

## تصميم القواعد السطحية

### Design of Shallow Foundation

- عام • قدرة التحمل : خلفية • قدرة التحمل : منهجية
  - مقياس الضغط • قدرة التحمل : منهجية الضغط مقابل
  - مقاومة القص • قدرة التحمل : التدرج في خطوات العمل
  - قدرة التحمل : دقة قوانين التصميم • قدرة التحمل :
  - الحمل اللامركزي ، الحمل المائل و المنحدرات • الهبوط :
  - الخلفية • الهبوط : منهجية مقياس الضغط • الهبوط :
  - مقياس الضغط مقابل منهجية تجربة الاندماج • الهبوط :
  - التدرج في خطوات العمل • الهبوط : حالات خاصة تتضمن
  - وجود طبقة هشة ورقيقة • الهبوط : دقة قواعد التصميم
  - الهبوط : منهجية المرونة في مقياس الضغط • الهبوط :
- المنهجية الجديدة لمقياس الضغط

(٩, ١) عام GENERAL

يجب التأكيد على أن الخطوة الوحيدة والأكثر أهمية لاستخدام مقياس الضغط في التصميم هي إعداد ثقب حفر لمقياس الضغط ذي جودة. وأن الخطأ في التنبؤ لسلوك القاعدة نتيجة قواعد التصميم نفسها أقل بكثير من الخطأ الذي ينشأ عن استخدام

نتائج اختبارات رديئة من مقياس الضغط. فإذا كان جدار ثقب الحفر مخلخلاً مقارنة بثقب حفر معايير بدقة فإن ذلك يؤدي إلى الحصول على قدرة تحمل منخفضة وهبوط عالٍ، وأما إذا كان قطر ثقب الحفر أصغر مما ينبغي والأنبوب الأسطواني محشوراً بداخله فمن الممكن أن تكون قيمة الهبوط صغيرة جداً وقدرة التحمل عالية جداً. هناك نقطة أخرى هامة وهي السلوك العام للقواعد السطحية والتي تخضع للتحميل العمودي. يوضح شكل رقم (٦٢) نموذجاً لمنحنيات الحمل والهبوط المعيارية للطين والرمل (Briaud and Tucker, 1986)، ويعتمد هذا الشكل على سلسلة من اختبارات الحمل عند هبوط القواعد السطحية إلى عُشر عرضها تقريباً (العرض من ٠.٣ م إلى ٣ م). وقد بين أيضاً أنه مع أن عامل الأمان يساوي ٣ فإن هبوط القواعد على التربة الرملية كان من ٢ إلى ٣٪ من عرض القاعدة، بينما الهبوط للقواعد على التربة الطينية الصلبة كان فقط ٠.٥ إلى ١٪ من عرض القاعدة. نتيجة لهذا الاختلاف فإنه من المحتمل جداً أن الهبوط يتحكم في تصميم القواعد السطحية على التربة الرملية، وأن قوة تحمل التربة تتحكم في تصميم القواعد السطحية على التربة الطينية الصلبة.

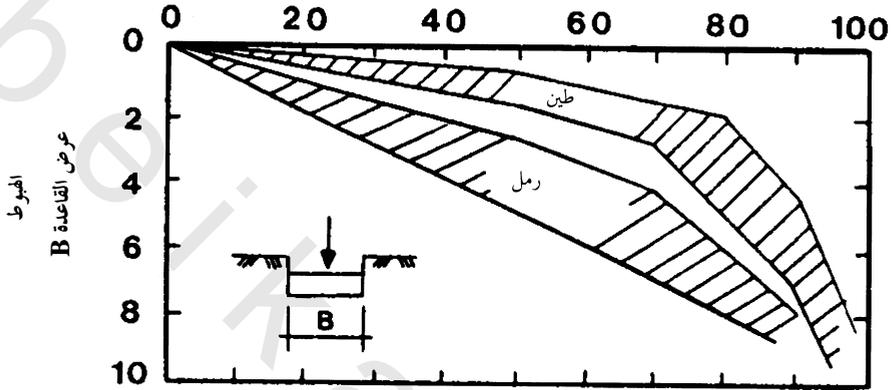
#### (٩، ٢) قدرة التحمل: خلفية BEARING CAPACITY: BACKGROUND

يوضح شكل رقم (٦٣) التشابه بين الضغط النهائي لمقياس الضغط  $p_L$  و قدرة التحمل القصوى  $q_p$ ، فلو كان اختراق قاعدة دائرية مرتبطة بتمدد تجويف كروي، فإن قدرة التحمل القصوى لهذه القاعدة هي الضغط النهائي لتمدد التجويف الكروي (كروي  $p_L$ ). يرتبط اختبار مقياس الضغط بتمدد التجويف الأسطواني، ويؤدي إلى الضغط النهائي (أسطواني  $p_L$ )، ويمكن التعبير عن النسبة بين قدرة التحمل القصوى الصافية للقاعدة الدائرية والضغط النهائي الصافي لمقياس الضغط بمعامل قدرة التحمل لمقياس الضغط  $k$  وهي كالتالي :

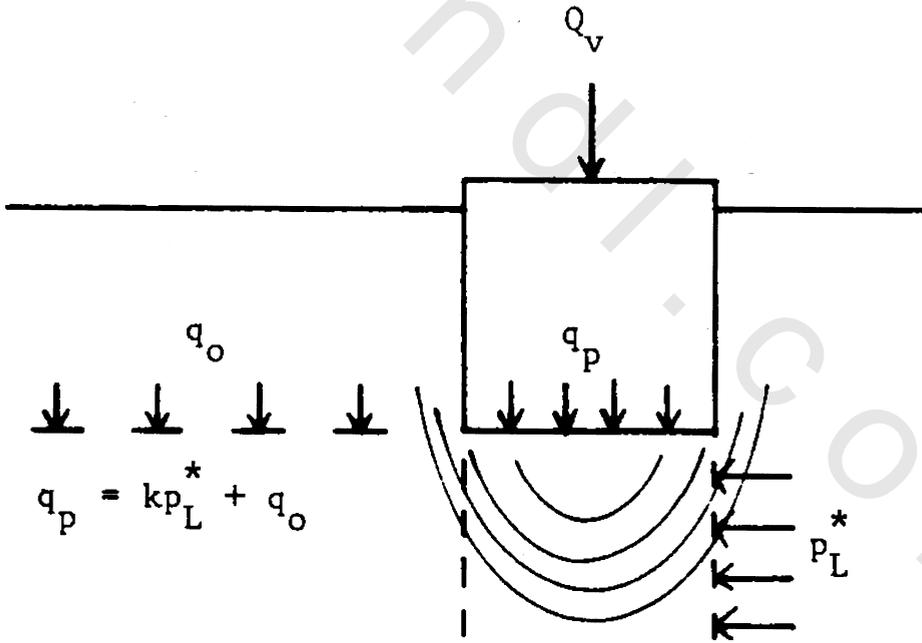
(١٤٧)

$$k = \frac{p_L(\text{sphere})}{p_L(\text{cylinder})}$$

$$\% \frac{\text{الحمل}}{\text{الحمل عند } B/10}$$



شكل رقم (٦٢). السلوك المعياري للقواعد المستمرة.



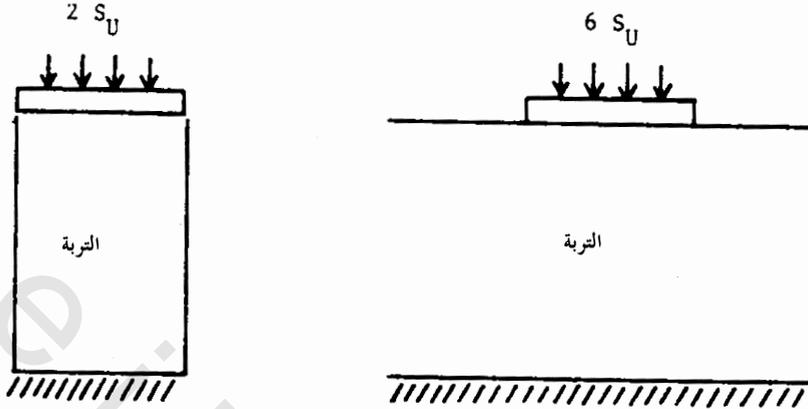
شكل رقم (٦٣). التناظر بين مقياس الضغط وقدرة التحمل.

ويمكن تقدير معامل قدرة التحمل القصوى النظري باستخدام نظرية اللدونة، حيث تتغير قيمة  $K$  من ١.٣٣ للطين إلى ٣ للرمل الكثيف و ٤ للرمل المفكك (Briaud *et al.*, 1986d).

يحمل مقياس الضغط التربة أفقياً، بينما تحمل القاعدة السطحية التربة رأسياً. ويساعد المثال التالي على إدراك أن معظم الدعم الرأسي المقدم من التربة للقاعدة السطحية هو من قدرة التربة لمقاومة الضغوط الأفقية. لناخذ في الاعتبار قاعدة دائرية على سطح ترسب طيني (شكل رقم ٦٤) حيث توجد طبقة صلبة على عمق  $2B$  و  $B$  هو قطر القاعدة. ففي هذه الحالة فإن قدرة التحمل للقاعدة تساوي تقريباً  $2S_u$ ، حيث إن  $S_u$  هي مقاومة القص غير المصرف للطين. إذا أزلنا الدعم الأفقي المقدم من التربة فإن قدرة التحمل تقل إلى  $2S_u$  حيث إن هذه المسألة هي إحدى تجارب الضغط غير المحصور على مقياس كبير (شكل رقم ٦٤). ومن الفارق يتبين أن مساهمة الدعم الأفقي إلى القدرة الرأسية هي  $4S_u$ ، وعلى هذا فإن ٦٧٪ من القدرة الرأسية للقاعدة تأتي من قدرة التربة إلى مقاومة الضغوط الأفقية. وتقاس المقاومة الأفقية بالضغط النهائي لمقياس الضغط  $P_L$ ، وفي هذه الحالة فإن معامل قدرة التحمل هو :

$$(١٤٨) \quad k = \frac{6S_u(\text{footing})}{4S_u(\text{pressuremeter})} = 1.5$$

يتضح أن جميع القدرات الرأسية تأتي من الدعم الجانبي لو طبق نفس المثال على تربة رملية. وتشير المناقشات السابقة إلى مدى نسبة معامل قدرة التحمل  $k$  لقدرة التحمل الصافي للقاعدة إلى الضغط النهائي الصافي لمقياس الضغط، وهذا المدى من ١ إلى ٤. ويتم الحصول على قيم  $k$  الموصى بها من إعادة حسابات اختبارات تحميل القاعدة. وكما سنرى لاحقاً أن مدى هذه القيم أقل بقليل من ١ للقواعد السطحية وأكبر بقليل من ٤ للخوازيق المغروزة في تربة رملية مفككة.



قدرة تحمل اللوح =  $6 S_U$

جزء من قدرة التحمل نتيجة المقاومة الرأسية =  $2 S_U$

جزء من قدرة التحمل نتيجة المقاومة الجانبية =  $4 S_U$

$q_p = k p_L^* > 6 S_U = k \times 4 S_U > k \sim 1.5$

شكل رقم (٦٤). الدعم الجانبي المفترض للقاعدة الدائرية.

(٩,٣) قدرة التحمل : منهجية مقياس الضغط

#### BEARING CAPACITY: PRESSUREMETER APPROACH

إن منهجية مينارد المقترحة (Menard, 1963a and b) هي لربط القدرة القصوى

لقاعدة  $q_L$  إلى الضغط النهائي الصافي من مقياس الضغط.

(١٤٩)

$$q_L = k p_{Le}^* + q_o$$

حيث إن  $p_{Le}^*$  هو الضغط النهائي الصافي والمكافئ في المنطقة التي تؤثر عليها القاعدة،

$k$  هو معامل قدرة التحمل و  $q_o$  هو الإجهاد الكلي لضغط الطبقة العليا عند عمق

القاعدة. ويمكن الحصول على قيمة  $p_{Le}^*$  كالتالي :

(١٥٠)

$$p_{Le}^* = \sqrt[n]{p_{L1}^* \times p_{L2}^* \times \dots \times p_{Ln}^*}$$

حيث إن  $p_{Li}^*$  إلى  $p_{Ln}^*$  هي الضغوط النهائية الصافية في المنطقة  $B \pm 1.5$  أعلى وأسفل القاعدة و  $B$  هو عرض القاعدة. اقترح مينارد جدولاً بيانياً يعطي  $k$  كدالة على عمق الطمر النسبي  $H_e$  (شكل رقم ٦٥ أ)، حيث إن  $H_e$  هو عمق الطمر الفعال وبحسب كالتالي:

$$(١٥١) \quad H_e = \frac{1}{p_{Le}^*} \sum_o^D p_{Li}^* \Delta z_i$$

حيث  $D$  هو العمق المطمور للقاعدة و  $p_{Li}^*$  هو الضغط النهائي الصافي لسماكة طبقة  $\Delta z_i$  ضمن العمق المطمور. يسمح هذا التعريف لـ  $H_e$  الأخذ في الاعتبار الطبقات المتواجدة في العمق المطمور والتي يمكن أن تكون أقوى أو أضعف من الطبقة التي تحمل القاعدة. وقد قام بوجلين وآخرون (Baguelin et al., 1978) بتحديث قوانين مينارد (شكل رقم ٦٥ ب)، كما قام بريود (Briaud, 1986b) بتحديثات إضافية لقوانين مينارد بعد تجميع وترتيب اختبارات الحمل المتوافرة (شكل رقم ٦٦) حيث إن هذا الشكل موصى باستخدامه في التصميم. يطبق هذا الشكل لحساب قدرة التحمل للقواعد المربعة والدائرية. أما للقواعد المستمرة فإن قيمة المعامل  $k$  الذي تم الحصول عليه من شكل رقم (٦٦) تقسم على ١.٢. وتعرف قدرة التحمل بأنها الضغط المناظر للهبوط المساوي لـ ٠.١ من عرض القاعدة (شكل رقم ٦٢). يناقش البند ٧، ٩ معاملات قدرة التحمل للحالات الخاصة مثل الأحمال المائلة واللامركزية والقواعد على منحدرات.

(٩، ٤) قدرة التحمل : منهجية الضغط مقابل مقاومة القص

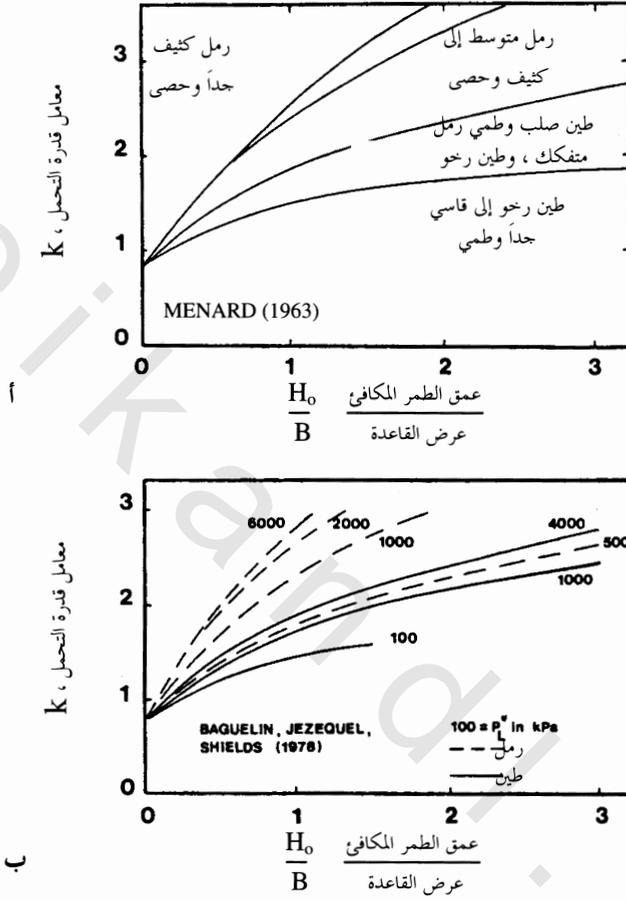
#### BEARING CAPACITY: PRESSUREMETER VERSUS SHEAR

#### STRENGTH APPROACH

يمكن مقارنة منهجية مقياس الضغط مع منهجية نظرية اللدونة لمقاومة القص للتربة الطينية كالتالي :

## تصميم القواعد السطحية

١٢١



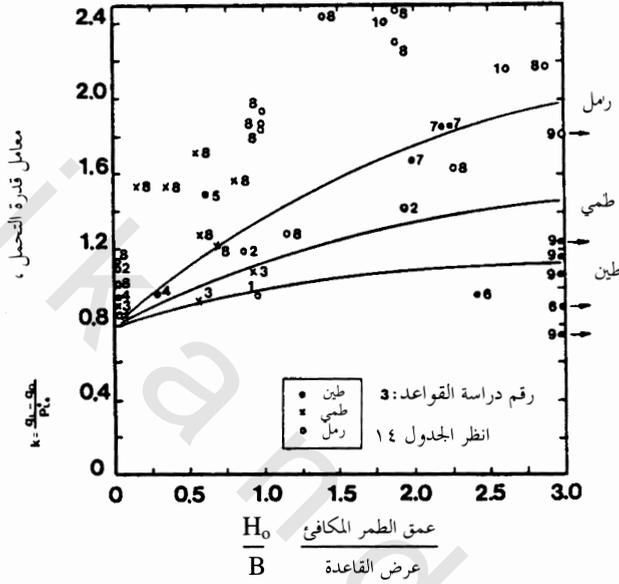
شكل رقم (٦٥). قيم k من مينارد (١٩٦٣م) ومن بوجلين، جزكويل وشيلدز (١٩٧٨م) : النسخة المبسطة.

(١٥٢)

$$q_L = N_c S_u + \gamma D$$

ويقارن الجزء  $N_c S_u$  في المعادلة ١٥٢ مباشرة بالجزء  $kp_{Le}^*$  في المعادلة ١٤٩. للقواعد الدائرية السطحية فإن قيمة  $N_c$  هي ٦,٢ (Skempton, 1951) وقيمة المعامل k هي ٠,٨

(شكل رقم ٦٦)، ويؤدي ذلك إلى قيمة  $kp_{Le}^*$  تساوي  $7.75 S_u$  وهي متوافقة تماماً مع  $7.5 S_u$  من المعادلة ١٣٢ لقاعدة البيانات (البند ٨,٦).



شكل رقم (٦٦). منحنيات التصميم الموصى بها للقواعد السطحية.

يتزايد المعامل  $N_c$  مع زيادة العمق المظمور للقاعدة إلى أن يصل إلى أعلى قيمة وهي ٩ وذلك عندما تصل نسبة عمق الطمر إلى عرض القاعدة  $D/B=4$  (Skempton, 1951). يجب أن تصل قيمة المعامل  $k$  إلى أعلى قيمة لها عندما  $6/9 \times 0.8 = 1.16$  وهذا عند  $D/B=4$ . يوضح شكل رقم (٦٦) قيمة للمعامل  $k$  وهي قريبة جداً من ١,١٦.

يؤثر معامل آخر على ضغط التحمل الأقصى  $q_L$  وهو انضغاطية الطين، حيث إن المعامل  $N_c$  يعتمد على معامل الانضغاطية  $I$  الذي اقترح من قبل فيسك

(Vesic, 1972)، وقد تم ذلك لمحاولة تصحيح نقاط الضعف لحل اللدونة-الصلابة. ويدخل هذا المعامل المهم في  $p_{Le}^*$  مباشرة وذلك بسبب تأثير انضغاطية الطين على الضغط النهائي لمقياس الضغط. وبهذا يكون التعبير النظري لـ  $p_L$  في حالة السلوك غير المصروف كالتالي:

$$(153) \quad p_L = p_o + S_u \left( 1 + L_n \frac{G}{S_u} \right)$$

ويمكن مقارنة منهجية مقياس الضغط أيضاً مع منهجية نظرية زاوية الاحتكاك-اللدونة للتربة الرملية وهي كالتالي:

$$(154) \quad q_L = \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma + \gamma D N_q$$

تزايد قدرة التحمل لقاعدة سطحية بناء على المعادلة ١٥٤ مع  $B$ ، وهذا يعود لحقيقة أن العمق المتأثر في ميكانيكية الانهيار يزداد بزيادة  $B$  بالرغم من أن  $N_\gamma$  قيمة ثابتة لقيمة معطاة لـ  $\phi$  وبهذا يزداد متوسط مستوى إجهاد الجاذبية للمادة الاحتكاكية. إن قيمة  $k$  ثابتة و  $q_o$  تساوي الصفر في منهجية مقياس الضغط للقاعدة السطحية، وقد أخذ في الاعتبار الزيادة في القدرة مع زيادة عرض القاعدة، وذلك بسبب أن قطاع الضغط النهائي الصافي يعكس الزيادة في مقاومة الرمل نتيجة الزيادة في إجهادات الجاذبية والضغط النهائي الصافي المكافئ يزداد للقواعد الكبيرة المستندة على رواسب رملية متجانسة.

يزداد  $q_L$  مع العمق المظموور  $D$  بناء على المعادلة ١٥٤ وتعكس المعادلة ١٤٩ هذه الزيادة بواقع أن  $k$  تزداد مع العمق (شكل رقم ٦٦). والمعامل الآخر الذي يؤثر على  $q_L$  هي انضغاطية الرمل، حيث إن العاملين  $N_\gamma$  و  $N_q$  واللذين يعتمدان على معامل الانضغاطية  $I$  قد اقترحا من قبل فيسك (Vesic, 1972). وقد أجري ذلك لتصحيح نقاط الضعف في حل اللدونة - الصلابة. يدخل هذا المعامل المهم في  $p_{Le}^*$  مباشرة، وذلك بسبب تأثير انضغاطية الرمل على الضغط النهائي الصافي لمقياس الضغط، وبهذا يكون التعبير النظري لـ  $p'_L$  للتربة غير المتماسكة كالتالي:

$$(١٥٥) \quad p'_L = \sigma'_{OH} (1 + \sin \phi) \left( \frac{G}{\sigma'_{OH} \sin \phi} \right)^{\frac{1-k_a}{2}}$$

حيث  $\phi$  هي زاوية الاحتكاك ،  $G$  هو معامل القص و  $k_a$  هو معامل ضغط التربة الفعال.

(٩,٥) قدرة التحمل : التدرج في خطوات العمل

#### BEARING CAPACITY: STEP-BY-STEP PROCEDURE

توضح الأمثلة المذكورة في الملحق (ب) خطوات العمل ، ويوجد كذلك برنامج على الحاسب الآلي يدعى SHALPMT (Tucker and Briaud, 1986a) لإجراء هذه الحسابات آلياً.

(٩,٥,١) معادلة قدرة التحمل Bearing capacity equation

تكتب قدرة التحمل القصوى  $q_L$  كالتالي :

$$(١٥٦) \quad q_L = kp_{Le}^* + q_o$$

حيث  $k$  هو معامل قدرة التحمل لمقياس الضغط (شكل رقم ٦٦) ،  $p_L^* = p_L - p_{OH}$  ، هو الضغط النهائي الصافي ،  $p_{OH}$  هو الإجهاد الأفقي الكلي عند السكون ،  $p_L$  هو الضغط النهائي (من التجربة) ،  $p_{Le}^*$  هو الضغط النهائي الصافي والمكافئ قرب مستوى القاعدة و  $q_o$  الإجهاد الكلي لضغط الطبقة العليا عند مستوى القاعدة.

(٩,٥,٢) حساب الضغط النهائي الصافي والمكافئ لـ  $p_{Le}^*$

Calculating  $p_{Le}^*$ , the equivalent net limit pressure

$$(١٥٧) \quad p_{Le}^* = \sqrt[n]{p_{L1}^* \times p_{L2}^* \dots \times p_{Ln}^*}$$

حيث إن  $p_{L1}^*, \dots, p_{Ln}^*$  هي الضغوط النهائية الصافية والتي تم الحصول عليها من التجارب التي أجريت ضمن المنطقة 1.5B (+) إلى 1.5B (-) أعلى وأسفل مستوى القاعدة و  $B$  هو عرض القاعدة.

**H<sub>e</sub> (٩,٥,٣) حساب العمق المكافئ للطمر**Calculating H<sub>e</sub>, the equivalent net limit pressure

$$(١٥٨) \quad H_e = \frac{1}{p_{Le}^*} \sum_{i=1}^n \Delta z_i p_{Li}^*$$

حيث إن  $p_{Li}^*$  هي الضغوط النهائية الصافية والتي تم الحصول عليها من التجارب بين سطح الأرض ومستوى القاعدة و  $\Delta z_i$  هي سماكات الطبقات الابتدائية التابعة لاختبارات مقياس الضغط.

جدول رقم (١٤) : قاعدة بيانات للقواعد الضحلة.

رقم الدراسة	رقم تعريف القاعدة	المرجع	التربة	عرض القاعدة (متر)	عمق القاعدة (متر)	نوع القاعدة
١	١	Deschenes (1978)	رمل	٠,٣	٠	شريطي
	٢	Briaud (1979)	متوسط الكثافة	٠,٣	٠,٣	شريطي
	٣			٠,٣	٠,٦	شريطي
	٤			٠,٣	٠,٩	شريطي
٢	٥	Deschenes (1978)	رمل	٠,٣	٠	شريطي
	٦	Briaud (1979)	كثيف	٠,٣	٠,٣	شريطي
	٧			٠,٣	٠,٦	شريطي
٣	٨	Amar et al. (1984)	طمي	١,٠	٠	مربع
	٩			١,٠	٠,٦	مربع
	١٠			١,٠	١,٠	مربع
٤	١١	Shields & Bauer	طين	٠,٤٦	٢,٦	دائري
	١٢	(1975)		٣,١	٠,٧	مربع
٥	١٣	Sheikh (1985) Briaud & Riner (1984)	طين	٢,٤١	٢,٣٦	دائري
	١٤	Reese (1970)	طين	٠,٧٦	٧,٠	دائري
٦	١٥	WCC (1981)	طين	٢,٢٩	٧,٠	دائري

تابع جدول رقم (٤).

دائري	١,٥	٠,٦	طين	Tand et al. (1986)	١٦	
دائري	١,٥	٠,٦		Briaud Engineers (1984a)	١٧	٧
دائري	١,٥	٠,٦			١٨	
دائري	١,٧-٠,٥	-٠,٢٥ ٠,٦	رمل/طيني	Menard (1963)	١٩	٨
دائري	٦,١	٠,٨٦٥	طين	Marsland & Randolph (1977)	٢٠	
دائري	١٢,٢	٠,٨٦٥			٢١	٩
دائري	١٨,٣	٠,٨٦٥			٢٢	
دائري	٢٤,٠	٠,٨٦٥			٢٣	
دائري	٠	٠,٧٦٢	طين	Johnson (1986)	٢٤	١٠

ملاحظة : ١ م = ٣.٢٨ قدم

## (٩,٥,٤) الحصول على معامل قدرة التحمل لمقياس الضغط k

## Obtaining k, the pressuremeter bearing capacity factor

يقرأ معامل قدرة التحمل k من شكل رقم (٦٦) حيث عمق الطمر النسبي هو  $H_0/B$ ، وهذه القيمة للقاعدة المربعة أو الدائرية. يستخدم  $k/1.2$  للقاعدة المستمرة ولو كانت القاعدة مستطيلة فيتم عمل الاستكمال الخطي بين حالة القاعدة المربعة والقاعدة المستمرة، حيث إن متغير الاستكمال هو  $B/L$  ويتم الرجوع إلى البند ٩.٧ للحالات الخاصة مثل الحمل المائل واللامركزي والقواعد على منحدرات.

Calculating  $q_L$ ,  $q_{safe}$  and  $q_{net}$  حساب كل من  $q_L$  و  $q_{safe}$  و  $q_{net}$  (٩,٥,٥)

(١٥٩)

$$q_L = kp_{Le}^* + q_o$$

(١٦٠)

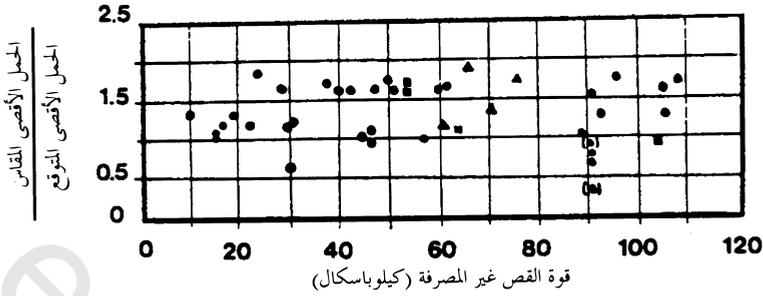
$$q_{safe} = \frac{kp_{Le}^*}{3} + q_o$$

وعندئذ فإن  $q_{net}$  هو عبارة عن  $q_{safe}$  ناقص  $q_o$ . وتوجد أمثلة في الملحق ب.

### (٩،٦) قدرة التحمل : دقة قوانين التصميم

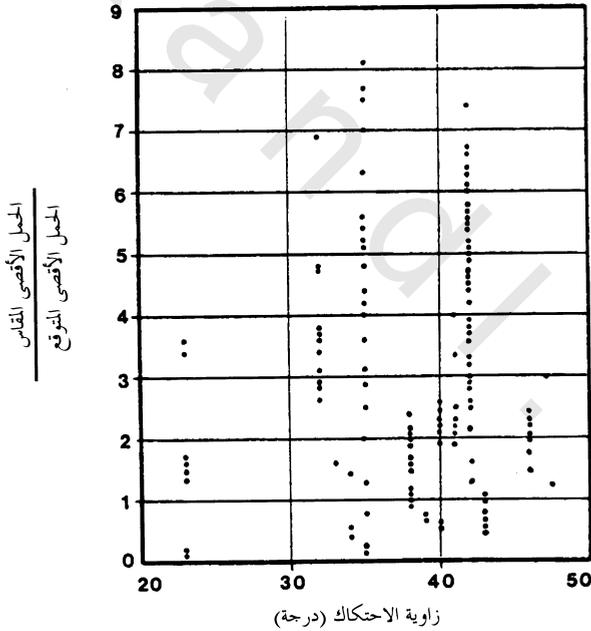
#### BEARING CAPACITY: PRECISION OF THE DESIGN RULES

يبين جدول رقم (١٤) قاعدة البيانات المستخدمة للشكل رقم (٦٦) ومشروح في المراجع (Briaud et al., 1986a and Briaud and Tucker, 1986). أما نقاط البيانات المستخدمة لاختيار منحنيات التصميم الموصى بها فهي موضحة في شكل رقم (٦٦)، حيث إن هذه النقاط تناظر المنحنيات التي تقسم نقاط البيانات إلى النصف تقريباً (المتوسط) ناقص الانحراف المعياري للنقاط المبعثرة حول المتوسط. ويجب التأكيد على أن هذه المنحنيات مقترحة لحساب ضغط التحمل الأقصى الذي يعرف بأنه الضغط الضروري لإحداث هبوط قصير الأجل مساوٍ لـ ٠,١ من عرض القاعدة. كما أنه أكد أيضاً بشدة اتباع القوانين للحصول على  $p_{Le}^*$  و  $H_c$ . نرى بمقارنة الأشكال أرقام (٦٥) أ، ٦٥ ب و (٦٦) أن منحنيات التصميم المقترحة أكثر تحفظاً من القوانين السابقة. تتغير نسبة ضغط التحمل الأقصى المقاسة إلى ضغط التحمل الأقصى المتوقعة لمنحنيات التصميم بين القيم ٠,٦ و ١,٥٤ لقاعدة البيانات (شكل رقم ٦٦). من أجل المقارنة فإن دقة الطريقة التي تتكون من استخدام معادلات قدرة التحمل ١٥٢ و ١٥٤ لتوقع ضغط التحمل الأقصى موضحة في شكل رقم (٦٧) للطين وشكل رقم (٦٨) للرمل. جاءت هذه الأشكال من دراسة قاعدة البيانات التي أجريت من قبل عامر وآخرين (Amar et al., 1984) وكما هو مبين فإن نسبة ضغط التحمل الأقصى المقاس إلى المتوقع تتغير من ٠,٦ إلى ١,٩٧ للطين ومن ٠,١ إلى ٨,١ للرمل. وعلى هذا فإنه من الممكن أن مقياس الضغط لا يحسّن بشكل واضح توقعات قدرة التحمل للطين، ويمكن تحسين التوقعات بشكل كبير وخاصة في الرمل.



شكل رقم (٦٧). التحمل المقاس مقابل التحمل المتوقع باستخدام  $q_u = N_c S_u + \gamma D$  للتربة الطينية

(Amar et al., 1984).



شكل رقم (٦٨). التحمل المقاس مقابل التحمل المتوقع باستخدام  $q_u = 0.5\gamma BN_\gamma + \gamma DN_q$  للتربة

الرملية (Amar et al., 1984).

## (٩,٧) قدرة التحمل : الحمل اللامركزي، والحمل المائل والمنحدرات

**BEARING CAPACITY: ECCENTRIC LOAD, INCLINED LOAD, SLOPES**

تشير قوانين التصميم السابقة إلى حالة تطبيق الحمل الرأسي في مركز القاعدة السطحية المستوية وسطح الأرض من حولها أفقياً. يكون عدد اختبارات الحمل التي تهتم بالحالات الخاصة مثل الحمل اللامركزي، والحمل المائل والقواعد قرب المنحدرات غالباً نادرة. ومن بعض الدراسات الحديثة الدراسة التي قام بها شيلدز وآخرون (Shields et al., 1977) للقواعد قرب المنحدرات والدراسة التي أقيمت في (Amar et al., 1984) Laboratoire Central des Ponts et Chaussees. عرض بوجلين وآخرون (Baguelin et al., 1978) قائمة لبعض الدراسات وأكدوا على ندرة البيانات العملية واقترحوا تطبيق معاملات ميرهوف للتقليل (Meyerhof, 1953) في قوانين مقياس الضغط. وهياً كل من: بوجلين، جزكويل وشيلدز قوانين ميرهوف لمنهجية مقياس الضغط كما سيشرح لاحقاً.

يسمى الحمل الأقصى الذي يمكن أن تحمله القاعدة عمودياً ومركزياً على أرض أفقية بـ  $Q_u$ . ويشير كل من الأحمال القصوى  $Q_{us}$ ،  $Q_{ui}$ ،  $Q_{ue}$  إلى التحميل المركزي والتحميل المائل والتحميل قرب المنحدرات على التوالي. وكما يشير الحمل الأقصى  $Q_{uis}$  إلى التحميل المائل قرب المنحدرات و  $Q_{uei}$  إلى التحميل المائل اللامركزي و  $Q_{ueis}$  إلى التحميل المائل اللامركزي قرب المنحدرات.

يستخدم العرض المصغّر  $B' = B - 2e$  للتحميل اللامركزي (شكل رقم ٦٩) ويتم تطبيق قوانين مقياس الضغط على العرض  $B'$  على إنها قاعدة محملة مركزياً. ويصغّر الحمل الأقصى ومعامل التصغير هو :

$$i_e = \frac{Q_{ue}}{Q_u} \quad (١٦١)$$

يطبق معامل التصغير على  $Q_u$  للتحميل المائل (شكل رقم ٧٠) ويكتب كالتالي (انظر للشكل رقم ٧٠ لبيان تعريف  $\delta$ ):

$$(162) \quad i_i = \left(1 - \frac{\delta}{90}\right)^2 (1 - \lambda) + \left(1 - \frac{\delta}{20}\right) \lambda$$

حيث إن :

$$(163) \quad \lambda = \lambda_d \lambda_m$$

$$(164) \quad \lambda_d = 1 - D/B \quad \text{for } 0 < D/B < 1$$

$$(165) \quad \lambda_d = 0 \quad \text{for } D/B > 1$$

$$(166) \quad \lambda_m = 1 - m \quad \text{for } 0 < m < 1$$

$$(167) \quad \lambda_m = 0 \quad \text{for } m > 1$$

$$(168) \quad m = (p_L^* \text{ at } z = D) / (p_L^* \text{ at } z = D + B)$$

لذا فإن :

$$(169) \quad Q_{ui} = i_i Q_u$$

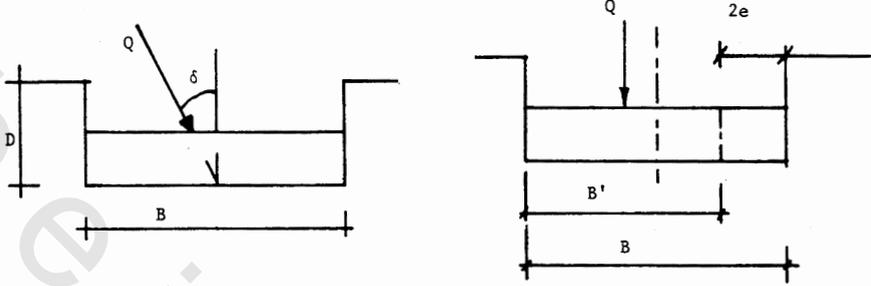
فلو كانت قيمة  $i_i$  بالسالب فإن  $Q_{ui}$  تساوي صفرًا، ويجب أن تظمر القاعدة أكثر لاكتساب قدرة تحمل أكبر.

أول خطوة بالنسبة للقواعد قرب المنحدرات هي التأكد من أن المنحدر تحت حمل القاعدة آمنًا بدرجة كافية، وفي هذه الحالة، يحسب معامل التصغير  $i_s$  باستخدام المعادلات من ١٦٢ إلى ١٦٨ وتبدل  $\delta$  بـ  $\beta'$  وهي زاوية معرفة في شكل (٧١).

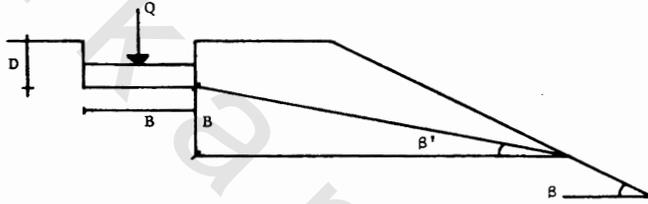
$$(170) \quad Q_{us} = i_{is} Q_u$$

هناك حالتان يمكن أن تحدث بالنسبة للتحميل المركزي المائل قرب منحدر، إما أن يكون التحمل المائل في اتجاه المنحدر (شكل رقم ٧٢) أو أن يكون في اتجاه بعيد عن المنحدر (شكل رقم ٧٣). فلو كان الحمل المائل في اتجاه المنحدر فيحسب معامل التصغير  $i_{is}$  بالمعادلات ١٦٢ إلى ١٦٨ بعد تبديل  $\delta$  بـ  $(\beta' - \delta)$

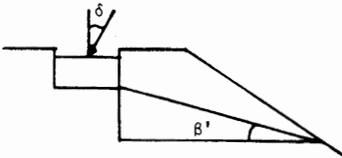
$$(171) \quad Q_{uis} = i_{is} Q_u$$



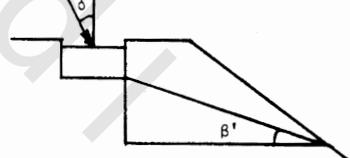
شكل رقم (٦٩). قاعدة سطحية محملة لا مركزياً. شكل رقم (٧٠). قاعدة سطحية معرضة لحمل مائل.



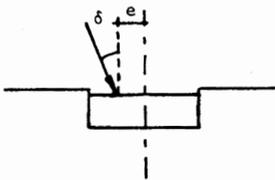
شكل رقم (٧١). قاعدة سطحية قرب منحدر.



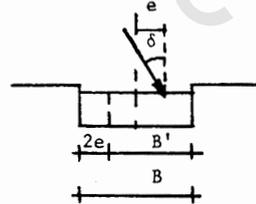
شكل رقم (٧٣). قاعدة سطحية قرب منحدر  
بالإضافة إلى حمل مائل باتجاه بعيد عن المنحدر.



شكل رقم (٧٢). قاعدة سطحية قرب منحدر  
بالإضافة إلى حمل مائل باتجاه المنحدر.



شكل رقم (٧٥). قاعدة سطحية محملة لا مركزياً  
بالإضافة إلى حمل مائل باتجاه المركز.



شكل رقم (٧٤). قاعدة سطحية محملة لا مركزياً  
بالإضافة إلى حمل مائل باتجاه الحافة.

يحدث الانهيار في اتجاه المنحدر أو بعيداً عن المنحدر إذا كان الحمل المائل في اتجاه بعيد عن المنحدر ، وكلتا الحالتين درست على حدة . إذا كان الانهيار بعيداً عن المنحدر فإن معامل التصغير هو نفس المعامل للتحميل المائل على أرض أفقية (المعادلات ١٦٢ إلى ١٦٨). أما إذا كان الانهيار في اتجاه المنحدر فيطبق معامل التصغير للجزء الرأسي ويعتبر كحمل رأسي مركزي قرب منحدر (معادلة ١٧٠)، وبهذا يتم الحصول على الجزء الرأسي لهذا الحمل المائل. وأقل حملي الانهيار السابقين هو حمل الانهيار لحالة الحمل المائل في اتجاه بعيد عن المنحدر.

هناك حالتان يمكن حدوثهما بالنسبة للتحميل المائل اللامركزي ، الحالة الأولى كما في شكل رقم (٧٤) والحالة الأخرى كما في شكل رقم (٧٥). ففي حالة شكل رقم (٧٤) فيحسب أولاً التصغير نتيجة اللامركزية ونحصل على معامل التصغير  $i_e$ ، ثم نطبق التصغير نتيجة الحمل المائل للقاعدة التي صغر عرضها إلى  $\beta'$  حيث إن  $B' = B - 2e$  (شكل رقم ٧٤) ويؤدي ذلك إلى معامل التصغير  $i_i$ . وبهذا يكون الحمل الأقصى هو:

$$(172) \quad Q_{uei} = i_e i_i Q_u$$

وفي حالة شكل رقم (٧٥) يمكن أن يحدث الانهيار إلى اليمين أو إلى اليسار. فإذا كان الانهيار في اتجاه اليسار، فيحسب التصغير نتيجة اللامركزية، وهو المعامل  $i_e$ ، وبعد ذلك يحسب التصغير نتيجة الحمل المائل (المعادلات ١٦٢ - ١٦٨) باستخدام العرض الفعلي B لحساب كل من m و  $\lambda_e$ ، وهذا المعامل هو  $i_i$ . وبهذا يكون الحمل الأقصى هو:

$$(173) \quad Q_{nei} = \frac{i_e}{i_i} Q_n \quad \text{if } \frac{i_e}{i_i} < 1$$

$$(174) \quad Q_{nei} = Q_u \quad \text{if } \frac{i_e}{i_i} > 1$$

أما إذا كان الانهيار باتجاه اليمين، فيعتبر عرض القاعدة هو  $B' = B + 2e$ . وبحسب الحمل الأقصى  $Q_u$  للقاعدة بعرض  $B + 2e$  تحت حمل رأسي مركزي وعلى أرض

أفقية. ويحسب التصغير نتيجة التحميل المائل (المعادلات ١٦٢ إلى ١٦٨) باستخدام العرض الفعلي لحساب كل من  $m$  و  $\lambda_d$ ، وهذا المعامل هو  $i$ . وبهذا يكون الحمل الأقصى هو:

(١٧٥)

$$Q_{uei} = i_i Q_{u(B+2e)}$$

وقد أعطي مثال في الملحق ب (المسألة ٥).

#### (٩,٨) الهبوط : الخلفية SETTLEMENT: BACKGROUND

اقترح مينارد وروسو (Menard and Rousseau, 1962) معادلة الهبوط لمقياس الضغط، وقد كان أساس هذه المنهجية مرتبطاً بالخلفية النظرية التالية (Baguelin et al., 1978).

يمكن النظر إلى هبوطين، أحدهما الهبوط غير المصرف (المحبوس) أو الهبوط بدون تغير في الحجم  $s_u$  والذي يحدث بسرعة والآخر الهبوط النهائي أو المصرف  $s_t$ . ويحسب  $s_u$  بنظرية المرونة باستخدام القيم الأساسية غير المصرفية ( $E_u, V_u, G_u$ ) و  $s_t$  باستخدام القيم الأساسية المصرفية طويلة الأجل ( $E', V', G'$ )، حيث إن  $E$  هو معامل يونج و  $\nu$  هو نسبة بويسون و  $G$  هو معامل القص.

يمكن تحليل متجه الإجهاد ( $\sigma$ ) عند أي نقطة ضمن التربة المحملة، إلى مركبتها الكروية ( $\sigma_s$ ) ومركبتها الفرقية ( $\sigma_d$ ) كالتالي:

(١٧٦)

$$\sigma = \sigma_s + \sigma_d$$

يمكن كتابة علاقات الإجهاد-الانفعال بنظرية المرونة كالتالي:

(١٧٧)

$$\sigma_s = 3k\varepsilon_s = \frac{E}{3(1-2\nu)}\varepsilon_s$$

(١٧٨)

$$\sigma_d = 2G\varepsilon_d = \frac{E}{1+\mu}\varepsilon_d$$

حيث إن  $K$  هو المعامل الحجمي ،  $\epsilon_s$  هو متجه الانفعال الكروي و  $\epsilon_d$  هو متجه الانفعال  
الفرقي.

يبين شكل رقم (٧٦) التغير في المركبات  $\epsilon_s$  و  $\epsilon_d$  للانفعال الرأسى  $\epsilon_z$ . إن المركبة  
الفرقية لمتجه الإجهاد  $\sigma_d$  هو نفسه ، سواء عبّر بالإجهاد الفعّال أو الإجهاد الكلي ،  
وعلى هذا فإن :

$$(١٧٩) \quad \sigma_{du} = \sigma'_d = \sigma_d$$

وحيث إن :

$$(١٨٠) \quad \sigma_{du} = 2G_u \epsilon_d$$

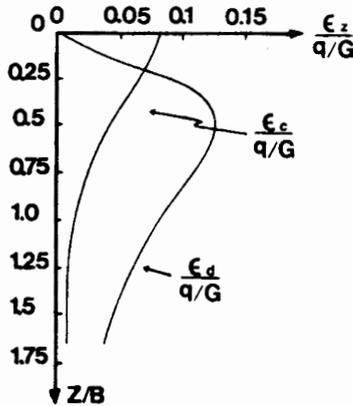
وكذلك

$$(١٨١) \quad \sigma'_{du} = 2G' \epsilon_d$$

لذا فإن :

$$(١٨٢) \quad G_u = G' = G$$

فلنأخذ في الاعتبار هبوط لوح دائري صلب موضوع على أرض مرنة :



شكل رقم (٧٦). توزيع الانفعال مقابل العمق (after Baguelin et al., 1978).

١٣٥

## تصميم القواعد السطحية

(١٨٣)

$$s_t = \frac{\pi}{8} \frac{1-v'}{G} qB$$

(١٨٤)

$$s_u = \frac{\pi}{8} \frac{1-0.5}{G} qB$$

والفرق بين  $s_t - s_u$  هو هبوط الاندماج  $s_c$ ،

(١٨٥)

$$s_u = \frac{\pi}{16} \frac{qB}{G}$$

(١٨٦)

$$s_c = \frac{\pi}{16} (1-2v') \frac{qB}{G}$$

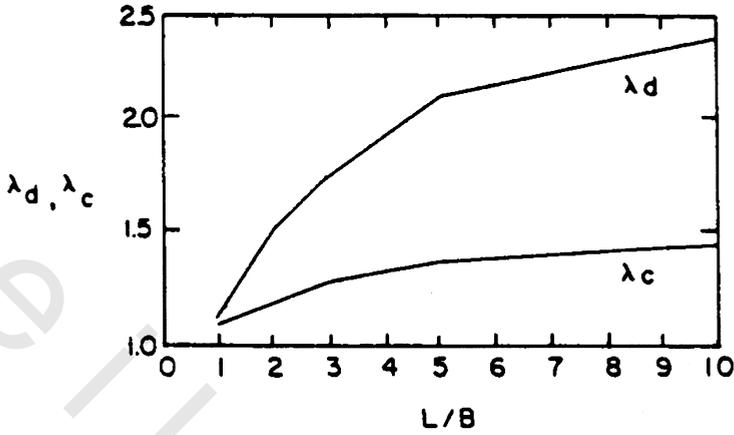
(١٨٧)

$$s_t = \frac{\pi}{16} \frac{qB}{G} + \frac{\pi}{16} (1-2v') \frac{qB}{G}$$

بالنسبة لمتوسط نسبة بويسون المساوية لـ ٠.٣٣، فإن قيمة  $s_u$  أكبر من  $s_c$  بثلاثة أضعاف، وبهذا فإنه يمثل ٧٥٪ من الهبوط الكلي  $s_t$ ، ويوضح هذا بأنه عندما يكون عرض القاعدة صغيراً مقارنة بسماكة الطبقة المضغوطة (وهي الحالة العامة للقواعد السطحية) فإن الهبوط غير المصرّف هو الجزء الرئيسي للهبوط النهائي.

جدول رقم (١٥): معاملات  $\alpha$  لبيارد.

رمل وحصى		رملية		طينية		طينية		عضوية		نوعية التربة
$\alpha$	$E/p^*_L$	$\alpha$	$E/p^*_L$	$\alpha$	$E/p^*_L$	$\alpha$	$E/p^*_L$	$\alpha$	$E/p^*_L$	
٣/١	١٠ <	٢/١	١٢ <	٣/٢	١٤ <	١	١٦ <			مدموجة بشدة
٤/١	١٠-٦	٣/١	١٢-٧	٢/١	١٤-٨	٣/٢	١٦-٩	١	لكل القيم	عادية الاندماج
٤/١		٣/١		٢/١		٢/١	٩-٧			متفتت و/أو مخلخلة
خفيف التصدع أو متفتت جداً $٣/٢ = \alpha$		أي شيء آخر $٢/١ = \alpha$				متصدع جداً $٣/١ = \alpha$				صخر



شكل رقم (٧٧). معاملات الشكل لنيارد.

(٩,٩) الهبوط : منهجية مقياس الضغط

**SETTLEMENT: PRESSUREMETER APPROACH**

تعد المناقشة السابقة لمسألة الهبوط هي محور معادلة مقياس الضغط للهبوط

: (Menard and Rousseau, 1962)

$$(188) \quad s = \frac{2}{9E_d} q B_o \left( \lambda_d \frac{B}{B_o} \right)^\alpha + \frac{\alpha}{E_c} q \lambda_c B$$

حيث  $s$  هو هبوط القاعدة (النهائي)،  $E_d$  معامل مقياس الضغط ضمن منطقة تأثير المتجه الفرقي،  $E_c$  معامل مقياس الضغط ضمن منطقة تأثير المتجه الفرقي،  $q$  ضغط التحمل الصافي للقاعدة  $q_{net}$ ،  $B_o$  العرض المرجعي ويساوي ٦٠ سم،  $\alpha$  معامل الانسيابية (جدول رقم ١٥)،  $\lambda_d$  معامل الشكل للجزء الفارق (شكل رقم ٧٧) و  $\lambda_c$  معامل الشكل للجزء الكروي (شكل رقم ٧٧).

هذه المعادلة هي معادلة المرونة ١٨٧ والتي تم تغييرها للأخذ في الاعتبار تأثير

المقياس النسبي للقاعدة  $B^\alpha$  ومقدار معامل مقياس الضغط.

(٩, ١٠) الهبوط : مقياس الضغط مقابل منهجية تجربة الاندماج

### SETTLEMENT: PRESSUREMETER VERSUS CONSOLIDATION

#### TEST APPROACH

يعتبر هبوط الاندماج نتيجة الجزء الكروي من متجه الإجهاد. وكما هو ملاحظ في شكل رقم (٦٧) فإن الانفعال الكروي يتناقص بسرعة مع العمق، مما يشير إلى أن هبوط الاندماج سائد للأعماق البسيطة (فلنقل نصف عرض القاعدة  $B/2$  تحت القاعدة). ومن الناحية الأخرى فإن الانفعال الفرقي يظل مهماً إلى عمق لا يقل عن  $2B$  تحت القاعدة (شكل رقم ٧٦).

يفضل تطبيق تجربة الاندماج لتقدير  $\epsilon_c$ ، بينما يفضل تطبيق تجربة مقياس الضغط لتقدير  $\epsilon_d$ ، حيث إن هذه التجربة نظرياً تعتبر تجربة فرق خالصة. وعلى هذا فلو كانت هناك قاعدة عريضة فوق طبقة انضغاطية رقيقة تكون فيها  $\epsilon_c$  هي السائدة، فإن منهجية تجربة الاندماج هي المفضلة. أما القواعد التي فوق رواسب عميقة وشبه متجانسة، حيث  $\epsilon_d$  هي السائدة فتفضل منهجية تجربة مقياس الضغط.

أوصى مينارد من الإفادات الإضافية لهذا الاختلاف بأن تؤخذ  $E_d$  في المعادلة ١٨٨ كمتوسط لمعامل مقياس الضغط للعمق المؤثر تحت القاعدة، بينما يؤخذ  $E_c$  كمتوسط المعامل تحت القاعدة مباشرة. إن تقنية التوسيط لـ  $E_d$  مبني أساساً على توزيع  $\epsilon_d$ ، ويصحح المعامل  $E_c$  تجريبياً إلى  $E_c/\alpha$  وذلك للحصول على معامل الاندماج.

(٩, ١١) الهبوط : التدرج في خطوات العمل

### SETTLEMENT: STEP-BY-STEP PROCEDURE

توضح الأمثلة المذكورة في الملحق (ب) خطوات العمل ويوجد أيضاً برنامج حاسب آلي يدعى SHALPMT (Tucker and Briaud, 1986a) لعمل الحسابات أوتوماتيكياً.

**Calculating the layer moduli** (٩, ١١, ١) حساب معاملات الطبقة

تقسم التربة أسفل مستوى القاعدة إلى سلسلة من الطبقات عرض كل منها  $B/2$  (شكل رقم ٧٨). ولكل طبقة يحسب متوسط معامل مقياس الضغط باستخدام نتائج اختبارات مقياس الضغط لتلك الطبقة وطريقة الوسط التوافقي، وهي كالتالي :

$$\frac{n}{E_k} = \frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} + \dots + \frac{1}{E_n} \quad (١٨٩)$$

حيث  $E_1, E_2, \dots, E_n$  هي معاملات مقياس الضغط في الطبقة  $k^{\text{th}}$  و  $E_k$  هو متوسط معامل مقياس الضغط للطبقة  $k^{\text{th}}$ .

تكرر خطوات العمل لجميع الطبقات (من ١ إلى ١٦)، وإذا لم تتوافر بيانات بعد عمق معين، فإن المعاملات للطبقات بعد ذلك العمق سوف تقدر بناء على البيانات الأخرى الموجودة في الموقع.

**Calculating  $E_c$  and  $E_d$**  (٩, ١١, ٢) حساب  $E_c$  و  $E_d$ 

يتناقص الجزء الكروي لمتجه الانفعال  $\epsilon_s$  بناء على نظرية المرنة بشكل كبير مع العمق (شكل رقم ٧٦) بينما يصبح مقدار الجزء الفرقي لمتجه الانفعال مهماً حتى للأعماق الكبيرة، وعلى هذا يؤخذ  $E_c$  كمعامل للطبقة الأولى تحت القاعدة.

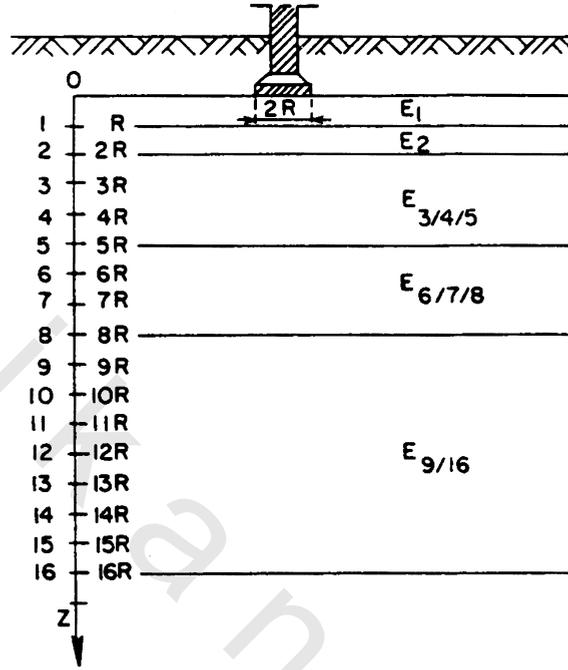
$$E_c = E_1 \quad (١٩٠)$$

ومن ناحية أخرى يؤخذ  $E_d$  كمعامل مكافئ لـ ١٦ طبقة تحت القاعدة، وتعتمد صيغة معامل التشوه المكافئ  $E_d$  على التقدير المناسب لتوزيع الانفعال  $\epsilon_d$  (Menard, 1975):

$$\frac{1}{E_d} = \frac{1}{4} \left( \frac{1}{E_1} + \frac{1}{0.85E_2} + \frac{1}{E_3} + \frac{1}{E_4} + \frac{1}{E_5} + \frac{1}{2.5E_9} + \frac{1}{E_{16}} \right) \quad (١٩١)$$

حيث إن  $E_{p/q}$  هو المتوسط التوافقي لمعاملات الطبقات من  $p$  إلى  $q$ ، فعلى سبيل المثال:

$$\frac{3}{E_{3-4-5}} = \frac{1}{E_3} + \frac{1}{E_4} + \frac{1}{E_5} \quad (١٩٢)$$



شكل رقم (٧٨). تقسيم التربة إلى طبقات لتحليل الهبوط.

**Obtaining  $\alpha$  and  $\lambda$  الحصول على  $\alpha$  و  $\lambda$  (٩, ١١, ٣)**

يتم الحصول على المتغيرات الأساسية  $\alpha$ ,  $\lambda_d$ ,  $\lambda_c$  من جدول رقم (١٥) وشكل رقم (٧٧). وتحدد قيمة  $\alpha$  بتحديد نوع التربة وتقدير حالة الاندماج من خلال قيمة النسبة  $E / p_L^*$ . ويعتمد معاملا الشكل  $\lambda_c$ ,  $\lambda_d$  على نسبة الطول إلى العرض  $L/B$ .

**Calculating the settlement حساب الهبوط (٩, ١١, ٤)**

يحسب الهبوط باستخدام المعادلة ١٨٨، بحيث يؤخذ ضغط التحمل كضغط الأمان الصافي:

(١٩٣)

$$q_{net} = q_{safe} - q_0$$

(٩, ١٢, ١) الهبوط : حالات خاصة تتضمن وجود طبقة هشة ورقيقة

### SETTLEMENT: SPECIAL CASES INVOLVING A THIN SOFT LAYER

(٩, ١٢, ١) Thin soft layer at depth وجود طبقة هشة ورقيقة عند عمق معين

يصبح الهبوط في هذه الحالة كالتالي (Baguelin et al., 1978) :

$$(١٩٤) \quad s = s' + s''$$

حيث  $s'$  هو هبوط القاعدة عند الأخذ في الاعتبار معامل الطبقة الهشة،  $E_{soft}$  هو نفس معامل التربة التي فوق الطبقة الهشة مباشرة  $E_{hard}$  و  $s''$  هي انضغاطية الطبقة الهشة وحدها.

$$(١٩٥) \quad s' = \frac{2}{9E_d} qB_o \left( \lambda_d \frac{B}{B_o} \right)^\alpha + \frac{\alpha}{9E_c} q\lambda_c B$$

$$(١٩٦) \quad s'' = \alpha \left( \frac{1}{E_{soft}} - \frac{1}{E_{hard}} \right) \Delta\sigma_v H$$

حيث  $\Delta\sigma_v$  هو متوسط زيادة الإجهاد الرأسي في الطبقة الهشة، و  $H$  هي سماكة الطبقة الهشة. وبحسب الهبوط  $s''$  باستخدام معادلة المرونة، بالإضافة إلى أن المعامل يساوي  $E/\alpha$  (انظر المثال ٦ في الملحق ب).

(٩, ١٢, ٢) وجود طبقة هشة ورقيقة قرب سطح الأرض

### Thin soft layer close to the ground surface

بحسب هبوط الطبقة الهشة لو كان هناك لبشة أو ردمية على طبقة هشة سماكتها أقل من  $B/2$  (Baguelin et al., 1978) كالتالي :

$$(١٩٧) \quad s = \sum_1^n \frac{\alpha_i \beta \Delta\sigma_i}{E_i} \Delta z_i$$

حيث  $n$  هو عدد الطبقات المكونة للطبقة الهشة، و  $\beta$  دالة في معامل الأمان  $F$ .

(١٩٨)

$$\beta = \frac{2}{3} \times \frac{F}{F-1}$$

و  $F$  هي نسبة قدرة التحمل القصوى إلى ضغط القاعدة الفعلي،  $\Delta\sigma_i$  هو متوسط زيادة الإجهاد الرأسى في الطبقة  $i^{\text{th}}$  والذي يتم حسابه بنظرية المرونة،  $\alpha_i$  هو معامل الانسيابية للطبقة  $i^{\text{th}}$ ،  $E_i$  هو معامل مقياس الضغط للطبقة  $i^{\text{th}}$ ،  $\Delta z_i$  هي سماكة الطبقة  $i^{\text{th}}$ . وتعتمد المعادلة ١٩٧ على نظرية المرونة باستخدام معامل  $E/\alpha$ .

يؤدي المعامل  $\beta$  إلى الأخذ في الاعتبار زيادة الانضغاط بعد الضغط المسبق

للاندماج ويوضح كالتالي:

١-  $s$  هو هبوط الاندماج.

٢- لو كان معامل الأمان ٣ فمن المحتمل أن يكون ضغط التحمل قريباً أو أصغر من الضغط المسبق للاندماج، وقيمة  $\beta$  في هذه الحالة تساوي ١.

٣- لو كان معامل الأمان أقل من ٣ فمن المحتمل أن يزيد ضغط التحمل على الضغط المسبق للاندماج وتزداد قيمة  $\beta$  تبعاً لذلك. انظر المثال ٧ في الملحق ب.

(٩، ١٣) الهبوط : دقة قواعد التصميم

#### SETTLEMENT: PRECISION OF THE DESIGN RULES

استخدم بعض الباحثين (Briaud et al., 1986a; Briaud and Tucker, 1986) عدداً من اختبارات تحميل القاعدة في تربة طينية صلبة، وطمي، ورمل (جدول رقم ١٤) لمقارنة الهبوط المحسوب باستخدام معادلة مينارد مع الهبوط المقاس، وكانت الخطوات المتبعة هي استخدام منحنيات التصميم من شكل رقم (٦٦)؛ وذلك من أجل الحصول على معامل قدرة التحمل  $k$  لحساب قدرة التحمل القصوى، وكذلك استخدام معامل الأمان ٣ للحصول على ضغط التحمل الآمن  $q_{\text{safe}}$ .

(١٩٩)

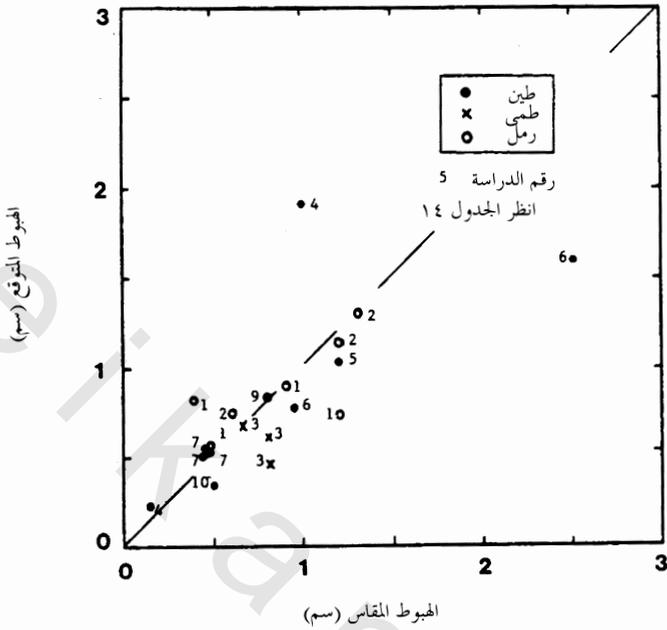
$$q_{\text{safe}} = \frac{kp_{Le}^*}{3} + q_o$$

تم استخدام الضغط  $q_{safe}$  بعد ذلك لحساب هبوط القاعدة، وقورن هذا الهبوط مع الهبوط المقاس عن  $q_{safe}$  خلال تجارب التحميل. ويبين شكل رقم (٧٩) مقارنة الهبوط المقاس مع المتوقع. ويشير شكل رقم (٧٩) إلى أن دقة  $\pm 0.50\%$  يمكن أن تتوقع من قوانين مينارد.

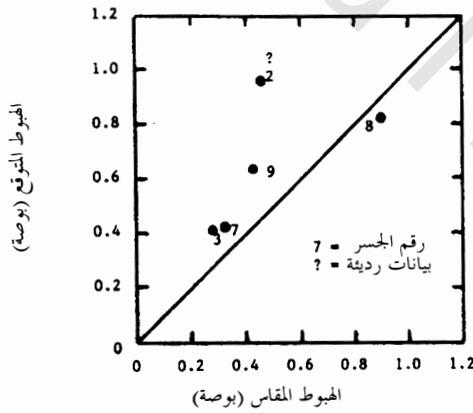
أسست عشرة جسور على قواعد متصلة في دراسة أخرى (Gifford et al., 1987) وجهزت ووضعت تحت المراقبة. وأجريت اختبارات مقياس الضغط بجوار خمسة جسور، وتم حساب الهبوط (Briaud Engineers, 1986b). ويوضح شكل رقم (٨٠) المقارنة بين الهبوط المقاس والمتوقع.

أظهر بوجلين وآخرون (Baguelin et al., 1978) نتائج ٤٥ مقارنة بين الهبوط المقاس والمتوقع لمنشآت مختلفة ورسمت هذه النتائج كما هو مبين في شكل رقم (٨١). يبين شكل رقم (٨٢) - وكمثال على الدقة المتوافرة للخبرة الحالية - نتائج دراسة قاعدة معلومات لهبوط قواعد على تربة رملية (Jeyapalan and Boehm, 1986)، ويوضح هذا الشكل مقارنة الهبوط المقاس مع الهبوط المتوقع باستخدام طريقة بك وبزارا (Peck and Bazaraa, 1969).

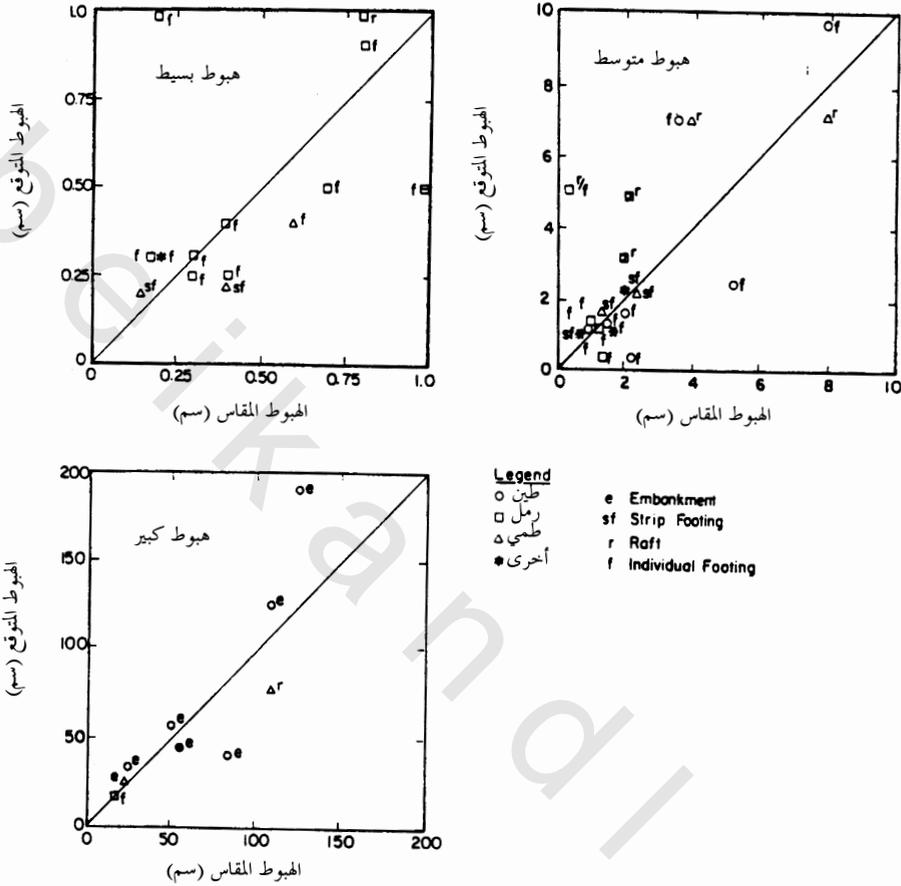
تطبق تجربة الاندماج جيداً لتوقع  $\epsilon_c$ ، بينما يطبق اختبار مقياس الضغط، والذي يعتبر نظرياً اختباراً فرقياً جيداً لتوقع  $\epsilon_h$ . وعلى هذا تفضل منهجية تجربة الاندماج إذا كانت هناك قاعدة عريضة على طبقة رقيقة قابلة للانضغاط و  $\epsilon_c$  هو السائد.  $\epsilon_h$  سيكون السائد إذا كانت القواعد على رواسب عميقة ومتجانسة نوعاً ما، وبذلك تفضل منهجية اختبار مقياس الضغط.



شكل رقم (٧٩). الهبوط المقاس مقابل الهبوط المتوقع بطريقة مينارد.



شكل رقم (٨٠). الهبوط المقاس مقابل الهبوط المتوقع بطريقة مينارد لـ ٥ دعائم طرفية للجسر.



شكل رقم (٨١). المهبوط المقاس مقابل المهبوط المتوقع بطريقة مينارد (Baguelin et al., 1978).

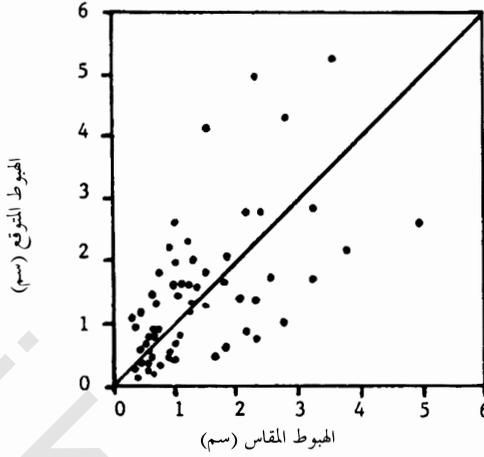
(٩, ١٤) الهبوط : منهجية المرونة في مقياس الضغط

SETTLEMENT: ELASTICITY PMT APPROACH

يبين استخدام معادلة المرونة (Janbu et al., 1956) أن البديل لمنهجية الهبوط لمينارد هو:

$$s = \mu_o \mu_1 (1 - \nu^2) q \frac{B}{E} \quad (٢٠٠)$$

## تصميم القواعد السطحية

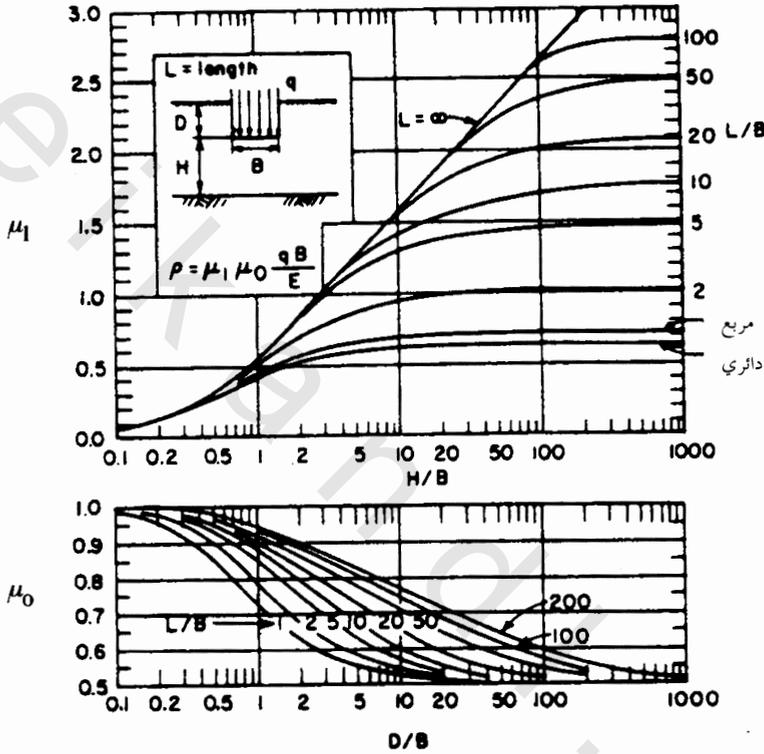


شكل رقم (٨٢). الهبوط المقاس مقابل الهبوط المتوقع بطريقة بيك وبزارا (Jeyapalan and Boehm, 1986).

حيث إن  $s$  هو الهبوط للقاعدة،  $\mu_0$  و  $\mu_1$  هما معاملتا التأثير،  $v$  هي نسبة بويسون،  $q$  هو ضغط التحمل،  $B$  هو عرض القاعدة و  $E$  هو معامل مقياس الضغط للمنطقة المتأثرة. استخدمت المعادلة ٢٠٠ لحساب الهبوط لعدة قواعد لتقييم المنهج البديل. وقد استخدم ضغط التحمل كالضغط الآمن  $q_{safe}$  والمحددة من حسابات قدرة التحمل، أما المعاملات  $\mu_0$  و  $\mu_1$  فقد تم الحصول عليها من الرسم البياني (Janbu, Bjerrum and Kjaernsli, 1965) باستخدام نسبة الطول إلى القطر يساوي ٢٠ للرواسب العميقة اللانهائية (شكل رقم ٨٣). وتم الحصول على متوسط معامل مقياس الضغط  $E_0$  وتلك طريقة التوسيط المقترحة من قبل شمترمان (Schmertmann, 1978) واستخدام توزيع الانفعال الموصي بها (البند ١٥، ٩).

يوضح شكل رقم (٨٤) الهبوط المقاس مقابل الهبوط المتوقع مبيناً أن توقع منهجية المرونة لهبوط القواعد المسنودة على تربة طينية صلبة مقارنة جداً للهبوط المقاس. وهناك آخرون (Kahle, 1983) حصلوا على نفس النجاح بهذه الطريقة. ويبين

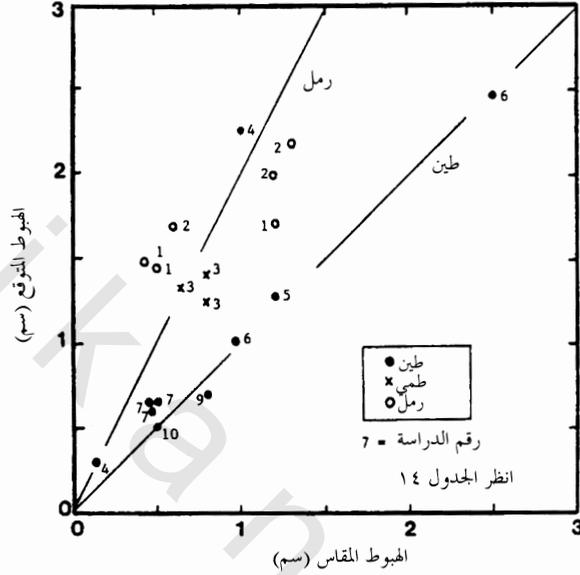
شكل رقم (٨٤) أيضاً أن توقع منهجية المرونة لهبوط القواعد المسنودة على تربة رملية في المتوسط أعلى بضعفين من الهبوط المقاس ، وهذه نتيجة لحقيقة أن معامل مقياس الضغط المحسوب أقل بضعفين (المعادلة ١٤٢).



شكل رقم (٨٣). رسم بياني لمعامل تأثير المرونة (Janbu et al. 1956).

يقترح شميرتمان (Schmertmann, 1978) أن القيمة بين  $2.5 q_c$  -  $3.5 q_c$  بينما  $E_0$  يساوي  $1.15 q_c$  ، والسبب في صغر قيمة  $E_0$  يرجع إلى وجود خطأ في النظرية المستخدمة في حساب  $E_0$  للمواد التي لا تقوى على الشد مثل الرمل. ولا يؤثر هذا الخطأ على النتائج باستخدام قوانين مينارد ؛ لأن هذه القوانين طوّرت باستخدام قيم  $E_0$  من المعادلة ٨٩ ، ويجب استخدام  $2 E_0$  بدلاً من  $E_0$  في المعادلة ٢٠٠ للقواعد المسنودة على التربة الرملية لو

استخدمت منهجية المرونة (المعادلة ٢٠٠) ، وللتفاصيل انظر البند ٧.٥.



شكل رقم (٨٤). الهبوط المقاس مقابل الهبوط المتوقع بطريقة المرونة.

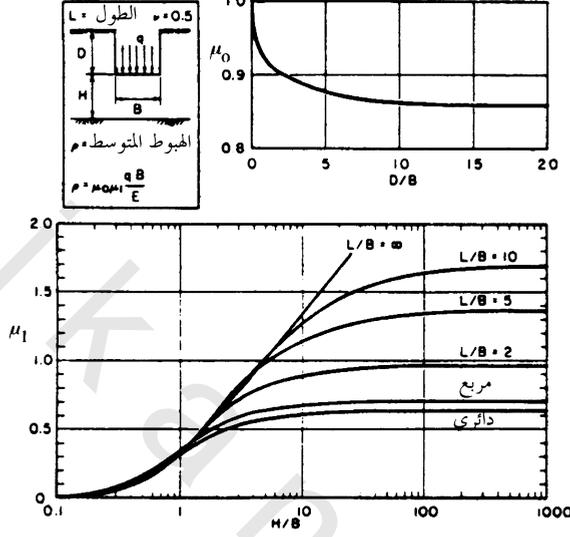
عارض كريستيان وكريير (Christian and Carrier, 1978) صلاحية الجدول البياني لجانبو، جروم وجرنسلي. وعادة ما يؤدي استخدام الجدول البياني المعدل والمقترح من قبل كريستيان وكريير (شكل رقم ٨٥) إلى قيمة أعلى للهبوط المتوقع، مع ملاحظة أن هذا الجدول البياني يطبق فقط لنسبة بويسون تساوي ٠.٥.

(٩, ١٥) الهبوط : المنهجية الجديدة لمقياس الضغط

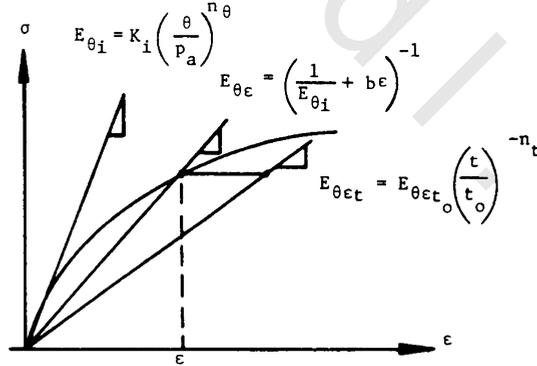
#### SETTLEMENT: NEW PRESSUREMETER APPROACH

تستطيع نظرية المرونة أن تعطي الإجابة الصحيحة إذا تم استخدام معامل التربة المناسب. إن المنهجية المقترحة هي منهجية المرونة والتي تستخدم معامل التربة والمختار بعناية للأخذ في الاعتبار جميع المعاملات الرئيسة. يعتمد معامل التربة على: متوسط

مستوى الإجهاد، ومستوى الانفعال، والمدة الزمنية التي يثبت خلالها الحمل (شكل رقم ٨٦). وقد تم شرح هذه العوامل والنماذج المناظرة في الفصل السابع.



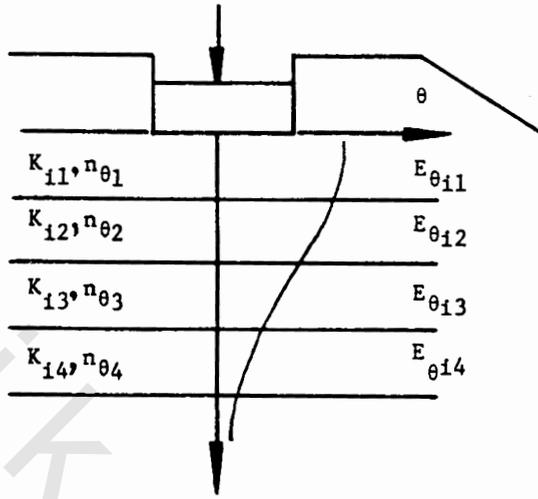
شكل رقم (٨٥). رسم بياني لمعامل تأثير المرونة (Christian and Carrier, 1978).



شكل رقم (٨٦). العوامل المؤثرة على معامل التربة.

يتم شرح التدرج في خطوات العمل للمنهجية الجديدة كالتالي:

١- تقسم التربة تحت القاعدة إلى سلسلة من طبقات مناسبة (شكل رقم ٨٧).



شكل رقم (٨٧). الأخذ في الاعتبار متوسط مستوى الإجهاد.

٢- يتم الحصول على متوسط توزيع الإجهاد مقابل العمق تحت القاعدة (شكل ٨٧) (ويستخدم على سبيل المثال الرسم البياني لـ Westergaard). ويسحب معامل المماس الابتدائي  $E_i$  لكل طبقة عند المتوسط المناسب لمستوى الإجهاد وذلك باستخدام:

$$(٢٠١) \quad E_i = k_i \left( \frac{\theta}{p_a} \right)^{n\theta}$$

حيث  $k_i$  هو معامل المماس الابتدائي عندما تتساوى قيمة  $\theta$  مع قيمة  $p_a$ ،  $\theta$  هو متوسط الإجهاد العمودي عند منتصف الطبقة،  $p_a$  هو الضغط الجوي و  $n_\theta$  هو أس الإجهاد للطبقة. وقد تم حساب المتغيرين  $K_i$  و  $n_\theta$  من اختبارات خاصة لمقياس الضغط كما هو مشروح لاحقاً.

٣- يتم الحصول على توزيع الانفعال الرأسي مقابل العمق تحت القاعدة (شكل ٨٨) ويحسب المعامل  $E_{\theta e}$ ، والذي يأخذ في الاعتبار مستوى الانفعال، لكل طبقة.

$$(٢٠٢) \quad E_{\theta\epsilon} = \left( \frac{1}{E_{\theta t}} + b\epsilon_t \right)^{-1}$$

حيث إن  $E_t$  تؤخذ من الخطوة أعلاه،  $b$  هو متغير الانفعال و  $\epsilon_z$  هو الانفعال عند منتصف الطبقة. يؤخذ المتغير  $b$  من اختبار خاص لمقياس الضغط، كما هو مشروح في نهاية هذا الجزء. وتتطلب خطوات العمل التكرارية؛ وذلك لأن مقدار الانفعال يعتمد على المعامل نفسه، وبعد الالتقاء يتم الحصول على المعامل  $E_{\theta\epsilon}$  لكل طبقة.

٤- يحدد الوقت، خلال عمر المنشأة والذي عندها يحسب الهبوط ثم يحسب المعامل  $E_{\theta\epsilon_t}$  والذي يأخذ في الاعتبار عامل الوقت (شكل رقم ٨٩).

$$(٢٠٣) \quad E_{\theta\epsilon t} = E_{\theta\epsilon t_0} \left( \frac{t}{t_0} \right)^{-n_t}$$

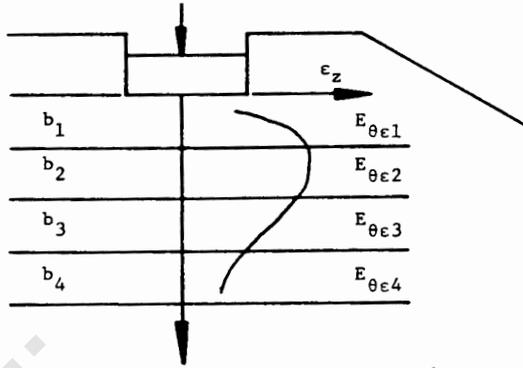
حيث إن  $t_0$  هو الزمن المناظر لاحتساب معامل مقياس الضغط،  $E_{\theta\epsilon t_0}$  وهو المعامل الذي يتم الحصول عليه من الخطوة الثالثة و  $n_t$  هو أس الوقت. يتم إيجاد المتغير  $n_t$  من اختبار خاص لمقياس الضغط كما سيشرح لاحقاً، وكذلك قيمة  $E_{\theta\epsilon t}$  في كل طبقة.

٥- يتم الحصول على متوسط معامل التربة تحت القاعدة بالمعادلة التالية (شكل رقم ٩٠):

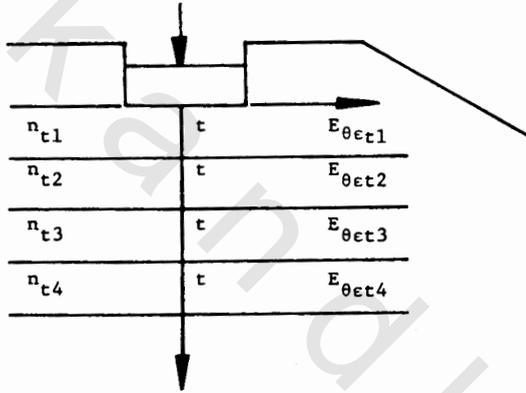
$$(٢٠٤) \quad \frac{A}{E_{\theta\epsilon(av)}} = \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{E_{\theta\epsilon(i)}}$$

حيث إن  $n$  هو عدد الطبقات المعتبرة تحت القاعدة،  $E_{\theta\epsilon(i)}$  هي المعاملات لكل طبقة والمحسوبة في الخطوة ٤،  $a_i$  هي المساحات تحت توزيع معامل تأثير الانفعال (Schmertmann, 1978) داخل كل طبقة و  $A$  هي المساحة تحت كامل الرسم البياني.

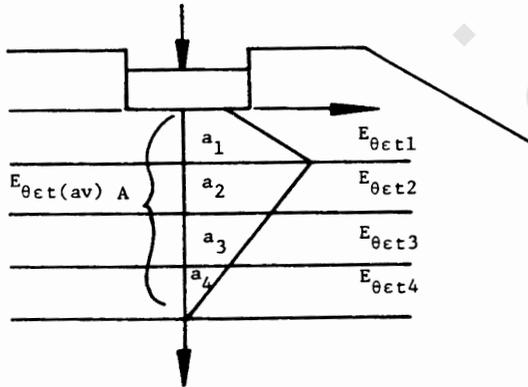
تصميم القواعد السطحية



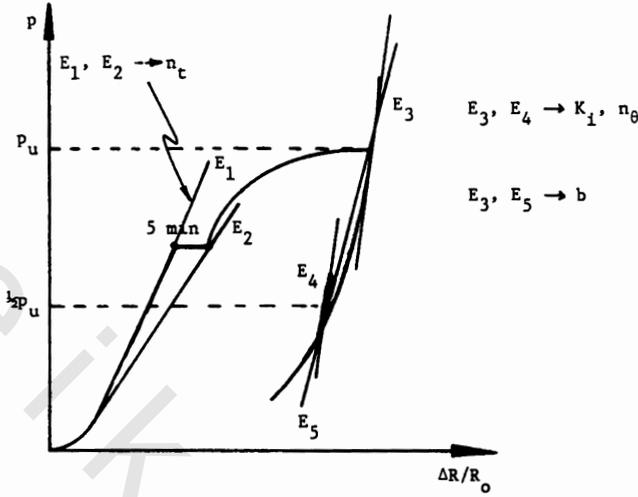
شكل رقم (٨٨). الأخذ في الاعتبار مستوى الانفعال.



شكل رقم (٨٩). الأخذ في الاعتبار معامل الوقت.



شكل رقم (٩٠). الحصول على متوسط المعامل.



شكل رقم (٩١). الحصول على متغيرات التربة للنماذج.

٦- استخدم معادلة مرونة لحساب الهبوط  $s$ .

$$(٢٠٥) \quad s = \mu_o \mu_1 (1 - v^2) q \frac{B}{E_{\theta Et(av)}}$$

حيث إن  $\mu_o$  و  $\mu_1$  هما معاملتا التأثير، ويشمل تأثير الدفن (Janbu et al., 1956 or Christian and Carrier, 1978) وشكل القاعدة والعمق إلى المنطقة الصلبة إن وجدت،  $v$  نسبة بويسون،  $(1 - v^2)$  هو معامل التصحيح التجريبي،  $q$  هو ضغط القاعدة الصافي،  $B$  هو عرض القاعدة و  $E_{\theta Et(av)}$  تؤخذ من الخطوة الخامسة. يتم الحصول على المتغيرات الأساسية الضرورية للنماذج في كل طبقة من اختبار خاص لمقياس الضغط (Briaud et al., 1987) والذي يشمل اختبارات خاصة في البند ٥.٣. وهذا الاختبار الخاص مشروح في شكل رقم (٩١).

خطوات العمل السابقة لها ميزة الأخذ في الحسبان بالعوامل الرئيسية المؤثرة على معامل التربة مثل: مستوى الإجهاد، ومستوى الانفعال وتأثير الوقت.