سوال ۱-الف: دو نوع تئوری موجود در درس، برای برآورد اضافه تنش را نام ببرید و **ب:** تفاوت آنها را بگویید؟ **ج:** محاسبه اضافه تنش از روش نیومارک بر اساس کدامیک از دو تئوری است؟ **د:** مراحل تعیین اضافه تنش از روش نیومارک را توضیح دهید؟ **۲ نمره**

25 %

25 %

پاسخ: الف- بوزینسک و وسترگارد **ب)** تنش اضافی از روش وسترگارد، برخلاف روش بوزینسک تابعی از ضریب پواسون است. **ج)** روش بوزینسک **د)** برای تعیین اضافه تنش ناشی از سربار در عمق z به صورت زیر عمل می‌کنیم:

20 %

گام اول: ابتدا ضریب تاثیر را از رابطه مقابل بدست می‌آوریم. $I = \frac{1}{N'} = \frac{1}{200} = 0.005$

30 %

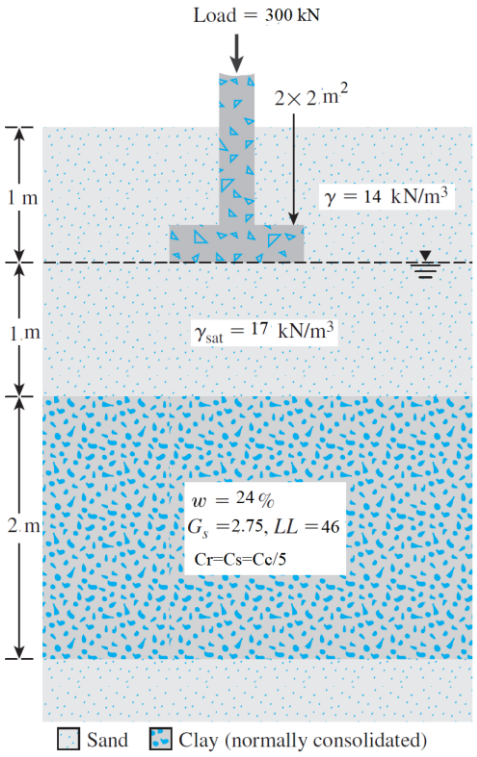
که در آن N' تعداد چشمه نمودار فوق است

گام دوم: طول AB که مقیاس دیاگرام است برابر با عمق z (عمقی که قرار است در آن اضافه تنش محاسبه شود) قرار می‌دهیم.

گام سوم: شکل پلان بارگذاری یا شالوده بر پایه‌ی مقیاس AB رسم می‌کنیم به‌طوری که نقطه مورد نظر برای تعیین اضافه تنش بر مرکز دایره‌های نیومارک منطبق شود.

گام چهارم: تعدادچشمه های محصورشده داخل پلان بارگذاری رسم شده بر روی دایره‌های نیومارک را می‌شماریم وآن را با N نشان می‌دهیم. توجه شود که دو نیم چشمه برابر یک در نظر گرفته شود.

گام پنجم: اضافه تنش از رابطه زیر بدست می‌آید: $\Delta\sigma_A = I \times N \times q_0$



سوال ۲- پروفیل خاکی روبرو مفروض است. شالوده منفرد مربعی با ابعاد ۲ متر در ۲ متر بار ستون ۳۰۰ کیلونیوتن را تحمل می‌کند. مشخصات خاک در پروفیل نشان داده شده است. پایش میدانی نشان داد که نشست این پی در طول ۱۲ ماه نخست برابر با ۲۵ میلی متر بود. **۶ نمره**

الف: نشست تحکیم اولیه را برآورد کنید (برای محاسبه اضافه تنش در بالا، وسط و پایین لایه رسی از رابطه دقیق استفاده کنید).

ب: مجددا نشست تحکیم اولیه را تعیین کنید که مقادیر اضافه تنش از روش تقریبی ۲ به ۱ فقط در وسط لایه رس محاسبه شود؟ در ادامه حل از همین مقدار نشست استفاده کنید.

ج: درجه تحکیم متوسط بعد از ۱۲ ماه چقدر است.

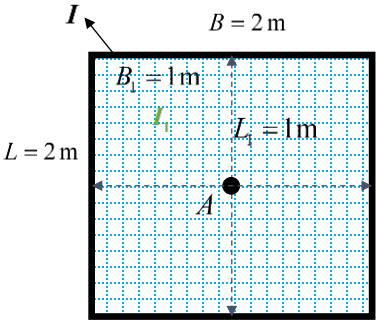
د: مقدار نشست در ۲۴ ماه چقدر می شود؟

ه: در صورت باربرداری به اندازه ۱۰۰ از ۳۰۰ کیلونیوتن، مقدار تورم نهایی را محاسبه کنید؟

برخی از فرمول مورد نیاز برای حل این مسئله:

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

$$c_c=0.009(\mathrm{LL}-10),\quad \omega G_s=eS,\quad \gamma_{sat}=\frac{G_s+e}{1+e}\gamma_w,\quad T_v=\begin{cases}\frac{\pi}{4}\left(\frac{U_z\%}{100}\right)^2 & U_z\le 60\%\\ 1.781-0.933\log(100-U_z\%) & U_z>60\%\end{cases}$$



حل الف:

$$c_c=0.009(\mathrm{LL}-10)=0.324,\quad e=\omega G_s=0.24\times 2.75=0.66$$

$$\gamma_{sat}=\frac{G_s+e}{1+e}\gamma_w=,\frac{2.75+0.66}{1+0.66}\times 9.81=20.15\,\mathrm{kN/m^3}$$ 6 %

میزان تنش اولیه در وسط رس:

$$\sigma_0=\sigma_{0m}=1\times 14+1\times(17-9.81)+1\times(20.15-9.81)=31.532\,\mathrm{kPa}$$ 3 %

میزان اضافه تنش در بالای رس:

$$q_0=\frac{300}{4}=75\mathrm{kPa},$$ 1 %

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

$$I_1=\frac{1}{4\pi}\left[\frac{2m_1n_1\sqrt{m_1^2+n_1^2+1}}{m_1^2+n_1^2+m_1^2n_1^2+1}\times\frac{m_1^2+n_1^2+2}{m_1^2+n_1^2+1}+\tan^{-1}\left(\frac{2m_1n_1\sqrt{m_1^2+n_1^2+1}}{m_1^2+n_1^2-m_1^2n_1^2+1}\right)\right]=0.1752$$ 5%

$$\Delta\sigma_t=q_0I=q_0(4I_1)=75\times 4\times(0.1752)=52.566\mathrm{kPa}$$ 2%

میزان اضافه تنش در وسط رس:

$$m_1=\frac{B}{z}=\frac{1}{2},\quad n_1=\frac{L}{z}=\frac{1}{2}$$

$$I_1=\frac{1}{4\pi}\left[\frac{2m_1n_1\sqrt{m_1^2+n_1^2+1}}{m_1^2+n_1^2+m_1^2n_1^2+1}\times\frac{m_1^2+n_1^2+2}{m_1^2+n_1^2+1}+\tan^{-1}\left(\frac{2m_1n_1\sqrt{m_1^2+n_1^2+1}}{m_1^2+n_1^2-m_1^2n_1^2+1}\right)\right]=0.084$$ 5%

$$\Delta\sigma_m=q_0I=q_0(4I_1)=75\times 4\times(0.084)=25.21\mathrm{kPa}$$ 2 %

میزان اضافه تنش در انتهای لایه‌ی رس:

$$m_1=\frac{B}{z}=\frac{1}{3},\quad n_1=\frac{L}{z}=\frac{1}{3}$$

$$I_1=\frac{1}{4\pi}\left[\frac{2m_1n_1\sqrt{m_1^2+n_1^2+1}}{m_1^2+n_1^2+m_1^2n_1^2+1}\times\frac{m_1^2+n_1^2+2}{m_1^2+n_1^2+1}+\tan^{-1}\left(\frac{2m_1n_1\sqrt{m_1^2+n_1^2+1}}{m_1^2+n_1^2-m_1^2n_1^2+1}\right)\right]=0.0447$$ 5 %

$$\Delta\sigma_b=q_0I=q_0(4I_1)=75\times 4\times(0.0447)=13.42\,\mathrm{kPa}$$ 4 %

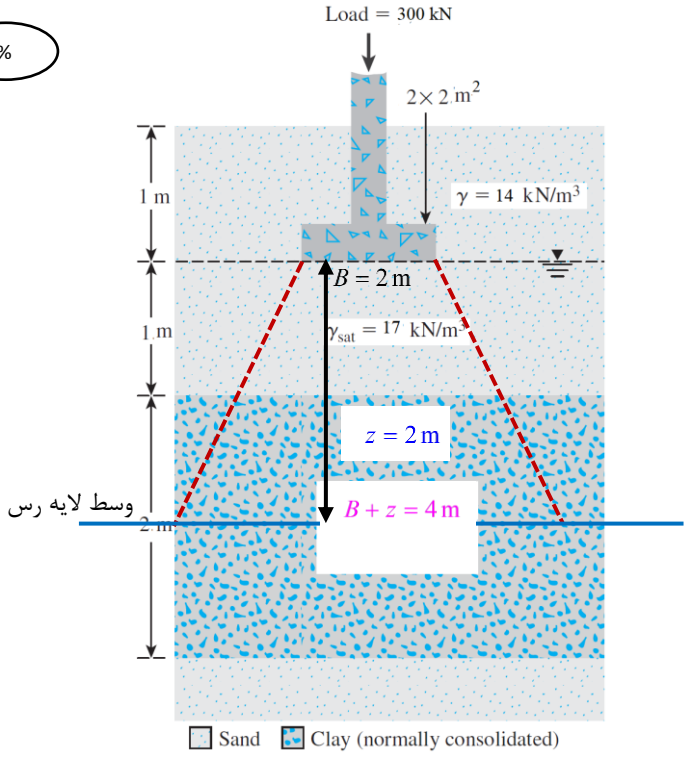
$$\Delta\sigma_{av}=\frac{\Delta\sigma_t+4\Delta\sigma_m+\Delta\sigma_b}{6}=\frac{52.57+4\times25.21+13.42}{6}=\frac{166.83}{6}=27.805\,\text{kPa}$$ (3 %)

نشست تحکیم اولیه برابر است با:

$$S_{cp}=\frac{c_c H}{1+e_0}\log\left(\frac{\sigma_0+\Delta\sigma_{av}}{\sigma_0}\right)=\frac{0.324\times2}{1+0.66}\log\left(\frac{31.53+27.805}{31.53}\right)=0.1072\,\text{m}=107.2\text{mm}$$ (6 %)

حل ب: میزان اضافه تنش در وسط رس به روش تقریبی:

$$\Delta\sigma_m=\frac{q_0 BL}{(B+z)(L+z)}=\frac{300}{(2+2)(2+2)}=18.75\,\text{kPa}$$ (6 %)



$$S_{cp}=\frac{c_c H}{1+e_0}\log\left(\frac{\sigma_0+\Delta\sigma_{av}}{\sigma_0}\right)=$$
$$\frac{0.324\times2}{1+0.66}\log\left(\frac{31.53+18.75}{31.53}\right)=0.07911\,\text{m}=79.11\text{mm}$$ (6 %)

حل ج: درجه تحکیم متوسط بعد از ۱۲ ماه:

$$\bar{U}_z=\frac{(S_c)_t}{(S_c)_{t\to\infty}}=\frac{25}{79.11}=31.6\%$$ (8 %)

حل د: مقدار نشست در ۲۴ ماه: برای پیدا کردن نشست در زمان خاص ابتدا باید ضریب تحکیم c_v و به تناسب آن زمان بدون بعد T_v در همان زمان را تعیین کنیم و سپس با داشتن آن می‌توان درجه تحکیم و در پی آن نشست را محاسبه کرد.

با توجه به توضیح فوق و فرض ثابت ماندن ضریب تحکیم c_v داریم: (4 %)

$$T_v=\frac{\pi}{4}\left(\frac{\bar{U}_z\%}{100}\right)^2\Rightarrow T_v(12\,\text{month})=\frac{\pi}{4}\left(\frac{31.6}{100}\right)^2=0.0784\Rightarrow c_v=\frac{T_v H_{dr}^2}{t}=\frac{0.0784\times2^2}{1}=0.314\,\frac{\text{m}^2}{\text{year}}$$ (4 %)

$$T_v(24\,\text{month})=\frac{c_v t}{H_{dr}^2}=\frac{0.314\times2}{2^2}=0.1568\Rightarrow T_v=\frac{\pi}{4}\left(\frac{\bar{U}_z\%}{100}\right)^2\Rightarrow 0.1568=\frac{\pi}{4}\left(\frac{\bar{U}_z\%}{100}\right)^2\Rightarrow\bar{U}_z=55.32\%$$ (4 %) (4 %)

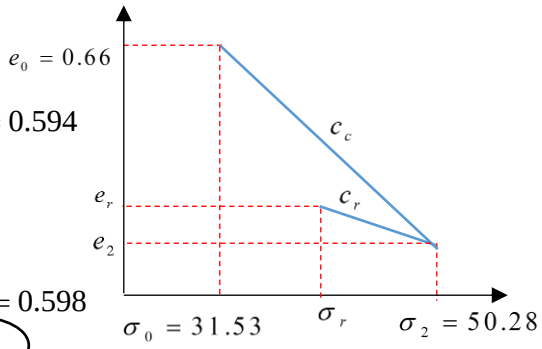
$$\bar{U}_z = \frac{(S_c)_t}{(S_c)_{t\to\infty}} = \frac{(S_c)_{24\,\text{month}}}{79.11} = 55.32\% \Rightarrow (S_c)_{24\,\text{month}} = 43.76\,\text{mm}$$ (4 %)

حل ه: میزان اضافه تنش در وسط رس به روش تقریبی تحت بار ۲۰۰ کیلونیوتن:

$$\Delta\sigma_r = \frac{200}{(2+2)(2+2)} = 12.5\,\text{kPa}$$ (3 %)

$$\sigma_r = \sigma_0 + \Delta\sigma_r = 31.53 + 12.5 = 44.03\ \text{kPa}$$ (3 %)

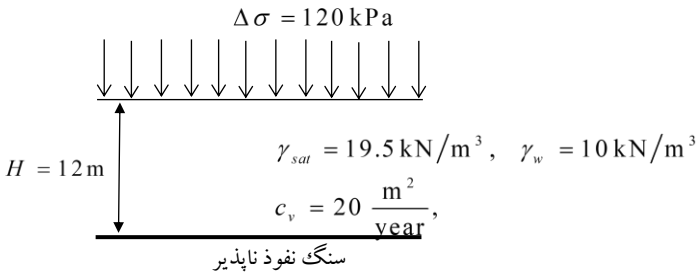
$$\Delta e = e_0 - e_2 = c_c \log\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_0}\right) = 0.324 \times \log\left(\frac{50.28}{31.53}\right) = 0.0657 \Rightarrow e_2 = 0.594$$ (5 %)

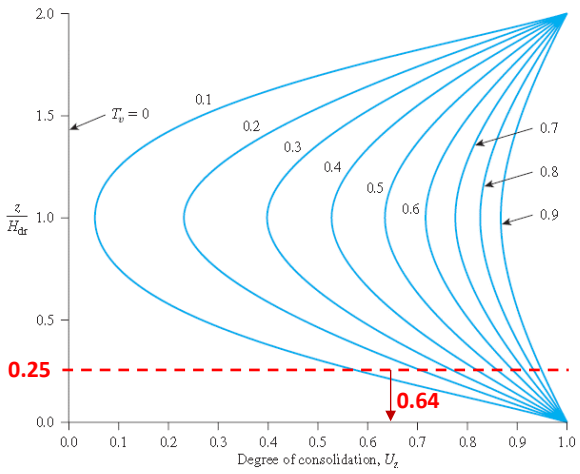


$$\Delta e_r = e_r - e_2 = c_r \log\left(\frac{\sigma_2}{\sigma_r}\right) = \frac{0.324}{5} \times \log\left(\frac{50.28}{44.03}\right) = 0.0037 \Rightarrow e_r = 0.598$$ (5 %)

$$S_r = \frac{c_r H}{1+e_r} \log\left(\frac{\sigma_r}{\sigma_2}\right) = \frac{\frac{0.324}{5}\times 2}{1+0.598} \log\left(\frac{42.29}{50.28}\right) = -0.0061 = 6.1\,\text{mm}$$ (5 %)

سوال ۳- شکل زیر را در نظر بگیرید اگر تنش اضافی $\Delta\sigma = 120\,\text{kPa}$ به لایه وارد شود آنگاه: الف) اضافه فشار آب حفره‌ای ناشی از سربار بعد از ۱ سال بارگذاری در عمق ۳ متری از سطح زمین را از دو روش گراف و رابطه زیر تا (m=1) تعیین کنید؟ ب) اضافه فشار آب حفره‌ای متوسط را بعد از یکسال بدست آورید و نسبت به حالت‌های الف مقایسه کنید؟ **۳ نمره**





$$U_z = 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2}{M} \sin \frac{Mz}{H} \exp\left(-M^2 T_v\right), \quad \bar{U}_z = 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2}{M^2} \exp\left(-M^2 T_v\right), \quad M = \frac{(2m+1)\pi}{2}, \; T_v = \frac{c_v t}{H^2}$$

حل ۳- الف-

(20 %)

$\frac{z}{H_{dr}} = \frac{3}{12} = 0.25,$ 　　$T_v = \frac{c_v t}{H_{dr}^2} = \frac{20 \times 1}{12^2} = 0.139$ زمان بی بعد، بعد از یک‌سال: 　$\Rightarrow$ 　ضریب تحکیم از گراف $U \approx 0.64$

$$U_z = 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2}{M} \sin \frac{Mz}{H_{dr}} \exp\left(-M^2 T_v\right) = 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2 \times 2}{(2m+1)\pi} \sin \frac{(2m+1)\pi \times z}{2H_{dr}} \exp\left(-\frac{(2m+1)^2 \pi^2}{2^2} T_v\right)$$

$$U_{z=3} \approx 1 - \left\{ \frac{4}{\pi} \sin \frac{\pi \times 3}{2 \times 12} \exp\left(-\frac{\pi^2}{4} \times 0.139\right) + \frac{4}{3\pi} \sin \frac{3\pi \times 3}{2 \times 12} \exp\left(-\frac{9\pi^2}{4} \times 0.139\right) \right\} = 0.6362 = 63.62\%$$ (25 %)

$U_{z=3} = 1 - \frac{u_t}{u_0} \xrightarrow{u_0 = \Delta\sigma} 0.6362 = 1 - \frac{u_t}{120} \Rightarrow u_t = 43.66\,\text{kPa}$ اضافه فشار آب حفره ای در عمق ۳متری بعداز یکسال

(15 %)

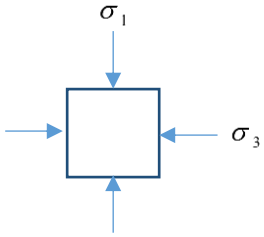
ب-

$$\bar{U}_z = 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2}{M^2} \exp\left(-M^2 T_v\right) = 1 - \sum_{m=0}^{\infty} \frac{2^2 \times 2}{(2m+1)^2 \pi^2} \exp\left(-\frac{(2m+1)^2 \pi^2}{2^2} T_v\right)$$

$$\bar{U}_z \approx 1 - \left\{ \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2}{4} \times 0.139\right) + \frac{8}{9\pi^2} \exp\left(-\frac{9\pi^2}{4} \times 0.139\right) \right\} = 0.42049 = 42.05\%$$ (25%)

$\bar{U}_z = 1 - \frac{\bar{u}_t}{u_0} \xrightarrow{u_0 = \Delta\sigma} 0.4205 = 1 - \frac{\bar{u}_t}{120} \Rightarrow \bar{u}_t = 69.54\,\text{kPa}$ اضافه فشار آب حفره ای متوسط بعداز یکسال (15%)

اضافه فشار آب حفره‌ای متوسط لایه از اضافه فشار آب حفره‌ای در نقطه ۳ متری بعد از یکسال بیشتر است.



سوال ۴- در یک آزمایش سه محوره بر روی یک خاک رس ($c' = 0$) ابتدا آنرا تحت تنش همه جانبه σ_3 قرار می‌دهیم تا تحکیم انجام شود. پس از تحکیم کامل نمونه تحت تنش انحرافی $\Delta\sigma = 1.25\sigma_3$ با سرعت زیاد قرار گیرد، گسیخته می‌شود. الف) زاویه اصطکاک داخلی خاک چند است اگر $A = 0.25$ باشد. ب) تنش برشی و نرمال در صفحه گسیختگی چند است؟ د) خاک رس عادی تحکیم است یا پیش تحکیم؟ چرا؟ **۲.۵ نمره**

حل ۴-

$\sigma_1 = \sigma_3 + \Delta\sigma = \sigma_3 + 1.25\sigma_3 = 2.25\sigma_3,$ (5%)

$\Delta u = A\Delta\sigma = 0.25 \times 1.25\sigma_3 = 0.3125\sigma_3,$ (10%)

$$(\sigma_1 - \Delta u) = (\sigma_3 - \Delta u)\tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) + 2c'\tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right), \quad 10\%$$

$$(2.25\sigma_3 - 0.3125\sigma_3) = (\sigma_3 - 0.3125\sigma_3)\tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) \Rightarrow 1.9375\sigma_3 = 0.6875\sigma_3\tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) \quad 10\%$$

$$\tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) = \frac{1.9375}{0.6875} = 2.1818 \Rightarrow \tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) = 1.679 \Rightarrow \left(45 + \frac{\phi}{2}\right) = 59.218^\circ \Rightarrow \phi = 28.44^\circ \quad 20\%$$

ب) از دایره مور کمک می گیریم و داریم:

$$\sigma_f = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\cos 2\theta \Rightarrow$$

$$\sigma_f = \left(\frac{1.9375 + 0.6875}{2} + \frac{1.9375 - 0.6875}{2}\cos\left(2 \times 59.218\right)\right)\sigma_3 = 1.0148\sigma_3 \quad 15\%$$

$$\tau_f = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}\sin 2\theta \Rightarrow \tau_f = \left(\frac{1.9375 - 0.6875}{2}\sin\left(2 \times 59.218\right)\right)\sigma_3 = 0.55\sigma_3 \quad 15\%$$

ج) نام آزمایش تحکیم یافته زهکشی نشده است(CU). زیرا زمان اعمال تنش انحرافی سریع است و فرصت زهکشی به نمونه داده نشد.

د) نوع خاک رس عادی تحکیم است چون ضریب اسکمپتون A مثبت است. 15%

سوال ۵–در آزمایش برش مستقیم تغییرات حجم نمونه و اضافه فشار آب حفره‌ای چگونه است؟ در یک الی دو خط پاسخ دهید؟ **۱.۵ نمره**

30 %

پاسخ: با توجه به اینکه آزمایش در شرایط CD است بنابراین اضافه فشار آب حفره صفر است. تغییر حجم نمونه در مرحله بارگذاری قائم کاهنده است ولی در زمان اعمال برش بسته به نوع خاک اگر متراکم باشد افزایش حجم و اگر سست باشد کاهش حجم مشاهده می‌شود.

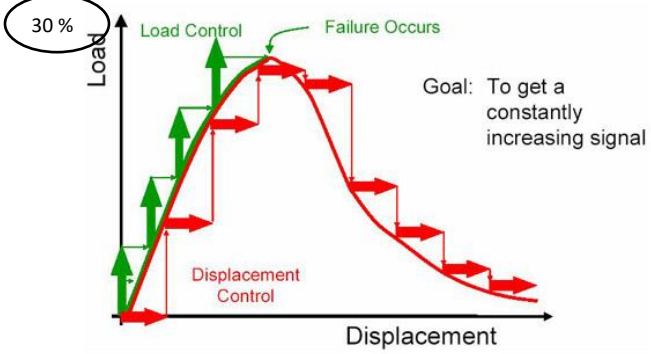
20 %　20 %　20 %

سوال ۶– آزمایش کرنش کنترل و تنش کنترل را با رسم شکل منحنی تنش-کرنش توضیح دهید و مزایا و معایب آن‌ها را بنویسید؟ **۲.۵ نمره**

پاسخ: ۱- تنش کنترل: در این آزمایش میزان تنش‌ها را در هر مرحله از بارگذاری (بصورت پله ای) افزایش می دهیم و کرنش ها را با استفاده از گیج جابجایی قرائت می کنیم. از این آزمایش فقط می توان مقاومت حداکثر را تعیین کرد و بعد از تنش ماکزیمم اطلاعاتی در دست نیست که عیب این آزمایش است. 30 %

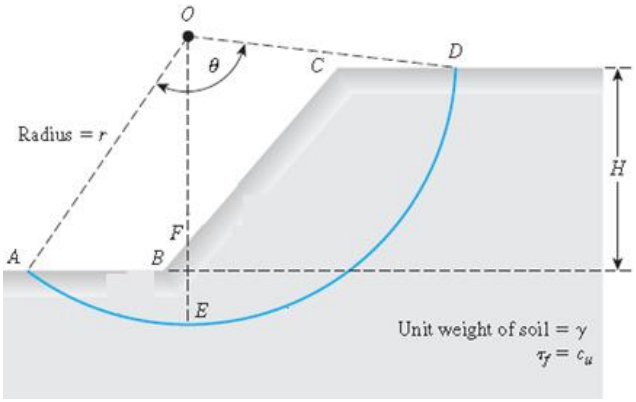
۲- کرنش کنترل: با اعمال کرنش یا جابجایی (بصورت پله ای) میزان نیرو را از نیروسنج در هر مرحله قرائت می کنیم. در این آزمایش علاوه بر مقاومت برشی حداکثر، مقاومت برشی نهایی نیز قابل تعیین است ورفتار خاک را بعد از گسیختگی می توان تعیین کرد.

30 %



40 %

سوال ۷- ضریب اطمینان شیب شکل زیر را از روش سوئدی تعیین کنید؟ **۲.۵ نمره**



داده ها: $\gamma = 16\,\mathrm{kN/m^3}$, $c_u = 30\ \mathrm{kN/m^2}$,
$\theta = 120^\circ$, $r = 30\ \mathrm{m}$

مساحت $FCDEF$ و فاصله افقی مرکز سطح آن از نقطه E به ترتیب برابر با ۱۴۰۰ متر مربع و ۱۴ متر است.

مساحت $ABFEA$ و فاصله افقی مرکز آن از نقطه E به ترتیب برابر با ۲۰۰ متر مربع و ۳.۵ متر است.

حل:

$$\mathrm{F.S} = \frac{\sum M_R}{\sum M_d} = \frac{\text{مجموع لنگرهای مقاوم}}{\text{مجموع لنگرهای محرک}} \geq 1.5$$

$$W_1 = (\text{Area of } FCDEF) \times \gamma = 1400 \times 16 = 22400 \quad (10\,\%)$$

$$W_2 = (\text{Area of } ABFEA) \times \gamma = 200 \times 16 = 3200 \quad (10\,\%)$$

$$\mathrm{F.S} = \frac{c_u r^2 \theta}{W_1 l_1 - W_2 l_2} = \frac{30 \times 30^2 \times \frac{2}{3}\pi}{22400 \times 14 - 3200 \times 3.5} = \frac{56549}{302400} = 0.187 \leq 1.5 \quad \text{Not OK} \times$$

(10 %) (20 %) (30 %) (20 %)

تهیه و تنظیم: **علی عسگری**،

عضو هیات علمی گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی و فناوری، دانشگاه مازندران