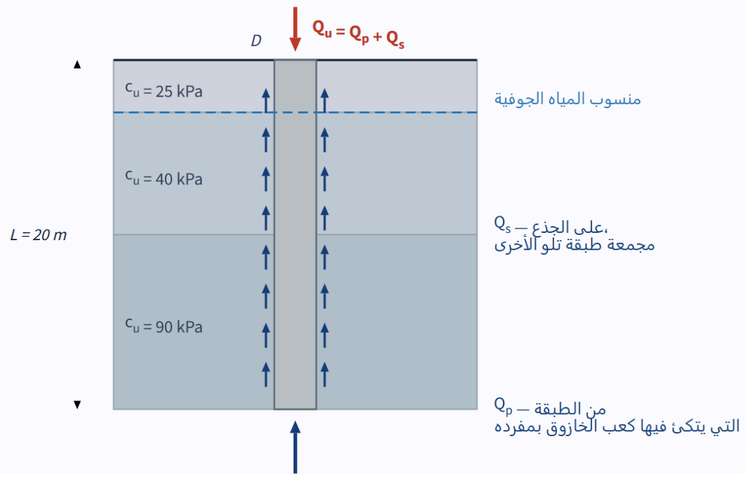
GeoTerva



شرائح محاضرات الجيوتكنيك · الخوازيق

قدرة تحمل الخازوق في الطين

المحاضرة: مقاومة الإرتكاز غير المصرفة، واحتكاك الجذع بطرق α و λ و β، والخازوق المحفور. نظرية كل طريقة يليها مثال محلول.

Meyerhof · Vesic | طرق α · λ · β | خازوق محفور | أمثلة محلولة

يستند إلى صفحة النظرية في GeoTerva · geoterva.com

ماذا سنتعلم في هذه المحاضرة؟

القدرة على تفسير سبب معالجة الطين على أنه **غير مصّرف** ($\varphi = 0$)، والموضع الذي يظل فيه الإجهاد الفعال مؤثراً

القدرة على حساب **مقاومة الإرتكاز** بطريقتين: Meyerhof ($N^*_c = 9$) و Vesic (الجساءة)

القدرة على حساب احتكاك الجذع **بثلاثة مناهج**: α و λ و β

تطبيق القواعد الخاصة بالخازوق المحفور: $\alpha^* = 0$ في الطولين، وتعبيره الخاص لمقاومة الإرتكاز

الوصول إلى **قدرة التحمل المسموح بها** وتفسير نتائج المناهج معاً

تسلسل المحاضرة

تُعرض كل طريقة في **ثلاث خطوات**:

1 · **النظرية**: كيف تعمل الطريقة ولماذا على هذا النحو؟

2 · **المسألة**: المعطيات والمطلوب

3 · **الحل**: خطوة بخطوة، بالأرقام

تجرى معظم الأمثلة على الخازوق نفسه: خازوق أنبوبي طوله 20 m يخترق ثلاث طبقات من الطين.

ينتقل الحمل بطريقتين

النظرية

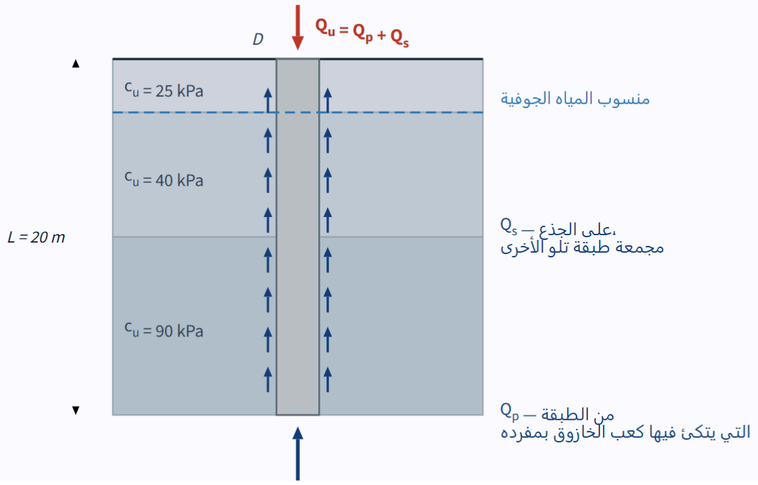
ينقل الخازوق حمله إلى التربة **بطريقتين في آن واحد**: فالطين أسفل طرف الخازوق يقاوم كالأساس العميق **بمقاومة الإرتكاز** (Q_p)، ويقاوم الطين على طول الجذع **بالالتصاق** (Q_s).

$$Q_u = Q_p + Q_s \qquad Q_{all} = \frac{Q_u}{FS}$$

تُجمع **مقاومة الجذع** في الطين طبقةً طبقةً؛ أما **مقاومة الإرتكاز** فتنشأ فقط من الطبقة التي يقع فيها الطرف.

في القطاع النموذجي يشكل الطرف جزءا صغيرا جدا من المجموع: ففي خازوق المثال نحو **تسع** المجموع، بينما يشكل الجذع نحو ثمانية أتساع. وتتركز عدم اليقينية في الجذع أساسا.

في هذه المحاضرة: **خازوق منفرد**، في الطين، مدقوق أو محفور، ثابت المقطع.



النظرية

لماذا يعامل الطين على أساس φ = 0؟

في الطين المشبع يصل حمل المنشأ **أسرع بكثير** مما يستطيع الماء تصريفه؛ فيتعرض الطين للقص **دون تغير في الحجم**. وفي هذه الحالة تكون المقاومة رقماً واحداً: **مقاومة القص غير المصرفة** c_u، وزاوية الاحتكاك صفر.

$$\varphi = 0 \qquad \tau_f = c_u$$

فرق كبير عن الرمل: لم تعد المقاومة تنمو بتناسب مع الإجهاد الفعال. فالخازوق في الطين ليس «خازوقاً في الرمل بأرقام أخرى».

ومع ذلك فإن **طريقتين** تستخدمان الإجهاد الفعال: طريقة λ (متوسطه على طول الخازوق) وطريقة β (تعتمد عليه كلياً). لذلك يكتسب **منسوب المياه الجوفية** أهمية هنا أيضاً؛ لكنه لا يؤثر في مقاومة الإرتكاز ولا في طريقة α.

الإجهاد الفعال (من أجل λ و β)

$$\sigma' = \sum \gamma_i h_i \quad \text{(فوق منسوب المياه الجوفية)}$$

$$\sigma' = \sum (\gamma_{sat,i} - \gamma_w) h_i \quad \text{(تحت منسوب المياه الجوفية)}$$

$\gamma_w = 9.81\ \text{kN/m}^3$

في التربة الطبقية يتغير ميل σ′ في كل طبقة وعند منسوب المياه الجوفية

المسألة

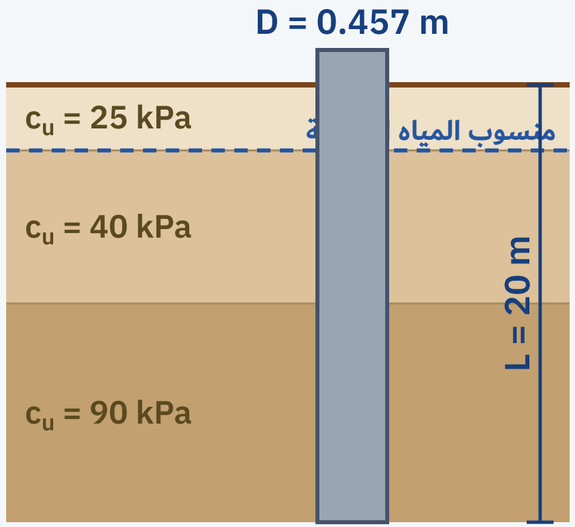
مثال

المعطيات

الطين 1 (0–3 m)	$c_u = 25$ kPa, $\gamma = 16$ kN/m^3
الطين 2 (3–10 m)	$c_u = 40$ kPa, $\gamma = 17$ kN/m^3
طين 3 (10–20 m)	$c_u = 90$ kPa, $\gamma = 18$ kN/m^3
منسوب المياه الجوفية (YASS)	**على عمق 3.0 m**
الخازوق	**خازوق أنبوبي، D = 0.457 m، L = 20 m**
الوزن الحجمي للماء	$\gamma_w = 9.81$ kN/m^3

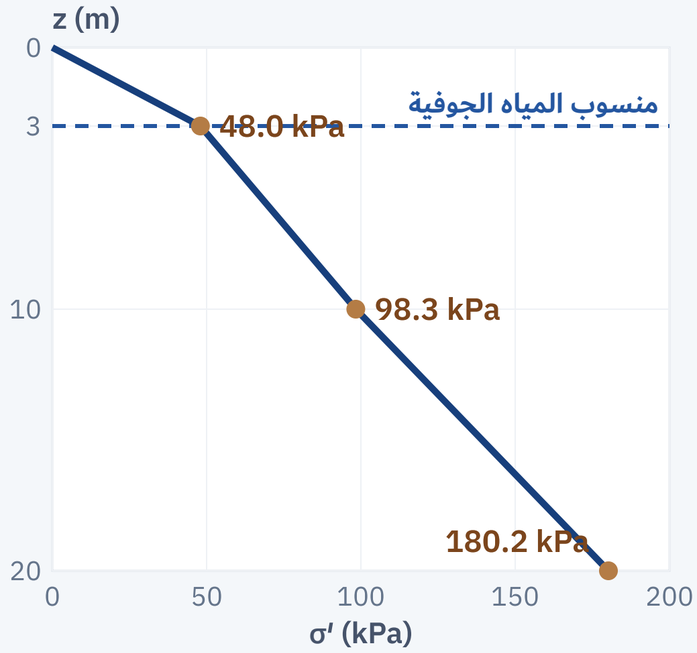
المطلوب

أوجد **الإجهاد الرأسي الفعال** عند حدود الطبقات (3 و 10 و 20 m) و **الإجهاد الفعال المتوسط** σ'_o على امتداد الطول.



الحل (1/2)

الحل



1 3 m (منسوب المياه الجوفية) وحدود الطبقات: تحت منسوب المياه الجوفية $\gamma' = \gamma - \gamma_w$

$$\sigma'(3) = 16(3) = \mathbf{48.0}\ \text{kPa}$$

2 عمق 10 m (نهاية الطبقة الثانية)

$$\sigma'(10) = 48.0 + (17 - 9.81)(7) = \mathbf{98.3}\ \text{kPa}$$

3 عمق 20 m (طرف الخازوق)

$$\sigma'(20) = 98.3 + (18 - 9.81)(10) = \mathbf{180.2}\ \text{kPa}$$

الحل (2/2)

الحل

4 مساحة مخطط σ' في كل طبقة (شبه منحرف)

$$A_1 = \tfrac{1}{2}(0 + 48.0)(3) = 72.0$$
$$A_2 = \tfrac{1}{2}(48.0 + 98.3)(7) = 512.2$$
$$A_3 = \tfrac{1}{2}(98.3 + 180.2)(10) = 1{,}392.8$$

5 الإجهاد الفعال المتوسط: المساحة الكلية / الطول

$$\bar{\sigma}'_o = \frac{A_1 + A_2 + A_3}{L} = \frac{1{,}977.0}{20} = \mathbf{98.85}\ \text{kPa}$$

المتوسط أصغر من نصف القيمة عند الطرف ($98.8 > 90.1$): فالإجهاد لا يزداد خطياً مع العمق، ويتغير الميل عند منسوب المياه الجوفية. وستُستخدم قيمة $\bar{\sigma}'_o$ هذه في طريقة λ.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

مقاومة الإرتكاز: الطين أسفل طرف الخازوق

النظرية

في الطين المشبع غير المصرف تساوي زاوية الاحتكاك صفرا؛ وتساوي **صافي مقاومة الإرتكاز القصوى** للخازوق حاصل ضرب التماسك غير المصرف للطين الواقع أسفل طرف الخازوق في معامل:

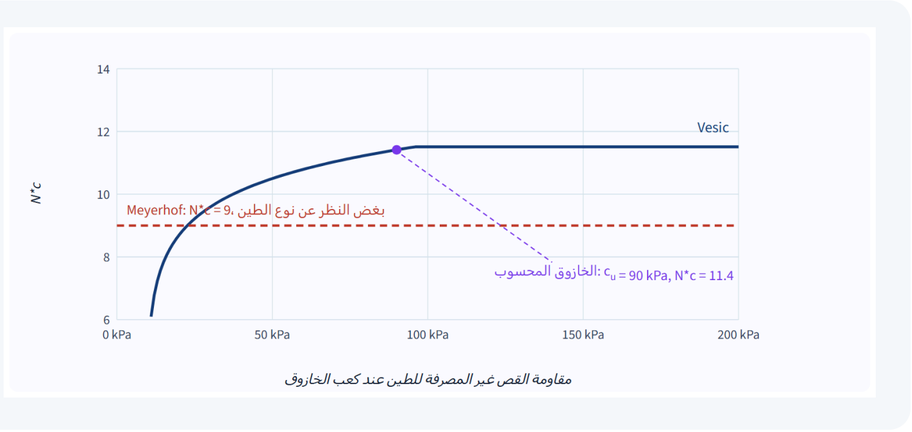
$$Q_p = A_p\, q_p = A_p\, c_u\, N_c^*$$

c_u : مقاومة القص غير المصرفة للطين **تحت طرف الخازوق**

N^*_c : معامل قدرة التحمل (يرد نهجان أدناه)

A_p : مساحة طرف الخازوق

> لا تؤثر مقاومة الطين الذي **يخترقه** الخازوق في الطرف؛ فهذه المقاومة تعود إلى الجذع.



مقاومة القص غير المصرفة للطين عند كعب الخازوق

نهجان: يأخذ Meyerhof المعامل مساوياً **9**؛ أما Vesic فيربط المعامل **بجساءة** الطين.

Meyerhof: الثابت تسعة

النظرية

في الطين المشبع، وفي الظروف غير المصّرفة، يعطى حمل التحمل الأقصى الصافي بصيغة Meyerhof **بالمعامل التقليدي 9:**

$$Q_p \approx N_c^* \, c_u \, A_p = 9 \, c_u \, A_p$$

c_u : التماسك غير المصّرف للتربة تحت طرف الخازوق

لا يتطلب مدخلات أخرى؛ وما دام الخازوق عميقاً (يكفي بضعة أقطار) فلا تعتمد النتيجة على العمق.

البساطة نقطة قوته، ونقطة ضعفه هي ذاتها: فهو لا يراعي جساءة الطين.

مقاومة الإرتكاز صغيرة نسبة إلى مقاومة الجذع، فلا تؤثر في القدرة الكلية إلا قليلاً؛ ولذلك تكفي قيمة بسيطة في أغلب الأحيان.

المسألة

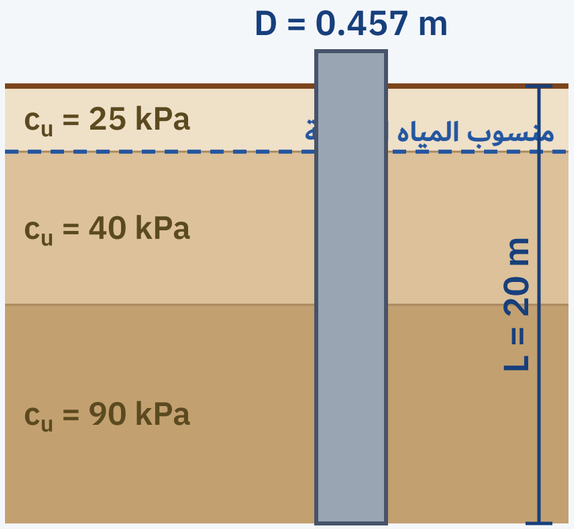
مثال

المعطيات

الخازوق	**خازوق أنبوبي مدقوق**
القطر	**D = 0.457 m**
الطول	**L = 20 m**
الطين أسفل الطرف	$c_u = 90$ kPa

المطلوب

أوجد **مقاومة الإرتكاز** Q_p للخازوق بطريقة **Meyerhof**.



الحل

الحل

1 مساحة طرف الخازوق

$$A_p = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0.457)^2}{4} = \mathbf{0.1640}\ \text{m}^2$$

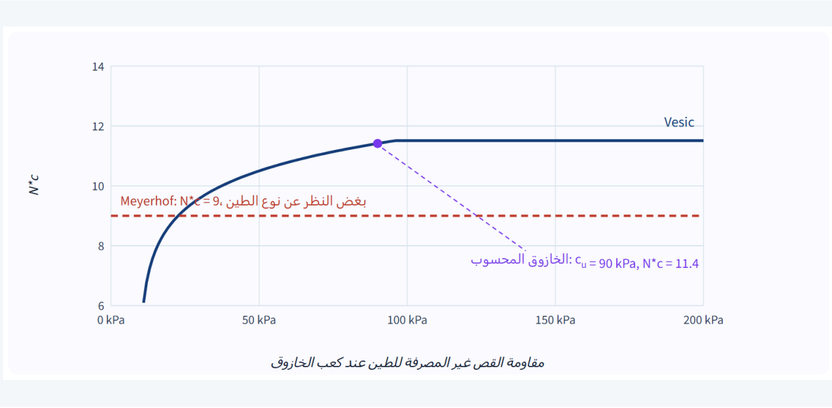
2 مقاومة الإرتكاز الوحدية (N*c = 9)

$$q_p = 9\, c_u = 9(90) = \mathbf{810}\ \text{kPa}$$

3 مقاومة الإرتكاز

$$Q_p = A_p\, q_p = 0.1640(810) = \mathbf{132.9}\ \text{kN}$$

لم تتطلب الطريقة مدخلاً آخر: فقط c_u تحت الطرف. Q_p = **132.9 kN**.



مقاومة القص غير المصرفة للطين عند كعب الخازوق

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

Vesic: الصلابة تدخل في N*c

النظرية

Vesic، انطلاقاً من نظرية **تمدد التجويف**: يشتق المعامل لحالة φ = 0 من مؤشر الجساءة المخفض للطين. وفي الطين المشبع يكون تغير الحجم في المنطقة اللدنة صفراً؛ فيسقط التخفيض و**تصبح** $I_{rr} = I_r$:

$$N_c^* = \frac{4}{3}\left(\ln I_{rr} + 1\right) + \frac{\pi}{2} + 1 \qquad I_r = \frac{E_s}{3\,c_u}$$

المدخل الوحيد: c_u أسفل الطرف

O'Neill و (≥ 0.96) 250 – 300، 150 (0.48)، $I_r \approx 50$ ($c_u/p_a = 0.24$) :Reese (1999).

وتقرب الوحدة ذلك على النحو الآتي:

$$I_r = 347\,\frac{c_u}{p_a} - 33 \;\le\; 300$$

العلاقة $N^*_c - I_{rr}$

I_{rr}	N^*_c
10	6.97
20	7.90
40	8.82
60	9.36
80	9.75
100	10.04
200	10.97
300	11.51

يزداد المعامل ببطء كلما زاد I_{rr}: لوغاريتم

المسألة

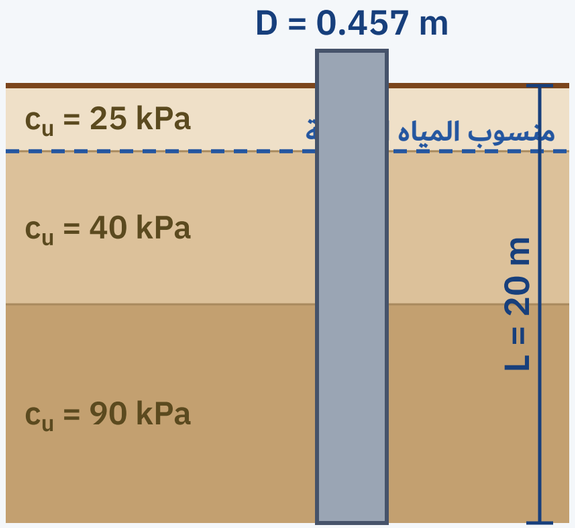
مثال

المعطيات

الخازوق	**كما في المثال 2: D = 0.457 m، L = 20 m**
الطين أسفل الطرف	$c_u = 90$ kPa
الضغط الجوي	$p_a = 100$ kPa

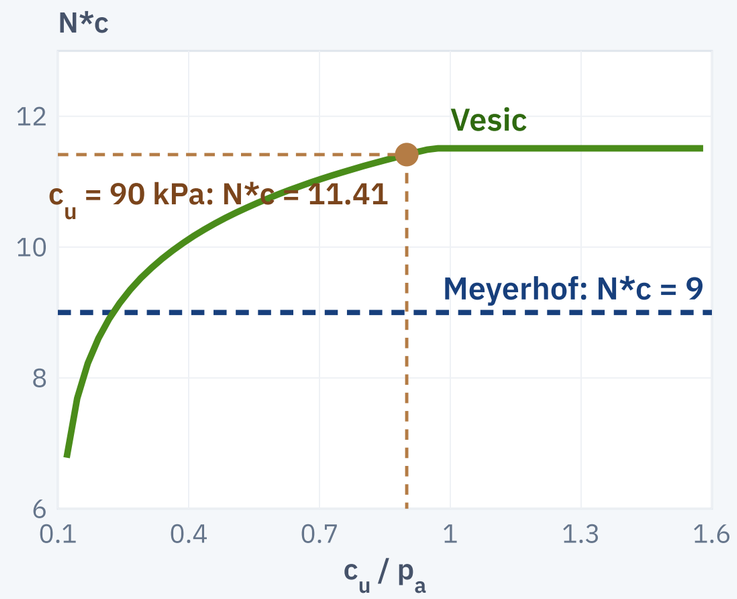
المطلوب

وفق طريقة **Vesic (1977)**، يُطلب إيجاد **مقاومة الإرتكاز** Q_p للخازوق ومقارنتها بطريقة Meyerhof.



الحل (1/2)

الحل



1 دليل الجساءة ($I_{rr} = I_r$، لأنه لا يوجد تغير في الحجم في الطين)

$$I_{rr} = I_r = 347\,\frac{90}{100} - 33 = \mathbf{279.3} \quad (\leq 300)$$

2 معامل N*c

$$N_c^* = \frac{4}{3}\,(\ln 279.3 + 1) + \frac{\pi}{2} + 1 = \mathbf{11.41}$$

المنحنى الأخضر في الرسم البياني هو معامل Vesic: عند c_u = 90 kPa يكون **N^*_c = 11.41**، أي أكبر بنحو 27% من القيمة 9 عند Meyerhof.

الحل (2/2)

الحل

3 مقاومة الإرتكاز لوحدة المساحة

$$q_p = c_u\, N_c^* = 90(11.41) = \mathbf{1{,}027}\ \text{kPa}$$

4 مقاومة الإرتكاز

$$Q_p = A_p\, q_p = 0.1640(1{,}027) = \mathbf{168.5}\ \text{kN}$$

Meyerhof: 132.9 kN، Vesic: 168.5 kN؛ والفرق نحو 27%. ولما كان الطرف جزءاً صغيراً من المجموع، فإن هذا الفرق لا يغير قدرة التحمل الكلية إلا قليلاً جداً.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

احتكاك الجذع: الموضع الذي تتحدد فيه القدرة أساساً

النظرية

في الطين تكون مقاومة الجذع مجموع الاحتكاك النوعي على سطح الجذع:

$$Q_s = \sum f\, p\, \Delta L$$

كثير من المتغيرات التي تحدد الاحتكاك الوحدوي لا يمكن قياسها بسهولة؛ ولذلك توجد **ثلاث مقاربات:**

طريقة α: الاحتكاك من **المقاومة غير المصرفة** فقط (الإجهاد الكلي، المدى القصير)

طريقة λ: مزج **متوسط الإجهاد الفعال** على طول الخازوق مع متوسط المقاومة؛ ومعامل واحد للخازوق بأكمله

طريقة β: **الإجهاد الفعال** وزاوية الاحتكاك المعجونة (مصّرف، طويل الأمد)

في خازوق المثال يحمل الجذع نحو **تسعة أعشار** المجموع؛ وفيه أيضاً يكمن مصدر عدم اليقين.

α: جزء من المقاومة

النظرية

الاحتكاك الوحدوي هو حاصل ضرب مقاومة القص غير المصرفة في

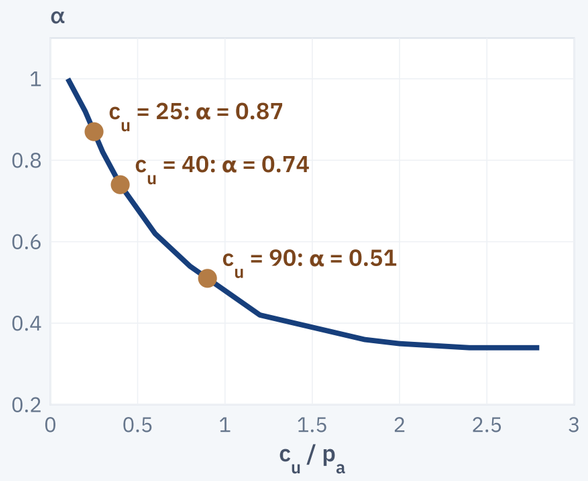
معامل الالتصاق التجريبي α:

$$f = \alpha\, c_u \qquad Q_s = \sum \alpha\, c_u\, p\, \Delta L$$

α : معامل الالتصاق؛ **يتناقص** كلما اشتد الطين (فالطين القوي يستنفر نسبة أصغر من مقاومته)

α هي في الواقع دالة في **الإجهاد الفعال** إضافة إلى c_u (توصيات Sladen و Randolph–Murphy/API و NGI-99)

تستكمل هذه الوحدة داخلياً قيم **الجدول (c_u/p_a – α)** المبين على الجانب؛ كما يمكن إدخال α الطبقة يدوياً.



جدول α (خلاصة)

c_u / p_a	α

المسألة

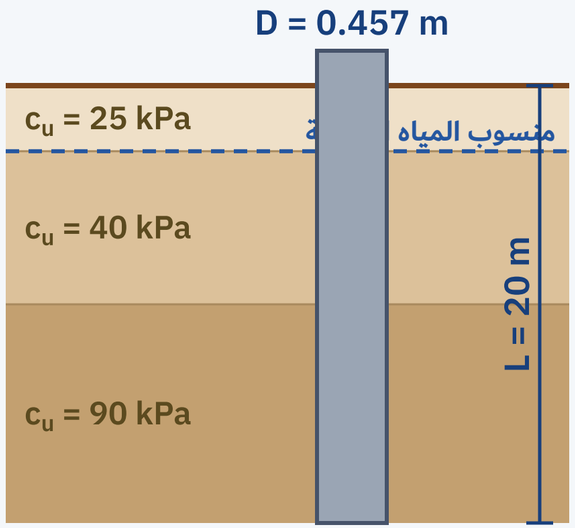
مثال

المعطيات

الطين 1 (0–3 m)	$c_u = 25$ kPa, $\gamma = 16$ kN/m^3
الطين 2 (3–10 m)	$c_u = 40$ kPa, $\gamma = 17$ kN/m^3
طين 3 (10–20 m)	$c_u = 90$ kPa, $\gamma = 18$ kN/m^3
منسوب المياه الجوفية (YASS)	**على عمق 3.0 m**
الخازوق	**خازوق أنبوبي، D = 0.457 m، L = 20 m**
المحيط	$p = \pi D = \pi(0.457) = 1.436$ m

المطلوب

أوجد **احتكاك الجذع** Q_s للخازوق بحسب **طريقة α**. (α بالاستيفاء الخطي من الجدول؛ $p_a = 100$ kPa)



الحل

الحل

1 قيم α: من الجدول عند $c_u/p_a = 0.25$؛ 0.40؛ 0.90

$$\alpha_1 = 0.87,\ \alpha_2 = 0.74,\ \alpha_3 = 0.51$$

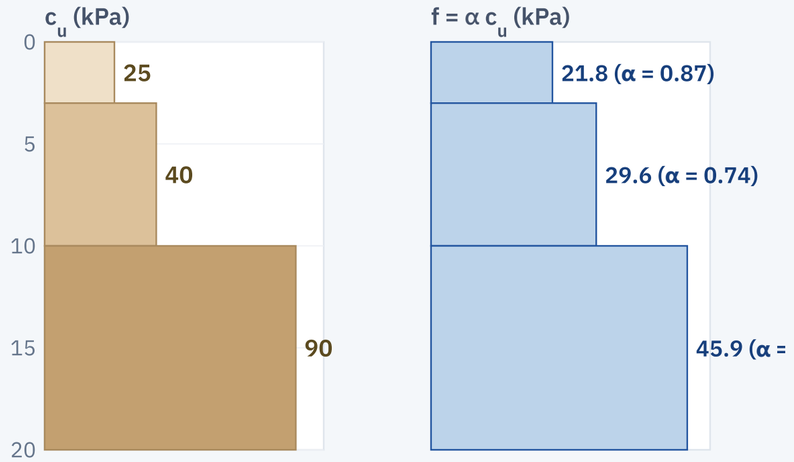
2 الاحتكاك الوحدوي في كل طبقة $f = \alpha\, c_u$

$$f_1 = 21.8\ ,\ f_2 = 29.6\ ,\ f_3 = 45.9\ \text{kPa}$$

3 $Q_s = p\,\Sigma\, f\, H$

$$Q_s = 1.436\,[21.8(3) + 29.6(7) + 45.9(10)] = \mathbf{1{,}050}\ \text{kN}$$

الإسهامات: 94 + 297 + 659 = **1,050 kN**. يعطي أقوى طين أكبر f لكن بنسبة أصغر من ($\alpha = 0.51$) c_u.



تحقق من الحل في GeoTerva ↗

λ: متوسط واحد لكامل الطول

النظرية

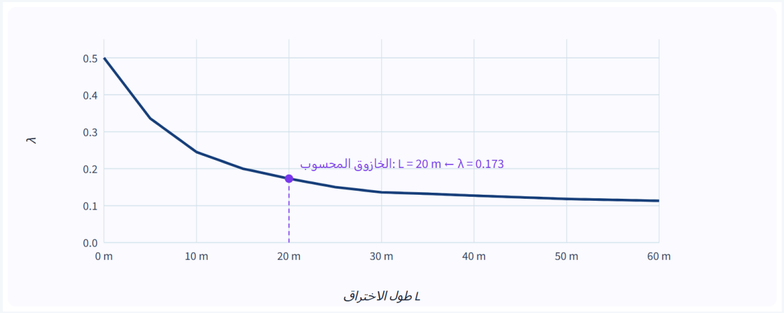
Vijayvergiya و Focht (1972): **التربة التي يزيحها الخازوق** تولد عند كل عمق ضغطاً جانبياً منفعلاً، ومنه يستنتج متوسط احتكاك وحدة المساحة:

$$f_{av} = \lambda \left(\bar{\sigma}'_o + 2\,\bar{c}_u \right) \qquad Q_s = p\,L\,f_{av}$$

$\bar{\sigma}'_o$: **متوسط الإجهاد الرأسي الفعال** على امتداد الطول المدفون (مساحة مخطط σ′ / L)

$\bar{c}_u$: متوسط مقاومة القص غير المصرفة، **موزوناً بالسمك**: $(c_{u1}L_1 + c_{u2}L_2 + \ldots)/L$

λ : معامل يعتمد على **طول** الخازوق (على الجانب)



λ — طول الدفن

λ	L (m)
0.500	0
0.336	5
0.245	10
0.200	15
0.173	20
0.136	30
0.127	40

المسألة

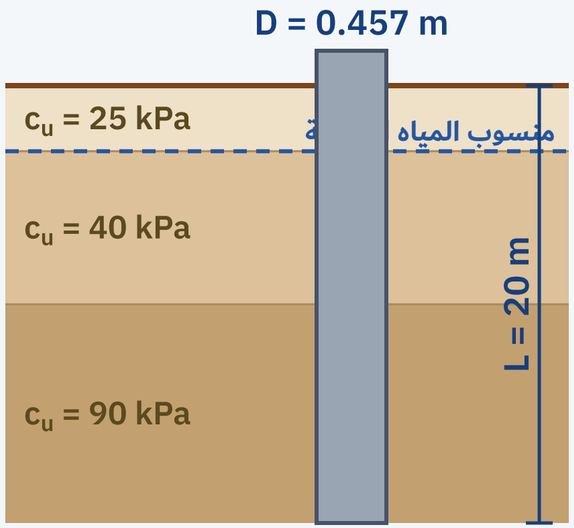
مثال

المعطيات

الطين 1 (0–3 m)	$c_u = 25$ kPa, $\gamma = 16$ kN/m^3
الطين 2 (3–10 m)	$c_u = 40$ kPa, $\gamma = 17$ kN/m^3
طين 3 (10–20 m)	$c_u = 90$ kPa, $\gamma = 18$ kN/m^3
منسوب المياه الجوفية (YASS)	**على عمق 3.0 m**
الخازوق	**خازوق أنبوبي، D = 0.457 m، L = 20 m**
متوسط الإجهاد الفعال	$\bar{\sigma}'_o = 98.85$ kPa **(المثال 1)**

المطلوب

باستخدام **طريقة λ**، أوجد **احتكاك الجذع** Q_S للخازوق.



الحل

الحل

1 المقاومة المتوسطة (موزونة بالسماكة)

$$\bar{c}_u = \frac{25(3) + 40(7) + 90(10)}{20} = \mathbf{62.75}\ \text{kPa}$$

2 λ (L = 20 m، من الجدول) ومتوسط الاحتكاك الوحدوي

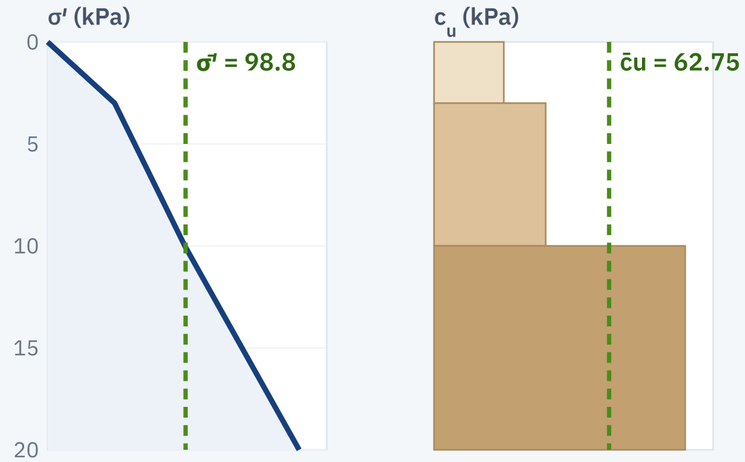
$$\lambda = 0.173$$

$$f_{av} = \lambda(\bar{\sigma}'_o + 2\bar{c}_u) = 0.173\,(98.85 + 2(62.75)) = \mathbf{38.81}\ \text{kPa}$$

3 احتكاك الجذع

$$Q_s = p\,L\,f_{av} = 1.436(20)(38.81) = \mathbf{1{,}114}\ \text{kN}$$

تجمع طريقة λ بين المتوسطين: **1,114 kN**. وفي الرسم تمثل المساحة على اليسار σ̄′o، ويمثل الخط على اليمين c̄u.



تحقق من الحل في GeoTerva ↗

β: الإجهاد الفعال والقشرة المعاد تشكيلها

النظرية

نهج Burland للإجهاد الفعال (مع تصحيح Meyerhof للإفراط في الانضمام): لا يعتمد على مقاومة القص غير المصرفة إطلاقاً، بل ينطلق من **الإجهاد الرأسي الفعال** ومن زاوية الاحتكاك المصرفة للطين **المعاد تشكيله** ($c' = 0$):

$$f = \beta\, \sigma'(z) \qquad \beta = K \tan\delta, \quad \delta = \varphi'_R$$

$$\beta = (1 - \sin\varphi'_R)\tan\varphi'_R \sqrt{OCR}$$

K : معامل الضغط الجانبي؛ يؤخذ تحفظاً **في حالة السكون**، ويزداد مع $\sqrt{OCR}$ في الطين مفرط الانضمام

عند OCR = 1 تؤول العلاقة تلقائياً إلى الصيغة الخاصة بحالة عادي الانضمام



تُدخل φ'_R و OCR **يدوياً**، ولا تُقرأ من التربة بعلاقة ارتباط (يفتح في الوحدة بالقيمتين $\varphi'_R = 30°$ و OCR = 1).

تزداد f، بالتزامن مع $\sigma'(z)$، **مع العمق** داخل الطبقة؛ وتشكل درجة عند الحد الذي تتغير عنده β.

المسألة

مثال

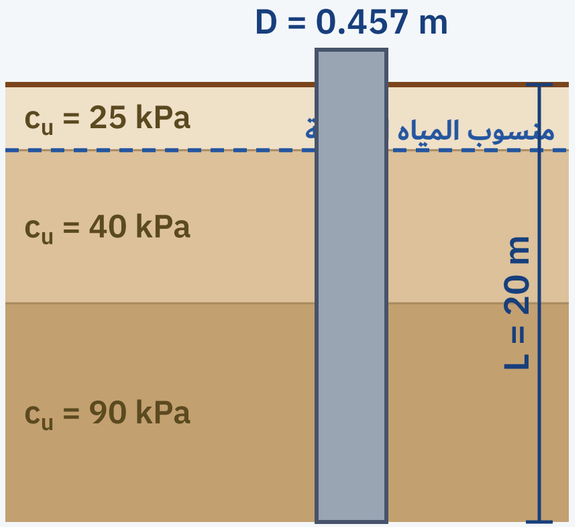
المعطيات

الطين 1 (0–3 m)	$c_u = 25$ kPa, $\gamma = 16$ kN/m^3
الطين 2 (3–10 m)	$c_u = 40$ kPa, $\gamma = 17$ kN/m^3
طين 3 (10–20 m)	$c_u = 90$ kPa, $\gamma = 18$ kN/m^3
منسوب المياه الجوفية (YASS)	**على عمق 3.0 m**
زاوية الاحتكاك الداخلي بعد إعادة التشكيل	$\varphi'_R = 30°$ **(ثلاث طبقات)**
نسبة الإفراط في الانضمام	$OCR = 1;\ 1;\ 2$ **(الطبقة 3 مفرطة الانضمام)**
الخازوق	**D = 0.457 m, L = 20 m**

المطلوب

أوجد **احتكاك الجذع** Q_s للخازوق **بطريقة β**.

(متوسطات σ′ للطبقات من مساحات المثال 1.)



الحل (1/2)

الحل

1 معاملات β

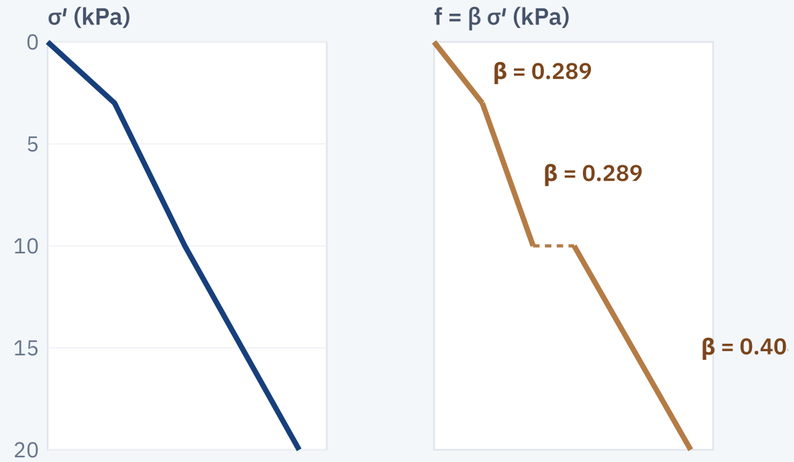
$$\beta_{1,2} = (1 - \sin 30^\circ)\tan 30^\circ = \mathbf{0.289} \qquad \beta_3 = 0.289\sqrt{2} = \mathbf{0.408}$$

2 متوسط الإجهادات الفعالة للطبقة (المساحة / السماكة)

$$\bar{\sigma}'_1 = \frac{72}{3} = 24.0, \quad \bar{\sigma}'_2 = \frac{512.2}{7} = 73.2, \quad \bar{\sigma}'_3 = \frac{1{,}392.8}{10} = 139.3 \text{ kPa}$$

الحل (2/2)

الحل



3 متوسط احتكاك الجذع الوحدوي للطبقة $\bar{f} = \beta\,\bar{\sigma}'$

$$\bar{f}_1 = 6.93, \quad \bar{f}_2 = 21.12, \quad \bar{f}_3 = 56.86 \text{ kPa}$$

4 احتكاك الجذع $Q_s = p\,\Sigma\,\bar{f}\,H$

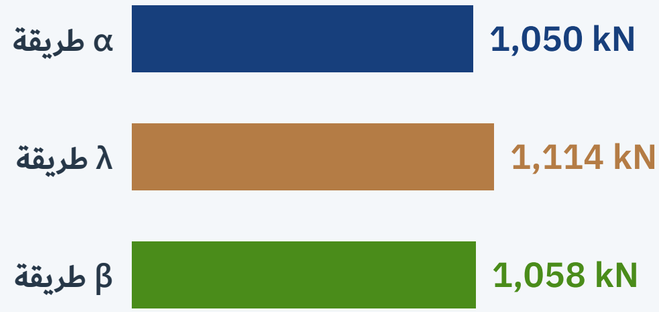
$$Q_s = 1.436\,[6.93(3) + 21.12(7) + 56.86(10)] = \mathbf{1{,}058} \text{ kN}$$

المتوسط هو **التكامل الحقيقي** للإجهاد في الطبقة (وليس متوسط القيمتين الطرفيتين): فإذا قطع منسوب المياه الجوفية الطبقة فقد يختلف الاثنان بأكثر من 10%. والنتيجة **1,058 kN**.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

ثلاثة مناهج، الخازوق نفسه

النظرية



في هذا المقطع تكون القيم الثلاث متقاربة إحداها من الأخرى ضمن **بضعة بالمئة.** لكنها **من حيث المبدأ** غير متفقة؛ فالتوافق خاصية من خواص هذا المقطع.

في الخازوق **الطويل** جداً تنخفض λ بسبب المعامل

في الطين **مفرط الانضمام** يزداد β مع $OCR\sqrt{}$

في الطين **الطري** عادي الانضمام يزداد α نحو مقاومة التربة الكاملة

قراءة موضوعية: تعرف مقاومة الجذع في الطين **بالحساب بعدم يقين يبلغ نحو الخمس.** ولهذا فإن **اختبار التحميل** يستحق كلفته في المشاريع الكبيرة.

للخوازيق المحفورة قواعدها الخاصة

النظرية

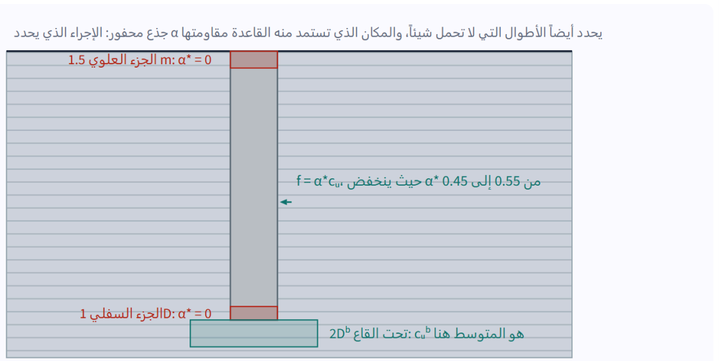
يحفر الثقب وتصب الخرسانة: فلا تزاح التربة؛ ويمتص الطين على جدار الثقب الماء فـ**يلين**، وتتجمع الفتات تحت القاعدة، ويتطلب تطوير مقاومة طرف الخازوق **هبوطا أكبر**. ويعدل إجراء O'Neill و Reese النصفين معا.

$$\alpha^* = 0.55 \quad \text{(في موضع آخر)} \qquad \alpha^* = 0 \quad (1.5 \text{ علوي m 1 وأسفل } D)$$

$\alpha^* = 0.55$ ($c_u/p_a \le 1.5$)، وتنخفض إلى 0.45 عند 2.5

أعلى 1.5 m هو أكثر التربة اضطراباً وأكثرها قابلية للانكماش بعيداً عن الجذع؛ وأسفل قطر واحد هو الطول الذي تحرك فيه قاعدة الخازوق التربة أصلاً

لا تتغير سماكات الطبقات: يبقى العمق و σ' كما في القطاع، ويتغير فقط الطول الحامل للاحتكاك



$$q_p = \min\left[6c_{ub}\left(1 + 0.2\frac{L}{D_b}\right),\ 9c_{ub},\ 40p_a\right]$$

c_{ub}: متوسط c_u في المنطقة **$2D_b$** تحت القاع. وإذا كانت $D_b >$ 1.91 m خفضت q_p بمعامل $F_r \le 1$.

المسألة

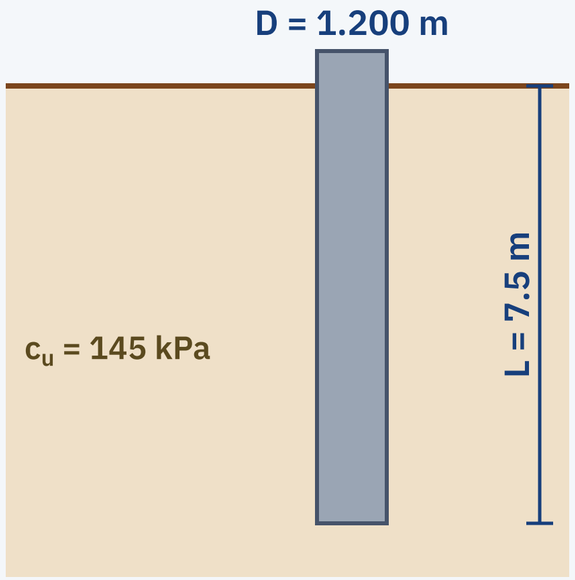
مثال

المعطيات

الخازوق	**خازوق محفور، مقطع دائري**
القطر والطول	**$D = D_b = 1.2$ m, $L = 7.5$ m**
الطين (متجانس)	$\gamma = 18$ kN/m^3 ,$c_u = 145$ kPa
المياه الجوفية	**لا يوجد**
معامل الأمان	**FS = 3**

المطلوب

أوجد **مقاومة الإرتكاز** و**احتكاك الجذع** و**قدرة التحمل المسموح بها** للخازوق المحفور.



الحل (1/2)

الحل

1 متوسط المقاومة في المنطقة $2D_b$ أسفل القاعدة وتعبير القاعدة

$$c_{ub} = 145 \text{ kPa} \qquad 6c_{ub}\left(1 + 0.2\frac{7.5}{1.2}\right) = 1{,}957.5\ ; \quad 9c_{ub} = 1{,}305\ ; \quad 40p_a = 4\,000$$

2 q_p = الأصغر من الثلاثة؛ وبما أن $D_b = 1.2 \text{ m} \le 1.91 \text{ m}$ فإن $F_r = 1$

$$q_p = \min(1{,}957.5;\ 1{,}305;\ 4\,000) = \mathbf{1{,}305} \text{ kPa}$$

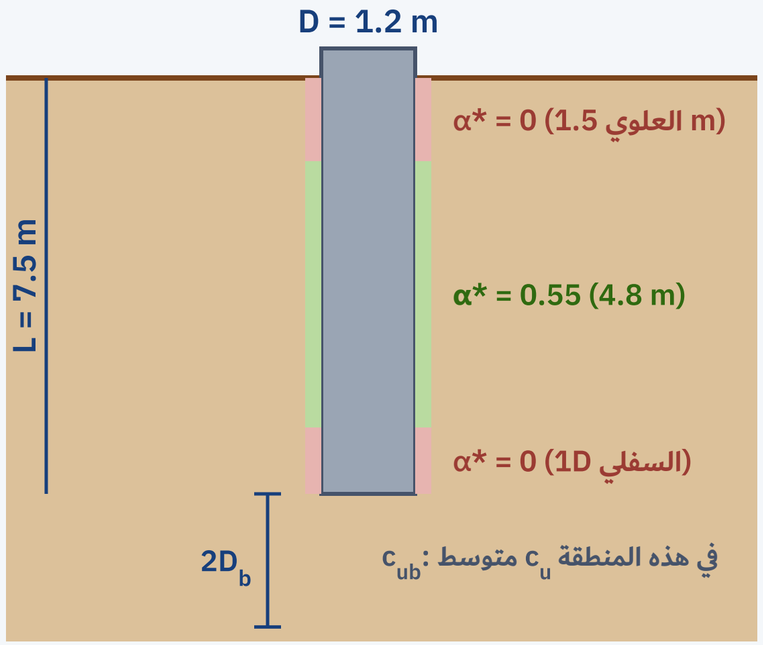
3 مساحة القاعدة ومقاومة الإرتكاز

$$A_b = \frac{\pi(1.2)^2}{4} = 1.131 \text{ m}^2 \qquad Q_p = A_b\, q_p = \mathbf{1{,}476} \text{ kN}$$

القيمة $9c_{ub}$ هي الحاكمة: فقد أعطت الصيغة $6c_{ub}(1 + 0.2L/D_b)$ قيمة أكبر، لكن الحد الأعلى $9c_u$ هو الذي دخل في الحساب. Q_p = **1,476 kN**.

الحل (2/2)

الحل



4 α* وطول الجذع المقاوم بالاحتكاك (يهمل 1.5 m من الأعلى و 1D من الأسفل)

$$\alpha^* = 0.55 \quad (c_u/p_a = 1.45 \le 1.5)$$

$$L_{eff} = 7.5 - 1.5 - 1.2 = \mathbf{4.8}\ \text{m}$$

5 احتكاك الجذع

$$Q_s = \pi D\, \alpha^* c_u\, L_{eff} = \pi(1.2)(0.55)(145)(4.8) = \mathbf{1{,}443}\ \text{kN}$$

6 قدرة التحمل القصوى والمسموح بها

$$Q_u = 1{,}476 + 1{,}443 = 2{,}919\ \text{kN} \qquad Q_{all} = \frac{Q_u}{3} = \mathbf{973}\ \text{kN}$$

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

الإجمالي بمعامل أمان واحد

النظرية

قدرة التحمل القصوى هي مجموع المكونين؛ وتوجد القدرة المسموح بها بتطبيق **معامل أمان واحد على المجموع كله:**

$$Q_{all} = \frac{Q_p + Q_s}{FS}$$

القيم المعتادة لخازوق مفرد **FS = 2.5 – 4**

الطرف الأعلى: إذا كانت التربة معروفة من بضع جسات فقط، أو إذا كان الطين **صلباً ومتشققاً**، أو إذا لم يخطط لـ **اختبار تحميل**

يمكن اختيار طريقتي الإرتكاز والجانبية **بشكل مستقل** إحداهما عن الأخرى؛ وتُفسَّر النتائج معاً

المسألة

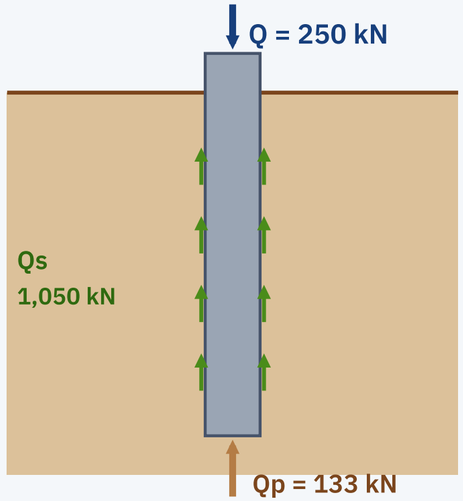
مثال

المعطيات

مقاومة الإرتكاز	$Q_p = 132.9$ kN (Meyerhof، المثال 2)
احتكاك الجذع	$Q_s = 1{,}050$ kN (طريقة α، المثال 4)
معامل الأمان	FS = 4
حمل التشغيل الواقع على الخازوق	Q = 250 kN

المطلوب

ما هي **قدرة التحمل المسموح بها** Q_{all} للخازوق؟ وهل حمل التشغيل **كافٍ**؟



الحل

الحل

1 قدرة التحمل القصوى

$$Q_u = Q_p + Q_s = 132.9 + 1{,}050.1 = \mathbf{1{,}183}\ \text{kN}$$

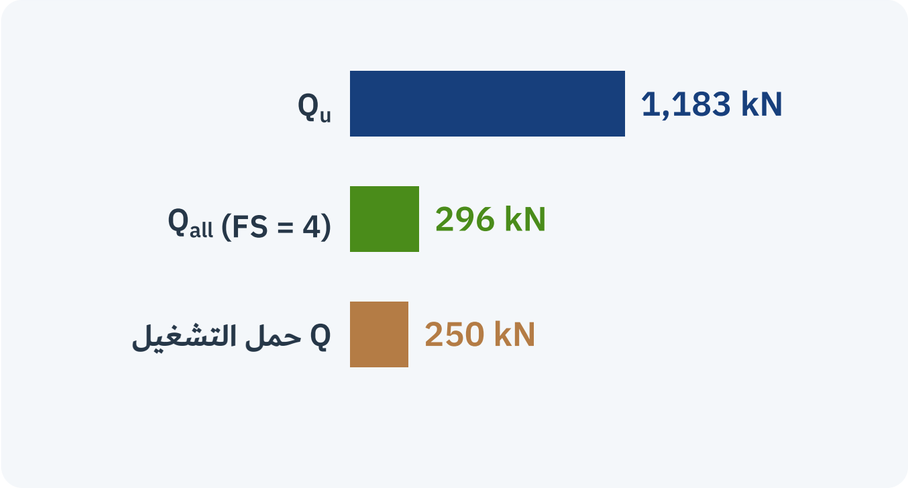
2 قدرة التحمل المسموح بها

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{FS} = \frac{1{,}183}{4} = \mathbf{296}\ \text{kN}$$

3 التحقق

$$Q = 250\ \text{kN} \ \leq \ Q_{all} = 296\ \text{kN} \ \Rightarrow \ \text{كافٍ}$$

نسبة الاستخدام $Q / Q_{all} = 250 / 296 =$ **0.85**. يحمل الجذع نحو 89% من المجموع.



تحقق من الحل في GeoTerva ↗

الخازوق نفسه: Q_u و Q_{all} (FS = 4)

النظرية

Q_u · Q_{all} (kN)

	Q_s: α 1,050 kN	Q_s: λ 1,114 kN	Q_s: β 1,058 kN
Q_p: Meyerhof 132.9 kN	**296** · 1,183	**312** · 1,247	**298** · 1,191
Q_p: Vesic 168.5 kN	**305** · 1,219	**321** · 1,283	**307** · 1,227

في التوليفات الست تتراوح Q_u بين **1,183 – 1,283 kN** فقط: ولما كان الطرف صغيراً فإن الاختيار لا يؤثر في المجموع إلا قليلاً جداً؛ أما الفرق الحقيقي فهو في احتكاك الجذع.

فسّر المدى ولا تعتمد على رقم واحد

احتكاك الجذع يمثل **نحو تسعة أعشار** الإجمالي

في الأعمال الكبيرة، تحقق باستخدام **اختبار تحميل الخازوق**

النقاط الرئيسية

الطين **غير مصّرف** ($\varphi = 0,\ \tau_f = c_u$)؛ والمقاومة ليست متناسبة مع الإجهاد الفعال

الطرف: Meyerhof $N^*_c = 9$؛ Vesic $N^*_c = f(I_{rr})$، $I_r \approx 347c_u/p_a - 33$؛ ومقاومة الإرتكاز جزء صغير من المجموع

α: $f = \alpha c_u$ · **λ**: $f_{av} = \lambda(\bar{\sigma'} + 2\bar{c}_u)$ · **β**: $f = \beta\sigma',\ \beta = (1 - \sin\varphi'_R)\tan\varphi'_R\sqrt{OCR}$

الخازوق المحفور: $\alpha^* = 0$ (1.5 m العلوية و 1D السفلية)، $q_p = \min[6c_{ub}(1 + 0.2L/D_b),\ 9c_{ub},\ 40p_a]$

$Q_{all} = (Q_p + Q_s)/FS$، حيث $FS = 2.5 - 4$

المراجع

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

Terzaghi, K., Peck, R.B. and Mesri, G. (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice, 3rd ed. Wiley — قيم α في الجدول 2.

O’Neill, M.W. and Reese, L.C. (1999). Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods. FHWA-IF-99-025 — معامل التصاق الجذع α للآبار المحفورة ومؤشر الصلابة للتربة الطينية.

Reese, L.C. and O’Neill, M.W. (1989). Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods. FHWA — المعادلة الأساسية للركيزة المحفورة في الطين.

Burland, J.B. (1973). Shaft friction of piles in clay — a simple fundamental approach. Ground Engineering, 6(3), 30–42.

Meyerhof, G.G. (1976). Bearing capacity and settlement of pile foundations. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 102(GT3), 197–228 — تعديل √OCR لطريقة β.

Vijayvergiya, V.N. and Focht, J.A. (1972). A new way to predict the capacity of piles in clay. Offshore Technology Conference, Paper 1718, Houston.

Vesic, A.S. (1977). Design of Pile Foundations. NCHRP Synthesis of Highway Practice 42, Transportation Research Board.

ملاحظة

الأشكال الواردة في هذا العرض مأخوذة من صفحة النظرية في GeoTerva؛ وجميع الأمثلة العددية ناتجة عن مكتبة الحساب الخاصة بالوحدة، وتعطي الوحدة القيم نفسها.

حسابات الجيوتكنيك عبر الإنترنت

من النظرية إلى التطبيق

احسب الخازوق الوارد في هذا العرض خطوة بخطوة في GeoTerva: فالأرقام نفسها.

افتح الوحدة ←

صفحة النظرية ←

افتح على الهاتف

لا تتطلب الوحدات التجريبية تسجيلاً.

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