

“MIT Açık Ders Malzemeleri

<http://ocw.mit.edu>

12.163./12.463 Yeryüzü Süreçleri ve Yüzey Şekillerinin Evrimi

2004 Güz

Bu materyallerden alıntı yapmak veya Kullanım Şartları hakkında bilgi almak için

<http://ocw.mit.edu/terms> ve <http://tuba.acikders.org.tr> sitesini ziyaret ediniz.”

IX. Kütle Kayması Süreçleri

1. Moloz Akması

Akma Türleri:

Moloz akması, lahar (volkanik), çamur akması (biraz çakıl, bloksuz). Su, kil, silt, kum, çakıl, blok vb malzemenin karışık akması. Akma ağırlığının yaklaşık % 15 oranında sıvılaşır.

Reoloji: tane boyu dağılımının fonksiyonu.

Çamur akması → non-newtonian akışkan

Islak tane akışı → gözenek basıncı ile çarpışma ve sürtünme (friksiyon)

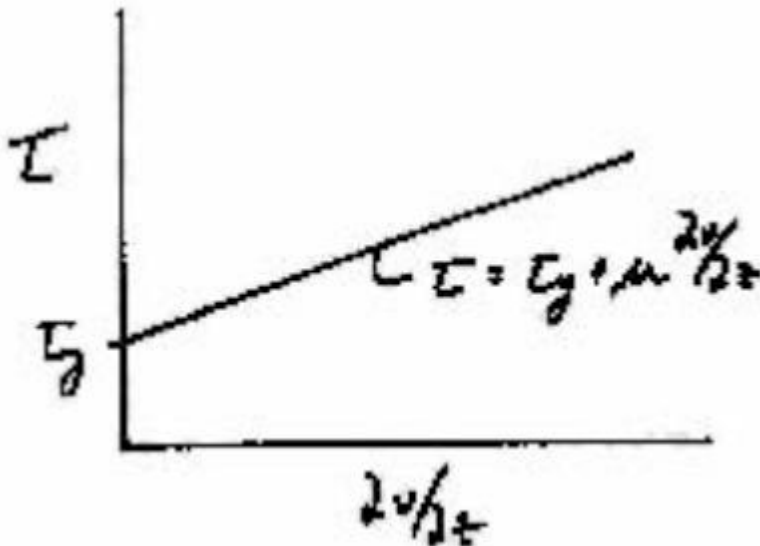
Birçok çamur akması : daha çok sıvı çamur akması mı, yoksa daha çok ıslak tane akışı mıdır?
Tartışmalıdır.

Çamur akmaları:

Visko-plastik (basitleştirme)

$$\tau = \tau_y + \mu \frac{\partial u}{\partial z}$$

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{1}{\mu} (\tau - \tau_y)$$



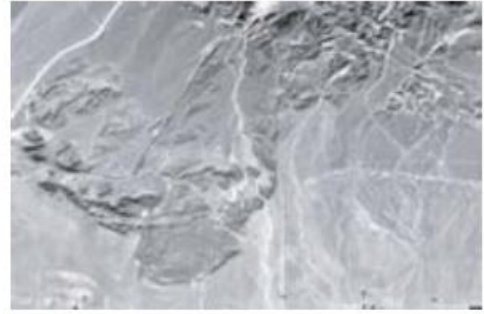
Basitleştirme :

$\tau_y = \text{sabit}$ (f(tane boyutu, H₂O %))

$\mu = \text{sabit}$ (f(tane boyutu, H₂O %))

Toprak Akma Süreçleri ile ilgili (USGS, 1984 YAPIMI) Film Gösterimi

1. Heyelanlar



Heyelan türleri:

Kaya çığları (Blackhawk kayması örnek olarak verilebilir)

Kaya düşmesi (blokların düşmesi)

Sığ toprak heyelanları (kaşıkı/tabular)

Derin temel kayası heyelanları (kaşıkı/tabular)

Yer Akmaları (yavaş sızma \Rightarrow uzun zamanlar boyunca yeniden hareketlenme)

Rotasyonel Çökmeler

Sonsuz Şev Stabilite Analizleri (yenilmenin oluşumu)

- **Varsayımlar**

1. Geçirgen olmayan ara yüzeyde 2-boyutlu düzlemsel yenilme

2. Mohr-Coulomb yenilme kriteri

3. Yamaç-parallel yer altı suyu sızması

$F \Rightarrow$ güvenlik faktörü

$F = 1$, yenilme anında (yada kritik durumda)

$F > 1$, denge durumunda

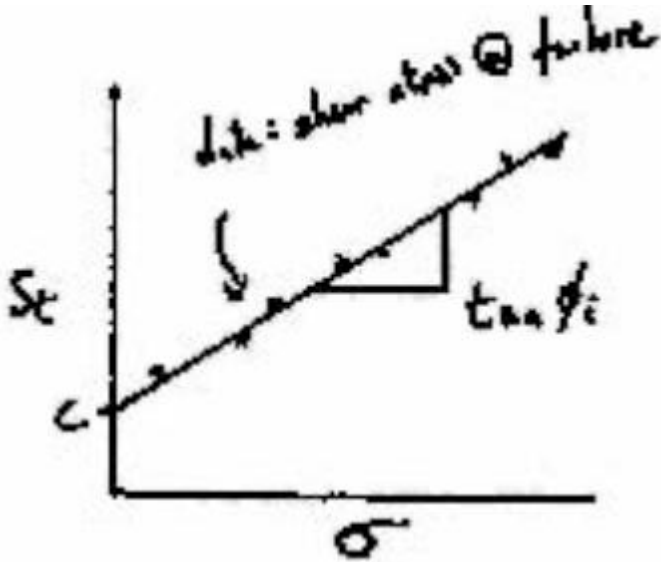
$F < 1$, denge durumunda değil

$$F = \frac{\text{strength (resisting force)}}{\text{driving force}} = \frac{s_t}{\tau_{b_{wet}}} = \frac{c + (\sigma_{wet} - p) \tan \phi}{\rho_{b_{wet}} ghS}$$

Formülde Φ içsel sürtünme açısını ifade etmektedir.

Sonsuz eğim tahmini \Rightarrow uç etkisi yok, paralel sızma varsayımı (uniform doyumluk seviyesi)

$S_t = C + \sigma \tan \Phi_i$, formüldeki Φ_i içsel sürtünme açısıdır.



Çoğunlukla, birçok faktör (kök ağları, kapiler tansiyon, ayrışma) etkin kohezyonu etkiler, gözenek basıncı ise normal stresi düşürür:

$$st = c' + (\sigma - p) \tan \phi; C' \text{ toplam efektif kohezyonu ifade eder.}$$

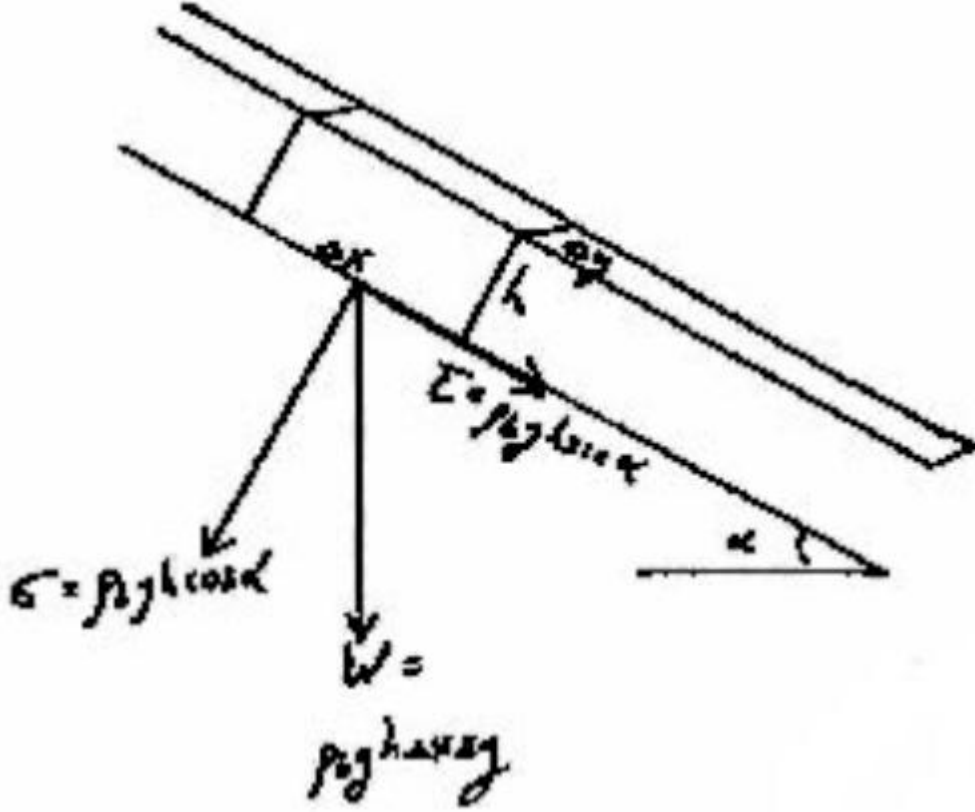
Yenilme anında $Fs = \frac{s_t}{iticikuvet} \equiv 1$ dır (tanımsal)

$$\tau_b = \rho_b gh \sin \alpha, \rho_b \text{ ıslak toprak toplam yoğunluğudur.}$$

Islak toplam yoğunluk : $\rho_b = v_s \rho_s + m(1 - v_s) \rho_w$, formülde V_s katıların kütle fraksiyonudur ve m doyum toprak derinliğinin fraksiyonudur.

$$\sigma = \rho_b gh \cos \alpha \text{ (toprağın yaş ağırlığına bağlı normal stres bileşeni)}$$

ÇİZİM

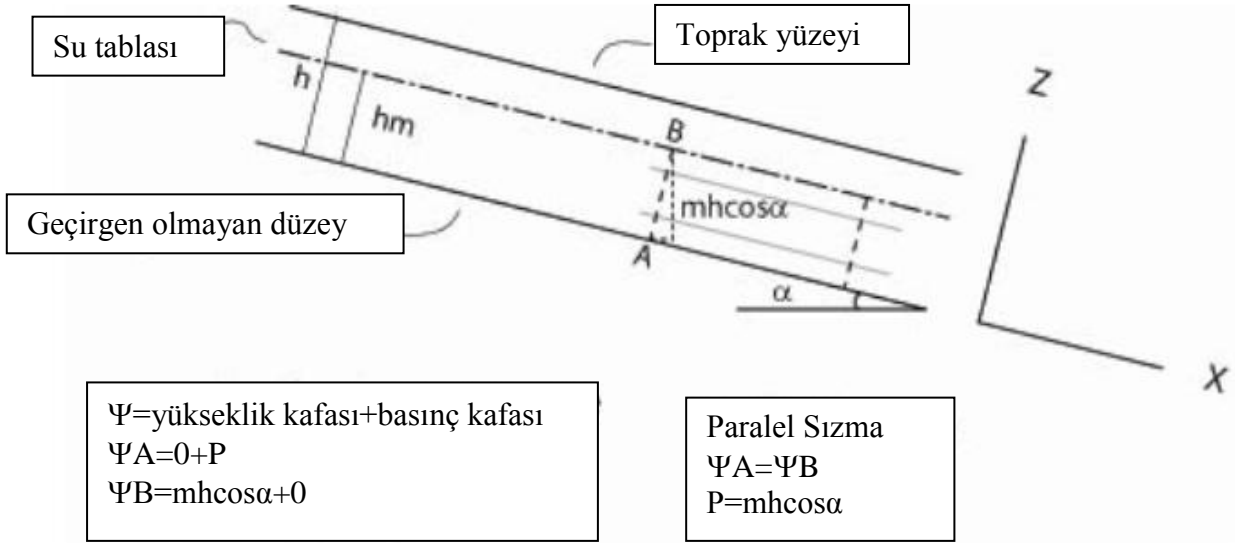


Böylece, güvenlik eşitliğinin faktörünü yazabiliriz.

$$F_s = \frac{c' + (\sigma - p) \tan \phi}{\tau_b} = \frac{c' + (\rho_b gh \cos \alpha - p) \tan \phi}{\rho_b gh \sin \alpha}$$

Paralel sızma için gözenek basıncı (“sonsuz yamaç eğimi tahmininin” parçası)

$$p = \rho_w g m h \cos \alpha$$



Güvenlik eşitliği faktörünün yerine koyduğumuzda:

$$F_s = \frac{c' + (\rho_b - m\rho_w)gh \cos \alpha \tan \phi}{\rho_b gh \sin \alpha}$$

$$F_s \leq 1 \text{ failure}$$

Kohezyonsuz Zeminler için Yaklaşımlar

$c' = 0$ eğer kohezyonsuz ise

$$F_s = \frac{(\rho_b - m\rho_w) \tan \phi}{\rho_b \tan \alpha}$$

Maksimum denge eğiminde $F_s = 1$ 'dir. Bunu formüle koyup, maksimum denge eğimini hesapladığımızda;

$$\tan \alpha_{\max} = \frac{(\rho_b - m\rho_w) \tan \phi}{\rho_b}$$

Eğer kuru ise, kohezyonsuz, $m = 0$ 'dır ve böylece

$$\tan \alpha_{\max} = \tan \phi, \quad \alpha_{\max} = \phi$$

Şev açısı = içsel sürtünme açısı

Sızma Kuvvetleri

Yukarıdaki türev boşluk basıncı kavramına göre yapılmıştır. Bunun yerine sunulan alternatif bir formül, sızma kuvvetlerinin etkisine bağlı olarak gelişen kuvvetlerle ilgilidir. Her iki formül de birbirine eşittir – sadece matematiksel olarak farklı gösterim şekline sahiptir. Gözenek basıncının kullanımı matematiği basitleştirmek için ortaya konmuştur. Bununla birlikte, bazı problemler için sızma kuvvetleri yerine başka kelimelerin kullanımı, gelişmiş öngörülerini doğurmuştur.

Iverson ve Major (1986)'nın WRR makalesini takip ediyoruz.

Sızma kuvvetleri hem x hem de y yönlerinde gelişebilir ve bu nedenle hem normal hem de makaslama kuvvetlerine katkıda bulunur. Genellikle:

Normal kuvvet:

$$(\rho_b - m\rho_w)gh \cos \alpha + \text{seepageforce}(z)$$

İtici kuvvet: $(\rho_b - m\rho_w)gh \sin \alpha + \text{seepageforce}(x)$

Formüldeki $\rho_b - m\rho_w$ ıslak zeminin kaldırma ağırlığıdır. (boşluk basıncını değil, sadece kaldırma kuvvetini dikkate aldığımızı not ediniz).

Paralel sızma durumunda, Z'deki sızma kuvveti = 0'dır; bu nedenle normal kuvvet kaldırma ağırlığının normal bileşenini ifade eder.

X yönünde:

$$f_{\text{seepage}} = \frac{q}{K} \rho_w g$$

Formülde q birim hacim için su akışını, dolayısıyla birim hacimdeki sızıntı kuvvetini, ifade eder.

Darcy kuralı : $q = K \sin \alpha$, K hidrolik akışkanlıktır.

$$f_{\text{sızma}} = \rho_w \sin \alpha \text{ (birim hacim için)}$$

Böylece, sızıntı kuvvetlerine bağlı gelişen x kuvveti = $\rho_w g m h \sin \alpha$ dir. (Bu zeminin birim alanı için etkiyen kuvvettir, mh sızıntı kuvvetinin etkidiği toprak kütlelerinin yüksekliğidir. Makaslama kuvvetindeki ifadeye bakarsak:

$$(\rho_b - m\rho_w)gh \sin \alpha + \text{seepageforce}(x)$$

Sızdırma kuvvetlerinin etkisinin kaldırma kuvvetinin etkisini ortadan kaldırdığını görürüz. Bu nedenle, itici/etkiyen kuvvet zeminin tüm ıslak ağırlığına bağlı olarak gelişen makaslama kuvvetidir.

Sızma kuvvetini güvenlik eşitliği faktörü ile yer değiştirirsek,

$$F_s = \frac{c' + (\rho_b - m\rho_w)gh \cos \alpha \tan \phi}{\rho_b gh \sin \alpha}$$

formülünü elde ederiz.

Aynı bağıntıdan –sadece daha fazla sezgisel ve daha genel formül elde edilir.

Yarı-sulu Şev Stabilitesi

Deniz tabanında bir talus konisi olduğunu düşünün. Kohezyonsuz malzeme, tamamen suya doymun (m=1). Şev açısı içsel sürtünme açısından daha az mıdır, eşit midir yoksa daha mı büyüktür ve neden?

Kuru ve kohezyonsuz zemin için bağıntıyı hatırlarsak;

$$\tan \alpha_{\max} = \tan \phi, \quad \alpha_{\max} = \phi$$

Boşluk basıncı kavramına göre bu problemi tanımlarsak, bu karmaşık olabilir ve birçok öğrenci şev açısının suyun akıcı etkilerine bağlı olarak azaldığını sanacaktır. Bununla beraber, eğer problemi sızıntı kuvvetleri kavramına göre değerlendirirseniz, suyun hareket etmemesinden dolayı sızıntı kuvvetlerinin olmadığını düşünebilirsiniz. Bu nedenle yukarıda anlatılanlardan yola çıkarak, hem normal hem de makaslama kuvvetlerinin kohezyonsuz zemin için malzemenin kaldırma ağırlığına bağlı olarak geliştiğini görürsünüz. Bu su altında da, kuru zeminde de Mars'ta da Ay'da da aynıdır.

Paralel olmayan sızıntılar

Iverson ve Major (1986), WRR, paralel olmayan sızıntıların tamamen doymun koşullar altında (m=1) kohezyonsuz malzemenin şev stabilitesi üzerine etkisini, sızıntı kuvvetleri kavramına göre genelleştirerek ele almışlardır. Bu problem boşluk basıncı kavramına göre ele alındığında göreceli olarak karmaşık olmakla beraber süzülme kuvvetleri kavramına göre daha rahat ele alınabilir ve aşağıdaki gibi yazılır:

$$\tan \phi = \frac{[(\gamma_t/\gamma_w)-1]\sin \theta + i \sin \lambda}{[(\gamma_t/\gamma_w)-1]\cos \theta - i \cos \lambda}$$

Formüldeki $\gamma_t = \rho_b g$, $\gamma_w = \rho_w g$, ρ_b ıslak toplam yoğunluğu, i süzülme kuvveti vektörünün büyüklüğünü ve λ ise yönelimini göstermektedir.

Paralel sızıntılar için $\lambda = 90^0$ ve $i = \sin \theta$. ÇİZİM

Bu, paralel sızınmalar için önerilen çözümün doğruluğunu açıkça ortaya koymaktadır (aynen yukarıda $m=1$ ve $c'=0$ durumu için elde ettiğimiz gibi)

Yukarıdaki bağıntının analizinden, Iverson ve Major (1986) genel olarak hangi sızıntı yönlerinin şev stabilitesini bozduğunu ortaya koyabilirler.

Sizin tahmini aralığınız nedir? Düşey, yatay, normal, paralel sızıntı yönleri ve neden?

Normal : stabiliteyi artırır.

Düşey: kesin bir etkisi yoktur. Bir miktar normal kuvveti artırır ve aynı oranda makaslama kuvvetini artırır.

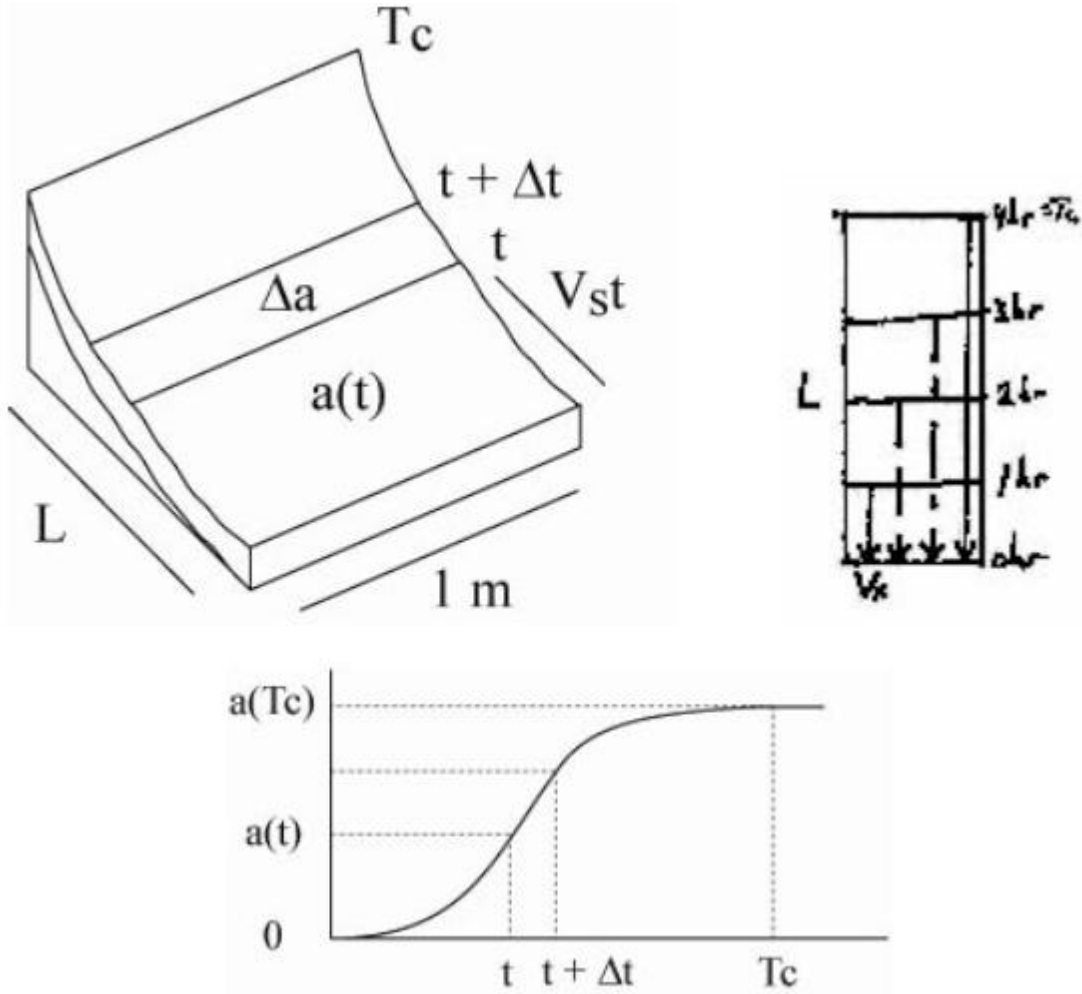
Paralel: Stabiliteyi azaltır. Normal kuvvetler üzerine etkisi yoktur, ancak makaslama kuvvetinde kaldırmayı etkisiz hale getirir.

Yatay : Stabiliteye olumsuz yönde en fazla etki eder. Normal kuvveti düşürür, makaslama kuvvetini artırır. Şevin tabanında beklenen durum. –bu doğadaki yukarıda anlatılan “Sonsuz Şev” Stabilite analizlerinde varsayılan koşullardan elde edilen ana sapmalardan birisidir.

Akış Konverjanı ve Toprak/Zemin Doygunluk Seviyeleri

Iida (1984), Japon Jeomorfoloji Birliği doğadaki “Sonsuz Şev” Stabilite analizlerinde varsayılan koşullardan elde edilen doğadaki diğer ana sapmaları ele almıştır: Yüzey topografyası ile tanımlanan Akış konverjanı.

ŞEKİL: Iida, 1984 tanımlama çizimi, problem formülü



Doygun olmayan akışın/depolamanın önemsiz olduğunu varsayın ve kütle korunumu (su) bağıntısını yazınız.

$$q(t) = I a(t)$$

$$q(t) = V_{darcy} h_{sat}(t) = V_{darcy} \Delta z(t) \cos \alpha$$

$$\Delta z(t) \cos \alpha = \frac{q(t)}{V_{darcy}}$$

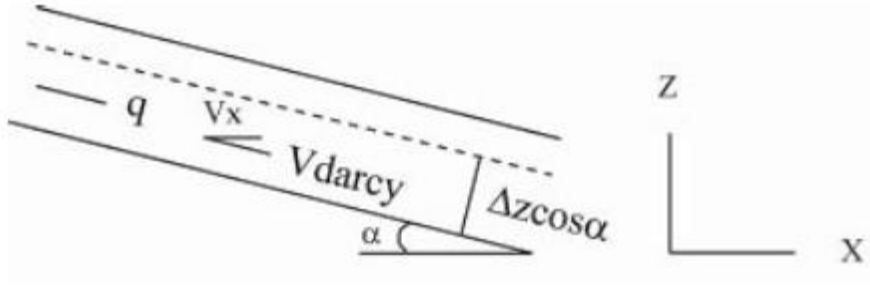
$G(t)$ boşalma/birim genişlik, I yağmur düşüm yoğunluğu, $\alpha(t)$ etki alanı, $\Delta z(t)$ doyumluk seviyesi ve V_{darcy} Darcian hızı/velositesidir.

Doğrusal bir şev için, sabit şev (α)

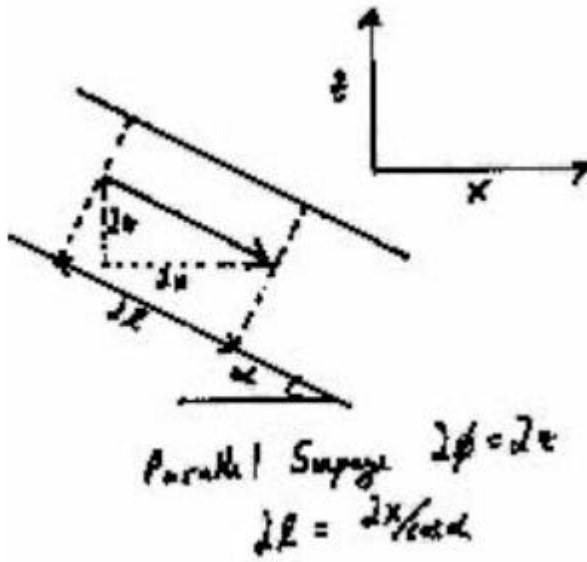
$$a(t) = V_x t ; \quad V_x = \frac{V_{darcy}}{\lambda_p} \cos \alpha$$

$$V_{darcy} = K \sin \alpha$$

V_x interstitial velositenin yatay bileşenidir (gözenek düzeltmesi Darcy velositesinin gerçek geçici akış velositesine bağlıdır, Cosine terimi akış velositesinin yatay bileşenini vermektedir), λ_p porozite ve K hidrolik iletkenliği ifade eder.



Neden $V_{darcy} = K \sin \alpha$ 'dır? Darcy kuralı



$$V_{darcy} \equiv K \frac{\partial \psi}{\partial l} \quad (\text{Darcy Kuralı})$$

Paralel sızıntı:

$$\partial \psi = \partial z \quad ; \quad \partial l = \frac{\partial x}{\cos \alpha}$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial l} = \frac{\partial z}{\partial x} \cos \alpha = \cos \alpha \tan \alpha = \sin \alpha$$

$$V_{darcy} = K \sin \alpha$$

$$V_x = \frac{K \sin \alpha \cos \alpha}{\lambda_p}$$

Yukarıdaki bağıntıları kütle korunumu ile birleştirirsek:

$$q(t) = I a(t); \Delta z(t) \cos \alpha = \frac{q(t)}{V_{darcy}}$$

$$q(t) = \frac{IK \sin \alpha \cos \alpha}{\lambda_p} t$$

$$\Delta z(t) = \frac{I t}{\lambda_p}$$

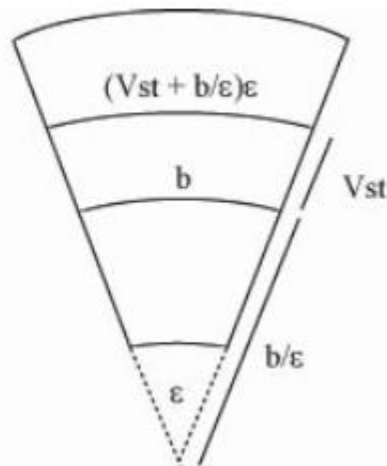
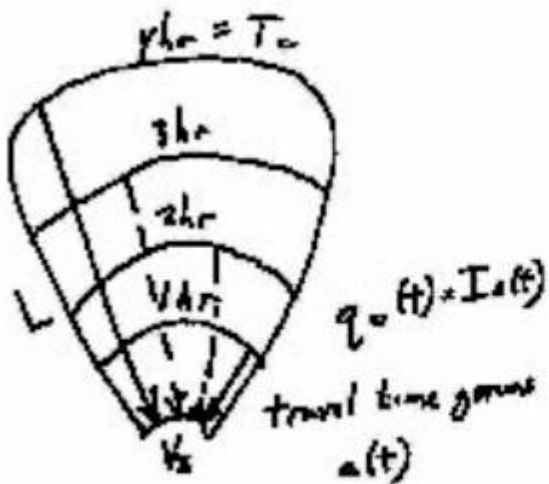
yazılır.

Denge durumu çözümü ($\Delta z_{max}; t = T_c$)

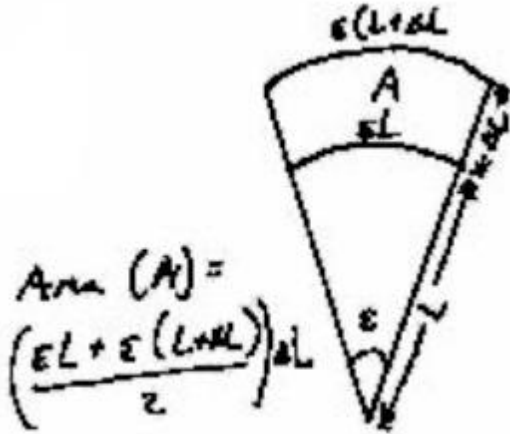
$$T_c = \frac{L}{V_x} = \frac{L \lambda_p}{K \sin \alpha \cos \alpha}$$

$$\Delta z_{max} = \Delta z(T_c) = \frac{I L}{K \sin \alpha \cos \alpha}$$

Konverjan topografya ($\epsilon > 0$) için



Yay genişliği = $L\epsilon$; $\Delta\sigma$ = ortalama yay genişliği $\times \Delta L$ eşitliğini hatırlarsak



$$\Delta a = \frac{1}{2} [\epsilon L + \epsilon(L + \Delta L)] \Delta L$$

$$L = \frac{b}{\epsilon} ; \Delta L = V_x t$$

$$a(t) = \left[\frac{(V_x t + b/\epsilon) \epsilon + b}{2} \right] V_x t$$

$$q(t) = \frac{IK \sin \alpha \cos \alpha}{\lambda_p} \left[\frac{\epsilon V_x t}{2} + b \right] t$$

$$\Delta z(t) = \frac{It}{\lambda_p b} \left[\frac{\epsilon V_x t}{2} + b \right]$$

Konverjan olmayan topografya (düzlemsel yamaç) için önerilen çözümlerin karşılaştırılması ile, doyumluk derinliğinin konverjan etkisine bağlı olarak $\frac{1}{b} \left(\frac{\epsilon V_x t}{2} + b \right)$ faktörü ile geliştirildiğini görüyoruz.

Denge durumu çözümü ($\Delta z_{\max}; t = T_c$)

$$T_c = \frac{L}{V_x} = \frac{L\lambda_p}{K \sin \alpha \cos \alpha}$$

$$\Delta z_{\max} = \Delta z(T_c) = \frac{IT_c}{\lambda_p b} \left[\frac{\varepsilon L}{2} + b \right] = \frac{IL}{bK \sin \alpha \cos \alpha} \left[\frac{\varepsilon L}{2} + b \right]$$

bağıntısını hatırlayınız.

Denge durumunda, doygunluk artış faktörü tümüyle morfolojik değişkenlere göre yazılabilir:

$$\frac{1}{b} \left(\frac{\varepsilon L}{2} + b \right)$$

Not: Eğer sağanak kısa ise ($T_s < T_c$), Δz_{\max} dan daha az büyüklükte ise sağanağın bitiminden sonra en üst sınıra (peak) Δz ulaşır.

ŞEKİL: Iida, 1984: $\Delta z(t)$ vs ε

Sonsuz Şev Stabilite Analizinin sınırlamaları

- 3D etkilerini dikkate almaz
- Kuvvet-alan rotasyonlarını dikkate almaz (Anderson ve Sitar 1995)
- Temel kayalarındaki sığ çatlaklar boyunca gelişen akışı dikkate almaz
- Sismik yükleme hem etkiyen kuvvet hem de boşluk basıncına etki eder