GeoTerva

شرائح محاضرات الجيوتكنيك · الخوازيق

قدرة تحمل الخوازيق في الرمل

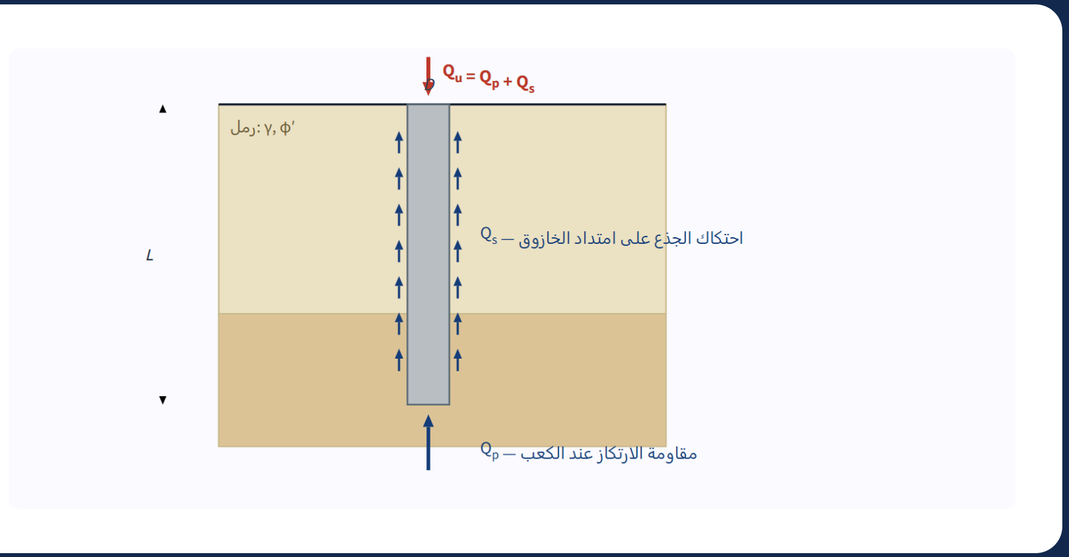
المحاضرة: مقاومة الإرتكاز واحتكاك الجذع والعمق الحرج. نظرية كل طريقة، ثم مثال محلول.

Meyerhof (1976)

Vesic (1977)

Coyle و Castello (1981)

أمثلة محلولة



يستند إلى صفحة النظرية في GeoTerva · geoterva.com

ماذا سنتعلم في هذه المحاضرة؟

القدرة على شرح كيف يحمل الخازوق حمله على شكل **مقاومة الإرتكاز** و**احتكاك الجذع**

القدرة على إنشاء مقطع **الإجهاد الفعال** في الرمل، بما في ذلك منسوب المياه

القدرة على حساب مقاومة الإرتكاز بثلاث طرق: **Meyerhof** و**Vesic** و**Coyle and Castello**

القدرة على تفسير احتكاك الجذع ودور **العمق الحرج** (L')

الوصول إلى **قدرة التحمل المسموح بها** وتقييم نتائج الطرق 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 جميع الأمثلة على الخازوق نفسه، وبذلك تقارن الطرق جنباً إلى جنب.

ينتقل الحمل بطريقتين

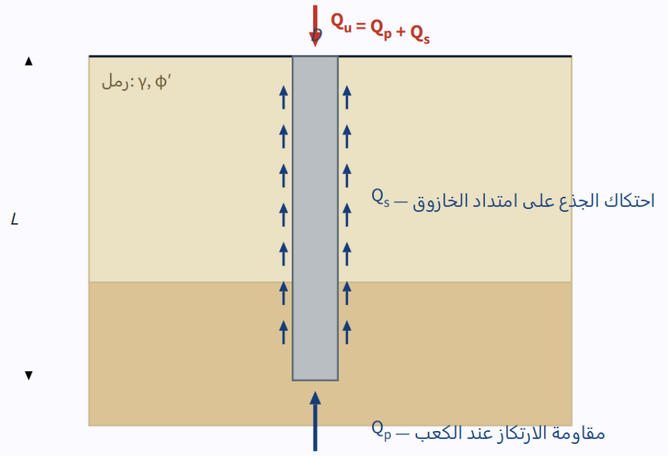
النظرية

ينقل الخازوق حمله إلى التربة **عبر مسارين في وقت واحد**: تقاوم التربة الواقعة تحت الطرف **بمقاومة الإرتكاز** (Q_p)، ويقاوم الرمل على امتداد الجذع **باحتكاك الجذع** (Q_s).

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

يبلغ احتكاك الجذع قيمته الكاملة عند إزاحة **صغيرة**، بينما تبلغ مقاومة الإرتكاز قيمتها الكاملة عند إزاحة **أكبر بكثير**؛ ولا تصل المركبتان إلى ذروتيهما في آن واحد.

في هذه المحاضرة: **خازوق مفرد** في **رمل** ($c' = 0$)، مدقوق أو محفور، ذو مقطع ثابت.



النظرية

في الرمل، كل شيء يتناسب مع الإجهاد الفعال

في الرمل تتناسب كل من **مقاومة الإرتكاز** و **احتكاك الجذع لوحدة المساحة** مع الإجهاد الرأسي الفعال. ويبدأ الحساب بتحديد قيم σ'_v في القطاع تحديداً صحيحاً.

$$\sigma'_v = \underbrace{\sum \gamma_i h_i}_{\text{فوق منسوب المياه الجوفية}} + \underbrace{\sum (\gamma_{sat,i} - \gamma_w)\, h_i}_{\text{تحت منسوب المياه الجوفية}}$$

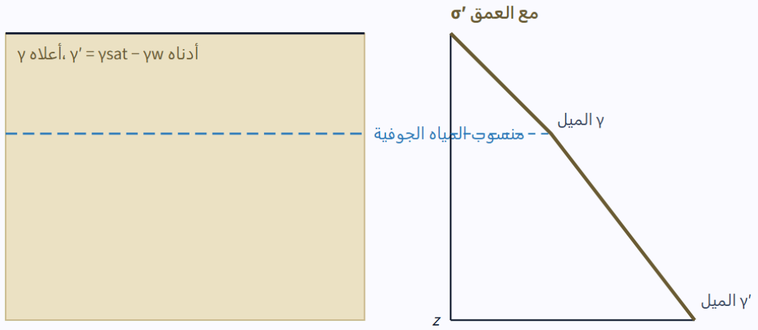
γ : الوزن الحجمي الرطب (فوق GWT)

γ_{sat} : الوزن الحجمي المشبع (تحت GWT)

$\gamma_w = 9.81\ kN/m^3$: الوزن الحجمي للماء

GWT: منسوب المياه الجوفية

تحت منسوب المياه الجوفية **يقل** تدرج الإجهاد: $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$



المسألة

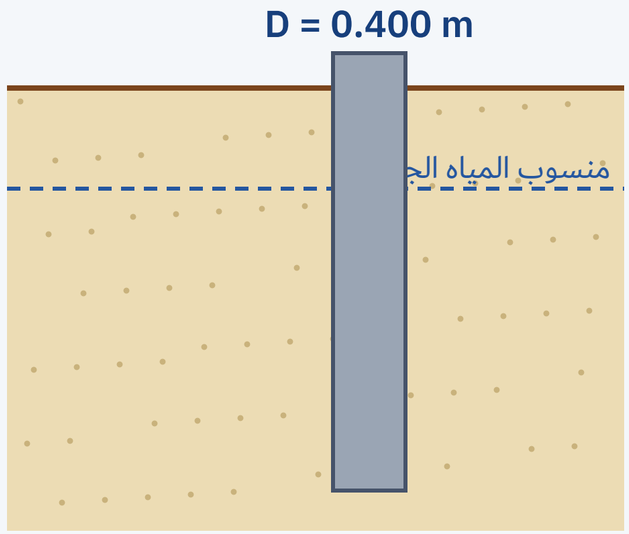
مثال

المعطيات

رمل، فوق منسوب المياه الجوفية	$\gamma = 17$ kN/m^3
رمل، تحت منسوب المياه الجوفية	$\gamma_{sat} = 19.5$ kN/m^3
عمق منسوب المياه الجوفية	**2.0 m**
الوزن الحجمي للماء	$\gamma_w = 9.81$ kN/m^3

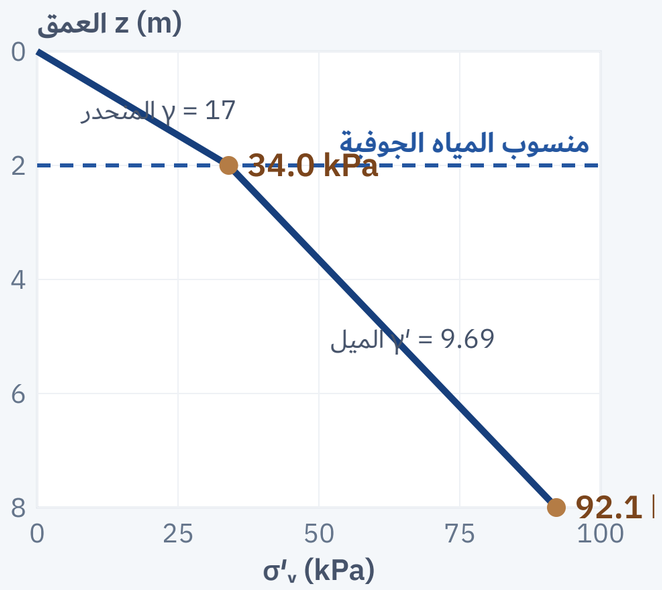
المطلوب

عند **عمق 8 m**، احسب الإجهاد الرأسي الكلي، وضغط ماء المسام، و**الإجهاد الرأسي الفعال**.



الحل

الحل



1 إجهاد رأسي كلي (وزن حجمي رطب أعلى منسوب المياه الجوفية، ووزن حجمي مشبع أدناه)

$$\sigma_v = 17(2) + 19.5(6) = 34 + 117 = \mathbf{151.0}\ \text{kPa}$$

2 ضغط ماء المسام (ارتفاع ماء قدره 6 m تحت منسوب المياه الجوفية)

$$u = \gamma_w\, h_w = 9.81\,(6) = \mathbf{58.9}\ \text{kPa}$$

3 الإجهاد الرأسي الفعال

$$\sigma'_v = \sigma_v - u = 151.0 - 58.9 = \mathbf{92.1}\ \text{kPa}$$

النتيجة نفسها: $\sigma'_V = 17(2) + (19.5 - 9.81)(6) = \mathbf{92.1\ kPa}$.
وتحت منسوب المياه الجوفية يبلغ الوزن الحجمي الفعال $9.69\ \text{kN/m}^3$.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

مقاومة الإرتكاز: تعبير عام

النظرية

ينهار الرمل تحت طرف الخازوق **بانهيار قدرة التحمل** كما هو الحال تحت القاعدة؛ غير أن **إجهاد الغطاء الترابي** عند عمق الطرف يحصر الرمل بإحكام.

في الرمل $c' = 0$، لذا يبقى حد العمق (الغطاء) فقط. ولأن قطر الخازوق صغير يهمل حد العرض ($0.5\gamma' D N_\gamma$):

$$q_p = \sigma'_v \, N^*_q \qquad Q_p = A_p \, q_p$$

σ'_v : الإجهاد الرأسي الفعال عند عمق طرف الخازوق

N^*_q : معامل قدرة التحمل الخاص بمسألة الخازوق

A_p : مساحة طرف الخازوق

من أين يأتي N^*_q؟ ثلاثة مقاربات

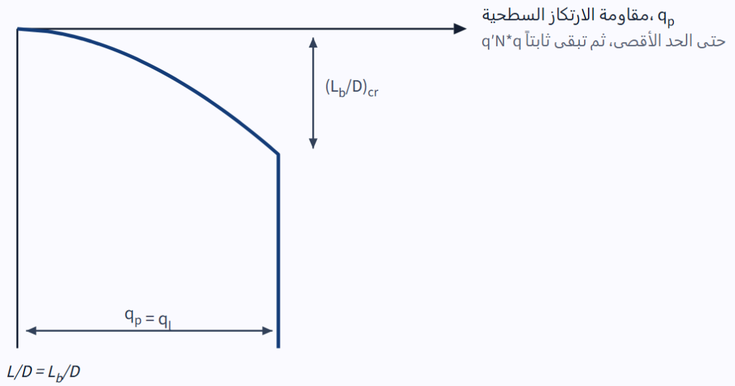
Meyerhof (1976): تعتمد N^*_q على φ' فقط؛ ولا تتجاوز q_p **قيمة حدية**

Vesic (1977): نظرية تمدد التجويف؛ وتدخل **جساءة** الرمل أيضاً في الحساب

Coyle و Castello (1981): مضبوطة على نتائج 24 اختباراً للتحميل بالمقياس الحقيقي؛ وتعتمد N^*_q أيضاً على L/D

مقاومة الإرتكاز لا تزداد إلى ما لا نهاية

النظرية



في الرمل المتجانس تزداد مقاومة الإرتكاز الوحدية مع نسبة الغرس وتبلغ **ذروتها** عند القيمة **$(L_b/D)_{cr}$**؛ وبعد ذلك تبقى ثابتة (q_l).

VESIC (1970) · اختبار تحميل الخوازيق في نهر OGEECHEE (D = 0.457 m)

q_p (kN/m²)	L/D	L (m)
3 304	6.61	3.02
9 365	13.39	6.12
11 472	19.40	8.87
11 587	26.26	12.00
13 971	32.82	15.00

تبلغ القيمة العظمى للمقدار q_p نحو **12 000 kN/m²**

$(L/D)_{cr}$ حوالي **16 – 18**

من أجل متوسط $N_{60} \approx 30$ يكون $4p_aN_{60} = 4(100)(30) = 12\,000$ kN/m²: **تتفق العلاقة مع الهضبة المقاسة**

النظرية

Meyerhof: N*q من φ′ بحد أقصى

يأخذ Meyerhof قيمة N^*_q من **زاوية الاحتكاك الداخلي** فقط (مخططه الخاص أدناه). ولا تتجاوز q_p المحسوبة **قيمة حدية**:

$$q_p = \sigma'_v N^*_q \;\le\; q_l \qquad q_l = 0.5\, p_a\, N^*_q \tan\varphi'$$

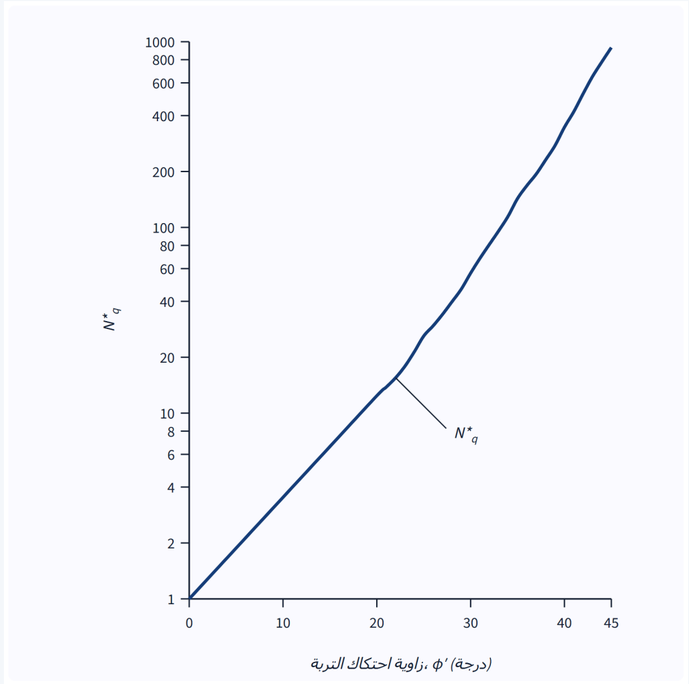
$p_a = 100\ \text{kN/m}^2$: الضغط الجوي

φ' : زاوية الاحتكاك الفعالة لرمل مستوى الطرف

قيم N^*_q (مخطط Meyerhof البياني؛ السلسلة التي تقرؤها الوحدة)

φ' (°)	20	25	30	32	34	35	36	38	40	42	45
N^*_q	12.4	26.0	56.7	81.0	115.0	143.0	168.0	231.0	346.0	525.0	930.0

من أجل $\varphi' = 35°$ يكون $N^*_q = 143.0$ و $q_l = 5{,}006\ \text{kPa}$؛ وفي رمل وزنه الحجمي $\gamma = 18\ \text{kN/m}^3$ يبلغ هذا الحد عند عمق يقارب **1.9 m**

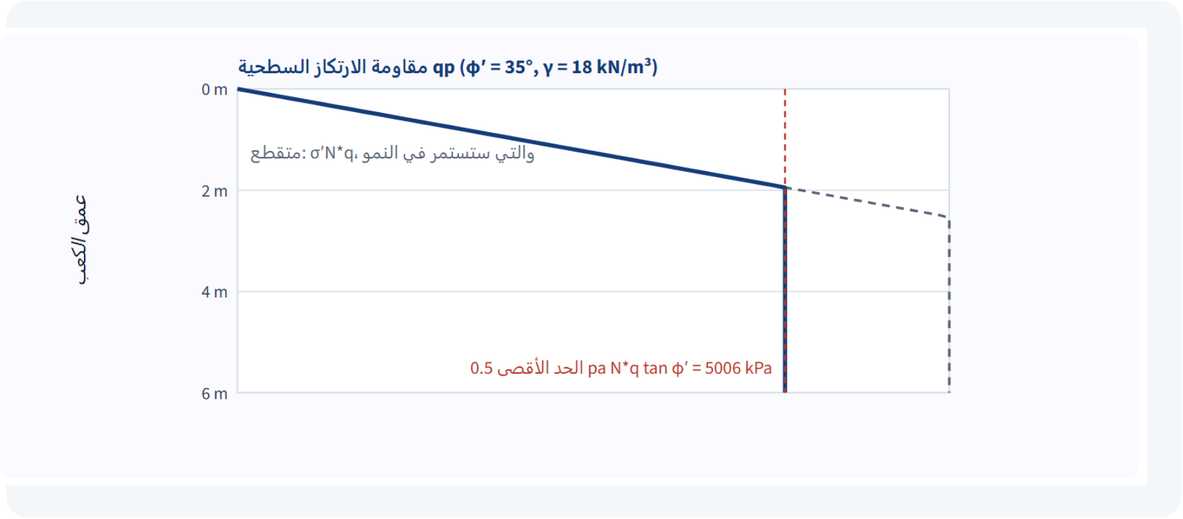


Meyerhof: خطوة بخطوة ومعنى الحد

النظرية

خطوات الحساب

1. حساب σ'_v عند منسوب الطرف
2. اقرأ قيمة N^*_q المقابلة للزاوية φ' من المخطط البياني أو الجدول
3. $q_p = \sigma'_v N^*_q$
4. $q_l = 0{,}5\ p_a\ N^*_q\ \tan\varphi'$
5. q_p = القيمة الصغرى لـ $(\sigma'_v N^*_q,\ q_l)$ و $Q_p = A_p q_p$



يتبع المنحنى الخط المستقيم $\sigma' N^*_q$ **إلى أن تصبح القيمة الحدية هي الحاكمة**، ثم يبقى أفقياً. ولولا هذا الحد لازدادت q_p مع العمق إلى ما لا نهاية، وهو ما لا تُظهره الاختبارات الحقلية.

المسألة

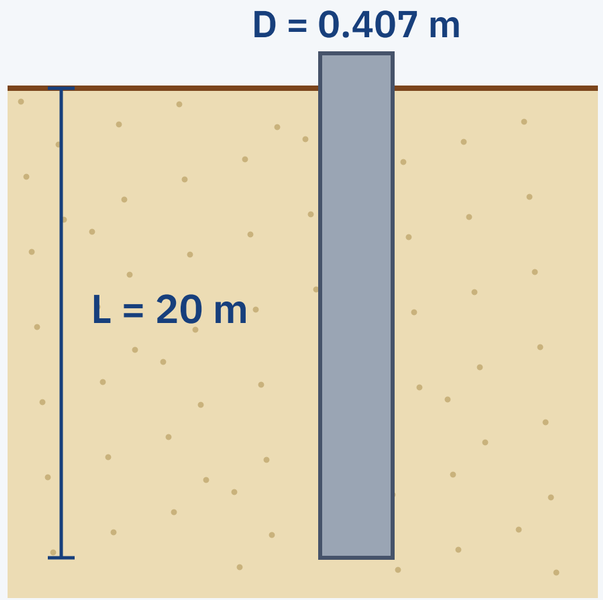
مثال

المعطيات

الخازوق	**خرسانة مسلحة، مدقوقة، مقطع مربع**
أبعاد المقطع	**D = 0.407 m**
الطول	**L = 20 m**
رمل (متجانس)	$\gamma = 18$ kN/m^3 ,$\varphi' = 35^\circ$
المياه الجوفية	**لا يوجد**

المطلوب

أوجد **مقاومة الإرتكاز** Q_p للخازوق بطريقة **Meyerhof (1976)**.



الحل

الحل

1 مساحة المقطع والإجهاد الفعال عند الطرف

$$A_p = 0.407^2 = 0.1656 \text{ m}^2 \qquad \sigma'_v = \gamma L = 18(20) = 360 \text{ kPa}$$

2 قيمة N*q (φ′ = 35°، جدول Meyerhof) و σ′N*q

$$N_q^* = 143.0 \qquad \sigma'_v N_q^* = 360(143.0) = 51{,}480 \text{ kPa}$$

3 القيمة الحدية

$$q_l = 0.5\, p_a N_q^* \tan\varphi' = 0.5(100)(143.0)\tan 35^\circ = 5{,}006 \text{ kPa}$$

4 مقاومة الإرتكاز الوحدوية: الأصغر من القيمتين؛ والحد الحاكم هو المعتمد

$$q_p = \min(51{,}480;\ 5{,}006) = \mathbf{5{,}006} \text{ kPa}$$

ولولا الحد الأقصى $Q_p = A_p\, q_p = 0.1656 \times 5{,}006 = \mathbf{829\ kN}$.
لكانت القيمة نحو 8,528 kN.



تحقق من الحل في GeoTerva ↗

Vesic: يتوسع الرمل تحت الطرف كما يتوسع تجويف

النظرية

يشتق Vesic مقاومة الإرتكاز **من نظرية تمدد التجويف**: إذ يوسّع الطرف تجويفاً في التربة المحيطة به؛ ولذلك لا تتضمن النتيجة **مقاومة** الرمل وحدها بل **جساءته** أيضاً.

$$Q_p = A_p \, \bar{\sigma}'_o \, N^*_\sigma$$

هنا $\bar{\sigma}'_o$ ليس إجهاداً **رأسياً** بل هو **متوسط الإجهاد الناظمي الفعال** عند منسوب الطرف:

$$\bar{\sigma}'_o = \frac{1 + 2K_o}{3} \, q' \qquad K_o = 1 - \sin\varphi'$$

- K_o: معامل ضغط التربة الجانبي في حالة السكون
- q': الإجهاد الرأسي الفعال عند منسوب الطرف ($= \sigma'_v$)

العلاقة مع Meyerhof

$$N^*_\sigma = \frac{3 \, N^*_q}{1 + 2K_o}$$

الصيغة نفسها كما عند Meyerhof؛ ويختلف الطريقتان في **المصدر الذي يشتق منه المعامل**، لا في شكل المعادلة.

Vesic: دليل الجساءة المخفض

النظرية

يعتمد N^*_σ على **دليل الصلابة المخفض** I_{rr} للرمل وعلى φ'؛ ويأخذ I_{rr} في الحسبان أيضا تغير الحجم في المنطقة اللدنة:

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + I_r\,\Delta} \qquad I_r = \frac{E_s}{2(1+\mu_s)\,q'\tan\varphi'} = \frac{G_s}{q'\tan\varphi'}$$

E_S : معامل مرونة التربة، μ_S : نسبة بواسون، G_S : معامل القص

Δ : متوسط الانفعال الحجمي في المنطقة اللدنة تحت الطرف

الطرق العملية (Chen و1994، Kulhawy؛ $25° \geq \varphi' \leq 45°$)

$$\frac{E_s}{p_a} = m \qquad \mu_s = 0.1 + 0.3\,\frac{\varphi' - 25}{20} \qquad \Delta = 0.005\left(1 - \frac{\varphi' - 25}{20}\right)$$

مدخل واحد: $m = E_S / p_a$

رمل	m
سائب	200 – 100
متوسط الكثافة	500 – 200
كثيف	1000 – 500

معامل الصلابة بشكل عام **75 – 150** (رمل بكثافة نسبية 50 – 80%)

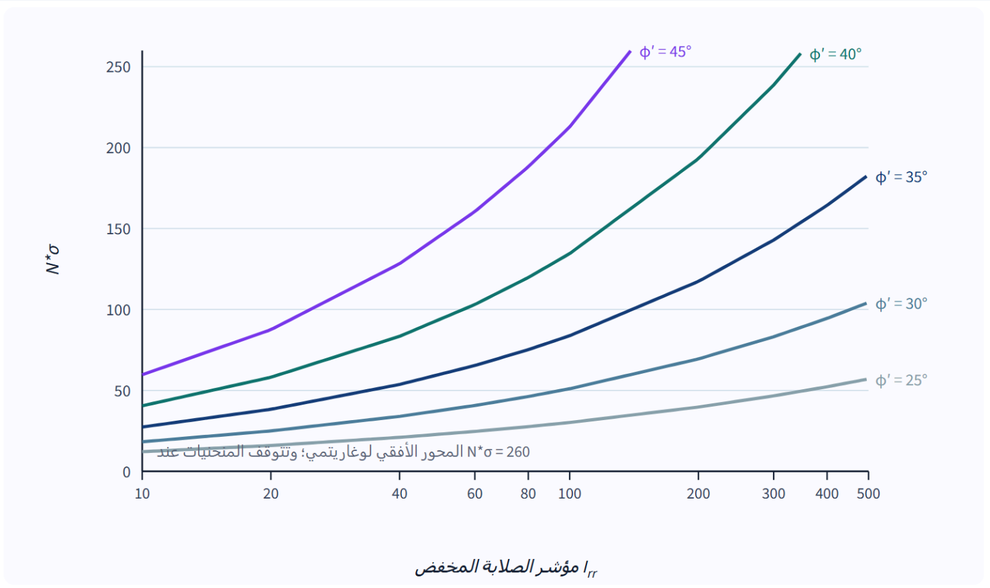
إذا توفر CPT: $I_r = 300/F_r$ (%) (ميكانيكي)، $F_r/170$ (%) (مخروط كهربائي)

Vesic: خطوة بخطوة

النظرية

خطوات الحساب

1. $K_o = 1 - \sin\varphi'$ و $\sigma'_o = (1 + 2K_o)q'/3$
2. $E_s = m \cdot p_a,\ \mu_s,\ I_r$
3. Δ و $I_{rr} = I_r/(1 + I_r\Delta)$
4. N^*_σ بدلالة φ' و I_{rr} (من الجدول، بالاستيفاء اللوغاريتمي)
5. $q_p = \sigma'_o N^*_\sigma$ و $Q_p = A_p q_p$



منحنى واحد لكل φ': **تزداد N^*_σ بازدياد الجساءة**؛ ويعطي الرمل الكثيف الجاسئ مقاومة ارتكاز أكبر بكثير من الرمل السائب.

المسألة

مثال

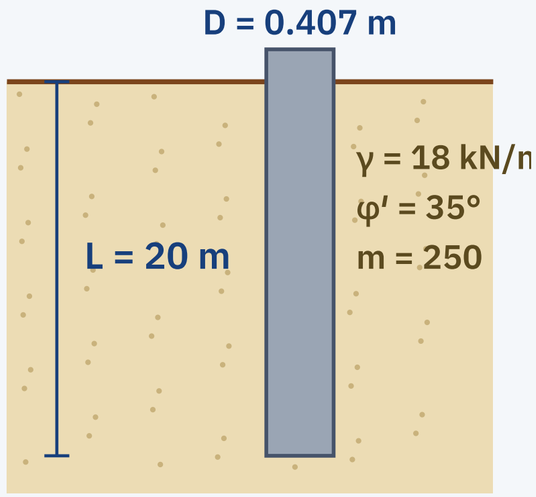
المعطيات

الخازوق	**كما في المثال 2: D = 0.407 m، L = 20 m**
رمل	$\gamma = 18\ \text{kN/m}^3$ ، $\varphi' = 35^\circ$
المياه الجوفية	**لا يوجد**
نسبة معامل المرونة	$m = E_s/p_a = 250$ **(متوسطة الكثافة – كثيفة)**
الضغط الجوي	$p_a = 100\ \text{kPa}$

المطلوب

أوجد **مقاومة الإرتكاز** Q_p للخازوق بطريقة **Vesic (1977).**

الإجهاد الفعال عند الطرف: $q' = 18(20) = 360\ \text{kPa}$



الحل (1/3)

الحل

1 معامل الضغط في حالة السكون وإجهاد النormal الفعال المتوسط

$$K_o = 1 - \sin 35^\circ = 0.426 \qquad \bar{\sigma}'_o = \frac{1 + 2(0.426)}{3}(360) = \mathbf{222.3}\ \text{kPa}$$

2 خواص التربة

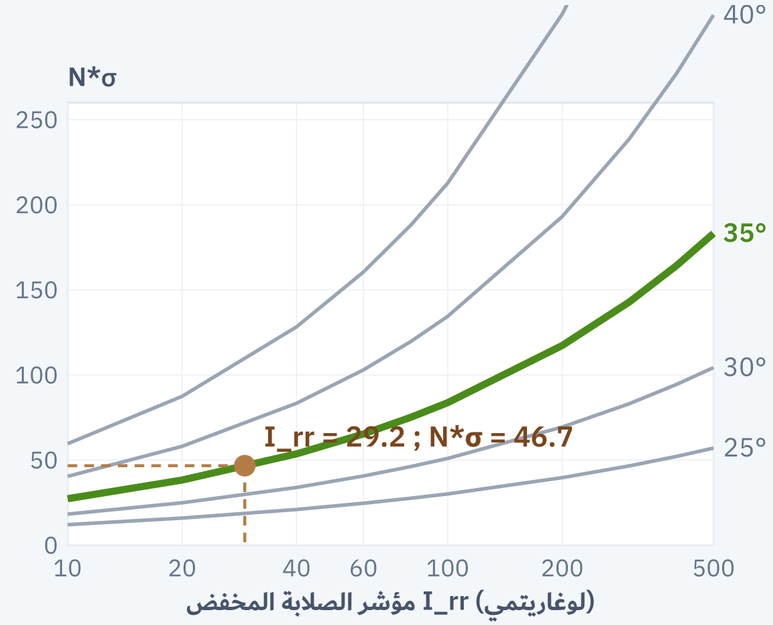
$$E_s = m\,p_a = 250(100) = 25{,}000\ \text{kPa} \quad \mu_s = 0.1 + 0.3\frac{35 - 25}{20} = 0.25$$

3 دليل الجساءة والانفعال الحجمي

$$I_r = \frac{25{,}000}{2(1 + 0.25)(360)\tan 35^\circ} = \mathbf{39.7} \qquad \Delta = 0.005\left(1 - \frac{35 - 25}{20}\right)\frac{360}{100} = 0.0090$$

الحل (2/3)

الحل



4 دليل الجساءة المخفض

$$I_{rr} = \frac{I_r}{1 + I_r \Delta} = \frac{39.7}{1 + (39.7)(0.0090)} = \mathbf{29.2}$$

5 $N^*\sigma$: من الجدول، استكمال لوغاريتمي بين 20 و 40 للصف $\varphi' = 35°$ و $I_{rr} = 29.2$

$$N^*_\sigma = 38.32 + \frac{\log 29.2 - \log 20}{\log 40 - \log 20}(53.67 - 38.32)$$

$$= \mathbf{46.7}$$

في المخطط المنحنى الأخضر $\varphi' = 35°$: عند تقاطعه مع الخط العمودي $I_{rr} = 29.2$ نحصل على $\mathbf{N^*_\sigma \approx 46.7}$.

الحل (3/3)

الحل

6 مقاومة الإرتكاز لوحدة المساحة

$$q_p = \bar{\sigma}'_o N^*_\sigma = 222.3(46.7) = \mathbf{10{,}389}\ \text{kPa}$$

7 مقاومة الإرتكاز

$$Q_p = A_p\, q_p = 0.1656(10{,}389) = \mathbf{1{,}721}\ \text{kN}$$

للخازوق نفسه **Meyerhof: 829 kN، Vesic: 1,721 kN**. ولأن Vesic يأخذ في الحسبان جساءة الرمل (m = 250) فإنه يعطي نحو 2.1 ضعف القيمة المحدودة عند Meyerhof.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

النظرية

Coyle وCastello: N*q تجريبي

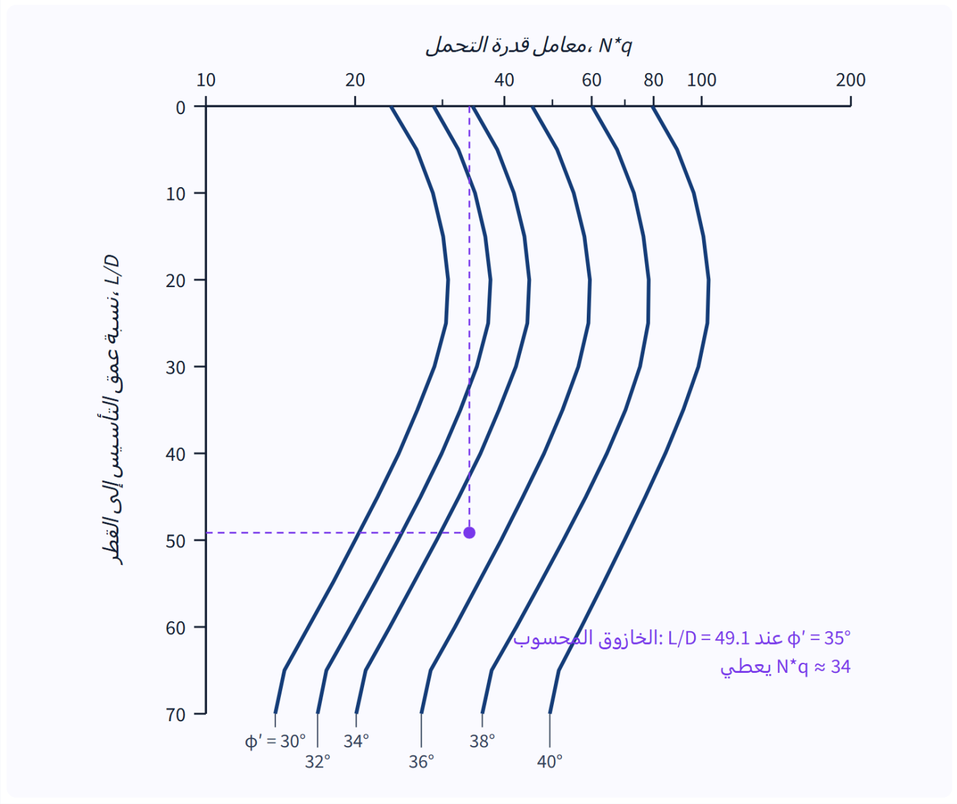
درس Coyle و Castello **24 اختباراً حقلياً للتحميل واسع النطاق على خوازيق مدقوقة** واقترحا العلاقة التالية للرمل:

$$Q_p = q' \, N_q^* \, A_p$$

q' هو الإجهاد الرأسي الفعال عند الطرف؛ أما N^*_q فيعتمد، إضافة إلى φ'، على **نسبة الدفن L/D** أيضاً (المخطط على الجانب).

هذا المعامل **أصغر كثيراً** من معامل Meyerhof: نحو **34** عند $\varphi' = 35°$ وللخازوق العميق، مقابل **143** عند Meyerhof. وذلك لأنه مُعايَر على **قدرات مقيسة** لا على آلية انهيار.

عندما تتجاوز نسبة التأسيس نحو 20 **يقل** المعامل: فالخازوق الأطول بنفس القطر يأخذ N^*_q أصغر.



المسألة

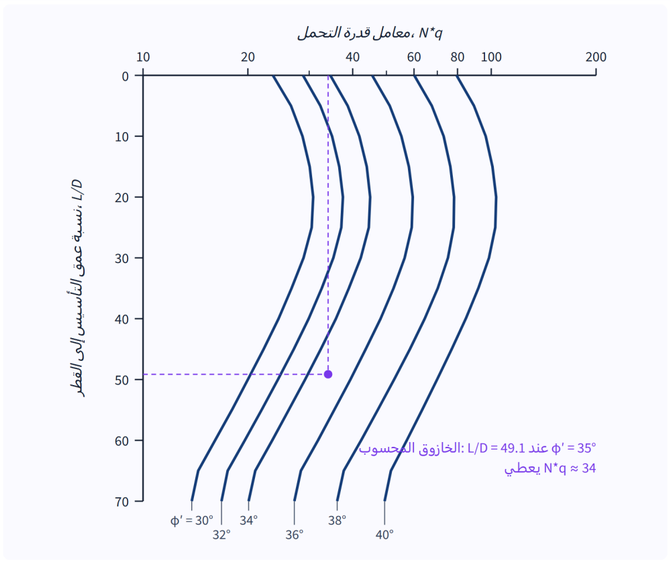
مثال

المطلوب

باستخدام طريقة **Coyle** و**Castello** **(1981)**، أوجد **مقاومة الإرتكاز** Q_p للخازوق.

المعطيات

الخازوق والرمل	**مطابق للمثال 2: L = 20 m، D = 0.407 m، φ′ = 35°، γ = 18 kN/m³**
نسبة التغليف	$L/D = 20/0.407 = 49.1$
المعامل المقروء من المخطط	$N_q^* \approx 34$ **(الشكل 7؛ L/D ≈ 49 ،φ′ = 35°)**



الحل

الحل

1 الإجهاد الفعال عند الطرف والمعامل (من المخطط البياني، قراءة تقريبية)

$$q' = \gamma L = 18(20) = 360 \text{ kPa} \qquad N_q^* \approx 34$$

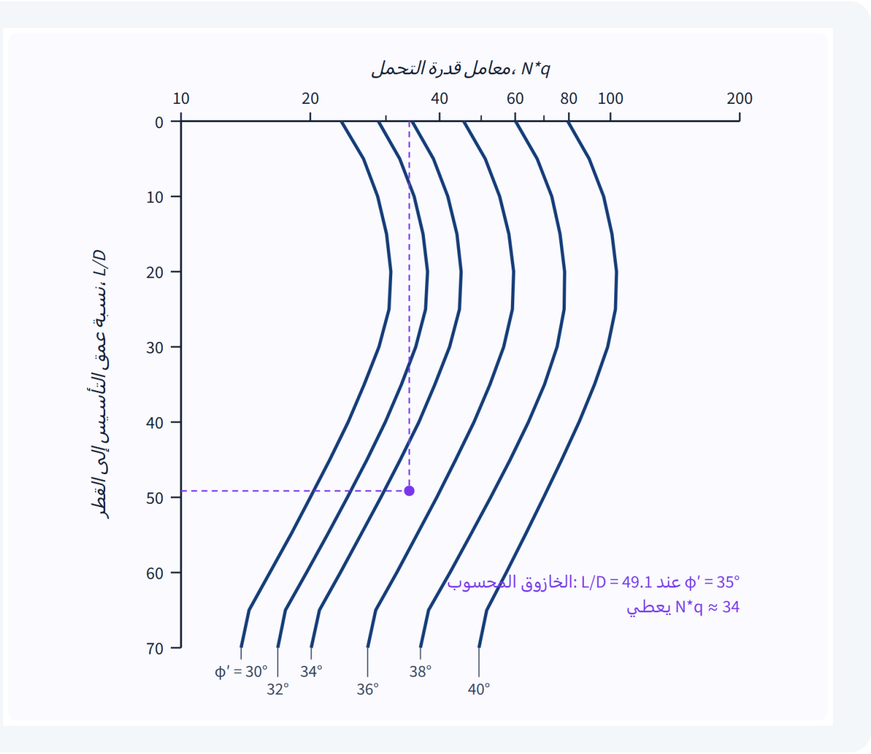
2 مقاومة الإرتكاز لوحدة المساحة

$$q_p = q' N_q^* = 360(34) = 12{,}240 \text{ kPa}$$

3 مقاومة الإرتكاز

$$Q_p = A_p q_p = 0.1656(12{,}240) = \mathbf{2{,}028} \text{ kN}$$

قيمة N^*_q المقروءة من المخطط البياني قيمة تقريبية؛ وقد تتغير بمقدار ±1 – 2 وحدة تبعاً لـ φ′ و L/D. والنتيجة هي أكبر قيمة بين الطرق الثلاث: **2,028 kN**.



تحقق من الحل في GeoTerva ↗

ثلاث طرق، الخازوق نفسه

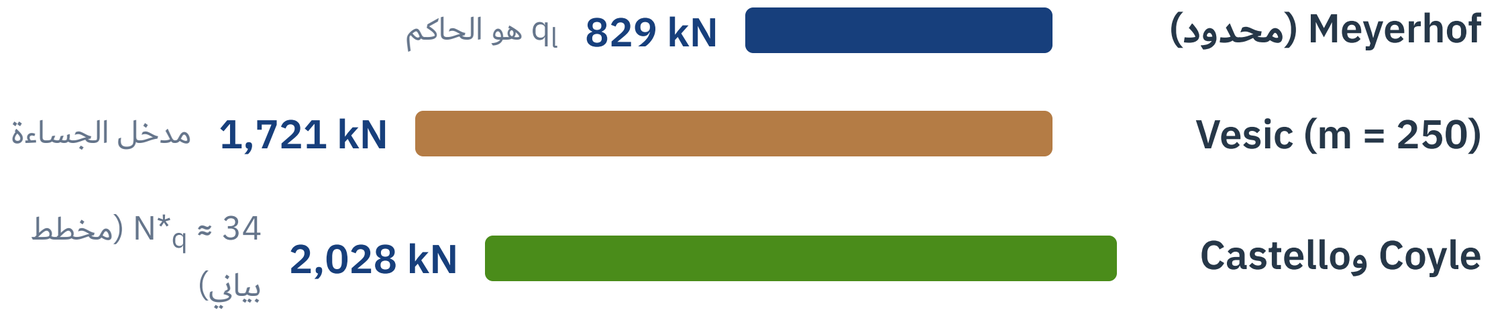
النظرية

Meyerhof: **متحفظ** بسبب القيمة الحدية

Vesic: يُدخل كثافة الرمل صراحةً عبر **m**

Coyle–Castello: يعتمد على خوازيق مدقوقة مقاسة؛ قراءة المخطط تقريبية

عملياً: تحسب طريقتان على الأقل، ويدرس المدى، وفي غياب **اختبار التحميل** أو الخبرة المحلية تختار قيمة قريبة من الطرف المتحفظ.



لأن الطرق تستند إلى **فرضيات مختلفة** فإن النتائج تتباعد أيضا. ويعد المدى مؤشرا أمينا على مدى إمكانية تحديد مقاومة الإرتكاز.

احتكاك الجذع: $f' = K\,\sigma'\,\tan\delta$

النظرية

احتكاك الجذع هو مجموع الاحتكاك الوحدوي على امتداد سطح الجذع:

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

يكتب الاحتكاك الوحدوي f بدلالة العمق كما يلي (L′: العمق الحرج):

$$f = K\,\sigma'_o\,\tan\delta' \quad (0 \le z \le L')$$
$$f = f_{z=L'} \quad (L' \le z \le L)$$

p : محيط مقطع الخازوق، ΔL : الطول الذي يؤخذ فيه p و f ثابتين

K : معامل ضغط التربة الجانبي الفعال، σ'_o : الإجهاد الرأسي الفعال عند ذلك العمق

δ′ : زاوية احتكاك التربة–الخازوق (عادة 0.8φ – 0.5φ′)

قيم K (حسب نوع الخازوق)

نوع الخازوق	K
محفور أو مغروس بالدفع المائي	$K_o = 1 - \sin\varphi \approx$
مدقوق بإزاحة منخفضة	$K \approx K_o = 1.4(1 - \sin\varphi') = 1.4K_o$
مدقوق بإزاحة عالية	$K \approx K_o = 1.8(1 - \sin\varphi') = 1.8K_o$

الدق يدمك الرمل المحيط به (حتى 2.5D تقريباً)

يكتسب الخازوق ذو الإزاحة الكبيرة احتكاكاً أعلى من الخازوق ذي الإزاحة الصغيرة

الخوازيق المثقوبة/النفاثة تعطي احتكاكاً أقل من الخوازيق المدقوقة

العمق الحرج: لماذا لا يزداد الاحتكاك؟

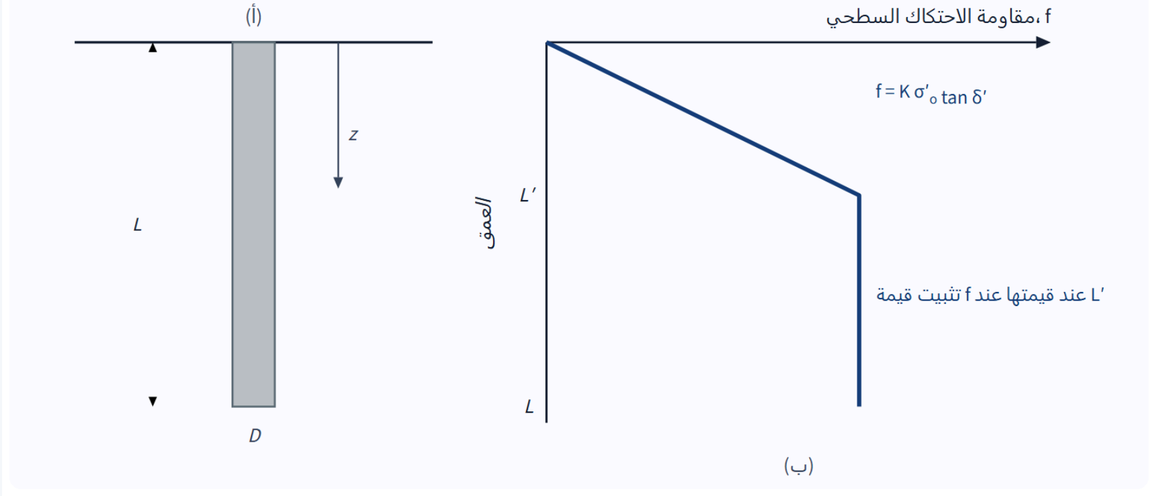
النظرية

لا يزداد الاحتكاك المقاس مع العمق **إلى ما لا نهاية** كما يزداد الإجهاد الفعال؛ بل يزداد حتى **عمق حرج** تقريبي ثم يبقى ثابتاً.

$$L' \approx 15\,D$$

التفسير المعتاد هو **التقوس**: لا ينقل الرمل كامل إجهاد الغطاء الترابي المحيط بالجذع إلى الخازوق. وتبقي الوحدة الإجهاد الفعال تحت L′ **عند قيمته على العمق L′**؛ ويظل الاحتكاك الوحدوي ثابتاً حتى الطرف.

يعطي المرجع للطول L′ قيمة 15D – 20D؛ والقيمة المتحفظة هي **15D**



المسألة

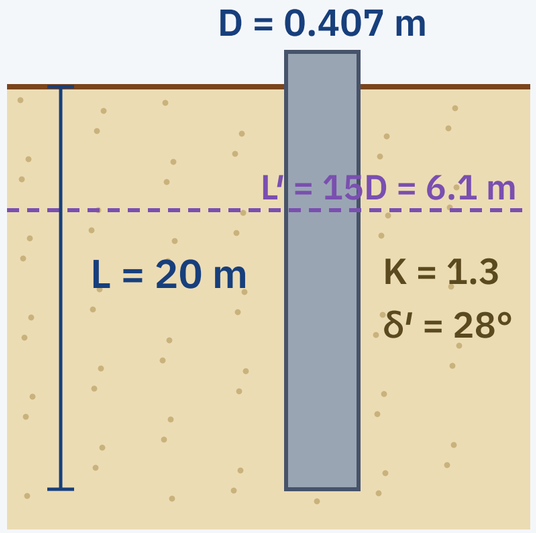
مثال

المعطيات

الخازوق والرمل	**كما في المثال 2: L = 20 m، D = 0.407 m، γ = 18 kN/m³**
المحيط	$p = 4D = 4(0.407) = 1.628$ m
المعاملات	$K = 1.3$ **(خازوق مدقوق عالي الإزاحة)**، $\delta' = 28^\circ$ $(\approx 0.8\varphi')$

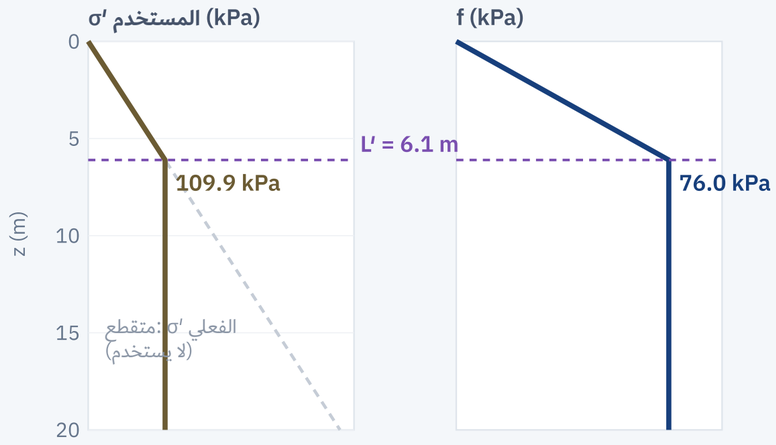
المطلوب

باعتبار العمق الحرج ($L' = 15D$)، أوجد **احتكاك الجذع** Q_s للخازوق.



الحل

الحل



1 العمق الحرج والإجهاد عند ذلك العمق

$$L' = 15D = 15(0.407) = \mathbf{6.105}\ \text{m} \qquad \sigma'(L') = 18(6.105) = 109.9\ \text{kPa}$$

2 L′ والاحتكاك الوحدوي عند الطرف (ثابت أسفل L′)

$$f_{L'} = K\,\sigma'(L')\tan\delta' = 1.3(109.9)\tan 28^\circ = \mathbf{76.0}\ \text{kPa}$$

3 Q_S: مساحة المثلث (0 – L′) + المستطيل (L′ – L) × المحيط

$$Q_s = p\left[\tfrac{1}{2} f_{L'} L' + f_{L'}(L - L')\right]$$
$$= 1.628\left[\tfrac{1}{2}(76.0)(6.10) + (76.0)(13.89)\right]$$

Q_S = 1,628 [231.9 + 1,055.4] = **2,096 kN**.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

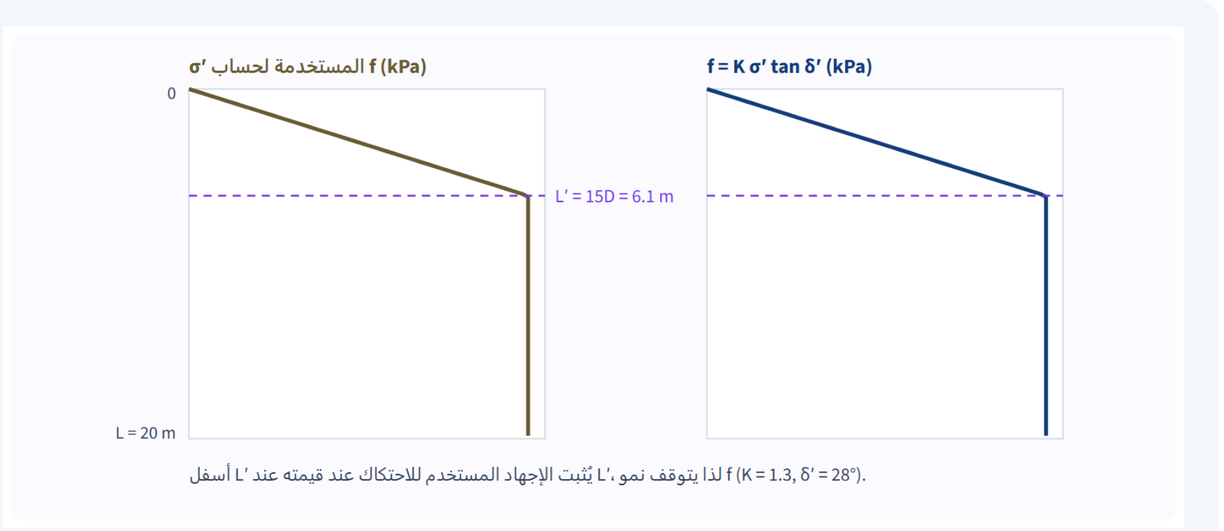
ماذا يحدث إذا نسينا العمق الحرج؟

النظرية

لنحسب الخازوق نفسه **دون اعتبار L′**، بافتراض أن الإجهاد يزداد خطياً حتى الطرف:

$$f_L = 1.3(360)\tan 28^\circ = 248.8 \text{ kPa}$$
$$Q_s = p\,\tfrac{1}{2} f_L L = 4{,}051 \text{ kN}$$

2,096 kN بدلاً من **4,051 kN**: أي زيادة قدرها نحو **93%**. إن إغفال العمق الحرج في الخازوق الطويل يؤدي إلى خطأ كبير في الجانب غير الآمن.



لذا يتوقف نمو f (K = 1.3, δ′ = 28°). يُثبت الإجهاد المستخدم للاحتكاك عند قيمته عند L′ أسفل L′.

Coyle وCastello: بإجهاد متوسط واحد

النظرية

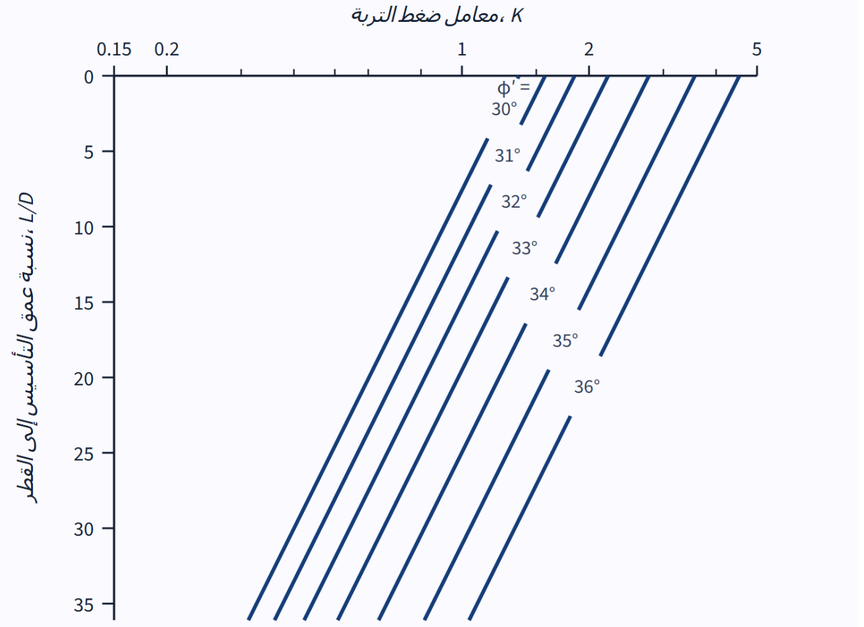
اقترح Coyle و Castello حساب احتكاك الجذع **دفعة واحدة بمتوسط الإجهاد الفعال على طول الجزء المدفون:**

$$Q_s = f_{av}\, p\, L = \left(K\, \bar{\sigma}'_o \tan\delta'\right) p\, L$$
$$\delta' = 0.8\varphi'$$

تحدد K من التجارب وتقرأ من المخطط البياني (على الجانب) بدلالة **L/D** و φ'.

لا يوجد عمق حرج منفصل: يؤدي أخذ المتوسط هذا الغرض

لذلك يمكن أن تعطي طريقتا المحيط **فروقاً كبيرة في الخوازيق الطويلة**



المسألة

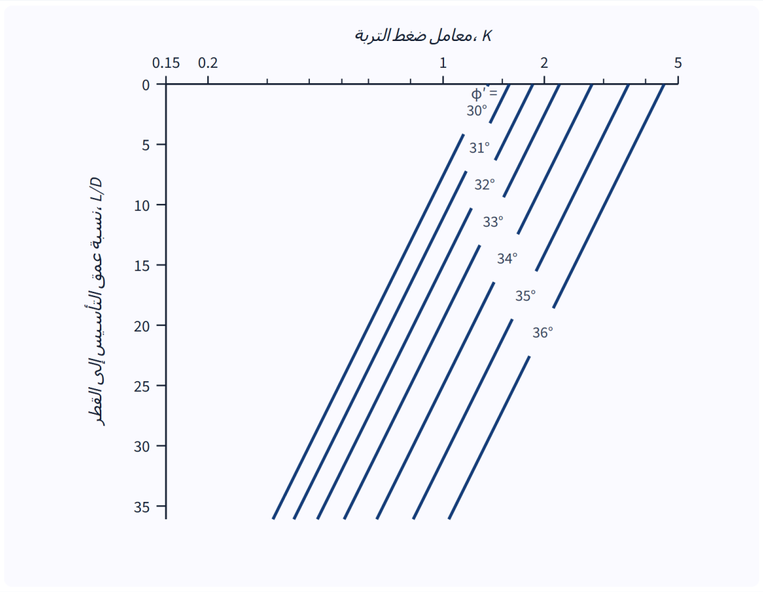
مثال

المعطيات

الخازوق والرمل	مطابق للمثال 2: L = 20 m، D = 0.407 m، φ′ = 35°، γ = 18 kN/m³
المعامل	$K \approx 0.41$ (الشكل 10؛ رُسم المخطط البياني حتى L/D = 36، وعند L/D ≈ 49 تُقرأ القيمة بتمديد المنحنى؛ تُدخل هذه القيمة في خانة K بالوحدة، فتملأ الوحدة القيمة 0.48 بحسب قراءتها الخاصة للمخطط)
زاوية الاحتكاك	$\delta' = 0.8\varphi' = 0.8(35^\circ) = 28^\circ$

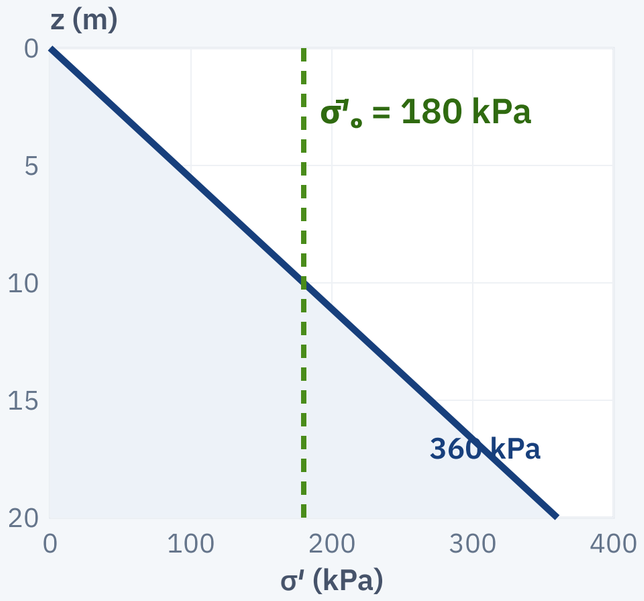
المطلوب

أوجد **احتكاك الجذع** Q_s للخازوق بطريقة **Coyle** و **Castello (1981)**.



الحل

الحل



1 متوسط الإجهاد الفعال على امتداد الجذع (رمل متجانس، لا يوجد منسوب مياه جوفية)

$$\bar{\sigma}'_o = \frac{\gamma L}{2} = \frac{18(20)}{2} = \mathbf{180}\ \text{kPa}$$

2 متوسط احتكاك الجذع النوعي

$$f_{av} = K\,\bar{\sigma}'_o \tan\delta' = 0.41(180)\tan 28^\circ = \mathbf{39.2}\ \text{kPa}$$

3 احتكاك الجذع

$$Q_s = f_{av}\,p\,L = 39.2(1.628)(20) = \mathbf{1{,}278}\ \text{kN}$$

تعطي طريقة K–δ′ (مع L′) **2,096 kN**، وتعطي طريقة Coyle–Castello **1,278 kN**: وفي هذا الخازوق الطويل يبلغ الفرق بينهما نحو 64%.

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**

يُختار الحد الأعلى إذا كانت التربة معروفة من عدد قليل من الجسات فقط أو إذا كانت قدرة التحمل معتمدة أساساً على **الإرتكاز**

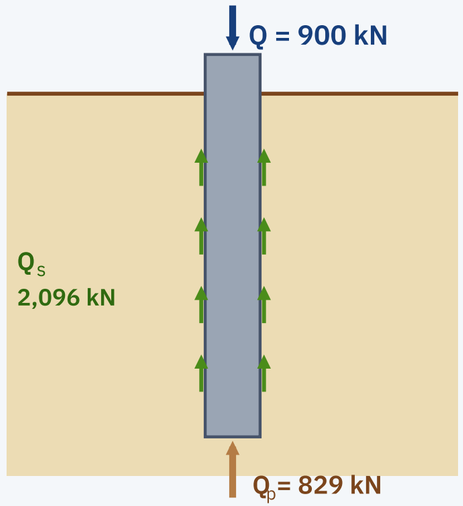
يمكن اختيار طريقتي الإرتكاز والجانبية **بشكل مستقل** إحداهما عن الأخرى؛ وتُفسَّر النتائج معاً

المسألة

مثال

المطلوب

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



المعطيات

مقاومة الإرتكاز	$Q_p = 829$ kN (Meyerhof، المثال 2)
احتكاك الجذع	$Q_s = 2{,}096$ kN (δ–K′، المثال 5)
معامل الأمان	FS = 3
حمل التشغيل الواقع على الخازوق	Q = 900 kN

الحل

الحل

1 قدرة التحمل القصوى

$$Q_u = Q_p + Q_s = 829 + 2{,}096 = \mathbf{2{,}925}\ \text{kN}$$

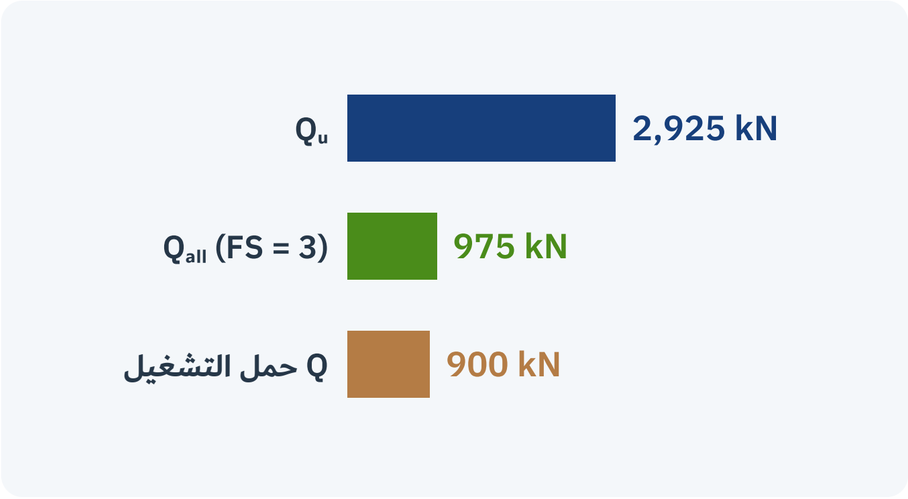
2 قدرة التحمل المسموح بها

$$Q_{all} = \frac{Q_u}{FS} = \frac{2{,}925}{3} = \mathbf{975}\ \text{kN}$$

3 التحقق

$$Q = 900\ \text{kN} \ \leq \ Q_{all} = 975\ \text{kN} \quad \Rightarrow \quad \text{كافٍ}$$

نسبة الاستخدام $Q / Q_{all} = 900 / 975 = \mathbf{0.92}$.



تحقق من الحل في GeoTerva ↗

الخازوق نفسه: Q_u و Q_{all} (FS = 3)

النظرية

Q_u · Q_{all} (kN)

	Q_s: K–δ Q_s' (مع L') 2,096 kN	Q_s: Coyle–Castello 1,278 kN
Q_p: Meyerhof 829 kN	**975** · 2,925	**702** · 2,107
Q_p: Vesic 1,721 kN	**1,272** · 3,817	**1,000** · 2,999
Q_p: Coyle–Castello 2,028 kN	**1,374** · 4,123	**1,102** · 3,305

بالنسبة إلى خازوق طوله عشرون متراً، تعطي طريقتان لحساب احتكاك الجذع وثلاث طرق لحساب مقاومة الإرتكاز ست قيم مختلفة للحمل Q_u: **2,107 – 4,123 kN**. أما اختيار التوليفة المناسبة فهو **قرار هندسي**.

فسّر المدى ولا تعتمد على رقم واحد

احتكاك الجذع يشكل الجزء الأكبر من المجموع: ويكون قرار **العمق الحرج** هو الحاسم

تحقق، إن أمكن، باستخدام **اختبار تحميل الخازوق**

النقاط الرئيسية

- $Q_u = Q_p + Q_s$؛ وفي الرمل يعتمد كلا المكونين على **الإجهاد الفعال**
- **Meyerhof**: N^*_q من φ'، وq_p محدودة ($q_l = 0.5 p_a N^*_q \tan\varphi'$)
- **Vesic**: $\sigma'_o N^*_\sigma$؛ يؤخذ في الحسبان صلابة الرمل (I_{rr}، m)
- **Coyle and Castello**: $N^*_q(\varphi', L/D)$ و$K(\varphi', L/D)$ ملايمان لقدرات التحمل المقاسة
- احتكاك الجذع: $f' = K\sigma'\tan\delta$، ثابت أسفل العمق **$L' \approx 15D$**
- $Q_{all} = (Q_p + Q_s)/FS$، حيث $FS = 2.5 - 4$

المراجع

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

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.

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.

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