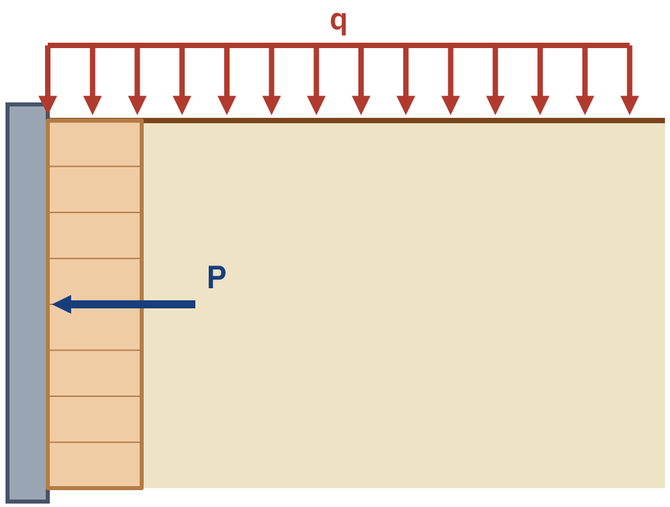


شرائح محاضرات الجيوتكنيك · الأحمال الإضافية

الحمل الإضافي المنتظم

المحاضرة: الحمل المنتظم الموزع على السطح كله خلف الجدار؛ الضغط الجانبي الثابت مع العمق، والمحصلة وخط التأثير، وأمثلة محلولة.

$\sigma_H = K \cdot q$ · $K_0 \cdot K_a$ · $P = K\,q\,H$ · $z_R = H/2$ · مخطط مستطيل

ماذا سنتعلم في هذه المحاضرة؟

كيف ينعكس الحمل المنتظم q على الجدار على هيئة **ضغط جانبي**: $\sigma_H = K \cdot q$، وهو نفسه عند كل عمق

اختيار **المعامل K** وفق سلوك الجدار: السكون (K_0، Jaky) أو الفعال (K_a، Rankine) أو قيمة مدخلة

محصلة المخطط المستطيل $P = K\,q\,H$ و**خط تأثيرها** $z_R = H/2$

تغير K_0 و K_a مع φ'؛ والزيادة الخطية في P مع q و H

كيفية **إضافة** الحمل الإضافي إلى مخطط ضغط التربة وحصته

تسلسل المحاضرة

يعالج كل موضوع في **ثلاث خطوات**:

1 · **النظرية**: المعادلة ومبرراتها

2 · **المسألة**: المعطيات والمطلوب

3 · **الحل**: خطوة بخطوة، بالأرقام

مثال الجدار: $H = 6\ m$، $q = 10\ kPa$، $\varphi' = 30°$. القوى لكل وحدة طول من الجدار (kN/m)؛ والضغوط بوحدة kPa.

النظرية

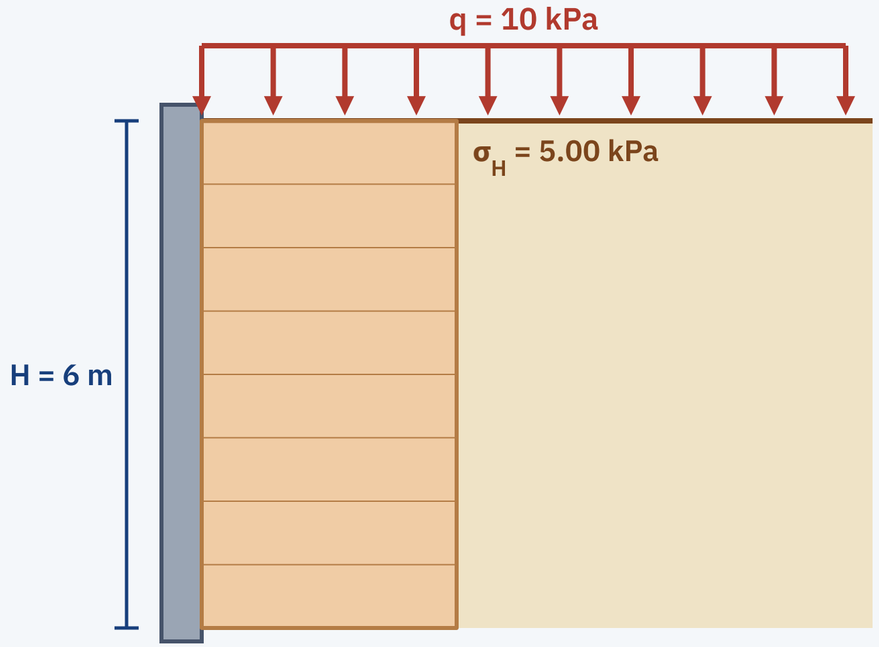
الحمل المنتظم المؤثر على الجدار

الحمل المنتظم **q** المنتشر على **كامل سطح التربة** خلف الجدار يزيد الإجهاد الرأسي بمقدار q عند كل عمق

يتأثر الجدار بجزء منه فقط: ويحدد هذا الجزء بمعامل ضغط التربة الجانبي **K**

يبقى الضغط المضاف **ثابتاً** من أعلى الجدار إلى قاعدته: مخطط الضغط مستطيل

$$\sigma_H = K\,q$$



q — الحمل الإضافي المنتظم على سطح التربة المسنودة

φ′ — زاوية الاحتكاك الداخلي الفعالة للتربة المسنودة

K — معامل ضغط التربة الجانبي (K_0 أو K_a أو القيمة المدخلة)

σ_H — الضغط الجانبي المضاف، ثابت مع العمق

النظرية

سلوك الجدار هو الذي يحدد K

الجدار **غير القابل للحركة** (المسنود) يبقي التربة في حالة السكون: وفي التربة عادية الانضمام يكون المعامل الافتراضي هو معامل **Jaky**

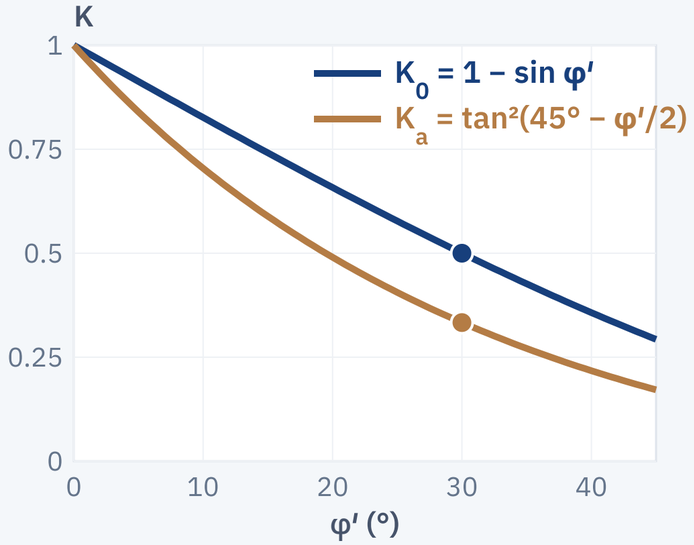
الجدار الذي **يتشوه** يستنفر الحالة الفعالة: ويؤخذ معامل **Rankine** للجدار الرأسي والسطح الأفقي

المعامل المأخوذ من مصدر آخر (K_0 لتربة مفرطة الانضمام، أو K_a بحسب Coulomb لجدار مائل أو خشن) **يدخل مباشرة**

$$K_0 = 1 - \sin\varphi' \qquad \text{(في حالة السكون، Jaky)}$$

$$K_a = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi'}{2}\right) \qquad \text{(فعال، Rankine)}$$

K_0 و K_a – φ'



تغير المعاملين مع زاوية الاحتكاك الداخلي

النظرية

φ' (°)	0	20	25	30	35	40
K_a	1.0000	0.4903	0.4059	0.3333	0.2710	0.2174
K_0	1.0000	0.6580	0.5774	0.5000	0.4264	0.3572

بازدياد φ' يتناقص **كلا المعاملين**: وفي التربة الأقوى تقل الحصة التي يتعرض لها الجدار

عند φ' نفسها **$K_0 > K_a$**: فالجدار الذي لا يستطيع الحركة يتحمل حملاً أكبر من الجدار الذي يتشوه

من أجل $\varphi' = 0$ يكون $K_0 = K_a = 1$: ينتقل الحمل كاملاً إلى الجدار كما في سائل

النظرية

المحصلة $P = K\,q\,H$ عند منتصف الارتفاع

المخطط مستطيل: **المحصلة لكل وحدة طول** من الجدار تساوي مساحته، و**خط التأثير** يمر بمركز المستطيل

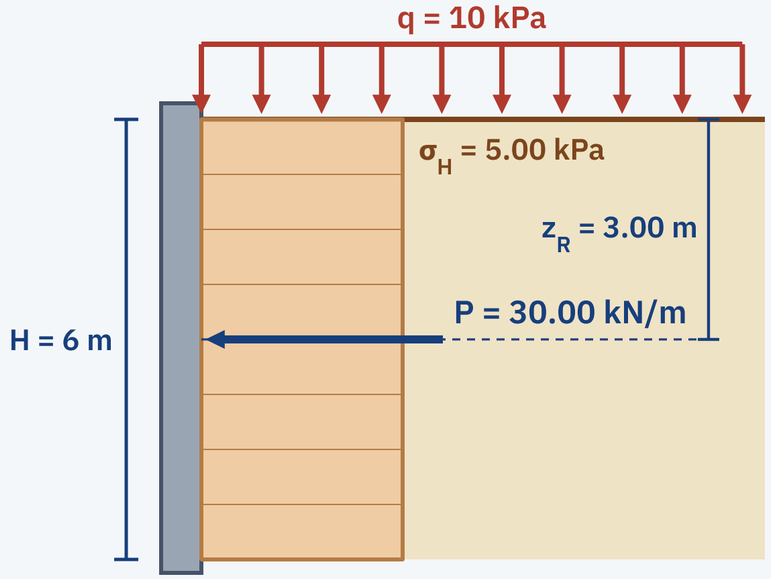
تؤثر المحصلة عند **منتصف** الارتفاع: على بعد H/2 تحت سطح الأرض (وعلى بعد H/2 فوق القاع أيضاً)

هذه **مركبة الحمل الإضافي** فقط: وتضاف إلى مخططي ضغط التربة وضغط الماء

$$P = \sigma_H\, H = K\, q\, H \qquad z_R = \frac{H}{2}$$

P — القوة المحصلة لكل وحدة طول من الجدار (kN/m)

z_R — عمق المحصلة تحت سطح التربة



المسألة

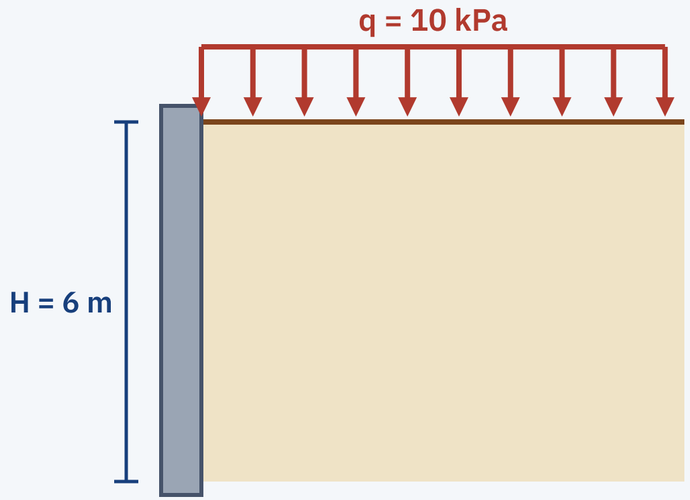
مثال

المعطيات

الجدار	$H = 6.00$ m، جدار صلب (غير قابل للحركة)
الحمل	$q = 10.00$ kPa على كامل السطح
التربة	$\varphi' = 30^\circ$

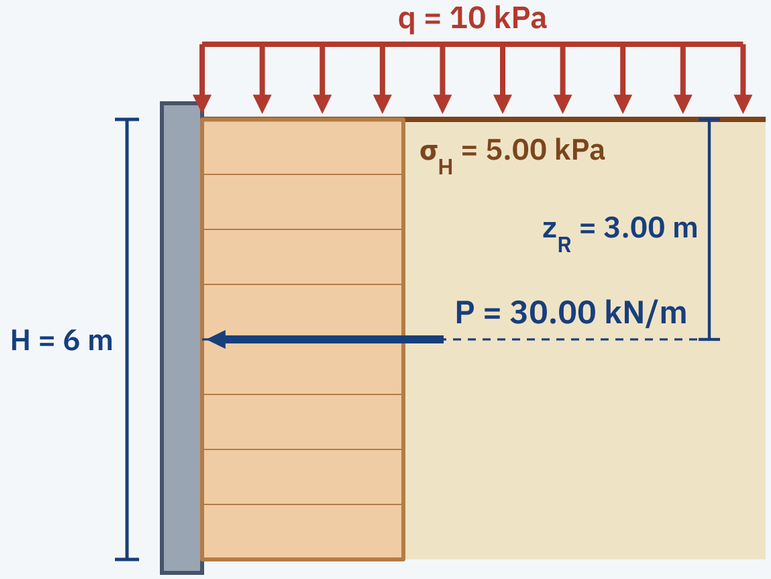
المطلوب

K، والضغط الجانبي المضاف σ_H، والمحصلة **P** وعمقها z_R.



الحل

الحل



1 المعامل: الجدار غير قابل للحركة، حالة السكون (Jaky)

$$K_0 = 1 - \sin\varphi' = 1 - \sin 30^\circ = 1 - 0.5 = \mathbf{0.5000}$$

2 ضغط جانبي مضاف: ثابت عند كل عمق

$$\sigma_H = K\,q = 0.5000 \times 10.00 = \mathbf{5.00}\ \text{kPa}$$

3 المحصلة وخط تأثيرها

$$P = \sigma_H\,H = 5.00 \times 6.00 = \mathbf{30.00}\ \text{kN/m}$$

$$z_R = \frac{H}{2} = \frac{6.00}{2} = \mathbf{3.00}\ \text{m}$$

يتلقى الجدار ضغطاً جانبياً قدره **5.00 kPa** على كامل الارتفاع؛ والمحصلة **30.00 kN/m** وتقع على عمق **3.00 m** تحت سطح الأرض (على ارتفاع 3.00 m فوق القاعدة).

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

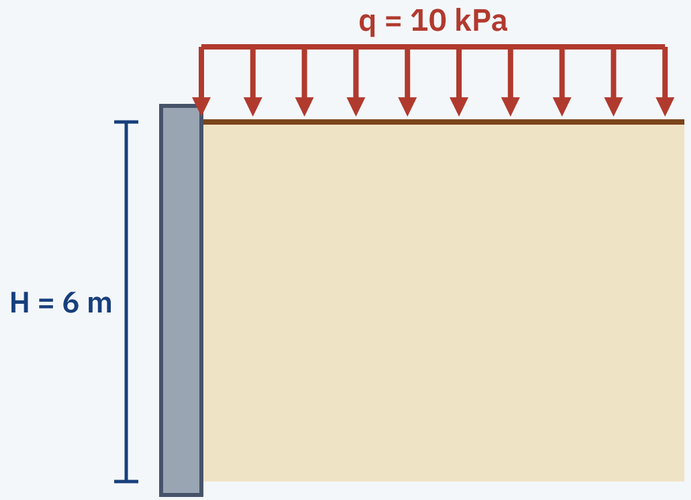
مثال

المعطيات

الجدار والحمل	**الجدار نفسه:** $H = 6.00$ m، $q = 10.00$ kPa، $\varphi' = 30^\circ$
الفرق	**يتشوه الجدار بما يكفي لتعبئة الحالة الفعالة (جدار رأسي، سطح أفقي)**

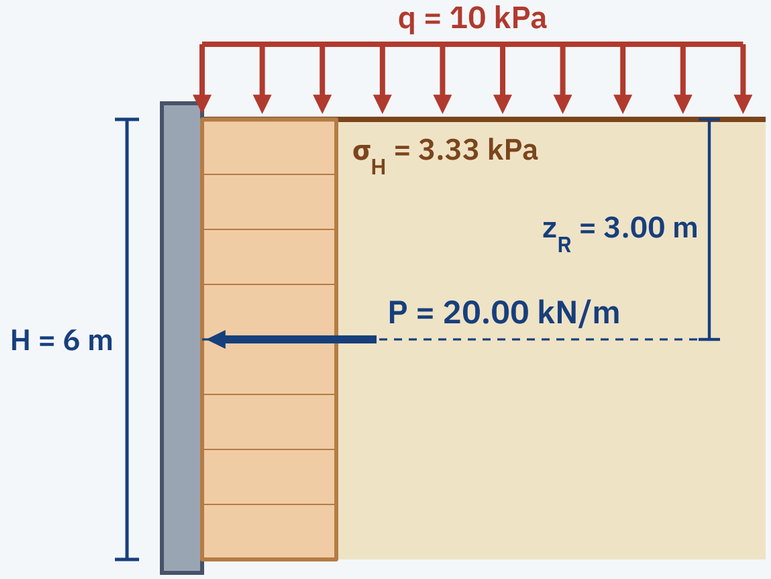
المطلوب

K_a، σ_H، P، z_R؛ المقارنة مع حالة السكون.



الحل (1/2)

الحل



1 المعامل: الحالة الفعالة (Rankine)

$$K_a = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi'}{2}\right) = \tan^2 30^\circ = 0.5774^2 = \mathbf{0.3333}$$

2 الضغط الجانبي المضاف

$$\sigma_H = K_a\, q = 0.3333 \times 10.00 = \mathbf{3.33}\ \text{kPa}$$

3 المحصلة وخط تأثيرها

$$P = \sigma_H\, H = 3.333 \times 6.00 = \mathbf{20.00}\ \text{kN/m}$$

$$z_R = \frac{H}{2} = \mathbf{3.00}\ \text{m}$$

في الحالة الفعالة يبلغ الضغط **3.333 kPa** والمحصلة **20.00 kN/m**؛ وخط التأثير على الارتفاع نفسه (z_R = 3.00 m).

الحل (2/2)

الحل

الحالة	K	σ_H (kPa)	P (kN/m)	z_R (m)
السكون (K_0)	0.5000	5.00	30.00	3.00
الفعال (K_a)	0.3333	3.33	20.00	3.00
النسبة K_a / K_0	**0.6667**	**0.6667**	**0.6667**	1

من أجل $\varphi' = 30°$ يكون $K_a / K_0 = 2/3$: يتلقى الجدار الذي يتشوه **ثلثي** ضغط الحمل الإضافي الذي يتلقاه الجدار الذي لا يستطيع الحركة. وفي الحالتين يكون المخطط مستطيلاً وتقع المحصلة عند منتصف الارتفاع.

إمكانية حركة الجدار فعلاً هي الأساس الوحيد لهذا الاختيار: فالجدار المدعوم أو المثبت بمرساة لا يبلغ الحالة الفعالة، ولذلك يؤخذ K_0.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

مثال

المعطيات

الجدار والحمل	$q = 10.00$ **kPa** ,$H = 6.00$ **m**
التربة	$\varphi' = 0^\circ,\ 20^\circ,\ 25^\circ,\ 30^\circ,\ 35^\circ,\ 40^\circ$

المطلوب

لكل قيمة φ': K_0 وK_a وσ_H وP (للحالتين)؛ تحقق يدوي عند $\varphi' = 40^\circ$.

الحل (1/2)

الحل

φ' (°)	K_0	K_a	σ_H في حالة السكون (kPa)	σ_H الفعال (kPa)	P في حالة السكون (kN/m)	P الفعال (kN/m)
0	1.0000	1.0000	10.00	10.00	60.00	60.00
20	0.6580	0.4903	6.58	4.90	39.48	29.42
25	0.5774	0.4059	5.77	4.06	34.64	24.35
30	**0.5000**	**0.3333**	**5.00**	**3.33**	**30.00**	**20.00**
35	0.4264	0.2710	4.26	2.71	25.59	16.26
40	0.3572	0.2174	3.57	2.17	21.43	13.05

الصف $\varphi' = 30°$ هو المثالان 1 و 2. وكلما ازدادت φ' انخفضت المحصلة: في حالة السكون من $\varphi' = 0°$) إلى ($\varphi' = 40°$) 60.00 kN/m، 21.43 kN/m، وفي الحالة الفعالة تنخفض إلى 13.05 kN/m.

الحل (2/2)

الحل

1 المعاملات

$$K_0 = 1 - \sin 40^\circ = 1 - 0.6428 = \mathbf{0.3572}$$

$$K_a = \tan^2(45^\circ - 20^\circ) = \tan^2 25^\circ = 0.4663^2 = \mathbf{0.2174}$$

2 الضغط

$$\sigma_{H,0} = 0.3572 \times 10.00 = \mathbf{3.57}\ \text{kPa}$$

$$\sigma_{H,a} = 0.2174 \times 10.00 = \mathbf{2.17}\ \text{kPa}$$

3 المحصلة (z_R = 3.00 m في الحالتين)

$$P_0 = 3.572 \times 6.00 = \mathbf{21.43} \qquad P_a = 2.174 \times 6.00 = \mathbf{13.05}\ \text{kN/m}$$

يمكن الحصول يدوياً أيضاً على الصف φ′ = 40° في الجدول: **21.43** و**13.05 kN/m**.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

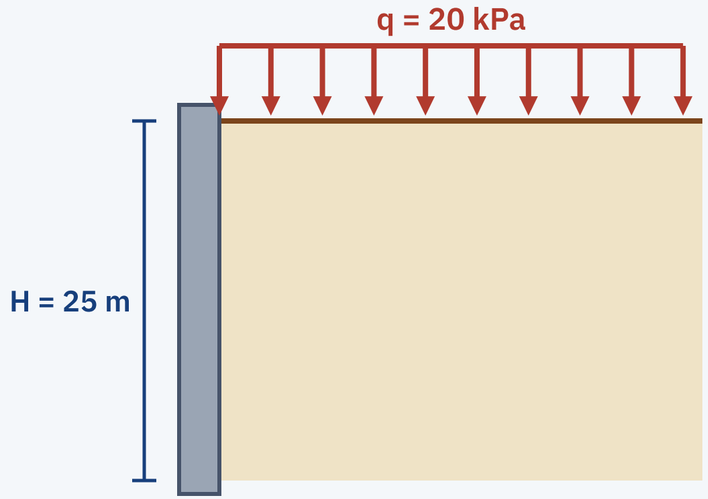
مثال

المعطيات

الجدار	$H = 25.00$ m
الحمل	$q = 20.00$ kPa على كامل السطح
المعامل	$K = 0.30$ من مصدر آخر (لا يستخدم φ′)

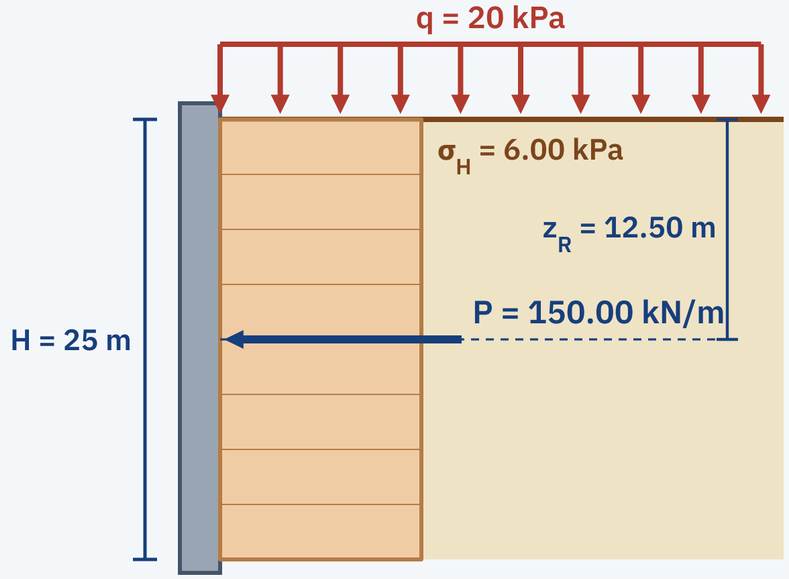
المطلوب

σ_H و P و z_R وتغير الضغط مع العمق.



الحل

الحل



1 الضغط: يُضرب معامل K المدخل مباشرة

$$\sigma_H = K\,q = 0.30 \times 20.00 = \mathbf{6.00}\ \text{kPa}$$

2 المحصلة وخط تأثيرها

$$P = \sigma_H\,H = 6.00 \times 25.00 = \mathbf{150.00}\ \text{kN/m}$$

$$z_R = \frac{H}{2} = \frac{25.00}{2} = \mathbf{12.50}\ \text{m}$$

3 تغير الضغط مع العمق

z (m)	0.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0
σ_H (kPa)	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00

الضغط **6.00 kPa عند كل عمق**؛ والمحصلة **150.00 kN/m** على عمق 12.50 m تحت سطح الأرض.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

مثال

المعطيات

الجدار والتربة	$\varphi' = 30^\circ$؛ **حالة السكون والحالة الفعالة**
متغير 1	$q = 0,\ 5,\ 10,\ 20,\ 30,\ 50$ **kPa** $(H = 6.00$ **m)**
متغير 2	$H = 2,\ 4,\ 6,\ 8,\ 10$ **m** $(q = 10.00$ **kPa)**

المطلوب

تغير المحصلة مع **q** و **H**؛ الضغط وخط تأثير القوة.

الحل

الحل

q (kPa)	σ_H في حالة السكون (kPa)	P في حالة السكون (kN/m)	P الفعال (kN/m)
0	0.00	**0.00**	**0.00**
5	2.50	**15.00**	**10.00**
10	5.00	**30.00**	**20.00**
20	10.00	**60.00**	**40.00**
30	15.00	**90.00**	**60.00**
50	25.00	**150.00**	**100.00**

عندما يتضاعف **q** يتضاعف P أيضاً؛ وعند q = 0 لا يوجد حمل إضافي سطحي.

H (m)	σ_H في حالة السكون (kPa)	P في حالة السكون (kN/m)	P الفعال (kN/m)	z_R (m)
2	5.00	**10.00**	**6.67**	1.00
4	5.00	**20.00**	**13.33**	2.00
6	5.00	**30.00**	**20.00**	3.00
8	5.00	**40.00**	**26.67**	4.00
10	5.00	**50.00**	**33.33**	5.00

بازدياد **H** تزداد P خطياً؛ ويبقى الضغط نفسه، وتنخفض المحصلة إلى العمق H/2.

$P = K\,q\,H$: تتناسب طردياً مع **حاصل ضرب** q و H؛ أما أثر K فهو معامل ضرب مستقل (الفعال / في حالة السكون = 2/3، في كل صف).

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

مثال

المعطيات

الجدار	$H = 6.00$ m، $\gamma = 18.0$ kN/m³، $\varphi' = 30^\circ$ (ردم جاف)
الحمل الإضافي	$q = 10.00$ kPa على كامل السطح
الحالات	السكون (K_0) والفعال (K_a)

المطلوب

محصلة مثلث التربة، ومحصلة الحمل الإضافي، و **القوة الكلية** وارتفاعها فوق القاعدة؛ وحصة الحمل الإضافي.

الحل (1/2)

الحل

1 ضغط التربة (مخطط مثلثي)، حالة السكون

$$P_z = \tfrac{1}{2} K_0 \gamma H^2 = \tfrac{1}{2}(0.500)(18.0)(6.00)^2 = \mathbf{162.00}\ \text{kN/m} \quad (2.00\ \text{m من القاعدة})$$

2 مركبة الحمل الإضافي (المثال 1)

$$P_q = K_0\, q\, H = 0.500 \times 10.00 \times 6.00 = \mathbf{30.00}\ \text{kN/m} \quad (3.00\ \text{m من القاعدة})$$

3 المجموع وخط العمل (عزم القاعدة)

$$P = 162.00 + 30.00 = \mathbf{192.00}\ \text{kN/m}$$

$$L = \frac{162.00(2.00) + 30.00(3.00)}{192.00} = \frac{414.00}{192.00} = \mathbf{2.156}\ \text{m}$$

في حالة السكون المجموع **192.00 kN/m**، ويؤثر على ارتفاع **2.156 m** فوق القاعدة؛ ونصيب الحمل الإضافي 30.00 kN/m (15.6%).

الحل (2/2)

الحل

1 الخطوات نفسها للحالة الفعالة ($K_a = 0.3333$)

$$P_z = \tfrac{1}{2}(0.3333)(18.0)(6.00)^2 = \mathbf{108.00}\ \text{kN/m}$$

$$P_q = 0.3333(10.00)(6.00) = \mathbf{20.00}\ \text{kN/m}$$

$$L = \frac{108.00(2.00) + 20.00(3.00)}{128.00} = \mathbf{2.156}\ \text{m}$$

الحالة	K	P_{soil} (kN/m)	$P_{surcharge}$ (kN/m)	P الكلي (kN/m)	حصة الحمل الإضافي	L (m، من القاعدة)
السكون	0.5000	162.00	30.00	**192.00**	%15.62	2.156
الفعال	0.3333	108.00	20.00	**128.00**	%15.62	2.156

ولأن K معامل مشترك في الحدين كليهما فإن **حصة الحمل الإضافي وخط عمله مستقلان عن K**: الحصة = 2q / (γH + 2q) = 15.62%، L = 2.156 m. ولا تتناسب مع K سوى القوة الكلية.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

النقاط الرئيسية

$\sigma_H = K \cdot q$: الحمل المنتظم الموزع على السطح كله يضيف إلى الجدار ضغطاً جانبياً **متساوياً عند كل عمق**؛ والمخطط مستطيل

K بحسب سلوك الجدار: في حالة السكون (Jaky) **$K_0 = 1 - \sin \varphi'$**، والفعال (Rankine) **$K_a = \tan^2(45° - \varphi'/2)$** أو القيمة المدخلة؛ وعند $\varphi' = 30°$ تكون 0.5000 و 0.3333

$P = K\,q\,H$ و **$z_R = H/2$**: في الجدار الابتدائي ($H = 6$ m، $q = 10$ kPa) وفي حالة السكون $\sigma_H = 5.00$ kPa و $P = 30.00$ kN/m؛ وفي الحالة الفعالة 3.33 kPa و 20.00 kN/m

خطي: P يتناسب مع q وH؛ $K_a / K_0 = 2/3$ ($\varphi' = 30°$)

الجمع: تضاف مركبة الحمل الإضافي إلى مخططي ضغط التربة وضغط الماء؛ وحصة الحمل الإضافي $2q / (\gamma H + 2q)$ وخط التأثير لا يعتمد على K

المراجع

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning؛ تتبع هذه الصفحة هذا المرجع.

Jaky, J. (1944). The coefficient of earth pressure at rest. Journal of the Society of Hungarian Architects and Engineers, 7, 355–358.

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 مستخرجة بمحرك الحساب الخاص بالوحدة نفسها؛ وتعطي الوحدة القيم نفسها. الجدار الابتدائي للوحدة هو H = 6 m، q = 10 kPa، φ′ = 30° (حالة السكون)، ومثالها الثاني H = 25 m، K = 0.30، q = 20 kPa.

حسابات الجيوتكنيك عبر الإنترنت

من النظرية إلى التطبيق

أدخل الجدار الخاص بك وحملك الإضافي واختيارك للمعامل في GeoTerva؛ وتعطي الوحدة قيم K و σ_H و P و z_R ومخطط الضغط والحل خطوة بخطوة والتقرير معاً.

افتح الوحدة ←

صفحة النظرية ←

افتح على الهاتف

لا تتطلب الوحدات التجريبية تسجيلاً.

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