مدت کل زمان پاسخ‌گویی به سوالات **۱۲۰ دقیقه** می‌باشد.

بخش اول سوالات: جزوه و کتاب و برگه‌های فرمول ممنوع است!

سوال۱- شرایط روانگرایی دینامیکی خاک چیست؟ و شرح دهید که چگونه این نوع از روانگرایی در خاک ایجاد می شود؟ و چه مشکلاتی می تواند برای سازه و زیرساختار ایجاد کند؟ حداقل چهار روش کنترل کردن آنرا نام ببرید؟ ۲.۵ نمره

پاسخ: هنگامیکه **زلزله** به وقوع بپیوندد نهشته های **اشباع ماسه ای سست و نیمه متراکم** تحت نیروی برشی سیکلی زلزله قرار می‌گیرند که این نوع خاکهای اشباع تمایل به کاهش حجم دارند اما چون فضای بین ماسه‌ها را آب پرکرده و آب غیرقابل تراکم است فشار آب حفره‌ای افزایش می‌یابد. این اضافه فشار تا حدودی از طریق نفوذپذیری ماسه اتلاف می‌شود اما چون زلزله تنش‌های سیکلی پی در پی در زمان کوتاه ایجاد می‌کنند بنابراین اضافه فشار آب حفره‌ای ناشی از کاهش حجم فرصت کافی برای اتلاف ندارد و این اضافه فشار آب حفره‌ای به‌صورت تجمعی در هر سیکل برشی ناشی از زلزله افزایش می یابد تا حتی تنش موثر را نزدیک به صفر می‌رساند. در این‌صورت خاک بی وزن می‌شود و شبیه سیال ویسکوز می‌شود که توانایی تحمل بار را ندارد. نیاز به ترسیم ساختار سست خاک ماسه‌ای اشباع به همراه نیروی برشی است.٪

نکات مهم: ۱-ممکن است روانگرایی در خاکهای سیلتی و رسی و حتی شنی اتفاق بیفتد که احتمال آن کمتر از خاکهای ماسه ای یکنواخت است. ۲- در خاک‌های متراکم پدیده اتساع در خاک(افزایش حجم ناشی از برش)، تا حدود زیادی از روانگرا شدن این نوع خاک جلوگیری می‌کند. یعنی با افزایش حجم، و در صورت ایجاد اضافه فشار آب حفره‌ای ناشی از زلزله این پدیده (اتساع) آنرا در نطفه خفه می‌کند. ۳- در خاک های دانه‌ای درشت دانه تر مثل شن به دلیل نفوذپذیری بالا، اضافه فشار ایجاد شده سریعتر اتلاف می‌شود و در این نوع خاک‌ها پتانسیل روانگرا شدن بسیار اندک است. ۴- در خاکها چسبنده مثل رس بدلیل چسبندگی بین ذرات پتانسیل روانگرایی کم است. در ادامه اگر درصد رد شده از الک شماره‌ی ۲۰۰ از خاکی بیشتر باشد پتانسیل روانگرایی آن کمتر است.

50%

بعداز روانگرایی در خاک زیرین سازه، ممکن است سازه در خاک فرو رود و متحمل نشست زیاد و به تناسب آن موجب خرابی سازه شود. همچنین در سدهای و حتی مسیرهای جاه ای و بزرگراه ها دچار گسیختیگی های شدیدی شوند و نیز احتمال جوشش ماسه ای از لایه های زیرین زمین به سطح زمین شود...

20%

روش‌های بهبود خاکهای قابل روانگرا عبارتنداز: روش اجرای شمع و پی‌های عمیق و نیمه عمیق، ستون سنگی، تراکم دینامیکی با پرتاب وزنه های سنگین، تزریق دوغاب، دیوار شبکه‌ای اختلاط عمیق، انفجار و در موارد نادر جایگزینی با خاک مناسب و غیر قابل روانگرا و...

30%

Boring Log

Name of the Project Two-story apartment building

Location Johnson & Olive St. Date of Boring March 2, 2005

Boring No. 3 Type of Boring Hollow-stem auger Ground Elevation 60.8 m

Soil description	Depth (m)	Soil sample type and number	N_{60}	w_n (%)	Comments
Light brown clay (fill)					
Silty sand (SM)	1–2	SS-1	9	8.2	
▽G.W.T. 3.5 m	3–4	SS-2	12	17.6	LL = 38 PI = 11
Light gray clayey silt (ML)	5	ST-1		20.4	LL = 36 q_u = 112 kN/m^2
	6	SS-3	11	20.6	
Sand with some gravel (SP)	7				
End of boring @ 8 m	8	SS-4	27	9	

N_{60} = standard penetration number
w_n = natural moisture content
LL = liquid limit; PI = plasticity index
q_u = unconfined compression strength
SS = split-spoon sample; ST = Shelby tube sample

Groundwater table observed after one week of drilling

40%

سوال ۲- یک لوگ حفاری کامل در گزارش ژئوتکنیکی دارای چه مشخصاتی هست؟ لطفا با رسم شکل توضیح دهید؟ **۱.۲۵ نمره**

60%

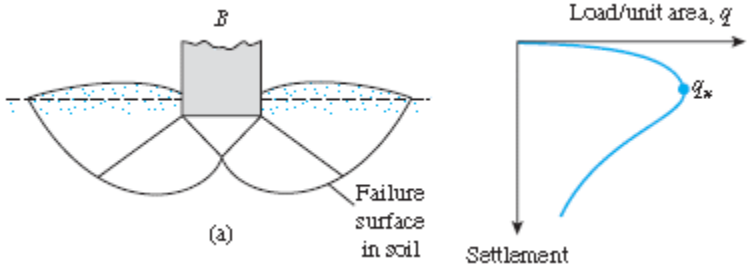
پاسخ: یک لوگ حفاری شامل اطلاعات دقیق از محل حفر گمانه، لایه بندی خاک محل، سطح آب زیرزمینی، پارامترهای فیزیکی و مکانیکی خاک همراه با نوع آزمایش صحرایی و نوع نمونه‌گیری که به شناسایی زیرسطحی کمک زیادی می‌کند.

سوال ۳- الف) آزمایش بارگذاری صفحه را توضیح دهید؟ ب)نتایج (نمودار نشست-بار و شکل گسیختگی خاک زیر صفحه) آزمایش بارگذاری صفحه را برای خاک‌های ماسه‌ای متراکم، نیمه متراکم و سست رسم کنید و آنرا تفسیر کنید؟ ۲ نمره

پاسخ: الف-ظرفیت باربری نهایی و یا مجاز بر مبنای نشست از آزمایش بارگذاری صفحه قابل تعیین است. ورق این آزمایش معمولا از جنس فولاد است و ضخامت آن معمولا ۲۵ میلیمتر است. به دو صورت دایره ای به قطر ۱۵۰ تا ۷۶۲ میلی متر و مربعی در ابعادهای ۱۲ تا ۲۴ اینچی متغییر هستند. برای انجام این آزمایش گودالی حداقل به قطر چهار برابر قطر ورق و عمق آن به اندازه عمق مدفون شالوده اصلی حفر می کنیم. ورق را در وسط گودال قرار داده و سپس در هر گام به اندازه تا بار نهایی تخمینی بارگذاری می کنیم و در هر مرحله از بارگذاری مقدار نشست را از گیج قرائت می کنیم. سپس منحنی تنش-نشست را رسم می کنیم تا مقدار ظرفیت نهایی را تعیین کنیم. منحنی تنش-نشست و نوع گسیختگی پی به یکی از سه حالت زیر رخ می‌دهد: 40%

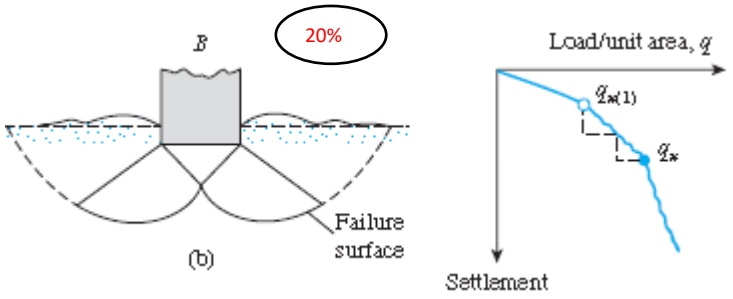
ب-۱- گسیختگی برشی کلی (General Shear Failure) 20%

این نوع گسیختگی در خاکهای ماسه ای متراکم و یا خاک رسی سخت که بار به تدریج بر شالوده وارده می شود، اتفاق می افتد. در اینصورت نشست شالوده افزایش می یابد و در یک نقطه مشخص وقتی فشار زیر شالوده مساوی با q_{ult} شود آنگاه سطح گسیختگی تا سطح زمین ادامه می یابد و در خاک های اطراف شالوده در اثر نشست خود شالوده، تورم رخ می دهد. ممکن است که سطح لغزش و دوران شالوده در یک طرف پی رخ دهد.



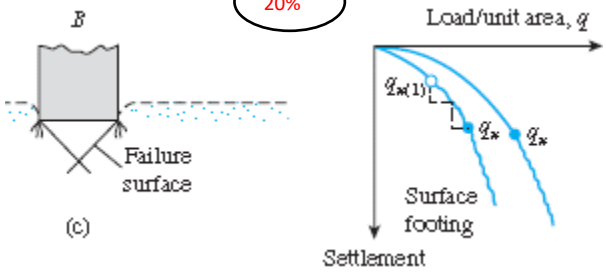
ب-۲- گسیختگی برشی موضعی یا محلی (Local Shear Failure) 20%

این نوع گسیختگی در خاکهای ماسه ای یا خاک رسی با تراکم و سفتی متوسط رخ می دهد. میزان بالازدگی خاک اطراف شالوده کمتر از حالت قبلی است. این نوعی گسیختگی بصورت مرحله ای رخ می دهد.



ب-۳ گسیختگی برشی سوراخ کننده یا پانچ (Punching Shear Failure) 20%

این نوع گسیختگی در خاکهای نسبتا شل و همرا با نشست قابل توجهی رخ می دهد. گسیختگی از این نوع مثل حالت قبل بصورت ناگهانی نیست و صفحات لغزش کاملا تعریق شده نیستند.



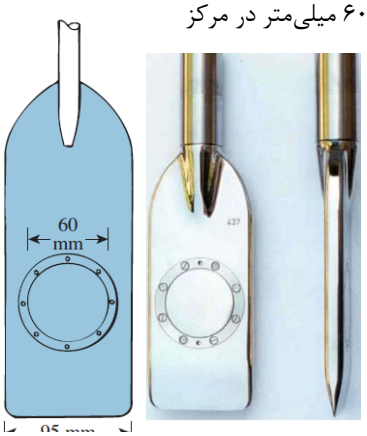
سوال ۴- بنتونیت چیست و کاربردهای آن در حفاری دورانی در سنگ و خاک‌های دانه‌ای چیست؟ به تفکیک توضیح دهید. **۱ نمره**

پاسخ: نوعی رس ریزدانه است که حداقل ۸۵ درصد رس مونت‌موریونیت داشته باشد و کاربرد فراوانی در صنعت و از جمله در حفاری دارد. در هنگام حفاری بنتونیت به آب اضافه می‌شود و دوغاب بنتونیت ایجاد می‌شود. در حفاری خاک دانه‌ای این مواد به‌عنوان پایدار کننده استفاده

می‌شود و باعث عدم ریزش گمانه خواهد شد و در سنگ باعث خنک کردن سرمته خواهد شد. علاوه بر این با ایجاد کیک(لایه نفوذناپذیر در جدار چاه) می تواند باعث کاهش نفوذپذیری گمانه شود.

سوال۵- آزمایش انبساط سنج تخت را شرح دهید و شرح دهید چه پارامترهایی مستقیما از انجام آزمایش قرائت می‌شود؟ **۱.۲۵ نمره**

لوازم جانبی تست دیلاتومتر صفحه تخت اساساً از یک صفحه مسطح به ابعاد ۲۲۰ میلی‌متر (طول) × ۹۵ میلی‌متر (عرض) × ۱۴ میلی‌متر (ضخامت) تشکیل شده است. یک غشای فولادی نازک، مسطح، دایره‌ای و قابل انبساط با قطر ۶۰ میلی‌متر در مرکز در یک طرف صفحه قرار دارد (مطابق شکل روبرو). پروب دیلاتومتر با استفاده از دستگاه تست نفوذسنج مخروطی (CPT) وارد زمین می‌شود (نیاز به حفاری ندارد). این آزمایش در خاکهای رس، لای نرم و ماسه ریز قابل انجام است. خطوط گاز و کابل برق از جعبه کنترل سطح زمین، از طریق میله نفوذسنج، و به تیغه منتقل می‌یابد. در عمق مورد نیاز، از گاز نیتروژن با فشار بالا برای باد کردن غشا استفاده می‌شود. دو قرائت فشار به شرح زیر گرفته می‌شود: ۱) قرائت فشار A مورد نیاز برای انبساط کردن غشاء که با فرو بردن تیغه در عمق مورد نظر قرو برده شده است. ۲) قرائت فشار B که در آن غشاء به اندازه ۱/۱ میلی‌متر خاک اطراف را منبسط می‌کند.



قرائت‌های A و B به شرح زیر تصحیح می‌شوند (Schmertmann, 1986):

Contact stress, $p_o = 1.05\left(A + \Delta A - Z_m\right) - 0.05\left(B - \Delta B - Z_m\right)$

Expansion stress, $p_1 = B - Z_m - \Delta B$

ΔA = vacuum pressure required to keep the membrane in contact with its seating

ΔB = air pressure required inside the membrane to deflect it outward to a center expansion of 1.1 mm

Z_m = gauge pressure deviation from zero when vented to atmospheric pressure

آزمایش برای تعیین سه پارامتر زیر استفاده می‌شود:

K_0	Coeff. Earth Pressure in Situ
OCR	Overconsolidation Ratio
c_u	Undrained Shear Strength
Φ	Friction Angle
c_h	Coefficient of Consolidation
k_h	Coefficient of Permeability
γ	Unit Weight and Description
M	Vertical Drained Constrained Modulus
u_0	Equilibrium Pore Pressure

1. Material index, $I_D = \dfrac{P_1 - P_o}{P_o - u_o}$

2. Horizontal stress index, $K_D = \dfrac{P_o - u_o}{\sigma'_o}$

3. Dilatometer modulus, $E_D\left(\text{kN/m}^2\right) = 34.7\left[\, p_1\left(\text{kN/m}^2\right) - p_o\left(\text{kN/m}^2\right)\right]$

مشخصات خاک نظیر ضریب پیش تحکیم، مقاومت زهکشی نشده خاک رس اشباع، زاویه اصطکاک داخلی خاک، ضریب نفوذپذیری و ضریب فشار جانبی برجای محل از انجام این آزمایش قابل حصول است.

خلاصه ای از پاسخ فوق برای این سوال کفایت می کند.

بخش دوم سوالات: دو برگه A4 فرمول + ماشین حساب آزاد می‌باشد.

سوال۶-مقادیر عدد SPT خام برای یک لوگ حفاری اجرا شده با linear با قطر ۱۵ سانتیمتری به صورت جدول زیر است مطلوبست الف) تعیین مقدار زاویه اصطکاک متوسط داخلی خاک از رابطه $\varphi = 0.36N'_{70} + 27$ و درصد تراکم آن را بر حسب عمق از روش Skempton (1986) $D_r = \left(\frac{N_{60}}{32 + 0.288\sigma'_0}\right)^{0.5}$ ؟

ب) تعیین ظرفیت باربری یک شالوده به عرض ۱۰ متر و عمق مدفون ۲.۵ متر بر روی خاک ماسه ای با وزن مخصوص ۱۷.۸ کیلونیوتن بر مترمکعب؟ راندمان انرژی را برابر با ۸۰ درصد در نظر بگیرید.(برای محاسبه ظرفیت باربری از $\overline{N}_{av}$ استفاده کنید) **۴ نمره**

عمق از سطح زمین به متر	۱.۲۵	۲.۷۵	۵	۸	۱۲	۱۸	۲۵
عددSPT خام	۷	۱۱	۱۲	۱۳	۱۶	۱۸	۲۴

	$N = N_{55}$		$N = N'_{70}$	
	SI	Fps	SI	Fps
F_1	0.05	2.5	0.04	2.0
F_2	0.08	4	0.06	3.2
F_3	0.3	1	0.3	1
F_4	1.2	4	1.2	4
F_5	25	1	25	1
B	m	ft	m	ft
S_e	mm	in	mm	in
D_f	m	ft	m	ft
q_{net}	kPa	Kip/ft^2	kPa	Kip/ft^2

Rod length correction η_2

Length	> 10 m	η_2 = 1.00
	6–10	= 0.95
	4–6	= 0.85
	0–4	= 0.75

Sampler correction η_3

	Without liner	η_3 = 1.00
With liner:	Dense sand, clay	= 0.80
	Loose sand	= 0.90

Borehole diameter correction η_4

Hole diameter:†	60–120 mm	η_4 = 1.00
	150 mm	= 1.05
	200 mm	= 1.15

پاسخ: الف) N_{70} or $N_{60} = C_N \eta_1 \eta_2 \eta_3 \eta_4 N$, $C_N = \sqrt{95.76/\sigma'_0}$, $D_r = \left(\frac{N_{60}}{32 + 0.288\sigma'_0}\right)^{0.5}$, $\bar{N}_{av} = \frac{\sum_{i=1}^{m} N_i z_i}{\sum_{i=1}^{m} z_i}$

عدد SPT خام	عمق از سطح زمین m	σ'_0	η_1 For N_{60} (۷%)	η_1 For N_{70} (۷%)	η_2 (۵%)	η_3 (۷%)	η_4	C_N (۷%)	N_{60} (۲۱%)	N_{70}	φ (۲۱%)	D_r
7	1.25	22.25	1.33	1.14	0.75	0.9	1.05	2.075	13.72325	11.76278	31.23	0.6
11	2.75	48.95	1.33	1.14	0.75	0.9	1.05	1.4	14.53919	12.46216	31.49	0.56
12	5	89	1.33	1.14	0.85	0.9	1.05	1.037	13.33116	11.4267	31.11	0.48
13	8	142.4	1.33	1.14	0.95	0.9	1.05	0.820	12.7607	10.93774	30.94	0.42

16	12	213.6	1.33	1.14	1	0.9	1.05	0.67	13.49839	11.57005	31.17	0.38
18	18	320.4	1.33	1.14	1	0.9	1.05	0.546696	12.39906	10.62777	30.83	0.32
24	25	445	1.33	1.14	1	0.9	1.05	0.463887	14.02794	12.02395	31.33	0.30

حل ب) در محاسبه عدد SPT در طراحی ها از میانگین وزنی عددهای SPT در محدوده $\frac{B}{2}$ بالای شالوده و $2B$ از زیر شالوده استفاده می شود:

$$\bar{N}_{70}=\frac{\sum_{i=1}^{m}N_{70i}z_i}{\sum_{i=1}^{m}z_i}=\frac{\sum_{i=1}^{m}N_{70i}z_i}{1.25+0.25+2.5+5.5+9.5+15.5}=\frac{381.19}{34.5}=11.05\approx 11$$

۱۰%

$$\begin{cases} q_{net}=\dfrac{N}{F_1}k_d\left(\dfrac{S_e}{F_5}\right) & B=10\le F_4=1.2 \\ q_{net}=\dfrac{N}{F_2}\left(\dfrac{B+F_3}{B}\right)^2 k_d\left(\dfrac{S_e}{F_5}\right) & B=10>F_4=1.2 \end{cases}$$

$$k_d=1+\frac{D_f}{3B}<1.33$$

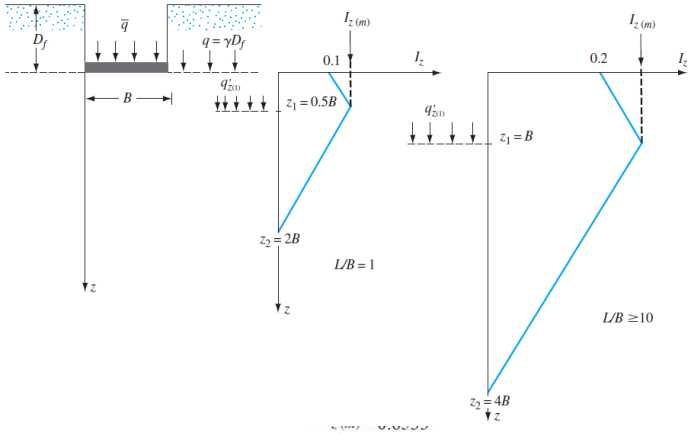
$$\begin{cases} q_{net}=\dfrac{11}{0.06}\left(\dfrac{10+0.3}{10}\right)^2\times 1.0833\times\left(\dfrac{25}{25}\right)=210.71\ \text{kPa} \end{cases}$$

۱۵%

$$k_d=1+\frac{D_f}{3B}=1+\frac{2.5}{3\times 10}=1.0833<1.33$$

سوال ۷- 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.

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



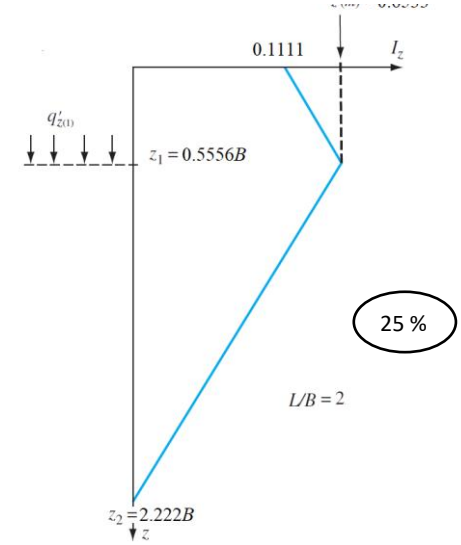
$E_s = 2.5q_c$ for square foundation

$E_s = 3.5q_c$ for strip foundation,

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

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

حل:



$$I_{z(m)} = 0.5 + 0.1\sqrt{\left(\frac{\bar{q} - q}{q'_{z(1)}}\right)} = 0.5 + 0.1\sqrt{\left(\frac{145 - 21}{21 + 1.12\times 17.5}\right)} = 0.675$$

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

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

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

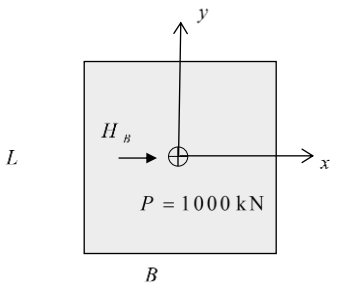
5 %

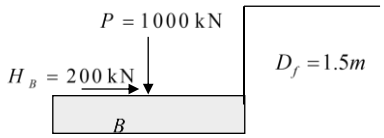
$$C_2 = 1 + 0.2 \log \frac{t \text{ (year)}}{0.1} = 1 + 0.2 \log \frac{6}{0.1} = 1.35563$$ 5 %

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

10 %

سوال ۸-شالوده مستطیلی به نسب طول به عرض ۲ را طراحی کنید به طوری که شالوده مطابق شکل زیر بتواند بار قائم $P=1000\,\text{kN}$ و بار افقی $H_B=200\,\text{kN}$ را تحمل کند.(ضریب اطمینان در برابر ظرفیت باربری ۴ و تنش مجاز خاک $q_\alpha=250\,\text{kPa}$ است و همچنین ضریب اطمینان در برابر لغزش را ۱.۵ در نظر بگیرید.) از روش مایرهوف استفاده کنید.





برش در جهت x $\quad \gamma=17.5\ \text{kN/m}^3,\varphi=32^\circ,c=20\,\text{kPa},\ c_\alpha=0.8c,\ \delta=0.6\varphi$

جواب سوال ۳:

$$\begin{cases} N_q=e^{\pi\tan\varphi}\times\tan^2\left(\dfrac{\pi}{4}+\dfrac{\varphi}{2}\right)=23.177 & \text{10 \%} \\ N_c=\left(N_q-1\right)\cot\varphi=35.49 & \text{5 \%} \\ N_\gamma=\left(N_q-1\right)\tan 1.4\varphi=22.022 & \text{5 \%} \end{cases}$$

$$\theta=\arctan\frac{200}{1000}=11.31^\circ=0.197\text{rad} \quad \text{5 \%}$$

$$\begin{cases} i_c=i_q=\left(1-\dfrac{\theta^\circ}{90}\right)^2=0.76446 & \text{5 \%} \\ i_\gamma=\left(1-\dfrac{\theta}{\varphi}\right)^2=0.41805 & \text{5 \%} \end{cases}$$

$$\begin{cases} k_p=\tan^2\left(\dfrac{\pi}{4}+\dfrac{\varphi}{2}\right)=3.255 & \\ S_c=1+0.2\times k_p\dfrac{B}{L}=1.325 & \text{5 \%} \\ S_q=S_\gamma=1+0.1\times k_p\dfrac{B}{L}=1.163 & \text{5 \%} \end{cases}$$

$$\begin{cases} d_c=1+0.2\times\sqrt{k_p}\dfrac{D}{B}=1+\dfrac{0.5412}{B} & \text{5 \%} \\ d_q=d_\gamma=1+0.1\times\sqrt{k_p}\dfrac{D}{B}=1+\dfrac{0.2706}{B} & \text{5 \%} \end{cases}$$

r

$$H_{act}=200\,\text{kN},\qquad H_{\max}=P\tan\delta+C_\alpha A_f=1000\times\tan\left(0.6\times32\right)+0.8\times20\times2B^2 \quad \text{10 \%}$$

کنترل لغزش:

$$\text{FS}=\frac{H_{\max}}{H_{act}}=\frac{348.24+32B^2}{200}=1.74+0.16B^2>1.5 \quad \text{OK.} \quad \text{10 \%}$$

25 %

20 %

با آرزوی موفقیت علی عسگری استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی و فناوری، دانشگاه مازندران.