

### تصميم الخوازيق المحملة عمودياً

#### Design of Vertically Loaded Piles

- عام • الحمل الأقصى : طريقة للسعة النقطية • الحمل الأقصى : طريقة لسعة الاحتكاك • الحمل الأقصى : خطوات العمل المتدرجة • الحمل الأقصى : طريقة PMT مقابل SPT/S<sub>60</sub> • الحمل الأقصى : دقة قواعد التصميم • الهبوط : الطريقة • الهبوط : دقة قواعد التصميم • فاعلية تأثير المعدل • تأثير التحميل الدوري • تأثير الإجهادات المتبقية • مجموعات خوازيق

#### GENERAL (١٠, ١) عام

يجب التأكيد على أن الخطوة الأكثر أهمية في استخدام مقياس الضغط في التصميم هي الإعداد لثقوب حفر ذات نوعية جيدة. يكون الخطأ في التنبؤ بسلوك الأساسات الناتج عن قوانين التصميم ذاتها أقل أهمية من الخطأ الذي يمكن أن ينتج عن استخدام نتائج اختبارات مقياس الضغط ذات نوعية رديئة. يؤدي بصورة عامة ثقب الحفر المخلخل والمعايير جيداً إلى تقليل الحمل الأقصى وزيادة الهبوط في الأساسات، ولكن إذا كان قطر الثقب صغيراً جداً والأنبوب الأسطواني، مخالفاً للتوصيات، كأن يكون محشوراً في المكان، فإن الهبوط المحسوب يمكن أن يكون صغيراً جداً، والحمل الأقصى عالياً جداً.

يحسب الحمل الأقصى  $Q_L$  الذي يمكن أن يحمل أعلى الخازوق بالمعادلة التقليدية

التالية :

$$(٢٠٦) \quad Q_L = Q_P + Q_S - W_P$$

حيث إن  $Q_P$  المقاومة القصوى الطرفية،  $Q_S$  المقاومة الجانبية القصوى و  $W_P$  وزن الخازوق. تحسب قيم  $Q_P$  و  $Q_S$  بالمعادلات التالية :

$$(٢٠٧) \quad Q_P = q_L A_P$$

$$(٢٠٨) \quad Q_S = f_L A_S$$

حيث إن  $q_L$  هو الضغط الطرفي الأقصى،  $f_L$  وحدة الاحتكاك القصوى و  $A_P$  و  $A_S$  هما مساحة كل من طرف وجوانب الخازوق على التوالي. إن القسم الأول من هذا الفصل هو عبارة عن توضيح لكيفية الحصول على قيم  $q_L$  و  $f_L$  من بيانات مقياس الضغط. أما القسم الثاني من هذا الفصل فهو عبارة عن نقاش لكيفية تقدير هبوط الخازوق باستخدام بيانات مقياس الضغط.

### (١٠,٢) الحمل الأقصى : طريقة للسعة النقطية

#### ULTIMATE LOAD: METHOD FOR POINT CAPACITY

تعتبر طريقة الحصول على الضغط الطرفي الأقصى للخازوق  $q_L$  من بيانات مقياس الضغط مشابهة جداً للطريقة المستخدمة للحصول على قدرة التحمل للأساسات الضحلة. يمثل البند ٢, ٩ من هذا المنطلق الخلفية المفيدة لهذا الجزء.

اقترحت خمس طرق خلال الـ ٢٥ سنة الماضية. هذه الطرق متشابهة في المضمون ومختلفة تماماً فيما بينها؛ نظراً لاتساع قاعدة بيانات اختبارات التحميل خلال تلك السنين مما أتاح عملية التعديل في قوانين التصميم. إن المضمون الأساسي لهذه الطرق هو الحصول على الضغط الطرفي الأقصى للخازوق  $q_L$  من الضغط النهائي الصافي لمقياس الضغوط  $p_L^*$  باستخدام معامل قدرة التحمل  $k$  وكذلك الحصول على قيمة الاحتكاك الأقصى للخازوق  $f_L$  من العلاقات مع  $p_L$ . يمكن الحصول على الضغط

النهائي الصافي من الضغط النهائي لمقياس الضغط كالتالي (البند ٦، ٧):

(٢٠٩)

$$p_L^* = p_L - p_0$$

حيث إن  $p_0$  هو الإجهاد الأفقي الكلي عند السكون عند عمق الاختبار.

بحسب الضغط الطرقي الأقصى للخازوق  $q_L$  كالتالي:

(٢١٠)

$$q_L = k p_{Le}^* + q_0$$

حيث إن  $q_0$  هو الإجهاد الرأسي الكلي عند السكون عند عمق طرف الخازوق ،

و  $p_{Le}^*$  هو الضغط الصافي المكافئ القريب من الطرف نفسه. يمكن حساب المتغير  $p_{Le}^*$

من المعادلة التالية :

(٢١١)

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

حيث إن  $p_{L1}^*$  ،  $p_{L2}^*$  ، ..... ،  $p_{Ln}^*$  هي الضغوط النهائية الصافية الناتجة عن الاختيارات

التي تجرى ضمن المنطقة (+1.5B/-1.5B) بالقرب من النهاية الطرفية للخازوق و  $B$  هو

قطر الخازوق . يمكن الحصول على العمق المكافئ المظمور  $H_e$  كالتالي :

(٢١٢)

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

حيث إن  $p_{Li}^*$  هي الضغوط النهائية الصافية التي يتم الحصول عليها من الاختبارات التي

أجريت بين سطح الأرض وطرف الخازوق و  $\Delta z_i$  هي سماكة الطبقات الأولية التابعة

لاختبارات مقياس الضغط. يمكن الأخذ في الاعتبار بهذا التعريف لـ  $H_e$  الطبقات التي

توجد ضمن منطقة الغرز التي تكون أقوى أو أضعف من الطبقة التي تستند عليها نهاية

الخازوق.

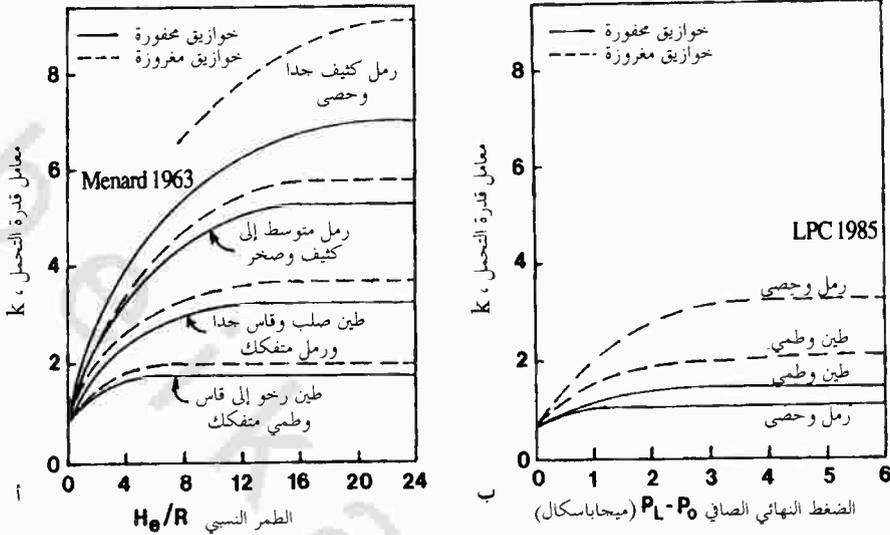
**الطريقة (١):** اقترحها مينارد (Menard, 1963a; 1963b) الذي أوصى باستخدام

شكل رقم (١٩٢) للحصول على معامل قدرة التحمل  $k$ . تتكون قاعدة بيانات

اختبارات التحميل التي استعملها مينارد لتقديم منحنيات التصميم من ٨ اختبارات اللوح

و ٦ خوازيق قصيرة في تربة رملية و طمي لموقع واحد. على الرغم من أن قاعدة البيانات

كانت محدودة ، إلا أن مينارد كان حريصاً على أن تشمل القوانين المقترحة معظم الجوانب



شكل رقم (٩٢). نشوء التوصيات لمعامل قدرة التحمل.

الأساسية لسلوك أساسات الخوازيق وزود قاعدة بياناته بمقارنة مع الاختبارات الأخرى للتربة وبخاصة اختبار الاختراق المخروطي. وعلى الرغم من أن قيم  $k$  قد تم تعديلها على مدار السنين على ضوء بيانات اختبارات التحميل اللاحقة، إلا أن المفاهيم الأساسية لمينارد والتحديد معادلة ٢١٠ وشكل منحنيات التصميم ل  $k$  كانت قادرة على الثبات طيلة ٢٠ سنة من الخبرة.

**الطريقة (٢):** اقترحها باجولين (Baguelin et al., 1978). والفارق الرئيسي مع القواعد الأساسية لمينارد هو تبسيط فئات التربة واقتراح عدة منحنيات لضغوط نهائية صافية مختلفة لكل فئة. انصب الجهد بعد ذلك في جعل القوانين أكثر دقة، ولكن قيم  $k$  إجمالاً لم تتغير.

**الطريقة (٣):** اقترحها بستامنتي وجيانيسيلي (Bustamante and Gianceselli, 1981)، وبنيت على نتائج ١٨٦ اختباراً. وقد تم تغيير فئات التربة بصورة طفيفة، ولكن الفارق الرئيسي هو أن قيم  $k$  كانت بحدود نصف القيم المقترحة في الطريقتين (١)، (٢).

**الطريقة (٤) :** طورها بستامنتي وجيانيسللي (Bustamante and Gianceselli, 1982) وذلك بسبب المشكلات التي ظهرت من وجود ثلاث طرق مختلفة. وقد اقترحت هذه الطريقة عن طريق LPC في فرنسا (شكل رقم ٩٢ ب) حيث جمعت جميع البيانات التي استخدمت في الطرق (١)، (٢)، (٣) بالإضافة للبيانات المتوافرة في فترة ما بعد الطريقة (٣). بسطت فئات التربة في الطريقة (٤) واختفى العمق النسبي الفعال للظمر  $He/B$  من الإحداثي السيني في الرسم البياني لـ  $k$  واستبدل بإحداثي الضغط النهائي الصافي. ويكمن الفارق الرئيسي مع الطريقة (٣) في تقليل إضافي لقيم  $k$  بمتوسط ٢٥٪ تقريباً. كما تم كتابة برامج على الحاسب الآلي للحصول على التوقعات وفقاً للطريقة (٤).

**الطريقة (٥) :** طورت من الطريقة (٤)، وهي الطريقة المقترحة للاستعمال. وهناك فارق بسيط جداً بين الطريقتين (٤) و (٥) إلا أن الطريقة (٥) مشروحة في وثيقة فرنسية رسمية (LCPC-SETRA, 1985)، وسوف تشرح خطوة بخطوة في البند ٤، ١٠.

### (١٠، ٣) الحمل الأقصى : طرق لسعة الاحتكاك

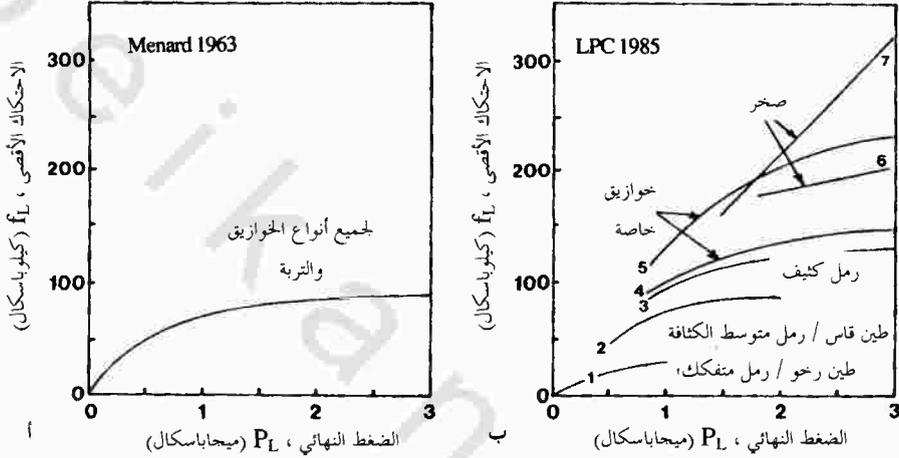
#### ULTIMATE LOAD: METHODS FOR FRICTION CAPACITY

تبدلت قوانين مقاومة الاحتكاك من البساطة إلى التفصيل الدقيق إذا اتجهت قوانين المقاومة الطرفية نحو التبسط. الطريقة الأساسية هي ربط وحدة الاحتكاك الأقصى  $f_L$  على الخازوق بالضغط النهائي الصافي  $p_L^*$ . تقدم الطرق الخمس المذكورة آنفاً منحنيات مختلفة من  $f_L$  مقابل  $p_L^*$  للتصميم.

**الطريقة (١) :** اقترحها مينارد (Menard, 1963a; 1963b) والذي أوصى باستخدام شكل رقم (١٩٣) للحصول على قيمة  $f_L$  لجميع الخوازيق. ويمكن القول إن محدودية نطاق قاعدة بيانات مينارد قد تكون هي السبب لوجود منحى واحد للتصميم يطبق لكل أنواع التربة والخوازيق.

**الطريقة (٢) :** قدمها باجولين (Baguelin et al., 1978). والفارق الرئيسي بينه

وبين قوانين مينارد هو أن منحني مينارد الوحيد استبدل بأربع منحنيات تستعمل وفقاً لنوع التربة وطريقة وضع الخازوق ومادة الخازوق. وتدعم قيم  $f_L$  لهذه الطريقة منحني مينارد الوحيد.



شكل رقم (٩٣). نشوء التوصيات للاحتكاك الأقصى.

**الطريقة (٣):** اقترحها بستامنتي وجيانيسللي (Bustamante and Gianeselli, 1981) واعتمدت على ١٨٦ اختبار تحميل خازوق وقدمت سبعة منحنيات لـ  $f_L - p_L^*$  مقترحة للتصميم. ويتم اختيار منحني التصميم المناسب لـ  $f_L - p_L^*$  على أساس نوع التربة وطريقة وضع الخازوق ومادة الخازوق وطرق إدخال الخازوق. وقد تمت إضافة عدة طرق لإدخال الخازوق (مثل الخوازيق المحقونة) وعدة أنواع من التربة (مثل الصخور). وتبين تفاصيل التوصيات التأثير الشديد لطريقة وضع الخوازيق وجودة التنفيذ على قيم  $f_L$ .

**الطريقة (٤):** طورت عن طريق LPC (Bustamante and Gianeselli, 1982) وهي تطوير للطريقة (٣). وقد استخدم سبعة من منحنيات التصميم لـ  $f_L - p_L^*$  (شكل رقم

٩٣ب) وكانت القيم المقترحة ل  $f_L$  أقل نوعاً ما من نظيراتها في الطريقة (٣). وقدم أول جدول لتمييز نوع مادة الخازوق وطريقة وضع الخازوق. تمت بعد هذا التمييز إضافة جدول آخر لتحديد أي منحني يستعمل مع مراعاة نوع التربة ، يمكن بعد ذلك إيجاد القيمة المناسبة ل  $f_L$  باستعمال ذلك المنحني والقيمة المقاسة ل  $p_L^*$ . وابتكر برنامج كمبيوتر للحصول على التنبؤات وفقاً لطريقة (٤) (Tucker and Briaud, 1986b).

**الطريقة (٥) :** أنشئت هذه الطريقة من الطريقة (٤) ، وهي الطريقة المقترحة للاستخدام. وهناك فارق بسيط جداً بين الطريقتين (٤) و (٥). إن الطريقة (٥) مشروحة في وثيقة فرنسية رسمية (LCPC-SETRA, 1985) ، وسوف تشرح خطوة بخطوة في البند ٥ ، ١٠.

#### (٤, ١٠) الحمل الأقصى : خطوات العمل المتدرجة

#### ULTIMATE LOAD: STEP-BY-STEP PROCEDURE

يوجد برنامج على الحاسب الآلي لإجراء الحسابات آلياً باستخدام الطريقة (٤) المذكورة آنفاً (Tucker and Briaud, 1986b) والأمثلة موجودة في الملحق ج. تتبع هذه الطريقة التوصيات المدرجة في الوثيقة الفرنسية للتصميم التي نشرها LCPC و SETRA وتم شرحها في البند ٢, ١٠ و ٣, ١٠ على أنها الطريقة (٥).

#### (١, ٤, ١٠) معادلة للضغط الطرقي الأقصى

*Equation for ultimate point pressure  $q_L$*

$$(٢١٣) \quad q_L = k ( p_{Le} - p_{OH} ) + q_{ov}$$

حيث إن  $k$  هو معامل قدرة التحمل ،  $p_{Le}$  هو الضغط النهائي المكافئ (من الاختبار) ،  $p_{OH}$  هو الإجهاد الأفقي الكلي عند السكون (من الاختبار) و  $q_{ov}$  هو الإجهاد العمودي الكلي عند السكون (يحسب).

(١٠, ٤, ٢) حساب الضغط النهائي المكافئ  $p_{Le}$  (شكل رقم ٩٤)

### Calculating the equivalent limit pressure

يمثل الضغط النهائي المكافئ متوسط الضغط النهائي في الطبقة الحاملة المتجانسة بالقرب من طرف الخازوق. وتعرف الطبقة المتجانسة بأنها الطبقة التي لا يتجاوز فيها الضغط النهائي الأعلى عن ١,٥ الضغط النهائي الأدنى  $p_{L \min}$ . وفي هذه الحالة :

$$(٢١٤) \quad p_{Le} = \frac{1}{2a} \int_{-a}^{+a} p_{L(z)} dz$$

إذا كانت B تمثل قطر الخازوق المكافئ، فإن قيمة a تحسب كالتالي :-

$$(٢١٥) \quad \text{عندما } B \geq 1 \text{ متر} \quad a = 0.5 \text{ m}$$

$$(٢١٦) \quad \text{عندما } B < 1 \text{ متر} \quad a = B/2$$

ويحسب قطر الخازوق المكافئ كالتالي :

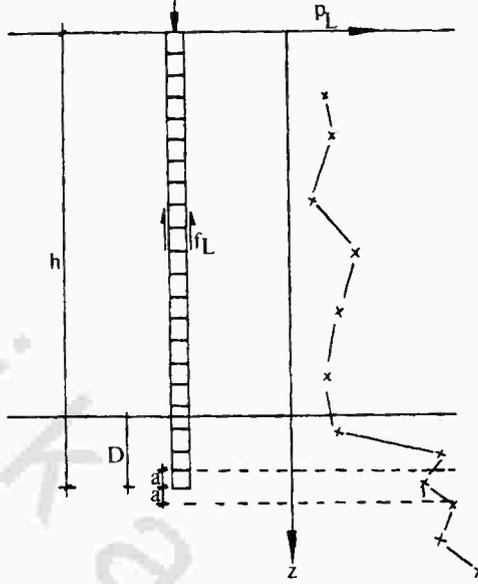
$$(٢١٧) \quad B = 4 A/P$$

حيث إن A و P هما مساحة ومحيط قطاع الخازوق، على التوالي.

إن المقدار  $\int_{-a}^{+a} p_{L(z)} dz$  هي المساحة تحت قطاع الضغط النهائي مقابل العمق،

وذلك بتوصيل النقاط على القطاع. إذا كانت طبقة التحمل غير متجانسة، فإن الحد  $1.5 \times p_{L \min}$  يفرض على القطاع قبل تطبيق المعادلة ٢١٤. لكون قيمة a أعلاه صغيرة نسبياً، لذا يجب التأكد من أن طبقة التحمل مستندة على طبقات لها نفس القوة أو أقوى. أما إذا كانت الطبقات تحت طبقة التحمل أضعف منها، فيجب أن يؤخذ بالاعتبار تأثير هذه الطبقات الضعيفة على المقاومة الطرفية للخازوق ومجموعة الخوازيق. وإذا كان الجزء المطمور D من الخازوق في طبقة التحمل أقل من a، فإن  $p_{Le}$  تحسب كالتالي :

$$(٢١٨) \quad p_{Le} = \frac{1}{a+D} \int_{-D}^{+a} p_{L(z)} dz$$



شكل رقم (٩٤). المتغيرات لتحديد الضغط النهائي المكافئ للتحمل الطرقي.

جدول رقم (١٦). قيم  $k$  للخوازيق (after LCPC-SETRA, 1985).

خوازيق بإزاحة كاملة للتربة	خوازيق بدون إزاحة للتربة	نوع التربة
١,٨	١,٢	طين طمي
٣,٢ إلى ٤,٢ (١)	١,١	رمل بحص
٢,٦	١,٨	حجر كلسي طباشيري - طين جيري حجر طيني جيري
١,٨ إلى ٣,٢ (٢)	١,١ إلى ١,٨ (٢)	صخر مجوي أو متصدع

(١) يستخدم ٣,٢ للرمل الكثيف أو الحصى ( $p_L > 3 \text{ MPa}$ ) و ٤,٢ للرمل المتفكك أو الحصى ( $p_L > 1 \text{ MPa}$ ).

(٢) يستكمل بينهما. (٢) البيانات محدودة. يؤخذ الصخر على أنه تربة لها نفس السلوك.

## (١٠, ٤, ٣) تحديد معامل قدرة التحمل لمقياس الضغط k

**Determining the pressuremeter bearing capacity factor**

يتم الحصول على قيمة معامل قدرة التحمل k من جدول رقم (١٦) وهي لخازوق دائري أو مربع يقابل جدار خندق وحلي يستعمل كعنصر أساس. تؤخذ قيمة k لهذا النوع العميق من الأساس الشريطي من قيمة k من جدول (١٦) مقسومة على ١.٢. ويستخدم الاستكمال للأشكال المقاربة.

قيم k الموجودة في جدول رقم (١٦) هي للخازوق المظمور تماماً في طبقة التحمل. ويعرف عمق الطمر المكافئ  $D_e$  كالتالي :

$$(٢١٩) \quad D_e = \sum_i \Delta z_i \frac{p_{Li}}{p_{Le}}$$

حيث إن  $\Delta z_i$  هي سماكة الطبقات الأولية التابعة لقيم  $p_{Li}$  ، و  $p_{Li}$  هو الضغط النهائي للطبقات الأولية ضمن العمق المظمور  $D$  في طبقة التحمل. ويعتبر الغرز الكامل متحققاً عندما تكون  $D_e$  أكبر من  $5B$  ، وإذا لم يكن ذلك عندها يجب أن تقلل قيم  $k(D_e/B)$  كالتالي :

$$(٢٢٠) \quad K \left( \frac{D_e}{B} \right) = 0.8 + \left( \frac{K - 0.8}{25} \right) \frac{D_e}{B} \left( 10 - \frac{D_e}{B} \right)$$

حيث يتم الحصول على k من جدول رقم (١٦).

**Calculating the point capacity الطرفية (١٠, ٤, ٤)**

يحسب الضغط الطرفي الأقصى من المعادلة ٢٢١.

$$(٢٢١) \quad q_L = k ( p_{Le} - p_{OH} ) + q_{OV}$$

وبعد ذلك يكون الحمل الطرفي الأقصى :

$$(٢٢٢) \quad Q_P = q_L A_P$$

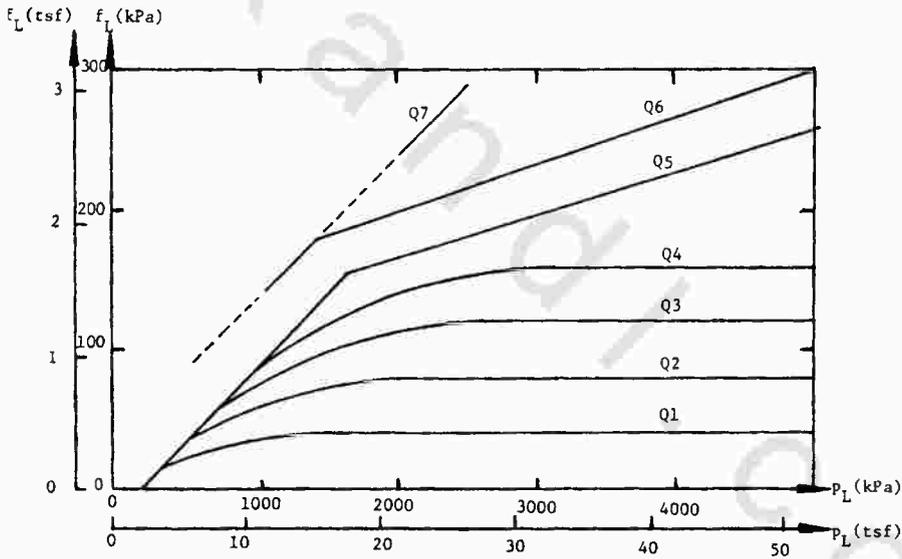
حيث إن  $A_P$  هي مساحة طرف الخازوق. بالنسبة للخوازيق الأنبوبية مفتوحة الطرف ،

فإن قيمة  $Q_p$  تكون نصف القيمة بالنسبة للخوازيق الأنبوبية مغلقة الطرف.

### (١٠، ٤، ٥) الحصول على وحدة الاحتكاك القصوى $f_L$

#### Obtaining the ultimate unit friction

يمكن الحصول على قيمة  $f_L$  عند أي عمق  $z$  كدالة في نوع التربة، ونوع الخازوق والضغط النهائي عند العمق  $z$ . أولاً يستخدم جدول رقم (١٧) لاختيار المنحنى المناسب في شكل رقم (٩٥)، ثم يستخدم شكل رقم (٩٥) مع الضغط النهائي  $p_{Le}$  عند العمق  $z$  للحصول على وحدة الاحتكاك القصوى  $f_L$  عند ذلك العمق.



شكل رقم (٩٥). وحدة الاحتكاك القصوى على عمود الخازوق ، انظر جدول رقم (١٧) لاختيار المنحنى

(after LCPC -SETRA 1985)

جدول رقم (١٧). اختيار منحنيات التصميم للاحتكاك الأفقي (after LCPC-SETRA 1985).

الغلاف	التربة	طين/طمي	رمل	حصى	طباشيري	طين جيرى / حجر جيرى	صخر متصدع
محفور - جاف	Q1*	Q2(2), Q3(3)			Q3*	Q4*	Q6*
محفور - بالطين	Q1*	Q1*(6), Q2	Q1*(6)	Q6(2), Q3	Q3*	Q4*	Q6*
محفور -	Q1*	Q1*(6), Q2	Q1*(6)	Q6(2), Q3	Q3*	Q4	
محفور -	Q1	Q1	Q1	Q2	Q2	Q3*	
قيسونات (١)	Q2, Q3(5)				Q4*	Q5	Q6*
مدقوق - معدن (مغلق النهاية)	Q1*, Q2(5)		Q2	Q3	Q4	Q4	Q4* (7)
مدقوق - خرساني	Q2		Q3	Q3	Q4*	Q4*	Q4* (7)
مدقوق - مقولب (١٠)	Q2		Q2*	Q3	Q4	Q4	
مدقوق مبطن (١١)	Q2		Q3*	Q4	Q5*	Q4*	
محفون - ضغط منخفض	Q2*		Q3*	Q3*	Q5*	Q5*	Q6*
محفون - ضغط عالي (٨)	Q5*		Q5*	Q6*	Q6*	Q6*	Q7* (9)

(١) بدون وضع الغلاف في الموقع (تلامس حشن)

(٢) توسيع الثقب وتثديده قبل صب الخرسانة

(٣) توسيع الثقب وتثديده قبل صب الخرسانة للطين القاسى جداً فقط ( $p_L \geq 1.5 \text{ MPa}$ )

(٤) الحفر في كتلة جافة بدون التواء للغلاف

(٥) طين قاس ( $p_L > 1.5 \text{ MPa}$ )

(٦) خوازيق طويلة (< ٣٠ متر)

(٧) لو كان الدق ممكناً

(٨) حقن اختياري ومتكرر بمعدل تدفق منخفض

(٩) مع الحقن المناسب للكتلة المتشققة وخاصة للخوازيق الصغيرة التي يوصى باختبارات التحميل

(١٠) الغلاف المغلق نهايته المدقوق، وعند الانتهاء من الاختراق يعبأ بالتغليف بالخرسانة، ويترك الطرف في الموقع

ويسترجع التغليف

(١١) أنبوب أو خازوق على شكل H مدقوق بقاعدة واقية كبيرة على رأس الخازوق (٥٠ ملم أكبر من المعتاد)، بينما

يدق الخازوق بمحن الطين في الحلقة

\* من الممكن أن يكون متحفظاً ولكن لا يمكن زيادة الاحتكاك بدون التحقق من اختبار التحميل

## (١٠, ٤, ٦) الحصول على حمل الاحتكاك الأقصى

## Obtaining the ultimate friction load

يمكن الحصول على حمل الاحتكاك الأقصى  $Q_s$  من المعادلة التالية :

$$(٢٢٣) \quad Q_s = P \int_0^h f_{L(z)} dz$$

حيث إن  $f_{L(z)}$  هو القطاع مقابل عمق وحدة الاحتكاك الأقصى ،  $P$  هو محيط الخازوق و  $h$  هو عمق الطمر (شكل رقم ٩٤).

## (١٠, ٤, ٧) الحصول على الحمل الكلي الأقصى

$$(٢٢٤) \quad Q_L = Q_p + Q_s - W_p$$

حيث إن  $W_p$  هو وزن الخازوق. يعرف الحمل الأقصى  $Q_L$  بأنه الحمل المناظر لهبوط في الخازوق مقداره عشر قطر الخازوق. لاحظ أن هذا بالنسبة للخوازيق التي على شكل  $H$  ، وتؤخذ  $Q_L$  كأصغر قيمة من القيمتين المستخرجتين  $Q_L$  عند الأخذ في الاعتبار انهيار الخازوق على سطح التماس بين الـ  $H$  والفولاذ وعند الأخذ في الاعتبار انهيار الخازوق عند المحيط .

## (١٠, ٤, ٨) الحصول على حمل الأمان وحمل الزحف

## Obtaining the safe load and the creep load

يعرف حمل الأمان  $Q_{safe}$  كالتالي :

$$(٢٢٥) \quad Q_{safe} = \frac{Q_p + Q_s}{F} W_p$$

حيث إن  $F$  هو معامل الأمان. أوضح بريود وتكر (Briaud and Tucker, 1988) باستخدام قاعدة بيانات اختبار حمل الخازوق أن قاعدة البيانات تلك والطريقة (٤) (المذكورة في البندين ٢, ١٠ و ٣, ١٠) شبيهة جداً بطريقة (٥) الموصى بها، واختيار معامل أمان ٢,٨ يؤدي إلى أقل مستوى من الخطورة. وقد عرفت الخطورة بأنها

احتمال كون الحمل الأقصى المتوقع مقسوماً على معامل الأمان أكبر من الحمل الأقصى المقاس في تجربة الحمل. وكانت الخطورة ١٣,٣٪ باستخدام معامل أمان يساوي ٢. ويفضل استخدام قيمة معامل الأمان يساوي ٢,٨.

يعرف حمل الزحف  $Q_c$  بأنه الحمل الذي يزداد بعده ميل منحنى (الحمل-الهبوط) بدرجة كبيرة ويكون الهبوط قليلاً بصورة عامة عند حمل أقل من  $Q_c$ . وتعطى معادلة  $Q_c$  في طريقة LCPC - SETRA كما يلي :

$$(٢٢٦) \quad Q_c = \frac{Q_p}{2} + \frac{Q_s}{1.5} \text{ لخوازيق مصبوبة في الموقع}$$

$$(٢٢٧) \quad Q_c = \frac{Q_p}{1.5} + \frac{Q_s}{1.5} \text{ لخوازيق مدقوقة}$$

تستخدم في وثيقة LCPC - SETRA طريقة تصميم معامل الحمل والمقاومة (LRFD) مقابل طريقة المعامل العالمي للأمان، وهناك حالتان نهائيتان يمكن تمييزهما: الأحمال الفعلية والأحمال القصوى. الحمل  $Q$  هو الحمل المحوري على الخازوق وتستخدم القوانين التالية لإيجاد القيمة المأمونة لـ  $Q$  للخازوق ولإيجاد عدد الخوازيق المطلوبة، يلاحظ أن  $Q$  هو حمل مضروب في معامل ويساوي الحمل الفعلي  $Q_{actual}$  مضروباً في المعامل  $\alpha$ . ويتغير المعامل ( $\alpha$ ) بين ١,١٢٥-١,٣٥ اعتماداً على نوع الحمل

$Q_{actual}$

بالنسبة للأحمال التشغيلية :

مجموعة الحمل شبه الدائمة :

$$(٢٢٨) \quad 0 \leq Q \leq 0.8 Q_c \text{ إذا كانت } Q_c \text{ مأخوذة من اختبار التحميل}$$

$$(٢٢٩) \quad 0 \leq Q \leq 0.7 Q_c \text{ إذا كانت } Q_c \text{ مأخوذة من قوانين مقياس الضغط}$$

مجموعة الأحمال النادرة (احتمال أن يكون التحميل أعلى من هذه التراكيب خلال عمر المنشأة يساوي ٢٥٪).

$$(٢٣٠) \quad 0 \leq Q \leq Q_c \text{ إذا كانت } Q_c \text{ مأخوذة من اختبار التحميل}$$

$$(٢٣١) \quad 0 \leq Q \leq 0.9 Q_c \text{ إذا كانت } Q_c \text{ مأخوذة من قوانين مقياس الضغط}$$

مجموعة الأحمال النادرة في الشد :

(٢٣٢) إذا كانت  $Q_c$  مأخوذة من اختبار التحميل  $0 \leq Q \leq 0.9 Q_c$

(٢٣٣) إذا كانت  $Q_c$  مأخوذة من قوانين مقياس الضغط  $0 \leq Q \leq 0.7 Q_c$

بالنسبة للأحمال القصوى :

مجموعة الأحمال الأساسية

(٢٣٤) إذا كانت  $Q_L$  مأخوذة من اختبار التحميل  $(W_p + 0.7 Q_s) \leq Q \leq 0.8 Q_L$

(٢٣٥) إذا كانت  $Q_L$  مأخوذة من قوانين مقياس الضغط  $(W_p + 0.7 Q_s) \leq Q \leq 0.7 Q_L$

مجموعة الأحمال العرضية (الطارئة)

(٢٣٦) إذا كانت  $Q_L$  مأخوذة من اختبار التحميل  $(W_p + 0.7 Q_s) \leq Q \leq 0.9 Q_L$

(٢٣٧) إذا كانت  $Q_L$  مأخوذة من قوانين مقياس الضغط  $(W_p + 0.7 Q_s) \leq Q \leq 0.8 Q_L$

وقواعد PMT هذه لا تشمل تأثير مجموعة الخوازيق التي يجب أن يؤخذ بالحسبان كل على حده وهناك أمثلة حسابية معطاة في الملحق (ج).

(١٠,٥) الحمل الأقصى : طريقة PMT مقابل  $SPT/S_u$

#### ULTIMATE LOAD : PMT VERSUS $SPT/S_u$ APPROACH

يمكن مقارنة المعادلة ٢٢١ مع معادلة قوة القص اللدن المحبوس للتربة الطينية :

$$(٢٣٨) \quad q_L = N_c S_u + \gamma D$$

حيث يقابل الحد  $N_c S_u$  مباشرة الحد  $p_{Le}^*$  k في المعادلة ٢٢١ ويؤخذ قيمة المعامل  $N_c$  يساوي ٩ ، وتوصي طريقة مقياس الضغط بالنسبة للتربة الطينية بقيم k التي تتراوح ما بين ١,٢ و ١,٨. ويؤدي ذلك إلى أن قيمة  $p_L^*$  تتراوح ما بين  $5 S_U$  و  $7.5 S_U$ . يقع هذا في نطاق العلاقات الموجودة بين  $p_L^*$  و  $S_U$  (البند ٨,١).

يمكن كذلك مقارنه المعادلة ٢٢١ مع طريقة زاوية الاحتكاك في اللدونة للتربة

الرملية :

$$(٢٣٩) \quad q_L = \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma + \gamma D N_q$$

يهمل عادة الحد  $\frac{1}{2} \gamma B N_\gamma$  مقارنة بقيمة  $\gamma D N_q$  والذي عادة ما يحدد باستخدام طريقة العمق الحرج لـ D (Meyerhof, 1976) أو باستخدام حد أعلى لـ  $q_L$  يساوي ١٠ إلى ١٥ ميغا باسكال. وهناك خلاف متزايد حول مفهوم العمق الحرج (Coyle and Castello, 1981; Kulhawy, 1984) لكن حدود  $q_L$  بقيت ثابتة، إذ لم تسجل قيمة أعلى لـ  $q_L$  في اختبارات تحميل الخوازيق إلا نادراً. يوضح شكل رقم (٩٢) أن المقاومة الطرفية  $q_L$  ستكون محدود ١٥ ميغا باسكال للتربة الرملية الكثيفة جداً التي قد تصل ضغوطها النهائية الصافية إلى ٥ ميغا باسكال، وهي متوافقة مع الحدود آفة الذكر.

إذا كان هنالك تمدد للكرة مصاحباً لعملية اختراق الخازوق لطبقات التربة، فإن معامل قدرة التحمل يكون عبارة عن نسبة الضغط النهائي الصافي للكرة  $q_L^*$  إلى الضغط النهائي الصافي للأسطوانة  $p_L^*$ :

$$(٢٤٠) \quad k_{clay} = \frac{q_L^*}{p_L^*} = \frac{\frac{4}{3} S_U \left( 1 + Ln \frac{G}{S_U} \right)}{S_U \left( 1 + Ln \frac{G}{S_U} \right)} = \frac{4}{3}$$

$$(٢٤١) \quad k_{sand} = \frac{q_L^*}{p_L^*} = \frac{p_0 \frac{3(1 + \sin \phi) \cos \phi}{(3 - \sin \phi) \sin \phi} \left( \frac{G(3 - \sin \phi)}{3P_0 \sin \phi} \right)^{0.66(1 - Ka)}}{P_0(1 + \sin \phi) \left( \frac{G}{P_0 \sin \phi} \right)^{0.5(1 - Ka)}}$$

حيث إن  $q_L^* = q_L - p_0$  هو الضغط النهائي الكروي،  $p_0$  الإجهاد الكلي عند السكون عند طرف الخازوق،  $S_U$  قوة القص غير المصرفة،  $\phi$  زاوية الاحتكاك،  $G$  معامل القص و  $k_a$  معامل ضغط الأرض الفعال.

تفترض معادلات  $q_L^*$  و  $p_L^*$  للتربة الطينية خاصية خضوع تريسكا بدون تغيير في الحجم، بينما تفترض معادلات  $q_L$  و  $p_L$  للتربة الرملية خاصية خضوع مور-كولوم

بدون تغير في الحجم. تعطي المعادلة ٢٤٠ قيمة  $k$  تساوي ١,٣٣ للتربة الطينية، بينما تعطي المعادلة ٢٤١ لقيم معقولة للمتغيرات قيم  $k$  تساوي ٣ للرمل الكثيف و ٤ للرمل المتفكك. وتتفق هذه القيم النظرية لـ  $k$  مع القيم المقترحة لـ  $k$  في جدول رقم (١٦).  
يؤثر عامل واحد على  $q_L$  وهو انضغاطية التربة. وقد اقترح فيسك (Vesic, 1972) العوامل  $N_C$ ,  $N_\gamma$ ,  $N_q$  التي تعتمد على معامل الانضغاطية. وقد تم ذلك لتصحيح القصور الموجود في طريقة حل اللدونة الشديدة. ويدمج هذا العامل المهم مباشرة في  $p_{Le}^*$ ؛ نظراً لتأثير الضغط النهائي لمقياس الضغط بانضغاطية التربة. ويعتبر بالفعل معامل القص عاملاً في المعادلات النظرية لـ  $p_L$  للتربة الرملية والطينية (المعادلتان ٦٩ و ٧٤).

إن التوفيق بين  $f_L$  و  $p_L^*$  هو صحيح بعض الشيء؛ نظراً لأن  $p_L^*$  هو دالة في قوة القص في حالة عدم تصريف الماء  $S_U$  (معادلة ٦٩). لكن الحصول على  $f_L$  من  $p_L^*$  لا يتميز في شيء عن الحصول عليها من نتائج الاختبارات الأخرى مثل اختبار SPT إلا في أن:

- ١- تشمل قاعدة معلومات طريقة اختبار مقياس الضغط على عدد كبير من اختبارات تحميل الخازوق وتشتمل كذلك على تقنيات عدة لإدخال الخازوق وأنواع التربة.
- ٢- يمكن استخدام الطريقة لخوازيق في تربة لا يمكن أخذ العينات منها (رمل) أو عندما تكون النتائج العملية مشكوك فيها (طين متشققة).
- ٣- يمكن استخدامها في الصخور؛ وذلك لإمكانية إجراء اختبارات مقياس الضغط في الصخر، حيث يسمح لقيم احتكاك تصل إلى ٣٠٠ كيلو باسكال.

(١٠, ٦) الحمل الأقصى: دقة قواعد التصميم

#### ULTIMATE LOAD: PRECISION OF THE DESIGN RULES

تم عمل عدة مقارنات بين الأحمال القصوى المقاسة والمتوقعة باستعمال طريقة أو أكثر من الطرق المشروحة في البندين ١٠,٢ و ١٠,٣

(Briaud et al., 1984a; 1986c; Briaud Engineers, 1984b; Davidson and Bodine, 1986; Briaud et al., 1983d; Hansbo, 1982; Briaud et al., 1984c).

فيما يلي يمكن مقارنة التنبؤات وفقاً لطريقة (٤) القريبة جداً من طريقة (٥) الموصى بها (البندود ٢، ٣، ٤، ١٠) مع نتائج ٥١ اختبار تحميل للخوازيق أجريت في الولايات المتحدة خلال السنوات الخمس الماضية. وسجلت هذه الاختبارات في جدول رقم (١٨) والمراجع في جدول رقم (١٩).

جدول رقم (١٨) : قاعدة بيانات لخوازيق بالحجم الطبيعي معرضة لتحميل متواصل.

رقم الخازوق	الموقع	نوع الخازوق	طول الخازوق (م)	قطر الخازوق (م)	اختبار التحميل	نوع التربة	الحمل الأقصى المتوقع (kN)	الحمل المقاس عند B/10 (kN)
١	L&D 26	HP 14x73	١٦,٥	٠,٣٦	شد	رمل/حصى	٢٧٠٥	**١٠٦٨
٢	L&D 26	HP 14x73	١٦,٥	٠,٣٦	ضغط	رمل/حصى	٣١٦٧	**٣١٦٧
٣	L&D 26	HP 14x73	١٦,٥	٠,٣٦	شد	رمل/حصى	٢٧٠٥	٤٠٠
٤	L&D 26	HP 14x73	١٦,٢	٠,٣٦	ضغط	رمل/حصى	٣١١٤	**٣٨٢٥
٥	L&D 26	HP 14x73	١٦,٢	٠,٣٦	ضغط	رمل/حصى	٣٣٨٠	**٢٨٤٧
٦	L&D 26	HP 14x73	١٦,٨	٠,٣٦	شد	رمل/حصى	٢٧٨٤	**١١٥٦
٧	L&D 26	HP 14x73	١٨	٠,٣٦	شد	رمل/حصى	٣٠٠٧	*١٦٠١
٨	L&D 26	HP 14x73	٢١,١	٠,٣٦	شد	رمل/حصى	٣٦٠٣	١٣٣٤
٩	L&D 26	HP 14x73	١٧,٧	٠,٣٦	شد	رمل/حصى	٢٩٤٥	**٨٩٠
١٠	L&D 26	HP 14x73	١٨	٠,٣٦	ضغط	رمل/حصى	٣٤٧٨	٢٠٠٢
١١	L&D 26	HP 14x73	١٢,٢	٠,٣٦	شد	رمل/حصى	١٩٨٤	٤٤٥
١٢	L&D 26	أنبوب	١٤,٢	٠,٣	ضغط	رمل/حصى	٢٠٤٦	**١١٥٦
١٣	L&D 26	أنبوب	١١	٠,٣	شد	رمل/حصى	٩٨٧	٥٤٣
١٤	L&D 26	أنبوب	١٤,٤	٠,٣٦	ضغط	رمل/حصى	٢٦٢٥	**١١١٢
١٥	L&D 26	أنبوب	١١,١	٠,٣٦	شد	رمل/حصى	١١٧٤	٦٠٥
١٦	L&D 26	أنبوب	١٤,٦	٠,٤١	ضغط	رمل/حصى	٣٠٥١	**١٦٠١
١٧	L&D 26	أنبوب	١١,١	٠,٤١	شد	رمل/حصى	١٣٤٣	٨٩٠
١٨	L&D 26	HP 14x73	١١,٩	٠,٣٦	شد	رمل/حصى	١٦٤٦	*١١٥٦

تابع جدول رقم (١٨).

رقم الخازوق	الموقع	نوع الخازوق	طول الخازوق (م)	قطر الخازوق (م)	اختبار التحميل	نوع التربة	الحمل الأقصى المتوقع (kN)	الحمل المقاس عند B/10 (kN)
١٩	L&D 26	HP 14x73	١١,٣	٠,٣٦	شد	رمل/حصي	١٥٣٠	٨٠١
٢٠	L&D 26	HP 14x73	١١,٣	٠,٣٦	شد	رمل/حصي	١٥٣٠	٨٤٥
٢١	Miss.	محفور	١٢,٥	٠,٣٦	ضغط	طين	٨٢٧	١١٠٣
٢٢	Miss.	خرساني مربع	٦,٣	٠,٣٦	ضغط	طين	٥٨٧	٨٠١
٢٣	Miss.	خرساني مربع	٧,٦	٠,٤٦	ضغط	طين	١٥٦٦	١٠٦٨
٢٤	Miss.	خرساني مربع	١٠,٤	٠,٤٦	ضغط	طين	٢٢٦٨	*١٧٧٩
٢٥	Miss.	خرساني مربع	٧	٠,٣٦	ضغط	رمل	١٣٥٢	٤٨٩
٢٦	Miss.	خرساني مربع	٧,١	٠,٣٦	ضغط	طين/رمل	٦٦٧	**٨٩٠
٢٧	Miss.	خرساني مربع	٨,٦	٠,٣٦	ضغط	طين/رمل	٨٢٧	٥٩٦
٢٨	Miss.	خرساني مربع	١٠,٢	٠,٣٦	ضغط	طين/رمل	١٠٢٣	٩٦١
٢٩	Miss.	محفور	١٠,٦	٠,٣٦	ضغط	طين	١٢٢٨	١١٥٦
٣٠	Miss.	HP 12x53	١٩,١	٠,٣	ضغط	رمل	١٠٠٥	**١٣٧٠
٣١	Miss.	خرساني مربع	١٦	٠,٣٦	ضغط	رمل	٢١٦٢	١٠٦٨
٣٢	Miss.	HP 12x53	١٢,٤	٠,٣	ضغط	رمل	٥١٦	٥١٦
٣٣	Miss.	HP 12x53	٨,٦	٠,٣	ضغط	رمل	٣٤٩	٣١١
٣٤	Miss.	خرساني مربع	١٤	٠,٤١	ضغط	طين/رمل	١٦٣٧	١٠٤١
٣٥	Miss.	خرساني مربع	١٦,٤	٠,٤١	ضغط	طين/رمل	٢٥١٨	١٢٧٢
٣٦	L&D 2	HP 14x89	١٦,٥	٠,٣٦	ضغط	طين/رمل	٢٦٠٧	**١٧٧٩
٣٧	L&D 2	HP 14x89	١٨	٠,٣٦	شد	طين/رمل	٢٥٢٦	٧٥٦
٣٨	L&D 2	HP 14x89	١٩,٥	٠,٣٦	ضغط	طين/رمل	٣٢٥٦	**٢٢٢٤
٣٩	L&D 2	خرساني مربع	١٦,٢	٠,٤١	ضغط	طين/رمل	١٨٩٥	١٩٥٧
٤٠	L&D 2	خرساني مربع	١٩,٧	٠,٤١	ضغط	طين/رمل	٢٣٦٦	٢٠٤٦
٤١	L&D 2	خرساني مربع	٢٢,٧	٠,٤١	ضغط	طين/رمل	٢٨٩١	٢٨٩١
٤٢	L&D 2	HP 14x73	١٥,٩	٠,٣٦	شد	طين/رمل	٢١٣٥	٨٩٠
٤٣	L&D 2	HP 14x73	١٨,٣	٠,٣٦	شد	طين/رمل	٢٥٥٣	٥٣٤
٤٤	LADWP	محفور	٢,٩	٠,٦٦	شد	طين	١٦٩	٤٨٩
٤٥	LADWP	محفور	٢,٩	٠,٦٤	شد	طين	١٦٠	٤٨٩
٤٦	LADWP	محفور	٤,٤	٠,٦٦	شد	طين	٤٠٩	٧٥٦
٤٧	LADWP	محفور	٢,٩	٠,٧١	شد	رمل	٧٠٣	*١١١٢

تابع جدول رقم (١٨).

رقم الخازوق	الموقع	نوع الخازوق	طول الخازوق (م)	قطر الخازوق (م)	اختبار التحميل	نوع التربة	الحمل الأقصى المتوقع (kN)	الحمل المقاس عند B/10 (kN)
٤٨	LADWP	محفور	٢.٢	٠.٧٥	شد	رمل	٥٤٣	٦٦٧
٤٩	لاكولاند	محفور	١٠.٥	٠.٤٦	ضغط	طين	١٠٧٦	*١٥١٢
٥٠	جامعة هيوستن	مدقوق	١٣.١	٠.٢٧	ضغط	طين	٤٨٩	٧١٢
٥١	جامعة هيوستن	محفور	٢.٣٦	٢.٤١	ضغط	طين	٢٢٤٢	٢٩٨٩
٥٢	هيوستن شب	محفور	٣٠.٥	٠.٩١	ضغط	رمل/طين	٨٧٩٨	٨٥٨٥
٥٣	هيوستن شب	خرساني مربع	٣٠.٥	٠.٥١	ضغط	رمل/طين	٦١٢٩	؟ ٧٥٦٢
٥٤	هيوستن شب	أنبوب	٣٦.٩	٠.٦١	ضغط	رمل/طين	٣٤٩٦	؟ ٥٧٨٢

\* يمدد منحنى اختيار التحميل إلى  $B/10 + Q_m L/AE$  مع موثوقية معقولة.\*\* لا يشير المنحدر عند  $B/10 + Q_m L/AE$  إلى انهيار انحداري، ومن الممكن جدا أن يكون الحمل الأقصى الحقيقي أعلى من الحمل المدرج في الجدول على الأقل بـ ٢٠٪.

جدول رقم (١٩). المراجع لاختبارات تحميل الخازوق الرأسي بالحجم الطبيعي للجدول رقم (١٨).

رقم الخازوق	المراجع
٢٠-١	Corps of Engineers, St. Louis District and Tucker, Briaud, 1987
٣٢-٢١	Mississippi State Highway Department and Briaud et al., 1986c
٤٣-٣٦	Corps of Engineers, Vicksburg District and Briaud Engineers, 1984b
٤٨-٤٤	Los Angeles Department of Water and Power, Earth Technology Corporation, and Briaud et al., 1984c
٤٩	U.S. Army Engineers, Waterways Experiment Station, and Briaud Engineers, 1982
٥١-٥٠	O'Neill et al., 1980, O'Neill and Skeikh, 1985, and Briaud and Riner, 1984
٥٤-٥٢	Texas State Department of Highways and Public Transportation, McClelland Engineers and Briaud Engineers, 1986a

أجري ٢٨ اختباراً للتحميل الرأسي على ٢٢ خازوقاً من نوع H عند موقع لوك و دام البديل رقم ٢٦ على نهر المسيسيبي قرب سانت لويس و ٦ خوازيق أنبوية أجرتها نقابة المهندسين في مقاطعة سانت لويس (Briaud et al., 1984b; Tucker and Briaud, 1988). كان هناك ١٦ اختبار شد و ١٢ اختبار ضغط من هذه الاختبارات الـ ٢٨. ومن اختبارات الضغط الـ ١٢، أجريت خمسة منها بأحمال تصل إلى ٣٥٠٠ كيلو نيوتن بدون ظهور أي علامات انهيار غطسي، كما أجريت ثلاثة اختبارات شد من الـ ١٦ بأحمال تصل إلى ١٣٠٠ كيلو نيوتن بدون أي علامات لانهيار بالسحب. استخدمت بناء عليه اختبارات التحميل العشرون في قاعدة المعلومات وأدرجت الخوازيق من ١ إلى ٢٠ في جدول رقم (١٨) مع معلومات وثيقة الصلة. دل التقرير من اختبارات الاختراق المعياري SPT (قطر يساوي ٧٥ ملم) أن تربة الموقع رملية مع بعض الحصى والنسبة التي مرت بمنخل رقم ٢٠٠ هي ٥٪ وحجم الحبيبات يصل إلى ٤٠ ملم. ويوجد حجر جيري على عمق في المتوسط ١٩,٨ متر. وقد تم الكشف عن أحجار تصل أحجامها إلى ٣٠ سم عند حفر الخنادق لأعماق معينة. كان متوسط عدد الطرقات لاختبار الاختراق المعياري عند سطح الأرض عشر طرقات لكل ٣٠ سم ويصل إلى ٦٠ طرقة لكل ٣٠ سم عند عمق ١٨,٣ متر. وسجل متوسط المقاومة الطرفية للاختراق المخروطي الكهربائي عند سطح الأرض ٧٥٠٠ كيلو باسكال ويصل إلى ٢٢٥٠٠ كيلو باسكال عند عمق ١٨,٣ متر. وأخذت كذلك قياسات مقاومة الاحتكاك وضغط الماء المسامي باستخدام المخروط الكهربائي. وتغير الضغط النهائي الصافي لمقياس الضغط من ٥٠٠ كيلو باسكال عند سطح الأرض إلى ٣٥٠٠ كيلو باسكال عند عمق ١٨,٣ متر.

أجرت إدارة الطرق السريعة في المسيسيبي ١٠٠ اختبار تحميل للخوازيق وجمعت معلوماتها خلال السنوات العشر الماضية. كما أجريت اختبارات مقياس الضغط في ثمانية مواقع؛ مما أتاح فرصة المقارنة بين السلوك المقاس والمتوقع لـ ١٥ خازوقاً (الخوازيق ٢١ إلى ٣٥ في جدول رقم ١٨) والتي تتضمن خوازيق

خرسانية مربعة الشكل ، خوازيق مصبوبة في الموقع ، وخوازيق على شكل حرف H. وكانت التربة المختبرة عبارة عن طين صلب ورمل متوسط الكثافة في الغالب والضغط النهائي الصافية لمقياس الضغط تتراوح بين ٣٠٠ كيلو باسكال و ٢٥٠٠ كيلو باسكال (Briaud et al., 1986c; Tucker and Briaud, 1988).

أجريت اختبارات الضغوط عند موقع الإنشاء في لوك ودام رقم ٢ على النهر الأحمر قرب الإسكندرية بولاية لويزيانا ، بالقرب من بعض الخوازيق التي أجريت لها الاختبارات بواسطة نقابة المهندسين في مقاطعة ( فيكسبرق ) ، مما أتاح المقارنة بين الاستجابة المقاسة والمتوقعة لثمانية خوازيق (الخوازيق من ٣٦ حتى ٤٣ في جدول رقم (١٨) ، منها ٥ من نوع H و ٣ خوازيق خرسانية). في مواقع الخوازيق H كانت التربة عبارة عن طبقة طين صلبة بسماكة ٧,٩٣ متر فوق طبقة رمل بسماكة ١٢,٨١ متر وأسفل منهما طبقة صلبة طينية. أما في مواقع خوازيق الخرسانة فكانت طبقة الطين بسماكة ٢١,٦٥ متر وطبقة الرمل بسماكة ١١ متراً. وكانت طبقة الطين المتيسة لها الصفات التالية :

١- قوة القص غير المصرفية من اختبارات ثلاثي المحوري المحبوسة وغير المدمجة = ١١٥ كيلو باسكال.

٢- المقاومة الطرفية لاختبار الاختراق المخروطي = ٣٥٠٠ كيلو باسكال ،

٣- الضغط النهائي لمقياس الضغط = ٨٠٠ كيلو باسكال ،

وطبقة الرمل لها الصفات التالية :

١- عدد طرققات اختبار الاختراق المعياري SPT ١٠٠ طريقة لكل ٣٠ سم ،

٢- المقاومة الطرفية لاختبار الاختراق المخروطي = ١٦٠٠٠ كيلو باسكال ،

٣- الضغط النهائي لمقياس الضغط = ٢٥٠٠ كيلو باسكال ،

وكان الضغط النهائي لمقياس الضغط لطبقة الطين الصلبة السفلية = ٣٠٠٠ كيلو باسكال.

أجرت إدارة المياه والطاقة في لوس أنجلوس ٥ تجارب شد على أعمدة قصيرة مغروزة لمشروع خط طاقة رئيسي (Briaud et al., 1984c) ، وأجري الاختبار في موقعين ،

أحدهما على طبقة طين صلبة ( $p_L^* = 500 \text{ kPa}$ )، والآخر على طبقة رمل متوسطة الكثافة ( $p_L^* = 2000 \text{ kPa}$ ). وكانت أقطار الأعمدة محدود  $0,62$  متر وبطول  $3-5$  متر. أجري اختبار تحميل في قاعدة القوة الجوية في لاكلاند، على عمود قطره  $0,46$  متر وطوله  $10,5$  متر (Briaud Engineers, 1982). ووضعت فجوة تحت قاعدة العمود ليصبح الحمل الأقصى يمثل حمل الاحتكاك فقط، كانت التربة طينية صلبة بضغط حدي صافي يتراوح من  $500$  كيلو باسكال عند السطح حتى أكثر من  $2000$  كيلو باسكال في الأعماق.

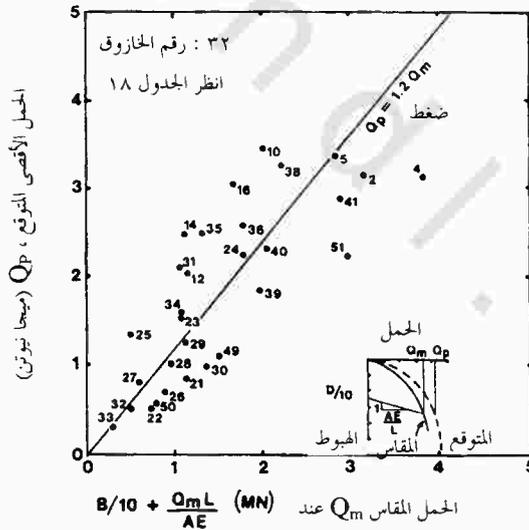
أجري اختباران بحثيان في جامعة هيوستن على خوازيق، أحدهما خازوق أنبوبي الشكل والآخر عمود كبير القطر (O'Neill et al., 1980; O'Neill and Sheik, 1985; Briaud and Riner, 1984). وقد تمت إقامة العمود بحيث يكون الاحتكاك على العمود مساوياً للصفر، بحيث يمكن قياس المقاومة الطرفية مباشرة. وكانت التربة في الموقع عبارة عن طبقة طين متبسة بضغط حدي صافي يتزايد مع العمق من  $200$  كيلو باسكال عند السطح حتى  $1000$  كيلو باسكال على عمق  $7,6$  متر.

ثم أجريت اختبارات ضغط في قناة السفن بهيوستن على  $3$  خوازيق : خازوق أنبوبي وآخر عمود وثالث مربع الشكل (McClelland Engineers, 1986; Little and Briaud, 1986). وقد أجريت هذه الاختبارات للجسر ذي الرباط الثابت عبر قناة السفن، وكانت التربة في ذلك الموقع عبارة عن  $21$  متراً من الرمل السائب إلى متوسط الكثافة وأسفل منها طبقة طينية شديدة الصلابة (التييس) بضغط حدي  $960$  كيلو باسكال في المتوسط للرمل و  $1700$  كيلو باسكال للطين.

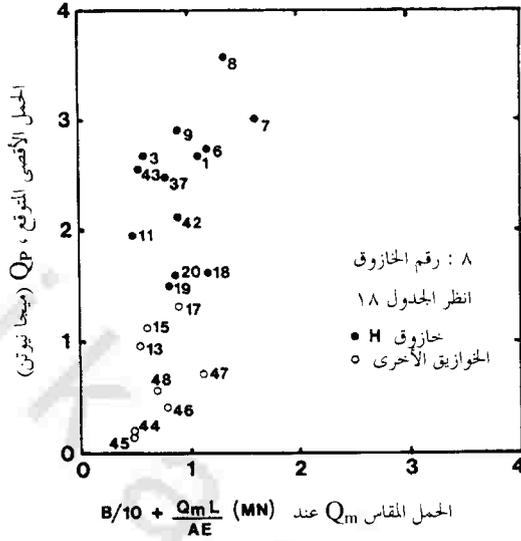
تم استخدام منحنى الحمل-الهبوط لكل تجربة لتحديد الحمل الأقصى المقاس  $Q_m$ . وعرف الحمل  $Q_m$  بأنه الحمل المقابل لهبوط قدره عُشر القطر (أو القطر المكافئ) للخازوق زائداً الضغط المرن للخازوق تحت  $Q_m$  ( $B/10 + Q_m/AE$ ). ولم يكن يتم التوصل دائماً إلى هذا الحمل خلال تجارب التحميل، فقط استعملت الخوازيق التي تم التوصل فيها إلى  $Q_m$  (من البيانات) أو تم الحصول فيها على  $Q_m$  من امتداد منحنى

الاختبارات بدرجة إتقان معقولة . لاحظ أنه في جدول رقم (١٨) ، لا يشير المماس لمنحنى الحمل - الهبوط إلى الانهيار الحاصل . ويقدر في تلك الحالات أن الحمل الأقصى الحقيقي كان أكبر من  $B/10$  من الحمل الأقصى المدرج في جدول رقم (١٨) بمقدار ٢٠٪ على الأقل (Briaud et al., 1986c).

ثم أجريت التنبؤات آلياً باستخدام جهاز حاسب آلي شخصي من IBM بواسطة برنامج أعد لهذا الغرض. بالنسبة للخوازيق على شكل  $H$  ، تم حساب سعة الخازوق الأقصى أولاً باستخدام مساحات الاتصال بين التربة وال فولاذ لمقاومات الطرف والعمود ،  $Q_{U1}$  ، وثانياً باستخدام المساحات المربعة المحيطة لمقاومات الطرف والعمود ،  $Q_{U2}$  . واعتبر الحمل الأقصى المتوقع لخوازيق  $H$  هذه أن يكون أقل الحملين  $Q_{U1}$  و  $Q_{U2}$  . في كل الحالات كان  $Q_{U2}$  أصغر من  $Q_{U1}$  . لاحظ أن  $Q_{U2}$  تختص بحالة الإدخال ؛ حيث تكون التربة محصورة بين أجزاء خوازيق  $H$  .



شكل رقم (٩٦). الأحمال القصوى المقاسة مقابل المتوقعة لاختبارات الضغط.



شكل رقم (٩٧). الأحمال القصوى المقاسة مقابل المتوقعة لاختبارات الشد.

يوضح شكل رقم (٩٦) الأحمال القصوى المقاسة مقابل الأحمال القصوى المتوقعة لتجارب الضغط. وفي المتوسط يكون الحمل المتوقع أكبر من الحمل المقاس بـ ٢٠٪ وعلى الرغم من ذلك - وكما ذكر سابقاً - لعدد محدد من الخوازيق (جدول رقم ١٨)، لم يتم الحصول على انهيار عند هبوط قدره  $B/10 + Q_m L/AE$  وقدر الحمل الأقصى الفعلي لتلك الخوازيق بأنه أكبر بـ ٢٠٪ لذلك إذا كان الحمل الأقصى الفعلي قد قيس ورسم على شكل (٣) عوضاً عن  $B/10 + Q_m L/AE$  الحمل الأقصى فإن الزيادة في مقدار التنبؤ لطريقة PMT ستقل .

يوضح شكل رقم (٩٧) الأحمال القصوى المتوقعة مقابل تلك المقاسة لاختبارات الشد. وفي المتوسط كانت الطريقة تزيد في تنبؤها للأحمال المقاسة بمعامل قدره ٢,٥ . وعلى الرغم من ذلك فإن كل اختبارات الشد في قاعدة المعلومات أجريت على خوازيق H وهناك دليل (Briaud et al., 1983d, 1984b) على أن الاحتكاك في الشد

لخوازيق H يساوي تقريباً نصف الاحتكاك في الضغط، وقد يعلل ذلك - ولو جزئياً - السبب في ارتفاع مقدار التنبؤ لطريقة PMT. وفي الحقيقة لو تم تجاهل خوازيق H في شكل رقم (٩٧)، فإن الخوازيق الأخرى المتبقية (٣ خوازيق أنبوبية و ٥ خوازيق مصبوبة) لا تظهر فيها هذه النزعة لزيادة التنبؤ.

ولو تفحصنا شكل رقم (٩٦) لوجدنا أنه بالنسبة لتحميل الضغط فإن استعمال معامل أمان قدره ٢,٨ قد يكون مناسباً لتحديد حمل التصميم الفعلي. وفي الحقيقة فإن ذلك سيجعلنا نتأكد أنه بالنسبة لقاعدة المعلومات هذه، فإنه عند حمل التصميم الفعلي لن يتم تحميل أي من الخوازيق إلى درجة الانهيار، وأن حمل التصميم الفعلي سيكون في المتوسط نصف  $(B/10 + Q_m L/AE)$  الحمل الأقصى المقاس.

#### (١٠,٧) الهبوط: الطريقة SETTLEMENT: METHOD

توجد أمثلة في الملحق ج. ويوجد برنامج حاسب آلي PILPMT للحسابات الآلية (Tucker and Briaud, 1986b).

إن الهبوط للخازوق واحد عند نصف الحمل الأقصى هو مقدار صغير دائماً. أجرى (Briaud and Tucker, 1988) دراسة لقاعدة معلومات على ٩٨ اختبار تحميل الخوازيق، وتم حساب الهبوط لكل اختبار تحميل للخازوق كما يلي:

$$s_a = s_m - 0.5 QL/AE \quad (٢٤٢)$$

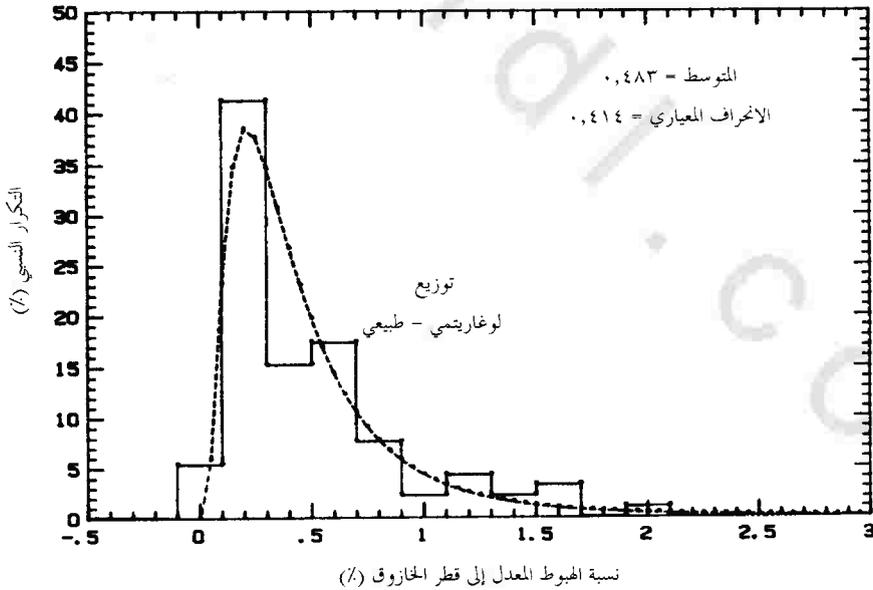
حيث إن  $s_a$  هو الهبوط المعدل،  $s_m$  هو الهبوط المقاس عند نصف الحمل الأقصى المقاس،  $Q$  هو نصف الحمل الأقصى المقاس،  $L$  هو الطول المطمور من الخازوق،  $A$  هي مساحة قطاع الخازوق و  $E$  هو معامل المرونة للخازوق. تفترض المعادلة ١٨١ أنه عند نصف الحمل الأقصى المقاس فإن الحمل في الخازوق يتناقص خطياً من نصف الحمل الأقصى المقاس عند سطح الأرض حتى الصفر عند طرف الخازوق. وبمعنى آخر فإن  $s_a$  سيمثل الهبوط لطرف الخازوق عند حمل علوي قدره نصف الحمل الأقصى المقاس. ويوضح شكل رقم (٩٨) الرسم البياني للتكرار النسبي لنسبة  $s_a/B$ ،

حيث  $B$  قطر الخازوق، كما أعطي مع الرسم المتوسط والانحراف المعياري لـ  $s/B$ . كما يتضح في نفس الرسم توزيع اللوغاريتم - العادي اعتماداً على المتوسط والانحراف المعياري، ويمثل هذا التوزيع البيانات بصورة جيدة. واعتماداً على هذا التوزيع فهناك احتمال ٩٥٪ أن تكون قيمة الهبوط الطرفي في ١,٢٥٪ من قطر الخازوق أو أقل، أو أن تكون قيمة الهبوط في قمة الخازوق ١,٢٥٪ من قطر الخازوق زائداً  $QL/2AE$  أو أقل. وتقدم الوثيقة (LCPC-SETRA, 1985) بعض النصائح لحساب هبوط الخازوق  $s$  عند الأحمال الفعلية:

$$(٢٤٣) \quad s = 0.006 B \quad \text{للخوازيق المصبوبة في الموقع}$$

$$(٢٤٤) \quad s = 0.009 B \quad \text{للخوازيق المدقوقة}$$

حيث إن  $B$  قطر الخازوق. ويجب إضافة القصر المرن للخازوق  $QL/AE$  إذا كان الخازوق طويلاً.

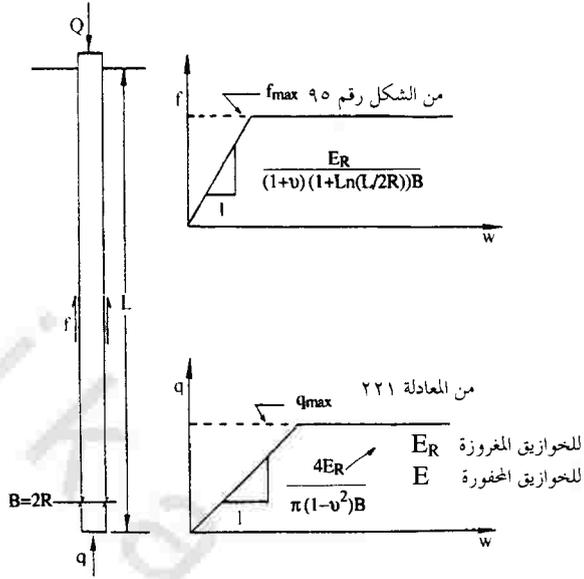


شكل رقم (٩٨). التكرار النسبي لنسبة الهبوط إلى قطر الخازوق لـ ٩٨ خازوقاً.

يمكن إيجاد المنحنى المتكامل لـ (الحمل - الهبوط) عند قمة الخازوق إذا أمكن الحصول على منحنيات  $q-w$  و  $f-w$ . منحنى  $(q-w)$  هو منحنى نقل الحمل عند طرف الخازوق، حيث إن  $q$  هو الضغط الطرفي المتوسط الحاصل لحركة طرف خازوق بمقدار  $w$ . ومنحنى  $f-w$  هو منحنى نقل الحمل خلال عمود الخازوق، حيث إن  $f$  هو الاحتكاك بين التربة والخازوق الناتج عن حركة عمود الخازوق بمقدار  $w$ . يوجد ثلاث طرق للحصول على منحنيات  $q-w$ ،  $f-w$  من نتائج اختبارات قياسات الضغوط. تمثل جميع الطرق الثلاث منحنيات  $f-w$  و  $q-w$  بنماذج مرنة-لدنة (شكل رقم ٩٩) حيث يتم الحصول على القيم القصوى لـ  $f_L$  و  $q_L$  من طريقة الحمل الأقصى المشروحة في البند (٤، ١٠). وتوصي الطرق الثلاث بنصائح مختلفة بخصوص ميل الجزء المرن لمنحنيات  $f-w$  و  $q-w$ .

تم تقديم الطريقة الأولى بواسطة جامبن (Gambin, 1963). وتعتمد هذه الطريقة على المرونة مع بعض التبسيطات. وقيمة الميل الموصى بها لمنحنى  $q-w$  تساوي  $2E/R$ ، حيث إن  $E$  معامل مقياس الضغوط و  $R$  نصف قطر الخازوق. أما قيمة الميل المفضلة لمنحنى  $f-w$  فتساوي  $E/CR$ ، حيث إن  $C$  معامل يعتمد على نسبة طول الخازوق إلى قطره.

اقترح فرانك و زهاو (Frank and Zhao, 1982) الطريقة الثانية. وهذه الطريقة هي شبه تجريبية، حيث تستخدم نتائج نظرية المرونة تجريبياً مع تصحيحها لتناسب البيانات المعملية لاختبارات التحميل ذات المقاس الكامل على الخوازيق المصبوبة. الجزء المرن من المنحنى هو خط ثنائي الميل. الميل الأول لمنحنى  $q-w$  ويساوي  $E/B$  وللخوازيق في تربة الطين والطيني وتساوي  $4.8E/B$  للخوازيق في الرمل والحصى حيث  $E$  معامل  $PMT$  و  $B$  قطر الخازوق. الميل الأول لمنحنى  $f-w$  يساوي  $2E/B$  للخوازيق في الطين والطيني ويساوي  $0.8E/B$  للخوازيق في الرمل والحصى، يكون الميل الثاني للجزء المرن من المنحنيات أقل ٥ مرات عن المنحنى الأول، والتغير في الميل يحدث عند نصف القيمة القصوى.



شكل رقم (٩٩). منحنيات تحويل الحمل من بيانات مقياس الضغط.

اقترح باجولين (Baguelin et al., 1982) الطريقة الثالثة. وتوصي هذه الطريقة بميل لمنحنى  $f-w$  فقط. وتعتمد هذه الطريقة على التكامل نصف القطري لمنحنى قوة القص المستنتج من منحنى مقياس الضغط ذاتي الحفر والتأكد منها باستخدام طريقة العناصر المحدودة. والميل الموصى به لمنحنى  $f-w$  هو  $E_{SB}/[2R(1+\nu)(1+Ln(L/2R))]$ ، حيث  $E_{SB}$  معامل المماس الابتدائي من اختبار مقياس الضغوط ذاتي الحفر،  $\nu$  نسبة بويسون،  $L$  طول الخازوق المغروز،  $R$  نصف قطر الخازوق.

تستخدم الطريقة الثالثة معاملاً ذاتي الحفر  $E_{SB}$  الذي يتناغم بصورة جيدة مع المعامل  $E_R$  المستنتج من دورة إزالة الحمل-إعادة التحميل في اختبار مقياس الضغوط مسبق الحفر (Baguelin et al., 1978). لذا وجدت طريقة تشبه الطريقة الثالثة وتشتمل على استبدال  $E_{SB}$  بـ  $E_R$  في الميل المفضل لمنحنى  $f-w$  للطريقة الثالثة. هذه الطريقة تسمى

الطريقة الرابعة وهي تأخذ من نظرية المرونة أن ميل منحنى  $q-w$  يساوي  $2E/\pi(1-\nu^2)R$  للخوازيق المصبوبة و  $2E/\pi(1-\nu^2)R$  للخوازيق المغروزة، حيث  $E$  هو معامل مقياس ضغط الحمل الأول. يماثل هذا الميل معادلة الهبوط لصفحة صلبة عند سطح نصف فراغي مرن؛ ولذا آخذ (Randolph and Worth, 1978) فرضاً مناسباً وهو أن التناقص في الهبوط تبعاً لدق طرف الخازوق يتلاشى مع التزايد في الهبوط عند طرف الخازوق الحادث بسبب إجهادات القص في التربة التي وجدت بسبب احتكاك عمود الخازوق (شكل رقم ٩٩). لاحظ أن منحنى  $q-w$  للأعمدة المغروزة بشكل دوراني تستخدم معامل PMT للحمل الأول، بينما معامل إعادة التحميل  $E_R$  يستخدم للخوازيق المغروزة بالطرق. إذا تم صب الجزء السفلي من الحفرة للعمود المغروز بالتدوير بشكل جيد، وتم تنظيفها باستمرار قبل صب الخرسانة فإنه من الممكن - بعد تقييم نوع التربة بشكل جيد - استخدام  $E_R$  لمنحنى  $q-w$  للأعمدة المغروزة بالتدوير. وهناك مثال لحسابات الهبوط في الملحق ج، مثال ٤.

#### (٨، ١٠) الهبوط: دقة قواعد التصميم

##### SETTLEMENT: PRECISION OF THE DESIGN RULES

كانت الطريقة الرابعة الآنفه الذكر تستخدم لإنتاج منحنيات الحمل - الهبوط الكاملة للخوازيق. ثم يطبق معامل أمان قدره ٢,٥ للحمل الأقصى المتوقع، وهذا يعطي قيمة حمل التصميم الفعلي. وتم الحصول على قيم الهبوط المقاسة والمتوقعة عند حمل التصميم الفعلي، وهي مرسومة في شكل رقم (١٠٠). وتمت دراسة اختبارات أحمال الضغط للخوازيق فقط، نظراً لوجود المشكلات المصاحبة لاختبارات الشد على خوازيق H. يمكن مشاهدة أن القيم المتوقعة تتناسب بشكل جيد مع القيم المقاسة. كانت قيم الهبوط للخوازيق المفردة هذه صغيرة جداً (نحو ٥, ٢ ملم).

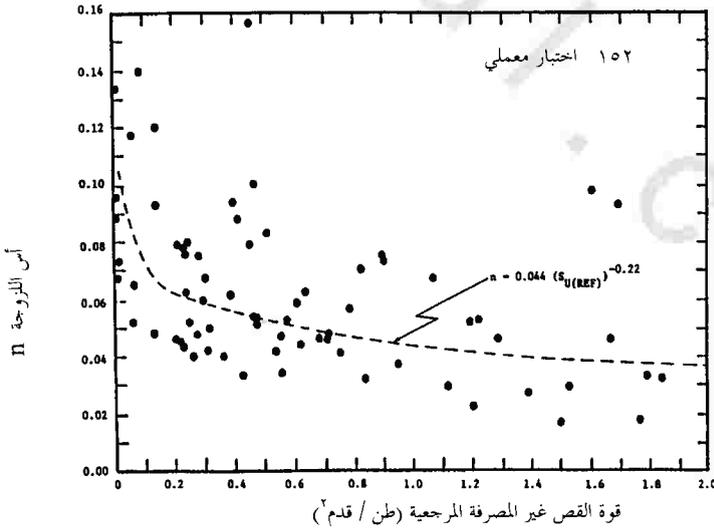


تمت دراسة أثر المعدل المرتبط بسلوك التربة عند عدم تصريف الماء بواسطة عدد من المؤلفين (Bjerrum et al., 1958; Cassagrande and Shannon, 1948; Crawford, 1959; Whitman, 1957) وحديثاً (Bea and Audibert, 1979; Briaud and Garland, 1985) في حالة الخوازيق المحملة محورياً. يرتبط هذا النوع من أثر المعدل بالأحمال التي تظهر في طبقات الطين خلال فترة زمنية أقل من بضع ساعات، مثال ذلك تحميل الخوازيق المحاذية للشواطئ بفعل الأمواج البحرية. زمن الارتفاع هذا مثل هذه الأمواج نحو ثلاث ثوانٍ، وفي الطين فإنه يبدو أن للخازوق قدرة أعلى تحت هذا التحميل السريع. تابع كل من بريارد و جارلانند (Briaud and Garland, 1985) العمل الذي قام به (Bea and Audibert, 1979) واقترحا :

$$(٢٤٥) \quad S_{U1} / S_{U2} = (t_1 / t_2)^n$$

$$(٢٤٦) \quad Q_{U1} / Q_{U2} = (t_1 / t_2)^n$$

حيث إن  $S_{U1}$  و  $S_{U2}$  قوة القص عند عدم التصريف مقاسةً في وقتي  $t_1$  و  $t_2$  حتى الانهيار على التوالي، و  $Q_{U1}$  و  $Q_{U2}$  القدرة القصوى للخازوق مقاسةً عند وقتي  $t_1$  و  $t_2$  على التوالي و  $n$  أس اللزوجة لتلك الطبقة من الطين.



شكل رقم (١٠١). أس اللزوجة بالنسبة لدرجة التأثير على قوة القص غير المصرفة للتربة الطينية.

يوضح شكل رقم (١٠١) النتائج التي حصل عليها بريارد و جارلاندا (Briaud and Garland, 1985) لقيمة  $n$  كدالة في  $S_U$  عائدة لفترة زمنية (ساعة واحدة) حتى الانهيار. يوضح هذا الشكل أن  $n$  لها قيمة عليا للطين الناعم. وأظهرت الدراسة أن  $n$  بالنسبة للطين المتيسس (الصلب) كانت أصغر لكنها مازالت قيمة موجبة (زيادة في القدرة عند زيادة المعدلات). وأظهر جيزكيول (Jezequel, 1969) عكس ذلك. ففي هذه الدراسة الأخيرة تم دق مقياس ضغط مخروطي عند معدلات مختلفة في طين متيسس فكانت مقاومة التربة تقل بزيادة سرعة الدق. ويمكن استخدام معادلة ٢٤٦ مع شكل رقم (١٠١) لتصحيح القدرة المستنبطة من طريقة مقياس الضغط مع وضع النقاط التالية في الاعتبار :

١- يمكن أن يكون الأس  $n$  سالبا في حالة الطين المتيسس (الصلب).  
٢- يكون الوقت إلى حدوث الانهيار في قاعدة المعلومات المستخدمة لاستنباط قواعد تصميم مقياس الضغط من فئات ٥ ساعات.

٣- يكون الوقت إلى حدوث الانهيار في قاعدة المعلومات المستخدمة لاستنتاج معادلة ٢٤٦ وقيم  $n$  يتراوح بين ٠,١ ثانية حتى ١٢٠ ساعة.

تم تدقيق وفحص طريقة أثر المعدل هذه بمقارنتها مع قاعدة معلومات الخوازيق المدرجة في جدول رقم (٢٠) وتشير البيانات المستخرجة بواسطة ريجينز (Riggins, 1981) في سلسلة من اختبارات القص البسيطة على عينات طينية ناعمة إلى إمكانية استخدام نفس النموذج لمعامل التربة :

$$(٢٤٧) \quad E_{U1} / E_{U2} = (t_1 / t_2)^n$$

لاحظ أن معادلة ٢٤٦ يمكن تطبيقها للخوازيق التي تصنف كصلبة. تعتبر الخوازيق الطويلة مرنة بما فيه الكفاية لأن يكون معدل التحميل في أعلى الخازوق مختلفاً عنه في أسفل الخازوق عند تطبيق أحمال عالية. فخلال نفس الزمن، الجزء العلوي من الخازوق ينزل لأسفل بدرجة أكبر من الجزء السفلي للخازوق. ويمكن التعامل مع هذه المشكلة باستخدام منحنيات نقل الحمل التي أخذ فيها تأثير المعدل، وتم ابتكار برنامج حاسبي لهذا الغرض (Tucker and Briaud, 1987).

جدول رقم (٢٠) : قاعدة بيانات لخوارزم لحجوم الطبعي معرصة لعدين مختلفين من التحميل الرأسى.

تاريخ اختبار تحميل الخارزق		الخارزق		التربة				المرجع	مجموعة البيانات		
الوقت للاختبار (ساعة)	الحمل الأقصى (kPa) ٢	الوقت للاختبار (ساعة)	الحمل الأقصى (kPa) ١	نوع الخارزق	قطر الخارزق (سم)	طول الخارزق (متر)	متوسط انحراف (%)			متوسط $S_u$ (kPa)	متوسط PI (%)
٠٠.٨٣٣	٤٤٥	١٠٠ X ١٠٠	٣٠٢	خرساة	٣٥.٤	٥.٨	٢٤	١٢٩	١٤	طين حاد رقائق	Dubose (1955)
٩٠	٢٨٠	١٠٠ X ١٠٠	٢٠٠	خرساة	٣٣.٥	٣.٥	٢٤	٩٩.٦	١٤	طين حاد رقائق	Dubose (1955)
٥.٥	٣١٣	١٠٠ X ٤.٧٥٢	٢٣٥	خشب	٢٥	١٣.١	٣٧	١٤.٧	١٩	طين طيني	Eide (1961)
٠.٣٣.٣	٥٣٤	٣	٤٤٥	خشب	٢٩.٩ (متوسط)	١٠.٧	٢٨	٣٩.٦	١٧	طين طيني	Lo & Stermac (1964)
٠.٨٣	١٢٢٨	١٠	٨٩٠	ألوم بولادي	٢٥.٤ X ٦.١	٦.٤	٢٨	٣٤.٢	١٠	طين طيني	Lo & Stermac (1964)
٠.٥	٥٧٨	٥	٤٤٥	خشب	٢٩.٢ (متوسط)	١٣.٧	٢٠	٧١.٨	١٣	طين طيني الى طيني	Lo & Stermac (1964)
١٠.٠ X ٣.١٤	٢.١	١٠.٠ X ٢.٣٨٧	١.٨	مخروط استاتيكي	٣.٥٧	٠.٣٦	٢٤.٧	٢٨.٧	لا يوجد	طين	Goncharov (1966)
١.٠.٨	١.٦٨	١٠.٠ X ١.٢٣	٩٧٩	PC/PS	٤٠.٧ (متوسط)	١١	لا يوجد	لا يوجد	لا يوجد	موقع برازوريا طين، رمل، طيني	Fuller & Hoy (1970)
٠.٧٥	١٢٩٠	٥٥.٧	٩٧٩	I2BP53	٣٠.٥ (متوسط)	١٤.٩	لا يوجد	لا يوجد	لا يوجد	موقع وايزن، رمل وطين	Fuller & Hoy (1970)
٠.٩١٦٧	١.٦١	٥٧	٨٤٥	PC/PS	٤٥.٧ (متوسط)	٢٥.٥	لا يوجد	٥٧.٥	لا يوجد	موقع آزكيسن، رمل وطين	Fuller & Hoy (1970)
٠.١.٠٨٣	١٢٤٥	١٠.٠ X ٤.٠٣	٧١٢	I2BP53	٣٠.٥ (متوسط)	٧.٦٢	لا يوجد	لا يوجد	لا يوجد	موقع فيكوربا، رمل وطين	Fuller & Hoy (1970)
٠.٨٣	٧٥٦	٨٣.٢٥	١١٧	ألوم حديدي	٤٠.٦	١٨.٣	لا يوجد	لا يوجد	لا يوجد	موقع حفرس	Fuller & Hoy (1970)
١.٢٥	١٥١٢	١٠.٠ X ١.٣٢	١٤٢٣	مستطقي	٢٨-٣٥.٦	٩.٤٦	٢١	لا يوجد	لا يوجد	موقع مرسا، طيني وطين	Fuller & Hoy (1970)
١.٧٥	١٢٦٧	١٠.٠ X ٤.٠٣	١٠٢٣	مستطقي مبرج	٢٨-٤٠.٦	١٣.٤	لا يوجد	لا يوجد	لا يوجد	موقع جالسن، طين رطبي رمل	Fuller & Hoy (1970)

تصميم الخوازيق المحملة عموديا

تابع جدول رقم (٢٠).

نتائج اختبار تحميل الخوازيق				الخوازيق		التربة				المرجع	مجموعة البيانات	
الوقت للاختبار (ساعة)	الحمل الاقصى (kPa) ٢	الوقت للاختبار (ساعة)	الحمل الاقصى (kPa) ١	نوع الخوازيق	الخوازيق قطر الخوازيق (سم) X سماكة رمل (ملم)	طول الخوازيق (متر)	متوسط نظيرى النائي (%)	متوسط S <sub>u</sub> (kPa)	متوسط PI (%)			ملاحظات
١،١١٧	١٠٢٢	١٠٠٨٣	٩٣٤	12BPS3	٣٠،٥	٦،٤	لا يوجد	لا يوجد	لا يوجد	موقع حرم، رمل وطني طين	Fuller & Hoy (1970)	١٥
١٠٠٠، ١٢٠٠، ٢٠٠٨	١٠٤٥	١٠٠٨٣	١٢٦٠، ١٠٤٣	خوازيق صخرية	٢١،٩	لا يوجد	٢٤	لا يوجد	لا يوجد	تربة رملية طينية لينة من صلب إلى رصو	Ginzburg (1973)	١٦
١٠٠٠، ١٢٠٠، ٢٠٠٨	١١٨٧	١٠٠٨٣	١٠٠٢	خوازيق صخرية	٢١،٩	لا يوجد	٢٤	لا يوجد	لا يوجد	تربة رملية طينية لينة من صلب إلى رصو	Ginzburg (1973)	١٧
١٠٠٠، ١٢٠٠، ٢٠٠٨	٦٢٠،٩	١٠٠٨٣	٥٢٠،٣	خوازيق صخرية	٢١،٩	لا يوجد	٢٤	لا يوجد	لا يوجد	تربة رملية طينية لينة من صلب إلى رصو	Ginzburg (1973)	١٨
١٠٠٠، ١٢٠٠، ٢٠٠٨	٦٢٠،٩	١٠٠٨٣	١٧٠،٣	خوازيق صخرية	٢١،٩	لا يوجد	٢٤	لا يوجد	لا يوجد	تربة رملية طينية لينة من صلب إلى رصو	Ginzburg (1973)	١٩
١٠٠٠، ١٢٠٠، ٢٠٠٨	١١٠،٢	١٠٠٨٣	٩٠،٦١	خوازيق صخرية	٢١،٩	لا يوجد	٢٤	لا يوجد	لا يوجد	تربة رملية طينية لينة من صلب إلى رصو	Ginzburg (1973)	٢٠
١٠٠٠، ١٢٠٠، ٢٠٠٨	٢٧٠،٦	٤٠٢٢	٢٩٠،٤	حرساة	لا يوجد	٦	لا يوجد	لا يوجد	٢٠	طين أوسلو	Bjerrum (1973)	٢١
١٠٠٠، ١٢٠٠، ٢٠٠٨	٢٦٧	١٧٦	١٥٠،١	حشب	لا يوجد	٥،١٦	لا يوجد	لا يوجد	٢٥٠	طين مدينة مكسيكو	Bjerrum (1973)	٢٢
١٠٠٠، ١٢٠٠، ٢٠٠٨	١٦	٢١٠،١٦	٩٠،٧٩	حرساة	لا يوجد	١	لا يوجد	لا يوجد	٥٢	طين جلدسبرج	Bjerrum (1973)	٢٣
١٠٠٠، ١٢٠٠، ٢٢٢٢	٣٤٩٦	١٠٠٨٣	١١٦٥	حرساة	٤٥،٧	٧،٣٢	١٥	٦٤،٦	١٣	رمل، طين	Coyle, et al. (1973)	٢٤
١٠٠٠، ١٢٠٠، ٢٠٠٨	٢٧٦	١٠٠٨٣	٢٢٢٢	مسفة الاجهاد	٣،٥٧	لا يوجد	١١٧	١٦،٨	٦٤	طين بانكوك الرصو	Brand et al. (1974)	٢٥
١٠٠٠، ١٢٠٠، ٢٠٠٨	٤٣٦	١٠٠٨٣	٤٠٤	مخروط هولندي	٣،٥٧	لا يوجد	٩٦	٢٦،٣	٦٠	طين بانكوك الرصو	Brand et al. (1974)	٢٦

تابع جدول رقم (٢٠).

تابع اختبار تحميل الحزازيق				الحزازيق				التربة				المرجع	مجموعة البيانات
الوقت للاختبار (ساعة)	الحمل الأقصى (kPa) ٢	الوقت للاختبار (ساعة)	الحمل الأقصى (kPa) ١	نوع الحزازيق	قطر الحزازيق (سم)	طول الحزازيق (سم)	متوسط الفتوى (%)	متوسط $S_u$ (kPa)	متوسط PI (%)	ملاحظات			
١٠٠X١,٢٧	لا يوجد	لا يوجد	لا يوجد	قنصبا مولادي	١,٢٨	٠,١٢	لا يوجد	لا يوجد	٣٠	طين طيني	Bea & Doyle (1975)	٢٧	
١٠٠X١,٢٧	٧٨٨	١,٠X٨,٣٣	٧٦٦	أنبوب مولادي	٣٨,١X٦٦	٧٣,٨	٤٣	٧٩,٥	٥٠	طين صلب زرحو	Casbarian (1967)	٢٨	
١٠٠X١,٢٧	٧٦٥١	١,٠X٨,٣٣	٧٠٧٢	أنبوب مولادي	٣٨,١X٣٥,٦	٧٣,٨	٤٣	٧٩,٥	٥٠	طين صلب وعالي اللدونة	Casbarian (1967)	٢٩	
١٠٠X٢,٢	١٦٨٥	٠,٩١٠,٦	٩٩٦	أنبوب مولادي	٩,٥X٣٥,٦	١٥,٢	٤٢	٥١,٧	٦٠	طين صلب وعالي اللدونة	Kraft et al. (1981)	٣٠	
١٠٠X٢,٥	٢٢٠٢	٠,٩٩٦,٤	١٥٥٢	أنبوب مولادي	٩,٥X٣٥,٦	١٥,٢	٣٥	٨٧,٦	٦٠	طين صلب وعالي اللدونة	Kraft et al. (1981)	٣١	
١٠٠X٣,٤	٢٧٥٢	١,٤٦٧	١٥٩٧	أنبوب مولادي	١٥,١X٣٥,٦	١٢,٢	٢٥	١٣٦,٧	٦٠	طين صلب وعالي اللدونة	Kraft et al. (1981)	٣٢	

ملاحظة: ٨,٩ كيلو نيوتن = ١ طن، ٩٥,٨ كيلو باسكال = ١ طن / قدم، ٠,٣٠٥ متر = ١ قدم، ٢٥,٤ ملليمتر = ١ بوصة

## (١٠, ١٠) تأثير التحميل الدوري INFLUENCE OF CYCLIC LOADING

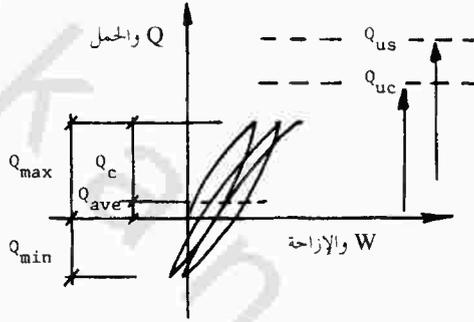
يجب اتباع حسابات خاصة عند احتمال تعرض الخازوق لتحميل دوري عمودي، يمكن في الواقع أن يقلص التحميل الدوري القدرة القصوى للخازوق ويؤدي إلى انهيارات عند جزء من الحمل الأقصى الساكن. كما في أثر المعدل، توجد معلومات أكثر للخوازيق في الطين عنها في الرمل؛ لأن المشكلة درست أساساً للحالات الساحلية.

أوضح عدد من الباحثين (Matlock and Holmquist, 1976) أن الدورات التي تجري عند مستويات أحمال منخفضة نسبياً لا تؤثر على إزاحة الخازوق بدرجة واضحة، وأن هنالك مستوى دقيقاً من الأحمال يكون سلوك الخازوق عند الأحمال الأقل منه ثابتاً، بينما ينهار الخازوق عند الأحمال الأعلى. لذا فهذا المستوى من الأحمال مهم جداً في التصميم؛ لأنه يوضح قيمة حمل الانهيار الدوري  $Q_{UC}$ . ولذا يجب تطبيق معامل أمان لـ  $Q_{UC}$ .

ناقشت دراستان هذه المشكلة للتحميل الدوري للخوازيق في الطين (Karlsrud et al., 1986; Briaud and Felio, 1985). أجرى كارلسرد في NGI سلسلة من الاختبارات الدورية على خوازيق فولاذية أنبوبية ذات طول مقداره ١٥,٥ متر وبقطر مقداره ١٥,٣ سم في طبقة من الطين متوسطة الصلابة وعالية الاندماج وحساسة نسبياً. أجرى برياود وفليو مراجعة شاملة للمشكلة و سلسلة من اختبارات قص العامود المعملية.

يعتمد الحمل  $Q_{UC}$  على عدد من العوامل. أولاً، يمكن أن تكون الدورات أحادية الاتجاه للتحميل أو ثنائية الاتجاه (شكل رقم ١٠٢)، لنسب  $Q_{max}$  الحمل الدوري الأعلى،  $Q_{min}$  الحمل الدوري الأدنى،  $Q_{avg}$  الحمل المتوسط  $= (Q_{max} + Q_{min}) / 2$ ، و  $Q_C$  قمة الحمل الدوري  $= (Q_{max} - Q_{min}) / 2$ ، ويشير التحميل أحادي الاتجاه إلى الحالة التي تبقى فيها  $Q_{min}$ ،  $Q_{max}$  من نفس النوع (كلاهما ضغط أو كلاهما شد). يكون التحميل ثنائي الاتجاه حينما تكون  $Q_{max}$ ،  $Q_{min}$  متضادتين (إحدهما ضغط والأخرى شد)، ويكون التحميل

متشابهاً وثنائي الاتجاه عندما تكون  $Q_{avg}$  مساوية للصفر. ويكون حمل الانهيار الدوري غالباً أقل للتحميل الدوري ثنائي الاتجاه عنه للتحميل الدوري أحادي الاتجاه. ويتأثر الحمل الدوري للانهيار  $Q_{uc}$  بنوع الطين. تكون هذه النسبة أعلى للطين من نوع عادي الاندماج إذا كانت  $Q_{uc}/Q_{us}$  هي نسبة حمل الانهيار الدوري إلى حمل الانهيار الثابت، بينما تكون أقل للطين من نوع عالي الاندماج. وتشير اختبارات القص للقضبان ( بريود وفليو) إلى أن هذه النسبة تساوي نسبة قوة القص المتبقية إلى قوة القص العظمى.



شكل رقم (١٠٢). تعريف متغيرات التحميل الدوري.

يمكن اتباع التالي لتحديد قيمة  $Q_{uc}$ . إن قاعدة المعلومات التي جمعت بواسطة بريود وفيليو (Briaud and Felio, 1985) مبيّنة في الجدولين رقمي (٢١ و ٢٢). كانت معظم اختبارات التحميل اختبارات أحادية الاتجاه، وبينت أن قيمة  $Q_{uc}$  تعادل  $0.8Q_{us}$ . تؤدي الاختبارات ذات التحكم في الإزاحة حتى الانهيار ( $Q_{max}=Q_{us}$ ) إلى نقص المقدرة حتى ٦٠٪ من المقدرة الساكنة  $Q_{us}$ . ويبيّن شكل رقم (١٠٣) بيانات كارلسرد. ويمكن من هذا الشكل حساب  $Q_{uc}$  كما يلي:

- ١- احسب  $Q_{us}$ .
- ٢- حدد  $Q_{avg}$  من الحمل الدائم المطبق على الخازوق.
- ٣- حدد عدد الدورات التي سيتعرض لها الخازوق.

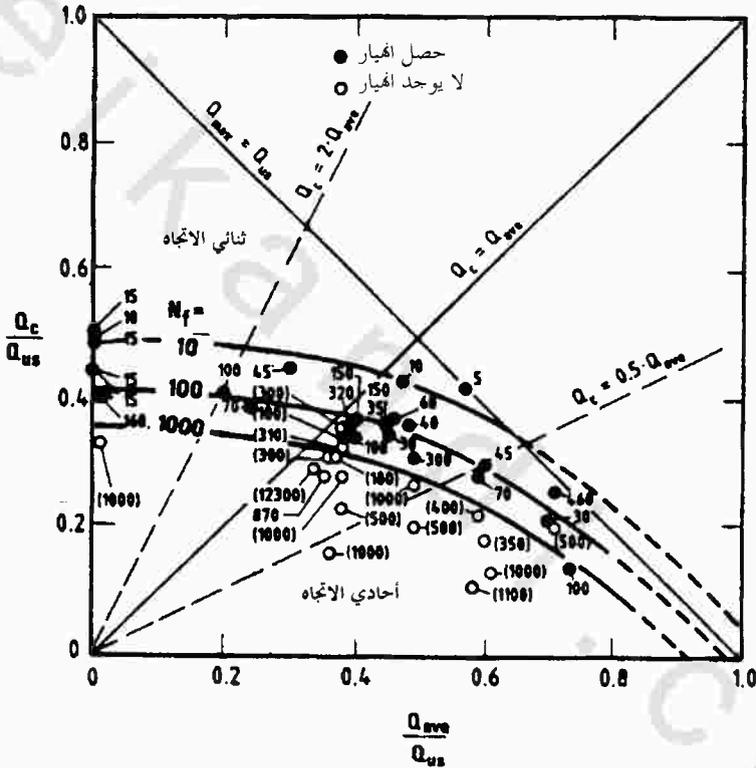
٤- باستخدام  $Q_{avg}/Q_{us}$  وعدد الدورات  $N_f$ ، حدد على الرسم قيمة  $Q_c/Q_s$ .

٥- احسب حمل الانهيار الدوري  $Q_{UC}$  كالآتي :

(٢٤٨)

$$Q_{UC} = Q_{avg} + Q_c$$

٦- طبق معامل الأمان على  $Q_{UC}$ .



شكل رقم (١٠٣). الرسم البياني التداخلي والذي يعطي عدد دورات الحمل حتى الاقفبار كدالة في

مستوى الحمل الدوري (Karlsru et al., 1986).

يجب الانتباه إلى: أولاً، أن هذا الرسم وضع للتربة الطينية عالية الاندماج وحساسة. ويجب توفر أشكال أخرى مشابهة للشكل رقم (١٠٣) للأنواع الأخرى من التربة. اقترح

كارلسرد كبديل أن يجري اختبار القص البسيط على عينة من التربة غير مخلخلة ويعاد الاختبار بتطبيق حمل دوري مناسب على العينة. وتعطي النسب بين القيم المستتجة فكرة عن النسبة بين  $Q_{UC}/Q_{US}$  إذا كان الخازوق يتحمل معظم الحمل في الاحتكاك.

ثانياً، الحمل الدوري المعتبر في شكل رقم (١٠٣) هو من نوع الحمل التموجي ويتوافق مع تردد قدره ٠,١٧ دورة/ثانية. وبصورة عامة فإن الترددات المرتفعة ستؤدي إلى إزاحة تراكمية أقل (أثر المعدل) بينما تؤدي الترددات الأقل إلى إزاحة أعلى.

ثالثاً، كانت معظم اختبارات تحميل الخازوق عند كارلسرد اختبارات شد. لذلك فإن شكل رقم (١٠٣) ليس بالضرورة مؤدياً للغرض في حالة خوازيق تحمل طرفياً. في هذه الحالة، قد تساعد اختبارات مقياس الضغط الدورية في تحديد التناقص في مقدرة الطرف إذا افترض أن طريقة عمل مقاومة الطرف مشابهة لتمدد محبس مقياس الضغط.

يمكن استخدام الفكرة التي أوجدها بريارد و فليو لغرض إيجاد تراكم الإزاحات عند الحمل الدوري الفعلي. إذا كانت الإزاحة الناتجة عن الحمل الثابت  $Q_0$  هي  $s_0$  فإن الإزاحة بعد  $N$  من الدورات سيكون  $s_N$  :

$$s_N = s_0 N^a \quad (٢٤٩)$$

حيث إن  $a$  هو الأس الدوري المعطى في شكل رقم (١٠٤). إن نسبة الحمل الدوري العليا في هذا الشكل هي نسبة الحمل الدوري الأعلى إلى القدرة الدورية القصوى. وهذا الشكل مبني على تحليل قواعد المعلومات الموضحة في جدولين رقمي (٢١ و ٢٢). لاحظ أن أغلب تلك الاختبارات كانت اختبارات أحمال متحكم فيها بتحميل أحادي الاتجاه عند قمة الخازوق. هذا النوع من التحميل يمكن أن يحدث تحميلاً ثنائي الاتجاه في التربة بالقرب من قمة الخوازيق الطويلة المرنة.

جدول رقم (٢١). قاعدة بيانات لنموذج الخوازيق المعرضة للتحميل العمودي.

الدراسة	ملاحظات	الطول (سم)	القطر (ملم)	الوصف
Bea & Doyle (1975); Dover et al. (1982)	قضب مدفوع في عينة اختبرت في وعاء الضغط ثلاثي المحور-٤ دورات	١٢,٧	١٢,٧	قص قضيب
Matlock & Holmquist (1976); Bogard & Matlock (1979)	ذو نهاية مغلقة، اختبرت تحت ضغط جانبي، ٢٠٠ دورة/اختبار، أخذت قياسات ضغط الماء	١١٤,٣	٣٨,١	نموذج خازوق في صهريج طيني
Poulos (1981)	قضب مدفوع في عينة قطرها ١٥,٢ سم، ١٠٠٠ دورة	٢٥,٤	١٩,٨	قص قضيب
Grosh & Reese (1980)	نموذج خازوق مدفوع مغلق النهاية في طين رخو، ١٥٠ دورة	٧٨,٧	٢٥,٤	نموذج خازوق بالموقع
Conoco	تقرير المالك	٢٠,١	٣٥,٦	قص قضيب
Garas & McAnoy (1980)	خازوق دائري-٤٠٠ دورة خازوق H-٤٠٠ دورة	٦١ ٦١	٢٥,٤ ١٩	نموذج خازوق في صهريج طيني
Earth Technology and sponsors	خازوق من نوع بيتا، حتى ٥٨٠٠ دورة وإلى عمق ٧٣,٢ م، المالك	١٤٣,٥	٤٣,٧	خازوق ذو أنبوب أسطواني من نوع X
Earth Technology	روزنبرج، تكساس طين عالي الاندماج، عمق ٣,٣٦ م			
Earth Technology	فانكوفر، تربة طميية			
Earth Technology and sponsors	أمبير، لوس أنجلوس، طين رخو حتى عمق ٧٦,٢ م، واستخدم أنبوب أسطواني من نوع X، المالك	٢٧٦,٩	٧٦,٢	جزء من خازوق ٣ بوصة
Earth Technology Corporation	موقع سايبنا، حتى عمق ١٢,٢ م			
Earth Technology Corporation	نيو أورلينز، لوس أنجلوس، طريق الضفة الغربية، استخدم أنبوب أسطواني من نوع X، ٢١ دورة، حتى عمق ١٢,٢ م			

تابع جدول رقم (٢١).

الدراسة	ملاحظات	الطول (سم)	القطر (ملم)	الوصف
Massachusetts Institute of Technology and sponsors	٢٠ أمين، لوس أنجلوس، طين رخو، المالك دورة، المالك	١٩٨.١	٣٨.٤	خلية بيزو للإجهاد الجانبي
Cambridge University and sponsors	اختبار دوري طارد لحوازيق شد، المالك	-	-	نموذج خازوق في اختبار طرد مركزي
Briaud & Felio (1985)	قضب مدفوع في عينة داخل أنبوب شلبي، حتى ١٠٠٠٠ دورة/اختبار	٢٧.٩	١٩	قص قضيب

ملاحظة: ٢٥.٤ ملم = ١ بوصة، ٢.٥٤ سم = ١ بوصة، ٣.٢٨ قدم = ١ م

جدول رقم (٢٢). قاعدة بيانات لنموذج الحوازيق المعرضة للتحميل العمودي الدوري.

ملاحظات	الطول (م)	القطر (م)	الدراسة
خازوق أنبوبي مدقوق، أجريت ثلاث دورات، تناقص الحمل الأقصى بعد الدورات ٠.٩٦٠ من الأقصى الابتدائي	٤.٥٧	٠.١٥	Seed & Reese(1955)
خازوق خرساني مدقوق، سبع دورات، الحمل الأقصى بعد الدورات يساوي ٠.٨٦ من الحمل الابتدائي	١١.٩	٠.٣١	Sharman (1961)
خازوق خرساني مدقوق، ثماني دورات، الحمل الأقصى بعد الدورات يساوي ٠.٩٤ من الحمل الابتدائي	١١.٩	٠.٣١	
خازوق خرساني مدقوق، سبع دورات، الحمل الأقصى بعد الدورات يساوي ٠.٨٤ من الحمل الابتدائي	١٢.٨	٠.٤	Whitaker & Cooke (1961)
عامود محفور، ثماني دورات، الحمل الأقصى بعد الدورات ٠.٨٤ من الحمل الابتدائي	١٣.٧	٠.٤٩	

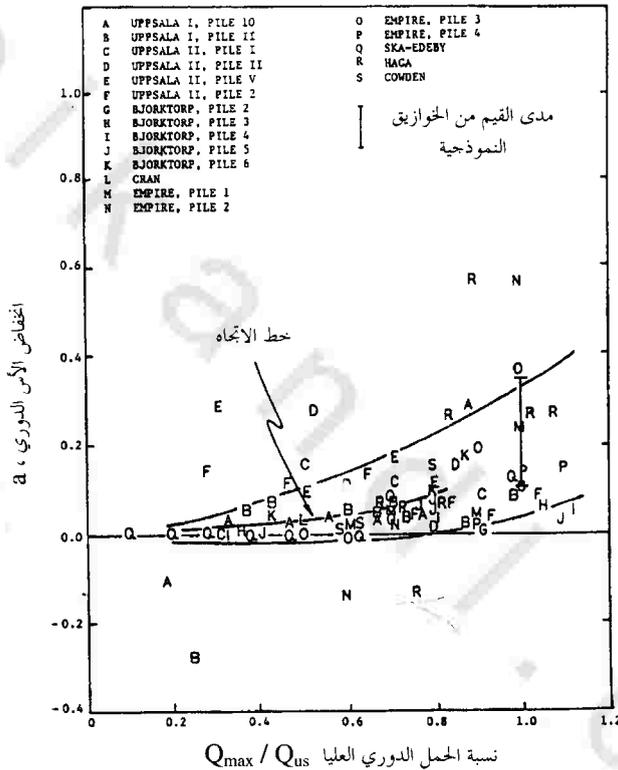
تابع جدول رقم (٢٢).

ملاحظات	الطول (م)	القطر (م)	الدراسة
عامود محفور، أربع دورات تحميل	٣,٣٦	٠,٧٦	Reese et al. (1969)
خازوقان مربعان من الخرسانة المسلحة في طين، حوالي ١٠٠ دوره لكل اختبار، $S_u=46.7$ kPa، التردد = $3 \times 3 \times 10^{-3}$ هيرتز	٢٥-١٩,٨	مربع ٠,٢٥x٠,٢٥	Swedish Geotechnical Institute: Broms (1972) Uppsala I
أربعة خوازيق خشبية في طين طمي رمادي، حوالي ١٠٠ دورة لكل اختبار، $S_u=17.2$ kPa، التردد = $3 \times 2.78 \times 10^{-3}$ هيرتز	-١٥,٩ ١٧,٧	أعلى ٠,٣٥x٠,٣٢ أسفل ٠,١٥	Uppsala II
خمس خوازيق من الخرسانة المسلحة، طين مختلف تحت ست أقدام من الرمل حوالي ١٠٠ دورة لكل اختبار، متوفر منحنيات الحمل العلوي والتحرك العلوي، $S_u=24.9$ kPa، التردد = $3 \times 2.78 \times 10^{-3}$ هيرتز	-١٤,٣ ٢٢,٩	مربع ٠,٢٥x٠,٢٥	Bjorktorp
ترسبات بحرية، طي قابل للانضغاط، رمل مفكك، وطين طمي، خازوق من سبعة أجزاء مدقوق بنهاية مغلقة، أحمال ثابتة ودورية، مدى ثابت، أحمال رياح، أكثر من ١٠٠٠ دورة، متوفر منحنيات الحمل العلوي-التحرك العلوي	١٣	٠,٢٧	French Petroleum Institute (IFP): Puech & Jezequel (1980); Puech (1982); Puech et al. (1982) Plancoct site
طين متجانس (OCR=2) مدقوق، شد دوري، تحميل شد دوري متماثل تحت شد ثابت، مدى ثابت وأحمال رياح، متوفر منحنيات الحمل العلوي-التحرك العلوي، $S_u=49.9$ kPa، التردد = $0.07 \times 10^{-3}$ هيرتز	١٧	٠,٢٧	Cran site
رمل جيري، المالك	٢٢	٠,٣٣	Plouanne
موقع كاودن، طين طمي صلب، خوازيق مدقوقة، تتوفر بعض منحنيات الحمل العلوي-التحرك العلوي، ١٥٠ دورة	٩,٢١	٠,٤٦	Building Research Establishment; Gallagher & St. John (1980)

تابع جدول رقم (٢٢).

ملاحظات	الطول (م)	القطر (م)	الدراسة
طين قاسى عالى اللدونة ومنتظم فوق طين رمادي عالى اللدونه صلب إلى صلب جداً ، $S_u=57.5-172.4$ kPa ، خازوق من أريم قطع ذو نهاية مفتوحة ، أحمال شد وضغط دورية ، تحميل ثابت بسرعات مختلفة متوفر منحنيات الحمل العلوي-التحرك العلوي ، التردد = $0.07$ هيرتز	١٦.٢	٠.٣٦	Empire, LA; Kraft et al. (1981)
خازوق مصنع ، أحمال باقية ، أحمال دورية مختلفة القوة والمدى ، ترددات مختلفة ، $14000$ دورة ، التقرير متوافر ، التردد = $0.1$ هيرتز	٩.٩١	٠.١٩	Taylor-Woodrow Laboratories: McAnoy et al. (1982)
طين جليدي رقائقى ، $S_u=17.0$ kPa ، $120$ دورة تحت إجهادات دورية مختلفة (أحادية الاتجاه) ، متوفر منحنيات الحمل العلوي-التحرك العلوي ، التردد = $1.7 \times 10^{-3}$ هيرتز	١٥	مربع $0.1 \times 0.1$	Bergdahl & Hult (1981)
طين هيبخ (قاسى) ، $S_u=40$ kPa ، خازوق مصنع تحت شد ثابت ودوري ، دورات عديدة من قوى الشد المنحرفة ، تقرير بالنتائج مفصلة ، التردد = $0.167$ هيرتز	٥.١٥	٠.١٥	Norwegian Geotechnical Institute: Karlsrud & Haugen (1983); Karlsrud et al. (1986)
طين طمي ، الساحل الطويل ، تربة عالية الاندماج بدرجة بسيطة ، اختبارات شد دورية وثابتة ، حوالى $20$ دورة ، متوفر منحنيات الحمل العلوي-والتحرك العلوي من مقال	٨٠.٨-٥٨	٠.٧٦	Beta Pile - Shell; Doyle & Pelletier (1985)
اختبارات شد تحاكي $100$ سنة من عواصف بحر الشمال ، طين مخلفات جليدية ، $3000$ دورة ، متوفر منحنيات الحمل العلوي-التحرك العلوي بعد وقبل كل دورة	١٠.١	خازوق H $0.15 \times 0.16$	Garas & McAnoy (1980)
طمي بركانى ، مصنع ، $100$ دورة ، المالك ، المعلومات غير متوفرة	-٣٩.٦ ٥٤.٩	٠.٧٦	Iwaki-Esso Japan
خوازيق محفورة ومحقونة في طين قاسى ، $120$ دورة لكل اختبار شد ، الفترة = دقيقة واحدة	١٢.٢	٠.٢٣	Kubena, Briaud (1989)

وفي الغالب فإن هناك إزاحة دائمة تنشأ بعد نهاية الدورات (Briaud and Felio, 1985). هذه الإزاحة الدائمة تزداد بزيادة الجزء الثابت من الحمل ( $Q_{avg}$ ) في شكل رقم (١٠٢) وعلى الرغم من ذلك فإن بقية الفترة عند نهاية الدورات ستؤدي إلى استرجاع واضح في القدرة للخازوق .



شكل رقم (١٠٤). انخفاض الأُس الدوري كدالة في أعلى نسبة للحمل الدوري لخوازيق بالحجم الطبيعي

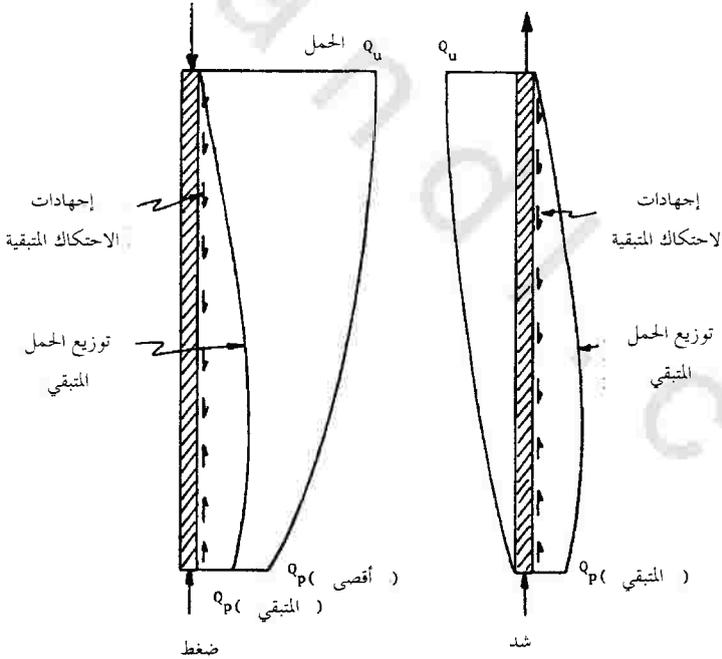
.(Briaud and Felio, 1985)

### ١٠,١١) تأثير الإجهادات المتبقية INFLUENCE OF RESIDUAL STRESSES

لن يكون البند عن الخوازيق المحملة رأسياً تماماً ما لم يتم التطرق إلى وجود الإجهادات المتبقية (Hunter and Davisson, 1969; Holloway et al., 1975). تنشأ هذه

الإجهادات في الخازوق بواسطة التربة عند تطبيق حملٍ مائِم إزالته، كما في حالة طرق المِطرقة عند دق خازوق أو في اختبارات تحميل الخازوق. ولا تنشأ الإجهادات المتبقية في الخوازيق المصبوبة والخوازيق المدقوقة بالاهتزاز؛ وذلك بسبب عمليات التركيب، بينما تنشأ في حالة الخوازيق المدقوقة بالطرق.

خلال طرق المِطرقة أو بصورة أعم عند تطبيق حمل عمودي مؤقت يتحرك الخازوق للأسفل، ثم يرتد لموضع نهائي بعد إزالة الحمل. سوف يكون الخازوق في ذلك الموضع النهائي في حالة اتزان عند حمل طرفي معين و حمل احتكاكي معين يلغيان بعضهما مادام أن الحمل في أعلى الخازوق يساوي صفراً. يمكن أن يكون الحمل المتبقي واضحاً (Briaud and Tucker, 1984a and b)، والتوزيع في الخازوق، كما هو موضح في شكل رقم (١٠٥).



شكل رقم (١٠٥). توزيع الأحمال المتبقية لخوازيق محملة محورياً.

إن الخازوق الذي تتكون فيه إجهادات متبقية هو عبارة عن خازوق مسبق الإجهاد داخل التربة، ولذا فإن الهبوط فيه تحت تأثير الأحمال سيكون أقل منه في حالة خازوق بدون إجهادات متبقية. ويتضح ذلك بمقارنة الهبوط في الخوازيق المدقوقة بالاهتزاز بالهبوط في الخوازيق المغروزة بالطرق في تربة رملية متوسطة الكثافة (Briaud et al., 1990) وعند نصف الحمل الأقصى، فإن الخوازيق المغروزة بالطرق تهبط فقط نصف المقدار الذي تهبطه الخوازيق المدقوقة بالاهتزاز. تؤثر الإجهادات المتبقية أيضاً على التحليل الدفعي (Briaud and Tucker, 1984b)، وعلى اختزال البيانات لاختبارات الأحمال على الخوازيق (Briaud and Tucker, 1984a)، وعلى تنبؤات الهبوط (Briaud and Tucker, 1984a). وتكون الإجهادات المتبقية كبيرة جداً إذا كانت المقاومة الطرفية كبيرة. وهي تميل لأن تكون قليلة في حالة دقها كمجموعات (Briaud et al., 1989) وقد تقل بدرجة معينة مع الوقت.

### (١٠، ١٢) مجموعات خوازيق PILE GROUPS

لا توجد طريقة معينة لمقياس الضغط لحساب هبوط مجموعة خوازيق، وعلى الرغم من ذلك، يمكن استخدام الطريقتين التاليتين: الأولى تشتمل على استخدام طريقة PILGPI (O'Neill et al., 1981) والتي تدمج منحنيات انتقال الأحمال في الطريقة الرابعة مع معامل إعادة التحميل لمقياس الضغط كمعامل المرونة للتربة بين الخوازيق، والثانية تستخدم مفهوم الأساس المكافئ عند عمق يساوي ثلثي طول الخازوق (Terzaghi and Peck, 1967) والتعامل معها كحالة هبوط للأساسات الضحلة (Briaud et al., 1986; Briaud and Tucker, 1986). يمكن تقدير الهبوط لمجموعة من الخوازيق بهاتين الطريقتين، ولكن لم يتم التحقق منهما باستخدام تاريخ الحالة.

يمكن أن تؤخذ القدرة القصوى لمجموعة  $n$  من الخوازيق في تربة طينية على أنها القدرة القصوى لخازوق واحد مضروباً في عدد الخوازيق ما لم تكن الخوازيق قريبة جداً من بعضها بعض. فإن كانت كذلك فإن تأثير المجموعة يمكن التأكد منه؛ وذلك

بحساب القدرة القصوى لوحدة كبيرة لها أبعاد المحيط الخارجي لتلك المجموعة (Terzaghi and Peck, 1967).

تكون القدرة القصوى لمجموعة  $n$  من الخوازيق في تربة رملية حالة أكثر تعقيداً. وتدعو أبسط الطرق والمدعمة ببيانات حديثة (Briaud, et al., 1989) إلى إهمال تأثير المجموعة واعتبار القدرة القصوى لمجموعة  $n$  من الخوازيق مساوياً لعدد الخوازيق مضروباً في القدرة القصوى لخازوق واحد. وتوجد عدة طرق مقترحة أكثر تفصيلاً (O'Neill, 1983).