

دانشگاه مازندران
دانشکده فنی و مهندسی - گروه عمران - گرایش مکانیک
خاک و پی

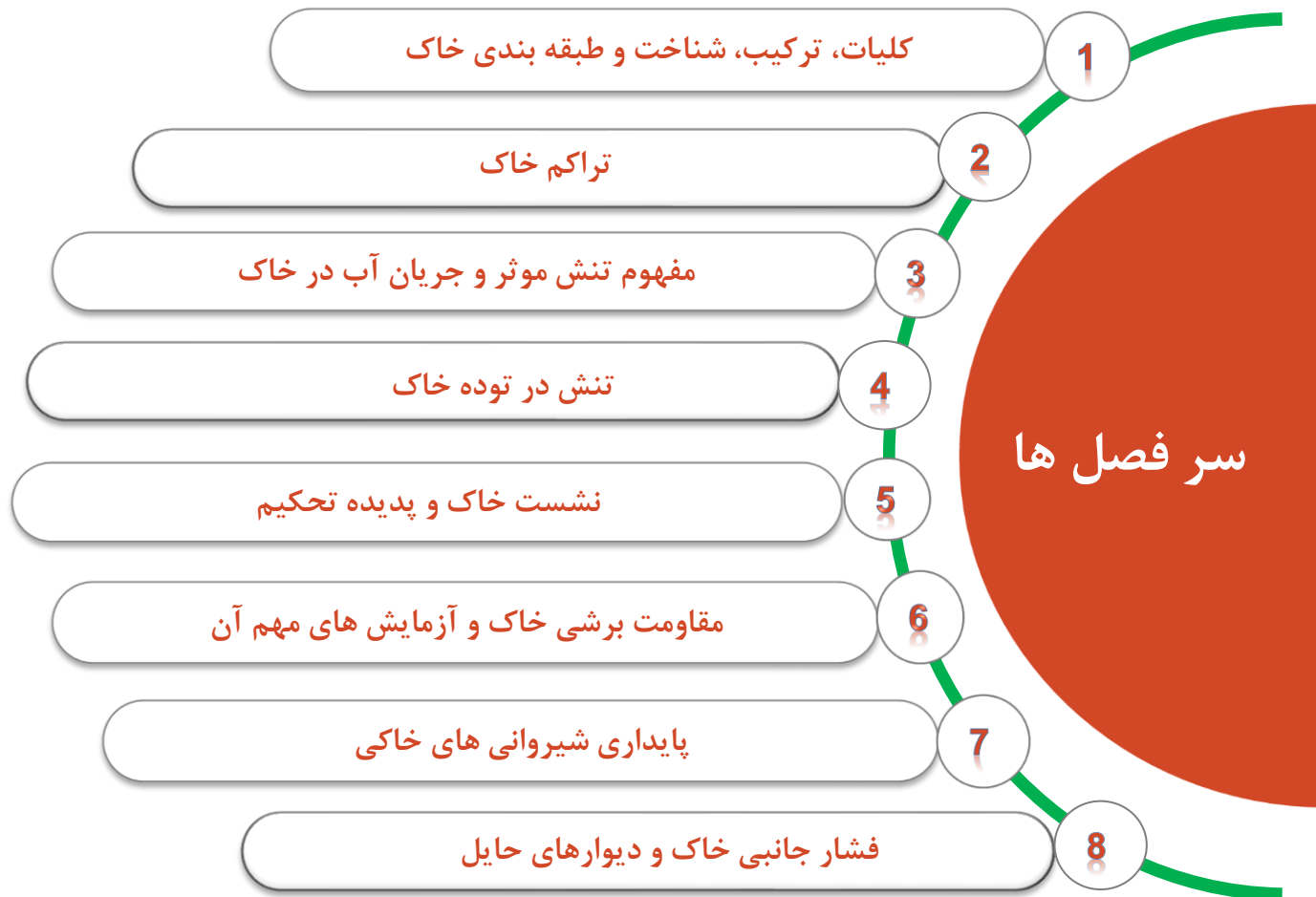
موضوع درس:

مکانیک خاک (Soil Mechanics)

مدرس: علی عسگری (Ali Asgari)

نیمسال اول تحصیلی ۹۵-۹۶

مکانیک خاک (Soil Mechanics)



فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

Earth Pressure and Retaining Structures

مقدمه

برای جلوگیری از ریزش خاک از دیوار حائل استفاده می شود. دیوار کاربردهای فراوانی دارد. بطور مثال در راهسازی، پل سازی، محوطه سازی، ساختمان سازی، و دیوارهای ساحلی ... در طراحی دیوارهای حائل علاوه بر کنترل سازه ای (تعیین خمش و برش) و برآورد میلگردهای سازه ای باید در مقابل واژگونی، لغزش و ظرفیت باربری نیز کنترل کرد.



کلیات، ترکیب...

تراکم خاک

تنش موثر و نشست

تنش در توده خاک

نشست خاک

مقاومت برشی خاک

پایداری شیروانی

فشار جانبی خاک

فشار جانبی خاک و دیوارهای حائل

انواع دیوارهای حائل

۱- وزنی ۴-۵ متر

۲- نیمه وزنی

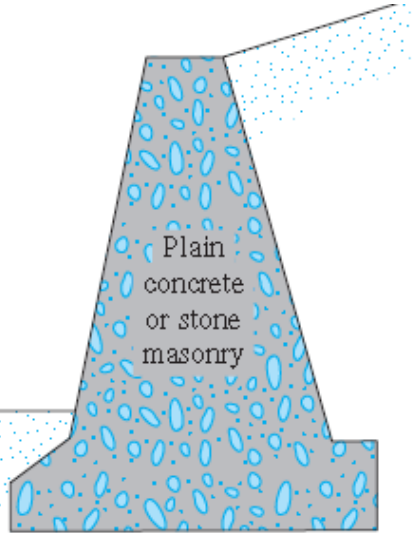
۳- طره ای ۶-۸ متر

۴- پشت بنددار

کلیات، ترکیب...

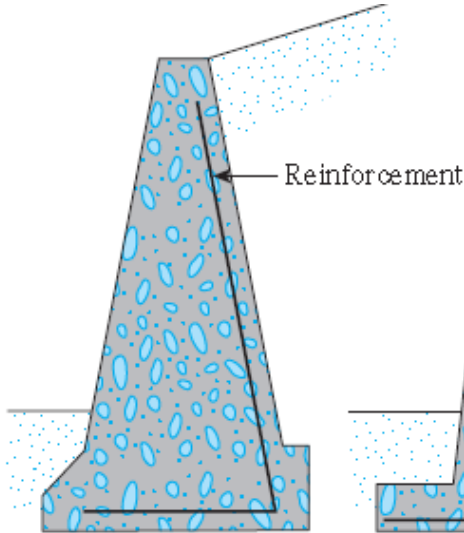
تراکم خاک

تنش موثر و نشست



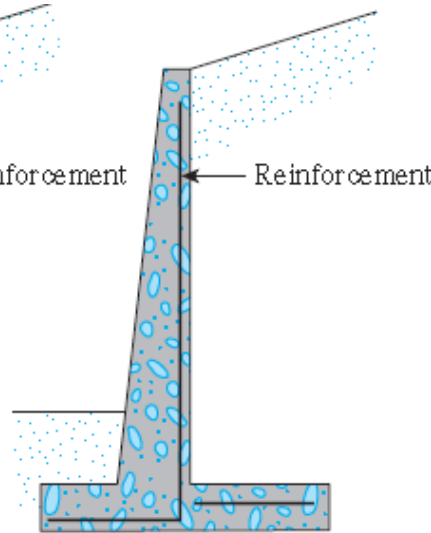
(a) Gravity wall

وزنی ۴-۵ متر



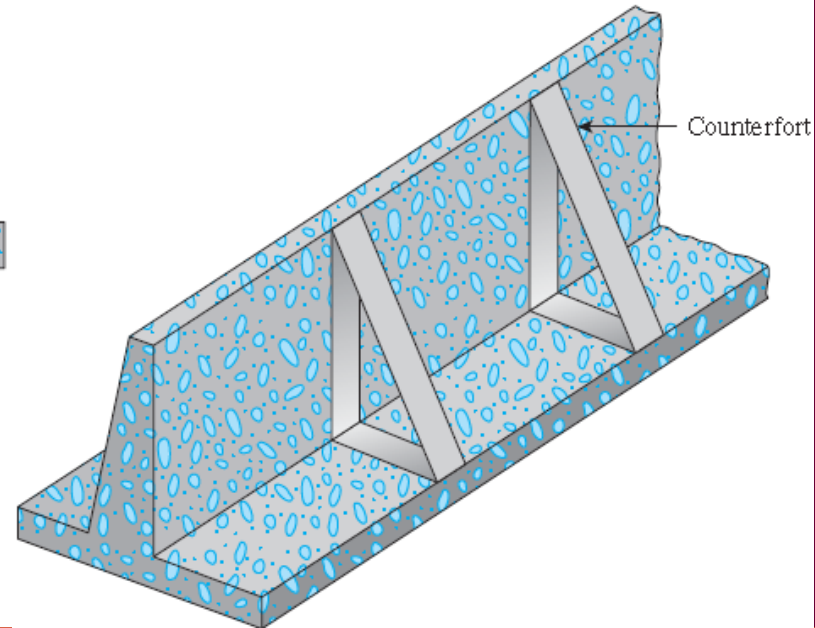
(b) Semigravity wall

نیمه وزنی



(c) Cantilever wall

طره ای ۶-۸ متر



پشت بنددار

فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

۱- فشار جانبی در حالت سکون Earth Pressure At-Rest

۲- تئوری رانکین برای فشار محرک Rankine's Theory of Active Pressure

۳- تئوری رانکین برای فشار مقاوم Rankine's Theory of Passive Pressure

۴- تئوری کولمب برای فشار محرک Coulomb's Active Pressure

۵- تئوری کولمب برای فشار مقاوم Coulomb's Passive Pressure

تعیین فشار خاک
پشت دیوارهای
حائل

کلیات، ترکیب...

تراکم خاک

تنش موثر و نشست

تنش در توده خاک

نشست خاک

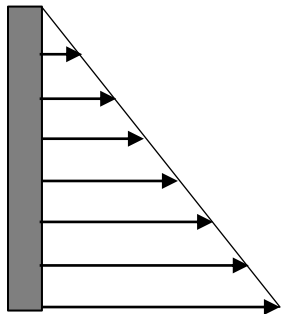
مقاومت برشی خاک

پایداری شیروانی

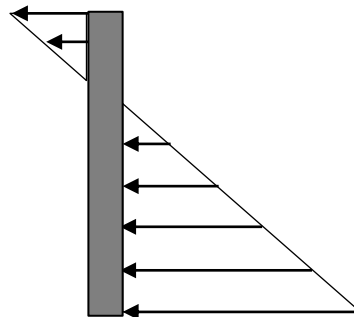
فشار جانبی خاک

فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

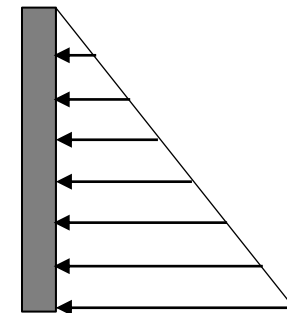
فشار در حالت مقاوم
Active Earth Pressure



فشار در حال محرک
Active Earth Pressure



فشار در حال سکون
At-Rest



$$\sigma_h = k_p \sigma'_v + 2c\sqrt{k_p} + u$$

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

$$\sigma_h = k_a \sigma'_v - 2c\sqrt{k_a} + u$$

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

$$\sigma_h = k_0 \sigma'_v + u$$

k_0 بسته به شرایط و نوع خاک تغییر می کند.

$$k_0 = \frac{\nu}{1 - \nu}$$

ضریب فشار جانبی الاستیک

$$k_0 = 1 - \sin \phi$$

ماسه شل و متوسط

$$k_0 = 1 - \sin \phi + \left\{ \frac{\gamma_d}{(\gamma_d)_{\min}} - 1 \right\} \times 5.5$$

ماسه متراکم

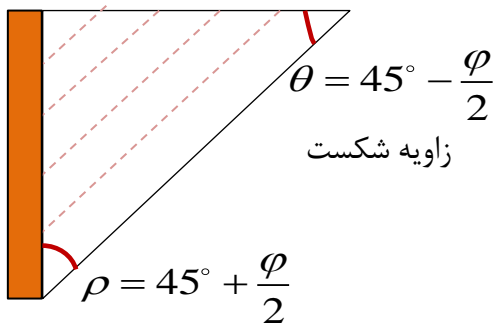
$$k_0 = (0.95 - \sin \phi)$$

رس عادی تحکیم

$$k_0 = (0.95 - \sin \phi) \sqrt{\text{OCR}}$$

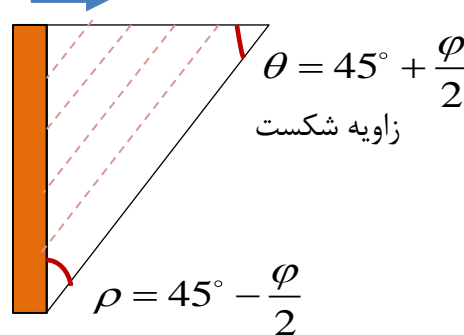
رس پیش تحکیم

Δx



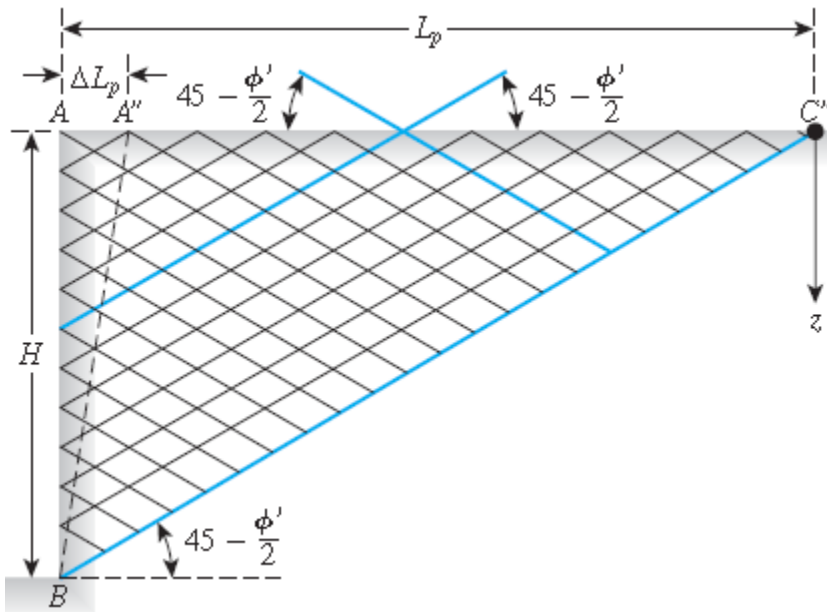
6

Δx

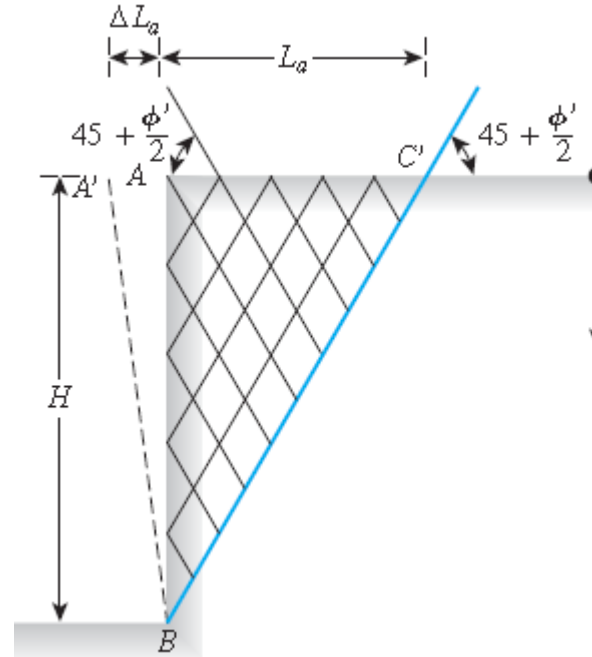


فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

زاویه شکست:



حالت مقاوم



حالت محرک

کلیات، ترکیب...

تراکم خاک

تنش موثر و نشست

تنش در توده خاک

نشست خاک

مقاومت برشی خاک

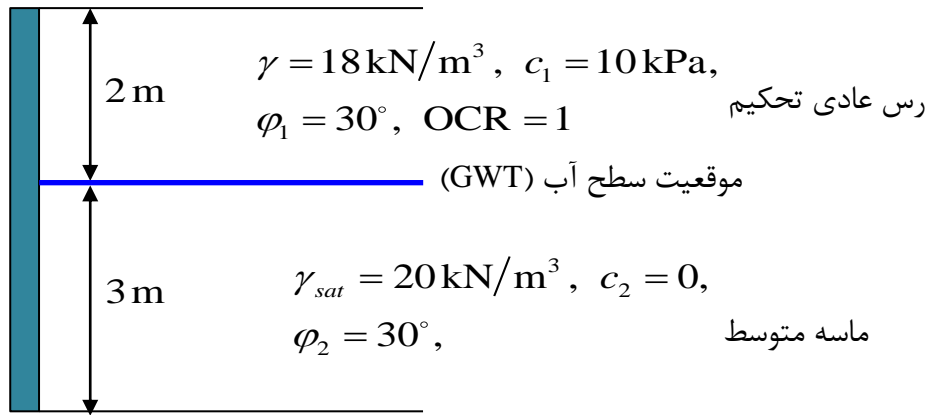
پایداری شیروانی

فشار جانبی خاک

فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

مثال: دیواری به ارتفاع ۵ متر در شکل نشان داده شده است. مطلوبست تعیین:

الف) فشار در حالت سکون ب) فشار محرک و عمق ترک ج) فشار مقاوم



حل الف:

برای خاک ۱ رس عادی تحکیم $(k_0)_1 = (0.95 - \sin \phi) = 0.95 - \sin 30 = 0.45$

برای خاک ۲ ماسه متوسط $(k_0)_2 = 1 - \sin \phi = 1 - \sin 30 = 0.5$

$$\sigma_h = k_0 \sigma'_v + u$$

کلیات، ترکیب...

تراکم خاک

تنش موثر و نشست

تنش در توده خاک

نشست خاک

مقاومت برشی خاک

پایداری شیروانی

فشار جانبی خاک

فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

$$(k_0)_1 = 0.45$$

$$(k_0)_2 = 0.5$$

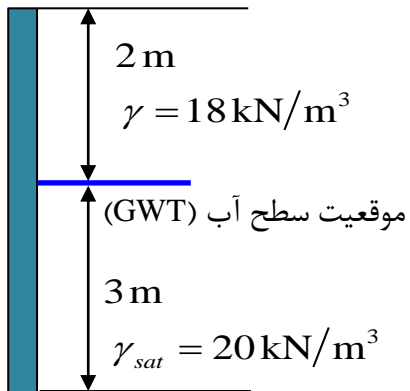
حل الف: واحد تنش ها بر حسب کیلو پاسکال است.

$$\sigma_h = k_0 \sigma'_v + u$$

$$z = 0, \quad \sigma'_v = \gamma' h = 0, \quad \sigma_h = k_0 \times 0 + 0 = 0$$

$$\begin{cases} z = 2^-, & \sigma'_v = \gamma' h = 18 \times 2 = 36, & \sigma_h = (k_0)_1 \sigma'_v + u = 0.45 \times 36 + 0 = 16.2 \\ z = 2^+, & \sigma'_v = \gamma' h = 18 \times 2 = 36, & \sigma_h = (k_0)_2 \sigma'_v + u = 0.5 \times 36 + 0 = 18 \end{cases}$$

$$z = 5, \quad \sigma'_v = 18 \times 2 + (20 - 10)3 = 66, \quad \sigma_h = (k_0)_2 \sigma'_v + u = 0.5 \times 66 + 3 \times 10 = 63$$

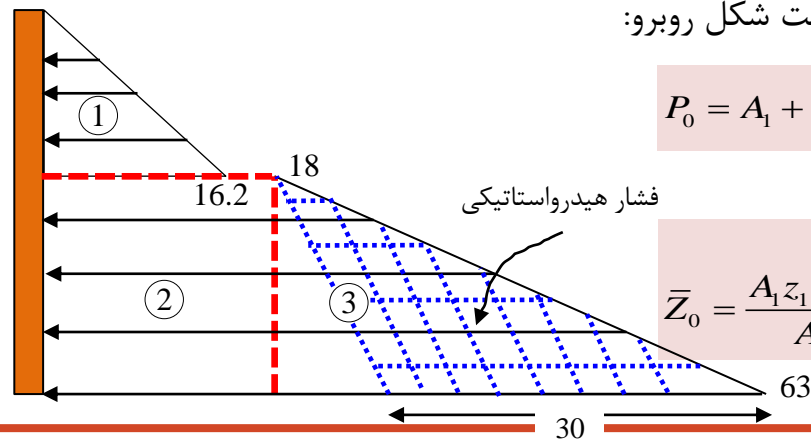


اگر بخواهیم نیروی وارد بر طول واحد دیوار را تعیین کنیم برابر است با مساحت شکل روبرو:

$$P_0 = A_1 + A_2 + A_3 = \frac{16.2 \times 2}{2} + 18 \times 3 + \frac{63 - 18}{2} \times 3 = 137.7$$

محل اثر نیروی وارد بر طول واحد دیوار نسبت با پای دیوار:

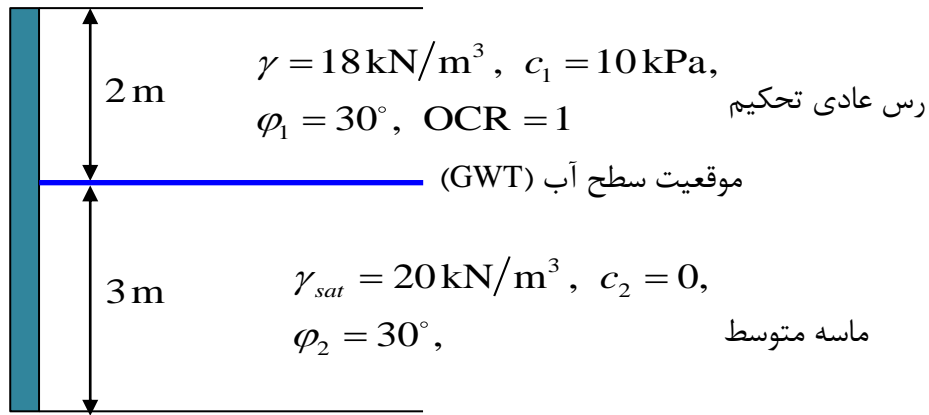
$$\bar{z}_0 = \frac{A_1 z_1 + A_2 z_2 + A_3 z_3}{A_1 + A_2 + A_3} = \frac{16.2 \times \left(\frac{2}{3} + 3\right) + 18 \times 3 \times 1.5 + (63 - 18) \times 1.5 \times 1}{137.7} = 1.5 \text{ m}$$



فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

مثال: دیواری به ارتفاع ۵ متر در شکل نشان داده شده است. مطلوبست تعیین:

الف) فشار در حالت سکون ب) فشار محرک و عمق ترک ج) فشار مقاوم



حل ب: فشار محرک رانکین

$$\text{برای خاک ۱ رس عادی تحکیم} \quad (k_a)_1 = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{30}{2} \right) = \frac{1}{3}$$

$$\text{برای خاک ۲ ماسه متوسط} \quad (k_a)_2 = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{30}{2} \right) = \frac{1}{3}$$

$$\sigma_h = k_a \sigma'_v - 2c\sqrt{k_a} + u$$

کلیات، ترکیب...

تراکم خاک

تنش موثر و نشست

تنش در توده خاک

نشست خاک

مقاومت برشی خاک

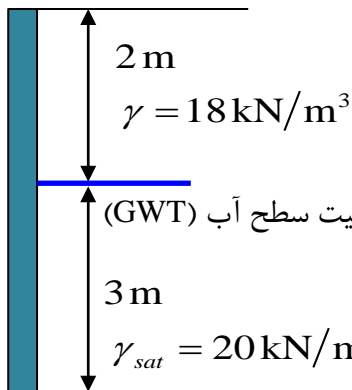
پایداری شیروانی

فشار جانبی خاک

فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

$$(k_a)_1 = (k_a)_2 = \frac{1}{3}$$

$$\sigma_h = k_a \sigma'_v - 2c\sqrt{k_a} + u \quad \text{حل ب: فشار محرک رانکین}$$

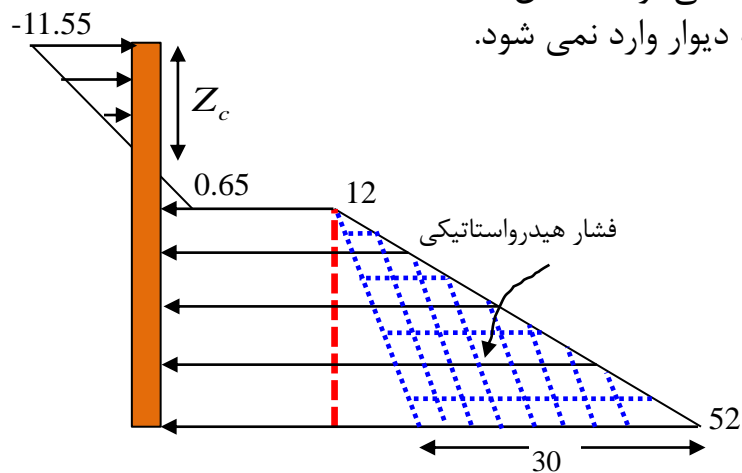


$$z = 0, \quad \sigma'_v = 0, \quad u = 0, \quad \sigma_h = 0 - 2 \times 10 \sqrt{3}/3 + 0 = -11.55$$

$$\begin{cases} z = 2^-, & \sigma'_v = 36, & \sigma_h = (k_a)_1 \sigma'_v - 2c_1 \sqrt{(k_a)_1} + u = 0.33 \times 36 - 2 \times 10 \sqrt{0.33} = 0.65 \\ z = 2^+, & u = 0, & \sigma_h = (k_a)_2 \sigma'_v - 2c_2 \sqrt{(k_a)_2} + u = 0.33 \times 36 + 0 = 12 \end{cases}$$

$$z = 5, \quad \sigma'_v = 66, \quad u = 30, \quad \sigma_h = (k_a)_2 \sigma'_v - 2c_2 \sqrt{(k_a)_2} + u = 0.33 \times 66 + 3 \times 10 = 52$$

نکته بسیار مهم: در جایی که خاک تحت تنش کششی قرار دارد، چون خاک نمی تواند کشش تحمل کند در نتیجه ترک می خورد و در قسمت ترک خورده هیچ تنشی به دیوار وارد نمی شود. برای تعیین عمق ترک از رابطه زیر استفاده می کنیم:



$$\sigma_h = k_a \sigma'_v - 2c\sqrt{k_a} = k_a \gamma' Z_c - 2c\sqrt{k_a} = 0$$

$$Z_c = \frac{2c}{\gamma' \sqrt{k_a}} = \frac{2 \times 10}{18 \sqrt{0.33}} = 1.92 \text{ m}$$

فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

حل ب: فشار محرک رانکین

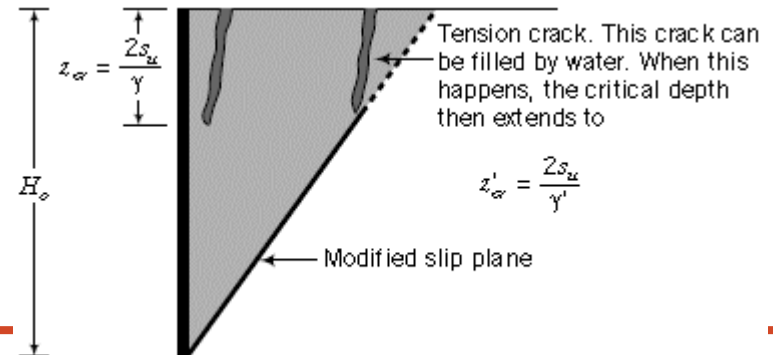
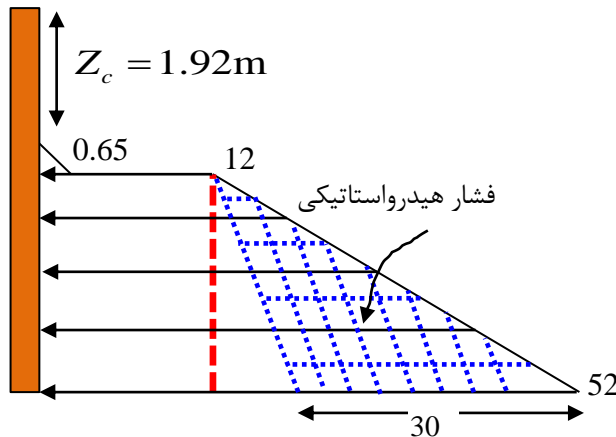
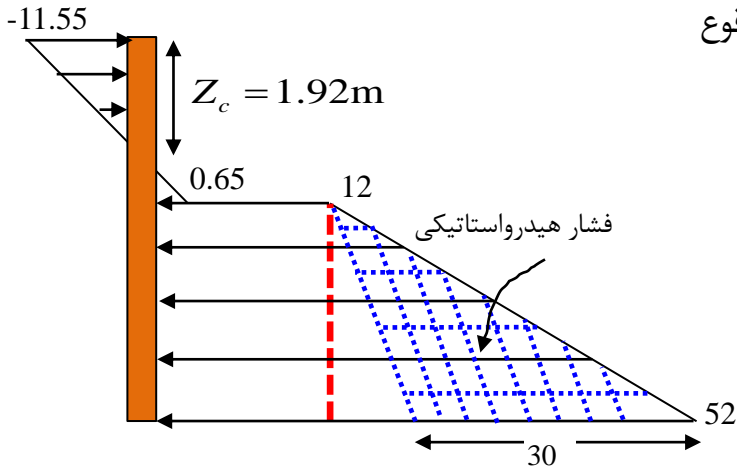
اگر در مسئله خواسته باشند که فشار محرک رانکین قبل از وقوع ترک و بعد از وقوع ترک را تعیین کنید، باید بصورت زیر عمل کنیم:

نیروی محرک رانکین قبل از وقوع ترک:

$$P_a = \frac{-11.55 \times 1.92}{2} + (2 - 1.92) \times \frac{0.65}{2} + \frac{12 + 52}{2} \times 3 = 84.93$$

نیروی محرک رانکین بعد از وقوع ترک:

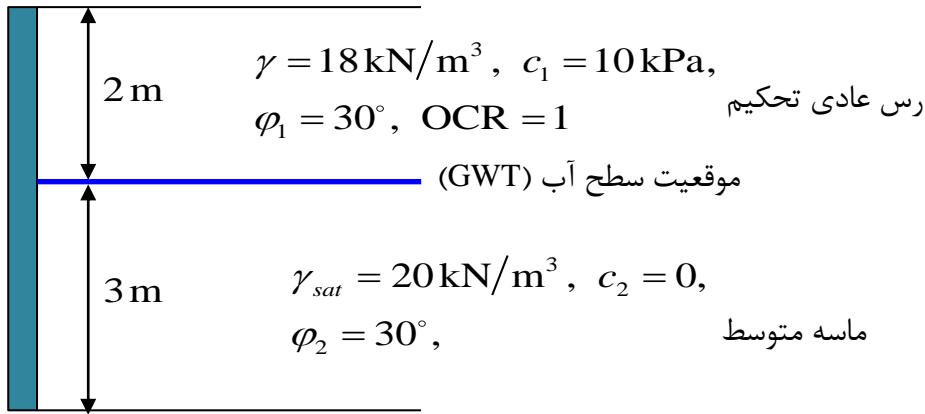
$$P_a = (2 - 1.92) \times \frac{0.65}{2} + \frac{12 + 52}{2} \times 3 = 96.03$$



فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

مثال: دیواری به ارتفاع ۵ متر در شکل نشان داده شده است. مطلوبست تعیین:

الف) فشار در حالت سکون ب) فشار محرک و عمق ترک ج) فشار مقاوم



حل ج: فشار مقاوم

برای خاک ۱ رس عادی تحکیم $(k_p)_1 = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{30}{2} \right) = 3$

برای خاک ۲ ماسه متوسط $(k_p)_2 = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) = \tan^2 \left(45^\circ + \frac{30}{2} \right) = 3$

$$\sigma_h = k_p \sigma'_v + 2c\sqrt{k_p} + u$$

کلیات، ترکیب...

تراکم خاک

تنش موثر و نشست

تنش در توده خاک

نشست خاک

مقاومت برشی خاک

پایداری شیروانی

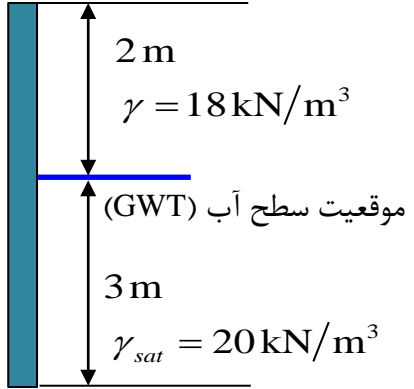
فشار جانبی خاک

فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

حل ج: فشار مقاوم رانکین

$$(k_p)_1 = (k_p)_2 = 3$$

$$\sigma_h = k_p \sigma'_v + 2c\sqrt{k_p} + u$$



$$z = 0, \quad \sigma'_v = 0, \quad u = 0,$$

$$\sigma_h = 0 + 2 \times 10\sqrt{3} + 0 = 34.64$$

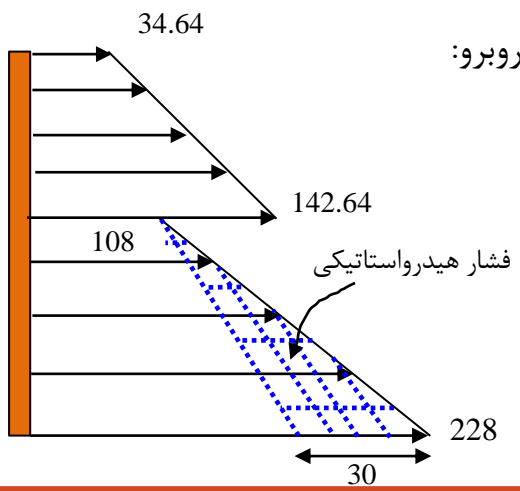
$$\left\{ \begin{array}{l} z = 2^-, \quad \sigma'_v = 36, \\ z = 2^+, \quad u = 0, \end{array} \right.$$

$$\sigma_h = (k_p)_1 \sigma'_v + 2c_1\sqrt{(k_p)_1} + u = 3 \times 36 + 2 \times 10\sqrt{3} = 142.64$$

$$\sigma_h = (k_p)_2 \sigma'_v + 2c_2\sqrt{(k_p)_2} + u = 3 \times 36 + 0 = 108$$

$$z = 5, \quad \sigma'_v = 66, \quad u = 30,$$

$$\sigma_h = (k_p)_2 \sigma'_v + 2c_2\sqrt{(k_p)_2} + u = 3 \times 66 + 3 \times 10 = 228$$



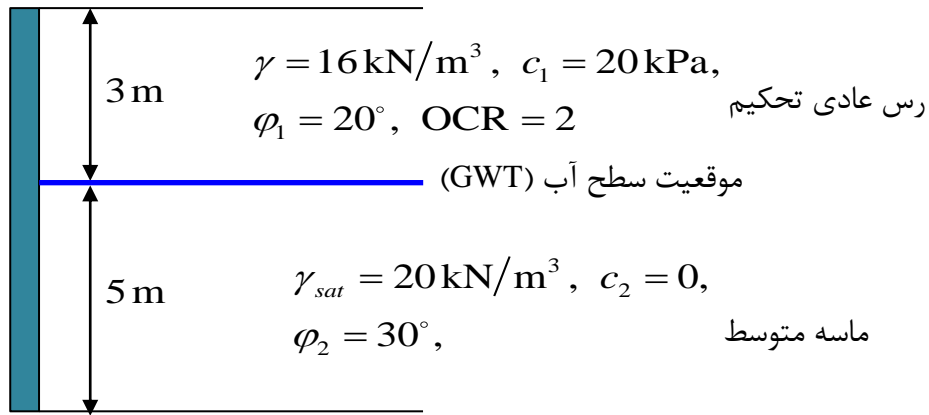
اگر بخواهیم نیروی وارد بر طول واحد دیوار را تعیین کنیم برابر است با مساحت شکل روبه‌رو:

$$P_p = \frac{33.64 + 142.64}{2} \times 2 + \frac{108 + 228}{2} \times 3 = 681.28$$

فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

تمرین ۱: محل اثر نیروی محرک و مقاوم را برای مثال قبل تعیین کنید؟

تمرین ۲: مثال قبل را برای شکل زیر حل کنید؟



مقایسه انواع فشارهای رانکین:

نیروی محرک رانکین قبل
از وقوع ترک

$$P_a = 84.93$$

<

$$P_a = 96.03$$

<

نیروی سکون رانکین

$$P_0 = 137.7$$

<

$$P_p = 681.28$$

نیروی محرک رانکین بعد
از وقوع ترک

نیروی مقاوم رانکین وارد بر
طول واحد دیوار

کلیات، ترکیب...

تراکم خاک

تنش موثر و نشست

تنش در توده خاک

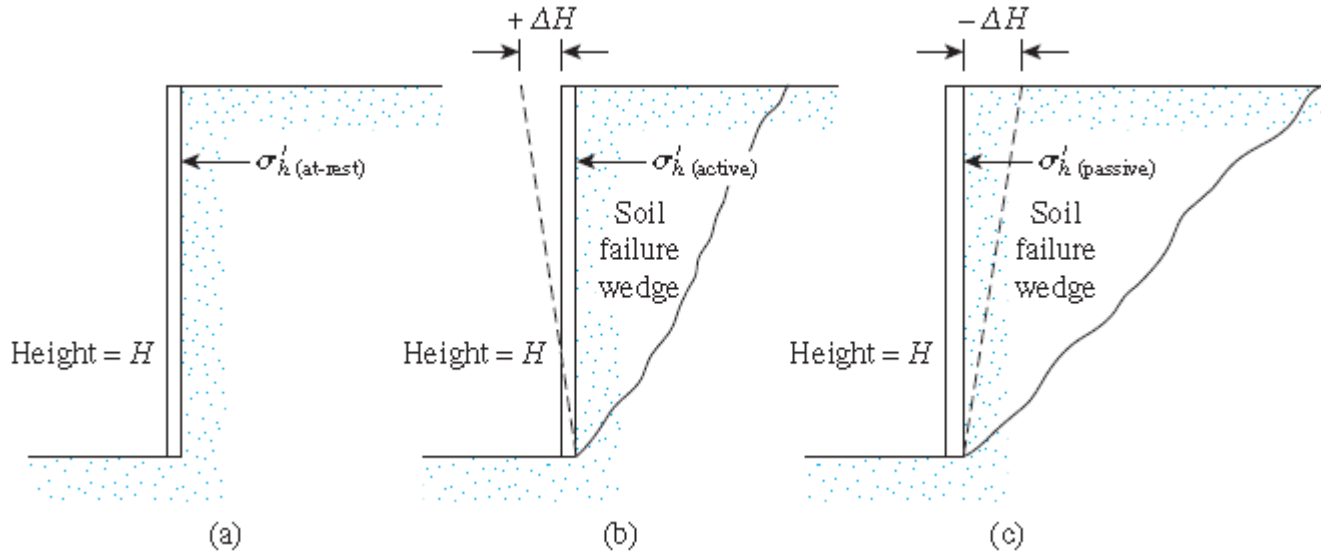
نشست خاک

مقاومت برشی خاک

پایداری شیروانی

فشار جانبی خاک

فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل



مقایسه انواع فشارهای رانکین:

نیروی محرک رانکین قبل از وقوع ترک

$$P_a = 84.93$$



$$P_a = 96.03$$



نیروی سکون رانکین

$$P_0 = 137.7$$



$$P_p = 681.28$$

نیروی محرک رانکین بعد از وقوع ترک

نیروی مقاوم رانکین وارد بر طول واحد دیوار

کلیات، ترکیب...

تراکم خاک

تنش موثر و نشست

تنش در توده خاک

نشست خاک

مقاومت برشی خاک

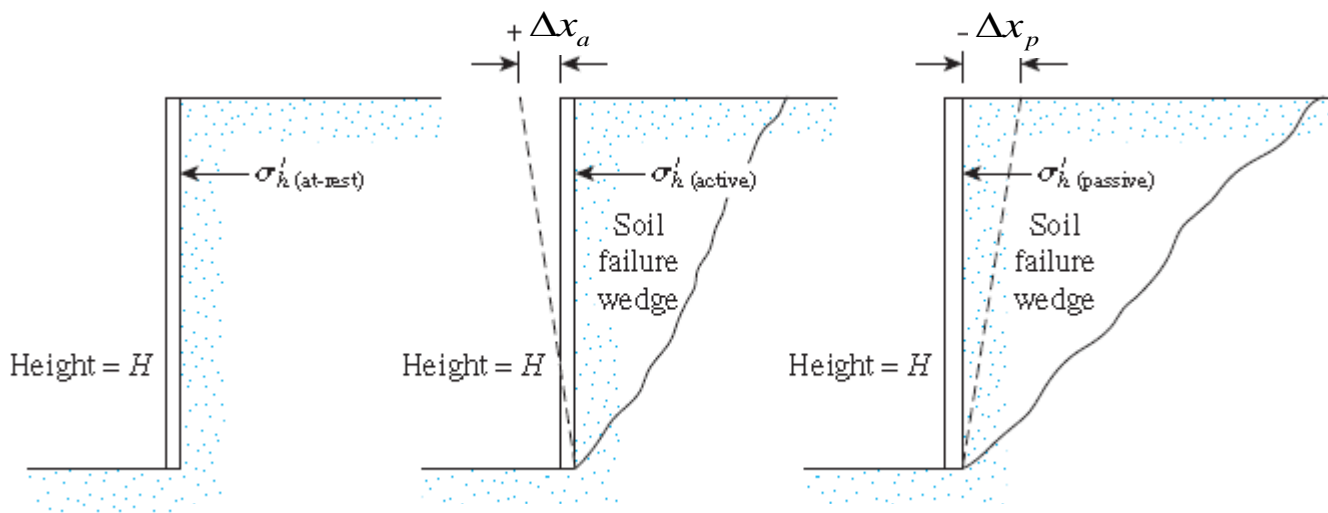
پایداری شیروانی

فشار جانبی خاک

فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

دو نکته مهم:

۱- چه وقتی نیروی سکون و در چه زمانی نیروهای محرک و مقاوم برای دیوارهای حایل غالب می شود؟ نیرو غالب، به میزان تغییر شکل های افقی نسبت به ارتفاع دیوار (زاویه دوران دیوار) وابسته است.



نوع خاک	$\Delta x_a / H$	$\Delta x_p / H$
ماسه سست	0.001–0.002	0.01
ماسه متراکم	0.0005–0.001	0.005
رس نرم	0.02	0.04
رس سفت	0.01	0.02

کلیات، ترکیب...

تراکم خاک

تنش موثر و نشست

تنش در توده خاک

نشست خاک

مقاومت برشی خاک

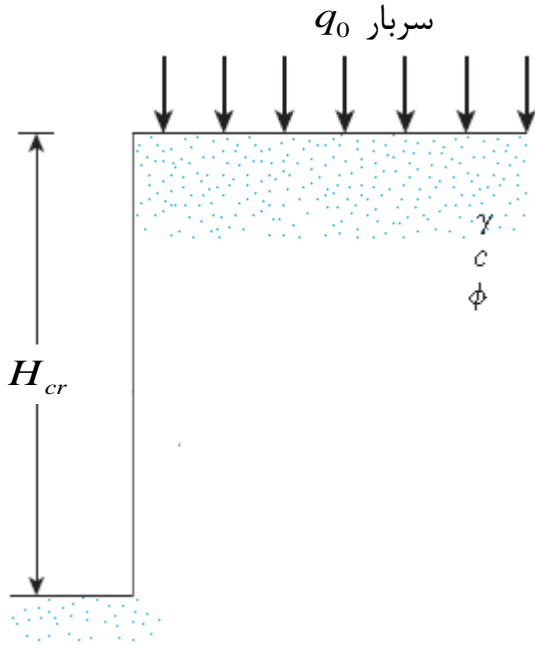
پایداری شیروانی

فشار جانبی خاک

فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

دو نکته مهم:

۲- در خاک های چسبنده می توان گودالی به ارتفاع H_{cr} بدون هیچ دیواری حفر کرد که در کوتاه مدت پایدار است.



$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma z^2 + K_a q_0 z - 2c \sqrt{K_a} z$$

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H_{cr}^2 + K_a q_0 H_{cr} - 2c \sqrt{K_a} H_{cr} = 0$$

$$H_{cr} = \frac{4c}{\gamma \sqrt{K_a}} - \frac{2q_0}{\gamma}$$

$$(H_{cr})_\alpha = \frac{H_{cr}}{F.S} = \frac{1}{F.S} \left\{ \frac{4c}{\gamma \sqrt{K_a}} - \frac{2q_0}{\gamma} \right\}$$

ضریب اطمینان

عمق ترک کششی

$$\text{if } q_0 = 0 \Rightarrow (H_{cr})_\alpha = \frac{1}{F.S} \left\{ \frac{4c}{\gamma \sqrt{K_a}} \right\} = \frac{2Z_c}{F.S}$$

کلیات، ترکیب...

تراکم خاک

تنش موثر و نشست

تنش در توده خاک

نشست خاک

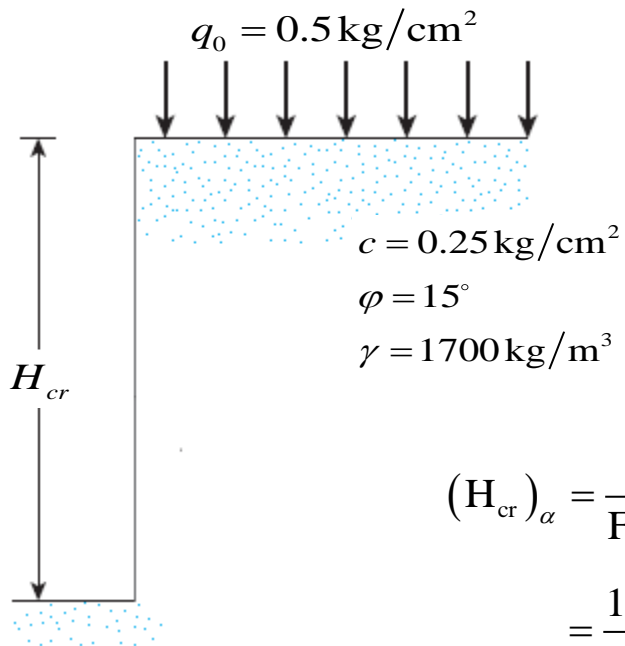
مقاومت برشی خاک

پایداری شیروانی

فشار جانبی خاک

فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

مثال: عمق مجاز گودبرداری با ضریب اطمینان ۲ را تعیین کنید؟



$$\begin{aligned}
 (H_{cr})_\alpha &= \frac{1}{\text{F.S.}} \left\{ \frac{4c}{\gamma \sqrt{K_a}} - \frac{2q_0}{\gamma} \right\} \\
 &= \frac{1}{2} \left\{ \frac{4 \times 0.25 \times 10000}{1700 \sqrt{0.568}} - \frac{2 \times 0.5 \times 10000}{1700} \right\} = 0.89 \text{ m}
 \end{aligned}$$

حل:

کلیات، ترکیب...

تراکم خاک

تنش موثر و نشست

تنش در توده خاک

نشست خاک

مقاومت برشی خاک

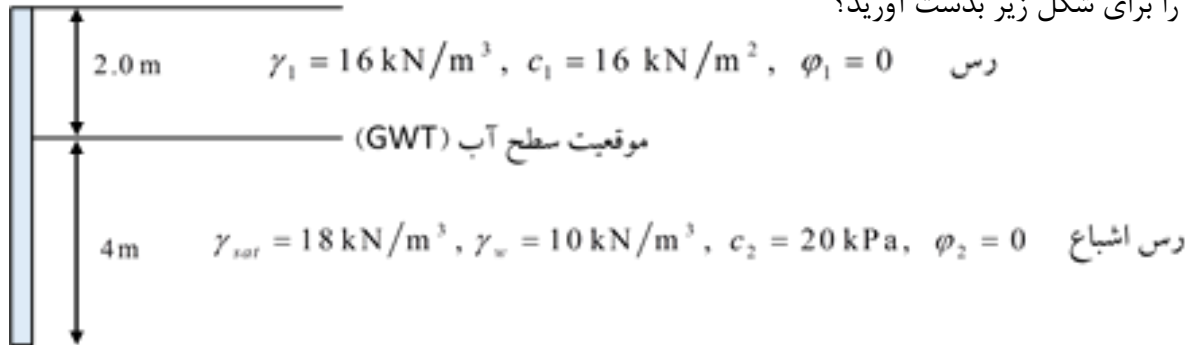
پایداری شیروانی

فشار جانبی خاک

فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

مثال:

عمق ترک کششی را برای شکل زیر بدست آورید؟



حل:

رابطه مقابل برای تعیین عمق ترک بکار می رود:

$$Z_c = \frac{2c}{\gamma' \sqrt{K_a}} - \frac{q}{\gamma'}, \quad K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi}{2} \right) \quad K_a = \tan^2(45) = 1,$$

$$Z_{c1} = \frac{2c_1}{\gamma_1 \sqrt{K_a}} - \frac{q}{\gamma_1} = \frac{2 \times 16}{16 \sqrt{1}} = 2.0 \text{ m}$$

$$Z_{c2} = \frac{2c_2}{(\gamma_{sat}) \sqrt{K_a}} - \frac{q}{(\gamma_{sat})} = \frac{2 \times 20}{(18) \sqrt{1}} - \frac{(2 \times 16)}{(18)} = \frac{4}{9} \text{ m}$$

$$Z_c = Z_{c1} + Z_{c2} = 2 + \frac{4}{9} = \frac{22}{9} = 2.44 \text{ m}$$

عمق ترک کششی برای لایه بالایی:

عمق ترک کششی برای لایه پایینی:

عمق ترک کششی کل:

کلیات، ترکیب...

تراکم خاک

تنش موثر و نشست

تنش در توده خاک

نشست خاک

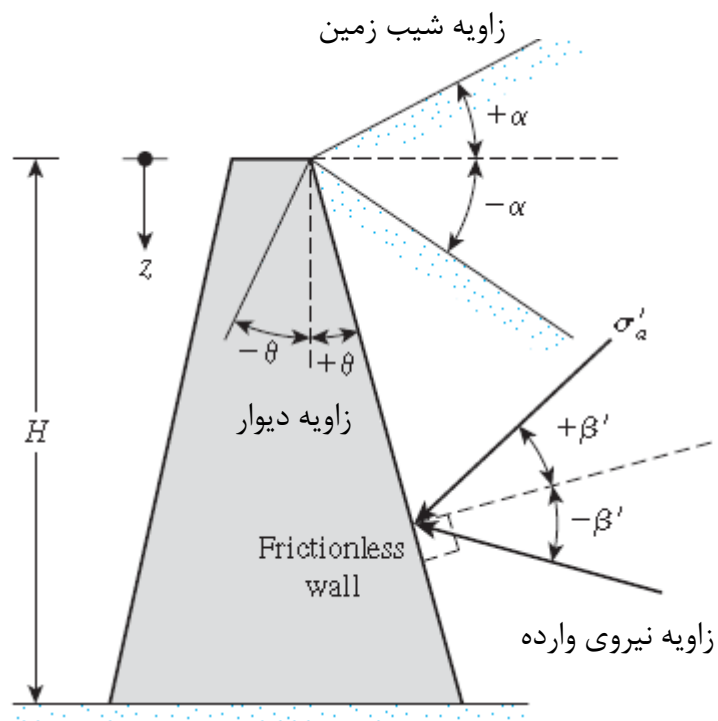
مقاومت برشی خاک

پایداری شیروانی

فشار جانبی خاک

فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

تئوری رانکین برای سطوح شیبدار خاک



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

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

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2$$

$$K_p = \frac{\cos(\alpha - \theta) \sqrt{1 + \sin^2 \varphi' + 2 \sin \varphi' \cos \psi_p}}{\cos^2 \theta \left(\cos \alpha - \sqrt{\sin^2 \varphi' - \sin^2 \alpha} \right)}$$

$$\psi_{a,p} = \sin^{-1} \left(\frac{\sin \alpha}{\sin \varphi'} \right) \mp \alpha \pm 2\theta,$$

$$\beta_{a,p} = \tan^{-1} \left(\frac{\sin \varphi' \sin \psi}{1 \mp \sin \varphi' \cos \psi} \right)$$

کلیات، ترکیب...

تراکم خاک

تنش موثر و نشست

تنش در توده خاک

نشست خاک

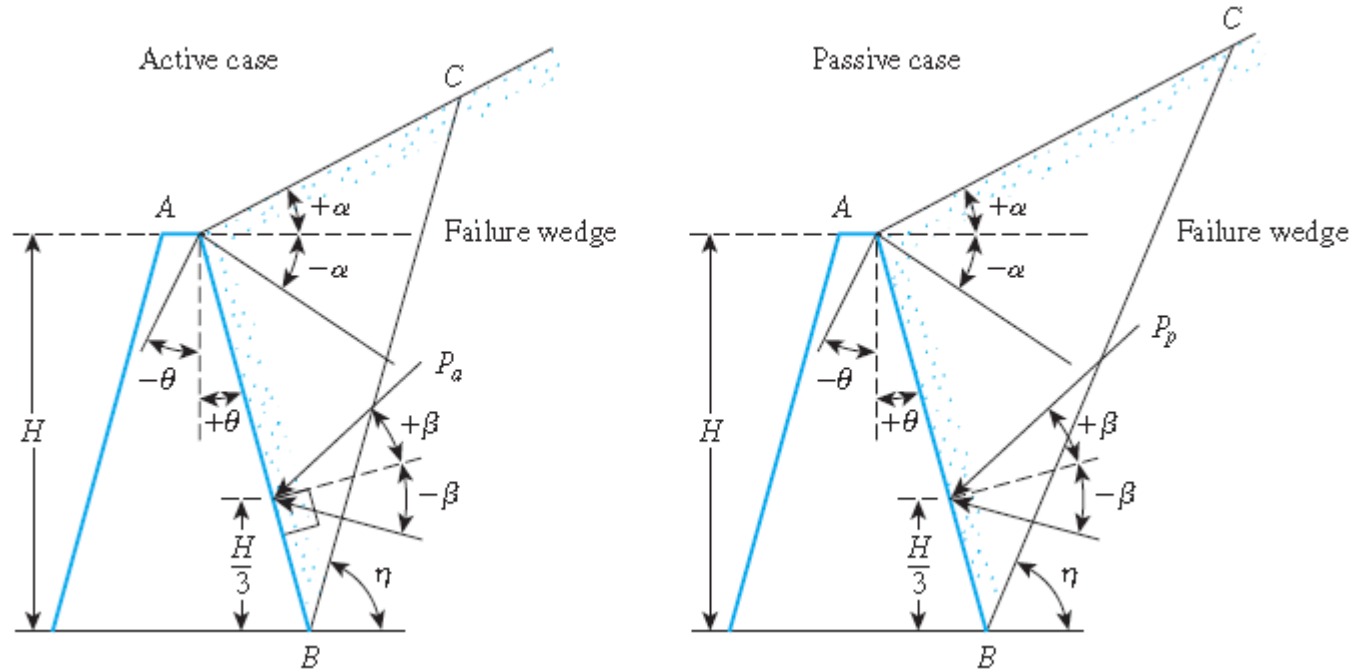
مقاومت برشی خاک

پایداری شیروانی

فشار جانبی خاک

فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

زاویه شکست تئوری رانکین برای سطوح شیبدار خاک



$$\eta_a = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi'}{2} + \frac{\alpha}{2} - \frac{1}{2} \sin^{-1} \left(\frac{\sin \alpha}{\sin \varphi'} \right),$$

$$\eta_p = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi'}{2} + \frac{\alpha}{2} + \frac{1}{2} \sin^{-1} \left(\frac{\sin \alpha}{\sin \varphi'} \right),$$

کلیات، ترکیب...

تراکم خاک

تنش موثر و نشست

تنش در توده خاک

نشست خاک

مقاومت برشی خاک

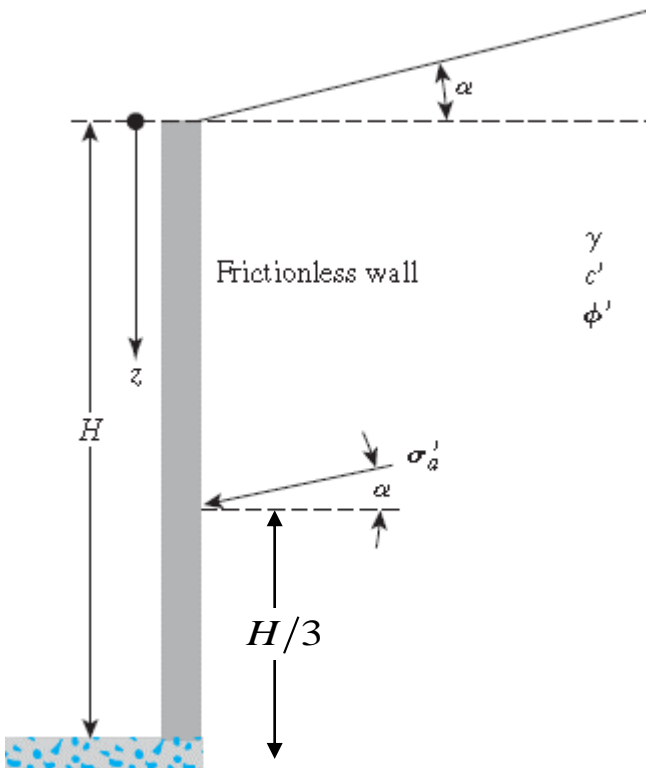
پایداری شیروانی

فشار جانبی خاک

فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

تئوری رانکین برای سطوح شیبدار خاک تحت شرایط خاص $\theta = 0$

یعنی دیوار بدون شیب است.



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

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

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2$$

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

کلیات، ترکیب...

تراکم خاک

تنش موثر و نشست

تنش در توده خاک

نشست خاک

مقاومت برشی خاک

پایداری شیروانی

فشار جانبی خاک

فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

۱- فشار جانبی در حالت سکون Earth Pressure At-Rest

۲- تئوری رانکین برای فشار محرک Rankine's Theory of Active Pressure

۳- تئوری رانکین برای فشار مقاوم Rankine's Theory of Passive Pressure

۴- تئوری کولمب برای فشار محرک Coulomb's Active Pressure

۵- تئوری کولمب برای فشار مقاوم Coulomb's Passive Pressure

تعیین فشار خاک
پشت دیوارهای
حائل

کلیات، ترکیب...

تراکم خاک

تنش موثر و نشست

تنش در توده خاک

نشست خاک

مقاومت برشی خاک

پایداری شیروانی

فشار جانبی خاک

فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

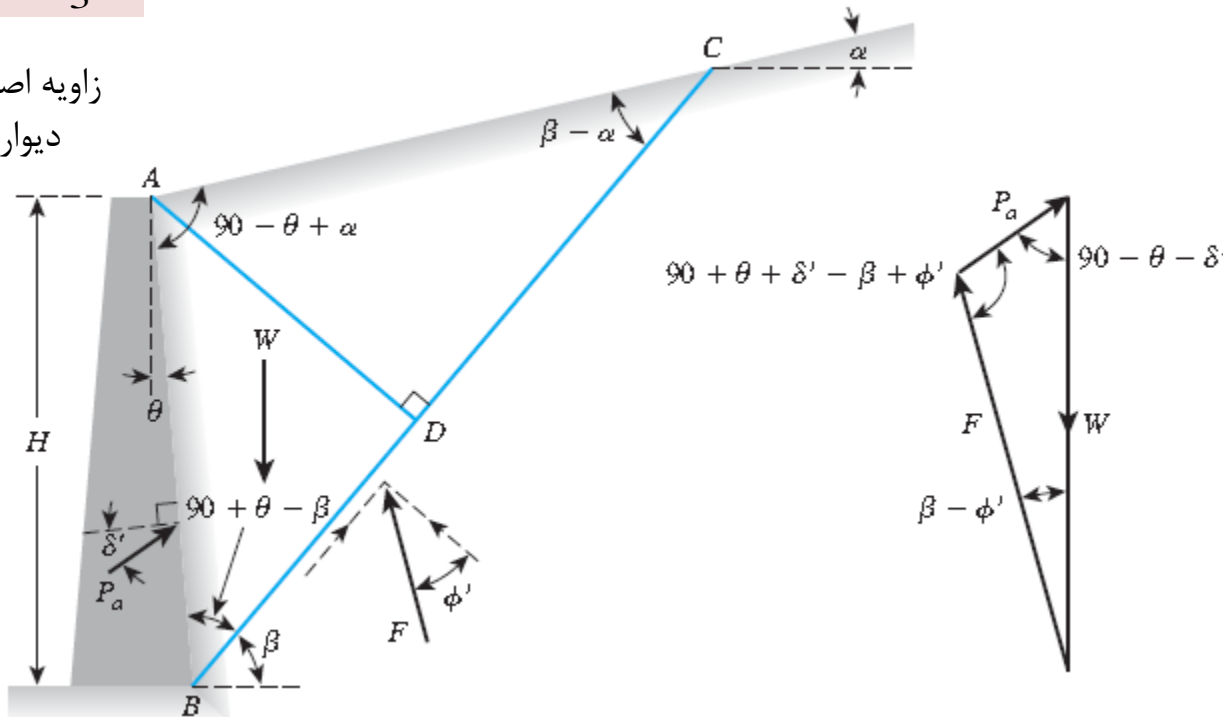
فشار محرک از تئوری کولمب

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

$$\delta' \approx \frac{2}{3} \phi'$$

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

زاویه اصطکاک بین
دیوار و خاک



کلیات، ترکیب...

تراکم خاک

تنش موثر و نشست

تنش در توده خاک

نشست خاک

مقاومت برشی خاک

پایداری شیروانی

فشار جانبی خاک

فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

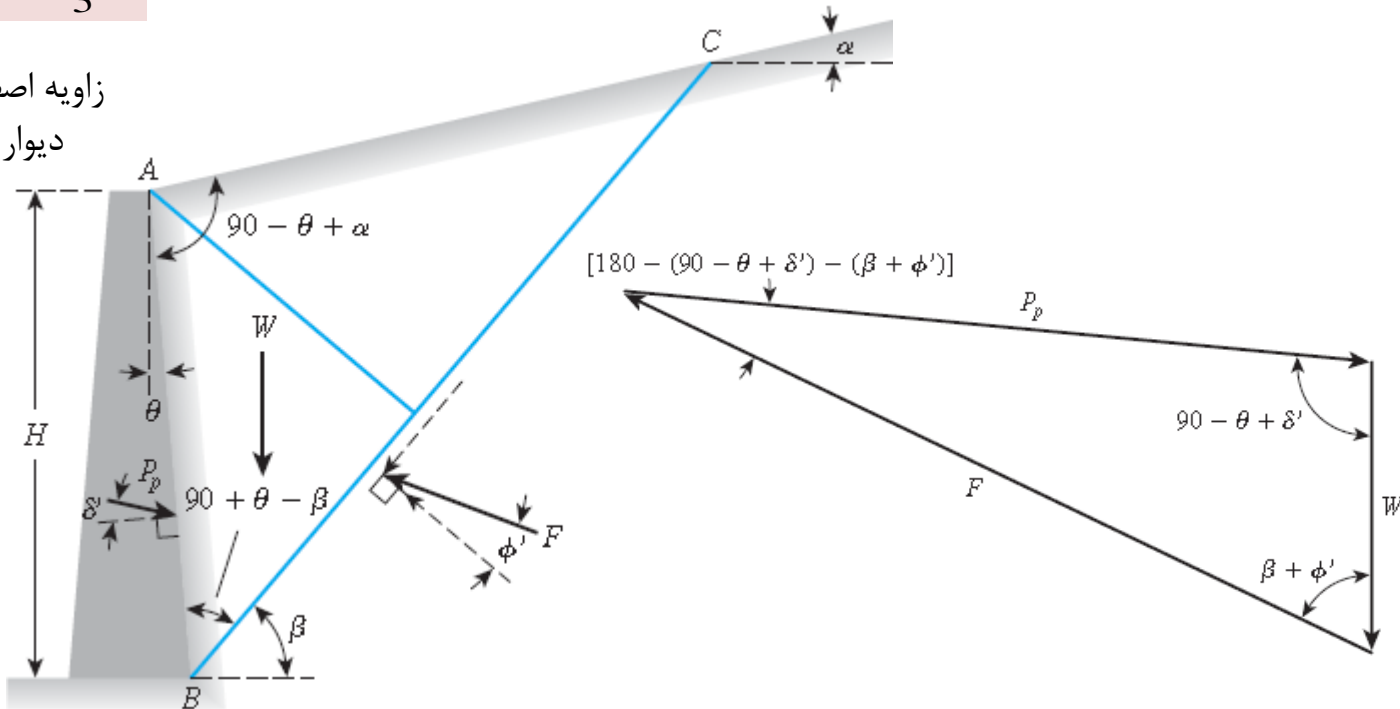
فشار مقاوم از تئوری کولمب

$$P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2$$

$$\delta' \approx \frac{2}{3} \phi'$$

$$K_p = \frac{\cos^2(\phi' + \theta)}{\cos^2 \theta \cos(\delta' - \theta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi' + \delta') \sin(\phi' + \alpha)}{\cos(\delta' - \theta) \cos(\alpha - \theta)}} \right]^2}$$

زاویه اصطکاک بین دیوار و خاک



پروژه: برای سطوح شیبدار نیروی محرک و مقاوم دو تئوری را باهم مقایسه کنید.

کلیات، ترکیب...

تراکم خاک

تنش موثر و نشت

تنش در توده خاک

نشست خاک

مقاومت برشی خاک

پایداری شیروانی

فشار جانبی خاک

فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

پایداری دیوارهای حایل:

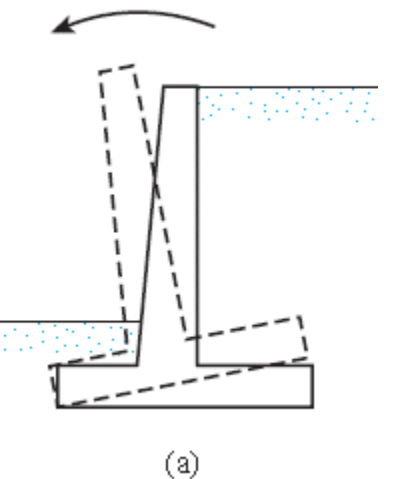
۱- پایداری در مقابل واژگونی حول پنجه

۲- پایداری در مقابل لغزش

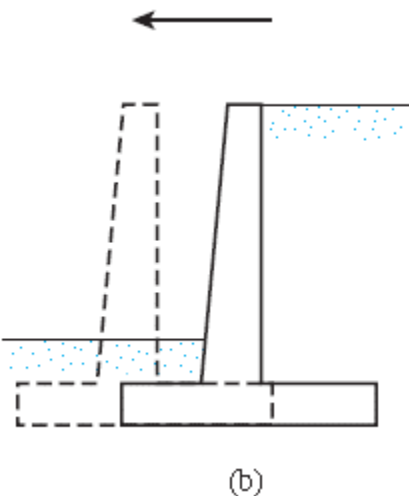
۳- ظرفیت باربری دیوارهای حایل (در درس مهندسی پی گفته می شود)

۴- کنترل نشست (بخشی در مکانیک خاک گفته شد و بخشی دیگر در مهندسی پی)

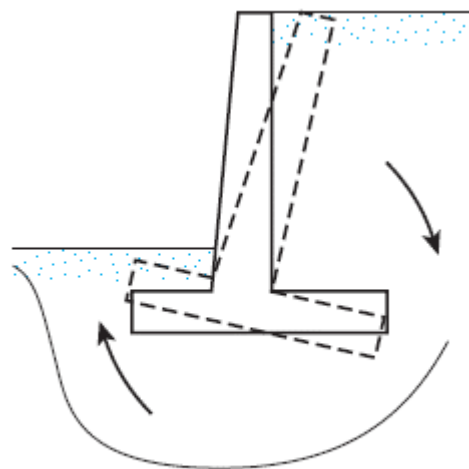
۵- کنترل پایداری کلی



(a)



(b)



(c)

کلیات، ترکیب...

تراکم خاک

تنش موثر و نشست

تنش در توده خاک

نشست خاک

مقاومت برشی خاک

پایداری شیروانی

فشار جانبی خاک

فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

پایداری دیوارهای حایل در مقابل واژگونی حول پنجه:

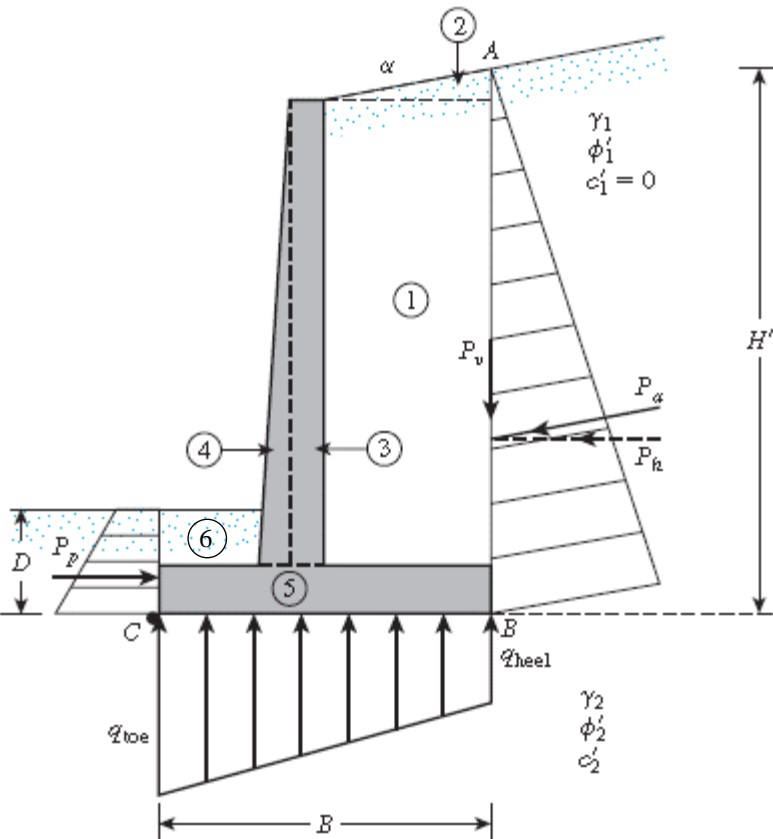
$$FS_{(\text{Overturing})} = \frac{\sum M_R}{\sum M_o} = \frac{\text{مجموع لنگرهای مقاوم}}{\text{مجموع لنگرهای محرک}} \geq \{1.5 - 2\}$$

$$\begin{cases} P_a = \frac{1}{2} K_{a1} \gamma_1 H'^2 - 2c'_1 \sqrt{K_{p1}} H' \\ P_p = \frac{1}{2} K_{p2} \gamma_2 D^2 + 2c'_2 \sqrt{K_{p2}} D \end{cases}$$

$$\sum M_o = P_h \frac{H'}{3} = P_a \cos \alpha \frac{H'}{3}$$

$$M_v = P_v B = P_a \sin \alpha B$$

$$FS_{(\text{Overturing})} = \frac{\sum M_R}{\sum M_o} = \frac{M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_6 + M_v}{P_a \cos \alpha H'/3}$$



کلیات، ترکیب...

تراکم خاک

تنش موثر و نشست

تنش در توده خاک

نشست خاک

مقاومت برشی خاک

پایداری شیروانی

فشار جانبی خاک

فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

پایداری دیوارهای حایل در مقابل واژگونی حول پنجه:

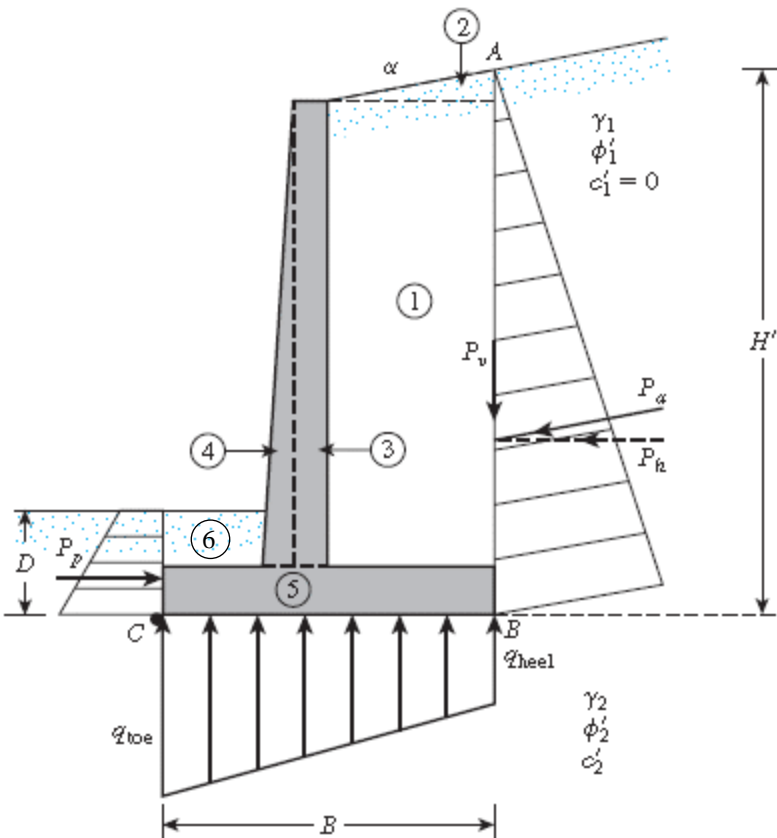
$$FS_{(\text{Overturing})} = \frac{\sum M_R}{\sum M_o} = \frac{M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + M_6 + P_a \sin \alpha B}{P_a \cos \alpha H'/3}$$

کلیات، ترکیب...

تراکم خاک

تنش موثر و نشست

تنش و تغییر شکل خاک



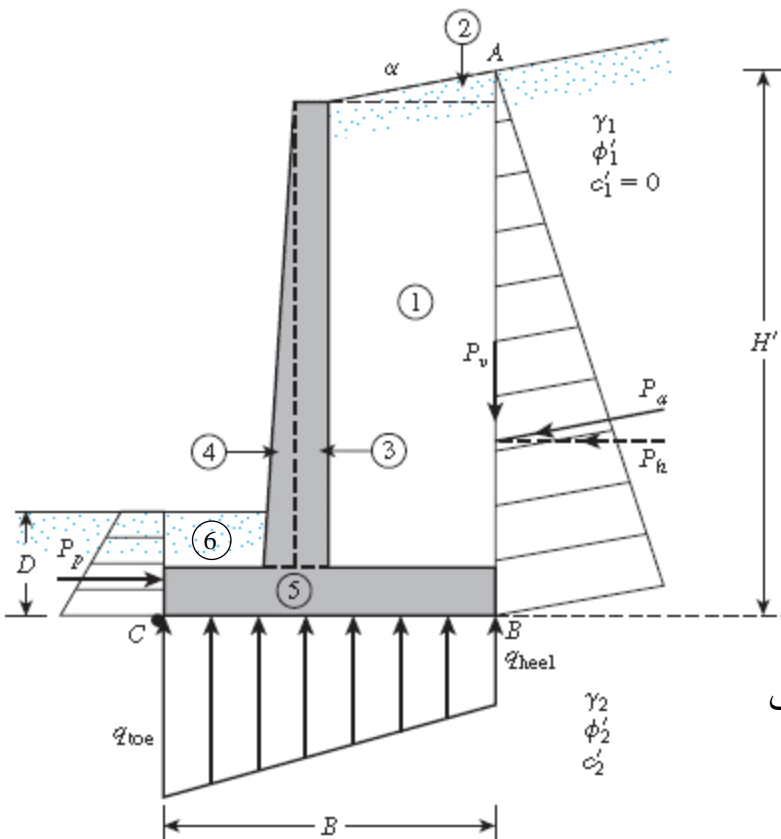
شماره بخش	مساحت بخش	وزن واحد طول هر بخش	بازوی لنگر وزن هر بخش تا نقطه C	لنگر هر بخش در نقطه C
1	A_1	$W_1 = \gamma_1 \times A_1$	X_1	M_1
2	A_2	$W_2 = \gamma_1 \times A_2$	X_2	M_2
3	A_3	$W_3 = \gamma_c \times A_3$	X_3	M_3
4	A_4	$W_4 = \gamma_c \times A_4$	X_4	M_4
5	A_5	$W_5 = \gamma_c \times A_5$	X_5	M_5
6	A_6	$W_6 = \gamma_2 \times A_6$	X_6	M_6
		P_v	B	M_v
		ΣV		ΣM_R

(Note: γ_i = unit weight of backfill
 γ_c = unit weight of concrete)

فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

پایداری دیوارهای حایل در مقابل لغزش:

$$FS_{(Sliding)} = \frac{\sum F_R}{\sum F_d} = \frac{\text{مجموع نیروهای مقاوم}}{\text{مجموع نیروهای محرک}} \geq 1.5$$



$$\begin{cases} P_a = \frac{1}{2} K_{a1} \gamma_1 H'^2 - 2c'_1 \sqrt{K_{p1}} H' \\ P_p = \frac{1}{2} K_{p2} \gamma_2 D^2 + 2c'_2 \sqrt{K_{p2}} D \end{cases}$$

$$\sum F_d = P_h = P_a \cos \alpha$$

$$\sum F_R = P_p + R'$$

$$R' = \sum V \tan \delta_2 + Bc'_2,$$

$$\delta_2 = \frac{2}{3} \phi_2, \quad c'_2 = \frac{2}{3} c_2$$

$$FS_{(Sliding)} = \frac{(\sum V) \tan \delta_2 + Bc'_2 + P_p}{P_a \cos \alpha}$$

c'_2 و δ_2 به ترتیب زاویه اصطکاک و ضریب چسبندگی بین خاک و دیوار است.

کلیات، ترکیب...

تراکم خاک

تنش موثر و نشست

تنش در توده خاک

نشست خاک

مقاومت برشی خاک

پایداری شیروانی

فشار جانبی خاک

فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

مثال: ضریب اطمینان در مقابل واژگونی و لغزش را تعیین کنید؟ از وزن خاک شماره ۲ جهت برآورد ضریب اطمینان در مقابل واژگونی صرفنظر کنید.

$$H' = H_1 + H_2 + H_3 = 2.6c \tan 10^\circ + 6 + 0.7 = 7.158\text{m}$$

$$\alpha = 10^\circ, \quad \phi'_1 = 30^\circ$$

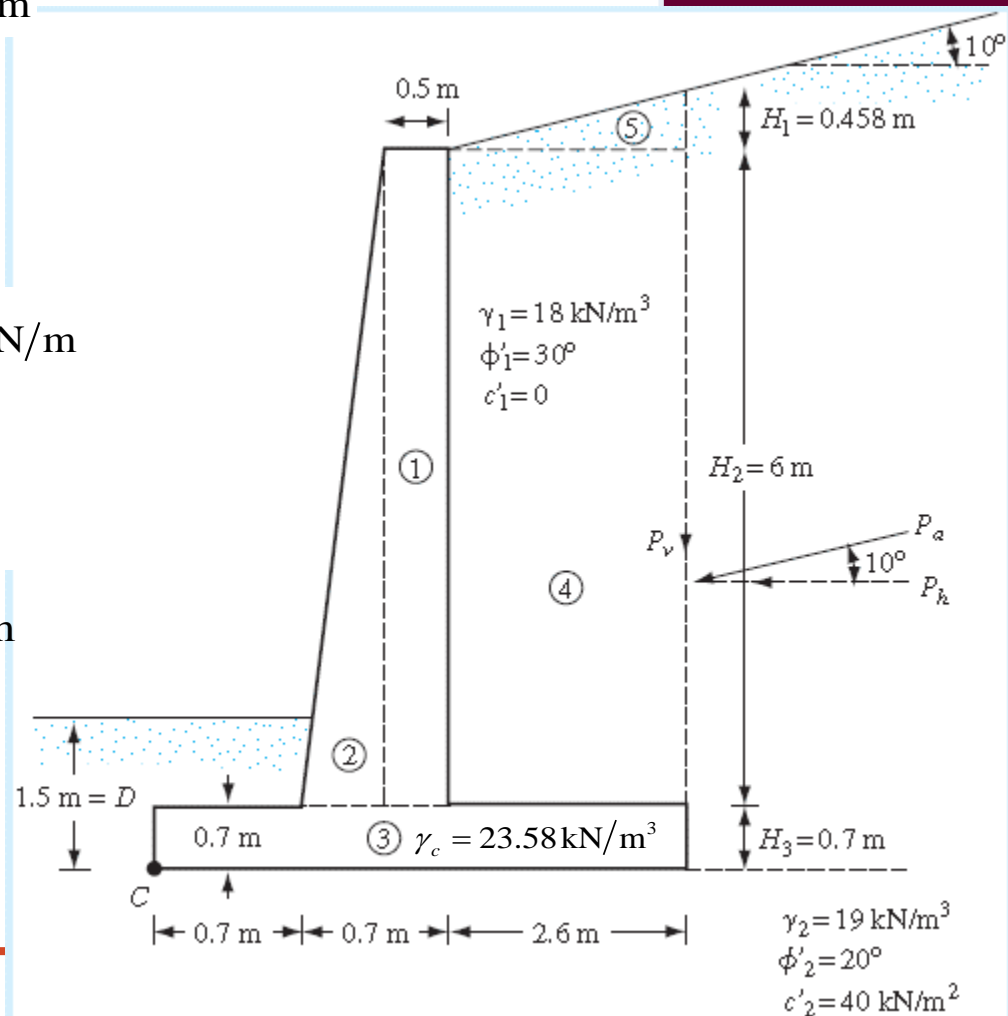
$$K_{a1} = \cos \alpha \frac{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi'_1}}{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi'_1}} = 0.3532$$

$$P_a = \frac{1}{2} K_{a1} \gamma_1 H'^2 = \frac{1}{2} 0.3532 \times 18 \times 7.158^2 = 162.9 \text{ kN/m}$$

$$P_v = P_a \sin \alpha = 162.9 (\sin 10^\circ) = 28.29 \text{ kN/m}$$

$$P_h = P_a \cos \alpha = 162.9 (\cos 10^\circ) = 160.43 \text{ kN/m}$$

$$\sum M_o = P_h \frac{H'}{3} = 160.43 \frac{7.158}{3} = 382.79 \text{ kN-m/m}$$



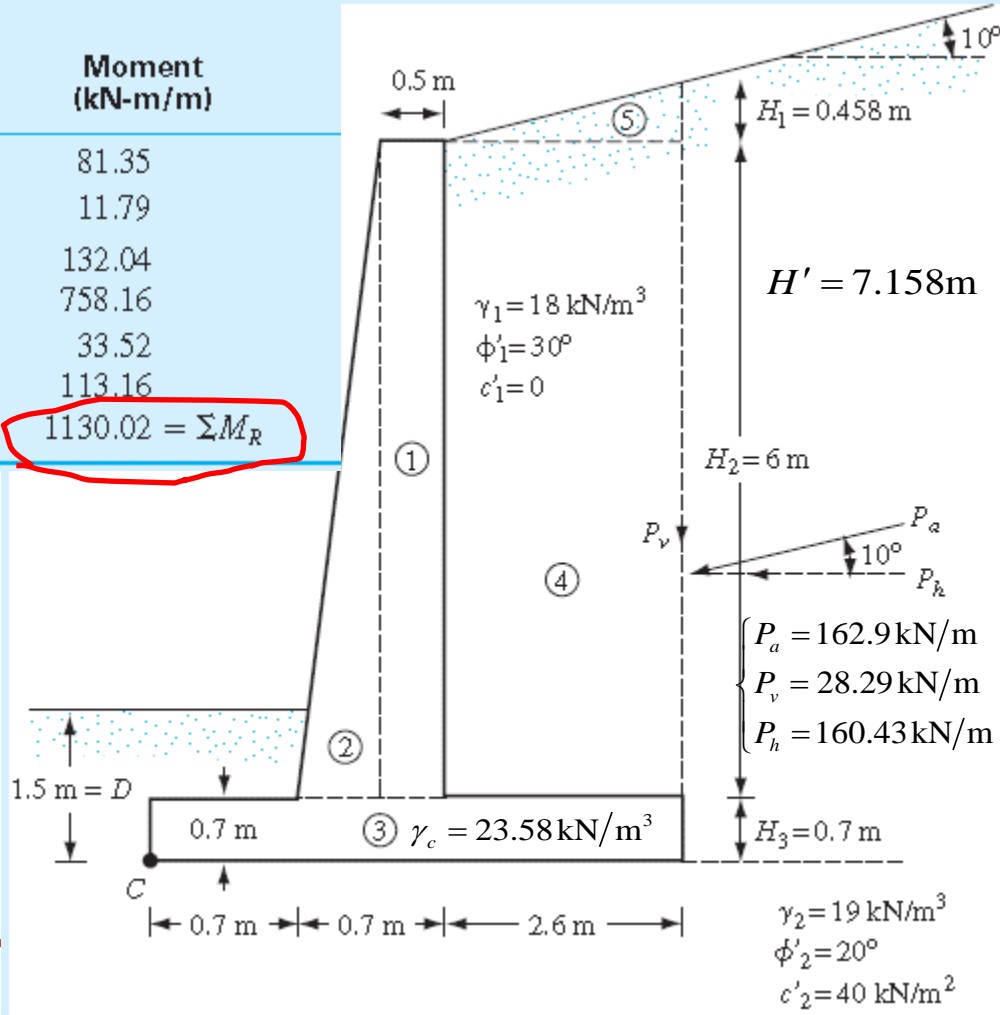
فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

مثال: ضریب اطمینان در مقابل واژگونی و لغزش را تعیین کنید؟ از وزن خاک شماره ۲ جهت برآورد ضریب اطمینان در مقابل واژگونی صرفنظر کنید.

Section no. ^a	Area (m ²)	Weight/unit length (kN/m)	Moment arm from point C (m)	Moment (kN-m/m)
1	6 × 0.5 = 3	70.74	1.15	81.35
2	½(0.2)6 = 0.6	14.15	0.833	11.79
3	4 × 0.7 = 2.8	66.02	2.0	132.04
4	6 × 2.6 = 15.6	280.80	2.7	758.16
5	½(2.6)(0.458) = 0.595	10.71	3.13	33.52
		$P_v = 28.29$	4.0	113.16
		$\Sigma V = 470.71$		$1130.02 = \Sigma M_R$

$$\Sigma M_o = P_h \frac{H'}{3} = 160.43 \frac{7.158}{3} = 382.79 \text{ kN-m/m}$$

$$FS_{(\text{Overturing})} = \frac{\Sigma M_R}{\Sigma M_o} = \frac{1130.02}{382.79} = 2.95 > 2, \text{ OK}$$



فشار جانبی خاک و دیوارهای حایل

مثال: ضریب اطمینان در مقابل واژگونی و لغزش را تعیین کنید؟ از وزن خاک شماره ۲ جهت برآورد ضریب اطمینان در مقابل واژگونی صرفنظر کنید.

$$FS_{(Sliding)} = \frac{(\sum V) \tan \delta_2 + Bc'_2 + P_p}{P_a \cos \alpha},$$

$$\delta_2 = \frac{2}{3} \phi_2, \quad c'_2 = \frac{2}{3} c_2$$

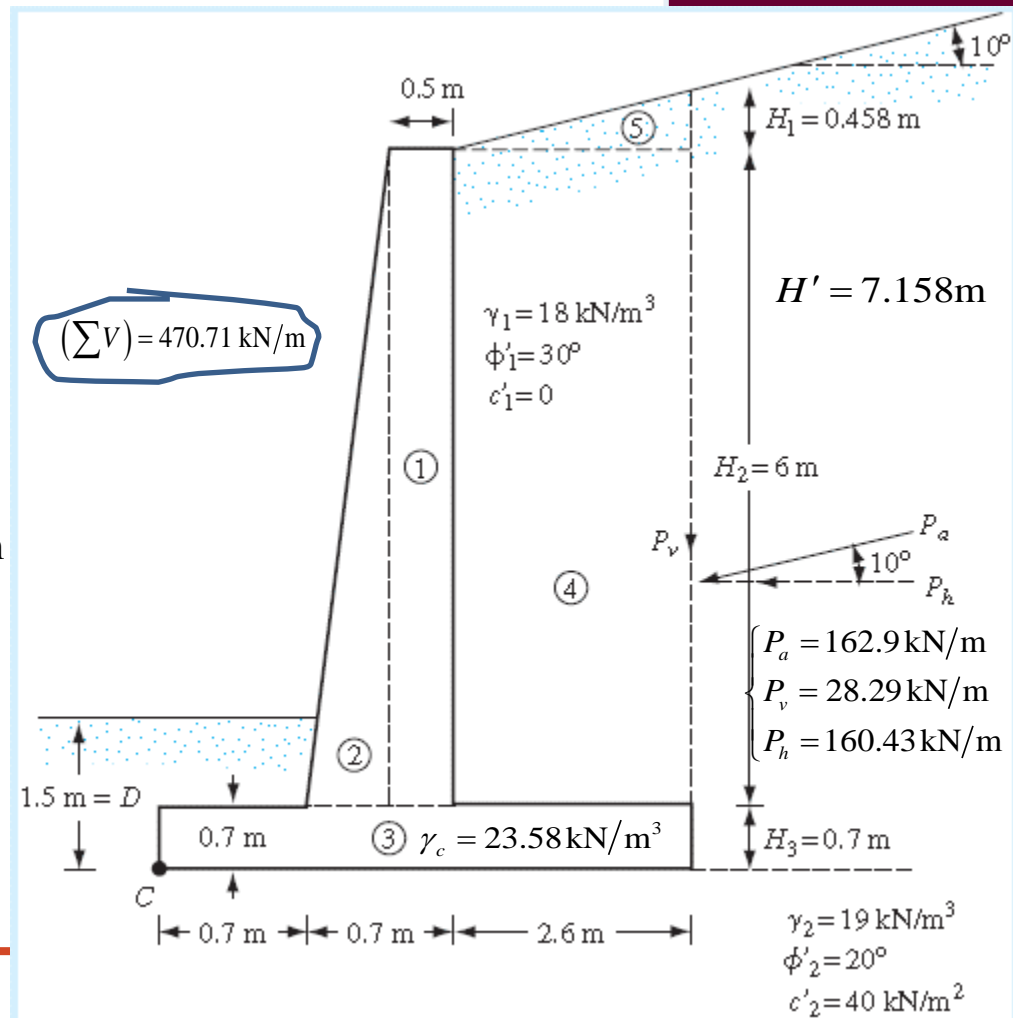
$$K_{p2} = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'_1}{2} \right) = \tan^2 \left(45 + \frac{20}{2} \right) = 2.04$$

$$P_p = \frac{1}{2} K_{p2} \gamma_2 D^2 + 2c'_2 \sqrt{K_{p2}} D$$

$$= \frac{1}{2} \times 2.04 \times 19 \times 1.5^2 + 2 \times 40 \sqrt{2.04} \times 1.5 = 215 \text{ kN/m}$$

$$FS_{(Sliding)} = \frac{(470.71) \tan \left(\frac{2 \times 20}{3} \right) + 4 \left(\frac{2}{3} \right) \times 40 + 215}{160.43}$$

$$FS_{(Sliding)} = 2.7 > 1.5, \quad \text{OK}$$



Thanks For Your Attention

