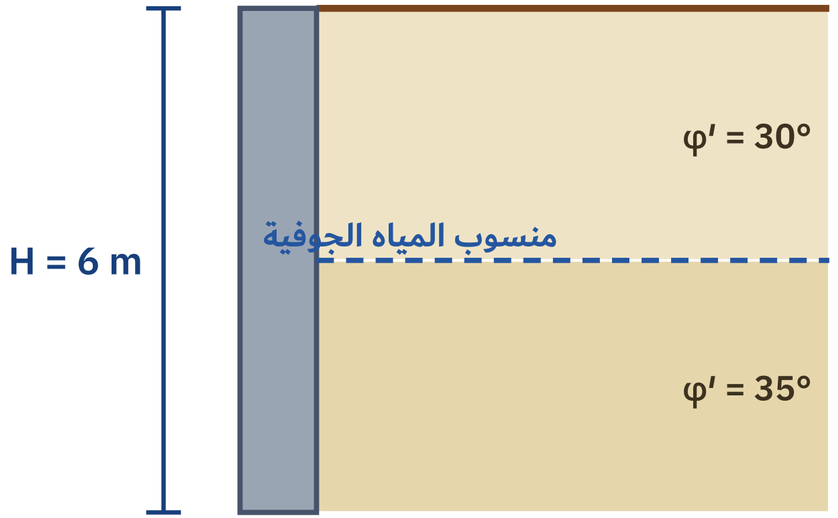
شرائح محاضرات الجيوتكنيك · ضغط التربة الجانبي

ضغط التربة الجانبي وفق Rankine

المحاضرة: ضغط التربة الفعال والمنفعل المؤثر على جدار رأسي عديم الاحتكاك؛ والردم غير المتماسك والمتماسك، والحمل الإضافي، والمياه الجوفية، والتربة الطبقية؛ ومثال محلول لكل موضوع.



الحالتان الفعالة والمنفعلة

$K_a = \tan^2(45° - \varphi'/2)$

الحمل الإضافي والمياه الجوفية

الردم الطبقي

شق الشد

ماذا سنتعلم في هذه المحاضرة؟

- **سبب** كون $\sigma'_a = K_a\sigma'_o - 2c'\sqrt{K_a}$ باستخدام دائرة Mohr للحالتين الفعالة والمنفعلة
- حساب المعاملين K_a وK_p من φ'؛ ومقارنتهما بمعامل السكون K_0
- إيجاد **القوة** و**ارتفاع تأثيرها** من مثلث الضغط في ردم غير متماسك
- رؤية كيف يغير الحمل الإضافي والمياه الجوفية وحدود الطبقات المخطط
- التمييز بين **منطقة الشد** والقوة مع الشق / بدون شق في تربة c'–φ وتربة $\varphi = 0$
- حساب المقاومة المنفعلة ومعرفة مقدار الحركة اللازمة للجدار

تسلسل المحاضرة

يعالج كل موضوع في **ثلاث خطوات**:

1 · **النظرية**: ما القاعدة، ولماذا هي كذلك؟

2 · **المسألة**: المعطيات والمطلوب

3 · **الحل**: خطوة بخطوة، بالأرقام

تُؤخذ القوى لكل وحدة طول من الجدار (kN/m)؛ والضغوط بوحدة kPa، وجميع الإجهادات فعالة.

الاتزان اللدن ودائرة Mohr

النظرية

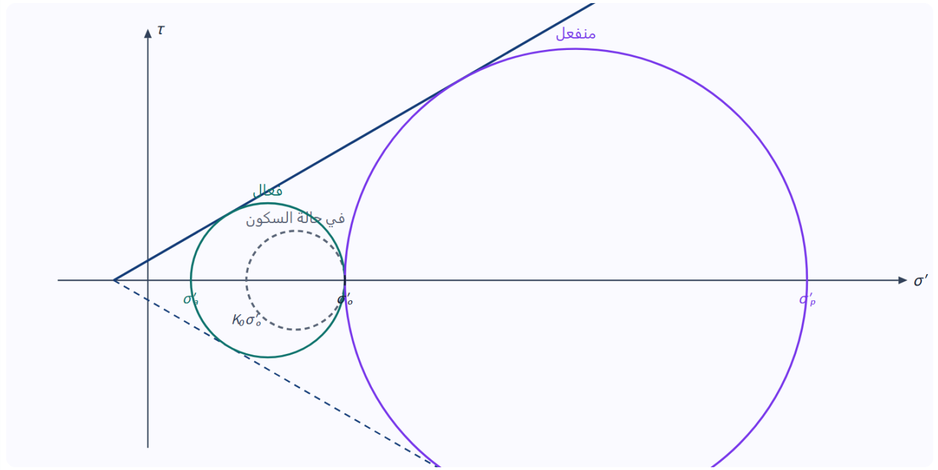
درس Rankine (1857) كتلة تربة تقع كل نقطة منها على حافة الانهيار. فإذا ابتعد جدار رأسي عديم الاحتكاك **عن التربة** انخفض الإجهاد الأفقي عن قيمته في حالة السكون $K_0\sigma'_o$ ومست دائرة Mohr مغلف الانهيار: **الحالة الفعالة**. وإذا **دُفع الجدار نحو التربة** ارتفع الإجهاد الأفقي فوق σ'_o: **الحالة المنفعلة**.

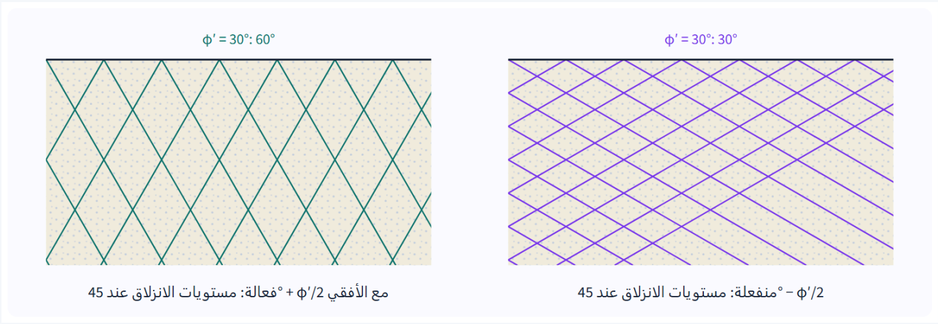
$$\sigma'_a = \sigma'_o \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi'}{2}\right) - 2c' \tan\left(45^\circ - \frac{\varphi'}{2}\right)$$

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

σ'_o هو الإجهاد الرأسي الفعال (ضغط الإحاطة)؛ وخلف الجدار يكون الإجهاد الرئيسي الأكبر رأسياً (في الحالة الفعالة) أو أفقياً (في الحالة المنفعلة).

تصنع مستويات الانزلاق زاوية 45° + φ′/2 مع الأفق في الحالة الفعالة، وزاوية 45° − φ′/2 في الحالة المنفعلة.





منفعلة: مستويات الانزلاق عند 45 − φ′/2°

فعالة: مستويات الانزلاق عند 45 + φ′/2° مع الأفقي

معاملا الضغط الفعال K_a والضغط المقاوم K_p

النظرية

يُعرَّف معاملان من هندسة دائرة Mohr؛ كل منهما مقلوب الآخر:

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

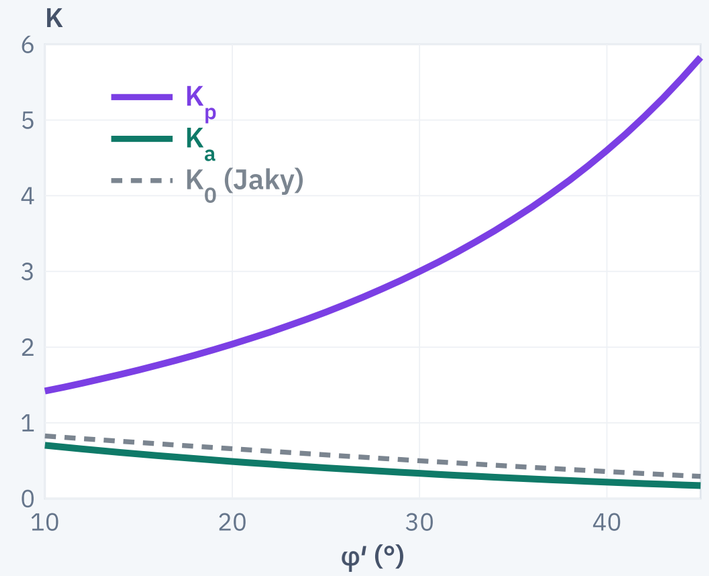
$$\sigma'_a = K_a\sigma'_o - 2c'\sqrt{K_a} \qquad \sigma'_p = K_p\sigma'_o + 2c'\sqrt{K_p}$$

40°	35°	30°	25°	φ′
0.217	0.271	0.333	0.406	K_a
4.599	3.690	3.000	2.464	K_p
0.357	0.426	0.500	0.577	K_0 (Jaky)

$K_a < K_0 < K_p$: ضغط السكون قبل حركة الجدار يقع بين الحدين.

يزداد K_p بسرعة مع φ′: عند φ′ = 40° يتجاوز الضغط المنفعل 20 ضعفاً من الضغط الفعال.

K_a و K_p و K_0 – φ′



المسألة

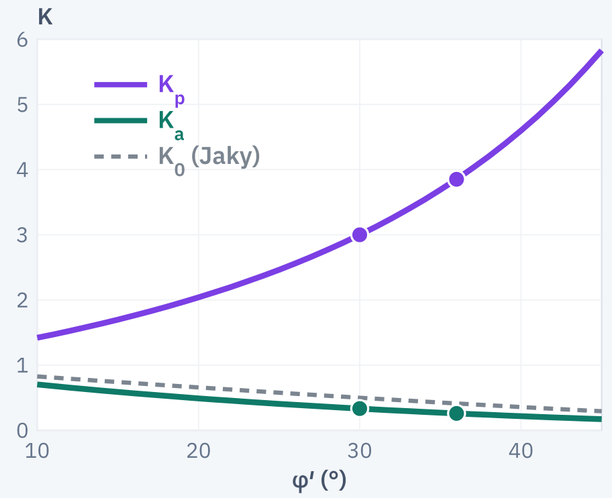
مثال

المعطيات

التربة	**رمل غير متماسك، $c' = 0$؛ حالتان: $\varphi' = 36^\circ$ و $\varphi' = 30^\circ$**
الجدار	**رأسي، عديم الاحتكاك؛ سطح الردم أفقي**

المطلوب

احسب K_a وK_p وK_0 وفق Jaky؛ تحقق من ترتيب الثلاثة.



الحل

الحل

1 $\varphi' = 36°$

$$K_a = \tan^2(45^\circ - 18^\circ) = \tan^2 27^\circ = \mathbf{0.2596} \qquad K_p = \tan^2 63^\circ = \frac{1}{K_a} = \mathbf{3.852}$$

2 $\varphi' = 30°$

$$K_a = \frac{1 - \sin 30^\circ}{1 + \sin 30^\circ} = \frac{0.5}{1.5} = \mathbf{0.3333} \qquad K_p = \frac{1 + \sin 30^\circ}{1 - \sin 30^\circ} = \mathbf{3}$$

3 معامل السكون (Jaky): $K_0 = 1 - \sin\varphi'$

$$\varphi' = 36^\circ:\ K_0 = 1 - 0.5878 = \mathbf{0.4122} \qquad \varphi' = 30^\circ:\ K_0 = 1 - 0.5 = \mathbf{0.50}$$

في كلتا التربتين **$K_a < K_0 < K_p$**؛ و $K_a \cdot K_p = 1$. وعندما تزداد φ' من 30° إلى 36° تتغير K_a من 0.333 → 0.260، و K_p من 3.00 → 3.85.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

مثلث الضغط والقوة وارتفاع تأثيرها

النظرية

في الردم الخلفي ذي السطح الأفقي عندما $c' = 0$ يزداد الضغط **خطياً** مع العمق؛ والمخطط مثلثي. والقوة المؤثرة على وحدة الطول من الجدار هي مساحة المثلث، ونقطة تأثيرها مركز الثقل (على ارتفاع H/3 فوق القاعدة):

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

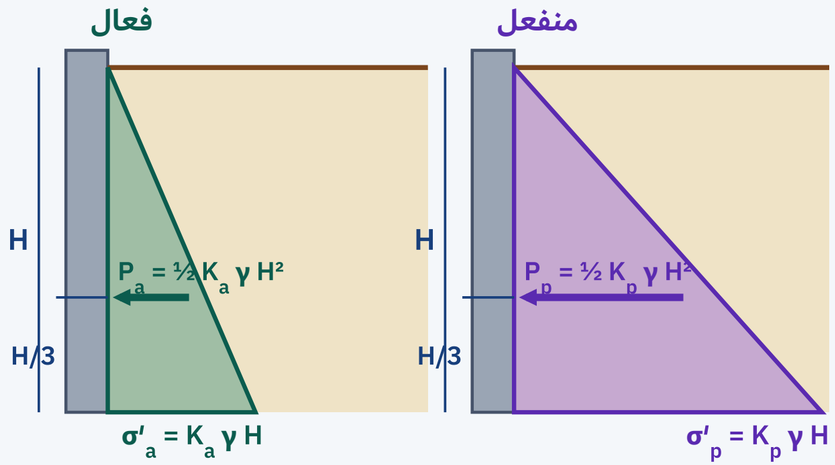
$$\sigma'_p = K_p \gamma z \qquad P_p = \tfrac{1}{2} K_p \gamma H^2 \qquad \bar{z} = \frac{H}{3}$$

تتناسب القوة مع **H^2**: مضاعفة ارتفاع الجدار تجعل القوة أربعة أمثالها.

القوة عمودية على الجدار وأفقية (جدار دون احتكاك، $\delta' = 0$).

الوحدات: إذا كانت γ بوحدة kN/m^3 و H بوحدة m فإن P بوحدة kN/m.

حالتان حديتان



المسألة

مثال

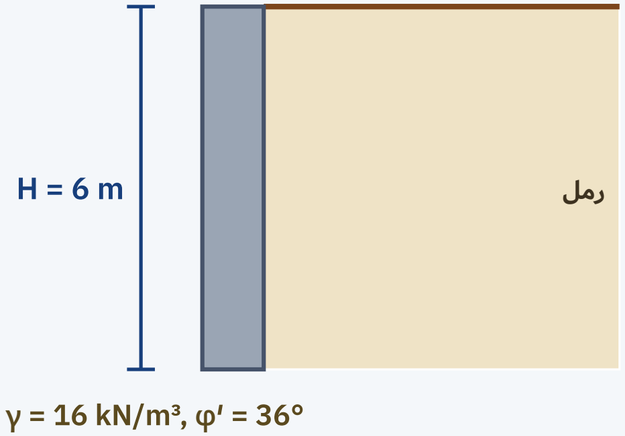
المطلوب

القوة **الفعالة** والقوة **المنفعلة** P_a و P_p وارتفاع نقطة تأثير كل منهما؛ إضافة إلى قوة السكون P_0.

المعطيات

الجدار — $H = 6$ m، **رأسي، عديم الاحتكاك؛ سطح الردم أفقي**

التربة — **رمل جاف:** $\gamma = 16$ kN/m^3, $\varphi' = 36^\circ$, $c' = 0$



الحل

الحل

1 المعاملات (المثال 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 القوة الفعالة (مساحة المثلث)

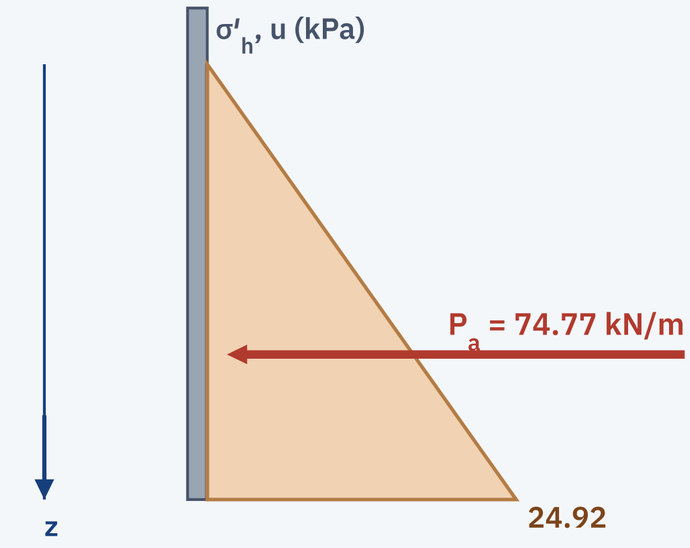
$$P_a = \tfrac{1}{2}\sigma'_a(6)\,H = \tfrac{1}{2}(24.92)(6) = \mathbf{74.77}\ \text{kN/m}$$

$$\bar{z} = \tfrac{6}{3} = \mathbf{2.0\ m}$$

3 القوة المنفعلة

$$P_p = \tfrac{1}{2}K_p \gamma H^2 = \tfrac{1}{2}(3.852)(16)(36) = \mathbf{1{,}109.3}\ \text{kN/m}$$

$$\bar{z} = \tfrac{6}{3} = \mathbf{2.0\ m}$$



P_a = **74.77 kN/m**، P_p = **1,109.3 kN/m**، وكلتاهما تؤثران على ارتفاع 2.0 m فوق القاعدة. المقاومة المنفعلة تبلغ **14.8 ضعف** الدفع الفعال؛ أما قيمة P_0 في حالة السكون، وهي 118.72 kN/m، فتقع بينهما.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

تأثيران يغيران المخطط

النظرية

يضيف **الحمل الإضافي المنتظم q** الضغط نفسه عند كل عمق: أي يضاف مستطيل. وتحت **منسوب المياه الجوفية** يحسب الإجهاد الفعال بالقيمة $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$، ويضاف فوق ذلك ضغط الماء $u = \gamma_w(z - H_1)$ **بقيمته الكاملة**:

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

المكوّن	القوة	الذراع (من القاعدة)
الحمل الإضافي (مستطيل)	$K_a\, q\, H$	$H/2$
المثلث العلوي	$K_a\, \gamma\, H_1^2\, ½$	$H_2 + H_1/3$
المستطيل السفلي	$K_a\, \gamma\, H_1\, H_2$	$H_2/2$
المثلث السفلي (الفعال)	$K_a\, \gamma'\, H_2^2\, ½$	$H_2/3$
ضغط الماء	$\gamma_w\, H_2^2\, ½$	$H_2/3$

بأخذ عزم المركبات حول نقطة القاعدة نحصل على ارتفاع نقطة تأثير المحصلة: $\bar{z} = \Sigma P_i z_i \,/\, \Sigma P_i$.

تحسب القوة المنفعلة بالمركبات نفسها باستخدام K_p؛ أما ضغط الماء فهو نفسه.

لماذا يكون تأثير الماء كبيراً؟

ضغط الماء **لا يعتمد على زاوية الاحتكاك**: إذ يضرب بالمعامل 1 بدلاً من K_a. وبما أن $\gamma' \approx \gamma_{sat}/2$ في المنطقة المغمورة، فإن ضغط التربة الناتج عن الإجهاد الفعال يقل، لكن ضغط الماء يعوضه وزيادة.

المسألة

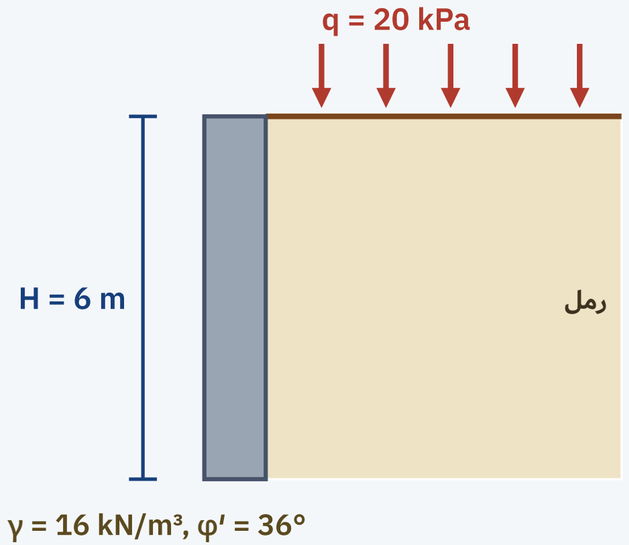
مثال

المعطيات

الجدار والتربة	**الجدار في المثال 2:** $H = 6$ m، $\gamma = 16$ kN/m^3، $\varphi' = 36°$، **جاف**
الحمل الإضافي	$q = 20$ kPa **موزع بانتظام على سطح الردم**

المطلوب

P_a و$\bar{z}$؛ تأثير الحمل الإضافي.



الحل

الحل

1 الضغط: K_aq عند السطح، و$K_aq + K_a\gamma H$ عند القاعدة

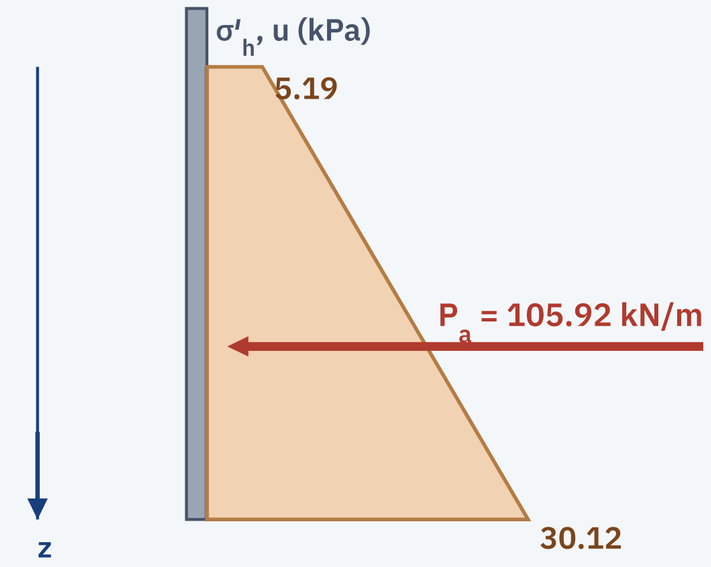
$$\sigma'_a(0) = 0.2596(20) = 5.19 \text{ kPa}$$
$$\sigma'_a(6) = 5.19 + 24.92 = \mathbf{30.12} \text{ kPa}$$

2 القوى: مستطيل (ذراع 3.0 m) + مثلث (ذراع 2.0 m)

$$P_q = K_aqH = 5.19(6) = 31.15 \text{ kN/m}$$
$$P_\gamma = \tfrac{1}{2}K_a\gamma H^2 = 74.77 \text{ kN/m}$$

3 المحصلة وارتفاع تأثيرها

$$P_a = 31.15 + 74.77 = \mathbf{105.92} \text{ kN/m}$$
$$\bar{z} = \frac{31.15(3) + 74.77(2)}{105.92} = \mathbf{2.29} \text{ m}$$



زادت قوة الحمل الإضافي القوة بمقدار 31.15 kN/m (42%)؛ وارتفعت نقطة التأثير **من 2.00 m إلى 2.29 m** (ذراع المستطيل H/2).

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

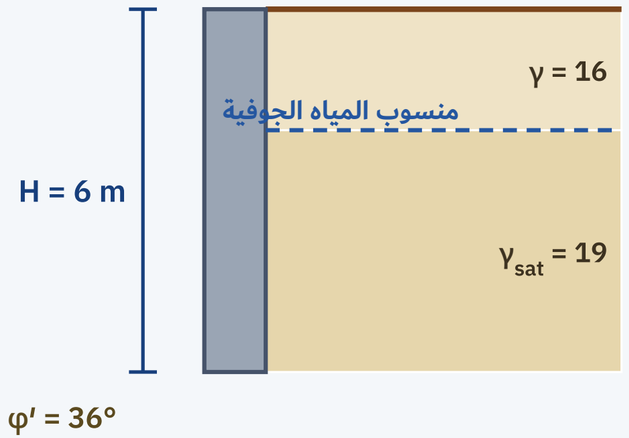
مثال

المعطيات

الجدار	$H = 6$ m، رأسي؛ ردم رملي بسطح أفقي، دون حمل إضافي
التربة	أعلى منسوب المياه الجوفية (جاف): $\gamma = 16$ kN/m^3؛ أسفل منسوب المياه الجوفية على عمق 2 m: $\gamma_{sat} = 19$ kN/m^3؛ $\varphi' = 36^\circ$

المطلوب

القوة الكلية الناتجة عن ضغط التربة الفعال وضغط الماء وارتفاع تأثيرها؛ تأثير الماء.



الحل

الحل

1 الإجهادات الفعالة (z = 2 و 6 m)

$$\sigma'_o(2) = 16(2) = 32 \text{ kPa}$$
$$\sigma'_o(6) = 32 + 4(19 - 9.81) = 68.76 \text{ kPa}$$
$$\sigma'_a(6) = K_a\sigma'_o(6) = \mathbf{17.85} \text{ kPa}$$

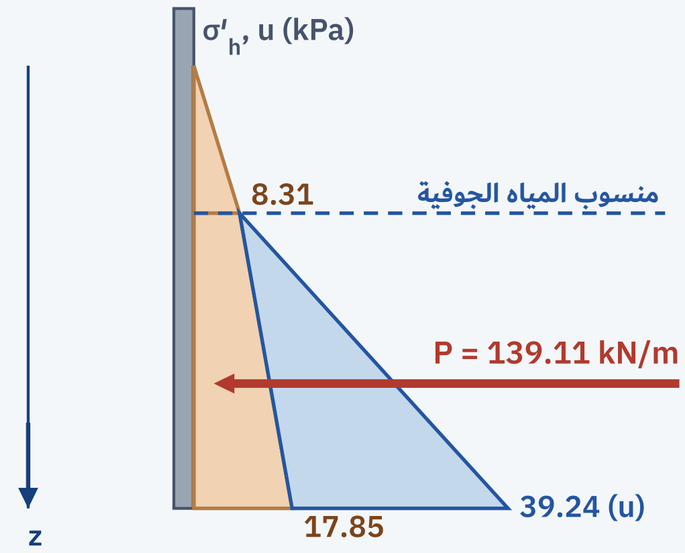
2 ضغط الماء عند قاع القاعدة: $u = \gamma_w(6 - 2)$

$$u(6) = 9.81(4) = \mathbf{39.24} \text{ kPa}$$

3 القوى: المثلث العلوي · المستطيل السفلي · المثلث السفلي · الماء

$$P_a = 8.31 + 33.23 + 19.09 = 60.63 \text{ kN/m (التربة)}$$
$$P_w = \tfrac{1}{2}(39.24)(4) = 78.48 \text{ kN/m}$$

المجموع = 78.48 + 60.63 = **139.11 kN/m**، $\bar{z}$ **= 1.69 m**. كانت قوة الجدار الجاف 74.77 kN/m: وقد رفعها الماء إلى **1.9 مرة** من قيمتها.



تحقق من الحل في GeoTerva ↗

النظرية

تستخدم كل طبقة قيمة K الخاصة بها

إذا تكوّن الردم من عدة طبقات فإن **الإجهاد الرأسي الفعال σ'_o مستمر** (لا يقفز عند حد الطبقة)؛ أما الإجهاد الأفقي $\sigma'_a = K_i \sigma'_o$ فلأن كل طبقة تستخدم قيمتها الخاصة K_i **يقفز المخطط عند الحد الذي تتغير عنده φ'**:

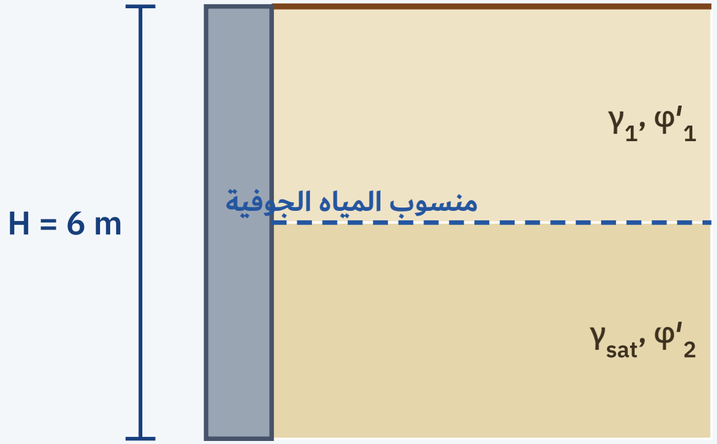
$$\sigma'_a = K_{a,i}\,\sigma'_o(z) \qquad \sigma'_o(z) = q + \sum \gamma_i h_i \quad (\gamma' \text{ في المنطقة المغمورة})$$

عند الحد تُقرأ قيمتان: قيمة $K_{a,1}\sigma'_o$ للطبقة العليا وقيمة $K_{a,2}\sigma'_o$ للطبقة السفلى. وإذا كانت φ' للطبقة السفلى كبيرة **ينخفض** الضغط عند الانتقال إلى الأسفل.

يعامل منسوب المياه الجوفية كحد طبقة: يبدأ γ'، ويضاف u.

تحسب القوة بجمع مساحات كل جزء (مثلث / مستطيل)، ويحسب ارتفاع خط التأثير بأخذ العزوم.

الردم الطبقي والماء



المسألة

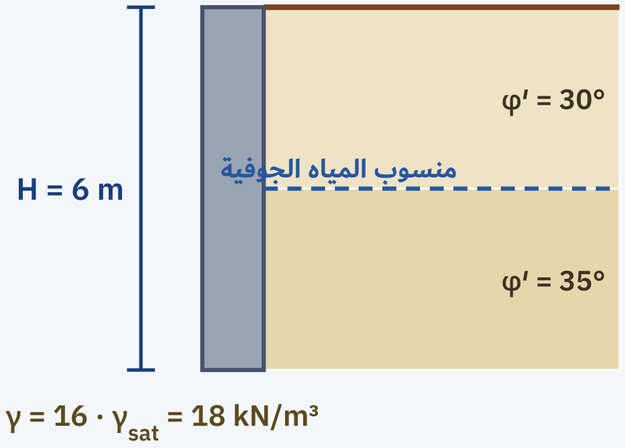
مثال

المعطيات

الجدار	**$H = 6$ m، رأسي، عديم الاحتكاك؛ سطح أفقي؛ لا يوجد حمل إضافي**
الطبقة العلوية (0–3 m)	**رمل:** $\gamma = 16$ kN/m^3, $\varphi' = 30^\circ$
الطبقة السفلية (3–6 m)	**رمل:** $\gamma_{sat} = 18$ kN/m^3, $\varphi' = 35^\circ$
منسوب المياه الجوفية	**عند عمق 3 m (عند حد الطبقة)**

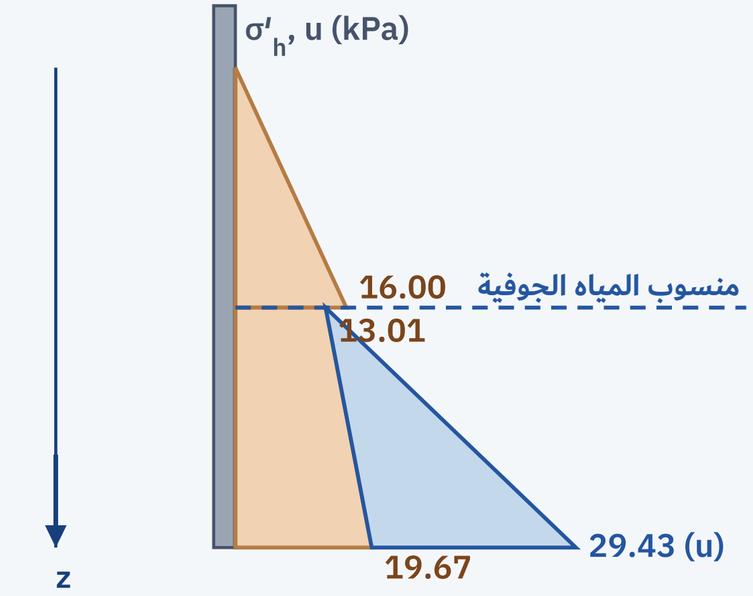
المطلوب

القوة الكلية (التربة + الماء) و**ارتفاع تأثيرها**. الجدار الابتدائي في الوحدة هو هذا الجدار.



الحل (1/2)

الحل



1 المعاملات

$$K_{a,1} = \frac{1}{3} = \mathbf{0.3333} \qquad K_{a,2} = \tan^2 27.5^\circ = \mathbf{0.2710}$$

2 عند عمق 3 m (الحد): $\sigma'_o = 16(3) = 48$ kPa

$$\sigma'_a = 0.3333(48) = \mathbf{16.00}\ \text{kPa}\ \text{(في الأعلى)}$$
$$\sigma'_a = 0.2710(48) = \mathbf{13.01}\ \text{kPa}\ \text{(الأسفل)}$$

3 عند عمق 6 m (القاعدة)

$$u = 9.81(3) = \mathbf{29.43} \qquad \sigma'_o = 48 + 3(18 - 9.81) = 72.57\ \text{kPa}$$
$$\sigma'_a = 0.2710(72.57) = \mathbf{19.67}\ \text{kPa}$$

يقفز المخطط عند الحد من 16.00 → 13.01 kPa (تغير φ′)؛ ويظل σ'_o مستمراً.

الحل (2/2)

الحل

4 القوى: المثلث العلوي · المستطيل السفلي · المثلث السفلي · الماء

$$P = \tfrac{1}{2}(3)(16.00) + 3(13.01) + \tfrac{1}{2}(3)(6.66) + \tfrac{1}{2}(3)(29.43)$$
$$= 24.00 + 39.02 + 9.99 + 44.14 = \mathbf{117.15}\ \text{kN/m}$$

5 ارتفاع نقطة التأثير: العزم حول نقطة القاعدة (الأذرع 4؛ 1.5؛ 1؛ 1 m)

$$\bar{z} = \frac{24.00(4) + 39.02(1.5) + 9.99(1) + 44.14(1)}{117.15} = \mathbf{1.78}\ \text{m}$$

القوة الكلية **117.15 kN/m** وتقع على ارتفاع **1.78 m** فوق القاعدة؛ ومساهمة التربة 73.01 kN/m ومساهمة الماء 44.14 kN/m. ويشكل الماء نحو 38% من القوة وهو أكبر أجزائها.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

منطقة الشد وشقوق الشد

النظرية

في تربة ذات φ–c′ يكون الضغط الفعال **سالباً** عند السطح العلوي (تميل التربة إلى شد الجدار)؛ والعمق الذي ينعدم عنده الضغط:

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

لا تتحمل التربة إجهادات الشد: ومع الزمن تنفتح **شقوق الشد** حتى العمق z_0. وتكون القوة هي الجزء الموجب من المخطط فقط:

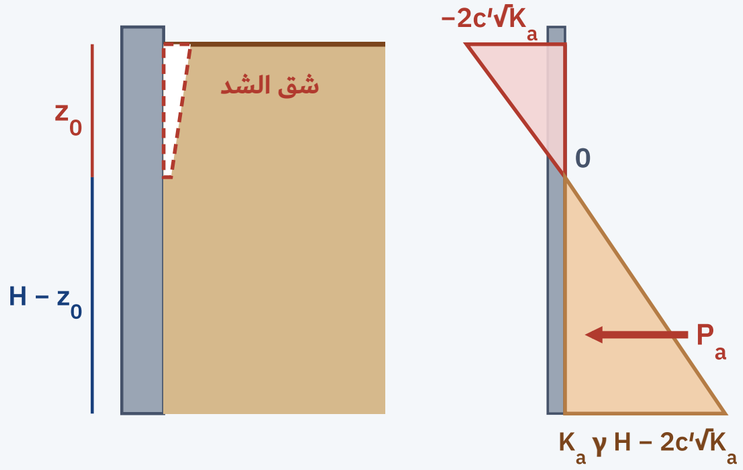
$$P_a = \tfrac{1}{2}\left[K_a(q+\gamma H) - 2c'\sqrt{K_a}\right](H - z_0)$$

قبل حدوث التشقق يؤخذ المخطط بأكمله في الحساب (القوة الأصغر): $P_a = \tfrac{1}{2}K_a\gamma H^2 - 2c'\sqrt{K_a}\,H + K_a qH$.

في التصميم تكون القوة مع الشق (الأكبر) هي المعتمدة؛ وإذا امتلأ الشق بالماء أضيفت إليها أيضاً قوة هيدروستاتيكية قدرها $\gamma_w z_0^2/2$.

ارتفاع تأثير الحمل هو مركز ثقل المثلث الموجب: $(H - z_0)/3$.

منطقة الشد



الضغط السالب: عند عمق z_0 من الأعلى لا يوجد تلامس مع الجدار.

المسألة

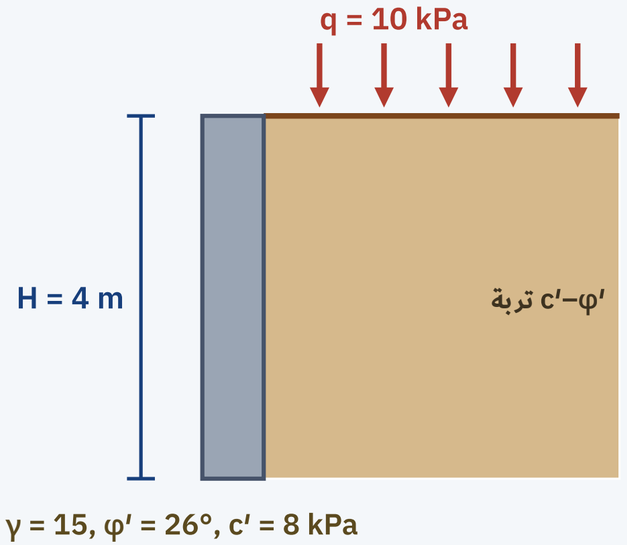
مثال

المعطيات

الجدار	**رأسي، عديم الاحتكاك؛ سطح أفقي**، $H = 4$ m
التربة	$\gamma = 15$ kN/m^3، $\varphi' = 26°$، $c' = 8$ kPa
الحمل الإضافي	$q = 10$ kPa

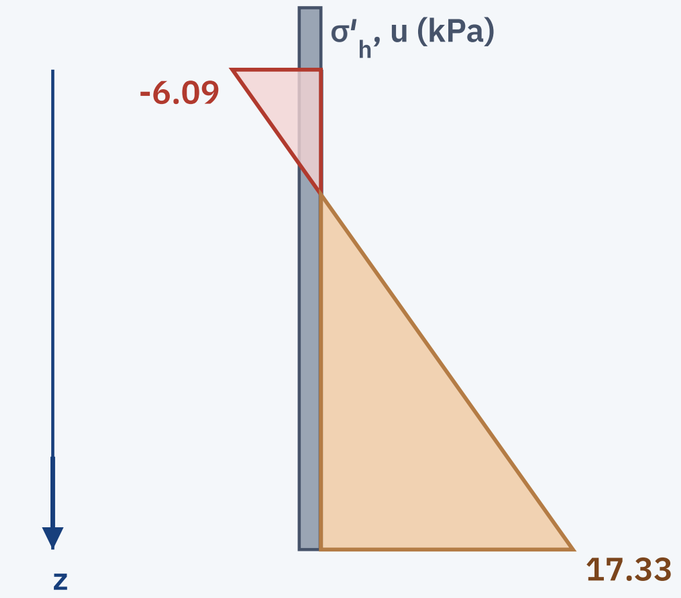
المطلوب

عمق الشد z_0، والقوة الفعالة مع وجود شق وارتفاع تأثيرها؛ والمقارنة مع القوة دون شق.



الحل (1/2)

الحل



1 المعامل: $K_a = \tan^2(45° - 13°)$

$$K_a = \tan^2 32^\circ = \mathbf{0.3905} \qquad \sqrt{K_a} = 0.6249$$

$$2c'\sqrt{K_a} = 2(8)(0.6249) = 10.00 \text{ kPa}$$

2 الضغط في الأعلى والقاع

$$\sigma'_a(0) = 0.3905(10) - 10.00 = -\mathbf{6.09} \text{ kPa (الشد)}$$

$$\sigma'_a(4) = 0.3905(10 + 15 \cdot 4) - 10.00 = \mathbf{17.33} \text{ kPa}$$

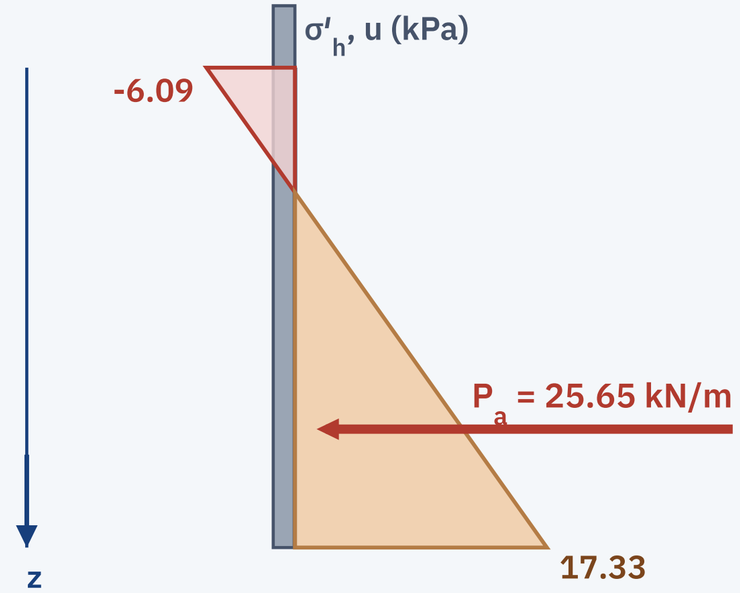
3 عمق الشد (حيث يكون الضغط مساوياً للصفر)

$$z_0 = \frac{2(8)}{15(0.6249)} - \frac{10}{15}$$

$$= 1.707 - 0.667 = \mathbf{1.04} \text{ m}$$

الحل (2/2)

الحل



4 القوة بوجود شق الشد (المثلث الموجب فقط)

$$P_a = \tfrac{1}{2}(17.33)(4 - 1.04) = \mathbf{25.65}\ \text{kN/m}$$

$$\bar{z} = \frac{4 - 1.04}{3} = \mathbf{0.99}\ \text{m}$$

5 المقارنة: حالة عدم وجود شق (مع احتساب المنطقة السالبة)

$$P_a = \tfrac{1}{2}(-6.09 + 17.33)(4) = 22.48\ \text{kN/m}$$

القوة مع الشق **25.65 kN/m**، وهي أكبر بنسبة 14% من القوة بدون شق؛ والقيمة الآمنة هي قيمة الحالة المتشققة.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

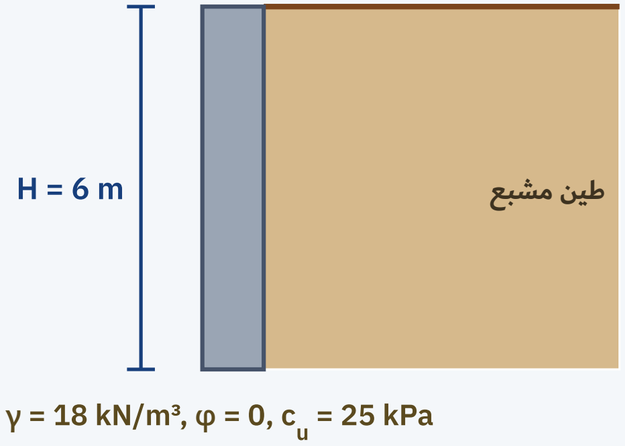
مثال

المعطيات

الجدار	$H = 6$ m، رأسي؛ سطح أفقي؛ دون حمل إضافي
التربة	طين مشبع، غير مصّرف: $\gamma = 18$ kN/m^3, $\varphi = 0$, $c_u = 25$ kPa

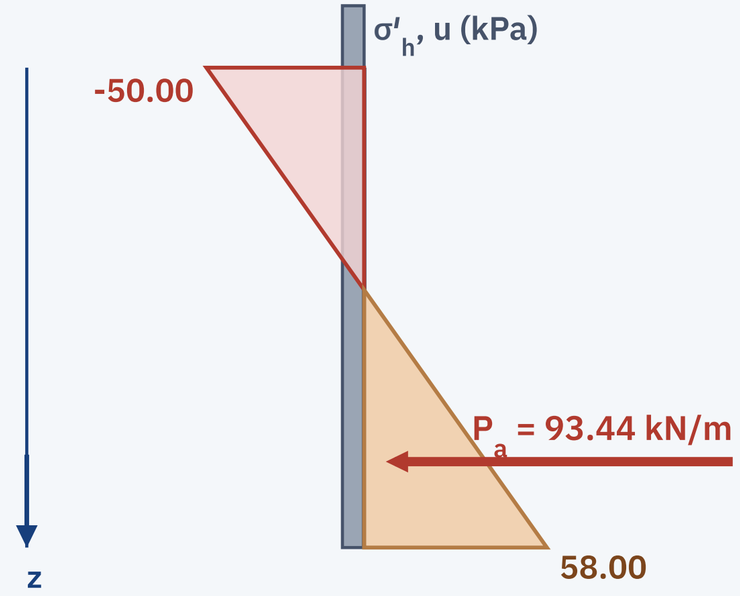
المطلوب

z_0 والقوة الفعالة مع الشق ودونه؛ والقوة المنفعلة؛ وارتفاع القطع الرأسي الممكن دون جدار H_c.



الحل (1/2)

الحل



1 عند φ = 0 يكون $K_a = K_p = 1$: عمق الشد وضغط القاعدة

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

$$z_0 = \frac{2c_u}{\gamma} = \frac{50}{18} = \mathbf{2.78} \text{ m}$$

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

2 القوة الفعالة مع وجود شق

$$P_a = \tfrac{1}{2}(58)(6 - 2.78) = \mathbf{93.44} \text{ kN/m}$$

$$\bar{z} = \frac{6 - 2.78}{3} = 1.07 \text{ m}$$

الحل (2/2)

الحل

3 القوة الفعالة والقوة المنفعلة بدون شقوق شد

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

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

4 الارتفاع الذي يمكن قطعه رأسياً دون جدار ($P_a = 0$ من دون شقوق)

$$\tfrac{1}{2}\gamma H_c^2 - 2c_u H_c = 0 \;\Rightarrow\; H_c = \frac{4c_u}{\gamma} = \frac{4(25)}{18} = \mathbf{5.56}\ \text{m}$$

القوة مع وجود الشق (93.44 kN/m) تساوي **3.9 أضعاف** القوة بدون شق (24 kN/m): فافتراض وجود شق الشد في التربة المتماسكة هو الذي يحدد النتيجة. ولأن H = 6 m أكبر من H_c = 5.56 m فإن القوة بدون شق موجبة أيضاً.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

يزيد التماسك المقاومة المنفعلة

النظرية

في حالة المنفعل يضيف التماسك مقاومة **عند كل عمق**؛ ولا توجد منطقة شد ولا شق. والضغط عند السطح ليس صفراً:

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

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

مخطط الضغط **شبه منحرف**: يضيف التماسك والحمل الإضافي مستطيلاً، ويضيف γz مثلثاً.

يحسب ارتفاع نقطة التأثير بأخذ العزوم (حصة التماسك عند H/2).

تعتمد المقاومة المنفعلة على حركة الجدار حركة كافية؛ فلا تستخدم كاملة في التصميم، بل تخفض بمعامل.

مقارنة الفعال – المنفعل

	الفعال	المنفعل
المعامل	$K_a < 1$	$K_p > 1$
التماسك	**يقلل** الضغط ($2c'\sqrt{K_a}-$)	**يزيد** المقاومة ($2c'\sqrt{K_p}+$)
منطقة الشد	يوجد (z_0)	لا يوجد
سطح الانزلاق	$\varphi'/2 + 45°$	$\varphi'/2 - 45°$
الحركة اللازمة	صغير	كبير

المسألة

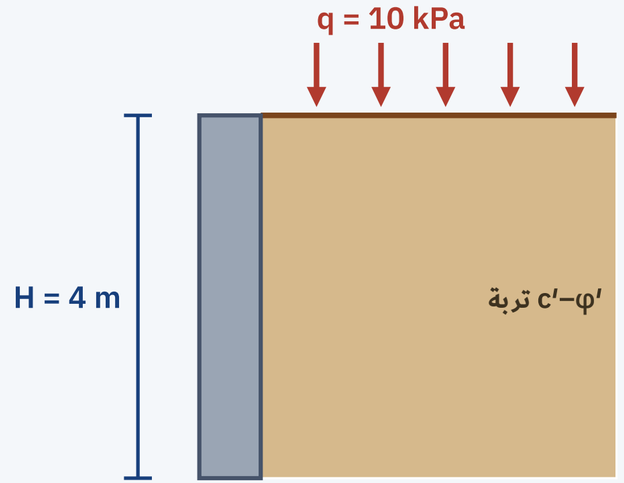
مثال

المعطيات

الجدار والتربة	**الجدار والتربة من المثال 6:** $H = 4$ m، $\gamma = 15$ kN/m^3، $\varphi' = 26°$، $c' = 8$ kPa
الحمل الإضافي	$q = 10$ kPa (على الجانب المنفعل)

المطلوب

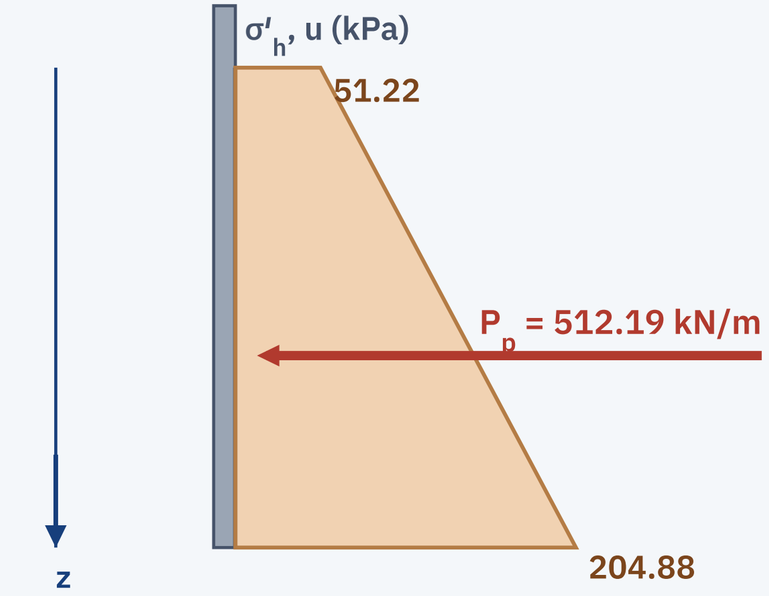
القوة المنفعلة P_p وارتفاع تأثيرها.



γ = 15، φ′ = 26°، c′ = 8 kPa (الحالة المنفعلة)

الحل

الحل



1 المعامل: $K_p = \tan^2(45° + 13°)$

$$K_p = \tan^2 58° = \mathbf{2.561} \qquad 2c'\sqrt{K_p} = 2(8)(1.600) = 25.61 \text{ kPa}$$

2 الضغط في الأعلى والقاع

$$\sigma'_p(0) = 2.561(10) + 25.61 = \mathbf{51.22} \text{ kPa}$$
$$\sigma'_p(4) = 2.561(10 + 60) + 25.61 = \mathbf{204.88} \text{ kPa}$$

3 مساحة شبه المنحرف ومركز الثقل

$$P_p = \tfrac{1}{2}(51.22 + 204.88)(4) = \mathbf{512.2} \text{ kN/m}$$
$$\bar{z} = \frac{51.22(4)(2) + \tfrac{1}{2}(153.66)(4)(\tfrac{4}{3})}{512.2} = \mathbf{1.60} \text{ m}$$

المقاومة المنفعلة **512.2 kN/m** على ارتفاع 1.60 m فوق القاعدة؛ وهي نحو **20 ضعفاً** من القوة الفعالة للجدار نفسه مع شق الشد.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

النظرية

ما مقدار الحركة اللازمة لتكوّن الحالتين الفعالة والمنفعلة؟

للوصول إلى حالتي Rankine يجب أن يبتعد الجدار عن التربة (الحالة الفعالة) أو أن يقترب منها (الحالة المنفعلة). و**الحركة اللازمة للحالة المنفعلة أكبر كثيراً من الحركة اللازمة للحالة الفعالة**؛ نسبةً إلى الارتفاع H:

التربة	الفعال $\Delta L_a/H$	المنفعل $\Delta L_p/H$	الفعال من أجل H = 6 m	الضغط المنفعل من أجل H = 6 m
رمل مفكك	0.002–0.001	0.01	12 mm–6	60 mm
رمل كثيف	0.001–0.0005	0.005	6 mm–3	30 mm
طين طري	0.02	0.04	120 mm	240 mm
الطين الصلب	0.01	0.02	60 mm	120 mm

إذا لم تبلغ الحركة هذه القيم بقي الضغط أكبر من الضغط الموافق للمعامل K_a وأقل من الضغط الموافق للمعامل K_p؛ أما إذا كان الجدار مقيدا بالكامل فينشأ ضغط السكون K_0.

تُطبَّق هذه النسب على حركة القمة في الجدار الذي يدور حول قاعدته.

نطاق حل Rankine

النظرية

الجدار: رأسي وأملس ($\delta' = 0$)؛ والضغط أفقي وعمودي على الجدار. وفي الواقع يخفض احتكاك الجدار القوة الفعالة ويزيد القوة المنفعلة؛ لذا فإن Rankine يقع في الحالة الفعالة إلى جانب الأمان قليلاً، وفي الحالة المنفعلة في الجانب المحافظ (الآمن).

الردم: السطح أفقي والطبقات متجانسة؛ وأسطح الانزلاق مستوية. وللردم المائل والجدار المائل راجع وحدة Rankine (الردم المائل).

الإجهادات: الإجهاد الفعال هو الأساس؛ ويضاف ضغط الماء بصورة منفصلة، وفي الطين يمكن استخدام الحل غير المصرف ($\varphi = 0$) مع الإجهاد الكلي أيضاً.

الحمل الإضافي (السطحي): حمل منتظم موزع؛ تُعالج وحدات الحمل الشريطي والحمل النقطي والحمل الخطي كلٌّ على حدة.

الزلزال: Rankine حل استاتيكي؛ وللزلزال تستخدم وحدات Mononobe–Okabe ووحدات الضغط المنفعل الزلزالي.

النقاط الرئيسية

الحالات: الفعالة (يبتعد الجدار) $\sigma'_a = K_a\sigma'_o - 2c'\sqrt{K_a}$؛ المنفعلة (يدفع الجدار) $\sigma'_p = K_p\sigma'_o + 2c'\sqrt{K_p}$

المعاملات: $K_a = \tan^2(45° - \varphi'/2)$، $K_p = 1/K_a$؛ $K_a < K_0 = 1 - \sin\varphi' < K_p$

ردم غير متماسك: $P = \frac{1}{2}K\gamma H^2$، على ارتفاع $H/3$ من القاعدة؛ تزداد القوة مع H^2

الحمل الإضافي يضيف مستطيلاً ($K\ q\ H$، ذراعه $H/2$)؛ و **الماء** يضيف الضغط الكامل $u = \gamma_w(z - H_1)$ مستقلاً عن φ'، فيضاعف القوة أضعافاً

في التربة متعددة الطبقات يكون σ'_o مستمراً ويقفز σ'_a عند الحد الذي تتغير عنده φ'؛ وتوجد القوة بتقسيمها إلى أجزاء، وتوجد $\bar{z}$ بأخذ العزوم

في تربة c'–φ': $z_0 = 2c'/(\gamma\sqrt{K_a}) - q/\gamma$؛ وفي حالة شق الشد تكون القوة هي المثلث الموجب فقط، وهي أكبر من القوة المحسوبة دون شق

الضغط المنفعل يزداد مع التماسك ولا توجد منطقة شد؛ لكن الجدار يحتاج إلى أن يتحرك **أكثر بكثير** مما في الحالة الفعالة

المراجع

.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

ملاحظة

جميع الأمثلة العددية مولدة بمحرك الحساب الخاص بالوحدة؛ وتعطي الوحدة القيم نفسها. والجدار الابتدائي للوحدة هو الجدار ذو الطبقتين في المثال 5.

حسابات الجيوتكنيك عبر الإنترنت

من النظرية إلى التطبيق

أدخل في GeoTerva طبقات الجدار الخاص بك والحمل الإضافي ومنسوب المياه الجوفية؛ وتعطي الوحدة مخطط الضغط والقوة وارتفاع نقطة التأثير معا.

افتح الوحدة ←

صفحة النظرية ←

افتح على الهاتف

لا تتطلب الوحدات التجريبية تسجيلاً.

إذا رغبت في استخدامها في محاضراتك: info@geoterva.com