

INS308

Zemin Mekaniği II

Yanal Zemin Basınçları

Prof. Dr. İnan KESKİN

inankeskin@karabuk.edu.tr, inankeskin@gmail.com

www.inankeskin.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:	İleri Zemin Mekaniği Problem Çözümleri
Hafta 15:	Bu ders için Ara Sınav, 7. ve 15. haftalar arasındaki bir tarihte yapılır. Sınavın yapıldığı tarihten itibaren konular bir hafta ileri alınır.

YANAL TOPRAK BASINCI

Yanal zemin basınçları; zeminler tarafından düşey veya düşeye yakın yapılar üzerine uygulanan basınçlardır. Hem normal hem de kesme gerilmeleri içerebilirler.

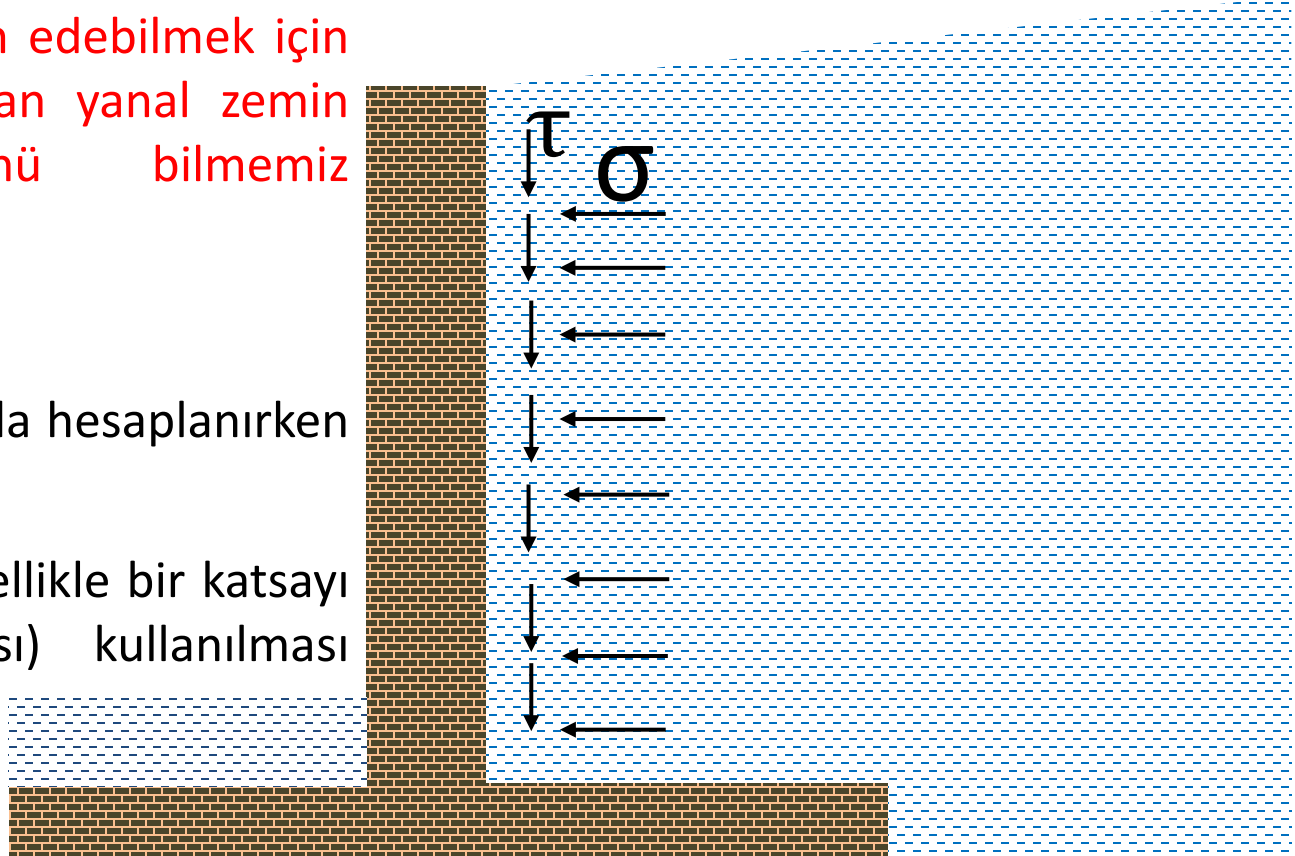
Zemini farklı iki düzeyde tutan ve yanal zemin basınçlarının etkisinde olan **dayanma yapılarının** hesaplanması (boyutlandırılması–projelendirilmesi) için, onlara gelen yanal toprak basınçlarının bilinmesi gerekir.

Dayanma yapılarını dizayn edebilmek için bu yapılara etkiyecek olan yanal zemin basıncının büyüklüğünü bilmemiz gerekmektedir.

Zemin Mekaniğinde;

Düşey gerilmeler kolaylıkla hesaplanırken ($\sigma_v = \gamma \cdot z$)

Yatay gerilmeler için genellikle bir katsayı (toprak basıncı katsayısı) kullanılması tercih edilmektedir.

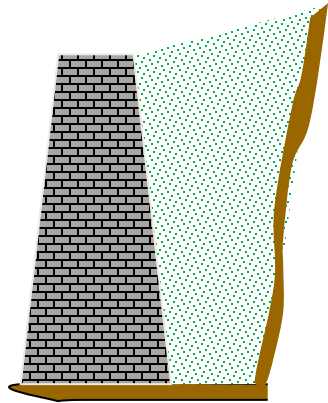


YANAL TOPRAK BASINCI

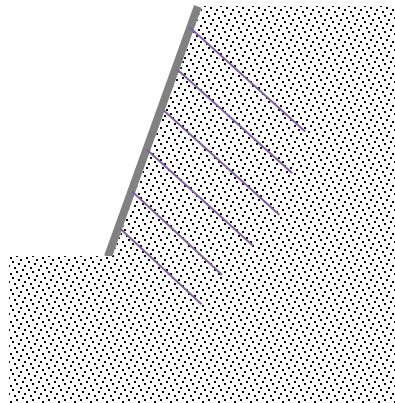


YANAL TOPRAK BASINCI

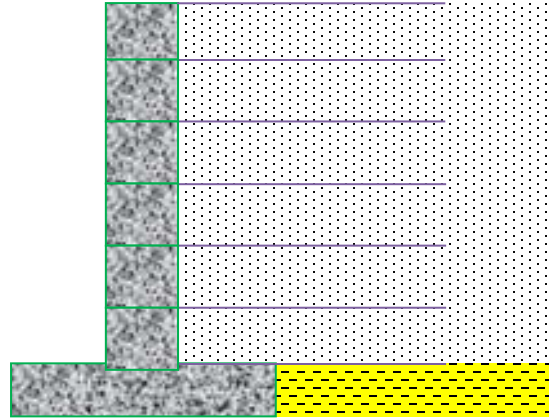
Yapılara gelen bu yanal toprak basınçlarını karşılamak için çeşitli istinat yapıları inşa edilmesi zorunlu olmaktadır.



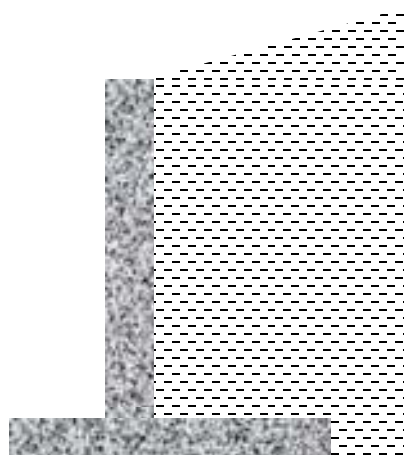
Ağırlık tipi istinat duvarı



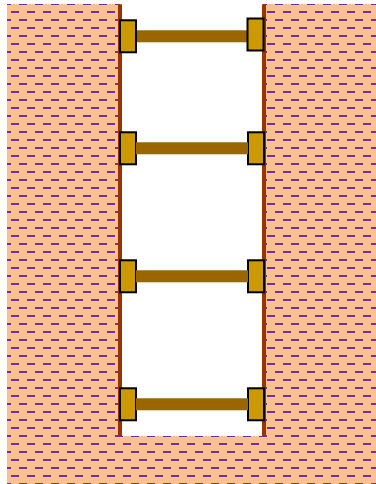
Zemin Çivisi



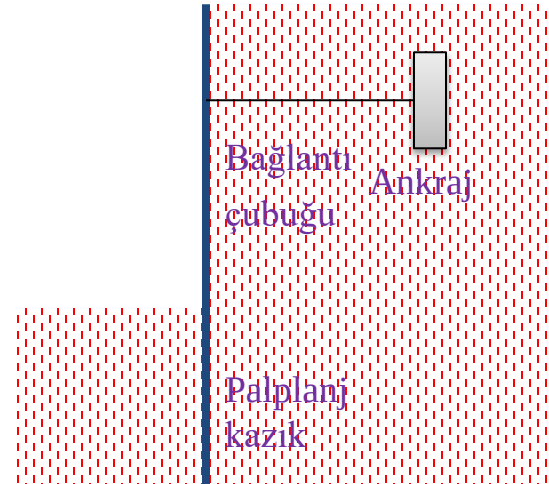
Toprakarme



Konsol istinat duvarı

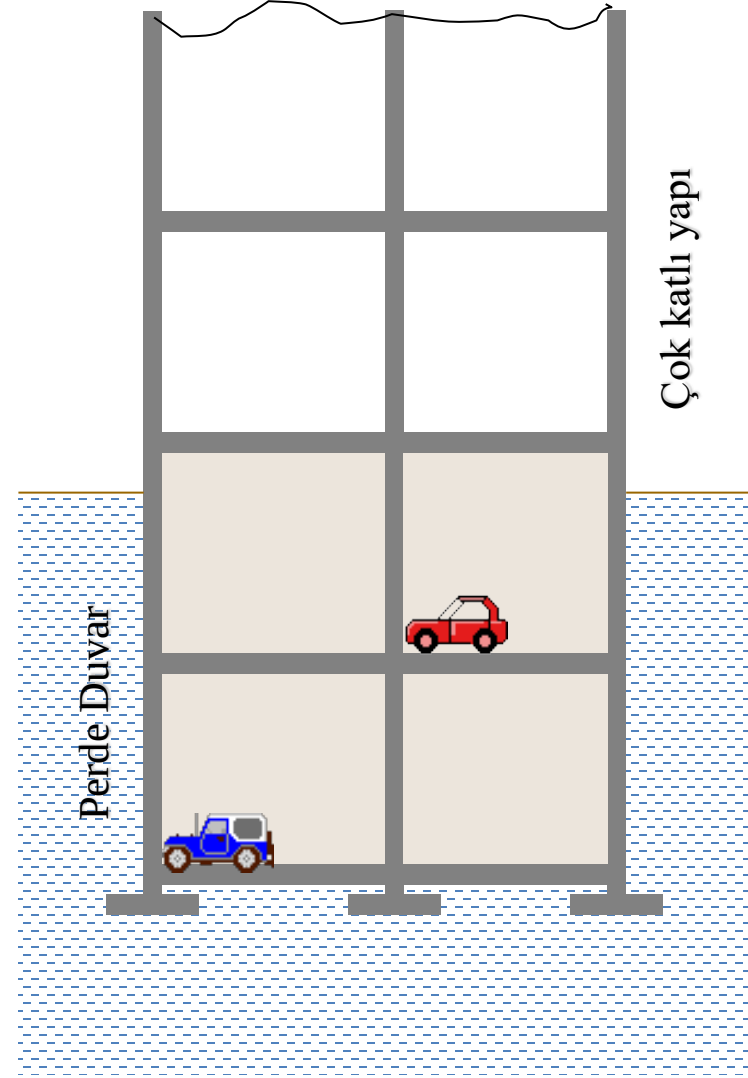
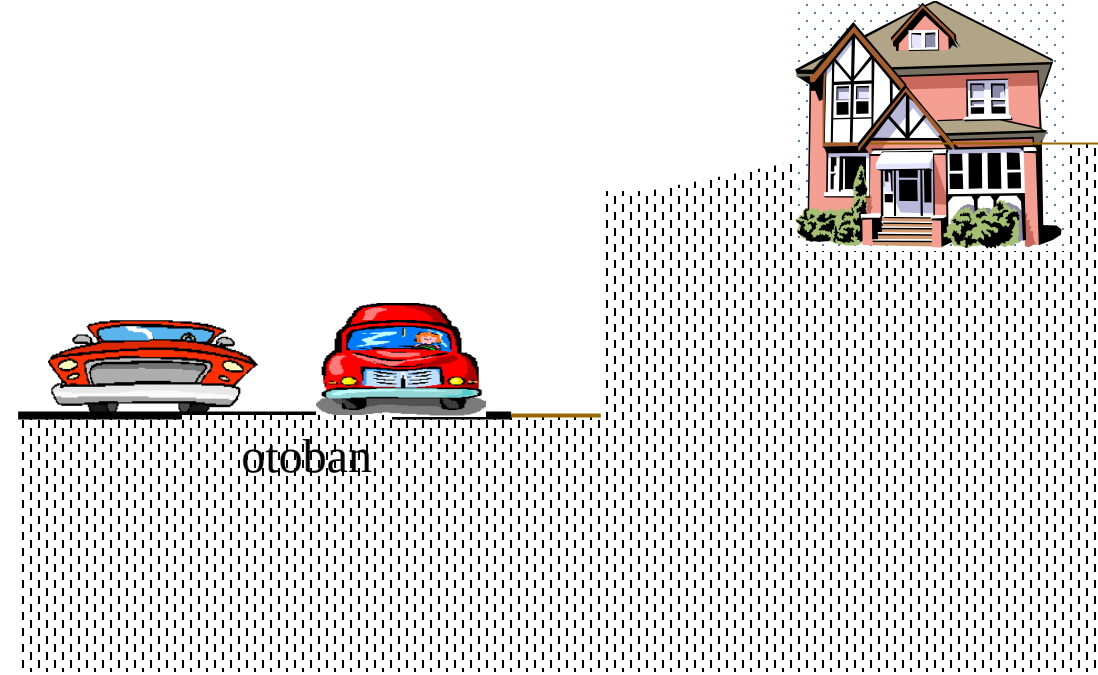
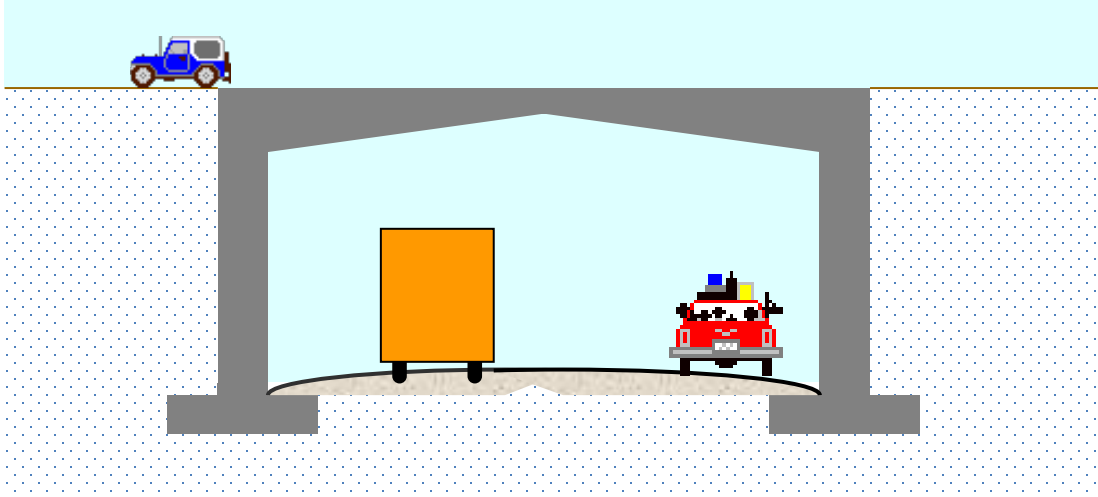


Destekli kazı



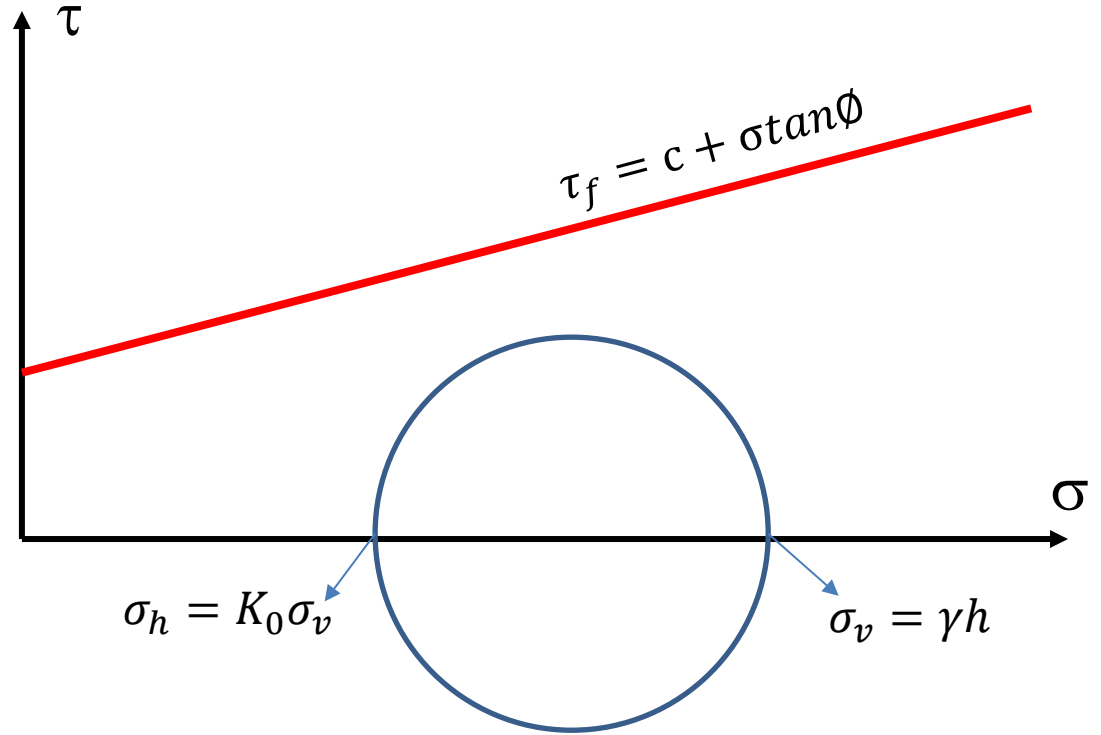
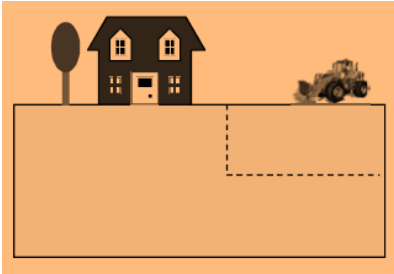
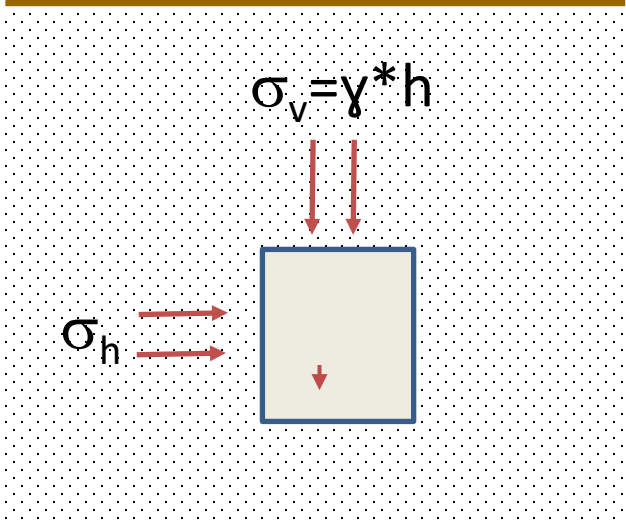
Ankrajlı palplanj kazık

YANAL TOPRAK BASINCI



YANAL TOPRAK BASINCI

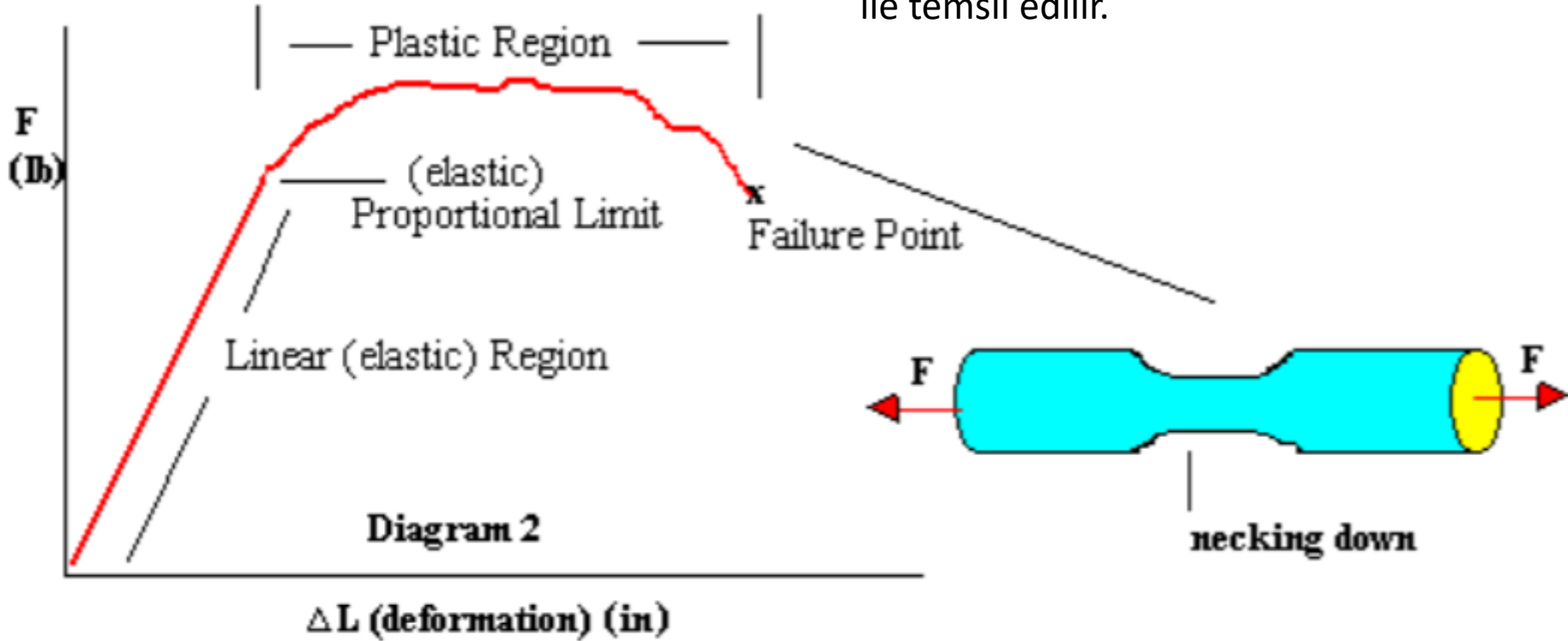
Suyun kayma direncinin sıfır olması nedeniyle hidrostatik durumda suda yatay ve düşey basınçlar eşittir. Zemin gibi taneli malzemeler kayma direncine sahiptir ve bu nedenle ortamdaki yatay ve düşey gerilmeler eşit değildir.



Bir ortam elastik denge durumunda ise gerilmedeki küçük bir artış küçük miktarda deformasyona neden olur. Gerilme artmaya devam ettirilerek zemin kayma mukavemetine yaklaştırıldığında gerilme arttırılmamasına rağmen deformasyonların arttığı görülür. Artık zemin akma haline geçmiştir ve bu duruma **plastik denge** denir.

HATIRLATMA

Malzemenin direnci uygulanan gerilmeden düşükse yenilme meydana gelir ve PLASTİK DENGЕ olarak isimlendirilir. Bu durum gerilme dairelerinin kırılma zarfına teğet olmaları ile temsil edilir.



Zeminin her noktasında kırılma veya yenilme olduğu duruma plastik denge denir.

SÜKÜNETTEKİ TOPRAK BASINÇLARI

Sükünetteki durum yatay deplasmanın olmadığı durumu yansıtır. Sükünetteki durumda zemin elastik bölgededir. Homojen bir zemin tabakası içerisindeki bir zemin elemanı üzerinde etkiyen, yatay efektif gerilmenin düşey efektif gerilmeye oranı, σ_h'/σ_v' , sükunetteki toprak basınç katsayısı, K_0 , olarak ifade edilir. K_0 durumunda bulunan bir zemin kütesinde yanal yönde deformasyonlar gözlenmez.

$$\text{Toprak Basıncı Katsayısı} = K = K_0 = \frac{\sigma_h}{\sigma_v}$$

K_0' in Tahmin Edilmesi

Normal konsolide killer ve kohezyonsuz zeminler için,

$$K_0 = 1 - \sin \phi'$$

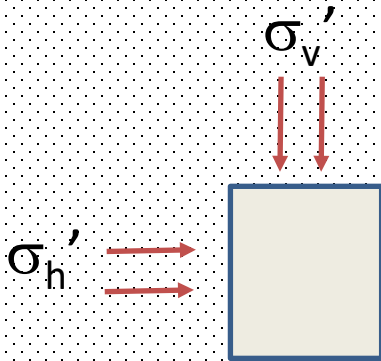
Aşırı konsolide killer için,

$$K_{0,\text{aşırı konsolide}} = (1 - \sin \phi') \text{OCR}^{0.5}$$

Elastisite teorisinden yararlanılarak

$$K_0 = \frac{\nu}{1 - \nu}$$

Poisson oranı



SÜKÜNETTEKİ TOPRAK BASINÇLARI

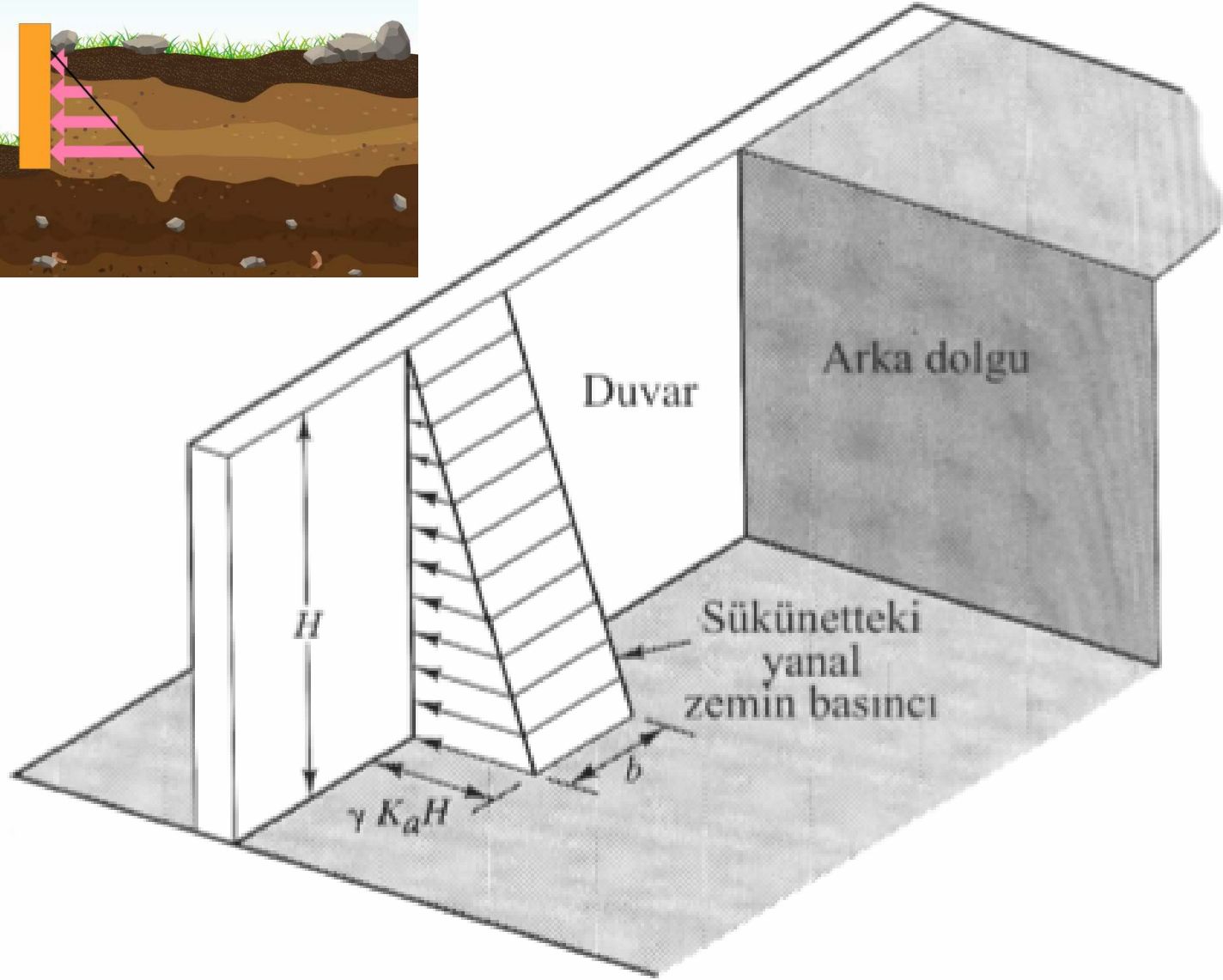
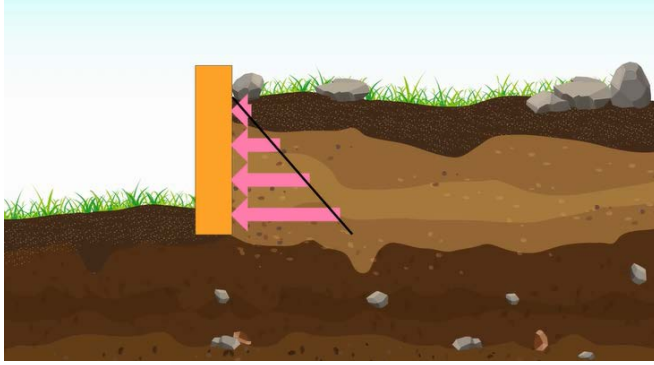
Tipik K_0 değerleri;

$$K_0 = \frac{\nu}{1 - \nu}$$

Poisson oranı

Zemin Cinsi		ν için Tipik Değerler	K_0
Kil	Doygun	0.40-0.50	0.67-1.00
	Doygun Olmayan	0.10-0.30	0.11-0.42
Kumlu Kil		0.20-0.30	0.25-0.42
Silt		0.30-0.35	0.42-0.54
Kum	Sıkı	0.20-0.40	0.25-0.67
	İri ($e=0.4-0.7$)	0.15	0.18
	İnce ($e=0.4-0.7$)	0.25	0.33
Kaya		0.10-0.40	0.11-0.67

SÜKÜNETTEKİ TOPRAK BASINÇLARI



Sükünet koşullarında istinat duvarı üzerine etkiyen basınç

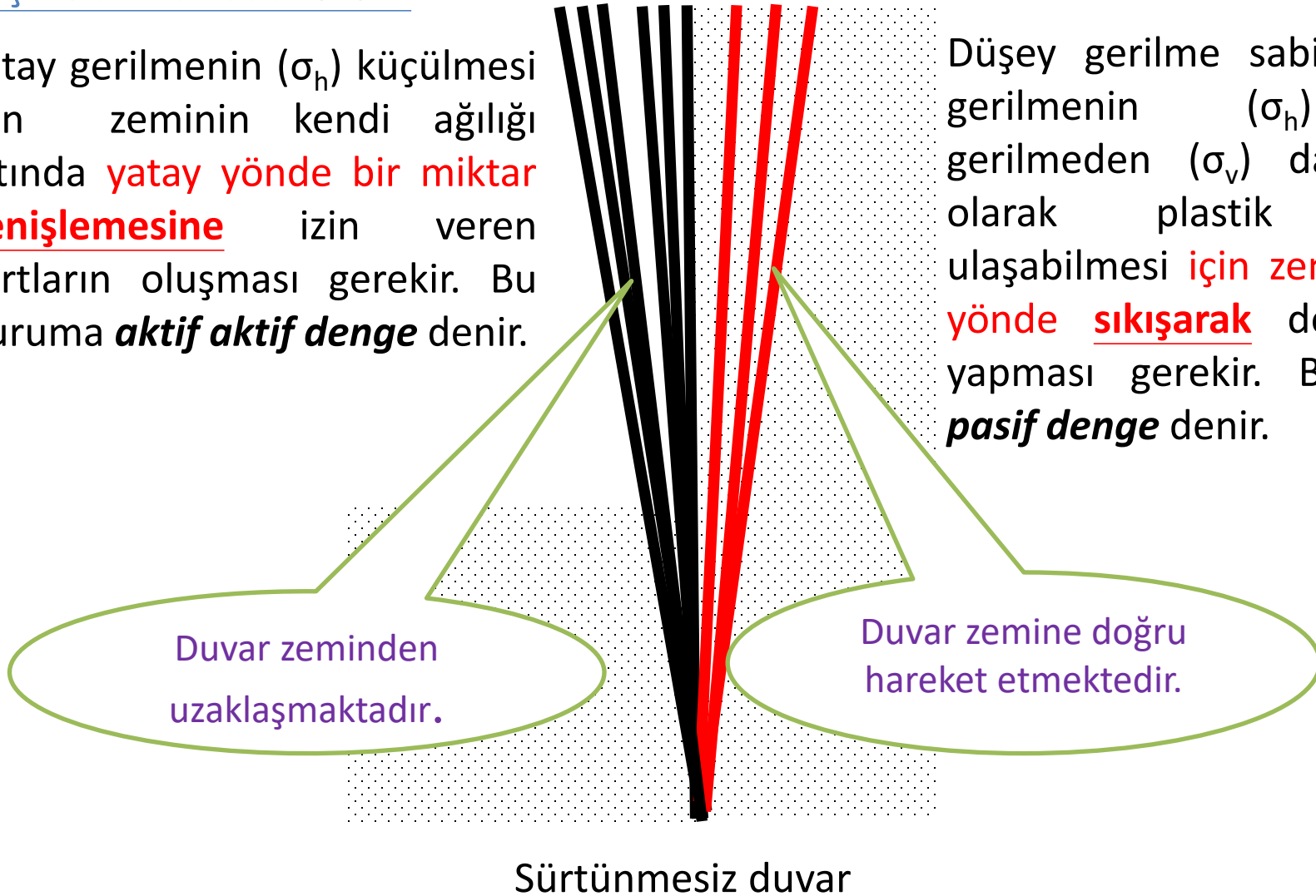
ZEMİNLERDE AKTİF/PLASTİK DENGİ

Zemin duvar dışına hareket ettiğinde, σ_v sabit kalır; ve σ_h göçme anına kadar **azalır**.

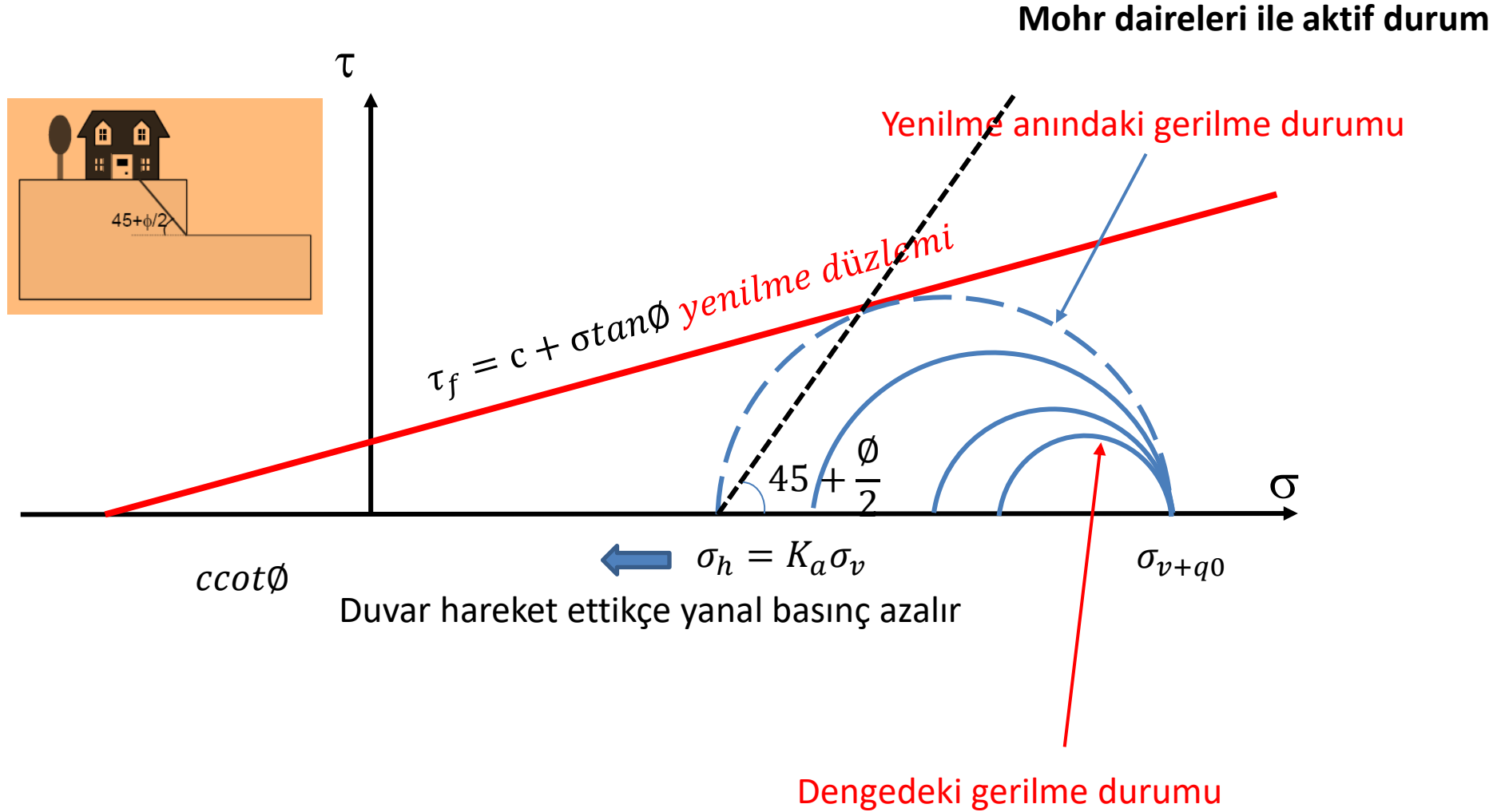
Yatay gerilmenin (σ_h) küçülmesi için zeminin kendi ağırlığı altında **yatay yönde bir miktar genişlemesine** izin veren şartların oluşması gerekir. Bu duruma **aktif aktif denge** denir.

Duvar zemine hareket ettiğinde, σ_v sabit kalır; ve σ_h göçme anına kadar **artar**.

Düşey gerilme sabitken yatay gerilmenin (σ_h) düşey gerilmeden (σ_v) daha büyük olarak plastik dengeye ulaşabilmesi için zeminin yatay yönde **sıkışarak** deformasyon yapması gerekir. Bu duruma **pasif denge** denir.



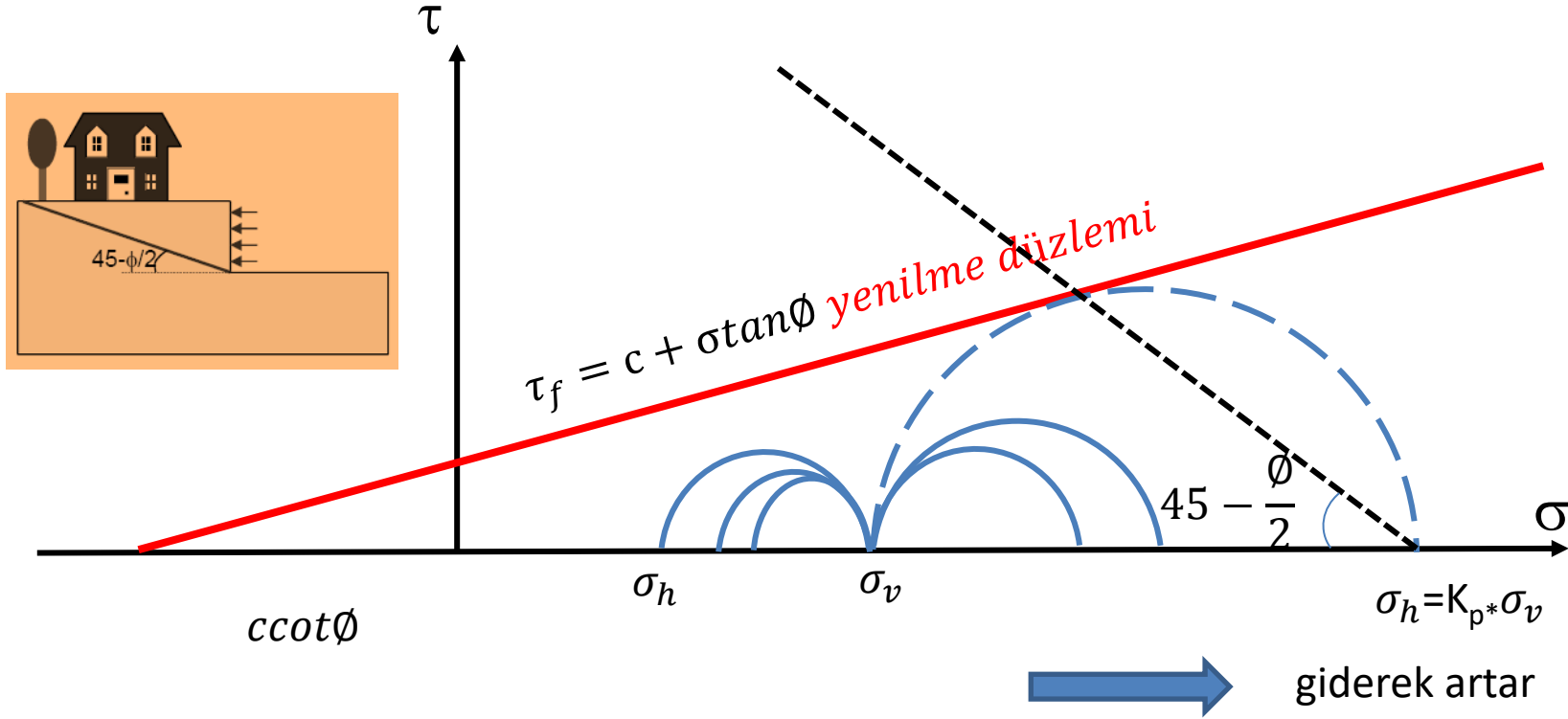
ZEMİNLERDE AKTİF/PLASTİK DENGİ



Şekilde de görüleceği üzere **duvar zeminden uzağa doğru** hareket ettikçe yanal zemin basıncı yenilene kadar azalır.

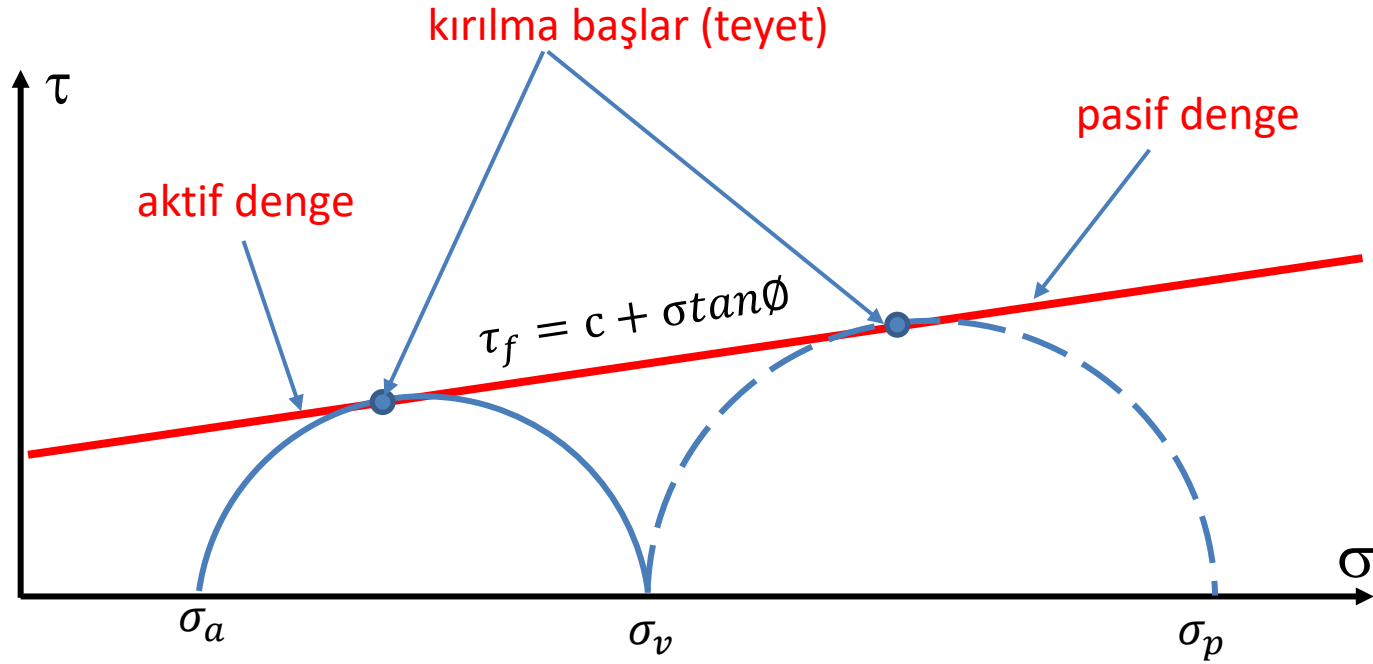
ZEMİNLERDE PASİF/PLASTİK DENGİ

Mohr daireleri ile pasif durum



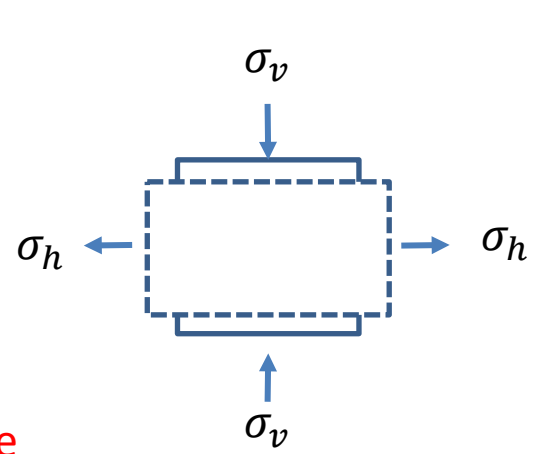
Şekilde de görüleceği üzere **duvar zemin kütleline doğru** hareket ettikçe yanal zemin basıncı artmaya başlar.

ZEMİNLERDE AKTİF-PASİF/PLASTİK DENG

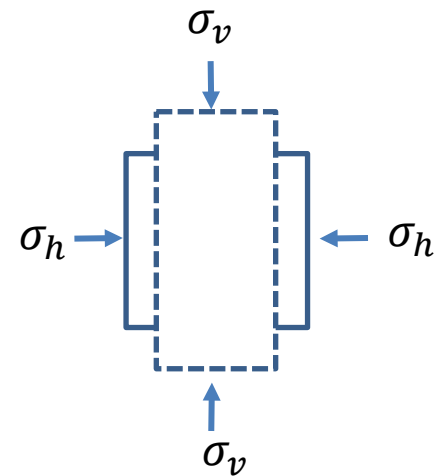


Aktif durumda; zemin duvara doğru hareket eder!! yanal genişleme olur.

Pasif durumda; duvar zemine doğru hareket eder!! yanal sıkışma oluşur.



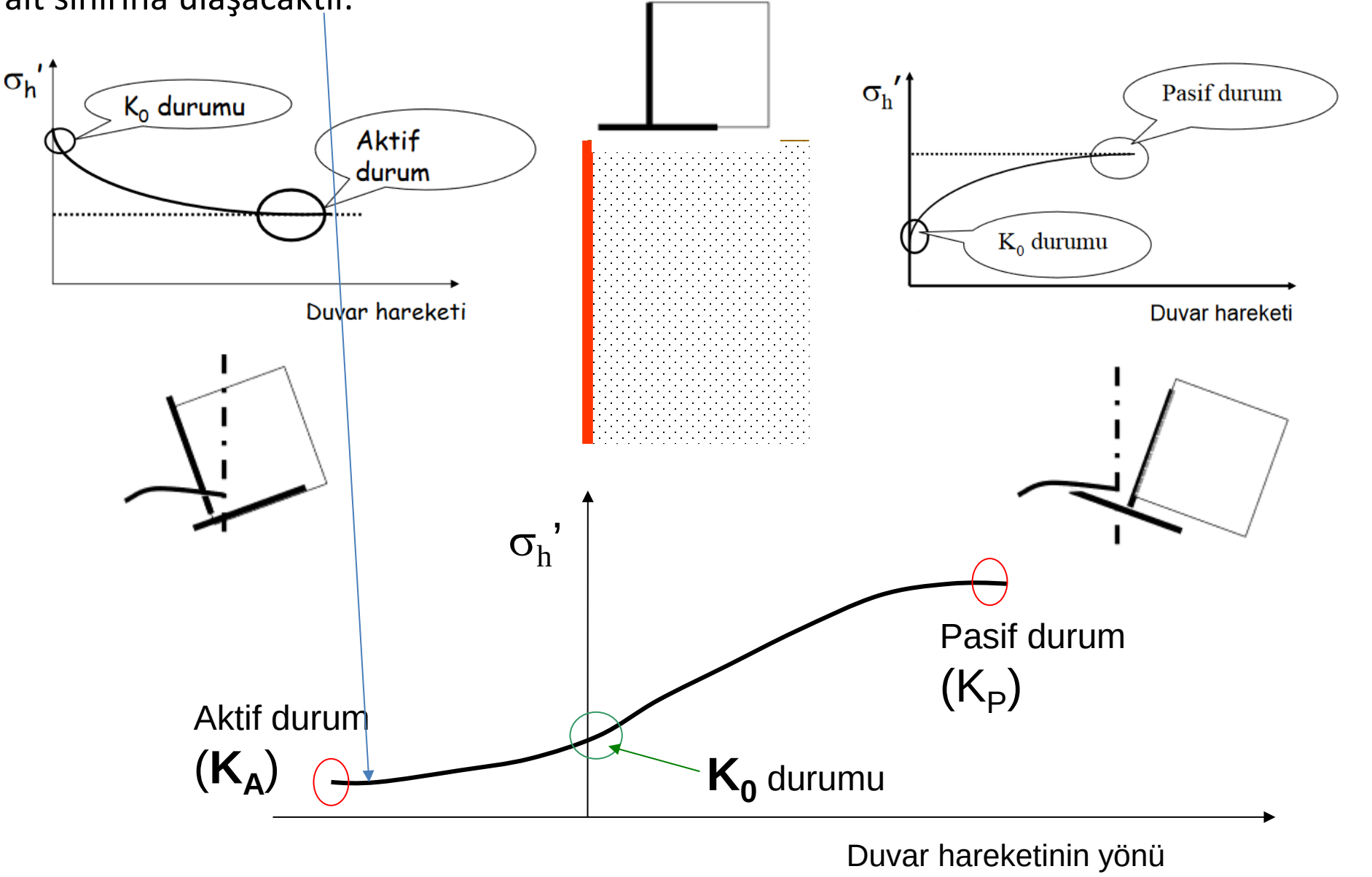
yanal genişleme



yanal sıkışma

ZEMİNLERDE AKTİF-PASİF/PLASTİK DENG

Zemin aktif koşula ulaştığı zaman, zemindeki yatay gerilme (*duvara etkiyen basınç*) en alt sınırına ulaşacaktır.



ZEMİNLERDE AKTİF/PLASTİK DENGİ

Aktif koşula erişmek Tablo'da gösterildiği gibi zemin tipine ve duvar yüksekliğine bağlıdır. Örneğin, **gevşek kohezyonsuz** bir zeminde, duvar dolgudan dışa doğru sadece **0,004H'ye kadar bir mesafe** (3 metre yüksekliğinde bir duvar için yaklaşık 12 mm) hareket ederse aktif duruma ulaşılır.

Zemin türü	Aktif koşula erişmek için gerekli yatay hareket
Sıkı, kohezyonsuz	0,001H
Gevşek, kohezyonsuz	0,004H
Sert, kohezyonlu	0,010H
Yumuşak, kohezyonlu	0,020H

H = duvar yüksekliği

Kohezyonsuz zeminler kumları ve çakılları içerir

Kohezyonlu zeminler kil içeriği yüksek zeminlerdir.

ZEMİNLERDE PASİF/PLASTİK DENGİ

Pasif koşula ulaşmak için aktif koşulda olandan daha fazla hareket meydana gelmelidir. Çeşitli zeminler için gerekli tipik hareketler Tablo'da verilmiştir

Zemin türü	Pasif koşula erişmek için gerekli yatay hareket
Sıkı, kohezyonsuz	$0,020H$
Gevşek, kohezyonsuz	$0,060H$
Sert, kohezyonlu	$0,020H$
Yumuşak, kohezyonlu	$0,040H$

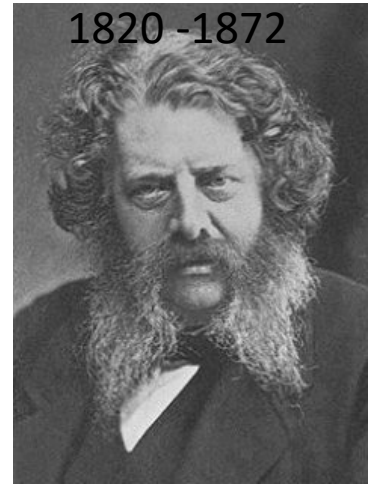
H = duvar yüksekliği

Kohezyonsuz zeminler kumları ve çakılları içerir

Kohezyonlu zeminler kil içeriği yüksek zeminlerdir.

W.J. MACQUORN RANKİNE TOPRAK BASINCI TEORİSİ

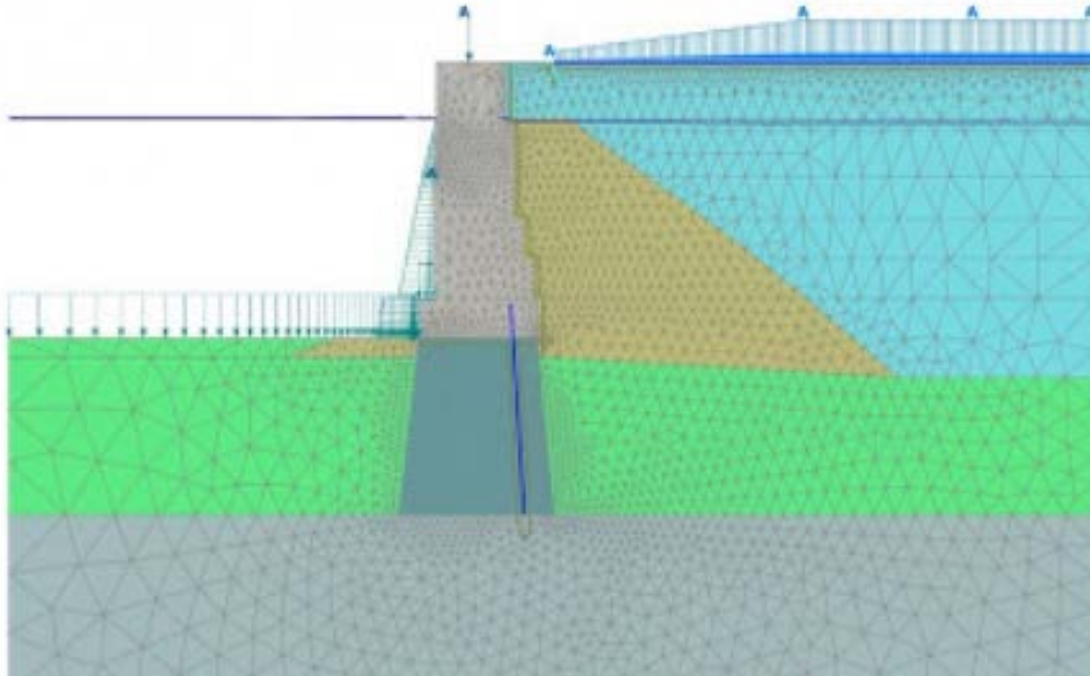
1820 -1872



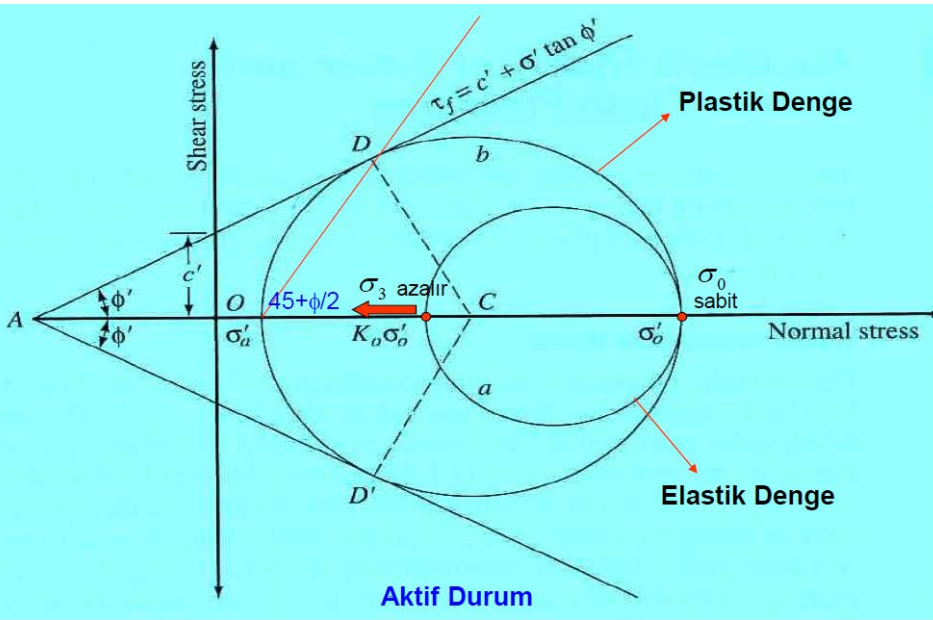
Rankine teorisi aşağıdaki varsayımlara dayanır.

1. Duvar arkasındaki zemin homojen ve izotropdur.
2. Kayma direnci ϕ ile ifade edilir.
3. Duvar arkasında zemin üçgen ve rijit kama şeklinde kırılır.
4. Duvarla zemin arasında sürtünme yoktur ve duvar rijittir.
5. Kırılma iki boyutlu bir problemdir.

Oysa, zemin homojen olabilse bile izotrop değildir. Eğik sırtlı beton duvarın dolgusu kum ile yapıldığı zaman duvar ile zemin arasında önemli düzeyde sürtünme açısı belirir.



RANKİNE AKTİF TOPRAK BASINCI TEORİSİ

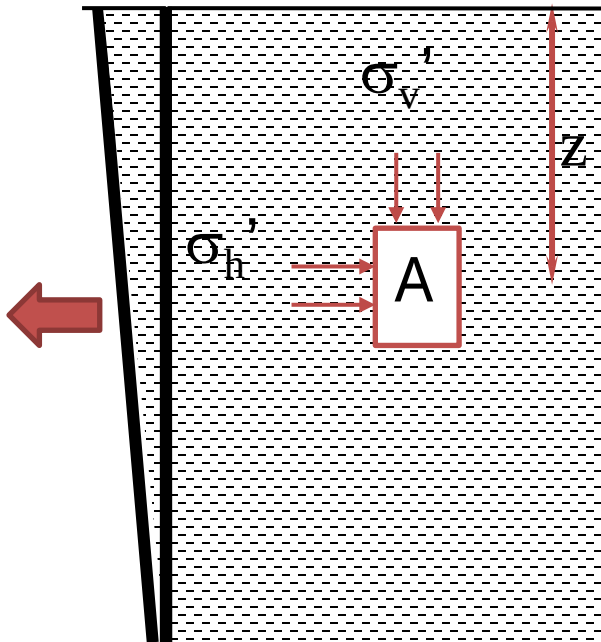


$$\sigma_1 = \sigma_3 N_\phi + 2c\sqrt{N_\phi}$$

$$\sigma_v \quad \sigma_h = \sigma_a$$

$$N_\phi = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

$$\frac{1}{N_\phi} = \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) = K_a$$



$$\sigma_a = \frac{\sigma_v - 2c\sqrt{N_\phi}}{N_\phi} = \sigma_a = \frac{\sigma_v}{N_\phi} - \frac{2c}{\sqrt{N_\phi}}$$

$$\sigma_a = \sigma_v \tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) - 2c \tan\left(45 - \frac{\phi}{2}\right)$$

$$\sigma_a = \sigma_v K_a - 2c\sqrt{K_a}$$

RANKİNE AKTİF TOPRAK BASINCI TEORİSİ

Duvar zeminden uzaklaşacak yönde hareket eder.

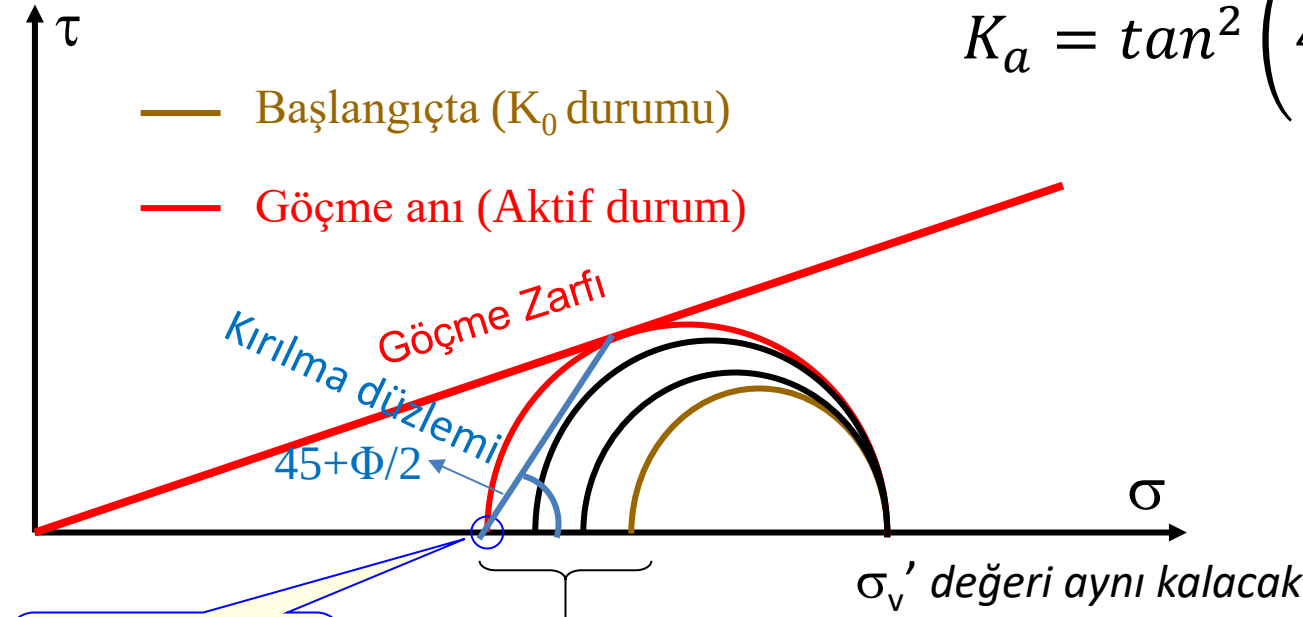
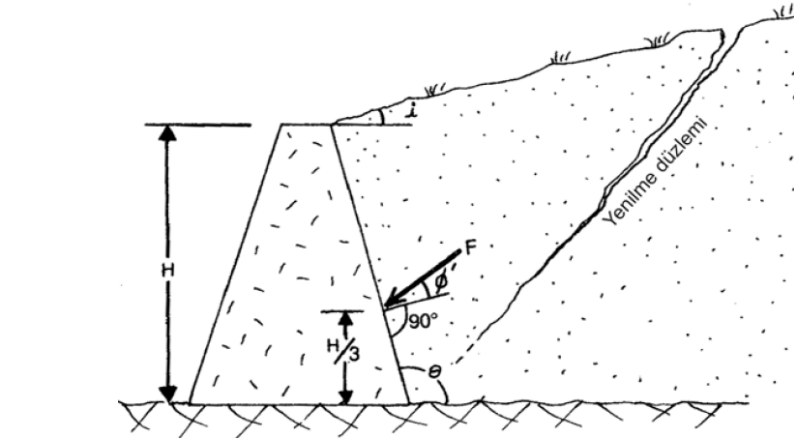
$$\sigma_a = \sigma_v K_a \text{ Kumlu Zeminler}$$

$$\sigma_a = \sigma_v K_a - 2c\sqrt{K_a} \text{ Killi Zeminler}$$

Daha Genel bir ifadeyle;

$$\sigma_a = \gamma z K_a - 2c\sqrt{K_a}$$

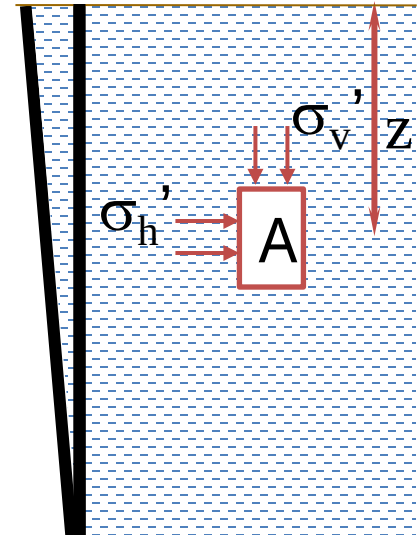
$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$$



aktif toprak
basıncı

azalan σ_h' değeri göçme
meydana gelene kadar azalacaktır

σ_v' değeri aynı kalacak

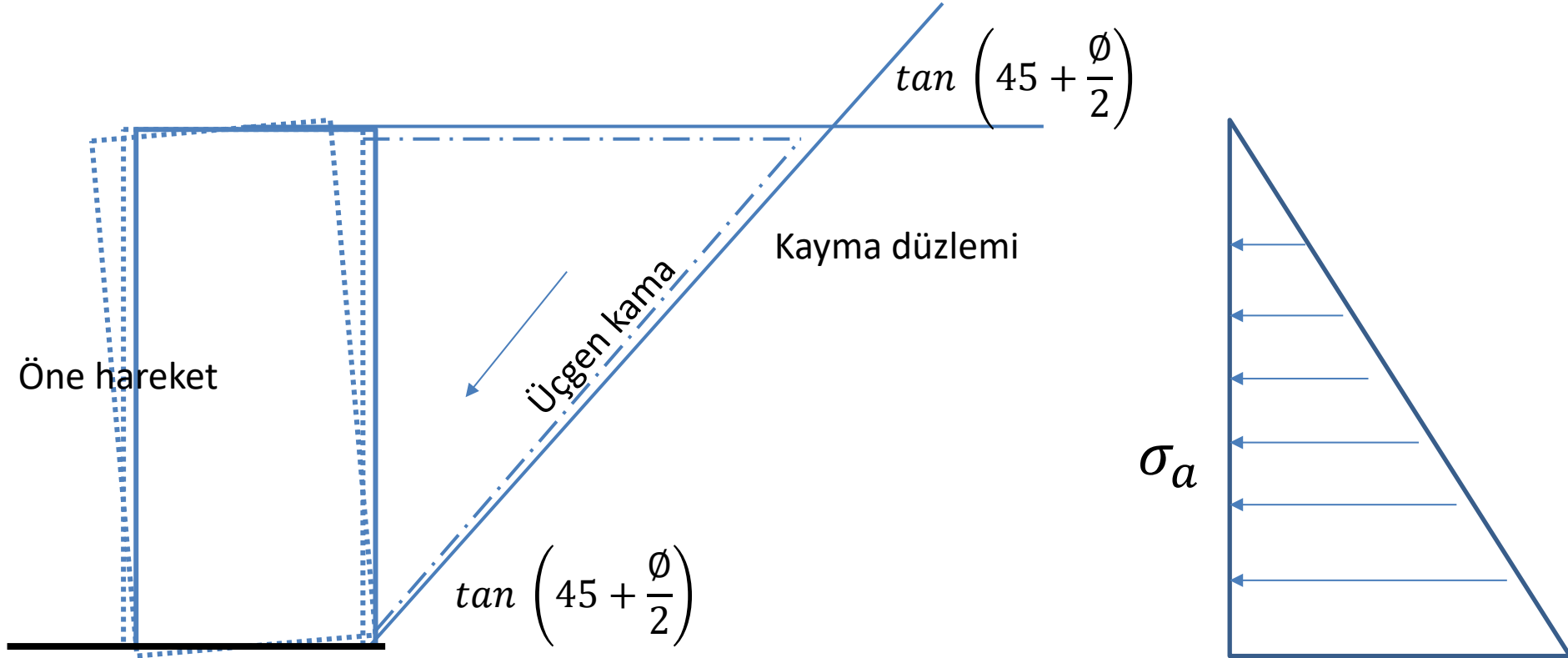


başlangıçta yanal yönde bir hareket yoktur.

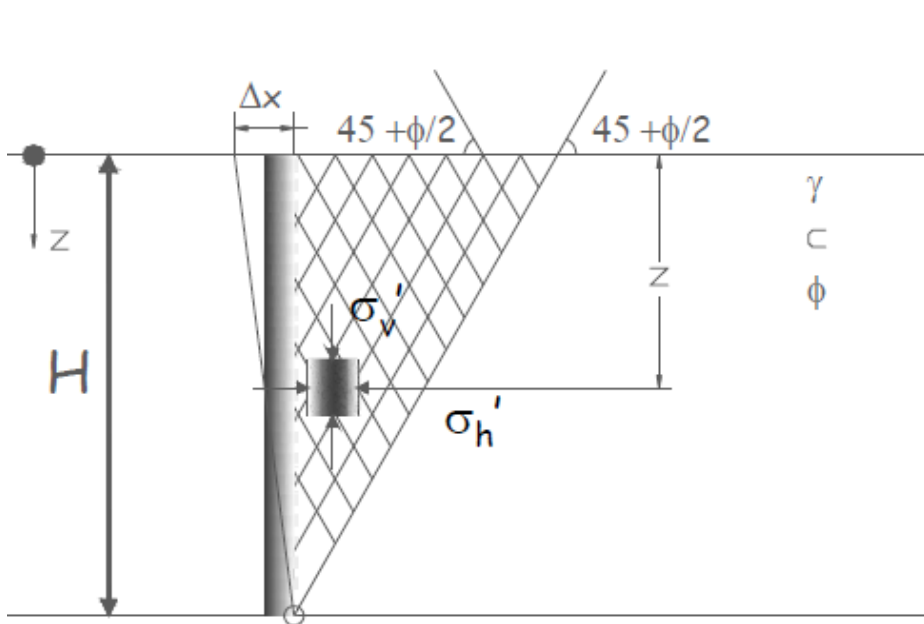
RANKİNE AKTİF TOPRAK BASINCI TEORİSİ

Duvar arkası zeminde aktif durum oluşur bu durumda aktif yanal zemin basınçları düşey yüzölöl duvar arkasına yatay olarak etkir ($\delta=0$).

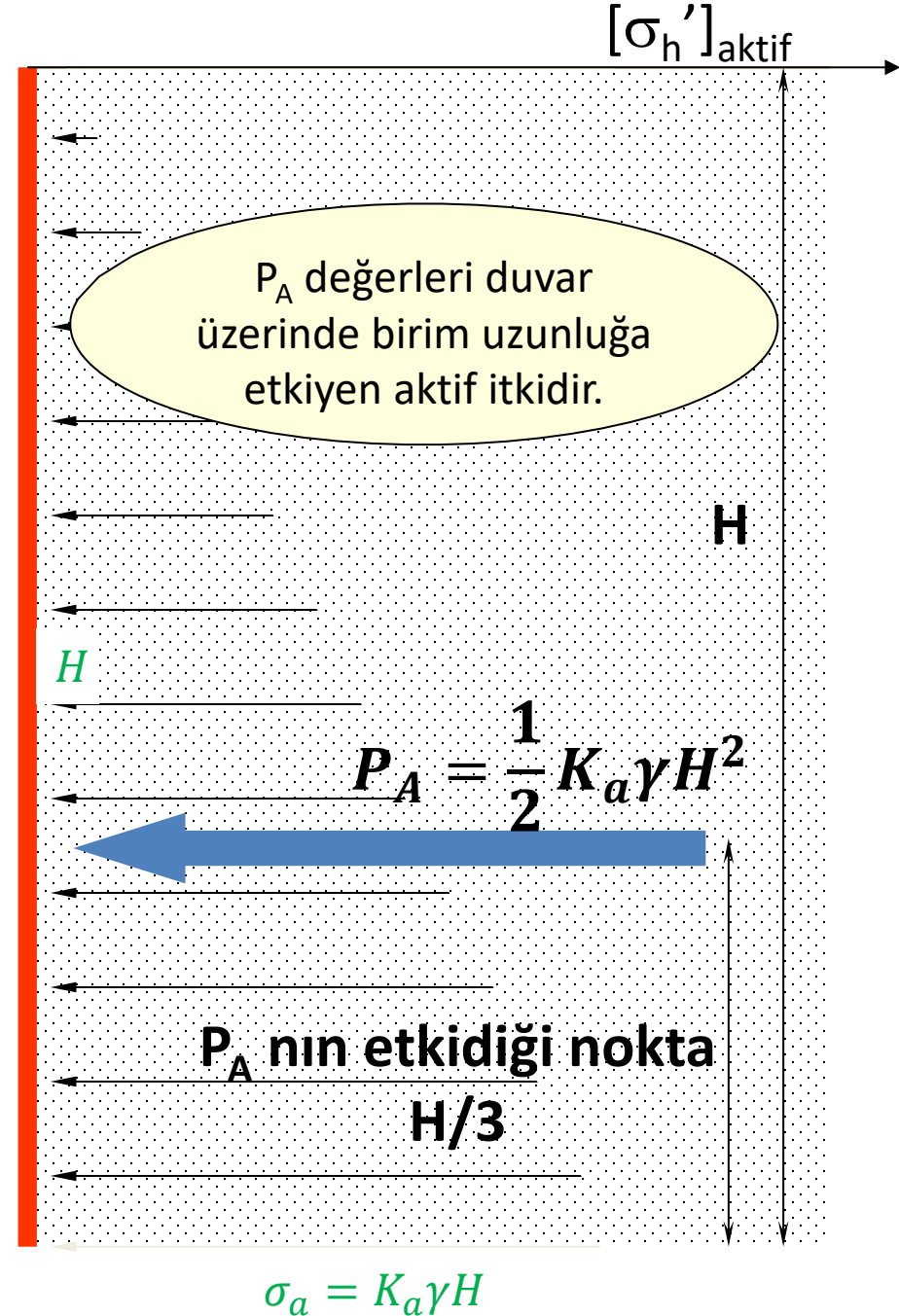
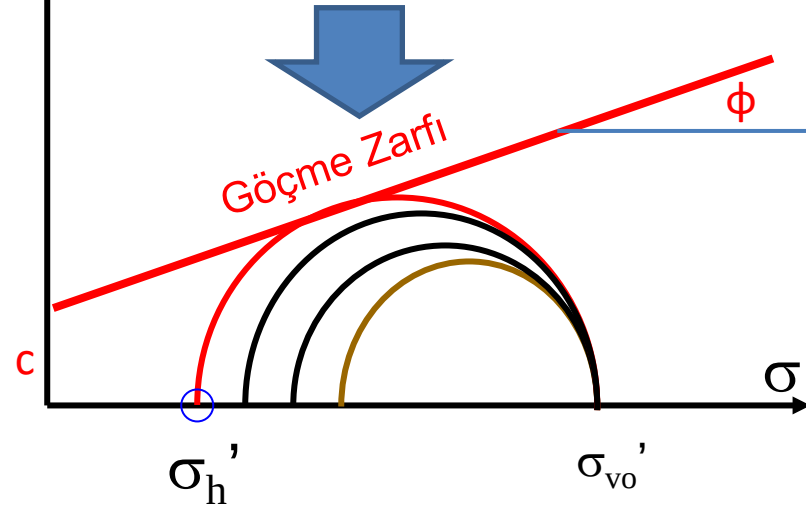
Kırılma açısı (Yenilme Kamasının Açısı)



RANKİNE AKTİF TOPRAK BASINCI DAĞILIMI

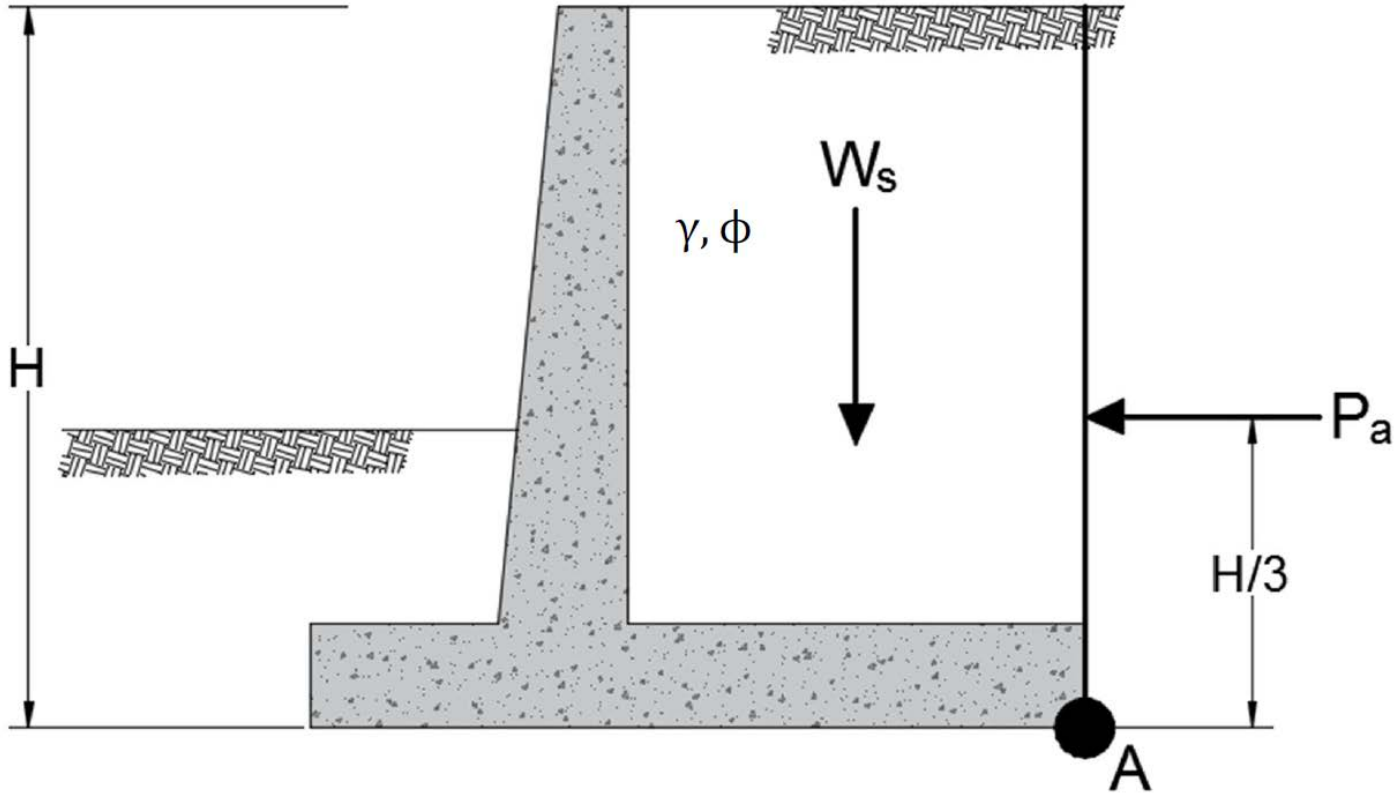


Duvar zeminden uzağa doğru hareket ettikçe yanal zemin basıncı yenilene kadar azalır.



RANKİNE AKTİF TOPRAK BASINCI DAĞILIMI

Duvar Dik Dolgu Yatay

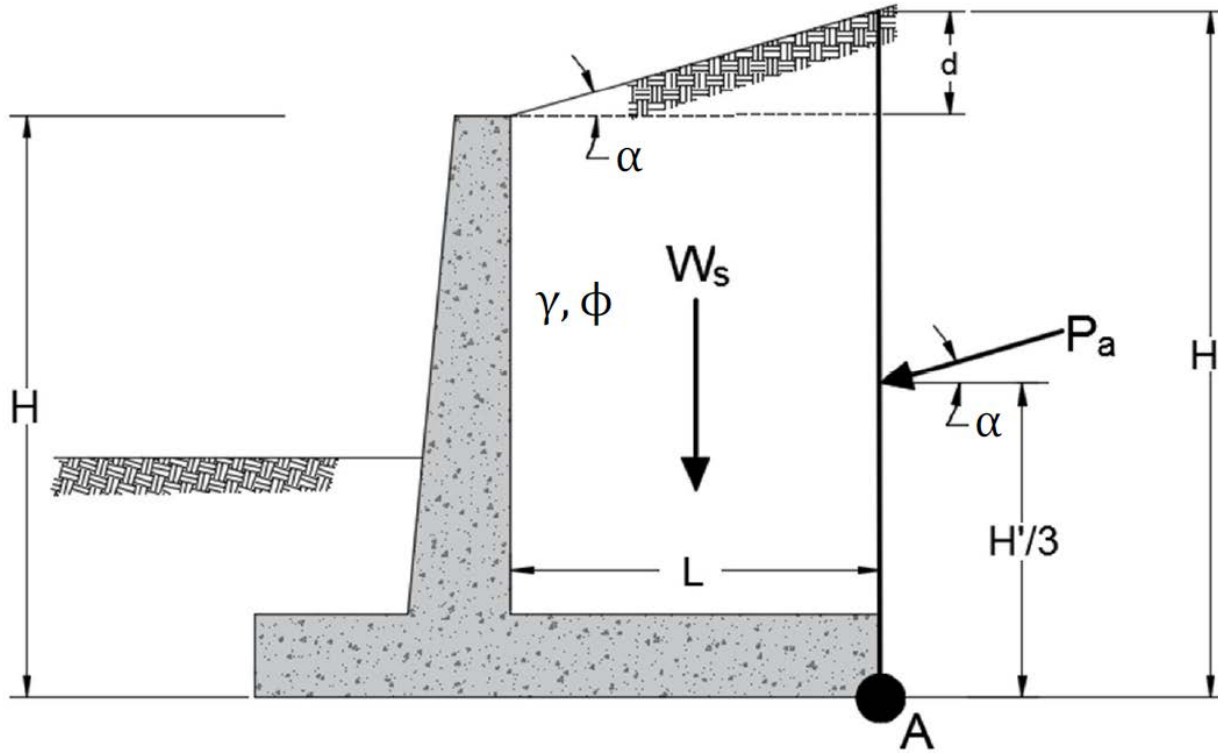


$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right)$$

$$P_A = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2$$

RANKİNE AKTİF TOPRAK BASINCI DAĞILIMI

Duvar Dik Dolgu Yatay ile α Eğimli



$$K_a = \cos\alpha \frac{\cos\alpha - \sqrt{(\cos^2\alpha - \cos^2\phi)}}{\cos\alpha + \sqrt{(\cos^2\alpha - \cos^2\phi)}}$$

$$K_p = \cos\alpha \frac{\cos\alpha + \sqrt{(\cos^2\alpha - \cos^2\phi)}}{\cos\alpha - \sqrt{(\cos^2\alpha - \cos^2\phi)}}$$

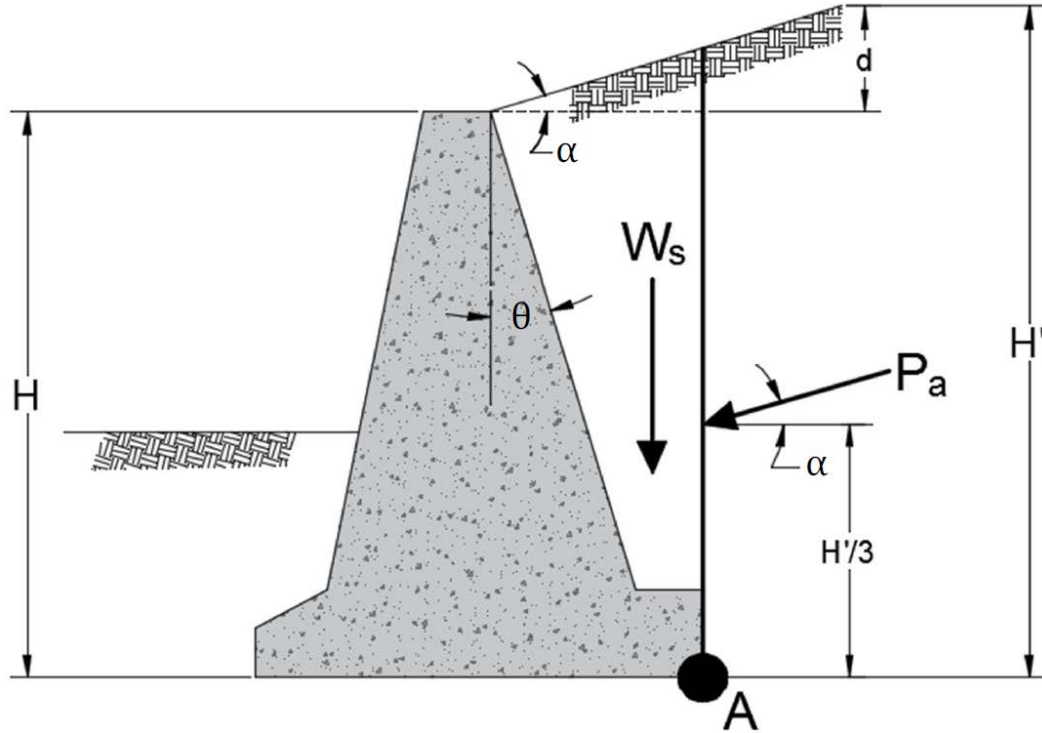
$$P_A = \frac{1}{2} K_a \gamma H'^2$$

$$P_{AH} = P_A * \cos\alpha$$

$$P_{AV} = P_A * \sin\alpha$$

RANKİNE AKTİF TOPRAK BASINCI DAĞILIMI

Duvar θ eğimli Dolgu Yatay ile α Eğimli



$$K_a = \frac{\cos(\alpha - \theta) \sqrt{1 + \sin^2 \phi - 2 \sin \phi \cos \psi_a}}{\cos^2 \theta (\cos \alpha + \sqrt{\sin^2 \phi - \sin^2 \alpha})}$$

$$\psi_a = \sin^{-1} \left(\frac{\sin \alpha}{\sin \phi} \right) - \alpha + 2\theta$$

$$P_A = \frac{1}{2} K_a \gamma H'^2$$

$$P_{AH} = P_A * \cos \alpha$$

$$P_{AV} = P_A * \sin \alpha$$

RANKİNE AKTİF TOPRAK BASINCI DAĞILIMI

Rankine active earth pressure coefficients K_a Table:

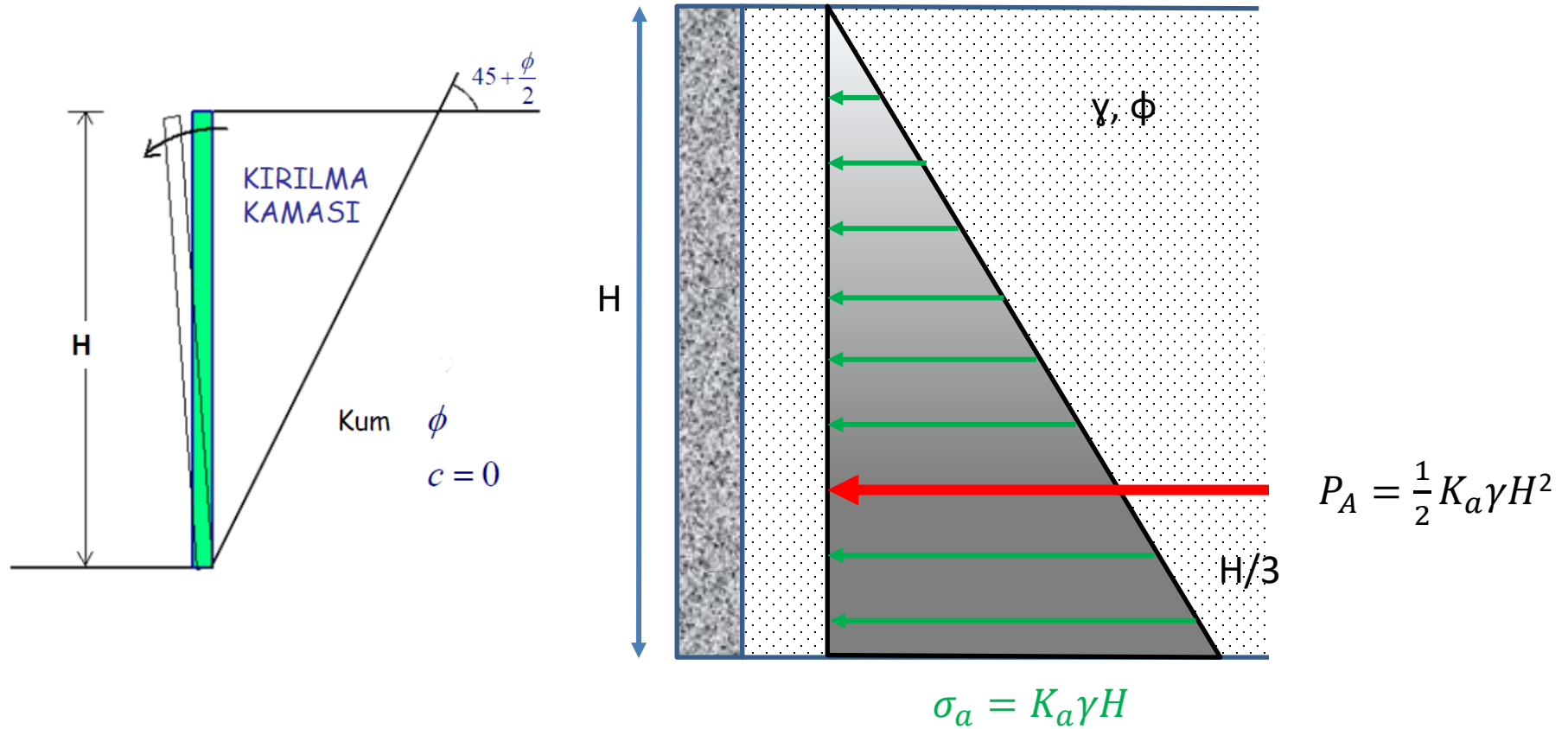
β	$\phi = 26$	28	30	32	34	36	38	40	42
0	0.3905	0.3610	0.3333	0.3073	0.2827	0.2596	0.2379	0.2174	0.1982
5	0.3959	0.3656	0.3372	0.3105	0.2855	0.2620	0.2399	0.2192	0.1997
10	0.4134	0.3802	0.3495	0.3210	0.2944	0.2696	0.2464	0.2247	0.2044
15	0.4480	0.4086	0.3729	0.3405	0.3108	0.2834	0.2581	0.2346	0.2129
20	0.5152	0.4605	0.4142	0.3739	0.3381	0.3060	0.2769	0.2504	0.2262
25	0.6999	0.5727	0.4936	0.4336	0.3847	0.3431	0.3070	0.2750	0.2465
30	—	—	0.8660	0.5741	0.4776	0.4105	0.3582	0.3151	0.2784
35	—	—	—	—	—	0.5971	0.4677	0.3906	0.3340
40	—	—	—	—	—	—	—	0.7660	0.4668

Rankine passive earth pressure coefficients K_p Table:

β	$\phi = 26$	28	30	32	34	36	38	40	42
0	2.5611	2.7698	3.0000	3.2546	3.5371	3.8518	4.2037	4.5989	5.0447
5	2.5070	2.7145	2.9431	3.1957	3.4757	3.7875	4.1360	4.5272	4.9684
10	2.3463	2.5507	2.7748	3.0216	3.2946	3.5980	3.9365	4.3161	4.7437
15	2.0826	2.2836	2.5017	2.7401	3.0024	3.2926	3.6154	3.9766	4.3827
20	1.7141	1.9176	2.1318	2.3618	2.6116	2.8857	3.1888	3.5262	3.9044
25	1.1736	1.4343	1.6641	1.8942	2.1352	2.3938	2.6758	2.9867	3.3328
30	—	—	0.8660	1.3064	1.5705	1.8269	2.0937	2.3802	2.6940
35	—	—	—	—	—	1.1239	1.4347	1.7177	2.0088
40	—	—	—	—	—	—	—	0.7660	1.2570

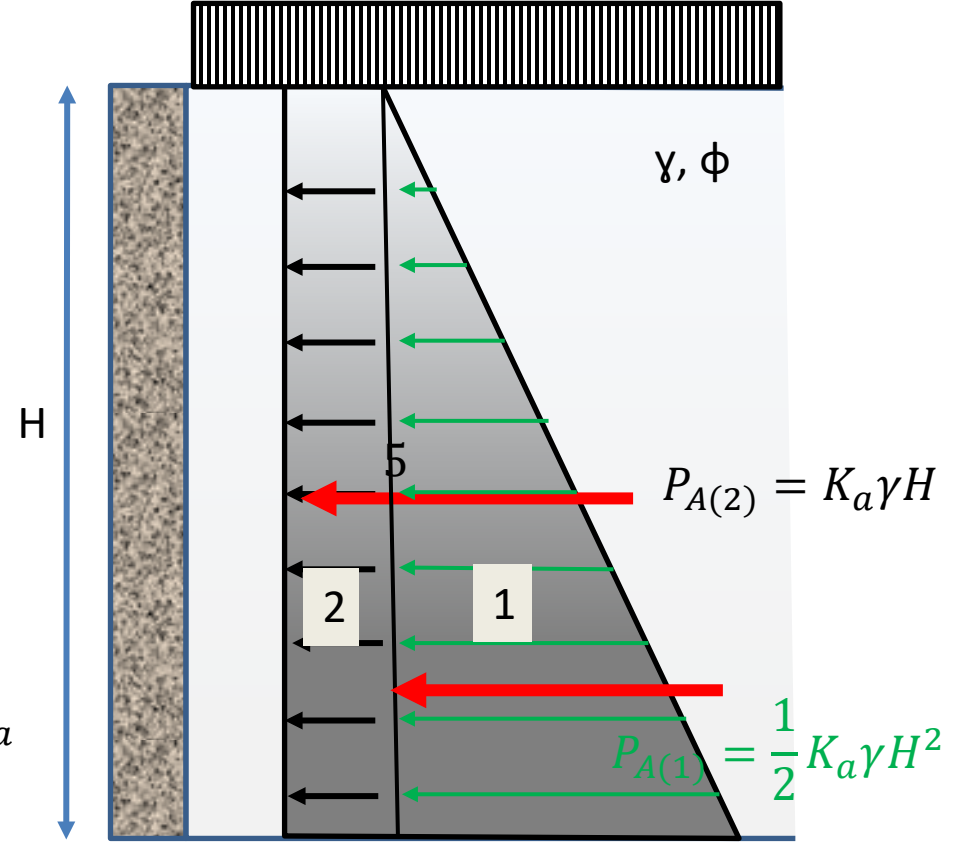
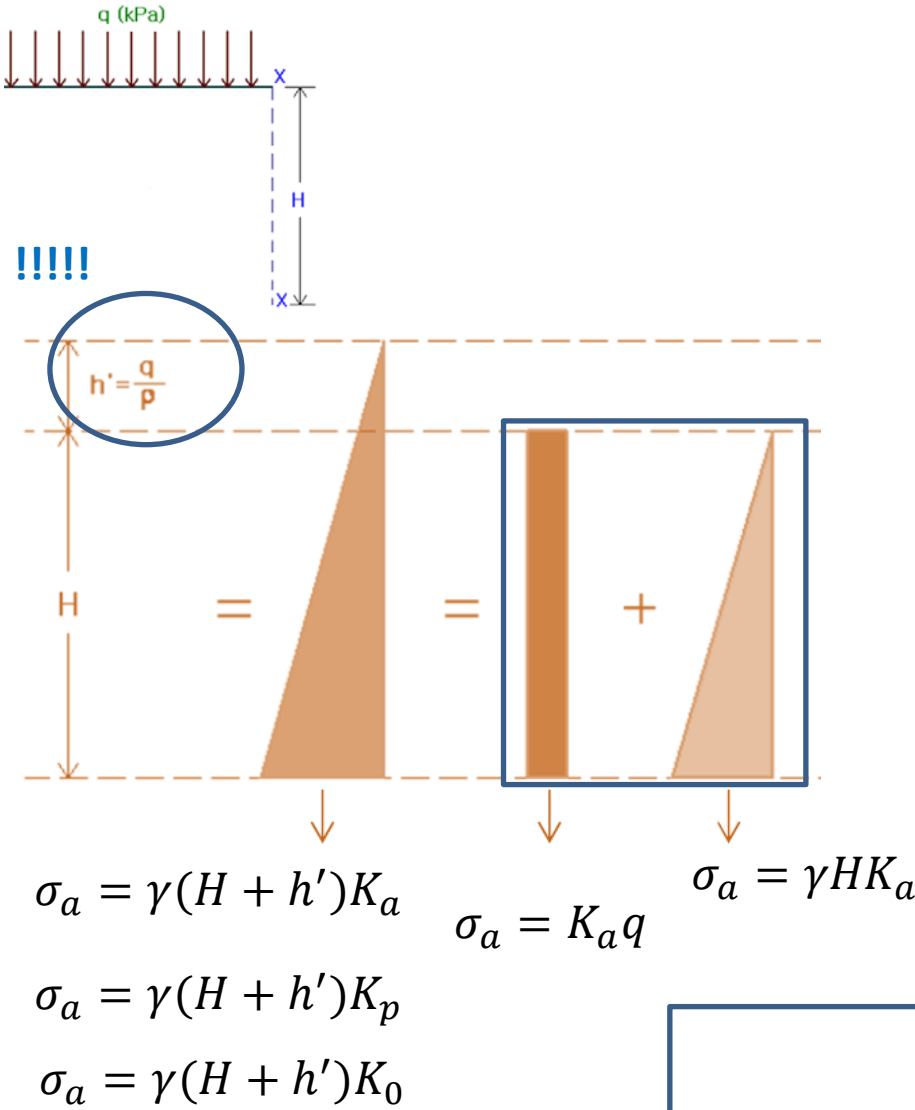
ZEMİN YÜZEYİNDE DEĞİŞİK YÜKLEMELERİN TOPRAK BASINÇINA ETKİSİ

Tek Zemin durumu



ZEMİN YÜZEYİNDE DEĞİŞİK YÜKLEMELERİN TOPRAK BASINÇINA ETKİSİ

Tek zemin + uniform yayılı yük durumu :



$$\sigma_a = K_a q$$

yayılı yükten kaynaklanan

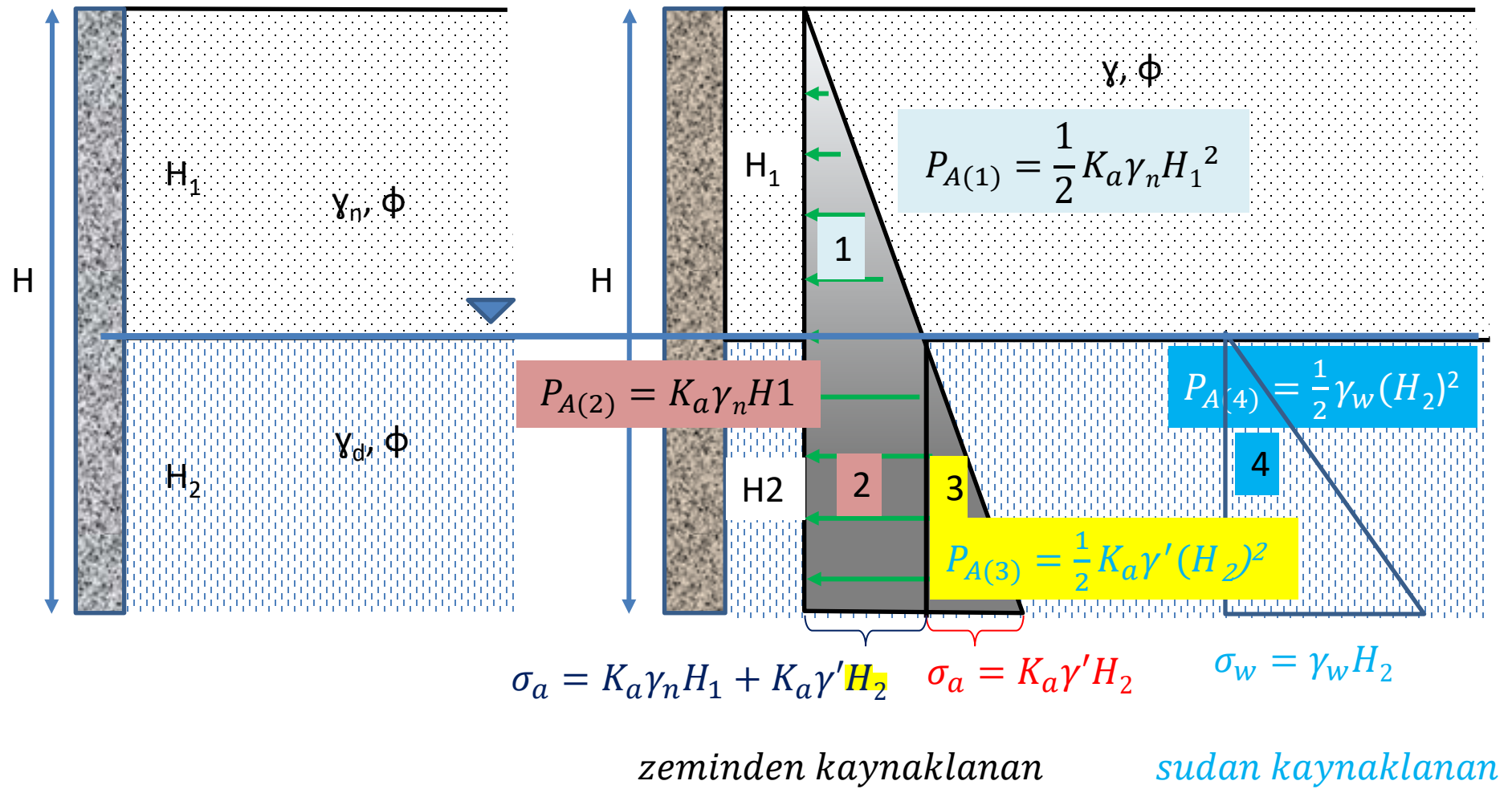
$$\sigma_a = K_a \gamma H$$

zeminden kaynaklanan

$$\sigma_a = K_a q + K_a \gamma H$$

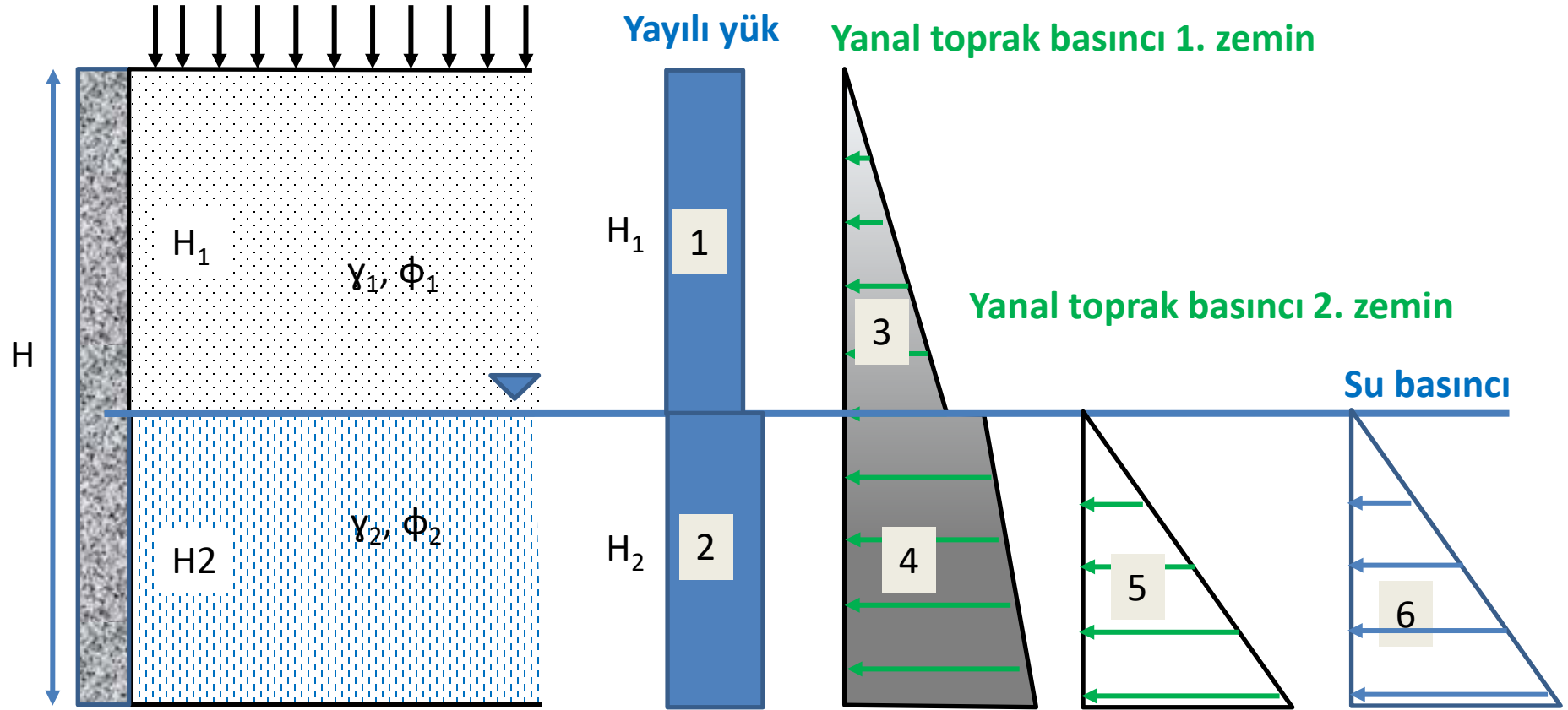
ZEMİN YÜZEYİNDE DEĞİŞİK YÜKLEMELERİN TOPRAK BASINÇINA ETKİSİ

Tabakalı Zemin durumu + Yeraltı suyu durumu



ZEMİN YÜZEYİNDE DEĞİŞİK YÜKLEMELERİN TOPRAK BASINÇINA ETKİSİ

Tabakalı Zemin durumu + Yeraltı suyu durumu + Yayılı yük



$$P_{A(1)} = qK_{a(1)}H_1$$

$$P_{A(2)} = qK_{a(2)}H_2$$

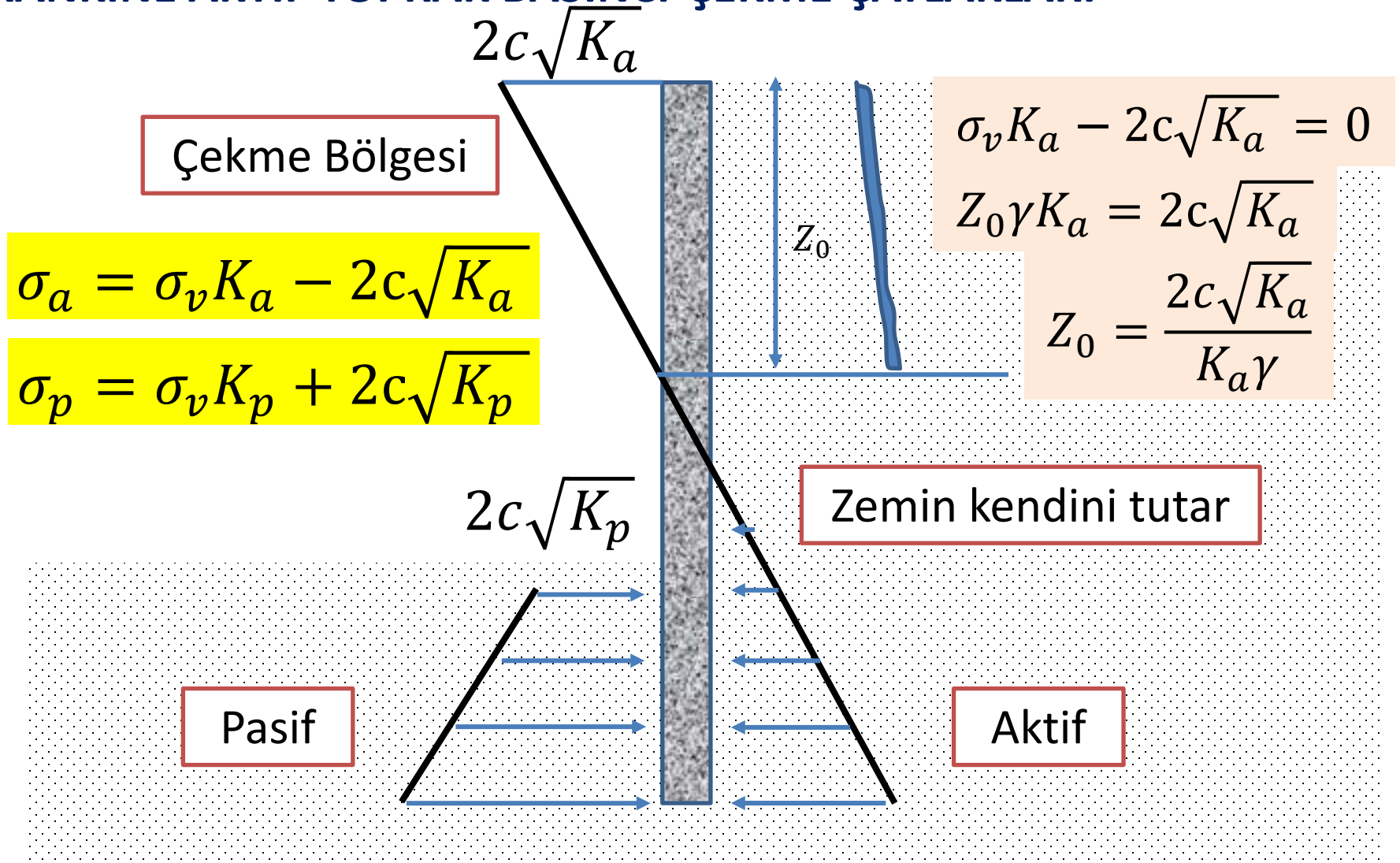
$$P_{A(3)} = \frac{1}{2}K_{a(1)}\gamma_1(H_1)^2$$

$$P_{A(4)} = (K_{a(2)}\gamma_1H_1) * H_2$$

$$P_{A(5)} = \frac{1}{2}K_{a(2)}\gamma'(H_2)^2$$

$$P_{A(6)} = \frac{1}{2}\gamma_w(H_2)^2$$

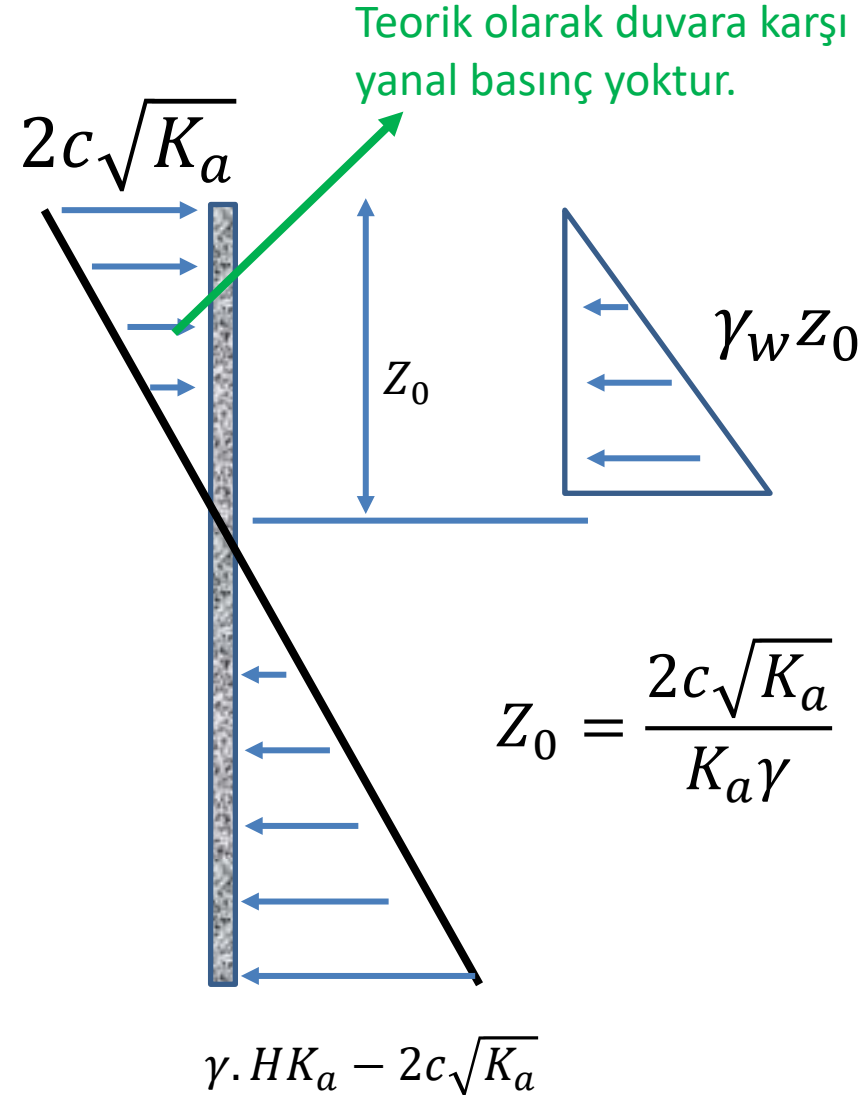
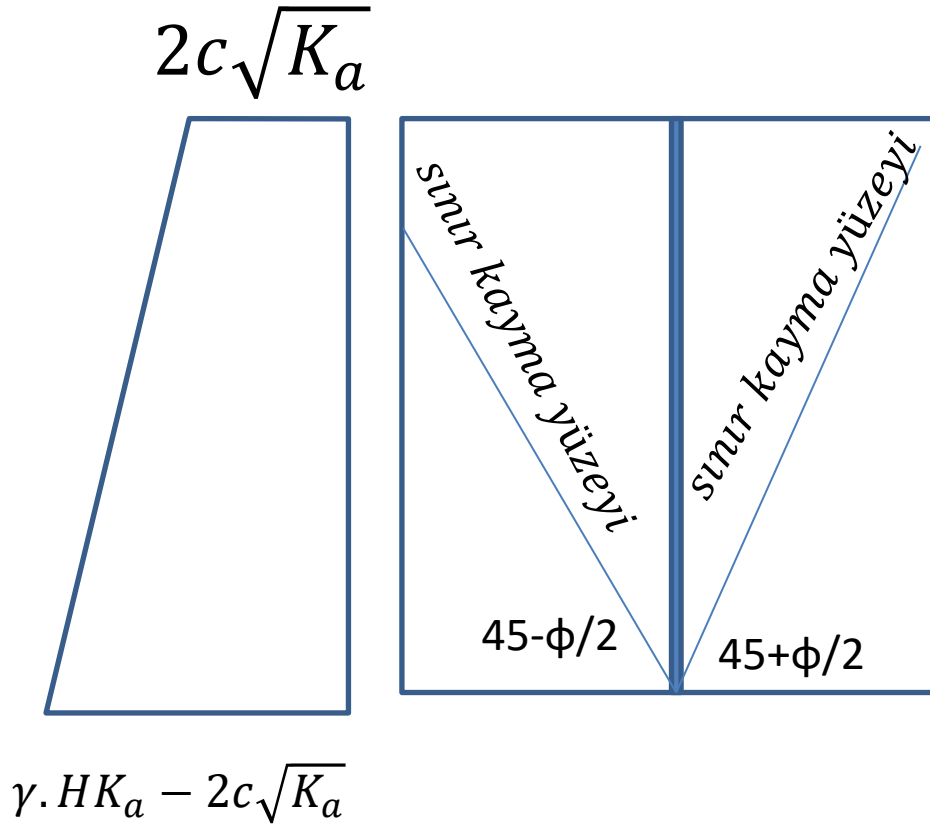
RANKİNE AKTİF TOPRAK BASINCI-ÇEKME ÇATLAKLARI



Zeminde kohezyon varsa bundan dolayı belli bir yere kadar bu zemin kendini desteksiz tutabilir. Kil z_0 derinliğe kadar çekme gerilmesi alıyor dolayısı ile $2 \cdot z_0$ derinliğe kadar teorik olarak kazılabilir.

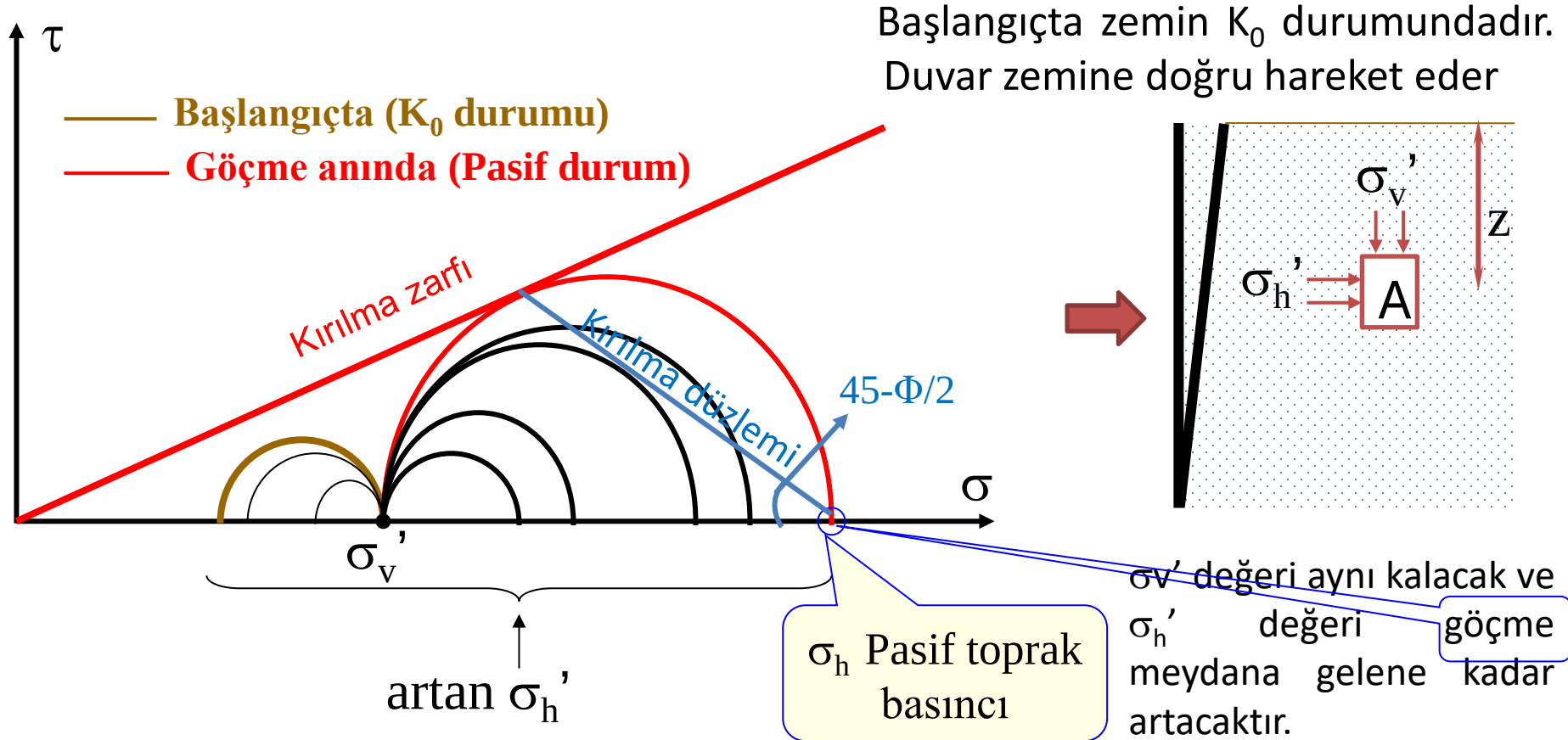
RANKİNE AKTİF TOPRAK BASINCI-ÇEKME ÇATLAKLARI

Çekme çatlağı oluşması durumunda çekme etkisi ihmal edilir ve diyagram z_0 dan başlar. Çekme çatlağına su dolması durumunda hidrostatik basınç oluşur.

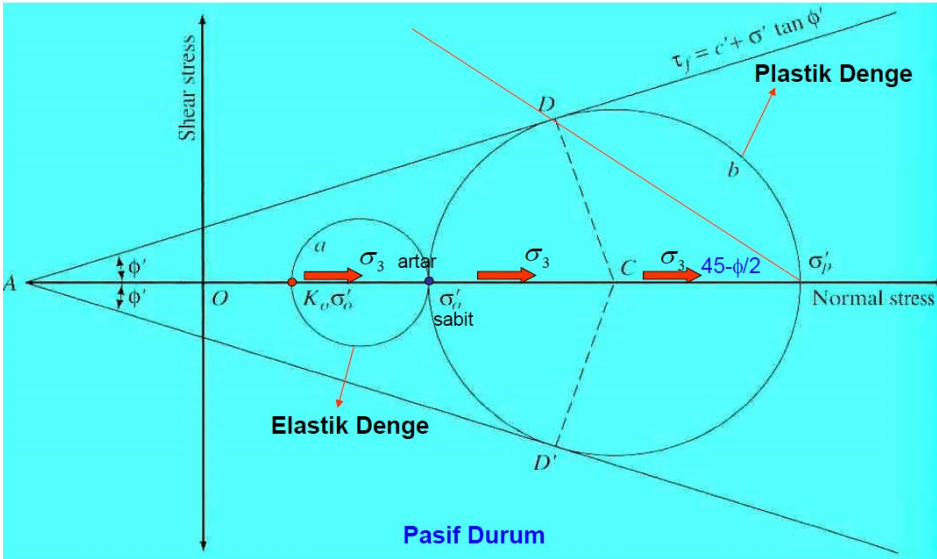


RANKİNE PASİF TOPRAK BASINCI TEORİSİ

- Arkasında zemin tutan yapı (duvar) zemine doğru ötelenir veya alt ucu zemine doğru dönme yaparsa zemindeki düşey gerilmeler **sabit kalırken yatay gerilmeler giderek artar.**
- *Normal koşullarda düşey gerilmelerden az olan yatay gerilme değeri bu artış sonucunda önce düşey gerilme değerine ulaşır ve daha sonraki artan değerlerde belirli bir limit değerde zeminde kırılma meydana gelir.*



RANKİNE PASİF TOPRAK BASINCI TEORİSİ



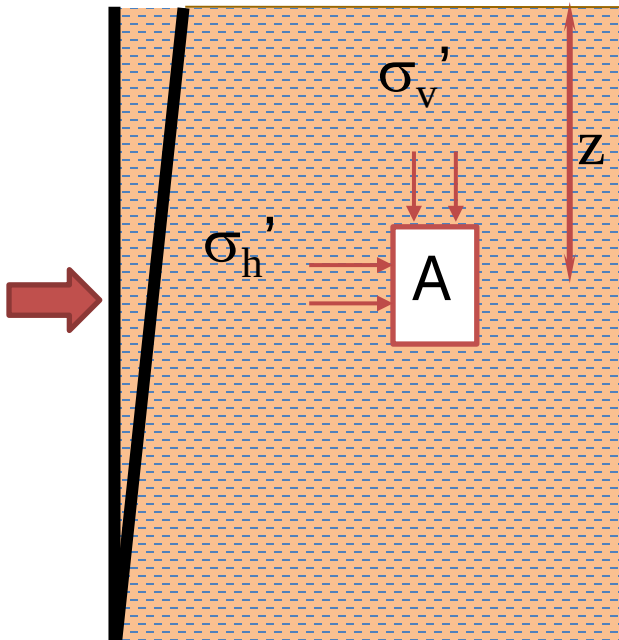
$$\sigma_1 = \sigma_3 N_\phi + 2c\sqrt{N_\phi}$$

$\downarrow$ $\downarrow$
 σ_p σ_v

$$N_\phi = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

$$\sigma_p = \sigma_v \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) + 2c \tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

$$N_\phi = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) = K_p$$



$$\sigma_p = \sigma_0 K_p + 2c \sqrt{K_p}$$

RANKİNE PASİF TOPRAK BASINCI TEORİSİ

$$\sigma_p = \sigma_v K_p \quad \text{Kumlu Zeminler}$$

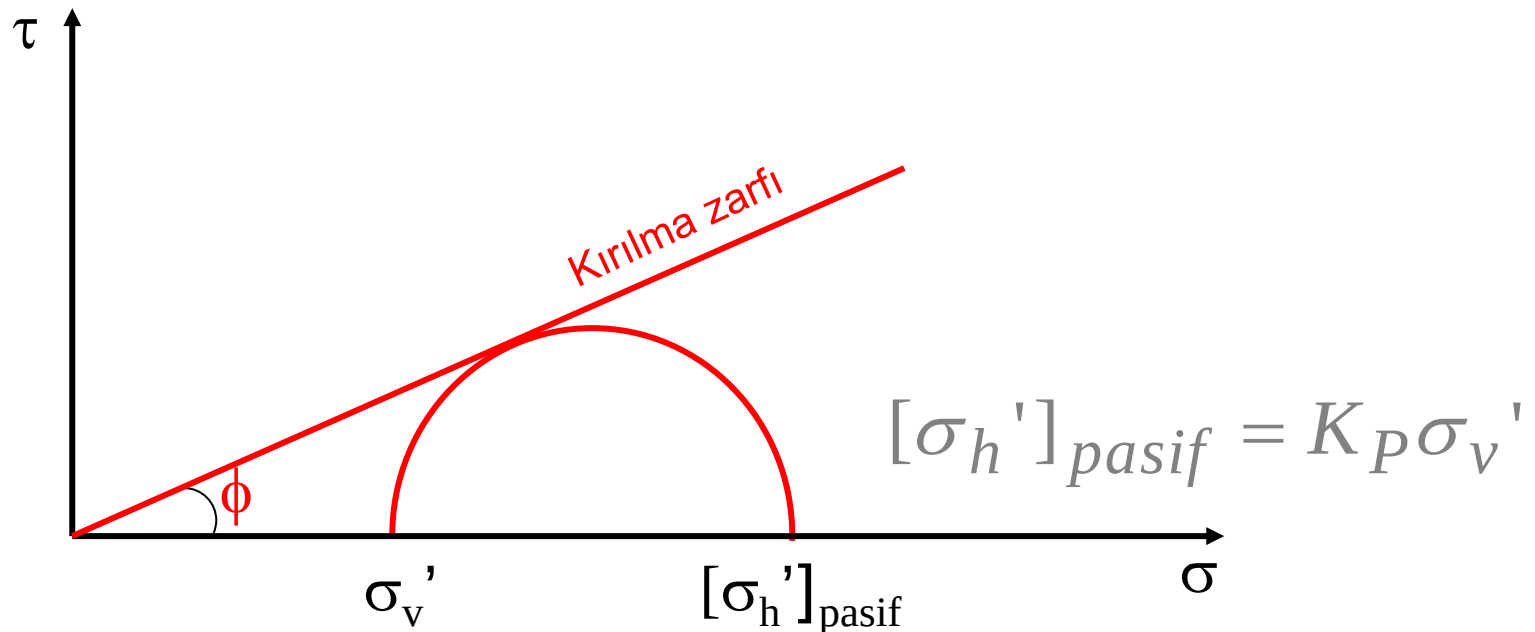
$$\sigma_p = \sigma_v K_p + 2c\sqrt{K_p} \quad \text{Killi Zeminler}$$

Daha Genel bir ifadeyle;

$$\sigma'_p = \gamma z K_p + 2c' \sqrt{K_p}$$

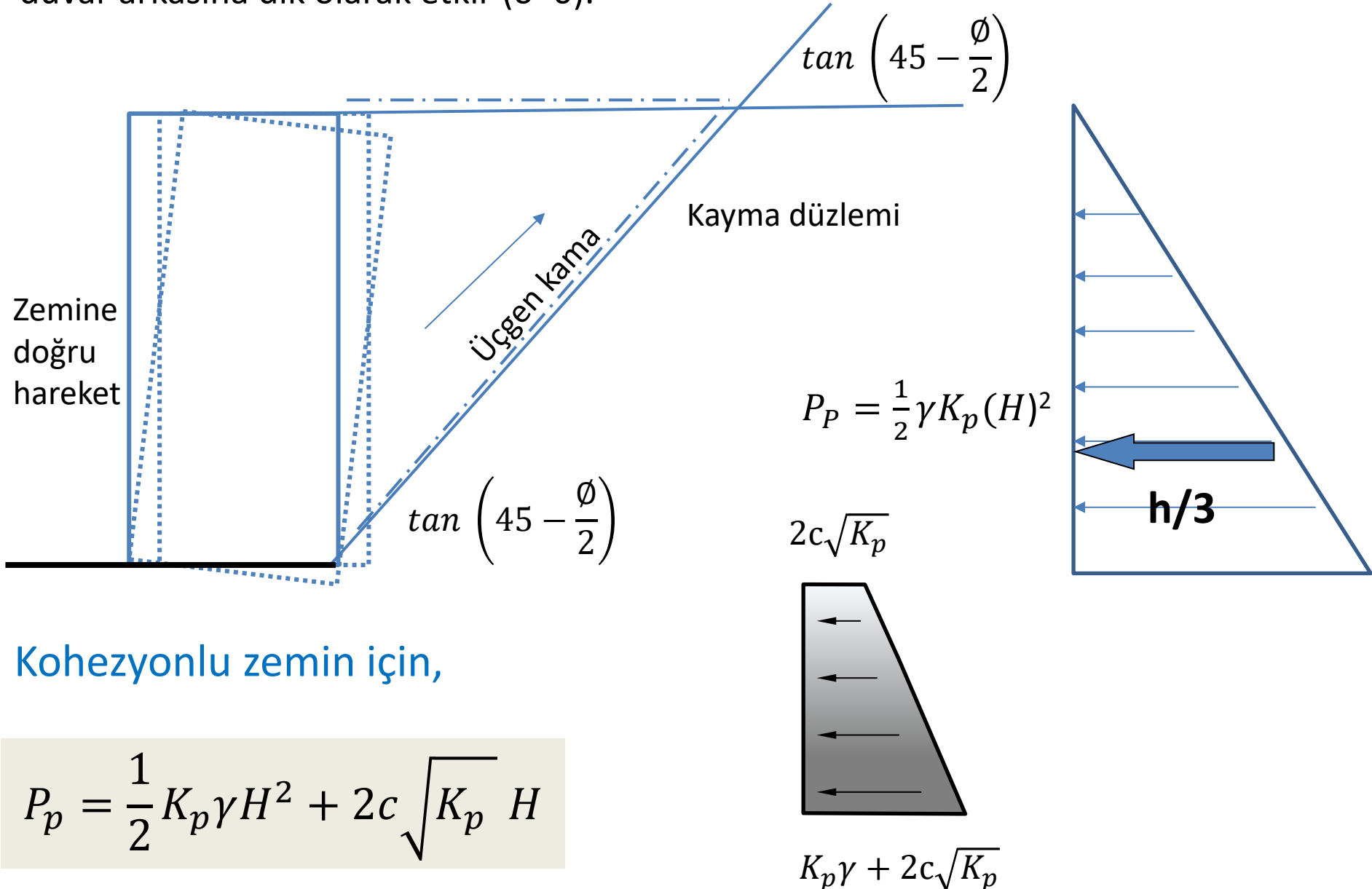
$$\sigma_p = \gamma z K_a + 2c \sqrt{K_a}$$

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi}{2} \right) = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$$



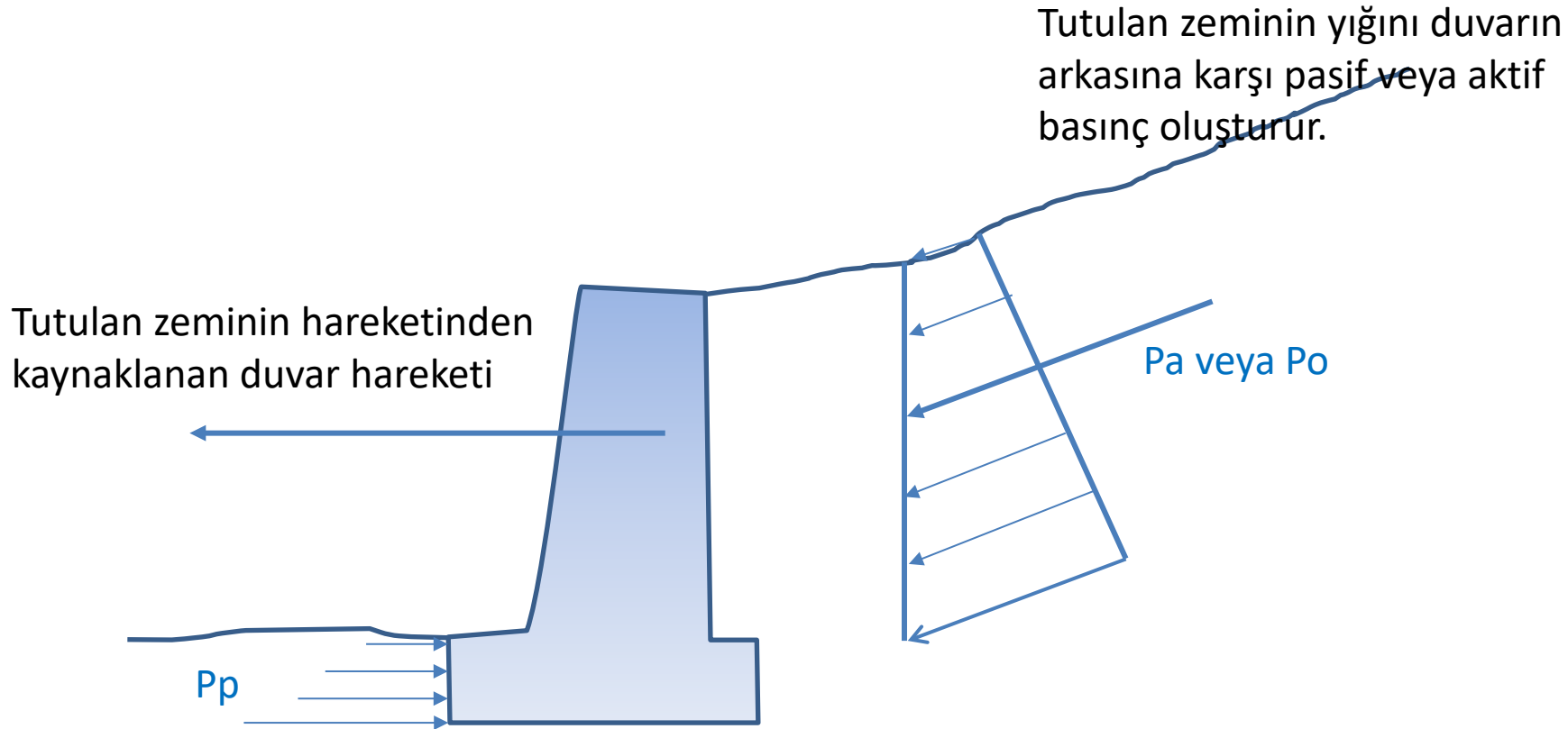
RANKİNE PASİF TOPRAK BASINCI TEORİSİ

Duvar arkası zeminde pasif durum oluşur bu durumda pasif yanal zemin basınçları duvar arkasına dik olarak etkir ($\delta=0$).



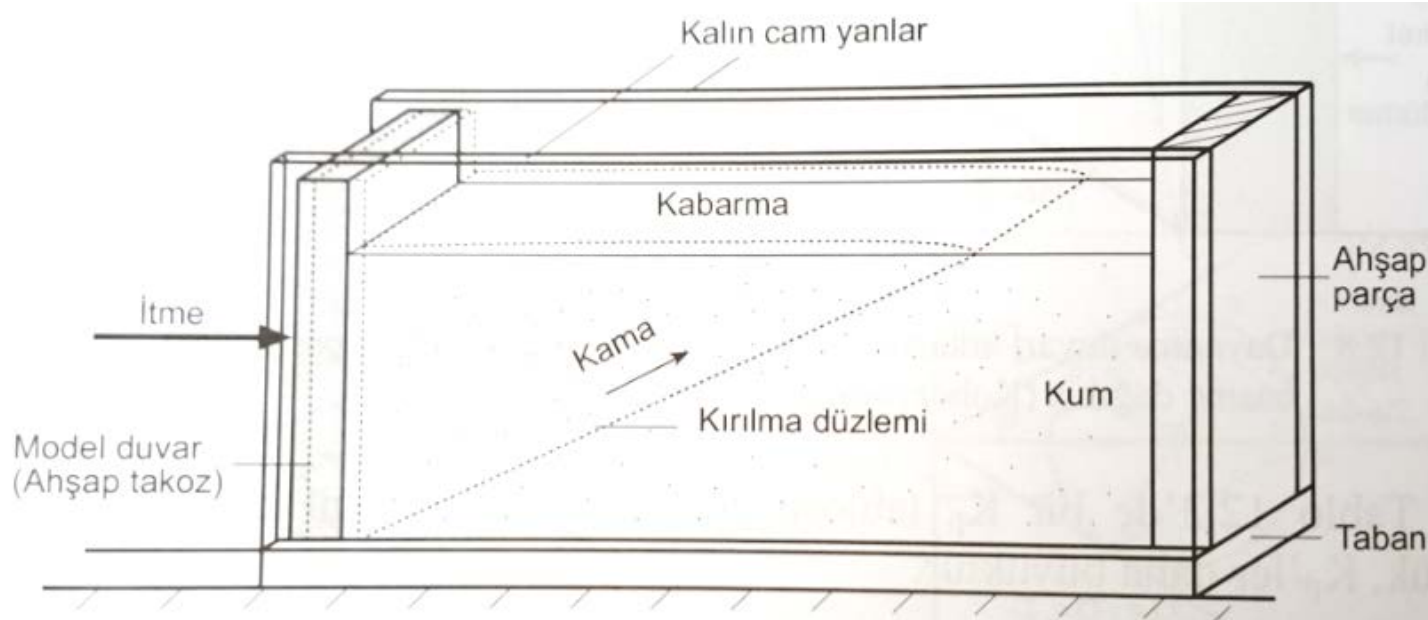
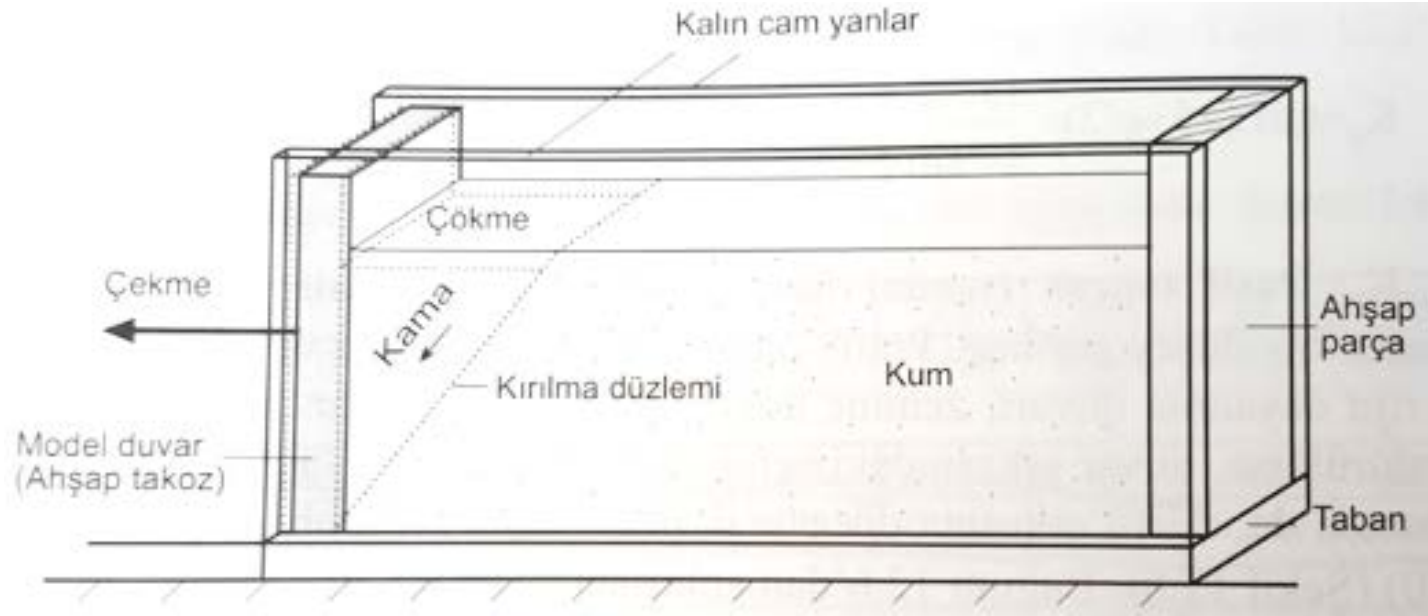
RANKİNE PASİF TOPRAK BASINCI TEORİSİ

İstinat duvarları sükûnet yada aktif yanal basıncına direnecek şekilde tasarlanırlar. Tasarımda pasif toprak basınçları tepkisel yük olarak kabul edilir. **Bir istinat duvarı temelini desteklediği zemin kütlesi duvarın yanal olarak dışarı doğru hareket etmesine neden oluyorsa duvarın önündeki zemin pasif direnç gösterme eğilimindedir.**



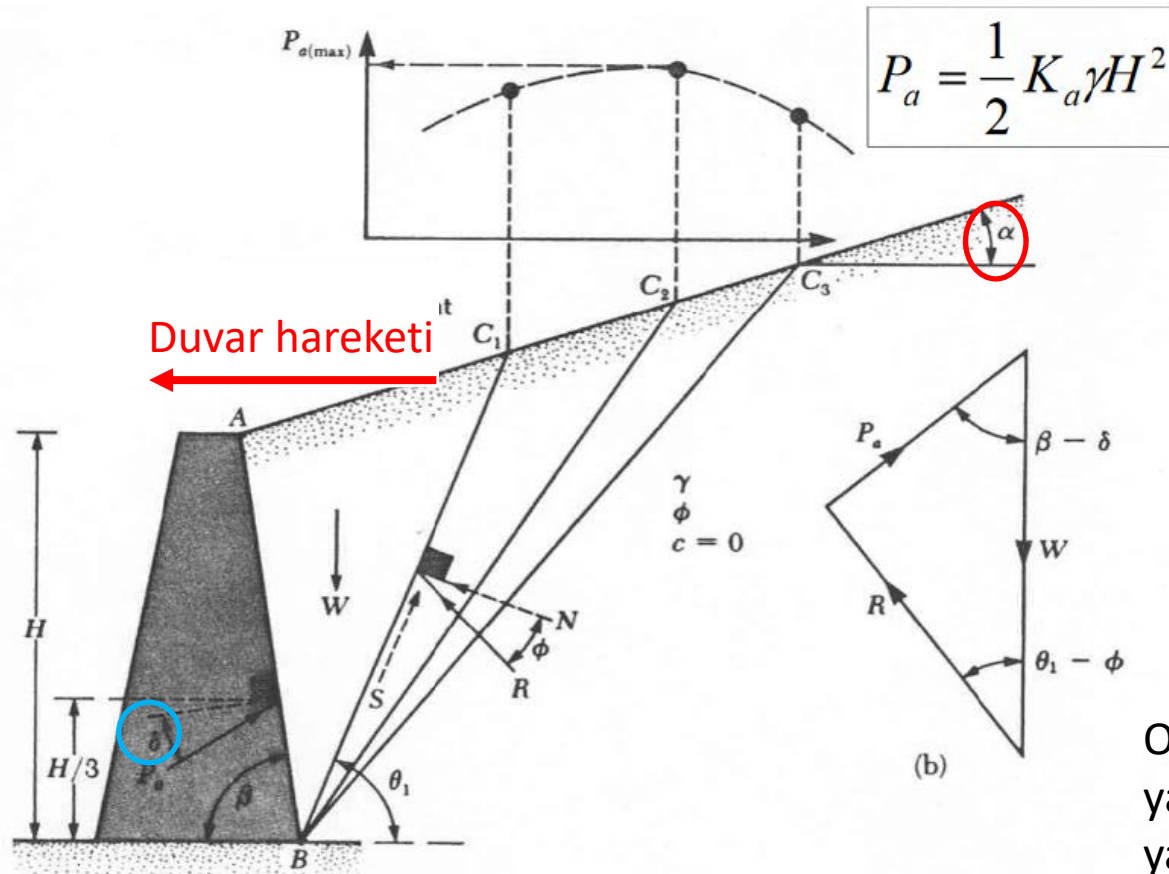
Eğer duvar yanal olarak hareket ederse, bu alandaki zemin pasif direnç geliştirir.

ZEMİNLERDE TOPRAK BASINÇI MODEL DENEY



COULOMB TOPRAK BASINÇ TEORİSİ

Rankine teorisinde perde yüzeyi sürtünmesiz olduğu kabul edilmiştir. Coulomb teorisinde ise; arka dolgu granüler zeminden oluştuğu kabul edilip, perde üzerine etkiyen yanıl toprak basınçları belirlenirken perde ile zemin arasındaki sürtünme dikkate alınmıştır.



Oluşan kamanın rijit ve homojen bir yapı olduğu, kayma yüzeyi ile yaptığı sürtünme kuvvetinin yüzey boyunca üniform dağılım gösterdiği kabul edilir

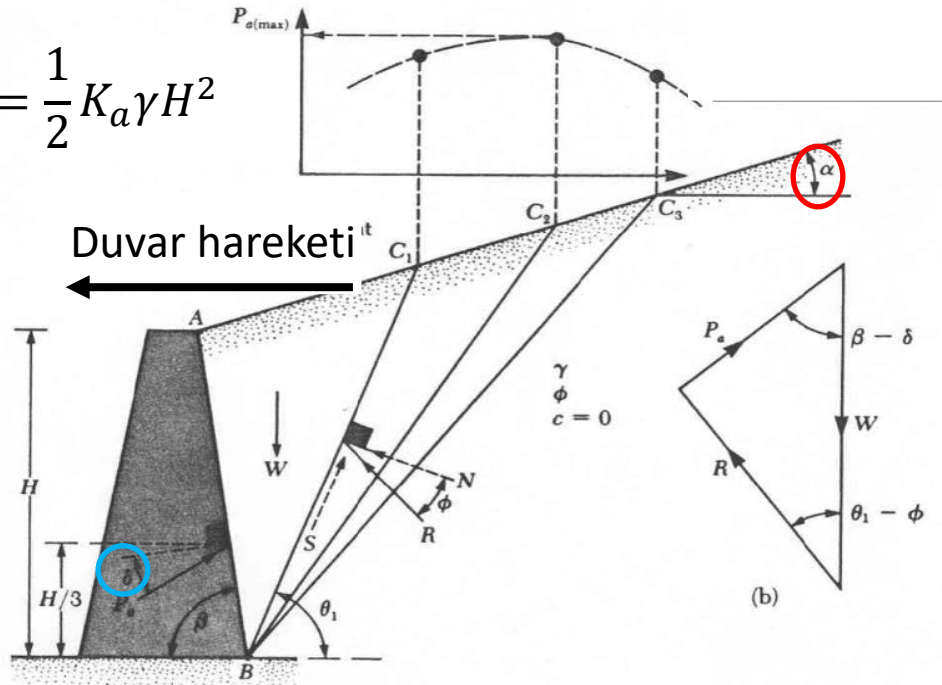
Sırtı yatayla θ açısı yapan bir dayanma yapısında Coulomb teorisinin uygulanması

COULOMB TOPRAK BASINCI

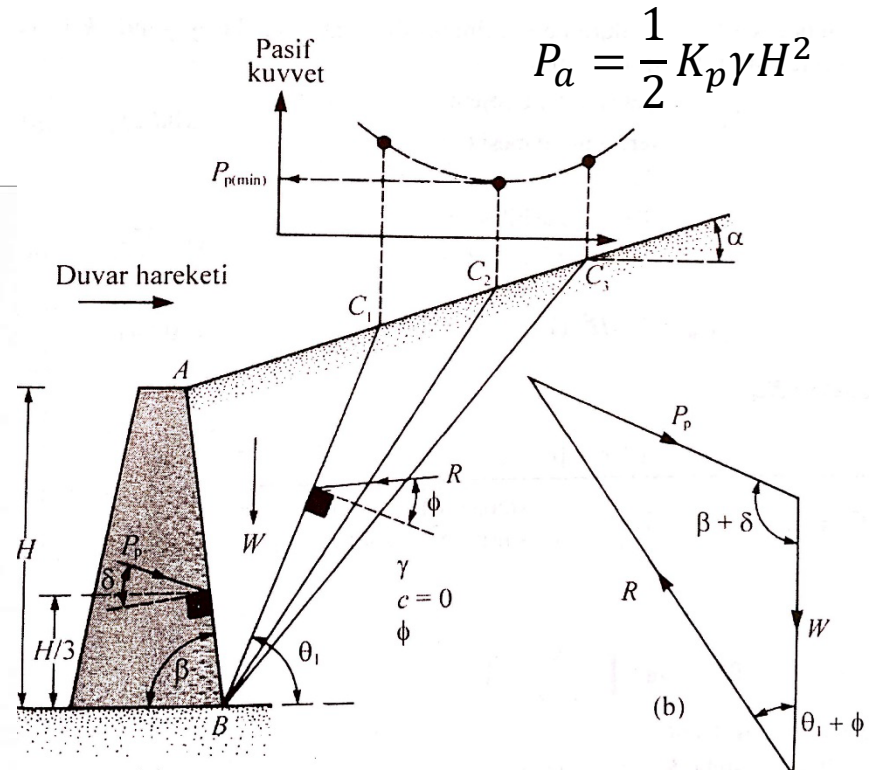
Kama üzerinde etkiyen kuvvetler

- * Kamanın ağırlığı (W)
- * BC1 düzlemi boyunca normal ve kayma direnci kuvvetlerinin bileşkesi (R)
- * Duvar birim uzunluğundaki aktif itki P_a (duvar sırtına dik düzlemle δ açısı yapar)

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2$$



$$K_{Ac} = \frac{\sin^2(\beta + \phi)}{\sin^2 \beta \sin(\beta - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \alpha)}{\sin(\beta - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$



$$K_{Pc} = \frac{\sin^2(\beta - \phi)}{\sin^2 \beta \sin(\beta + \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi + \alpha)}{\sin(\beta + \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

COULOMB TOPRAK BASINCI

$$K_{Ac} = \frac{\sin^2(\beta + \phi)}{\sin^2 \beta \sin(\beta - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \alpha)}{\sin(\beta - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

		β (deg)					
α (deg)	ϕ' (deg)	90	85	80	75	70	65
0	28	0.3264	0.3629	0.4034	0.4490	0.5011	0.5616
	29	0.3137	0.3502	0.3907	0.4363	0.4886	0.5492
	30	0.3014	0.3379	0.3784	0.4241	0.4764	0.5371
	31	0.2896	0.3260	0.3665	0.4121	0.4645	0.5253
	32	0.2782	0.3145	0.3549	0.4005	0.4529	0.5137
	33	0.2671	0.3033	0.3436	0.3892	0.4415	0.5025
	34	0.2564	0.2925	0.3327	0.3782	0.4305	0.4915
	35	0.2461	0.2820	0.3221	0.3675	0.4197	0.4807

Coulomb için Ka değerleri $\delta = 1/2\phi$

COULOMB TOPRAK BASINCI

$$K_{Ac} = \frac{\sin^2(\beta + \phi)}{\sin^2 \beta \sin(\beta - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \alpha)}{\sin(\beta - \delta) \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

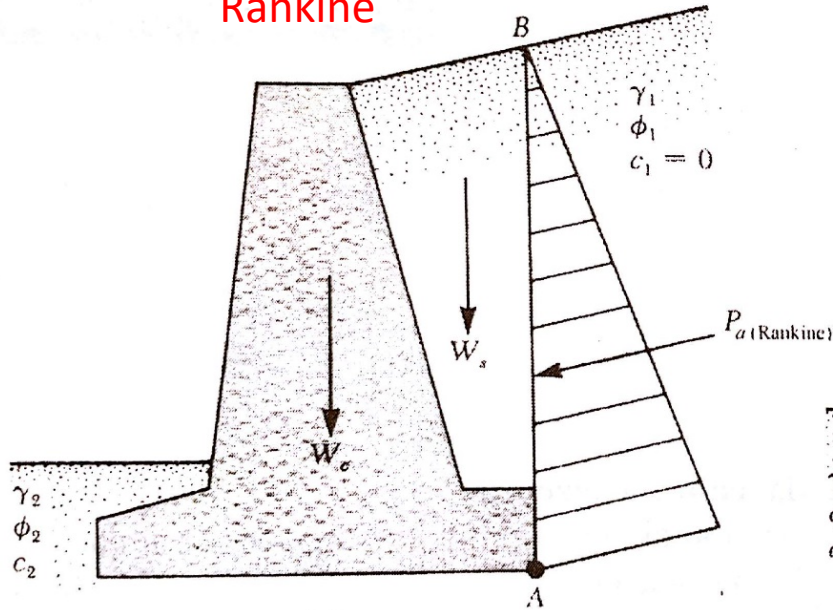
		β (deg)					
α (deg)	ϕ' (deg)	90	85	80	75	70	65
0	28	0.3213	0.3588	0.4007	0.4481	0.5026	0.5662
	29	0.3091	0.3467	0.3886	0.4362	0.4908	0.5547
	30	0.2973	0.3349	0.3769	0.4245	0.4794	0.5435
	31	0.2860	0.3235	0.3655	0.4133	0.4682	0.5326
	32	0.2750	0.3125	0.3545	0.4023	0.4574	0.5220
	33	0.2645	0.3019	0.3439	0.3917	0.4469	0.5117
	34	0.2543	0.2916	0.3335	0.3813	0.4367	0.5017
	35	0.2444	0.2816	0.3235	0.3713	0.4267	0.4919
	36	0.2349	0.2719	0.3137	0.3615	0.4170	0.4824
	37	0.2257	0.2626	0.3042	0.3520	0.4075	0.4732
	38	0.2168	0.2535	0.2950	0.3427	0.3983	0.4641
	39	0.2082	0.2447	0.2861	0.3337	0.3894	0.4553
	40	0.1998	0.2361	0.2774	0.3249	0.3806	0.4468
	41	0.1918	0.2278	0.2689	0.3164	0.3721	0.4384
	42	0.1840	0.2197	0.2606	0.3080	0.3637	0.4302
5	28	0.3431	0.3845	0.4311	0.4843	0.5461	0.6190
	29	0.3295	0.3709	0.4175	0.4707	0.5325	0.6056
	30	0.3165	0.3578	0.4043	0.4575	0.5194	0.5926
	31	0.3039	0.3451	0.3916	0.4447	0.5067	0.5800
	32	0.2919	0.3329	0.3792	0.4324	0.4943	0.5677
	33	0.2803	0.3211	0.3673	0.4204	0.4823	0.5558

Coulomb için Ka değerleri $\delta = 2/3\phi$

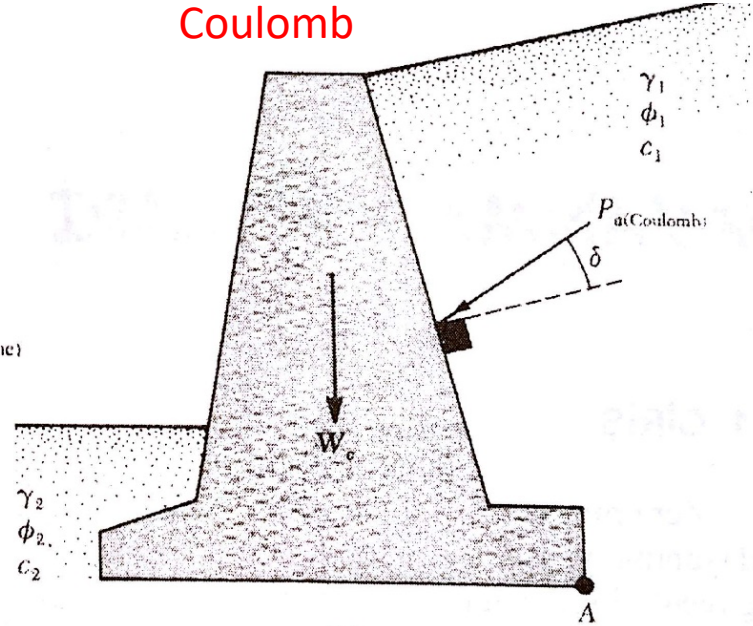
COULOMB AKTİF TOPRAK BASINÇI

Ağırlık dayanma yapısında yanal toprak basıncı için kabuller

Rankine



Coulomb



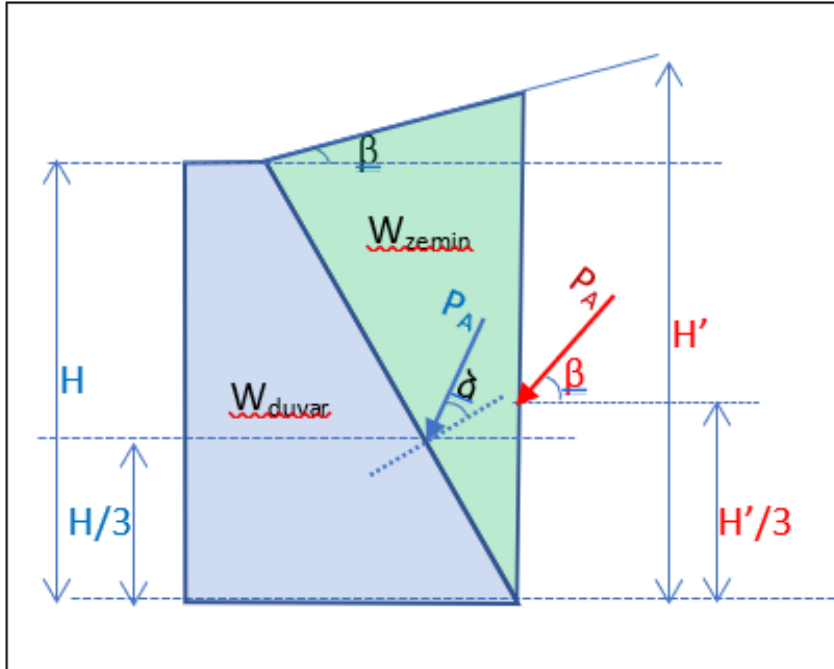
Tipik duvar ile dolgu arasında δ sürtünme değerleri

Arayüzey Malzemeleri	Arayüzey Sürtünme Açısı δ
Masif beton ile :	25
temiz, sağlam kaya	29-31
temiz çakıl; çakıl-kum karışımları; iri kum	24-29
temiz, ince-orta kum; siltli orta-iri kum;	
siltli veya killi çakıl	19-24
temiz, ince kum; siltli veya killi ince-orta kum	17-19
ince kumlu silt; plastik olmayan silt	17-19
orta sert ve sert kil; siltli kil	22-26
Kalıp beton ile :	
temiz çakıl; çakıl-kum karışımı; iyi derecelenmiş kaya dolgu	17-22
temiz kum; siltli kum-çakıl karışımı; tek boyuttan oluşan sert kaya dolgu	17
siltli kum; çakıl; silt veya kil ile karışık kum	14
ince kumlu silt; plastik olmayan silt	22
Çelik palplanş ile :	
temiz çakıl; çakıl-kum karışımı; iyi derecelenmiş kaya dolgu	17
temiz kum; siltli kum çakıl karışımı; tek boyuttan oluşan sert kaya dolgu	14
siltli kum; çakıl; silt veya kil ile karışık kum	11
ince kumlu silt; plastik olmayan silt	

NAVFAC (1982)'den.

Zemin türü	duvar - dolgu sürtünme açısı (δ) sınır değerleri
Çakıl	27-30
İri kum	20-28
İnce kum	15-25
Katı-sert kil	15-20
Siltli kil	12-16

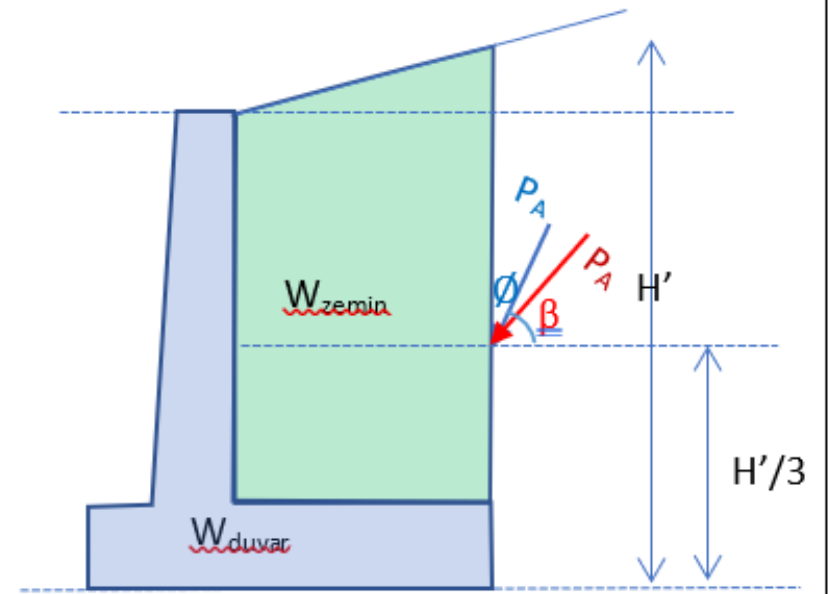
COULOMB AKTİF TOPRAK BASINÇI



Coulomb; Duvar ile zemin arasında sürtünmeyi dikkate alır. Duvara yüzeyin normali ile δ açısı yaparak etkiler.

Rankine; Duvarın üstünde kalan kısmı duvara dahil eder ve yatayla β ile etkiler.

$$W = W_{duvar} + W_{duvar} +$$



Coulomb; Duvar yüzeyi zemindir. Duvara yüzeyin normali ile zemin-zemin sürtünme açısı ile etkiler.

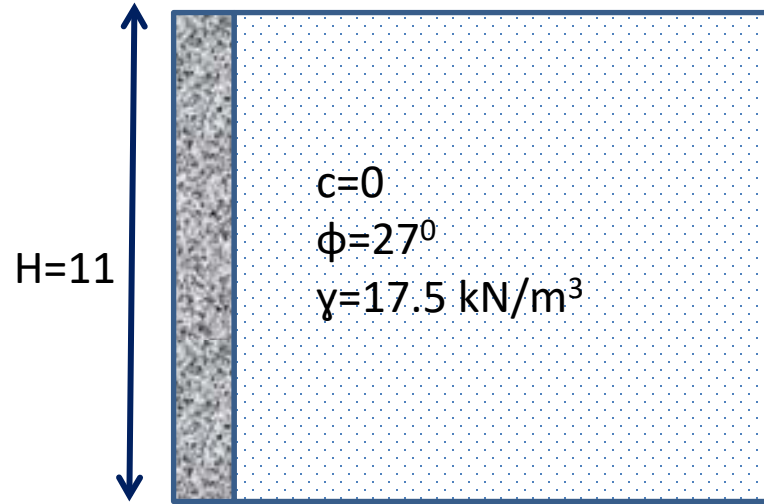
Rankine; Duvarın üstünde kalan kısmı duvara dahil eder ve yatayla β ile etkiler.

$$W = W_{duvar} + W_{duvar} +$$

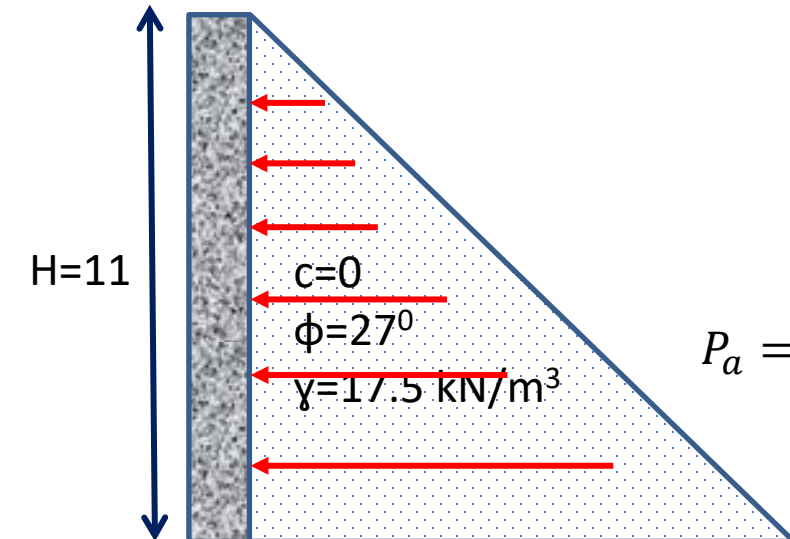
UYGULAMALAR

SORU-1

Şekildeki özelliklere sahip bir ortam için yanal toprak itkisini ve etkiye yerini hesaplayınız.



CEVAP-1



$\phi = 27^\circ$ için;

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) = 0.375$$

$$\sigma_a = K_a \gamma H = 0.375 * 17.5 * 11 = 72.19 \text{ kN/m}^2$$

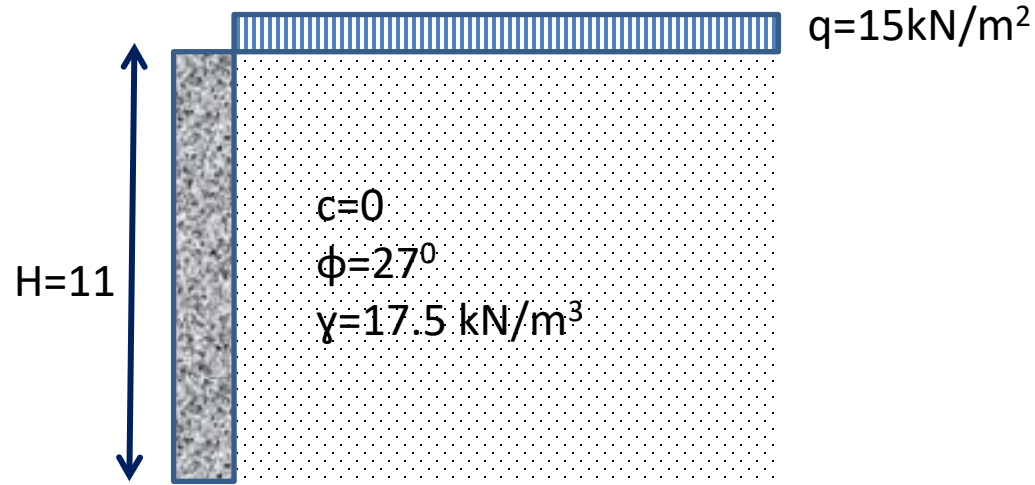
$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2 = \frac{1}{2} * 0.375 * 17.5 * 11^2 = 397.031 \text{ kN/m}$$

$$z = \frac{H}{3} = \frac{11}{3} = 3.66 \text{ m (tabandan)}$$

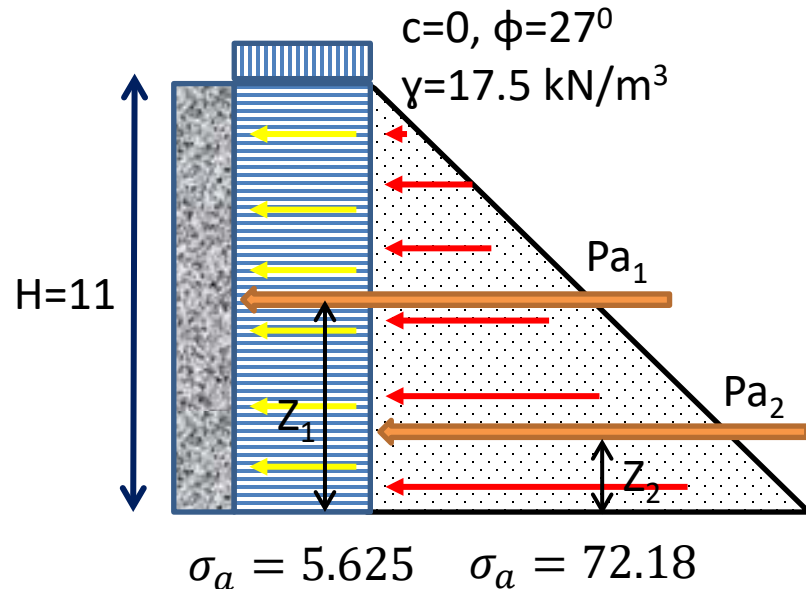
UYGULAMALAR

SORU-2

Şekildeki özelliklere sahip bir ortam için yanal toprak itkisini ve etkiye yerini hesaplayınız.



CEVAP-2



yayılı yükten kaynaklanan

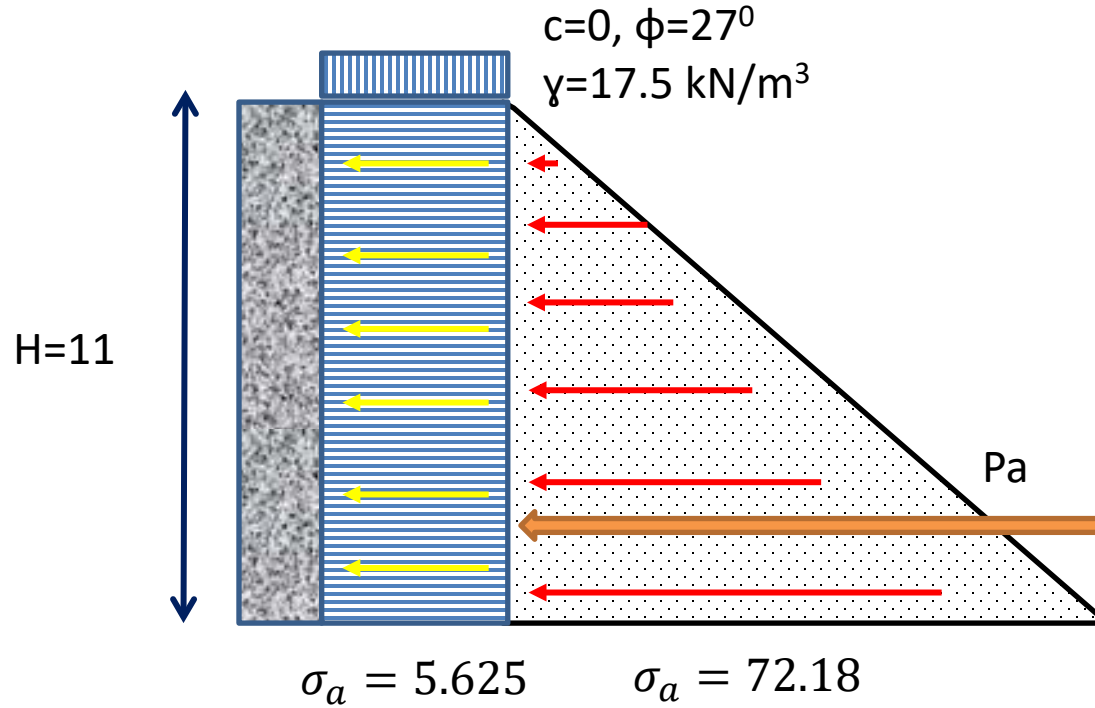
$$\begin{aligned}\sigma_a &= K_a * q = 0.375 * 15 = 5.625 \text{ kN/m}^2 \\ Pa_1 &= K_a q * H = 5.625 * 11 = 61.875 \text{ kN/m} \\ z_1 &= 5.5 \text{ m}\end{aligned}$$

zeminden kaynaklanan

$$\begin{aligned}\sigma_a &= K_a * \gamma * H = 0.375 * 17.5 * 11 = 72.18 \text{ kN/m}^2 \\ Pa_2 &= \frac{1}{2} K_a * \gamma * H^2 = \frac{397 \text{ kN}}{m} \\ z_1 &= 3.6 \text{ m}\end{aligned}$$

UYGULAMALAR

CEVAP-2



Yüklerin Toplamı: yük+zemin

$$Pa = Pa_1 + Pa_2q = 61.875 + 397 = 458.875 \text{ kN/m}$$

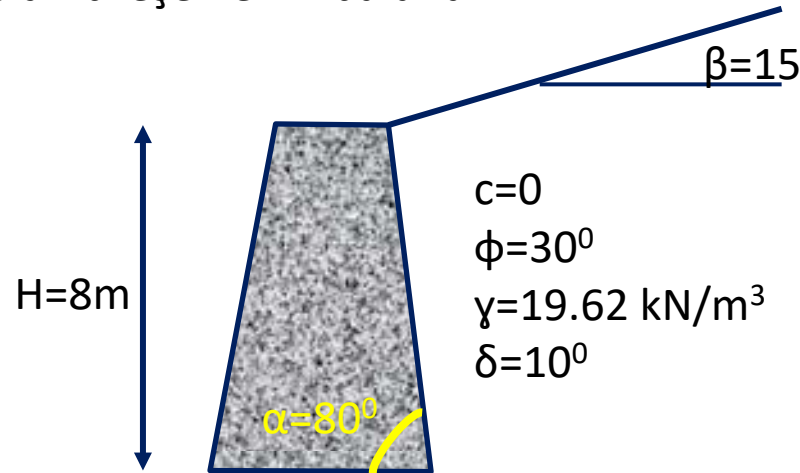
zeminden kaynaklanan

$$z = \frac{Pa_1 * z_1 + Pa_2 * z_2}{Pa} = \frac{61.875 * 5.5 + 397 * 3.66}{458.875} = 4.59 \text{ m}$$

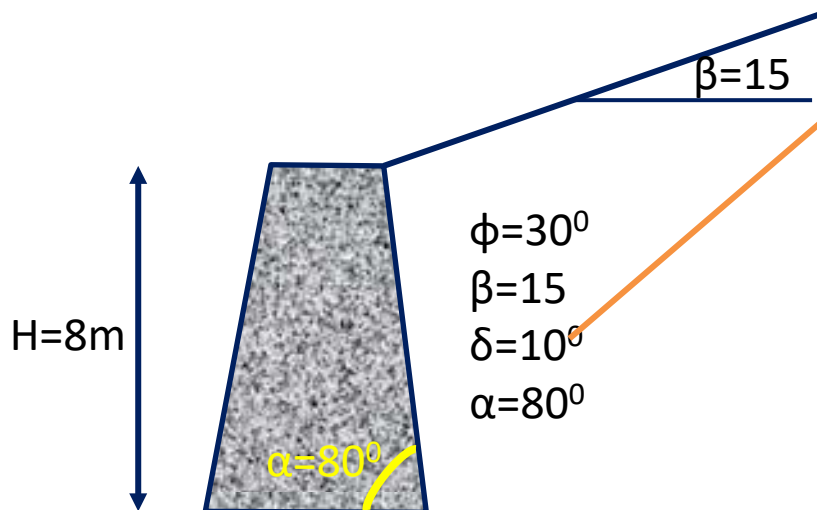
UYGULAMALAR

SORU-3

a. Duvara etkiyen aktif toprak basıncı kuvvetini hesaplayınız. b. Bu kuvvetin duvarı devirici ve devirmeye karşı önleyici olan bileşenlerini bulunuz.



CEVAP-3A



$$K_a = \frac{\sin^2(\alpha + \phi)}{\sin^2 \alpha \cdot \sin(\alpha - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \cdot \sin(\phi - \beta)}{\sin(\alpha - \delta) \cdot \sin(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

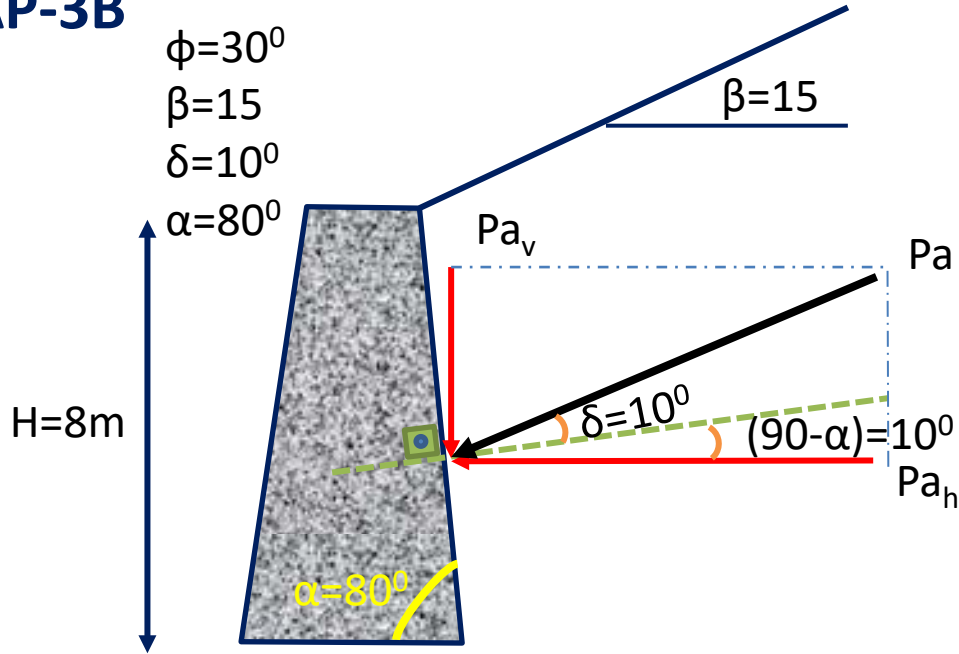
$$K_a = 0.479$$

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot K_a \cdot \gamma \cdot H^2$$

$$P_a = 300.74 \text{ kN/m}$$

UYGULAMALAR

CEVAP-3B



Devirici kuvvet; P_{ah}

$$P_{ah} = P_a * \cos(\delta + (90 - \alpha))$$

$$P_{ah} = 300 * \cos(10^\circ + (90 - 80))$$

$$P_{ah} = 300 * \cos(20) = 282.60 \text{ kN/m}$$

Önleyici kuvvet; P_{av}

$$P_{ah} = P_a * \sin(\delta + (90 - \alpha))$$

$$P_{ah} = 300 * \sin(10^\circ + (90 - 80))$$

$$P_{ah} = 300 * \sin(20) = 102.86 \text{ kN/m}$$

UYGULAMALAR

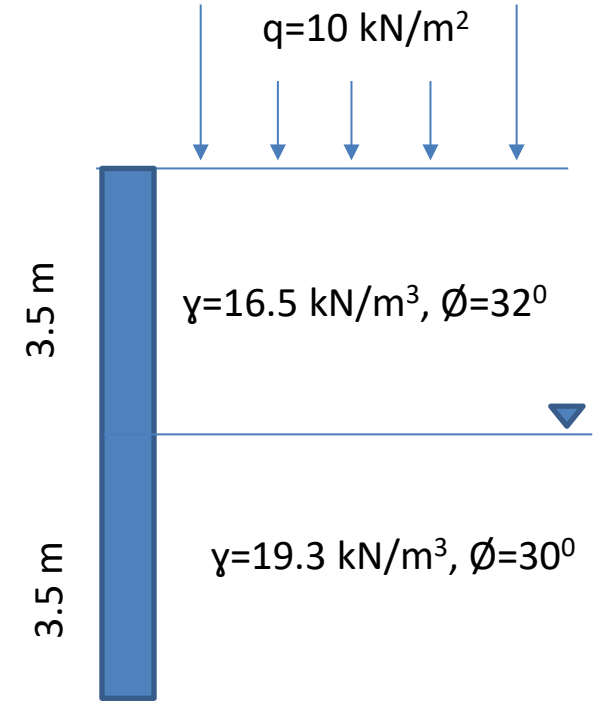
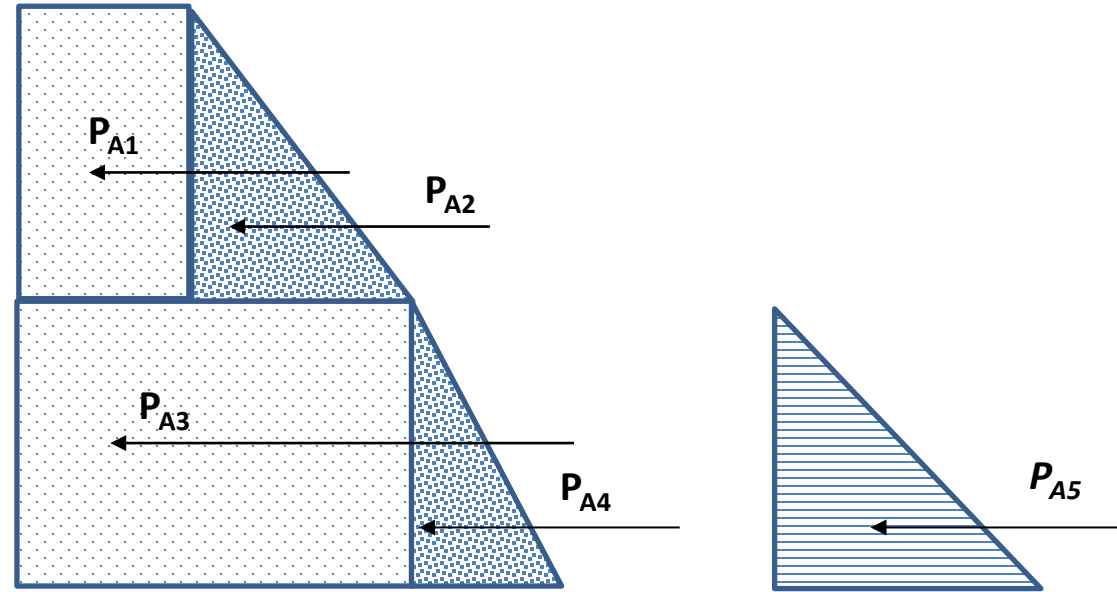
SORU-4

Şekilde görülen istinat duvarına gelen toplam aktif basınçların bileşkesini ve etkiye yerini bulunuz.

Not: duvar ile zemin arasında sürtünme olmadığını varsayınız.

ÇÖZÜM-4

Öncelikle itkilerin nasıl olacağını araştıralım.



UYGULAMALAR

ÇÖZÜM-4

Şimdi aktif toprak katsayılarını hesaplayalım.

$$K_A = \tan^2\left(45 - \left(\frac{\phi}{2}\right)\right) \Rightarrow K_{A1} = 0.307, K_{A2} = 0.333 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Artık aktif toprak basınçlarını hesaplayabiliriz (itkilerin hesabında kullanılır)

$$\sigma_{0m} = q * K_{A1} = 0.307 * 10 \text{ kN/m}^2 = 3.07 \text{ kN/m}^2 \text{ olarak hesaplanır.}$$

$$\sigma_{3.5m} = q * K_{A1} + (\gamma_1 * H * K_{A1}) = 3.07 \text{ kN/m}^2 + (16.5 * 0.307 * 3.5)$$

$$\sigma_{3.5m} = 20.8 \text{ kN/m}^2 \text{ olarak hesaplanır.}$$

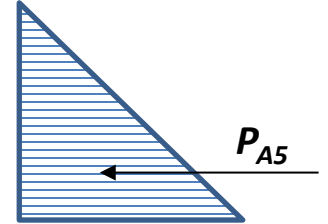
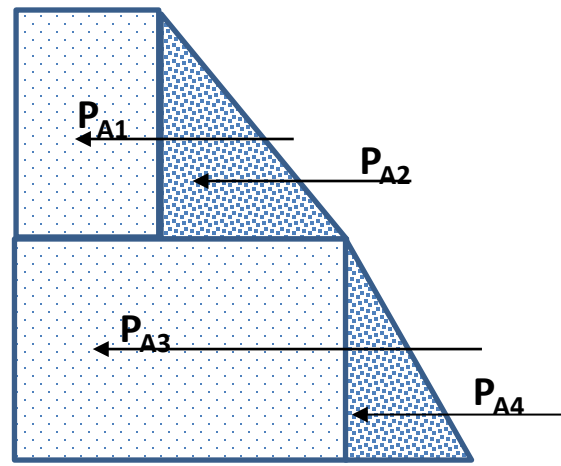
$$\begin{aligned} \sigma_{7m} &= [(q + (\gamma_1 * H)) * K_{A2}] + (\gamma'_2 * H_2 * K_{A2}) + (\gamma_w * H_2) \\ &= [(10 + (16.5 * 3.5)) * 0.333] + ((19.3 - 9.81) * 3.5 * 0.333) + (9.81 * 3.5) \\ &= 22.6 \text{ kN/m}^2 + 11.06 \text{ kN/m}^2 + 34.3 \text{ kN/m}^2 \text{ olarak hesaplanır.} \end{aligned}$$

UYGULAMALAR

ÇÖZÜM-4

Aktif toprak itkilerini hesaplayalım.

$$P_T = P_{A1} + P_{A2} + P_{A3} + P_{A4} + P_{A5}$$



$$P_{A1} = q * K_{A1} * H_1 = 0.307 * 10 * 3.5 = 10.745 \text{ kN/m}$$

$$P_{A2} = \frac{1}{2} * K_{A1} * \gamma_1 * H_1^2 = 31.03 \text{ kN/m}$$

$$P_{A3} = K_{A2} * (q + \gamma_1 * H_1) * H_2 = 78.96 \text{ kN/m}$$

$$P_{A4} = \frac{1}{2} * K_{A2} * \gamma'_2 * H_2^2 = 19.35 \text{ kN/m}$$

$$P_{A5} = \frac{1}{2} * \gamma_w * H_2^2 = 60.86 \text{ kN/m}$$

Artık P_T hesaplayabiliriz; $P_T = P_{A1} + P_{A2} + P_{A3} + P_{A4} + P_{A5} = 200.171 \text{ kN/m}$

$$\text{Bileşke kuvvetin etkiye yeri} = \sum P_i Y_i = \frac{\sum_{i=1}^5 P_i Y_i}{R}$$

UYGULAMALAR

ÇÖZÜM-4

NOT
 $\bar{h} = \frac{3.5 + 3.5}{2} = 5.25$
 $h_2 = 3.5 + \frac{h}{3} = 4.67$
 $h_3 = \frac{3.5}{2} = 1.75$
 $h_4 = \frac{3.5}{3} = 1.166$
 $h_5 = \frac{3.5}{3} = 1.166$

Bileşke kuvvetin etkime yeri

$$= \frac{10.745 * \left(3.5 + \frac{3.5}{2}\right) + \left(31.03 * \left(3.5 + \left(\frac{3.5}{3}\right)\right) + \left(78.96 * \frac{3.5}{2}\right) + 19.35 * \left(\frac{3.5}{3}\right) * (60.086 * \left(\frac{3.5}{3}\right))\right)}{200.171}$$

Bileşke kuvvetin etkime yeri

$$= \frac{56.41 + 144.91 + 138.18 + 22.575 + 70.100}{200.171} = \frac{432.175}{200.171} = 2.159m$$

UYGULAMALAR

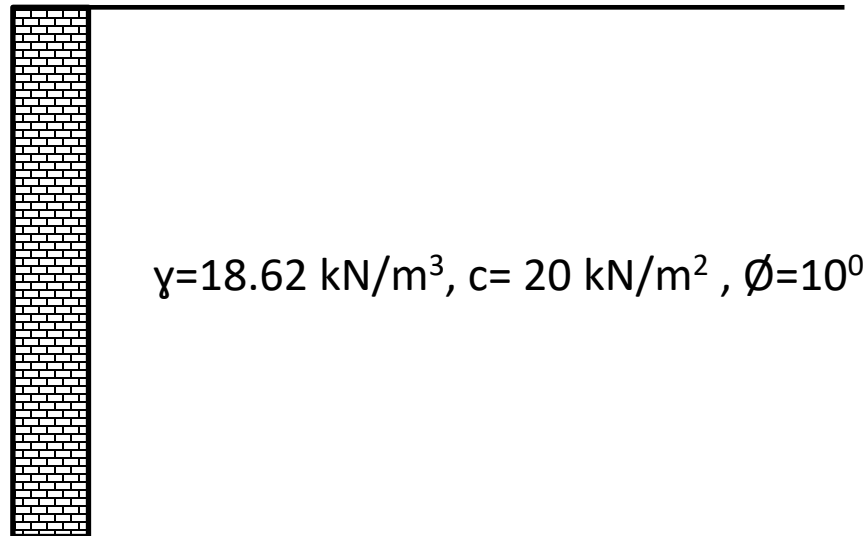
SORU-5

Düşey bir istinat duvarı 9 m yüksekliğinde olup kohezyonlu bir zemini tutmaktadır. Zeminin birim hacim ağırlığı 18.62 kN/m^3 kohezyonu 20 kN/m^2 ve içsel sürtünme açısı ise 10° dir.

Buna göre;

- Duvar arkasında sürtünme olmadığını ve drenaj yapıldığını düşünerek duvara gelen aktif itkiyi bulunuz.
- Y.A.S.S zemin yüzeyinde olursa drenajsız durumda duvara gelen aktif itkiyi bulunuz.

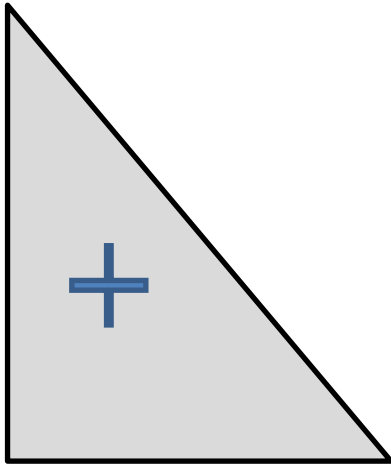
Not: Zeminin doymun birim hacim ağırlığı 20 kN/m^3 'dür.



UYGULAMALAR

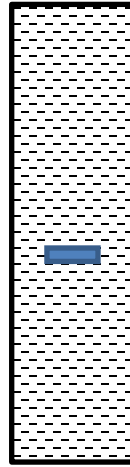
CEVAP a

İtki



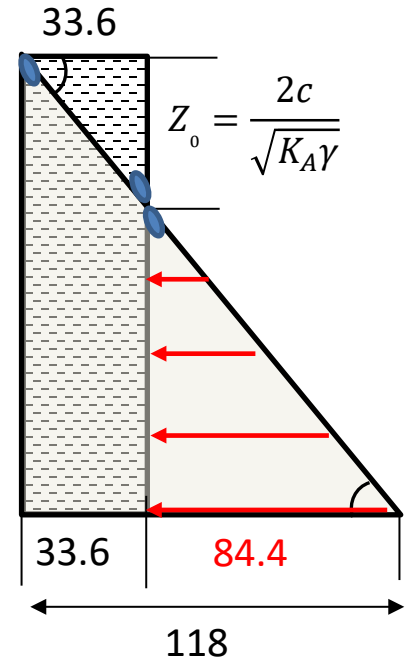
Toprak basıncı

Bir arada tutma



Kohezyon

Toplam diyagram



$$K_A = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2(40) = 0.704$$

$$\sigma_A = K_A * \gamma * H$$

$$\sigma_A = 0.704 * 18.62 \text{ kN/m}^3 * 9\text{m}$$

$$\sigma_A = 118 \text{ kN/m}^2$$

$$-2c\sqrt{K_A}$$

$$-2 * 20 * \sqrt{0.704}$$

$$-33 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{Z_0}{9\text{m}} = \frac{33.6}{118} = 2.6\text{m}$$

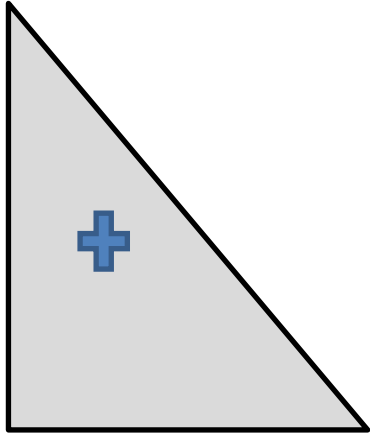
Z_0 formülden bulunabileceği gibi benzer üçgenlerden de hesaplanabilir.

$$P_A = \frac{1}{2} * \sigma_A * (H - Z_0) = \frac{1}{2} * 84.4 \text{ kN/m}^2 * (9 \text{ m} - 2.6\text{m}) = 270 \text{ kN/m}$$

UYGULAMALAR

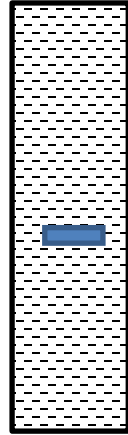
CEVAP b

İtki



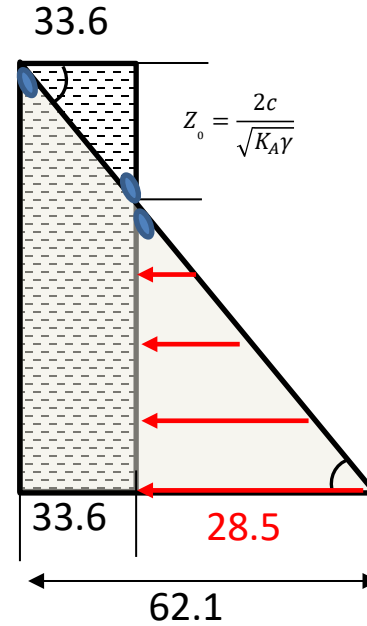
Toprak basıncı

Birarada tutma

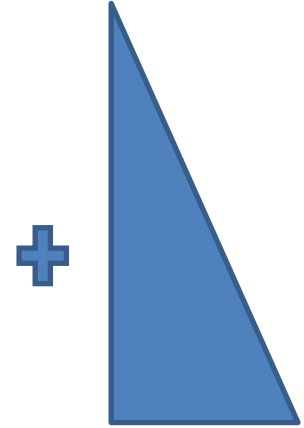


Kohezyon

Toplam diyagram



Su itkisi



88.2

$$\sigma_A = K_A * \gamma' * H$$

$$\sigma_A = 0.704 * (19.61 - 9.81) * 9$$

$$\sigma_A = 62.1 \text{ kN/m}^2$$

$$-2c\sqrt{K_A}$$

$$-2 * 20 * \sqrt{0.704}$$

$$-33 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{Z_0}{9m} = \frac{33.6}{62.1} = 4.87m$$

Z_0 formülden bulunabileceği gibi benzer üçgenlerden de hesaplanabilir.

$$\sigma_W = \gamma * H$$

$$\sigma_W = 88.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$P_{AT} = P_A + P_W$$

$$P_{AT} = \frac{1}{2} * \sigma_A * (H - Z_0) + \frac{1}{2} * \sigma_W * H_W = \frac{1}{2} * 28.5 * 4.1) + \frac{1}{2} * 88.2 * 9 = 455.75 \text{ kN/m}^2$$