

## Pile CaPaCity

قدرة تحمل الخازوق

Pile CaPaCity:-  
(Axial CaPaCity)

The maximum axial Force (Compression) or tension) that can be Carried Safely by a Single Pile.

### Design Criteria:-

يوجد طريقتين لتحديد قدرة تحمل الخازوق:-

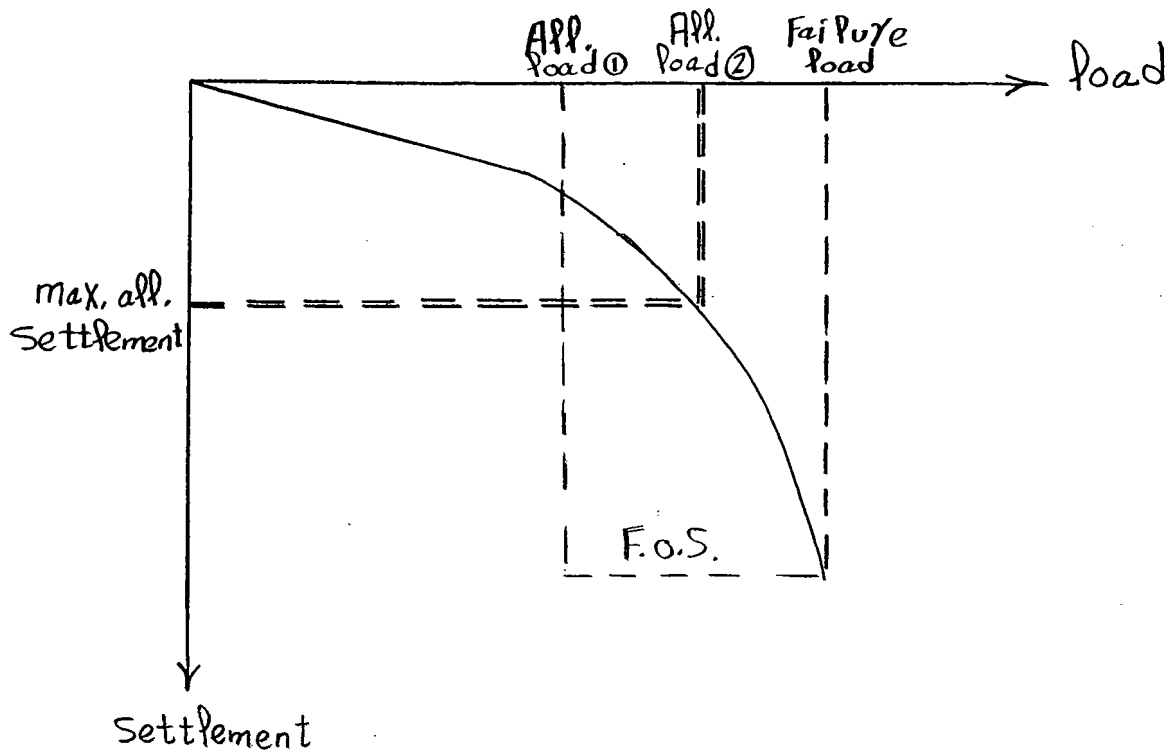
#### 1) Bearing CaPaCity (ultimate limit state) ULS

و فيها يتم ايجاد قدرة تحمل الخازوق عند طريق ايجاد أقصى حمل محوري مسموح به للخازوق ( $Q_{all}$ ).  
\* يتم ايجاد حمل الخازوق باستخدام عدة طرق هي:-

- 1) correlation with in-situ tests (S.P.T., C.P.T.)
- 2) Methods based on analytical Solution  
( Static Formula, Dynamic Formula)
- 3) Pile load test

## 2) Deformation :- (serviceability limit state) SLS

يتم إيجاد الحمل المسموح به للخازوق عن طريق تحديد قيمة الهبوط المسموح به.



## Allowable load:-

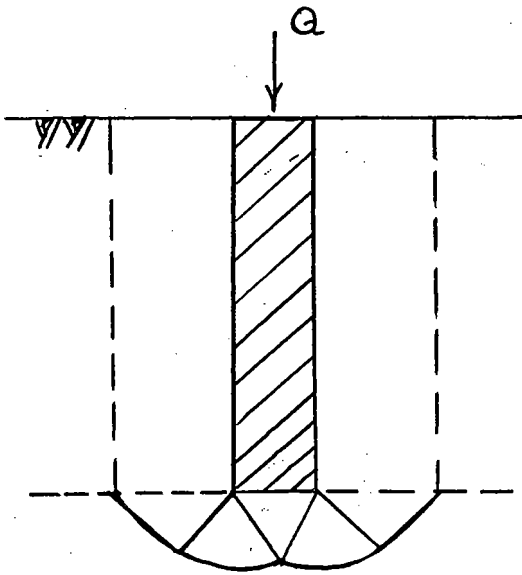
تؤخذ قدرة تحمل الخازوق القيمة الأصغر من App. load (1 or 2)

ملحوظة ١:-

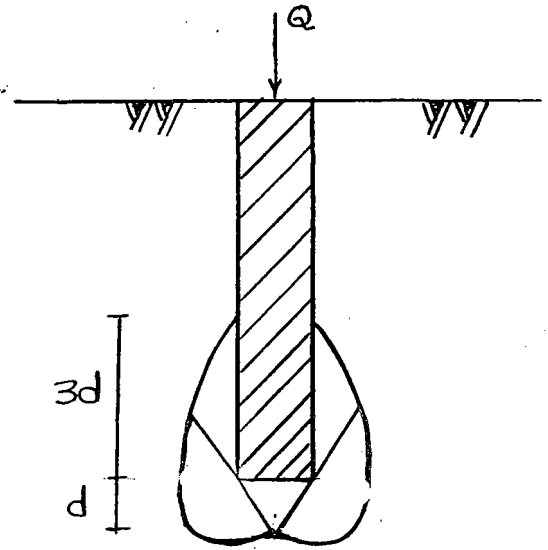
يمكن تحديد ال Deformation بالطرق الآتية:-

- 1) Method based on theory of elasticity
- 2) Numerical analysis
- 3) Pile load test

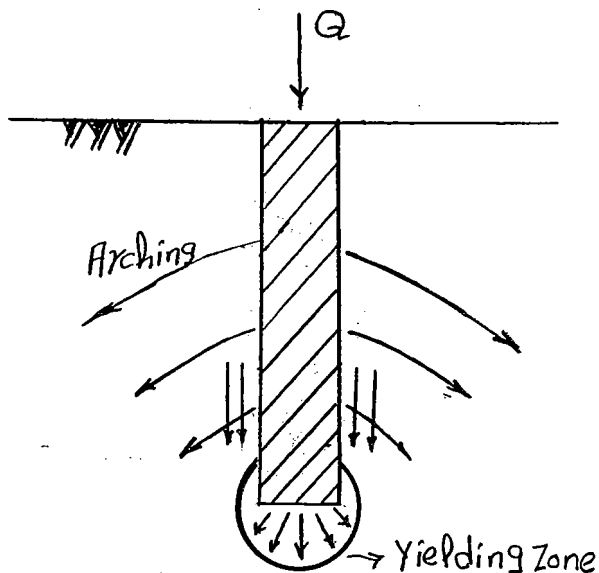
## Failure mechanisms of Piles:-



Failure at Pile tip  
"For end bearing pile"



Local Failure  
For Friction Piles  
and end bearing-Friction  
Piles



Settlement

## Axial Capacity of single pile

### 1) Structural Capacity:-

\* يتم تحديد قدرة تحمل الخازوي من خلال حساب قدرة تحمل قطاع الخازوي الخرساني كعنصر انشائي مثل العمود.

\* تطبق هذه الطريقة لجميع أنواع الخوازيق (Bored or Driven)، ولجميع أبعاد الخوازيق.

### 1) Structural Capacity of Compression Piles:-

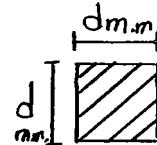
$$Q_{all\ pile} = A_{pile} * F_{co} \quad (N)$$

$Q_{all\ pile}$  :- Allowable Compression load of single Pile.

$A_{pile}$  :- Cross sectional area of Pile. ( $m.m^2$ )



$$A_{pile} = \frac{\pi d^2}{4}$$



$$A_{pile} = d^2$$

$F_{co}$  :- Axial Compressive strength of concrete

$$F_{co} = 4 \rightarrow 5 \text{ N/m.m}^2$$

## 2) Structural Capacity of Tension Piles:-

$$\boxed{T_{\text{all Pile}} = \pi * A_s * F_s} \quad (N)$$

- $T_{\text{all}}$  :- Allowable tension load of single pile
- $\pi$  :- Number of R.F.T. bars
- $A_s$  :- Cross sectional area of bar ( $\text{m.m}^2$ )

EX:-  $\phi 12 \rightarrow A_s = \frac{\pi(12)^2}{4} = 113 \text{ m.m}^2$

- $F_s$  :- Allowable tension strength of steel

$$F_s = 160 \text{ N/m.m}^2 \quad (\text{st. 36/52})$$

$$= 140 \text{ N/m.m}^2 \quad (\text{st. 24/37})$$

## 2) Geotechnical Capacity :-

قدرة تحمل الخازوق تعتمد على خواص التربة ، أى مقاومة التربة .

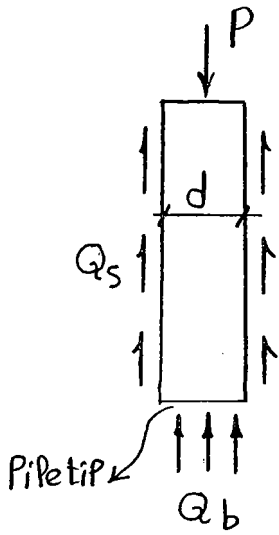
### Methods Used to determine Pile Capacity:-

- 1) Statical Formula
- 2) Field tests
  - a) S.P.T.
  - b) C.P.T.
  - c) Pile load test
- 3) Dynamic Formula

## Statical formula

This method used for:-

- 1) Bored or driven Piles
- 2) Pile diameter  $\leq 60$  Cm



عندما يتعرض الخازوق لحمل خارجي  $(P)$ ، فإن  
هذا الحمل يُقاوم بأقصى رد فعل للتربة  
على الخازوق  $(Q_{ult})$ ، ونلاحظ من الرسم  
أن مقاومة التربة حول الخازوق تنقسم  
إلى جزئين:-

- 1) Bearing resistance  $(Q_b)$   
مقاومة برارتكاز
- 2) Side friction resistance  $(Q_s)$   
مقاومة احتكاك جانبي

$$Q_{ult} = Q_b + Q_s$$

$$Q_{ult} = q_b * A_{base} + f_s A_{side} \quad (KN)$$

$Q_{ult.}$  :- Ultimate Pile Capacity  
(Ultimate bearing capacity of Pile)

$Q_b$  :- Bearing resistance Force (KN)

$Q_s$  :- Side friction resistance force (KN)

$q_b$  :- Ultimate bearing capacity of Soil  
below Pile tip (كعب الخاروق) ( $\text{KN/m}^2$ )

$A_{base}$  :- Cross sectional area of Pile at tip ( $\text{m}^2$ )

$F_s$  :- Ultimate shear strength between  
Soil and Pile ( $\text{KN/m}^2$ )

$A_{side}$  :- Surface (side) area of the Pile shaft  
( $\text{m}^2$ )

---

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult.}}{F.O.S.} \quad \text{KN}$$

$Q_{all}$  :- Allowable Pile Capacity

F.O.S. :- Factor of Safety

$$F.O.S. = 3.00 \quad (\text{D.L., L.L.})$$

$$= 2.50 \quad (\text{D.L., L.L., wind load})$$

$$= 2.00 \quad (\text{D.L., L.L., earthquake})^8$$

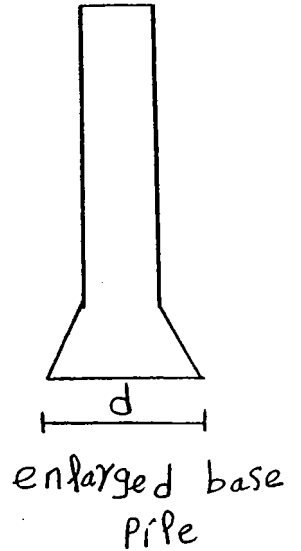


## 1) Calculation of $(Q_b)$ :-

$$Q_b = q_b * A_{base} \quad (KN)$$

$$A_{base} = \frac{\pi (d)^2}{4} \quad (\text{circular Pile})$$

$$= d^2 \quad (\text{Square Pile})$$



يَعتمد حساب  $(q_b)$  على نوع التربة التي يرتكز عليها الخازوق

a) For C-Soil:-  $(c_u = \forall \text{ KN/m}^2, \phi = \text{Zero})$

$$q_b = C N_c$$

$C$  : تماسك التربة حول الطرف السفلي للخازوق  $(\text{KN/m}^2)$

$N_c$  :- معامل قدرة التحميل وعادة يساوي 9

$$C = C_{\text{bearing soil}}, \quad N_c = 9$$

2) For  $\phi$ -Soil:-  $\phi = \checkmark$  >  $C = \text{Zero}$

$$q_b = q N_q$$

q<sub>b</sub> :- الإجهادات الضالة عند نهاية (كعب) الخاروف ،  
تحتسب من بداية سطح التربة (KN/m<sup>2</sup>)  
effective stress at pile tip.

N<sub>q</sub> :- معامل قدرة تحمل التربة (From table 4-5)  
و يعتمد على :-  
(١) قيمة  $\phi$   
(٢) طريقة تنفيذ الخاروف

جدول رقم (٤-٥)

٤٠	٣٥	٣٠	٢٥	$\phi'$
١٥٠	٧٥	٣٠	١٥	N <sub>q</sub>

ندخل على الجدول بقيمة ( $\phi'$ ) أو التي  
تعتمد على طريقة تنفيذ الخاروف

For Driven Piles:-

$$\phi' = \frac{\phi + 40^\circ}{2}$$

$\phi'$  :- زاوية الاحتكاك بعد التنفيذ  
 $\phi$  :- زاوية الاحتكاك قبل التنفيذ ،  
وهي المعطاة في المسألة

\* نلاحظ أن زاوية الاحتكاك تزيد بعد التنفيذ ، لأن عملية الدق تسبب  
في حمل التربة مما يزيد من قيمة  $\phi$ .

For Bored Piles:-

$$\phi' = \phi - 3^\circ$$

\*<sub>10</sub> نلاحظ أن زاوية الاحتكاك تقل بعد التنفيذ ، بسبب الحفر

c) For (C- $\phi$ ) soil:-  $C = \checkmark \text{ KN/m}^2$ ,  $\phi = \checkmark$

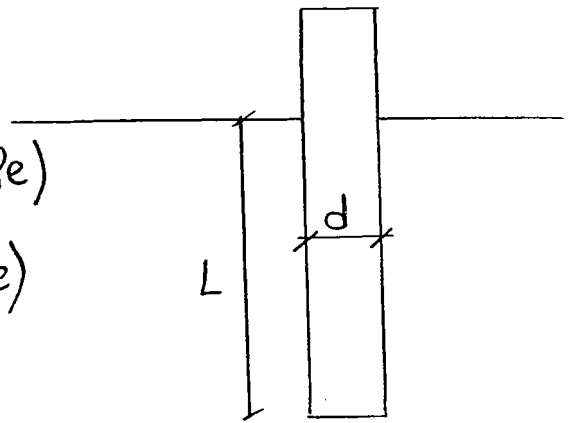
$$q_b = C N_c + q N_q$$

وَيَتَمَّ حساب كل معامِل كما سبق

2) Calculation of  $Q_s$ :-

$$Q_s = F_s \times A_{\text{side}} \quad (\text{KN})$$

$$\begin{aligned} A_{\text{side}} &= \pi d L \quad (\text{Circular Pile}) \\ &= 4 d L \quad (\text{Square Pile}) \end{aligned}$$



يَعْتَمَد حساب  $F_s$  على نوع التربة المحيطة بالخازوق

a) For C-soil:-

$$F_s = C_a = \alpha C_{\text{soil}} \quad \text{KN/m}^2$$

$C_a$  :- Pile - Soil adhesion strength ( $\text{KN/m}^2$ )

$\alpha$  :- Adhesion factor

For Bored Piles :-

$$C_a = (0.3 - 0.4) * C_{soil} \leq 100 \text{ KN/m}^2$$

$$\text{take } \alpha = 0.35 \rightarrow C_a = 0.35 C_{soil}$$

For Driven Piles :-

يتم حساب  $C_a$  من جدول رقم (4-4)، وتعتمد قيمة  $C_a$  على قيمة  $C_{soil}$ .

b) For  $\phi$ -Soil :-

$$F_s = K_{HC} * P_o * \tan \delta$$

\*  $K_{HC}$  :- معامل الضغط الجانبي للتربة في حالة الخاروق المحمل بأحمال ضغط

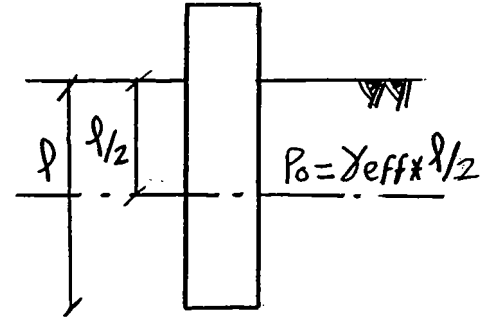
\* تعتمد قيمة  $K_{HC}$  على نوع الخاروق، وتحسب قيمته من جدول (4-7)

$$\text{take } K_{HC} = 0.7 \quad \text{For bored Piles} \\ = 1.00 \quad \text{For driven Piles}$$

\*  $\delta$  (table 4-7) زاوية الاحتكاك بين التربة وجسم الخاروق :-

$$\text{For Concrete Piles :- } \delta = 3/4 \phi \rightarrow \text{given}$$

$P_0$  :- الضغط الفعال عند منتصف الطبقة  
التي يتم حساب الـ  $Q_s$  لها .

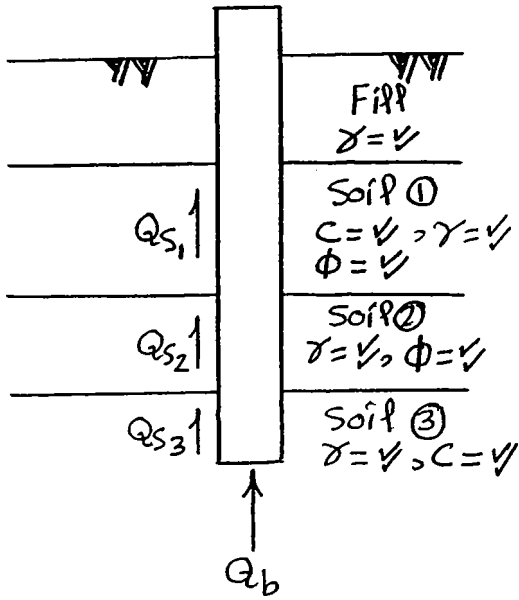


c) For (C- $\phi$ ) Soil:-

$$F_s = C_a + K_{Hc} P_0 \tan \delta$$

ويتم حساب كل معامل كما سبق.

## ملاحظات هامة -1-



(أ) غالباً يخترق الخاروق عدة طبقات ونلاحظ  
الآتي -1-

(P) الارتكاز يحدث في طبقة واحدة فقط  
وهي Soil ③ أى الطبقة التى يرتكز  
عليها الخاروق.

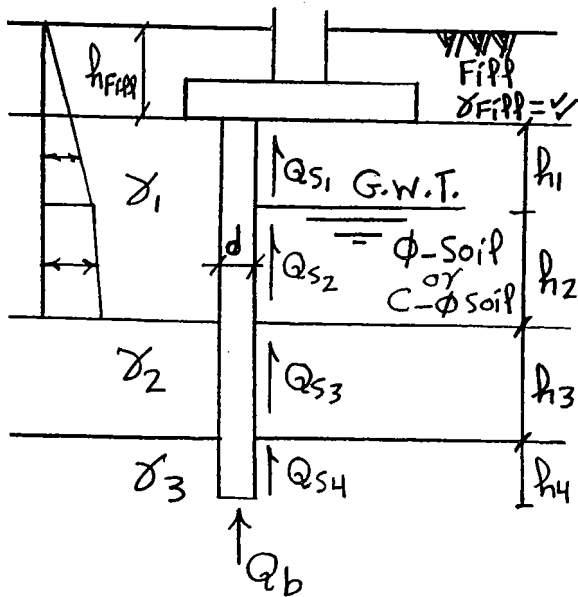
$$Q_b = \gamma \text{ KN (from Soil ③ Properties)}$$

(ب) الاحتكاك الجانبي يحدث فى جميع الطبقات

$$Q_s = Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3}$$

ويتيم حساب كل  $Q_s$  من معلومات التربة الخاصة بها.

(ج) فى حالة وجود طبقة من الردم (Fill) غير معلوم لها  $(c, \phi)$   
فإننا لا نعتبرها تؤثر بقوة الاحتكاك على الخاروق.



(٣) إذا كان الخاروق يمر بطبقة Soil- $\phi$   
C- $\phi$  soil

وكان منسوب المياه الجوفية G.W.T. يقع داخل الطبقة، فإنه عند حساب  $Q_s$  لهذه الطبقة يتم تقسيمها إلى جزئين -1-

$Q_{s1}$  (above G.W.T.)

$Q_{s2}$  (below G.W.T.)

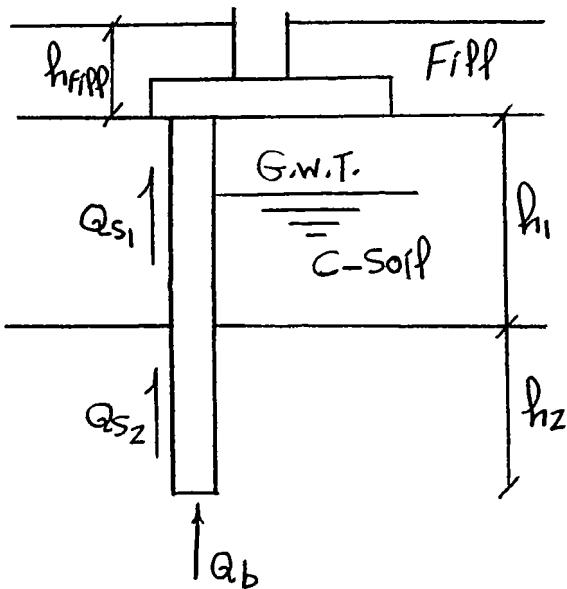
where :- في المثال المرسوم

$$Q_{s1} = KHC \left[ \gamma_{Fill} * h_{Fill} + \gamma_{bulk} * \frac{h_1}{2} \right] \tan \delta * \pi d \underline{h_1}$$

$P_o$  at  $h_1/2$  above G.W.T.

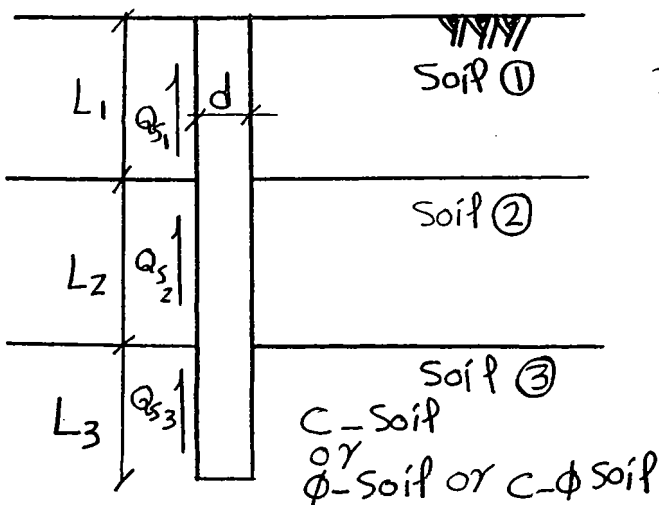
$$Q_{s2} = KHC \left[ \gamma_{Fill} * h_{Fill} + \gamma_{bulk} * h_1 + \gamma_{sub} * \frac{h_2}{2} \right] \tan \delta * \pi d \underline{h_2}$$

$P_o$  at midheight of  $h_2$  below G.W.T.



(2) إذا كان منسوب المياه الجوفية يقع داخل طبقة (C-Soil)، فإننا نحسب  $Q_s$  واحدة للطبقة كلها بدون تقسيمها وذلك لأن قيمة  $Q_s$  لا تعتمد على اختلاف شكل توزيع  $P_o > \text{داخل الطبقة}$

$$Q_{s1} = C_{a1} * \pi * d * \underline{h_1}$$



(3) عندما يمتد أي خاروق داخل مجموعة من طبقات التربة، فإنه عندما ينتهي في أي طبقة يجب أن يخترق هذه الطبقة مسافة لا تقل عن  $\underline{3d}$ .

$$\text{if } L_3 \geq 3d$$

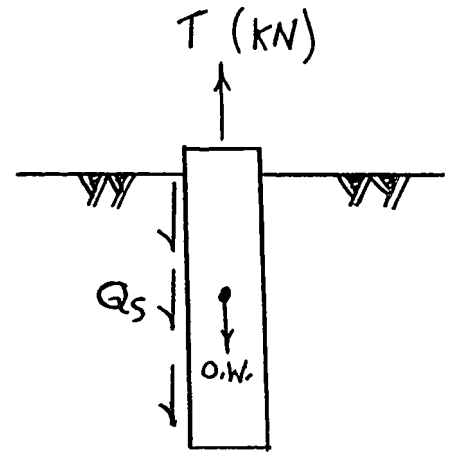
$$Q_{ult} = Q_b + Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3}$$

$$\text{if } L_3 < 3d$$

$$Q_{ult} = Q_b + Q_{s1} + Q_{s2} \quad (\text{No } Q_{s3} \text{ or } Q_{s4})$$

## Statical Formula For Pile under tension load:-

الخوازيق في حالة تعرضها لأحمال شد، تعتمد على الاحتكاك الجانبي فقط ولا تعتمد على الارتكاز، وبالتالي فإن الخازوق يقاوم أحمال الشد عن طريق:-



(1) قوة مقاومة الاحتكاك على جانب الخازوق ( $Q_s$ )  
(2) وزن الخازوق ( $O.W.$ )

where:-

$$T_{ult} = Q_s + O.W.$$

$$Q_s = F_s \times A_{side}$$

$F_s$		
↓		
$(c-\phi)$ Soil $F_s = [K_{HT} \times P_o \times \tan \delta + C_a]$	$\phi$ - Soil $F_s = K_{HT} \times P_o \times \tan \delta$	$c$ - Soil $F_s = C_a$ ↓ يُتخذ حسابها كما سبق في حالة الضغط

$K_{HT}$  :-

معامل الضغط الجانبي للتربة في حالة الخازوق المعرض لأحمال شد، (يُتخذ حسابها من جدول ٤-٦)

Take  $K_{HT} \approx 0.75$  For Driven or bored Piles



$$O.W._{pile} = A_{pile} * Pile\ length * \gamma_{pile}$$

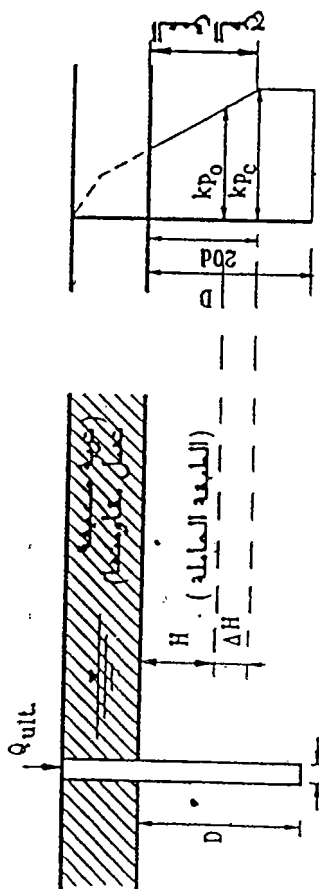
$$\gamma_{pile} = 25\ KN/m^3 \quad (\text{concrete piles})$$

---

$$T_{app} = \frac{Q_s}{F.O.S.} + O.W.$$

Note:-

لا يتم أخذ عامل أمان للـ F.O.S. لأن قيمة ثابتة و معلومة.



موزع ضغط التربة العائلي

هو ضغط التربة الرأسى عند العمق العرج  $P_c$

$$k_{HT} \text{ أو } k_{HC} = k$$

شكل رقم (٨-٤) : قدرة تحمل خازوق فى تربة غير متماسكة

الجيبات

٢-٢-٦-٣-٤ التربة غير متماسكة الجيبات

نأخذ الصيغة الأساسية المبينة بالبند (٢-٦-٣-٤) عدة صور منها فى حالة الخوازيق المستديرة المقطع الشكل التالى (انظر الشكل رقم (٨-٤)).

$$Q_{ult} = p_b N_q \pi R^2 + \sum_{H=0}^{H=D} K_{HC} p_0 \tan \delta + 2 \pi R \Delta H \quad (٦-٤)$$

كذلك فى حالة خوازيق الشا، يكون :

$$T_{ult} = \sum_{H=0}^{H=D} K_{HT} p_0 \tan \delta + 2 \pi R \Delta H + P \quad (٧-٤)$$

خوازيق التثبيت فيمكن اعتبار قيمة  $c_a$  تتراوح بين ٠,٣ و ٠,٤ من متوسط قيمة  $c$  بشرط ألا تزيد قيمة  $c_a$  عن ١٠٠ كيلو نيوتن/م<sup>٢</sup> (١ كجم/سم<sup>٢</sup>).

جدول رقم (٤-٤)

القيم المناسبة للاتصاق فى حالة خوازيق الإزاحة المنشأة فى تربة طينية صرفة

نوع الخازوق	قوام التربة	"c" التماسك kN/m <sup>2</sup>	"c <sub>a</sub> " إجهاد الالتصاق kN/m <sup>2</sup>
خشب أو خرسانة	ضعيف التماسك جدا	صفر - ١٢,٥	صفر - ١٢,٥
	ضعيف التماسك	١٢,٥ - ٢٥	٢٤ - ١٢,٥
	متوسط التماسك	٢٥ - ٥٠	٣٧,٥ - ٢٤
	متماسك	٥٠ - ١٠٠	٤٧,٥ - ٣٧,٥
حلب	شديد التماسك	١٠٠ - ٢٠٠	٦٥ - ٤٧,٥
	ضعيف التماسك جدا	صفر - ١٢,٥	صفر - ١٢,٥
	ضعيف التماسك	١٢,٥ - ٢٥	٢٣ - ١٢,٥
	متوسط التماسك	٢٥ - ٥٠	٣٥ - ٢٣
	متماسك	٥٠ - ١٠٠	٣٦ - ٣٥
	شديد التماسك	١٠٠ - ٢٠٠	

\* القيم الصغرى والعليا لإجهاد الالتصاق "c<sub>a</sub>" تناظر القيم الصغرى والعليا لإجهاد التماسك "c"

جدول رقم (٦-٤) : قيم المعاملات ( $K_{HT}$ ) و ( $K_{HC}$ )

$K_{HT}$	$K_{HC}$	نوع الحازوق
٠,٥ - ٠,٣	١,٠ - ٠,٥	حازوق ذو قطاع H
١,٠ - ٠,٦	١,٥ - ١,٠	حازوق إزاحة
١,٣ - ١,٠	٢,٠ - ١,٥	حازوق إزاحة متغير التقاطع
٠,٦ - ٠,٣	٠,٩ - ٠,٤	حازوق إزاحة باستخدام النفاثات
١,٠ - ٠,٤	١,٥ - ٠,٧	حازوق تنقيب (قطر أقل من ٠,٦٠ متر)

جدول رقم (٧-٤) : قيم زاوية الاحتكاك بين التربة وجسم الحازوق (٨)

نوع الحازوق	$\delta$ (درجة)
حديد	٢٠
خرسانة	$\frac{3}{4}(\phi)$
خشب	$\frac{3}{4}(\phi)$

 $\phi$  زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة

ولقد اوضحت بعض نتائج الابحاث وتجارب التعميل بالموقع ان كلا من مقاومة ارتكاز الحازوق والاحتكاك الجانبي يزيدان مع زيادة الضغط الرأسى التعمال حتى عبق داخل الطبقة الحاملة يطلق عليه العمق الحرج . (انظر شكل رقم (٨-٤)) وتتوقف قيمة هذا العمق الحرج على الكثافة النسبية للتربة غير التماسكة ومنسوب المياه الأرضية وتتراوح قيمته بين ١٠ الى ٤٠ قطر الحازوق . وفى حالة زيادة طول الحازوق المدفون فى التربة غير التماسكة عن العمق الحرج فان الزيادة فى مقاومة الارتكاز تكون صغيرة جدا فهم حين تتناسب الزيادة فى معصلة الاحتكاك الجانبي مع المساحة الجانبية للحازوق .

حيث :

 $P_0$  الضغط الرأسى التعمال عند منسوب نقطة ارتكاز الحازوق . $N_q$  معامل قدرة تحمل التربة (انظر جدول رقم (٥-٤)) . $K_{HC} \cdot K_{HT}$  النسبة بين الضغوط الأفقية الى الرأسية التعمال على جوانب الحازوق

فى حالتى الضغط والشد على الترتيب . (انظر جدول رقم (٦-٤)) .

 $P_0$  الضغط الرأسى التعمال على الطول المدفون من الحازوق داخل التربة

غير التماسكة .

 $\delta$  زاوية الاحتكاك بين الحازوق والتربة (انظر جدول رقم (٧-٤)) . $P$  وزن الحازوقجدول رقم (٥-٤) العلاقة بين قيم معامل قدرة التعميل ( $N_q$ ) وقيم زاوية الاحتكاك الداخلى ( $\phi$ ) لتربة غير متماسكة الجيبات

$\phi$ بالدرجات	٢٥	٣٥	٤٠
$N_q$	١٥	٢٠	٣٠

حيث :

$$\phi \text{ لموازين الازاحة} = \frac{\phi \text{ ( قبل التنفيذ) } + ٤٠}{٢}$$

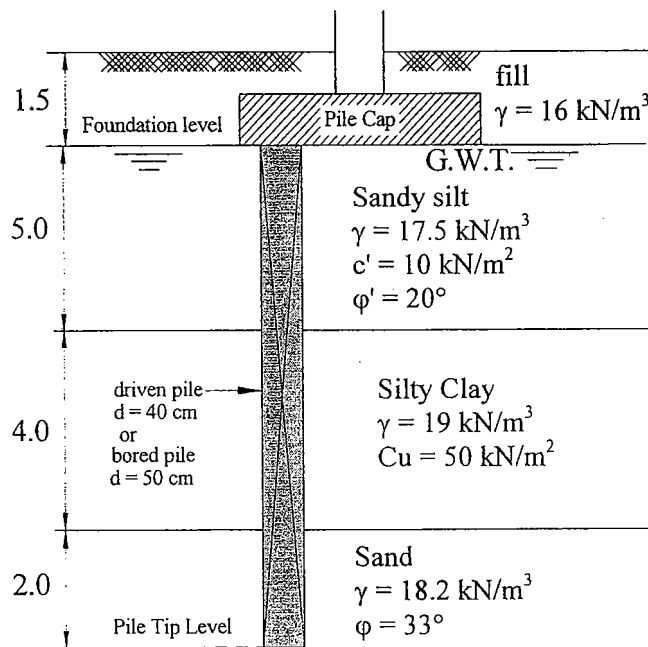
 $\phi$  لموازين التنقيب العادية =  $\phi$  ( قبل التنفيذ ) - ٣٠

وقد تصل  $\phi$  لبعض خوازيق التنقيب للقيم المناظرة لموازين الازاحة ولكن لا تعتمد النتائج فى هذه الحالة إلا بعد إجراء تجارب تحميل مؤكدة.

### Example

The soil profile of a site and its geotechnical investigation results are shown in the Figure Calculate the allowable compression and tension capacities of a driven cast-in-place pile (400 mm in diameter) to be constructed in this site , as shown in Figure (1), ( $f_{co} = 4.5 \text{ N/mm}^2$ , and factor of safety = 3.0).

If bored pile with 550 mm diameter is used in that site, re-calculate the allowable pile compression and tension capacities. Comment on the results.



Solution:-

A) From Structural Formula:-

1) Driven Pile (400 mm. diameter)

$$\begin{aligned} Q_{all} &= A_{pile} * F_{co} \\ &= \pi \frac{(400)^2}{4} * 4.5 \\ &= 565486.7 \text{ N} \\ &= 565.48 \text{ KN} \end{aligned}$$

2) Bored Pile (550 mm. diameter)

$$\begin{aligned} Q_{all} &= \pi \frac{(550)^2}{4} * 4.5 \\ &= 883572.93 \text{ N} \\ &= 883.57 \text{ KN} \end{aligned}$$

## B) From Statical Formula :-

### 1) Driven Pile (d = 400 mm.)

#### a) Compression Capacity :-

$$Q_{ult} = Q_b + Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3}$$

#### Calculation of ( $Q_b$ ) :-

Soil ③ is  $\phi$ -Soil

$$Q_b = q_b \times A_{base}$$

$$A_{base} = \pi \times \frac{(0.4)^2}{4} = 0.125 \text{ m}^2$$

$$q_b = q N_q$$

$$q = 16 \times 1.5 + 7.5 \times 5 + 9 \times 4 + 8.2 \times 2 = 113.9 \text{ KN/m}^2$$

$$\underline{N_q \text{ :-}} \quad \phi' = \frac{33 + 40}{2} = 36.5^\circ \quad (\text{Driven Pile})$$

From Table (4-5) :-

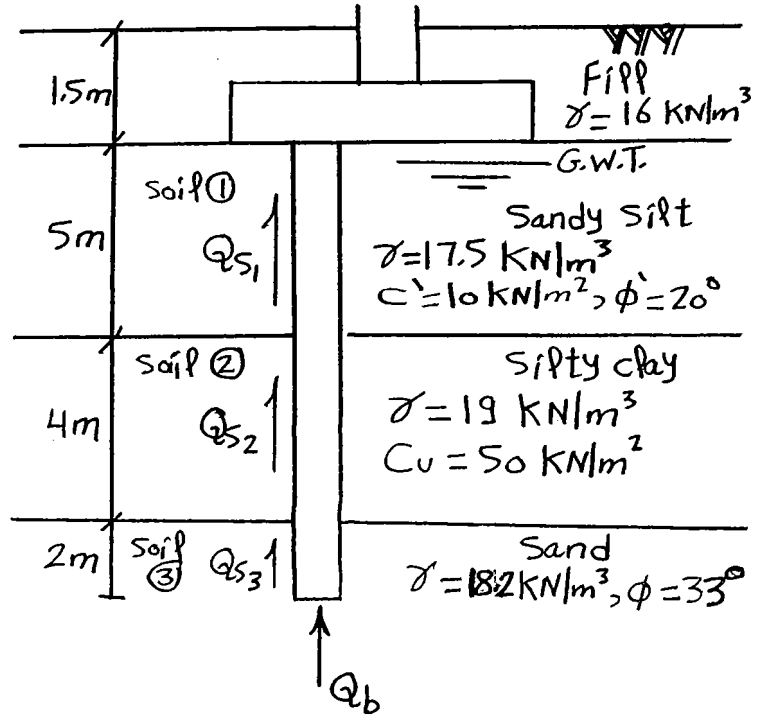
$$\text{at } \phi' = 35^\circ \rightarrow N_q = 75$$

$$\phi' = 40^\circ \rightarrow N_q = 150$$

$$\therefore N_q = 97.5$$

(بالنسبة والتناسب)

$$\therefore Q_b = 113.9 \times 97.5 \times 0.125 = 1388.15 \text{ KN}$$



Calculation of  $(Q_{s1})$  :-

$$Q_{s1} = [C_a + K_{hc} * P_o * \tan \delta] * A_{side①} \quad (c-\phi) \text{ Soil}$$

$$A_{side①} = \pi * 0.4 * 5 = 6.28 \text{ m}^2$$

$$\sim C_{\text{soil}} = 10 \text{ KN/m}^2 \xrightarrow[\text{Driven}]{\text{جول (c-\phi) Soil}} C_a = 10 \text{ KN/m}^2$$

$$\sim K_{hc} = 1 \quad (\text{Driven Pile})$$

$$\sim P_o = 16 * 1.5 + 7.5 * 2.5 = 42.75 \text{ KN/m}^2$$

$$\sim \delta = 3/4 * 20^\circ = 15^\circ$$

$$\sim F_s = [10 + 1 * 42.75 * \tan 15] = 21.45 \text{ KN/m}^2$$

$$\sim Q_{s1} = 21.45 * 6.28 = 134.7 \text{ KN}$$

Calculation of  $(Q_{s2})$  :-

$$Q_{s2} = C_a * A_{side②} \quad (c\text{-Soil})$$

$$A_{side②} = \pi * 0.4 * 4 = 5.03 \text{ m}^2$$

$$C_{\text{soil}} = 50 \text{ KN/m}^2 \xrightarrow[\text{Driven}]{\text{جول (c-\phi) Soil}} C_a = 37.5 \text{ KN/m}^2$$

$$\sim Q_{s2} = 37.5 * 5.03 = 188.625 \text{ KN}$$

Calculation of ( $Q_{S3}$ ) :-

$$Q_{S3} = [K_{hc} * P_o * \tan \delta] * A_{side③}$$

$$A_{side③} = \pi * 0.4 * 2 = 2.52 \text{ m}^2$$

$$K_{hc} = 1.00 \text{ (Driven)}$$

$$P_o = 16 * 1.5 + 7.5 * 5 + 9 * 4 + 8.2 * 1 = 105.7 \text{ KN/m}^2$$

$$\delta = 3/4 * 33 = 24.75$$

$$\therefore F_s = 1 * 105.7 * \tan 24.75 = 48.72 \text{ KN/m}^2$$

$$\therefore Q_{S3} = 48.72 * 2.52 = 122.78 \text{ KN}$$

Calculation of ( $Q_{ult}$ ) :-

$$Q_{ult} = Q_b + Q_{S1} + Q_{S2} + Q_{S3}$$

$$= 1388.15 + [134.7 + 188.625 + 122.78]$$

$$= 1834.255 \text{ KN}$$

Calculation of ( $Q_{all}$ ) :-

$$Q_{all} = \frac{Q_{ult}}{F.O.S.} = \frac{1834.255}{3} = 611.418 \text{ KN}$$

$$> Q_{all}^{str \text{ formula}} = 565.48 \text{ KN}$$

$$\therefore \text{take } Q_{all} = 565.48 \text{ KN}$$



### b) Tension Capacity:-

$$\text{Assume } K_{HC} = K_{HT} = 1$$

$$\therefore T_{ult} = (Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3}) + O.W._{pile}$$

$$\begin{aligned} O.W._{pile} &= A_{pile} * l_{pile} * \gamma_{R.C.} \\ &= \pi \frac{(0.4)^2}{4} * 11 * 25 \\ &= 34.56 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore T_{ult} &= [134.7 + 188.625 + 122.78] + 34.56 \\ &= 480.665 \text{ KN} \end{aligned}$$

### Calculation of $T_{app}$ :-

$$\begin{aligned} T_{app} &= \frac{134.7 + 188.625 + 122.78}{3} + 34.56 \\ &= 183.2 \text{ KN} \end{aligned}$$

## 2) Bored Pile ( $d = 550 \text{ mm}$ )

### a) Compression Capacity:-

$$Q_{ult.} = Q_b + Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3}$$

### Calculation of ( $Q_b$ ):-

$$Q_b = q_b \times A_{base}$$

$$A_{base} = \pi \times \frac{(0.55)^2}{4} = 0.24 \text{ m}^2$$

$$q_b = q \times N_q$$

$$q = 113.9 \text{ kN/m}^2$$

$$\underline{N_q :-} \quad \phi' = 33 - 3^\circ = 30 \quad (\text{Bored Pile})$$

$$\underline{\text{From Table (4-5):-}} \quad \text{at } \phi' = 30^\circ \rightarrow N_q = 30$$

$$\therefore Q_b = (113.9 \times 30) \times 0.24 = 820.1 \text{ kN}$$

### Calculation of ( $Q_{s1}$ ):-

$$Q_{s1} = [C_a + K_{HC} \times P_o \times \tan \delta] \times A_{side \textcircled{1}}$$

$$A_{side \textcircled{1}} = \pi \times 0.55 \times 5 = 8.64 \text{ m}^2$$

$$C_a = 0.35 \times C_{soil} = 0.35 \times 10 = 3.5 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{bored Pile})$$

$$K_{HC} = 1.0$$

$$\therefore Q_{s1} = [3.5 + 1.0 \times 42.75 \times \tan 15] \times 8.64 = 129.21 \text{ kN}$$

Calculation of  $[Q_{s2}]$  :-

$$Q_{s2} = C_a \times A_{\text{side}②}$$

$$C_a = 0.35 \times 50 = 17.5 \text{ kN/m}^2$$

$$A_{\text{side}②} = \pi \times 0.55 \times 4 = 6.91 \text{ m}^2$$

$$\therefore Q_{s2} = 17.5 \times 6.91 = 120.95 \text{ kN}$$

Calculation of  $[Q_{s3}]$  :-

$$Q_{s3} = [K_{HC} \times P_o \times \tan \delta] \times A_{\text{side}③}$$

$$A_{\text{side}③} = \pi \times 0.55 \times 2 = 3.46 \text{ m}^2$$

$$K_{HC} = 1.0$$

$$\therefore Q_{s3} = [1.0 \times 105.7 \times \tan 24.75] \times 3.46 = 168.6 \text{ kN}$$

Calculation of  $Q_{ult}$  :-

$$Q_{ult} = Q_b + Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3}$$

$$= 820.1 + [129.21 + 120.95 + 168.6]$$

$$= 1238.86 \text{ kN}$$

Calculation of  $Q_{all}$  :-

$$Q_{all} = \frac{1238.86}{3} = 412.95 \text{ kN} < Q_{all \text{ str Formula}} = 883.57 \text{ kN}$$

$$\therefore \text{take } Q_{all} = 412.95 \text{ kN}$$

## b) Tension Capacity:-

$$\text{Assume } K_{HC} = K_{HT} = 1.0$$

$$T_{ult} = (Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3}) + O.W._{pile}$$

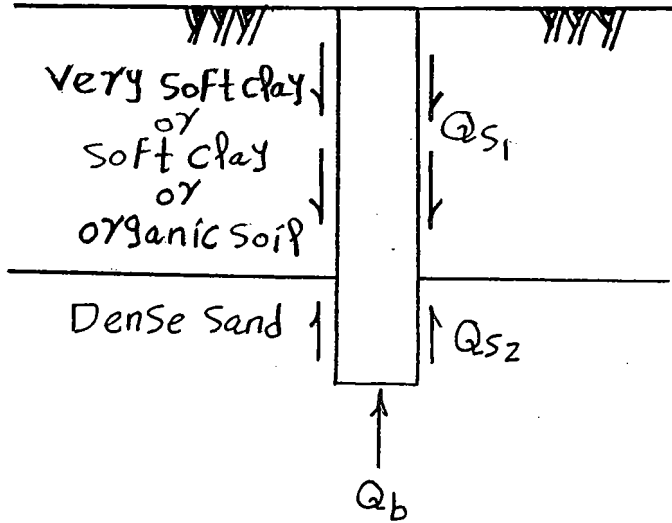
$$O.W._{pile} = \pi \frac{(0.55)^2}{4} \times 11 \times 25 = 65.34 \text{ KN}$$

$$\begin{aligned} \therefore T_{ult} &= (129.21 + 120.95 + 168.6) + 65.34 \\ &= 484.1 \text{ KN} \end{aligned}$$

## Calculation of $T_{all}$ :-

$$\begin{aligned} T_{all} &= \frac{129.21 + 120.95 + 168.6}{3} + 65.34 \\ &= 204.93 \text{ KN} \end{aligned}$$

## Negative skin friction:-



- \* من المشاكل التي تحدث عند  
تصميم الخوازيق هو اختراق  
الخوازوق لطبقة ضعيفة مثل
- 1) Very soft clay
  - 2) Soft clay
  - 3) organic soil (Peat)

\* يحدث Consolidation للتربة الضعيفة المحيطة بالخوازيق وذلك لعدة  
أسباب منها تعرض التربة لحمل خارجي (Surcharge) ناتج عن وزن  
ردم (Fill)، أو انخفاض منسوب المياه الجوفية، أو عجب الطين بسبب  
دفع الخوازيق.

\* معنى حدوث هبوط لهذه الطبقة الضعيفة أنها تنزلق على جسم  
الخوازوق للأسفل، أي الاحتكاك الجانبي  $[Q_{s1}]$  الناتج عن هذه  
الطبقة يكون للأسفل، أي أن هذه الطبقة تسبب حمل إضافي على  
الخوازوق.

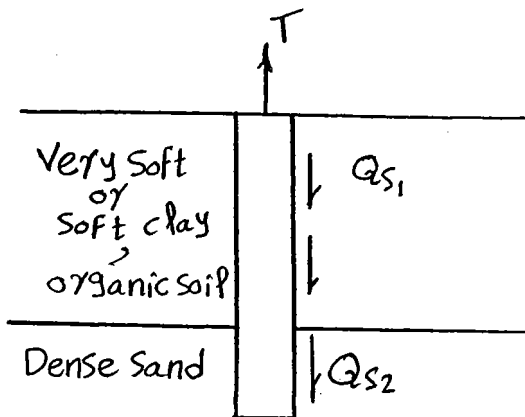
وبالتالى عند حدوث -ve skin Friction ، يتم حساب قدرة تحمل  
الخاروق كالتالى :-

### 1) Compression Capacity:-

$$Q_{ult.} = Q_b + Q_{s2} - Q_{s1}$$

$$Q_{all} = \frac{Q_b + Q_{s2}}{F.O.S.} - Q_{s1}$$

### 2) Tension Capacity:-

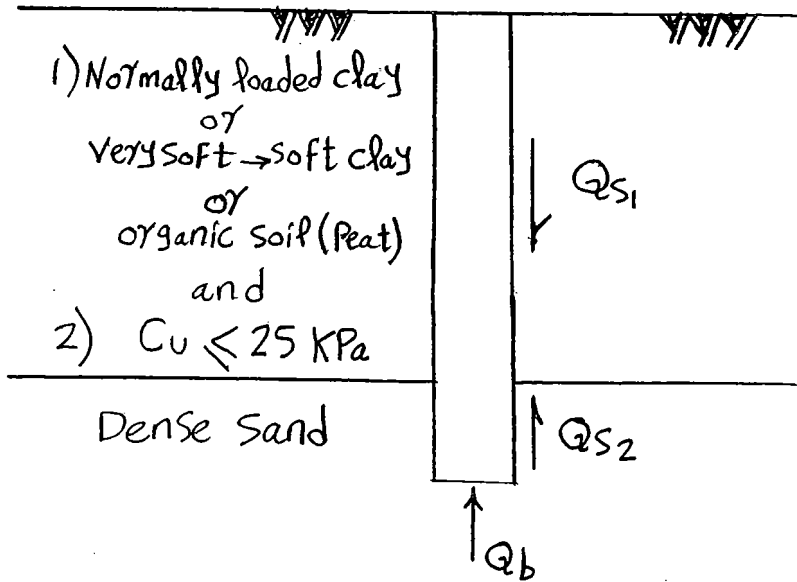


\* بالرغم من أن القوة  $Q_{s1}$  تعتبر  
مقاومة في حالة خوازيق الشد و  
لكن يتم إهمالها وهو more critical.

$$T_{ult} = Q_{s2} + O.W.$$

$$T_{all} = \frac{Q_{s2}}{F.O.S.} + O.W.$$

(أ) كيف نعرف في المسألة أو الطبقة المحيطة بالخازوق تسبب احتكاك سلبي على جسم الخازوق؟



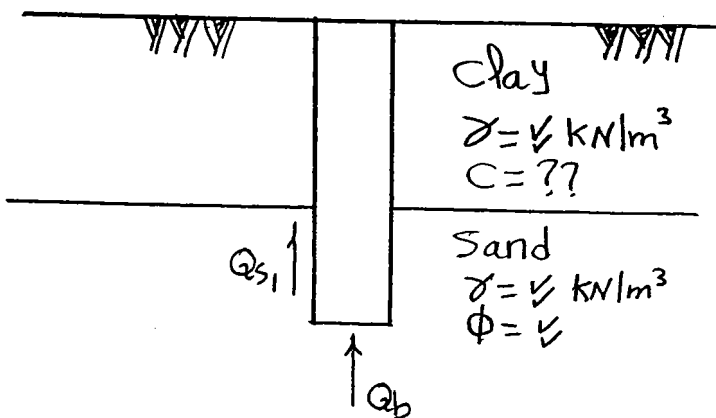
(P) إذا ذكر في المسألة

"Consider negative skin Friction in the clay layer"

(ب) إذا لم يذكر ما سبق، وكانت

طبقة الطيب كالتالي:-

- 1) Normally loaded clay
- 2) Very soft or soft clay  
(i.e.  $C_u \leq 25 \text{ KPa}$ )



(ج) إذا كان في المسألة طبقة

ص الطيب يمكن أن يحدث

بها -ve skin Friction

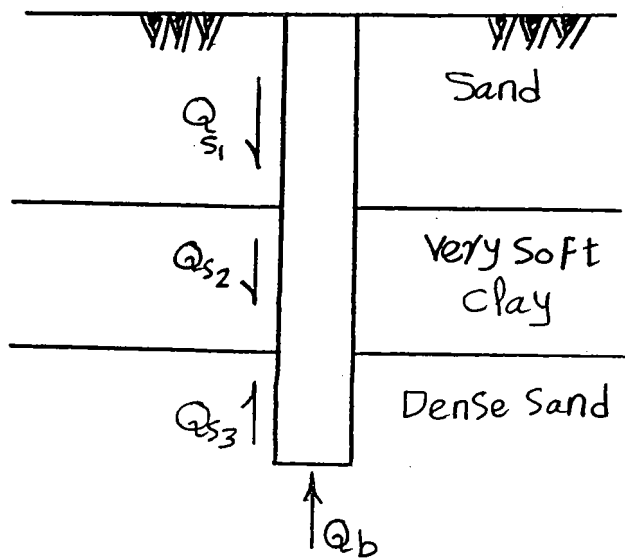
لكن لم يكن معطى لها (C)

فإننا نهمل الاحتكاك في هذه

الطبقة.

$$Q_{ult} = Q_b + Q_{s1}$$

$$T_{upt} = Q_{s1} + o.w.$$



(٣) في حالة اختراق الخازون لطبقة Very soft clay (أو أى طبقة من الطبقات السابقة ذكرها في ملاحظة رقم ①)، وكانت هذه الطبقة أسفل طبقة Sand.

فإنه يحدث هبوط لطبقة ال Sand، بسبب هبوط طبقة ال Very soft clay الموجودة أسفلها.

وبالتالي تكون قوة الاحتكاك في طبقة ال Sand للأسفل.

$$\sim Q_{ult.} = Q_b + Q_{s3} - Q_{s2} - Q_{s1}$$

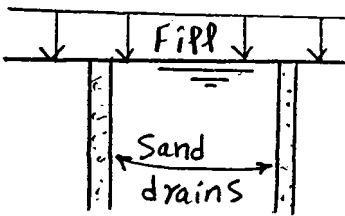
$$Q_{app} = \frac{Q_b + Q_{s3}}{F.O.S.} - Q_{s2} - Q_{s1}$$



## Reduction of the effect of -ve skin friction:-

### 1) BY Pre loading:-

يتم تحميل التربة باستخدام تربة ردم قبل تنفيذ الخوازيق ، مما يجعل عملية consolidation (هبوط التربة وخروج الماء منها) ، ويتم استخدام Sand drains كمسارات لخروج الماء من التربة .



### 2) BY using bitumen:-

يتم عمل Coating لسطح الخوازيق قبل دقها في التربة ، مما يقلل من تأثير الاحتكاك السلبي بنسبة كبيرة .

### 3) BY using bored Piles:-

(P) تكتسب ال bored Piles أغلب مقاومتها من ال end bearing ، عملية دق الخوازيق في التربة تسبب حدوث Consolidation للطبقة الطينية المتسيفة .

### 4) using enlarged base pile:-

زيادة  $A_{base}$  ، يعني زيادة  $Q_b$  ، مما يخوض النقص الحادث في  $Q_{ult}$  بسبب -ve skin friction .

## Field tests measurements

### 1) standard Penetration test :- (S.P.T.)

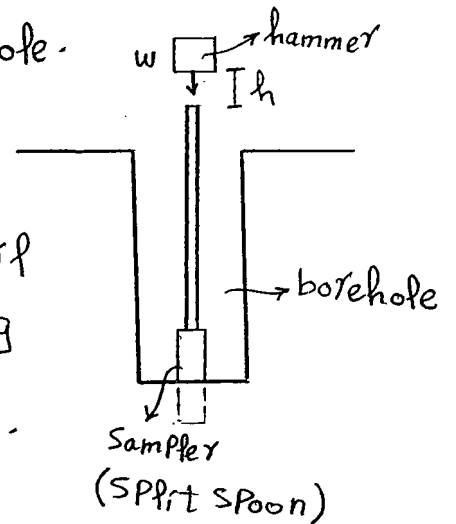
This method used For:-

- 1) Bored or driven Piles
- 2) More accurate For loose to dense sandy soils.

\* The test is performed inside a borehole.

\* A sampler is lowered into the bottom of the bore hole.

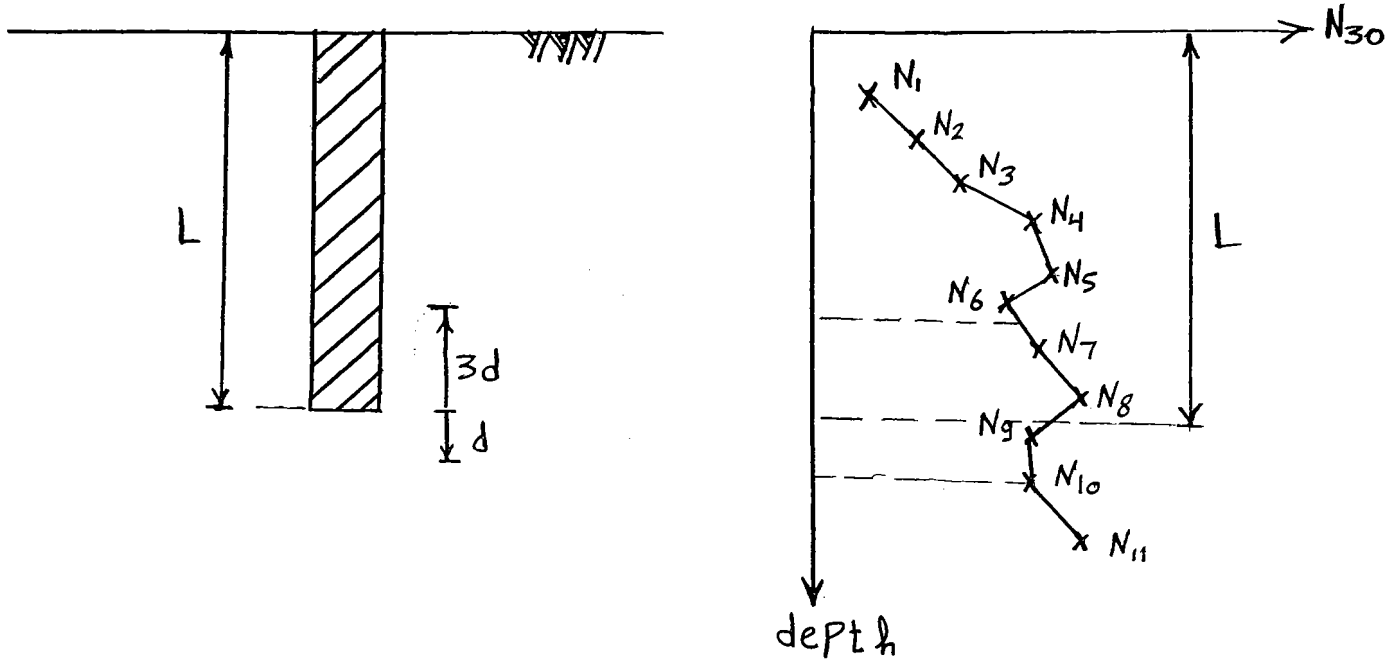
\* The sampler is driven into the soil by a drop hammer of weight 68 kg falling through a height of 76 cm.



\* في هذا الاختبار يتم تسجيل عدد الدقات اللازمة لانزال sampler في التربة لمسافة ٤٥ سم على ٣ مراحل ( ٣ \* ١٥ سم ).

\* يتم اجمال عدد الدقات اللازمة لانزال sampler أول ١٥ سم ، ويتم تجميع  $N_{15-30cm} + N_{30-45cm}$  لتحصل على  $N_{30}$  وهي عدد الدقات اللازمة لانزال sampler ٣٠ سم داخل التربة.

\* يتم تكرار الخطوات السابقة مع العمق ، ثم نرسم علاقة بين  $N_{30}$  و العمق.



a) For Driven Piles :-

$$Q_{all} = Q_{b_{all}} + Q_{s_{all}}$$

$$Q_{all} = 90 N_b \times A_{base} + \bar{N} \times A_{side}$$

$$Q_{all} = 90 N_b (\pi R^2) + \bar{N} (2\pi R L) \quad (KN)$$

where :-

$R$  :- Pile radius (m)

$L$  :- Pile length subjected to friction. (m)

$N_b$  :- Average value of  $(N_{30})$  in the Zone between  $3d, d$  above and below the Pile tip respectively.

لحساب  $N_b$  في الشكل السابق، يتم حساب متوسط قيم  $(N_{30})$  خلال المسافة  $(3d)$  فوق كعب الخاروق، والمسافة  $(d)$  أسفل كعب الخاروق كالآتي :-

$$N_b = \frac{N_7 + N_8 + N_9 + N_{10}}{4}$$

$\bar{N}$  :- Average value of  $(N_{30})$  in the Pile length subjected to Friction,

لحساب  $(\bar{N})$  في الشكل السابق، يتم حساب متوسط قيم  $(N_{30})$  خلال الطول المعرض للاحتكاك من جسم الخاروق

$$\bar{N} = \frac{N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5 + N_6 + N_7 + N_8}{8}$$

b) For bored Pile :-

يتم حساب  $Q_{all}$  بنفس الطريقة السابقة كما لو كان الخاروق (driven) ثم نحسب  $Q_{all \text{ bored}}$  كالآتي :-

$$Q_{all \text{ bored}} = (0.5 \rightarrow 1) * Q_{all \text{ driven}} \quad (KN)$$

## Notes :-

$$1) \quad Q_{all \text{ driven}} = 90 N_b (\pi R^2) + \bar{N} (2\pi RL) \quad (KN)$$

\* يجب التعويض في هذه المعادلة عن  $R$  و  $L$  بالـ (m) ، لنحصل على  $(Q_{all})$  بالـ KN.

$$2) \quad Q_{ult. \text{ driven}} = 90 N_b (\pi R^2) * F.o.s._b + \bar{N} (2\pi RL) * F.o.s._s$$

\* نلاحظ أن معادلة حساب قدرة تحمل الخاروق باستخدام S.P.T. تعطى  $Q_{all}$  مباشرة ، فإذا أردنا حساب  $Q_{ult}$  تكون المعادلة المستخدمة هي المعادلة السابقة.

F.o.s.\_b :- F.o.s. For bearing resistance

$$\underline{\underline{F.o.s._b = 2.50}}$$

F.o.s.\_s :- F.o.s. For side friction resistance

$$\underline{\underline{F.o.s._s = 2.00}}$$

٤) تجرى هذه التجربة عادة على طبقات التربة الغير متماسكة وذلك لأنها تعطى قيم خاطئة في حالة التربة المتماسكة ، وذلك بسبب ارتفاع قيمة ضغط المياه البيني أثناء الدق فتعطى قيم أعلى من قدرة تحمل التربة الحقيقية.

## Tension Pile Capacity From S.P.T.:-

### a) Driven Pile:-

$$T_{all} = Q_{s_{all}} + O.W._{Pile}$$

$$T_{all} = \bar{N} (2\pi RL) + O.W._{Pile} \quad (KN)$$

$$O.W._{Pile} = \frac{\pi d^2}{4} * L_{Pile} * \gamma$$

### b) Bored Pile:-

$$T_{all} = \left[ (0.5 \rightarrow 1) * \bar{N} * (2\pi RL) \right] + O.W._{Pile} \quad (KN)$$

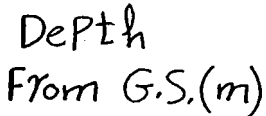
### Example

Results of geotechnical investigation of a site showed that the subsurface soil profile consists of a deep deposit of silty sand. The G.W.T. exists at a depth of 4.0 m below the ground surface. A group of bored piles, 50 cm in diameter and 16.0 m long, was suggested for the deep foundations in that site. The foundation level at the bottom of the pile caps is (-2.0). Results of in-situ tests (SPT) at that site are given in the following table.

Depth from G.S. (m)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
N <sub>SPT</sub> (blows/ft)	3	5	6	8	11	12	14	18	21	24	24	28

Estimate the allowable compression capacity of the single pile using either the structural formula and the in-situ tests results, ( $f_{co} = 4.0 \text{ N/mm}^2$ ). Comment on the results.

\_\_\_\_\_



$$Q_{all \text{ bored Pipe}} = \frac{1}{2} \left[ 90 N_b \frac{\pi d^2}{4} + \bar{N} \pi d L \right]$$

$N_b = 21$  (Average between depth  
-16.50  $\rightarrow$  -18.50)

40 \* في هذه المسألة القيمة الوحيدة المتاحة من  $(-18.5 \rightarrow -16.5)$  هي  $N = 21$   
 $18_m$



$$\bar{N} = \frac{3+5+6+8+11+12+14+18+21}{9} = 10.88$$

$$\bar{N} = N_{avg}, \text{ between depth } (-2 \rightarrow -18)$$

$$\begin{aligned} \therefore Q_{all} &= \frac{1}{2} \left[ 90 \times 21 \times \pi \frac{(0.5)^2}{4} + 10.88 \times \pi \times 0.5 \times \underbrace{16}_{\text{طول الخازوق}} \right] \\ &= 322.3 \text{ KN} \end{aligned}$$

### Tension Capacity:-

$$T_{all} = \frac{1}{2} \times \bar{N} \times \pi d L + O.W. \text{ pile}$$

$$O.W. \text{ pile} = 25 \times \pi \frac{(0.5)^2}{4} \times 16 = 78.54 \text{ KN}$$

$$\begin{aligned} \therefore T_{all} &= \left( \frac{1}{2} \times 10.88 \times \pi \times 0.5 \times 16 \right) + 78.54 \\ &= 215.27 \text{ KN} \end{aligned}$$

### Compression Capacity From Structural Formula:-

$$\begin{aligned} Q_{all} &= A_{pile} \times F_{co} \\ &= \frac{\pi (500)^2}{4} \times 4 = 785398.2 \text{ (N)} \\ &= 785.4 \text{ KN} \end{aligned}$$

$$\therefore Q_{all} = 322.3 \text{ KN} < Q_{all} = 785.4 \text{ KN}$$

S.P.T. str

\*1 ال Str Formula لا تأخذ في الاعتبار خواص التربة أو طريقة التنفيذ ،