تشوه وهبوط تربة التأسيس

2. 1 تعريف هبوط التربة:

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

2. 2 أسباب تشوه تربة التأسيس

- تحميل تربة التأسيس.
- تحميل المواقع القريبة من موقع المشروع
- تغير منسوب المياه الجوفية.
- إجراء حفريات بالقرب من موقع المشروع
- انخفاض رطوبة تربة التأسيس الغضارية (انكماش)
- تراص تربة التأسيس الرملية بسبب التأثيرات الديناميكية وغيرها.

2. 3 أنواع الهبوطات

أ- **الهبوط الكلي S** : يحسب للأساس المعرض لأسوأ حالة تحميل والمرتكز على التربة الأكثر انضغاطاً

ب- **الهبوط الوسطي S_m** : القيمة الوسطية للهبوط الكلي لمختلف أساسات المبنى:

$$S_m = \frac{S_1.A_1 + S_2.A_2 + \ldots + S_n.A_n}{A_1 + A_2 + \ldots + A_n}$$

كيفية حساب الهبوط الوسطي

- للأساسات المنفردة : 3 أساسات ترتكز على تربة طبقاتها متفاوتة القابلية للتشوه وتخضع لحمولات متفاوتة بشدتها .
- للأساس المستمر : 3 نقاط من الأساس بحيث يكون الهبوط فيها متفاوتة "
- للحصيرة العامة : لا يقل عن 3 نقاط من الحصيرة بحيث تكون الهبوطات فيها متفاوتة .

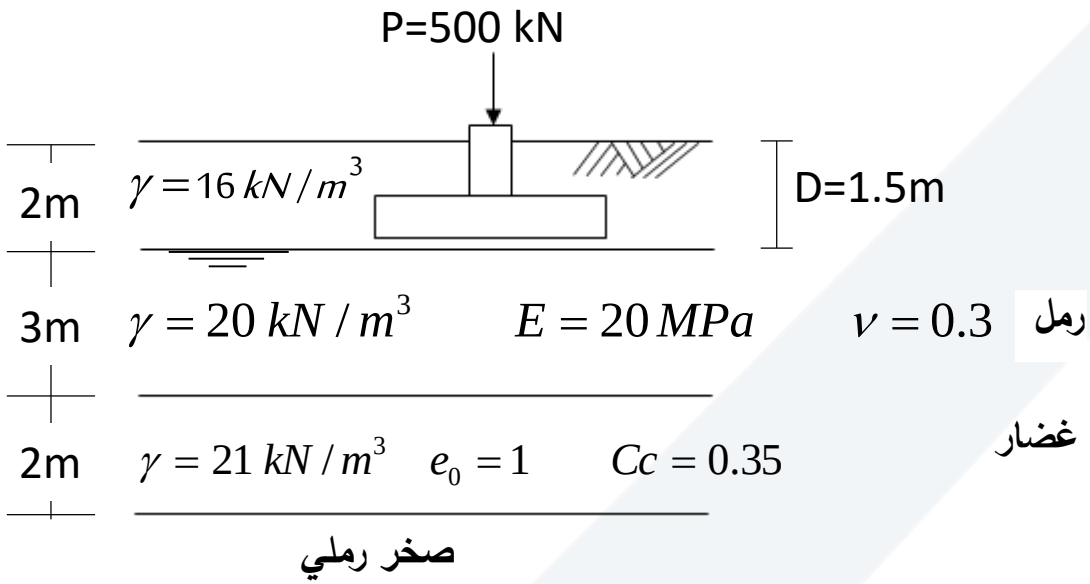
ج- **الهبوط المسموح S_{all}** :هو أكبر هبوط يسمح للأساس بالوصول إليه بحيث لا يؤثر على متانة المنشأة أو على شروط استثمارها.

ملاحظة : يجب أن يكون دوماً $S \leq S_{all}$

2. 4 المعلومات التي يتطلبها حساب الهبوط :

1- المقطع الجيوهندسي لموقع البناء (لعمق كاف حيث تتلاشى عنده الاجهادات الناتجة عن الأساس) يحدد عليه ما يلي :
- نوعية وسماكة كل طبقة
- منسوب المياه الجوفية
- بعض الخواص الميكانيكية والفيزيائية للتربة على كامل المنطقة المتأثرة بالهبوط
  - الوزن الحجمي
  - عامل المرونة (يونغ) E , عامل بواسون ν **(للترب المفككة)**
  - عامل المسامية e_0 وقرينة الانضغاط C_c (أو عامل الانضغاط a_v أو عامل الانضغاط الحجمي m_v) **(للغضار)**

2- شكل الأساس وأبعاده
3- عمق التأسيس
4- الحمولات المنقولة إلى الأساس



5 .2 مركبات الهبوط الكلي

$$S = S_i + S_c + S_s$$

Si الهبوط الفوري أو الهبوط المرن

Sc الهبوط الناتج عن التشديد الأولي للتربة, وينتج عن تبدد ضغط الماء المسامي من الترب ومعظم هذا الهبوط **لدن (متبقي)**

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 العضوية, يكون الهبوط الناتج عن التشديد الثانوي هو الأكثر أهمية.

2. 6 طرق حساب الهبوط

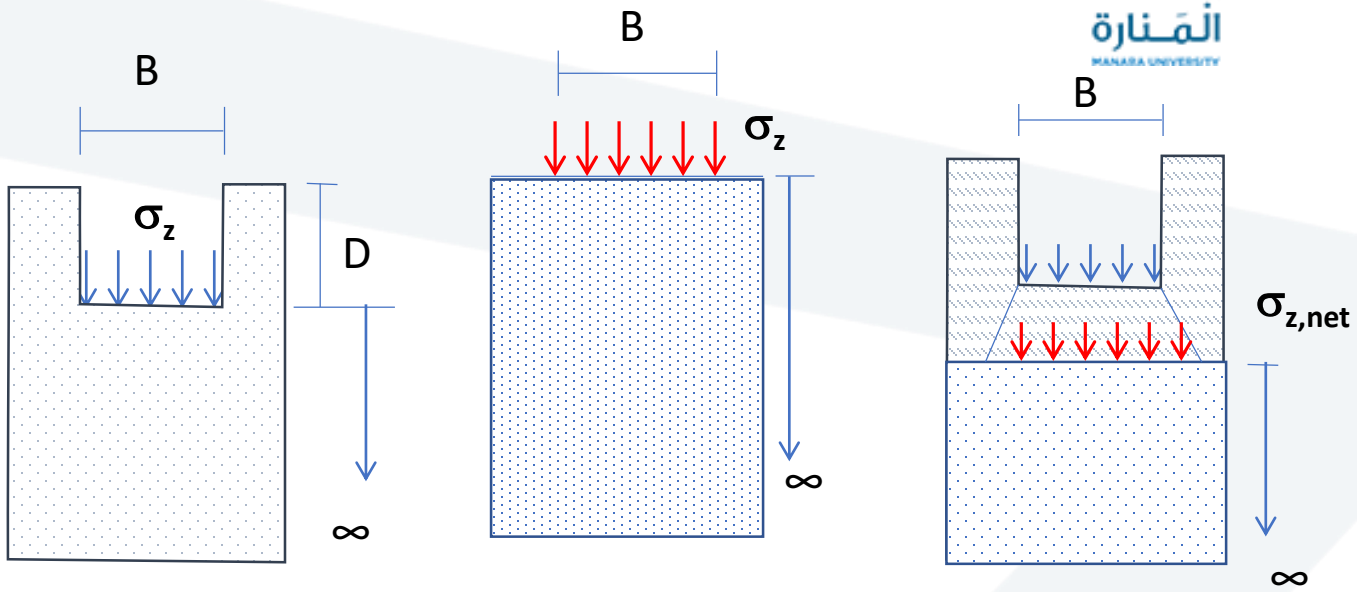
- اعتماداً على نظرية نصف الفراغ المرن
- اعتماداً على نتائج تجربة الأدومتر (التشديد)

ملاحظات :

1- طريقة نصف الفراغ المرن تعتبر أن **الهبوط مرن** (مسترد) ولذلك فهي تطبق لحساب هبوط **الترب المفككة والترب ذات التماسك المنخفض** (الهبوط آني)

2- الطرق الأخرى يمكن استخدامها لجميع أنواع الترب إذا حددت بارامترات الهبوط اعتماداً على تجربة الأودومتر(الهبوط ليس مرناً تماماً) أما إذا حددت ضمن مجال السلوك المرن فقط فيمكن استخدامها للترب المفككة فقط أما للترب المتماسكة فلا تستخدم إلا لمجال ضيق من الاجهادات يكون ضمنه السلوك مرن.

تعيين الهبوط اعتماداً على نظرية نصف الفراغ المرن



1- حالة سماكة طبقة التربة المنضغطة لا متناهية

$$S = \sigma'_{z,net} .B \frac{1-\nu^2}{E} I_w$$

$$\sigma'_{z,net} = \sigma_z - \gamma' .D$$

$\sigma'_{z,net}$ الاجهاد الإضافي الصافي الفعال على سطح طبقة التربة المنضغطة

σ_z الاجهاد الإضافي على سطح طبقة التربة الناتج عن الحمولات الخارجية فقط، وفي حال سطح طبقة التربة التي يحسب هبوطها لا يقع عند مستوي تطبيق الحمولات الخارجية فإنه يمكن حساب الاجهاد عند سطح طبقة التربة التي يحسب هبوطها باستخدام طرق الحساب الواردة في الفصل السابق

E عامل مرونة التربة

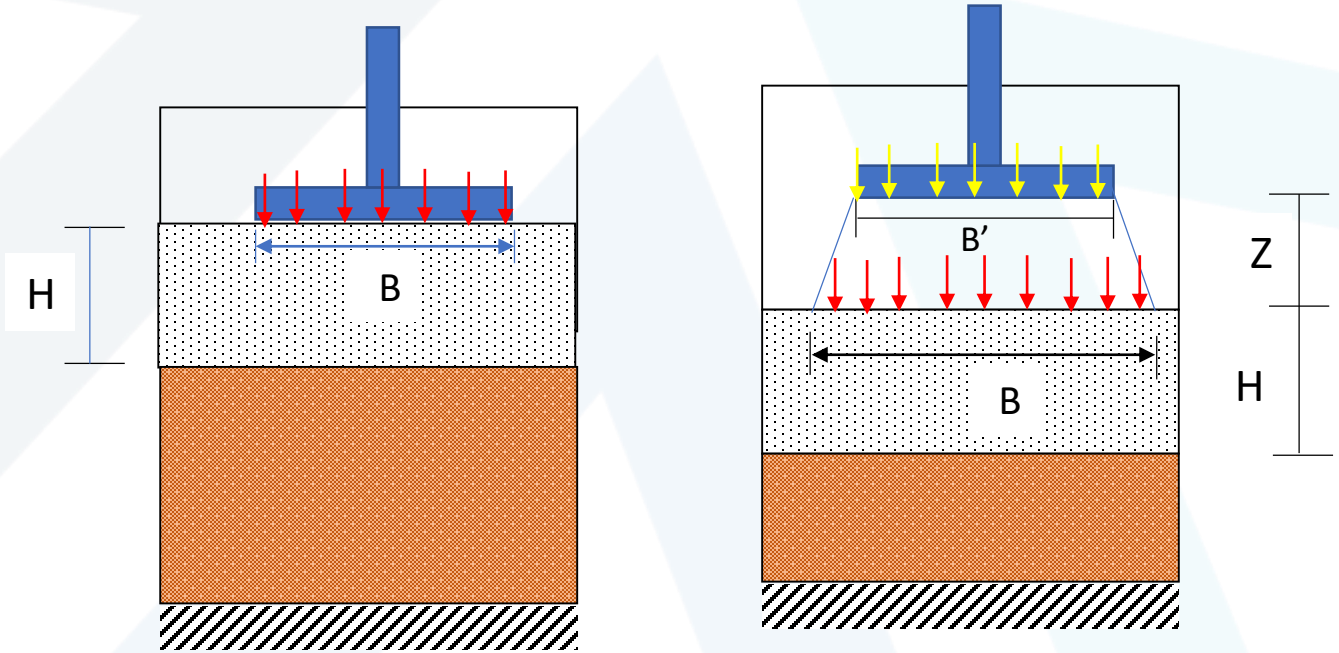
Iw عامل الشكل الذي يأخذ بعين الاعتبار شكل الأساس وأبعاده وصلابته وموقع النقطة تحت الأساس التي يحسب عندها الهبوط، ويعطى بالجدول التالي.

نسبة الطول إلى العرض	I_w لأجل نصف الفراغ			
	W_c(زاوية)	$W_{()}$(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**

قيم عامل الشكل Iw لحالة طبقة تربة لا متناهية السماكة

2- حالة الطبقة المنضغطة 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، تنخفض قيمة الهبوط عن القيم المحسوبة لحالة وسط التربة لا متناهي السماكة (الشكل)



يمكن حساب هبوط طبقة تربة محدودة السماكة اعتماداً على نظرية المرونة باستخدام نفس العلاقة المستخدمة لحالة طبقة تربة لا متناهية السماكة مع تعديل معامل الشكل Iw بحيث يأخذ بعين الاعتبار محدودية سماكة طبقة التربة:

	H/B				
نسبة الطول إلى العرض	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**

تحديد معامل مرونة للتربة (معامل يونغ)

- بواسطة التجارب المخبرية (اودومتر أو ضغط حر أو ثلاثي محاور)
- بواسطة التجارب الحقلية
- بواسطة الجداول

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

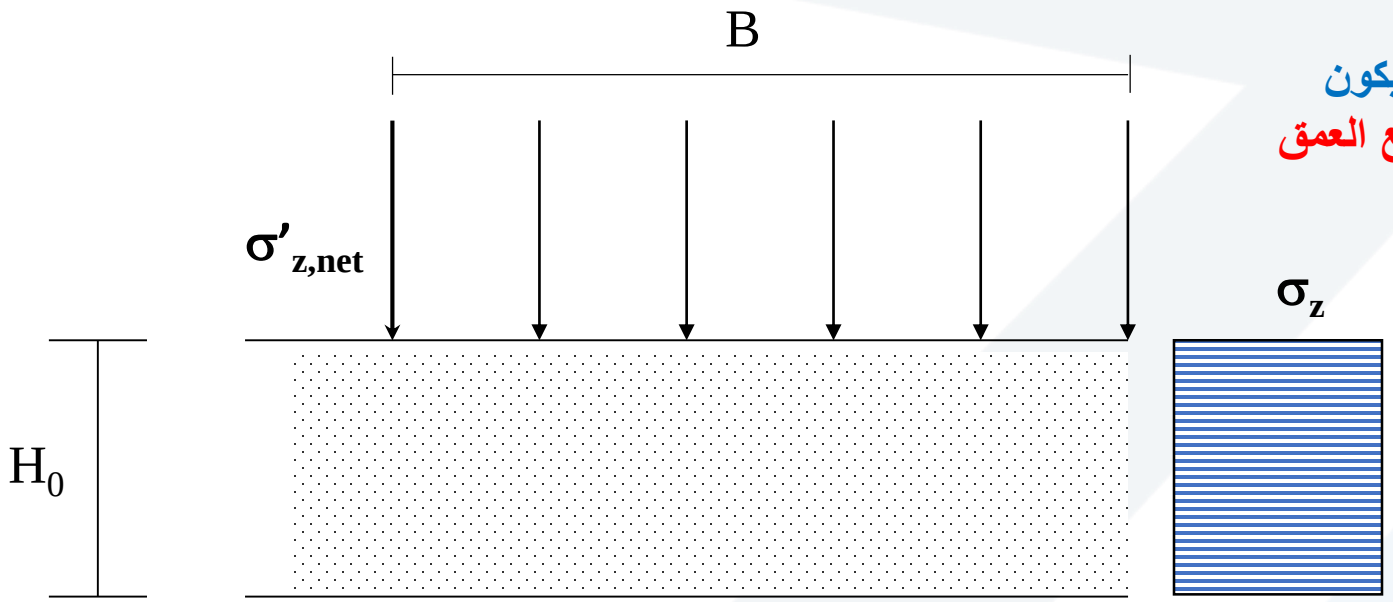
Nc – هي رقم الـ SPT المصحح للاجهاد = $Nc=C_N*N$ حيث $C_N=\left(\frac{100}{\sigma'_{zo}}\right)^{\frac{1}{2}} \leq 2$

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

- تعيين هبوط التربة اعتماداً على نتائج تجربة الأدومتر (أو التشديد)

ا- حالة الحمولة موزعة على مساحة كبيرة

الحمولة موزعة بانتظام وتمتد على مساحة كبيرة بحيث يكون H0<0.5 B
التشوه الجانبي مهمل والاجهاد الشاقولي الناتج عن الحمولة ثابت مع العمق



$$S = H_0 \cdot m_v \cdot \sigma'_{z,net} = \frac{H_0 \cdot \sigma'_{z,net}}{E_s}$$

$\sigma'_{z,net}$ الاجهاد الإضافي الصافي الفعال على سطح طبقة التربة المنضغطة

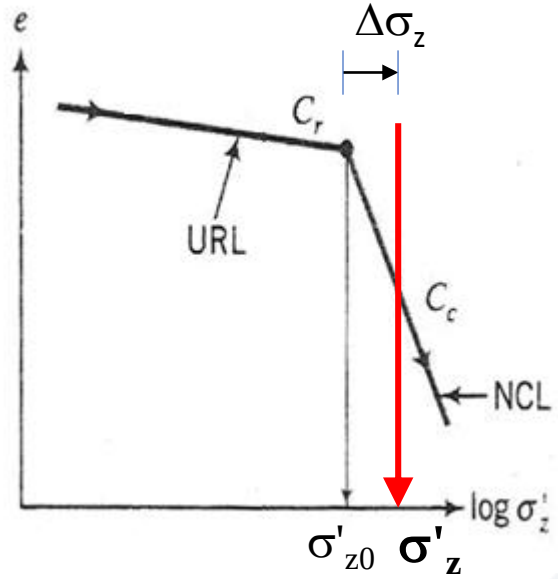
كما يمكن حساب هبوط طبقة التربة باستخدام قرينة الانضغاط Cc كما يلي :

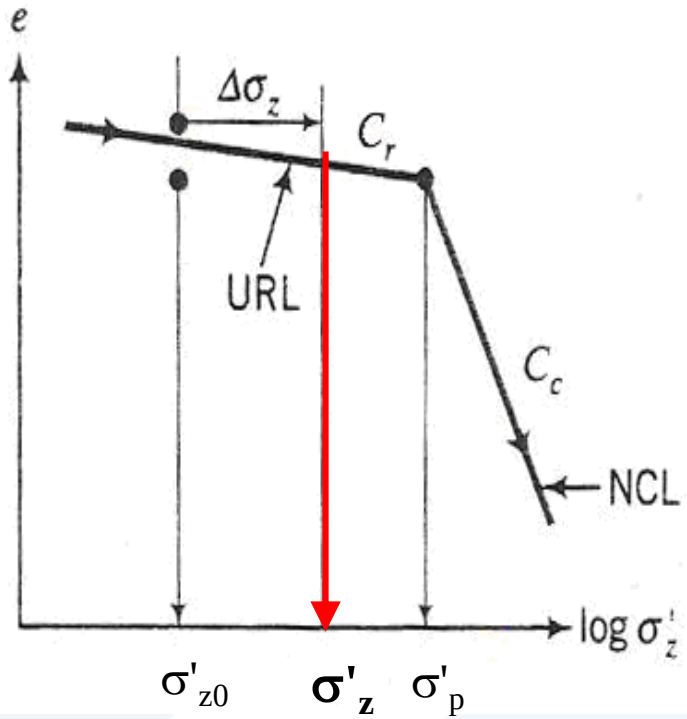
يتعلق هبوط التربة بذاكرتها الاجهادية (مشددة طبيعياً و مسبقة التشديد)

أ-حالة التربة المشددة طبيعياً

$$S = \frac{C_c}{1+e_0} H_0 \log \frac{\sigma'_z}{\sigma'_{z0}}$$

$$\sigma'_z = \sigma'_{z0} + \Delta\sigma_z$$





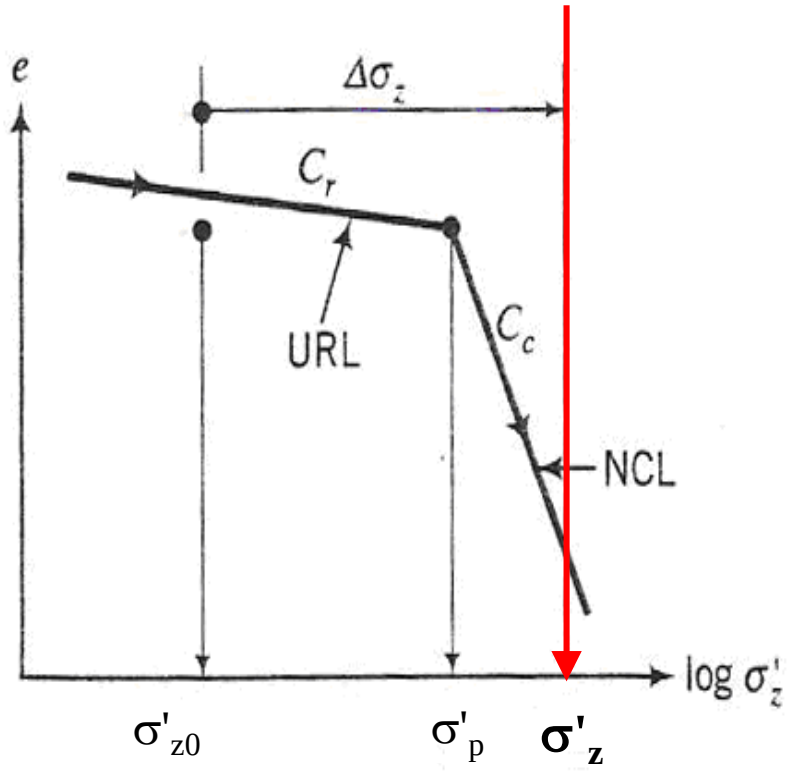
ب-حالة التربة مسبقة التشديد

إذا كانت التربة مسبقة التشديد و $\sigma'_z \le \sigma'_p$

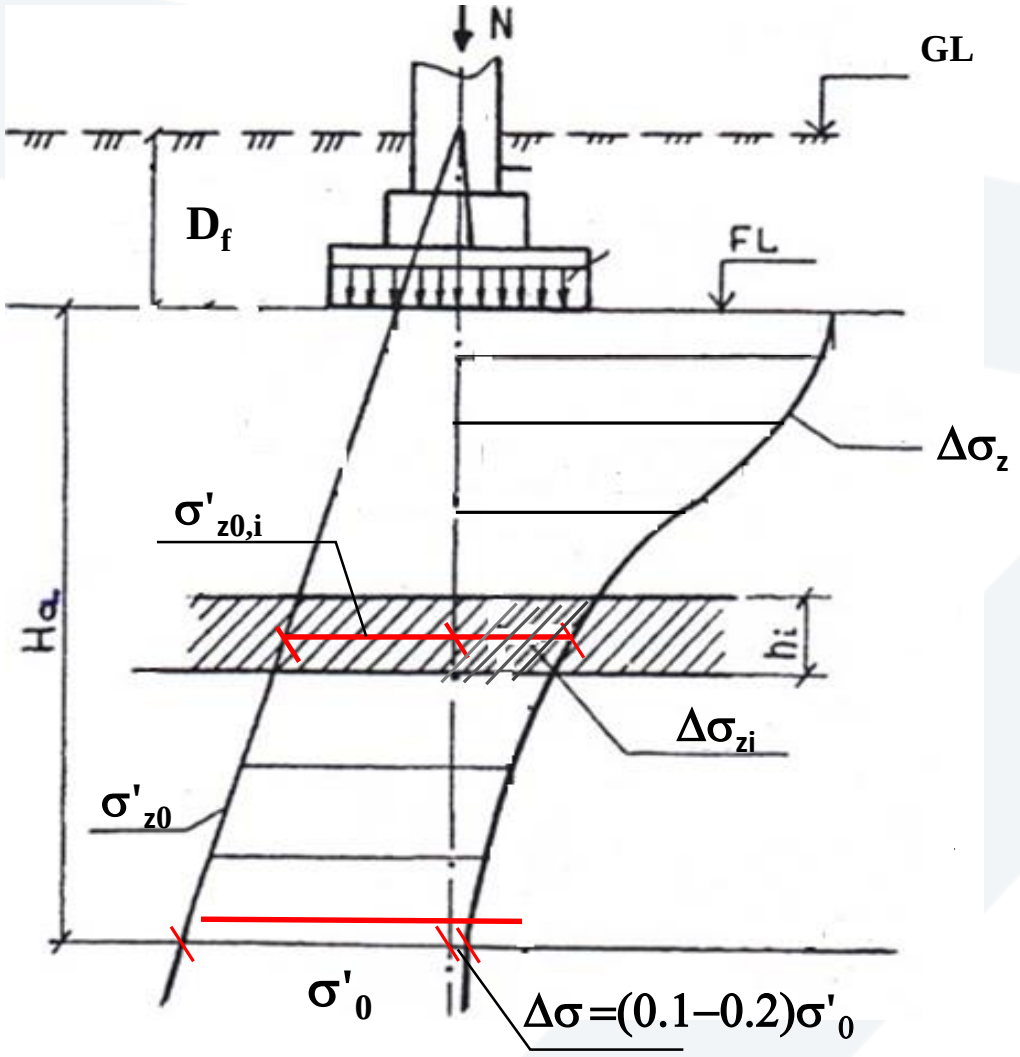
$$S_i = \frac{H_0}{1+e_0} C_r \log \frac{\sigma'_z}{\sigma'_{z0}}$$

إذا كانت التربة مسبقة التشديد و $\sigma'_z > \sigma'_p$

$$S = \frac{H_0}{1+e_0}\left(C_r \log\frac{\sigma'_p}{\sigma'_{z0}} + C_c \log\frac{\sigma'_z}{\sigma'_p}\right)$$



2- حالة الحمولة موزعة على مساحة محدودة



مراحل حساب هبوط طبقة تربة متماسكة موزعة على مساحة محدودة اعتماداً على نتائج تجربة الأودومتر

- رسم مخطط الإجهاد الشاقولي الناتج عن الوزن الذاتي للتربة σ'_{z_0} اعتباراً من سطح الأرض
- رسم مخطط الإجهاد الاضافي $\Delta\sigma_z$ اعتباراً من منسوب التأسيس وهذا الاجهاد ناتج عن الحمولات الخارجية
- تعيين حدود الطبقة المنضغطة Ha الموافقة للعمق الذي تصبح عنده الاجهات الناتجة عن الحمولات الخارجية مهملة

$$\Delta\sigma \leq (0.1\text{-}0.2)\sigma'_0$$

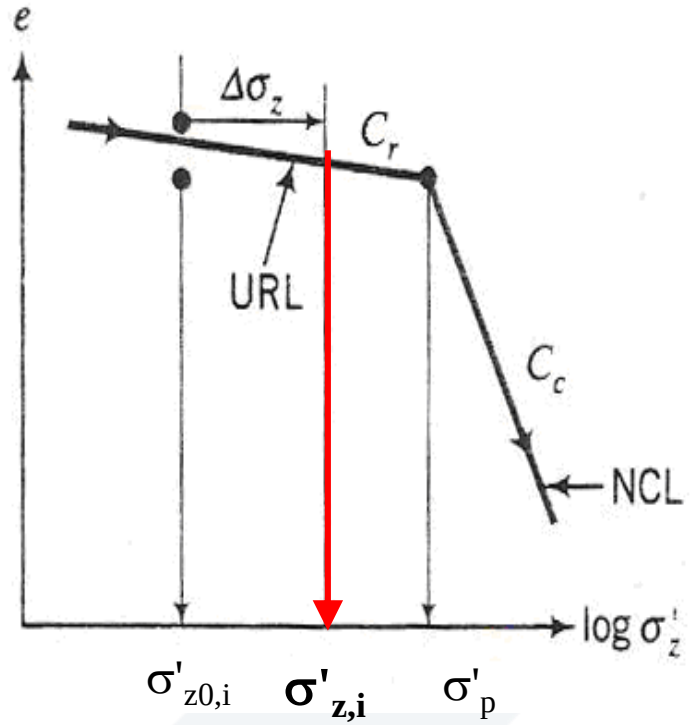
- تقسيم سماكة الطبقة المنضغطة Ha إلى مجموعة من **الطبقات المتجانسة** بحيث لا تتجاوز سماكة الطبقة الواحدة $(h_i=0.4B)$ للأساسات ذات الأبعاد الصغيرة نسبياً $(B\leq 4m)$، أما الأساسات ذات الأبعاد الكبيرة $(B>4m)$ فإن سماكة الطبقات تؤخذ مساوية لـ $(hi\leq 0.2B)$ حيث أن B- عرض الحمولة (الأساس).
- تعيين الهبوط لكل طبقة جزئية على حدة S_i
- يكون الهبوط الكلي مساوياً لمجموع هبوط الطبقات الجزئية $S=\Sigma S_i$

جَامعة المَنارة
MANARA UNIVERSITY

أ-حالة التربة المشددة طبيعياً

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

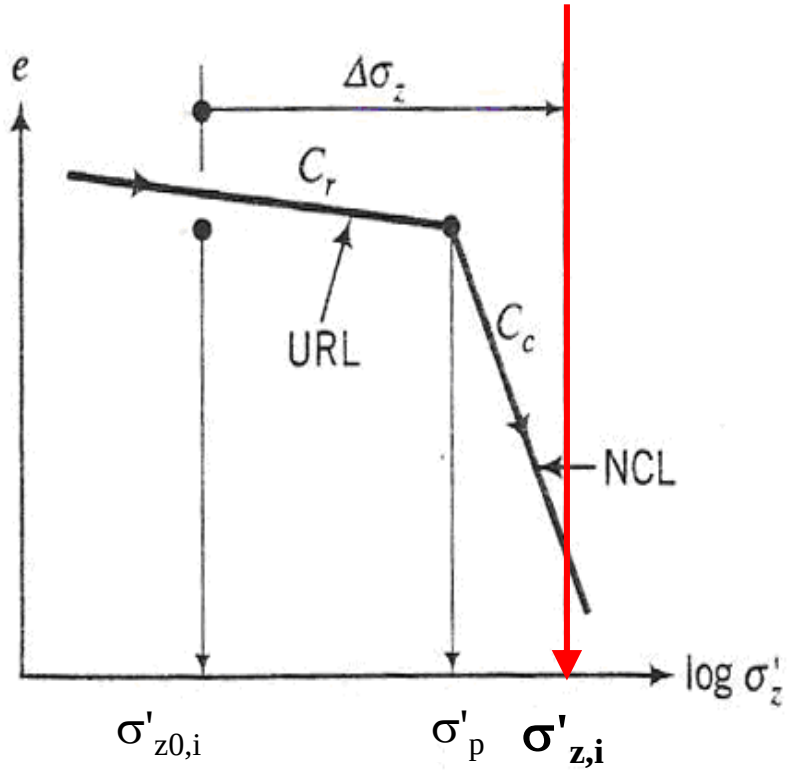
$$\sigma'_{z,i} = \sigma'_{z0,i} + \Delta\sigma_{z,i}$$



ب-حالة التربة مسبقة التشديد

- إذا كانت التربة مسبقة التشديد و $\sigma'_{z,i} \le \sigma'_p$

- إذا كانت التربة مسبقة التشديد و $\sigma'_{z,i} > \sigma'_p$



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

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

$$S = \sum_{i=1}^{n} S_i$$

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

$$S_i = h_i \cdot m_v \cdot \sigma'_{z,net,i}$$

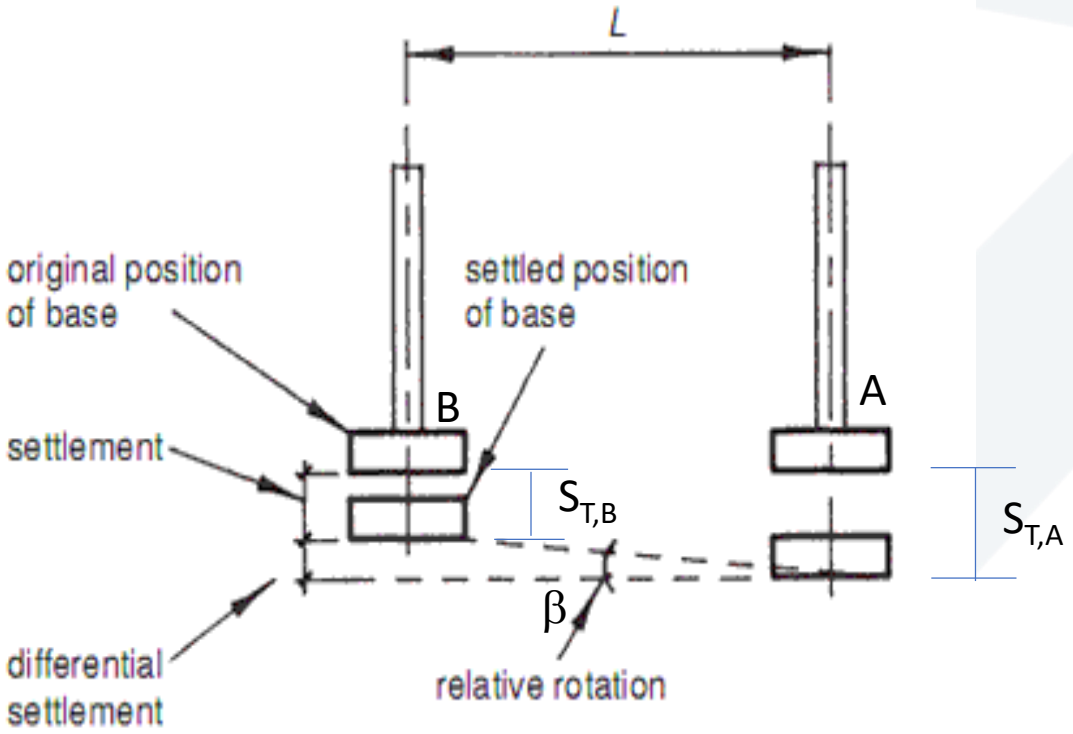
2. 7 الهبوط التفاضلي أو النسبي (Differential Settlement):

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

$$\Delta S = S_{T,A} - S_{T,B}$$

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

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



2. 8 الهبوط المسموح

- الهبوط الأعظمي المسموح

بحسب ملحق الكود العربي السوري فإن الهبوط الأعظمي المسموح

نوع الأساس	نوع التربة	أقصى هبوط (مم)
أساسات منفصلة	متماسكة (غضارية)	70
	غير متماسكة (رملية)	50
حصيرة	متماسكة	150
	غير متماسكة	100

وبحسب الكود العربي الموحد فإن الهبوط الأعظمي المسموح للأساسات السطحية على الترب الغضارية (100-150)ميليمتر وعلى الترب الرملية (70-100) ميليمتر

الهبوط التفاضلي المسموح

بحسب الكود العربي الموحد فإن فرق الهبوط الأعظمي المسموح للأساسات السطحية هو كالتالي :

- 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 والأبنية 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 :

$$\tan(\beta_{\max,all}) = \left(\frac{\Delta S}{L}\right)_{\max} = \frac{1}{300}$$

2. 9 حساب فرق الهبوط (Δ S)

- **الأساسات المنفردة :** يحسب بين الأساسين اللذين ينقلان أعظم وأدنى حمولة إلى التربة أو اللذين تكون طبقات التربة تحتهما أكثر تفاوتا من حيث القابلية للانضغاط
- **الأساس المستمر :** يحسب بين عدة نقاط من الأساس
- **الحصيرة :** يحسب بين مركز الحصيرة وزاويتها