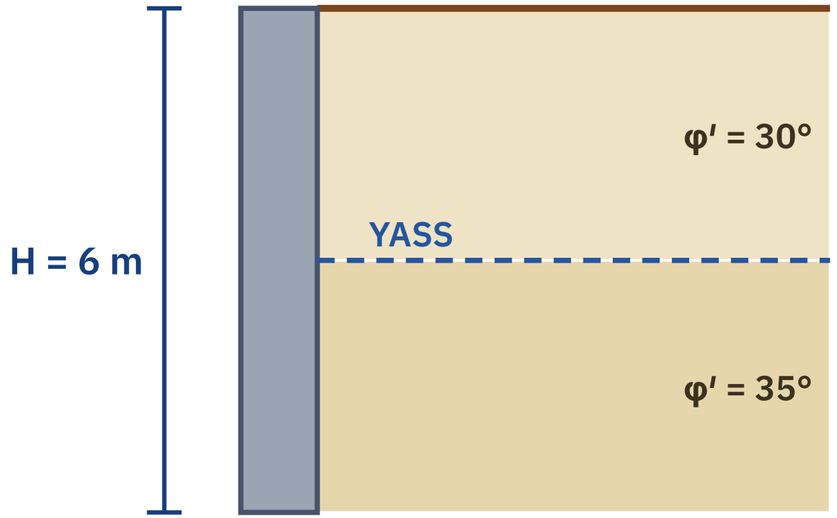
Geoteknik ders sunumu · Yanal toprak basıncı

Rankine yanal toprak basıncı

Ders anlatımı: sürtünmesiz düşey bir duvara etkiyen aktif ve pasif toprak basıncı; kohezyonsuz ve kohezyonlu dolgu, sürşarj, yeraltı suyu ve tabakalı zemin; her konuda çözümlü örnek.

- Aktif ve pasif durum
- $K_a = \tan^2(45° - \varphi'/2)$
- Sürşarj ve yeraltı suyu
- Tabakalı dolgu
- Çekme çatlağı



Giriş

Bu derste neler öğreneceğiz?

- Aktif ve pasif durumun Mohr dairesi ile **neden** $\sigma'_a = K_a\sigma'_o - 2c'\sqrt{K_a}$ olduğunu
- K_a ve K_p katsayılarını φ''den hesaplamayı; sükunet katsayısı K_0 ile karşılaştırmayı
- Kohezyonsuz dolguda basınç üçgeninden **kuvveti** ve **etkime yüksekliğini** bulmayı
- Sürşarjın, yeraltı suyunun ve tabaka sınırlarının diyagramı nasıl değiştirdiğini görmeyi
- c'–φ' ve $\varphi = 0$ zeminde **çekme bölgesini** ve çatlaklı / çatlaksız kuvveti ayırmayı
- Pasif direnci hesaplamayı ve duvarın ne kadar hareket etmesi gerektiğini bilmeyi

DERS AKIŞI

Her konu **üç adımda** işlenir:

1 · **Kuram**: kural nedir, neden öyle?

2 · **Soru**: verilenler ve istenen

3 · **Çözüm**: adım adım, sayılarla

Kuvvetler duvarın birim uzunluğu başınadır (kN/m); basınçlar kPa, tüm gerilmeler efektiftir.

Plastik denge ve Mohr dairesi

KURAM

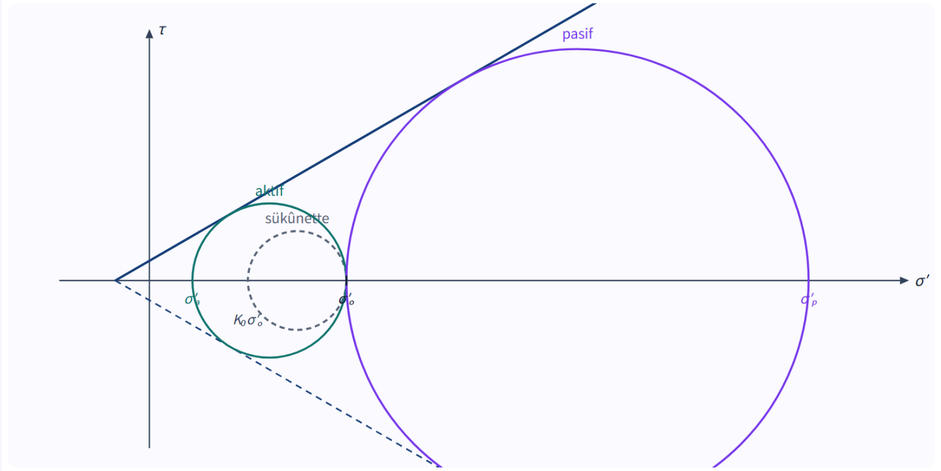
Rankine (1857), her noktası göçmenin eşiğinde olan bir zemin kütlesini inceledi. Düşey, sürtünmesiz bir duvar **zeminden uzaklaşırsa** yatay gerilme sükunetteki $K_0\sigma'_o$ değerinden düşer ve Mohr dairesi göçme zarfına dokunur: **aktif durum**. Duvar **zemine itilirse** yatay gerilme σ'_o'nin üstüne çıkar: **pasif durum**.

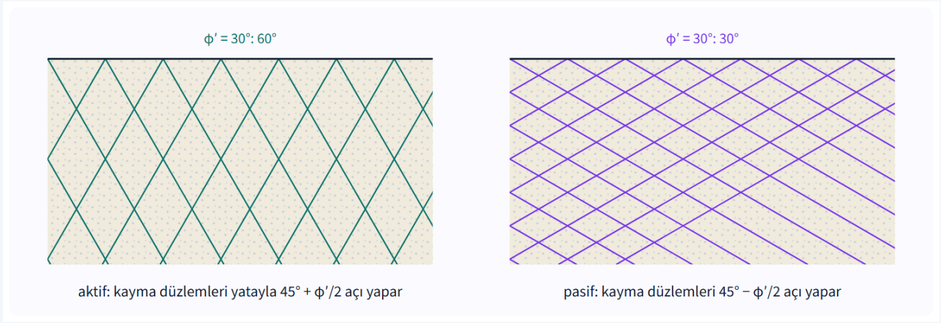
$$\sigma'_a = \sigma'_o \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi'}{2}\right) - 2c' \tan\left(45^\circ - \frac{\varphi'}{2}\right)$$

$$\sigma'_p = \sigma'_o \tan^2\left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2}\right) + 2c' \tan\left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2}\right)$$

σ'_o düşey efektif gerilmedir (çevre basıncı); duvarın arkasında en büyük asal gerilme düşeydir (aktifte) ya da yataydır (pasifte).

Kayma düzlemleri aktifte yatayla 45° + φ′/2, pasifte 45° − φ′/2 açı yapar.





K_a ve K_p katsayıları

KURAM

Mohr dairesinin geometrisinden iki katsayı tanımlanır; birbirinin tersidir:

$$K_a = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi'}{2}\right) = \frac{1-\sin\varphi'}{1+\sin\varphi'} \qquad K_p = \tan^2\left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2}\right) = \frac{1}{K_a}$$

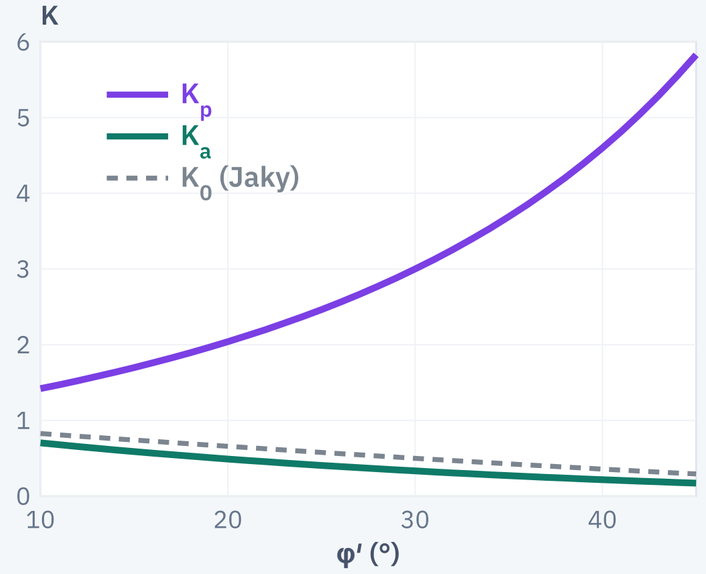
$$\sigma'_a = K_a\sigma'_o - 2c'\sqrt{K_a} \qquad \sigma'_p = K_p\sigma'_o + 2c'\sqrt{K_p}$$

φ′	25°	30°	35°	40°
K_a	0,406	0,333	0,271	0,217
K_p	2,464	3,000	3,690	4,599
K_0 (Jaky)	0,577	0,500	0,426	0,357

$K_a < K_0 < K_p$: duvar hareket etmeden önceki sükunet basıncı iki sınırın arasındadır.

K_p φ′ ile hızla büyür: φ′ = 40°'de pasif, aktifin 20 katından fazladır.

K_a, K_p ve K_0 – φ′



Soru

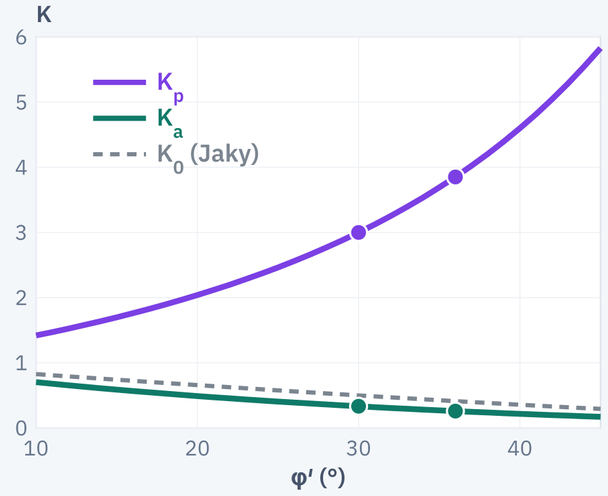
SORU

Verilenler

Zemin	**kohezyonsuz kum, $c' = 0$; iki durum: $\varphi' = 36^\circ$ ve $\varphi' = 30^\circ$**
Duvar	**düşey, sürtünmesiz; dolgu yüzeyi yatay**

İSTENEN

K_a, **K_p** ve Jaky'ye göre **K_0**; üçünün sıralamasını doğrulayın.



Çözüm

ÇÖZÜM

1 φ′ = 36°

$$K_a = \tan^2(45^\circ - 18^\circ) = \tan^2 27^\circ = \mathbf{0{,}2596} \qquad K_p = \tan^2 63^\circ = \frac{1}{K_a} = \mathbf{3{,}852}$$

2 φ′ = 30°

$$K_a = \frac{1 - \sin 30^\circ}{1 + \sin 30^\circ} = \frac{0{,}5}{1{,}5} = \mathbf{0{,}3333} \qquad K_p = \frac{1 + \sin 30^\circ}{1 - \sin 30^\circ} = \mathbf{3}$$

3 Sükunet katsayısı (Jaky): $K_0 = 1 - \sin\varphi'$

$$\varphi' = 36^\circ:\ K_0 = 1 - 0{,}5878 = \mathbf{0{,}4122} \qquad \varphi' = 30^\circ:\ K_0 = 1 - 0{,}5 = \mathbf{0{,}50}$$

Her iki zeminde de **$K_a < K_0 < K_p$**; $K_a \cdot K_p = 1$. φ′ 30°'den 36°'ye çıkınca K_a 0,333 → 0,260, K_p 3,00 → 3,85 olur.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Basınç üçgeni, kuvvet ve etkime yüksekliği

KURAM

c′ = 0 ve yatay yüzeyli dolguda basınç derinlikle **doğrusal** artar; diyagram üçgendir. Duvarın birim uzunluğuna gelen kuvvet üçgenin alanı, etkime noktası ağırlık merkezidir (tabandan H/3 yukarıda):

$$\sigma'_a = K_a \gamma z \qquad P_a = \tfrac{1}{2} K_a \gamma H^2 \qquad \bar{z} = \tfrac{H}{3}$$

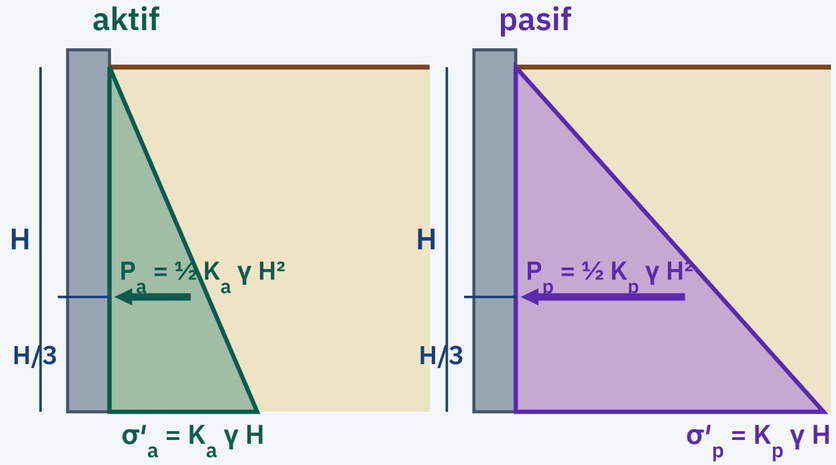
$$\sigma'_p = K_p \gamma z \qquad P_p = \tfrac{1}{2} K_p \gamma H^2 \qquad \bar{z} = \tfrac{H}{3}$$

Kuvvet **H²** ile büyür: duvarı iki katına çıkarmak kuvveti dört katına çıkarır.

Kuvvet duvara dik ve yataydır (sürtünmesiz duvar, δ′ = 0).

Birim: γ kN/m³, H m ise P kN/m.

İKİ SINIR DURUM



Soru

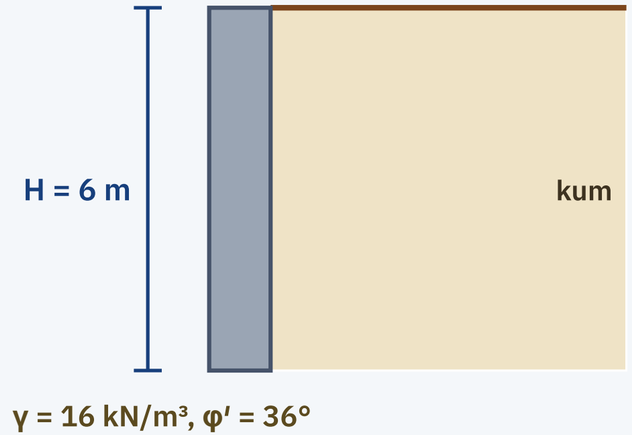
SORU

Verilenler

Duvar	$H = 6$ **m, düşey, sürtünmesiz; dolgu yüzeyi yatay**
Zemin	**kuru kum:** $\gamma = 16\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 36^\circ,\ c' = 0$

İSTENEN

Aktif ve **pasif** kuvvet P_a, P_p ile etkime yüksekliği; ayrıca sükunetteki kuvvet P_0.



Çözüm

ÇÖZÜM

1 Katsayılar (Örnek 1): $K_a = 0{,}2596$, $K_p = 3{,}852$

$$\sigma'_a(6) = K_a \gamma H = 0{,}2596(16)(6) = \mathbf{24{,}92}\ \text{kPa}$$

2 Aktif kuvvet (üçgenin alanı)

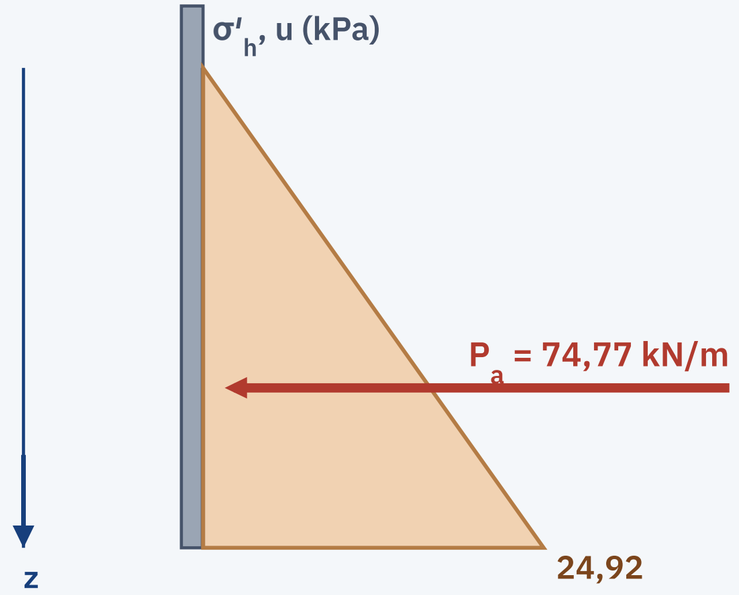
$$P_a = \tfrac{1}{2}\sigma'_a(6)\,H = \tfrac{1}{2}(24{,}92)(6) = \mathbf{74{,}77}\ \text{kN/m}$$

$$\bar{z} = \tfrac{6}{3} = \mathbf{2{,}0\ m}$$

3 Pasif kuvvet

$$P_p = \tfrac{1}{2}K_p \gamma H^2 = \tfrac{1}{2}(3{,}852)(16)(36) = \mathbf{1\,109{,}3}\ \text{kN/m}$$

$$\bar{z} = \tfrac{6}{3} = \mathbf{2{,}0\ m}$$



P_a = **74,77 kN/m**, P_p = **1 109,3 kN/m**, ikisi de tabandan 2,0 m yukarıda. Pasif direnç aktif itkinin **14,8 katıdır**; sükunetteki P_0 = 118,72 kN/m arada kalır.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Diyagramı değiştiren iki etki

KURAM

Düzgün sürşarj q her derinlikte aynı basıncı ekler: dikdörtgen eklenir. **Yeraltı suyunun** altında efektif gerilme $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$ ile hesaplanır, ayrıca su basıncı $u = \gamma_w(z - H_1)$ **tam değeriyle** eklenir:

$$P_a = K_a q H + \tfrac{1}{2} K_a \gamma H_1^2 + K_a \gamma H_1 H_2 + \tfrac{1}{2}\left(K_a \gamma' + \gamma_w\right) H_2^2$$

Bileşen	Kuvvet	Kol (tabandan)
Sürşarj (dikdörtgen)	$K_a\, q\, H$	$H/2$
Üst üçgen	$\tfrac{1}{2} K_a\, \gamma\, H_1^2$	$H_2 + H_1/3$
Alt dikdörtgen	$K_a\, \gamma\, H_1\, H_2$	$H_2/2$
Alt üçgen (efektif)	$\tfrac{1}{2} K_a\, \gamma'\, H_2^2$	$H_2/3$
Su basıncı	$\tfrac{1}{2} \gamma_w\, H_2^2$	$H_2/3$

Bileşenlerin momentini taban noktasına alarak etkime yüksekliği bulunur: $\bar{z} = \Sigma P_i z_i \,/\, \Sigma P_i$.

Pasif kuvvet aynı bileşenlerle K_p kullanılarak bulunur; su basıncı aynıdır.

NEDEN SU ÇOK ETKİLİ?

Suyun basıncı **sürtünme açısına bağlı değildir**: K_a yerine 1 ile çarpılır. Batık bölgede $\gamma' \approx \gamma_{sat}/2$ olduğundan efektif toprak basıncı küçülür, fakat su basıncı onu fazlasıyla karşılar.

Soru

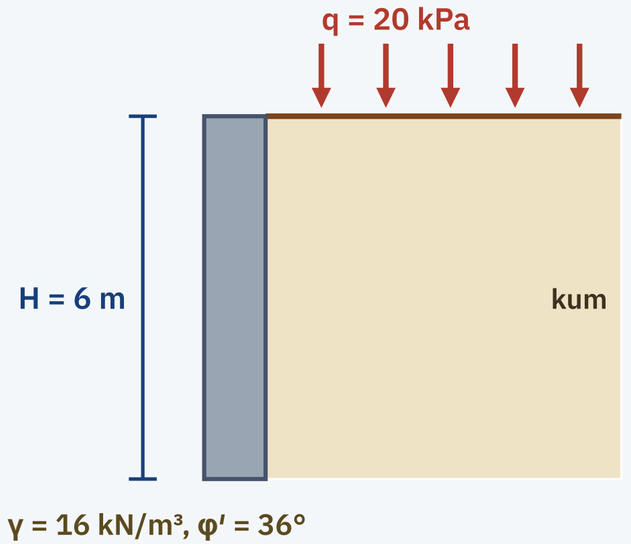
SORU

İSTENEN

P_a ve **$\bar{z}$**; sürşarjın etkisi.

Verilenler

Duvar ve zemin	**Örnek 2'deki duvar: $H = 6$ m, $\gamma = 16\ \mathrm{kN/m^3}$, $\varphi' = 36°$, kuru**
Sürşarj	**dolgu yüzeyinde düzgün yayılı $q = 20$ kPa**



Çözüm

ÇÖZÜM

1 Basınç: yüzeyde $K_a q$, tabanda $K_a q + K_a \gamma H$

$$\sigma'_a(0) = 0{,}2596(20) = 5{,}19 \text{ kPa}$$

$$\sigma'_a(6) = 5{,}19 + 24{,}92 = \mathbf{30{,}12} \text{ kPa}$$

2 Kuvvetler: dikdörtgen (kol 3,0 m) + üçgen (kol 2,0 m)

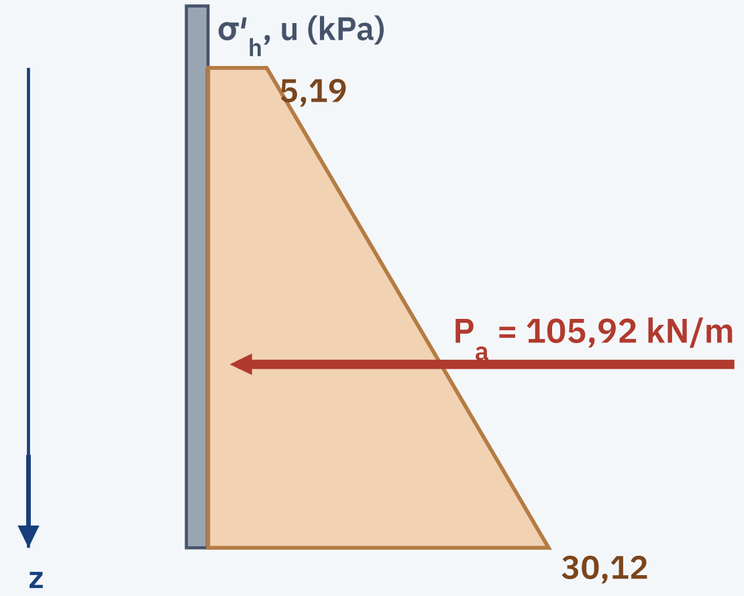
$$P_q = K_a q H = 5{,}19(6) = 31{,}15 \text{ kN/m}$$

$$P_\gamma = \tfrac{1}{2} K_a \gamma H^2 = 74{,}77 \text{ kN/m}$$

3 Toplam ve etkime yüksekliği

$$P_a = 31{,}15 + 74{,}77 = \mathbf{105{,}92} \text{ kN/m}$$

$$\bar{z} = \frac{31{,}15(3) + 74{,}77(2)}{105{,}92} = \mathbf{2{,}29} \text{ m}$$



Sürşarj kuvveti 31,15 kN/m (%42) artırdı; etkime noktası **2,00 m'den 2,29 m'ye** yükseldi (dikdörtgenin kolu H/2).

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

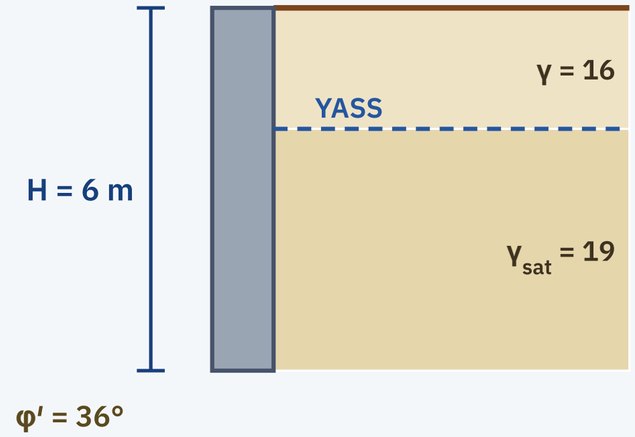
SORU

Verilenler

Duvar	$H = 6$ m, düşey; yatay yüzeyli kum dolgu, sürşarj yok
Zemin	üstte $\gamma = 16\ \mathrm{kN/m^3}$ (kuru); yeraltı su seviyesi 2 m derinlikte; altta $\gamma_{sat} = 19\ \mathrm{kN/m^3}$; $\varphi' = 36^\circ$

İSTENEN

Efektif toprak basıncı ve su basıncından **toplam kuvvet** ile etkime yüksekliği; suyun etkisi.



Çözüm

ÇÖZÜM

1 Efektif gerilmeler (z = 2 ve 6 m)

$$\sigma'_o(2) = 16(2) = 32\ \text{kPa}$$

$$\sigma'_o(6) = 32 + 4(19 - 9{,}81) = 68{,}76\ \text{kPa}$$

$$\sigma'_a(6) = K_a\sigma'_o(6) = \mathbf{17{,}85}\ \text{kPa}$$

2 Su basıncı tabanda: u = γ_W(6 − 2)

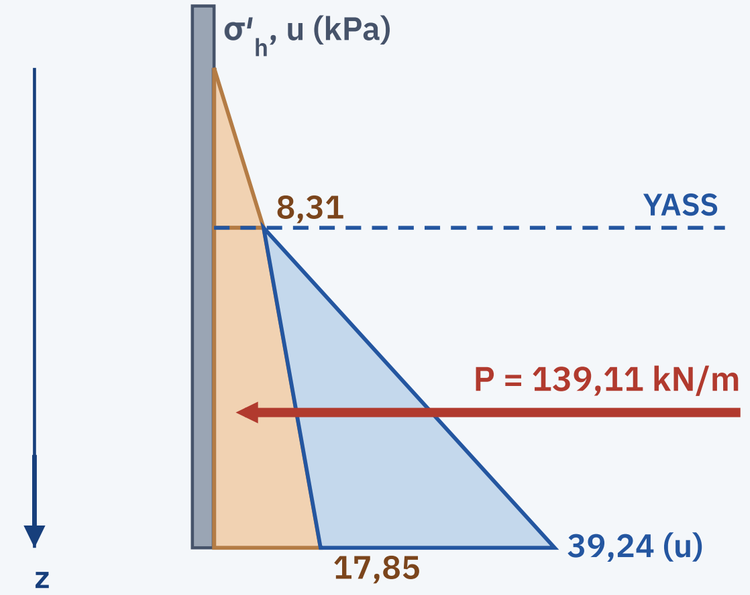
$$u(6) = 9{,}81(4) = \mathbf{39{,}24}\ \text{kPa}$$

3 Kuvvetler: üst üçgen · alt dikdörtgen · alt üçgen · su

$$P_a = 8{,}31 + 33{,}23 + 19{,}09 = 60{,}63\ \text{kN/m}\ (\text{zemin})$$

$$P_w = \tfrac{1}{2}(39{,}24)(4) = 78{,}48\ \text{kN/m}$$

Toplam = 60,63 + 78,48 = **139,11 kN/m**, **z̄ = 1,69 m**. Kuru duvarın kuvveti 74,77 kN/m idi: su kuvveti **1,9 katına** çıkardı.



Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Her tabaka kendi K değerini kullanır

KURAM

Dolgu birden çok tabakadan oluşuyorsa **düşey efektif gerilme σ′o süreklidir** (tabaka sınırında sıçramaz); ancak yatay gerilme σ′a = Kiσ′o her tabakada kendi Ki değerini kullandığından **φ′ değiştiği sınırda diyagram sıçrar**:

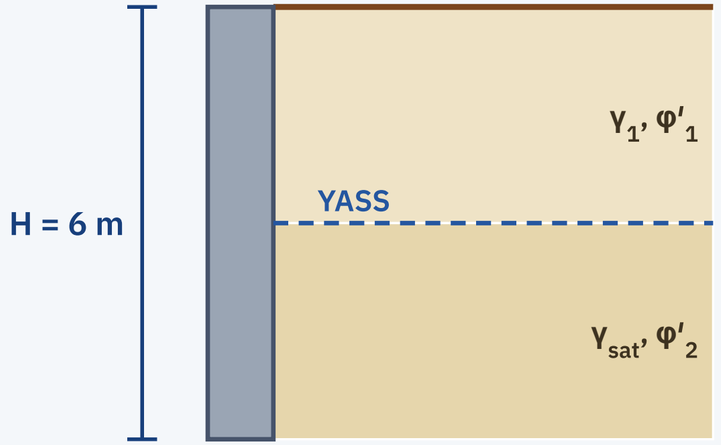
$$\sigma'_a = K_{a,i}\,\sigma'_o(z) \qquad \sigma'_o(z) = q + \sum \gamma_i h_i \;\; (\gamma' \text{ batık bölgede})$$

Sınırda iki değer okunur: üstteki tabakanın Ka,1σ′o değeri ve alttakinin Ka,2σ′o değeri. Alt tabakanın φ′ değeri büyükse basınç aşağı doğru **düşer**.

Yeraltı suyu bir tabaka sınırı gibi ele alınır: γ′ başlar, u eklenir.

Kuvvet her parçanın (üçgen / dikdörtgen) alanı toplanarak, etkime yüksekliği moment alınarak bulunur.

TABAKALI DOLGU VE SU



Soru

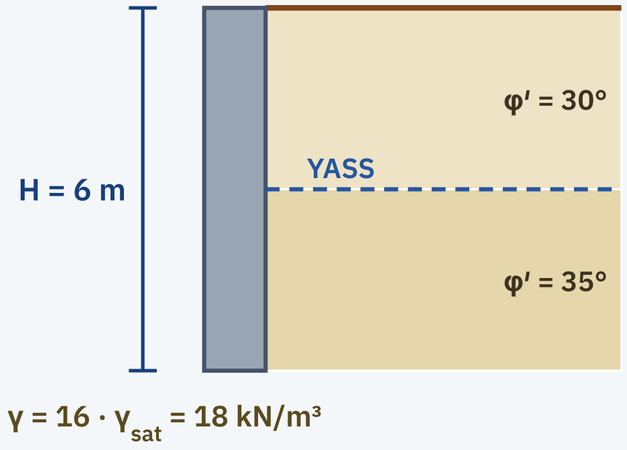
SORU

İSTENEN

Toplam **kuvvet** (zemin + su) ve **etkime yüksekliği**. Modülün açıldığı örnek bu duvardır.

Verilenler

Duvar	$H = 6$ **m, düşey, sürtünmesiz; yatay yüzey; sürşarj yok**
Üst tabaka (0–3 m)	**kum:** $\gamma = 16\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 30^\circ$
Alt tabaka (3–6 m)	**kum:** $\gamma_{sat} = 18\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 35^\circ$
Yeraltı su seviyesi	**3 m derinlikte (tabaka sınırında)**



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Katsayılar

$$K_{a,1} = \tfrac{1}{3} = \mathbf{0{,}3333} \qquad K_{a,2} = \tan^2 27{,}5^\circ = \mathbf{0{,}2710}$$

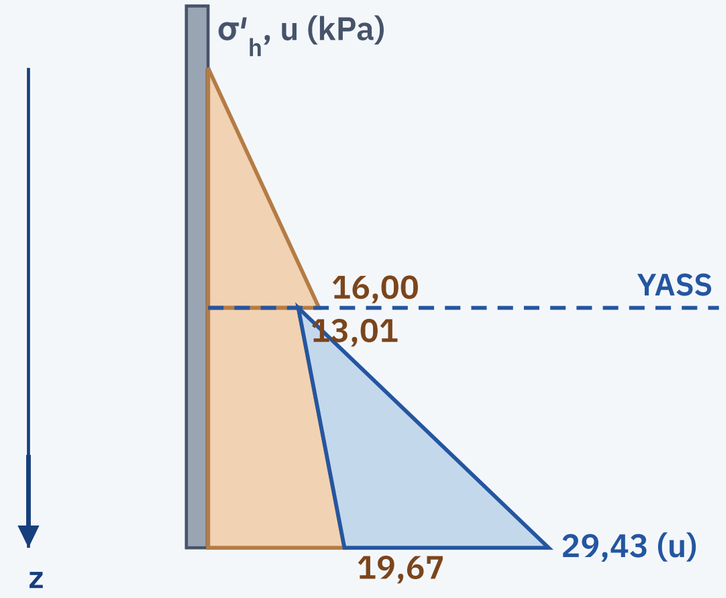
2 3 m derinlikte (sınır): $\sigma'_o = 16(3) = 48$ kPa

$$\sigma'_a = 0{,}3333(48) = \mathbf{16{,}00}\ \text{kPa (üstte)}$$
$$\sigma'_a = 0{,}2710(48) = \mathbf{13{,}01}\ \text{kPa (altta)}$$

3 6 m derinlikte (taban)

$$\sigma'_o = 48 + 3(18 - 9{,}81) = 72{,}57\ \text{kPa} \qquad u = 9{,}81(3) = \mathbf{29{,}43}$$
$$\sigma'_a = 0{,}2710(72{,}57) = \mathbf{19{,}67}\ \text{kPa}$$

Diyagram sınırda 16,00 → 13,01 kPa sıçrar (φ′ değişimi); σ'_o sürekli kalır.



Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

4 Kuvvetler: üst üçgen · alt dikdörtgen · alt üçgen · su

$$P = \tfrac{1}{2}(3)(16{,}00) + 3(13{,}01) + \tfrac{1}{2}(3)(6{,}66) + \tfrac{1}{2}(3)(29{,}43)$$
$$= 24{,}00 + 39{,}02 + 9{,}99 + 44{,}14 = \mathbf{117{,}15}\ \mathrm{kN/m}$$

5 Etkime yüksekliği: taban noktasına moment (kollar 4; 1,5; 1; 1 m)

$$\bar{z} = \frac{24{,}00(4) + 39{,}02(1{,}5) + 9{,}99(1) + 44{,}14(1)}{117{,}15} = \mathbf{1{,}78}\ \mathrm{m}$$

Toplam kuvvet **117,15 kN/m**, tabandan **1,78 m** yukarıda; zemin 73,01 kN/m, su 44,14 kN/m. Su yaklaşık %38 ile kuvvetin en büyük parçasıdır.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Çekme bölgesi ve çekme çatlakları

KURAM

c′–φ′ zeminde aktif basınç üstte **negatiftir** (zemin duvarı çekmeye çalışır); basıncın sıfır olduğu derinlik:

$$z_0 = \frac{2c'}{\gamma\sqrt{K_a}} - \frac{q}{\gamma} \qquad \varphi = 0 :\ z_0 = \frac{2c_u}{\gamma}$$

Zemin duvarı çekemez: zamanla z_0 derinliğine kadar **çekme çatlakları** açılır. Kuvvet yalnızca diyagramın pozitif kısmıdır:

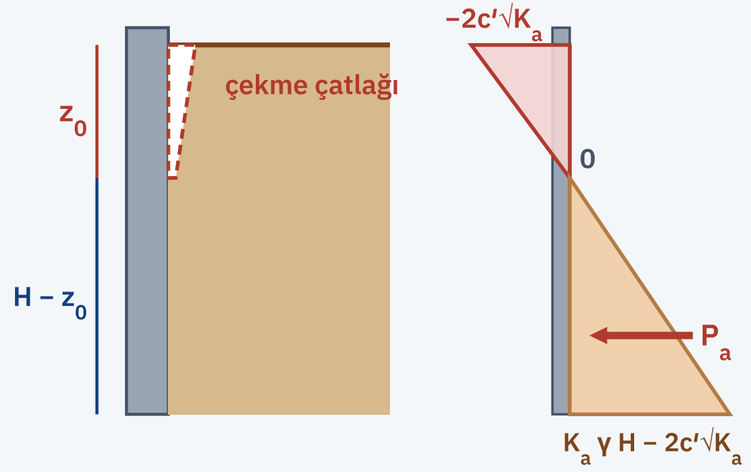
$$P_a = \tfrac{1}{2}\left[K_a(q+\gamma H) - 2c'\sqrt{K_a}\right](H - z_0)$$

Çatlamadan önce diyagramın tamamı sayılır (daha küçük kuvvet): $P_a = \tfrac{1}{2}K_a\gamma H^2 - 2c'\sqrt{K_a}\,H + K_a q H$.

Tasarımda çatlaklı (daha büyük) kuvvet esastır; çatlak suyla dolarsa buna $\gamma_w z_0^2/2$ hidrostatik kuvvet de eklenir.

Etkime yüksekliği pozitif üçgenin ağırlık merkezidir: $(H - z_0)/3$.

ÇEKME BÖLGESİ



Negatif basınç: üstte z_0 kadar derinlikte duvarla temas yoktur.

Soru

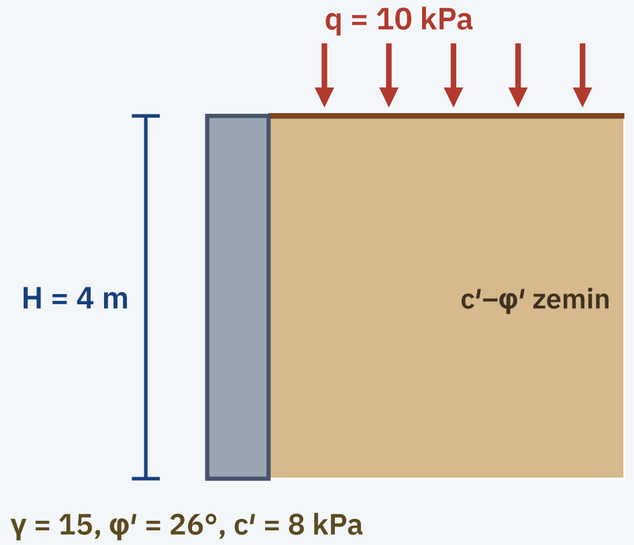
SORU

İSTENEN

Çekme derinliği z_0, çatlaklı aktif kuvvet ve etkime yüksekliği; çatlaksız kuvvetle karşılaştırma.

Verilenler

Duvar	$H = 4$ **m, düşey, sürtünmesiz; yatay yüzey**
Zemin	$\gamma = 15\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 26^\circ,\ c' = 8$ **kPa**
Sürşarj	$q = 10$ **kPa**



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 Katsayı: $K_a = \tan^2(45° - 13°)$

$$K_a = \tan^2 32^\circ = \mathbf{0{,}3905} \qquad \sqrt{K_a} = 0{,}6249$$

$$2c'\sqrt{K_a} = 2(8)(0{,}6249) = 10{,}00\ \text{kPa}$$

2 Üstte ve tabanda basınç

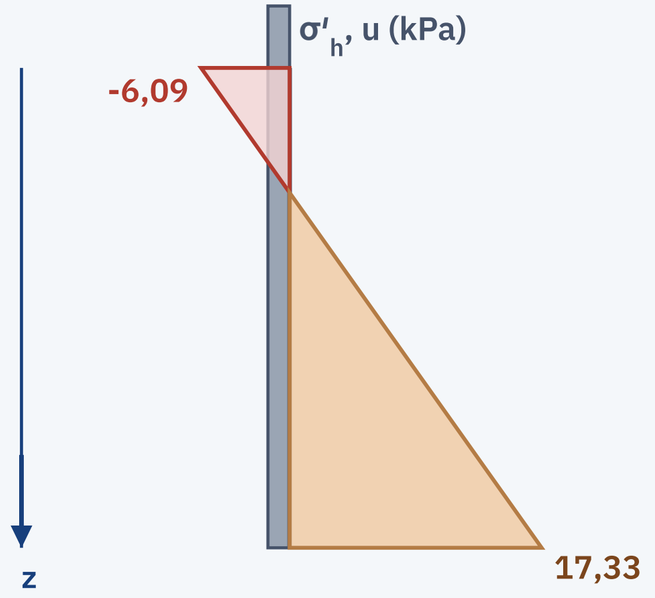
$$\sigma'_a(0) = 0{,}3905(10) - 10{,}00 = \mathbf{-6{,}09}\ \text{kPa (çekme)}$$

$$\sigma'_a(4) = 0{,}3905(10 + 15 \cdot 4) - 10{,}00 = \mathbf{17{,}33}\ \text{kPa}$$

3 Çekme derinliği (basıncın sıfır olduğu yer)

$$z_0 = \frac{2(8)}{15(0{,}6249)} - \frac{10}{15}$$

$$= 1{,}707 - 0{,}667 = \mathbf{1{,}04}\ \text{m}$$



Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

4 Çatlaklı kuvvet (yalnızca pozitif üçgen)

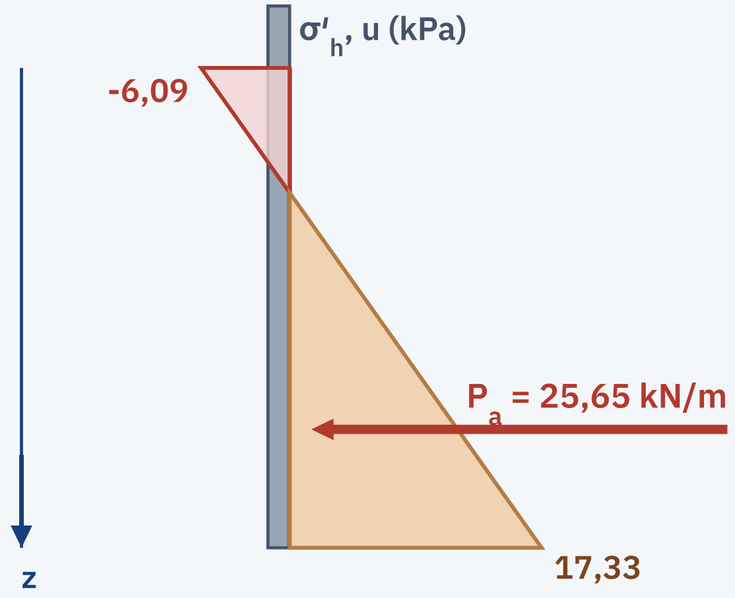
$$P_a = \tfrac{1}{2}(17{,}33)(4 - 1{,}04) = \mathbf{25{,}65}\ \mathrm{kN/m}$$

$$\bar{z} = \frac{4 - 1{,}04}{3} = \mathbf{0{,}99}\ \mathrm{m}$$

5 Karşılaştırma: çatlaksız (negatif bölge dahil)

$$P_a = \tfrac{1}{2}(-6{,}09 + 17{,}33)(4) = 22{,}48\ \mathrm{kN/m}$$

Çatlaklı kuvvet **25,65 kN/m**, çatlaksız kuvvetten %14 büyüktür; güvenli taraf çatlaklı değerdir.



Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

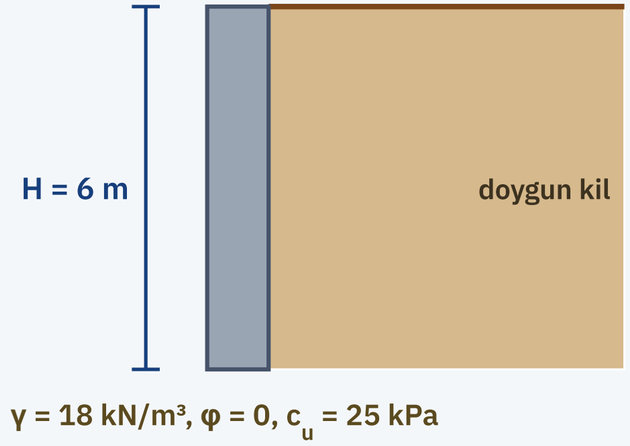
SORU

İSTENEN

z_0, çatlaklı ve çatlaksız aktif kuvvet; pasif kuvvet; duvarsız dik kesilebilecek yükseklik **H_c**.

Verilenler

Duvar	$H = 6$ **m, düşey; yatay yüzey; sürşarj yok**
Zemin	**doygun kil, drenajsız:** $\gamma = 18\ \mathrm{kN/m^3}$, $\varphi = 0$, $c_u = 25$ **kPa**



Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

1 φ = 0 için $K_a = K_p = 1$: çekme derinliği ve taban basıncı

$$\sigma_a = \gamma z - 2c_u = 18z - 50 \text{ kPa}$$

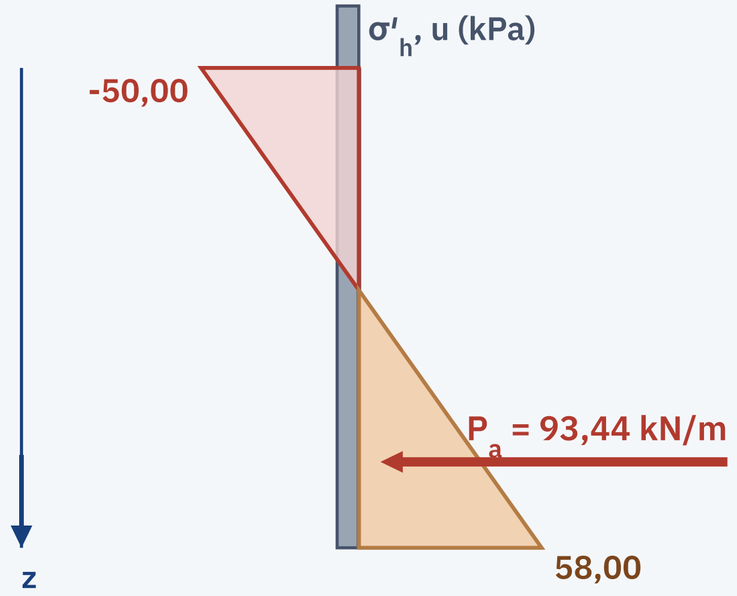
$$z_0 = \frac{2c_u}{\gamma} = \frac{50}{18} = \mathbf{2{,}78} \text{ m}$$

$$\sigma_a(6) = 108 - 50 = \mathbf{58} \text{ kPa}$$

2 Çatlaklı aktif kuvvet

$$P_a = \tfrac{1}{2}(58)(6 - 2{,}78) = \mathbf{93{,}44} \text{ kN/m}$$

$$\bar{z} = \frac{6 - 2{,}78}{3} = 1{,}07 \text{ m}$$



Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

3 Çatlaksız aktif kuvvet ve pasif kuvvet

$$P_a = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 - 2c_u H = 324 - 300 = \mathbf{24}\ \mathrm{kN/m}$$

$$P_p = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 + 2c_u H = 324 + 300 = \mathbf{624}\ \mathrm{kN/m}$$

4 Duvarsız dik kesilebilecek yükseklik (çatlaksız $P_a = 0$)

$$\tfrac{1}{2}\gamma H_c^2 - 2c_u H_c = 0 \ \Rightarrow\ H_c = \frac{4c_u}{\gamma} = \frac{4(25)}{18} = \mathbf{5{,}56}\ \mathrm{m}$$

Çatlaklı kuvvet (93,44 kN/m), çatlaksız kuvvetin (24 kN/m) **3,9 katıdır**: kohezyonlu zeminde çatlak kabulü sonucu belirler. H = 6 m, H_c = 5,56 m'den büyük olduğundan çatlaksız kuvvet bile pozitiftir.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Kohezyon pasif direnci artırır

KURAM

Pasifte kohezyon **her derinlikte** direnç ekler; çekme bölgesi ve çatlak yoktur. Üstte basınç sıfır değildir:

$$\sigma'_p(z) = K_p\,(q + \gamma z) + 2c'\sqrt{K_p}$$

$$P_p = \tfrac{1}{2}K_p\gamma H^2 + K_p q H + 2c'\sqrt{K_p}\,H \qquad \varphi = 0:\ P_p = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 + 2c_u H$$

Basınç diyagramı **yamuktur**: kohezyon ve sürşarj dikdörtgen, γz üçgen ekler.

Etkime yüksekliği moment alınarak bulunur (kohezyon payı H/2'de).

Pasif direnç, duvarın yeterince hareket etmesine bağlıdır; tasarımda tamamı kullanılmaz, katsayıyla azaltılır.

AKTİF – PASİF KARŞILAŞTIRMA

	Aktif	Pasif
Katsayı	$K_a < 1$	$K_p > 1$
Kohezyon	basıncı **azaltır** ($-2c'\sqrt{K_a}$)	direnci **artırır** ($+2c'\sqrt{K_p}$)
Çekme bölgesi	var (z_0)	yok
Kayma düzlemi	45° + φ′/2	45° – φ′/2
Gereken hareket	küçük	büyük

Soru

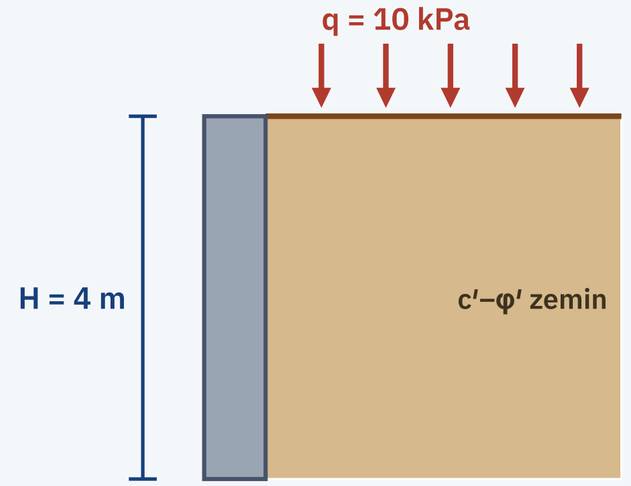
SORU

Verilenler

Duvar ve zemin	**Örnek 6'daki duvar ve zemin:** $H = 4$ **m,** $\gamma = 15\ \mathrm{kN/m^3}$, $\varphi' = 26^\circ$, $c' = 8$ **kPa**
Sürşarj	$q = 10$ **kPa (pasif tarafta)**

İSTENEN

Pasif kuvvet P_p ve etkime yüksekliği.



Çözüm

ÇÖZÜM

1 Katsayı: $K_p = \tan^2(45° + 13°)$

$$K_p = \tan^2 58° = \mathbf{2{,}561} \qquad 2c'\sqrt{K_p} = 2(8)(1{,}600) = 25{,}61\ \text{kPa}$$

2 Üstte ve tabanda basınç

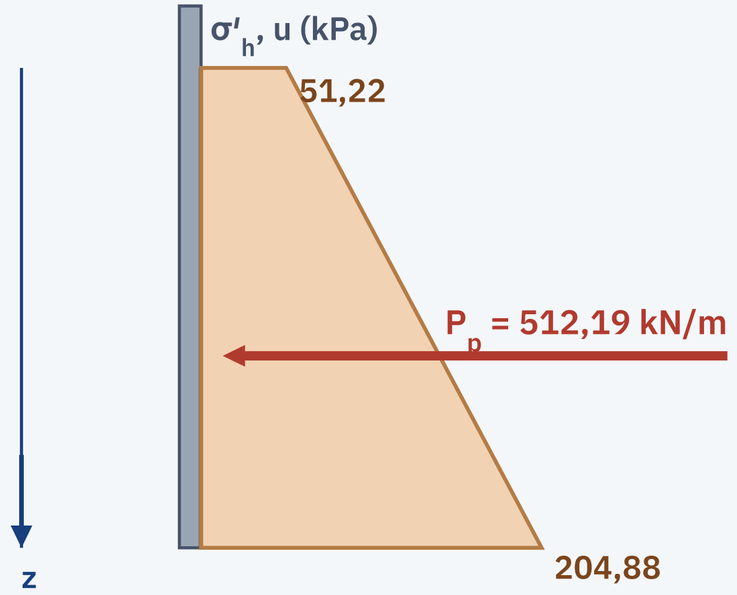
$$\sigma'_p(0) = 2{,}561(10) + 25{,}61 = \mathbf{51{,}22}\ \text{kPa}$$

$$\sigma'_p(4) = 2{,}561(10 + 60) + 25{,}61 = \mathbf{204{,}88}\ \text{kPa}$$

3 Yamuğun alanı ve ağırlık merkezi

$$P_p = \tfrac{1}{2}(51{,}22 + 204{,}88)(4) = \mathbf{512{,}2}\ \text{kN/m}$$

$$\bar{z} = \frac{51{,}22(4)(2) + \tfrac{1}{2}(153{,}66)(4)(\tfrac{4}{3})}{512{,}2} = \mathbf{1{,}60}\ \text{m}$$



Pasif direnç **512,2 kN/m**, tabandan 1,60 m yukarıda; aynı duvarın çatlaklı aktif kuvvetinin yaklaşık **20 katı**.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Aktif ve pasif durum ne kadar harekette oluşur?

KURAM

Rankine durumlarına ulaşmak için duvarın zeminden uzaklaşması (aktif) ya da zemine yaklaşması (pasif) gerekir. **Pasif için gereken hareket aktifinkinden çok daha büyüktür**; H yüksekliğine oranla:

Zemin	Aktif $\Delta L_a/H$	Pasif $\Delta L_p/H$	H = 6 m için aktif	H = 6 m için pasif
Gevşek kum	0,001–0,002	0,01	6–12 mm	60 mm
Sıkı kum	0,0005–0,001	0,005	3–6 mm	30 mm
Yumuşak kil	0,02	0,04	120 mm	240 mm
Katı kil	0,01	0,02	60 mm	120 mm

Hareket bu değerlere ulaşmazsa basınç K_a'dan büyük, K_p'den küçük kalır; duvar tamamen tutulu ise sükunet basıncı K_0 oluşur.

Tabanı etrafında dönen bir duvar için bu oranlar tepe hareketine uygulanır.

Rankine çözümünün kapsamı

KURAM

Duvar: düşey ve pürüzsüz ($\delta' = 0$); basınç yatay ve duvara diktir. Gerçekte duvar sürtünmesi aktif kuvveti azaltır, pasif kuvveti artırır; Rankine aktifte biraz güvenli tarafta, pasifte tutucu (güvenli) taraftadır.

Dolgu: yüzey yatay, her tabaka homojen; kayma yüzeyleri düzlem. Eğimli dolgu ve eğik duvar için Rankine (eğimli dolgu) modülüne bakın.

Gerilmeler: efektif gerilme esastır; su basıncı ayrıca eklenir, kil için drenajsız ($\varphi = 0$) çözüm toplam gerilmeyle de kullanılabilir.

Sürşarj: düzgün yayılı yüktür; şerit, noktasal ve çizgi yük modülleri ayrı ele alınır.

Deprem: Rankine statik çözümdür; deprem için Mononobe–Okabe ve depremde pasif modülleri kullanılır.

Özet

Akılda kalacak noktalar

Durumlar: aktif (duvar uzaklaşır) $\sigma'_a = K_a\sigma'_o - 2c'\sqrt{K_a}$; pasif (duvar itilir) $\sigma'_p = K_p\sigma'_o + 2c'\sqrt{K_p}$

Katsayılar: $K_a = \tan^2(45° - \varphi'/2)$, $K_p = 1/K_a$; $K_a < K_0 = 1 - \sin\varphi' < K_p$

Kohezyonsuz dolgu: $P = \tfrac{1}{2}K\gamma H^2$, tabandan $H/3$; kuvvet H^2 ile büyür

Sürşarj dikdörtgen ($K\,q\,H$, kol $H/2$) ekler; **su** φ''den bağımsız tam $u = \gamma_w(z - H_1)$ ekler ve kuvveti kat kat artırır

Tabakalarda σ'_o süreklidir, σ'_a φ' değişen sınırda sıçrar; kuvvet parçalara bölünerek, $\bar{z}$ moment alınarak bulunur

c'–φ' zeminde $z_0 = 2c'/(\gamma\sqrt{K_a}) - q/\gamma$; çekme çatlağında kuvvet yalnızca pozitif üçgendir, çatlaksız kuvvetten büyüktür

Pasif kohezyonla artar, çekme bölgesi yoktur; ama duvarın aktife göre **çok daha fazla** hareket etmesi gerekir

Kaynaklar

Das, B.M. (2018). Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed. Cengage Learning.

Rankine, W.M.J. (1857). On the stability of loose earth. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 147, 9–27.

NOT

Sayısal örneklerin tümü modülün kendi hesap motoruyla üretilmiştir; modül aynı değerleri verir. Modül Örnek 5'teki iki katmanlı duvarla açılır.

GeoTerva

Çevrim içi geoteknik hesaplar

Teoriden uygulamaya

Kendi duvarınızın tabakalarını, sürşarjını ve yeraltı su seviyesini GeoTerva'da girin; modül basınç diyagramını, kuvveti ve etkime yüksekliğini birlikte verir.

Modülü açın →

Teori sayfası →

Telefonla açın
Örnek modüller kayıt gerektirmez.