denklemleri yazılır
3. Birden çok potansiyel kayma düzlemi için yapılır, bulunan en düşük Güvenlik Sayısı (G.S.) o şevin güvenlik sayısı olarak ele alınır

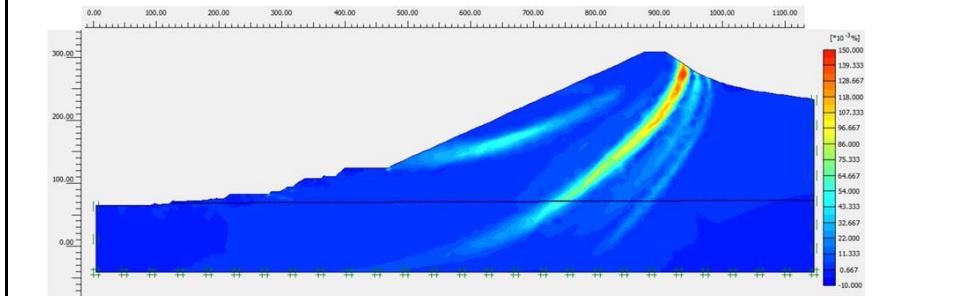


Rocscience SLIDE yazılımı ile, 2 boyutlu limit denge analizi
(Spencer dilimler yöntemi ile)





Şekil 69. Halihazır durum için yatay deplasmanlar



Şekil 70. Halihazır durum için kayma birim deformasyon

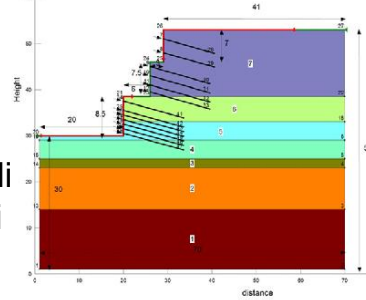
Sonlu elemanlar yöntemi (PLAXIS 2D yazılımı)



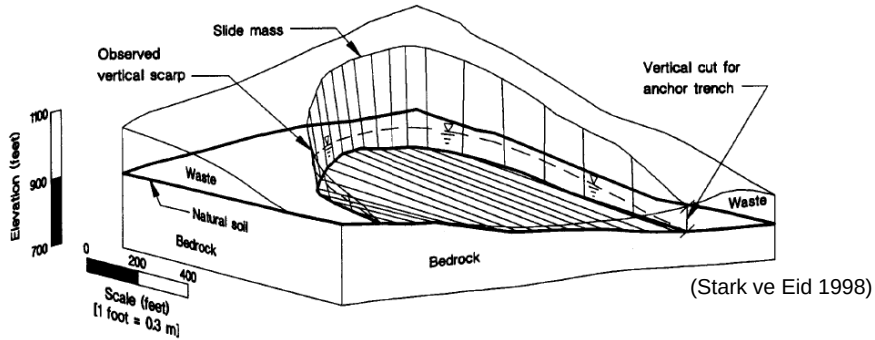
Sonlu elemanlar yöntemi

Zeminin gerilme-deformasyon davranışı dikkate alınır

- Zeminin lineer olmayan gerilme-deformasyon davranışı dikkate alınabilir,
- Karışık geometri ve sınır koşulları dikkate alınabilir
- İnşaa safhaları modellenenebilir
- Zeminin lineer olmayan gerilme-deformasyon davranışı modeli için gerekli parametrelerin belirlenmesi
- Sonuçların yorumlanması



2-Boyutlu / 3-Boyutlu Limit Denge Analizi?



Şev stabilitesi analizlerinde, düzlem birim deformasyon (Plane strain) kabulü yaparak 2-boyutlu analiz.

2-boyutlu analizlerde, 3-boyutlu (gerçek) duruma göre daha düşük güvenlik sayıları bulunabilir.

[Geri analizde malzemenin kayma dayanımını bulurken etkisi !?](#)



Şev stabilitesi analizlerinde Mohr-Coulomb göçme kriteri, toplam veya efektif gerilmeler kullanılabilir:

$$\tau_f = c_u \quad (\text{yalnızca killerde kısa dönem stabilite için})$$

$$\tau_f = c' + \sigma' \cdot \tan \phi'$$

Limit denge metodlarında kullandığınız yöntemle göre kayma yüzeyinin şekli ile ilgili bazı önvarsayımlar yapılır.

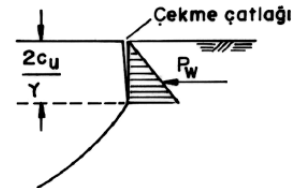
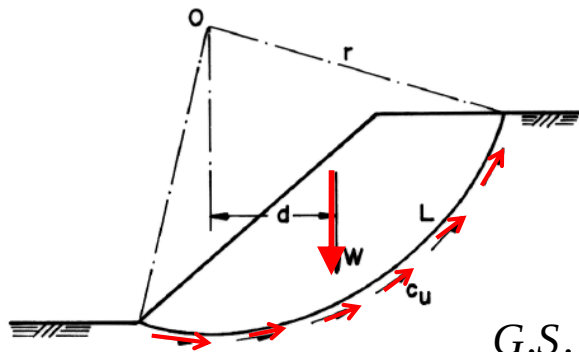
Kayma yüzeyleri, dairesel, düzlemsel, veya bunların kombinasyonu şeklinde olabilir.

Kayma yüzeyinin muhtemel şeklinin önceden bilinmesi/tahmin edilebilmesi ona yönelik doğru metod kullanımı için önemlidir.



Dairesel kayma yüzeyi - Killerde Drenajsız ($\phi_u=0$) analizi

- **Drenajsız durum, Kısa dönem stabilite analizi için kullanılır**
- Suyu doymun killerde
- Hesaplarda toplam gerilmeler kullanılır
- Analizde moment dengesi göz önüne alınır

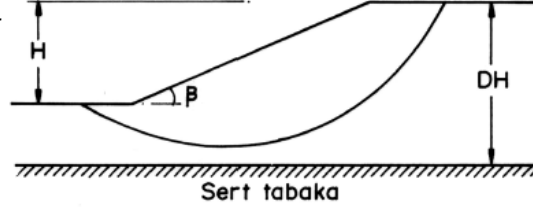


$$G.S. = \frac{(c_u \cdot L_{arc}) \cdot r}{W \cdot d}$$



Taylor (1937) güvenlik sayısı – drenajsız durum

-Sert zemin tabakaları üzerinde homojen yapıda suya doygun bir zemin varsa



$$G.S. = \frac{c_u}{N \cdot \gamma \cdot H}$$

N: Taylor (1937) stabilite katsayısı

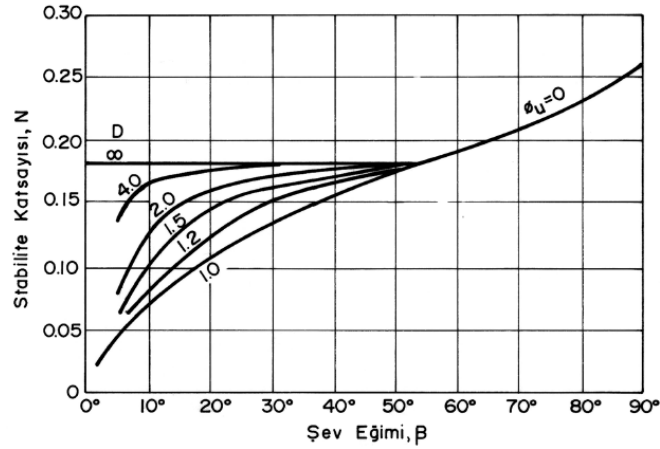
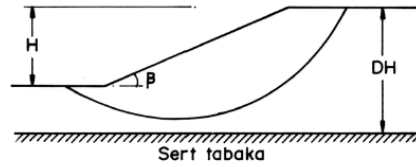
γ : toplam birim ağırlık

H: şevin yüksekliği



β : şev açısı

D: sert zemin tabakasına olan derinlik



$$G.S. = \frac{c_u}{N \cdot \gamma \cdot H}$$



Drenajsız kayma dayanımı c_u ?

- Laboratuvar deneyleri
- Arazi deneyleri
- Ampirik korelasyonlar

Laboratuvar deneyleri:

- Serbest basınç (Unconfined Compression) deneyi
- Konsolidasyonsuz drenajsız (UU) üç eksenli
- ...

$$c_u(\text{arazi}) \neq c_u(\text{lab deneyi})$$

Arazi deneyleri:

- yumuşak killerde arazi kanatlı kesici (field vane)
- SPT
- CPT
- ...

(Mesri ve Huvaj, 2007)



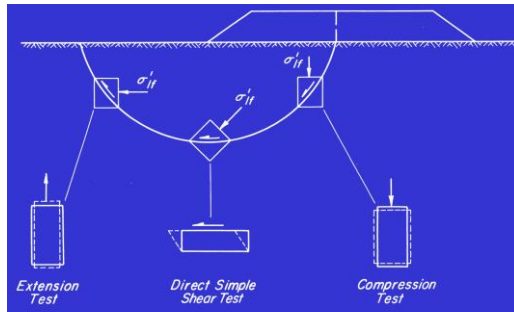
$c_u(\text{arazi}) \neq c_u(\text{lab deneyi})$

Çünkü drenajsız kayma dayanımı, c_u , şu faktörlerden etkilenir:

- kayma mekanizması/modu (mode of shear)
- Göçmeye olan zaman (shearing time to failure)
- Örselenme
- Göçmenin progresif ilerlemesi

Bu faktörlerin hepsi arazideki bir göçme ile lab deneyindeki göçmede farklıdır.

(Mesri ve Huvaj, 2007)



Lab deneylerinde düzeltme faktörleri kullanılabilir

Sadece :

$$c_u(\text{arazi}) \approx c_u(\text{serbest basınç UC})$$

$I_p = 20-100\%$ killer için

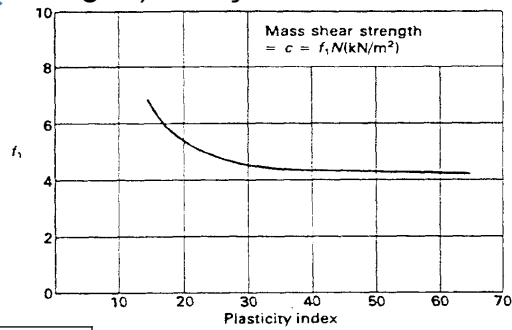
(Mesri ve Huvaj, 2007)



Drenajsız kayma dayanımı c_u 'nun SPT N değeri (%60 enerji düzeltmesi yapılmış N değeri) ile ilişkisi

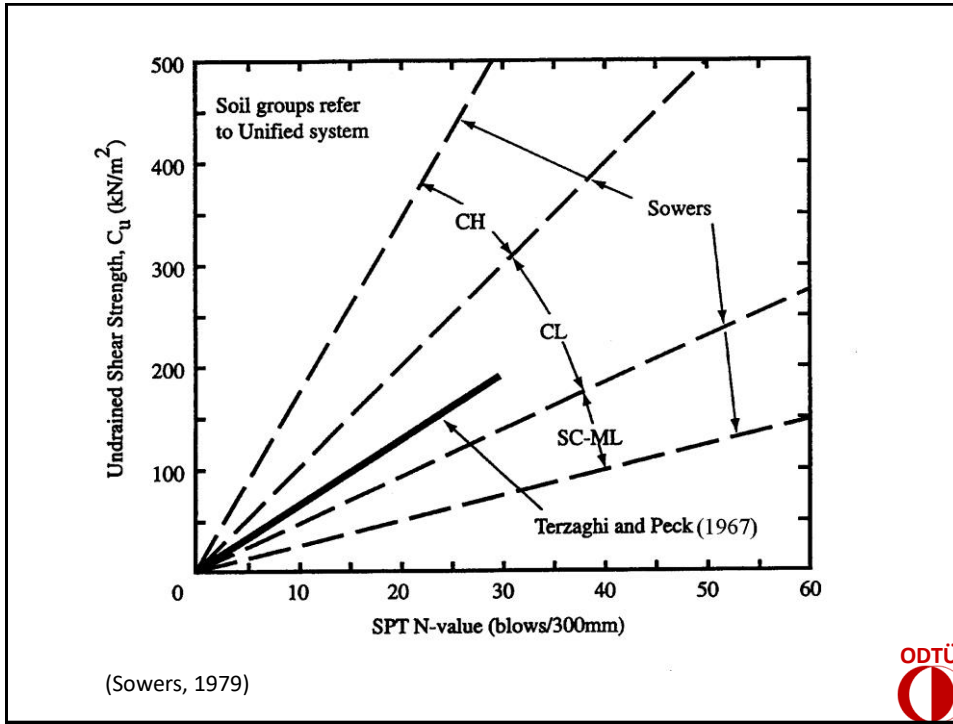
$$c_u = f_1 * N_{60}$$

(Stroud, 1989)



Soil Type	f_1 (kN/m ²)
Overconsolidated clays	
IP = 50%	4.5
IP = 15%	5.5
Insensitive weak rocks	
$N_{60} < 200$	5.0





Drenajsız kayma dayanımı c_u 'nun CPT uç direnci q_t ile ilişkisi

- Hem inorganik, hem de organik yumuşak kil ve siltler için geçerli:

$$c_u(\text{arazi}) = \frac{q_t - \sigma_{vo}}{16}$$

16 ± 2

(Terzaghi, Peck, Mesri, 1996)

Drenajsız kayma dayanımı c_u

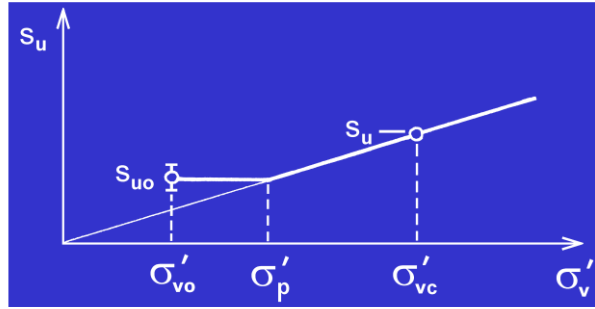
- İnorganik yumuşak kil ve siltler:

$$c_u(\text{arazi}) = 0.22 \sigma'_p$$

Ön konsolidasyon
basıncı

- Organik yumuşak kil ve siltler:

$$c_u(\text{arazi}) = 0.26 \sigma'_p$$



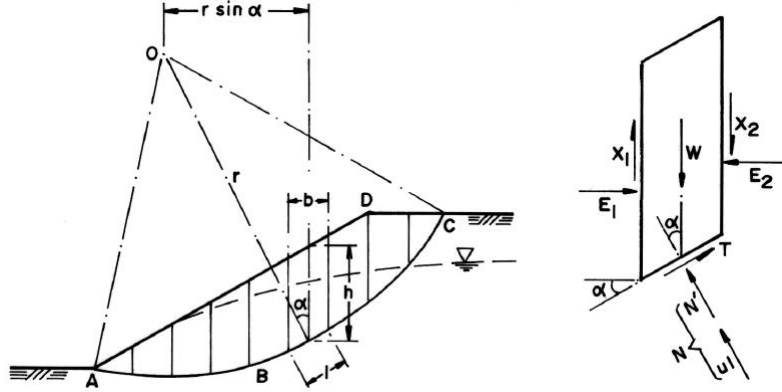
Mesri (1975)



Dilim yöntemiyle, uzun dönem, efektif gerilme, şev stabilitesi analizi

- **Uzun dönem şev stabilitesi analizi**
- Hesaplarda **efektif gerilmeler** kullanılır
- Boşluk suyu basıncının bilinmesi gerekir
- Kayma yüzeyi üzerindeki kütle bir dizi düşey dilime bölünür
- Her bir dilimin statik denge durumu göz önüne alınır
- Daha sonra bütün dilimler birlikte değerlendirilerek kayma yüzeyi için güvenlik sayısı hesaplanır





- dilimlerin tabanı düzlem olduğu kabul edilir
- Her bir dilimin tabanının orta noktasındaki boşluk suyu basıncı hesaplanır (sızma durumunda akım ağı kullanılır)
- Dilimler arası etkileşim nedeniyle kayma yüzeyi üzerinde yer alan kütlelerin bir bütün olarak hareket edeceği varsayımıyla, güvenlik sayısının bütün dilimler için eşit olduğu kabul edilir.



Bir dilim üzerine etkiyen kuvvetler

1. Dilimin toplam ağırlığı, $W = \gamma b h$ (dilimin satire olan kısmı için suya doymuş birim ağırlık kullanılmalıdır).
2. Dilim tabanına etkiyen toplam normal kuvvet, $N (= \sigma l)$. Dilim tabanının su seviyesi altında olması durumunda N , şu iki kuvvetin toplamı olarak ifade edilir: efektif normal kuvvet, $N' (= \sigma' l)$ ve dilim tabanına etkiyen boşluk suyu basıncına bağlı kuvvet ($= u l$). Burada u dilim tabanı orta noktasında boşluk suyu basıncıdır.
3. Dilim tabanına etkiyen kesme kuvveti, $T (= \tau_m l)$.
4. Dilimin her iki yanına etkiyen dik kuvvetler, E_1 ve E_2 .
5. Dilimin her iki yanına etkiyen kesme kuvvetleri, X_1 ve X_2 .



Mevcut koşullarda dilim sayısı n olan bir sistemde toplam bilinmeyenlerin (kuvvetler ve kuvvetlerin etkiye noktaları) $6n-2$, toplam denklem sayısının ise $4n$ olduğu gösterilebilir. Dolayısıyla sistem hiperstatik olup, dilimler arasındaki etkileşim kuvvetleriyle ilgili olarak bazı kabuller yapılmaksızın bir çözüm elde edilebilmesi mümkün değildir. Bu durumda ulaşılan sonuçlar ise ancak yaklaşık çözümler olacaktır.



- kayma yüzeyi üzerine etkiyen kesme kuvvetlerinin ve dilimlerin ağırlıklarının O noktasına göre momentlerinin birbirini dengeleyeceği dikkate alınarak

$$G.S. = \frac{\Sigma(c' + \sigma' \cdot \tan \phi') \cdot \ell}{\Sigma(W \cdot \sin \alpha)}$$

Zeminin homojen olması durumunda N'

$$G.S. = \frac{c' \cdot L + \tan \phi' \cdot \Sigma(\overbrace{\sigma' \cdot \ell}^{N'})}{\Sigma(W \cdot \sin \alpha)}$$

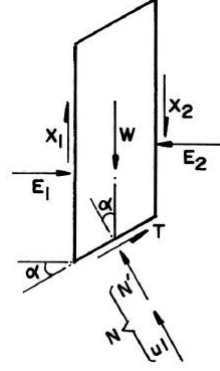


Fellenius çözümü

-Dilimler arası etkiyen **dik (normal)** ve **kesme** kuvvetlerinin bileşkesinin sıfır olacağı kabul edilir

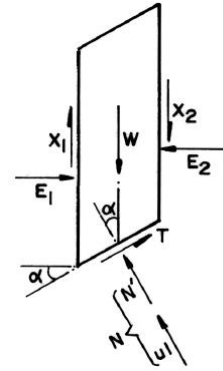
$$N' = W \cos \alpha - u \cdot \ell$$

-Elde edilen güvenlik sayısı diğer daha hassas yöntemlere göre %5-20 oranında daha düşük sonuçlar vermektedir. Fellenius yöntemi konzervatiftir.



Basit Bishop çözümü

-Dilimler arası etkiyen **kesme** kuvvetlerinin bileşkesinin sıfır olacağı kabul edilir



$$G.S. = \frac{1}{\Sigma(W \sin \alpha)} \Sigma \left[\{c'b + W(1 - r_u) \tan \phi'\} \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{\tan \alpha \cdot \tan \phi}{G.S.}} \right]$$



Basit Bishop çözümü

$$r_u = \frac{u}{\sigma}$$

$$G.S. = \frac{1}{\Sigma(W \sin \alpha)} \Sigma \left[\{c'b + W(1 - r_u) \tan \phi'\} \frac{\sec \alpha}{1 + \frac{\tan \alpha \cdot \tan \phi}{G.S.}} \right]$$

r_u : boşluk suyu basıncının toplam basınca oranıdır

$r_u = 0$ kuru,

$r_u \approx 0.5$ suya doymuş,

r_u kayma düzlemi boyunca değişkendir, genellikle ortalama bir değer hesaplanarak sabit alınır.

-Elde edilen güvenlik sayısı diğer daha hassas yöntemlere göre daha düşük sonuçlar vermektedir. (yaklaşık %2 daha düşük G.S.)



Diğer dilim yöntemi çözümleri

Dilimlerin yan yüzlerine etkiyen kuvvetlerle ilgili farklı varsayımlar yapılarak farklı çözümler önerilmiştir.

- Janbu metodu

kuvvet ve moment denge koşullarını sağlar,
daireysel ve daireysel olmayan kayma yüzeyleri

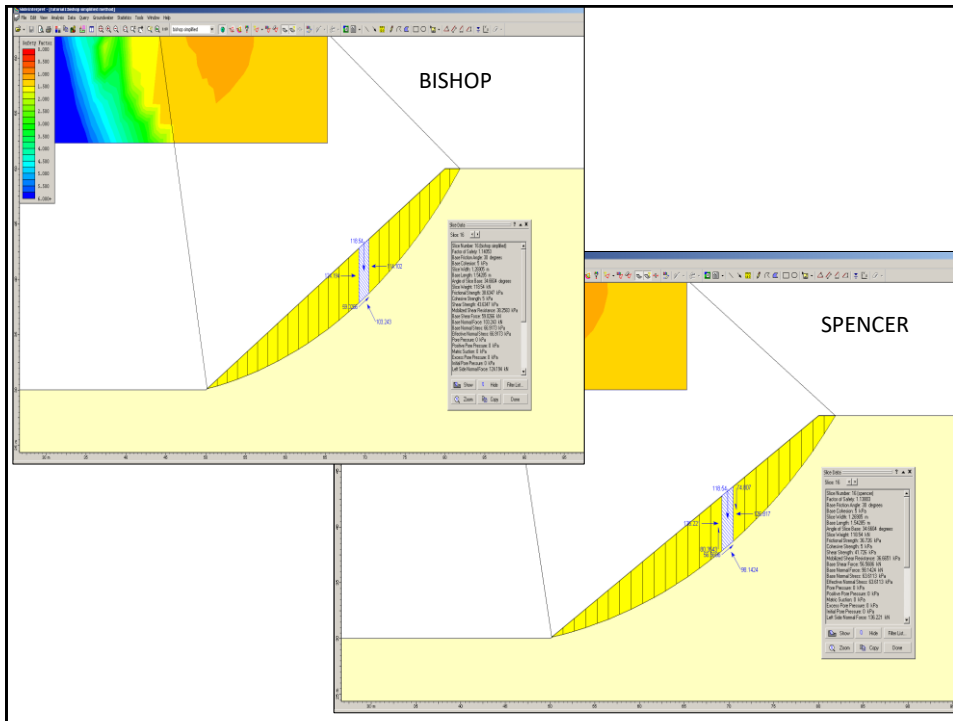
- Morgenstern ve Price metodu

Kuvvet ve moment dengesi
Dairesel ve daireysel olmayan kayma yüzeyleri

- Spencer metodu

- Dilimler arasında etkiyen kuvvetlerin birbirine paralel olduğu
- Kuvvet ve moment dengesi
- Dairesel ve daireysel olmayan kayma yüzeyleri
- Gerçeğe en yakın sonuçlar veren yöntemdir





Farklı dilim yöntemi çözümleri

Method	Assumptions				Comments
	Overall Moment Equilibrium	Individual Slice Moment Equilibrium	Horizontal Force Equilibrium	Vertical Force Equilibrium	
Swedish Circle	Yes	No	No	No	Circular Slip Surface Only for $\phi=0$
Ordinary Method of Slices (Fellenius 1927)	Yes	No	No	No	Circular Slip Surface Side Forces Parallel to Base Conservative Very inaccurate for high pore water pressures
Bishop's Modified Method (Bishop 1955)	Yes	No	No	Yes	Circular Slip Surfaces Side Forces Horizontal Very inaccurate for high pore water pressures
Morgenstern and Price's Method (Morganstern and Price 1966)	Yes	Yes	Yes	Yes	Slip surface of any shape Pattern of Side Force Orientations Much engineering time required to vary side force assumptions.
Spencer's Method (Spencer 1967)	Yes	Yes	Yes	Yes	Slip surface of any shape Side Forces Parallel Simplest Method
Corps of Engineers Modified Swedish (1970)	No	No	Yes	Yes	Slip surface of any shape Side Forces Parallel to Slope High factor of safety
Lowe & Karafiath (1960)	No	No	Yes	Yes	Slip surface of any shape Side Force Orientations: Average of Slope and Slip Surface Best side force assumption
Janbu Simplified (Janbu 1954)	No	No	Yes	Yes	Slip surface of any shape Side Forces Horizontal Low Factor of Safety
GLE - General Limit Equilibrium	Yes	Yes	Yes	Yes	Slip surface of any shape Pattern of Side Force Orientations Much engineering time required to vary side force assumptions.
GoldNail Method* (Golder)	Yes	*	Yes	Yes	Slip surface of any shape Normal Stress Distribution Toe circles only
SNAIL Method (CALTRANS)	No	No	Yes	Yes	Slip surface of any shape Two or three wedges, with side force angle = ϕ Limited shapes of slip surfaces

(Pockoski ve Duncan 2000)



Farklı dilim yöntemi çözümleri - Yazılımlar

	UTEXAS4	SLOPE/W	SLIDE	XSTABL	WINSTABL	RSS	SNAIL	GoldNail
Accuracy	5	4.5	4.5	4	3.5	4	2	4
Program Computation Time	5	5	5	5	4 (1')	4	2	4
Time for Learning Curve	3	5	5	4	3.5	3.5	3	3.5
Time to Enter Data & Complete Analysis	3	5	5	4.5	4	3.5	3	2.5
Ease of Reinforced Slope Design	1.5	2.5	2.5	5 - initial only - no final design capabilities	3	5 - horizontal reinforcement only	4	5
Ease of Unreinforced Slope Data Entry	3.5	5	5	4	3.5	3	3	3.5
Ease of Soil Nail Data Entry	2.5	3.5	3.5	No Provision for Reinforcement	3.5	5 - horizontal reinforcement only	5	4.5
Ease of Tieback Data Entry	2.5	5	5	No Provision for Reinforcement	4	5 - horizontal reinforcement only	3	3.5
Ease of Geogrid Data Entry	2.5	3.5	3.5	No Provision for Reinforcement	4.5	5	3	3.5
Time Req'd to Make Output Report Ready	4	5	5	3	2	3	3	1
Quality of Graphical Output	4	5	5	3	2	3	3	1

* In WINSTABL, Spencer's Method has a computation time of up to several minutes.

1 - Poor 2 - Fair 3 - Average 4 - Good 5 - Excellent

(Pockoski ve Duncan 2000)



Düzlem yüzeyde kayma analizi

- Şev uzunluğuna kıyasla derinliği sıg kayma yüzeyi
- Kayma yüzeyi şev yüzeyine paralel ve düzlemsel

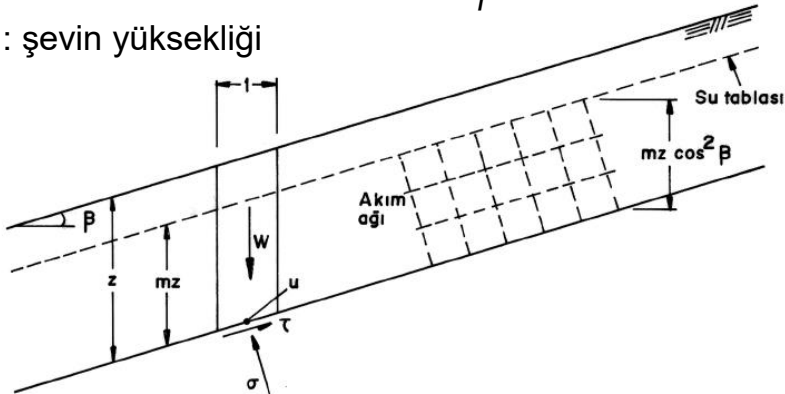
 β : şev eğim açısı

z : kayma yüzeyi derinliği

H: şevin yüksekliği

Zeminin kayma dayanımı

$$\tau_f = c' + \sigma' \cdot \tan \phi'$$



$$GS = \frac{\tau_f}{\tau_m}$$

$$\sigma = \{(1-m) \gamma + m\gamma_{sat}\} z \cos^2 \beta$$

$$\tau = \{(1-m) \gamma + m\gamma_{sat}\} z \sin \beta \cos^2 \beta$$

$$\mu = mz \gamma_w \cos^2 \beta$$

Şevin tam satire olmaması durumunda ($m = 0$) ve $c' = 0$ durumu için güvenlik sayısı:

$$FS = \frac{\tan \phi'}{\tan \beta}$$

Su tablasının şev yüzeyinde olması ($m = 1$) ve $c' = 0$ durumu için güvenlik sayısı:

$$FS = \frac{\gamma'}{\gamma_{doymun}} \frac{\tan \phi'}{\tan \beta}$$



Tasarımda şev güvenlik sayısı seçimi

Şevlerde zemin kayma mukavemetine ilişkin belirsizlikler/hatalar, kullanılan analiz metodundan kaynaklanan belirsizliklere/hatalara kıyasla çok daha önemlidir.

Güvenlik sayısı seçerken:

- Şevi oluşturan malzemenin kayma dayanımı, şev geometrisi, drenaj durumu vs. ile ilgili belirsizliklerin derecesi
- Şevin kayması durumunda ortaya çıkabilecek sorunların boyutu ve maliyeti
- Şevin geçici veya kalıcı olması gibi



Statik durum için önerilen minimum güvenlik sayıları:

Şev kayması maliyeti ve sonuçları	Zemin kayma dayanımı parametrelerindeki belirsizlik	
	küçük	büyük
- Onarım maliyeti şev inşaatı maliyetine yakın. - Can kaybı veya yapılara hasar söz konusu değil.	1.25	1.50
- Onarım maliyeti şev inşaatı maliyetine kıyasla çok büyük. - Can kaybı veya yapılara hasar söz konusu.	1.50	≥ 2.0

Karayolları Teknik Şartnamesinde önerilen güvenlik sayıları ?



TABLO 11. Dolgu şevleri için Dış Stabilité Güvenlik Sayıları Kriterleri

Kullanılan Parametre Cinsi	Drenajsız Kayma Dayanımı Parametreleri.	Efektif Kayma Dayanımı Parametreleri.
Şartlar		
Kısa dönem (statik)	1.30	-
Uzun Dönem (statik)	-	1.50
Uzun Dönem (deprem)	-	1.10

TABLO 12. Dolgu Şevleri İçin İç Stabilité Güvenlik Sayıları

Parametreler Koşullar	Drenajsız Kayma Dayanımı Parametreleri
Statik	1.50
Deprem	1.10

TABLO 13. Yarma Şevleri İçin Güvenlik sayıları Kriterleri

Kullanılan Parametre cinsi	Drenajsız Kayma Dayanımı Parametreleri	Efektif parametreler
Uzun dönem (statik)	-	1.50
Uzun dönem (deprem)	-	1.10
Kısa dönem (statik)	1.50	-
Sanat Yapısı Temeli içeren yamaç için	2.00	-

Karayolları Teknik Şartnamesi

Analiz türü seçimi?

- Drenajlı (uzun dönem / efektif gerilmeler / $c' \phi'$)
- Drenajsız (kısa dönem / toplam gerilmeler / $\phi_u=0, c_u$)

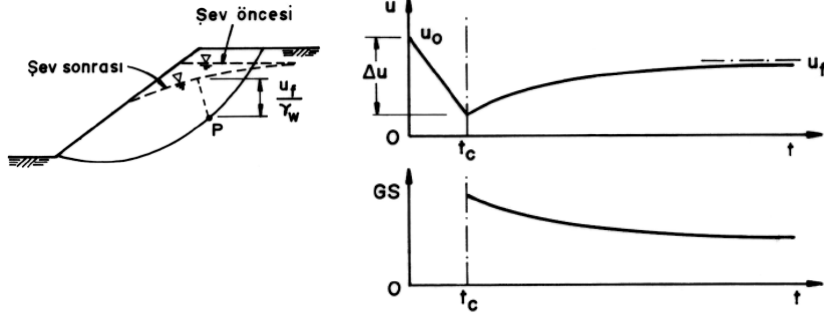
Şevin kazı veya dolgu yapılarak inşa edilmesi sırasında boşluk suyu basınçlarında değişimler meydana gelecektir. Uzun dönemde bu değişimler denge durumuna ulaşır ve boşluk suyu basınçları statik su tablası seviyesinden veya akım açısından bulunabilir.

Zemin geçirgenliğinin düşük olduğu durumda (kil gibi): Boşluk suyu basınçlarının denge durumuna ulaşması için uzunca bir süre geçmesi gerekir. Şevin inşasının tamamlanması sonrasında kısa dönem drenajsız analiz yapılması uygundur.



Zemin geçirgenliğinin yüksek olduğu durumda (kum gibi): Boşluk suyu basınçları şev inşasının tamamlanması süresi içinde büyük ölçüde denge durumuna ulaşır. Uzun dönem drenajlı analiz yapılması ve boşluk suyu basınçlarının statik su seviyesi veya akım açısından bulunması ve efektif gerilmelerin kullanılması doğru olur.





Kil zeminde kazı yoluyla inşa edilen bir şev

Kazı sırasında potansiyel kayma yüzeyi üzerinde kayma gerilmeleri artar

Yük azalmasına bağlı olarak kayma düzlemine dik yönde gerilmeler azalır

boşluk suyu basınçları azalır (azalma miktarı aşırı konsolide killerde normal konsolide killere göre daha büyüktür)



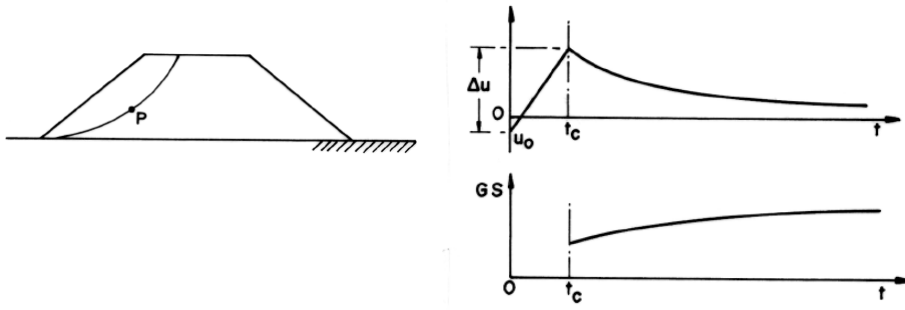
Uzun dönemde boşluk suyu basınçlarının denge durumuna ulaşmak üzere artışıyla efektif gerilmeler azalacak, şev stabilitesi daha kritikleşecektir

Nereden buluruz?

Kazı yoluyla inşa edilen şevlerde:

1. Şev stabilitesi **uzun dönemde (drenajlı) daha kritiktir** (uzun dönem boşluk suyu basınçları dikkate alınarak efektif gerilmeler ve $c' \phi'$ kullanılmalıdır).
2. Geçici süre için gerek duyulan kazı yoluyla elde edilen şevlerde kısa dönem stabilite analizi yapılabilir, fakat uzun dönemde bundan daha düşük bir güvenlik sayısı bulunacağı unutulmamalıdır.





Kil zeminde dolgu yapılarak inşa edilen bir şev

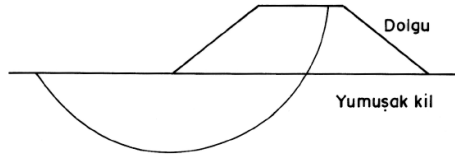
Yük artışına bağlı olarak toplam gerilmeler ve boşluk suyu basıncı artar

Zaman geçtikçe boşluk suyu basınçları azalır ve efektif gerilmeler artar

Dolgu yoluyla inşa edilen şevlerde kısa dönem (drenajsız) durumda stabilite daha kritiktir



Bu tür şevlerde dolgunun üzerine oturduğu zeminin kayma dayanımı şev stabilitesi açısından çok önemlidir



Dolgu altında derin kayma yüzeyinin kritik olması



Doğal şevlerde (yamaçlarda) stabilite problemi çoğunlukla “uzun dönemli” olarak sınıflandırılabilir. $c' \phi'$

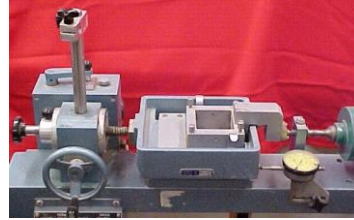
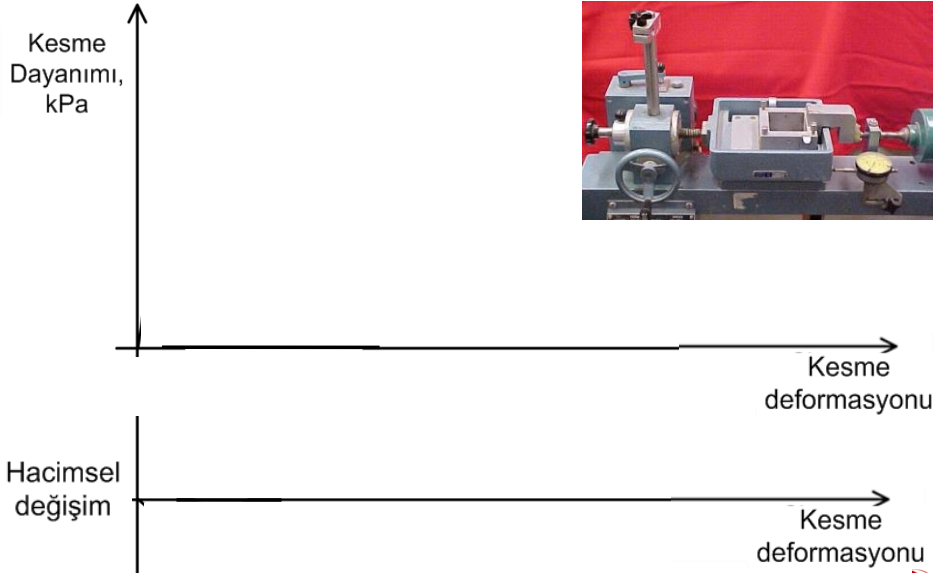
Zeminde yeraltı suyu seviyesinin yağışlı dönemlerde yükselmesine bağlı olarak meydana gelebilecek efektif gerilme azalmalarının, veya şev topuğunda erozyona bağlı olarak ortaya çıkabilecek bir boşalmanın şev kesitinde neden olacağı kayma gerilmesi artışlarının şev stabilitesi üzerindeki etkilerinin belirlenmesi genel olarak efektif gerilme analizi yoluyla yapılabilir.

$$G.S. = \frac{\Sigma(c' + \sigma' \cdot \tan \phi') \cdot \ell}{\Sigma(W \cdot \sin \alpha)}$$



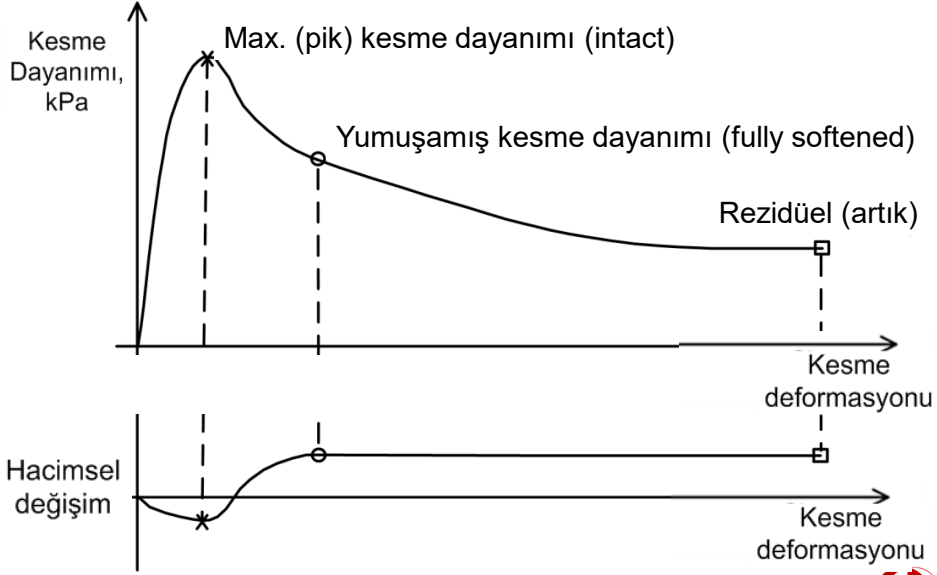
Killerde drenajlı kayma dayanımı

$c' \phi'$



Killerde drenajlı kayma dayanımı

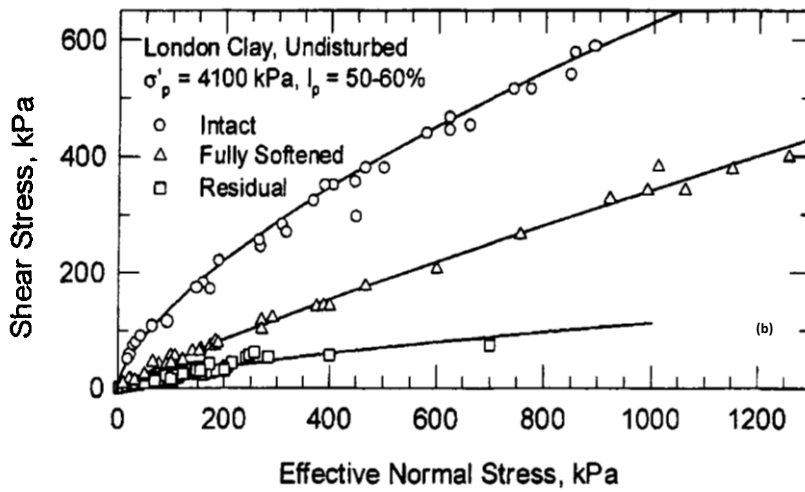
$c' \phi'$



Killerin drenajlı kayma dayanımı:

pik, yumuşamış, rezidüel

* Şev stabilitesi: hangi yenilme zarfını kullanalım?



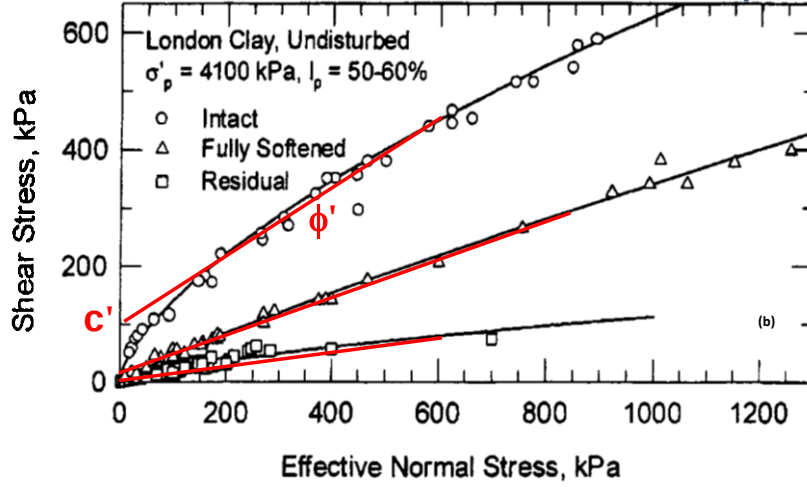
Mesri ve Shahien (2003)



Killerin drenajlı kayma dayanımı yenilme zarfı:

Doğrusal olarak
basitleştirilir:

- 3 çeşittir: max (pik), yumuşamış, rezidüel
- Hepsinde doğrusal olmayan yenilme zarfı görülür



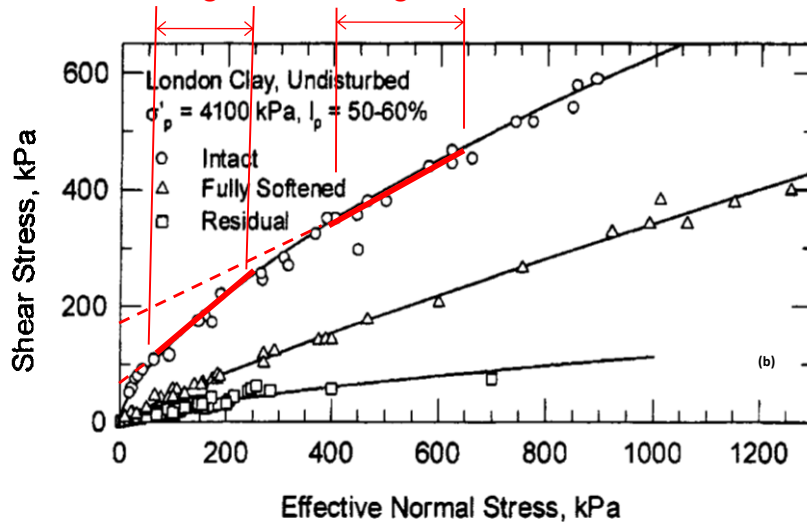
Mesri ve Shahien (2003)



Killerin drenajlı kayma dayanımı:

pik, yumuşamış, rezidüel

- * Şev stabilitesi: hangi yenilme zarfını kullanalım?
- * Efektif normal gerilme aralığının önemi?

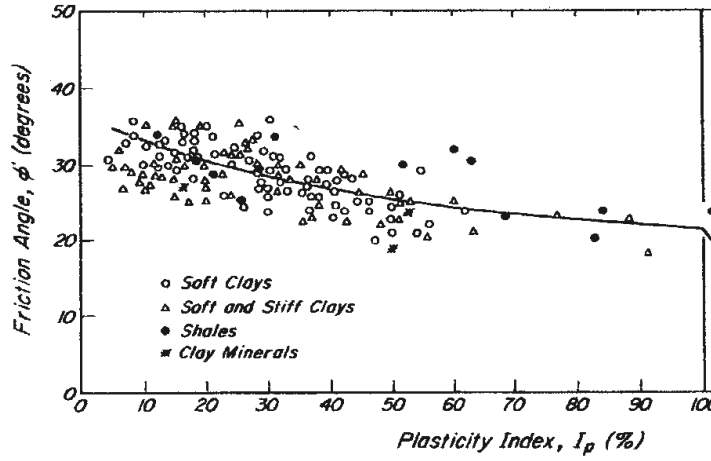


Mesri ve Shahien (2003)

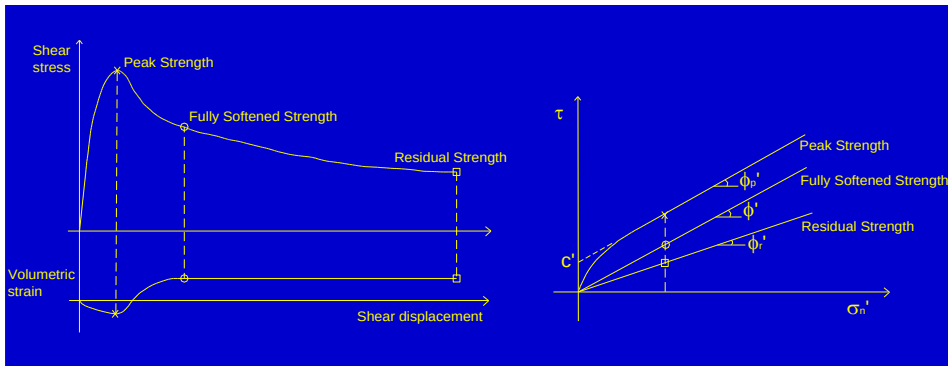


Drenajlı kayma dayanımı c' ve ϕ' ?

Killerin Drenajlı kayma dayanımı, içsel sürtünme açısı ϕ' ile plastisite indisi ilişkisi



(Terzaghi, Peck ve Mesri, 1996)



ŞEV STABİLİTESİ ISLAH METODLARI

Stabilitenin bozulmasına yol açan faktörlerin doğru tespiti etkili ve ekonomik bir ıslah metodu seçebilmek için gereklidir.

- Şevin çok dik veya çok yüksek tasarlanmış olması
- Boşluk suyu basınçlarının tasarımda dikkate alınan değerlerden daha artması
- Şevin tasarım geometrisinin erozyon, kazı veya dolgu gibi nedenlerle bozulması
- Şevi oluşturan zeminin kayma dayanımının zaman içinde ayrışma veya krip nedeniyle azalması

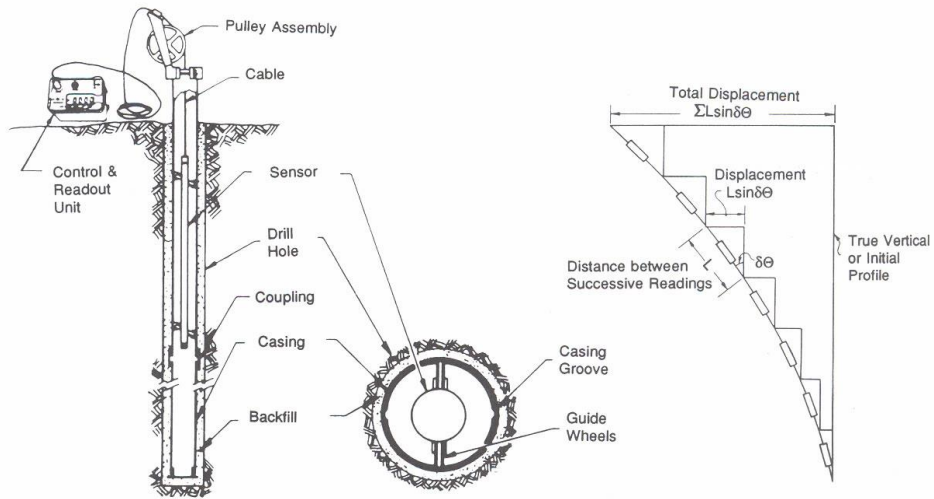


Şevin kayma yüzeyinin derinliği ve şekli?

sondaj deliği içine yerleştirilecek **inklinometre**'lerden okuma alınması ile bulunabilir.



Inklinometre



Green ve Mikkelsen, 1988.

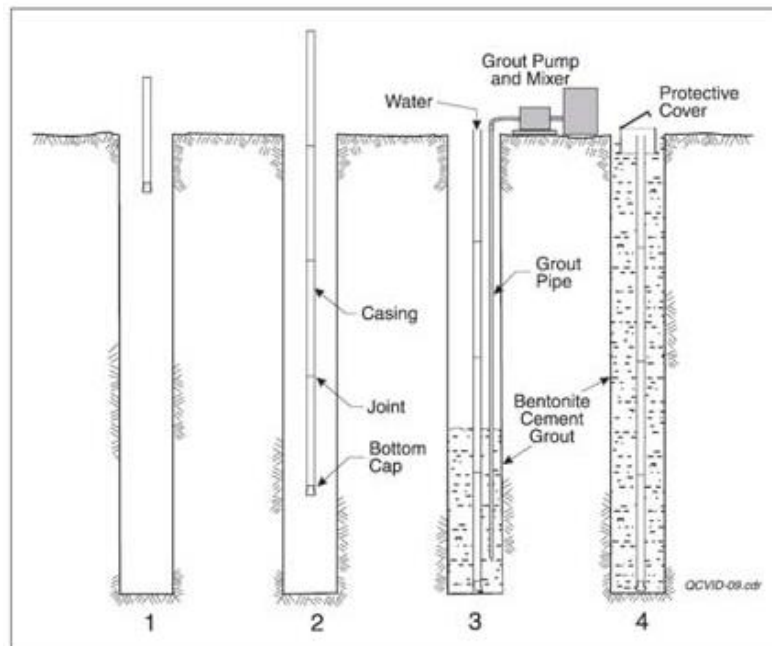


Figure. Grouting the annulus between the inclinometer casing and the borehole (Slope Indicator Company).

The first evaluation of the data is a review of the **checksums**, which consists of adding the two values obtained in diametrically opposite directions at the same depth

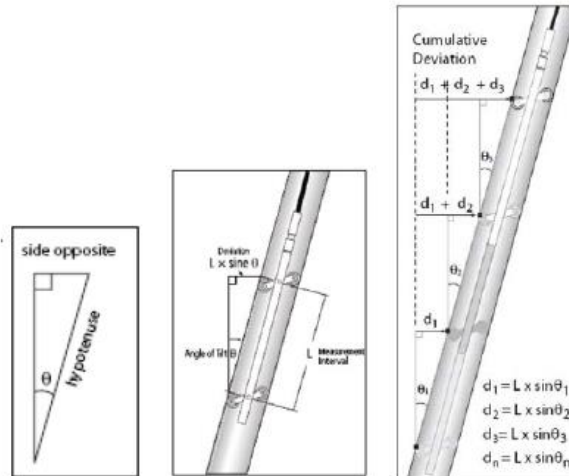


FIGURE 21 Measurement principles (Slope Indicator Company, 2006a).

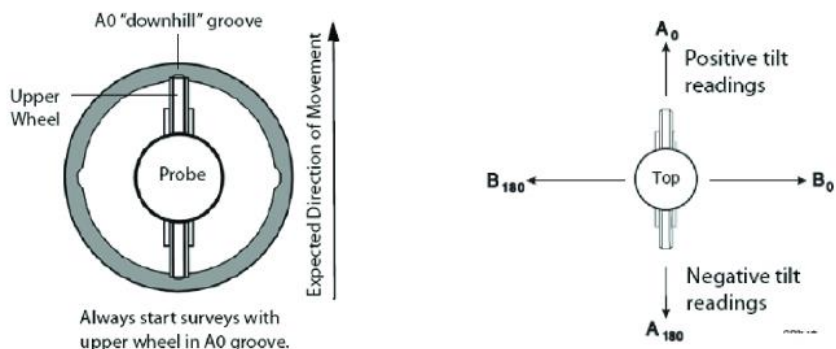


FIGURE 19 Orientation of probe within inclinometer casing (Slope Indicator Company).

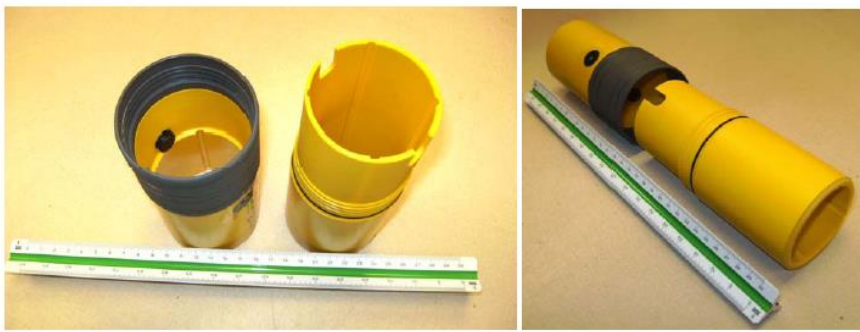


FIGURE 3 Inclinometer casing with machined grooves and connection detail (RocTest).

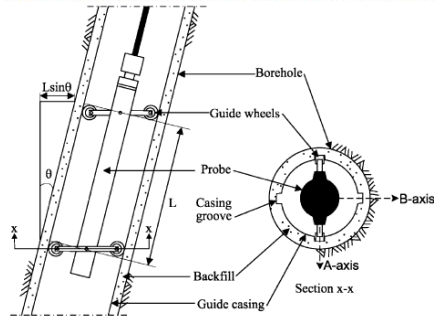


FIGURE 1 Typical inclinometer probe, cable, and readout device (Landslide Technology).

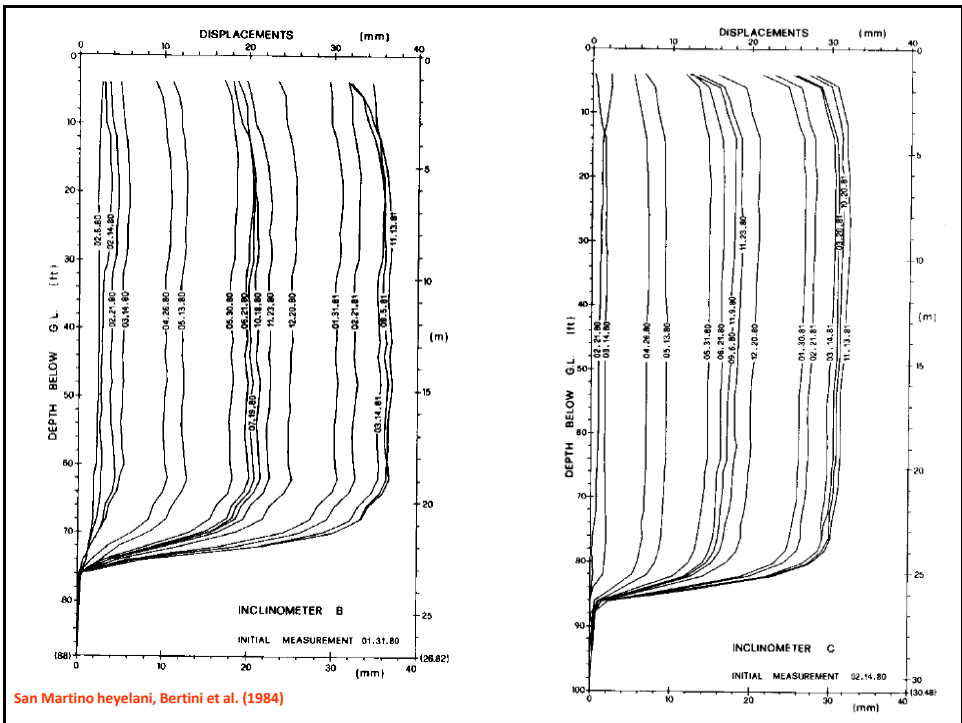
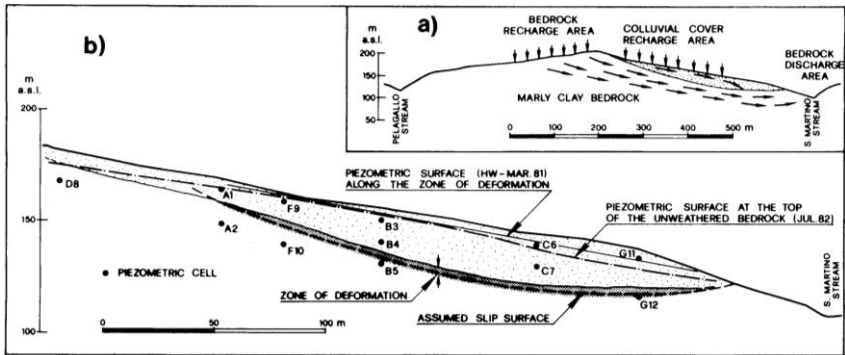


Dr. Mahmut Yavuz Şengör, Yüksel Proje A.Ş.

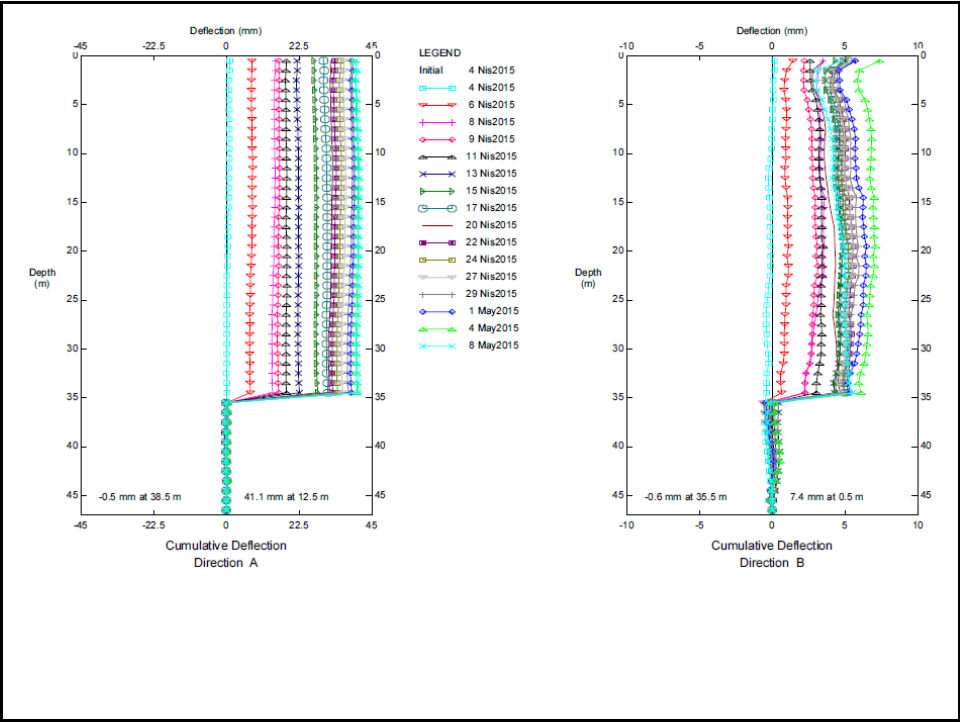
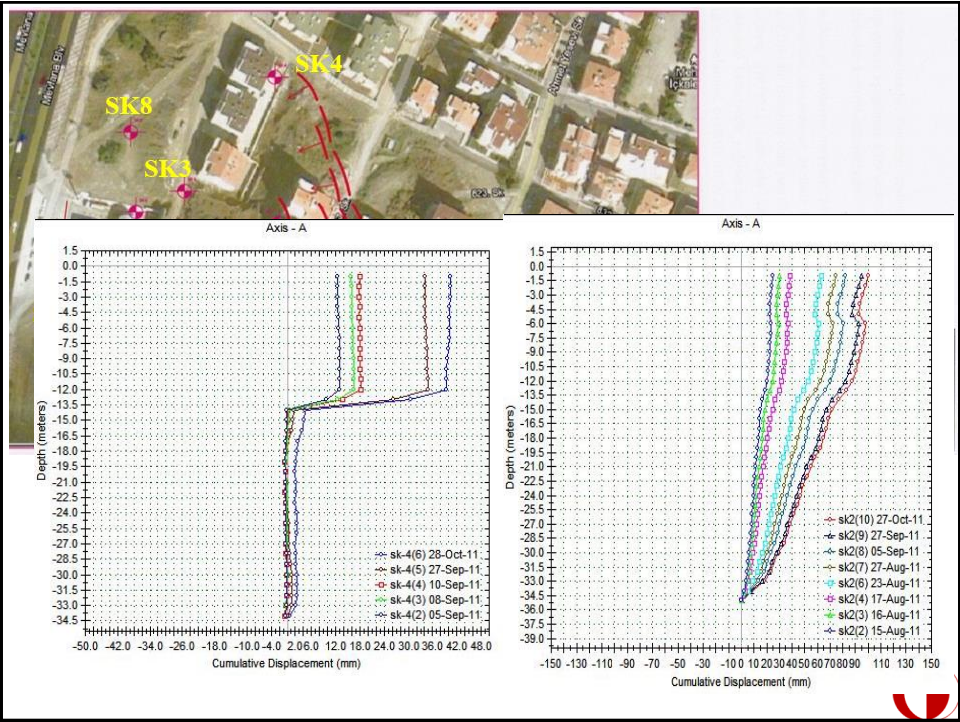
Inklinometre

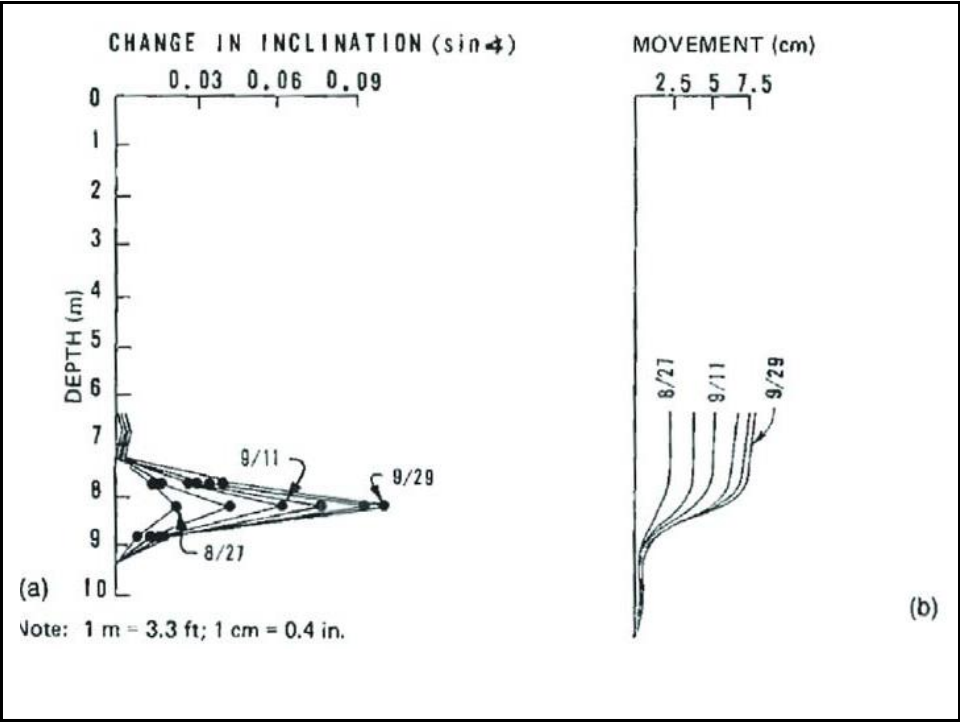
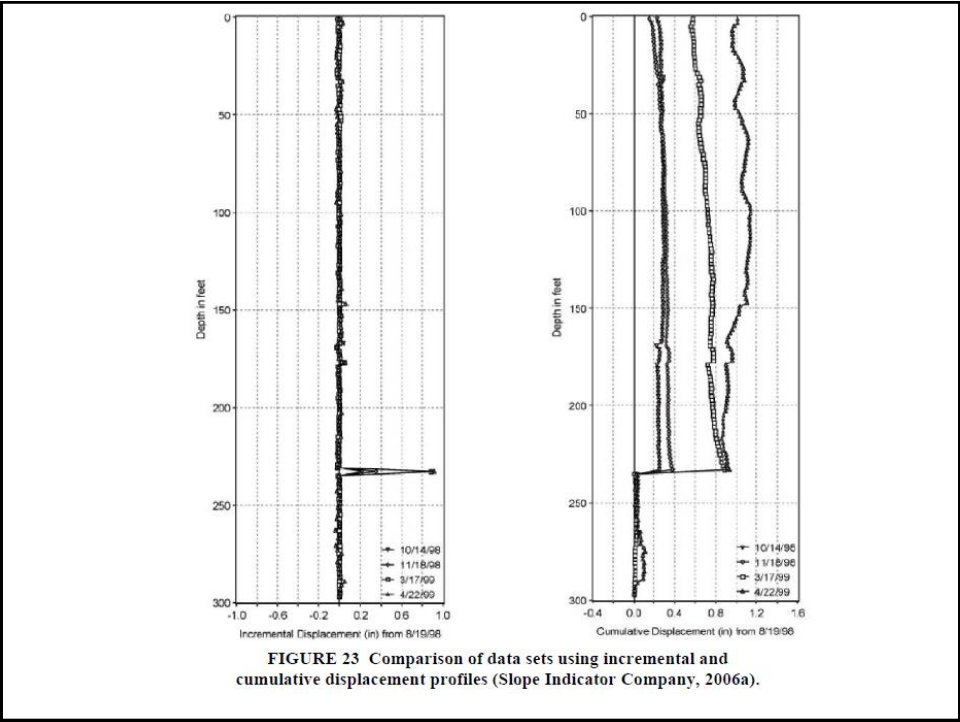
- Kayma yüzeyinin tespit edilmesi.
- Kayan kütlenin yatay hareket miktarı ve hızı nedir?
- Belli bir zaman dilimi içinde oluşan toplam hareket miktarı nedir?
- Kayma yüzeyinin derinliği nedir?
- Kayma zonunun/yüzeyinin kalınlığı nedir?
- Arazide gözlenen zemin kayma davranışı ile ölçümler uyumlu mu? Zemindeki hareketler beklene / genel mantıklı bir şekilde mi oluşuyor?

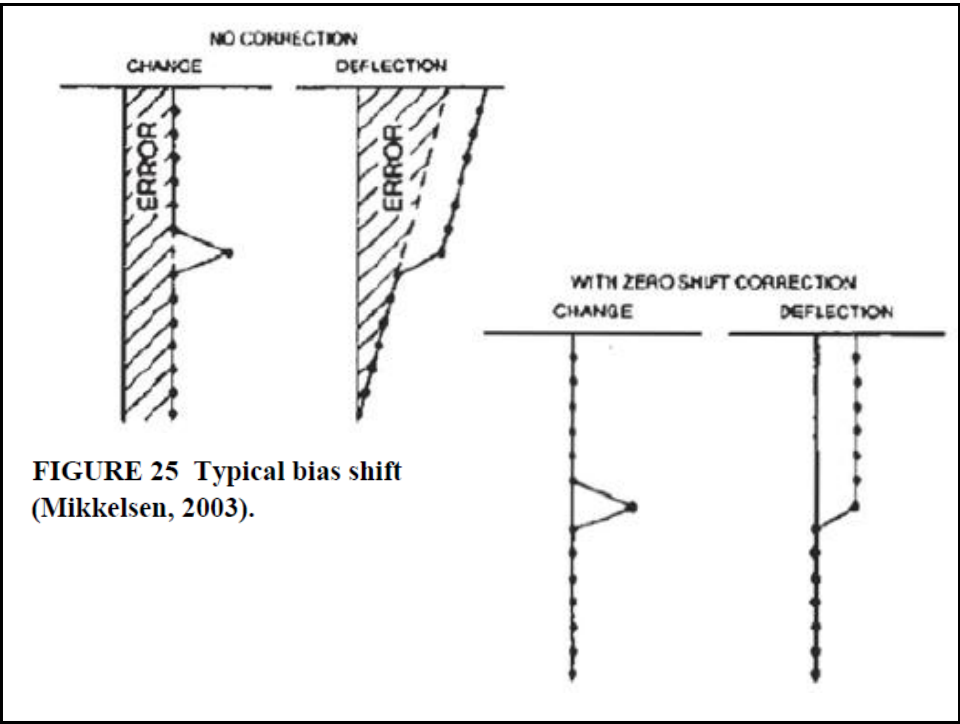
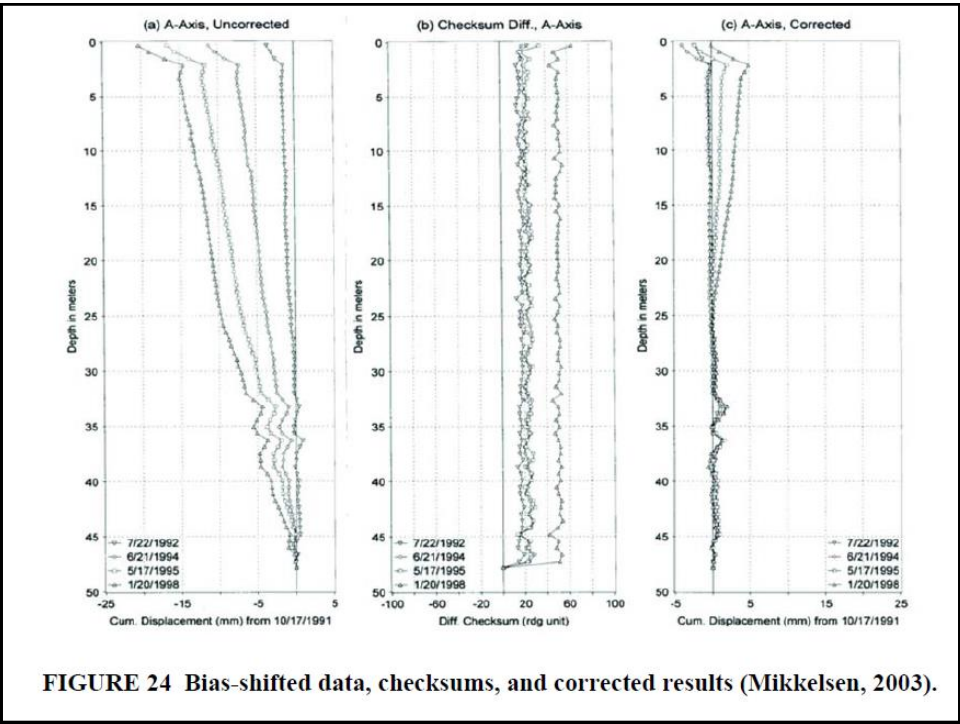
San Martino heyelani, Bertini et al. (1984)



San Martino heyelani, Bertini et al. (1984)







IN-PLACE OR STATIONARY INCLINOMETERS: IPI SYSTEMS

Many industrial tilt sensors are available, but only three types are most commonly made by manufacturers. For **In-place-inclinometer (IPI)** applications these are (a) vibrating wire tilt sensors, (b) electrolytic tilt sensors, and (c) MEMS accelerometers

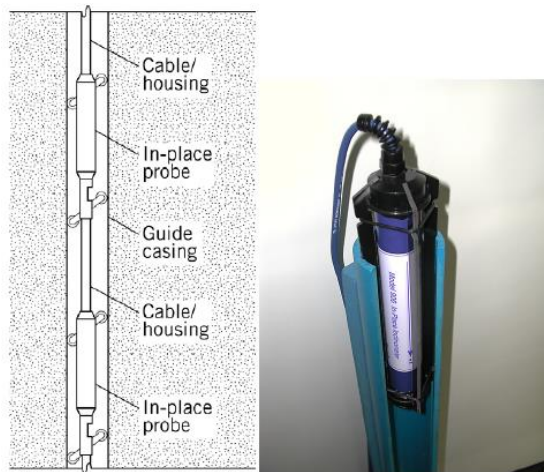


FIGURE 5 IPI installation schematic and photo of individual IPI probe (Landslide Technology, WSDOT).

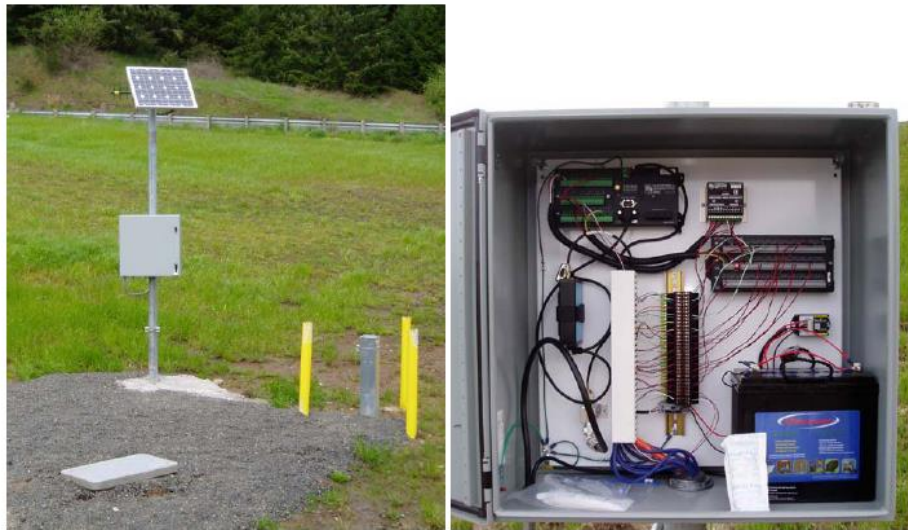


FIGURE 6 Typical remote ADAS system with multiplexer, solar-recharged power, and radio communications (Myers).

Shape Acceleration Array



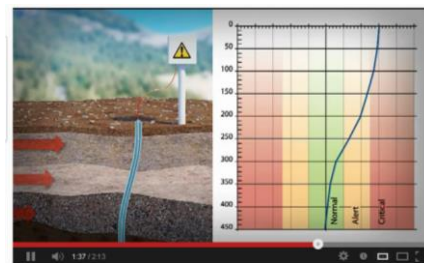
Shape Acceleration Array

http://www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=fBjBsls2S9g

<http://www.youtube.com/watch?v=qi6dYqMwhnE>



Measurand's ShapeHand Working With The Vicon System



Cautus Geo - Ground stability monitoring

<http://www.youtube.com/watch?v=tZ8TGUDwgVw>

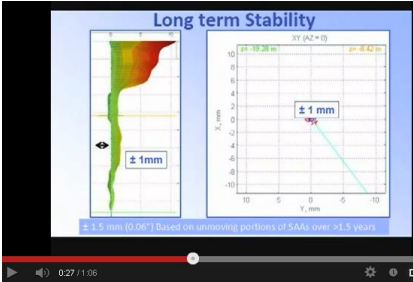
<2:54, and >5:49 minutes

<http://www.youtube.com/watch?v=XJR1BWhIUB8>



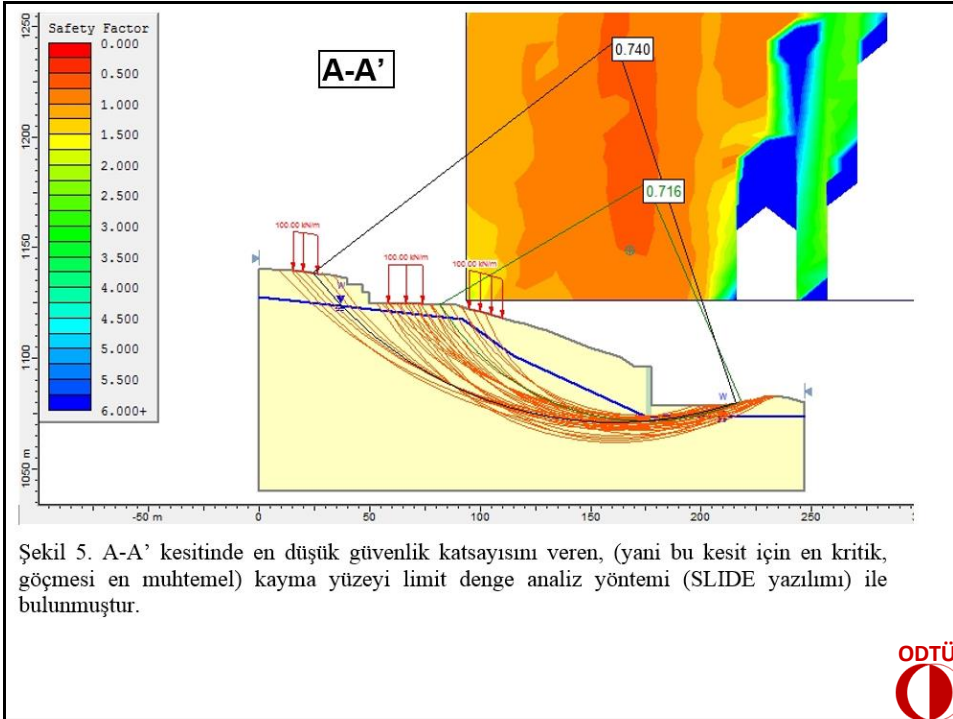
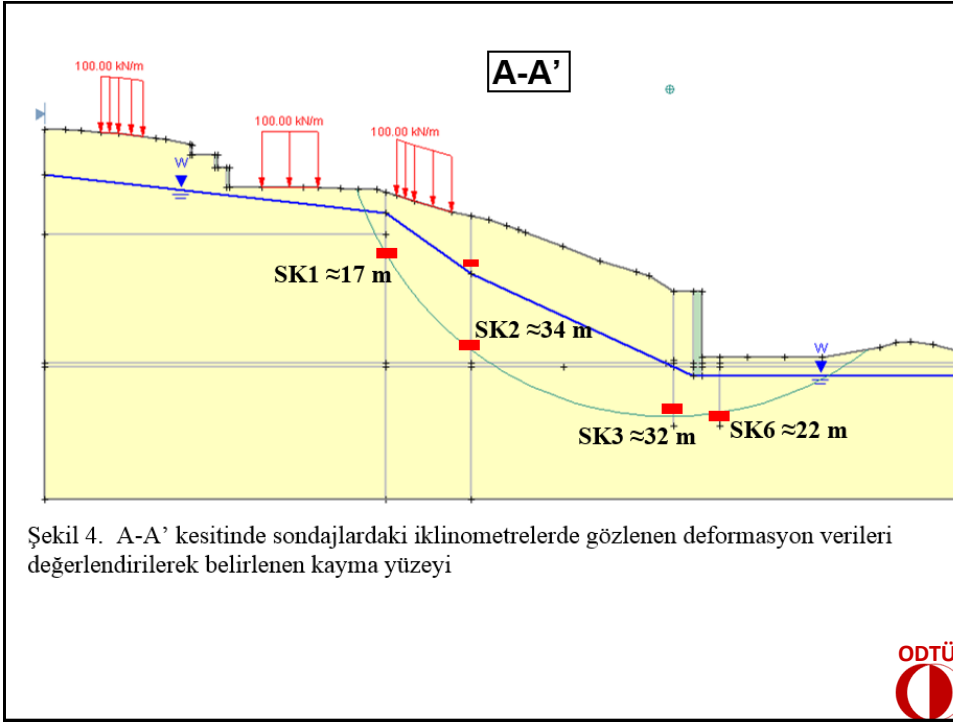
SAA Demonstration

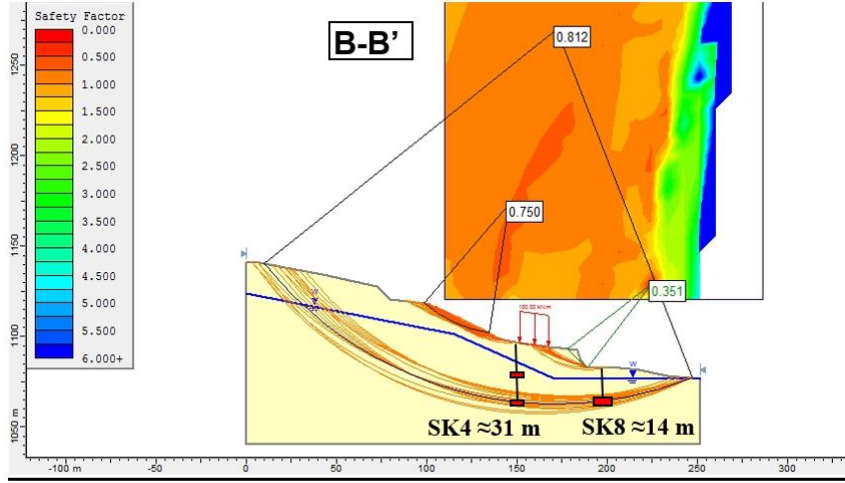
<http://www.youtube.com/watch?v=s6xD2nUjS3I>



Inclinometer Array - Introduction to SAA







Şekil 7. B-B' kesiti, en kritik güvenlik katsayıları ve kayma yüzeyleri gösterilmiştir.



Geri Analiz

Kayan bir şevde zeminin kayma sırasındaki dayanım parametreleri, güvenlik sayısı=1.0 alınarak “geri analiz”le hesaplanır.

“**doğru yapılmış**” **geri analiz**le hesaplanan dayanım parametreleri ile “**doğru yapılmış**” **laboratuvar deneyleri** karşılaştırıldığında benzer sonuçlar bulunabilmektedir.

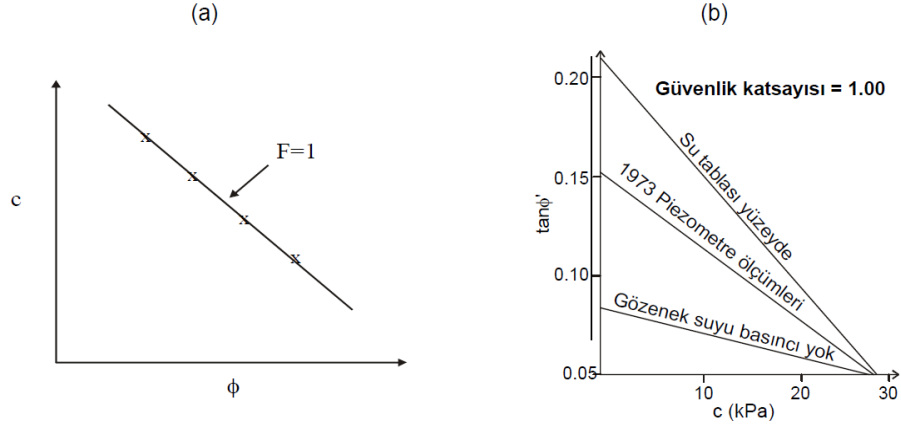
Geri analizde gerekli bilgiler:

- Şevin kaymadan önceki geometrisi/topoğrafyası
- Kayma anındaki su tablasının yeri (boşluk suyu basınçları)
- tabakalar (sondaj, zemin etüdü)
- kayma yüzeyi (derinliği, geometrisi vs.)

Elinizde bu bilgilerden birisi bile yoksa geri analiziniz bir miktar belirsizlik içermektedir, bu unutulmamalıdır!!



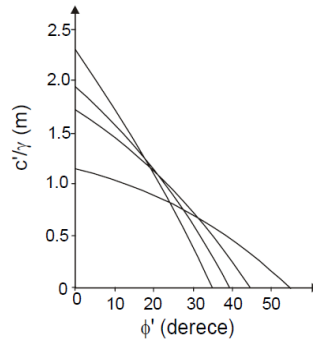
Eğer gözenek suyu basıncı (u) bilinmiyorsa, farklı " u " değerleri seçilerek bunlar için elde edilen c - ϕ zarfları çizilir ve değerlendirilir (Şekil 6.3b).



Şekil 6.3. (a) Tüm şev parametrelerinin bilinmesi koşulunda c - ϕ zarfının elde edilmesi ve (b) değişik gözenek suyu basınçlarına göre çizilmiş c - ϕ zarfları.

171

Eğer aynı şevin farklı kesimlerinde birden fazla sayıda kayma olduysa, hazırlanacak kesit sayısı (n) da birden fazla olacaktır. Bu kesitlere ait c - ϕ zarfları kesiştiğinde, $n(n-1)/2$ adet kesişme noktası (çözüm) elde edilir ve bu tür çözümlere çoklu çözüm adı verilir (Sancio, 1981). Bu tür bir çözüm gerçeğe en yakın c - ϕ kombinasyonlarını verir (Şekil 6.4).



Şekil 6.4. Farklı geometriye sahip bir şevde 4 kaya bloğu kayması için elde edilmiş c - ϕ zarfları (Sancio, 1981).

172

ŞEV STABİLİTESİ ISLAH METODLARI

Kitle hareketine neden olan faktörlerin ortadan kaldırılması gerekmektedir.

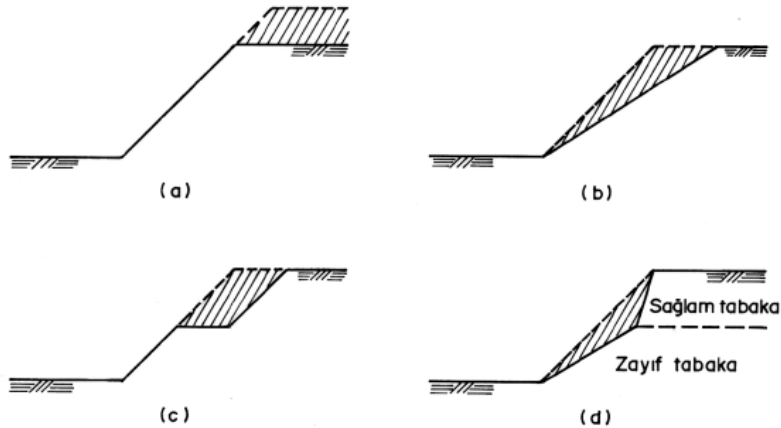
Bu, kaymaya yol açan (kaydırıcı) kuvvetleri azaltmak, malzeme dayanımını (direnci) artırmakla ya da her ikisiyle sağlanır.

- Yerüstü ve yer altı sularının drenajı
- Yamaç ve şevlerin korunması ve ağaçlandırılması
- Topuğa ağırlık yapılarının inşası
- Kazık veya kaya bulonları
- Yamaç ve şevlerin düzenlenmesi
- Zeminin kayma mukavemetinin artırılması



ŞEV STABİLİTESİ ISLAH METODLARI

- Yük kaldırma – Dolgu yaklaşımı

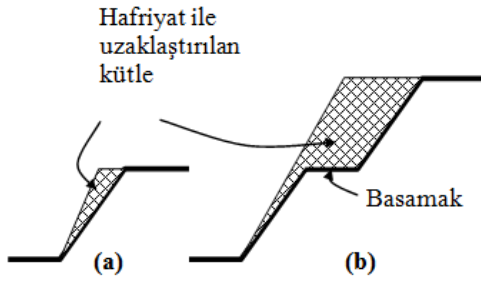




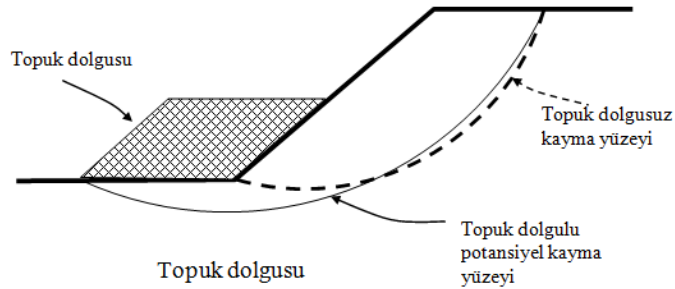
Stabilitenin şev üzerine dolgu yapılması yoluyla sağlanması

a-şev yüzeyine dolgu yapılması (yüzeysel stabilitenin sağlanmasında etkili)

b-şev topuğuna dolgu yapılması (derin stabilitenin sağlanmasında daha etkili)



Şevin yatıklaştırılması: (a) alçak şev, (b) yüksek şev



ŞEV STABİLİTESİ ISLAH METODLARI (devam)

-Drenaj:

- Yüzeysel drenaj
- Derin drenaj

Bu yöntem drenaj sistemi çalışır durumda olduğu sürece güvenilirdir.

Drenaj sistemlerinin sürekli kontrol edilerek çalışır durumda tutulması için gerekli bakım-onarımın yapılması önemlidir.



-Drenaj:

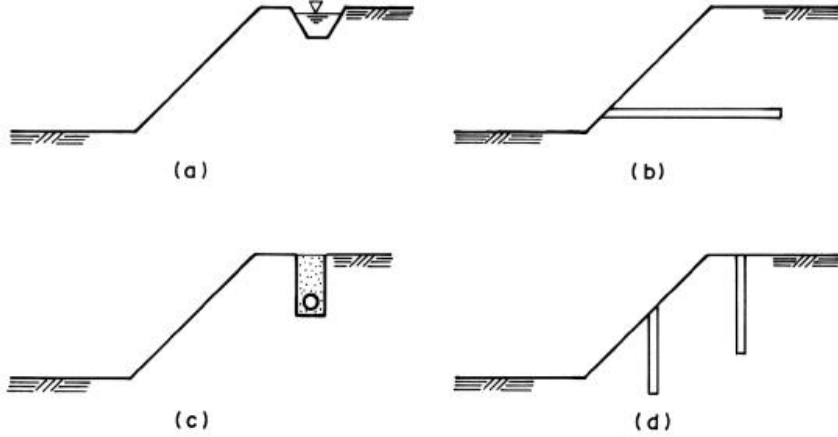
- Yüzeysel drenaj: yüzey sularının kontrol altına alınarak şevin içine sızmasına fırsat vermeden uzaklaştırılması amacıyla yapılır

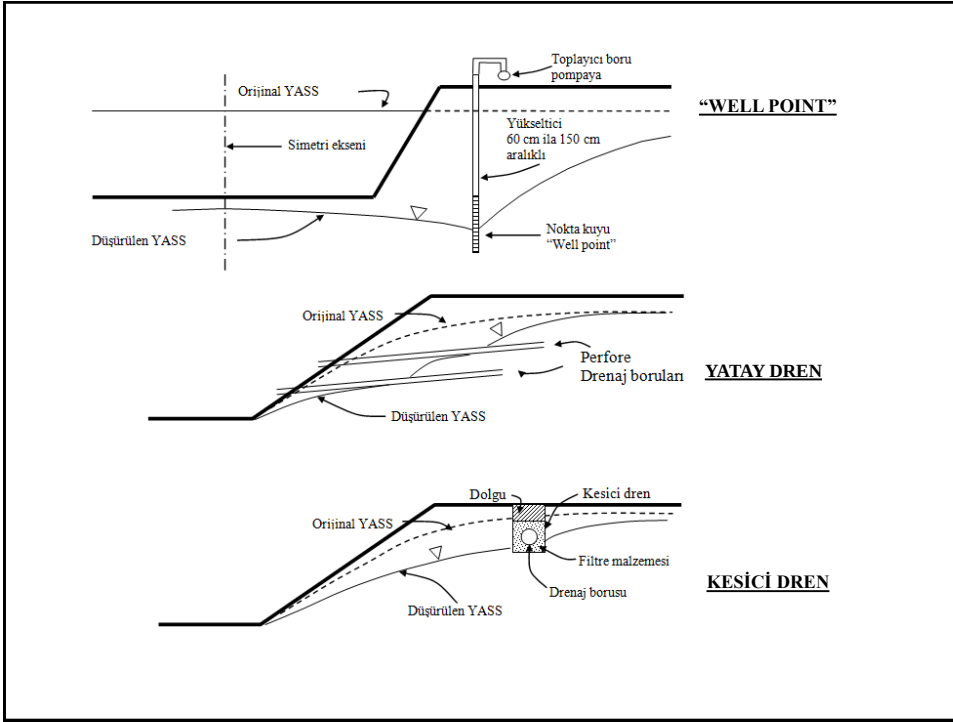
- Derin drenaj: yüzeysel drenaja göre daha pahalı ama daha etkili bir yöntemdir, boşluk suyu basınçlarının azaltılması amacıyla kullanılır



SUYUN KONTROLU (DRENAJ)

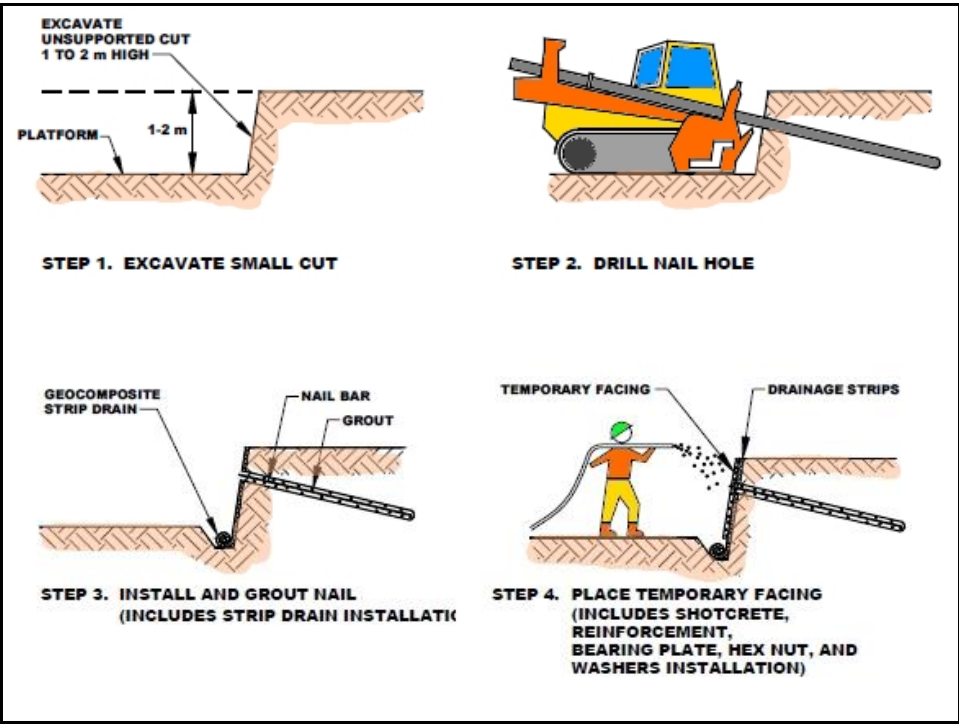
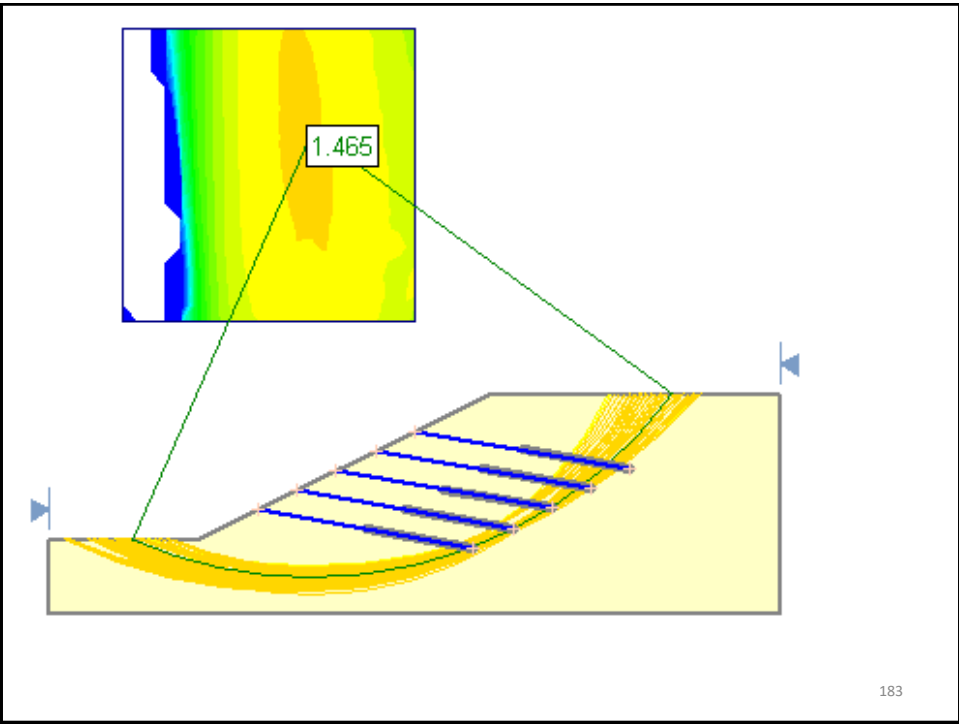
- Alana gelen yüzey sularının uzaklaştırılması
- İçi geçirimli gereç dolu sığ ve derin hendeklerin yapımı
- Ortam içine geçirimli malzeme yerleştirilmesi
- Küçük çaplı pompajlı ve pompajsız sondaj kuyuları
- Drenaj kanalları, tünel veya galerileri
- Sifonla drenaj
- Ağaç ve bitkilerle yüzey koruma ve su alma
- Şev taç bölgesinde zemin yüzeyinin geçirimsiz malzeme (geomembran, kil örtü, v.b.) ile örtülerek yüzey sularının şev içine girişinin azaltılması

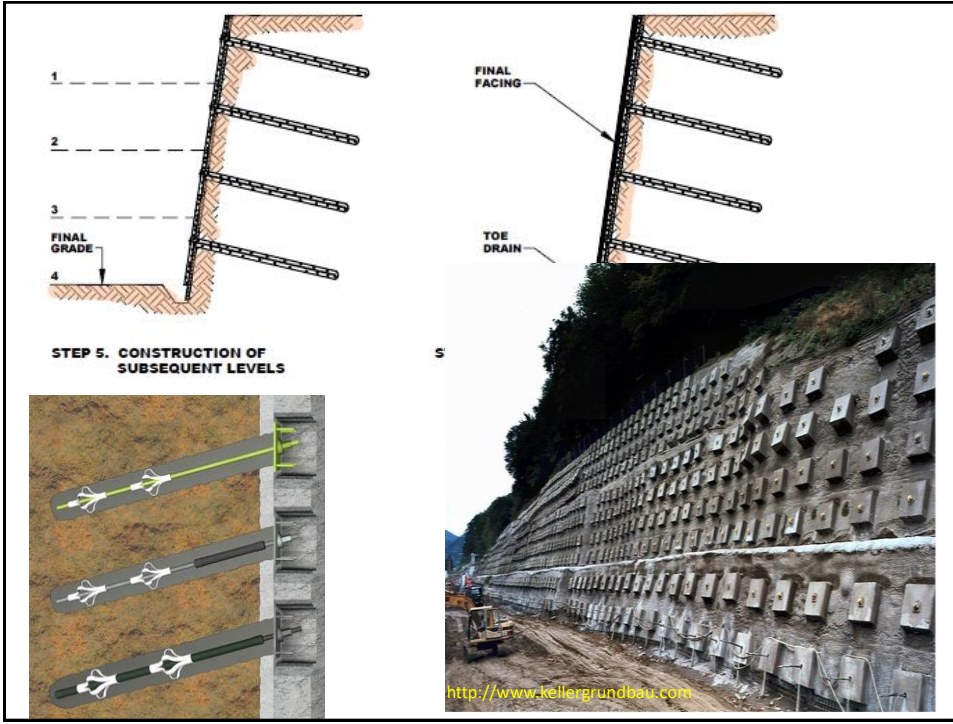




ŞEV STABİLİTESİ ISLAH METODLARI

- İstinat duvarları
- Ankrajlı sistemler
- Zemin çivisi
- Enjeksiyon
- Kafes duvarlar
- Pasif kazık ve kesonlar
- Donatılı zemin sistemleri
- Betonarme perde veya payandalar
- Düşme kontrolü için yamaç yüzünde ağ
- Blok düşmeleri/yuvarlanmalarına karşı hendek, çit ve duvarlar
- Aşınmayı önlemek için kaplama elemanları
- Taş, kireç veya çimento kolonlar
- Derin karıştırma yöntemleri



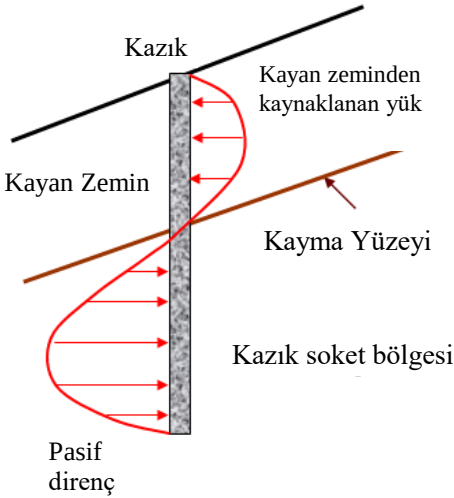


ŞEV STABİLİTE ÖNLEMİ OLARAK PASİF KAZIK

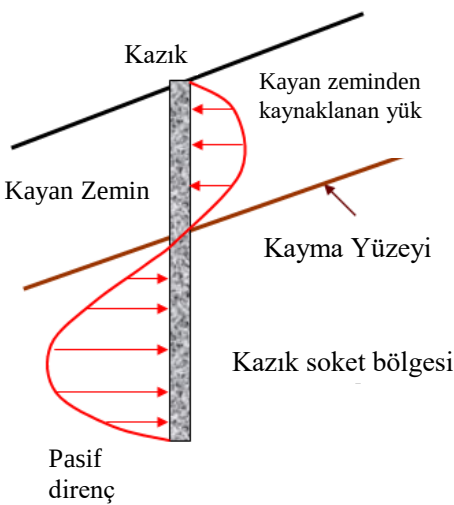
Kayma potansiyeli olan bir zemin kütlesinin içerisinde geçerek dayanımı yüksek zemine soketlenen ve kaymaya karşı güvenliği arttırmak için kullanılan dairesel kesitli betonarme elemanlar pasif kazık olarak tanımlanabilir.

Pasif kazık, sondaj tekniği ile kayan kütle içerisinde geçirilerek dayanımı yüksek zemin veya kayaya soketlenir. Kayan kütlenin stabilizasyonu, soket bölgesinde oluşan pasif direnç ile sağlanır. Pasif kazıkların kalıcı ankrajlar ile desteklenmesi de mümkündür.

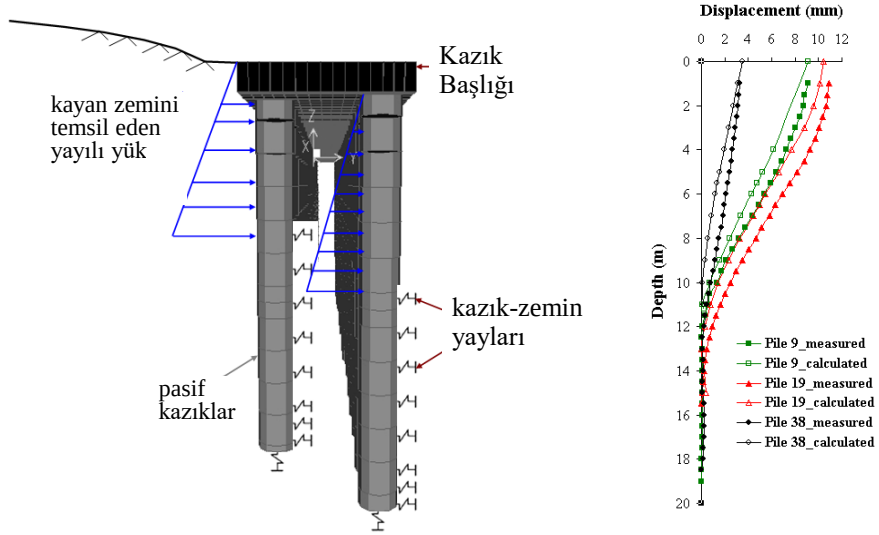
PASİF KAZIKLARDA YÜK DAĞILIMI



PASİF KAZIKLARDA YÜK DAĞILIMI



Üç boyutlu yapısal sonlu elemanlar modeli



SİSMİK ŞEV STABİLİTESİ ANALİZİ

-Depremden kaynaklanan dinamik gerilmeler nedeniyle şevde kalıcı deformasyonların oluşması (kütlesel dayanım kaybı)

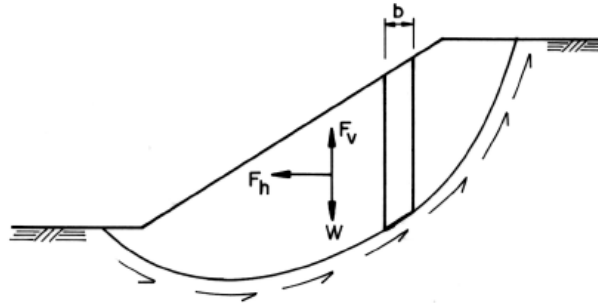
-Dinamik yükler altında malzemenin gerilme-deformasyon davranışındaki bozulma dayanım kaybı nedeniyle şev stabilitesi bozulması (zemin dayanım kaybı) şevi oluşturan malzemelerde sıvılaşma olup olmayacağı.



SİSMİK ŞEV STABİLİTESİ ANALİZİ

-Psudostatik analiz metodu:

Potansiyel kayma yüzeyi üzerindeki kütlenin ağırlık merkezinde etkiyen yatay ($=k_h W = a_h/g W$) ve düşey deprem kuvvetleri stabilite hesaplarına katılır



Şev malzemesinin rijit olmaması, maksimum ivmenin çok kısa bir süre için etki etmesi nedeniyle $a_{\max}$ değerinden çok daha düşük bir değer kullanılır.

$$a_{\max} / 2 \text{ veya } / 3 \text{ (Marcuson 1981)}$$

G.S. < 1.0 : stabilitenin bozulması

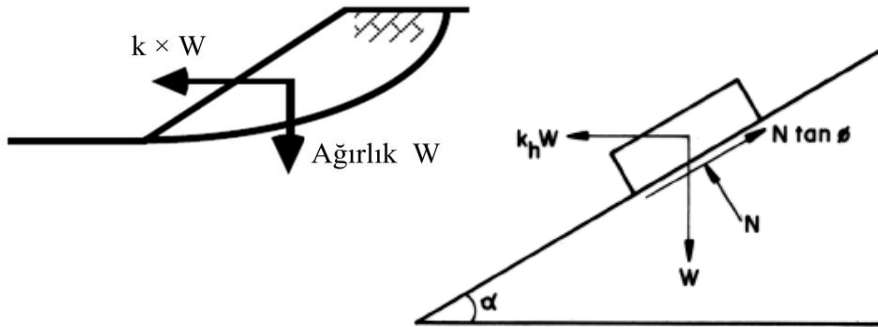
Deformasyon ne kadar küçük olursa olsun sadece “kayar” sonucu veriyor – ekonomik olmayan sonuçlara yol açar. Bazı barajlar G.S. >1.0 çıktığı halde göçmüştür.



SİSMİK ŞEV STABİLİTESİ ANALİZİ

-Newmark Kayan Blok Analizi:

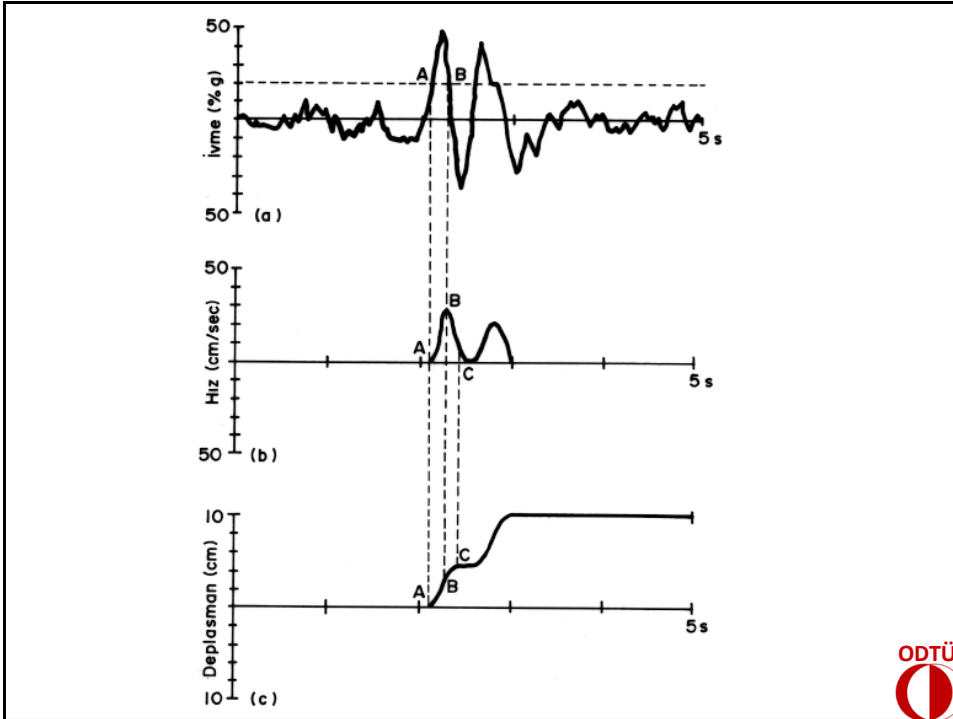
Bir kayma düzlemi üzerindeki zemin kütlesi eğimli bir yüzey üzerinde kayabilen bir blok olarak modellenmektedir.



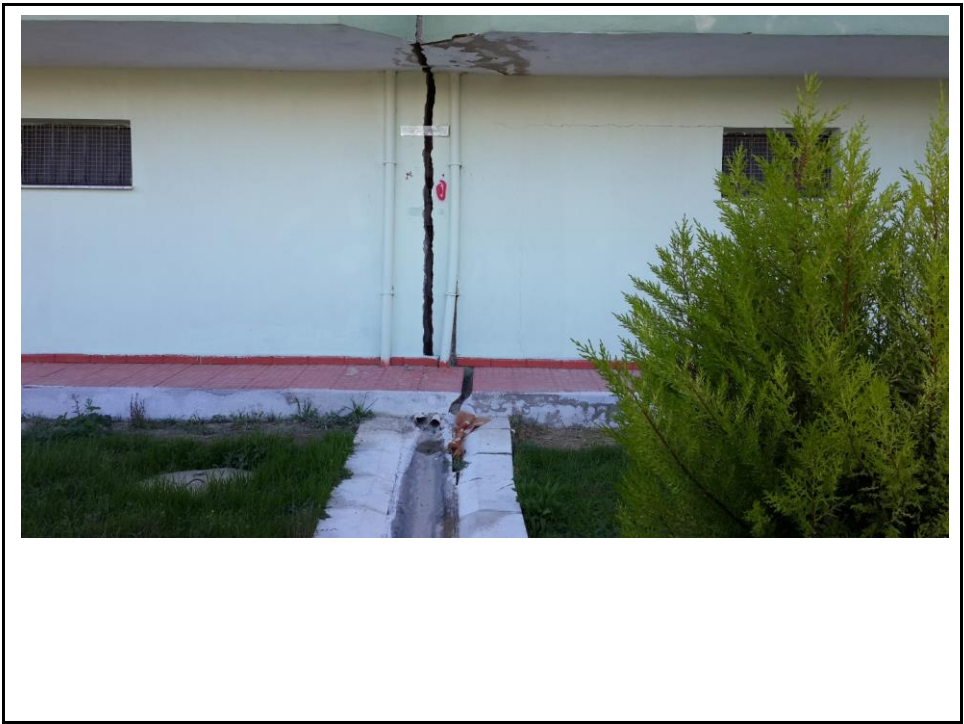
Şev kayması, dinamik hareket sırasında kütle üzerine etkiyen ivmenin toplam kayma direncini aşan bir kuvvet yaratması durumunda başlar ve ivmenin yön değiştirmesiyle son bulur.

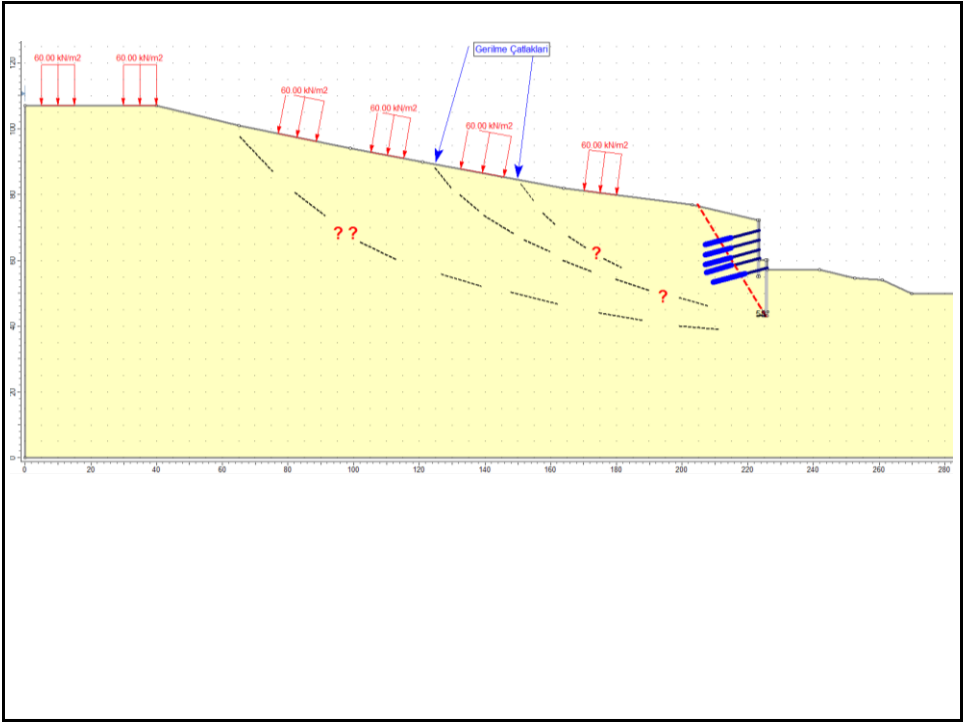
Toplam deformasyonu bulmak için, bu seviyeyi aşan ivmenin **iki kere integrali** alınır.

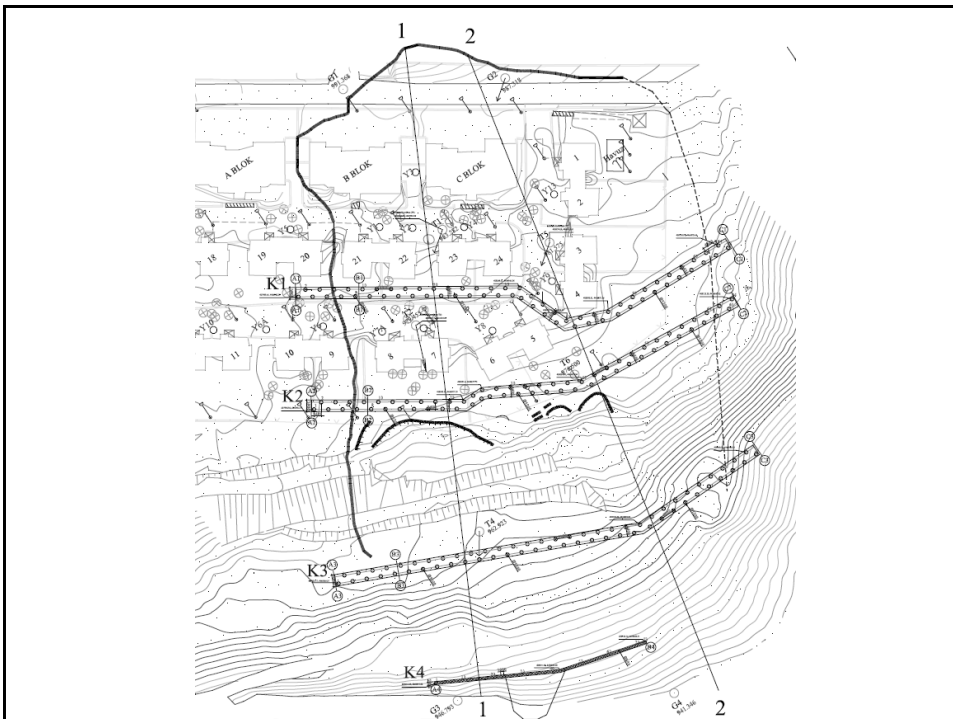
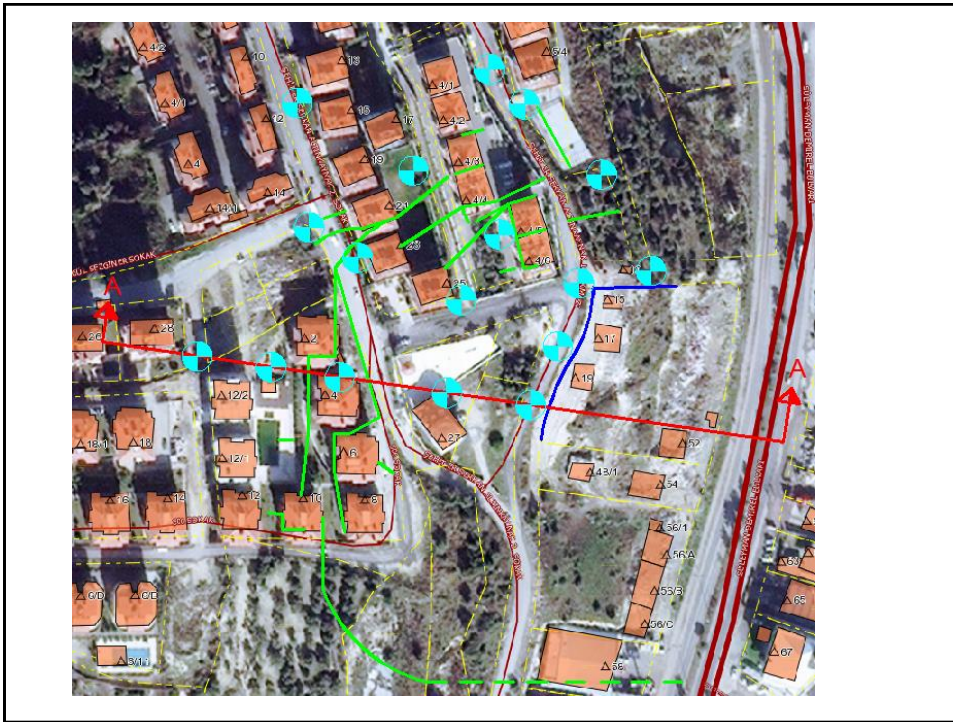
Newmark analizi, toprak dolgu barajlar gibi kendi içinde amplifikasyon yapabilen kütleler için hatalı sonuçlar verebilmektedir.

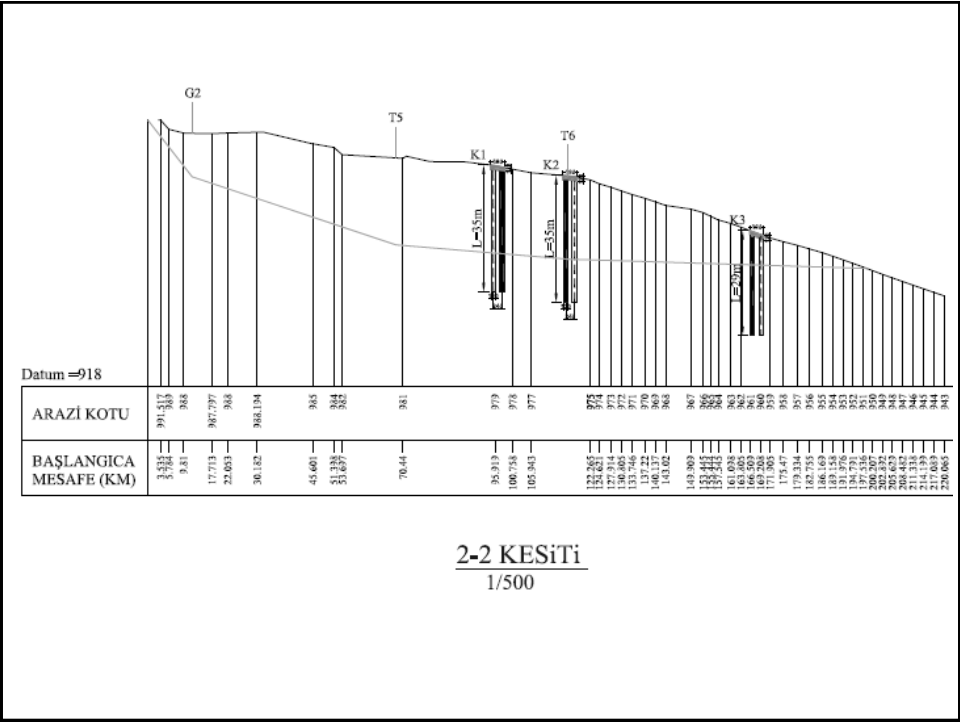












2-2 KESİTİ
1/500