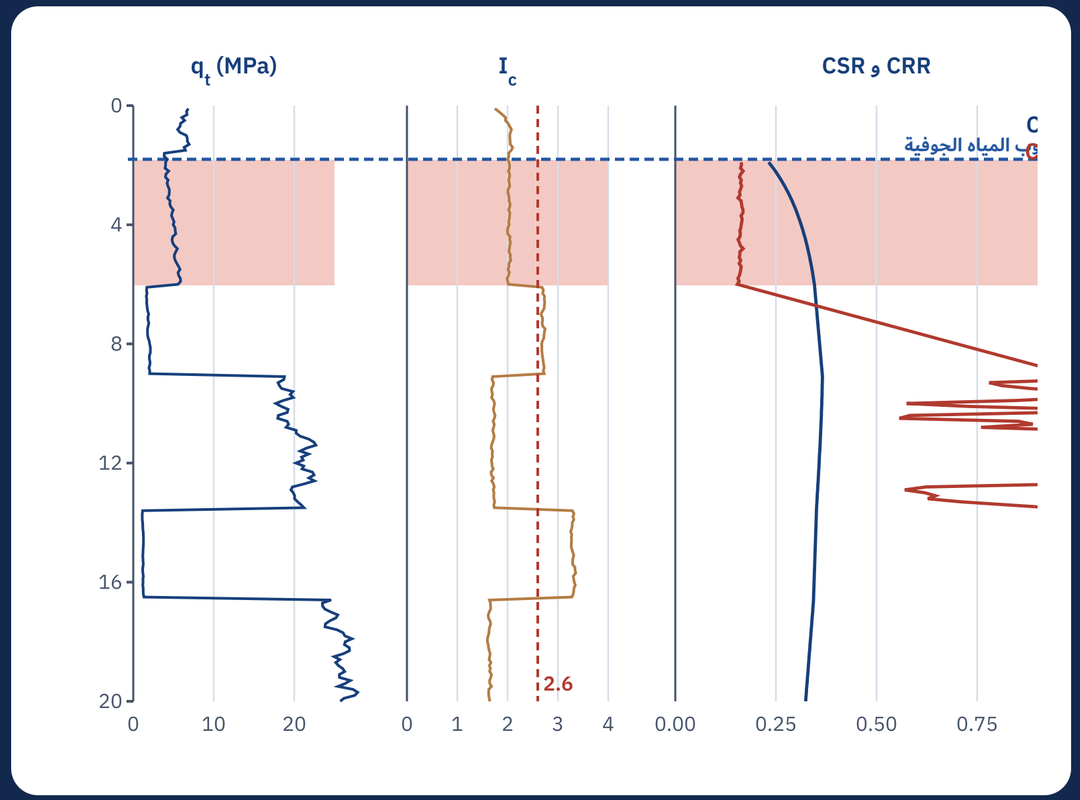
GeoTerva



شرائح محاضرات الجيوتكنيك · تميّع التربة

بدء تميّع التربة اعتماداً على CPT

المحاضرة: بدء تميّع التربة باستخدام CPT؛ تحل قراءة مخروط واحدة يدويا من البداية إلى النهاية بطريقتين (Boulanger–Idriss و Robertson–Wride)، وتعرض بقية القراءات في جداول.

بيانات المخروط · Ic | طريقتان | CSR · CRR · FS | المناطق

قابل للحل يدوياً

ماذا سنتعلم في هذه المحاضرة؟

إيجاد **مقاومة المخروط المصححة q_t** و**نسبة الاحتكاك R_f** و**مؤشر نوع سلوك التربة I_c** من سجل المخروط (q_c, f_s, u_2)

تقدير نوع التربة والوزن الحجمي ونسبة الحبيبات الناعمة من بيانات المخروط (لا يُدخل جدول الطبقات)

حزمتان متكاملتان: Boulanger–Idriss (2014) و Robertson–Wride (1998, NCEER)؛ ويتسم كل منهما بالاتساق الداخلي في التطبيع ومنحنى CRR ومعامل MSF ومعامل K_σ

FS = CRR/CSR، CSR، القراءات المستبعدة، **المناطق** وسماكة الطبقة المتميعة

قراءة واحدة (4.00 m) في إحدى الجسات بطريقتين يدوياً؛ والقراءات الأخرى في الجدول بالخطوات نفسها

تسلسل المحاضرة

يعالج كل موضوع في **ثلاث خطوات**:

1 · **النظرية**: المعادلة ومبرراتها

2 · **المسألة**: المعطيات والمطلوب

3 · **الحل**: خطوة بخطوة، بالأرقام

مثال: CPT-1 (منسوب المياه الجوفية 1.80 m؛ عمق 20 m، وفاصل 5 cm)؛ $M = 7.5$، $a_{max} = 0.35$ g، نسبة المساحة الصافية $a = 0.80$، $FS_{required} = 1.20$.

q_t وR_f والوحدات

النظرية

لما كان **المخروط** يعطي تسجيلاً شبه مستمر (فاصل القراءة 1–5 cm) فلا يلزم إدخال جدول للطبقات.

يُقدَّر نوع التربة والوزن الحجمي ونسبة الحبيبات الناعمة **من بيانات المخروط**.

عواقب التميّع — الهبوط والانتشار الجانبي وفقدان قدرة التحمل — خارج نطاق هذا الإصدار.

تحسب مقاومة المخروط المصححة بالعلاقة $q_t = q_c + (1 - a)\cdot u_2$، حيث a نسبة المساحة الصافية للمخروط (0.65–0.85؛ والقيمة الشائعة 0.80).

في الطين الرخو والغرين، حيث تكون قيمة u_2 أعلى بكثير من القيمة الهيدروستاتيكية، يكون للتصحيح أهمية، بينما يبقى صغيراً في الرمل؛ وإذا لم تسجل u_2 تؤخذ $q_t = q_c$.

$$q_t = q_c + (1 - a)\, u_2 \qquad R_f = \frac{f_s}{q_t} \times 100\,\%$$

γ من CPT؛ عمقان لمنسوب المياه الجوفية

النظرية

يقدر الوزن الحجمي في كل قراءة من بيانات CPT؛ وتقاس **R_f** بالنسبة المئوية (%)، وتبقى القيمة بين γ_w 1.5 و γ_w 2.5.

يُكامل الوزن الحجمي ابتداءً من السطح؛ أو تُستخدم بدلاً من ذلك قيمتان ثابتتان: γ فوق منسوب المياه الجوفية و γ_{sat} تحته.

يفترض ضغط ماء المسام هيدروستاتيكياً ابتداءً من منسوب المياه الجوفية؛ ويستخدم منسوب المياه الجوفية وقت الاختبار في حساب **C_N** و **I_c**، ومنسوب المياه الجوفية التصميمي في حساب CSR و K_σ.

$$\frac{\gamma}{\gamma_w} = 0.27 \log R_f + 0.36 \log \frac{q_t}{P_a} + 1.236 \qquad \sigma_v = \int \gamma \, dz \qquad u = \gamma_w (z - z_w) \qquad \sigma'_v = \sigma_v - u$$

I_c والأس n

النظرية

يحسب مؤشر نوع سلوك التربة بالعلاقة $I_c = [(3.47 - \log Q)^2 + (\log F + 1.22)^2]^{0.5}$.

يأخذ الأس n القيمة 0.5 في الرمال و 1.0 في الطين، ويحدد بالتكرار وفق Robertson & Wride (1998).

يستند سجل التربة في الرسومات إلى هذا التصنيف؛ وتدمج السلسلة التي تقل سماكتها عن h_{min} مع جارتها الأطول.

$$I_c = \left[(3.47 - \log Q)^2 + (\log F + 1.22)^2\right]^{0.5} \qquad Q = \frac{q_t - \sigma_v}{P_a}\left(\frac{P_a}{\sigma'_v}\right)^n \qquad F = \frac{f_s}{q_t - \sigma_v} \times 100\,\%$$

مدى I_c	1.31 >	2.05 – 1.31	2.60 – 2.05	2.95 – 2.60	3.60 – 2.95	3.60 <
التربة (Robertson 1990)	حصوي – رمل كثيف	الرمل: نظيف – غريني	خليط رملي	خليط غرين	طين	عضوي

أي قراءة تُعتمد؟

النظرية

تؤخذ القراءة في التقييم عندما تقع تحت منسوب المياه الجوفية التصميمي، وعلى عمق لا يزيد على العمق z_{max}، وفي تربة تسلك سلوك الرمل.

تُعامل التربة التي تزيد فيها قيمة I_c على قيمة $I_{c,lim}$ (الافتراضية 2.6) على أنها شبيهة بالطين؛ وتُترك هذه الترب لتحقق التليّن الدوري.

الحد الفاصل بين السلوك الشبيه بالرمل والسلوك الشبيه بالطين ليس حاداً؛ ويوصى بتكرار التحليل بالقيم $I_{c,lim}$ = 2.4 و 2.6 و 2.8.

في كل قراءة لا تكون فيها مقاومة المخروط الصافية $q_t - \sigma_v$ موجبة لا يمكن تعريف مؤشر سلوك التربة ولا تقيم القراءة؛ وتبقى القراءات المستبعدة في جميع الجداول مع أسباب استبعادها.

النظرية

$q_t \rightarrow q_{c1N} \rightarrow q_{c1Ncs}$

ولأن الأس في تطبيع Boulanger & Idriss (2014) يتوقف على النتيجة، يوجد C_N بالتكرار، وتحصر قيمة q_{c1Ncs} في علاقة m بين 21 و 254.

في العلاقة $FC = 80(I_c + C_{FC}) - 137$ يمثل C_{FC} معامل المطابقة للارتباط بين I_c ونسبة الحبيبات الناعمة؛ وتقابل القيمة 0 الارتباط العام، أما ±0.29 فتساوي انحرافاً معيارياً واحداً لهذا الارتباط.

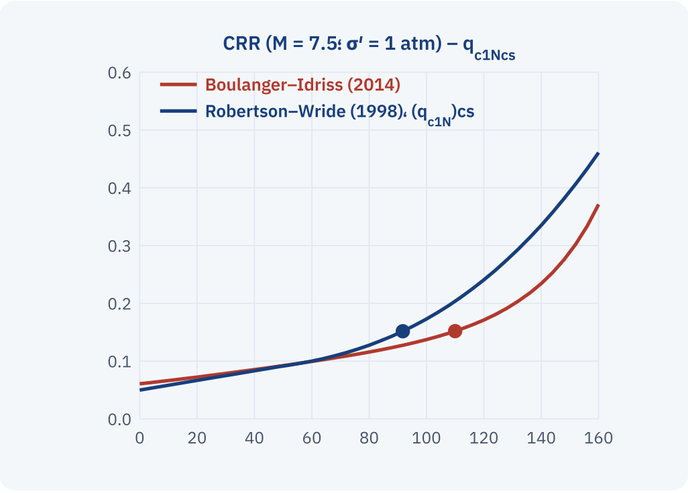
نظرا إلى كبر تشتت العلاقة الارتباطية، فإن قيمة C_{FC} الخاصة بالموقع، والمحددة من نسب الحبيبات الناعمة المخبرية لعينات مأخوذة من الجسات المجاورة لنقاط CPT، أكثر ملاءمة، ويجب تحديدها بصورة مستقلة لكل وحدة جيولوجية.

$$q_{c1N} = C_N \frac{q_t}{P_a} \qquad C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_v}\right)^m \leq 1.7 \qquad m = 1.338 - 0.249\, q_{c1Ncs}^{0.264}$$

$$FC = 80\,(I_c + C_{FC}) - 137 \qquad \Delta q_{c1N} = \left(11.9 + \frac{q_{c1N}}{14.6}\right) \exp\left[1.63 - \frac{9.7}{FC + 2} - \left(\frac{15.7}{FC + 2}\right)^2\right] \qquad q_{c1Ncs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N}$$

النظرية

CRR و MSF و K_σ



منحنى المقاومة وفق Boulanger & Idriss (2014) هو المنحنى الحتمي المعطى في التقرير، ويستند إلى المئين 16 من بيانات الحالات (ثابت 2.80).

يحصل على منحنى CRR(M=7.5; σ′=1) من القيمة q_{c1Ncs}؛ وعندما تزيد q_{c1Ncs} على 211 تؤخذ القيمة 211 لأن الحد C_σ قد بلغ.

σ'_v في العلاقة K_σ هو الإجهاد الفعال المقابل لمنسوب المياه الجوفية التصميمي.

$$CRR_{7.5,1} = \exp\left[\frac{q}{113} + \left(\frac{q}{1000}\right)^2 - \left(\frac{q}{140}\right)^3 + \left(\frac{q}{137}\right)^4 - 2.80\right] \qquad q = q_{c1Ncs}$$

$$MSF = 1 + (MSF_{max} - 1)(8.64e^{-M/4} - 1.325) \qquad MSF_{max} = 1.09 + \left(\frac{q}{180}\right)^3 \qquad K_\sigma = 1 - C$$

النظرية

Kc و CRR و MSF

تحسب مقاومة المخروط المصححة بالعلاقة $q_{c1N}(q_{c1N})_{cs} = K_c\, q_{c1N}$؛ ويتوقف K_c على Ic، ويأخذ القيمة 1 عندما Ic ≤ 1.64.

في الرمل النظيف الذي يكون فيه Ic < 2.36 > 1.64 وتقل نسبة الاحتكاك عن 0.5% يؤخذ $K_c = 1$ ولا يطبق تصحيح الحبيبات الناعمة.

ينتهي منحنى الرمل النظيف عند $(q_{c1N})_{cs} = 160$؛ وتواصل الوحدة العلاقة التكعيبية نفسها حتى القيمة 250 ($CRR_{7.5} = 1.5$) وتعلم القراءة.

$$q_{c1N} = C_Q \frac{q_t}{P_a} \quad C_Q = \left(\frac{P_a}{\sigma'_v}\right)^n \le 1.7 \qquad (q_{c1N})_{cs} = K_c\, q_{c1N} \qquad K_c = -0.403 I_c^4 + 5.581 I_c^3 - 21.63 I_c^2 + 33.75 I_c - 17.88$$

$$CRR_{7.5} = 0.833 \frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} + 0.05 \;(<50) \quad 93\left(\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000}\right)^3 + 0.08 \;(50\ldots160) \qquad MSF = \frac{102.24}{M^{2.56}} \quad K_\sigma = \left(\frac{\sigma'_v}{P_a}\right)^{f-1}$$

نسبة الإجهاد الدوري (CSR) وعلاقة r_d في الطريقتين

النظرية

تعطى نسبة الإجهاد الدوري (CSR) بالعلاقة $CSR = 0.65\,(\sigma_v/\sigma'_v)\,a_{max}\,r_d$، حيث σ_v و σ'_v إجهادان محسوبان بالنسبة إلى منسوب المياه الجوفية التصميمي.

يستخدم لمعامل تخفيض العمق r_d في طريقة B&I; علاقة Idriss، وفي طريقة R&W; علاقة Liao–Whitman؛ وتطبق تصحيحات القدر والغطاء الترابي على المقاومة لا على الإجهاد المسبب (الطلب).

$$CSR = 0.65\,\frac{\sigma_v}{\sigma'_v}\,a_{max}\,r_d \qquad r_d^{BI} = \exp[\alpha + \beta M] \qquad r_d^{RW} = 1.0 - 0.00765z\ (z \le 9.15\ \text{m})$$

z (m)	2	4	6	8	10	15	20
r_d وفق Boulanger–Idriss (M = 7.5)	0.991	0.972	0.949	0.924	0.896	0.822	0.750
r_d وفق Robertson–Wride	0.985	0.969	0.954	0.939	0.907	0.773	0.640

النظرية

FS = CRR / CSR

تمثل كل قراءة نصف المسافة إلى القراءة العليا والقراءة السفلى؛ ولا تتجاوز مسافة التمثيل هذه 0.25 m في أي من الاتجاهين، أو 3/4 من فاصل القراءة المعتاد إذا كان أكبر.

لا تستكمل أي فجوة في السجل بالاستقراء ضمن النتائج؛ بل تبقى سلسلة لم يجر تقييمها بوصفها «لا توجد قراءة» وتدرج في تحذير.

تشكل القراءات المتتالية ذات النتيجة نفسها سلسلة؛ وإذا كانت سماكة سلسلة ذات نتيجة واحدة أقل من h_{min} (الافتراضي 0.10 m) أخذت نتيجة جارتها الأطول، وتكون السلاسل المتجاورة ذات النتيجة نفسها مناطق.

كل طريقة وحدة متكاملة؛ فمعامل تخفيض الإجهاد والتطبيع وتصحيح الرمل النظيف ومعاملا القدر والغطاء الترابي ومنحنى المقاومة كلها مشتقة معاً من قاعدة بيانات حالات.

تنص مراجع الطريقتين على عدم خلط مكونات إحدى الطريقتين بمكونات الأخرى؛ ولذلك يغيّر اختيار الطريقة في الوحدة جميع هذه المكونات معاً.

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \qquad \text{FS} < 1 : \ 1 \qquad \text{يتميّع} \leq FS < FS_{req}\ (1.20) : \ \text{عند الحد}$$

المسألة

مثال

المعطيات

القراءة	$q_c = 4.956$ MPa، $f_s = 46.2$ kPa، $u_2 = 21.6$ kPa؛ نسبة المساحة الصافية $a = 0.80$
الموقع الميداني	منسوب المياه الجوفية $z_w = 1.80$ m (منسوب التصميم نفسه)؛ الوزن الحجمي من CPT (80 قراءة من 0 إلى 4 m)
الزلزال	$a_{max} = 0.35g$، $M = 7.5$؛ $C_{FC} = 0$؛ Robertson–Wride $f = 0.7$؛ $FS_{req} = 1.20$

المطلوب

q_t و σ'_v و I_c؛ ثم q_{c1Ncs} و CRR و CSR و FS بطريقتي Boulanger–Idriss و Robertson–Wride.

الحل (1/8)

الحل

1 مقاومة الإرتكاز المصححة ونسبة الاحتكاك

$$q_t = q_c + (1-a)u_2 = 4956 + (1-0.80)(21.6) = \mathbf{4{,}960.32}\ \text{kPa}$$

$$R_f = \frac{f_s}{q_t} \times 100 = \frac{46.2}{4{,}960.32} \times 100 = \mathbf{0.9314\ \%}$$

2 الوزن الحجمي (Robertson–Cabal)

$$\gamma = (0.27 \log R_f + 0.36 \log \tfrac{q_t}{P_a} + 1.236)\gamma_w = (1.8360)(9.81) = \mathbf{18.01}\ \text{kN/m}^3$$

3 الإجهادات

$$\sigma_v = \sum \tfrac{1}{2}(\gamma_{k-1} + \gamma_k)\Delta z = \mathbf{73.64}\ \text{kPa} \qquad u = 9.81(4.00 - 1.80) = 21.58\ \text{kPa}$$

$$\sigma'_v = \sigma_v - u = 73.64 - 21.58 = \mathbf{52.05}\ \text{kPa}$$

الإجهاد الرأسي الفعال **σ'_v = 52.05 kPa**.

الحل (2/8)

الحل

4 مقاومة الإرتكاز الصافية وF

$$q_t - \sigma_v = 4{,}960.32 - 73.64 = \mathbf{4{,}886.68}\ \text{kPa}$$

$$F = \frac{f_s}{q_t - \sigma_v} \times 100 = \frac{46.2}{4{,}886.68} \times 100 = \mathbf{0.9454\ \%}$$

5 تكرار الأس n (Robertson–Wride): أولاً n = 1.0 (محاولة بافتراض الطين)

$$Q = \frac{q_t - \sigma_v}{P_a}\left(\frac{P_a}{\sigma'_v}\right)^{1} = 93.88$$

$$I_c = \sqrt{(3.47 - \log 93.88)^2 + (\log 0.9454 + 1.22)^2} = \mathbf{1.9162} \le 2.6 \ \Rightarrow\ \text{ليس طيناً}$$

الحل (3/8)

الحل

6 تجريب n = 0.5 (رمل)

$$Q = 48.2278 \left(\frac{101.325}{52.05} \right)^{0.5} = 67.29$$

$$I_c = \sqrt{(3.47 - \log 67.29)^2 + (\log 0.9454 + 1.22)^2} = \mathbf{2.0312} \leq 2.6 \;\Rightarrow\; n = 0.5$$

2.6 ≥ **I_c = 2.031**: ليس شبيهًا بالطين، وتُقيَّم القراءة.

الحل (4/8)

الحل

7 نسبة الحبيبات الناعمة ($C_{FC} = 0$)

$$FC = 80\,(I_c + C_{FC}) - 137 = 80(2.0312) - 137 = \mathbf{25.50\ \%}$$

8 m و C_N مترابطان: تكرار الحساب مع q_{c1Ncs} ($x = q_t/P_a = 48.955$، $\sigma'_v = 52.05$)

التكرار	q_{c1Ncs} (مدخل)	C_N	m	$q_{c1N} = C_N q_t/P_a$	Δq_{c1N}	q_{c1Ncs} (ناتج)
1	48.955	1.5341	0.6425	75.100	44.128	119.227
2	119.227	1.3569	0.4582	66.427	42.590	109.017
3	109.017	1.3756	0.4788	67.342	42.752	110.094
4	110.094	1.3736	0.4766	67.242	42.734	109.977
…	…	…	…	…	…	…
13	109.988	1.3738	0.4768	67.252	42.736	109.988

يتقارب الحل بعد 13 تكرارا: $m = 0.4768$، $C_N = 1.3738$، $q_{c1N} = 67.252$، $\Delta q_{c1N} = 42.736 \rightarrow q_{c1Ncs} = 109.988$.

الحل (5/8)

الحل

9 المقاومة الأساسية (M = 7.5؛ 1 atm)، MSF و K_σ (q_{c1Ncs} = 109.99)

$$CRR_{7.5,1} = \exp[q/113 + (q/1000)^2 - (q/140)^3 + (q/137)^4 - 2.80] \quad (q = 109.99)$$

$$CRR_{7.5,1} = \exp[-1.8840] = \mathbf{0.1520}$$

$$MSF_{max} = 1.09 + (109.99/180)^3 = 1.3181$$

$$MSF = 1 + (1.3181 - 1)(8.64e^{-7.5/4} - 1.325) = \mathbf{1.0000}$$

$$C_\sigma = 1/(37.3 - 8.27(109.99)^{0.264}) = 0.1150$$

$$K_\sigma = 1 - 0.1150\ln(52.05/101.325) = \mathbf{1.0766}$$

.$CRR_{7.5;1}$ = **0.1520**; MSF = **1.0000**; K_σ = **1.0766** → CRR = **0.1636**

الحل (6/8)

الحل

10 الإجهاد المسبب (Idriss r_d) ومعامل الأمان

$$r_d = \exp[\alpha + \beta M] = \exp[-0.1971 + 0.0225(7.5)] = 0.9718$$

$$CSR = 0.65\,\frac{\sigma_v}{\sigma'_v}\,a_{max}\,r_d = 0.65\left(\frac{73.64}{52.05}\right)(0.35)(0.9718) = \mathbf{0.3127}$$

$$CRR = CRR_{7.5,1}\cdot MSF\cdot K_\sigma = 0.1520(1.0000)(1.0766) = 0.1636$$

$$FS = \frac{CRR}{CSR} = \frac{0.1636}{0.3127} = \mathbf{0.523}$$

Boulanger–Idriss: **FS = 0.523 < 1**، يحدث تميّع التربة.

الحل (7/8)

الحل

11 C_Q و q_{c1N} (قيمة n = 0.5 نفسها)

$$C_Q = (P_a/\sigma'_v)^{0.5} = (101.325/52.05)^{0.5} = 1.3952$$

$$q_{c1N} = C_Q \frac{q_t}{P_a} = 1.3952(48.955) = 68.300$$

12 K_c ($1.64 < I_c < 2.36$: $I_c = 2.031$ لكن $F = 0.945\% \geq 0.5$: يطبق تصحيح الحبيبات الناعمة)

$$K_c = -0.403I_c^4 + 5.581I_c^3 - 21.63I_c^2 + 33.75I_c - 17.88 = \mathbf{1.3430}$$

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c\, q_{c1N} = 1.3430(68.300) = \mathbf{91.727}$$

في طريقة Robertson–Wride يكون أثر الحبيبات الناعمة **معامل الضرب** (1.343) **K_c**، وفي طريقة Boulanger–Idriss **تُضاف** (Δq_{c1N} (+42.7)؛ $q_{c1Ncs} = 109.99(q_{c1N})$، cs = 91.73.

الحل (8/8)

الحل

13 المقاومة، الإجهاد المسبب (r_d Liao–Whitman؛ $K_\sigma = 1$ لأن $\sigma'_v < P_a$) و FS

$$CRR_{7.5} = 93\left(\frac{91.727}{1000}\right)^3 + 0.08 = 0.1518 \qquad MSF = \frac{102.24}{7.5^{2.56}} = 0.9996$$

$$r_d = 1 - 0.00765(4) = 0.9694 \qquad CSR = 0.65\left(\frac{73.64}{52.05}\right)(0.35)(0.9694) = 0.3120$$

$$FS = \frac{CRR_{7.5}}{CSR}\,MSF\,K_\sigma = \frac{0.1518}{0.3120}(0.9996)(1) = \mathbf{0.486}$$

تصل الحزمتان الحسابيتان إلى النتيجة نفسها: **Robertson–Wride FS = 0.523، Boulanger–Idriss FS = 0.486**؛ وكلتاهما < 1. ويأتي الفرق بينهما من تصحيح الحبيبات الناعمة ومن r_d.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

مثال

المسألة

المعطيات

الجسة	**CPT-1: 20 m، 400 قراءة بفواصل 5 cm؛ منسوب المياه الجوفية 1.80 m**
الطرق	**Boulanger–Idriss وRobertson–Wride؛ تحل كل قراءة بخطوات المثال 1**

المطلوب

لقراءة كل متر: **I_c، R_f، q_t، التربة، q_{c1Ncs}، σ'_v، FS، CRR، CSR** (بالطريقتين) والقرار.

الحل (1/2)

الحل

z (m)	q_t (MPa)	% R_f	I_c	التربة	σ'_v	q_{c1Ncs} (BI)	CSR (BI)	FS (BI)	cs (RW)(q_{c1N})	FS (RW)	القرار (BI / RW)
1	6.58	2.27	2.04	رمل	19.4	–	–	–	–	–	*فوق منسوب المياه الجوفية*
2	4.02	0.93	2.04	رمل	36.0	108.4	0.238	0.691	90.1	0.626	تتميّع / تتميّع
3	4.46	0.87	2.02	رمل	43.9	107.1	0.283	0.569	88.8	0.514	تتميّع / تتميّع
4	**4.96**	**0.93**	**2.03**	**رمل**	**52.1**	**110.0**	**0.313**	**0.523**	**91.7**	**0.486**	**يتميّع / يتميّع**
5	5.12	0.95	2.05	رمل	60.3	109.7	0.332	0.483	90.2	0.445	تتميّع / تتميّع
6	5.57	0.84	2.02	رمل	68.6	107.2	0.346	0.445	88.4	0.415	تتميّع / تتميّع
7	1.92	2.43	2.66	خليط غرين	76.4	–	–	–	–	–	*شبيه بالطين*
8	2.03	2.40	2.68	خليط غرين	84.3	–	–	–	–	–	*شبيه بالطين*
9	2.03	2.55	2.73	خليط غرين	92.3	–	–	–	–	–	*شبيه بالطين*
10	17.69	1.00	1.74	رمل	102.5	173.9	0.364	1.579	184.9	1.808	آمن / آمن
11	20.25	1.03	1.72	رمل	112.8	192.7	0.361	3.455	199.1	2.187	آمن / آمن
12	20.21	0.88	1.69	رمل	123.3	186.2	0.357	2.527	186.1	1.821	آمن / آمن
13	19.88	0.95	1.73	رمل	133.8	177.5	0.353	1.758	180.8	1.689	آمن / آمن
14	1.17	3.85	3.28	طين	142.9	–	–	–	–	–	*شبيه بالطين*
15	1.21	3.91	3.30	طين	150.6	–	–	–	–	–	*شبيه بالطين*
16	1.22	3.91	3.33	طين	158.3	–	–	–	–	–	*شبيه بالطين*
17	24.54	0.77	1.63	رمل	167.3	206.1	0.341	6.842	188.5	1.951	آمن / آمن
18	26.33	0.71	1.60	رمل	177.7	218.9	0.335	9.233	196.2	2.212	آمن / آمن
19	26.27	0.79	1.64	رمل	188.3	213.7	0.330	9.199	189.9	2.069	آمن / آمن
20	25.71	0.76	1.65	رمل	198.9	203.9	0.324	5.959	181.1	1.868	آمن / آمن

الحل (2/2)

الحل

1 من القراءة إلى المنطقة: تمثل كل قراءة حتى نقاط المنتصف المجاورة (0.25 m كحد أقصى)؛ وتُدمج النتائج المتطابقة

الطريقة	منطقة التميّع (m)	السماكة (m)	عند الحد (m)	أدنى FS	z (m)
Boulanger–Idriss	6.03 – 1.83	**4.20**	0.00	0.445	6.00
Robertson–Wride	6.03 – 1.83	**4.20**	0.00	0.415	6.00

تعد الطريقتان معا المجال **1.83 – 6.03 m** (4.20 m) في CPT-1 متميعا؛ وتقع أصغر قيمة لـ FS في الطريقتين عند 6.0 m. والسطر 4.0 m هو المثال 1 المحلول يدويا. أما الطبقة الشبيهة بالغرين بين 6 – 9 m (I_c > 2.6) فتعد شبيهة بالطين وتستبعد في الأسطر 7 – 9 m.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

مثال

المعطيات

الجسات	**CPT-1 (منسوب المياه الجوفية 1.80 m)، CPT-2 (2.40 m)، CPT-3 (3.10 m)؛ المعاملات نفسها**
المقارنة	**كل طريقة بحزمتها الخاصة**

المطلوب

أصغر FS لكل جسة، وسماكات الطبقات **المتميعة** و**الحدّية**.

الحل

الحل

الجسة	منسوب المياه الجوفية (m)	الطريقة	أدنى FS	z (m)	المناطق المتميّعة (m)	السماكة (m)	عند الحد (m)
CPT-1	1.80	Boulanger–Idriss	**0.445**	6.00	6.03 – 1.83	4.20	0.00
		Robertson–Wride	**0.415**	6.00	6.03 – 1.83	4.20	0.00
CPT-2	2.40	Boulanger–Idriss	**0.605**	7.10	7.53 – 2.62	4.90	0.85
		Robertson–Wride	**0.640**	7.10	7.53 – 2.67	4.85	0.25
CPT-3	3.10	Boulanger–Idriss	**0.655**	8.50	10.03 – 5.03	5.00	0.00
		Robertson–Wride	**0.683**	8.50	10.03 – 5.03	5.00	0.00

في كل جسة تظهر الطريقتان كلتاهما حدوث تميّع التربة؛ وتكاد سماكات الطبقات المتميعة تكون متطابقة (4.2 – 5.0 m). وتكمن الفروق في السماكة الحدية (CPT-2: 0.85 / 0.25 m) وفي أصغر قيمة لـ FS. وأصغر قيمة لـ FS **حساسة للضوضاء**؛ أما السماكة فهي القيمة الأكثر استقراراً.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

المسألة

مثال

المعطيات

الحالة الأساسية	**CPT-1:** $a_{max} = 0.35g$، $M = 7.5$، $I_{c,lim} = 2.6$، $C_{FC} = 0$، **منسوب المياه الجوفية التصميمي = منسوب المياه الجوفية في الاختبار (1.80 m)**
المتغيرات	**واحد فقط في كل مرة:** $I_{c,lim}$ **2.4 / 2.8؛** C_{FC} ∓ 0.29؛ a_{max} **0.25g / 0.45g؛ منسوب المياه الجوفية التصميمي 1.0 m**

المطلوب

أدنى قيمة لـ FS و**السماكة المتميعة** للجسة CPT-1 (طريقتان)؛ والتحقق اليدوي من FC من أجل C_{FC}.

الحل (1/2)

الحل

الحالة	التغيير	FS_{min} (BI)	z (m)	السماكة (m)	FS_{min} (RW)	z (m)	السماكة (m)
القاع	–	0.445	6.00	**4.20**	0.415	6.00	**4.20**
تقل قيمة $I_{c,lim}$	2.4	0.445	6.00	**4.20**	0.415	6.00	**4.20**
$I_{c,lim}$ يزداد	2.8	0.318	8.80	**7.20**	0.391	8.45	**7.20**
C_{FC}	0.29–	0.318	6.00	**4.20**	–	–	–
C_{FC}	0.29+	0.579	6.00	**4.20**	–	–	–
تقل a_{max}	0.25g	0.624	6.00	**4.20**	0.582	6.00	**4.20**
a_{max} تزداد	0.45g	0.346	6.00	**4.20**	0.323	6.00	**4.20**
يرتفع منسوب المياه الجوفية التصميمي	1.0 m	0.400	6.00	**4.50**	0.368	6.00	**4.50**

$I_{c,lim}$ = 2.8 هو المدخل الأكثر تأثيراً: إذ يدخل في الحساب الرمل الغريني بين 6 و 9 m (I_c من 2.6 إلى 2.8)، ويرتفع سمك الطبقة المتميعة من 4.2 إلى **7.2 m**، وتصبح FS_{min} ≈ 0.32. ولا يوجد C_{FC} إلا في طريقة B&I، وهو يغير FS بين 0.32 و 0.58؛ أما a_{max} ومنسوب المياه الجوفية التصميمي فلا يغيران السمك كثيراً.

الحل (2/2)

الحل

1 تأثير C_{FC} في نسبة الحبيبات الناعمة عند قراءة المثال (I_c = 2.031)

$$C_{FC} = -0.29: \quad FC = 80(2.0312 - 0.29) - 137 = \mathbf{2.30\ \%}$$

$$C_{FC} = 0: \quad FC = 80(2.0312) - 137 = \mathbf{25.50\ \%}$$

$$C_{FC} = +0.29: \quad FC = 80(2.0312 + 0.29) - 137 = \mathbf{48.70\ \%}$$

48.7 ← 25.5 ← FC 2.3 % (عدم اليقين في I_c يغير FC كثيراً): ولذلك فإن تصحيح الحبيبات الناعمة Δq_{c1N} غير مؤكد، ويتطلب تحديد **C_{FC} الخاص بالموقع** نسب حبيبات ناعمة مخبرية بجوار الجسة.

تحقق من الحل في GeoTerva ↗

النقاط الرئيسية

سجل المخروط ← $q_t = q_c + (1 - a)u_2$، R_f، γ (من CPT)، σ'_v، **I_c** (تكرار قيمة n)؛ $I_c > 2.6$ شبيه بالطين، يُستبعد

حزمتا حساب: طريقة Boulanger–Idriss ($FC = 80(I_c + C_{FC}) - 137$, q_{c1Ncs}, CRR, MSF, K_σ) وطريقة Robertson–Wride (يستخدم فيها K_C معاملَ ضرب، وتكون CRR تكعيبية)؛ ولا تخلط مكونات إحداهما بمكونات الأخرى

مثال (4.00 m): σ'_v 52.05 kPa، I_c 2.031؛ B&I q_{c1Ncs} 109.99، CRR 0.1636، CSR 0.3127 → **FS 0.523**؛ R&W $(q_{c1N})cs$ 91.73، $CRR_{7.5}$ 0.1518، CSR 0.3120 → **FS 0.486**

المنطقة: تمتد حتى نقاط المنتصف المجاورة (≥ 0.25 m)، وتندمج المقاطع الأقل من $h_{min} = 0.10$ m؛ الطبقة المتميّعة في 4.20) CPT-1: 1.83 – 6.03 m)

الحساسية: $I_{c,lim}$ و C_{FC} مؤثران؛ أصغر FS حساس للتشويش، والسماكة أكثر استقراراً؛ النتائج تتعلق ببدء التميّع فقط، أما عواقبه (الهبوط، الانتشار الجانبي) فتحتاج إلى حساب منفصل

المراجع

Boulanger, R.W., Idriss, I.M. (2014). CPT and SPT based liquefaction triggering procedures. Report UCD/CGM-14/01, University of California, Davis.

Robertson, P.K., Wride, C.E. (1998). Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal, 35(3), 442–459.

Youd, T.L., Idriss, I.M. et al. (2001). Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops. J. Geotech. Geoenviron. Eng., 127(10), 817–833.

Robertson, P.K. (1990). Soil classification using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal, 27(1), 151–158.

Robertson, P.K., Cabal, K.L. (2010). Estimating soil unit weight from CPT. Proc. 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, Huntington Beach.

Idriss, I.M. (1999). An update to the Seed–Idriss simplified procedure for evaluating liquefaction potential. Proc. TRB Workshop, FHWA-RD-99-165.

Liao, S.S.C., Whitman, R.V. (1986). Overburden correction factors for SPT in sand. J. Geotech. Eng., ASCE, 112(3).

Hynes, M.E., Olsen, R.S. (1999). Influence of confining stress on liquefaction resistance. Proc. International Workshop on the Physics and Mechanics of Soil Liquefaction, Balkema.

Idriss, I.M., Boulanger, R.W. (2008). Soil liquefaction during earthquakes. EERI Monograph MNO-12.

ملاحظة

جميع الأمثلة العددية مستخرجة بمحرك الحساب الخاص بالوحدة؛ وتعطي الوحدة القيم نفسها. والمشروع الابتدائي للوحدة هو هذه الجسات الثلاث (a_{max} = 0.35g، M = 7.5).

حسابات الجيوتكنيك عبر الإنترنت

من النظرية إلى التطبيق

الصق جسات اختراق المخروط الخاصة بك (q_c، f_s، u_2) أو استوردها من ملف؛ وأدخل منسوب المياه الجوفية ومعاملات الزلزال. وتعطي الوحدة لكل قراءة معاً I_c، CSR، FS، CRR، والمناطق، وسمك الطبقة المتميعة، ونتائج الطريقتين، والمقطع الملون بالنطاقات، والحل خطوة بخطوة، والتقرير.

افتح الوحدة ←

صفحة النظرية ←

افتح على الهاتف

لا تتطلب الوحدات التجريبية تسجيلاً.

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