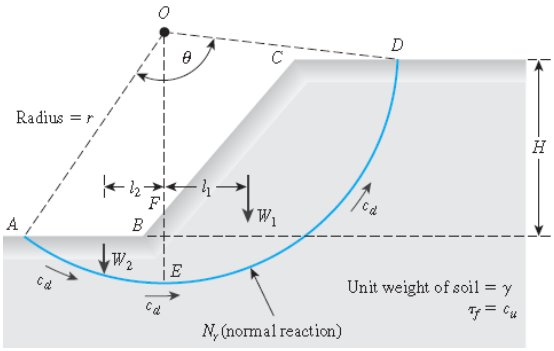
وقت ۱۸۰ دقیقه -**ماشین حساب** و **سه برگ فرمول** آزاد-در صورت نیاز به پارامتری که در داده‌های مسائل نیست می‌توانید از **متوسط** آنها استفاده کنید یا به صورت منطقی فرض کنید.



سوال۱- چگونگی تعیین ضریب اطمینان کمینه شیب مقابل را از روش سوئدی بصورت کامل بیان کنید؟ **۱.۲۵ نمره**

روش سوئدی یک روش برای تحلیل پایداری کوتاه مدت شیروانی های محدودست.

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

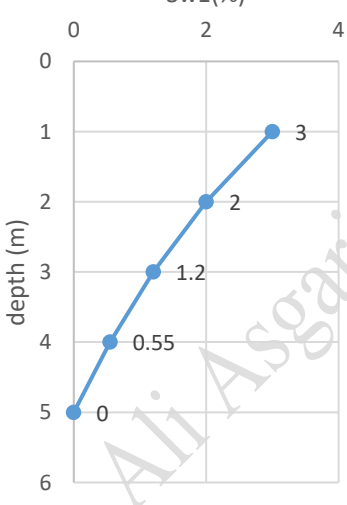
$$F.S = \frac{c_d r^2 \theta}{W_1 l_1 - W_2 l_2} \geq 1.5$$

ضریب اطمینان زا برای نقاط مختلفی از مرکز دایره(o) و شعاع r در نظر میگیریم و برای هریک از حالتها با حل چند باره، ضریب اطمینان از روابط فوق تعیین می‌شود و سپس کمینه مقدار ضریب اطمینان قابل حصول است که شعاع و مرکز گسیختگی نظیر کمینه ضریب اطمینان محتمل ترین نواحی گسیختگی شیب است.

سوال۲- عمق ناحیه فعال(Active zone) در یک پروفیل خاک ۵ متر است. اگر قرار باشد که شالوده در عمق ۱ متری از سطح زمین قرار داده شود: **۱.۵ نمره**

الف) مقدار تورم کل چقدر خواهد بود؟ ب)اگر تورم مجاز ۱۵ میلیمتر باشد، مقدار خاکبرداری لازم از سطح زمین برای رسیدن به تورم مجاز چقدر خواهد بود؟ (نتایج آزمایشگاهی به شرح روبرو میباشد.)

عمق (متر)	تورم تحت فشار سربار و فشار تخمینی شالوده $S_{w(1)}$٪
۱	۳
۲	۲
۳	۱.۲
۴	۰.۵۵



پاسخ: در شکل زیر تغییرات Sw(1)% بر حسب عمق رسم شده است مقدار مساحت زیر نمودار، تورم کل خواهد بود. با استفاده از مساحت ذوزنقه داریم:

30 %

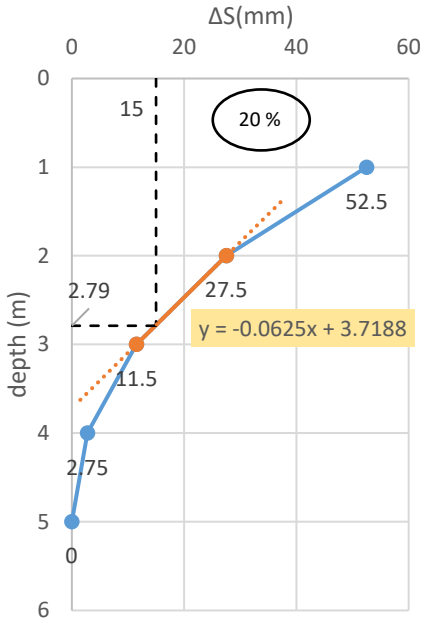
$$\Delta s = \frac{1.5 + 2 + 1.2 + 0.55}{100} = 0.0525m = 52.5\,mm$$

حل ب) با استفاده از روش ارائه شده در بالا تورم کل در اعماق مختلف در زیر شالوده می تواند به صورت زیر محاسبه شود:

عمق (متر)	تورم تحت فشار سربار و فشار تخمینی شالوده $S_{w(1)}$٪	تورم در هر عمق بر حسب میلی متر
۱	۳	52.5 (30 %)
۲	۲	27.5
۳	۱.۲	11.5
۴	۰.۵۵	2.75
۵	۰	0

Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering

در شکل روبرو نمودار تورم کل رسم شده است این نمودار نشان میدهد که تورم کل ۱۵ میلیمتر مربوط به عمق ۲.۷۹ متر در زیر سطح زمین میباشد. بنابراین میزان خاکبرداری در زیر شالوده برابر است با:



$2.79 - 1 = 1.80m$ (20 %)

این مقدار خاک برداشته شده باید با خاک غیر قابل تورم پر شده و متراکم گردد.

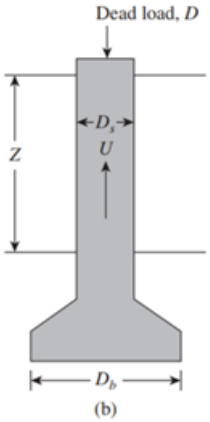
سوال ۳- شکل زیر را در نظر بگیرید برای پایهٔ عمیق اطلاعات زیر در دست است: **۱.۵ نمره**

ضخامت لایه فعال Z = 5m ، بار مرده1540kN، بار زنده300kN، D_s =0.8m= قطر تنه پایه

$= 450kN/m^2$ فشار تورم صفر برای رس موجود در ناحیه فعال

$\phi ps= 15^\circ$ ، چسبندگی زهکشی نشده متوسط رس در اطراف کوره120 kPa

مطلوب است تعیین: الف) قطرکوره(D_b) وقتی که ضریب اطمینانی در حدود ۲ در مقابل آپلیفت با فرض بار مرده و زنده مساوی صفر ب) با محفوظ ماندن تمام بار مرده + ۲۰٪ بار زنده، قطر کوره چقدر می‌شود؟



پاسخ:

$$U = \pi D_s Z \sigma'_{sw} \tan\phi'_{ps} = \pi \times 0.8 \times 5 \times 450 \times \tan(15) = 1515.22\,kN$$ (20 %)

با فرض صفر بودن بار مرده و زنده و ضریب اطمینان FSمساوی ۲ در رابطه زیر خواهیم داشت:

$$U = \frac{c_u N_c}{FS}\left(\frac{\pi}{4}\right)\left(D_b^2 - D_s^2\right) = \frac{120 \times 6.14}{2}\left(\frac{\pi}{4}\right)\left(D_b^2 - 0.8^2\right) = 1515.22\,kN$$

$$D_b^2 = 5.88 \Rightarrow D_b = 2.424\,m$$ (40 %)

ب) با محفوظ ماندن تمام بار مرده + ۲۰٪ بار زنده : میزان ضریب اطمینان باید در بار آپلیفت ضرب شود. بنابراین داریم:

$$FS \times U - (D + 0.2L) = c_u N_c \left(\frac{\pi}{4}\right)\left(D_b^2 - D_s^2\right) = 120 \times 6.14 \times \left(\frac{\pi}{4}\right)\left(D_b^2 - 0.8^2\right)$$

$$2 \times 1515.22 - (1540 + 0.2 \times 300) = 578.68\left(D_b^2 - 0.64\right)$$

$$D_b^2 = 1.83 \Rightarrow D_b = 1.35\,m$$ (40 %)

این قسمت از موارد خواسته مسئله نیست.

لازم به ذکر است که باید ظرفیت باربری نیز کنترل شود برای این کار ظرفیت نوک را با فرض اینکه بار آپلیفت برابر صفر است(یعنی بدترین حالت) تعیین می کنیم:

بار وارده: $(D + L) = 1540 + 300 = 1840\,kN$

$$q_{applied} = \frac{D + L}{\left(\frac{\pi}{4}\right)D_b^2} = \frac{1840}{\left(\frac{\pi}{4}\right)(2.424)^2} = 398.72\,kPa$$

ظرفیت باربری خالص نوک تحت کوره:

$$q_{ult} = c_u N_c = 120 \times 6.14 = 736.8\,kPa$$

$$FS_{\text{bearing capacity}} = \frac{q_{ult}}{q_{applied}} = \frac{736.8}{398.72} = 1.85 < 3 \quad \text{Not OK}$$

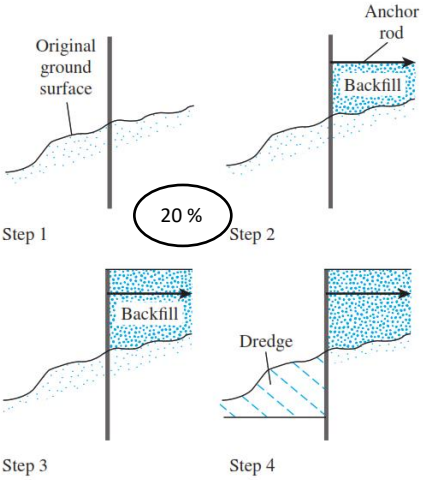
Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering

سوال۴- دو روش اجرا سپرها را نام ببرید و مراحل یکی از آنها را با رسم شکل توضیح دهید؟ **۱.۲۵ نمره**

پاسخ: روش اجرا به دو دسته کلی تقسیم بندی می شوند:

۱- دیوار خاکریزی شده (Backfilled structure) 20 %

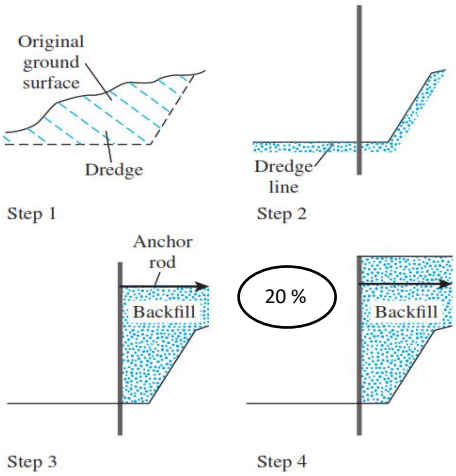
۲- دیوار لایروبی شده (Dredged structure)



20 %

مراحل اجرای دیوار لایروبی شده به قرار زیر است: گام ۱: کوبیدن سپر ها، گام ۲: خاکریزی تا تراز مهار و نصب سیستم مهار، گام ۳: خاکریزی تا بالای دیوار و گام ۴: لایروبی جلوی دیوار (برای دیوار طره ای گام ۲ لازم نیست.)

20 %

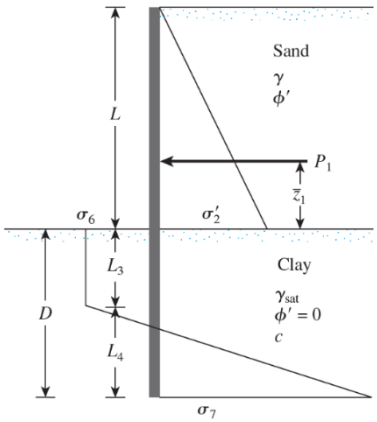


مراحل اجرای دیوار خاکریزی شده به قرار زیر است: گام ۱: لایروبی خاک موجود در جلو و پشت دیوار های پیشنهادی، گام ۲: کوبیدن سپر ها، گام ۳: خاکریزی تا تراز مهار دیوارو نصب سیستم مهار، گام ۴: تکمیل خاکریزی تا بالای دیوار (برای سپر های طره ای فقط گام ۱و ۲ و ۴ مورد استفاده قرار می گیرند.)

20 %

20 %

سوال۵- الف- مطلوبست تعیین عمق اجرایی، ب- تعیین حداقل ضخامت سپر؟ **۲.۵ نمره**



$$Sand:\ L=5.5m,\ \gamma=16.5\text{kN/m}^3,\ \varphi=33,$$
$$Clay:\ \gamma_{sat}=19.81\text{kN/m}^3,\ c'=100\,kPa$$
$$K_{\text{p, Design}}=\frac{K_{\text{p}}}{1.5},$$
$$\sigma_{\text{all}}=172.5\text{MPa}$$

$$K_a=\tan^2\left(45-\frac{\phi}{2}\right)=\tan^2\left(45-\frac{33}{2}\right)=0.295$$

15 %

$$P_1=\frac{1}{2}\sigma_2'L=\frac{1}{2}\gamma L^2K_a=\frac{1}{2}(16.5)(5.5)^2(0.295)=73.571\text{kN/m}$$

در نواحی رس: بدلیل اینکه زاویه اصطکاک داخلی خاک صفر است بنابراین ضرایب جانبی محرک و مقاوم برابر با یک است.

$$K_a=K_P=\tan^2(45)=1,\quad K_{P,Design}=\frac{1}{1.5}=0.667$$

$$\sigma_a=[\gamma L+\gamma'(Z-L)]K_a-2C\sqrt{K_a}+\gamma_w(Z-L)=[16.5\times5.5+10(Z-5.5)]-200+9.81(Z-5.5)$$
$$=[90.75+19.81Z-308.955]=19.81Z-218.205$$

Ali ... PhD in Geotechnical Engineering

$$\sigma_{p=}\left(\gamma_{sat}-\gamma_w\right)(Z-L)K_p+2C\sqrt{K_p}+\gamma_w(Z-L)$$

$$\sigma_6=\sigma_p-\sigma_a=\gamma'(Z-L)\left(K_{p,Design}-K_a\right)-\gamma LK_a+2C\left(\sqrt{K_{p,Design}}+\sqrt{K_a}\right)$$

$$=9.81(Z-5.5)\left(\frac{2}{3}-1\right)-16.5\times5.5+200\left(\sqrt{\frac{2}{3}}+1\right)=-3.27Z+17.985-90.75+363.3=-3.27Z+290.53$$

در پایین سپر فشار مقاوم برابر است با:

$$\sigma_p=(\gamma L_1+\gamma' L_2+\gamma_{sat}D)+2C$$

$$\sigma_p=\left[\gamma L+\gamma' D\right]K_p+2C\sqrt{K_p}+\gamma_w D=\left[16.5\times5.5+10D\right]\frac{2}{3}+\frac{400}{3}+9.81D$$

$$=16.477D+193.833$$

و همچنین در پایین سپر فشار محرک برابر است با:

$$\sigma_a=\gamma_{sat}D-2C=\left(\gamma_{sat}-\gamma_w\right)DK_a-2C\sqrt{K_a}+\gamma_w D=\gamma_{sat}D-2C=19.81D-200$$

و همچنین فشارخالص برابر است با:

$$\sigma_7=\sigma_p-\sigma_a=16.477D+193.833-19.81D+200=-\frac{10}{3}D+393.833$$

تعادل نیروهای افقی یعنی $\sum F_H=0$ ایجاب می‌کند.....

$$D^2(4c-\gamma L)-2DP_1-\frac{P_1(P_1+12c\overline{z_1})}{\gamma L+2c}=0$$

$$309.25D^2-147.14D-575.30=0 \qquad (5\ \%)$$

$$\overline{z_1}=\frac{L}{3}=\frac{5.5}{3}=1.833m, \quad \Rightarrow D=D_{\text{theory}}=1.62m, \quad D_{\text{actual}}=1.5D_{\text{theory}}=2.43m \qquad (30\ \%)$$

(5 %)

$$M_{\max}=P_1(z'+\overline{z_1})-\frac{\sigma_6 z'^2}{2}$$

(10 %)

$$\sigma_6=4c-\gamma L=400-16.5\times5.5=309.25\,\text{kN/m}^2 \qquad z'=\frac{P}{\sigma_6}=\frac{\frac{1}{2}\gamma L^2K_a}{4c-\gamma L}=0.238m$$

$$M_{\max}=73.57\times(0.238+1.833)-\frac{309.25\times0.238^2}{2}=152.38-8.759=143.63\ \frac{\text{kN.m}}{\text{m}} \qquad (20\ \%)$$

$$S=\frac{M_{\max}}{\sigma_{all}}=\frac{143.63}{172.5\times10^3}=0.833\times10^{-3}m^3/m \qquad (15\ \%)$$

Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering

سوال ۶: یک پی نواری با عرض B = 2.4 m ، ضخامت h = 0.8 m و در زیر 7 ستون 500 × 500 mm با فواصل 8 متر قرار گرفته است. اگر بار های محوری مرده و زنده در ستون میانی، P_L = 1200 kN , P_D = 1800 kN و در ستون های کناری ، P_L = 600 kN , P_D = 900 kN باشد؛ و تنش مجاز خاک q_a = 200 kPa و بتن f'_c = 25 mPa فرض شود؛ الف) تنش خاک را در زیر پی کنترل کنید؛ ب) کافی بودن ضخامت پی را تحت برش برش یک طرفه بررسی کنید؟ ج) لنگر حداکثر مثبت و منفی را در دهانه‌ی میانی پی حساب کنید. **۳ نمره**

5 %

پاسخ: الف و ب

$K_s = 120\ q_a = 120 \times 200 = 24000\ \text{kN/m}^3$, $E_c = 4700\sqrt{25} \times 10^6 = 2.35 \times 10^{10}\ \text{N/m}^2$ 5 %

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{K_s B}{4E_c I_f}} = \left(\frac{24000 \times 10^3 \times 2.4}{4 \times (4700 \times \sqrt{25} \times 10^6) \times \left(2.4 \times \frac{0.8^3}{12}\right)}\right)^{1/4} = 0.28\ \frac{1}{m},\quad \ell = 8.0\ m > \frac{1.75}{\lambda} = 6.25\ m$$

طول متوسط دهانه 10 %

بنابراین رفتار پی به صورت منعطف است. از طرفی اگر۳ شرط زیر برقرار باشد، می‌توان برای محاسبه لنگر از روابط تقریبی استفاده کرد.

a- حداقل ۳ دهانه وجود دارد. b-اختلاف بار ستون های مجاور میانی بیش تر از ۲۰ درصد نبوده و بار ستون های کناری نیز با دهانه های باربر آن ها متناسب است. 5 %

c- متوسط طول دهانه‌ی مجاور، در محدوده‌ی $\frac{1.75}{\lambda} < \ell < \frac{3.5}{\lambda}$ قرار گیرد، یعنی:

$$\ell = 8.0\ m < \frac{3.5}{\lambda} = 12.5\ m$$

$M_i = -\frac{Pi}{4\lambda}(0.24\lambda\ell + 0.16) \le -\frac{Pi\,\ell}{12}$ برای دهانه های میانی پی 5 %

$M_i = \frac{-(1800+1200)\times 10^3}{4\times 0.28} \times (0.24 \times 0.28 \times 8.0 + 0.16) = -1869 \times 10^3\ N.m \le -\frac{Pi\,\ell}{12} = -2000 \times 10^3\ N.m$ USE

$q_i = \frac{5P_i}{\ell} + \frac{48\,M_i}{\ell^2} = \frac{5\times(1800+1200)}{8} + \frac{48\times(-2000)}{8^2} = 375\ kN/m$ 5 %

$q_m = \frac{2P_i}{\ell} - q_i = \frac{2\times 3000}{8} - 375 = 375\ kN.m$, 5 % $q_{a,net} = 200 - 0.8 \times 24 = 180.8\ kN/m^2$ 5 %

$q = \frac{375}{2.4} = 156.25 \le q_{a,net} = 180.8\ kN/m^2$ 5 %

1) $M_e = -\frac{Pi}{4\lambda}(0.13\lambda\ell_1 + 1.06\lambda a - 0{,}5) = 180.3 \times 10^3\ N.m$ برای دهانه کناری پی 5 %

2) $M_e = -\left(\frac{4P_e - q_m\ell_1}{4a + \ell_1}\right)\frac{a^2}{2} = -10.42 \times 10^3\ N.m$ 5 %

$q_e = q_a = \frac{4P_e - q_m\ell_1}{4a + \ell_1} = \frac{4\times 1500 - (375\times 8)}{(4\times 0.25) + 8} = 333.33\ kN/m$ 5 %

$q = \frac{333.33}{2.4} = 138.89 \le q_{a,net} = 180.8\ kN/m^2$ 5 %

(ج):

$1.2 \times 900 + 1.6 \times 600 = 2040\ kN$ ستون های کناری

$1.2 \times 1800 + 1.6 \times 1200 = 4080\ kN$ ستون های میانی 5 %

لنگر منفی حداکثر در زیر ستون میانی:

$M_i = -\frac{4080}{4\times 0.28} \times (0.24 \times 0.28 \times 8 + 0.16) = -2541.3\ kN.m \le -\frac{Pi\,\ell}{12} = -2720 kN.m,\ M_i = -2720 kN.m$ 5 %

لنگر مثبت حداکثر در دهانه ی میانی:

$M_{mr} = M_{or} + \frac{M_l + M_r}{2}$

$M_{or} = \frac{\ell_r^2}{48}(q_r + 4q_{mr} + q_l)$, $q_l = \frac{5\,P\,i}{\ell} + \frac{48\,M\,i}{\ell^2} = \frac{5\times(4080)}{8} + \frac{48\times(-2720)}{8^2} = 510\ \text{kN/m} = q_r$ 5 %

$q_{mr} = q_{m\ell} = q_m = \frac{2\,P\,i}{\ell} - q_i$

Ali Asgari PhD in Geotechnical Engineering

$q_{mr} = q_m = \frac{2\times 4080}{8} - 510 = 510\ \text{kN/m}$ (5 %)

$M_{or} = \frac{8^2}{48} \times (510 + (4 \times 510) + 510) = 4080\ kN.m$ (5 %)

$M_{mr} = 4080 + \frac{(-2720)+(-2720)}{2} = +1360\ kN.m$ (5 %)

سوال ۷- الف) ظرفیت باربری کل مجاز شمع با مقطع دایره‌ای متغیر کوبیده شده با جابجایی زیاد را با درنظرگیری اصطکاک جدار منفی را تعیین کنید ($SF=3$)؟ در ادامه طول اصطکاک منفی را به عدد صحیح گرد کنید.

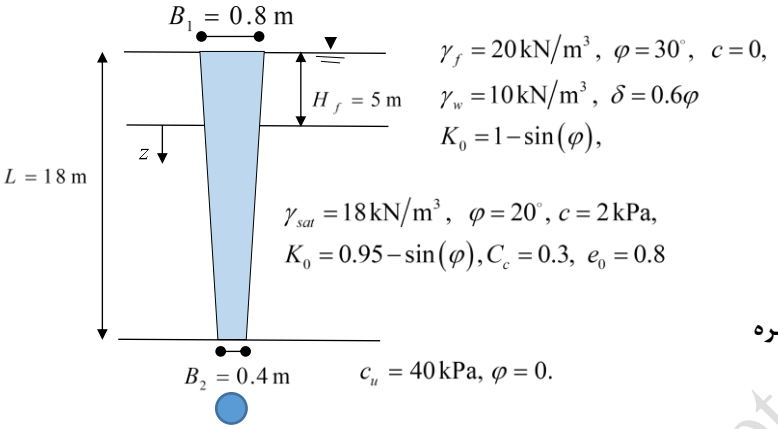
توضیح: ظرفیت نوک را از روش جانبو با $\eta = 90^\circ$ استفاده کنید. در صورت نیاز، مقاومت جدار رس را از روش β تعیین کنید. خاک بالایی ماسه با تراکم متوسط و اشباع است که می‌توان از بار اصطکاکی آن صرفنظر شود و خاک لایه میانی رس عادی تحکیم است.

ب) مکانیزم انتقال بار نهایی را با تعیین رابطه دقیق، رسم کنید؟

ج) نشست لایه میانی (رس) را ناشی از خاکریز ماسه محاسبه کنید؟

د) نشست تحکیمی شمع ناشی از بار نهایی کل در صورتی که از نشست تحکیمی لایه سوم صرفنظر شود.

(برای محاسبه تنش اضافه از روش تقریبی در سه نقطه استفاده کنید) **۴ نمره**



مقاومت نوک شمع از روش جانبو:

$$N_q = \left(\tan\varphi + \sqrt{1+\tan^2\varphi}\right)^2 \exp\left[2\eta' \tan\varphi\right] = \left(\tan 0 + \sqrt{1+\tan^2 0}\right)^2 \exp\left[2\eta' \tan 0\right] = 1,$$ (3 %)

$$N_c = \left(N_q - 1\right)\cot\left[\varphi\right] = 2\times\left(1+\eta'\right) = 2+\pi,$$ (4 %)

$$q' = \gamma'_f H_f + \gamma'\left(L - H_f\right) = 10\times 5 + 8\times 13 = 154\,\text{kPa}$$ (3 %)

$$q_p = cN_c + q'N_q = 40\times\left(2+\pi\right) + 154\times 1 = 205.66 + 154 = 359.66$$ (3 %)

$$Q_p = q_p A_p = 359.66\times\pi\times\left(0.2\right)^2 = 45.2\,\text{kN},$$ (3 %)

محدوده اصطکاک منفی رس عادی تحکیم و مقدار آن:

$$L_1 = \frac{L-H_f}{L_1}\left[\frac{L-H_f}{2} + \frac{\gamma'_f H_f}{\gamma'}\right] - \frac{2\gamma'_f H_f}{\gamma'} \Rightarrow L_1 = \frac{18-5}{L_1}\left[\frac{18-5}{2} + \frac{10\times 5}{8}\right] - \frac{2\times 10\times 5}{8},$$

$$L_1 = 8.06 \approx 8\,\text{m}$$ (6 %)

L_1 از روش صحیح خطا و یا از حل معادله درجه دوم تعیین شد.

$$Q_n = \int_{z=0}^{z=L_1} P(z) f_n(z)\, dz = ?$$ (3 %)

$$P(z) = \pi \times B(z) = -0.0698z + 2.164, \quad f_n(z) = K_0 \sigma'_v(z) \tan\delta,$$

$$K_0 = 0.95 - \sin(20) = 0.608,$$ (3 %) $$\sigma'_v(z) = \gamma'_f H_f + \gamma' z = 10\times 5 + 8z = 50 + 8z$$ (3 %)

$$f_n(z) = K_0 \sigma'_v(z) \tan\delta = 0.608\times(50+8z)\tan(12) = 1.0338z + 6.46$$ (3 %)

Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering

$$Q_n = \int_{z=0}^{z=L_1} P(z) f_n(z)\, dz = \int_{z=0}^{z=8} (-0.0698z + 2.164)(1.0338z + 6.46)\, dz$$

$$= -0.047067z^3 + 1.7368z^2 + 9.15z \Big|_0^{10} = 156.72\,\text{kN}$$ 6 %

تعیین مقاومت اصطکاکی رس عادی تحکیم از روش β

$$Q_{sc} = \int_{z_2=0}^{z_2=L-L_1-H_f} P(z_2) f(z_2)\, dz_2 = ?$$ 3 %

$$P(z_2) = \pi \times B(z_2) = -0.0698z_2 + 1.6057, \quad f(z_2) = \beta \sigma'_v = K \tan\varphi \times \sigma'_v,$$

$$K = 1 - \sin\varphi = 1 - \sin 20 = 0.658, \quad \sigma'_v = 5\times 10 + 8\times 8 + \gamma' z_2 = 114 + 8z_2$$ 3 %

$$f(z_2) = K \tan\varphi \times \sigma'_v = 0.658 \times (124 + 10z_2) \tan 20 = 27.30 + 1.916z_2,$$ 3 %

$$Q_{sc} = \int_{z_2=0}^{z_2=L-L_1-H_f} P(z_2) f(z_2)\, dz_2 = \int_{z_2=0}^{z_2=5} (-0.0698z_2 + 1.6057)(27.30 + 1.916z_2)\, dz_2$$

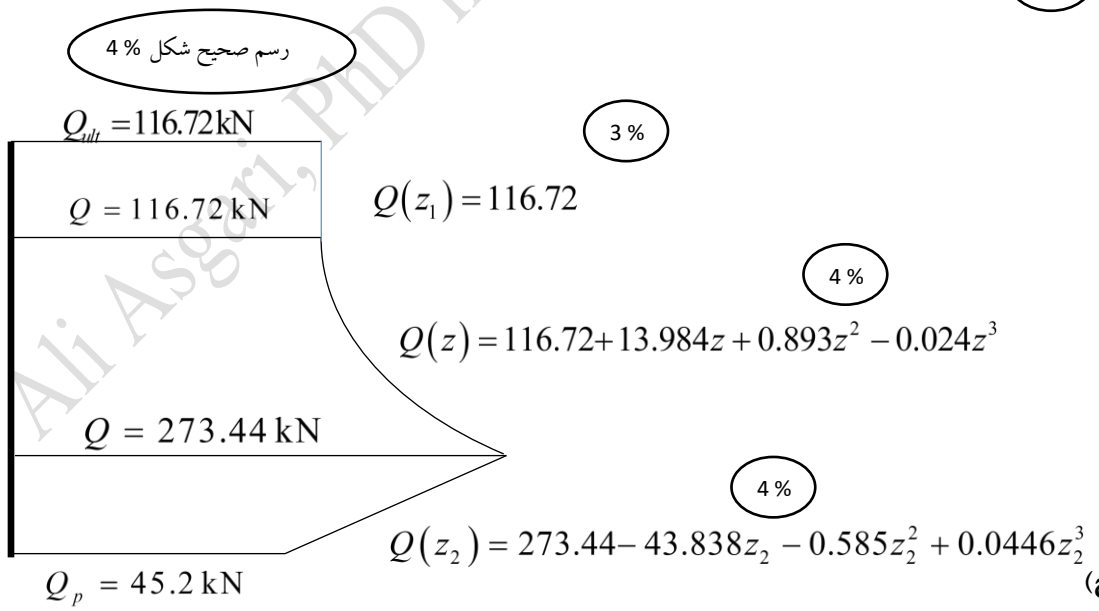
$$= 43.84z_2 + 0.585z_2^2 - 0.04458z_2^3 \Big|_0^5 = 228.25\,\text{kN}$$ 6 %

تعیین مقاومت نهایی و مجاز شمع:

$$Q_{ult} = Q_{sc} + Q_p - Q_n = 228.25 + 45.2 - 156.72 = 116.72\,\text{kN}$$ 3 %

$$Q_\alpha = \frac{Q_{sc} + Q_p}{\text{FS}} - Q_n = \frac{228.25 + 45.2}{3} - 156.72 = -65.57\,\text{kN}\ !!$$

جواب قسمت ب) 4 %



جواب قسمت ج)

$$S_c = \frac{C_c H_c}{1 + e_0} \log\left(\frac{\sigma_1 + \Delta\sigma}{\sigma_1}\right) = \frac{0.3\times 13}{1 + 0.8} \log\left(\frac{52 + 50}{52}\right) = 0.63\ \text{m}$$ 4 %

تنش ناشی با و بدون سربار ماسه ای در وسط رس برابر است با:

$$\sigma_1 = (18 - 10) \times \frac{13}{2} = 52\ \text{kPa}, \quad \Delta\sigma = (20 - 10) \times 5 = 50$$ 4 %

Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering

جواب قسمت د) ابتدا قطر شمع را در 2/3L تعیین می کنیم و سپس تنش اضافه در همین عمق و بین عمق مانده و انتها را بدست می‌آوریم که برابر است با:

$$D(z)=\frac{0.4-0.8}{18}z+0.8 \Rightarrow D(12)=\frac{8}{15}=0.533m$$ 3 %

$$\Delta\sigma_t=\frac{116.72}{\frac{\pi D^2}{4}}=\frac{116.72}{0.223}=522.47,\ \Delta\sigma_m=\frac{116.72}{\frac{\pi(D+3)^2}{4}}=11.91,\ \Delta\sigma_b=\frac{116.72}{\frac{\pi(D+6)^2}{4}}=3.481$$ 6 %

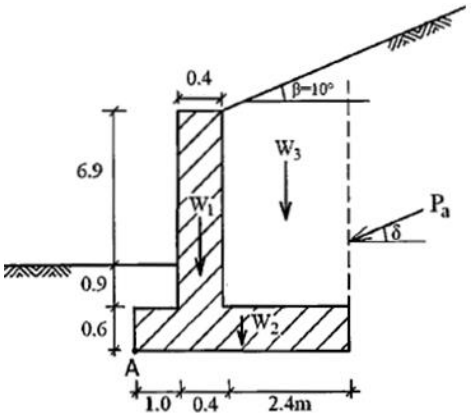
$$\Delta\sigma=\frac{\Delta\sigma_t+4\Delta\sigma_m+\Delta\sigma_b}{6}=95.6\ \text{kPa}$$ 4 %

$$\sigma_{1m}=(20-10)\times5+(18-10)\times10=130\ \text{kPa},$$

$$S_c=\frac{C_cH_c}{1+e_0}\log\left(\frac{\sigma_1+\Delta\sigma}{\sigma_1}\right)=\frac{0.3\times6}{1+0.8}\log\left(\frac{130+95.6}{130}\right)=0.239\ \text{m}$$ 6 %

همانطور که مشاهده شد نشست در خاک اطراف شمع ۶۳ سانتی متر است در حالیکه نشست تحکیمی شمع تقریبا ۲۴ سانتی متر است که در مقایسه با نشست خاک کمتر است. بنابراین اصطکاک جدار منفی رخ می‌دهد.

سوال۸- مطلوب است تعیین موارد خواسته شده از دیوار حائل طره‌ای با مشخصات زیر:



الف) ضریب اطمینان در مقابل واژگونی(استاتیکی و لرزه‌ای در حالت تقریبی)، ب) لغزش(استاتیکی و لرزه‌ای) را تعیین کنید؟ از وزن خاک شماره ۲ جهت برآورد ضریب اطمینان در مقابل واژگونی صرفنظر کنید ولی در مقابل لغزش در نظر بگیرید. (ضریب فشار جانبی را از رابطه کولمب استفاده کنید) ج) کنترل ظرفیت باربری در دو حالت استاتیکی و لرزه‌ای (از روش دقیق)، د) کنترل ضخامت پای دیوار در مقابل برش و تعیین میله گرد کششی در قسمت طره‌ای دیوار؟ **۵ نمره**

$$q_a=250\,kPa\ ,\quad \gamma_{concrete}=25\,kN/\text{m}^3,\ k_h=0.3, k_v=0$$

Soil under foundation: $\phi=30^\circ$, $C=0$, $\gamma=17\,kN/\text{m}^3$, $\delta=\frac{2}{3}\phi$

Embankment behind the wall: $\phi=34^\circ$, $C=0$, $\gamma=18\,kN/\text{m}^3$, $\delta=20^\circ$

$$f_c'=210\,\text{kg/cm}^2,\ f_y=3500\,\text{kg/cm}^2$$

پاسخ: با توجه به مشخص بودن ابعاد دیوار با توجه به تناسبات ارائه شده، تعیین نیروهای وارد بر دیوار شروع می‌کنیم. چون ارتفاع خاکریز زیاد است برای آن که طرح اقتصادی‌تر شود می‌توان از تئوری کولمب استفاده کرد. فشار جانبی خاک را بر روی سطح قائم فرضی که از پاشنه می‌گذرد، حساب می‌کنیم.

$$p_a=\frac{1}{2}.\gamma.H^2.K_a$$

$$H=0.6+7.8+2.4\times\tan10^o=0.6+7.8+=8.82\,\text{m}$$

$$\beta=10^o,\quad \phi=34^o,\quad \alpha=90^o,\quad \delta=20^\circ\,(\text{Assumption})\rightarrow K_a=0.287$$ 5 %

$$p_a=\frac{1}{2}\times18\times8.82^2\times0.287=200.96\,kN$$

نکته مهم: زاویه اثر نیروی محرک برابر با $(\delta+\beta)$۳۰درجه نسبت به افق تأثیر می‌کند، ولی زوایای کمتر در جهت اطمینان است. در اینجا طبق داده مساله زاویه را (δ)۲۰درجه فرض می‌کنیم، بنابراین خواهیم داشت:

$$p_{ah}=p_a.\cos20^o=188.84\,\text{kN}\quad ,\quad p_{av}=p_a.\sin20^o=68.73\,\text{kN}$$ 5 %

Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering

الف) کنترل واژگونی

لنگرها حول نقطه A در جلوی پنجه محاسبه می‌شود:

Section no.	Area(m2)	whieht/unit length	Arm(m)	Moment
1	3.12	78	1.2	93.6
2	2.28	57	1.9	108.3
3--1	18.72	336.96	2.6	876.1
3--2	0.508	9.141	3	27.42
	Pv	68.73	3.8	261.174
		V=549.83		M_R=1366.59

10 % 10 %

$$FS_{\text{overturning}} = \frac{\text{Passive Moments}}{\text{Active Moments}}$$

5 %

$$\text{Active Moments: } \sum M_o = 188.84 \times \frac{8.82}{3} = 555.19\,\text{kN.m} \rightarrow FS_{(\text{Overturing})} = \frac{\sum M_R}{\sum M_o} = \frac{1366.59}{555.19} = 2.46 > 1.5 \rightarrow O.K.$$

در حالت وقوع زلزله نیز خواهیم داشت:

$$\Delta P_E = 0.1 P_{ah} = 0.1 \times 188.84 = 18.88\,\text{kN}$$

نقطه اثر این نیرو 0.6H ارتفاع دیوار است:

$$\text{Active Moments: } \sum M_E = 188.84 \times \frac{8.82}{3} + 18.884 \times 8.82 \times 0.6 = 655.12\,\text{kN.m} \rightarrow FS_{(\text{Overturing})} = \frac{1366.59}{655.12} = 2.086 > 1.1$$

5 %

ب) کنترل لغزش

$$P_p = \frac{1}{2}.\gamma.H^2.K_p = \frac{1}{2} \times 17 \times 1.5^2 \times 7.803 = 149.23\,\text{kN}$$

$$\beta = 0^\circ \quad , \quad \phi = 30^\circ \quad , \quad \alpha = 90^\circ \quad , \quad \delta = 20^\circ \longrightarrow K_p = 7.803$$

5 %

$$F.S._{sliding} = \frac{149.23 + \left(549.83 \times \tan 20^\circ\right)}{188.84} = \frac{349.35}{188.84} = 1.85 > 1.5 \rightarrow O.K.$$

5 %

در حالت وقوع زلزله نیز خواهیم داشت:

$$F.S._{sliding} = \frac{10.3 + \left(54.91 \times 0.67 \tan 30^\circ\right)}{19.3 + 1.93} = \frac{149.23 + \left(549.83 \times \tan 20^\circ\right)}{188.84 + 18.884} = 1.68 > 1.1 \rightarrow O.K.$$

5 %

اگر احتمال برداشتن خاک جلوی دیوار وجود داشته باشد، در آن صورت فشار غیرفعال نباید در محاسبات در نظر گرفته شود و به جای آن باید در پاشنه دیوار زائد تعبیه گردد.

Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering

ج) کنترل ظرفیت باربری خاک: برای کنترل ظرفیت باربری باید حداکثر تنش در زیر پی مشخص باشد، لذا ابتدا باید برایند نیروها یعنی R و نقطه اثر آن در زیر پی تعیین گردد.

$$M_{net} = \sum M_R - \sum M_o = 1366.59 - 555.19 = 811.4\,\text{kN-m/m},$$

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_R - \sum M_o}{\sum V} = \frac{3.8}{2} - \frac{811.4}{555.19} = 0.439\,m < \frac{B}{6}$$ (5 %)

$$\sigma = \frac{V}{B}\left(1 \pm \frac{6e}{B}\right) = \frac{555.19}{3.8}\left(1 \pm \frac{6\times 0.439}{3.8}\right) \rightarrow \begin{cases} q_{\max} = 247.37 < q_a = 250\,\frac{kN}{\text{m}^2} \rightarrow O.K. \\ q_{\min} = 44.94 > 0.0 \rightarrow O.K. \end{cases}$$ (5 %)

اگر جواب q_{max} بیشتر از q_a به‌دست آید و یا تنش q_{min} در زیر پی منفی شود باید ابعاد پی را بزرگ‌تر کرده و کنترل‌ها را دوباره انجام داد.

تنش در زیر پی را در حالت وقوع زلزله نیز کنترل می‌کنیم. باید توجه داشت که در این حالت می‌توان q_a را در 1.33 ضرب نمود.

$$\text{Active Moments: } \sum M_{oE} = 655.12\,\text{kN.m}.$$

$$M_{net} = \sum M_R - \sum M_{oE} = 1366.59 - 655.12 = 711.47\,\text{kN-m/m},$$

$$e = \frac{B}{2} - \frac{\sum M_R - \sum M_o}{\sum V} = \frac{3.8}{2} - \frac{711.47}{555.19} = 0.619\,m < \frac{B}{6}$$ (5 %)

$$\sigma = \frac{V}{B}\left(1 \pm \frac{6e}{B}\right) = \frac{555.19}{3.8}\left(1 \pm \frac{6\times 0.619}{3.8}\right) \rightarrow \begin{cases} q_{\max} = 288.9 < 1.33\times 250\,\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \rightarrow O.K. \\ q_{\min} = 3.42 > 0.0 \rightarrow O.K. \end{cases}$$ (5 %)

با توجه به موارد فوق نتیجه می‌گیریم که ابعاد دیوار مناسب طرح شده است.

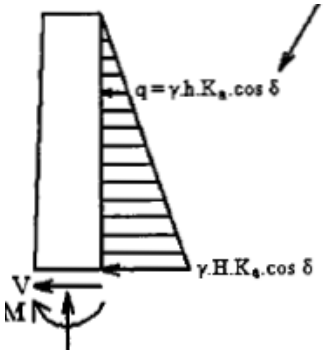
ابتدا ضخامت بتن در پای دیوار را برای **تحمل برش** به تنهایی کنترل می‌کنیم:

$$V = \frac{1}{2}.\gamma.\bar{H}^2.K_a\cos\delta = \frac{1}{2}\times 18\times 7.8^2\times 0.287\times\cos 20^\circ = 147.67\,\text{kN} \rightarrow \text{V}_u = 1.7\times 147.67 = 251.04\,\text{kN}$$

$$\bar{H} = 6.9 + 0.9 = 7.8\,\text{m}, \quad d = D\text{-}10(\text{cm}) = 40 - 10 = 30(\text{cm})$$ (5 %)

$$v = \frac{V}{b.d} = \frac{251.04\times 10^3}{100\times 30\times 9.81} = 8.53\,\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} > v_a = 6.75\,\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \rightarrow N.A.$$ (5 %)

$$v_a = 0.1445\sqrt{f_c'} = 0.1445\sqrt{21}\times\frac{100}{9.81} = 6.75\,kg/cm^2 \quad \text{ACI}\,318-02$$



بنابراین، ضخامت ۴۰ سانتی‌متر برای تحمل برش کافی نیست و آن را به ۵۰ سانتی‌متر افزایش می‌دهیم.

$$D = 50\,\text{cm} \rightarrow d = 40\,\text{cm}$$

$$v = \frac{V}{b.d} = \frac{251.04\times 10^3}{100\times 40\times 9.81} = 6.4\,\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < v_a = 6.75\,\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \rightarrow O.K.$$ (5 %)

از آنجایی که وزن دیوار اندکی افزایش یافته است، لذا ضریب اطمینان در مقابل لغزش و واژگونی افزایش می‌یابد ولی تنش در زیر پی کمی بیشتر می‌شود که در اینجا از اضافه تنش احتمالی صرف‌نظر شده است.

Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering

حداکثر لنگر در پای دیوار (انتهای طره) وجود دارد.

$$M_{\max} = \frac{1}{2}.\gamma.\bar{H}^2.K_a\left(\cos\delta\right)\frac{H}{3}$$

$$M_{\max} = \frac{1}{2}\times 18\times 7.8^2\times 0.287\times\cos 20^\circ\times\frac{7.8}{3} = 383.95\,\text{kN.m}$$

$$M_u = 1.7\times 383.95 = 652.71\,\text{kN.m}$$

5 %

$$R_n = \frac{M_u}{\phi bd^2} = \frac{\frac{652.71}{9.81}\left(10^5\right)}{0.9\times 100\times 40^2} = 46.2,\quad m = \frac{f_y}{0.85\,f_c'}$$

$$\rho = \frac{1}{m}\left(1-\sqrt{1-\frac{2mR_n}{f_y}}\right) = \frac{0.85\,f_c'}{f_y}\left(1-\sqrt{1-\frac{1.7\,f_c'R_n}{f_y^2}}\right) = \frac{0.85\times 210}{3500}\left(1-\sqrt{1-\frac{2\times 46.2}{0.85\times 210}}\right) = 0.0156$$

$$\rho = 0.0156 < 0.75\rho_b = 0.021 \rightarrow O.K.$$

$$A_s = 0.0156\times 100\times 40 = 62.4\,\text{cm}^2$$

use $20\phi 20@10\,\text{cm}$ c/c $\left(A_s = 62.8\,\text{cm}^2\right)$

5 %

از آنجا که این فولاد را می‌توان در ارتفاع در نقاط مناسب قطع نمود، لذا بهتر است از ابتدا نمودار برش و لنگر برای دیوار طره‌ای رسم شود و قطع فولاد در ارتفاع دیوار بر آن اساس صورت پذیرد.

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

Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering