وقت: ۱۲۰ دقیقه **سوالات برگه بسته**

سوال ۱ – مزیت شناسایی‌های زیرسطحی ژئوفیزیکی نسبت به روش های سنتی چیست؟ چه پارامترهای از این روش شناسایی قابل حصول است؟ **۱.۲۵ نمره**

پاسخ: روش‌های شناسایی ژئوفیزیکی هزینه کمتری نسبت به روش های سنتی مثل حفاری دارند اما تفسیر نتایج کمی مشکل است. اگرچه امروزه با ابر کامپیوتر ها این مسئله رفع گردیده است. شناسایی زیر سطحی ژئوفیزیکی کاربردهای بسیار وسیع دارد از جمله: در تشخیص لایه بندی زمین و ضخامت هر لایه، اکتشافات معادن و مخازن نفتی و تعیین پارامترهای لرزه‌ای مثل سرعت موج برشی و طولی و مدول برشی نقش بسزایی دارد.

سوال ۲– انواع نمونه گیر را نام ببرید و برای تهیه چه نمونه ای بکار میروند؟ میزان دست خوردگی نمونه ها چگونه است؟ و برای چه خاک‌هایی مناسب است؟ توضیح دهید؟ **۲ نمره**

پاسخ: انواع نمونه گیرها:

۱- نمونه‌گیر قاشقی یا قاشقک شکافدار: برای اخذ نمونه های دست خورده است که در آزمایش نفوذ استاندارد SPT بکار می‌رود. ضخامت جدار آن تا حدودی ضخیم است و همان باعث دست خوردگی زیاد نمونه می شود. برای نمونه‌گیری هر نوع خاک به‌کار می‌رود. این نمونه‌گیر ممکن است دارای دریچه یک طرفه جهت نمونه های آبدار و گل استفاده شود. برای گرفتن نمونه دانه ای خشک مثل ماسه خشک ممکن است به فنر مغزه گیر نیاز شود. این نمونه گیر علاوه بر نمونه گرفتن مقاومت خاک را با عدد SPT ربط می دهد. (۲۰%)

۲- نمونه‌گیر جدارنازک یا شلبی: نمونه گیری بصورت لوله ای جدار نازک و معمولا از جنس فولاد یا پلاستیک با فشار یا کوبیدن به داخل خاک رانده می شود و برای نمونه گیری در خاکهای نرم و ریزدانه مورد استفاده قرار می گیرد. معمولا نمونه بدست آمده با دست خوردگی کم است(بدلیل جدار نازک بودن). برای خاک درشت دانه کاربرد ندارد. این نمونه‌گیر بدلیل نازک بودن جدار در خاک های درشت دانه باعث کج شدن و یا آسیب دیدن نمونه‌گیر خواهد شد. (۲۰%)

۳- نمونه‌گیر پیستونی: وقتی قطر نمونه بزرگ باشد، ممکن است نمونه به واسطه بیرون کشیدن به کف چاه ریزش کند در اینصورت با ایجاد مکش در قسمت فوقانی نمونه مانع ریزش می‌شود. بدلیل مکشی بودن و جدار نازک بودن نمونه‌گیر، نمونه دست‌نخورده تر از نمونه‌گیر شلبی است. معمولا برای نمونه‌گیری خاک‌های ریزدانه و نرم به‌کار می‌رود. (۲۰%)

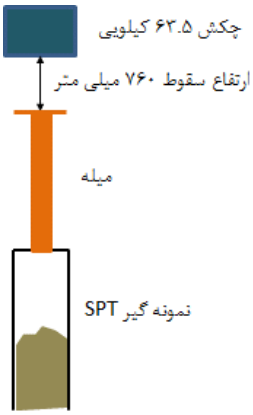
۴- نمونه گیر لفافی: وقتی طول نمونه بزرگ باشد ممکن است اصطکاک جانبی مانع تهیه یک نمونه دست نخورده شود. با نمونه گیر لفافی می توان نمونه ای حتی به طول ۱۰ تا ۲۰ متر با کمترین اصطکاک تهیه کرد. بین نمونه خاک و لوله کاغذهای فیلتر قرار دارند که باعث کاهش اصطکاک و کاهش دست خوردگی می‌شوند. معمولا برای نمونه‌گیری خاک‌های نرم و ریزدانه به‌کار می‌رود. (۲۰%)

۵- نمونه‌گیر پیچشی: در بدنه استوانه‌ای این نوع نمونه‌گیر شیاری دارد. همچنین این نمونه‌گیر دارای یک کلاهک است که با چرخاندن نمونه گیر، خاک را خراش داده و از طریق شیار در محفظه خود می‌ریزد. بنابراین نمونه های از این نوع نمونه گیردست خورده هستند. برای خاک دانه‌ای و غیرچسبنده کاربرد دارد. در صورت چسبنده بودن خاک باعث مسدود کردن شیار می‌شود و نمی‌توان از این نوع نمونه‌گیر برای خاک چسبنده استفاده کرد. (۲۰%)

سوال ۳– شش مورد از آزمایشات صحرایی مهم را نام ببرید و یکی از آنها را به دلخواه شرح دهید؟ ؟ ۲ نمره

پاسخ: نفوذ استاندراد، نفوذ مخروط، بارگذاری صفحه، برش پره، پرسیومتری، برش گمانه،... 30%

Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering



الف- روش نفوذ استاندارد SPT: این آزمایش در سال ۱۹۲۷ ابداع شد و یکی از متداول ترین آزمایش برای بدست آوردن اطلاعات زیرسطحی در خشکی و ساحل است. ۸۵ تا ۹۰ درصد پی های معمول در آمریکا با استفاده از نتایج این آزمایش طراحی می شوند. این آزمایش شامل موارد زیر است:

۷۰%

الف) کوبیدن نمونه گیر استوانه ای شکافدار استاندارد به عمق نفوذ ۴۵ سانتی متر در خاک کف گمانه

ب) ابتدا با چکش ۶۳.۵ کیلویی با ارتفاع سقوط ۷۶ سانتی متر می کوبیم تا ۱۵ سانتی متر نمونه گیر در خاک فرو رود، سپس تعداد ضربات لازم برای کوبیدن نمونه گیر شکافدار استاندارد به عمق نفوذ ۳۰ سانتی متر بقیه در خاک کف گمانه را عدد SPT (N) می‌گویند.

درصدی از انرژی وارد از طریق میله ها، طناب و قرقره متصل به چکش، نمونه گیرو قطر گمانه تلف می شود که در این‌صورت عدد SPT (N) باید اصلاح شود. آزمایش SPT برای همه نوع خاک ها کاربردی است. در آزمایش نفوذ استاندارد SPT علاوه بر تعیین ظرفیت باربری می توان وزن مخصوص خاک γ ، زاویه اصطکاک داخلی خاک φ ، تراکم نسبی D_r ، مقاومت زهکشی نشده c_u و مدول تنش-کرنش E_s و... برآورد کرد.

ب- روش نفوذ مخروط CPT (ASTM D-3441 & D-5778): دستگاه این آزمایش اولین بار توسط هلندی ها در سال ۱۹۳۰ ابداع شده است. آزمایش CPT برای محیط هایی با مصالح ماسه‌ای (نهشته های ماسه ای ریز تا متوسط) و ریزدانه(رس و لای نرم) قابل انجام است. در این آزمایش نوک مخروط با سرعت ۱۰-۲۰ میلیمتر بر ثانیه در زمین نفوذ می کند و امکان ثبت فشار در نوک (q_c) و جدار مخروط (q_s) وجود دارد. انواع مخروط اندازه گیری به دو صورت زیر است:

۷۰%

سیستم های مکانیکی ASTM-D3441

سیستم های الکتریکی و الکتروتکنیکی ASTM-D5778

CPTu : این نوع دستگاه نفوذ مخروط مجهز به فشارسنج آب حفره ای است که در فرآیند آزمایش علاوه بر تنش مقاوم جانبی و نوک، اضافه فشار آب حفره ای را در هر عمق ثبت می کند.

SCPTu: این دستگاه را نفوذ مخروط لرزه ای می نامند که علاوه بر پارامترها فوق قادر به ثبت سرعت موج برشی در خاک است.

CPT Push Sampler: دستگاه را نفوذ مخروط معمولی قادر به نمونه گیری نیست اما این نوع از مخروط می تواند نمونه گیری کند. که اطلاعات دقیق تری از نوع خاک و پارامترهای مقاومتی قابل تعیین است.

همبستگی پارامترها با آزمایش CPT: ظرفیت باربری q_{ult}، تعیین نام و نوع خاک، مقاومت برشی زهکشی نشده c_u، نشانه خمیری I_p، ضریب پیش تحکیم OCR، درصد تراکم D_r، زاویه اصطکاک داخلی خاک φ و قطر متوسط که ۵۰٪ دانه ها از آن کوچکترند D_{50} از آزمایش CPT تعیین می شود.

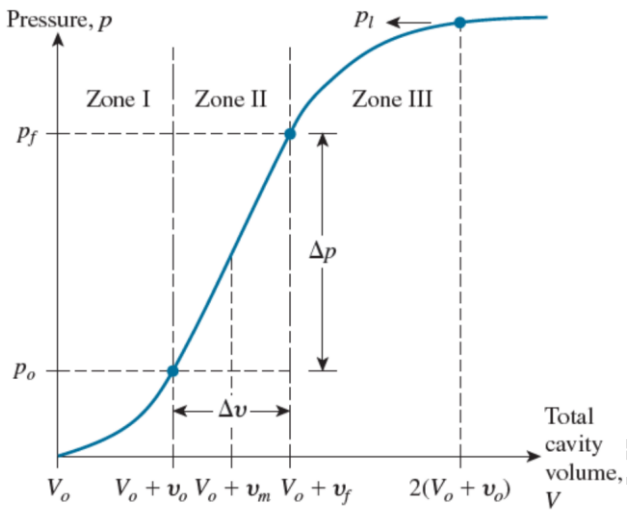
Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering

ج- آزمایش فشارسنج: آزمایش فشارسنج ASTM D- ۴۷۱۹ یک آزمایش درجا است که در گمانه انجام می‌شود. در ابتدا توسط منارد در ۱۹۵۶ برای اندازه‌گیری مقاومت و تغییر شکل‌پذیری خاک توسعه یافت. نوع PMT منارد اساساً از یک پروب با سه سلول تشکیل شده است . همان‌طور که در شکل روبرو به صورت شماتیک نشان داده شده است، سلول‌های بالا و پایین سلول‌های محافظ هستند و وسط سلول اندازه‌گیری است. سلول‌های کاوشگر را می‌توان با مایع یا گاز منبسط نمود. سلول‌های محافظ برای کاهش اثر وضعیت پایانی که دارای حجم 535 سانتی‌متر مکعب است، منبسط می‌شوند. برای انجام آزمایش کاوشگر به داخل گمانه وارد می‌شود. فشار توسط گاز یا سیال به صورت افزایشی اعمال می‌شود و حجم جدید سلول اندازه‌گیری می‌شود. این روند تا زمانی که خاک از تسلیم شود ادامه می یابد. زمانی که حجم کل حفره منبسط شده V حدود دو برابر حجم حفره اولیه باشد، خاک گسیخته در نظر گرفته می‌شود. پس از اتمام آزمایش، کاوشگر تخلیه می‌شود و برای آزمایش در عمق دیگری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

70%

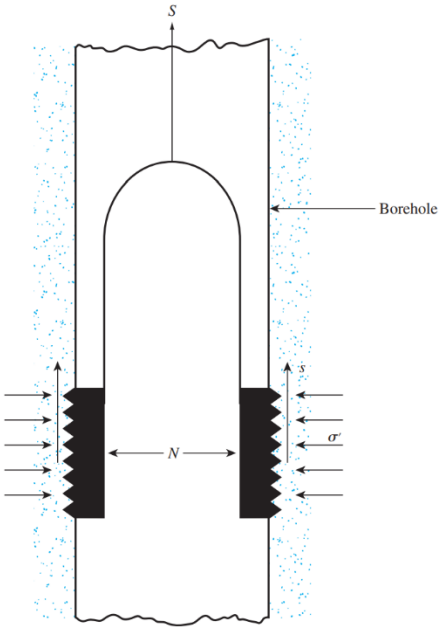
نمودار فشار گاز یا مایع بر حسب تغییرات حجم سل از خروجی مستقیم این نوع آزمایش است.

مشخصات خاک نظیر تنش پیش تحکیم، مقاومت زهکشی نشده خاک رس اشباع، مدول الاستیسیته و فشار جانبی برجای محل از انجام این آزمایش قابل حصول است.



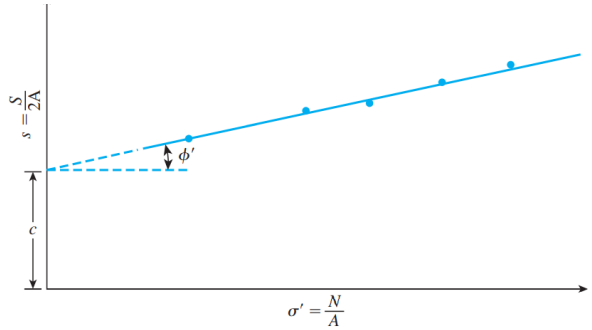
نمودار فشار در برابر حجم کل حفره

Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering



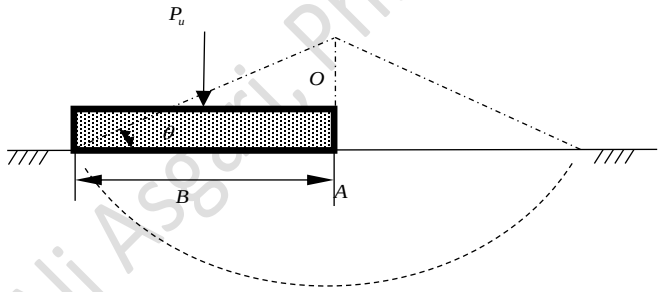
د- آزمایش صحرایی برش گمانه آیووا Iowa Borehole Shear Test : برای تعیین پارامترهای مقاومت برشی نظیر زاویه اصطکاک داخلی و ضریب چسبندگی خاک در عمق معینی از چاه حفاری شده می باشد. این آزمایش صحرایی بسیار مشابه آزمایش برش مستقیم است و در شرایط تحکیم یافته زهکشی شده(CD) انجام می‌شود. این دستگاه برشی شامل دو صفحه شیاردار Shear Head مانند شکل روبرو است که به داخل گمانه رانده می‌شوند. یک نیروی کنترل شده N عمود بر دیواره چاه و به هر یک از صفحات شیاردار اعمال می‌شودو سپس به مدت ۵ دقیقه در ماسه و ۱۰ تا ۲۰ دقیقه در خاک رس صبر می‌کنیم تا تحکیم انجام شود.

سپس نیروی برشی در راستای گمانه S، را به آرامی وارد می کنیم تا گسیختگی برش رخ دهد. برای تعیین زاویه اصطکاک داخلی و ضریب چسبندگی خاک نیاز است این آزمایش حداقل دو بار با نیروی N متفاوت انجام پذیرد. نتایج بصورت شکل زیر ارائه شده است که می توان به راحتی پارامترهای مقاومتی را تعیین کرد.



$$\sigma' = \frac{N}{A}, \qquad s = \frac{S}{2A}$$

سوال ۴- یک شالوده نواری به عرض B در سطح یک خاک چسبنده رس اشباع و همگن با مقاومت زهکشی نشده S_u مطابق شکل زیر قرار گرفته است. با فرض اینکه گسیختگی حول نقطه O در بالای شالوده باشد و شعاع گسیختگی R باشد، ظرفیت باربری را بدست آورید.۲ نمره



مجموع لنگر حول نقطه O را برابر با صفر قرار می‌دهیم:

$$\sum M_O = 0,$$

$$q_{ult} \times B \times \frac{B}{2} = Cu(\pi - 2\theta)R^2 \xrightarrow{B=R\cos\theta} q_{ult} = \frac{2Cu(\pi - 2\theta)}{\cos^2\theta}$$

۳۰%

برای اینکه ظرفیت باربری کمینه شوده باید نسبت به مشتق می گیریم. بنابراین داریم:

Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering

$$\frac{\partial q_{ult}}{\partial \theta}=0 \quad \Rightarrow \quad \frac{\partial q_{ult}}{\partial \theta}=2Cu\frac{-2\cos^2\theta+2(\pi-2\theta)\cos\theta\sin\theta}{\cos^4\theta}=0$$
$$\Rightarrow \quad (\pi-2\theta)\sin\theta-\cos\theta=0 \quad \Rightarrow \quad \theta=0.405\ \text{rad}=23.218^\circ$$

۴۰%

ظرفیت باربری برابر است با:

$$q_{ult}=\frac{2Cu(\pi-2\theta)}{\cos^2\theta}=\frac{2Cu(\pi-2\times0.405)}{\cos^2(23.218)}=5.54Cu$$

۳۰%

سوال ۵- در شالوده‌ها بر روی خاک دانه‌ای کدام ترم ظرفیت باربری غالب است؟ در خاک‌های رسی چطور؟ با ذکر دلیل؟ ۱.۲۵نمره

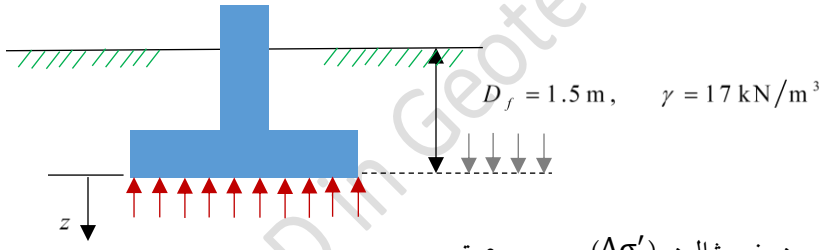
ترم عمق- چون با افزایش زاویه اصطکاک خاک به صورت نمایی مقدار Nq افزایش می یابد بنابراین با کوچکترین افزایش در عمق شالوده ترم دوم چشمگیر خواهد شد و البته در خاک دانه‌ای بدلیل عدم وجود چسبندگی ترم چسبندگی نداریم. ۵۰%

در خاکهای رسی معمولا ترم چسبندگی غالب است. زیرا در این خاکها زاویه اصطکاک پایین است بنابراین ترم ۲ و ۳ ناچیز است و در عوض ترم چسبندگی غالب تر است.

۵۰%

سوالات دو برگه A4 فرمول آزاد

سوال۶-شالوده دایره‌ای شکل به شعاع ۲ متر تحت سربار ۴۰ تن قرار دارد، مطلوبست حداقل عمق گمانه به روش ASCE ؟ **۲.۵ نمره**



گام اول: محاسبه افزایش فشار خالص در زیر شالوده ($\Delta\sigma'$) بر حسب عمق

گام دوم: تعیین تنش قائم موثر σ'_0 بر حسب عمق

$$\sigma'_0=\gamma D_f+\gamma z=17\times1.5+17z$$

۵%

گام سوم: تعیین عمقی $D=D_1$ که تنش اضافی در آن برابر با یک دهم تنش وارده به شالوده $\Delta\sigma'=0.1q_{ult}$ باشد.

$$\frac{\Delta\sigma_z}{q_0}=1-\frac{1}{\left[1+(R/z)^2\right]^{\frac{3}{2}}}=1-\frac{1}{\left[1+(2/z)^2\right]^{\frac{3}{2}}}=\frac{1}{10},$$

۱۵%

$$\left[1+(2/z)^2\right]^{\frac{3}{2}}=\frac{10}{9}\Rightarrow \quad z=7.414\,\text{m}$$

۲۰%

$$D_1=z+D_f=7.414+1.5=8.914\,\text{m}$$

۵%

گام چهارم: تعیین عمقی $D=D_2$ که نسبت $\frac{\Delta\sigma'}{\sigma'_0}=0.05$ برقرار باشد.

Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering

$$\frac{\Delta\sigma_z}{\sigma'_0}=\frac{q_0}{\sigma'}\left[1-\frac{1}{\left[1+\left(R/z\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}\right]=\frac{40\times 9.81}{\pi\times 2^2\left(17\times 1.5+17z\right)}\left[1-\frac{1}{\left[1+\left(R/z\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}\right]=0.05,$$

$$\frac{98.1}{\pi\times\left(17\times 1.5+17z\right)}\left[1-\frac{1}{\left[1+\left(R/z\right)^2\right]^{\frac{3}{2}}}\right]=0.05 \quad (15\,\%)$$

$$\Rightarrow\ z=1.44\,\text{m} \quad (30\,\%)$$

توجه شود که z از حل معادله درجه ۳ فوق و یا باروش صحیح الخطا تعیین می شود.

$$D_2=z+D_f=1.44+1.5=2.94\,\text{m} \quad (5\,\%)$$

گام پنجم: کوچکترین مقدار عمق تعیین شده از گامهای ۳و۴ همان حداقل عمق تقریبی است البته اگر به لایه سنگ برخورد نکنیم.

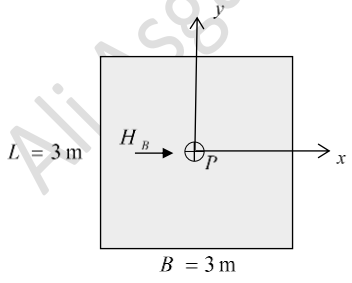
$$D=\min\left\{D_1,\,D_2\right\}=\min\left\{8.914,\,2.94\right\}=2.94\,\text{m}\approx 3\text{m} \quad (5\,\%)$$

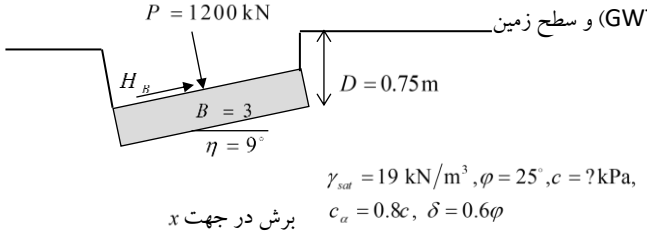
سوال ۷- شالوده مربعی شکل به ابعاد $3\times 3\ m^2$ مطابق شکل تحت بارهای افقی $H_B=300\,\text{kN}$ و بار قائم $P=1200\,\text{kN}$ قرار گرفته است. **۴.۵ نمره**

الف مطلوبست تعیین چسبندگی خاک با استفاده از نتایج آزمایش برش پره؟($T=19.8\,\text{N-m}$, $h=2d$, $d=60mm$) که در آن ضریب اصلاح $\lambda=0.8$ است.

ب) مطلوبست کنترل لغزش پی با ضریب اطمینان $S.F.=1.75$

ج) مطلوبست کنترل ابعاد شالوده در برابر ظرفیت باربری پی با ضریب اطمینان $S.F=3$ (از روش هنسن)





حل الف)

Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering

$$c_u = f\ (T, d, h), \qquad c_{u(\mathrm{VST})} = \frac{2T}{\pi d^2\left(h+\frac{d}{3}\right)} = \frac{2\times 19.8\times 10^{-3}}{\pi(0.06)^2\left(0.12+\frac{0.06}{3}\right)} \approx 25\,\mathrm{kPa}$$

$$c_{u(\mathrm{corrected})} = \lambda c_{u(\mathrm{VST})} = 0.8\times 25 = 20\,\mathrm{kPa}$$ (15 %)

حل ب) کنترل لغزش:

$$H_{act} = 300\,\mathrm{kN}, \qquad H_{\max} = P\tan(0.6\times\varphi) + C_\alpha A_f = 1200\times\tan(0.6\times 25) + 16\times 9 = 465.54\ \mathrm{kN}$$

$$\mathrm{FS} = \frac{H_{\max}}{H_{act}} = \frac{465.54}{300} = 1.55 < 1.75 \quad NA.$$ (15 %)

حل ج) با توجه به داده ها از روش هنسن یک طرفه استفاده می‌کنیم:

$$q_{ult} = cN_cS_cd_ci_cg_cb_c + \bar{q}N_qS_qd_qi_qg_qb_q + \frac{1}{2}\gamma' B' N_\gamma S_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

$$\varphi = 25^\circ \ \Rightarrow\ N_c = 20.7205,\ N_q = 10.6621,\ N_\gamma = 6.7583$$ (20 %)

$$\bar{q} = \{19 - 9.81\}\times 0.75 = 6.8925\,\mathrm{kPa},$$

$$\begin{cases} S_\gamma = 1 - 0.4\dfrac{B'}{L'} = 0.6 \ge 0.6 \\ S_q = 1 + \dfrac{B'}{L'}\sin\varphi = 1.42261 \\ S_c = 1 + \dfrac{N_q}{N_c}\dfrac{B'}{L'} = 1.51457 \end{cases}$$ (10 %)

Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering

$$B' = B = 3\text{m}, \quad A_f = B \times L = 3. \times 3 = 9\,\text{m}^2, \quad c_\alpha = 0.8c_u = 16\,\text{kPa}$$

$$\begin{cases} i_q = \left(1 - \dfrac{0.5H_B}{\sum V + A_f c_\alpha \cot\varphi}\right)^{\alpha_1} = 0.693162 \\ i_\gamma = \left(1 - \dfrac{\left(0.7 - \eta^\circ/450\right)H_B}{\sum V + A_f c_\alpha \cot\varphi}\right)^{\alpha_2} = 0.601443 \\ i_c = i_q - \dfrac{1 - i_q}{N_q - 1} = 0.661405 \qquad \varphi > 0 \\ 2 \le \alpha_1,\ \alpha_2 \le 5, \quad \alpha_1,\ \alpha_2 \approx 3.5 \end{cases}$$

10 %

$$\begin{cases} k = \dfrac{D}{B} = \dfrac{0.75}{3} = 0.25 \\ d_\gamma = 1 \\ d_c = 1 + 0.4k = 1.1 \\ d_q = 1 + 2\tan\varphi\left(1 - \sin\varphi\right)^2 k = 1.07773 \end{cases} \qquad \begin{cases} b_q = e^{-2\eta\tan\varphi} = 0.86373 \\ b_\gamma = e^{-2.7\eta\tan\varphi} = 0.82056 \\ b_c = 1 - \dfrac{2\eta}{\pi + 2} = 0.938898 \qquad \varphi > 0 \end{cases}, \qquad g_i = 1,$$

10 %　　10 %

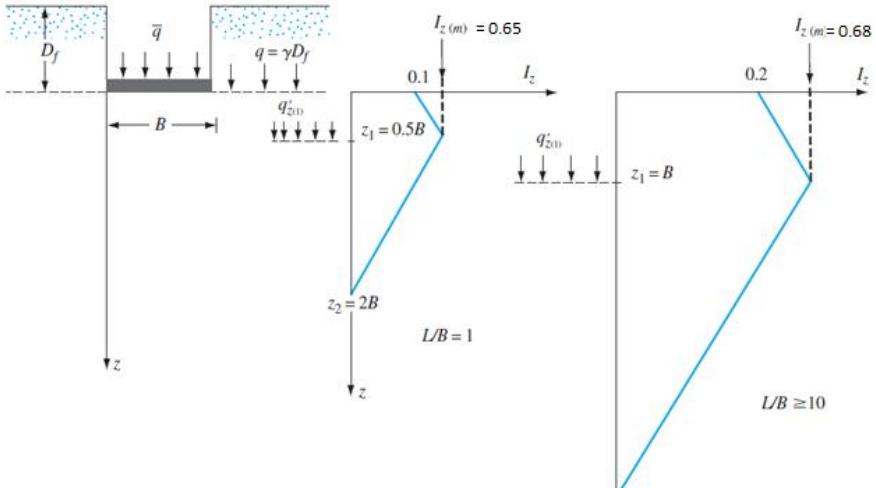
$$q_{ult} = cN_c S_c d_c i_c g_c b_c + \bar{q} N_q S_q d_q i_q g_q b_q + \frac{1}{2}\gamma' B' N_\gamma S_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

$$= 523.8\,\text{kPa}$$

10 %

سوال ۸- نشست الاستیک ماسه در مدت شش سال در یک شالوده مستطیلی به ابعاد $2 \times 4\,\text{m}^2$ تحت تنش 145 کیلوپاسکال چقدر است؟ (از روش اشمرتمن و هارتمن استفاده کنید).راهنمایی: برای تعیین نمودار ضریب تاثیر از درونیابی استفاده کنید.

۴.۵ نمره $\gamma = 17.5\,\text{kN/m}^3, D_f = 1.2m,$

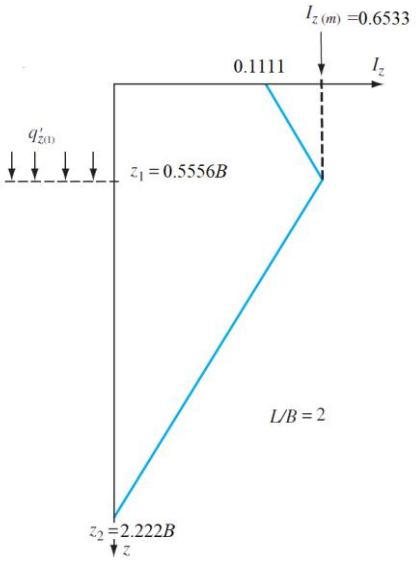


$$E_s = 2.5q_c \quad \text{for square foundation}$$
$$E_s = 3.5q_c \quad \text{for strip foundation,}$$
$$E_{S(\text{rectangle})} = \left(1 + 0.4\log\left(\frac{L}{B}\right)\right)E_{S(\text{square})}$$

مقاومت نوک مخروط کیلو پاسکال	عمق به متر
2250	0-0.5

Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering

0.5-2.5	3430
2.5-5	2590



حل:

25 %

$$E_{S(\text{rectangle})} = \left(1 + 0.4\log\left(\frac{L}{B}\right)\right) E_{S(\text{square})} = \left(1 + 0.4\log\left(\frac{4}{2}\right)\right) 2.5q_c = 2.801q_c$$

عمق به متر	مقاومت نوک مخروط کیلو پاسکال	$E_{S(\text{rectangle})} = 2.801q_c$	$\bar{I}_z$	Δz	$\frac{\bar{I}_z}{E_s}\Delta z$ (15 %)
0-0.5	2250	6302.25	0.233	0.5	1.84934E-05
0.5-1.11	3430	9607.43	0.504	0.61	3.207E-05
1.11-2.5	3430	9607.43	0.517	1.39	7.47679E-05
2.5-4.44	2590	7254.59	0.1905	1.94	5.10713E-05
4.44-5	2590	7254.59	0	0.56	0
		15 %	25 %		$\sum$=0.000176

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

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

5 %

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

5 %

$$S_e = C_1 C_2 \left(\bar{q} - q\right) \sum_{i=1}^{z_i} \frac{\bar{I}_{zi}}{E_{si}} \Delta z_i = 0.915 \times 1.35563 (145 - 21) \times 0.000176 = 2.71 \times 10^{-2}\ m$$

10 %

با امید موفقیت، **علی عسگری**،

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

Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering