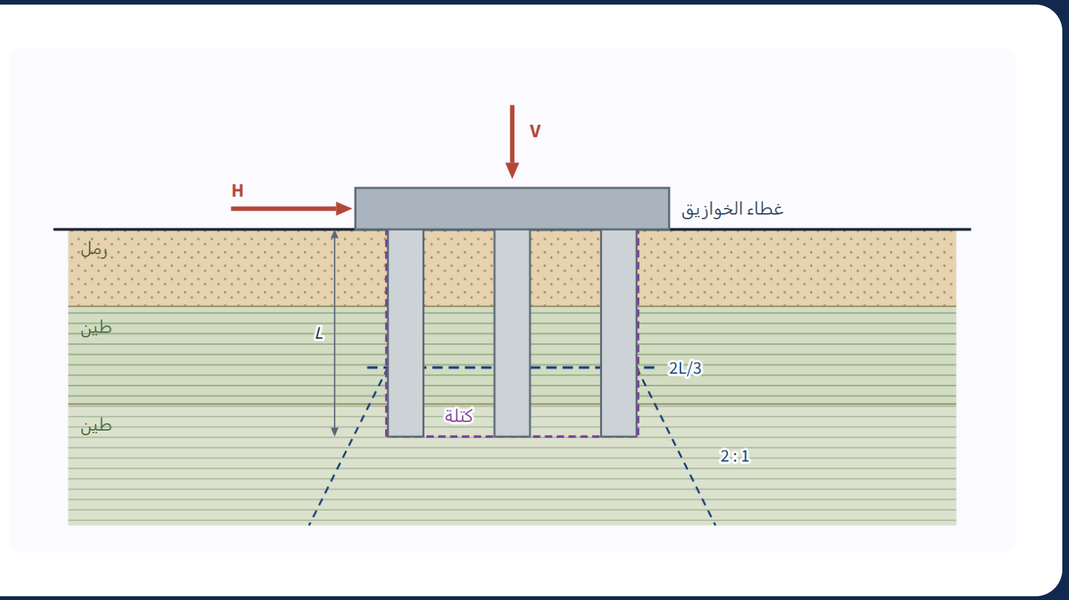
GeoTerva



شرائح محاضرات الجيوتكنيك · الخوازيق

تحليل مجموعة الخوازيق

المحاضرة: الحمل الواقع على كل خازوق في مجموعة خوازيق تحت غطاء الخوازيق، وقدرة تحملها، وهبوطها، وسلوكها تحت الحمل الجانبي؛ ومثال محلول لكل موضوع.

غطاء صلب · كفاءة المجموعة · الكتلة · الهبوط · الحمل الجانبي: مضاعفات p · أمثلة محلولة

يستند إلى صفحة النظرية في GeoTerva · geoterva.com

ماذا سنتعلم في هذه المحاضرة؟

- تحديد **الحمل الواقع على كل خازوق** تحت غطاء خوازيق جاسئ، وتمييز الخازوق الذي يتعرض لقوة شد
- **قدرة الخازوق المفرد** وبناؤها طبقة طبقة كأساس لقدرة المجموعة
- تطبيق **كفاءة المجموعة** (Converse–Labarre و Los Angeles و Seiler–Keeney؛ وقواعد الخوازيق المدقوقة والمحفورة في الرمل) طبقة بطبقة
- التحقق من **انهيار الكتلة** للمجموعة واختيار **الأصغر**
- حساب الهبوط المرن (Vesic) وهبوط **الانضمام** (انتشار 2:1)
- تفسير مضاعفات p والحصص غير المتساوية للصفوف تحت **الحمل الجانبي**

تسلسل المحاضرة

يعالج كل موضوع في **ثلاث خطوات**:

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

2 · **المسألة**: المعطيات والمطلوب

3 · **الحل**: خطوة بخطوة، بالأرقام

يبنى هذا العرض على عرض **الخازوق في التربة الطبقية**: فقد شرح هناك الحساب طبقة بطبقة للخازوق المنفرد، ويعالج هنا موضعه داخل المجموعة.

ماذا يتغير عندما تعمل الخوازيق معاً؟

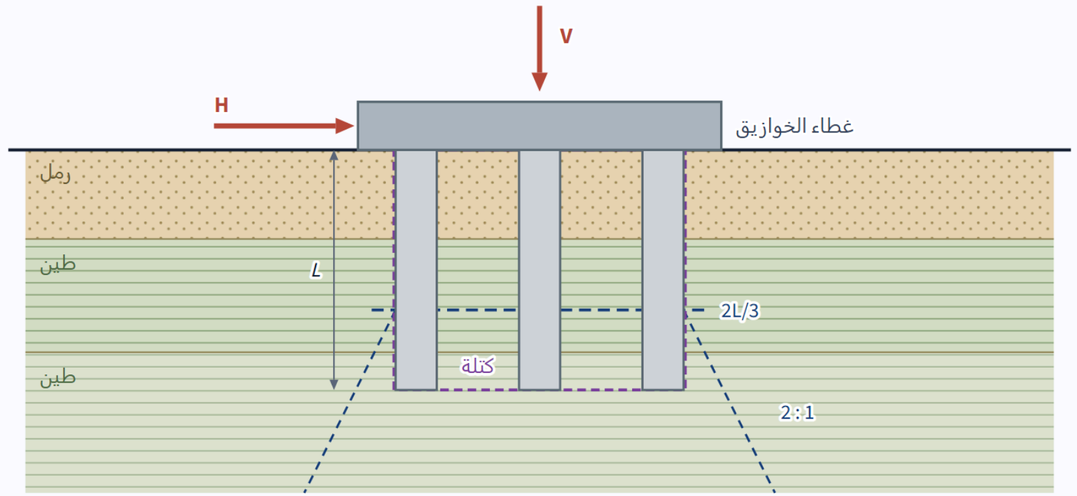
النظرية

ترتب الخوازيق في صفوف تحت **غطاء الخوازيق**؛ وعندما تكون متقاربة تضطر التربة التي بينها وحولها إلى خدمتها جميعاً في آن واحد. وتتغير ثلاثة أشياء، وتعالج الوحدة كلاً منها بوصفه تحققاً مستقلاً:

القدرة: تتعرض التربة بين الخوازيق للإجهاد من جذع كل خازوق؛ ويحمل كل خازوق أقل مما يحمله منفرداً (الكفاءة $\eta < 1$). وإذا كانت التربة ضعيفة والخوازيق متقاربة فقد تنهار المجموعة والتربة بينها أيضاً ككتلة **واحدة**.

الهبوط: يتوزع حمل المجموعة على **مساحة المجموعة بأكملها** لا على مساحة خازوق منفرد، ويصل إلى طبقات الطين الواقعة أسفل الأطراف بكثير؛ وتهبط المجموعة أكثر بكثير مما يهبطه خازوق منفرد.

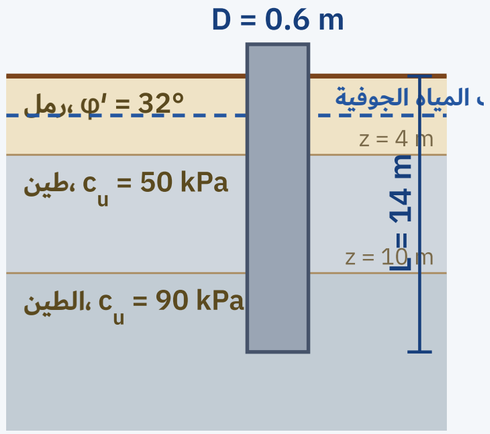
الحمل الجانبي: تعمل الصفوف الخلفية في تربة دفعتها الخوازيق السابقة وأجهدتها؛ فيتحمل الصف الأمامي حملاً أكبر وتتحمل الصفوف الأخرى حملاً أقل.



المجموعة التي سنستخدمها طوال المحاضرة

مجموعة المثال (النموذج الذي تفتحه الوحدة)

الخوازيق	**9 خوازيق محفورة (القطر D = 0.60 m، الطول L = 14 m)، 3 صفوف × 3 خوازيق، وقاع الغطاء في التربة**
التباعد	$s_x = s_y = 1.80\ \text{m}\ (3.0\,D)$
التربة	**رمل 0–4 m (φ′ = 32°)، طين 4–10 m (c_u = 50)؛ طين 10–18 m (c_u = 90 kPa)، γ = 18 kN/m³، γ_{sat} = 19 kN/m³**
المياه الجوفية	**على عمق 2.0 m**
الأحمال	$V = 1\,600\ \text{kN},\ H = 900\ \text{kN},\ M_y = 900\ \text{kN·m}$
المادة والأمان	$E_p = 30\,000\ \text{MPa},\ E_s = 30\ \text{MPa},\ \nu_s = 0.30;\ FS = 3$



تُنجز معظم الأمثلة باستخدام هذه المجموعة؛ والنتائج مطابقة للأرقام في تبويب **النموذج** في الوحدة.

غطاء الخوازيق الصلب: الخوازيق نوابض متماثلة

النظرية

يفترض أن الغطاء جاسئ وأن الخوازيق نوابض رأسية متماثلة. ويتحرك الغطاء الجاسئ **كمستوى**: فهبوطه ودورانه هما المجهولان الوحيدان. ولذلك فإن الحمل الواصل إلى كل خازوق دالة **خطية** في موضعه (قاعدة مجموعة البراغي):

$$P_i = \frac{V}{n} + B\,x_i + C\,y_i$$

$$B = \frac{M_y}{\sum x^2} \qquad C = \frac{M_x}{\sum y^2} \qquad \left(\sum xy = 0\right)$$

$$\sum x^2 = n_y s_x^2\,\frac{n_x\left(n_x^2 - 1\right)}{12}$$

إذا كانت M_y موجبة فإنها تضيف ضغطاً إلى جانب **x+** (الجانب الأمامي الذي يدفعه الحمل الجانبي). وتؤخذ العزوم **عند قاع غطاء الخوازيق**: يعطي الحمل H على ارتفاع h من القاع = M_y = H h.

إذا رتبت الخوازيق بترتيب متبادل (مثلثي) فإن Σxy لا تساوي الصفر؛ وتأخذ الوحدة المجاميع من مواضع الخوازيق وتحل المعادلتين معاً.

يقع أكبر حمل على الخوازيق الأمامية، وأصغره على الخوازيق الخلفية؛ **إذا كان العزم كبيراً** فقد ينزع الخازوق الخلفي إلى الشد.

المسألة

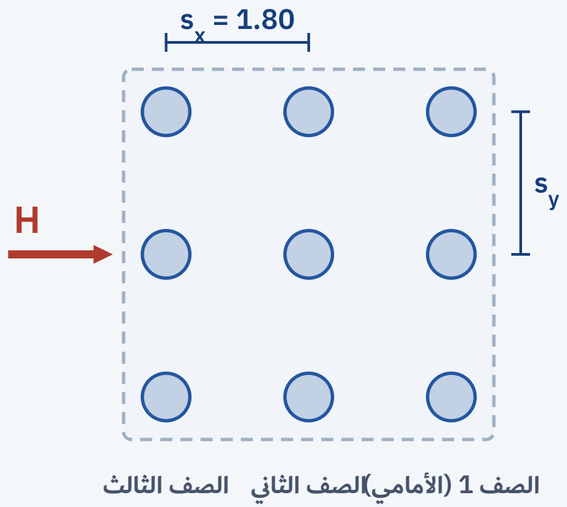
مثال

المعطيات

المجموعة	9 خوازيق محفورة، 3 صفوف × 3 خوازيق، D = 0.60 m، L = 14 m، s = 1.80 m
التربة	رمل 0–4 m (φ′ = 32°) · 4 طين –10 m (c_u = 50 kPa) · 10 طين –18 m (c_u = 90 kPa)
الأحمال	$V = 1\,600$ kN, $M_y = 900$ kN·m (عند قاعدة العنوان)
العنوان	جاسئ؛ الخوازيق متماثلة

المطلوب

أوجد الحمل المؤثر على **كل خازوق**. ترقم الصفوف **من الأمام** (الأمام = الجهة التي يدفعها الحمل الجانبي، +x).



الحل (1/2)

الحل

1 تباعد متساوٍ

$$\frac{V}{n} = \frac{1\,600}{9} = \mathbf{177.8}\ \text{kN}$$

2 Σx^2 (مجموعة متماثلة، صيغة مغلقة)

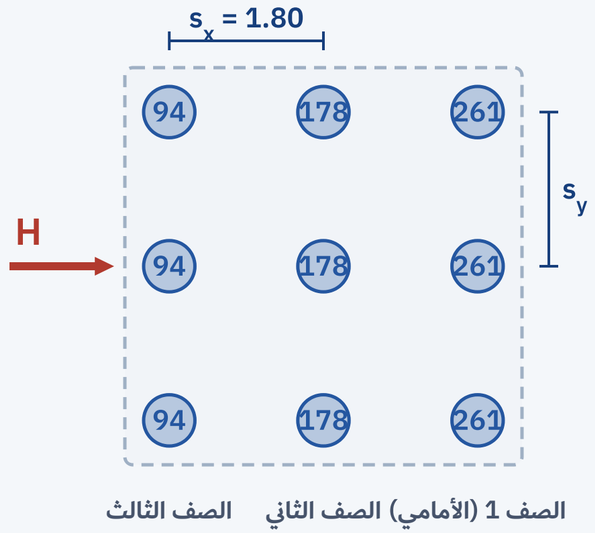
$$\sum x^2 = n_y s_x^2\,\frac{n_x(n_x^2-1)}{12} = 3(1.8)^2\,\frac{3(9-1)}{12} = \mathbf{19.44}\ \text{m}^2$$

3 معامل العزم ($C = 0$ لأن $M_X = 0$)

$$B = \frac{M_y}{\sum x^2} = \frac{900}{19.44} = \mathbf{46.30}\ \text{kN/m}$$

الحل (2/2)

الحل



4 أحمال الصفوف: $P = V/n + B\,x$ (x = +1.8؛ 0؛ −1.8 m)

$$P_1 = 177.8 + 46.30(1.8) = \mathbf{261.1}\ \text{kN}\ \text{(أمامي)}$$

$$P_2 = \mathbf{177.8}\ \text{kN}$$

$$P_3 = 177.8 - 46.30(1.8) = \mathbf{94.4}\ \text{kN}\ \text{(خلفي)}$$

المجموع: $V = (94.4 + 177.8 + 261.1)3$ = **1,600 kN**. يقع أكبر حمل على الخوازيق الأمامية (261.1 kN) وأصغره على الخوازيق الخلفية (94.4 kN)؛ **ولا يخضع أي خازوق للشد.**

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

← النظرية · القسم 2

إذا كان العزم كبيراً فإن الخوازيق الخلفية تتعرض للشد

النظرية

إذا كان العزم كبيرا قياسا إلى الحمل الرأسي، فإن الخوازيق الواقعة في الجهة المقابلة للعزم **يزول عنها الحمل** وقد تتعرض للشد. ويقاوم الخازوق الشد **بجذعه فقط**: بكامل مقاومة طبقة الطين، وبما يعادل **ثلاثة أرباع** مقاومة طبقة الرمل في الضغط؛ أما طرف الخازوق فلا يسهم بشيء.

$$T_u = \sum_i \chi_i \, Q_{s,i} \qquad \chi = 1 \text{ (طين)},\ \chi = 0.75 \text{ (رمل)}$$

$$T_g = \min(T_{ind},\, T_{block}) \quad T_{ind} = n_T \sum_i \eta_i \chi_i Q_{s,i}$$

الخازوق المنفرد المعرض للشد: $T_{max} \le T_u/FS$. أما الخوازيق المعرضة للشد **مجتمعة**: $\Sigma T \le T_g/FS$؛ وتتماسك الكتلة بوزنها الذاتي وبالقص على أوجهها الجانبية.

التحقق في حالة الانضغاط

$$P_{max} \le \frac{Q_u}{FS}$$

يقارن أكبر حمل على الخازوق بالحمل المسموح به **للخازوق المنفرد**؛ ولا تدخل تأثيرات المجموعة في هذا التحقق. وتحت العزم يتلقى الخازوق الأكثر تحميلاً أكثر من V/n، وقد يتجاوز هذا الخازوق حصته **حتى عندما تكون المجموعة ككل ضمن قدرتها**.

المسألة

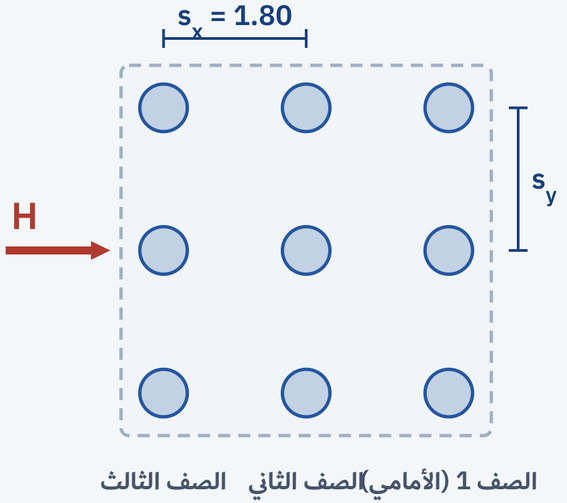
مثال

المعطيات

المجموعة	9 خوازيق محفورة، 3 صفوف × 3 خوازيق، D = 0.60 m، L = 14 m، s = 1.80 m
التربة	رمل 0–4 m (φ′ = 32°) · طين 4–10 m (c_u = 50 kPa) طين 10–18 m (c_u = 90 kPa)
الحمل	$V = 1\,600$ kN، العزم مرفوع: $M_y = 2\,400$ kN·m
خازوق منفرد	مساهمات Q_s (المثال 3): رمل 49.8، طين 311.0، طين 317.2 kN
الكفاءة	رمل 0.767، طين 0.727 (المثالان 5–6)

المطلوب

أوجد الأحمال؛ وتحقق من قدرة الخازوق في الشد والخوازيق في الشد **معاً** بمعامل أمان FS = 3.



الحل (1/2)

الحل

1 الأحمال ($B = M_y/\Sigma x^2$)

$$B = \frac{2\,400}{19.44} = 123.46 \text{ kN/m}$$

$$P_{front} = 177.8 + 123.46(1.8) = \mathbf{400.0} \text{ kN}$$

$$P_{rear} = 177.8 - 123.46(1.8) = -\mathbf{44.4} \text{ kN (شد)}$$

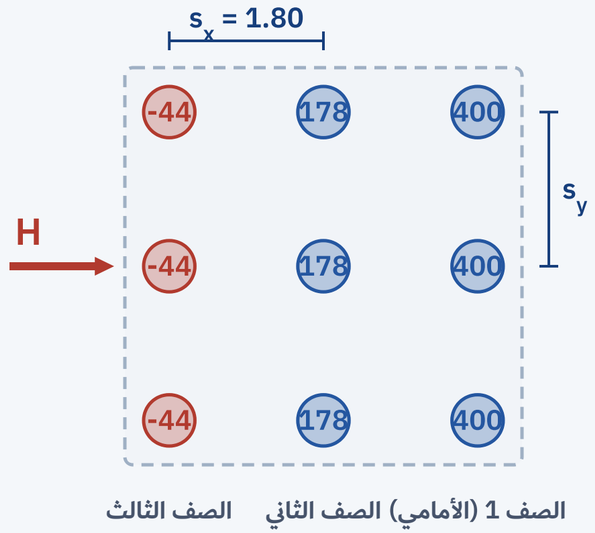
2 قدرة الخازوق المنفرد في الشد (الرمل × 0.75، الطين × 1)

$$T_u = 0.75(49.8) + 311.0 + 317.2 = \mathbf{665.6} \text{ kN} \quad \Rightarrow \quad \frac{T_u}{FS} = 221.9 \text{ kN}$$

الخازوق المعرّض للشد: $T_{max} = \mathbf{44.4\ kN} \le T_u/FS = 221.9$ kN → **كاف**. عدد الخوازيق المعرّضة للشد 3 (الصف الخلفي)، وإجمالي الشد $\Sigma T = 133.3$ kN؛ والتحقق من المجموعة في الخطوة التالية.

الحل (2/2)

الحل



3 سعة 3 خوازيق مجتمعة تحت الشد: مجموع الجذوع الفعالة × 3

$$T_{ind} = 3\left[\eta_s \chi_s Q_{s1} + \eta_c Q_{s2} + \eta_c Q_{s3}\right] = \mathbf{1{,}456}\ \text{kN}$$

4 كتلة الرفع (3 خوازيق، $L_t = D = 0.6$ m، $B_t = 4.2$ m): القص الجانبي + وزن الكتلة

$$T_{block} = \sum \tau_i P_t \Delta L_i + W = 6{,}692 + 369 = \mathbf{7{,}061}\ \text{kN}$$

5 التحقق: القيمة الصغرى و FS

$$T_g = \min(1{,}456;\ 7{,}061) = 1{,}456\ \text{kN}$$

$$\sum T = 133.3 \le \frac{T_g}{3} = 485\ \text{kN} \ \Rightarrow\ \text{كافٍ}$$

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

تبنى قدرة تحمل المجموعة على قدرة تحمل الخازوق المفرد

النظرية

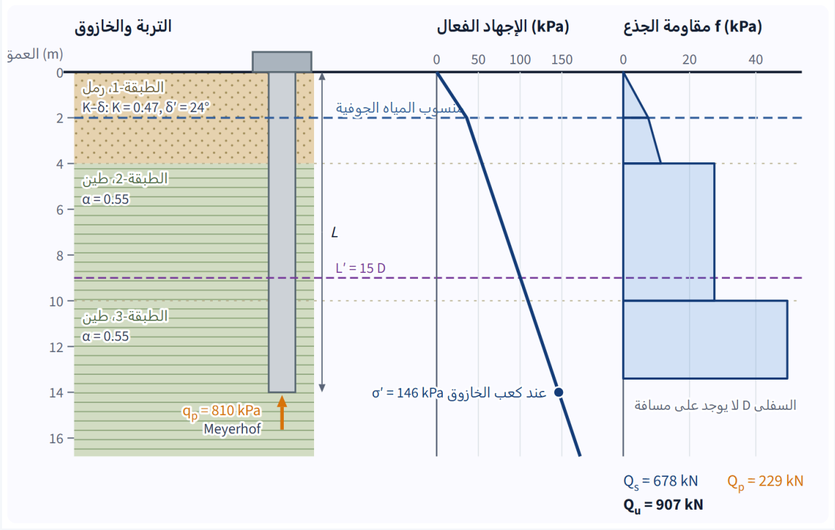
تُحسب أولاً مقاومة خازوق واحد من المجموعة **بمفرده**: كل طبقة وفق قاعدة مادتها، و**دون أي مقاومة مدخلة**. والقواعد كما في عرض *الخازوق في تربة طبقية*:

$$Q_u = Q_s + Q_p \qquad Q_s = p\sum_i f_i\,\Delta L_i \qquad Q_p = A_b\,q_p$$

الرمل: $f = K\sigma'\tan\delta$ (العمق الحرج $L' = 15D$). في الخازوق المحفور $\delta' = 0.75\varphi'$؛ وفي الخازوق المدقوق $K = 1.4K_0$. $\mathbf{K = K_0 = 1 - \sin\varphi'}$،

الطين: α أو λ أو β. في الخازوق المحفور ($c_u/p_a \le 1.5$) $\mathbf{\alpha^* = 0.55}$ و $\alpha^* = 0$ على امتداد **1.5 m العلوية و 1D السفلية**.

الطرف: تطبق صيغة الطبقة التي يقع فيها الطرف: $q'N^*_q \le q_l$ في الرمل، و $9c_u$ في الطين (ويمكن اختيار Reese–O'Neill للخوازيق المحفورة).



المسألة

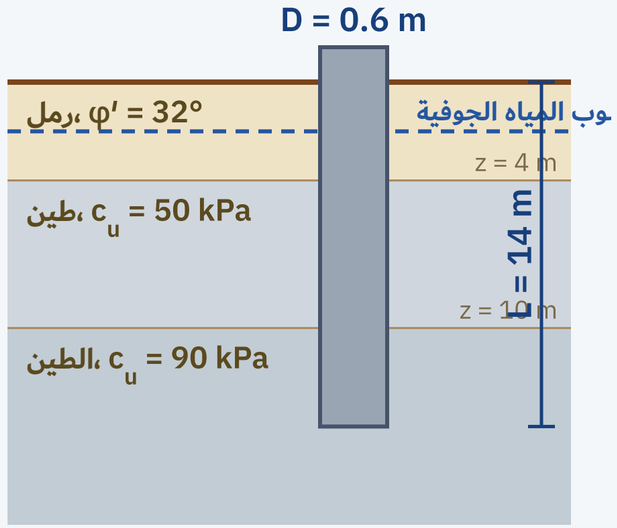
مثال

المعطيات

المجموعة	9 خوازيق محفورة، 3 صفوف × 3 خوازيق، D = 0.60 m، L = 14 m، s = 1.80 m
التربة	0–4 m (φ′ = 32°) رمل · 4–10 m (c_u = 50 kPa) طين · 10–18 m (c_u = 90 kPa) طين
التأسيس	خازوق محفور: φ′ = 32°، δ′ = 0.75φ′ = 24°؛ الطرف: Meyerhof، α* = 0.55، $K = K_0 = 0.47$
المياه الجوفية	2.0 m
الوزن الحجمي	$\gamma = 18,\ \gamma_{sat} = 19\ \text{kN/m}^3$

المطلوب

أوجد مقاومة **الجذع** لخازوق منفرد طبقةً طبقةً، ومقاومة **الإرتكاز**، وقيمة Q_u؛ ثم تحقق من الشرط $P_{max} \le Q_u/FS$.



الحل (1/3)

الحل

1 الرمل (0–4 m): $L' = 15D = 9\ \text{m} > 4\ \text{m}$، دون غطاء؛ $\sigma'(2) = 18(2) = 36.0$ و $\sigma'(4) = 36.0 + (19 - 9.81)(2) = 54.4\ \text{kPa}$

$$\bar{\sigma}' = \frac{126.4}{4} = 31.6\ \text{kPa}$$

$$f = K \tan\delta'\, \bar{\sigma}' = 0.47(0.4452)(31.6) = 6.61\ \text{kPa}$$

$$Q_{s1} = p\, f\, H = 1.885(6.61)(4) = \mathbf{49.8}\ \text{kN}$$

الحل (2/3)

الحل

2 الطين (4–10 m): ($c_u/p_a = 0.5 \le 1.5$) ؛α* = 0.55 ؛النافذة 1.5 ← L − D = 13.4 m تغطي الطبقة بالكامل

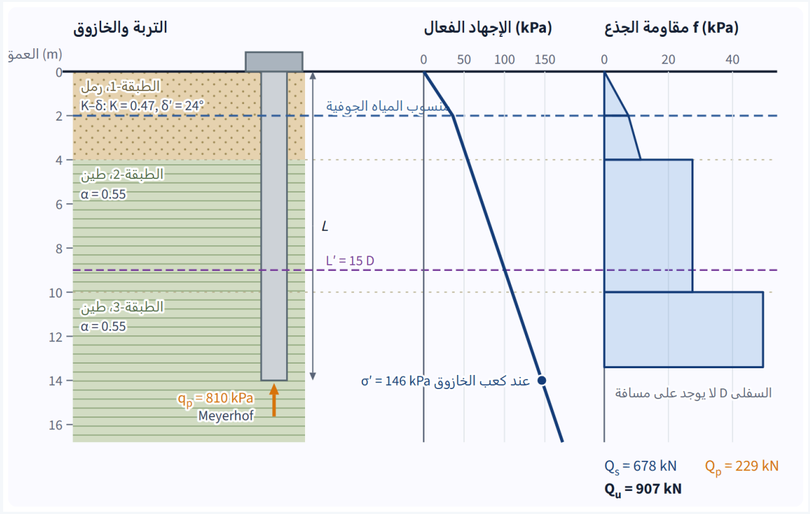
$$f = 0.55(50) = 27.5 \text{ kPa} \qquad Q_{s2} = 1.885(27.5)(6) = \mathbf{311.0} \text{ kN}$$

3 الطين (10–14 m): تنتهي النافذة عند 13.4 m ← يهمل الجزء السفلي 1D = 0.6 m، والطول الفعال 13.4 − 10 = 3.4 m

$$f = 0.55(90) = 49.5 \text{ kPa} \qquad Q_{s3} = 1.885(49.5)(3.4) = \mathbf{317.2} \text{ kN}$$

الحل (3/3)

الحل



4 مجموع الجذع والإرتكاز (طبقة الإرتكاز: طين، c_u = 90 kPa، Meyerhof N^*_c = 9)

$$Q_s = 49.8 + 311.0 + 317.2 \approx \mathbf{678.1}\ \text{kN}$$

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

$$Q_p = A_b q_p = 0.2827(810) = \mathbf{229.0}\ \text{kN}$$

5 قدرة الخازوق المنفرد والتحقق

$$Q_u = 678.1 + 229.0 = \mathbf{907.1}\ \text{kN}$$

$$\frac{Q_u}{FS} = 302.4\ \text{kN} \geq P_{max} = 261.1\ \text{kN} \Rightarrow \text{كافٍ}$$

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

الخوازيق المتقاربة تحمل أقل مما تحمله وهي منفردة

النظرية

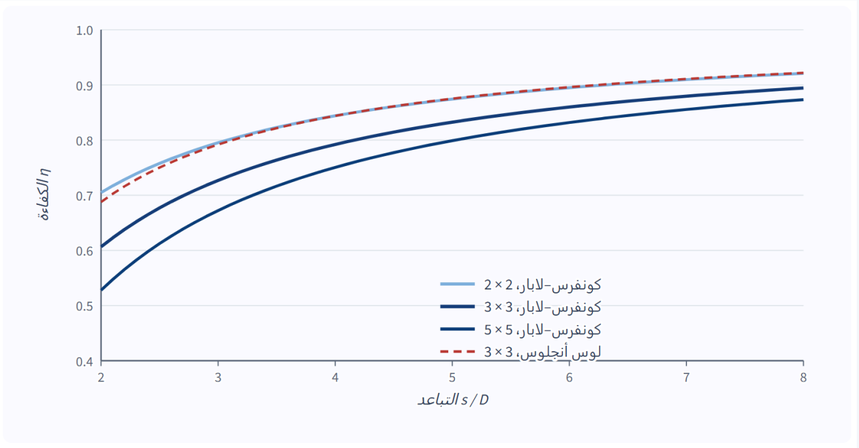
كلما اقتربت الخوازيق من بعضها تداخلت مناطق التربة التي يقصها كل خازوق ويجهدها. أما **كفاءة المجموعة** فهي نسبة قدرة المجموعة إلى مجموع قدرات الخوازيق منفردة. ويعطي المرجع ثلاث معادلات تجريبية لمجموعة خوازيق ($n_1 \times n_2$) قطر الخازوق D والتباعد d:

$$\eta = \frac{Q_{g(u)}}{\sum Q_u}$$

$$\eta_{CL} = 1 - \frac{\theta}{90}\,\frac{(n_1-1)n_2 + (n_2-1)n_1}{n_1 n_2}, \quad \theta = \tan^{-1}\frac{D}{d}\ \text{(درجة)}$$

تعد طريقة Converse–Labarre **أزواج الخوازيق المتجاورة**: $n_2(n_1 - 1)$ من الأزواج على التوالي، و$n_1(n_2 - 1)$ من الأزواج جنبا إلى جنب، ولكل منها الزاوية $\theta = \tan^{-1}(D/d)$ الخاصة بمسافتها.

يستخدم البرنامج هذه المعادلة للطين؛ إذ يخفّض بها جذع طبقات الطين وقاعدة الخازوق الذي يقع طرفه في الطين.



كلما زادت المسافة بين الخوازيق اقتربت الكفاءة من 1؛ وفي مجموعة 3 × 3 خوازيق تبلغ نحو 0.7 – 0.8 عند 3D.

المعادلتان الأخريان والحدود

النظرية

المعادلتان الأخريان في المصدر خاصتان أيضاً بمجموعة مستطيلة. معادلة **Los Angeles** ومعادلة **Seiler–Keeney** (مع d بوحدة **ft**):

$$\eta_{LA} = 1 - \frac{D}{\pi d\, n_1 n_2}\left[n_1(n_2-1) + n_2(n_1-1) + \sqrt{2}(n_1-1)(n_2-1)\right]$$

$$\eta_{SK} = \left[1 - \frac{11d}{7(d^2-1)}\,\frac{n_1+n_2-2}{n_1+n_2-1}\right] + \frac{0.3}{n_1+n_2}$$

لدى Seiler–Keeney قطب عند 1 ft وتصبح بلا معنى تحت 2 ft؛ وتعطيها الوحدة ابتداءً من **2 ft**.

المسافة الأقل من 2.5D **يشار إليها بتنبيه**: وهي أصغر مسافة يوردها المرجع للخوازيق الاحتكاكية، وقد كتبت المعادلات لمسافات أكبر.

في الترتيب المثلثي تكتب معادلة Converse–Labarre بعدّ الأزواج المتجاورة؛ وهذا **امتداد للوحدة** ويعطي كفاءة أقل من الترتيب الشبكي عند التباعد نفسه.

المسألة

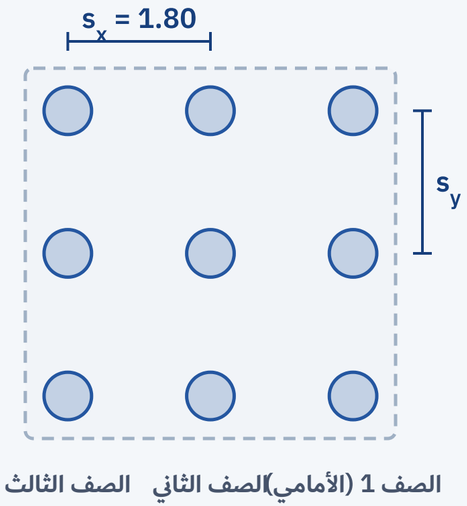
مثال

المعطيات

المجموعة	3 × 3 خوازيق، D = 0.60 m، المسافة بين الخوازيق d = 1.80 m (في الاتجاهين)
Seiler–Keeney	d بالقدم: 1.80 m = 5.906 ft

المطلوب

أوجد كفاءة المجموعة باستخدام معادلات **Converse–Labarre** و **Los Angeles** و **Seiler–Keeney**.



الحل

الحل

1 Converse–Labarre: θ = tan⁻¹(D/d)؛ الأزواج المتجاورة: (3)(2) + (3)(2) = 12

$$\theta = \tan^{-1}\frac{0.6}{1.8} = 18.43^\circ \;;\quad \eta_{CL} = 1 - \frac{18.43}{90}\cdot\frac{12}{9} = \mathbf{0.727}$$

2 Los Angeles

$$\eta_{LA} = 1 - \frac{0.6}{\pi(1.8)(9)}\left[3(2) + 3(2) + \sqrt{2}(2)(2)\right] = \mathbf{0.792}$$

3 Seiler–Keeney (d = 5.906 ft)

$$\eta_{SK} = \left[1 - \frac{11(5.906)}{7(5.906^2 - 1)}\cdot\frac{4}{5}\right] + \frac{0.3}{6} = \mathbf{0.831}$$

ثلاث معادلات في المدى 0.727 – 0.831. في الطين يستخدم البرنامج (0.727) **Converse–Labarre**.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

الكفاءة في الرمل: قاعدة لا معادلة

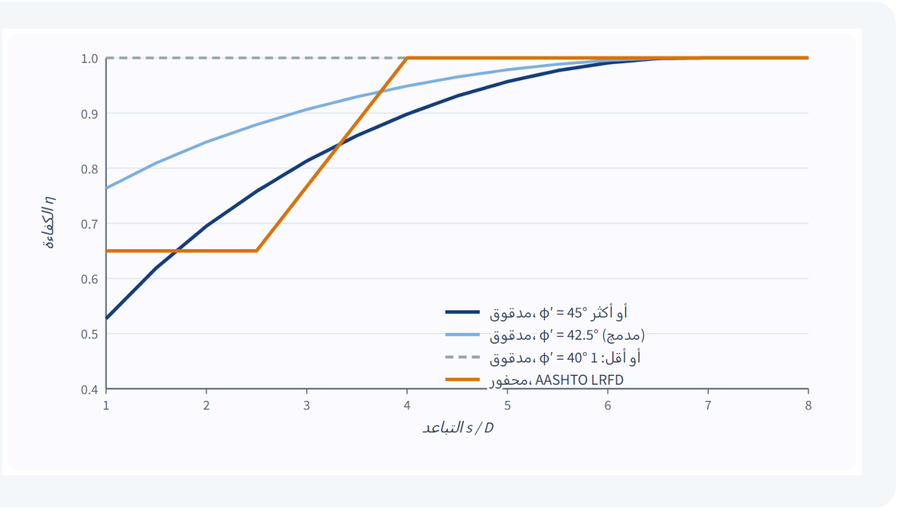
النظرية

يرص الخازوق المدقوق الرمل السائب أو متوسط الكثافة؛ وفي هذا الرمل تحمل المجموعة ما يعادل مجموع ما تحمله الخوازيق منفردة (وأكثر من ذلك في التجارب). ولا يقلل التباعد القريب قدرة التحمل إلا في الرمل الكثيف ($\varphi' >$ نحو 40°). وبالنسبة إلى الخازوق المدقوق تعتمد الوحدة مخطط المصدر **ولا ترفع الكفاءة أبداً فوق 1**:

- $\varphi' \le 40°$: **$\eta = 1$**
- $40° < \varphi' < 45°$: **استيفاء خطي** بين 1 ومنحنى 45°
- $\varphi' \ge 45°$: منحنى 45° (1.0 عند s/D = 7؛ 0.53 عند s/D = 1)

الخازوق المحفور لا يرص التربة بل قد يخلخلها. وتضرب AASHTO LRFD مقاومة كل خازوق محفور في المجموعة بمعامل **0.65** عند s/D = 2.5 وبمعامل **1.0** عند 4:

$$\eta = 0.65 + 0.35\,\frac{s/D - 2.5}{1.5} \qquad 2.5 \le s/D \le 4$$



تطبق كفاءة طبقة الرمل على جذع الخازوق في تلك الطبقة وعلى مقاومة الإرتكاز للخازوق الذي تقع قاعدته في الرمل. التباعد: **أصغر مسافة بين خازوقين**.

المسألة

مثال

المعطيات

التباعد	**s = 1.80 m, D = 0.60 m: s/D = 3.0**
خازوق محفور	**قاعدة AASHTO في الرمل**
خازوق مدقوق	**رمل، $\varphi' = 42^\circ$ (منحنى 45° عند s/D = 3: $\eta_{45} = 0.813$)**

المطلوب

أوجد كفاءة طبقة الرمل للخازوق **المحفور**، وللخازوق **المدقوق** في رمل زاوية احتكاكه = φ′ = 42°؛ فماذا يحدث عند φ′ = 35°؟

الحل

الحل

1 خازوق محفور (AASHTO): s/D = 3.0

$$\eta = 0.65 + 0.35\,\frac{3.0 - 2.5}{1.5} = \mathbf{0.767}$$

2 خازوق مدقوق، $\varphi' = 42°$: الوزن $w = (\varphi' - 40)/5$ ومنحنى 45°

$$w = \frac{42 - 40}{5} = 0.4 \qquad \eta = 1 - w(1 - \eta_{45}) = 1 - 0.4(1 - 0.813) = \mathbf{0.925}$$

3 خازوق مدقوق، $\varphi' = 35°$

$$\varphi' \le 40^\circ \;\Rightarrow\; \eta = \mathbf{1.000}$$

في المدى نفسه يأخذ الخازوق **المحفور** في الرمل القيمة 0.767، بينما يأخذ الخازوق **المدقوق** (في الرمل السائب إلى المتوسط) القيمة 1.00: فالدق يرص التربة والحفر لا يرصها.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

معامل مرونة كل طبقة هو معامل مرونة تلك التربة

النظرية

يقطع جذع الخازوق عند حدود الطبقات، ويحسب كل جزء بطريقته الخاصة. كما ينبغي تطبيق تأثير المجموعة المرتبط بالتربة **جزءاً جزءاً**: فتؤخذ كفاءة الطبقة مساوية لكفاءة تربتها، أما **قاع الخازوق** فيأخذ كفاءة التربة التي يستقر عليها:

$$Q_{ind} = n \left(\sum_i \eta_i \, Q_{s,i} + \eta_b \, Q_p \right)$$

$$\eta_{group} = \frac{Q_{ind}}{\sum Q_u}$$

طبقات **الطين** وقاعدة خازوق طرفه في الطين: Converse–Labarre.

طبقة **الرمل**: مخطط الخوازيق المدقوقة، وقاعدة AASHTO للخوازيق المحفورة.

كفاءة المجموعة **ليست مُدخلاً**، بل هي **متوسط مرجّح** بمساهمات الطبقات: فالخازوق الذي يستمد معظم حمله من الرمل يعكس تأثير المجموعة في ذلك الرمل، والخازوق المعلّق في الطين يعكس تأثير المجموعة في الطين.

المسألة

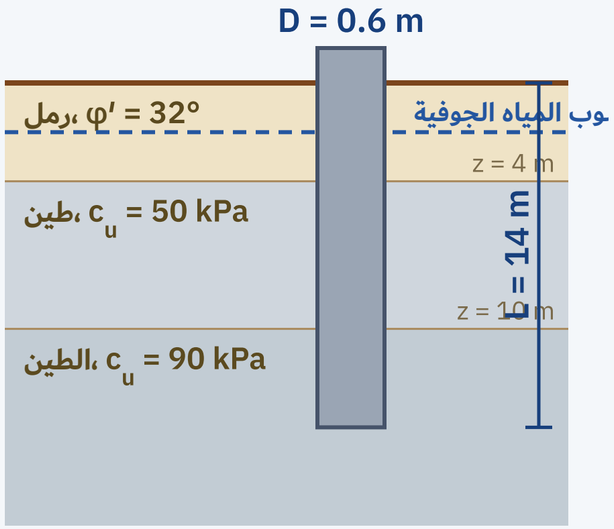
مثال

المعطيات

خازوق منفرد (المثال 3)	$Q_{s1} = 49.8$ (رمل)، $Q_{s2} = 311.0$، $Q_{s3} = 317.2$ (طين)، $Q_p = 229.0$ kN
الكفاءات	رمل (محفور، $s/D = 3$): 0.767؛ طين: 0.727؛ القاع (طين): 0.727
المجموعة	9 خوازيق

المطلوب

ما هي Q_{ind} و**كفاءة المجموعة** $\eta = Q_{ind}/\Sigma Q_u$؟



الحل

الحل

1 المساهمة الفعالة لكل جزء (η Q): جذع رملي، جذع طيني 1، جذع طيني 2، القاعدة

$$0.767(49.8) = 38.2 \; ; \quad 0.727(311.0) = 226.1$$
$$0.727(317.2) = 230.6 \; ; \quad 0.727(229.0) = 166.5$$

2 السعة الفعالة للخازوق الواحد والمجموعة

$$\sum \eta Q = 38.2 + 226.1 + 230.6 + 166.5 = \mathbf{661.4}\ \text{kN}$$
$$Q_{ind} = 9(661.4) \approx \mathbf{5{,}952}\ \text{kN}$$

3 كفاءة المجموعة

$$\eta = \frac{Q_{ind}}{n\,Q_u} = \frac{5{,}952}{9(907.1)} = \mathbf{0.729}$$

تحمل المجموعة **73%** من مجموع الخوازيق منفردة (رمل η = 0.767، طين η = 0.727).

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

النظرية

قد تنهار المجموعة مثل أساس عميق

عندما تكون الخوازيق متقاربة قد تهبط المجموعة والتربة بينها **معاً**: أساس عميق أبعاده L_g × B_g وعمقه L. وقدرته هي مجموع **القص** على الأوجه الأربعة و**التحمل** أسفل قاعدة الكتلة:

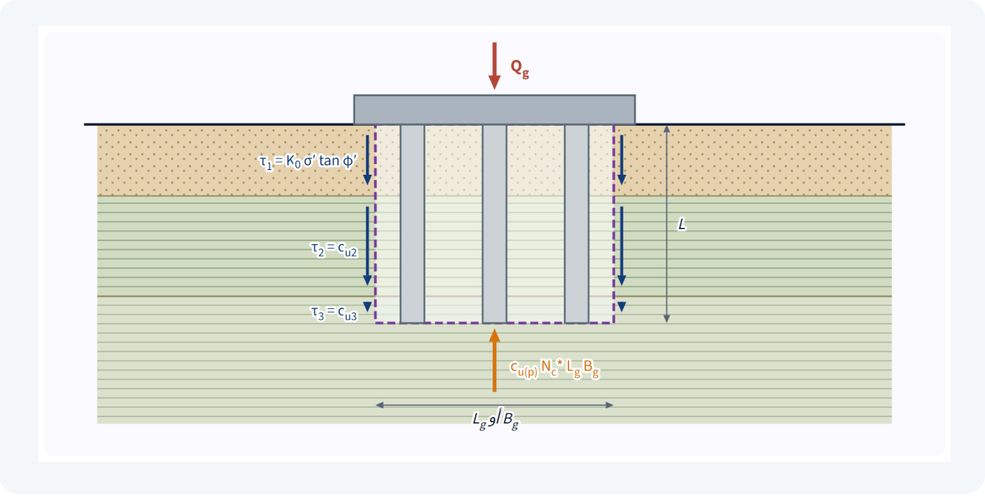
$$Q_{block} = \sum_i \tau_i \, P_b \, \Delta L_i + q_b \, L_g B_g \qquad P_b = 2(L_g + B_g)$$

الوجه الجانبي الطيني: $\tau = c_u$ (تنزلق التربة على التربة، ولا يخفض بالمعامل α).

الوجه الجانبي للرمل (امتداد من الوحدة على المصدر): $\tau = K_0 \sigma' \tan\varphi'$, $K_0 = 1 - \sin\varphi$.

القاعدة الطينية: $q_b = c_u N^*_c$؛ وتؤخذ N^*_c من المخطط بحسب L/B_g و L_g/B_g. **القاعدة الرملية:** nQ_p.

$$Q_{g(u)} = \min(Q_{ind},\, Q_{block}) \qquad Q_{all} = \frac{Q_{g(u)}}{FS}$$



المسألة

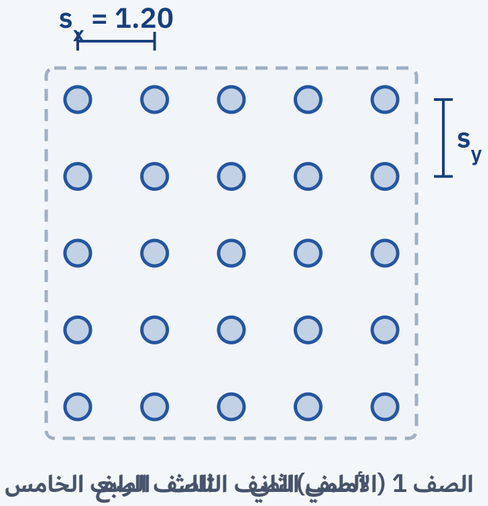
مثال

المعطيات

المجموعة	9 خوازيق محفورة، 3 صفوف × 3 خوازيق، $D = 0.60$ m، $L = 14$ m، $s = 1.80$ m
التربة	رمل 0–4 m ($\varphi' = 32°$) · طين 4–10 m ($c_u = 50$) · طين 10–18 m ($c_u = 90$ kPa)
الكتلة	$L_g = B_g = (3 - 1)(1.8) + 0.6$
الأوجه الجانبية	رمل: $\tau = K_0\sigma'\tan\varphi'$ ($\sigma' = 31.6$ kPa)؛ طين: $\tau = c_u$
القاع	طين، $c_u = 90$ kPa؛ N^*_c من المخطط البياني ($L_g/B_g = 1$)
فردي	$Q_{ind} = 5{,}952$ kN (المثال 6)؛ $FS = 3$، $V = 1{,}600$ kN

المطلوب

أوجد قيمة Q_{block} وقدرة المجموعة وحملها المسموح به.



الحل (1/2)

الحل

1 أبعاد الكتلة ومحيطها

$$L_g = B_g = 4.2 \text{ m} \qquad P_b = 2(L_g + B_g) = \mathbf{16.8} \text{ m}$$

2 القص على الأوجه الجانبية (τ P_b ΔL)

$$\text{رمل}: \tau = K_0 \bar{\sigma}' \tan\varphi' = 0.470(31.6)(0.6249) = 9.28 \Rightarrow 624 \text{ kN}$$

$$\text{طين 1}: \tau = 50 \Rightarrow 50(16.8)(6) = 5{,}040 \text{ kN}$$

$$\text{طين 2}: \tau = 90 \Rightarrow 90(16.8)(4) = 6{,}048 \text{ kN}$$

الحل (2/2)

الحل

3 القاع: N^*_c من المخطط عند $L/B_g = 14/4.2 = 3.33$ و $L_g/B_g = 1$

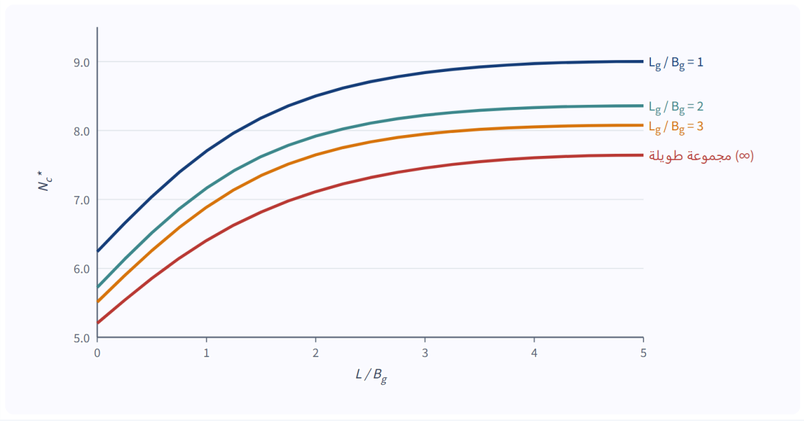
$$q_b L_g B_g = c_u N_c^* \, L_g B_g = 90(8.90)(17.64) = \mathbf{14{,}126}\ \text{kN}$$

4 قدرة تحمل الكتلة وقدرة تحمل المجموعة والحمل المسموح به

$$Q_{block} = 11{,}712 + 14{,}126 = 25{,}838\ \text{kN}$$

$$Q_{g(u)} = \min(5{,}952;\ 25{,}838) = \mathbf{5{,}952}\ \text{kN}$$

$$Q_{all} = \frac{5{,}952}{3} = 1{,}984\ \text{kN} \geq V = 1\,600\ \text{kN}$$



قدرة الكتلة **تزيد على 4 أمثال** المجموع الفردي: وفي هذه المجموعة **تحكم الخوازيق الفردية** (فردي). وتدخل الكتلة في الحساب في المجموعات المتقاربة التباعد ذات الخوازيق الكثيرة؛ انظر المخطط البياني إلى الجانب.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

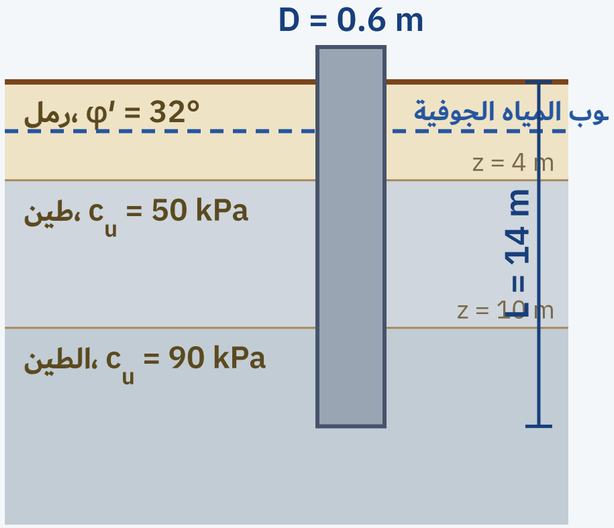
مثال

المعطيات

المجموعة	5 × 5 خوازيق مدقوقة، D = 0.40 m، s = 1.20 m (3D)، L = 12 m
التربة	رمل واحد، γ_{sat} = 19 kN/m³، γ = 18، φ' = 32°، المياه الجوفية على عمق 3 m
خازوق منفرد	Q_p = 318.0 kN، Q_s = 285.7 (مدقوق، K–δ وMeyerhof)
الكفاءة	الخازوق المدقوق، في رمل حيث η = 1 :φ' < 40°

المطلوب

قارن قيمتي Q_{ind} وQ_{blok} وأوجد قدرة تحمل المجموعة.



الحل (1/2)

الحل

1 خوازيق فردية (η = 1)

$$Q_{ind} = n\,Q_u = 25(603.7) = \mathbf{15{,}094}\ \text{kN}$$

2 الكتلة: $L_g = B_g = 4(1.2) + 0.4 = 5.2$ m؛ $\sigma'(12) = 136.7$ kPa، $\sigma'(3) = 54.0$

$$P_b = 2(5.2 + 5.2) = 20.8\ \text{m} \qquad \bar{\sigma}' = \frac{939.2}{12} = 78.3\ \text{kPa}$$

$$\tau = K_0 \bar{\sigma}' \tan\varphi' = 0.470(78.3)(0.6249) = 22.99\ \text{kPa}$$

$$\text{القص الجانبي} = 22.99(20.8)(12) = \mathbf{5{,}738}\ \text{kN}$$

الحل (2/2)

الحل

3 قاع الكتلة في الرمل: مقاومة القاع هي مجموع مقاومات الإرتكاز للخوازيق

$$\text{القاع} = nQ_p = 25(318.0) = \mathbf{7{,}950}\ \text{kN} \qquad Q_{block} = 5{,}738 + 7{,}950 = \mathbf{13{,}689}\ \text{kN}$$

4 قدرة تحمل المجموعة وكفاءتها

$$Q_{block} = 13{,}689 \ < \ Q_{ind} = 15{,}094$$

$$Q_{g(u)} = \mathbf{13{,}689}\ \text{kN} \qquad \eta_{group} = \frac{13{,}689}{15{,}094} = \mathbf{0.907}$$

هنا **يحكم انهيار الكتلة**: ففي المجموعة الكبيرة يزيد مجموع مقاومات جذوع الخوازيق على مقاومة القص للمحيط الخارجي للمجموعة. ورغم ظهور η = 1.00 لكل خازوق على حدة، فإن قدرة المجموعة تساوي **91%** من المجموع الفردي.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

Vesic: ثلاثة أجزاء ثم المجموعة

النظرية

يهبط الخازوق المفرد نتيجة تقصر طوله هو، وانضغاط التربة أسفل القاعدة، وانضغاط التربة المحملة على طول الجذع. ويجمع Vesic (1969) هذه المكونات الثلاثة لحمل التشغيل Q_w (حيث Q_{ws} حصة الجذع و Q_{wp} حصة القاعدة):

$$s_e = s_{e1} + s_{e2} + s_{e3}$$

$$s_{e1} = \frac{(Q_{wp} + \xi Q_{ws})L}{A_p E_p} \qquad s_{e2} = \frac{q_{wp} D}{E_s}(1 - \mu_s^2) I_{wp}$$

$$s_{e3} = \frac{Q_{ws}}{pL}\frac{D}{E_s}(1 - \mu_s^2) I_{ws} \qquad I_{ws} = 2 + 0.35\sqrt{L/D}$$

$$S_{g(e)} = \sqrt{\frac{B_g}{D}}\, s_e$$

حمل التشغيل $Q_w = V/n$؛ وتوزعه الوحدة بين الجذع وقاعدة الخازوق بنسبة **$Q_s : Q_p$**.

تهبط المجموعة **$\sqrt{(B_g/D)}$** مرة قدر هبوط الخازوق المنفرد تحت حمل الخازوق نفسه (علاقة Vesic التجريبية للخوازيق في الرمل).

ξ: توزيع مقاومة الجذع، بين 0.5 (منتظم) و 0.67 (يزداد مع العمق)؛ $I_{wp} = 0.85$.

المسألة

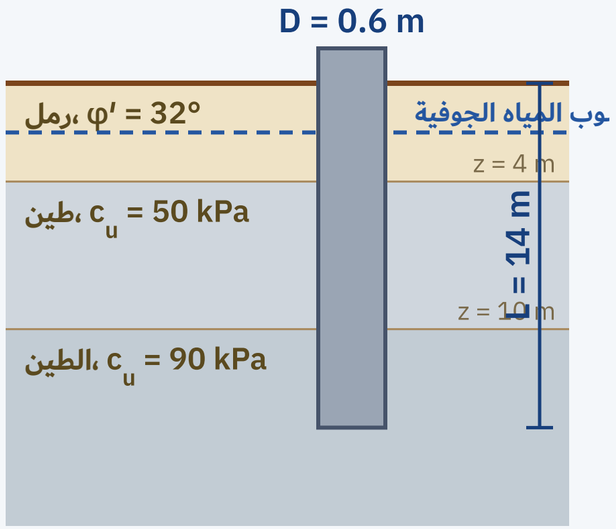
مثال

المعطيات

المجموعة	9 خوازيق محفورة، 3 صفوف × 3 خوازيق، D = 0.60 m، L = 14 m، s = 1.80 m
التربة	رمل 0–4 m ($\varphi' = 32°$) · طين 4–10 m (c_u = 50 kPa) · طين 10–18 m (c_u = 90 kPa)
حمل الخدمة	$Q_w = V/n = 177.8$ kN؛ $Q_s : Q_p = 678.1 : 229.0$ (المثال 3)
المادة	$E_p = 30\,000$ MPa, $E_s = 30$ MPa, $\nu_s = 0.30$, $\xi = 0.6$, $I_{wp} = 0.85$

المطلوب

أوجد الهبوط المرن للخازوق المفرد في ثلاثة أجزاء، والهبوط المرن **للمجموعة**.



الحل (1/2)

الحل

1 توزيع حمل التشغيل

$$Q_{ws} = Q_w \frac{Q_s}{Q_u} = 177.8 \frac{678.1}{907.1} = 132.9 \text{ kN} \qquad Q_{wp} = 177.8 - 132.9 = 44.9 \text{ kN}$$

2 تقصر الخازوق

$$s_{e1} = \frac{(44.9 + 0.6(132.9))(14)}{(0.2827)(30\,000\,000)} = 0.21 \text{ mm}$$

3 القاع

$$q_{wp} = \frac{Q_{wp}}{A_b} = 158.7 \text{ kPa} \quad s_{e2} = \frac{158.7(0.6)}{30\,000}(1 - 0.3^2)(0.85) = 2.46 \text{ mm}$$

الحل (2/2)

الحل

4 الجذع: $I_{WS} = 2 + 0.35\sqrt{(14/0.6)} = 3.69$

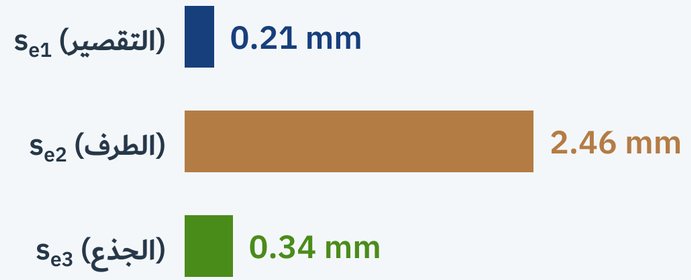
$$s_{e3} = \frac{132.9}{(1.885)(14)} \cdot \frac{0.6}{30\,000}(0.91)(3.69) = 0.34 \text{ mm}$$

5 الخازوق المفرد والمجموعة

$$s_e = 0.21 + 2.46 + 0.34 \approx 3.00 \text{ mm}$$

$$S_{g(e)} = \sqrt{\frac{B_g}{D}}\, s_e = \sqrt{\frac{4.2}{0.6}}(3.00) = \mathbf{7.9} \text{ mm}$$

82% من الهبوط ناتج عن مركبة القاع (s_{e2})؛ والهبوط المرن الكلي **7.9 mm**. أما الهبوط الرئيسي لطبقات الطين فيأتي في الخطوة التالية: الانضمام.



تحقق من الحل في GeoTerva ↗

النظرية

الهبوط البطيء والكبير لطبقات الطين

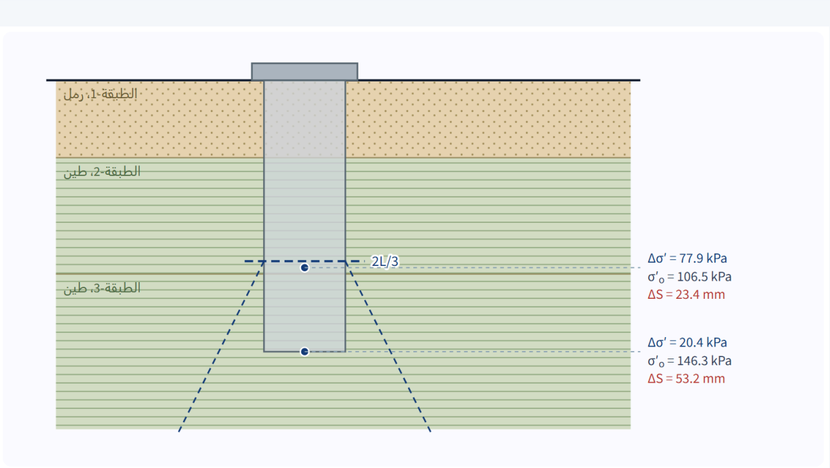
تهبط الطينات الواقعة أسفل الغطاء ببطء وغالباً **بالانضمام**. ويطبق المصدر حمل المجموعة على أساس مكافئ يقع **على عمق 2L/3 أسفل** منسوب الغطاء (فقد نقلت الخوازيق جزءاً من الحمل إلى التربة العلوية) ويوزعه أسفله بميل **2 رأسي : 1 أفقي**. وفي منتصف طبقة طين، على عمق z أسفل المنسوب 2L/3، يكون الإجهاد المضاف:

$$\Delta\sigma'_i = \frac{Q_g}{(B_g + z_i)(L_g + z_i)}$$

$$\Delta S_i = \frac{C_c H_i}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'_i}{\sigma'_o} \quad \text{(NC)}$$

في الطين مفرط الانضمام تستخدم C_s (أو $C_c/5$ إن لم تعط) حتى بلوغ إجهاد مسبق الانضمام، وما بعده تستخدم C_c.

يدخل في الحساب الجزء من طبقة الطين **الواقع تحت** العمق 2L/3؛ وتؤخذ σ'_o في منتصف هذا الجزء بحسب الطبقة ومنسوب الماء. $S_c = \Sigma \Delta S_i$.



المسألة

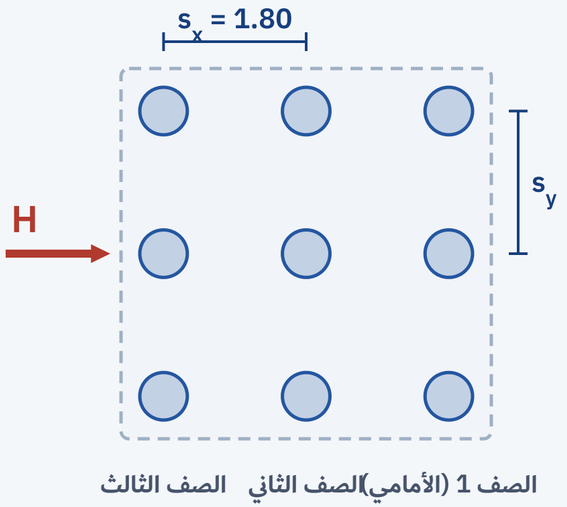
مثال

المعطيات

المجموعة	**9 خوازيق محفورة، 3 صفوف × 3 خوازيق، D = 0.60 m، L = 14 m، s = 1.80 m**
التربة	**رمل 0–4 m (φ′ = 32°) · طين 4–10 m (c_u = 50 kPa)** **طين 10–18 m (c_u = 90 kPa)**
الحمل	$Q_g = V = 1\,600$ kN؛ **كتلة** $L_g = B_g = 4.2$ m
الطين 1 (4–10 m)	**(NC)** $e_0 = 0.90,\ C_c = 0.28$
طين 2 (10–18 m)	**(NC)** $e_0 = 0.70,\ C_c = 0.20$

المطلوب

عين المنسوب 2L/3 ثم احسب هبوط **كل طبقة طين** (الجزء الواقع تحت 2L/3) وهبوط الانضمام الكلي.



الحل (1/2)

الحل

1 منسوب 2L/3 (من قاعدة الغطاء)

$$z_0 = \frac{2L}{3} = \frac{2(14)}{3} = \mathbf{9.33}\ \text{m} \Rightarrow$$ وكامل الطين 2 m يدخل في الحساب الجزء من الطين 1 الواقع بين 9.33 و10

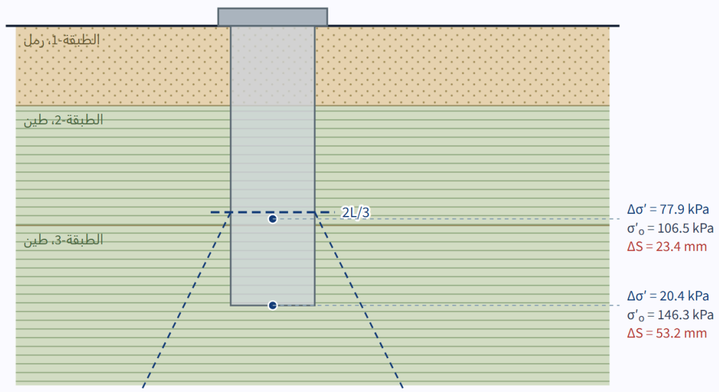
2 الطين 1 (4–10 m): H = 0.67 m، 9.33–10 m؛ نقطة المنتصف z = 0.33 m، 9.67 m

$$\Delta\sigma' = \frac{1\,600}{(4.2+0.33)(4.2+0.33)} = 77.9\ \text{kPa} \qquad \sigma'_o = 106.5\ \text{kPa}$$

$$\Delta S = \frac{0.28(0.67)}{1+0.90}\log\frac{106.5+77.9}{106.5} = \mathbf{23.4}\ \text{mm}$$

الحل (2/2)

الحل



3 الطين 2 (10–18 m): H = 8.00 m، 10.00–18 m؛ نقطة المنتصف z = 4.67 m، 14.00 m

$$\Delta\sigma' = \frac{1\,600}{(4.2+4.67)(4.2+4.67)} = 20.4 \text{ kPa} \qquad \sigma'_o = 146.3 \text{ kPa}$$

$$\Delta S = \frac{0.20(8.00)}{1+0.70}\log\frac{146.3+20.4}{146.3} = \mathbf{53.2} \text{ mm}$$

4 هبوط الانضمام الكلي ودمجه مع الجزء المرن

$$S_c = 23.4 + 53.2 = \mathbf{76.7} \text{ mm}$$

$$S = S_{g(e)} + S_c = 7.9 + 76.7 = \mathbf{84.6} \text{ mm}$$

91% من الهبوط ناتج عن الانضمام، و 69% منه من طينات العمق 10–18 m: فالطين السميك **الواقع أسفل** الأطراف بكثير هو الذي يحدد هبوط المجموعة؛ وهبوط الخازوق المنفرد لا يبين ذلك.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

النظرية

الصفوف الخلفية تقع في ظل الصفوف الأمامية

عند التحميل الجانبي يدفع الخازوق التربة وتستجيب التربة على امتداد الخازوق (منحنى p–y في وحدة الحمل الجانبي). وحين تقف الخوازيق **الواحد خلف الآخر** في اتجاه الحمل يعمل كل منها في تربة سبق أن أجهدها ودفعها الخازوق الذي أمامه. وتبين التجارب (Brown وآخرون 1988؛ McVay وآخرون 1995؛ Rollins وآخرون 2006) أن منحنى p–y في المجموعة يحتفظ بشكله لكنه يصغر بـ**معامل ضرب p (P_m)**؛ ويعتمد المعامل على الصف وعلى التباعد:

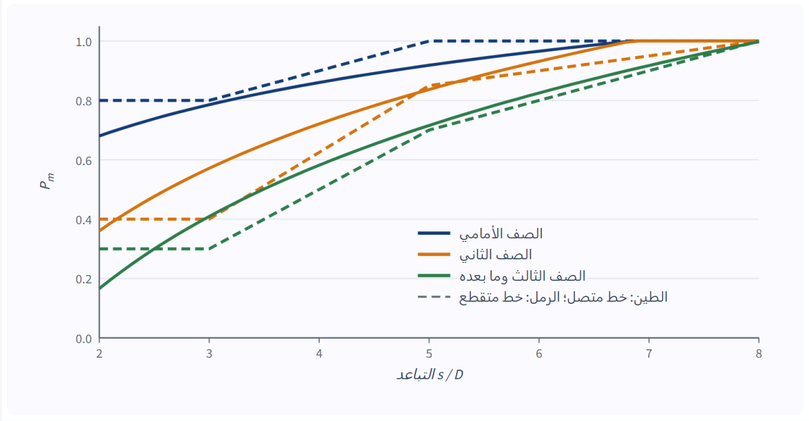
$$p_{group}(y) = P_m \; p_{single}(y)$$

طين (Rollins):

$$P_{m1} = 0.26 \ln \frac{s}{D} + 0.5$$
$$P_{m2} = 0.52 \ln \frac{s}{D}$$
$$P_{m3} = 0.60 \ln \frac{s}{D} - 0.25$$

الرمل: معاملات AASHTO LRFD (عند 3D و5D: 0.8·0.4·0.3 و0.7·0.85·1.0؛ وتكون خطية فيما بينها).

في التربة الطبقية يقاس منحنى p–y **لكل طبقة** بالمضاعف الخاص بنوع تربة تلك الطبقة. وإذا كان الحمل **ينعكس اتجاهه** أخذ كل صف متوسط مضاعفات الصفوف في المجموعة.



المسألة

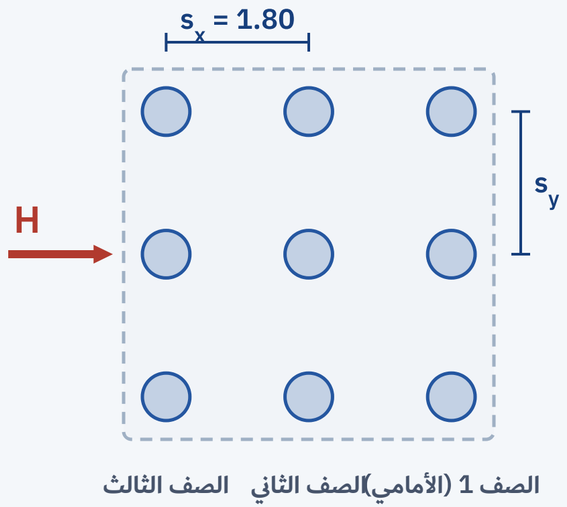
مثال

المعطيات

التباعد (في اتجاه الحمل)	s_x = 1.80 m, D = 0.60 m: s/D = 3
طين	معادلات Rollins وآخرين (2006)
رمل	AASHTO LRFD: في الحالة ثلاثية الأبعاد P_m = 0.8 · 0.4 · 0.3

المطلوب

أوجد **معاملات الضرب p** للصفوف الثلاثة في طبقة الطين؛ وإذا **انعكس اتجاه الحمل** فما متوسط معامل الضرب للصفوف في الطين والرمل؟



الحل

الحل

1 الطين: ln(s/D) = ln 3 = 1.099

$$P_{m1} = 0.26(1.099) + 0.5 = \mathbf{0.786}$$

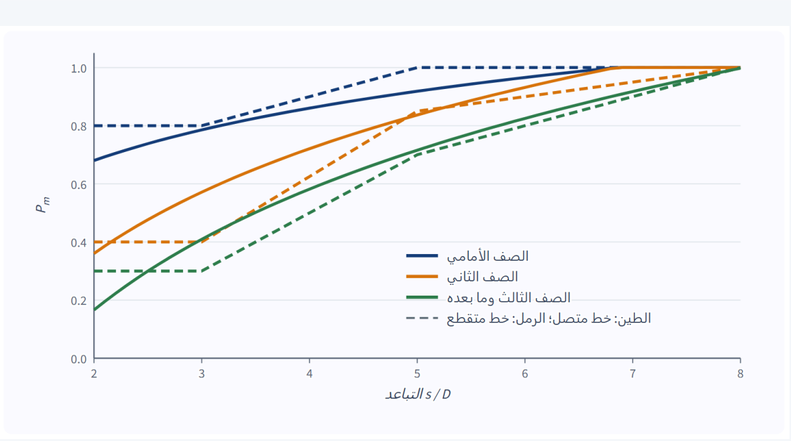
$$P_{m2} = 0.52(1.099) = \mathbf{0.571}$$

$$P_{m3} = 0.60(1.099) - 0.25 = \mathbf{0.409}$$

2 الحمل القابل للعكس: متوسط الصفوف

$$\bar{P}_{m,clay} = \frac{0.786 + 0.571 + 0.409}{3} = \mathbf{0.589}$$

$$\bar{P}_{m,sand} = \frac{0.8 + 0.4 + 0.3}{3} = \mathbf{0.500}$$



يحتفظ الصف الأمامي بنحو 79% من المنحنى، بينما يحتفظ الصف الثالث وما بعده بنسبة 41% فقط (في الطين)؛ وفي الرمل 80% و 30%. ومع اتساع المسافة تقترب المضاعفات من 1 (عند 5D في الرمل 1.0 · 0.85 · 0.7).

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

النظرية

يُحدث الغطاء إزاحة واحدة

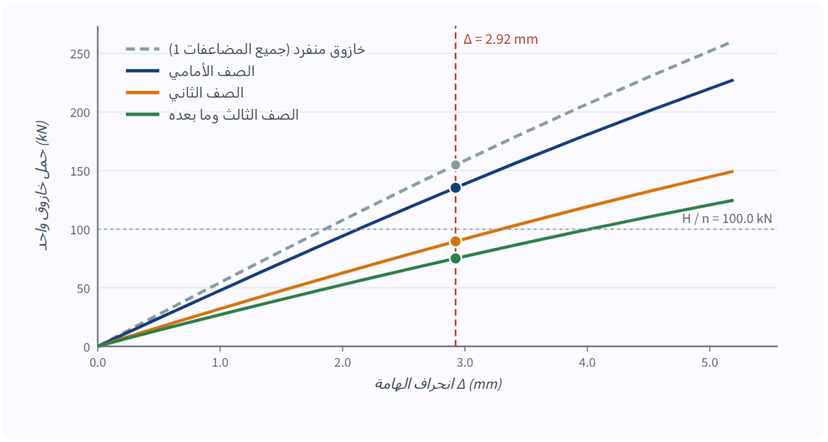
الغطاء جاسئ ودورانه مقيد: **يزاح رأس كل خازوق بالمقدار Δ نفسه**؛ لكن لأن منحنيات p–y تقاس بمقاييس مختلفة فإن الصفوف تحمل أحمالاً مختلفة. وتوجد الوحدة قيمة Δ التي يساوي عندها مجموع أحمال الصفوف الحمل المؤثر على الغطاء:

$$\sum_{k=1}^{n_x} n_y \, H_k(\Delta) = H$$

الخازوق في الصف k هو الخازوق المنفرد في **وحدة الخازوق تحت الحمل الجانبي** (العناصر المنتهية + Newton)؛ وتضرب منحنياته بمعاملات الضرب الخاصة بذلك الصف.

الإزاحة **مضبوطة**: يثبت رأس الخازوق عند Δ وتقرأ ردة فعله؛ وبذلك يمكن تتبع النقطة العليا لمنحنى التلين (الطين الخاضع للحمل الدوري) أيضاً.

أكبر حمل تستطيع المجموعة تحمله هو **القمة الأولى** لمجموع الصف؛ وإذا كان الحمل المطلوب أكبر منه تبين الوحدة ذلك.



المسألة

مثال

المعطيات

الحل (الوحدة)	**Δ = 2.92 mm؛ الحمل على كل خازوق: الصف 1: 135.3، الصف 2: 89.6، الصف 3: 75.1 kN**
خازوق مفرد	**يحمل 154.8 kN عند Δ؛ وينزاح 1.85 mm تحت حمل 100 kN**
الحمل	**H = 900 kN، n = 9؛ حصة متساوية: H/n = 100 kN**

المطلوب

تحقق من الاتزان؛ وأوجد نسبة إزاحة الغطاء إلى إزاحة الخازوق المنفرد، و **كفاءة المجموعة تحت الحمل الجانبي**.

الحل

الحل

1 الاتزان: $\Sigma n_y H_k = H$

$$3(135.3 + 89.6 + 75.1) = \mathbf{900}\ \text{kN} = H\ \checkmark$$

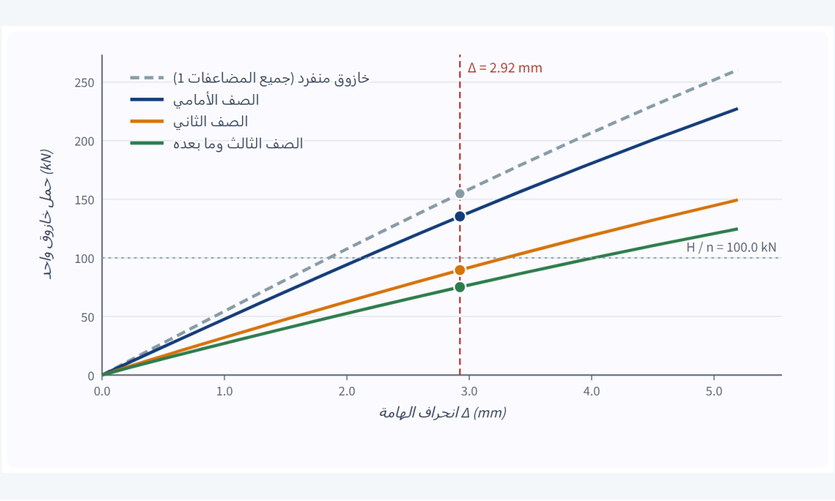
2 نسبة إزاحة غطاء الخوازيق إلى إزاحة الخازوق المنفرد

$$\frac{\Delta}{y_{single}} = \frac{2.92}{1.85} = \mathbf{1.58}$$

3 كفاءة المجموعة تحت حمل جانبي: متوسط حمل الخازوق / حمل خازوق منفرد عند نفس Δ

$$\eta_{lateral} = \frac{H/n}{H_{single}(\Delta)} = \frac{100.0}{154.8} = \mathbf{0.65}$$

يحمل الصف الأمامي **1.35 ضعف** الحصة المتساوية، والصف الثالث 0.75 ضعفها؛ ويبلغ انتقال غطاء الخوازيق **1.58 ضعف** انتقال الخازوق المنفرد. وأكبر عزم انحناء عند رأس الخازوق: 207 kN·m.



تحقق من الحل في GeoTerva ↗

أي قيمة تستخدم في أي تحقق؟

النظرية

أحمال الخوازيق: $P_{max} \le Q_u/FS$ (خازوق منفرد، بلا أثر المجموعة)؛ والخازوق المعرض للشد $T_{max} \le T_u/FS$، والخوازيق المعرضة للشد مجتمعة $\Sigma T \le T_g/FS$

قدرة تحمل المجموعة: $V \le Q_{all} = Q_{g(u)}/FS$؛ وأي الحالتين (الانهيار الفردي أم انهيار الكتلة) هي الحاكمة

الهبوط: المرن + هبوط الانضمام، ويقارن بالقيمة المسموح بها المدخلة

الجانبي: إزاحة غطاء الخوازيق وحمل الصف الأمامي وأكبر عزم انحناء والكفاءة الجانبية؛ وتقارن مع الإزاحة المسموح بها

الحمل على كل خازوق وعزم الانحناء هما حملَا **التصميم الإنشائي** لمقطع الخازوق

مجموعة الأمثلة: عمليات التحقق

التحقق	النتيجة
$P_{max} \le Q_u/FS$	✓ 302 kN ≥ 261
$V \le Q_{all}$	✓ 1,984 kN ≥ 600 1
الهبوط	84.6 mm
Δ (جانبي)	2.92 mm

المسألة

مثال

المعطيات

المجموعة	9 خوازيق محفورة، 3 صفوف × 3 خوازيق، D = 0.60 m، L = 14 m، s = 1.80 m
التربة	رمل 0–4 m ($\varphi' = 32°$) · طين 4–10 m ($c_u = 50$) · طين 10–18 m ($c_u = 90$ kPa)
المتغير	تباعد الخوازيق s = 2.5D · 3D · 4D · 5D · 6D (في كلا الاتجاهين)
الأحمال	V = 1 600, H = 900 kN, M_y = 900 kN·m

المطلوب

كيف تتغير قدرة المجموعة وكفاءتها وإزاحة غطاء الخوازيق مع ازدياد التباعد؟

الحل (1/2)

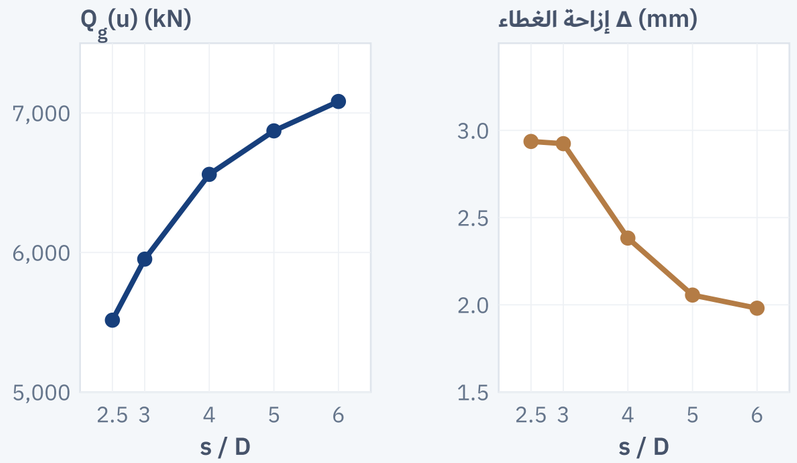
الحل

s / D	s (m)	η رمل	η طين	$Q_{g(u)}$ (kN)	η المجموعة	Δ (mm)
2.5	1.50	0.65	0.677	5,515	**0.676**	2.94
3.0	1.80	0.77	0.727	5,952	**0.729**	2.92
4.0	2.40	1.00	0.792	6,560	**0.803**	2.38
5.0	3.00	1.00	0.832	6,871	**0.842**	2.06
6.0	3.60	1.00	0.860	7,083	**0.868**	1.98

s = 2.5D → 6D: القدرة **5,515** → **7,083 kN**، وكفاءة المجموعة 0.68 → 0.87، وإزاحة الغطاء **2.94** → **1.98 mm**. وكلما اتسع التباعد اقتربت كل من الكفاءة ومضاعفات p من 1؛ و2.5D هي أصغر تباعد يورده المصدر.

الحل (2/2)

الحل



تعليق. يؤدي رفع التباعد من 2.5D إلى 6D إلى زيادة القدرة بنسبة 28% وخفض إزاحة الغطاء بنسبة 33%؛ لكن الغطاء يكبر وتتباعد الخوازيق. وعملياً يكون التباعد حلاً وسطاً بين 3D – 3.5D و 5D. وفي الرسم البياني تظهر $Q_{g(u)}$ على اليسار و Δ على اليمين.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

الفرضيات الكامنة وراء الأرقام

النظرية

المجموعة: خوازيق رأسية مرتبة في شبكة مستطيلة أو بترتيب مثلثي، ذات مقطع وطول واحدين، تحت غطاء خوازيق جاسئ. وينقل الغطاء الحمل لكنه لا يضيف مقاومة (إذ يهمل الضغط المنفعل والاحتكاك تحته وقدرة التحمل، في جانب الأمان).

خازوق مفرد: قواعد التربة الطبقية، لا تُدخل أي مقاومة.

الكفاءة: معادلات تجريبية مستمدة من الخوازيق المدقوقة في الطين؛ وفي الرمل تباعد واحد (أصغر مسافة). وفي الترتيب المثلثي تعد معادلة Converse–Labarre **امتداداً**.

الكتلة: أساس المصدر في الطين؛ أما الانزلاق في الرمل وقاع الرمل فهما **امتداد للوحدة**.

الأحمال: تتضمن V وزن الغطاء؛ ويؤثر الحمل الجانبي والعزوم عند قاعدة الغطاء. وفي الرفع يؤخذ الجذع فقط، والرمل ¾.

الهبوط: خيار؛ الجزء المرن بقيمة واحدة لكل من E_s و ν_s، والانضمام بانتشار 2:1، عند منتصف كل طبقة.

الجانبي: مضاعفات p من اختبارات أجريت على تربة ومسافات محددة؛ ويشار إلى ما هو دون 3D.

النقاط الرئيسية

الغطاء الجاسئ: **$P = V/n + Bx + Cy$**؛ أكبر حمل في الخازوق الأمامي وأصغره في الخازوق الخلفي؛ وإذا كان العزم كبيراً يعمل الخازوق الخلفي على **الشد**

يحسب **الخازوق المفرد** طبقة تلو أخرى، وتبنى عليه قدرة المجموعة

الكفاءة تُطبق طبقةً طبقة: Converse–Labarre في الطين، والمخطط في الرمل عند الدق ($\eta \le 1$)، وقاعدة AASHTO في الخوازيق المحفورة

قدرة التحمل = **min(الفردية، الكتلة)**؛ تتحكم الكتلة في المجموعات المتقاربة كثيرة الخوازيق

الهبوط: المرن (Vesic، مع $\sqrt{(B_g/D)}$) + هبوط الانضمام (انتشار 2:1 من العمق 2L/3)؛ ويحكم هبوط المجموعة الطين السميك

الجانبي: تتناقص مضاعفات p من الصف الأمامي إلى الخلفي؛ ويزاح الغطاء بمقدار Δ واحد، وتحمل الصفوف أحمالاً غير متساوية

المراجع

.Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning, Boston

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

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

Coyle, H.M. and Castello, R.R. (1981). New design correlations for piles in sand. Journal of .the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 107(GT7), 965–986

Mansur, C.I. and Hunter, A.H. (1970). Pile tests, Arkansas River project. Journal of the Soil .Mechanics and Foundations Division, ASCE, 96(SM5), 1545–1582

Terzaghi, K., Peck, R.B. and Mesri, G. (1996). Soil Mechanics in Engineering Practice, 3rd ed. .John Wiley & Sons, New York

Vijayvergiya, V.N. and Focht, J.A. (1972). A new way to predict capacity of piles in clay. .Proceedings of the 4th Offshore Technology Conference, Houston, Paper OTC 1718

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

O'Neill, M.W. and Reese, L.C. (1999). Drilled Shafts: Construction Procedures and Design .Methods. FHWA-IF-99-025, Federal Highway Administration, Washington

Reese, L.C. and O'Neill, M.W. (1989). Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods. FHWA-HI-88-042, Federal Highway Administration, Washington; the base of a .drilled shaft in clay

Terzaghi, K. and Peck, R.B. (1967). Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd ed. John .Wiley & Sons, New York

Kishida, H. and Meyerhof, G.G. (1965). Bearing capacity of pile groups under eccentric loads in sand. Proceedings of the 6th International Conference on Soil Mechanics and Foundation .Engineering, Montreal, 2, 270–274

Vesic, A.S. (1969). Experiments with instrumented pile groups in sand. Performance of Deep .Foundations, ASTM STP 444, 177–222

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

American Association of State Highway and Transportation Officials (2012). AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 6th ed.: the p-multipliers of pile groups and the resistance of .shaft groups in cohesionless soil

Washington State Department of Transportation (2010). Bridge Design Memorandum No. .07-2010, Bearing resistance of shaft groups

Brown, D.A., Morrison, C. and Reese, L.C. (1988). Lateral load behavior of pile group in sand. .Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 114(11), 1261–1276

McVay, M., Casper, R. and Shang, T.-I. (1995). Lateral response of three-row groups in loose to dense sands at 3D and 5D pile spacing. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, .121(5), 436–441

Rollins, K.M., Olsen, R.J., Egbert, J.J., Jensen, D.H., Olsen, K.G. and Garrett, B.H. (2006). Pile spacing effects on lateral pile group behavior: analysis. Journal of Geotechnical and .Geoenvironmental Engineering, ASCE, 132(10), 1272–1283

Matlock, H. (1970). Correlations for design of laterally loaded piles in soft clay. Proceedings .of the 2nd Offshore Technology Conference, Houston, Paper OTC 1204, 577–594

Reese, L.C., Cox, W.R. and Koop, F.D. (1974). Analysis of laterally loaded piles in sand. Proceedings of the 6th Offshore Technology Conference, Houston, Paper OTC 2080, 473–.485

American Petroleum Institute (2000). Recommended Practice for Planning, Designing and .Constructing Fixed Offshore Platforms — Working Stress Design, API RP 2A-WSD, 21st ed

حسابات الجيوتكنيك عبر الإنترنت

من النظرية إلى التطبيق

احسب مجموعة الأمثلة في هذه الشرائح خطوة بخطوة في GeoTerva: الأرقام نفسها.

افتح الوحدة ←

صفحة النظرية ←

افتح على الهاتف

لا تتطلب الوحدات التجريبية تسجيلاً.

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