

## First Lecture (1)

## المحاضرة الأولى

## 1 - الهندسة الجيوتكنيكية:

هو علم تطبيق المحاكمة الهندسية ومبادئ ميكانيك التربة لحل مشاكل التلاقي بين التربة والمنشأ والمنشآت الاستنادية. وهي فرع من فروع علم الهندسة الذي يتناول موضوعين:

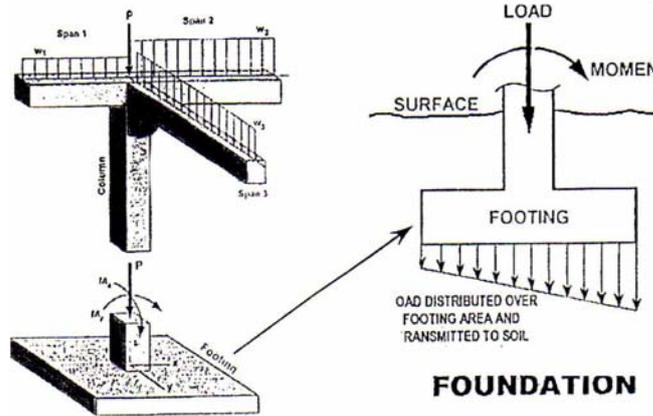
- (1) تقييم قدرة التربة على حمل الحمولات بدون حدوث انهيار قص أو هبوط زائد.
- (2) تصميم عنصر انشائي مناسب لنقل الحمولة من المنشأ العلوي إلى التربة مع أخذ الاقتصادية بعين الاعتبار.

## 2 - تعريف الأساسات:

تتكون المنشآت كلها من جزأين: جزء علوي فوق التربة superstructure وجزء سفلي ضمن التربة substructure وهي الأساسات

الأساسات:

هي عناصر انشائية تتوضع تحت المنشآت وتكون مسؤولة عن حمل الحمولات. ونعرفها بشكل عام أنها هي أخفض جزء من المنشأ أو المبنى التي تنقل وزنها بشكل آمن للتربة المتوضعة أسفل أو إلى الصخر.

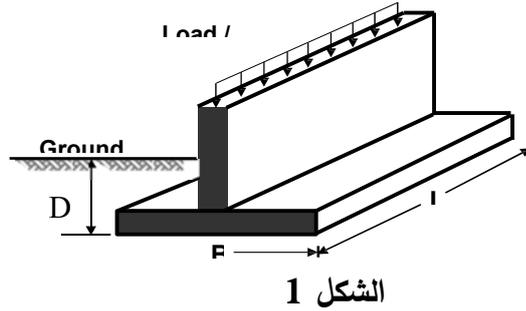


## 3 - تصنيف الأساسات:

تصنف الأساسات إلى سطحية وعميقة (سنتناول في هذا الفصل الأساسات السطحية فقط)

الأساسات السطحية:

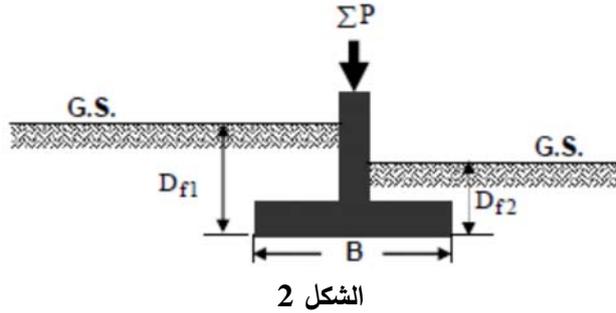
تدعى سطحية لأنها تتوضع على عمق صغير (نسبة لأبعادها) تحت سطح التربة. يتراوح عمق الأساسات السطحية من سطح التربة وحتى ثلاث مرات عرض الأساس (تقريباً 6 متر). تتضمن الأساسات السطحية: الأساس المنفرد مثل الدائري أو المربع أو المستطيل، والأساس المستمر الذي يدعم الجدران، والأساسات المشتركة بالإضافة للحصائر. الأساس المستمر المبين في الشكل عرضه B وطوله L. عمق التأسيس تحت سطح الأرض الطبيعية  $D_f$ .



يجب أن يكون عمق التأسيس كافياً لـ:

- (1) نتجنب الانهيار الجانبي للتربة تحت الأساسات.
- (2) نتجنب التغيرات المناخية الفصلية مثل التجمد ونشاط المواد العضوية.
- (3) أن يكون الأساس آميناً ضد الانقلاب، الانزلاق، انهيار الدوران، انهيار القص الكلي والهبوط الزائد.

عرّف ترزالي الأساس السطحي بأن عمقه  $D_f$  أقل أو يساوي عرضه B أي  $(D_f / B \leq 1)$ ، بغير هذه الحالة يعتبر الأساس عميقاً. أحيانا قد يكون هناك أعماق تأسيس مختلفة تحت سطح الأرض الطبيعية كما يبين الشكل 2. لمثل هذه الحالات نختار عمق التأسيس العمق للجانب السطحي، بالإضافة يجب أن نقارن الضغط المطبق مع تماسك التربة لنقرر نوع الأساس المطلوب تصميمه كما يلي:



إذا كان :

$$(D_{f1} * \gamma - D_{f2} * \gamma) > \frac{q_u}{2}$$

يصمم العنصر كجدار استنادي أما إذا كان:

$$(D_{f1} * \gamma - D_{f2} * \gamma) \leq \frac{q_u}{2}$$

نصممه كأساس.

حيث  $q_u$  هي مقاومة الضغط غير المحصور للتربة التي نحسبها من مبادئ ميكانيك التربة وفق الحالات التالية:  
المعادلة العامة:

$$\sigma_1 = \sigma_3 * \tan^2(45 + \frac{\phi}{2}) + 2 * c * \tan(45 + \frac{\phi}{2}) \quad (1)$$

من أجل اختبار مقاومة الضغط غير المحصور (U.C.T) لدينا:

$$\sigma_1 = q_u \quad \sigma_3 = 0$$

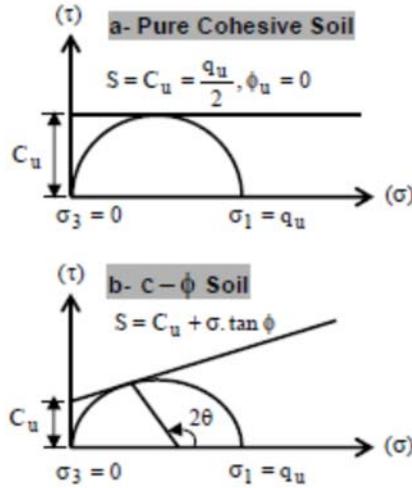
ومنه يكون:

- للتربة المتماسكة تماما  $\Phi=0$  تصبح المعادلة (1) على الشكل التالي:

$$q_u = 2 * C_u \quad (2)$$

- للتربة  $C-\Phi$  تصبح المعادلة:

$$q_u = 2 * C_u * \tan(45 + \frac{\phi}{2})$$



الشكل 3

#### 4 - هبوط الأساسات:

الهبوط هو الانزياح الشاقولي للمنشأة أو الأساس أو الطريق. هبوط الأساس عند الحمولة الحدية  $S_u$  متغير ويعتمد على عدة عوامل. بناء على القياسات المخبرية والحقلية. لأي نوع أساس، يجب أن نضمن أن لا تزيد الحمولة بوحدة المساحة عن قيمة حدية كي لا تسبب انهيار قص في التربة. هذه القيمة الحدية هي قدرة تحمل التربة الحدية  $q_{ult}$  وعادة يستخدم عامل أمان 3 أو 4 لنحصل على قدرة تحمل التربة المسموحة  $q_{all}$  التي يمكن أن تحسب كما يلي:

$$q_{all} = \frac{q_{ult}}{F.S.}$$

ومع ذلك ، استنادا إلى شروط الهبوط الحدي ، هناك عوامل أخرى يجب أخذها في الاعتبار في حساب قدرة التحمل المسموح بها .

الهبوط الكلي  $S_T$  للأساس عبارة عن مجموع ثلاثة مكونات:

(1) الهبوط المرن أو الآني  $S_i$  (معظمه في الرمل)

(2) هبوط الانضغاط الأولي والثاني  $S_c$  و  $S_{cs}$  (معظمه في الغضار)

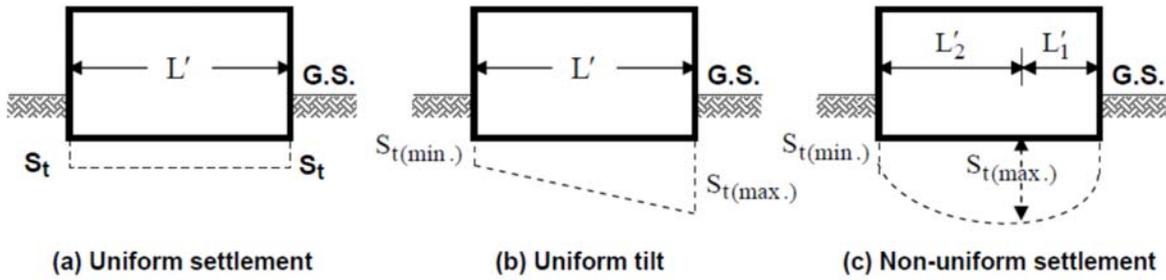
$$S_T = S_i + S_c + S_{cs}$$

تزدنا معظم معايير ونظم الأبنية هبوط حدي مسموح به للأساس قد تكون أقل من الهبوط الناتج عن  $q_{all}$  ولذلك يجب أن نأخذ بعين الاعتبار قدرة التحمل الموافقة للهبوط المسموح به.

المنشأة التي تحتوي عدة أساسات سطحية تخضع لنوعين من الهبوطات:

(1) هبوط متجانس وموحد

(2) هبوط تفاضلي



#### الشكل 4

يبين الشكل 4.a، الهبوط المتجانس والذي يحصل عندما تبنى المنشأة فوق حصيرة صلبة. ولكن بسبب الحمولات المختلفة على الأساسات قد يحدث هبوطاً تفاضلياً.

ولدينا ميلان متجانس كما في الشكل 4.b أو هبوط غير متجانس كما في الشكل 4.c.

وتحسب قيمة التشوه  $\Delta$  من العلاقة:

للميلان المتجانس كما في الشكل 4.b تكون:

$$\Delta = \frac{S_{t(max)} - S_{t(min)}}{L'}$$

للهبوط غير المتجانس تكون قيمة التشوه:

$$\Delta = \frac{S_{t(max)} - S_{t(min)}}{L'_1}$$

تحدد المعايير قيم الهبوط التفاضلي المسموح لمختلف المنشآت.

إن التصميم النهائي للأساس يعتمد على:

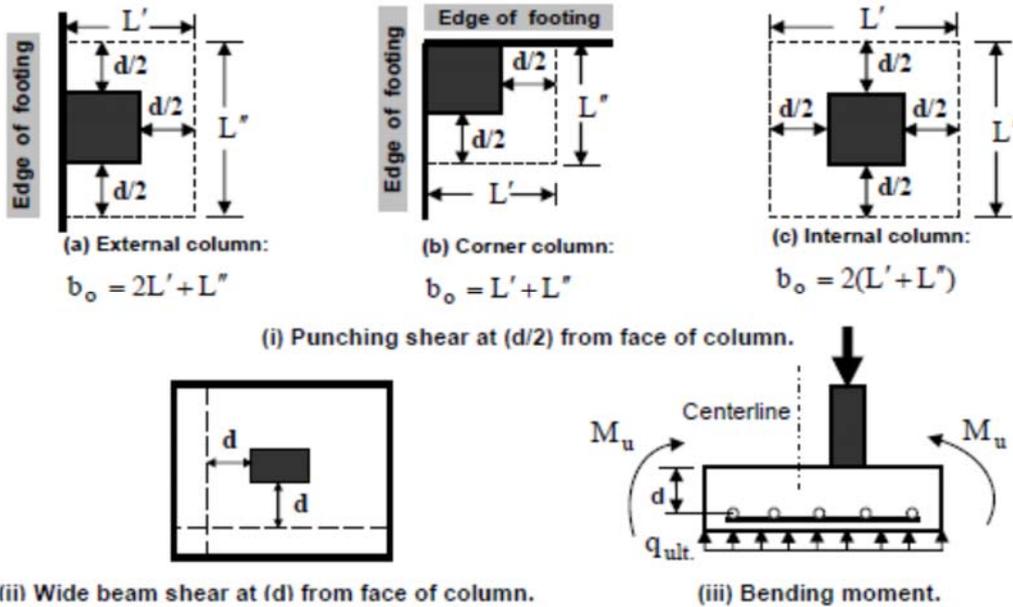
- (1) قدرة تحمل التربة الحدية
- (2) الهبوط المسموح
- (3) الهبوط التفاضلي المسموح للمنشأة.

إذا من الضروري التحقق من قدرة تحمل التربة ومن الهبوط المتوقع للمنشأة قبل اعتماد أي حل أو تصميم مقترح.

### 5- أشكال انهيار الأساسات:

يمكن أن يحدث الانهيار نتيجة الحمولة وفق واحد أو اثنين من الأنماط التالية:

- (1) قص الثقب Punching Shear ويحدث عندما تزيد الحمولة المركزة على العمود مما يؤدي إلى دخول العمود ضمن الأساس، أو عندما تزيد الحمولة الموزعة حول العمود عن الحد المسموح.
- (2) قص جانبي wide-beam shear
- (3) عزم الانعطاف Bending Moment هذا الانهيار يحدد أماكن توزيع حديد التسليح، ووظيفتها.



الشكل 5

### التحريات الحقلية

#### (1) التحريات الحقلية:

هي كل الأعمال المكتنية والمخبرية التي تنفذ لتحري التربة السطحية أو الصخري أي موقع من أجل الحصول على المعلومات المطلوبة في التصميم والتنفيذ، وهو أول خطوة في تصميم الأساسات. هو عبارة عن ثلاث خطوات رئيسية تبدأ من تنفيذ السور، ومن ثم جمع العينات، وفيما بعد إنجاز الاختبارات.

- أطوار التحريات الحقلية:

ثلاثة أطوار وهي:

- طور الاستطلاع: تجميع المعلومات واستطلاع الموقع

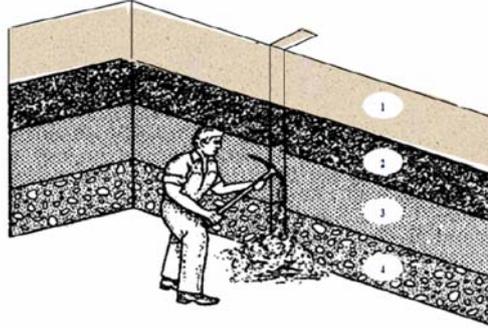
- طور التحريات الأولية: عدد وعمق السبور

- طور التحريات التفصيلية: يتم تنفيذ سبور إضافية وعينات إضافية من الترب الضعيفة لاعطاء صورة واضحة.

(2) الحفر والسبور:

طرق الحفر:

(1) حفر اختبار يدوية: تفحص بها التربة السطحية وتتخذ عينات مضطربة وغير مضطربة كما في الشكل 6.



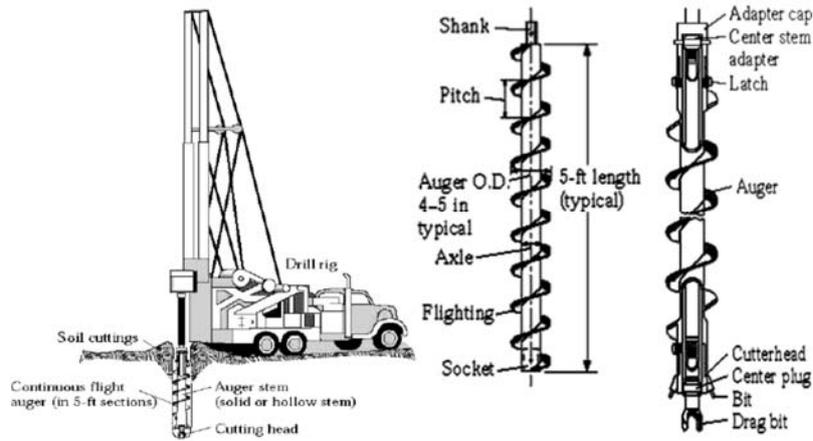
الشكل 6

(2) حفر بالمتقاب يدوية: ويتكون من متقاب قطره 10-20cm يتم التحكم به يدوياً كما في الشكل 7.



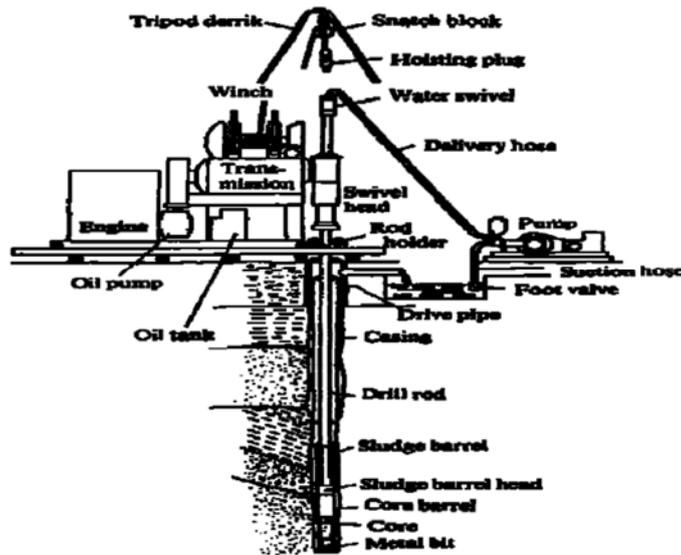
الشكل 7

ويمكن أن يكون أليا حيث يربط بجرار آلي ويكون قطر الساق المفرغة 20-75cm ويقوم بحفرة 100-250cm مبين في الشكل 8.



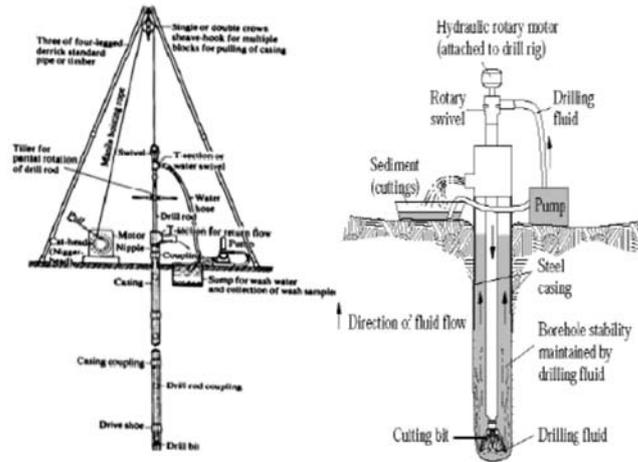
الشكل 8

(3) حفر بالغسيل: يتم ضخ المياه إلى أسفل الحفرة كما في الشكل 9 وبذلك تصعد التربة إلى السطح وتجمع ومن ثم تؤخذ للتجفيف لنحصل على عينات للاختبار.



الشكل 9

(4) حفر دوراني: يتم بواسطة انبوب حفر مزود برأس قاطعة بحفر الطبقات الصخرية ويرافق الحفر ماء وهواء كما في الشكل 10.



الشكل 10

## (3) تحديد منسوب المياه الجوفية:

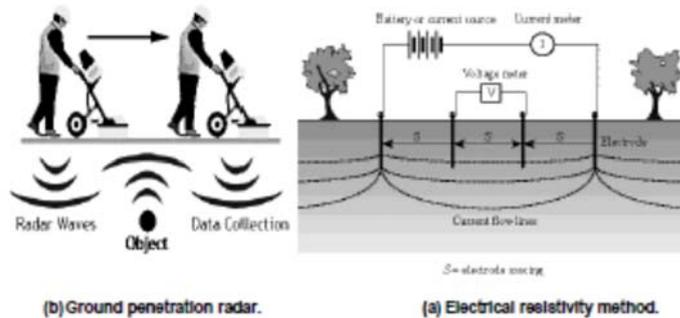
يجب أن يراقب كل 24 ساعة ضمن الحفيرة المنفذة واتخاذ الاجراء اللازم في حال حدوث انخفاض أو ارتفاع مفاجئ.

## (4) الطرق الجيوفيزيائية:

يمكن استخدام الطرق الحديثة التي تعتمد على سرعة الموجات عبر مرورها من طبقات التربة المختلفة وبالتالي حسب سرعة الموجة المسجلة يمكن معرف نوع الوسط الذي تمر به.

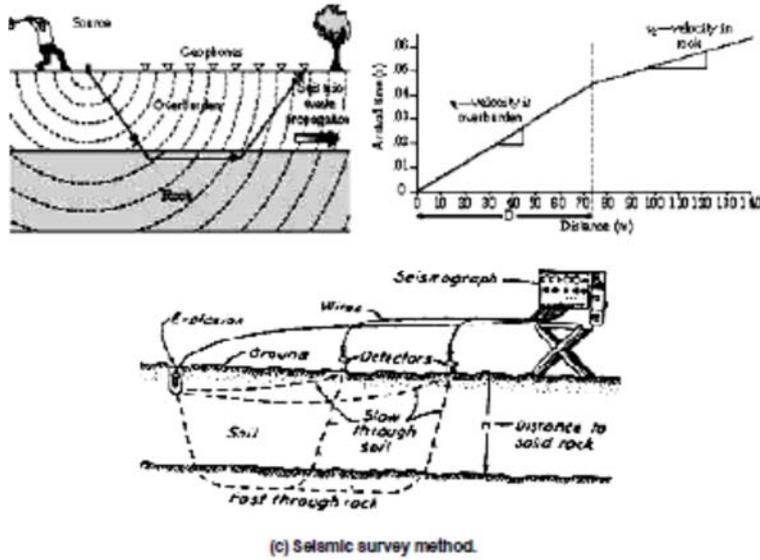
أهم هذه الطرق هي:

- (1) Ground Penetration Radar (GPR) الرادار ال
- (2) Electrical Resistivity Method (ERM)
- (3) Electromagnetic Method (EM)
- (4) Seismic Methods



(b) Ground penetration radar.

(a) Electrical resistivity method.

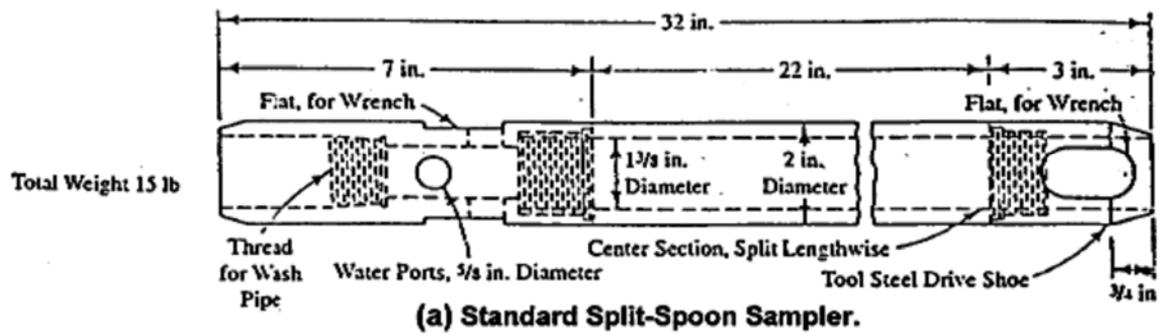


يبين الجدول التالي سرعة الموجات السيسمية ضمن مختلف أنواع التربة:

| Type of soil  | Seismic Velocity (m/sec) |
|---|--------------------------|
| Dry silt, silt, loose gravel, loose rocks, talus, and moist fine-grained soil                                     | 150 – 180                |
| Compacted till, indurated clays, gravel below water table, compacted clayey gravel, cemented sand, and sandy clay | 750 – 2250               |
| Rock, weathered, fractured, or partly decomposed  | 600 – 3000               |
| Sandstone, sound  | 1500 – 4200              |
| Limestone, chalk, sound   | 1800 – 6000              |
| Igneous rock, sound   | 360 – 6000               |
| Metamorphic rock, sound   | 300 – 4800               |

5) العينات:

خلال عملية السبر يجب أن نحصل على ثلاثة أنواع من العينات بحيث تعطينا صورة واضحة للتقييم الجيوتكنيكي وهي:  
 (a) العينات المضطربة (Disturbed samples (D): نحصل عليها من المنقباب حيث نقص من أعماق معينة.  
 (b) عينات غير مضطربة (Undisturbed samples (U) نحصل عليها باستخدام أنبوب قطره 100mm وطوله (400-450)mm  
 (c) SS samples وتؤخذ من تجربة Split Spoon Sampler في تجربة الاختراق النظامي لأعماق مختلفة.



**(6) الاختبارات:**

تطبق الاختبارات على الأنواع الثلاث من العينات كما يلي: العينات غير المضطربة U تختبر على المقاومة، الانضغاطية لدراسة مواصفات الإجهاد-تشوه، التصنيف والكميائية. بينما العينات D و SS تختبر على العينات الفيزيائية والتحليل الحيوتكنيكية والاختبارات الكميائية.

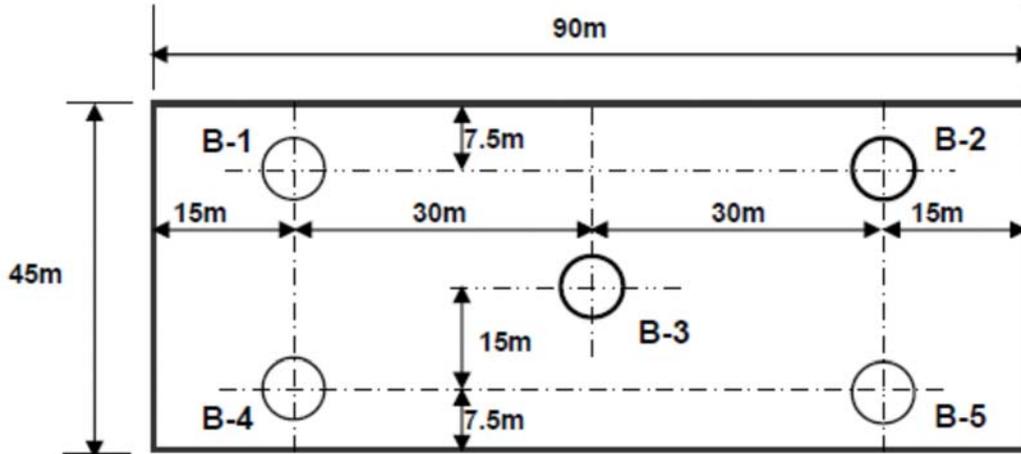
**6-1 المخرية:**

نستخدم المواصفات الأميركية أو البريطانية أيهما أنسب وتنقسم إلى:

- (1) اختبارات التصنيف: التحليل الحبي والهيدرومتر، محتوى الرطوبة، حدود أتربرج، الوزن النوعي، الوزن الحجمي الجاف والرطب.
- (2) اختبار الرص: اختبار بروكتور المعدل للحصول على الكثافة الجافة العظمى وما يقابلها من رطوبة مثلى.
- (3) اختبار القص والانضغاطية: الضغط غير المحصور أو الضغط الثلاثي و الانضغاطية أحادية المحور.
- (4) الاختبارات الكميائية: محتوى الكبريتات % ( $SO_3^{-2}$ )، الأملاح المنحلة الكلية (T.S.S)، محتوى المواد العضوية % (ORG)، قيمة PH، محتوى الكربونات ( $CO_3^{-2}$ )، محتوى الكلوريد % ( $Cl^{-1}$ ).

**6-2 الحقلية:**

يجب في البداية أن ينظم مخطط لمواقع السور كما هو مبين.

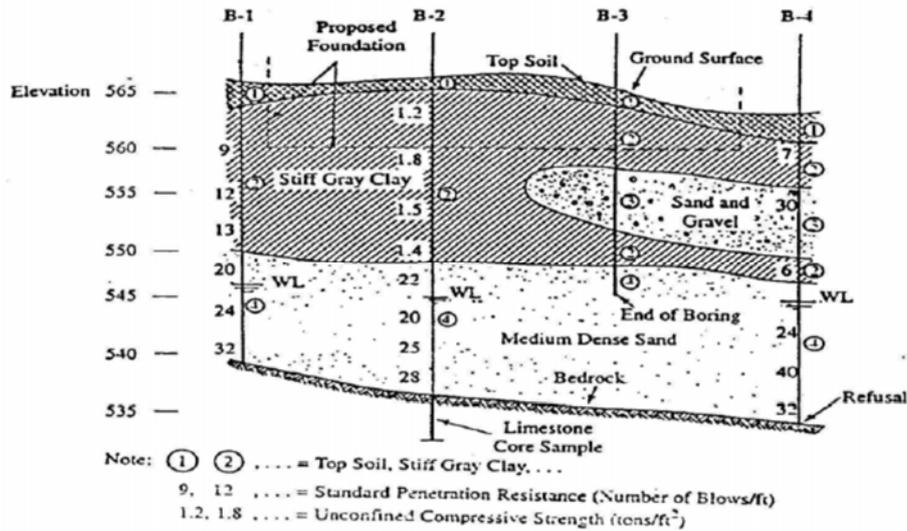


ويحدد رقم لكل سبر كما هو مبين في المخطط. وتسجل على ورقة بيانات خاصة لكل سبر وتسجل كل المعلومات المتوفرة عن السبر ونتائج اختبارات العينات المستخرجة منه كما يبين النموذج المرفق.

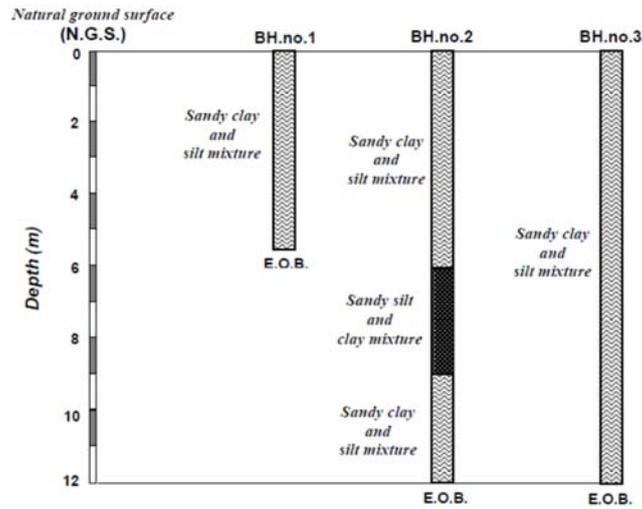
|   |               |                          |                       |
|---|---------------|--------------------------|-----------------------|
| DRILLING COMPANY, INC.                              |               | BORE HOLE NO.: -----     |                       |
|   |               | PROJECT: LOCATION: ----- |                       |
| Name -----  | Address ----- | Date Time -----          | Depth Casing at ----- |
| CASING (SIZE AND TYPE) -----                        |               |                          |                       |
| SAMPLE SPOON (SIZE AND TYPE) -----                  |               |                          |                       |
| HAMMER (CSG): WT. -----, DROP -----                 |               |                          |                       |
| (SPOON): WT. -----, DROP -----                      |               |                          |                       |
| DATE: STARTED -----, COMPLETED -----, DRILLER ----- |               |                          |                       |

| Field Samples |      | Depth of Sampling (m) |      | 'N'- Value |    |    | Visual Description of Soil                     |
|---------------|------|-----------------------|------|------------|----|----|--|
| No.           | Type | From                  | To   | 6"         | 6" | 6" |  |
| 1             | D    | 0.0                   | 2.0  |            |    |    | Black and grey moist fill,                     |
| 2             | U    | 2.0                   | 4.0  |            |    |    | Black peat.                                    |
| 3             | S.S  | 4.5                   | 5.0  | 11         | 14 | 6  | Sandy clay and silt mixture.                   |
| 4             | D    | 5.0                   | 7.0  |            |    |    | Sandy silt and clay mixture.                   |
| 5             | U    | 7.0                   | 9.0  |            |    |    | Silt with fine gravel and traces of fine sand. |
| 6             | S.S  | 9.5                   | 10.0 | 4          | 8  | 3  | Sandy clay and silt mixture.                   |

ومن ثم يرسم مقطع جيولوجي بناء على البيانات التي تم الحصول عليها من الاختبارات كما يبين الشكل.



وبالتالي يمكن رسم واقعي للسبور ضمن الموقع وتطبق الترب ضمنه كما هو مبين.



### 7 - عدد السبور:

من المعروف أنه كلما كان عدد السبور أكثر وكان التباعد بينها أقل كلما كانت النتائج أكثر دقة. وقد يتطلب العمل سبور إضافية عن المتوقع وذلك حسب وضع طبقات التربة ونتائج السبور. في حال كانت ظروف التربة متجانسة والمعلومات الجيولوجية محدودة يمكن الاعتماد على الجدول التالي لتحديد عدد السبور للأبنية المتوسطة والخفيفة الأحمال ومؤسسة على أساسات سطحية

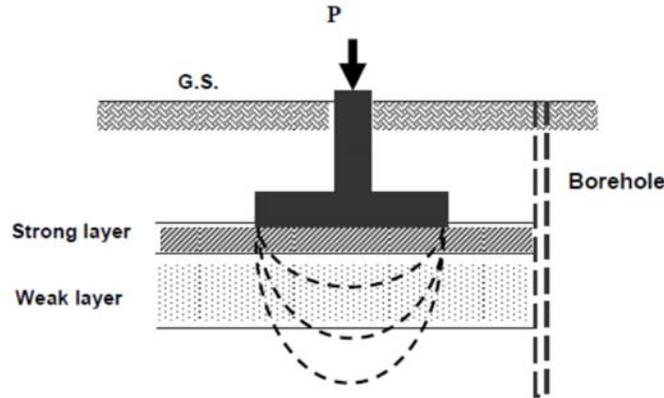
| Subsurface Conditions         | Structure Footprint Area for Each Exploratory Boring (m <sup>2</sup> ) |
|-------------------------------|--|
| Poor quality and / or erratic | 100 – 300  |
| Average                       | 200 – 400  |
| High quality and uniform      | 300 – 1000   |

### 8 - عمق السبر:

من جهة نظر توزيع الاجهادات فالاشتراطات وضعت بعض المعايير للعمق الأدنى للسبر وهي:

#### حالة الأساسات:

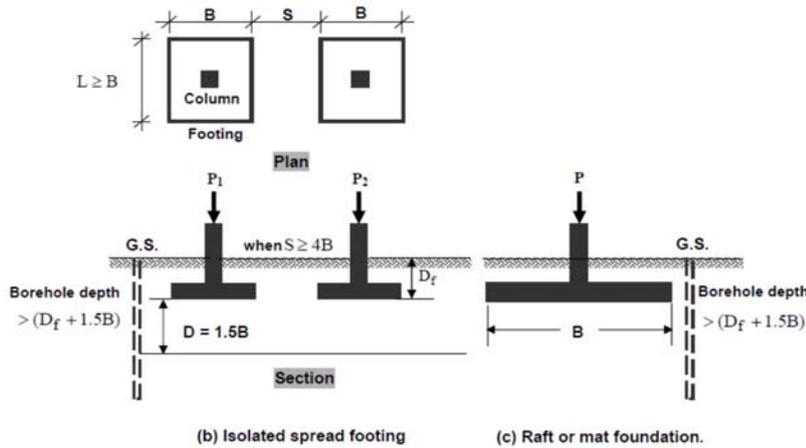
- يجب أن تمتد السبور إلى أعماق أخفض من الترسبات مثل التربة السطحية، الترب العضوية، الخث، الردم الاصطناعي، الترب الغضارية الطرية جدا والمنضغطة.
- يجب أن يكون السبر عميق بشكل كافي حتى يتم التحقق من وجود طبقة تربة أضعف بأعماق كبيرة قد تستقر تحت الحمولات المطبقة.
- أعمق من الطبقة السطحية القوية التي قد تستقر تحتها طبقة ضعيفة قد تكون سببا للانهييار كما يبين الشكل



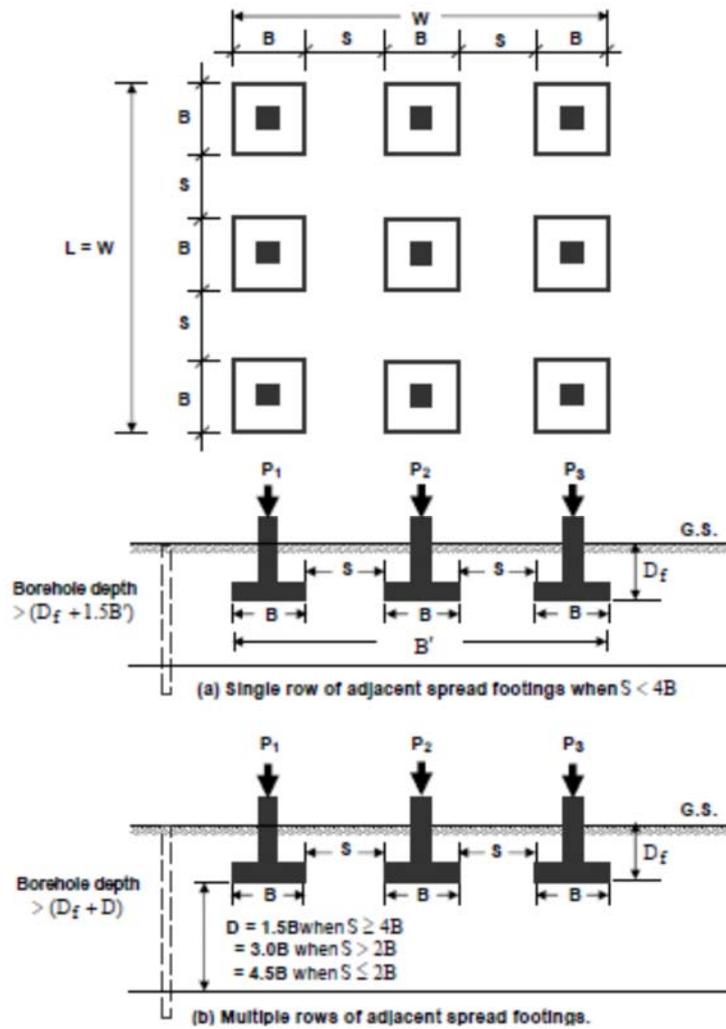
(4) العمق الذي يكون فيه تزايد الاجهادات الناتجة عن حمولات المبنى أقل من 5% من الضغط المسبق overburden pressure.

(5) العمق الذي يكون فيه تزايد الاجهاد الشاقولي مع العمق الناتج عن حمولات المبنى أقل من 10% من الاجهادات المطبقة عند مستوى التأسيس (ضغط التماس)

(6) للأساسات المنفردة أو الحوائط، يجب التحري لعمق  $1.5B$  (حيث  $B$  هو البعد الأصغر من الأساس أو الحصيرة) كما يبين الشكل



(7) في الموقع الذي يتواجد فيه تداخل بالأساسات يتم التحري لعمق  $1.5B'$  (حيث  $B'$  هو عرض الأساسات المتداخلة) كما يبين الشكل



(8) للمنشآت الثقيلة (الضغط  $< 200\text{kPa}$ ) يجب أن يمتد السبر إلى عمق  $2B$  (هو عرض الأساس).

(9) للأساسات الشريطية يجب التحري لعمق ليس أقل من  $3B$  (عرض الأساس) من أجل  $B > 6\text{m}$  و  $L/B \geq 10$ .

(10) للأبنية الصناعية (المشافي - المباني المكتبية) أوصى **Sowers (1970)** بأنه يجب التحري للأعماق التالية:

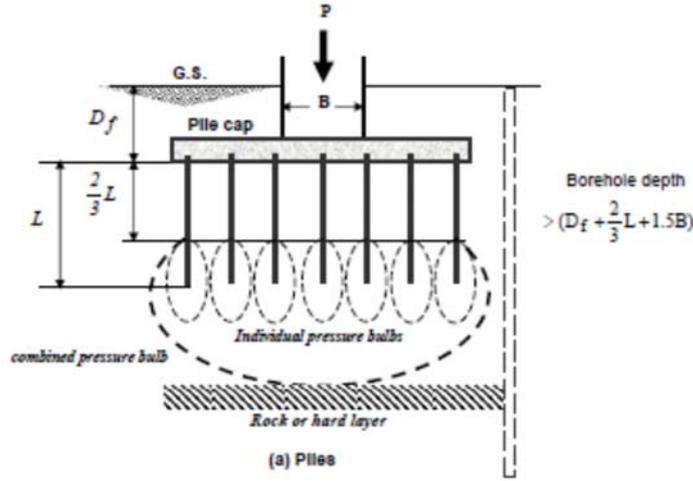
- للأبنية الفولاذية والبيتونية الخفيفة  $D = 3 * S^{0.7}$

- للأبنية الفولاذية والبيتونية الثقيلة  $D = 6 * S^{0.7}$

حيث  $D$  عمق السبر  $S$  عدد طوابق المبنى كما يمكن (حسب عدة مراجع) إضافة  $D_f$  عمق التأسيس للقيمة التي نحصل عليها.

إذا كان من المتوقع تنفيذ أوتاد فيتم التحري للعمق  $D$  حيث  $D = (D_f + \frac{2}{3}L + 1.5B)$  أو  $D = (L + 3\text{m})$

كما يبين الشكل



### الخزانات

يتم التحري لـ:

- (1) عمق الطبقة الكتيمة
- (2) ليس أقل من ضعفي الضاغط الهيدروليكي المتوقع

### السدود:

للسدود الترابية: يجب أن يكون عمق السبر على الأقل 1.5 مرة من قاعدة الأساس  
للسدود البيتونية: يجب أن يتراوح عمق السبر من 1.5 مرة إلى 2 مرة من ارتفاع السد.

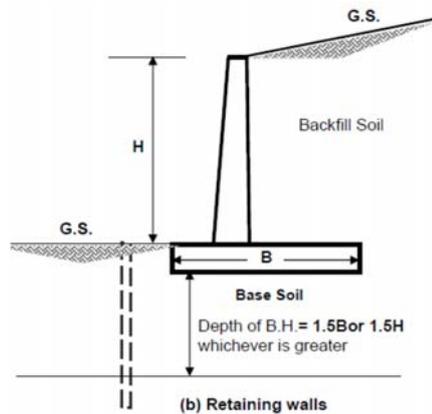
### الطرق والجسور:

على الأقل 5m تحت مستوى الطريق النهائي.

### الجدران الاستنادية والمنحدرات:

- (1)  $1.5B$  (حيث  $B$  عرض قاعدة الجدار) أو  $1.5H$  (ارتفاع الجدار) أيهما أكبر تحت منسوب الجدار كما يبين

الشكل



- (2) بالإضافة إلى أنه يجب أن يكون أسفل الطبقات القابلة للانضغاط أو الردم الاصطناعي وأعمق من سطح الانزلاق.

### 9 - تجارب التحميل الحقلي:

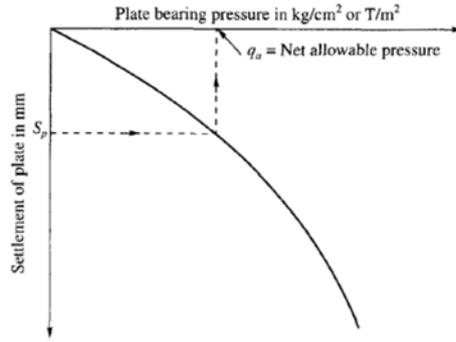
إنها الطرق التي تتحرى علاقة الاجهاد-تشوه للتربة (حمولة-هبوط). ومن ثم يتم استخدام النتائج لتقدير قدرة تحمل التربة.



- (2) يتم وضع الصفيحة المعدنية على أرض الحفرية. ويجب أن لا يكون هناك أي حمولة إضافية حول الصفيحة بمسافة لا تقل عن 60cm حولها.
- (3) يتم تطبيق حمولة شاقولية على الصفيحة ومع التزايد يتم قياس الهبوط (كمعدل لثلاث مؤشرات بدقة 0.025mm) ملصقة هذه المؤشرات بشكل مستقل.
- (4) **تزايد الحمولات:** تطبيق الحمولة على التربة بتزايدات متساوية ليست أقل من 95kPa، أو ليست أكثر من 1/10 من قدرة التحمل المتوقعة للمنطقة المختبرة. ولا تكون الفواصل الزمنية بين الحمولات أقل من 15min.
- (5) نستمر بالاختبار حتى نصل لقيمة هبوط 25mm أو إلى أن تصل قيم الحمولة المطبقة 1.5 مرة من قدرة التربة المسموحة المتوقعة، أو إلى أن تنهار التربة تحت الأساس.
- (6) عند إزالة الحمولة يتم قياس التراجع المرن بنفس الأزمنة التي تم تطبيق تزايدات الحمولة فيها.
- (7) يتم تمثيل النتائج ببيانيا وفق منهجيتين:

(a) منحنى الهبوط - لوغاريتم الزمن (لكل قيمة تزايد في الحمولة)

(b) منحنى الهبوط-الحمولة (لكل تزايدات الحمولة) حيث يتم حساب  $q_{ult}$ .



في التربة الحبيبية أوجد (1948) Terzaghi & Peck للأساسات المربعة:

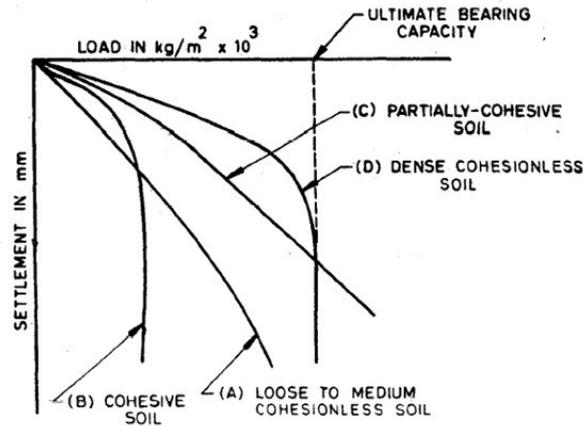
$$S_f = S_p * \left[ \frac{B_f * (B_p + 0.3)}{B_p * (B_f + 0.3)} \right]^2 \quad (p-1)$$

حيث:

$S_f$  هبوط الأساس -  $S_p$  هبوط الصفيحة

$B_f$  عرض الأساس -  $B_p$  عرض الصفيحة

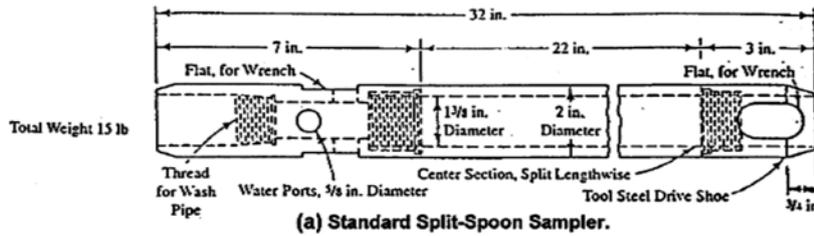
الهبوط المسموح للأساس النموذج  $S_f$  يجب أن يكون معلوما وعادة يكون 2.5cm. ومنه فإن  $S_f$  و  $B_p$  لدينا معلومتين وبقي لدينا غير معلوم  $S_p$  و  $B_f$  وفق العلاقة (p-1). ومنه فإن لأي أساس نفرض بعده  $B_f$  يمكن أن نوجد  $S_p$  من المعادلة. وباستخدام منحنيات الهبوط من تجربة التحميل المبينة في الشكل يمكن بدلالة  $S_p$  أن نوجد قدرة التحمل الموافقة لها. هذه القيمة هي قدرة التحمل الآمنة الموافقة لهبوط مسموح 2.5cm (الذي فرضناه بداية). أو يمكن من المخططات التالية أن نحسب قدرة التحمل المسموحة للموافقة للتربة حسب نوع التربة.



### 10 - تجارب الاختراق الحقلي:

#### تجربة الاختراق النظامي الديناميكية SPT:

مفضلة هذه التجربة للترسبات القاسية وبشكل خاص للترب المفككة حيث لا يمكن الحصول على عينة غير مضطربة منها. تستخدم Split-Spoon sampler المبينة في الشكل 2.7a.



يتم تنفيذ الاختبار بغرس أخذ العينة المبين في الشكل (طوله 680mm، قطره الداخلي 30mm، وقطره الخارجي 50mm) مسافة 460mm في التربة أسفل السبر. باستخدام مطرقة وزنها 63.5kg تسقط سقوط حر من ارتفاع 760mm. ومن ثم نقوم بعد الضربات اللازمة لغرس مسافة 305mm وبذلك نحصل على N (يهمل عدد الضربات اللازمة لغرس 150mm العلوي).

ترفض قيم N في إحدى الحالات التالية:

- إذا كانت أي من الاختراقات 150mm تطلبت 50 ضربة.
  - إذا حصلنا على 100 ضربة لأي من الاختراقات
  - إذا نفذنا عشر ضربات متتالية ولم يحدث أي تقدم في التربة.
- عدد الضربات N يمكن ربطها مع  $D_r$  الكثافة النسبية للترب المفككة (رمل) ويقوم التراب المتماسكة (الغضار) كما هو مبين في الجدولسن التاليين.

| SPT- value<br>N/30cm | Relative density  |            | $\phi^\circ$ |
|----------------------|---|------------|--------------|
|                      | $D_r = \frac{e_{max} - e_{insitu}}{e_{max} - e_{min}} \times 100$ |            |              |
| 0-4                  | 0-15  | Very loose | 28           |
| 4-10                 | 15-35   | Loose      | 28-30        |
| 10-30                | 35-65   | Medium     | 30-36        |
| 30-50                | 65-85   | Dense      | 36-41        |
| > 50                 | 85- 100   | Very dense | > 41         |

| SPT- value<br>N/30cm | consistency | $q_u$ (ksf) | $q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|----------------------|-------------|-------------|-----------------------------|
| Below                | Very soft   | 0-0.5       | 0-0.25                      |
| 2-4                  | Soft        | 0.5-1       | 0.25-0.5                    |
| 4-8                  | Medium      | 1-2         | 0.5-1                       |
| 8-15                 | Stiff       | 2-4         | 1-2                         |
| 15-30                | Very stiff  | 4-8         | 2-4                         |
| > 30                 | Hard        | > 8         | > 4                         |

نقوم بتصحيح قيم N إذا وجدت المياه الجوفية في حال تربة رملية ناعمة كما يلي:

$$N > 15: N_{corr.} = 15 + 0.5(N_{field} - 15)$$

$$N \leq 15: N_{corr.} = N_{field}$$

هناك تصحيحات أخرى ترتبط بالضغط المطبق، بطول المطرقة، بقطر الحفرة، بطاقة الطرق سندرس فقط ما يتعلق بالضغط المطبق:

$$N' = N * C_N \text{ حيث}$$

$C_N$  هو عامل تم ضبطه لضغط مطبق مسبق = 25kN/m<sup>2</sup> ويحسب من العلاقة التالية

$$C_N = 0.77 \log \frac{2000}{P'_o}$$

ويكون  $P'_o$  الضغط المسبق overburden pressure

وعندما يكون  $P'_o < 25kN/m^2$  حاجة لتصحيح قيمة N على الضغط المسبق.

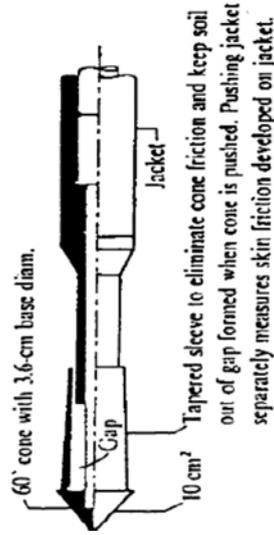
**اختبار الاختراق المخروطي الستاتيكي CPT:**

هو اختبار بسيط ستاتيكي للغضار الطري وللرمل ناعم إلى متوسط الخشونة. لا يطبق هذا الاختبار على التربة البصلية والغضاريات القاسية. ويتم بدفع المخروط ضمن التربة بنسبة (10-20)mm/sec وفق ASTM D3441 . يتم قياس مقاومة احتكاك الرأس  $q_c$  والأجنحة  $q_s$  ومن ثم نسحب نسبة الاحتكاك  $f_R$  كما يلي:

$$f_R (\%) = \frac{q_s}{q_c} * 100 \quad ; \quad f_R < 1\% \quad \text{sand}$$

$$f_R > 5\% \text{ or } 6\% \quad \text{clay}$$

ومن ثم يتم ربط البيانات الناتجة من اختبار CPT لنوجد مقاومة القص غير المصرفة  $S_u$  للتربة غير المتماسكة، لحساب قدرة التحمل المسموحة للأوتاد، لتصنيف التربة، لتقدير  $\Phi$ ، الكثافة النسبية  $D_r$  للرمل.



### Vane shear test اختبار بروانة القص:

هو اختبار حقلي لقياس مقاومة القص (مقاومة القص غير المصرفة) للغضار طري إلى متوسط القساوة والسيلت الغضاري حيث  $U.C.S. < 10 \text{ kg/cm}^2$  ويستخدم لتصميم الأساسات والمنحدرات.

### خطوات التجربة:

- 1) يتم وضع الجهاز في المكان إما على سطح التربة بدون تنفيذ حفرة case 1 أو في أسفل الحفرة case 2 ومن ثم تغرس المروحة في طبقة التربة إلى العمق المطلوب. كما يبين الشكل 2.20.
- 2) يتم تطبيق فتل بنسبة متجانسة  $0.1^\circ$  كل ثانية أو  $(1^\circ - 6^\circ)$  بالدقيقة.
- 3) يتم أخذ القراءة في كل دقيقة حتى يحصل الانهيار.

### الحسابات:

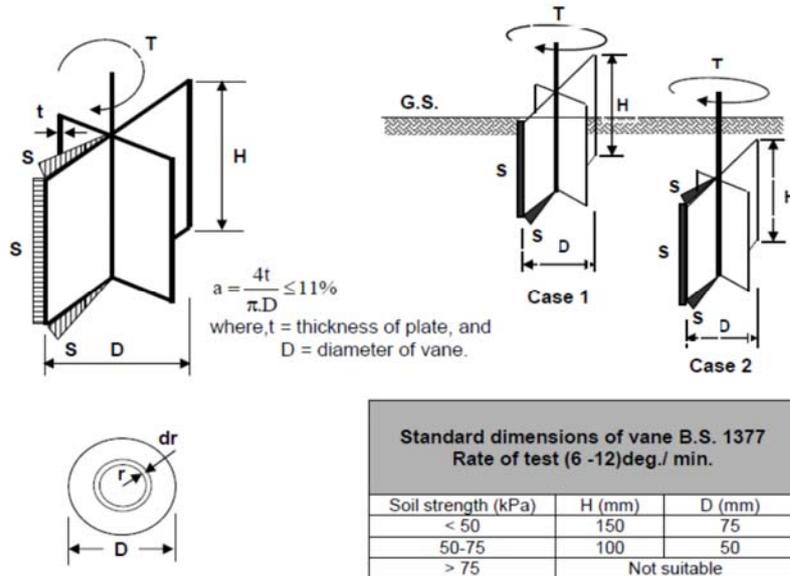
#### Case 1

في هذه الحالة المروحة لاتغرس في التربة وبالتالي فقط النهاية السفلية تطبق القص. إذا كانت التربة متجانسة ومتناظرة الخواص يكون:

(a) تنشأ مقاومة القص الكلية عند الانهيار على سطح اسطوانة يساوي  $\pi * D * H * S$

(b) المقاومة الكلية للنهاية السفلية باعتبار نصف قطر الحلقة  $r$  والسماكة  $dr$

$$\int_0^{D/2} (2 * \pi * r * dr) * S$$



(C) يحسب القتل T حتى الانهيار من العلاقة

$$T = (\pi.D.H.S) \frac{D}{2} + \int_0^{D/2} (2\pi.r.dr).S.r$$

أو

$$T = \frac{\pi.D^2.S_u}{2} \left( H + \frac{D}{6} \right).$$

**:Case 2**

عندما تغرس النهاية السفلية للمروحة في التربة، وبالتالي القص يحصل عند النهايتين العلوية والسفلية ويكون القتل:

$$T = \frac{\pi.D^2.S_u}{2} \left( H + \frac{D}{3} \right)$$

ملاحظات:

يقدر القتل (kg.cm)،  $S_u$  (kg/cm<sup>2</sup>)، H، D يقدر cm.

وجد أن مقاومة القص المحسوبة بهذه الطريقة كبيرة جدا للتصميم ولذلك فرض Bjerrum's 1972 معامل تخفيض باستخدام المعادلة التالية:

$$S_{u \cdot design} = \lambda \cdot S_{u \cdot field}$$

حيث تعتمد قيمة  $\lambda$  على قرينة اللدونة  $I_p$  وتؤخذ من المخططات

