به نام آنکه جان را فکرت آموخت

دانشگاه مازندران
دانشکده فنی و مهندسی- گروه عمران-گرایش مکانیک
خاک وپی

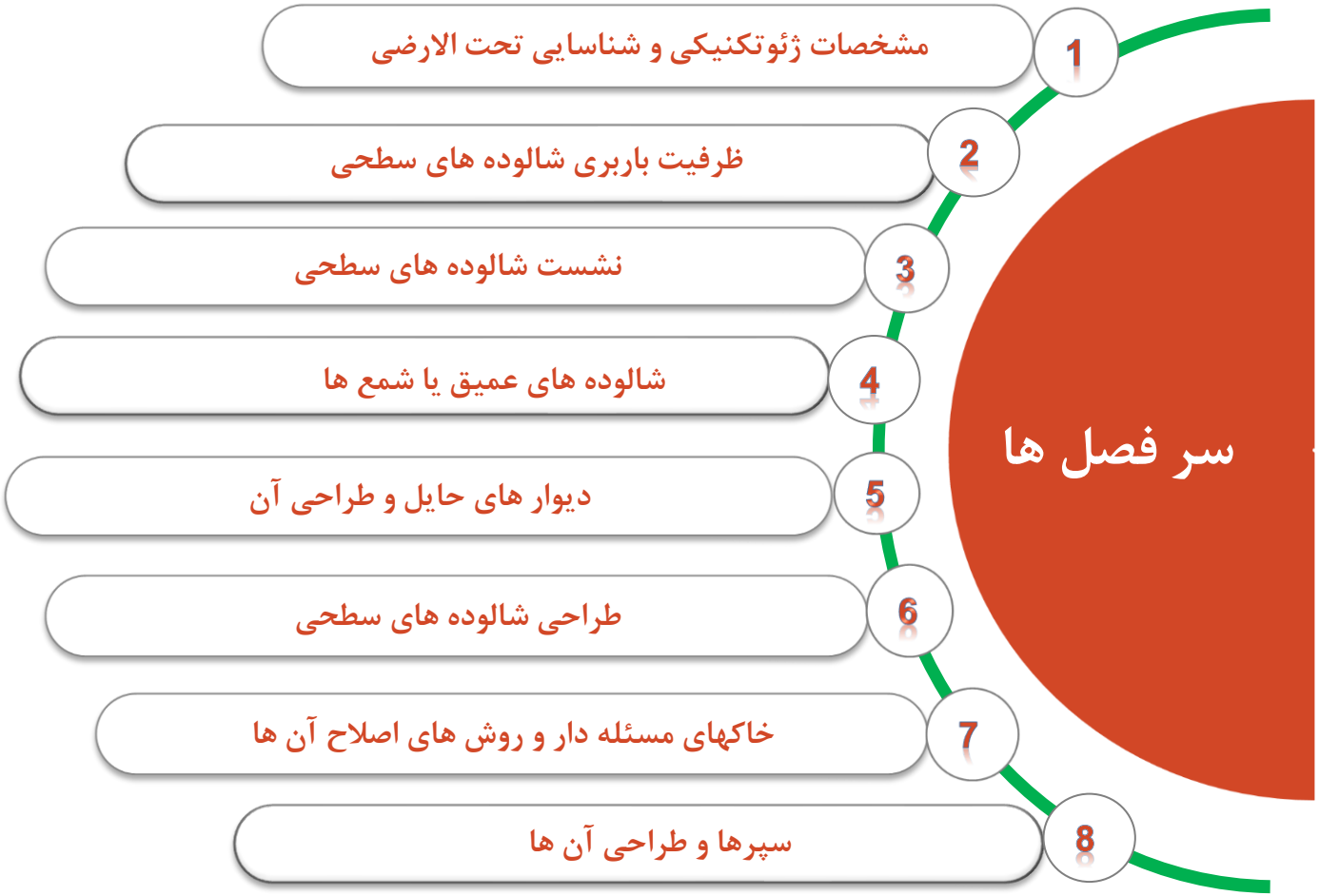
موضوع درس:

مهندسی پی (Foundation Engineering)

مدرس: علی عسگری (Ali Asgari)

نیمسال دوم تحصیلی ۰۱-۱۴۰۰

مهندسی پی (Foundation Engineering)



نشست شالوده سطحی

مقدمه و نشست آنی

بطور کلی نشست خاک بر دو نوع است : ۱- نشست الاستیک یا کشسانی ۲- نشست تحکیم (تحکیم اولیه و ثانویه

$$S = S_e + S_c = S_e + S_{cp} + S_{cs}$$

نشست آنی: نشست ناشی از سربار در زمان بسیار کوتاه که معمولا با استفاده از روابط الاستیک تعیین می شود را نشست آنی می گویند(زمان کوتاه حدودا ۱۰ روز است). در اینجا روابط به نشست چند حالت خاصی از شالوده محدود پرداخته می شود.

حالت اول:

الف) نشست در گوشه شالوده انعطاف پذیر مستطیلی شکل

$$(S_e)_e = \frac{Bq_0}{E_s}(1-\upsilon^2)\frac{\alpha}{2}$$

ب) نشست در مرکز شالوده انعطاف پذیر مستطیلی شکل

$$(S_e)_c = \frac{Bq_0}{E_s}(1-\upsilon^2)\alpha$$

$$\alpha = \frac{1}{\pi}\left\{\ln\left(\frac{\sqrt{1+m^2}+m}{\sqrt{1+m^2}-m}\right)+m\ln\left(\frac{\sqrt{1+m^2}+1}{\sqrt{1+m^2}-1}\right)\right\},\ m=\frac{B}{L}$$

مشخصات ژئوتکنیکی...
شالوده های سطحی
نشست شالوده سطحی
شمع ها
دیوار های حایل و طراحی
طراحی شالوده های سطحی
خاکهای مسئله دار
سپرها و طراحی آن

نشست شالوده سطحی

مقدمه و نشست آنی

حالت دوم:

الف) نشست در گوشه شالوده انعطاف پذیر دایره ای شکل

$$(S_e)_e = 0.64\frac{q_0 D}{E_s}(1-\upsilon^2)$$

ب) نشست در مرکز شالوده انعطاف پذیر دایره ای شکل

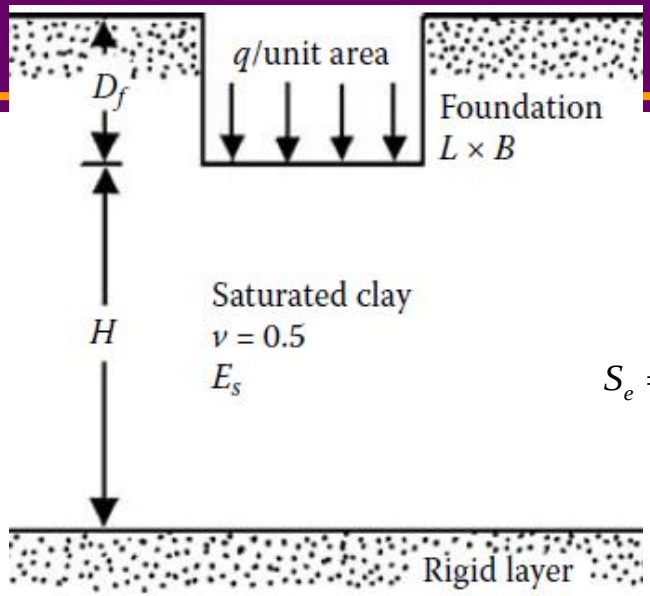
$$(S_e)_c = \frac{q_0 D}{E_s}(1-\upsilon^2)$$

نکته: نشست در طول و عرض چه در مرکز و چه در گوشه شالوه صلب همواره یکسان است.

محدودیت ها: عمق مدفون صفر فرض شده است و همچنین ارتفاع خاک بی نهایت(نامحدود) در نظر گرفته شد.

مشخصات ژئوتکنیکی...
شالوده های سطحی
نشست شالوده سطحی
شمع ها
دیوار های حایل و طراحی
طراحی شالوده های سطحی
خاکهای مسئله دار
سپرها و طراحی آن

نشست شالوده سطحی



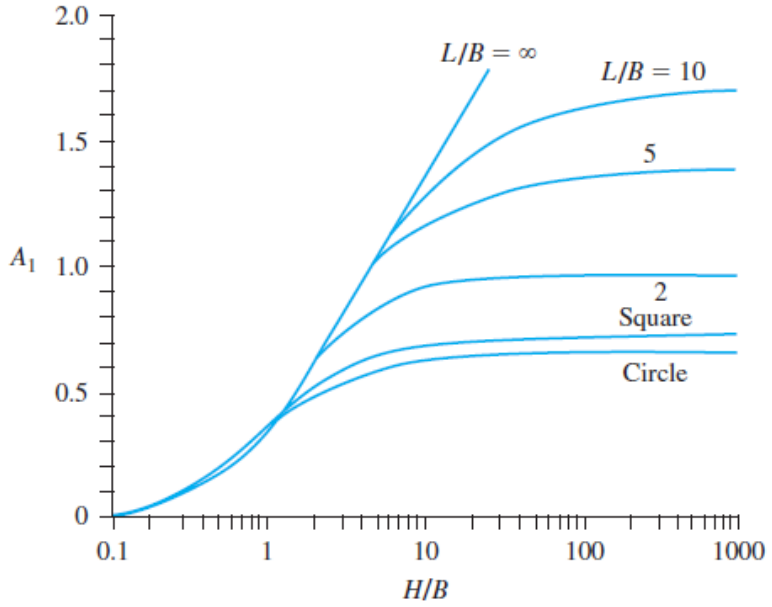
نشست آنی شالوده سطحی بر روی رس اشباع:

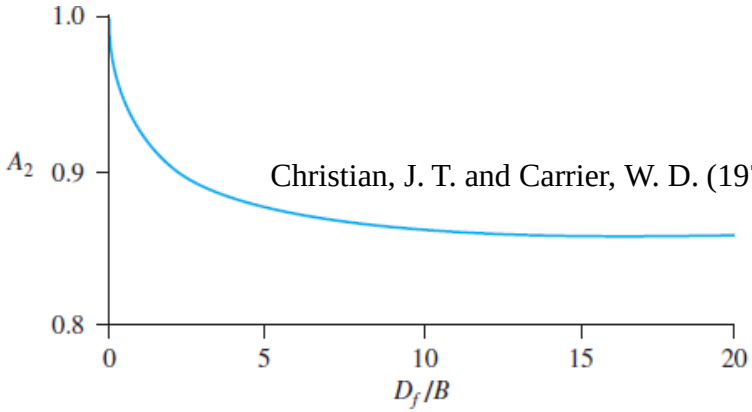
این روش توسط جانبو، بیروم و ژرنسلی (1956) برای خاک رس اشباع و با ضریب پواسون ۰.۵ پیشنهاد شد. در این روش اثر ارتفاع خاک و عمق مدفون دیده شده است.

$$S_e = A_1 A_2 \frac{q_0 B}{E_s}$$

$$A_1 = f\left(H/B,\ L/B\right), \qquad E_s = \beta c_u,\ \beta = f\left(\text{PI},\ \text{OCR}\right),$$

$$A_2 = f\left(D_f/B\right)$$





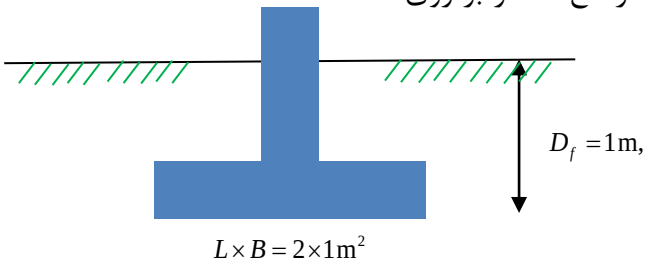
Christian, J. T. and Carrier, W. D. (1978).

Plasticity Index	β OCR = 1	OCR = 2	OCR = 3	OCR = 4	OCR = 5
<30	1500–600	1380–500	1200–580	950–380	730–300
30 to 50	600–300	550–270	580–220	380–180	300–150
>50	300–150	270–120	220–100	180–90	150–75

[a]Based on Duncan and Buchignani (1976)

نشست شالوده سطحی

مثالیک شالوده مستطیلی به ابعاد ۲ در ۱متر مربع را بر روی خاک رس اشباع در نظر بگیرید. خاک رس با ارتفاع ۸ متر بر روی سنگ بستر قرار دارد. به ضلع ۲ متر نشان داده شده است.



داده ها: $q_0 = 120\ \text{kN/m}^2,\ c_u = 150\,\text{kN/m}^2,\ \text{OCR} = 2,\ \ \text{PI} = 35$

نشست الاستیک شالوده را تخمین بزنید؟

$$S_e = A_1 A_2 \frac{q_0 B}{E_s} \qquad A_1 = f\left(H/B,\ L/B\right), \qquad E_s = \beta c_u,\ \beta = f\left(\text{PI},\ \text{OCR}\right),$$
$$A_2 = f\left(D_f/B\right)$$

حل:

$$\frac{H}{B} = 8,\ \frac{L}{B} = 2 \quad \Rightarrow \quad A_1 = 0.9$$

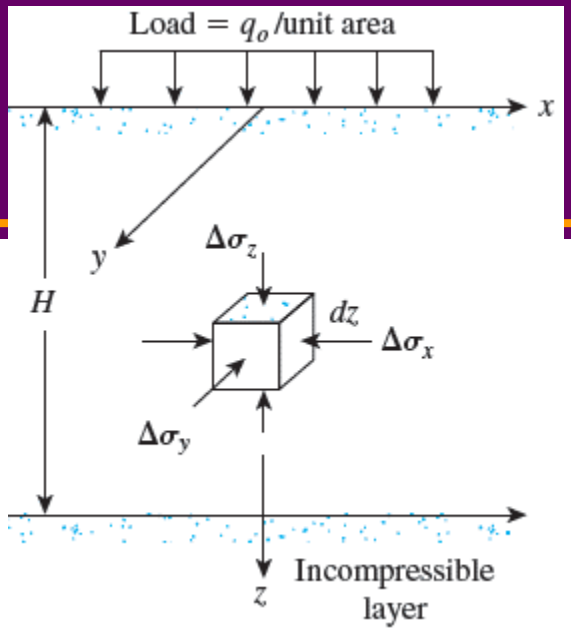
$$\frac{D_f}{B} = 1 \ \Rightarrow \quad A_2 = 0.92$$

$$E_s = \beta c_u,\ \beta = f\left(\text{PI},\ \text{OCR}\right),$$

$$\text{OCR} = 2,\ \ \text{PI} = 35 \ \Rightarrow \ \beta \approx 480 \qquad E_s = \beta c_u = 480 \times 150 = 72000\,\text{kN/m}^2$$

$$S_e = A_1 A_2 \frac{q_0 B}{E_s} = 0.9 \times 0.92 \times \frac{120 \times 1}{72000} = 0.00138\,\text{m} = 1.38\,\text{mm}$$

نشست شالوده سطحی



نشست آنی شالوده سطحی بر روی خاک دانه ای:

به کمک ئوری الاستیسیته و قانون ساختاری هوک می توان نشست را از رابطه زیر تعیین کرد:

$$S_e = \int_0^H \varepsilon_z dz = \int_0^H \frac{1}{E_s}\left(\Delta\sigma_z - \nu\Delta\sigma_x - \nu\Delta\sigma_y\right)dz$$

به کمک معادله حاصل از ئوری الاستیسیته نشست زیر یک شالوده انعطاف پذیر از رابطه زیر تعیین می شود(روش تیموشینکو و گودی یر):

$$S_e = \frac{q_0 B'}{E_s}\left(1-\upsilon^2\right) m I_s I_f$$

$$I_f = f\left(D_f/B, \upsilon, L/B\right), \qquad I_s = I_1 + \frac{1-2\upsilon}{1-\upsilon} I_2,$$

$$I_1 = \frac{1}{\pi}\left[M \ln \frac{\left(1+\sqrt{M^2+1}\right)\sqrt{M^2+N^2}}{M\left(1+\sqrt{M^2+N^2+1}\right)} + \ln \frac{\left(M+\sqrt{M^2+1}\right)\sqrt{1+N^2}}{M+\sqrt{M^2+N^2+1}}\right]$$

$$I_2 = \frac{N}{2\pi}\tan^{-1}\left\{\frac{M}{N\sqrt{M^2+N^2+1}}\right\}$$

$$M = \frac{L'}{B'}, \quad N = \frac{H}{B'}, \qquad \begin{cases} B' = B, \ L' = L \\ B' = B/2, \ L' = L/2 \end{cases}$$

برای گوشه در مرکز شالوده

I_s: ضریب شکل

I_f : ضریب عمق

υ: ضریب پواسون

m: تعداد گوشه های سهیم در نشست، بطور مثال برای محاسبه نشست در مرکز شالوده $m = 4$ و برای لبه $m = 2$ و برای گوشه $m = 1$ است.

نکته: نشست شالوده صلب برابر است با ۰.۹۳ برابر نشست در مرکز شالوده انعطاف پذیر:

$$S_{e(\text{rigid})} = 0.93 S_{e(\text{flexible, center})}$$

Table 7.4 Variation of I_f with D_f/B, B/L, and μ_s

		B/L		
μ_s	D_f/B	0.2	0.5	1.0
0.3	0.2	0.95	0.93	0.90
	0.4	0.90	0.86	0.81
	0.6	0.85	0.80	0.74
	1.0	0.78	0.71	0.65
0.4	0.2	0.97	0.96	0.93
	0.4	0.93	0.89	0.85
	0.6	0.89	0.84	0.78
	1.0	0.82	0.75	0.69
0.5	0.2	0.99	0.98	0.96
	0.4	0.95	0.93	0.89
	0.6	0.92	0.87	0.82
	1.0	0.85	0.79	0.72

نشست شالوده سطحی

نشست آنی شالوده سطحی بر روی خاک دانه ای:

روش گام به گام محاسبه نشست شالوده بر روی خاک دانه ای:

۱- تخمین فشار تماسی q_0

۲- در صورت دایره ای بودن شالوده با فرمول مقابل آنرا تبدیل به پی مربعی معادل در می آوریم: $B = r\sqrt{\pi}$

۳- برای محاسبه نشست در نقطه مورد نظر، شالوده را طوری به مستطیل هایی تقسیم می کنیم که آن نقطه در گوشه های مشترک مستطیل باشد.

۴- عمق H برابر با کمینه مقدار فاصله کف شالوده تا سنگ یا چینه سخت و پنج برابر عرض شالوده است. لازم به ذکر است چینه ی سخت یعنی مدول الاستیسیته آن خاک در عمق حدودا ۱۰ برابر مدول الاستیسیته لیه فوقانی شود.

۵- میانگین وزنی مدول الاستیسیته خاک را در صورت لایه ای بودن خاک از رابطه مقابل تعیین کنید: $E_s = \dfrac{H_1E_{s1} + H_2E_{s2} + \ldots + H_nE_{sn}}{H}$

۶- مقادیر ضرایب شکل و عمق را از روابط و جدول اسلاید قبل تعیین کنید.

۷- با استفاده از رابطه نشست الاستیک آنرا محاسبه نمایید: $S_e = \dfrac{q_0 B'}{E_s}\left(1-\upsilon^2\right) m I_s I_f$

مثال: میزان نشست پی گسترده Saving Bank Building به ابعاد ۳۳.۵ در ۳۹.۵ متر مربع و عمق مدفون ۳ متر را که توسط Kay و همکارش ارائه شده است با استفاده از روش گام به گام فوق تعیین کنید:

داده ها: خاک رسی با رگ های ماسه ای است و در عمق ۱۴ متری از سطح زمین به ماسه سنگ برخورد می کند. ضمنا نشست اندازه گیری شده برابر با ۱۸ میلیمتر است.

$$q_0 = 134\ \text{kN/m}^2,\ \upsilon = 0.35,\ D_f = 3\text{m},\quad E_s = \begin{cases} 42.5\,\text{MPa} & 3 \le z \le 6 \\ 60\,\text{MPa} & 6 < z \le 14 \\ 500\,\text{MPa} & 14 < z \end{cases}$$

حل:

$$H = 14-3 = 11\text{m},\quad E_s = \frac{3\times 42.5 + 8\times 60}{11} = 55\,\text{MPa}$$

$$B'(\text{for center}) = \frac{33.5}{2} = 16.75\,m,\quad \frac{H}{B'} = \frac{11}{16.75} = 0.66 \approx 0.7 \quad \Rightarrow \quad I_1 = 0.0815,\ I_2 = 0.086$$

$$I_s = I_1 + \frac{1-2\upsilon}{1-\upsilon} I_2 = 0.121, \qquad \frac{D_f}{B} = \frac{3}{33.5} = 0.09 \Rightarrow I_f = 0.95,$$

$$S_e = \frac{q_0 B'}{E_s}\left(1-\upsilon^2\right) m I_s I_f = \frac{134(16.75)}{55}\left(1-(0.35)^2\right) 4\times 0.121\times 0.95\times 1000 = 16.5\,\text{mm}$$

نشست شالوده سطحی

نشست آنی شالوده سطحی بر روی خاک دانه ای به روش ضریب تاثیر کرنش(Schmertmann et al. (1978:

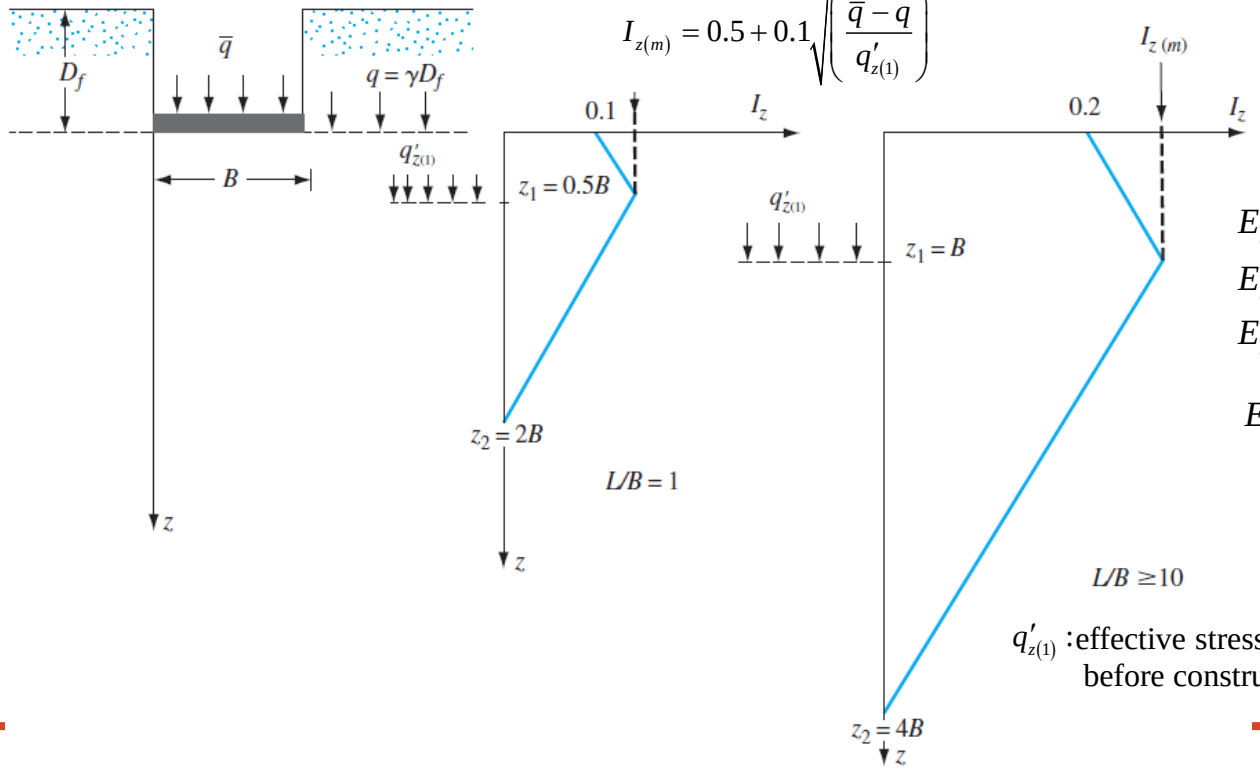
$$S_e = C_1 C_2 (\bar{q} - q) \sum_0^{z_2} \frac{I_z}{E_s} \Delta z$$

$$q = \gamma D_f, \qquad C_1 = 1 - 0.5\left[q/(\bar{q} - q)\right]$$

$$C_2 = 1 + 0.2 \log\left\{\frac{time\ in\ year}{0.1}\right\}$$

در این روش می توان نشست را از رابطه روبرو تعیین کرد:
که در آن C_1 و C_2 به ترتیب ضریب اصلاح عمق و ضریب خزش است.
q : تنش موثر در تراز شالوده
E_s :مدول الاستیسیته خاک
I_z :ضریب تاثیر کرنش که از دیاگرام زیر تعیین می شود و برای مقادیر شالوده نواری و مربعی داده شده است و برای مقادیر $1 < L/B < 10$ از درونیابی استفاده شود

$$I_{z(m)} = 0.5 + 0.1\sqrt{\left(\frac{\bar{q} - q}{q'_{z(1)}}\right)}$$



$$E_s = 766 N_{60}\ (\text{kPa})$$

$$E_s = 2.5 q_c \quad \text{for square foundation}$$

$$E_s = 3.5 q_c \quad \text{for strip foundation}$$

$$E_{S(\text{rectangle})} = \left(1 + 0.4 \log\left(\frac{L}{B}\right)\right) E_{S(\text{square})}$$

$q'_{z(1)}$:effective stress at a depth of z_1 before construction of the foundation

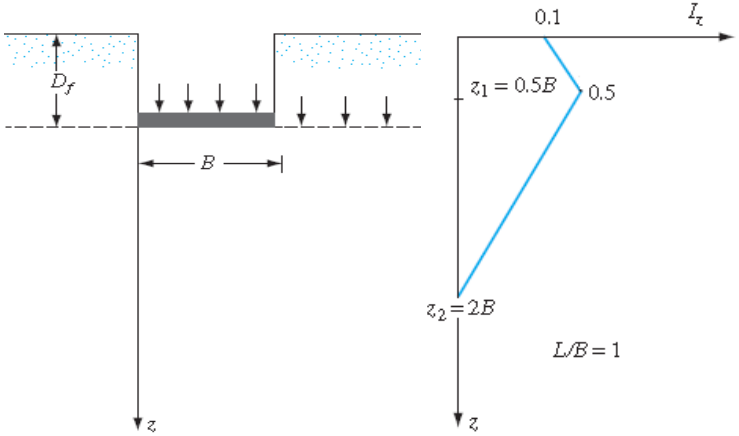
نشست شالوده سطحی

نشست آنی شالوده سطحی بر روی خاک دانه ای به روش ضریب تاثیر کرنش(Schmertmann et al. (1978:

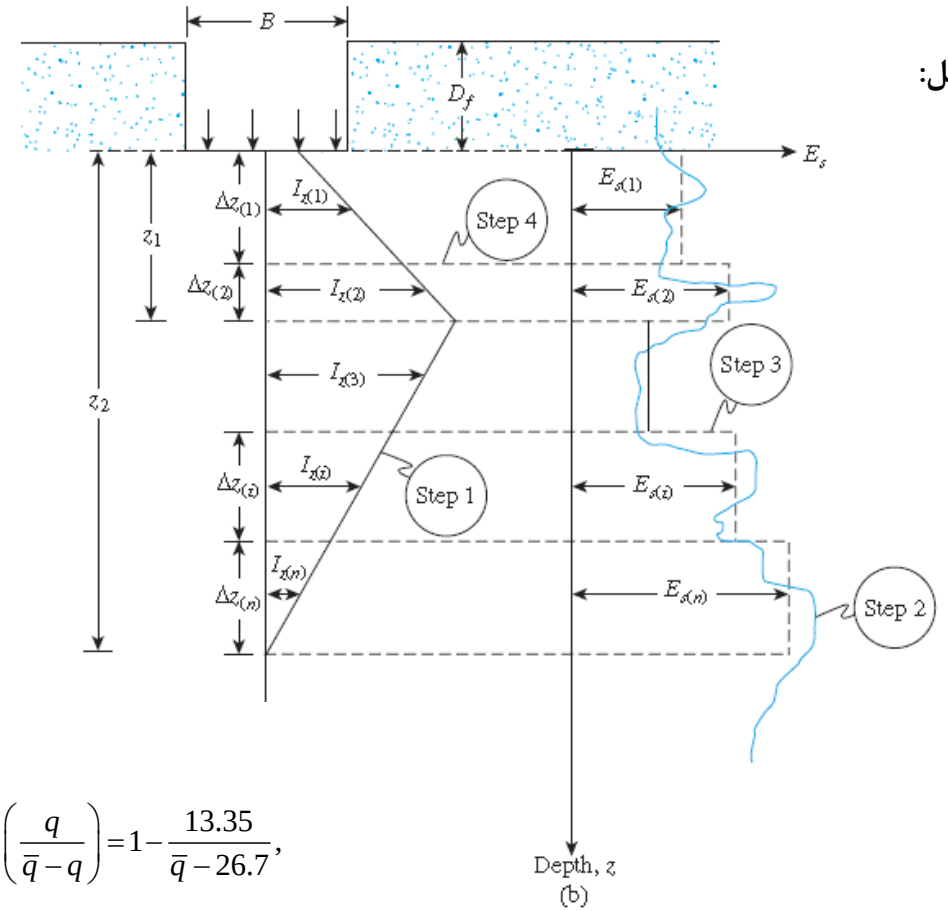
مثال: اگر نشست الاستیک مجاز ماسه در مدت پنج سال برابر با ۲.۵ سانتی‌متر باشد آنگاه ظرفیت باربری مجاز شالوده مربعی به ابعاد $3 \times 3\ \mathrm{m}^2$ چقدر است؟ (از روش اشمرتمن و هارتمن استفاده کنید).

$$\gamma = 17.8\,\mathrm{kN/m^3}, D_f = 1.5\,m,$$

حل:



عمق به متر	عدد نفوذ استاندارد
0-1	10
1-1.5	13
1.5-4	14
4-6	20
6-12	24



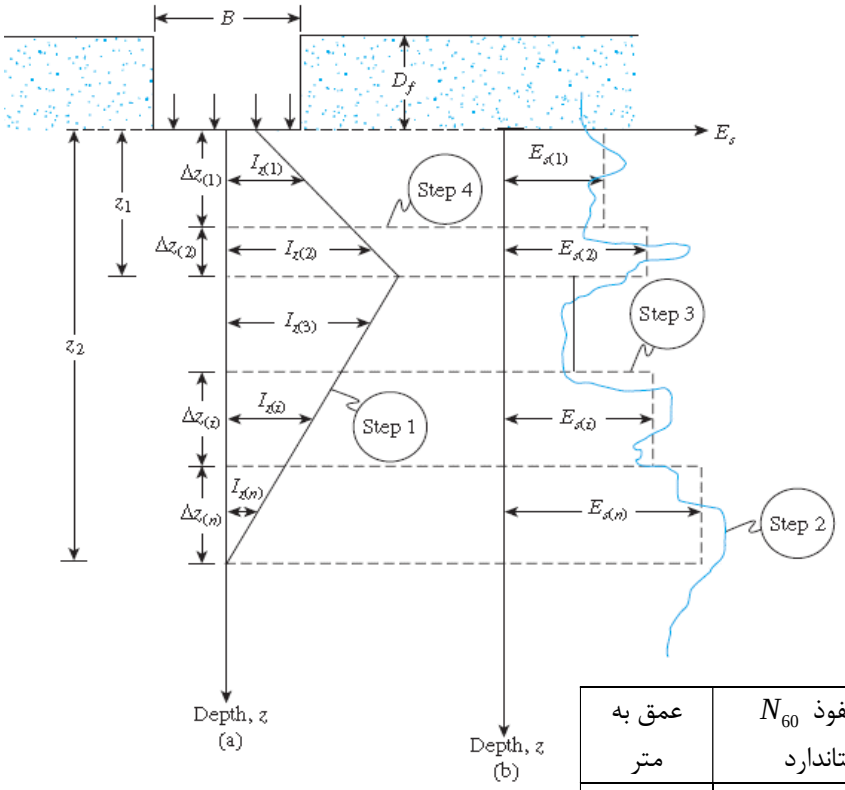
$$S_e = C_1 C_2 (\bar{q} - q) \sum_{i=1}^{z_i} \frac{\bar{I}_{zi}}{E_{si}} \Delta z_i$$

$$q = \gamma D_f = 17.8 \times 1.5 = 26.7\,\mathrm{kPa}, \qquad C_1 = 1 - 0.5\left(\frac{q}{\bar{q} - q}\right) = 1 - \frac{13.35}{\bar{q} - 26.7},$$

$$C_2 = 1 + 0.2 \log \frac{t\ (\mathrm{year})}{0.1} = 1 + 0.2 \log \frac{5}{0.1} = 1.34$$

نشست شالوده سطحی

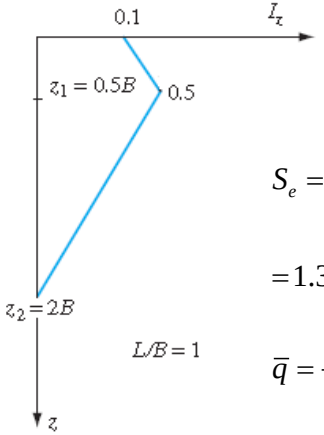
نشست آنی شالوده سطحی بر روی خاک دانه ای به روش ضریب تاثیر کرنش(Schmertmann et al. (1978:



مثال: اگر نشست الاستیک مجاز ماسه در مدت پنج سال برابر با ۲.۵ سانتی‌متر باشد آنگاه ظرفیت باربری مجاز شالوده مربعی به ابعاد $3 \times 3\ \mathrm{m}^2$ چقدر است؟ (از روش اشمرتمن و هارتمن استفاده کنید).

$$\gamma = 17.8\,\mathrm{kN/m^3}, D_f = 1.5m,$$

حل:



$$S_e = C_1 C_2 (\bar{q} - q) \sum_{i=1}^{z_i} \frac{\bar{I}_{zi}}{E_{si}} \Delta z_i$$

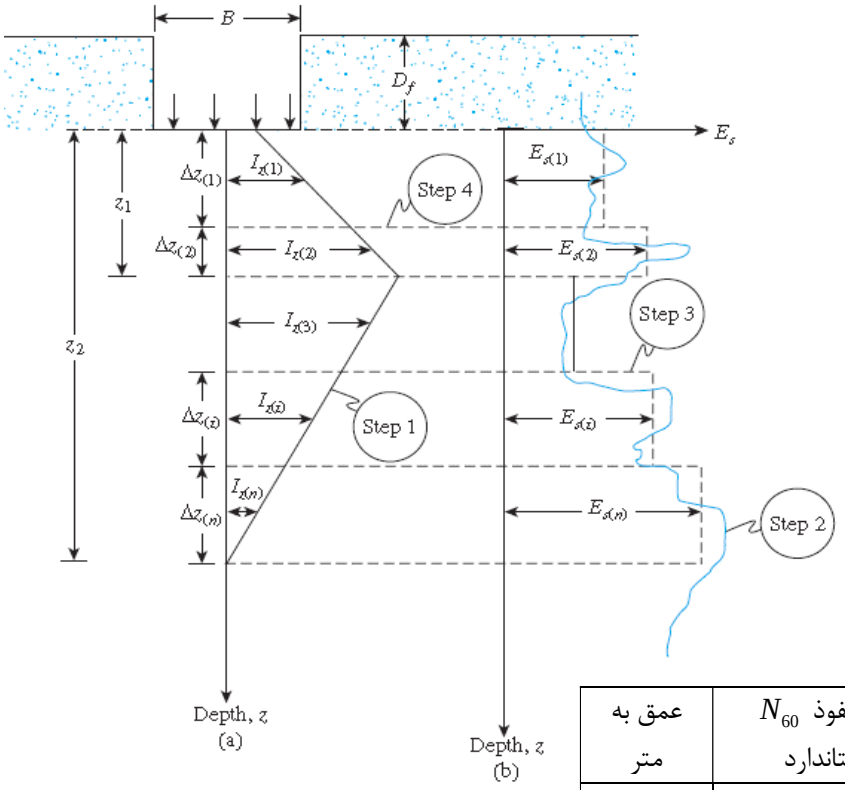
$$= 1.34\left(1 - \frac{13.35}{\bar{q} - 26.7}\right)(\bar{q} - 26.7) \times 1.5081 \times 10^{-4} = 2.5 \times 10^{-2}$$

$$\bar{q} = \frac{250 + 1.34 \times 13.35 \times 1.5081}{1.34 \times 1.5081} + 26.7 = 163.76\ \mathrm{kPa}$$

عمق به متر	عدد نفوذ استاندارد N_{60}	$E_s = 766N_{60}\ (\mathrm{kPa})$	$\bar{I}_z$	Δz	$\frac{\bar{I}_z}{E_s}\Delta z$
0-1	10	7660	0.233	1	0.3042×10^{-4}
1-1.5	13	9958	0.433	0.5	0.2174×10^{-4}
1.5-4	14	10724	0.361	2.5	0.8416×10^{-4}
4-6	20	15320	0.111	2	0.1449×10^{-4}
6-12	24	18384	0	6	0
					$\sum = 1.5081 \times 10^{-4}$

نشست شالوده سطحی

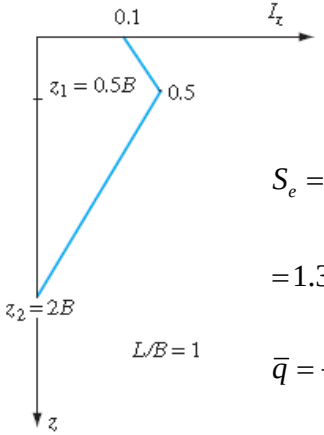
نشست آنی شالوده سطحی بر روی خاک دانه ای به روش ضریب تاثیر کرنش(Schmertmann et al. (1978:



مثال: اگر نشست الاستیک مجاز ماسه در مدت پنج سال برابر با ۲.۵ سانتی‌متر باشد آنگاه ظرفیت باربری مجاز شالوده مربعی به ابعاد $3 \times 3\ \mathrm{m}^2$ چقدر است؟ (از روش اشمرتمن و هارتمن استفاده کنید).

$$\gamma = 17.8\,\mathrm{kN/m^3}, D_f = 1.5m,$$

حل:



$$S_e = C_1 C_2 (\bar{q} - q) \sum_{i=1}^{z_i} \frac{\bar{I}_{zi}}{E_{si}} \Delta z_i$$

$$= 1.34\left(1 - \frac{13.35}{\bar{q} - 26.7}\right)(\bar{q} - 26.7) \times 1.5081 \times 10^{-4} = 2.5 \times 10^{-2}$$

$$\bar{q} = \frac{250 + 1.34 \times 13.35 \times 1.5081}{1.34 \times 1.5081} + 26.7 = 163.76\ \mathrm{kPa}$$

عمق به متر	عدد نفوذ استاندارد N_{60}	$E_s = 766N_{60}\ (\mathrm{kPa})$	$\bar{I}_z$	Δz	$\frac{\bar{I}_z}{E_s}\Delta z$
0-1	10	7660	0.233	1	0.3042×10^{-4}
1-1.5	13	9958	0.433	0.5	0.2174×10^{-4}
1.5-4	14	10724	0.361	2.5	0.8416×10^{-4}
4-6	20	15320	0.111	2	0.1449×10^{-4}
6-12	24	18384	0	6	0
					$\sum = 1.5081 \times 10^{-4}$

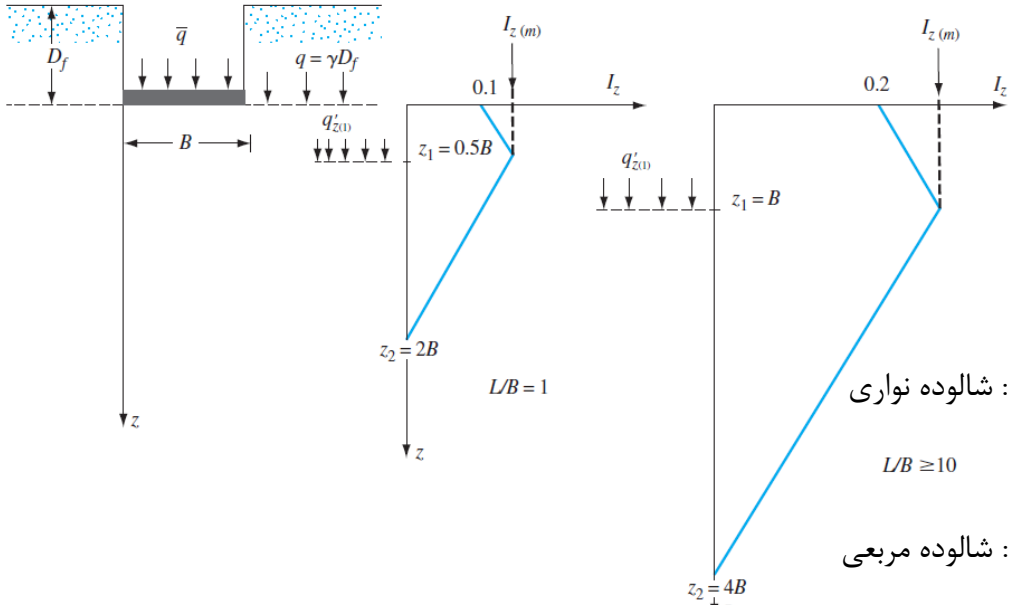
نشست شالوده سطحی

نشست آنی شالوده سطحی بر روی خاک دانه ای به روش ضریب تاثیر کرنش Schmertmann et al. (1978):

مثال بعدی: – نشست الاستیک ماسه در مدت شش سال در یک شالوده مستطیلی به ابعاد $2 \times 4\ \mathrm{m}^2$ تحت تنش 145 کیلوپاسکال چقدر است؟ (از روش اشمرتمن و هارتمن استفاده کنید).راهنمایی: برای تعیین نمودار ضریب تاثیر از درونیابی استفاده کنید. (از روش اشمرتمن و هارتمن استفاده کنید).

$$\gamma = 17.5\,\mathrm{kN/m^3}, D_f = 1.2\,m,$$

عمق به متر	مقاومت نوک مخروط کیلو پاسکال
0-0.5	2250
0.5-2.5	3430
2.5-5	2590



حل: برای حل ابتدا نیاز است مقدار $I_{z(m)}$ برای دو حالت شالوده نواری و مربعی بدست آورد و سپس نمودار ضریب تاثیر برای شالوده مستطیلی مورد نظر را تعیین و ترسیم می‌کنیم.

شالوده نواری : $$I_{z(m)} = 0.5 + 0.1\sqrt{\left(\frac{\bar{q}-q}{q'_{z(1)}}\right)} = 0.5 + 0.1\sqrt{\left(\frac{145-21}{17.5\times\left(D_f+B\right)}\right)} = 0.6488$$

شالوده مربعی : $$I_{z(m)} = 0.5 + 0.1\sqrt{\left(\frac{\bar{q}-q}{q'_{z(1)}}\right)} = 0.5 + 0.1\sqrt{\left(\frac{145-21}{17.5\times\left(1.2+1\right)}\right)} = 0.6795$$

$$S_e = C_1 C_2 \left(\bar{q}-q\right)\sum_{i=1}^{z_i}\frac{\bar{I}_{zi}}{E_{si}}\Delta z_i$$

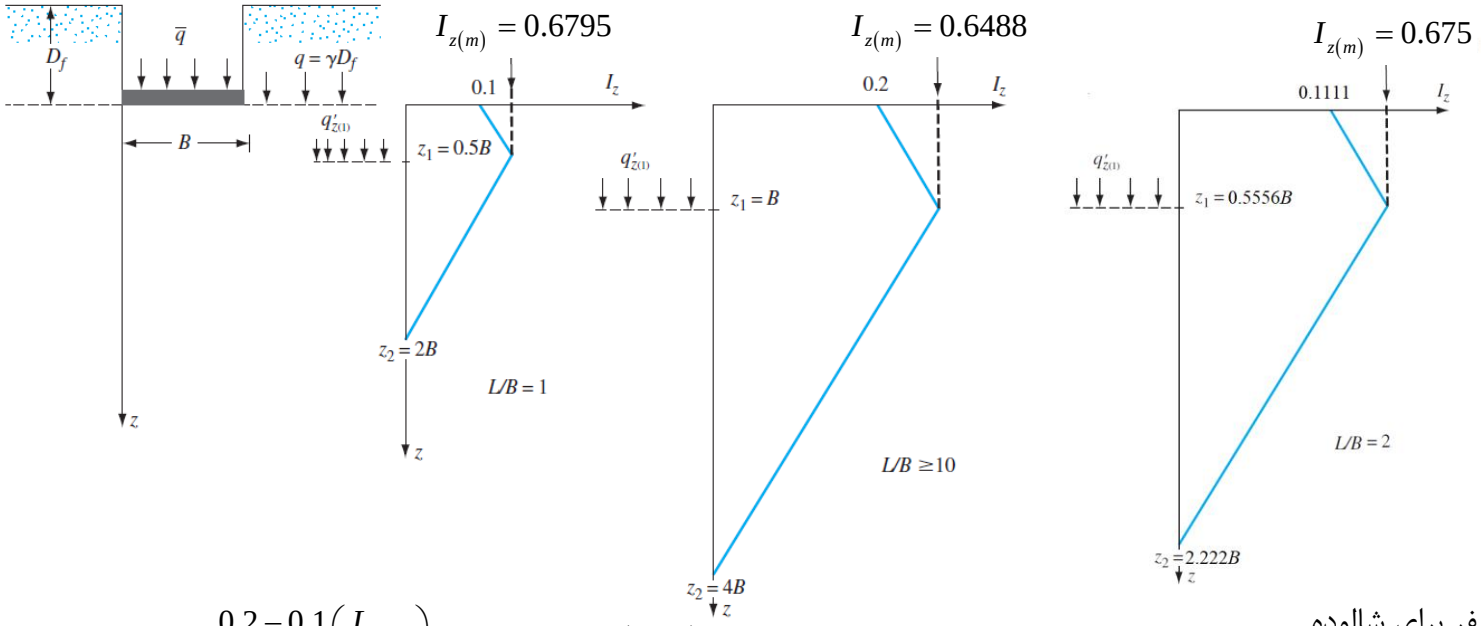
$$q = \gamma D_f = 17.5\times 1.2 = 21\mathrm{kPa}, \qquad C_1 = 1 - 0.5\left(\frac{q}{\bar{q}-q}\right) = 1 - \frac{11.5}{145-21} = 0.915,$$

$$C_2 = 1 + 0.2\log\frac{t\ (\mathrm{year})}{0.1} = 1 + 0.2\log\frac{6}{0.1} = 1.35563$$

نشست شالوده سطحی

نشست آنی شالوده سطحی بر روی خاک دانه ای به روش ضریب تاثیر کرنش(Schmertmann et al. (1978:

ادامه‌ی حل: برای تعیین نمودار ضریب تاثیر شالوده مستطیلی باید از درونیابی خطی(هم در عمق و هم برای مقادیر I_z) به صورت ذیل کمک گرفت:



به طور مثال مقدار I_z در عمق صفر برای شالوده مستطیلی بصورت روبرو تعیین می‌شود:

$$I_{z=0}=0.1+\frac{0.2-0.1}{10-1}\left(\frac{L}{B}-1\right)=0.1+0.0111(2-1)=0.1111$$

مقدار $I_{z(m)}$,و عمق نظیر آن برای شالوده مستطیلی بصورت روبرو بدست می‌آید:

$$z(m)=0.5B+\frac{B-0.5B}{10-1}\left(\frac{L}{B}-1\right)=0.5B+0.055556B\left(\frac{L}{B}-1\right)=0.5556B=1.1112\,m$$

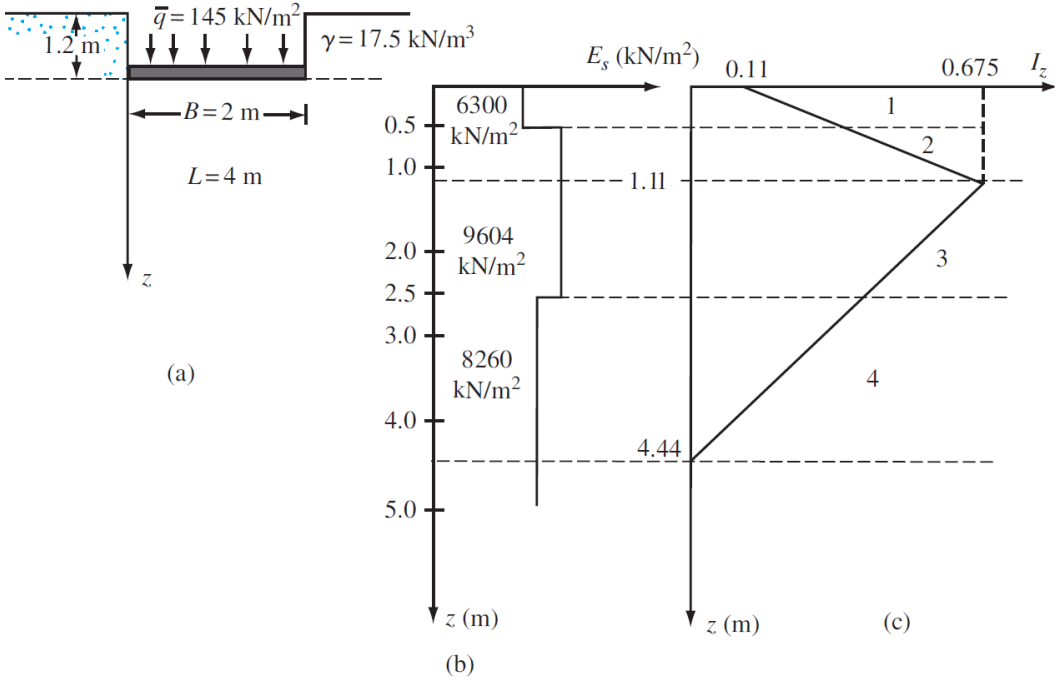
$$I_{z(m)}=0.5+0.1\sqrt{\left(\frac{\bar{q}-q}{q'_{z(1)}}\right)}=0.5+0.1\sqrt{\left(\frac{145-21}{17.5\times\left(D_f+0.55556B\right)}\right)}=0.675$$

عمق موثر برای شالوده مستطیلی بصورت روبرو تعیین می‌شود:

$$z_2=2B+\frac{4B-2B}{10-1}\left(\frac{L}{B}-1\right)=2B+0.22222B\left(\frac{L}{B}-1\right)=2.222B=4.444\,m$$

نشست شالوده سطحی

نشست آنی شالوده سطحی بر روی خاک دانه ای به روش ضریب تاثیر کرنش Schmertmann et al. (1978):



ادامه‌ی حل: پس از تعیین و ترسیم نمودار نمودار ضریب تاثیر شالوده‌ی مستطیلی، عمق ها را بر حسب محل تغییرات مدول الاستیسیته، محل تغییر گونه‌ای تقسیم بندی می‌کنیم:

عمق به متر	مقاومت نوک مخروط کیلو پاسکال
0-0.5	2250
0.5-2.5	3430
2.5-5	2590

$$E_{S(\text{rectangle})} = \left(1+0.4\log\left(\frac{L}{B}\right)\right)E_{S(\text{square})}$$

$$= \left(1+0.4\log\left(\frac{4}{2}\right)\right)2.5q_c = 2.801q_c$$

عمق به متر	مقاومت نوک مخروط کیلو پاسکال	$E_{S(\text{rectangle})}=2.801q_c$	$\bar{I}_z$	Δz	$\frac{\bar{I}_z}{E_s}\Delta z$
0-0.5	2250	6302.25	0.238	0.5	1.88825E-05
0.5-1.11	3430	9607.43	0.52	0.61	3.30753E-05
1.11-2.5	3430	9607.43	0.5344	1.39	7.72625E-05
2.5-4.44	2590	7254.59	0.197	1.94	5.27751E-05
4.44-5	2590	7254.59	0	0.56	0
					$\sum$=0.000182

$$S_e = C_1C_2\left(\bar{q}-q\right)\sum_{i=1}^{z_i}\frac{\bar{I}_{zi}}{E_{si}}\Delta z_i$$

$$= 0.915\times1.35563(145-21)\times0.000182 = 0.0280\,m$$

نشست آنی

برای تعیین نـ

۱- بار کل مح

۲-ظرفیت بار
هنسن) تعیین

۳- مقدار مقاب

۴-برای بار $Q_{(e=0)}$ میزان نشست الاستیک $S_{e(e=0)}$ را تعیین می کنیم.

۵- در نهایت نشست الاستیک S_e و دوران شالوده t از رابطه زیر تعیین می گردد:

$$S_e = S_{e(e=0)}\left(1-2\left(\frac{e}{B}\right)\right)^2, \quad t = \arctan\left(C \times S_e\left(\frac{e}{B\sqrt{BL}}\right)\right) = \arctan\left(\beta_1\beta_2 \times S_e\left(\frac{e}{B\sqrt{BL}}\right)\right)$$

که در آن β_1 و β_2 و یا C از شکل مقابل تعیین می شوند:

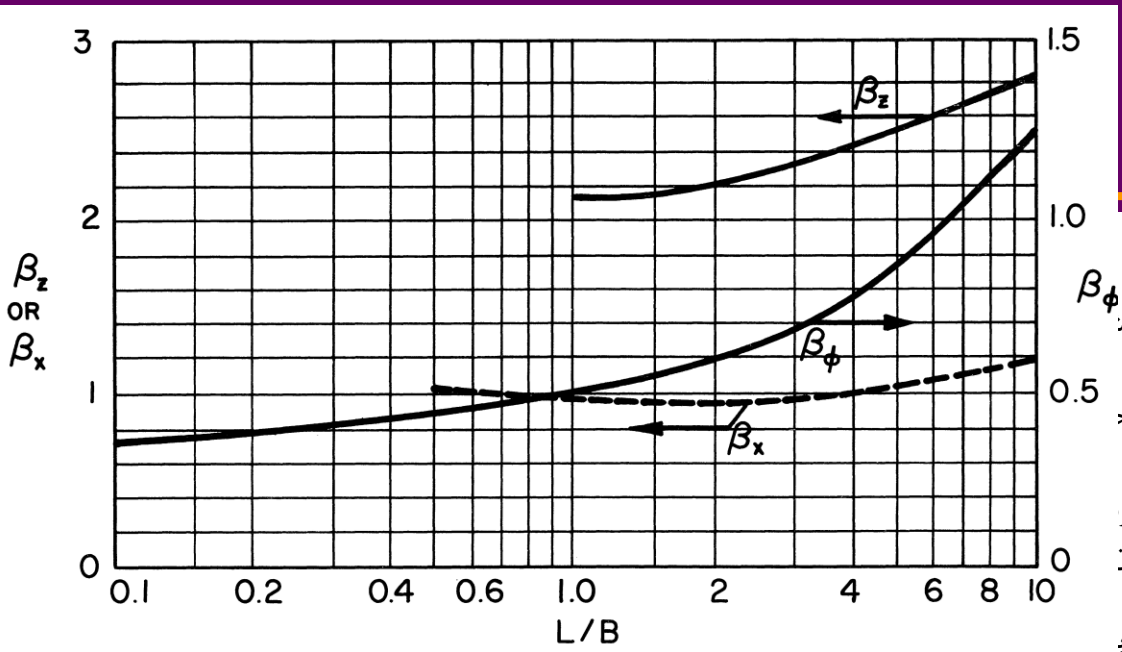
تمرین- میزان نشست الاستیک را برای شالوده مربعی صلب به ضلع ۱.۵ متر را تحت بار قائم ۱۸۰ کیلو نیوتن و لنگر ۲۷ کیلونیوتن متر تعیین کنید؟ (ظرفیت باربری را از روش هانسن محاسبه کنید).

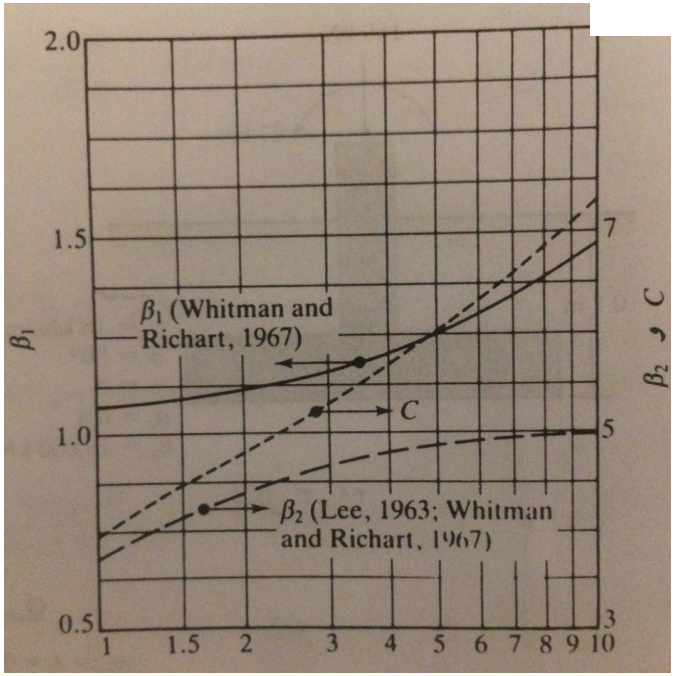
$$D_f = 0.7\ m, \gamma = 18\ kN/m^3, \phi = 30^\circ, c = 0, \mu_s = 0.3,$$
$$E_s = 15000\ \text{kPa}, \alpha_r = 0.82$$

:Georgiadi and Butterfield (19

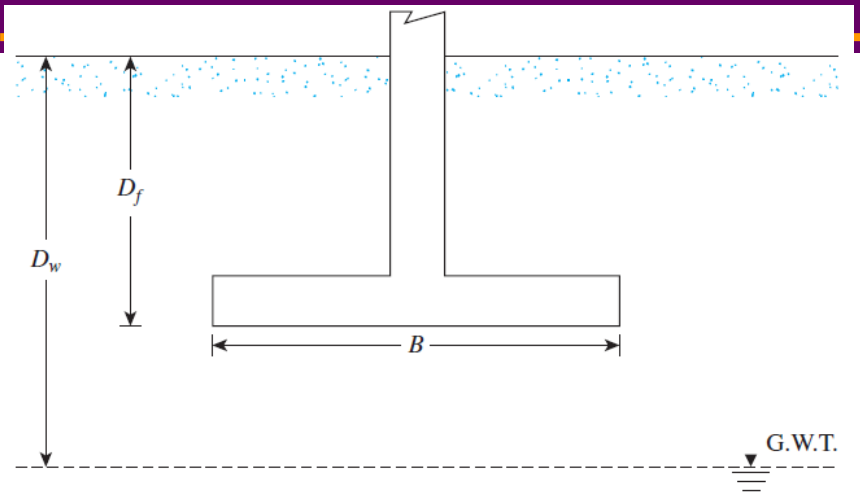
دنظر است.

ز طریق یکی از روشهای(میرهوف، وسیک و یا





نشست شالوده سطحی



اثر سطح آب بر روی نشست آنی شالوده سطحی:

$$S'_e = S_e C_w$$

S_e : نشست الاستیک
S'_e: نشست الاستیک اصلاح شده با در نظرگرفتن سطح آب
C_w: ضریب اصلاح

- Peck, Hansen, and Thornburn (1974):

$$C_w = \frac{1}{0.5 + 0.5\left(\frac{D_w}{D_f + B}\right)} \geq 1$$

- Teng (1982):

$$C_w = \frac{1}{0.5 + 0.5\left(\frac{D_w - D_f}{B}\right)} \leq 2 \qquad \left(\begin{array}{c}\text{for water table below the}\\ \text{base of the foundation}\end{array}\right)$$

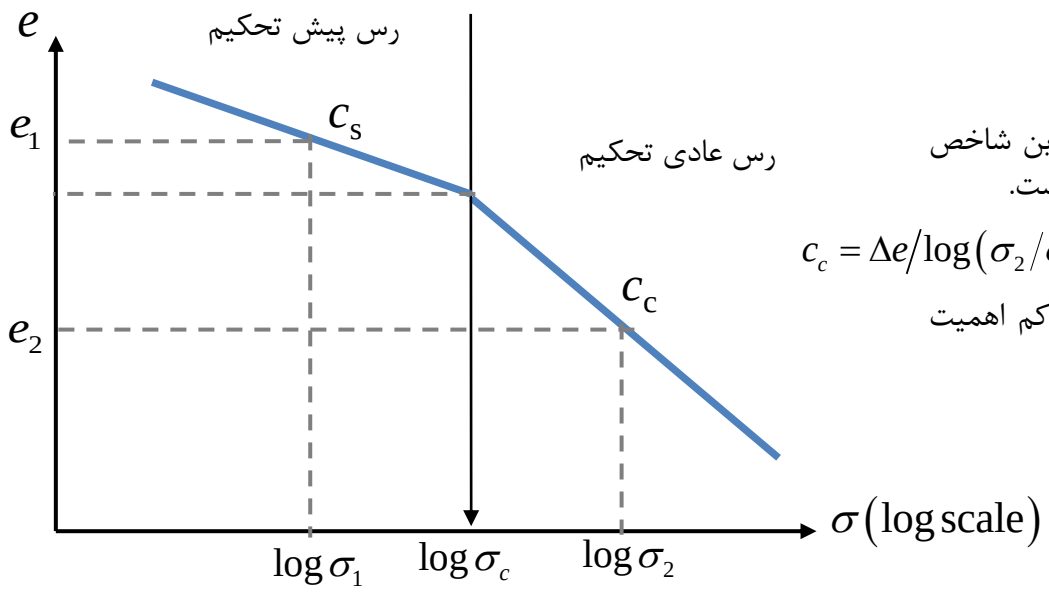
مثال: میزان نشست الاستیک پی گسترده Saving Bank Building به ابعاد ۳۳.۵ در ۳۹.۵ متر مربع و عمق مدفون ۳ متر در اسلاید محاسبه شد که برابر با ۱۶.۵ میلیمتر است. اگر سطح آب در عمق ۴ متری از سطح زمین باشد، مطلوبست تعیین نشست اصلاح شده از روابط پک و همکارانش؟

$$C_w = \frac{1}{0.5 + 0.5\left(\frac{D_w}{D_f + B}\right)} = \frac{1}{0.5 + 0.5\left(\frac{4}{3 + 33.5}\right)} = 1.8$$

$$S'_e = C_w S_e = 1.8 \times 16.5 = 29.7\,\text{mm}$$

نشست شالوده سطحی

پارامترهای نشست تحکیمی:



شاخص یا ضریب فشردگی(Compression Coefficient): این شاخص برای محاسبه نشست تحکیمی است که همان شیب نمودار e-logσ است.

$$c_c = \Delta e / \log(\sigma_2/\sigma_1)$$

یک سری رابطه تجربی برای تعیین c_c وجود دارد که برای مسائل کم اهمیت بکار می روند. در اینجا دو تا از این روابط معرفی می شوند:

برای رس دست خورده $c_c = 0.007(LL-10)$,

برای رس دست نخورده $c_c = 0.009(LL-10)$

نشانه یا ضریب تورم (Swelling Coefficient): این ضریب برای محاسبه تورم خاکهای رسی بکار گرفته می شود که مقدار آن حدودا $c_s = \left\{\frac{1}{5} - \frac{1}{10}\right\} c_c$ است.

ضریب قابلیت فشردگی a_v و ضریب قابلیت فشردگی حجمی m_v:

$$\Delta H = S_c = m_v \Delta\sigma' H_0 \qquad \Delta H = S_c = \int_0^{H_0} m_v \Delta\sigma' dz = \int_0^{H_0} \varepsilon_v dz$$

$$m_v = \frac{\Delta H}{H_0 \times \Delta\sigma'} = \frac{\varepsilon_v}{\Delta\sigma'} = \frac{1}{E_c} \qquad a_v = \frac{\Delta e}{\Delta\sigma'}$$

E_c: مدول الاستیک محدود شده

رابطه بین ضریب قابلیت فشردگی a_v و ضریب قابلیت فشردگی حجمی m_v:

$$m_v = \frac{a_v}{1+e_0} \rightarrow \text{ضریب تخلخل اولیه}$$

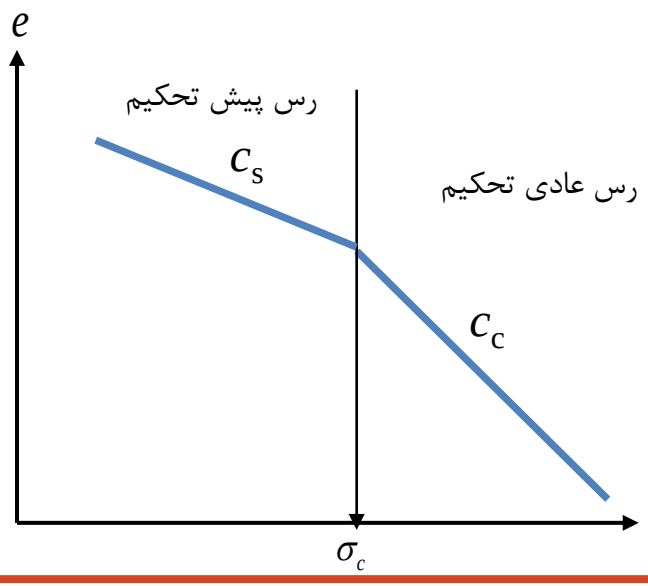
نشست شالوده سطحی

فشار پیش تحکیمی (Pre-consolidation Pressure)

در آزمایش تحکیم وقتی نمودار e-logσ را تعیین می کنیم مشاهده می شود که شیب این نمودار در تنش های پایین، کم است و سپس با افزایش اضافه تنش موثر این شیب افزایش می یابد. محل تغییر شیب را تنش پیش تحکیم(σ_c) می گویند. بعبارت دیگر تنش پیش تحکیمی تنشی است که خاک رس قبلا تحمل کرده است.

نسبت پیش تحکیم(OCR): نسبت تنش پیش تحکیم به تنش موثر موجود است که وضعیت خاک رس را در نمودار e-logσ مشخص می کند.

$$\mathbf{OCR} = \frac{\sigma_c}{\sigma}$$



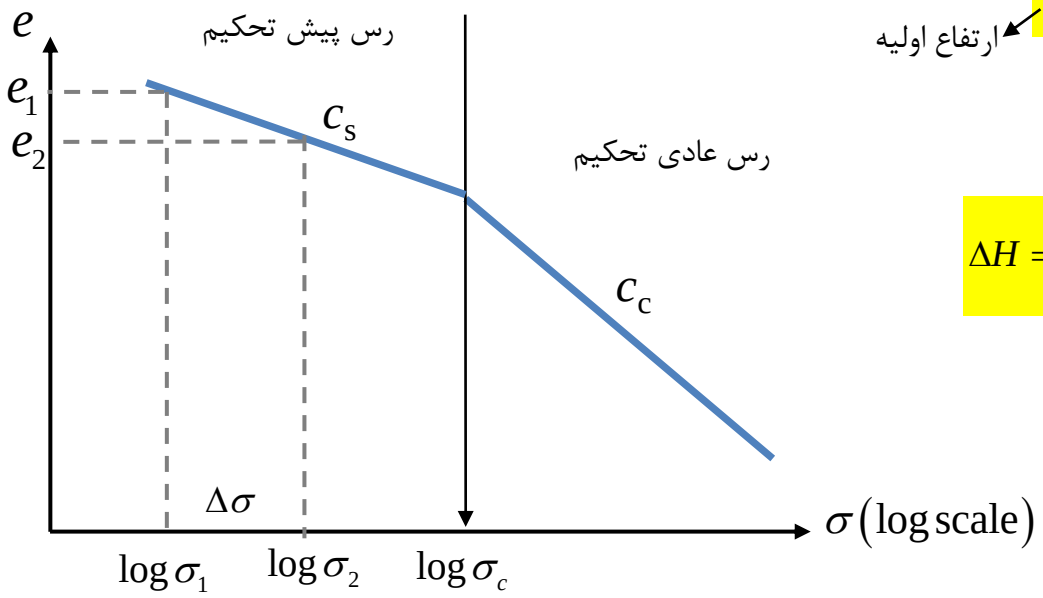
خاک رس پیش تحکیم: وقتی تنش وارده به خاک رس کمتر از σ_c باشد. بعبارت دیگر تنش موجود را قبلا تجربه کرده باشد خاک رس پیش تحکیم است که OCR بزرگتر از یک است.

خاک رس عادی تحکیم: وقتی تنش وارده به خاک رس بیشتر از σ_c باشد. بعبارت دیگر تنش موجود را قبلا تجربه نکرده باشد خاک رس عادی تحکیم است که OCR همواره یک است.

نشست شالوده سطحی

محاسبه نشست در رس عادی و پیش تحکیم

حالت اول: اگر $\sigma_1, \sigma_2 < \sigma_c$ باشد یعنی خاک رس پیش تحکیم است. **OCR > 1**



نشست

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta e}{1+e_1}$$

ارتفاع اولیه

ضریب تخلخل اولیه

$$\Delta H = \frac{c_s H}{1+e_1}\log\left(\frac{\sigma_1+\Delta\sigma}{\sigma_1}\right)$$

نشست شالوده سطحی

محاسبه نشست در رس عادی و پیش تحکیم

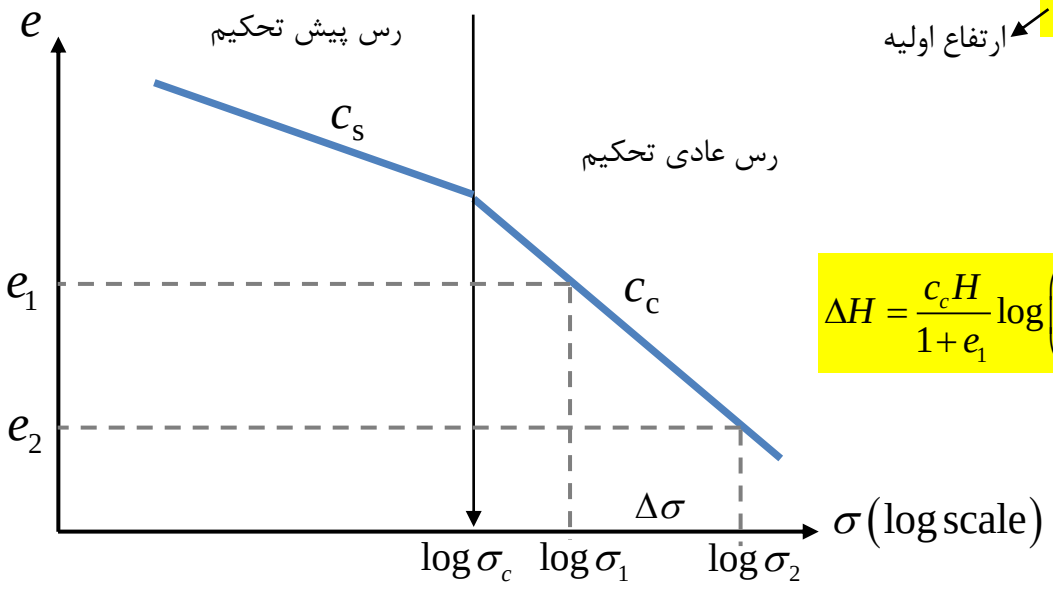
حالت دوم: اگر $\sigma_1, \sigma_2 > \sigma_c$ باشد یعنی خاک رس عادی تحکیم است. **OCR = 1**

نشست

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{\Delta e}{1+e_1}$$

ارتفاع اولیه

ضریب تخلخل اولیه

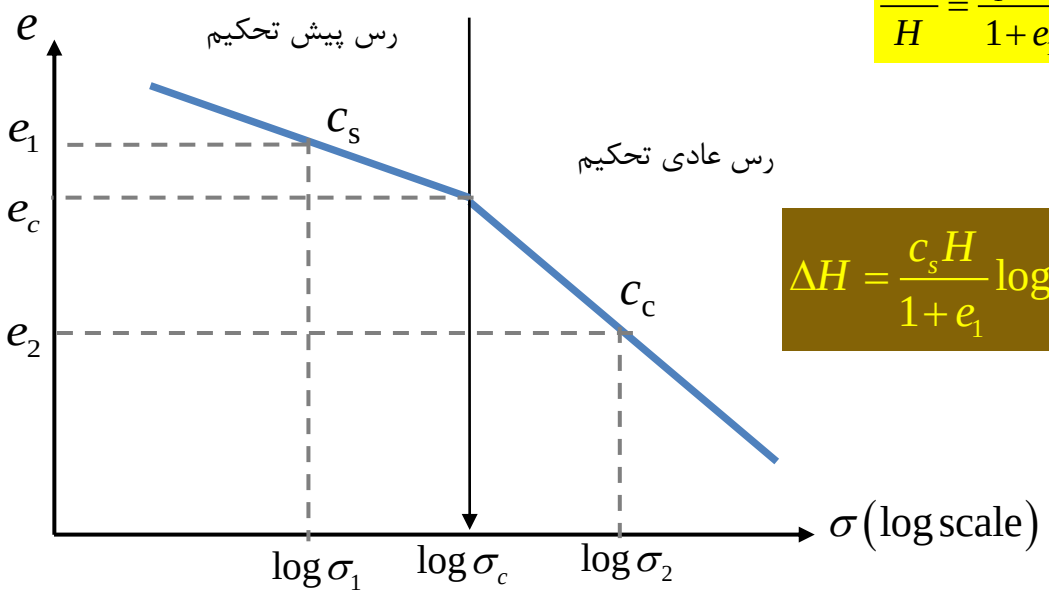


$$\Delta H = \frac{c_c H}{1+e_1}\log\left(\frac{\sigma_1+\Delta\sigma}{\sigma_1}\right) = \frac{c_c H}{1+e_1}\log\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1}\right)$$

نشست شالوده سطحی

محاسبه نشست در رس عادی و پیش تحکیم

حالت سوم: اگر $\sigma_2 > \sigma_c$ و $\sigma_1 < \sigma_c$ باشد یعنی بخشی از خاک رس عادی تحکیم و بخشی پیش تحکیم است.



$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{e_1 - e_c}{1+e_1} + \frac{e_c - e_2}{1+e_c}$$

$$\Delta H = \frac{c_s H}{1+e_1}\log\left(\frac{\sigma_c}{\sigma_1}\right) + \frac{c_c H}{1+e_c}\log\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_c}\right)$$

نشست شالوده سطحی

محاسبه نشست در رس عادی و پیش تحکیم

حالت اول: اگر $\sigma_1, \sigma_2 < \sigma_c$ باشد یعنی خاک رس پیش تحکیم است. **OCR > 1**

$$\Delta H = \frac{c_s H}{1+e_1} \log\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1}\right)$$

حالت دوم: اگر $\sigma_1, \sigma_2 > \sigma_c$ باشد یعنی خاک رس عادی تحکیم است. **OCR = 1**

$$\Delta H = \frac{c_c H}{1+e_1} \log\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1}\right)$$

حالت سوم: اگر $\sigma_2 > \sigma_c$ و $\sigma_1 < \sigma_c$ باشد یعنی بخشی از خاک رس عادی تحکیم و بخشی پیش تحکیم است.

$$\Delta H = \frac{c_s H}{1+e_1} \log\left(\frac{\sigma_c}{\sigma_1}\right) + \frac{c_c H}{1+e_c} \log\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_c}\right)$$

نشست شالوده سطحی

محاسبه نشست در رس عادی و پیش تحکیم

مثال: نشست تحکیمی را برای خاک رس اشباع تحت با یکنواخت $\Delta\sigma$ و شرایط مختلفی از تنش پیش تحکیمی محاسبه کنید. الف) اگر رس عادی تحکیم باشد؟

ب) اگر تنش پیش تحکیم ۱۹۰ کیلونیوتن بر متر مربع باشد؟

ج) اگر تنش پیش تحکیم ۱۷۰ کیلونیوتن بر متر مربع باشد؟

$$c_s \approx \frac{1}{6} c_c$$

حل:

$$c_c = 0.009(\mathrm{LL} - 10) = 0.009(40 - 10) = 0.27$$

$$\sigma_1' = 2\times 14 + 4\times(18 - 9.81) + 2\times(19 - 9.81) = 79.14\,\mathrm{kN/m^2}$$

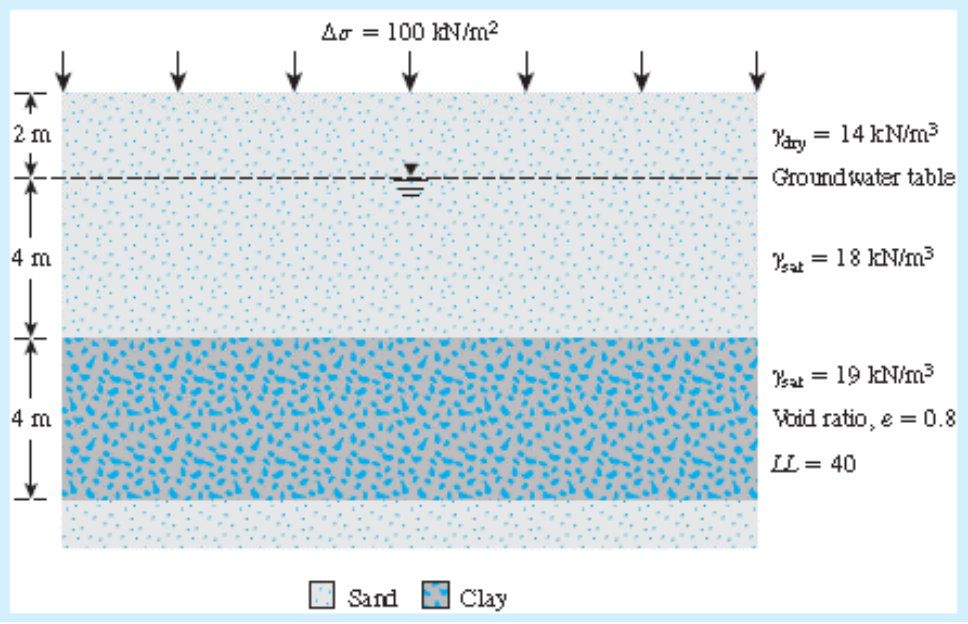
$$\sigma_2' = \sigma_1' + \Delta\sigma = 79.14 + 100 = 179.14\,\mathrm{kN/m^2}$$

حل الف:

$$\Delta H = \frac{c_c H}{1+e_1}\log\left(\frac{\sigma_2'}{\sigma_1'}\right) = \frac{0.27\times 4}{1+0.8}\log\left(\frac{179.14}{79.14}\right) = 0.213\,m$$

حل ب: اگر $\sigma_c = 190\,\mathrm{kN/m^2}$ باشد آنگاه خاک پیش تحکیم است.

$$\Delta H = \frac{c_s H}{1+e_1}\log\left(\frac{\sigma_2'}{\sigma_1'}\right) = \frac{\frac{0.27}{6}\times 4}{1+0.8}\log\left(\frac{179.14}{79.14}\right) = 0.036\,m$$



نشست شالوده سطحی

محاسبه نشست در رس عادی و پیش تحکیم

مثال: نشست تحکیمی را برای خاک رس اشباع تحت با یکنواخت $\Delta\sigma$ و شرایط مختلفی از تنش پیش تحکیمی محاسبه کنید. الف) اگر رس عادی تحکیم باشد؟

ب) اگر تنش پیش تحکیم ۱۹۰ کیلونیوتن بر متر مربع باشد؟

ج) اگر تنش پیش تحکیم ۱۷۰ کیلونیوتن بر متر مربع باشد؟ $c_s \approx \frac{1}{6} c_c$

$c_c = 0.27, \quad c_s = 0.045$

$\sigma_1' = 79.14\,\text{kN/m}^2 \qquad \sigma_2' = 179.14\,\text{kN/m}^2$

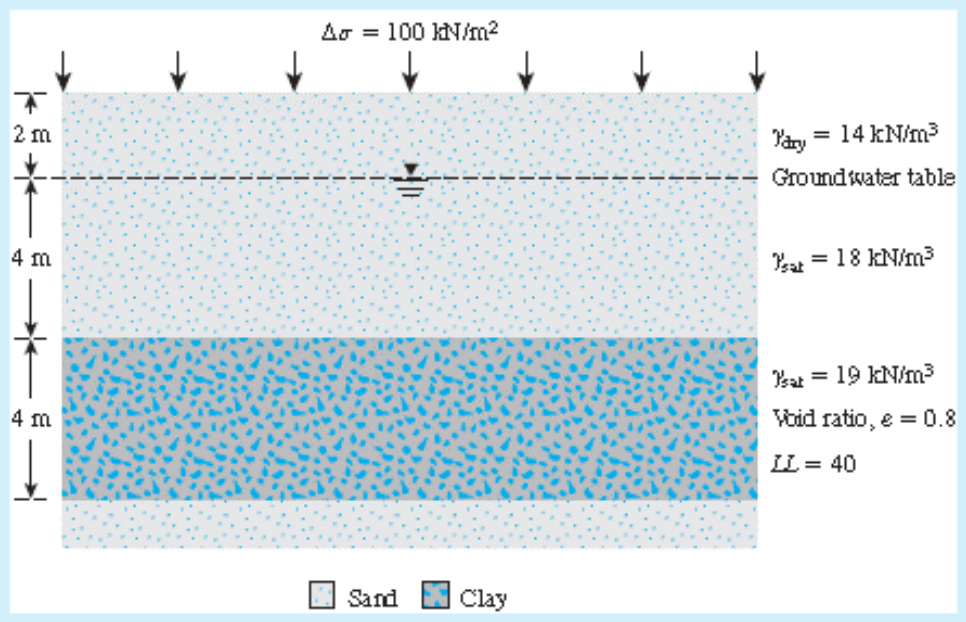
حل الف: $\Delta H = 0.213\,m$

حل ب: $\Delta H = 0.036\,m$

حل ج: اگر $\sigma_c = 170\,\text{kN/m}^2$ باشد آنگاه بخشی از خاک پیش تحکیم و بخش عادی است.

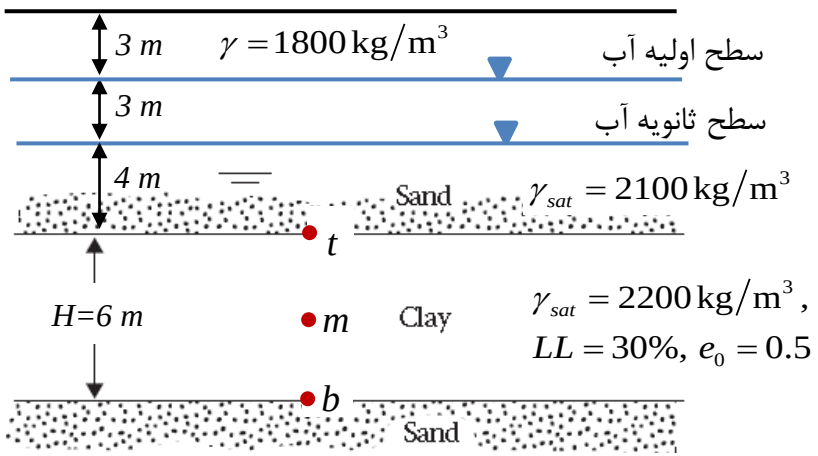
$$\Delta H = \frac{c_s H}{1+e_1}\log\left(\frac{\sigma_c}{\sigma_1}\right) + \frac{c_c H}{1+e_c}\log\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_c}\right) =$$

$$\frac{0.045\times 4}{1+0.8}\log\left(\frac{170}{79.14}\right) + \frac{0.27\times 4}{1+0.8}\log\left(\frac{179.14}{170}\right) = 0.0468\,m$$



نشست شالوده سطحی

مثال: در زمینی بر اثر پمپاژ آب در بلند مدت، سطح آب ۳ متر پایین رفت. مطلوبست تعیین نشست خاک رس؟



تنش موثر اولیه قبل از نزول

تنش موثر اضافی بعد از نزول

$$\Delta H = \frac{c_c H}{1+e_0}\log\left(\frac{\sigma_1 + \Delta\sigma}{\sigma_1}\right)$$

$$\begin{cases} \sigma_1 = \dfrac{\sigma'_{1t} + 4\sigma'_{1m} + \sigma'_{1b}}{6} \\ \Delta\sigma = \dfrac{\Delta\sigma'_t + 4\Delta\sigma'_m + \Delta\sigma'_b}{6}, \quad \sigma_2 = \sigma_1 + \Delta\sigma \end{cases}$$

$$c_c = 0.009(\mathrm{LL} - 10) = 0.009(30-10) = 0.18$$

$$\begin{cases} \sigma'_{1t} = 3\times 1800 + 7\times(2100-1000) = 13100\,kg/m^2 \\ \sigma'_{1m} = 13100 + 3\times(2200-1000) = 16700\,kg/m^2 \\ \sigma'_{1m} = 16700 + 3\times(2200-1000) = 20300\,kg/m^2 \\ \sigma_1 = \dfrac{\sigma'_{1t} + 4\sigma'_{1m} + \sigma'_{1b}}{6} = 16700\,kg/m^2 = \sigma'_{1m} \end{cases}$$

$$\sigma_2 = \sigma'_{2m} = 6\times 1800 + 4\times(2100-1000) + 3\times(2200-1000) = 18800\,kg/m^2$$

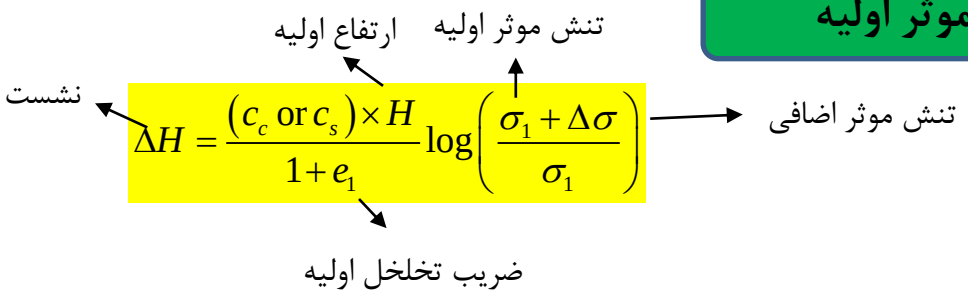
$$\Delta H = \frac{c_c H}{1+e_0}\log\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1}\right) =$$

$$\frac{0.18\times 6}{1+0.5}\log\left(\frac{18800}{16700}\right) = 0.037m$$

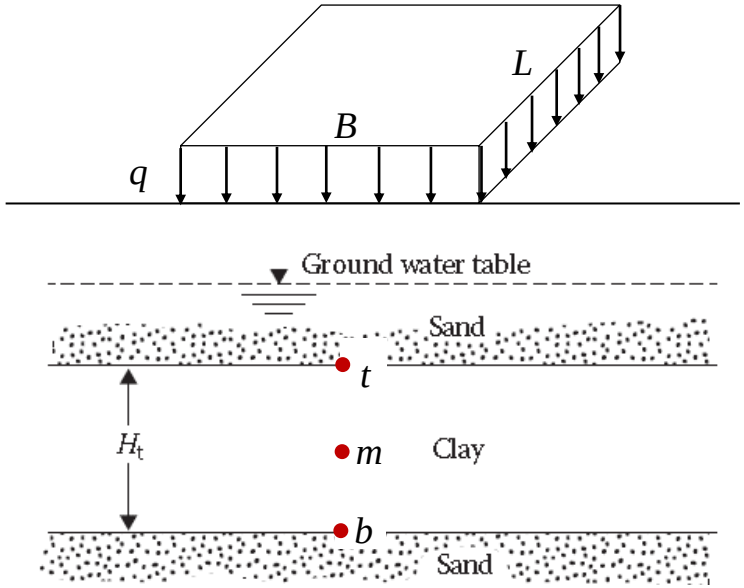
$$\Delta H = S_c = 37\mathrm{mm}$$

نشست شالوده سطحی

اضافه تنش موثر و تنش موثر اولیه



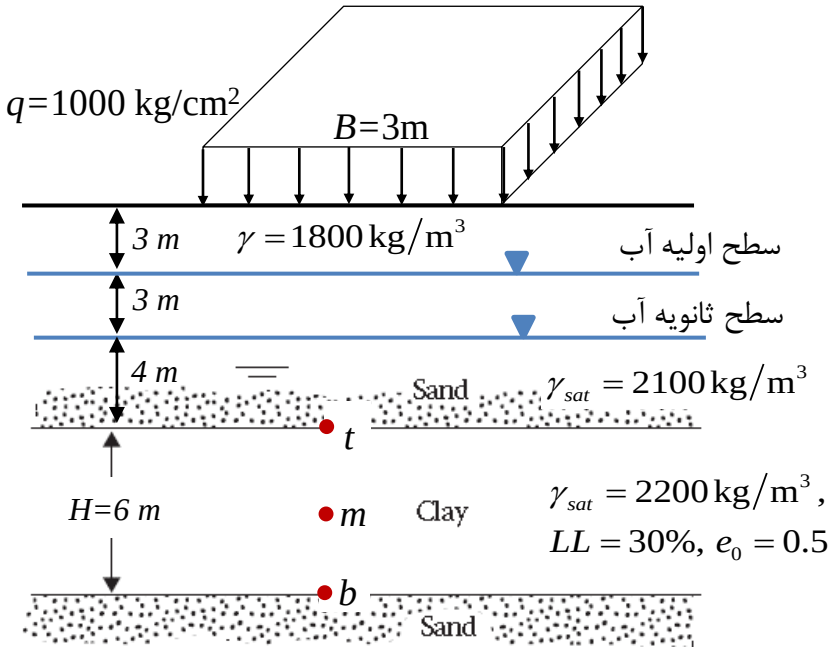
برای محاسبه اضافه تنش موثر(فصل سوم خاک) و تنش موثر اولیه در فرمول بالا برای یک لایه رسی باید از فرمول زیر استفاده کنیم:



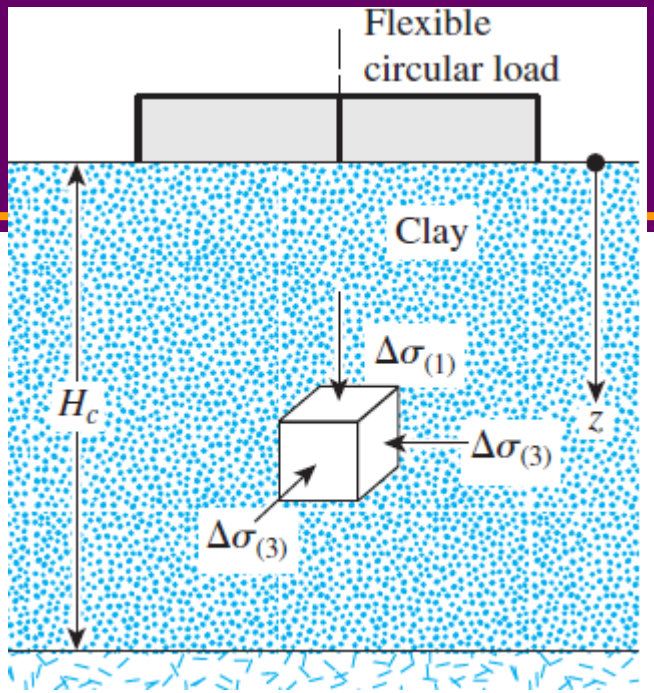
$$\begin{cases} \sigma_1 = \dfrac{\sigma'_{1t} + 4\sigma'_{1m} + \sigma'_{1b}}{6} \\ \Delta\sigma = \dfrac{\Delta\sigma'_t + 4\Delta\sigma'_m + \Delta\sigma'_b}{6} \end{cases}$$

نشست شالوده سطحی

تمرین: در مثال قبل همزمان با پایین آمدن آب زمینی بر اثر پمپاژ در بلند مدت، بار نواری نامحدوی به عرض ۳ متر وارد می شود. مطلوبست تعیین نشست تحکیمی خاک رس در زیر بار؟



نشست شالوده سطحی

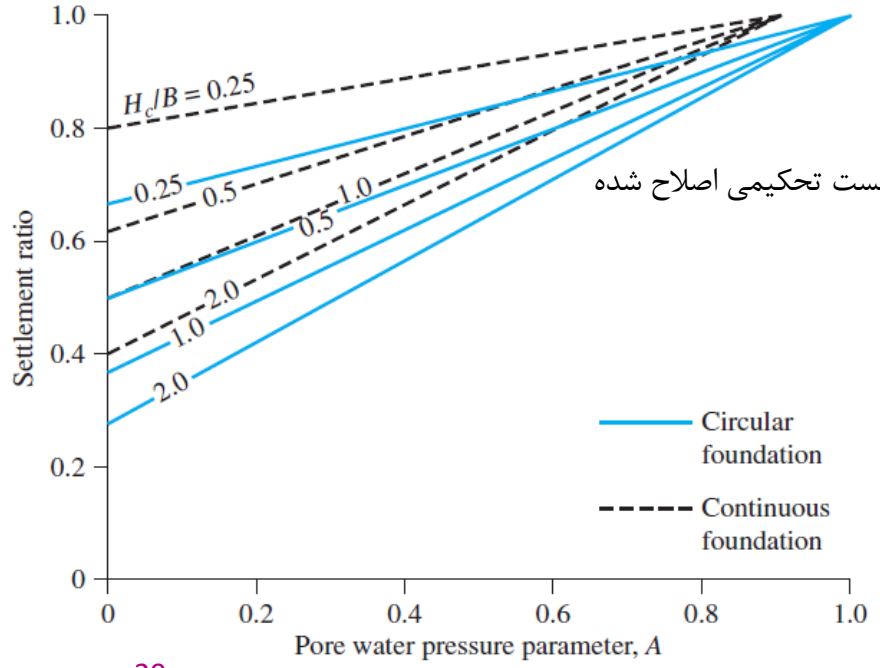


اثر سه بعدی بودن محیط بر روی نشست تحکیم اولیه:

ضرایب اسکمپتون در برآورد اضافه فشار آب حفره‌ای نقش موثری ایفا می کنند بطور مثال در شرایط ابتدای شرایط بارگذاری، اضافه از رابطه زیر تعیین می‌شود که در آن مربعی $\Delta\sigma_3$ اضافه تنش هم جانبه یا کمینه است و $\Delta\sigma_1$ تنش قائم و بیشینه است.

$$\Delta u = B\Delta\sigma_3 + A\left(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3\right)$$

از آنجایی که در زیر سازه اضافه تنش قائم معمولا با اضافه تنش جانبی متفاوت است (بدلیل ضریب جانبی خاک) و همچنین اضافه فشار آب برخلاف اضافه تنش ها یک کمیت اسکالر است بنابراین اصلاح روابط نشست ضروری است. اگر اضافه تنش جانبی با قائم یکی فرض شود نیاز به اصلاح نشست نیست.



نشست تحکیمی اصلاح نشده

$$S_{c-oed} = \int_0^{H_c} m_v \Delta\sigma_1 dz,$$

نشست تحکیمی اصلاح شده

$$S_c = \int_0^{H_c} m_v \Delta u dz = \int_0^{H_c} m_v \left\{B\Delta\sigma_3 + A\left(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3\right)\right\} dz$$

$$K_{ci} = \frac{S_c}{S_{c-oed}} = \frac{\int_0^{H_c} m_v \left\{B\Delta\sigma_3 + A\left(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3\right)\right\} dz}{\int_0^{H_c} m_v \Delta\sigma_1 dz}$$

$$= \frac{(B-A)\int_0^{H_c} m_v \Delta\sigma_3 dz + A\int_0^{H_c} m_v \Delta\sigma_1 dz}{\int_0^{H_c} m_v \Delta\sigma_1 dz} = A + (B-A)\frac{\int_0^{H_c} \Delta\sigma_3 dz}{\int_0^{H_c} \Delta\sigma_1 dz}$$

تحکیم ثانویه

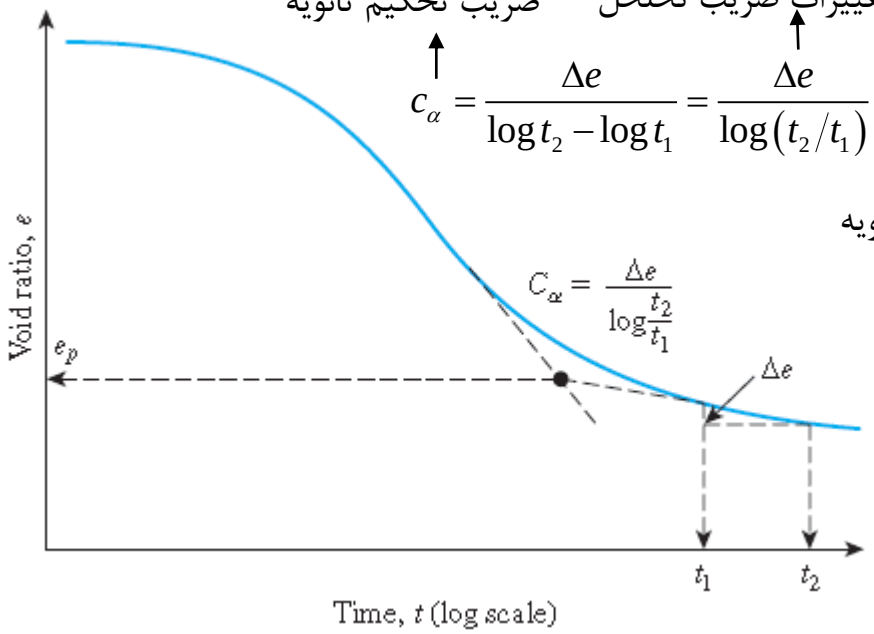
تحکیم ثانویه بعد از نشست تحکیم اولیه اتفاق می افتد و این نشست ناشی از تغییر بافت مجموعه ذرات رس می باشد. این پدیده همانند خزش است که تحت بار یا تنش ثابت با گذشت زمتن تغییر شکل رخ می دهد. این نشست در مقایسه با نشست تحکیم اولیه در انواع رسها کم و ناچیز است ولی در خاکهایی که دارای مواد آلی زیاد است، نشست تحکیم ثانویه ممکن است از نشست تحکیم اولیه بیشتر باشد. همانطور گفته شد، نشست تحکیم ثانویه در پایان تحکیم اولیه رخ می دهد و فشار آب حفره ای در این حالت همواره صفر است.

ضریب تحکیم ثانویه — تغییرات ضریب تخلخل — ارتفاع لایه — زمان مورد نظر

$$c_\alpha = \frac{\Delta e}{\log t_2 - \log t_1} = \frac{\Delta e}{\log\left(t_2/t_1\right)}$$

$$S_s = c'_\alpha H_t \log\left(\frac{t_2}{t_1}\right), \quad c'_\alpha = \frac{c_\alpha}{1+e_p}$$

نشست تحکیم ثانویه — زمان شروع تحکیم ثانویه



مقادیر c'_α برای انواع خاکهای ریزدانه:

$$\begin{cases} c'_\alpha \le 0.001 & \text{رس پیش تحکیمی} \\ 0.005 \le c'_\alpha \le 0.03 & \text{رس عادی تحکیمی} \\ c'_\alpha \ge 0.04 & \text{خاک آلی} \end{cases}$$

تحکیم ثانویه

مثال: نشست تحکیمی کل خاک رس عادی تحکیم بعد از ۵ سال و تحت مشخصات زیر را تعیین کنید؟

ضخامت خاک رس = ۸.۵ فوت

ضریب تخلخل اولیه خاک = ۰.۸

تنش اولیه= ۲۶۵۰ پوند بر فوت مربع

اضافه تنش = ۹۷۰ پوند بر فوت مربع

ضریب فشردگی خاک = ۰.۲۸

ضریب فشردگی ثانویه = ۰.۰۲

زمان پایان تحکیم اولیه = ۱.۵ سال

نشست تحکیم ثانویه ← $S_{cs} = \frac{c_\alpha}{1+e_p} H \log\left(\frac{t_2}{t_1}\right)$,

ارتفاع لایه — H

زمان مورد نظر — t_2

ضریب تخلخل پایان تحکیم اولیه — e_p

زمان پایان تحکیم اولیه — t_1

$$\Delta e_p = c_c \log\left(\frac{\sigma_0 + \Delta\sigma}{\sigma_0}\right) = 0.28 \times \log\left(\frac{2650+970}{2650}\right) = 0.038$$

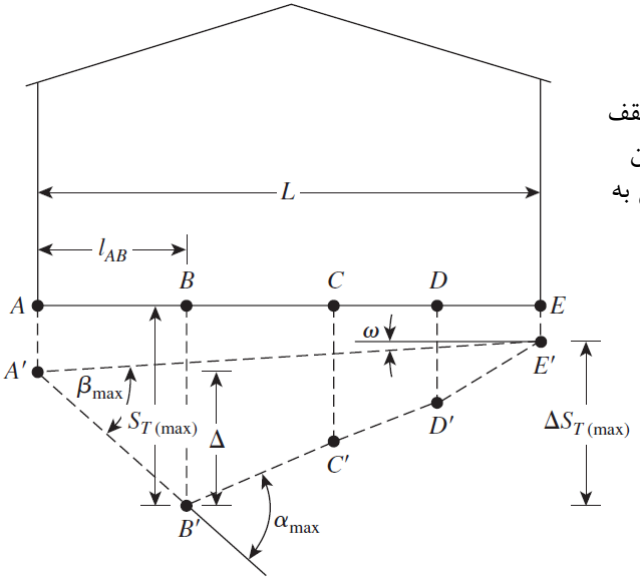
$$S_{cp} = \frac{\Delta e_p H}{1+e_0} = \frac{0.038 \times 8.5 \times 12}{1+0.8} = 2.15\,\text{in}$$

$$e_p = e_0 - \Delta e_p = 0.8 - 0.038 = 0.762$$

$$S_{cs} = \frac{c_\alpha}{1+e_p} H_t \log\left(\frac{t_2}{t_1}\right) = \frac{0.02}{1+0.762}(8.5\times 12)\log\left(\frac{5}{1.5}\right) = 0.59\,\text{in}$$

$$S_c = S_{cp} + S_{cs} = 2.15 + 0.59 = 2.74\,\text{in}$$

نشست و دوران مجاز سازه(موارد آیین نامه‌ای)



در بررسی نشست یک شالوده نه تنها باید به بیشینه نشست شالوده توجه کرد بلکه اختلاف نشست ماکزیمم بین دو تقطه در شالوده همواره موجب ایجاد اشکالات سازه‌ای می‌شود. بازنشدن در و پنجره‌ها، ترک خوردن دیوارها و پیچیدن و ترک‌خوردگی سقف همگی در اثر نشست ناهمسان شالوده‌ها ایجاد می‌شوند. همچنین چرخش شالوده ها نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردارست. به همین دلیل آئین‌نامه‌ها ضابطه‌هایی در خصوص نشست مجاز(یکنواخت و اختلافی) شالوده‌های منفرد و رادیه برقرار می‌کنند که بستگی به نوع خاک، نوع شالوده و نوع کاربری سازه دارد. بطور مثال برای اینکه هیچ ترکی برای ساختمان خاصی ایجاد نشود باید چرخش کمتر از ۰.۰۰۲ شود.

S_T = total settlement of a given point

ΔS_T = difference in total settlement between any two points

α = gradient between two successive points

β = angular distortion = $\dfrac{\Delta S_{T(ij)}}{l_{ij}}$

($Note$: l_{ij} = distance between points i and j)

ω = tilt

Δ = relative deflection (i.e., movement from a straight line joining two reference points)

$\dfrac{\Delta}{L}$ = deflection ratio

Category of potential damage	β_{max}
Safe limit for flexible brick wall ($L/H > 4$)	1/150
Danger of structural damage to most buildings	1/150
Cracking of panel and brick walls	1/150
Visible tilting of high rigid buildings	1/250
First cracking of panel walls	1/300
Safe limit for no cracking of building	1/500
Danger to frames with diagonals	1/600

بیشینه نشست اختلافی $\Delta ST_{(max)}$	شالوده منفرد	شالوده گسترده
رس	45(35) mm	
ماسه	32(25) mm	
بیشینه نشست کل، $ST_{(max)}$		
رس	76(65) mm	76-127(65-100)mm
ماسه	51(35) mm	51-76(35-65)mm

اعداد داخل پرانتز که توسط والز(Wahls) در سال ۱۹۸۱ پیشنهاد شد برای طراحی توصیه می‌شوند البته اعداد دیگر که توسط MacDonald and Skempton 1995 ارائه کردند نیز دارای اطمینان کافی هستند.

نشست شالوده سطحی

مقدمه و نشست آنی

بطور کلی نشست خاک بر دو نوع است : ۱- نشست الاستیک یا کشسانی ۲- نشست تحکیم (تحکیم اولیه و ثانویه

$$S = S_e + S_c = S_e + S_{cp} + S_{cs}$$

نشست آنی: نشست ناشی از سربار در زمان بسیار کوتاه که معمولا با استفاده از روابط الاستیک تعیین می شود را نشست آنی می گویند(زمان کوتاه حدودا ۱۰ روز است). در اینجا روابط به نشست چند حالت خاصی از شالوده محدود پرداخته می شود.

حالت اول:

الف) نشست در گوشه شالوده انعطاف پذیر مستطیلی شکل

$$(S_e)_e = \frac{Bq_0}{E_s}(1-\upsilon^2)\frac{\alpha}{2}$$

ب) نشست در مرکز شالوده انعطاف پذیر مستطیلی شکل

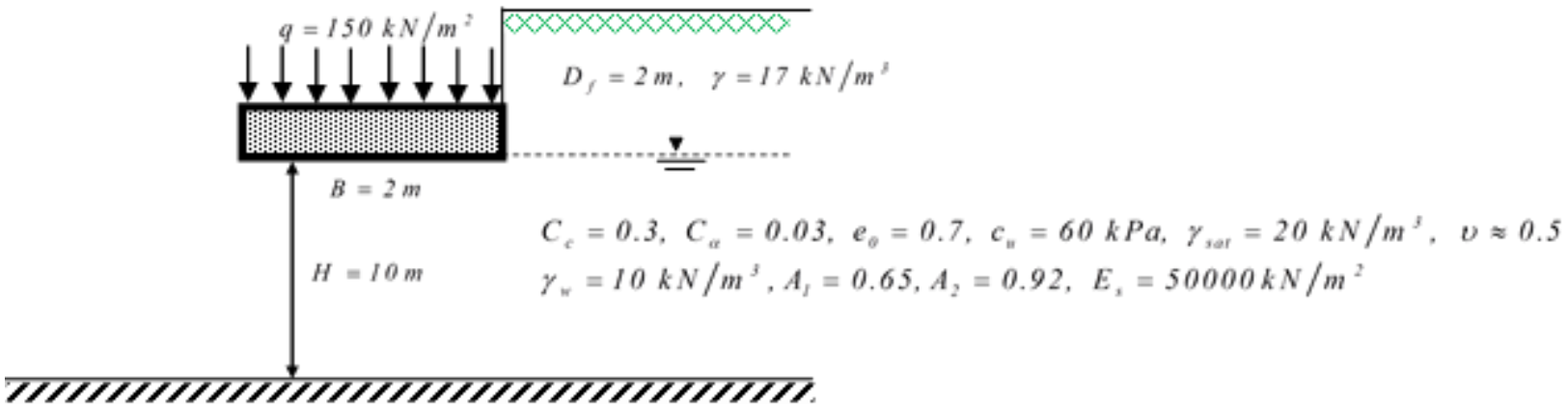
$$(S_e)_c = \frac{Bq_0}{E_s}(1-\upsilon^2)\alpha$$

$$\alpha = \frac{1}{\pi}\left\{\ln\left(\frac{\sqrt{1+m^2}+m}{\sqrt{1+m^2}-m}\right)+m\ln\left(\frac{\sqrt{1+m^2}+1}{\sqrt{1+m^2}-1}\right)\right\},\ m=\frac{B}{L}$$

مشخصات ژئوتکنیکی...
شالوده های سطحی
نشست شالوده سطحی
شمع ها
دیوار های حایل و طراحی
طراحی شالوده های سطحی
خاکهای مسئله دار
سپرها و طراحی آن

مثال امتحانی نیمسال دوم ۹۵- نشست کل شالوده مربعی را بر روی رس اشباع بر اثر اضافه تنش را بعد از ۵ سال تعیین کنید؟ پایان تحکیم اولیه ۲.۵ سال بعد از بارگذاری شالوده است.

$$m = B/z, \quad n = L/z, \quad I = \frac{1}{4\pi}\left[\frac{2mn\sqrt{m^2+n^2+1}}{m^2+n^2+m^2n^2+1}\times\frac{m^2+n^2+2}{m^2+n^2+1}+\tan^{-1}\left(\frac{2mn\sqrt{m^2+n^2+1}}{m^2+n^2-m^2n^2+1}\right)\right]$$



$$S = S_e + S_c = S_e + S_{cp} + S_{cs} \qquad S_e = A_1 A_2 \frac{qB}{E_s} = 0.65\times 0.92\frac{150\times 2}{50000} = 0.3588\,\text{cm}$$

میزان تنش اولیه در وسط رس:

$$\sigma_0 = \gamma D_f + (\gamma_{sat} - \gamma_w)\frac{H}{2} = 17\times 2 + (20-10)\times 5 = 84\,\text{kPa}$$

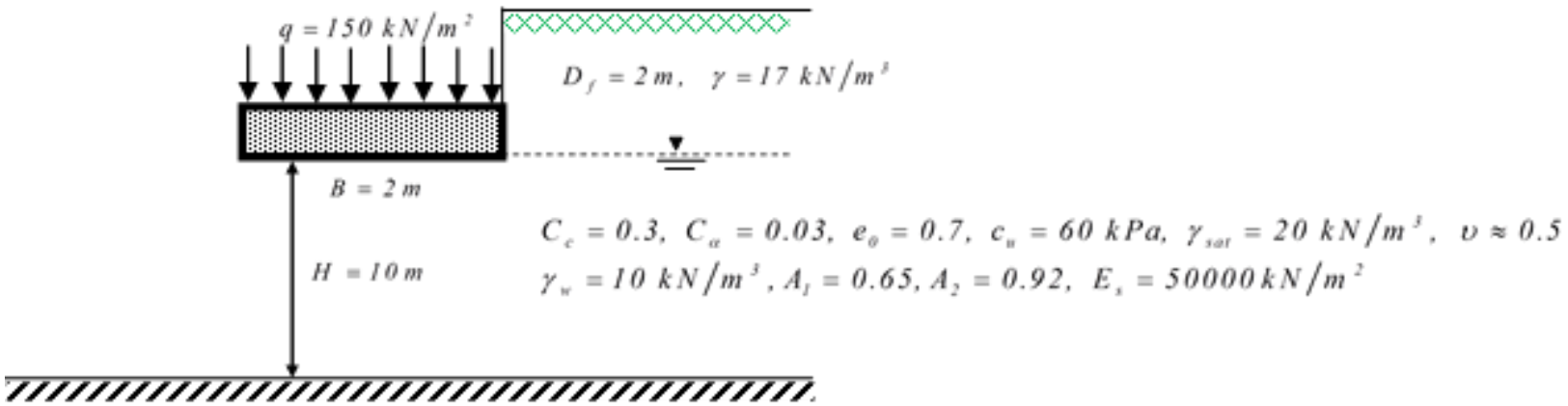
میزان اضافه تنش در وسط رس:

$$m_1 = \frac{B}{z} = \frac{1}{5}, \quad n_1 = \frac{L}{z} = \frac{1}{5}$$

$$I_1 = \frac{1}{4\pi}\left[\frac{2m_1n_1\sqrt{m_1^2+n_1^2+1}}{m_1^2+n_1^2+m_1^2n_1^2+1}\times\frac{m_1^2+n_1^2+2}{m_1^2+n_1^2+1}+\tan^{-1}\left(\frac{2m_1n_1\sqrt{m_1^2+n_1^2+1}}{m_1^2+n_1^2-m_1^2n_1^2+1}\right)\right] = 0.01790$$

$$\Delta\sigma_m = q_0 I = q_0(4I_1) = 150\times 4\times(0.01790) = 10.74\,\text{kPa}$$

مثال امتحانی نیمسال دوم ۹۵- نشست کل شالوده مربعی را بر روی رس اشباع بر اثر اضافه تنش را بعد از ۵ سال تعیین کنید؟ پایان تحکیم اولیه ۲.۵ سال بعد از بارگذاری شالوده است.



$$S = S_e + S_c = S_e + S_{cp} + S_{cs} \qquad S_e = 0.3588\,\text{cm} \qquad \sigma_0 = 84\,\text{kPa} \qquad \Delta\sigma_m = 10.74\,\text{kPa}$$

میزان اضافه تنش در انتهای لایه‌ی رس:

$$m_2 = \frac{B}{z} = \frac{1}{10}, \quad n_2 = \frac{L}{z} = \frac{1}{10}$$

$$I_1 = \frac{1}{4\pi}\left[\frac{2m_2n_2\sqrt{m_2^2+n_2^2+1}}{m_2^2+n_2^2+m_2^2n_2^2+1}\times\frac{m_2^2+n_2^2+2}{m_2^2+n_2^2+1} + \tan^{-1}\left(\frac{2m_2n_2\sqrt{m_2^2+n_2^2+1}}{m_2^2+n_2^2-m_2^2n_2^2+1}\right)\right] = 0.004696$$

$$\Delta\sigma_b = q_0 I = q_0\left(4I_1\right) = 150\times 0.01879 = 2.818\,\text{kPa}$$

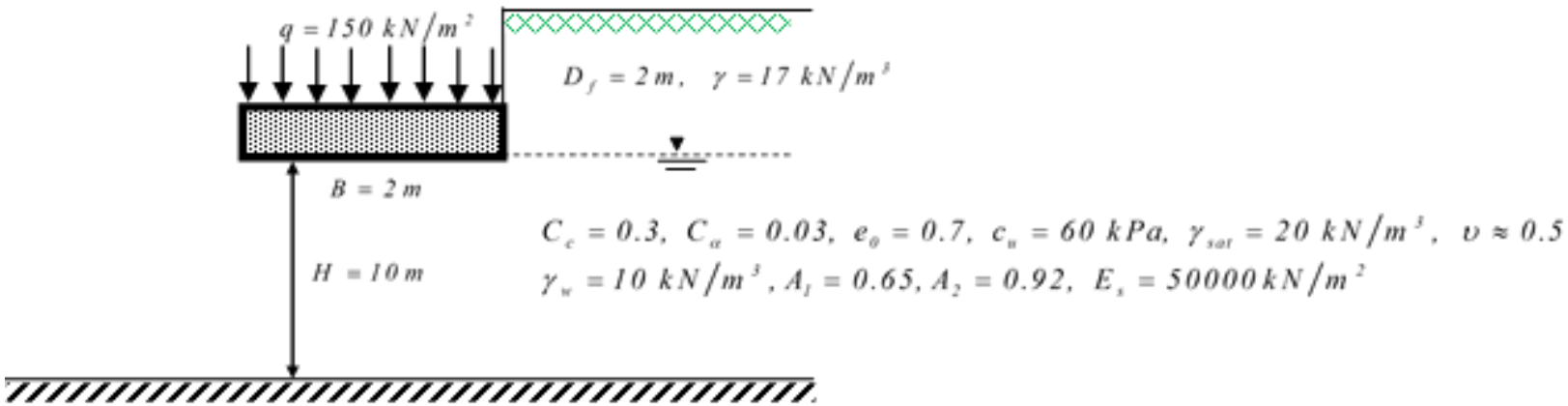
میزان اضافه تنش متوسط در رس:

$$\Delta\sigma_{av} = \frac{\Delta\sigma_t + 4\Delta\sigma_m + \Delta\sigma_b}{6} = \frac{150 + 4\times 10.74 + 2.82}{6} = 32.63\,\text{kPa}$$

نشست تحکیم اولیه برابر است با:

$$S_{cp} = \frac{c_c H}{1+e_0}\log\left(\frac{\sigma_0+\Delta\sigma_{av}}{\sigma_0}\right) = \frac{0.3\times 10}{1+0.7}\log\left(\frac{84+32.63}{84}\right) = 0.2515\,\text{m} = 25.15\,\text{cm}$$

مثال امتحانی نیمسال دوم ۹۵- نشست کل شالوده مربعی را بر روی رس اشباع بر اثر اضافه تنش را بعد از ۵ سال تعیین کنید؟ پایان تحکیم اولیه ۲.۵ سال بعد از بارگذاری شالوده است.



$$S = S_e + S_c = S_e + S_{cp} + S_{cs} \qquad S_e = 0.3588\,\text{cm} \qquad S_{cp} = 0.2515\,\text{m} = 25.15\,\text{cm}$$

نشست تحکیم ثانویه برابر است با:

$$S_{cs} = \frac{c_\alpha}{1+e_p} H \log\left(\frac{t_2}{t_1}\right), \qquad \Delta e_p = c_c \log\left(\frac{\sigma_0 + \Delta\sigma_{av}}{\sigma_0}\right) = 0.3 \times \log\left(\frac{84+32.63}{84}\right) = 0.0428$$

$$e_p = e_0 - \Delta e_p = 0.7 - 0.0428 = 0.657 \qquad S_{cs} = \frac{c_\alpha}{1+e_p} H_t \log\left(\frac{t_2}{t_1}\right) = \frac{0.03}{1+0.657}(10)\log\left(\frac{5}{2.5}\right) = 0.0545\,\text{m} = 5.45\,\text{cm}$$

$$S = S_e + S_c = S_e + S_{cp} + S_{cs} = 0.3588 + 25.15 + 5.45 = 30.96\,\text{cm}$$

Thanks For Your Attention