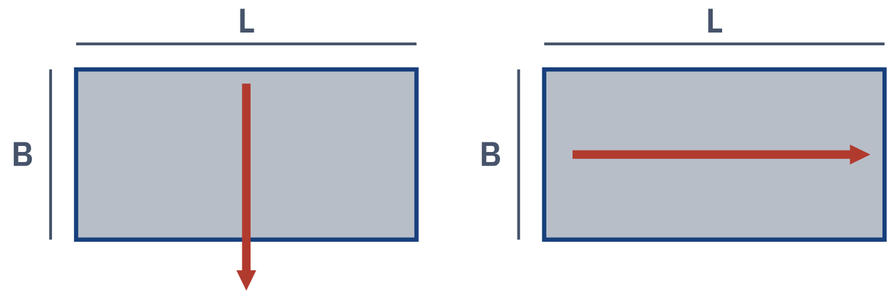
شرائح محاضرات الجيوتكنيك · الأساسات

معادلة قدرة التحمل وفق Vesic

المحاضرة: المعاملات التي اعتمدها Vesic وإسهامه الخاص: أس الميل الذي يراعي شكل القاعدة واتجاه الحمل، وميل القاعدة وميل سطح الأرض؛ ومثال محلول لكل موضوع.

أس الميل m
الحمل المائل
ميل القاعدة
ميل سطح الأرض
التطابق مع Meyerhof
أمثلة محلولة



L الحمل بالتوازي مع البعد
$m = m_L = 1{,}333$

B الحمل بالتوازي مع البعد
$m = m_B = 1{,}667$

ماذا سنتعلم في هذه المحاضرة؟

- **معادلة Vesic** التي تتبنى أي معاملات، وأيها **خاص بها**
- حساب **أس m** في معاملات الميل وفق نسبة B/L لقاعدة الأساس واتجاه الحمل
- إيجاد **معاملات الميل** بالحملين الفعليين h و v والتحقق من حدود الانزلاق
- تطبيق معاملات **ميل القاعدة** و**ميل سطح الأرض** (صيغ Vesic)؛ ومقارنتها بصيغ Hansen
- التعامل مع الصيغة غير المصّرفة ($\varphi = 0$) وحالات المياه الجوفية
- أن نرى أن المعادلة، عند غياب ميل الحمل وميل القاعدة وميل سطح الأرض، تختزل إلى **معادلة Meyerhof العامة**

تسلسل المحاضرة

يعالج كل موضوع في **ثلاث خطوات**:

1. **النظرية**: ما القاعدة، ولماذا هي كذلك؟
2. **المسألة**: المعطيات والمطلوب
3. **الحل**: خطوة بخطوة، بالأرقام

قاعدة المثال، وهي النموذج الابتدائي الذي تفتح به الوحدة: قاعدة مربعة 1.2 m × 1.2 m في رمل، $D_f = 1$ m، منسوب المياه الجوفية $\varphi' = 32°$، $c = 0$، 0.5 m.

المعاملات التي اعتمدها ومعاملاته الخاصة

النظرية

معادلة Vesic **لها البنية نفسها** التي لمعادلة Hansen: تصحيحات الشكل والعمق وميل الحمل وميل القاعدة وميل سطح الأرض في كل حد:

$$q_u = c\,N_c\,F_{cs}F_{cd}\,i_c b_c g_c + q\,N_q\,F_{qs}F_{qd}\,i_q b_q g_q + \tfrac{1}{2}\gamma B\,N_\gamma\,F_{\gamma s}F_{\gamma d}\,i_\gamma b_\gamma g_\gamma$$

لم يشتق Vesic **كل شيء من جديد**: بل أخذ معاملات **الشكل عند De Beer** ومعاملات **العمق عند Hansen** كما هي؛ ومعامل N_γ أيضاً هو صيغته المغلقة الخاصة: $N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\varphi$.

إسهامه الخاص: معاملات الميل (يعتمد أسها على شكل القاعدة واتجاه الحمل) ومعاملا ميل القاعدة وميل سطح الأرض.

عند انعدام ميل الحمل وميل القاعدة وميل سطح الأرض (القيم الافتراضية للوحدة) يكون $i = b = g = 1$ وتصبح المعادلة **مطابقة تماماً لمعادلة Meyerhof العامة**.

مصدر المعاملات

المعامل	المصدر
N_c, N_q	Prandtl, Reissner
N_γ	Vesic
F_s (الشكل)	De Beer
F_d (العمق)	Hansen
i (الميل)	**Vesic**
b (ميل القاعدة)	**Vesic**
g (ميل سطح الأرض)	**Vesic**

المسألة

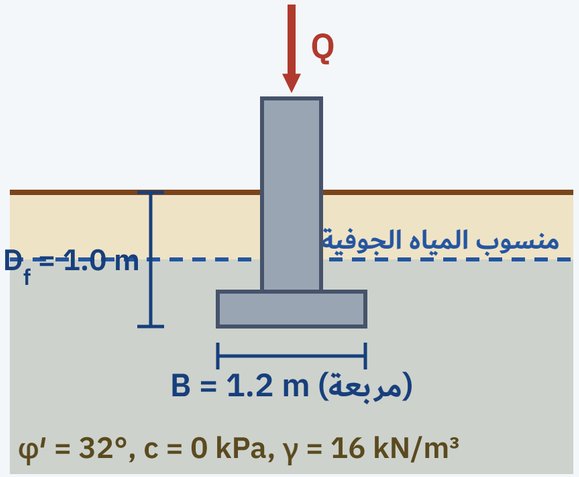
مثال

المعطيات

الأساس	مربعة، $B = L = 1.2$ m، عمق التأسيس $D_f = 1.0$ m
التربة	رمل: $\varphi' = 32^\circ,\ c = 0$
الوزن الحجمي	$\gamma = 16$ kN/m^3 (في الأعلى)، $\gamma_{sat} = 19.5$ kN/m^3 (تحت منسوب المياه الجوفية)
الحمل	رأسي، مركزي

المطلوب

أوجد قيم N_γ، N_q، N_c وكذلك $F_{\gamma s}$، F_{qs}، F_{cs} و F_{cd}، F_{qd}.



الحل

الحل

1 معاملات قدرة التحمل (φ′ = 32°، tan 32° = 0.6249)

$$N_q = e^{\pi \tan 32^\circ} \tan^2(61^\circ) = 23.18 \qquad N_c = \frac{23.18 - 1}{0.6249} = 35.49$$

$$N_\gamma = 2(23.18 + 1)(0.6249) = \mathbf{30.21}$$

2 معاملات الشكل (De Beer؛ B/L = 1)

$$F_{cs} = 1 + \frac{23.18}{35.49} = \mathbf{1.653} \qquad F_{qs} = 1 + \tan 32^\circ = \mathbf{1.625} \qquad F_{\gamma s} = 1 - 0.4 = \mathbf{0.600}$$

3 معاملات العمق (Hansen؛ $D_f/B = 1.0/1.2 = 0.833 \le 1$)

$$F_{qd} = 1 + 2(0.6249)(0.2210)(0.833) = \mathbf{1.230} \qquad F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan \varphi} = \mathbf{1.241}$$

مطابقة للمعاملات الواردة في عرض Meyerhof: لم يغيّرها Vesic.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

الأس الذي يأخذ في الاعتبار شكل القاعدة واتجاه الحمل

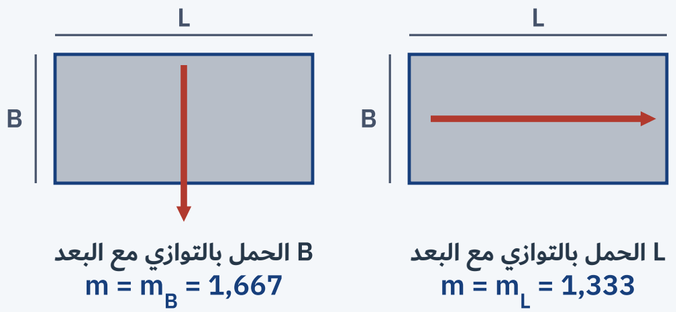
النظرية

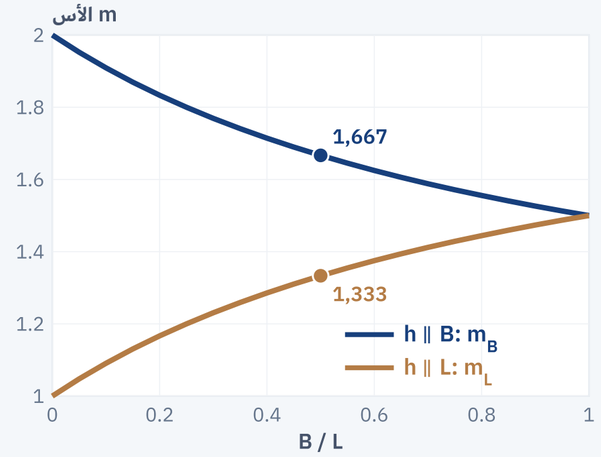
في معاملات الميل عند Meyerhof يكون الأس ثابتاً (2)، وكذلك عند Hansen (5). أما عند Vesic فيتوقف على **نسبة B/L** للقاعدة وعلى **أي حافة يكون الحمل الأفقي موازياً** لها:

$$m_B = \frac{2 + B/L}{1 + B/L} \quad (h \parallel B) \qquad m_L = \frac{2 + L/B}{1 + L/B} \quad (h \parallel L)$$

قاعدة شريطية (B/L → 0): **$m_B = 2$، $m_L = 1$**. وفي القاعدة المربعة يتماثل الاتجاهان: m = 1.5.

عند تحميل القاعدة المستطيلة نفسها في اتجاهين تختلف قيمة m: **يكون الأس أكبر عندما يكون الحمل موازياً للضلع القصير**، فتنخفض المعاملات بسرعة أكبر. ولا تفرّق أي من الطرق الأخرى في هذا القسم بين الحالتين.





المسألة

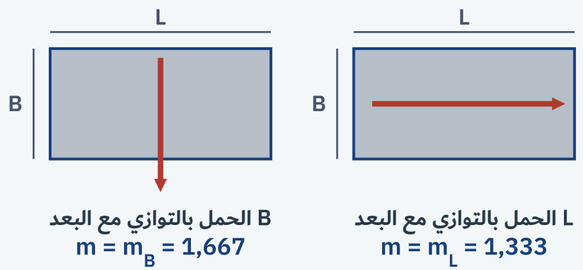
مثال

المعطيات

الأساسات	(أ) مربعة 1.2 m × 1.2 · (ب) شريطية · (ج) مستطيلة 1.2 × 2.4 m (B/L = 0.5)
الحمل	المركبة الأفقية موازية لـ B وموازية لـ L

المطلوب

أوجد قيمة **m** لكل قاعدة أساس ولكل اتجاه.



الحمل بالتوازي مع البعد
$m = m_L = 1{,}333$

الحمل بالتوازي مع البعد
$m = m_B = 1{,}667$

الحل

الحل

1 (أ) مربعة (B/L = 1) و(ب) شريطية (B/L → 0)

$$\text{(a)}: \; m = \frac{2+1}{1+1} = \mathbf{1.500} \quad \text{(في اتجاهين)}$$

$$\text{(b)}: \; m_B = \frac{2+0}{1+0} = \mathbf{2.000}, \quad m_L = \mathbf{1.000}$$

2 (c) مستطيل 1.2 × 2.4 m (B/L = 0.5؛ L/B = 2)

$$m_B = \frac{2+0.5}{1+0.5} = \mathbf{1.667} \qquad m_L = \frac{2+2}{1+2} = \mathbf{1.333}$$

في القاعدة المستطيلة نفسها تكون m = 1.667 إذا كان الحمل موازياً للضلع القصير، و 1.333 إذا كان موازياً للضلع الطويل. وإذا كان الحمل في اتجاه الضلع القصير يتناقص معامل الميل $(1 - x)^m$ بسرعة أكبر: وهذا الاتجاه هو **الأقل ملاءمة**.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

النظرية

Vesic: $(1 - h/(v + c\cot\varphi))^m$

$h = H/A$ و $v = V/A$، بالصيغة نفسها عند Hansen، هما إجهادا **حالة الحمل نفسها** ($v = q_{app}$؛ ويلزم وجود q_{app} عندما $h > 0$):

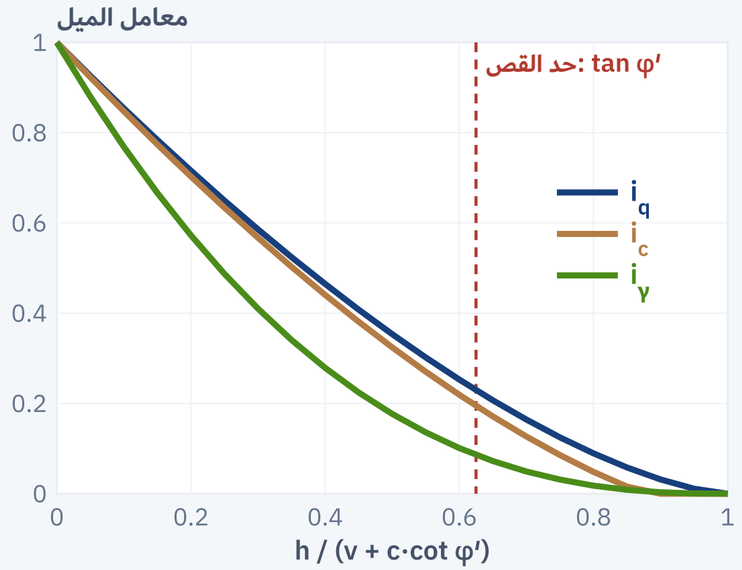
$$i_q = \left(1 - \frac{h}{v + c\cot\varphi}\right)^m \qquad i_\gamma = \left(1 - \frac{h}{v + c\cot\varphi}\right)^{m+1}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1} \ (\geq 0)$$

$$\varphi = 0: \quad i_c = 1 - \frac{m\,h}{c\,N_c}, \qquad i_q = i_\gamma = 1$$

$h > v \tan\varphi + c$: تنزلق القاعدة؛ وتحذر الوحدة (ويتحقق من الانزلاق أيضاً على حدة). **$h \geq v + c\cot\varphi$** (وعند $\varphi = 0$ يكون **$h \geq c$**): تتوقف الوحدة.

لا تصبح i_c سالبة بل تبقى عند الصفر. في المخطط حد الانزلاق هو الخط $h/(v + c\cot\varphi) = \tan\varphi$.



المسألة

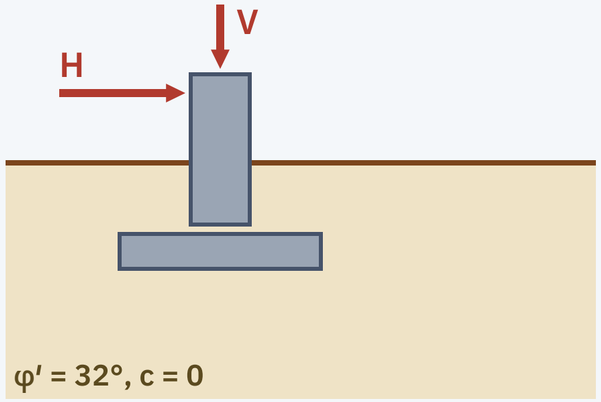
مثال

المعطيات

القاعدة، التربة	**مربعة 1.2 m × 1.2، $\varphi' = 32^\circ,\ c = 0$** **(نموذج الوحدة)؛ $N_q = 23.18$**
حالة التحميل	$v = q_{apply} = 150$ kPa, $h = 30$ kPa **(ek: 60, 90, 120)**
اتجاه الحمل	**قاعدة مربعة: m = 1.5**

المطلوب

أوجد المعاملات i_q, i_c, i_γ وتحقق من حد الانزلاق.



الحل (1/2)

الحل

1 النسبة (c = 0: v + c cot φ = v = 150 kPa)

$$x = \frac{h}{v + c\cot\varphi} = \frac{30}{150} = \mathbf{0.200} \qquad m = 1.5$$

2 المعاملات

$$i_q = (1 - 0.2)^{1.5} = \mathbf{0.716} \qquad i_\gamma = (1 - 0.2)^{2.5} = \mathbf{0.572}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1} = 0.716 - \frac{0.284}{22.18} = \mathbf{0.703}$$

3 حد الانزلاق

$$v\tan\varphi + c = 150(0.6249) = \mathbf{93.7}\ \text{kPa} \geq h = 30 \ \Rightarrow \ \text{لا انزلاق}$$

$$(h \geq v = 150 \text{ فيستقر})$$

الحل (2/2)

الحل

h (kPa)	h/(v + c cot φ)	i_c	i_q	i_γ	تحقق الانزلاق
0	0.00	1.000	1.000	1.000	يمر
30	0.20	0.703	0.716	0.572	يمر
60	0.40	0.441	0.465	0.279	يمر
90	0.60	0.219	0.253	0.101	يمر
120	0.80	0.048	0.089	0.018	**تحذير: h > 93.7**

تخفض $h = 30$ kPa (أي 20% من v) حد q بنسبة **28%** وحد الوزن الذاتي بنسبة **43%**. ولأن الأس هو $m + 1$ فإن **حد الوزن الذاتي يتأثر دائماً بدرجة أكبر**. ولو كانت $c = 5$ kPa لكانت $v + c \cot \varphi = 158.0$ kPa و $i_q = 0.729$.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

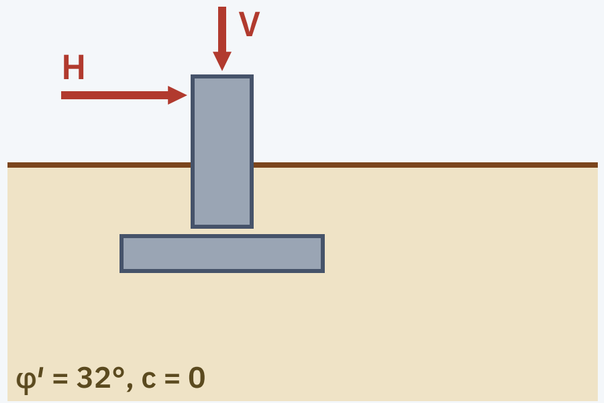
مثال

المعطيات

القاعدة، التربة	**مربعة 1.2 m**، $\varphi' = 32^\circ,\ c = 0$
حالة التحميل	$v = 150$ kPa, $h = 30$ kPa **مع الرأسي:** $\beta = \tan^{-1}(30/150) = 11.31^\circ$

المطلوب

أوجد قيمتي i_q و i_γ بطرق Meyerhof و Hansen و Vesic وقارن بين النتائج.



الحل

الحل

1 Meyerhof (بالزاوية β)، Hansen (x = h/v = 0.2) و Vesic (m = 1.5)

$$\text{Meyerhof}: F_{qi} = \left(1 - \frac{11.31}{90}\right)^2 = \mathbf{0.764}, \quad F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{11.31}{32}\right)^2 = \mathbf{0.418}$$

$$\text{Hansen}: i_q = (1 - 0.5x)^5 = \mathbf{0.590}, \quad i_\gamma = (1 - 0.7x)^5 = \mathbf{0.470}$$

$$\text{Vesic}: i_q = (1 - 0.2)^{1.5} = \mathbf{0.716}, \quad i_\gamma = (1 - 0.2)^{2.5} = \mathbf{0.572}$$

i_γ	i_q	
0.418	0.764	Meyerhof
0.470	0.590	Hansen
0.572	**0.716**	Vesic

يجب استخدام كل معامل مع N_γ الخاص به ومعاملات الشكل الخاصة به. وقيمة i_q عند Vesic قريبة من قيمتها عند Meyerhof، أما قيمة i_γ فهي الأعلى بين الطرائق الثلاث.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

معاملات Vesic الخاصة

النظرية

اقترح Vesic (1975) أيضا معاملاته الخاصة لميل القاعدة وميل سطح الأرض. وبالنسبة إلى φ > 0 يشتق معامل التماسك من معامل الحمل الإضافي (η و ω في الأس بالراديان):

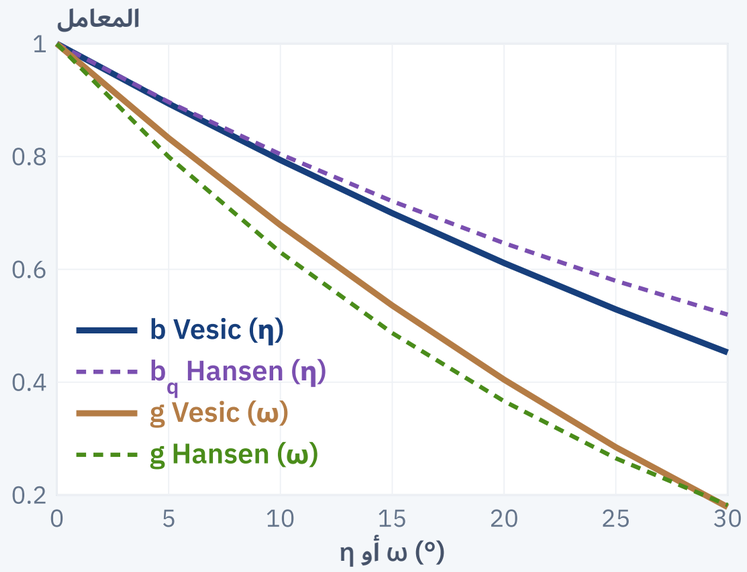
$$b_q = b_\gamma = (1 - \eta \tan\varphi)^2 \qquad g_q = g_\gamma = (1 - \tan\omega)^2$$

$$\varphi > 0: \quad b_c = b_q - \frac{1 - b_q}{N_q - 1} \qquad g_c = g_q - \frac{1 - g_q}{N_q - 1}$$

$$\varphi = 0: \quad b_c = 1 - \frac{2\eta}{\pi + 2} \quad g_c = 1 - \frac{2\omega}{\pi + 2} \quad b_q = b_\gamma = 1$$

معاملا b_q Hansen و b_γ أسيان ($e^{-2\eta \tan\varphi}$) و $g_q = (1 - 0.5 \tan\omega)^5$؛ وهي متقاربة عند الزوايا الصغيرة وتتباعد بازدياد ω (الشكل).

إذا كانت φ < ω فإن المنحدر غير متزن بمفرده: وتتوقف الوحدة. تدخل η و ω بحد أقصى 45° (إذ يؤول $(1 - \tan\omega)^2$ إلى الصفر عندها).



المسألة

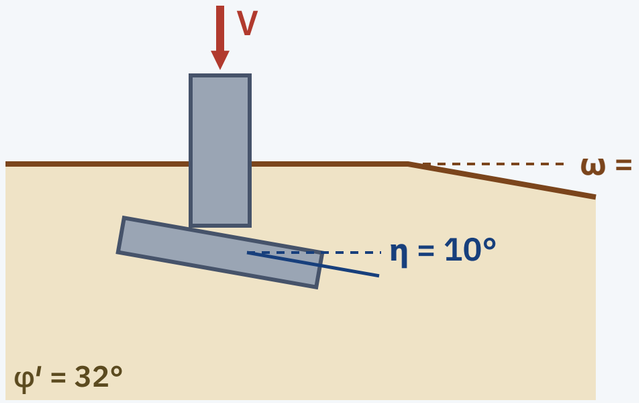
مثال

المعطيات

التربة	$\varphi' = 32^\circ,\ \tan\varphi = 0.6249,\ N_q = 23.18$
ميل القاعدة	**η = 10° (0.1745 rad)**
ميل سطح الأرض	**ω = 10°**
المقارنة	**معاملات Hansen**

المطلوب

أوجد قيم Vesic: b_c, b_q, b_γ و g_c, g_q, g_γ؛ وقارنها بقيم Hansen؛ واكتب صيغها في حالة φ = 0.



الحل (1/2)

الحل

1 ميل القاعدة (Vesic) η = 10°

$$b_q = b_\gamma = (1 - 0.1745 \cdot 0.6249)^2 = \mathbf{0.7938} \qquad b_c = 0.7938 - \frac{1 - 0.7938}{23.18 - 1} = \mathbf{0.7845}$$

2 ميل سطح الأرض ω = 10° (tan 10° = 0.1763)

$$g_q = g_\gamma = (1 - 0.1763)^2 = \mathbf{0.6784} \qquad g_c = 0.6784 - \frac{1 - 0.6784}{23.18 - 1} = \mathbf{0.6639}$$

3 صيغ φ = 0 (عند 10°)

$$b_c = 1 - \frac{2(0.1745)}{\pi + 2} = \mathbf{0.932} \qquad g_c = 1 - \frac{2(0.1745)}{\pi + 2} = \mathbf{0.932} \qquad b_q = b_\gamma = 1$$

الحل (2/2)

الحل

	b_c	b_q	b_γ	g_c	$g_q = g_\gamma$
Vesic	0.784	0.794	0.794	0.664	0.678
Hansen	0.932	0.804	0.745	0.932	0.630

تكون b_q و g_q **متقاربتين** في الطريقتين (0.794 و 0.804؛ 0.678 و 0.630) لكن **معاملات التماسك تختلف اختلافاً كبيراً**: فقيمتا b_c و g_c عند Vesic تشتقان من معامل الحمل الإضافي (0.784 و 0.664)، أما عند Hansen فهما 1 − الزاوية/147° (0.932). وفي الرمل الذي $c = 0$ فيه لا يؤثر هذا الفرق في النتيجة.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

تجميع المعادلة والتحقق

النظرية

رغم أن التصحيحات الستة قد تبدو مرهبة، فإن **قيمها جميعا تساوي 1 في الحالة العادية**: ففي القيم الافتراضية للوحدة (h = 0 و η = 0 و ω = 0) تكون i = b = g = 1 وتطابق المعادلة معادلة Meyerhof العامة. و q_u هي الضغط الرأسي لحظة الانهيار؛ وتفصل الوحدة بين الضغط الإجمالي والضغط الصافي:

$$q_{u,net} = q_u - q \qquad q_{all,g} = \frac{q_u}{FS} \qquad q_{all,n} = \frac{q_{u,net}}{FS}$$

الضغط المطبق $q_{applied}$ هو **الضغط الرأسي الإجمالي** عند القاع لحالة التحميل نفسها (V/A). وتكون القاعدة مقبولة في الشروط التالية:

$$q_{apply} \le q_{all,g} \qquad FS_{\text{الفعلي}} = \frac{q_u}{q_{apply}} \qquad q_{apply} - q \le q_{all,n}$$

الحمل الرأسي المسموح به $Q_{all} = q_{all,g} \cdot A$. عندما h > 0 يجب إدخال $q_{applied}$.

متى يكون المعامل 1؟

المعامل	الحالة التي يكون فيها 1
F_s	قاعدة شريطية (B/L = 0)
F_d	(D_f = 0 (القاعدة عند السطح
i	h = 0 (حمل رأسي)
b	η = 0 (قاع أفقي)
g	ω = 0 (أرض مستوية)

النظرية

المعاملات لا تتغير؛ q و γ يتغيران

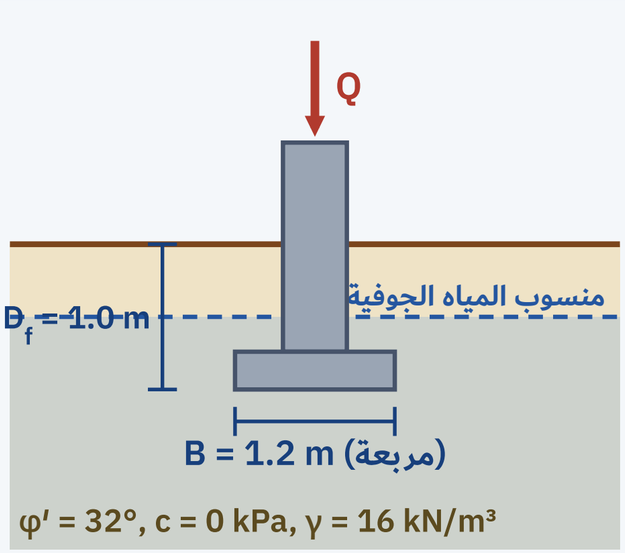
تعالج المياه الجوفية **بالحالتين نفسيهما** المعتمدتين في الوحدات الأخرى من هذا القسم. أسفل منسوب المياه الجوفية يكون الوزن الحجمي الفعال ($\gamma_w = 9.81$) $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$. حيث D_w هو عمق المياه الجوفية تحت السطح:

(الحد الثالث) I ($D_w \le D_f$): $q = \gamma D_w + \gamma'(D_f - D_w), \quad \gamma \to \gamma'$

III ($D_f < D_w \le D_f + B$): $q = \gamma D_f, \quad \bar{\gamma} = \frac{1}{B}\left[\gamma D + \gamma'(B - D)\right], \quad D = D_w - D_f$

في حالة $D_W = D_f$ يؤخذ $q = \gamma D_f$ ويستخدم γ' في الحد الثالث.

الماء الذي يقع على عمق أكبر من B تحت القاع **عديم التأثير**. ولا يدخل الماء إلا من خلال **q و γ**؛ وتبقى F و i و b و g كما هي.



المسألة

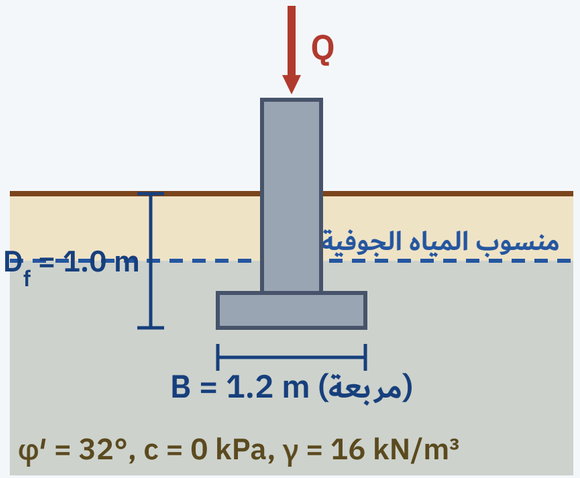
مثال

المعطيات

الأساس	**مربعة، $B = L = 1.2$ m، عمق التأسيس $D_f = 1.0$ m**
التربة	**رمل:** $\varphi' = 32^\circ,\ c = 0$
الوزن الحجمي	$\gamma = 16$ kN/m^3 **(في الأعلى)**، $\gamma_{sat} = 19.5$ kN/m^3 **(تحت منسوب المياه الجوفية)**
المياه الجوفية	**$D_W = 0.5$ m (الحالة I)**
الحمل	**رأسي، مركزي**
الأمان	**FS = 3**

المطلوب

q_u وq_{all} الإجمالي والصافي والحمل المسموح به Q_{all}؛ ثم q_u عند $c = 5$ kPa.



الحل (1/2)

الحل

1 المعاملات (المثال 1: $\varphi' = 32°$؛ $B/L = 1$؛ $D_f/B = 0.833$؛ $h = \eta = \omega = 0$)

$$N_q = 23.18,\ N_\gamma = 30.21 \qquad F_{qs} = 1.625,\ F_{\gamma s} = 0.6,\ F_{qd} = 1.230 \qquad i = b = g = 1$$

2 الحالة I: $q = 16(0.5) + (19.5 - 9.81)(0.5)$؛ $\gamma' = 9.69\ \text{kN/m}^3$ (في الحد الثالث)

$$q = \mathbf{12.845}\ \text{kPa} \qquad \gamma' = \mathbf{9.69}\ \text{kN/m}^3$$

الحل (2/2)

الحل

3 قدرة التحمل (c = 0: لا يوجد حد التماسك)

$$q_u = (12.845)(23.18)(1.625)(1.230) + \tfrac{1}{2}(9.69)(1.2)(30.21)(0.6)$$
$$= 595.1 + 105.4 = \mathbf{700.46}\ \text{kPa}$$

4 قدرة التحمل المسموح بها والحمل المسموح به (A = 1.2² = 1.44 m²)

$$q_{all,g} = \frac{700.46}{3} = \mathbf{233.49}\ \text{kPa} \qquad q_{all,n} = \frac{700.46 - 12.845}{3} = 229.20\ \text{kPa}$$

$$Q_{all} = 233.49(1.44) = \mathbf{336.2}\ \text{kN}$$

قيمة q_u = **700.46 kPa** الناتجة عن معادلة Meyerhof العامة بالمدخلات نفسها (β = 0): المعادلتان **متطابقتان تماماً**. ولو كانت c = 5 kPa لأضيف حد التماسك 363.9 kPa وأصبحت q_u = 1,064.3 kPa.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

مثال

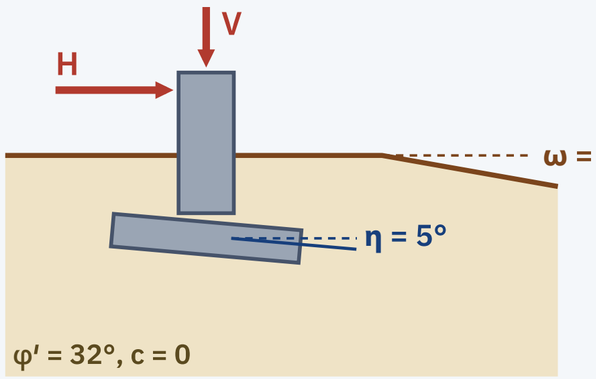
المسألة

المعطيات

الأساس	مربعة، **B = L = 1.2 m**، عمق التأسيس **D_f = 1.0 m**
التربة	رمل: $\varphi' = 32^\circ,\ c = 0$
الوزن الحجمي	$\gamma = 16$ kN/m^3 (في الأعلى)، $\gamma_{sat} = 19.5$ kN/m^3 (تحت منسوب المياه الجوفية)
المياه الجوفية	**D_w = 0.5 m**
حالة التحميل	$v = q_{apply} = 90$ kPa, $h =$ 18 kPa (h ∥ B)
القاع، التربة	**η = 5°, ω = 10°**
الأمان	**FS = 3**

المطلوب

أوجد قيمتي **q_u** و **q_{all}**؛ وتحقق مما إذا كانت القاعدة تستوفي الشرط عند q_{app} = 90 kPa، وتحقق من الانزلاق.



الحل (1/3)

الحل

1 معاملات الميل (x = h/v = 18/90 = 0.2؛ m = 1.5)

$$i_q = (1 - 0.2)^{1.5} = \mathbf{0.716} \qquad i_\gamma = (1 - 0.2)^{2.5} = \mathbf{0.572} \qquad i_c = 0.703$$

2 معاملات ميل القاعدة وميل سطح الأرض (η = 5° = 0.0873 rad؛ ω = 10°)

$$b_q = b_\gamma = (1 - 0.0873 \cdot 0.6249)^2 = \mathbf{0.894} \qquad b_c = 0.889$$

$$g_q = g_\gamma = (1 - \tan 10^\circ)^2 = \mathbf{0.678} \qquad g_c = 0.664$$

الحل (2/3)

الحل

3 الحدود الثلاثة (c = 0؛ معاملات F كما في المثال 6)

$$q \text{ مصطلح} = (12.845)(23.18)(1.625)(1.230)(0.716)(0.894)(0.678) = 258.2$$

$$\gamma \text{ مصطلح} = \tfrac{1}{2}(9.69)(1.2)(30.21)(0.6)(0.572)(0.894)(0.678) = 36.6$$

4 قدرة التحمل وإجهاد التحمل المسموح به

$$q_u = 258.2 + 36.6 = \mathbf{294.8}\ \text{kPa} \qquad q_{all,g} = \frac{294.8}{3} = \mathbf{98.3}\ \text{kPa}$$

الحل (3/3)

الحل

5 التحقق (q_{appl} = 90 kPa)

$$q_{apply} = 90 \le q_{all,g} = 98.3 \;\Rightarrow\; \textbf{صالح}$$

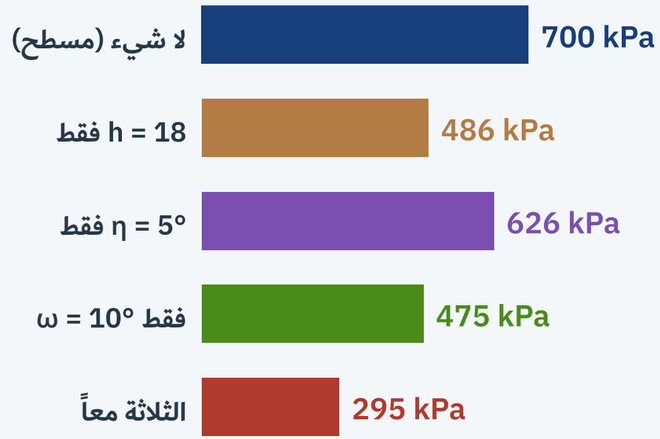
$$FS_{\text{الفعلي}} = \frac{294.8}{90} = \mathbf{3.28} \ge 3$$

$$q_{apply} - q = 77.2 \le q_{all,n} = 94.0 \;\Rightarrow\; \textbf{صالح}$$

6 حد الانزلاق

$$h = 18 \le v \tan\varphi = 56.2 \text{ kPa} \;\Rightarrow\; \text{لا انزلاق}$$

تنخفض قيمة q_u البالغة 700 kPa في النموذج الأفقي المستوي إلى **295 kPa** (بنسبة انخفاض 58%) في حالة التحميل هذه. وعلى انفراد: ميل سطح الأرض −32%، والحمل الأفقي −31%، وميل القاعدة −11%. تحقق القاعدة الشرط في الحالات الثلاث جميعها (FS = 3.28).



تحقق من الحل في GeoTerva ↗

$\varphi = 0$: الصيغ الخاصة بمعاملات التماسك

النظرية

عند $\varphi = 0$ تكون $N_\gamma = 0$، $N_q = 1$، $N_c = 5.14$؛ فيسقط حد الوزن الذاتي ويصبح حد الحمل الإضافي $q\, g_q$ فقط. وفي هذه الوحدة يبقى حد التماسك **ضربياً** (خلافاً لصيغة Hansen الجمعية):

$$q_u = c\, N_c\, F_{cs} F_{cd}\, i_c\, b_c\, g_c + q\, g_q$$

تظهر في الجدول صيغ معاملات التماسك عند $\varphi = 0$: للميل $\mathbf{i_c = 1 - m\,h/(c\,N_c)}$، ولميل القاعدة وميل سطح الأرض **$1 - 2\cdot$الزاوية$/(\pi + 2)$** (الزاوية بالراديان).

إذا كانت $\mathbf{h \geq c}$ ينزلق القاع وتتوقف الوحدة. وعند $\varphi = 0$ يكون $F_{cs} = 1 + (B/L)/5.14$ $(N_q/N_c = 1/5.14)$ و $F_{cd} = 1 + 0.4\ k$.

حالات $\varphi = 0$

المعامل	القيمة
N_c	5.14
F_{cs}	$5.14/(B/L) + 1$
F_{cd}	$0.4\ k + 1$
i_c	$m\ h/(c\ N_c) - 1$
b_c	$2\eta/(\pi + 2) - 1$
g_c	$2\omega/(\pi + 2) - 1$
g_q	$^2(\tan\ \omega - 1)$

المسألة

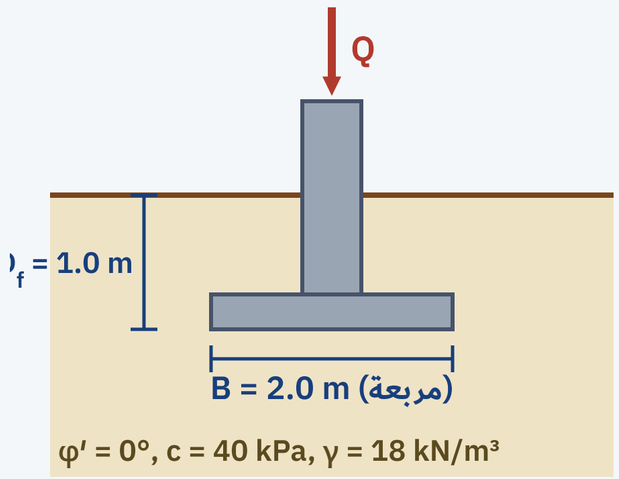
مثال

المعطيات

الأساس	**قاعدة مربعة $B = L = 2$ m، $D_f = 1$ m**
التربة	**طين:** $\varphi = 0,\ c_u = 40$ kPa, $\gamma = 18$ kN/m^3؛ **لا توجد مياه جوفية**
الحالات	**(أ) حمل رأسي · (ب)** $v = 100,\ h = 10$ kPa · **(ج)** $h = 10$ و $\eta = \omega = 10^\circ$

المطلوب

أوجد قيمة q_u لكل حالة.



الحل (1/2)

الحل

1 (a) حمل رأسي: $F_{cs} = 1 + 1/5.14$؛ $F_{cd} = 1 + 0.4(0.5)$؛ q = 18 kPa

$$q_u = 40(5.14)(1.195)(1.200) + 18 = 294.72 + 18 = \mathbf{312.72}\ \text{kPa}$$

2 (b) h = 10 kPa, c = 40 (m = 1.5)

$$i_c = 1 - \frac{1.5(10)}{40(5.14)} = \mathbf{0.927} \;\Rightarrow\; q_u = 273.22 + 18 = \mathbf{291.22}\ \text{kPa}$$

الحل (2/2)

الحل

3 h = 10, η = ω = 10°: $b_c = g_c = 1 - 2(0.1745)/(\pi + 2) = 0.932$; $g_q = (1 - \tan 10°)^2$ (c)

$$q_u = 40(5.14)(1.195)(1.200)(0.927)(0.932)(0.932) + 18(0.678) = 237.4 + 12.2 = \mathbf{249.6}\ \text{kPa}$$

الحالة	$c\ N_c F_{cs} F_{cd} \cdot (i\ b\ g)$	$q\ g_q$	q_u (kPa)
أ) رأسي	294.7	18.0	**312.7**
h = 10 (b)	273.2	18.0	**291.2**
h, η, ω (c)	237.4	12.2	**249.6**

الحمل h = 10 kPa وحده يخفض قدرة التحمل بنسبة 7%، ومعه ميل القاعدة وميل سطح الأرض يخفضانها بنسبة 20%. وتعطي صيغة Hansen الجمعية 305.84 kPa في حالة التحميل الرأسي نفسها (عرض Hansen التقديمي): والطريقتان متقاربتان في حدود 2%.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

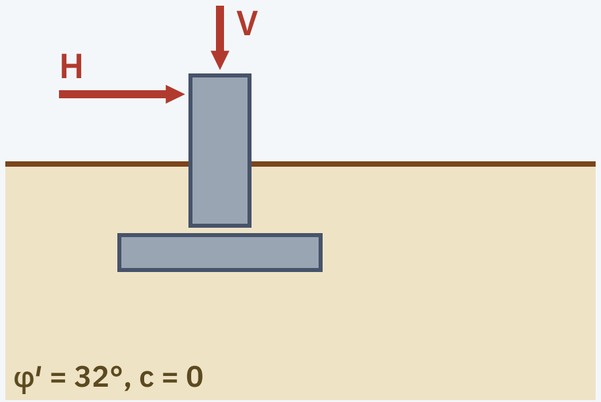
مثال

المعطيات

الأساس	**مربعة، B = L = 1.2 m، عمق التأسيس D_f = 1.0 m**
التربة	**رمل:** $\varphi' = 32^\circ,\ c = 0$
الوزن الحجمي	$\gamma = 16$ kN/m^3 **(في الأعلى)،** $\gamma_{sat} =$ 19.5 kN/m^3 **(تحت منسوب المياه الجوفية)**
المياه الجوفية	**D_w = 0.5 m**
حالة التحميل	$v = 150$ kPa, $h = 30$ kPa؛ $\beta = 11.31^\circ$ **من أجل Meyerhof**

المطلوب

قارن قيم q_u للمعادلتين حداً حداً، تحت الحمل الرأسي وتحت هذا الحمل المائل.



الحل (1/2)

الحل

حمل رأسي	Vesic	Meyerhof
حد q	595.1	595.1
حد γ	105.4	105.4
q_u (kPa)	**700.46**	**700.46**

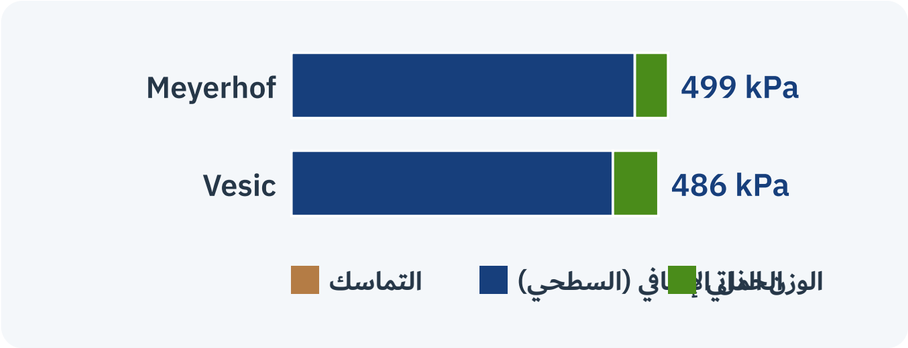
عند غياب ميل الحمل وميل القاعدة وميل سطح الأرض تكون معادلة Vesic **مطابقة تماماً** لمعادلة Meyerhof العامة (700.46 kPa): ولا يبدأ اختلاف Vesic إلا في الحالات المائلة. وهذا هو مسار التحقق الخاص بالوحدة.

الحل (2/2)

الحل

حمل مائل	Vesic (m = 1.5)	Meyerhof (β = 11.31°)
i_q / F_{qi}	0.716	0.764
i_γ / $F_{\gamma i}$	0.572	0.418
حد q	425.8	454.9
حد γ	60.3	44.1
q_u (kPa)	**486.1**	**499.0**

في الحمل المائل يكون الفرق صغيراً: **2.6%** (قيمة Vesic أقل). ويخفض المعامل $F_{\gamma i}$ عند Meyerhof القيمة أكثر، والمعامل F_{qi} أقل؛ وبما أن الحد q هو الغالب فإن النتائج متقاربة.



تحقق من الحل في GeoTerva ↗

النقاط الرئيسية

تشبه **معادلة Vesic** معادلة Hansen في بنيتها؛ فهي تأخذ معاملات **الشكل عند De Beer** و **العمق عند Hansen**، والمعامل $N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\varphi$ كما هي

إسهامه الخاص: أس مَيل الحمل m ومعاملا ميل القاعدة b وميل سطح الأرض g

ميل الحمل: $i_q = (1 - h/(v + c\cot\varphi))^m$، $i_\gamma = (\dots)^{m+1}$؛ $m = (2 + B/L)/(1 + B/L)$ $(h \parallel B)$ أو $(1 + L/B)/(L/B + 2)$ $(h \parallel L)$؛ وفي القاعدة الشريطية، $m_B = 2$ $m_L = 1$

ميل القاعدة $b_q = b_\gamma = (1 - \eta\tan\varphi)^2$؛ **ميل الأرض** $g_q = g_\gamma = (1 - \tan\omega)^2$؛ عندما $\varphi > 0$ تؤخذ g_c، b_c من معامل الحمل الإضافي، وعندما $\varphi = 0$ تكون $1 - 2\cdot$الزاوية$/(\pi + 2)$

الحدود: $h > v\tan\varphi + c$ تحذير من الانزلاق؛ $h \geq v + c\cot\varphi$ (و $h \geq c$ عند $\varphi = 0$) توقف؛ $\varphi > \omega$ توقف

عندما تكون $i = b = g = 1$ فإن المعادلة هي **معادلة Meyerhof العامة**؛ و**منسوب المياه الجوفية** يغيّر q وγ فقط

التحقق: FS_{actual}، $q_{app} \leq q_{all,g}$ والصافي؛ وتستخدم معاملات كل طريقة مع قيمة N_γ الخاصة بها

المراجع

تتبع معادلة فيزيتش الكاملة لقدرة التحمل — أس ميل الحمل المعتمد على B/L ومعاملاته الخاصة لميل القاعدة — المرجع: Vesic, A.S., "Analysis of Ultimate Loads of Shallow Foundations," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 1973، كما أعيد ذكرها بشكل متسق عبر مراجع الجيوتكنيك القياسية (إلى جانب معادلة هانسن الوثيقة الصلة — انظر أداة هانسن في هذا القسم). الصيغة المغلقة Nγ J المستعملة عبر هذا القسم بأكمله هي صيغة فيزيتش، كما هو موضح في: Das, B.M., Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed., Cengage Learning, 2018 (Chapter 16)؛ ومعاملات العمق هي معاملات هانسن، كما أعيد ذكرها في: Das, B.M., Principles of Foundation Engineering, 8th ed., Cengage Learning, 2016 (Table 4.3). في نص هذه الصفحة "المرجع" هو الكتاب الأول من هذين الكتابين و"المرجع الثاني" هو الثاني.

ملاحظة

جميع الأمثلة العددية ناتجة عن مكتبة الحساب الخاصة بالوحدة نفسها، وتعطي الوحدة القيم ذاتها.

حسابات الجيوتكنيك عبر الإنترنت

من النظرية إلى التطبيق

احسب قاعدة المثال الواردة في هذا العرض خطوة بخطوة في GeoTerva: تفتح الوحدة بهذا النموذج.

افتح الوحدة ←

صفحة النظرية ←

افتح على الهاتف

لا تتطلب الوحدات التجريبية تسجيلاً.