الفصل الثاني

تشوه وهبوط تربة التأسيس

1.2 مبادئ أساسية:

عندما تتعرض التربة لأحمال إضافية فإنها سوف تتعرض للانضغاط , وهذا الانضغاط قد يكون ناتجاً عن خروج الهواء (حالة رص التربة) أو خروج الماء من فراغات التربة (حالة تشديد التربة).

يعرف الهبوط بالانتقال الشاقولي للتربة، باتجاه الأسفل نتيجة لخروج الهواء أو الماء من فراغات التربة (أو الاثنين معاً).

2.2 أسباب الهبوط:

هناك أسباب متعددة، لحدوث هبوط التربة، أهمها :

تحميل تربة الموقع.

تحميل ترب المواقع المجاورة

تغير منسوب الماء الجوفية.

تنفيذ حفريات بالقرب من الموقع

انكماش التربة الغضارية عند تغير الرطوبة.

تراص التربة الرملية بسبب التأثيرات الديناميكية وغيرها.

سوف ندرس في هذا الفصل، هبوط تربة التأسيس، الناجم عن الحمولات الخارجية فقط.

3.2 الغاية من دراسة الهبوط:

تهدف دراسة هبوط التربة إلى الحد من تشوهات عناصر المنشأة التي يمكن أن تظهر نتيجة لتشوه التربة التي ترتكز الأساسات عليها, وبالتالي حمايتها من التصدع والتشققات التي تؤثر على متانتها واستثمارها.

عندما يكون الهبوط منتظماً فإن الأساسات تهبط في جميع النقاط بشكل متساو, وفي آن واحد , وهذا النوع من الهبوط لا يؤثر على الجملة الانشائية ولكنه من الممكن أن يؤدي إلى صعوبة في استثمارالمنشأة.

أما عندما يكون الهبوط غير منتظم فإن الأساس يهبط بقيم مختلفة وهذا النوع من الهبوط يؤدي إلى حدوث تشوهات في المنشأة، وفي بعض الحالات تكون التشوهات كبيرة وقد تؤدي إلى انهيار المنشأة.

4.2 أنواع الهبوط

هناك عدة أنوع من الهبوط :

1 - هبوط كلي، ويرمز له بالرمز S ويحسب عند تصميم الأساسات بمختلف أنواعها ويتم تقييم الهبوط الكلي للمبنى بحساب هبوط احد أساساته المعرض لأسوأ حالة تحميل والمرتكز على طبقات التربة الأكثر انضغاطا .

2 - هبوط وسطي، ويرمز له Sm وهو القيمة الوسطية للهبوط الكلي الناتج في مختلف أساسات المبنى ويحسب بالعلاقة :

$$S_m = \frac{S_1.A_1 + S_2.A_2 + ... + S_n.A_n}{A_1 + A_2 + ... + A_n} \quad (2-1)$$

حيث :

S_1,S_2,S_n- الهبوط الكلي لكل أساس من أساسات المبنى.

A_1,A_2,A_n– مساحات كل أساس من أساسات المبنى.

إعداد الدكتور رامي اسطة

وبحسب نوع أساسات المبنى يتم تعيين الهبوط الوسطي فمثلا :

- للمباني ذوات الأساسات المنفردة، يتم تعيين الهبوط الوسطي لما لا يقل عن ثلاثة أساسات ترتكز على تربة طبقاتها متفاوتة القابلية للتشوه وتخضع لحمولات متفاوتة بشدتها .

- للمباني التي أساساتها عبارة عن حصيرة عامة يحسب الهبوط الوسطي لما لا يقل عن ثلاث نقاط من الحصيرة بحيث تكون الهبوطات فيها متفاوتة .

- الأساس المستمر يعين الهبوط الوسطي لثلاث نقاط منه بحيث يكون الهبوط فيها أعظميا"

3– الهبوط المسموح وهو الهبوط الذي لا يؤثر على متانة المنشأة أو على شروط استثمارها.

5.2 المعلومات التي يتطلبها حساب الهبوط :

من أجل حساب الهبوط يجب توفر المعلومات التالية :

1 – المقطع الجيوهندسي لموقع البناء

2 – بعض الخواص الفيزيائية والميكانيكية لطبقات التربة (الوزن الحجمي، عامل المسامية، منسوب المياه، عامل المرونة، قرينة الانضغاط ... الخ)

3– عمق التأسيس

4 – أبعاد الأساسات

5– الحمولات التي تنقلها الأساسات

6.2 مركبات الهبوط الكلي

يمكن التعبير عن الهبوط الكلي S للتربة بالعلاقة:

$$S = S_i + S_c + S_s \qquad (2-2)$$

حيث:

Si الهبوط الفوري أو الهبوط المرن

Sc الهبوط الناتج عن التشديد الأولي للتربة, وينتج عن تبدد ضغط الماء المسامي من التربة, وينتج عنه نقصاناً في مسامات التربة وزيادة في الاجهادات الفعالة.

Ss الهبوط الناتج عن التشديد الثانوي للتربة, ويحدث هذا الهبوط تحت اجهادات فعالة ثابتة, ويؤدي إلى تغيراً في حجم التربة نتيجة للتلدن وإعادة ترتيب حبيبات التربة.

يتعلق مقدار كل مركبة من مركبات الهبوط والزمن اللازم لحصولها بنوع التربة, فعلى سبيل المثال:

أ- يكون الهبوط الفوري في الترب المفككة هو الغالب ويمثل تقريباً 100% من الهبوط الكلي.

ب- في الترب المتماسكة اللاعضوية كالسيلت والغضار والمشددة طبيعياً, يكون الهبوط الناتج عن التشديد الأولي هو الغالب.

ت- في الترب المتماسكة العضوية, يكون الهبوط الناتج عن التشديد الثانوي هو الأكثر أهمية.

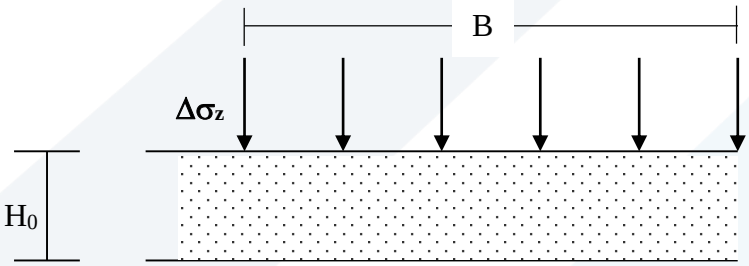
2.7 طرق حساب الهبوط

2.7.1 حساب الهبوط اعتماداً على نتائج تجربة الأدومتر (أو التشديد)

تعتبر هذه الطريقة مناسبة لجميع أنواع الترب المفككة والمتماسكة، المتجانسة ومتعددة الطبقات، وتعتمد دقة النتائج في هذه الطريقة على دقة عوامل الهبوط المحسوبة من تجربة الأودومتر وعلى طريقة إجراء التجربة بحيث تماثل سلوك التربة الحقيقي.

ا- حالة الحمولة موزعة على مساحة كبيرة

تعتبر هذه المسألة أساسية لحساب هبوط طبقة محدودة السماكة من التربة، خاضعة لحمولة شاقولية منتظمة الشدة ومنتشرة على مساحة كبيرة على سطح طبقة التربة (H_0<0.5B). تتعرض هذه الطبقة لانضغاط شاقولي فقط دون إمكانية التوسع الجانبي كما في حلقة الأدومتر (الشكل 1- 2) .



الشكل 1- 2 : حمولة شاقولية منتظمة الشدة، مطبقة على سطح طبقة التربة

يمكن حساب هبوط طبقة التربة باستخدام عامل الانضغاط الحجمي m_v بالعلاقة التالية :

$$S = H_0 . m_v . \Delta\sigma_z = H_0 \frac{\Delta\sigma_z}{E_s} \qquad (2-3)$$

E_s معامل مرونة التربة (معامل يونغ)

M_v معامل الانضغاط الحجمي للتربة

كما يمكن حساب هبوط طبقة التربة باستخدام قرينة الانضغاط Cc كما يلي :

أ-حالة التربة المشددة طبيعياً

يمكن حساب هبوط طبقة من التربة سماكتها H_0 وقرينة انضغاطها Cc باستخدام العلاقة التالية :

$$S = \frac{C_c}{1+e_0} H_0 \log \frac{\sigma'_{z0} + \Delta\sigma_z}{\sigma'_{z0}} \qquad (2-4)$$

σ'_{z0} تمثل الاجهادات الأولية الفعالة في منتصف طبقة التربة

e_0 معامل مسامية التربة

ب-حالة التربة مسبقة التشديد

إذا كانت التربة مسبقة التشديد و $\sigma'_z = \sigma'_{z0} + \Delta\sigma_z \le \sigma'_p$ يكون الهبوط :

$$S_i = \frac{H_0}{1+e_0} C_r \log \frac{\sigma'_{z0} + \Delta\sigma_z}{\sigma'_{z0}} \qquad (2-5)$$

إذا كانت التربة مسبقة التشديد و $\sigma'_z = \sigma'_{z0} + \Delta\sigma_z > \sigma'_p$ يكون الهبوط :

$$S = \frac{H_0}{1+e_0}\left(C_r \log \frac{\sigma'_p}{\sigma'_{z0}} + C_c \log \frac{\sigma'_{z0} + \Delta\sigma_z}{\sigma'_p} \right) \qquad (2-6)$$

2- حالة الحمولة موزعة على مساحة محدودة

عندما تتعرض التربة لحمولة شاقولية محدودة الأبعاد (حالة أساس منفرد مثلاً) فإن التربة تخضع لانضغاط شاقولي و توسع جانبي، كما أن الاجهادة المنقولة إلى التربة تنخفض مع العمق. لذلك ومن أجل الدقة في الحساب فإنه يتم في البداية تحديد سماكة الطبقة المنضغطة ثم يتم تقسيم هذه السماكة إلى عدة طبقات جزئية (من 2 حتى 5 طبقات أو أكثر), ويتم حساب هبوط كل طبقة جزئية, وبعد ذلك يتم جمع هبوط جميع الطبقات الجزئية للحصول على هبوط التربة. يمكن تلخيص مراحل الحساب كما هو مبين بالشكل 2-2 بالتالي :

1- رسم مخطط الإجهاد الشاقولي الناتج عن الوزن الذاتي للتربة σ'_{z0} اعتباراً من سطح الأرض

2- رسم مخطط الإجهاد الاضافي الخارجي $\Delta\sigma_z$ اعتباراً من منسوب التأسيس، وهذا الاجهاد ناتج عن الحمولات الخارجية.

3- تعيين حدود الطبقة المنضغطة H_a الموافقة للعمق الذي تصبح عنده الاجهات الناتجة عن الحمولات الخارجية مهملة ($\Delta\sigma \le (0.1\text{-}0.2)\sigma'_0$)، حيث $\Delta\sigma$ وσ'_0 الاجهاد الشاقولي الاضافي الخارجي والاجهاد الشاقولي الأولي الفعال أسفل Ha

4- تقسيم سماكة الطبقة المنضغطة H_a إلى مجموعة من الطبقات المتجانسة بحيث لا تتجاوز سماكة الطبقة الواحدة (h_i=0.4B) للأساسات ذات الأبعاد الصغيرة نسبياً (B≤4m)، أما الأساسات ذات الأبعاد الكبيرة (B>4m) فإن سماكة الطبقات الجزئية, تؤخذ مساوية لـ ($hi \le 0.2B$) حيث أن B- عرض الحمولة (الأساس).

5- تعيين الهبوط لكل طبقة جزئية على حدة بالعلاقات التالية:

أ-حالة التربة المشددة طبيعياً

$$S_i = \frac{C_c}{1+e_0} h_i \log \frac{\sigma'_{z0,i} + \Delta\sigma_{z,i}}{\sigma'_{z0,i}} \qquad (2-7)$$

$\sigma'_{z0,i}$ تمثل الاجهادات الأولية في منتصف الطبقة i

$\Delta\sigma_{z,i}$ تمثل الاجهاد الشاقولي الناتج عن الحمولة الخارجية في منتصف الطبقة i

ب-حالة التربة مسبقة التشديد

– إذا كانت التربة مسبقة التشديد و $\sigma'_{z,i} = \sigma'_{z0,i} + \Delta\sigma_{z,i} \le \sigma'_p$ (الشكل 2-2a)، يكون الهبوط :

$$S_i = \frac{h_i}{1+e_0} C_r \log \frac{\sigma'_{z0} + \Delta\sigma_{z,i}}{\sigma'_{z0}} \qquad (2-8)$$

- إذا كانت التربة مسبقة التشديد و $\sigma'_{z,i} = \sigma'_{z0,i} + \Delta\sigma_{z,i} > \sigma'_p$ (الشكل 2-2b) يكون الهبوط :

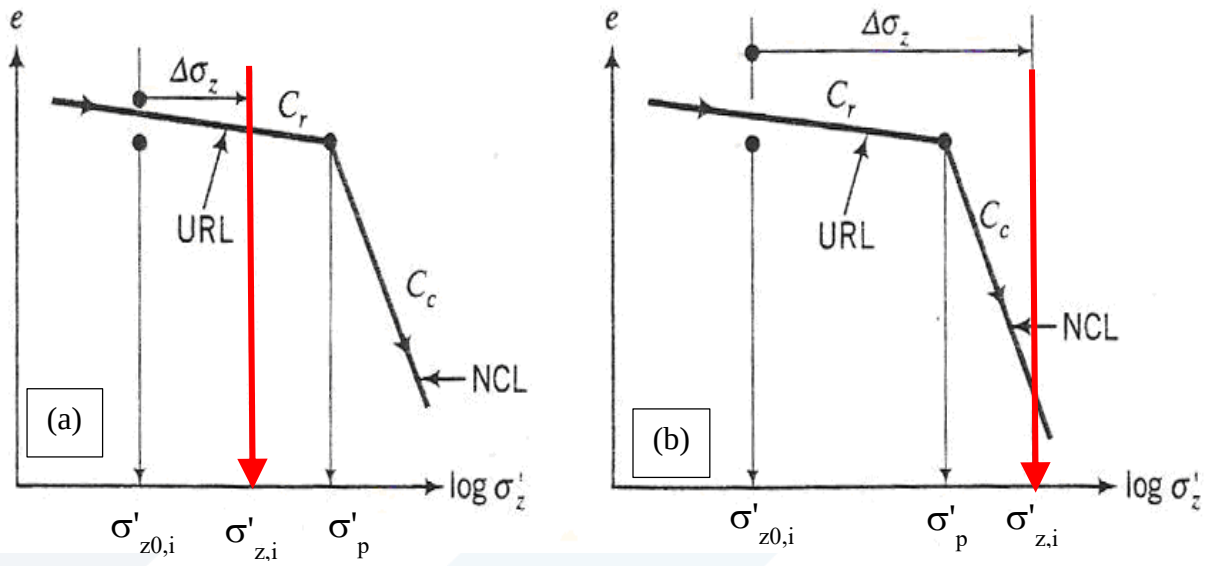
$$S_i = \frac{h_i}{1+e_0}\left(C_r \log\frac{\sigma'_p}{\sigma'_{z0,i}} + C_c \log\frac{\sigma'_{z0,i}+\Delta\sigma_{z,i}}{\sigma'_p}\right) \qquad (2-9)$$

6- يحسب الهبوط النهائي بجمع هبوط جميع الطبقات في حدود سماكة الطبقة المنضغطة Ha وذلك بالعلاقة التالية :

$$S = \sum_{i=1}^{n} S_i \qquad (2-10)$$

ملاحظة : يمكن حساب هبوط الطبقة الجزئية باستخدام عامل الانضغاط الحجمي بدلاً من قرينة الانضغاط وفق العلاقة التالية:

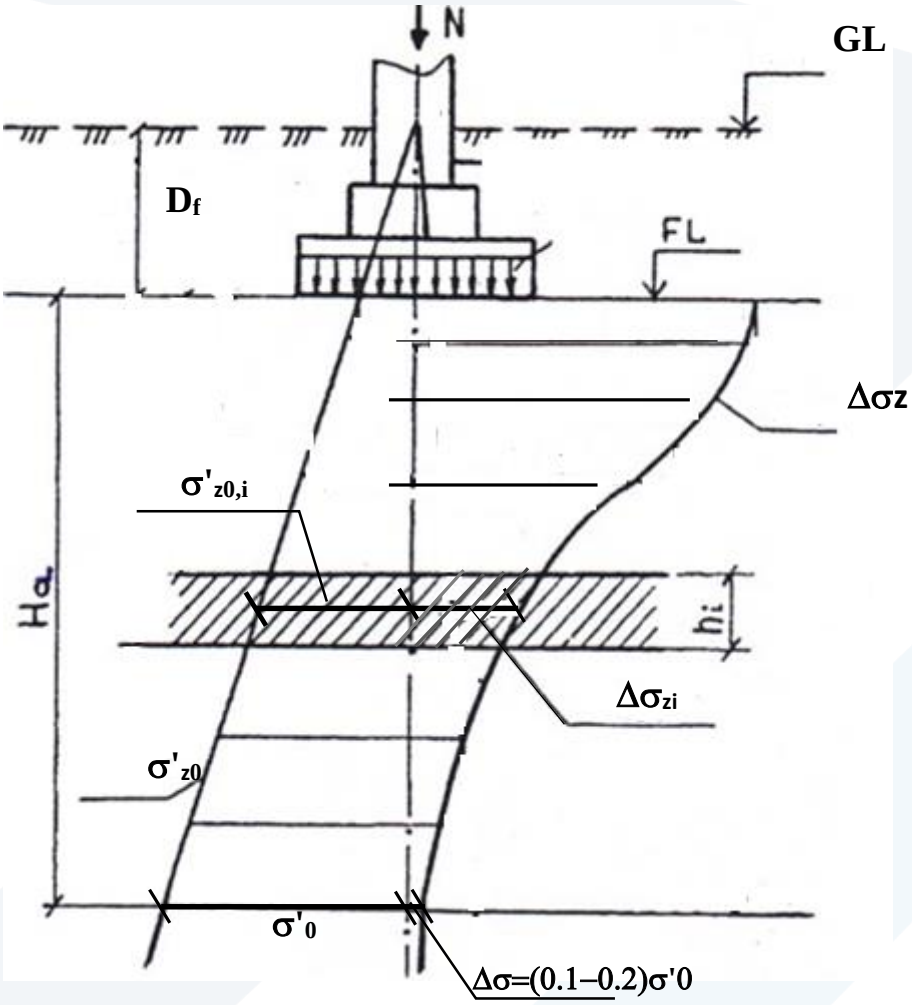
$$S_i = h_i \,.\, m_v \,.\Delta\sigma_{z,i} = h_i \,.\frac{\Delta\sigma_{z,i}}{E_{s,i}} \qquad (2-11)$$



$\sigma'_{z,i} = \sigma'_{z0,i} + \Delta\sigma_{z,i} \le \sigma'_p$

$\sigma'_{z,i} = \sigma'_{z0,i} + \Delta\sigma_{z,i} > \sigma'_p$

الشكل 2-2 : تربة مسبقة التشديد



الشكل 2-2 : مخطط الإجهادات الناتجة عن الوزن الذاتي للتربة σ'_{z0} والإجهادات الناتجة عن الحمولات الإضافية الخارجية $\Delta\sigma_z$

2.7.2 تعيين الهبوط اعتماداً على نظرية نصف الفراغ المرن

أ- حالة التربة كبيرة السماكة

تعطى معادلات حساب الهبوط المرن أو الفوري لأساس بمسقط ذو شكل منتظم متوضع على تربة مستمرة بشكل لا نهائي (بحيث تتلاشى الاجهادات الناتجة عن الحمولة الخارجية في نهايتها) كما يلي :

$$S_e = \sigma_{net} \cdot B \cdot \frac{(1-\nu^2)}{E} \cdot I_w \qquad (2-12)$$

حيث :

σ_{net} إجهاد التماس الصافي (الاضافي) المنقول من الأساس إلى التربة

B عرض الأساس (البعد الأصغر لمسقط الأساس)

I_w معامل تأثير يرتبط بشكل الأساس و صلابته (الجدول 1-2). يمكن التعبير عن صلابة الأساس بمعامل الصلابة النسبية وفق العلاقة التقريبية التالية حسب الكود العربي الموحد :

$$k = \frac{E_F}{E_{soil}} \left(\frac{d}{B} \right)^3 \qquad (2-13)$$

E_F معامل مرونة مادة الأساس (بيتون مسلح) .

E_{soil} عامل مرونة تربة التأسيس (E_{soil}=E) .

d سماكة الأساس (ارتفاع الأساس).

B عرض الأساس .

و نميز الحالات التالية :

- أساس شديد الصلابة : $k \geq 2$
- أساس متوسط الصلابة : $0.005 \leq k \leq 2$
- أساس مرن: $k \leq 0.005$

ν - معامل بواسون

E - معامل مرونة التربة، و يستخدم عادة معامل المرونة (Eu) للترب المتماسكة و (E') للترب غير المتماسكة من اجل حساب الهبوط الفوري ، و يحسب مثلاً بدلالة معامل تشوه التربة المحسوب من تجربة التشديد (Es=Eoed) كما يلي:

للشروط المصرفة :

$$E' = E_{oed} \cdot \frac{(1+\nu')(1-2\nu')}{(1-\nu')} \qquad (2-14)$$

للشروط غير المصرفة :

$$E_u = E' \cdot \frac{1.5}{(1+\nu')} \qquad (2-15)$$

أو يحسب من تجربة الضغط الحر (الضغط البسيط) بميل منحني الاجهاد التشوه عند القيمة $0,5q_u$ أو من تجربة الضغط الثلاثي المحاور بنفس الطريقة . أو يحسب من تجربة SPT حسب الجدول (2-2).

	I_w لأجل نصف الفراغ			
	W_c(زاوية)	W_0(مركز)	W_m(وسطي)	W_{const}(صلب)
دائري	0.64	1.00	0.85	0.79
مربع	0.56	1.12	0.95	0.858
مستطيل L/B				
2	0.77	1.53	1.30	1.22
3	0.89	1.78	1.53	1.44
4	0.98	1.96	1.70	1.61
5	1.05	2.10	1.83	1.82

10	1.77	2.53	2.25	2.12

الجدول2-1 : قيم معامل التأثير Iw لحالة طبقة تربة لا متناهية السماكة

	H/B				
	0.25	**0.5**	**1**	**2**	**5**
دائري	0.22	0.38	0.58	0.70	0.78
مربع	0.22	0.39	0.62	0.77	0.87
مستطيل L/B					
2	0.24	0.43	0.70	0.96	1.16
3	0.24	0.44	0.73	1.04	1.31
4	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-
10	0.25	0.77	0.77	1.15	1.62

الجدول2-2 : قيم معامل التأثير Iw لحالة طبقة تربة محدودة السماكة

E [kpa]	نوع التربة
383 Nc	(تربة سيلتية) : تربة سيلتية أو سيلت رملي
670 Nc	(تربة رملية) : تربة رملية ناعمة إلى متوسطة أو رمل سيلتي
958 Nc	(تربة رملية – مبحصة): تربة رملية خشنة أو رمل مبحص
1150 Nc	(تربة حصوية) : تربة بحص رملي أو بحص
Nc – هي رقم الـ SPT المصحح للاجهاد = Nc=CN*N حيث $C_N = \left(\frac{95.8}{\sigma'_{zo}}\right)^{\frac{1}{2}} \leq 2$	

الجدول 2-3 : قيم عامل المرونة بدلالة رقم الاختراق المصحح Nc

أو يحسب من تجربة CPT حسب الجدول التالي :

E [kpa]	نوع التربة
1.5*qc	(تربة سيلتية و رملية) : تربة رمل سيلتي أو سيلت رملي
2*qc	(تربة رملية) : متوسطة التراص
3*qc	(تربة رملية): عالية التراص
4*qc	(تربة حصوية مع رمل) : تربة بحص رملي أو بحص

الجدول 4–2 : قيم عامل المرونة بدلالة اجهاد الاختراق بالمخروط q_c

نوع التربة	حالة التربة أو قوامها	معامل مرونة التربة Es(MN/m2)
غضار	رخو متوسط القساوة قاسي شديد القساوة صلب	0.5-2 1.5-6 2.5-10 5-20 10-40
سيلت		3-30
رمل	مخلخل متوسط التراص متراص شديد التراص	10-25 25-75 75-150 150-400
بحص		100-400

الجدول 5-2 : بعض القيم التقديرية لمعامل مرونة التربة

ب-حالة التربة محدودة السماكة

في حال كانت تربة التأسيس محدود السماكة (يحدها من الأسفل طبقة صخرية أو طبقة قليلة الانضغاط) وبحيث لا تتلاشى الاجهادات الناتجة عن الحمولة الخارجية في نهايتها. يمكن حساب الهبوط المرن بالعلاقة 12-2 وتحسب قيمة معامل التأثير من الجدول 2-2 بدلالة نسبة ارتفاع الطبقة إلى عرض الحمولة (الأساس).

في حال وقعت طبقة التربة المنضغطة على بعد Zg تحت منسوب الحمولة (منسوب التأسيس) فإنه يمكن حساب الهبوط المرن بالعلاقة 12-2 مع استبدال الاجهاد الصافي المؤثر على السطح (أو عند منسوب التأسيس) بالاجهاد الصافي على سطح الطبقة المنضغطة وليكن $\sigma_{nett,g}$ ، ويتم حسابه باستخدام إحدى الطرق التي تم عرضها في

الفصل الأول، تصبح علاقة حساب هبوط الطبقة محدودة السماكة على بعد Zg من منسوب الحمولة السطحية كالتالي :

$$S_e = \sigma_{net,g} \cdot B \cdot \frac{(1-\nu^2)}{E} \cdot I_w \qquad (2-16)$$

$Z_{1,2}/B$	L/B			
	1	2	5	10
0	0.884	1.208	1.66	2.0
1	0.66	1.01	1.48	1.83
2	0.435	0.752	1.24	1.60
5	0.195	0.377	0.79	1.164
10	0.1	0.198	0.464	0.795

الجدول 2-4 : قيم I_{wz} بدلالة العمق Z/B و L/B

2. 8 الهبوط التفاضلي أو النسبي (Differential Settlement):

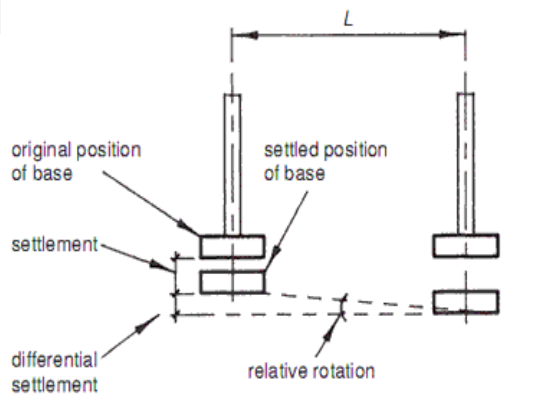
عندما يكون الهبوط غير منتظم فإن الأساس يهبط بقيم مختلفة وهذا النوع من الهبوط يؤدي إلى حدوث تشوهات في المنشأة، وفي بعض الحالات تكون التشوهات كبيرة وقد تؤدي إلى انهيار المنشأة. لذلك يجب التأكد من فرق الهبوط ومن زاوية الدوران عند تصميم أساسات المنشأ (الشكل).

- **فرق الهبوط** : يحسب فرق الهبوط بين نقطتين متجاورتين تحت نفس الأساس أو تحت أساسين متجاورين بالعلاقة التالية :

$$\Delta S = S_{T,A} - S_{T,B} \qquad (2-17)$$

- **زاوية الدوران :** و تساوي فرق الهبوط بين نقطتين مقسوماً على المسافة بينهما، ويحسب بالعلاقة التالية :

$$\beta = \frac{\Delta S_{AB}}{L_{AB}} = \frac{S_{T,A} - S_{T,B}}{L_{AB}} \qquad 2-18)$$



الشكل 3-2 : فرق الهبوط وزاوية الدوران للأساس

يحسب فرق الهبوط ΔS بين الأساسات المنفردة المختلفة في المبنى أو بين عدة نقاط من الأساس المستمر أو من الحصيرة ويحسب فرق الهبوط بين مركز الحصيرة وزاويتها وبين الأساسين اللذين ينقلان أعظم وأدنى حمولة إلى التربة أو اللذين تكون طبقات التربة تحتهما أكثر تفاوتا من حيث القابلية للانضغاط .

لا بد من التنويه إلى انه عندما يزيد فرق الهبوط عن القيمة المسموحة يحصل أضرار في المنشأة مثل انفصال جزء من المبنى أو ميلان في الأساس أو تحدب أو تقعر في المبنى وتظهر فيه تشققات تحول دون استثماره وقد يميل كامل المبنى بزاوية ما (ويحدث هذا بشكل خاص في الأبنية عالية القساوة ويجب دوما تحقيق الشرط التالي من أجل سلامة المنشأة :

$\Delta S<\Delta S_{all}$

حيث : ΔS_{all}- فارق الهبوط المسموح .

الهبوط التفاضلي المسموح

حدد الكود العربي الموحد القيم المسموحة للهبوط التفاضلي كما يلي:

- فرق الهبوط المسموح يساوي 50% من الهبوط الكلي المسموح $\Delta S_{all} = 50\% \cdot S_{T,all}$
- زاوية الدوران المسموحة تحدد وفق الجدول التالي و تعتبر زاوية الدوران المسموحة للمنشآت و الأبنية المراد خلوها من أي تشققات معمارية في الجدران : $\tan(\beta_{\max,all}) = \left(\frac{\Delta S}{L}\right)_{\max} = \frac{1}{500}$
- زاوية الدوران المسموحة للمنشآت و الأبنية المراد خلوها من أي أضرار انشائية لكن يسمح بحدوث تشققات معمارية في الجدران : $\tan(\beta_{\max,all}) = \left(\frac{\Delta S}{L}\right)_{\max} = \frac{1}{300}$

مثلاً من أجل خلو المنشأ من التشققات المعمارية يكون:

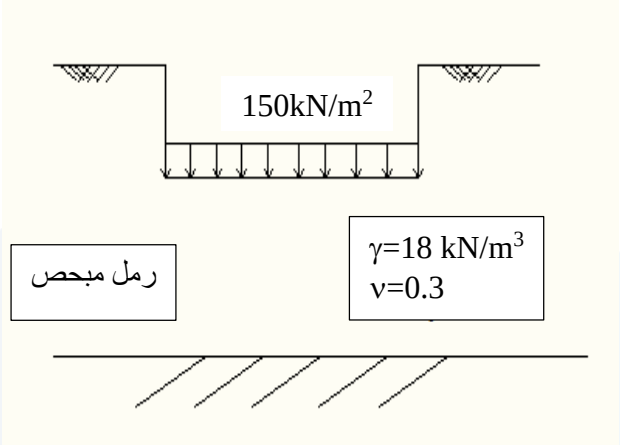
$$\left(\frac{\Delta S}{L}\right)_{\max} = \frac{1}{500} \Rightarrow \Delta S_{\max} = \Delta S_{all} = \frac{L}{500} = 0.002 \cdot L$$

مثلاً من أجل خلو المنشأ من التشققات الانشائية و السماح بتشققات المعمارية يكون:

$$\left(\frac{\Delta S}{L}\right)_{\max} = \frac{1}{300} \Rightarrow \Delta S_{\max} = \Delta S_{all} = \frac{L}{300} = 0.0033 \cdot L$$

مثال 1:

أساس صلب (حصيرة) أبعاده (15*30)m ينقل إلى تربة التأسيس إجهاداً صافياً قدره 150kN/m² ويستند على طبقة رملية مبحصة مواصفاتها مبينة على الشكل التالي وأنه قد أجريت عليها تجربة الاختراق النظامي وكانت القيمة الوسطية لرقم الاختراق بعد التعديل Nc=20



يطلب حساب هبوط الأساس في الحالات التالية :

1- سماكة طبقة الرمل كبيرة جدا"

2- سماكة طبقة الرمل المبحص تحت الأساس 7.5m وتحتها تربة صخرية

3- سماكة طبقة الرمل المبحص 7.5m ويبعد سطحها 5m عن منسوب التأسيس

4- إذا فرضنا أن الحصيرة مرنة أحسب الهبوط الوسطي لتربة التأسيس عندما تكون لا متناهية السماكة

الحل :

الطريقة المستخدمة في الحل هي طريقة نصف الفراغ المرن $S_e = \sigma_{net} \cdot B \cdot \frac{(1-\nu^2)}{E} \cdot I_w$

في البداية نحسب معامل يونغ من العلاقة التجريبية E=958 Nc=958*20=19160 kPa

الحالة الأولى : أساس صلب وسماكة تربة التأسيس كبيرة جدا" (لا متناهية)

$$\frac{L}{B} = \frac{30}{15} = 2 \rightarrow Iw = 1.22$$

$$S = 150 * 15 * \frac{1 - 0.3^2}{19160} * 1.22 = 0.13m = 13cm$$

الحالة الثانية : أساس صلب وسماكة التربة الرملية المبحصة تحت منسوب التأسيس = 7.5m

$$\left\{\frac{L}{B} = \frac{30}{15} = 2 \cdot \frac{H}{B} = \frac{7.5}{15}\right\} \rightarrow Iw = 0.43$$

$$S = 150 * 15 * \frac{1 - 0.3^2}{19160} * 0.43 = 0.046m = 4.6cm$$

الحالة الثالثة: أساس صلب وسماكة طبقة الرمل المبحص 7.5m ويبعد سطحها 5m عن منسوب التأسيس

$$\left\{\frac{L}{B} = \frac{30}{15} = 2 \cdot \frac{H}{B} = \frac{7.5}{15}\right\} \rightarrow Iw = 0.43$$

$$\sigma_{nett} = \frac{150*15*30}{(15+5)(30+5)} = 96.4\ kN/m^2$$

$$S = 96.4 * 15 * \frac{1 - 0.3^2}{19160} * 0.43 = 0.03m = 3cm$$

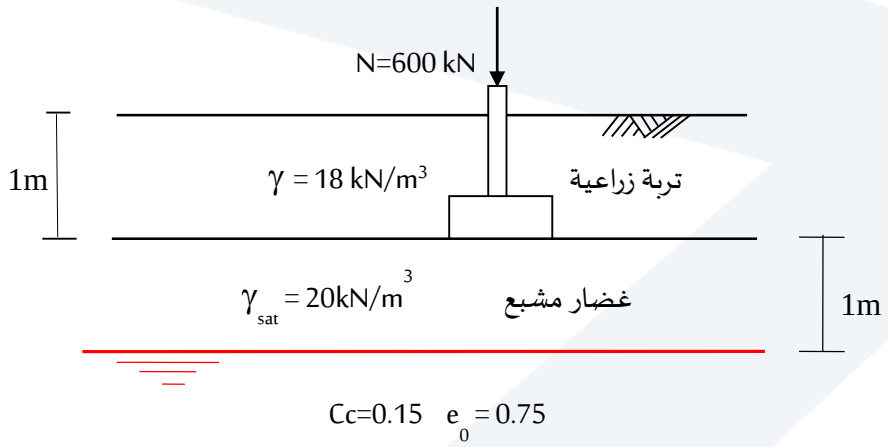
الحالة الرابعة: أساس مرن وسماكة تربة التأسيس كبيرة جدا"

$$\frac{l}{B} = \frac{30}{15} = 2 \rightarrow Iw = 1.3$$

$$S = 150 * 15 * \frac{1 - 0.3^2}{19160} * 1.3 = 0.139m = 13.9cm$$

مثال 2

يطلب حساب هبوط طبقة التربة الغضارية المشددة طبيعياً، الناتج عن حمولة شاقولية محورية قيمتها 600kN منقولة إلى التربة بواسطة أساس مربع طول ضلعه 1.5m وعمق تأسيسه 1m



الحل

نقوم في البداية بحساب سماكة الطبقة المنضغطة والتي يكون عندها $\Delta\sigma_z = (0.1-0.2)\,\sigma'_{z0}$ وسوف نستخدم طريقة 2:1 التقريبية لحساب الاجهادات الناتجة عن الأساس.

بفرض سماكة الطبقة المنضغطة تحت الأساس 4B=6m(بسبب وجود المياه)، يكون لدينا أسفل هذه السماكة :

$$\sigma'_{z0} = 18+1*20+5*10 = 88\,kN/m^2$$

$$\Delta\sigma_z = \frac{600}{(1.5+6)^2} = 10.7\,kN/m^2 = 0.12\,\sigma'_{z0} \quad OK$$

بتقسيم طبقة الغضار إلى طبقات بحيث تحقق ما يلي :

1- الطبقة متجانسة

2- سماكة الطبقة لا تتجاوز 0.4B=0.6m (لأن B<4m)

يقسم جزء الطبقة فوق منسوب المياه (سماكتها 1m) إلى طبقتين 1 و 2 سماكة كل منهما 0.5m وتقسم الطبقة تحت منسوب المياه (سماكتها 5m) إلى 10 طبقات (من 3 حتى 12) سماكة كل منها 0.5m

يكون الاجهاد الشاقولي الأولي الفعال في منتصف كل طبقة :

$$\sigma'_{z0,1} = 18*1+20*0.25 = 23\,kN/m^2$$

$$\sigma'_{z02} = \sigma'_{z0,1} + 20*0.5 = 23+20*0.5 = 33\,kN/m^2$$

$$\sigma'_{z03} = \sigma'_{z0,2} + 20*0.25+10*0.25 = 33+20*0.25+10*0.25 = 40.5\,kN/m^2$$

$$\sigma'_{z04} = \sigma'_{z0,3} + 10*0.5 = 40.5+10*0.5 = 45.5\,kN/m^2$$

$$\sigma'_{z05} = \sigma'_{z0,4} + 10*0.5 = 45.5+10*0.5 = 50.5\,kN/m^2$$

$$\sigma'_{z06} = 55.5\,kN/m^2 \quad \sigma'_{z07} = 60.5\,kN/m^2 \quad \sigma'_{z08} = 65.5\,kN/m^2 \quad \sigma'_{z09} = 70.5\,kN/m^2$$

$$\sigma'_{z010} = 75.5\,kN/m^2 \quad \sigma'_{z011} = 80.5\,kN/m^2 \quad \sigma'_{z012} = 85.5\,kN/m^2$$

وتكون الاجهادات الناتجة عن الأساس في منتصف كل طبقة :

$$\Delta\sigma_{z,1} = \frac{600}{(1.5+0.25)^2} = 195.9\ kN/m^2$$

$$\Delta\sigma_{z,2} = \frac{600}{(1.5+0.75)^2} = 118.5\ kN/m^2$$

$$\Delta\sigma_{z,3} = \frac{600}{(1.5+1.25)^2} = 79.3\ kN/m^2$$

$$\Delta\sigma_{z,4} = \frac{600}{(1.5+1.75)^2} = 56.8\ kN/m^2$$

$$\Delta\sigma_{z,5} = \frac{600}{(1.5+2.25)^2} = 42.7\ kN/m^2$$

$$\Delta\sigma_{z,6} = \frac{600}{(1.5+2.75)^2} = 33.2\ kN/m^2$$

$$\Delta\sigma_{z,7} = \frac{600}{(1.5+3.25)^2} = 26.6\ kN/m^2$$

$$\Delta\sigma_{z,8} = \frac{600}{(1.5+3.75)^2} = 21.8\ kN/m^2$$

$$\Delta\sigma_{z,9} = \frac{600}{(1.5+4.25)^2} = 18.1\ kN/m^2$$

$$\Delta\sigma_{z,10} = \frac{600}{(1.5+4.75)^2} = 15.4\ kN/m^2$$

$$\Delta\sigma_{z,11} = \frac{600}{(1.5+5.25)^2} = 13.2\ kN/m^2$$

$$\Delta\sigma_{z,12} = \frac{600}{(1.5+5.75)^2} = 11.4\ kN/m^2$$

ويكون هبوط كل من طبقة جزئية i :

$$S = \frac{C_c}{1+e_0}.h_i.\log\frac{\sigma'_{z0,i} + \Delta\sigma_{z,i}}{\sigma'_{z0,i}}$$

$$S_1 = \frac{0.15}{1+0.75} * 0.5 * \log \frac{23+195.5}{23} = 0.042m = 4.2cm$$

$$S_2 = \frac{0.15}{1+0.75} * 0.5 * \log \frac{33+118.5}{33} = 0.028m = 2.8cm$$

$$S_3 = \frac{0.15}{1+0.75} * 0.5 * \log \frac{40.5+79.3}{40.5} = 0.02m = 2cm$$

$$S_4 = \frac{0.15}{1+0.75} * 0.5 * \log \frac{45.5+56.8}{45.5} = 0.015m = 1.5cm$$

$$S_5 = \frac{0.15}{1+0.75} * 0.5 * \log \frac{50.5+42.7}{50.5} = 0.011m = 1.1cm$$

$$S_6 = \frac{0.15}{1+0.75} * 0.5 * \log \frac{55.5+33.2}{55.5} = 0.009m = 0.9cm$$

$$S_7 = \frac{0.15}{1+0.75} * 0.5 * \log \frac{60.5+26.6}{60.5} = 0.007m = 0.7cm$$

$$S_8 = \frac{0.15}{1+0.75} * 0.5 * \log \frac{65.5+21.8}{65.5} = 0.005m = 0.5cm$$

$$S_9 = \frac{0.15}{1+0.75} * 0.5 * \log \frac{70.5+18.1}{70.5} = 0.004m = 0.4cm$$

$$S_{10} = \frac{0.15}{1+0.75} * 0.5 * \log \frac{75.5+15.4}{75.5} = 0.003m = 0.3cm$$

$$S_{11} = \frac{0.15}{1+0.75} * 0.5 * \log \frac{80.5+13.2}{80.5} = 0.003m = 0.3cm$$

$$S_{12} = \frac{0.15}{1+0.75} * 0.5 * \log \frac{85.5+11.4}{85.5} = 0.002m = 0.2cm$$

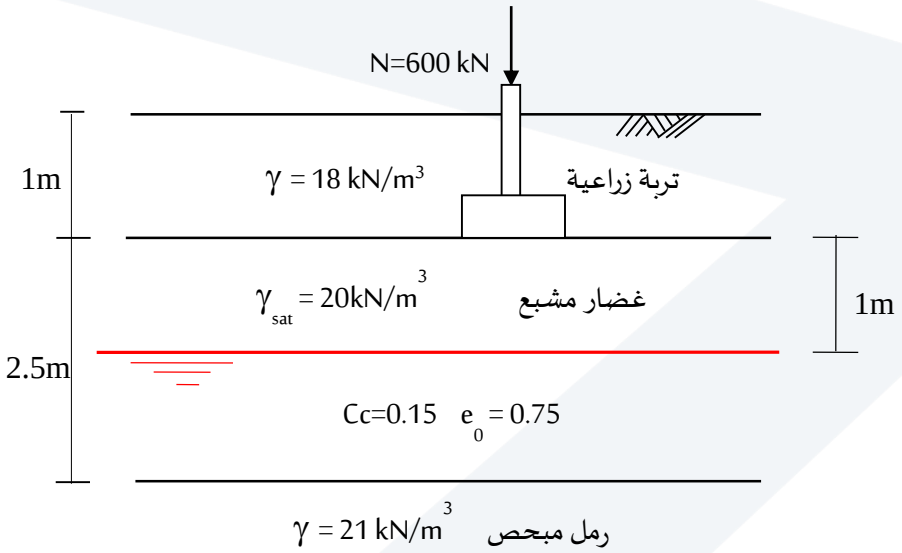
ويكون الهبوط الكلي :

$$S = \sum_{1}^{12} S_i = 4.2 + 2.8 + 2 + 1.5 + 1.1 + 0.9 + 0.7 + 0.5 + 0.4 + 0.3 + 0.3 + 0.2 = 14.9cm$$

مثال 3

يطلب حساب هبوط طبقة التربة الغضارية المشددة طبيعياً، الناتج عن حمولة شاقولية محورية قيمتها 600kN منقولة إلى التربة بواسطة أساس مربع طول ضلعه 1.5m وعمق تأسيسه 1m وذلك بتقسيم الطبقة الغضارية مكونة من طبقتين جزئيتين متجانستين.

ملاحظة: استخدم الطريقة المبسطة في حساب انتشار الاجهادات الناتجة عن الحمولة الخارجية في التربة



الحل

بتقسيم طبقة الغضار إلى طبقتين متجانستين يكون الاجهاد الشاقولي الأولي الفعال في منتصف كل طبقة :

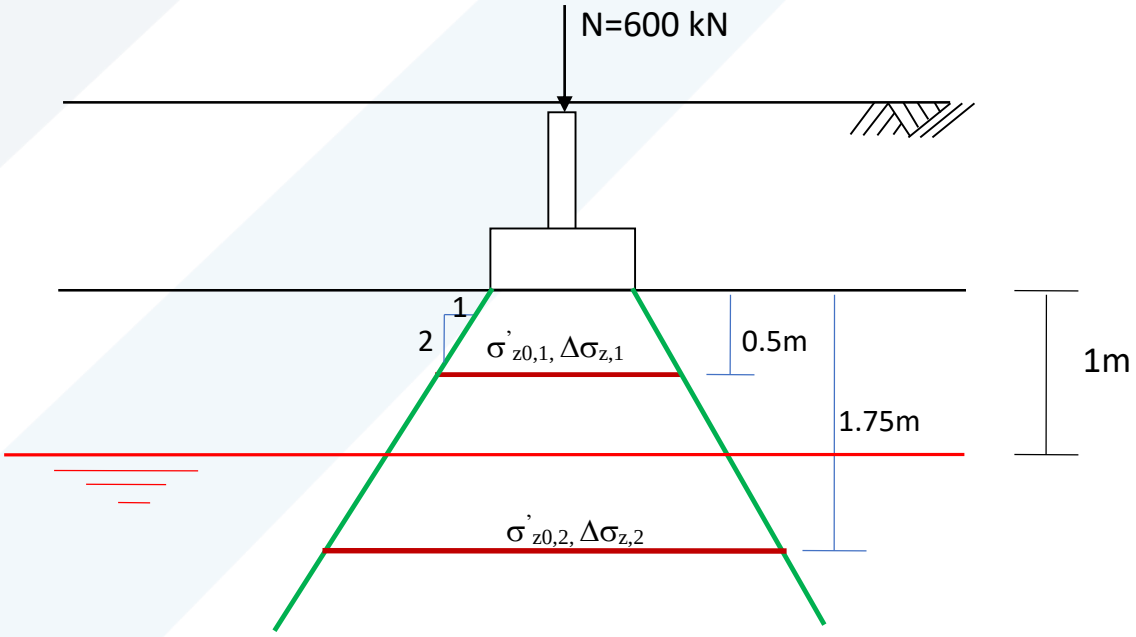
$$\sigma'_{z0,1} = 18*1 + 20*0.5 = 28\ kN/m^2$$

$$\sigma'_{z02} = 18*1 + 20*1 + 10*0.75 = 45.5\ kN/m^2$$

باستخدام طريقة 2:1 تكون الاجهادات الناتجة عن الأساس في منتصف الطبقتين السابقتين :

$$\Delta\sigma_{z,1} = \frac{600}{(1.5+0.5)^2} = 150\ kN/m^2$$

$$\Delta\sigma_{z,2} = \frac{600}{(1.5+1.75)^2} = 56.8\ kN/m^2$$



ويكون هبوط كل من الطبقتين :

$$S=\frac{C_c}{1+e_0}.h_i.\log\frac{\sigma'_{z0,i}+\Delta\sigma_{z,i}}{\sigma'_{z0,i}}$$

$$S_1=\frac{0.15}{1+0.75}*1*\log\frac{28+150}{28}=0.069m=6.9cm$$

$$S_2=\frac{0.15}{1+0.75}*1.5*\log\frac{45.5+56.8}{45.5}=0.045m=4.5cm$$

ويكون الهبوط الكلي :

$$S=S_1+S_2=6.9+4.5=11.4cm$$

مثال 4

نفس المثال 3 ولكن احسب توزع الاجهادات الناتجة عن حمولة الأساس بالطرق الدقيقة

حساب الاجهادات الناتجة عن حمولة الأساس :

تحسب الاجهادات تحت مركز حمولة مربعة محدودة المساحة كالتالي :

1- الاجهادات في منتصف الطبقة الأولى :

$$n=m=\frac{B}{z}=\frac{L}{z}=\frac{0.75}{0.5}=1.5\Rightarrow I_3=0.215,\ \Delta\sigma_z=4*0.215*\frac{600}{1.5^2}=229.3kN/m^2$$

2- الاجهادات في منتصف الطبقة الثانية :

$$n=m=\frac{B}{z}=\frac{L}{z}=\frac{0.75}{1.75}=0.429\Rightarrow I_3=0.0691,\ \Delta\sigma_z=4*0.0691*\frac{600}{1.5^2}=73.7kN/m^2$$

ويكون هبوط كل من الطبقتين :

$$S=\frac{C_c}{1+e_0}.h_i.\log\frac{\sigma'_{z0,i}+\Delta\sigma_{z,i}}{\sigma'_{z0,i}}$$

$$S_1=\frac{0.15}{1+0.75}*1*\log\frac{28+229.3}{28}=0.083m=8.3cm$$

$$S_2=\frac{0.15}{1+0.75}*1.5*\log\frac{45.5+73.7}{45.5}=0.054m=5.4cm$$

ويكون الهبوط الكلي :

$$S=S_1+S_2=8.3+5.4=13.7cm$$