الفصل الثالث : قدرة تحمل التربة تحت الأساسات السطحية

مقدمة

عندما تنتقل حمولة موزعة بواسطة الأساس إلى التربة فإن التربة تبدأ بالهبوط, ويزداد الهبوط بتزايد الاجهادات المنقولة إلى التربة, حتى تصل الاجهادات إلى قيمة تتجاوز تحمل التربة, فيغوص الأساس وتنهار التربة, كما يمكن أن يحدث الانهيار نتيجة للدوران الكبير للأساس (الشكل 1-3) .

يسمى الانهيار الناتج عن الهبوط الكبير والحركة الأفقية, نتيجة لنقص مقاومة التربة, بانهيار القص للتربة, ويسمى الاجهاد المسبب للانهيار بقدرة التحمل الحدية للتربة ويرمز لها بـ q_u.

يستدعي تصميم الأساسات السطحية حساب قدرة تحمل التربة واعتماد عامل أمان مناسب يضمن من جهة عدم انهيار التربة بالقص, ويحد من جهة أخرى من هبوط الأساسات بحيث تبقى ضمن الحدود المسموحة.

الشكل 1-3 : انهيار التربة تحت صومعة نتيجة للدوران الكبير للأساسات(Vesic, 1975)

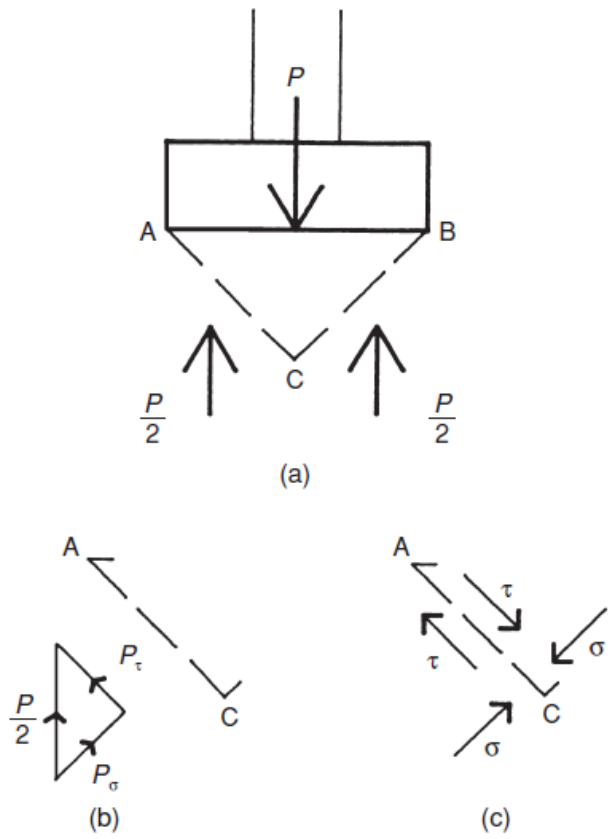
3. 1 : أنماط الانهيار بالقص

قبل التطرق إلى أنماط الانهيار بالقص لا بد من فهم آلية نقل حمولة الأساس إلى التربة وكيفية مقاومة الاجهادات المنقولة إلى التربة. لنفرض أساساً محملاً بحمولة شاقولية P متجهة نحو الأسفل (الشكل 2-3), تدفع هذه القوة اسفين التربة المثلثي نحو الأسفل فيتم مقاومة هذه الحمولة من التربة بردي فعل متجهين نحو الأعلى (P/2 على كل مثلث) (الشكل 2a-3). يمكن تحليل كل رد فعل إلى مركبتين إحداهما $P\sigma$ موازية والأخرى $P\tau$ عمودية على كل من المستويين AC و BC (الشكل 2b-3).

تعطى مقاومة القص للتربة حسب معادلة كولومب بالعلاقة 1-3 التالية :

$$\tau = C + \sigma \tan\phi \qquad (3-1)$$

حيث يمثل C تماسك التربة, f زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة, و σ الاجهاد الناظمي على مستوي القص.



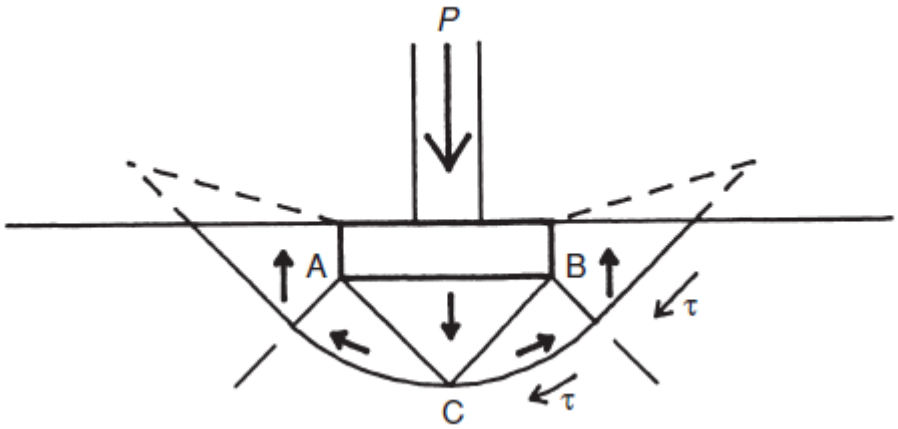
الشكل 2-3: الاجهادات الناظمية والمماسية لإسفين التربة المثلثي

في أغلب الترب الغضارية عندما ينغرز الاسفين المثلثي للتربة فإنه يقلقل ويدفع التربة على جانبي الاسفين (الشكل 3-3), وهذا يؤدي إلى تعبئة مقاومة قص إضافية على طول مستويات القلقلة. يتعلق طول مستويات القلقلة بنمط الانهيار بالقص الذي يمكن أن يحدث, وهذا الأخير يتعلق بشكل أساسي بنوعية ومواصفات التربة, حيث يمكن أن تنهار التربة بالقص وفق ثلاثة أنماط أساسية:

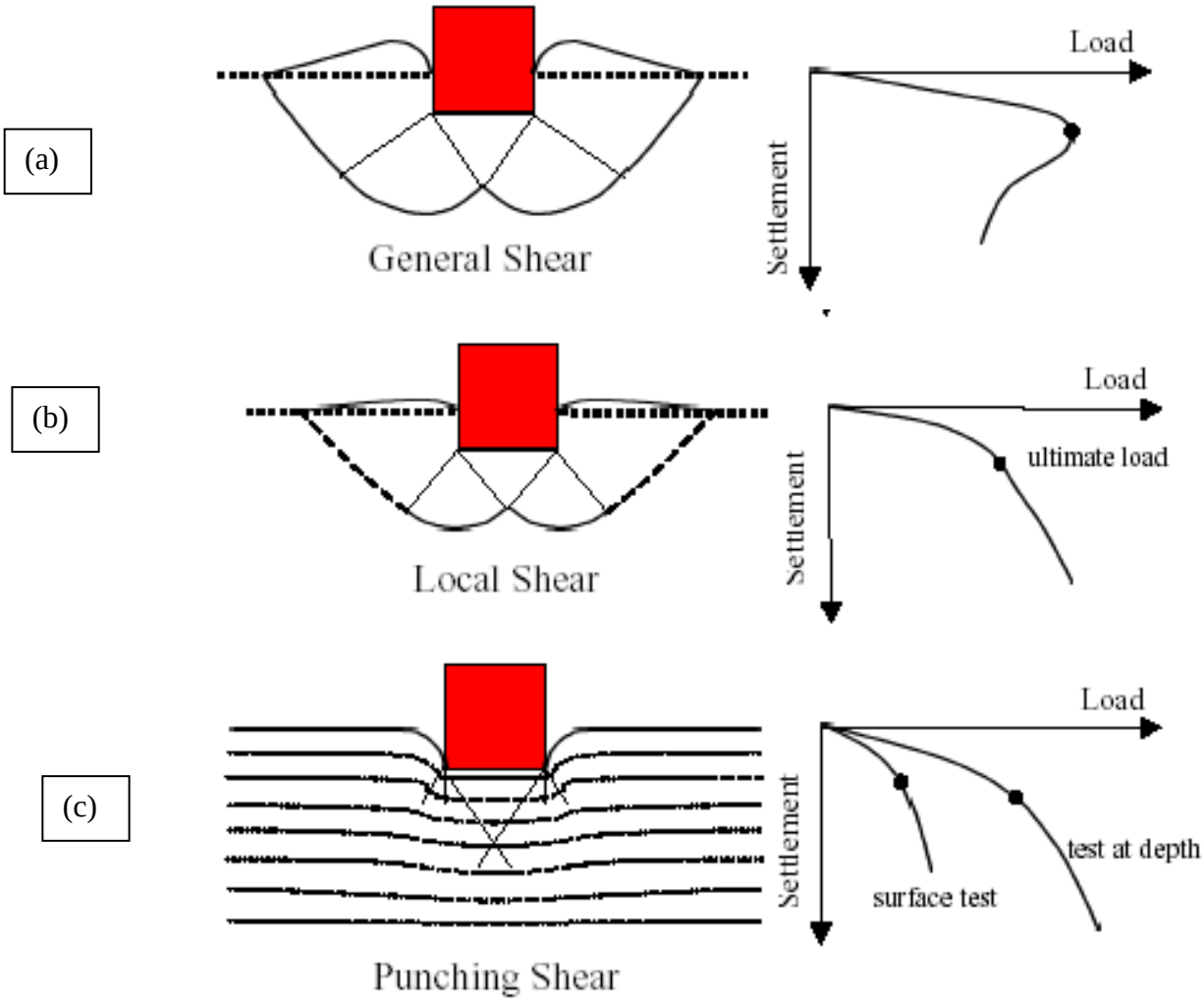
أ- الانهيار بالقص العام : أثناء تحميل الأساس يقوم الجزء الموجود تحت الأساس (الاسفين) بالنزول للأسفل, وبزيادة الاجهادات يتشكل في التربة ما يدعى بمستويات الانزلاق (الشكل 3-4a) و عندما يتجاوز الاجهاد المنقول بواسطة الأساس قدرة التحمل الحدية للتربة تحصل هبوطات كبيرة مفاجئة وحركة جانبية وميلان للأساس مع ارتفاع التربة بالقرب من الأساس.

ب- الانهيار بالقص الموضعي : في بعض الحالات, لا تتشكل مستويات الانزلاق بشكل واضح ولا تستمر حتى سطح التربة ويسمى بالقص الموضعي (الشكل 3-4b). ويرافق القص الموضعي هبوط للتربة تحت الأساس مع ارتفاع ضئيل للتربة بالقرب من الأساس, ولا يحدث عادة انهيار تام كما لا يحدث دوران أو ميلان للأساس (Vesic, 1975), ويمكن أن يحدث الانهيار بالقص الموضعي في الترب بالمخلخلة والترب الغضارية الرخوة.

ت- الانهيار بالثقب : هناك نوع آخر للانهيار يسمى الانهيار بالثقب حيث لا تصل مستويات الانزلاق حتى سطح التربة, ويرافق الانهيار بالثقب عادة هبوط للتربة تحت الأساس دون ارتفاع التربة بالقرب من الأساس (الشكل 3-4c).



الشكل 3-3: سلوك الإسفين المثلثي في الترب المتماسكة



الشكل 3-4 : أنماط الانهيار بالقص

(a) الانهيار بالقص العام, (b) الانهيار بالقص الموضعي, (c) الانهيار بالثقب

بشكل عام, يمكن تصنيف أهم الحالات التي يمكن أن تسلك فيها التربة نمط الانهيار بالقص الموضعي أو بالثقب بالتالي :

1- الترب الرملية المخلخلة
2- الغضار عالي الحساسية (st >8 , اعتماداً على مقاومة الضغط الحر)
3- الترب الانخفاسية : سيلت, غضار (OCR >4-8), حيث يظهر الغضار الهش مقاومة عالية عند التشوهات المنخفضة وانخفاضاً واضحاً في المقاومة عند التشوهات الكبيرة.
4- أساس متوضع على طبقة رمل عالي التراص وقليلة السماكة, مستندة على رمل مخلخل أو على غضار رخو.
5- عندما تكون أبعاد الأساسات صغيرة جداً
6- عندما يكون عمق التأسيس كبيراً

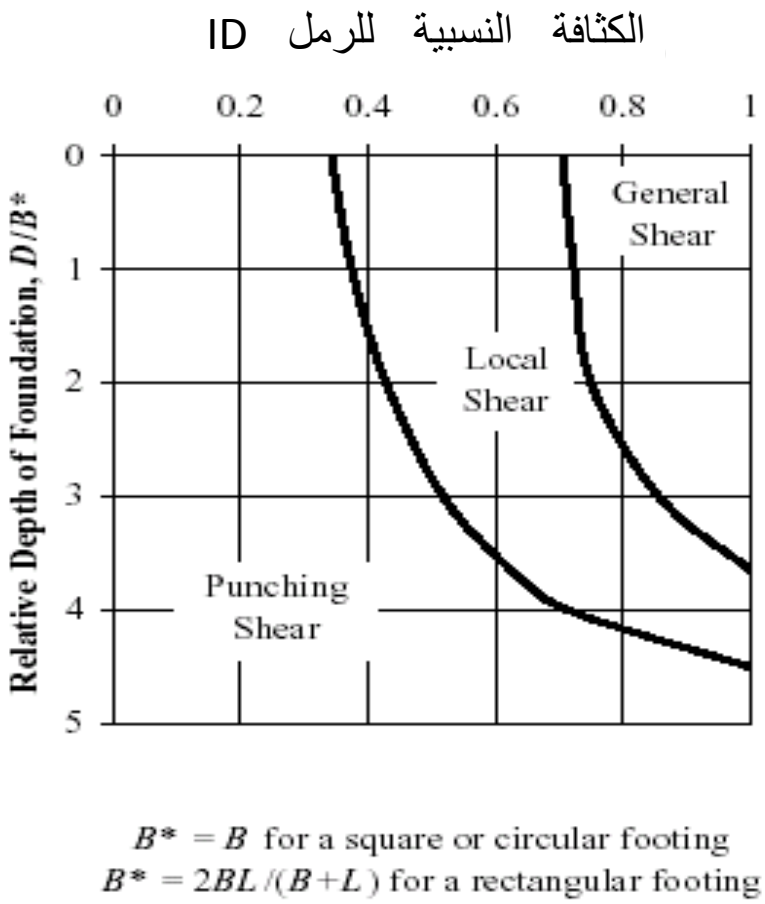
يبين الشكل 5-3 الحدود التقريبية لكل نوع من هذه الانهيارات في الرمل, بدلالة العمق Df/B* والكثافة النسبية Dr.

عندما يكون هناك احتمال لسلوك التربة نمط الانهيار بالقص الموضعي أو بالثقب فإنه ينصح بتخفيض بارامترات مقاومة القص (C,ϕ) للتربة واستخدام C^* و ϕ'^* بدلاً منها, حيث :

$$C'^* = \frac{2}{3}C' \qquad \phi'^* = \tan^{-1}\left(\frac{2}{3}\tan\phi'\right) \qquad (3-2)$$

ϕ' زاوية الاحتكاك الداخلية الفعالة للتربة

C' تماسك التربة المصرف



الشكل (3-5) : تغير طبيعة الانهيار بالقص في الرمل المشدد طبيعياً مع الكثافة النسبية وعمق التأسيس (vesic, 1975)

3. 2 : قدرة التحمل الحدية q_u:

إن الطريقة العامة الأكثر قبولاً لحساب قدرة تحمل التربة الحدية تفترض أنه عند الانهيار تكون التربة تحت الأساس ,على طول مستوي حدي يسمى بمستوي الانزلاق (الشكل 3-6), على حافة الانهيار. يسمى الاجهاد المطبق من الأساس واللازم لإحداث الانهيار بقدرة التحمل الحدية q_u التي يمكن كتابة معادلتها العامة بالشكل:

$$q_u = \sigma'_D N_q s_q + 0.5\gamma'_H B N_\gamma s_\gamma + C N_c s_c \qquad (3-3)$$

حيث,

C تماسك التربة, kN/m^2

B عرض الأساس, m

γ'_H الوزن الحجمي الوسطي الفعال للتربة ضمن مستوي الانزلاق, kN/m^3

σ'_D الاجهاد الإضافي الفعال عند منسوب التأسيس, kN/m^2 ($\sigma'_D = \gamma'_D . D_f$)، حيث γ'_D الوزن الحجمي الوسطي الفعال للتربة فوق منسوب التأسيس, D_f عمق التأسيس أو بعد أسفل الأساس عن سطح التربة.

N_γ, N_q, N_c عوامل قدرة التحمل للتربة, وهي تتعلق فقط بزاوية الاحتكاك الداخلي للتربة ضمن مستوي الانزلاق.

s_γ, s_q, s_c عوامل التصحيح (أو عوامل الشكل).

3. 3: قدرة التحمل الحدية الصافية $q_{u\text{-}net}$:

تعرف قدرة التحمل الحدية الصافية بأنها أصغر إجهاد إضافي يمكن تطبيقه على التربة بواسطة الأساس ويمكن أن يسبب انهياراً للتربة بالقص, ويساوي إلى الفرق بين قدرة التحمل الحدية والاجهاد الناتج عن وزن التربة فوق منسوب التأسيس, ويعطى بالعلاقة

$$q_{u-net} = q_u - \sigma'_D$$

3. 4 : قدرة التحمل الأمينة الصافية $q_{s\text{-}net}$:

تعبر عن الاجهاد الأعظمي الصافي الذي ينقله الأساس بأمان إلى التربة دون حدوث انهيار بالقص, ويتم الحصول عليها من تقسيم قدرة التحمل الحدية الصافية على عامل أمان مناسب FS, وتعطى بالعلاقة : $q_{s-nett} = \frac{q_{u-net}}{F_S}$

تتعلق قيمة عامل الأمان بنوعية المنشأ ونوعية الأساسات وبطبيعة وسلوك التربة, ويتم عادة استخدام عامل أمان مساوٍ لـ 3 للغضار و 2 للرمل.

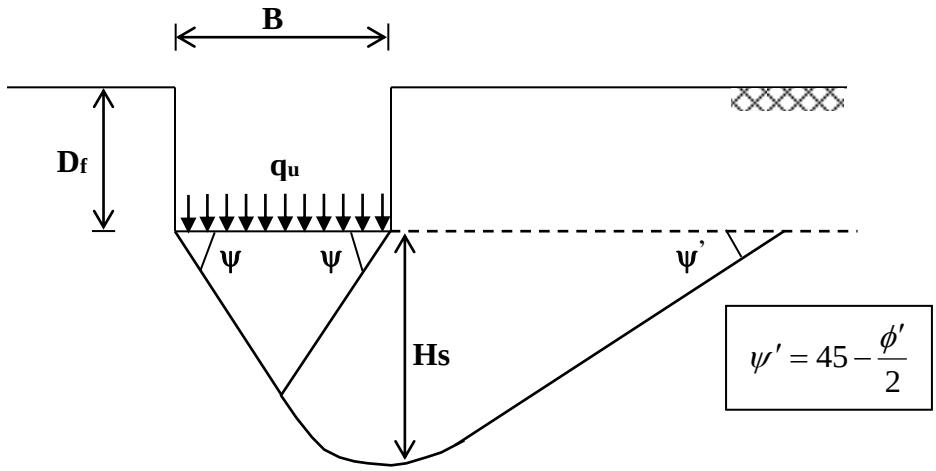
3. 5 : قدرة التحمل المسموحة الصافية $q_{a\text{-}net}$:

تعبر عن الاجهاد الأعظمي الصافي الذي يسمح للأساس بنقله إلى التربة دون حدوث انهيار بالقص أو هبوطات كبيرة للتربة تتجاوز الحدود المسموحة, ويتم الحصول عليها من حساب قدرة التحمل الأمينة الصافية $q_{s\text{-}nett}$ والاجهاد المسبب للهبوط المسموح $q_{s=sall\text{-}nett}$, وأخذ القيمة الصغرى بينهما.

3. 6 : عمق مستوي الانزلاق:

بافتراض زاوية ميل مستوي الانزلاق الأفق $\psi' = 45 + \frac{\phi'}{2}$ (vesic 1973), يمكن حساب عمق مستوي الانزلاق تحت منسوب التأسيس H_s (الشكل 3-6) بالعلاقة: $H_s = (0.5-1) * B * Tan(45 + \frac{\phi'}{2}) \le B$, ϕ' زاوية الاحتكاك الفعالة (المصرفة) للتربة ضمن مستوي الانزلاق ويتم عادة افتراض $H_s = B$.

ننوه بأن التربة ضمن هذا العمق هي الأكثر أهمية من أجل الانهيار بالقص, وبالتالي فمن المهم تحديد مواصفات التربة بدقة ضمن هذه المنطقة.



الشكل 3-6 : الانهيار بالقص العام في الترب المتجانسة

3. 7 : تأثير المياه الجوفية على قدرة التحمل الحدية:

تؤثر المياه بشكل سلبي على التربة ويمكن أن تخفض من مقاومتها (الشكل 3-7). يمكن أخذ تأثير المياه الجوفية على الوزن الحجمي الفعال للتربة فوق منسوب التأسيس والتربة ضمن منطقة الانهيار بعين الاعتبار كما يلي :

1- عندما يكون منسوب المياه تحت منسوب مستوي الانزلاق, فلا يوجد تأثير للمياه على قدرة التحمل.

2- عندما يكون منسوب المياه فوق منسوب مستوي الانزلاق وتحت منسوب أسفل الأساس (منسوب التأسيس) وبفرض Hs=B فيمكن حساب الوزن الحجمي الفعال للتربة ضمن منطقة الانهيار بالعلاقة:

$$\gamma'_H = \frac{\gamma_H * (D_w - D_f) + \gamma_{H,sub} * (D_f + B - D_w)}{B} \qquad for\ (D_w \geq D_f)$$

$$\gamma'_D = \gamma_D$$

3- عندما يكون منسوب المياه أعلى من منسوب التأسيس, يتم حساب الوزن الحجمي الفعال للتربة فوق منسوب التأسيس بالعلاقة:

$$\gamma'_D = \frac{\gamma_D * D_w + \gamma_{D,sub} * (D_f - D_w)}{D_f} \qquad for\ (D_w \leq D_f) \qquad (3-5)$$

$$\gamma'_H = \gamma_{H,sub}$$

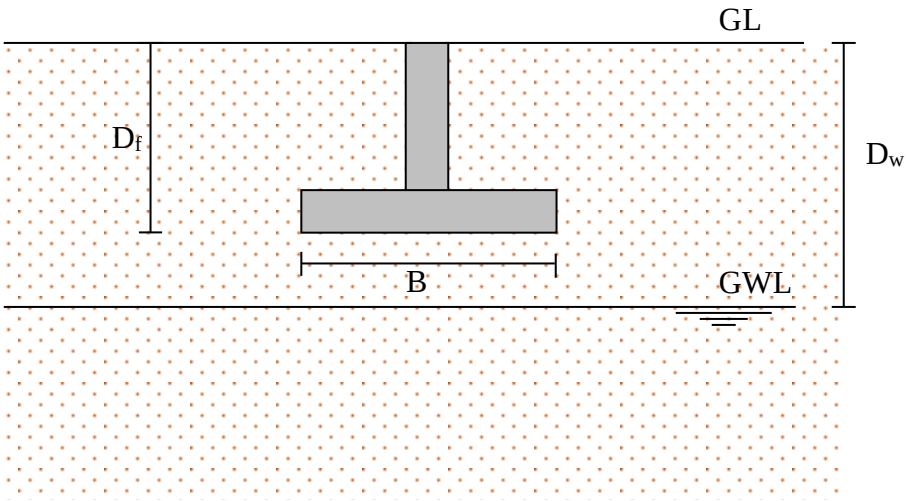
حيث :

γ_D الوزن الحجمي الرطب للتربة فوق منسوب التأسيس (فوق منسوب الماء)

$\gamma_{D,sub}$ الوزن الحجمي المغمور للتربة فوق منسوب التأسيس (تحت منسوب الماء)

$\gamma_{H,sub}$ الوزن الحجمي المغمور للتربة تحت منسوب التأسيس (تحت منسوب الماء)

D_w بعد سطح المياه الجوفية عن سطح الأرض (الشكل 7-3)



الشكل 7-3 : تأثير المياه على قدرة تحمل التربة

ملاحظة: يفضل عدم التأسيس تحت منسوب المياه الجوفية وذلك للتخلص من مشاكل رشح الماء وانتفاخ التربة وحوادث عومان الأساسات, كما أن المياه قد تخرب الأساسات نتيجة لصدأ حديد التسليح وتخريب البيتون نتيجة لاحتواء المياه في بعض الحالات على بعض الأملاح الذوابة المخربة.

8.3 : حالة حمولة لا مركزية

عند حساب قدرة تحمل التربة الحدية للأساسات السطحية من أجل حمولة لا مركزية (أو أساس مع حمولة مركزية و عزم) و تربة تأسيس متجانسة تستبدل مساحة الأساس (A=B*L) بالمساحة الفعالة (A'=B'*L') التي تؤثر المحصلة في مركزها الهندسي و ذلك بعد ايجاد الأبعاد الفعالة للأساس كما يلي :

$$\begin{aligned} B' &= B - 2 \cdot e_B \\ L' &= L - 2 \cdot e_L \qquad (3-6) \\ A' &= B' \cdot L' \end{aligned}$$

حيث أن :

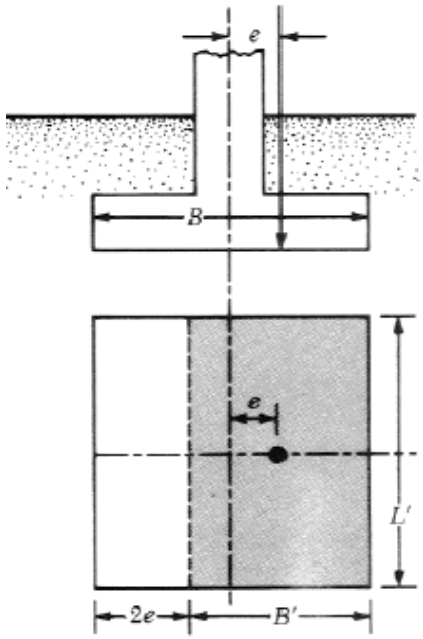
e_B - اللامركزية باتجاه عرض الأساس

e_L - اللامركزية باتجاه طول الأساس

بعد حسب الأبعاد الفعالة للأساس يمكن أن يتغير شكل الأساس حيث نأخذ القيم الأصغر كعرض و الأكبر كطول:

$$B' = \min\langle B', L'\rangle$$
$$L' = \max\langle B', L'\rangle \qquad (3-7)$$

- **<u>في حال اللامركزية باتجاه واحد :</u>**



الشكل 8-3 :

يكون الحل بسيط نسبياً: فمن أجل حالة وجود لا مركزية باتجاه العرض مثلاً، وبعد ايجاد اللامركزية (e_B) يتم حسب الأبعاد الفعالة:

$$\left.\begin{aligned} B' &= B - 2\cdot e_B \\ L' &= L \\ A' &= B'\cdot L' \end{aligned}\right\rangle B' = \min\langle B', L'\rangle \qquad (3-8)$$

بعد ذلك نعوض أبعاد الأساس الفعالة (B',L') بالمعادلات السابقة لحساب قدرة تحمل التربة الحدية (q_{ult}) حسب مايرهوف أو هانزن أو الكود العربي و ذلك بعد اجراء التعديلات لأبعاد الأساسات أينما وجدت، مع ملاحظة <u>أن بعض المراجع</u> تقوم **باستخدام الأبعاد الفعالة للأساس اينما وجدت باستثناء عند حسب معاملات العمق فنستخدم B بدل `B و هذا ما نعتمده ضمن هذا المقرر.**

و تصبح قدرة تحمل التربة الحدية (العلاقة 3-3) كالتالي:

$$q_u = \sigma'_D N_q s_q + 0.5\gamma'_H B' N_\gamma s_\gamma + C N_c s_c \qquad (3-9)$$

- **<u>في حال اللامركزية باتجاهين</u>**

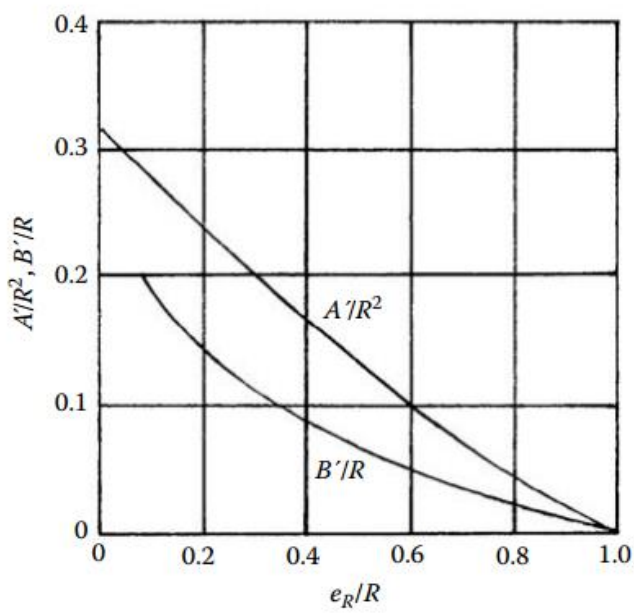
  - **<u>وفق الكود العربي الموحد و جميع العلاقات السابقة:</u>**

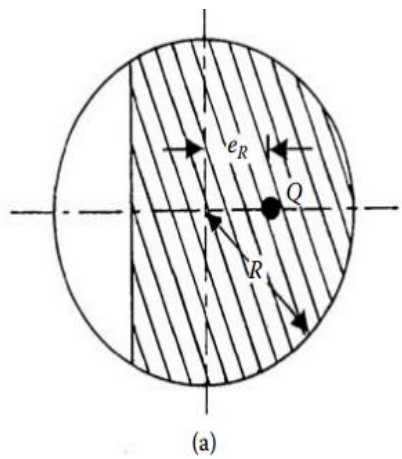
يمكن حساب المساحة الفعالة :

$$\left.\begin{aligned} B' &= B - 2\cdot e_B \\ L' &= L - 2e_L \\ A' &= B'\cdot L' \end{aligned}\right\rangle B' = \min\langle B', L'\rangle \qquad (3-10)$$

و حساب قدرة تحمل التربة بنفس المعادلات مع اعتبار الأبعاد الجديدة في حساب معاملات الشكل و غيرها.

عندما يكون الأساس دائري نحسب e_R ثم نجد B'/R المكافئة من المخطط و بعدها نجد B' المكافئة.
كذلك نجد A'/R^2 ونحسب A'.





الشكل 9-3 :

3. 9 : موديلات حساب قدرة تحمل التربة الحدية q_u

هناك العديد من الموديلات المستخدمة لحساب قدرة تحمل التربة الحدية, أهمها موديلات ترزاكي ومايروف وهانزن وفيزيك. نورد فيما يلي بعضاً من هذه الموديلات:

<u>3. 9. 1 : موديل ترزاكي لحساب قدرة التحمل الحدية:</u>

_يعتبر موديل نرزاكي من أقدم الموديلات التي تدرس حالة الانهيار بالقص العام (1943) وأكثرها استخداماً, يطبق على لأساسات السطحية ذات عمق التأسيس الصغير نسبياً ، المحملة بحمولة شاقولية مركزيةدون الأخذ يعين الاعتبار لمقاومة القص للتربة الواقعة فوق منسوب التأسيس.

تحسب قدرة تحمل التربة الحدية q_u وفق ترزاكي بالعلاقة التالية :

$$q_u = \sigma_D^{'} N_q s_q + 0.5\gamma_H^{'} B' N_\gamma s_\gamma + C' N_c s_c \qquad (3-11)$$

تعطى عوامل التصحيح s_γ , s_c بالجدول 3-1 $(s_q = 1)$, وعوامل قدرة التحمل بالجدول 3-2

العامل	أساس مستمر	أساس دائري	أساس مربع	أساس مستطيل
S_c	1.0	1.3	1.3	1+ 0.3B/L
S_γ	1.0	0.6	0.8	0.8

الجدول 3-1 : عوامل التصحيح لترزاكي

وتعطى عوامل قدرة التحمل N_γ, N_q, N_c وفق ترزاكي بالعلاقات التالية :

$$N_q = \frac{e^{\left(\frac{3\pi}{2}-\phi'\right)\cdot \tan\phi'}}{2\cdot\cos^2\left(45+\frac{\phi'}{2}\right)}$$

$$N_c = (N_q - 1)\cdot \cot\phi' = 95.66 \qquad (3-12)$$

$$N_\gamma = 0.5\cdot\tan\phi'\left(\frac{k_{p\gamma}}{\cos^2\phi'} - 1\right)$$

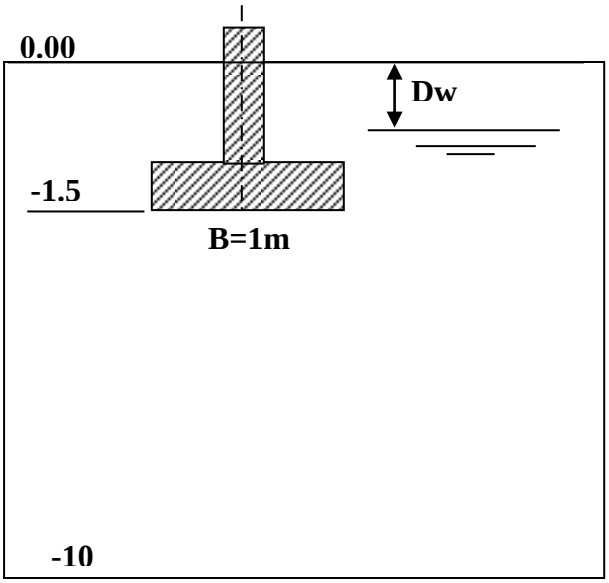
$$k_{p\gamma} \cong \left(8\cdot\phi'^2 - 4\cdot\phi' + 3.8\right)\cdot\tan^2\left(60+\frac{\phi'}{2}\right)$$

كما تعطى عوامل قدرة التحمل وبدقة أكبر بالجدول التالي :

ϕ	Nc	Nq	Nγ	ϕ	Nc	Nq	Nγ
0	5.70	1.00	0.0	26	27.09	14.21	11.7
2	6.30	1.22	0.2	28	31.61	17.81	15.7
4	6.97	1.49	0.4	30	37.16	22.46	19.7
6	7.73	1.81	0.6	32	44.04	28.52	27.9
8	8.60	2.21	0.9	34	52.64	36.50	36.0
10	9.60	2.69	1.2	36	63.53	47.16	52.0
12	10.76	3.29	1.7	38	77.50	61.55	80.0
14	12.11	4.02	2.3	40	95.66	81.27	100.4
16	13.68	4.92	3.0	42	119.67	108.75	180.0
18	15.52	6.04	3.9	44	151.95	147.74	257.0
20	17.69	7.44	4.9	46	196.22	204.19	420.0

22	20.27	9.19	5.8	48	258.29	287.85	780.1
24	23.36	11.40	7.8	50	347.51	415.15	1153.2

الجدول 2-3 : عوامل قدرة التحمل وفق ترزاكي



مسألة /1/ :

ليكن أساس مسقطه مربع الشكل طول ضلعه 1 م

منفذ ضمن التربة على عمق 1.5 م و بفرض أن

التحريات و التجارب المخبرية أعطت النتائج التالية :

خواص تربة التأسيس :

$$\varphi' = 40\circ, C' = 0, \gamma = 16.7 kN/m^3, \gamma_{sat} = 20 kN/m^3$$

المطلوب : احسب قدرة تحمل التربة الحدية للأساس

حسب ترزاكي للحالات التالية :

- منسوب المياه الجوفية يقع على عمق -5 م
- منسوب المياه الجوفية يقع على سطح الأرض
- منسوب المياه الجوفية يقع على عمق -1 م
- منسوب المياه الجوفية يقع على عمق -2 م

الحل :

- أساس سطحي $D_f = 1.5m < 3B = 3m \rightarrow$
- نوع الأساس : منفرد –مربع الشكل B*L=1*1 m
- تربة التأسيس : غير متماسكة (C'=0) ، عالية التراص ($\phi' = 40^\circ$) و متجانسة و ذات سماكة كبيرة نسبياً .
- استخدام معادلة ترزاكي : حمولة مركزية ، شاقولية ، أساس مربع ، تربة متجانسة .

1. حالة (Dw= - 5m) : منسوب المياه يقع على عمق كبير نسبياً (Dw=5m>Df+B=1.5+1=2.5m) و بالتالي لا يوجد تأثير للمياه الجوفية على حساب قدرة تحمل التربة ($\gamma_D=\gamma_H=16.7$ kN/m^3).

تعطى معادلة ترزاكي بالعلاقة التالية :

$$q_{ult} = \gamma'_D \cdot D_f \cdot N_q \cdot s_q + 0.5 \cdot \gamma'_H \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma + C \cdot N_c \cdot s_c$$

- أساس مربع : تكون عوامل الشكل من الجدول : Sc=1.3, Sq=1, Sg=0.8
- عوامل قدرة تحمل التربة : حالة انهيار بالقص $\phi=40^o$

$$N_q = \frac{e^{\left(\frac{3\pi}{2}-\varphi'\right)\cdot\tan\phi'}}{2\cdot\cos^2\left(45+\frac{\phi'}{2}\right)} = 81.27$$

$$N_c = (N_q - 1)\cdot\cot\phi' = 95.66$$

$$k_{p\gamma} \cong \left(8\cdot\phi'^2 - 4\cdot\phi' + 3.8\right)\cdot\tan^2\left(60+\frac{\phi'}{2}\right) = 157.81$$

$$N_\gamma = 0.5\cdot\tan\phi'\left(\frac{k_{p\gamma}}{\cos^2\phi'} - 1\right) = 112.41$$

- نعوض في علاقة قدرة التحمل الحدية :

$$q_{ult} = 0 + 16.7\cdot1.5\cdot81.27\cdot1 + 0.5\cdot16.7\cdot1\cdot112.41\cdot0.8 = 2787kpa$$

2. حالة (Dw=0) : منسوب المياه يقع على سطح الأرض : $\gamma_H = \gamma_D = \gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w = 20 - 10 = 10\ kN/m^3$

نعوض في علاقة قدرة التحمل الحدية :

$$q_{ult} = 0 + 10\cdot1.5\cdot81.27\cdot1 + 0.5\cdot10\cdot1\cdot112.41\cdot0.8 = 1669kpa$$

3. حالة (Dw=1m) : منسوب المياه يقع على عمق 1 م

$$Dw = 1 < Df = 1.5m \rightarrow \gamma_1 = \frac{16.7\cdot1 + 10(1.5-1)}{1.5} = 14.47kN/m^3$$

- $$\gamma_H = \gamma_{H,sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w = 20 - 10 = 10kN/m^3$$

نعوض في علاقة قدرة التحمل الحدية :

$$q_{ult} = 0 + 14.47\cdot1.5\cdot81.27\cdot1 + 0.5\cdot10\cdot1\cdot112.41\cdot0.8 = 2214kpa$$

4. حالة (Dw=2m) : منسوب المياه يقع على عمق 2 م

$$Dw = 2m > Df = 1.5m \rightarrow \gamma_D = 16.7kN/m^3$$

$$Dw = 2m < (B + Df) = 1 + 1.5 = 2.5m \rightarrow \gamma_H = \frac{16.7\cdot(2-1.5) + 10.(2.5-2)}{1} = 13.35kN/m^3$$

نعوض في علاقة قدرة التحمل الحدية :

$$q_{ult} = 0 + 16.7\cdot1.5\cdot81.27\cdot1 + 0.5\cdot13.35\cdot1\cdot112.41\cdot0.8 = 2636kpa$$

مثال 2

احسب قدرة تحمل التربة المسموحة للمثال السابق لحالة منسوب المياه يقع على عمق 2m تحت سطح الأرض علماً بأن الهبوط المسموح هو 5cm وأن عامل الأمان على القص Fs=3، وأنه قد تم تحديد معامل يونغ للتربة من تجربة الأودومتر وكانت قيمته Es=12Mpa وأن عامل بواسون ν=0.3

ملاحظة : افترض في الحل أن الأساس صلب

الحل

من المثال السابق، قدرة تحمل التربة الحدية على القص = 2636 kPa

قدرة تحمل التربة المسموحة على القص :

$$q_{all,nett} = \frac{q_{ult-\gamma.D_f}}{F_s} = \frac{2636-1.5*16.7}{3} = 870kPa$$

حساب قدرة تحمل التربة على الهبوط

$$S_e = \sigma_{net} \cdot B \cdot \frac{\left(1-\nu^2\right)}{E} \cdot I_w \Rightarrow \sigma_{nett} = q_{s=sall,nett} = \frac{E*S_{all}}{I_w*B*(1-\nu^2)} = \frac{12000*0.05}{0.858*1*(1-0.3^2)} = 768kPa$$

قدرة تحمل التربة المسموحة = القيمة الصغرى بين قدرة تحمل التربة على القص وقدرةتحمل التربة على الهبوط

$$q_{all} = \min(q_{s,nett}, q_{s=sall,nett}) = \min(870, 768) = 768\ kN/m^2$$

وبالتالي فقدرة تحمل التربة المسموحة الصافية = 768 kPa

<u>3. 8. 2 : موديل مايروف لحساب قدرة التحمل الحدية:</u>

$$q_u = \sigma'_D N_q s_q\, d_q\, i_q + 0.5\gamma'_H B' N_\gamma s_\gamma\, d_\gamma\, i_\gamma + CN_c s_c\, d_c\, i_c \qquad (3-8)$$

حيث

s_q و s_c و s_γ عوامل شكل الأساس

d_q و d_c و d_γ عوامل عمق التأسيس

i_q و i_c و i_γ عوامل ميلان الحمولة الخارجية

N_γ, N_q, N_c عوامل قدرة التحمل

يعتبر موديل مايروف لحساب قدرة تحمل التربة الحدية أكثر شمولية من موديل ترزاكي, فهو **<u>يأخذ بعين الاعتبار</u> تأثير شكل الأساس وعمق التأسيس وميلان محصلة القوى** ويستخدم بشكل خاص عندما تكون محصلة القوى المؤثرة على الأساس مائلة عن الشاقول.

<u>عوامل قدرة التحمل :</u>

تعطى عوامل قدرة التحمل لموديل مايروف بالعلاقات التالية :

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan\phi} \cdot \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot\phi \qquad (3-9)$$

$$N_\gamma = \left(N_q - 1\right) \cdot \tan(1.4 \cdot \phi)$$

نورد في الجدول 3-3 قيم عوامل قدرة التحمل لموديل مايروف حسب زاوية الاحتكاك الفعالة للتربة

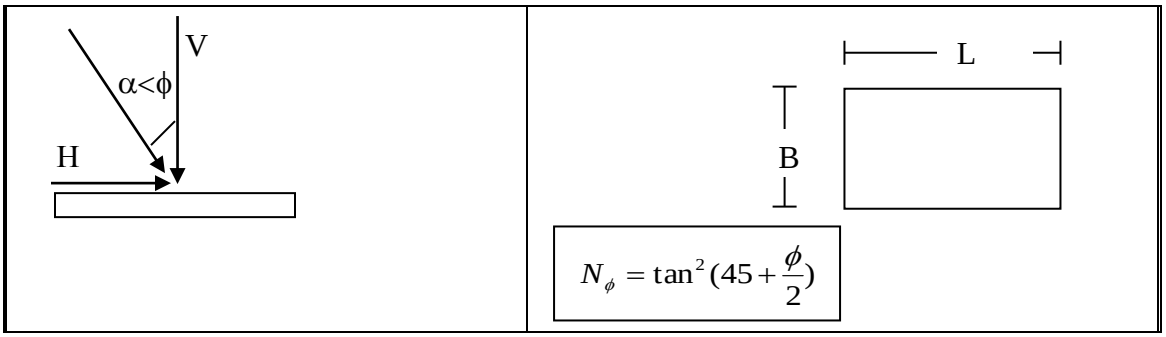
عوامل التصحيح :

نورد في الجدول 4-3 عوامل التصحيح لموديل مايروف

ϕ	Nc	Nq	Nγ	ϕ	Nc	Nq	Nγ
0	5.14	1.0	0.00	26	22.25	11.85	8.00
2	5.63	1.20	0.01	28	25.80	14.72	11.19
4	6.18	1.43	0.01	30	30.14	18.40	15.67
6	6.81	1.72	0.11	32	35.49	23.18	22.02
8	7.53	2.06	0.21	34	42.16	29.44	31.15
10	8.34	2.47	0.37	36	50.59	37.75	44.43
12	9.28	2.97	0.60	38	61.35	48.93	64.07
14	10.37	3.59	0.92	40	75.31	64.19	93.69
16	11.63	4.34	1.37	42	93.71	85.37	139.32
18	13.10	5.26	2.00	44	118.37	115.31	211.41
20	14.83	6.40	2.87	46	152.10	158.50	328.73
22	16.88	7.82	4.07	48	199.26	222.30	526.44
24	19.32	9.60	5.72	50	266.88	319.05	873.84

الجدول 3-3 : عوامل قدرة التحمل وفق مايروف

تأثير شكل الأساس مع اللامركزية		s_c	$s_q=s_\gamma$	
	$\phi = 0$	$1+0.2\,N_\phi \frac{B'}{L'}$	1.0	
	$\phi > 10$		$1+0.1\,N_\phi \frac{B'}{L'}$	
	$0 < \phi \le 10$		توسط خطي بين $\phi = 0$ و $\phi = 10$	
تأثير ميلان المحصلة		i_c	i_γ	i_q
	$\phi = 0$	$(1-\frac{\alpha}{90})^2$	1.0	$(1-\frac{\alpha}{90})^2$
	$\phi > 0$		$\alpha \le \phi \quad (1-\frac{\alpha}{\phi})^2$	
			$\alpha > \phi \quad 0.0$	
تأثير عمق التأسيس		d_c	$d_q=d_\gamma$	
	$\phi = 0$	$1+0.2\sqrt{N_\phi}\,\frac{D_f}{B}$	1.0	
	$\phi > 10$		$1+0.1\sqrt{N_\phi}\,\frac{D_f}{B}$	
	$0 < \phi \le 10$		توسط خطي بين $\phi = 0$ و $\phi = 10$	



الجدول 3-4 : عوامل التصحيح المستخدمة في موديل مايروف

- **3.8.3 : موديل الكود العربي الموحد لميكانيك التربة و الأساسات (2002)**

تعطى قدرة تحمل التربة الحدية للأساسات السطحية من أجل حمولة مركزية و تربة تأسيس متجانسة بالمعادلة التالية :

$$q_{ult} = \sigma'_D \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + \gamma'_H \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma + C \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c \qquad (3-10)$$

حيث :

C– تماسك تربة التأسيس.

B' - العرض الفعال للأساس (البعد الأصغر لمسقط الأساس).

N_i - معاملات قدرة تحمل التربة و تعطى بالعلاقات التالية :

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan\phi} \cdot \tan^2\left(45+\frac{\phi}{2}\right) \text{ (Meyerhof)}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot\phi \quad \text{(Meyerhof)} \qquad (3\text{-}11)$$

$$N_\gamma = \left(N_q - 1\right) \cdot \tan\phi$$

s_i - معاملات شكل الأساس و تعطى بالعلاقات التالية :

- **من أجل أساس شريطي أو مستمر**

$$s_c = s_q = s_\gamma = 1 \qquad (3-12)$$

- **من أجل أساس مستطيل (B*L)**

$$\left\langle \begin{matrix} s_c = s_q = 1 + 0.3 \cdot \frac{B'}{L'} \\ s_\gamma = 1 - 0.3 \cdot \frac{B'}{L'} \end{matrix} \right\rangle \qquad (3-13)$$

- **من أجل أساس مربع أو دائري**

$$\left\langle \begin{matrix} s_c = s_q = 1.3 \\ s_\gamma = 0.7 \end{matrix} \right\rangle \qquad (3-14)$$

i_i - معاملات ميل الحمولة ، حيث (α) زاوية ميل الحمولة على الشاقول و تعطى بالعلاقات التالية :

❖ **$\alpha = 0$:**

$$i_c = i_q = i_\gamma = 1 \qquad (3-15)$$

❖ **$\alpha > 0$ و تربة عامة ($\phi \neq 0, C \neq 0$) :**

$$i_c = i_q - \frac{1-i_q}{N_q - 1}$$

$$i_q = \left(1 - \frac{0.7 \cdot H_b}{V_b + A \cdot c_a \cdot \cot\phi}\right)^3 \qquad (3-16)$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H_b}{V_b + A \cdot c_a \cdot \cot\phi}\right)^3$$

❖ $\alpha > 0$ وتربة غير متماسكة $(\phi \neq 0, C = 0)$:

$$i_q = (1 - 0.7 \cdot \tan\alpha)^3$$

$$i_\gamma = (1 - \tan\alpha)^3 \qquad (3-17)$$

❖ $\alpha > 0$ و تربة متماسكة مشبعة (حالة غير مصرفة) $(\phi \approx 0, C_u \neq 0)$

$$i_c = 0.5 + 0.5\sqrt{1 - H / A' \cdot c_a} \quad ; \quad A' \cdot c_a > H_b \qquad (3-18)$$

$$i_q = 1$$

3. 8. 3 : موديل هانزن لحساب قدرة التحمل الحدية:

تعطى قدرة تحمل التربة الحدية للأساسات السطحية من أجل حمولة مركزية و سطح الأرض أفقي وقاعدة الأساس أفقية و تربة تأسيس متجانسة بالمعادلة التالية:

$$q_{ult} = \sigma'_D \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q + 0.5 \cdot \gamma'_H \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot g_\gamma \cdot b_\gamma + C \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c \qquad (3-19)$$

حيث :

s_q و s_c و s_γ عوامل لامركزية الحمولة

d_q و d_c و d_γ عوامل عمق التأسيس

i_q و i_c و i_γ عوامل ميلان الحمولة الخارجية

g_q و g_c و g_γ عوامل ميلان سطح الأرض

b_q و b_c و b_γ عوامل ميلان أسفل الأساس

N_γ, N_q, N_c عوامل قدرة التحمل

يعتبر موديل هانزن لحساب قدرة تحمل التربة الحديةالموديلالأكثر شمولية فهو <u>يأخذ بعين الاعتبار</u> تأثير شكل الأساس وعمق التأسيس وميلان المحصلة وميلان سطح الأرض وميلان أسفل الأساس.

<u>عوامل قدرة التحمل :</u>

تعطى عوامل قدرة التحمل لموديل هانزن بالعلاقات التالية :

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan\phi} \cdot \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)$$
$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot\phi \qquad (3-20)$$
$$N_\gamma = 1.5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\phi)$$

عوامل التصحيح :

1- حالة تربة ($\phi > 0$) و حمولات مركزية:

عوامل تصحيح شكل الأساس s_i

يعطى عامل التصحيح لهذه الحالة بالعلاقات التالية :

- من أجل أساس شريطي أو مستمر

$$s_c = s_q = s_\gamma = 1 \qquad (3-21)$$

- من أجل أساس مستطيل أو مربع أو دائري

$$s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B'}{L'} \qquad s_{c,B} = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{B' \cdot i_{c,B}}{L'} \qquad s_{c,L} = 1 + \frac{N_q}{N_c} \cdot \frac{L' \cdot i_{c,L}}{B'}$$
$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \tan\phi \qquad s_{q,B} = 1 + \frac{B' \cdot i_{q,B}}{L'} \cdot \tan\phi \qquad s_{q,L} = 1 + \frac{L' \cdot i_{q,L}}{B'} \cdot \tan\phi \qquad (3-22)$$
$$s_\gamma = 1 - 0.4\frac{B'}{L'} \geq 0.6 \qquad s_{\gamma,B} = 1 - 0.4\frac{B' \cdot i_{\gamma,B}}{L'} \geq 0.6; \qquad s_{\gamma,L} = 1 - 0.4\frac{L' \cdot i_{\gamma,L}}{B'} \geq 0.6$$

عوامل تصحيح عمق التأسيس di

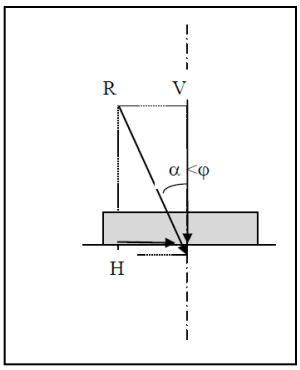
يعطى عامل التصحيح لهذه الحالة بالعلاقات التالية :

- حالة $\frac{D_f}{B} \leq 1$

$$d_c = 1 + 0.4\frac{D_f}{B}$$
$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan\phi \cdot (1 - \sin\phi)^2 \cdot \frac{D_f}{B} \qquad (3-23)$$
$$d_\gamma = 1$$

- حالة $\frac{D_f}{B} > 1$

$$d_c = 1 + 0.4 \cdot \arctan\left(\frac{D_f}{B}\right)$$
$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan\varphi \cdot (1 - \sin\phi)^2 \cdot \arctan\left(\frac{D_f}{B}\right) \qquad (3-24)$$
$$d_\gamma = 1$$



الشكل (3-8) : مركبات وزاوية ميلان محصلة القوى

عوامل تصحيح ميل الحمولة i_i

بفرض α زاوية ميل الحمولة على الشاقول و H المركبة الأفقية للحمولة (H_B باتجاه B و H_L باتجاه L) و المركبة الشاقولية . تعطى عوامل تصحيح ميل الحمولة بالعلاقات التالية :

- من أجل حمولات شاقولية و مركزية $\alpha = 0$:

$$i_c = i_q = i_\gamma = 1 \qquad (3-25)$$

- من أجل حمولات مائلة مركزية $\alpha > 0$:

نحسب معاملات الميل كما يلي من أجل ميلان باتجاه واحد (الاتجاه القصير B أوالطويل L):

$$i_q = \left(1 - \frac{0.5 \cdot H}{V + A' \cdot c_a \cdot \cot\phi}\right)^5; \quad i_{q,B} = \left(1 - \frac{0.5 \cdot H_B}{V + A' \cdot c_a \cdot \cot\phi}\right)^5; \quad or\ i_{q,L} = \left(1 - \frac{0.5 \cdot H_L}{V + A' \cdot c_a \cdot \cot\phi}\right)^5$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{0.7 \cdot H}{V + A' \cdot c_a \cdot \cot\phi}\right)^5; \quad i_{\gamma,B} = \left(1 - \frac{0.7 \cdot H_B}{V + A' \cdot c_a \cdot \cot\phi}\right)^5; \quad or\ i_{\gamma,L} = \left(1 - \frac{0.7 \cdot H_L}{V + A' \cdot c_a \cdot \cot\phi}\right)^5 \qquad (3-26)$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}; \qquad i_{c,B} = i_{q,B} - \frac{1 - i_{q,B}}{N_q - 1}; \qquad or\ i_{c,L} = i_{q,L} - \frac{1 - i_{q,L}}{N_q - 1}$$

c_a - مقاومة التصاق التربة بقاعدة الأساس و الناتج عن التماسك و تؤخذ (Ca=(1-0.5)*C) و عادة نختار القيمة الدنيا لصالح الأمان Ca=(0.5-0.67)*C

A' - المساحة الفعالة للأساس (A'=B'*L')

H_b - المركبة الأفقية الحدية على الأساس تحسب بالتقريب المتتالي انطلاقاً من القيمة (H_b=F_s*H)

V_b - المركبة الشاقولية الحدية على الأساس تحسب بالتقريب المتتالي انطلاقاً من القيمة (V_b=F_s*V)

Fs عامل أمان الحمولة على القص

H- المركبة الأفقية المؤثرة على الأساس،V- المركبة الشاقولية المؤثرة على الأساس، Fs- عامل أمان قدرة تحمل التربة

عوامل تصحيح ميل سطح الأرض g_i

بفرض (β) زاوية ميل سطح الأرض عن الأفق، تعطى عوامل تصحيح ميل سطح الأرض بالعلاقات التالية :

- $\beta = 0$ (سطح الأرض أفقي) : $\qquad g_c = g_q = g_\gamma = 1 \qquad (3-27)$

- $\phi > \beta > 0$ (سطح الأرض مائل) :

$$\phi = 0 : g_c = \frac{\beta^\circ}{147^\circ}$$
$$\phi > 0 : g_c = 1 - \frac{\beta^\circ}{147^\circ} \qquad (3-28)$$
$$g_q = g_\gamma = (1 - 0.5 \cdot \tan\beta)^5$$

عوامل تصحيح ميل قاعدة الأساس bi

بفرض (δ) زاوية ميل قاعدة الأساس عن الأفق . تعطى عوامل تصحيح ميل قاعدة الأساس بالعلاقات التالية :

- $\delta = 0$ (قاعدة الأساس أفقية) : $b_c = b_q = b_\gamma = 1 \qquad (3-29)$
- $\delta > 0$ (قاعدة الأساس مائلة)($\beta+\delta \le 90^o$)

$$i_\gamma = \left[1 - \frac{(0.7 - \delta^\circ / 450^\circ) \cdot H}{V + A' \cdot C_a \cdot \cot\phi}\right]^5;$$
$$\varphi = 0 : \quad b'_c = \frac{\delta^\circ}{147^\circ} \qquad (3-30)$$
$$\varphi > 0 : \quad b_c = 1 - \frac{\delta^\circ}{147^\circ}$$
$$b_q = e^{-0.035\delta \cdot \tan\phi}; \quad b_\gamma = e^{-0.047 \cdot \delta \cdot \tan\phi} \quad \delta \ in \ Deg.$$

ملاحظة :

في الحالة العامة المحصلة تميل بالاتجاهين نحسب معاملات شكل الأساس من تأثير معاملات الميل في الاتجاهين و نحسب قدرة تحمل التربة الحدية من المعادلتين التاليتين و نأخذ القيمة الأصغر كقدرة تحمل حدية للأساس :

$$q_{ult,B} = \sigma'_D \cdot N_q \cdot s_{q,B} \cdot d_q \cdot i_{q,B} \cdot g_q \cdot b_q + 0.5 \cdot \gamma'_H \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_{\gamma,B} \cdot d_\gamma \cdot i_{\gamma,B} \cdot g_\gamma \cdot b_\gamma + C \cdot N_c \cdot s_{c,B} \cdot d_c \cdot i_{c,B} \cdot g_c \cdot b_c \qquad (3-31)$$
$$q_{ult,L} = \sigma'_D \cdot N_q \cdot s_{q,L} \cdot d_q \cdot i_{q,L} \cdot g_q \cdot b_q + 0.5 \cdot \gamma'_H \cdot L \cdot N_\gamma \cdot s_{\gamma,L} \cdot d_\gamma \cdot i_{\gamma,L} \cdot g_\gamma \cdot b_\gamma + C \cdot N_c \cdot s_{c,L} \cdot d_c \cdot i_{c,L} \cdot g_c \cdot b_c \qquad (3-32)$$

-2 حالة تربة (ϕ=0) (تربة غضارية مشبعة):

تعطى قدرة تحمل التربة الحدية للأساسات السطحية من أجل حمولة مركزية و تربة تأسيس متجانسة بالمعادلة التالية :

$$q_{ult} = 5.14 \cdot c_u \cdot (1 + s_c + d_c - i_c - g_c - b_c) + \sigma'_D \qquad (3-33)$$

حيث :

Cu– التماسك غير المصرف لتربة التأسيس.

σ'_D - الاجهاد الفعال الناتج عن وزن التربة فوق منسوب التأسيس

i_c-معامل ميل الحمولة حسب اتجاه الميل:

$$i_c = 0.5(1 - \sqrt{1 - H / A' \cdot c_a})$$
$$i_{c,B} = 0.5(1 - \sqrt{1 - H_B / A' \cdot c_a}) \qquad (3-34)$$
$$i_{c,L} = 0.5(1 - \sqrt{1 - H_L / A' \cdot c_a})$$

حيث يجب أن يتحقق الشرط : $H / A' \cdot c_a \leq 1$

s_c-معامل شكل الأساس

لحمولة شاقولية:

$$s_c = 0.2\frac{B'}{L'} \qquad (3-35)$$

لحمولة مائلة:

$$s_{c,B} = 0.2 \cdot \frac{B' \cdot i_{c,B}}{L'}$$

$$s_{c,L} = 0.2 \cdot \frac{L' \cdot i_{c,L}}{B'} \qquad (3-36)$$

d_c-معامل العمق :

$$for\ \frac{D_f}{B} < 1: \quad d_c = 0.4\frac{D_f}{B}$$

$$for\ \frac{D_f}{B} > 1: \quad d_c = 0.4 \cdot \arctan\left(\frac{D_f}{B}\right) \qquad (3-37)$$

g_c-معامل ميل سطح الأرض من أجل سطح الأرض أفقي يكون (g_c=0) و من أجل سطح مائل : $g_c = \frac{\beta°}{147°}$ (3-38)

b_c-معامل ميل القاعدة من أجل قاعدة افقية يكون (b_c=0) و من أجل قاعدة مائلة : $b_c = \frac{\delta°}{147°}$ (3-39)

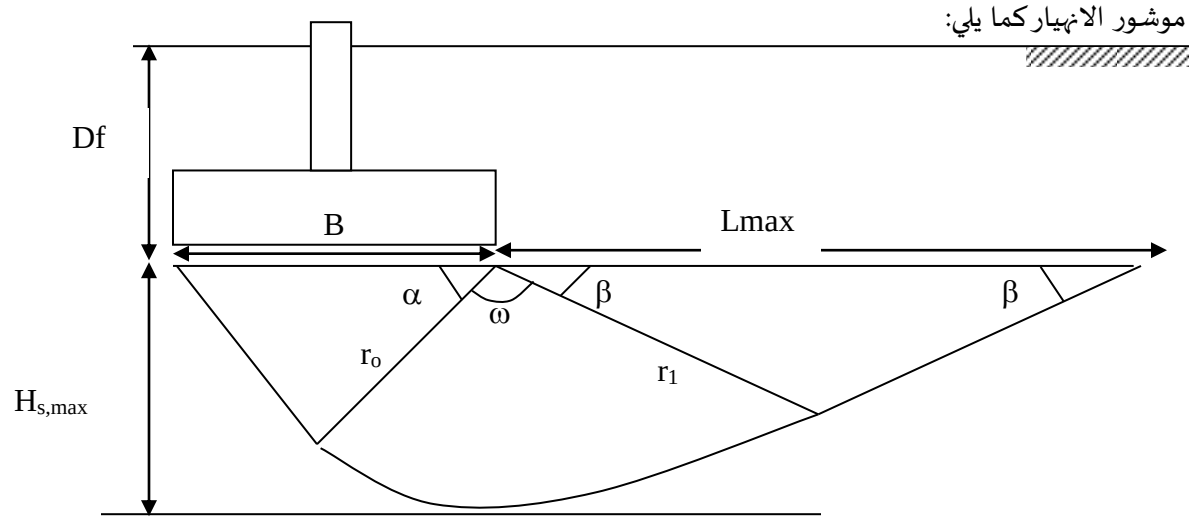
بنفس الطريقة السابقة في حال حمولة مائلة باتجاهين نحسب لكلا الاتجاهين و نختار الأصغر.

ملاحظات :

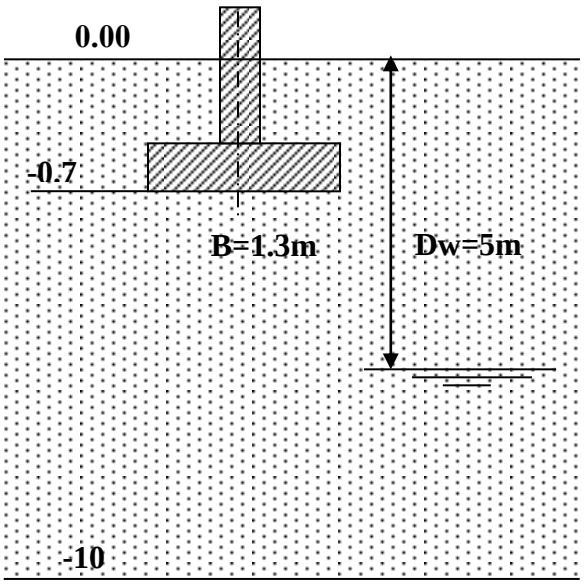
- من أجل L/B≤2: نستخدم : $\phi = \phi_{tr}$
- من أجل L/B>2: نستخدم : $\phi_{ps} = 1.5 \cdot \phi_{tr} - 17°$
- من أجل $\phi_{tr} \leq 34°$ نستخدم: $\phi = \phi_{ps}$
- حيث أن: ϕ_{tr} هي زاوية الاحتكاك الداخلي من تجربة القص الثلاثي المحاور و ϕ_{ps} هي زاوية الاحتكاك الداخلي من أجل حالة القص المستوي.

3. 9 : أبعاد موشور الانهيار:

تحسب أبعاد موشور الانهيار كما يلي:



$$\alpha = 45 + \phi'/2$$
$$\beta = 45 - \phi'/2$$
$$\omega = 180 - \alpha - \beta$$
$$r_o = \frac{B}{2} \cdot \frac{1}{\cos\alpha} \qquad (3-38)$$
$$r_1 = ro \cdot e^{(\omega \cdot \tan\phi')}$$
$$L\max = 2 \cdot r_1 \cdot \cos\beta$$
$$H_{s,\max} = r_o \cdot \cos(\alpha + 2/3 \cdot \omega - \frac{\pi}{2}) \cdot e^{((2/3)\cdot\omega\cdot\tan\phi')}$$



مسألة /3/ : (حمولات مائلة)

أساس مربع أبعاده (B*B=1.3*1.3m) يخضع لحمولات أفقية H=200kN و قوة شاقولية V=500kN

- $\phi' = 30^o, c' = 0$
- منسوب المياه الجوفية يقع على عمق 5 م

يطلب حساب قدرة الحدية حسب مايرهوف و الكود العربي الموحد و هانزن

الحل :

- حمولات مائلة
- أساس سطحي $D_f = 0.7m < 3B \rightarrow$
- نوع الأساس : منفرد – سطحي – مربع الشكل B*B=1.3 m
- تربة التأسيس : غير متماسكة (c'=0) ، منخفضة التراص
- ($\phi' = 30^o$) و متجانسة و ذات سماكة كبيرة نسبياً

1. **حسب مايرهوف :**

يقع منسوب المياه يقع على عمق كبير نسبياً ($Dw = 5m > (Df + B) = 1.5 + 1.3 = 2.8m$) و بالتالي لا يوجد تأثير للمياه الجوفية على حساب قدرة تحمل التربة ($\gamma'_D = \gamma'_H = 16.7kN/m^3$).

نحسب زاوية ميل الحمولة عن الشاقول :

$$\tan\alpha = \frac{H}{V} = \frac{200}{500} = 0.4 \rightarrow \alpha = 21.8\circ$$

تعطى معادلة مايرهوف بالعلاقة التالية :

$$q_{ult} = \gamma'_D \cdot D_f \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q + 0.5 \cdot \gamma'_H \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma + C \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c$$

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan\varphi} \cdot \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) = 18.4$$
$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot\phi = 30.14$$
$$N_\gamma = (N_q - 1) \cdot \tan(1.4 \cdot \phi) = 15.67$$

- $\phi = 30^o \geq 10^o$

s_i - معاملات شكل الأساس و تعطى بالعلاقات التالية :

$$s_c = 1 + 0.2\frac{B'}{L'} \cdot \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) = 1.6$$

$$s_q = s_\gamma = 1 + 0.1\frac{B'}{L'} \cdot \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) = 1.3$$

d_i - معاملات عمق الأساس و تعطى بالعلاقات التالية :

$$d_c = 1 + 0.2\frac{D_f}{B} \cdot \tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) = 1.19$$

$$d_q = d_\gamma = 1 + 0.1\frac{D_f}{B} \cdot \tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) = 1.09$$

i_i - معاملات الميل ، حيث (α) زاوية ميل الحمولة على الشاقول و تعطى بالعلاقات التالية :

$$i_c = i_q = \left(1 - \frac{\alpha}{90}\right)^2 = \left(1 - \frac{21.8}{90}\right)^2 = 0.574$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{\alpha}{\phi}\right)^2 = \left(1 - \frac{21.8}{30}\right)^2 = 0.075$$

- نعوض في علاقة مايروف :

$$q_{ult} = 16.7*0.7*18.4*1.3*1.09*0.574 + 0.5*16.7*1.3*15.67*1.3*1.09*0.075 + 0 = 193kpa$$

---

2. **<u>حسب الكود العربي الموحد:</u>**

تعطى قدرة تحمل التربة الحدية للأساسات السطحية من أجل حمولة شاقولية و تربة تأسيس متجانسة بالمعادلة التالية :

$$q_{ult} = \gamma'_D \cdot D_f \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + \gamma'_H \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma + C \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c$$

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan\varphi} \cdot \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) = 18.4 \text{ (Meyerhof)}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot\phi = 30.14 \quad \text{(Meyerhof)}$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \cdot \tan(\phi) = 10.05$$

s_i - معاملات شكل الأساس و تعطى بالعلاقات التالية : من أجل أساس مستطيل (B*L)

$$s_c = s_q = 1 + 0.3 \cdot \frac{B'}{L'} = 1.3$$

$$s_\gamma = 1 - 0.3 \cdot \frac{B'}{L'} = 0.7$$

i_i - معاملات الميل ، حيث (α) زاوية ميل الحمولة على الشاقول و تعطى بالعلاقات التالية :

$$i_q = (1 - 0.7 \cdot \tan\alpha)^3 = (1 - 0.7 * \tan 21.8)^3 = 0.373$$

$$i_\gamma = (1 - \tan\alpha)^3 = (1 - \tan 21.8)^3 = 0.216$$

- نعوض في علاقة الكود العربي الموحد :

$$q_{ult} = 0 + 16.7*0.7*18.4*1.3*0.373 + 16.7*1.3*10.05*0.7*0.216 = 137.3kpa$$

3. **حسب هانزن :**

تعطى قدرة تحمل التربة الحدية للأساسات السطحية من أجل حمولة مركزية و تربة تأسيس متجانسة بالمعادلة التالية من أجل تربة ($\phi > 0$):

$$q_{ult} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c + \gamma_1 \cdot D_f \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q + 0.5 \cdot \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \cdot g_\gamma \cdot b_\gamma$$

$$N_q = e^{\pi \cdot \tan\varphi} \cdot \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) = 18.4 \quad \text{(Meyerhof)}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cdot \cot\phi = 30.14 \quad \text{(Meyerhof)}$$

$$N_\gamma = 1.5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan(\phi) = 15.075$$

s_i - معاملات شكل الأساس و تعطى بالعلاقات التالية :

من أجل أساس مستطيل أو مربع أو دائري

$$s_q = 1 + \frac{B'}{L'} \cdot \tan\phi = 1.58$$

$$s_\gamma = 1 - 0.4\frac{B'}{L'} = 0.6 \quad \geq 0.6$$

d_i - معاملات عمق الأساس و تعطى بالعلاقات التالية : $\frac{D_f}{B} < 1$

$$d_q = 1 + 2 \cdot \tan\varphi \cdot (1 - \sin\phi)^2 \cdot \frac{D_f}{B} = 1.16$$

$$d_\gamma = 1$$

i_i - معاملات الميل ، حيث (α) زاوية ميل الحمولة على الشاقول و تعطى بالعلاقات التالية :

$$i_q = \left(1 - \frac{0.5 \cdot H}{V + A' \cdot c_a \cdot \cot\phi}\right)^5 = \left(1 - \frac{0.5*200}{500 + 1.3*1.3*(0.67*0) \cdot \cot 30}\right)^5 = 0.33$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{0.7 \cdot H}{V + A' \cdot c_a \cdot \cot\phi}\right)^5 = \left(1 - \frac{0.7*200}{500 + 1.3*1.3*(0.67*0) \cdot \cot 30}\right)^5 = 0.193$$

$$q_{ult} = 16.7*0.7*18.4*1.58*1.16*0.33 + 0.5*16.7*1.3*15.08*0.6*0.193 + 0 = 149.1kpa$$

3. 11: حساب قدرة تحمل تربة غير متجانسة تحت الأساس :

يبين الشكل 10-3 ساساً سطحياً يستند على طبقة تربة سماكتها H_1 تحت الأساس, التي بدورها تستند على طبقة أخرى تمتد لعمق كبير نسبياً. نميز الحالات التالية :

1- إذا كانت الطبقة العليا أضعف من الطبقة السفلى, يمكن أن تزيد الطبقة السفلى من قدرة تحمل التربة إذا كانت سماكة الطبقة العليا تحت الأساس صغيرة نسبياً, ويتم عادة في هذه الحالة إهمال مساهمة الطبقة السفلية في زيادة قدرة التحمل, التي تحسب اعتماداً على خواص الطبقة العلوية فقط.

2- إذا كانت الطبقة العليا أقوى من الطبقة السفلى, فإن الطبقة السفلى يمكن أن تخفض من قدرة تحمل التربة, بالتالي يجب أخذ تأثير الطبقة السفلى بعين الاعتبار. يمكن أن نميز حالتين :

أ- إذا كانت سماكة الطبقة العليا تحت الأساس كبيرة وليس هناك احتمال لحدوث انهيار بالثقب لتلك الطبقة, فعلى الأرجح لن تؤثر الطبقة السفلى على قدرة تحمل التربة.

ب- إذا كانت سماكة الطبقة العليا تحت الأساس صغيرة نسبياً و (أو) هناك احتمالاً للانهيار بالثقب للطبقة العليا, فعلى الأرجح سوف تؤثر الطبقة السفلى على قدرة تحمل التربة.

تستخدم عدة طرق لحساب قدرة تحمل التربة في حالة الترب غير المتجانسبة, نستعرض منها فيما يلي طريقتين مبسطتين :

<u>الطريقة الأولى (طريقة C,ϕ المكافئة)</u>

تتلخص هذه الطريقة بحساب الخواص المكافئة للتربة (زاوية الاحتكاك , التماسك والوزن الحجمي) اعتماداً على خواص طبقتي التربة وعلى سماكة الطبقة العليا وعمق مواشير الانزلاق, ثم حساب قدرة تحمل التربة اعتماداً على الموديلات المذكورة أعلاه , لحالة طبقة متجانسة وهمية مواصفاتها مساوية للمواصفات المكافئة المحسوبة. تتلخص خطوات الحل وفق هذه الطريقة بالتالي :

1- حساب الخواص المكافئة للتربة (زاوية الاحتكاك , التماسك والوزن الحجمي)

بفرض عمق مستوي الانزلاق تحت منسوب التأسيس يساوي عرض الأساس(Hs=B), يكون:

$$C_{eq} = \frac{C_1 . H_1 + C_2 . (B - H_1)}{B}$$

$$\phi_{eq} = \frac{\phi_1 . H_1 + \phi_2 . (B - H_1)}{B} \qquad (3-45)$$

$$\gamma_{H,eq} = \frac{\gamma_{H,1} . H_1 + \gamma_{H,2} . (B - H_1)}{B}$$

3- إذا كان $B < H_1$, فإننا نعتبر أن $C_{eq} = C_1 \quad , \phi_{eq} = \phi_1 \quad , \gamma_{H,eq} = \gamma_{H,1}$

4- حساب قدرة تحمل التربة باستخدام الخواص المكافئة المحسوبة

<u>الطريقة الثانية: طريقة تصعيد قدرة التحمل</u>

تتلخص مراحل هذه الطريقة بالتالي :

1- حساب قدرة تحمل الطبقة العلوية $q_{u,1}$ باعتماد الخواص $C_1, \phi_1, \gamma_{H,1}$ (إما لحالة الانهيار بالقص العام أو الموضعي أو بالثقب)

2- حساب قدرة تحمل الطبقة السفلية $q_{u,2}$ باعتماد الخواص $C_2, \phi_2, \gamma_{H,2}$ باعتبار $D_f = D_f + H_1$

3- حساب قدرة تحمل التربة المصعدة للطبقة السفلية $q_{u2,inc}$, وذلك باعتبار أن الاجهادات الناتجة عن الأساس تنتشر في الطبقة العليا بميل يتراوح بين 2:1 إلى 1:1 (الشكل 11-3), وإهمال مساهمة الطبقة العليا :

$$q_{u2,inc} = q_{u,2}\frac{A'}{A} \qquad (3-46)$$

حيث,

A مساحة الأساس

'A سطح توزع الاجهادات عند سطح الطبقة السفلى, نتيجة لانتشار الاجهادات الناتجة عن الأساس ضمن الطبقة العليا.

بفرض أن الاجهادات تنتشر في الطبقة العليا بميل 2:1 , يكون لدينا :

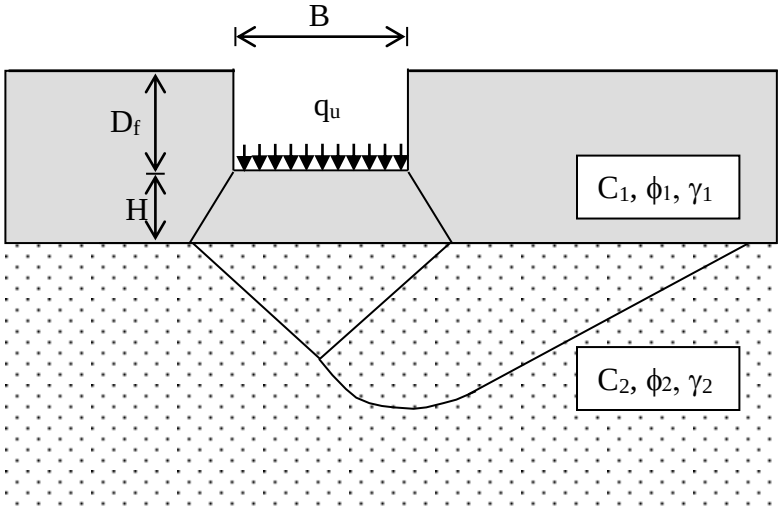
$$A = L * B$$

$$A' = (B + H_1)(L + H_1) \qquad (3-47)$$

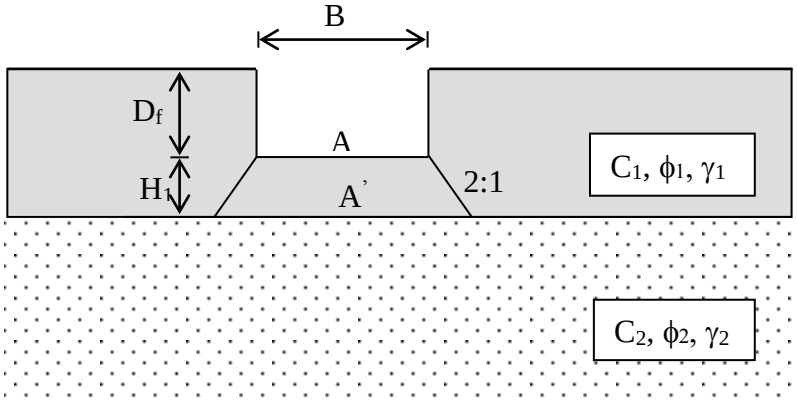
4- حساب قدرة تحمل التربة, حيث تعتبر مساوية للقيمة الصغرى بين $q_{u,1}$ و $q_{u2,inc}$

$$q_u = \min\left(q_{u,1}, q_{u2,inc}\right) \qquad (3-48)$$

<u>ملاحظة:</u> إذا كان هناك احتمالاً لانهيار التربة بثقب الطبقة العليا فإنه من المفضل استخدام الطريقة الثانية.



الشكل 3-10 :



الشكل 3-11 :

مسألة /4/ :

ليكن أساس مسقطه مربع الشكل طول ضلعه 2 م منفذ ضمن التربة على عمق 1.5 م و بفرض أن التحريات و التجارب المخبرية أعطت النتائج التالية :

خواص تربة التأسيس :

$$\phi' = 40\circ, C' = 0, \gamma = 16.7 kN/m^3, \gamma_{sat} = 20 kN/m^3$$

المطلوب : احسب قدرة تحمل التربة الحدية للأساس

لأساس سطحي عرضه 1mومنسوب تأسيسه -1.5m

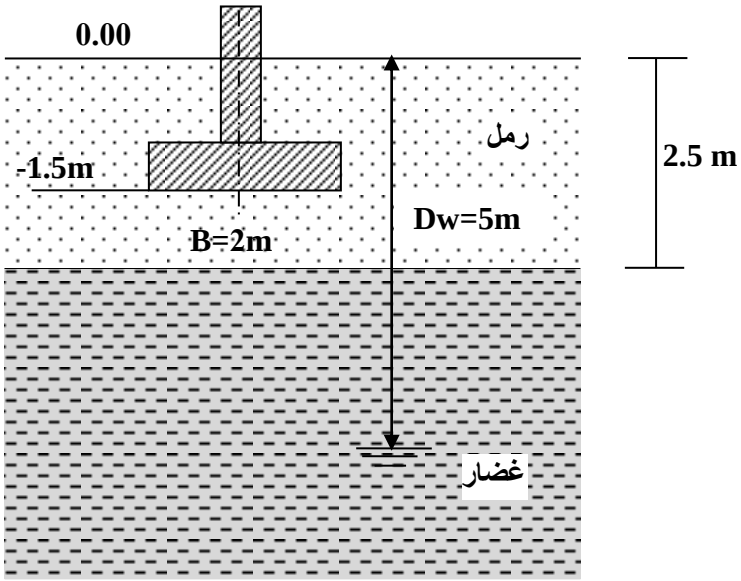
مبين بالشكل المجاور علماً بأن مواصفات طبقات التربة هي كالتالي :

طبقة الغضار

$$\gamma = 19 kN/m^3 \quad \phi' = 20^o \quad C' = 50 kN/m^2$$

طبقة الرمل

$$\gamma = 18 kN/m^3 \quad \phi' = 35^o$$



الحل :

- أساس سطحي $D_f = 1.5m < 3B = 6m \rightarrow$
- نوع الأساس : منفرد –مربع الشكل B*L=2*2 m
- تربة التأسيس :تربة غير متجانسة : رمل بسماكة 1m تحت منسوب التأسيس وتحتع غضار بسماكة 7.5m .
- منسوب المياه يقع على عمق كبير نسبياً (Dw=5m>Df+B=1.5+2=3.5m) و بالتالي لا يوجد تأثير للمياه الجوفية على حساب قدرة تحمل التربة

$$q_{ult} = C' \cdot N_c \cdot s_c + \gamma_1 \cdot D_f \cdot N_q \cdot s_q + 0.5 \cdot \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma$$

الطريقة الأولى (طريقة C,ϕ المكافئة)

1- حساب الخواص المكافئة

$$C_{eq} = \frac{C_1 . H_1 + C_2 . (B - H_1)}{B} = \frac{0 + 50 * (2-1)}{2} = 25\ kN/m^2$$

$$\phi_{eq} = \frac{\phi_1 . H_1 + \phi_2 . (B - H_1)}{B} = \frac{20 * 1 + 35 * (2-1)}{2} = 27.5^o$$

$$\gamma_{H,eq} = \frac{\gamma_{H,1} . H_1 + \gamma_{H,2} . (B - H_1)}{B} = \frac{19 * 1 + 18 * (2-1)}{2} = 18.5\ kN/m^3$$

2- حساب قدرة تحمل التربة باستخدام الخواص المكافئة المحسوبة

$$N_q = \frac{e^{\left(\frac{3\pi}{2}-\phi'\right)\cdot \tan\phi'}}{2\cdot\cos^2\left(45+\frac{\phi'}{2}\right)} = \frac{e^{\left(\frac{3\pi}{2}-27.5\right)}.\tan 27.5}{2\cos^2\left(45+\frac{27.5}{2}\right)} = 16.8$$

$$N_c = (N_q - 1)\cdot\cot\phi' = 30.4$$

$$k_{p\gamma} \cong \left(8\cdot\phi'^2 - 4\cdot\phi' + 3.8\right)\cdot\tan^2\left(60+\frac{\phi'}{2}\right) = 43.6$$

$$N_\gamma = 0.5\cdot\tan\phi'\left(\frac{k_{p\gamma}}{\cos^2\phi'} - 1\right) = 14.2$$

$$q_{ult} = 18.5*1.5*16.8*1 + 0.5*18.5*2*14.2*0.8 + 25*30.4*1.3 = 1436.4\ kpa$$

إذا حسبنا قدرة التحمل الحدية باستخدام خواص الطبقة الرملية فقط يكون لدينا :

$$N_c = 57.8 \qquad N_q = 41.4 \qquad N_\gamma = 45.5$$

وتكون قدرة التحمل الحدية :

$$q_{ult} = 18*1.5*41.4*1 + 0.5*18*2*45.5*0.8 + 0 = 1936.8\ kpa$$

نلاحظ بأن وجود طبقة الغضار قد خفض قدرة تحمل التربة ولذلك نعتمد قدرة التحمل الحدية:

q_{ult}=1436.4kN/m^2

3. 12 : قدرة تحمل تربة الأساسات السطحية ضمن منحدر أوبجواره

عند حساب قدرة تحمل التربة لأساس ضمن منحدر أو بالقرب منه يحصل انخفاض في قدرة تحمل التربة ويزداد هذا الانخفاض كلما زاد ميل المنحدر، و يكون هذا التأثير في الترب غير المتماسكة أكبر من الترب المفككة. و بالنسبة لهذا المقرر سنكتفي بالطريقة المبسطة حسب (Bowles 1997) و المعتمدة في الكود العربي الموحد و هي كما يلي:

- **<u>حالة أساس مستمر:</u>**

تحسب قدرة تحمل التربة الحدية لأساس مستمر يقع ضمن أو بالقرب من منحدر (الشكل 12-3) و يتعرض لحمولة شاقولية مركزية بالعلاقة التالية:

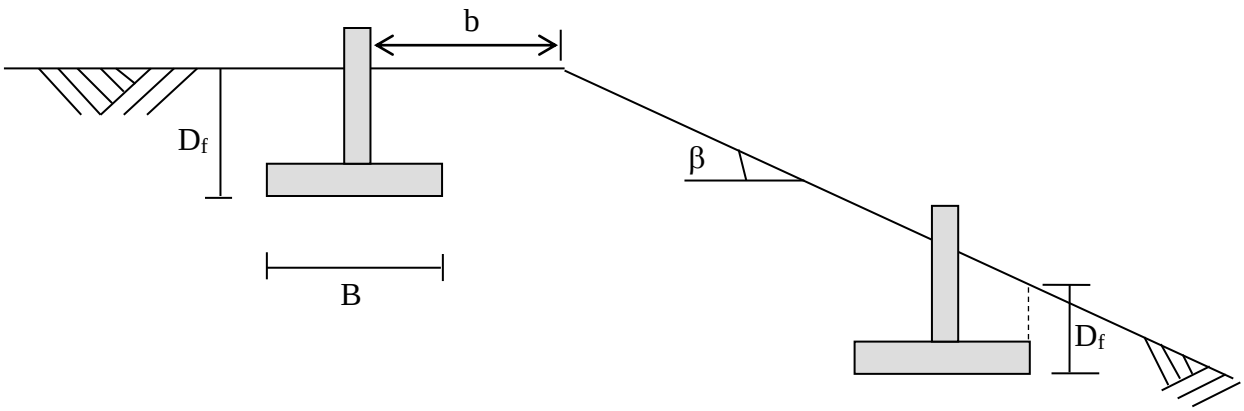
$$q_u = \sigma'_D \overline{N}_q s_q + 0.5\,\gamma'_H B N_\gamma s_\gamma + C\,\overline{N}_c s_c \qquad (3-49)$$

حيث,

sq , sc و sγ عوامل تصحيح بولس وتعطى قيمها في الجدول 3-5

Nγ عامل قدرة التحمل للوزن الحجمي ضمن مستوي الانزلاق, يتعلق فقط بـ ϕ, كالمعطاة من قبل هانزن (العلاقة 3-50)

$\overline{N}_c$ و $\overline{N}_q$ عوامل قدرة التحمل المعدلة (عوامل بولس لقدرة التحمل), تتعلق بزاوية الاحتكاك للتربة. ϕ وبزاوية بميل المنحدر β و Df/B وتعطى قيمها في الجدول 3-6



الشكل 3-12 :

المعامل	العلاقة
Sc	0.2B/L for $\phi=0$ 1+(Nq/Nc)(B/L) for $\phi>0$
Sq	1+B/L tan ϕ
Sγ	1-0.4 B/L

الجدول 3-5 : قيم المعاملات Sc, Sq, Sγ

$$N_c = (N_q - 1)\cot\phi$$

$$N_q = e^{\pi \tan\phi} \tan^2(45 + \frac{\phi}{2}) \qquad (3-50)$$

$$N_\gamma = 1.5\,(N_q - 1)\tan\phi$$

- يمكن استخدام الجدول 3-6 لحساب N'c, N'q بشكل تقريبي بدلالة النسب التالية: D/B ، b/B ، ϕ، β حيث : β زاوية ميل المنحدر و b بعد طرف الأساس عن قمة المنحدر.

في حالة أساس مربع أو مستطيل نستخدم العلاقات التقريبية التالية :

$$\left\langle \frac{q_u \text{ (لأساس مستمر)}}{q_u \text{ (لأساس غير مستمر)}} \right\rangle_{\text{على منحدر}} = \left\langle \frac{q_u \text{ (لأساس مستمر)}}{q_u \text{ (لأساس غير مستمر)}} \right\rangle_{\text{سطح أفقي}}$$

Refer to Fig. 4-4 for variable identification. Base values ($\beta = 0$) may be used when length or area ratios > 1 or when $b/B > 1.5$ to 2.0 (approximate). Values given should cover usual range of footing locations and depths of embedment.

	$D/B = 0$ $b/B = 0$					$D/B = 0.75$ $b/B = 0$					$D/B = 1.50$ $b/B = 0$				
$\beta\downarrow$	$\phi = 0$	10	20	30	40	0	10	20	30	40	0	10	20	30	40
0° $N'_c =$	5.14	8.35	14.83	30.14	75.31	5.14	8.35	14.83	30.14	75.31	5.14	8.25	14.83	30.14	75.31
$N'_q =$	1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	1.03	2.47	6.40	18.40	64.20
10°	4.89	7.80	13.37	26.80	64.42	5.14	8.35	14.83	30.14	75.31	5.14	8.35	14.83	30.14	75.31
	1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	0.92	1.95	4.43	11.16	33.94	1.03	2.47	5.85	14.13	40.81
20°	4.63	7.28	12.39	23.78	55.01	5.14	8.35	14.83	30.14	66.81	5.14	8.35	14.83	30.14	75.31
	1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	0.94	1.90	4.11	9.84	28.21	1.03	2.47	5.65	12.93	35.14
25°	4.51	7.02	11.82	22.38	50.80	5.14	8.35	14.83	28.76	62.18	5.14	8.35	14.83	30.14	73.57
	1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	0.92	1.82	3.85	9.00	25.09	1.03	2.47	5.39	12.04	31.80
30°	4.38	6.77	11.28	21.05	46.88	5.14	8.35	14.83	27.14	57.76	5.14	8.35	14.83	30.14	68.64
	1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	0.88	1.71	3.54	8.08	21.91	1.03	2.47	5.04	10.99	28.33
60°	3.62	5.33	8.33	14.34	28.56	4.70	6.83	10.55	17.85	34.84	5.14	8.34	12.76	21.37	41.12
	1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	0.37	0.63	1.17	2.36	5.52	0.62	1.04	1.83	3.52	7.80

	$D/B = 0$ $b/B = 0.75$					$D/B = 0.75$ $b/B = 0.75$					$D/B = 1.50$ $b/B = 0.75$				
$\beta\downarrow$	0	10	20	30	40	0	10	20	30	40	0	10	20	30	40
10°	5.14	8.33	14.34	28.02	66.60	5.14	8.35	14.83	30.14	75.31	5.14	8.35	14.83	30.14	75.31
	1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	1.03	2.34	5.34	13.47	40.83	1.03	2.47	6.40	15.79	45.45
20°	5.14	8.31	13.90	26.19	59.31	5.14	8.35	14.83	30.14	71.11	5.14	8.35	14.83	30.14	75.31
	1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	1.03	2.47	6.04	14.39	40.88	1.03	2.47	6.40	16.31	43.96
25°	5.14	8.29	13.69	25.36	56.11	5.14	8.35	14.83	30.14	67.49	5.14	8.35	14.83	30.14	75.31
	1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	1.03	2.47	6.27	14.56	40.06	1.03	2.47	6.40	16.20	42.35
30°	5.14	8.27	13.49	24.57	53.16	5.14	8.35	14.83	30.14	64.04	5.14	8.35	14.83	30.14	74.92
	1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	1.03	2.47	6.40	14.52	38.72	1.03	2.47	6.40	15.85	40.23
60°	5.14	7.94	12.17	20.43	39.44	5.14	8.35	14.38	23.94	45.72	5.14	8.35	14.83	27.46	52.00
	1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	1.03	2.47	5.14	10.05	22.56	1.03	2.47	4.97	9.41	20.33
	$D/B = 0$ $b/B = 1.50$					$D/B = 0.75$ $b/B = 1.50$					$D/B = 1.50$ $b/B = 1.50$				
10°	5.14	8.35	14.83	29.24	68.78	5.14	8.35	14.83	30.14	75.31	5.14	8.35	14.83	30.14	75.31
	1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	1.03	2.47	6.01	15.39	47.09	1.03	2.47	6.40	17.26	49.77
20°	5.14	8.35	14.83	28.59	63.60	5.14	8.35	14.83	30.14	75.31	5.14	8.35	14.83	30.14	75.31
	1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	1.03	2.47	6.40	18.40	53.21	1.03	2.47	6.40	18.40	52.58
25°	5.14	8.35	14.83	28.33	61.41	5.14	8.35	14.83	30.14	72.80	5.14	8.35	14.83	30.14	75.31
	1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	1.03	2.47	6.40	18.40	55.20	1.03	2.47	6.40	18.40	52.97
30°	5.14	8.35	14.83	28.09	59.44	5.14	8.35	14.83	30.14	70.32	5.14	8.35	14.83	30.14	75.31
	1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	1.03	2.47	6.40	18.40	56.41	1.03	2.47	6.40	18.40	52.63
60°	5.14	8.35	14.83	26.52	50.32	5.14	8.35	14.83	30.03	56.60	5.14	8.35	14.83	30.14	62.88
	1.03	2.47	6.40	18.40	64.20	1.03	2.47	6.40	18.40	46.18	1.03	2.47	6.40	16.72	36.17

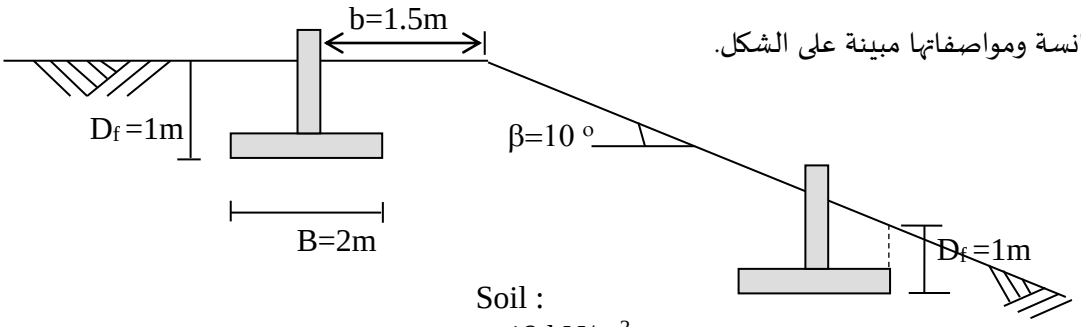
الجدول 3-6 : قيم العوامل $\overline{N}_c$ و $\overline{N}_q$ لحالة أساس مستمر على (أو ضمن) منحدر

مثال

يطلب حساب قدرة تحمل التربة الحدية لأساس مستمر B=2m وعمق تأسيسه 1m في الحالات التالية :

1- الأساس موجود ضمن جسم المنحدر
2- يقع الأساس أعلى المنحدر وعلى بعد 1.5m من زاوية المنحدر العليا
3- يقع الأساس أعلى المنحدر وعلى بعد 5m من زاوية المنحدر العليا

علماً بأن تربة المنحدر متجانسة ومواصفاتها مبينة على الشكل.



Soil :
γ=19 kN/m^3
ϕ=30°
C=5 kN/m^2

الحل

حسب طريقة بولس

$$q_u = \sigma'_D \overline{N}_q s_q + 0.5\gamma'_H B N_\gamma s_\gamma + C\overline{N}_c s_c$$

المعامل	العلاقة
Sc	0.2B/L for ϕ=0 1+(Nq/Nc)(B/L) for ϕ>0
Sq	1+B/L tan ϕ
Sγ	1+0.4 B/L

$$N_c = (N_q - 1)\cot\phi$$

$$N_q = e^{\pi\tan\phi}\tan^2(45+\frac{\phi}{2})$$

$$N_\gamma = 1.5\,(N_q - 1)\tan\phi$$

بالتعويض

$$N_q = e^{\pi\tan 30}\tan^2(45+\frac{30}{2}) = 18.4$$

$$N_\gamma = 1.5\,(18.4-1)\tan 30 = 15.1$$

$$N_c = (18.4-1)\cot 30 = 30.1$$

$$S_c = S_q = S_\gamma = 1$$

<u>الحالة الأولى :</u> الأساس ضمن المنحدر

من أجل $\frac{b}{B} = 0$, $\frac{D}{B} = \frac{1}{2} = 0.5$, $\beta = 10^o$ **يكون** $\overline{N}_q = 13.57$, $\overline{N}_c = 29.03$

بالتعويض

$$q_u = 19*1*13.57*1 + 0.5*19*2*15.1*1 + 5*29.03*1 = 690\,kN/m^2$$

<u>الحالة الثانية :</u> الأساس أعلى المنحدر (على بعد 1.5m من الزاوية العلوية للمنحدر)

من أجل $\frac{b}{B} = \frac{1.5}{2} = 0.75$, $\frac{D}{B} = \frac{1}{2} = 0.5$, $\beta = 10^o$ **يكون** $\overline{N}_q = 15.1$, $\overline{N}_c = 29.4$

بالتعويض

$$q_u = 19*1*15.1*1 + 0.5*19*2*15.1*1 + 5*29.4*1 = 720.8\,kN/m^2$$

<u>الحالة الثالثة :</u> الأساس أعلى المنحدر (على بعد 5m من الزاوية العلوية للمنحدر)

من أجل $\frac{b}{B} = \frac{5}{2} = 2.5$, $\frac{D}{B} = \frac{1}{2} = 0.5$, $\beta = 10^o$

بما أن $\frac{b}{B} > 1.5$ **فإننا نستخدم عوامل قدرة التحمل لأرض مستوية (** $\beta = 0$ **) وبالتالي فإن** $\overline{N}_q = 18.4$, $\overline{N}_c = 30.14$

بالتعويض

$$q_u = 19*1*18.4*1 + 0.5*19*2*15.1*1 + 5*30.14*1 = 787.2\,kN/m^2$$

3. 13 حساب قدرة تحمل التربة اعتماداً على نتائج التجارب الحقلية

يوجد العديد من التجارب الحقلية و لكن أكثر هذه التجارب استخداماً انتشاراً في حساب قدرة تحمل التربة هي التجارب الحقلية التالية:

- ❖ تجربة الاختراق النظامية (SPT: standard penetration test)
- ❖ تجربة الاختراق المخروطي (CPT: cone penetration test)
- ❖ تجربة صفائح التحميل أو أقراص التحميل (PLT:Plate load test)

يمكن الاستفادة من نتائج التجارب الحقلية بطريقتين هما:

- <u>الطريقة الأولى</u>: تقدير خواص التربة بشكل تقريبي اعتماداً على نتائج التجارب الحقلية من جداول أو مخططات أو علاقات تجريبية أو نصف تجريبية و تطبيق معادلات حساب قدرة تحمل التربة الحدية كما ذكرت سابقاً.

على سبيل المثال يمكن اعتماداً على نتائج تجربة الـ SPT و هي رقم الـ SPT الذي يرمز له بـ N60 أو N تقدير خواص تربة التأسيس من خلال جداول مختلفة أو بالاعتماد على مخططات لحساب معاملات قدرة تحمل التربة الحدية و منها يمكن حساب قدرة التحمل الحدية وفق الخطوات التالية:

- بمعرفة (N) و هي قيمة الـ SPT الوسطية لتربة التأسيس على عمق قدره (z=B - 2B).
- يمكن الدخول إلى مخطط (Peck, Hansen, Thornburn 1974) للحصول على المعاملات :Nc, Nq, Nγ أو يمكن الحصول على f و منها يمكن حساب المعاملات Nc, Nq, Nγ
- تحسب قدرة تحمل التربة الحدية بأحد الطرق السابقة

- <u>الطريقة الثانية</u>: و هي الطريقة الأكثر انتشاراً ، حيث يتم حساب قدرة تحمل التربة اعتماداً على نتائج التجارب مباشرة من خلال علاقات تجريبية أو نصف تجريبية:

3. 13. 1 قدرة تحمل التربة اعتماداً على نتائج تجربة الاختراق النظامية (S. P. T)

يمكن حساب قدرة تحمل الترب المفككة اعتماداً على تجربة الاختراق النظامية. يتم خلال التجربة تحديد مقاومة الاختراق N في عدد محدد من النقاط بتباعد 75cm في الاتجاه الشاقولي , و عند تغير طبقة التربة. يتم حساب مقاومة الاختراق الوسطية المعدلة من منسوب التأسيس حتى عمق حوالي ضعف عرض الأساس تحت منسوب التأسيس. يهمل في هذا الحساب أية قيمة فردية أكبر من 50, بينما يتم اعتبار جميع القيم للطبقات والعروق الضعيفة.

أعطى بعض الباحثين علاقات ومنحنيات تجريبية لحساب قدرة تحمل الترب الرملية, نذكر منها :

<u>طريقة مايروف</u>

اقترح مايروف العلاقات التالية لحساب قدرة تحمل التربة االمسموحة الصافية اعتماداً على مقاومة الاختراق النظامية, من أجل هبوط Sp = 2.5 cm :

$$q_{all,net,2.5} = 12\,N\,K_{D1} \qquad [kPa] \qquad for\ B \le 1.2m$$

$$q_{all,net,2.5} = 8\,N\,K_{D2}\left(\frac{B+0.3}{B}\right)^2 \qquad [kPa] \qquad for\ B > 1.2m \qquad (3-51)$$

حيث,

N مقاومة الاختراق الوسطية المصححة لعمق (B-2B) تحت منسوب التأسيس

$$N = (N_{60})_{Corr} = C_N\,.N_{60}$$

$$C_N = \left(\frac{100}{\sigma'_{zo}}\right)^{\frac{1}{2}} \le 2$$

$$K_{D1} = 1 + 0.2\frac{D_f}{B} \le 1.2$$

$$K_{D2} = 1 + 0.33\frac{D_f}{B} \le 1.33 \qquad (3-53)$$

من أجل هبوط S مختلف عن 2.5cm , تحسب قدرة تحمل التربة بشكل خطي بالعلاقة التالية :

$$q_{all,net} = q_{all,net,2.5}\frac{S}{2.5} \qquad (3-54)$$

ملاحظة : لا ينصح مايروف بإجراء تصحيح خاص بالمياه الجوفية لـ N, حيث يعتبر أن أثر المياه الجوفية موجود في قيم N المسجلة.

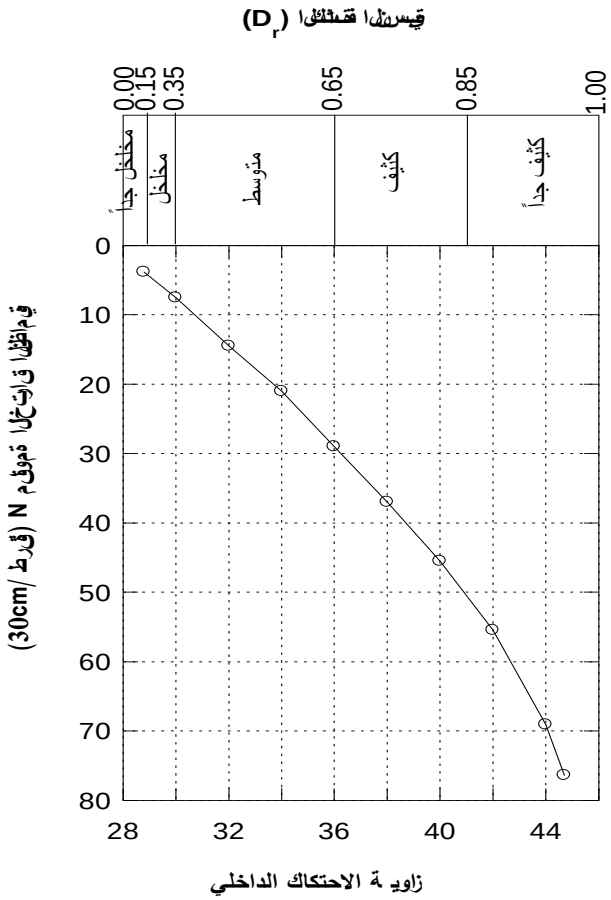
طريقة (Peck, Hanson and thornburn)

أعطى (Peck, Hanson and Thornburn) منحنيات تجريبية تعطي زاوية الاحتكاك الداخلي للرمل بدلالة مقاومة الاختراق المعدلة (الشكل 13-3). يمكن استخدام زاوية الاحتكاك في أي موديل (ترزاكي, مايروف ... الخ) من أجل حساب قدرة تحمل التربة الحدية, وباعتماد عامل أمان مناسب يمكن حساب قدرة التحمل الأمينة.

اقترح بيك علاقة لحساب قدرة تحمل التربة الصافية المسموحة ($q_{net-all}$) اعتماداً على رقم الـSPT (N) من أجل هبوط مسموح قدره (Sall=25.4 mm) كما يلي:

$$q_{all,net} = 11.N_{corr} \quad [KPa] \qquad (3-55)$$

مع العلم أن $N=(N_{60})_{corr}$, حيث تصحيح قيمة N_{60} المقاسة من أجل إدخال تأثير ضغط التربة الشاقولي الفعال الأولي σ'_{z0}, وفق علاقة (Peck, Hanson and thornburn). إن قدرة التحمل المحسوبة هي من أجل هبوط 2.5cm . إذا كان الهبوط المسموح أكبر من ذلك فيمكن حسابها خطياً كما ذكرنا سابقاً.



الشكل 13-3: العلاقة بين N و ⍰

(Peck, Hanson and Thornburn)

طريقة بولز (Bowels 1977) :

اقترح بولز تعديلات على علاقة مايرهوف لحساب قدرة تحمل التربة الصافية المسموحة ($q_{net-all}$) اعتماداً على رقم الـSPT (N) من أجل هبوط مسموح قدره (Sall>25.4 mm) و مع اضافة معامل تعديل العمق Fd و ذلك حسب عرض الأساس كما يلي:

$$B \le 1.2m : q_{all-net} = 19.16 \cdot N_{corr.} \cdot F_d \cdot \left(\frac{s_{all}}{25}\right) \text{ [kpa]}$$

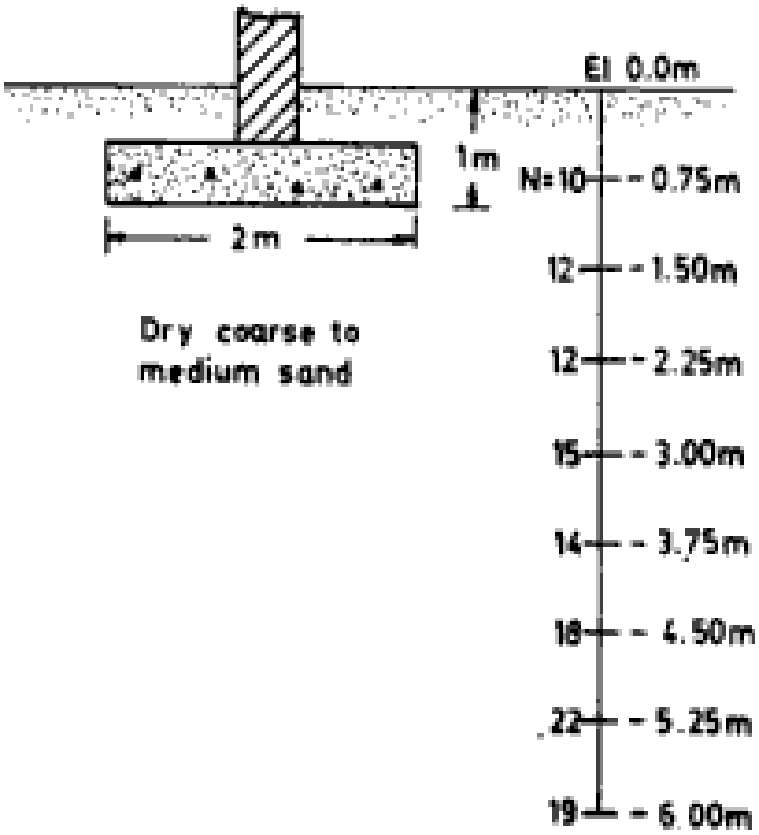
$$B \ge 1.2m : q_{all-net} = 11.98 \cdot N_{corr.} \cdot F_d \cdot \left(\frac{B+0.3}{B}\right)^2 \cdot \left(\frac{s_{all}}{25}\right) \text{ [kpa]} \qquad (3-56)$$

$$\mathrm{F_d} = \left(1 + 0.33\frac{D_f}{B}\right) \le 1.33$$

مثال

يطلب حساب قدرة تحمل التربة المسموحة تحت أساس مستطيل 2*3m علماً بأن تجربة الاختراق النظامية قد أعطت النتائج التالية (الشكل) وأن الوزن الحجمي للتربة γ=18kN/m^3 وأن الهبوط المسموح =4cm

ملاحظة : إن قيم المبينة على الشكل تمثل N60 غير المعدلة



الحل

$$\sigma'_{z0,2} = 18*1.5 = 27\ kN/m^2 \qquad \Rightarrow C_{N,1} = \sqrt{\frac{100}{27}} = 1.92$$

$$\sigma'_{z0,3} = 18*2.25 = 40.5\ kN/m^2 \qquad \Rightarrow C_{N,1} = \sqrt{\frac{100}{40.5}} = 1.57$$

$$\sigma'_{z0,4} = 18*3 = 54\ kN/m^2 \qquad \Rightarrow C_{N,1} = \sqrt{\frac{100}{54}} = 1.36$$

$$\sigma'_{z0,5} = 18*3.75 = 67.5\ kN/m^2 \qquad \Rightarrow C_{N,1} = \sqrt{\frac{100}{67.5}} = 1.22$$

$$\sigma'_{z0,6} = 18*4.5 = 81\ kN/m^2 \qquad \Rightarrow C_{N,1} = \sqrt{\frac{100}{81}} = 1.11$$

$$\sigma'_{z0,7} = 18*5.25 = 94.5\ kN/m^2 \qquad \Rightarrow C_{N,1} = \sqrt{\frac{100}{94.5}} = 1.03$$

$$\sigma'_{z0,8} = 18*6 = 108\ kN/m^2 \qquad \Rightarrow C_{N,1} = \sqrt{\frac{100}{108}} = 0.96$$

النقطة	N60	CN	N=N60*CN
2	12	1.92	23
3	12	1.57	19
4	15	1.36	20
5	14	1.22	17
6	18	1.11	20
7	22	1.11	23
8	19	1.03	18

حساب N الوسطية

$$N = \frac{23+19+20+17+20+23+18}{7} = 20\ Blows$$

$$K_{D2} = 1 + 0.33\frac{1}{2} = 1.17$$

$$q_{all,net,2.5} = 8*20*1.17\left(\frac{2+0.3}{2}\right)^2 = 247.6\ kN/m^2$$

$$q_{all,net} = 247.6*\frac{4}{2.5} = 396\ kN/m^2$$

3. 13. 2 قدرة تحمل التربة اعتماداً على نتائج تجربة أقراص التحميل

يمكن استخدام نتائج تجربة أقراص التحميل في حساب قدرة تحمل التربة الحدية والمسموحة. يبين الشكل 14-3 مثالاً نموذجياً لنتائج تجربة أقراص التحميل, حيث يبين تغير الاجهادات المطبقة بواسطة الصفيحة بدلالة هبوط الصفيحة. عندما يظهر منحني الاجهاد-الهبوط ذروة انهيار واضحة (منحني A) فإنه يمكن تحديد قدرة التحمل ببساطة, حيث تمثل شدة الاجهاد عند الذروة q_{ult} . أما عندما يكون الانهيار غير واضح (منحني B), فإنه من أجل حساب قدرة التحمل المسموحة للترب المفككة يمكن اتباع الخطوات التالية :

1-حساب هبوط صفيحة التحميل الموافق للهبوط المسموح للأساس : باستخدام العلاقة التالية :

$$S_{pl} = S_f \left[\frac{B_f (B_{pl} + 30)}{B_{p1} (B_f + 30)} \right]^2 \qquad (3-57)$$

S_f الهبوط الكلي المسموح للتربة تحت الأساس

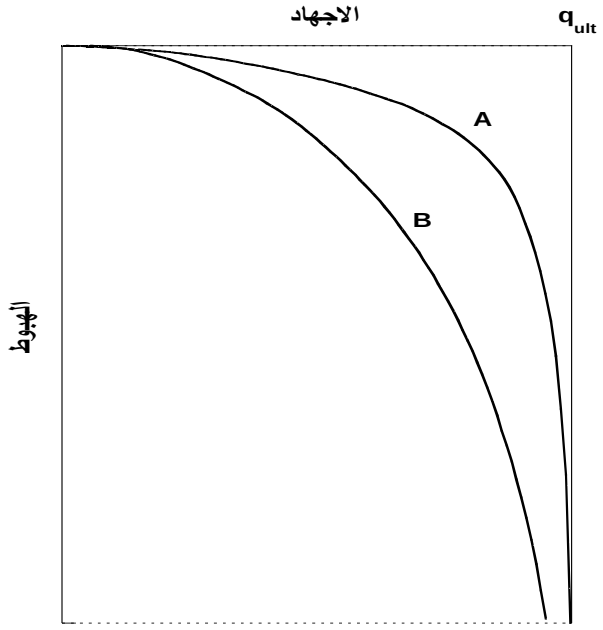
B_f عرض الأساس (cm)

B_{pl} عرض صفيحة التحميل (cm)

S_{pl} هبوط صفيحة التحميل الموافق للهبوط المسموح للأساس (بنفس واحدة S_f)

بمعرفة S_f و B_f و B_{pl} يمكن تحديد S_{pl}

2-من الشكل 4.14 يمكن تحديد قيمة الاجهاد الموافق للهبوط S_{pl} فيكون هو قدرة تحمل التربة المسموحة



الشكل 14- 3 : منحني الاجهاد – الهبوط لتجربة أقراص التحميل

3. 14 حساب قدرة تحمل التربة الصخرية :

تحسب المقاومة على الضغط غير المحصور للعينات الصخرية (q_{ucs}) و حسب قيمة هذه المقاومة نميز مايلي :

← $q_{ucs} \leq 10kg/cm^2 = 1\text{Mpa}$ نعتبر الصخر كتربة و يعامل على هذا الأساس.

← $q_{ucs} \geq 10kg/cm^2 = 1\text{Mpa}$ نعتبر الصخر سليم في حال كانت فواصله أكبر من 1 م

يمكن حساب قدرة التحمل المسموحة وفق الكود العربي حسب العلاقة التالية:

$$q_{all} = K_{sp} \cdot q_{ucs-core} \qquad (3\text{-}58)$$

حيث أن : q_{all} - قدرة التحمل المسموحة للتربة الصخرية باعتبار عامل أمان قدره 3 .

$q_{ucs-core}$ - المقاومة على الضغط غير المحصور للعينات الصخرية

K_{sp} - عامل يعتمد على المسافات بين الفواصل أو التشققات للطبقات الصخرية و يحسب من الجدول:

K_{sp}	المسافات بين الفواصل أو التشققات
0.4	**> 3m**
0.25	**1-3 m**
0.1	**0.3-1 m**