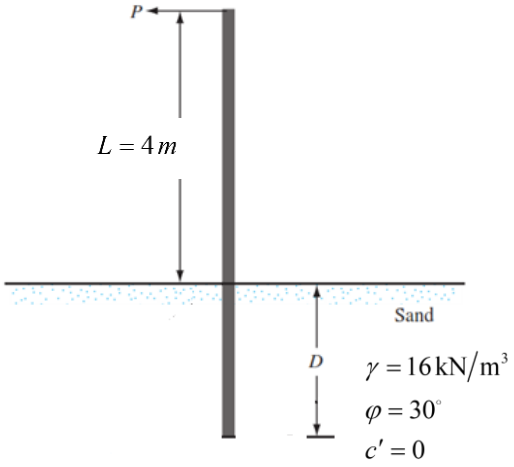
وقت ۱۲۰ دقیقه -ماشین حساب و دو برگ فرمول آزاد-در صورت نیاز به پارامتری که در داده‌های مسائل نیست می‌توانید از متوسط آنها استفاده کنید یا به صورت منطقی فرض کنید.

سوال۱- الف- مطلوبست تعیین بار P، اگر عمق نفوذ اجرایی سپر در خاک ماسه‌ای برابر با ۳ متر باشد. ب- تعیین حداقل اساس مقطع سپر روبرو را نیز تعیین کنید؟ **۴ نمره**

$D_{\text{actual}} = 1.5 D_{\text{theory}}$,
$\sigma_{\text{all}} = 172.5\,\text{MPa}$



$$D = \frac{3}{1.5} = 2\,m,\ K_a = \tan^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) = \tan^2(30) = \frac{1}{3},\quad K_p = \frac{1}{K_a} = 3$$ (10 %)

$$D^4 - \left[\frac{8P}{\gamma(K_p - K_a)}\right]D^2 - \left[\frac{12PL}{\gamma(K_p - K_a)}\right]D - \left[\frac{2P}{\gamma(K_p - K_a)}\right]^2 = 0$$

$$2^4 - \left[\frac{8P}{16\times(3-\frac{1}{3})}\right]2^2 - \left[\frac{12P\times 4}{16\times(3-\frac{1}{3})}\right]\times 2 - \left[\frac{2P}{16\times(3-\frac{1}{3})}\right]^2 = 0 \Rightarrow 16 - 3P - \frac{9P^2}{4096} = 0 \Rightarrow \begin{cases} P_1 = P = 5.313 \\ P_2 = -1370.65 \times \end{cases}$$ (5 %) (35 %)

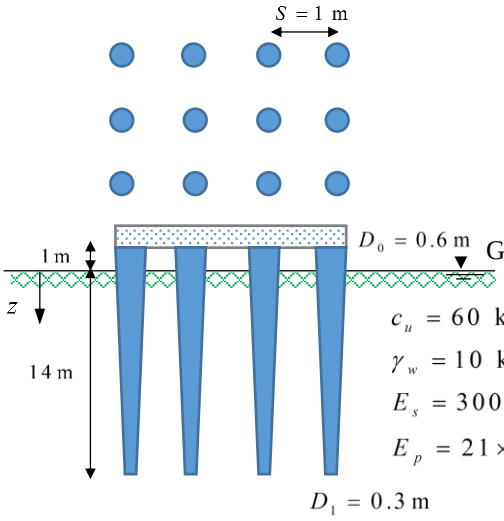
$$z' = \sqrt{\frac{2P}{\gamma'(K_p - K_a)}} = \sqrt{\frac{2\times 5.313}{16\times(3-\frac{1}{3})}} = 0.5\,m$$ (15 %)

$$M_{\max} = P(L + z') - \frac{\gamma z'^3 (K_p - K_a)}{6} = 5.313\times(4 + 0.5) - \frac{16\times 0.5^3 (3 - \frac{1}{3})}{6} = 23.02\ \frac{\text{kN.m}}{\text{m}}$$ (20 %)

$$S = \frac{M_{\max}}{\sigma_{all}} = \frac{23.02}{172.5\times 10^3} = 1.3345\times 10^{-4}\,m^3/m$$ (15 %)

Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering

سوال ۲- الف- راندمان گروه شمع با مقطع دایره ای متغیر و فواصل مساوی و برابر با یک متر را تعیین کنید؟ با توجه به داده‌های زیر مقاومت نوک شمع از روش وسیک و جدار را از روش λ محاسبه کنید؟ ب- مکانیسم انتقال بار را برای یک شمع تکی تحت بار مجاز با ضریب اطمینان ($S.F.=3$) خود شمع تکی را ترسیم و معادله آنرا محاسبه کنید؟ ج- محاسبه نشست کل گروه شمع تحت بار مجاز (برای راحتی کار از قطر متوسط شمع استفاده کنید)؟ برای محاسبه ظرفیت گروه و نشست از قطر متوسط شمع $D_{av}=0.45\,\text{m}$ استفاده کنید. **۸ نمره**



$$Q_{g(u)}=Q_{gp}+Q_{gs}=A_g c_u N_c^* + P_g c_u L, \qquad N_c^*=9$$

$c_u = 60\ \text{kPa},\ \varphi = 0,\ \lambda = 0.2,\ \gamma_{sat} = 18\ \text{kN/m}^3$

$\gamma_w = 10\ \text{kN/m}^3,\ K_0 = 0.95 - \sin\varphi,\ I_{rr} = 120$

$E_s = 30000\ \text{kN/m}^2,\ \mu_s = 0.3,\ I_{wp} = 0.88,$

$E_p = 21\times 10^6\ \text{kN/m}^2$

$$\eta=\frac{Q_{g(u)}}{\sum Q_u} \qquad Q_u=Q_p+Q_s,$$

$$N_\sigma=\frac{3}{3-\sin[\varphi]}\left\{e^{\left(\frac{\pi}{2}-\varphi\right)\tan[\varphi]}\tan\left[\frac{\varphi}{2}+\frac{\pi}{4}\right]^2 I_{rr}^{\frac{4\sin\varphi}{3(1+\sin[\varphi])}}\right\}=\frac{3}{3-\sin[0]}\left\{e^{\left(\frac{\pi}{2}-0\right)\tan[0]}\tan\left[\frac{\pi}{4}\right]^2 100^{\frac{4\sin 0}{3(1+\sin[0])}}\right\}=1$$

5 %

$$N_q=\frac{1+2K_0}{3}N_\sigma=\frac{1+2(0.95-\sin 0)}{3}\times 1=0.9667,$$

$$N_c=\frac{1}{6}\left(14+3\pi+8\ln\left(I_{rr}\right)\right)=\frac{1}{6}\left(14+3\pi+8\ln\left(120\right)\right)=10.29,$$ 5 %

$$q'=\gamma' L=8\times 14=112\,\text{kPa}$$

$$q_p=cN_c+q'N_q=60\times 10.29+112\times 0.9667=421.6+3594.84=725.6$$ 5 %

$$Q_p=q_p A_p=725.51\times\pi\left(\frac{0.3}{2}\right)^2=51.3\,\text{kN},$$ 5 %

$$Q_s=\int_{z=0}^{z=L}P(z)f(z)dz=?$$

$$P(z)=\pi\times B(z)=\pi\times(-0.02z+0.58), \qquad \sigma'_v(z)=(\gamma_{sat}-\gamma_w)z=8z$$ 5 %

$$f(z)=\lambda\left(\sigma'_v(z)+2c_u\right)=0.2(8z+120)=1.6z+24,$$ 5 %

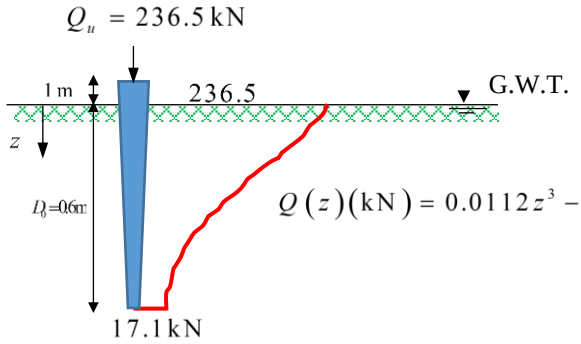
Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering

$$Q_s=\int_{z=0}^{z=L}P(z)f(z)dz=\int_{z=0}^{z=14}\{1.822-0.063z\}(1.6z+24)dz=\int_{z=0}^{z=14}\left(43.731+1.407z-0.1z^2\right)dz$$

$$=43.731z+0.704z^2-0.0335z^3\Big|_0^{14}=658.21\text{kN}$$ 10 %

$$Q_u=Q_p+Q_s=51.3+658.21=709.5\,\text{kN}$$ 5 %

$$Q_{all}=\frac{Q_u}{S.F}=\frac{Q_p+Q_s}{S.F}=\frac{51.3}{3}+\frac{658.21}{3}=17.1+219.4=236.5\ \text{kN}$$ 5 %



$$Q(z)(\text{kN})=0.0112z^3-0.235z^2-14.577z+236.5$$ 10 %

$$L_g=3\times1+\frac{0.3+0.6}{2}=3.45,\quad B_g=2\times1+\frac{0.3+0.6}{2}=2.45,$$ 5 %

$$A_g=L_g\times B_g=3.45\times2.45=8.4525\,\text{m}^2,\ P_g=2\times\left(L_g+B_g\right)=2\times\left(3.45+2.45\right)=11.8\text{m}$$

$$Q_{g(u)}=Q_{gp}+Q_{gs}=9c_uA_g+P_gc_uL=9\times60\times8.4525+11.8\times60\times14=14476.35\,\text{kN}$$ 5 %

$$\eta=\frac{Q_{g(u)}}{\sum Q_u}=\frac{14476.35}{12\times709.5}=\frac{14476.35}{8514}=1.7\geq1$$ 5 %

$$Q_{g(u)}=8514\,\text{kN}$$

حل ج: برای پیدا کردن ξ در این مسئله به صورت زیر عمل می کنیم:

$$\xi=\frac{\bar{z}}{L}=\frac{1}{L}\frac{\int_{z=0}^{z=L}P(z)f(z)zdz}{\int_{z=0}^{z=L}P(z)f(z)dz}=\frac{1}{L}\frac{\int_{z=0}^{z=L}P(z)f(z)zdz}{Q_s}=\frac{1}{14}\frac{\int_{z=0}^{z=L}\left(43.731z+1.407z^2-0.1z^3\right)dz}{658.21}=0.5$$ 5 %

Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering

$$Q_{wp} = \frac{Q_p}{\text{F.S}} 17.1\,\text{kN}, \quad Q_{ws} = \frac{Q_s}{\text{F.S}} = 219.4\,\text{kN}$$

$$S_1 = \frac{\left(Q_{wp} + \xi Q_{ws}\right)L}{A_{av}E_p} = \frac{\left(17.1 + 0.5\times 219.4\right)\times 15}{\pi\left(0.225\right)^2 \times 21\times 10^6} = 0.00057\,\text{m} = 0.57\,\text{mm},$$ 2.5 %

$$S_2 = \frac{Q_{wp}D}{A_pE_s}\left(1-\mu_s^2\right)I_{wp} = \frac{17.1\times 0.25}{\pi\left(0.15\right)^2 \times 30\times 10^3}\left(1-0.3^2\right)\times 0.88 = 0.001291\text{m} = 1.291\,\text{mm},$$ 5 %

$$S_3 = \frac{Q_{ws}}{pL_m}\frac{D}{E_s}\left(1-\mu_s^2\right)I_{ws}, \qquad I_{ws} = 2 + 0.35\sqrt{\frac{L_m}{D}} = 2 + 0.35\sqrt{\frac{14}{0.45}} = 3.952$$ 5 %

$$S_3 = \frac{219.4}{\pi\left(0.45\right)\times 14}\frac{0.45}{30\times 10^3}\left(1-0.3^2\right)\times 4.01 = 0.000598\text{m} = 0.598\,\text{mm},$$ 2.5 %

$$S = S_1 + S_2 + S_3 = 0.57 + 1.291 + 0.598 = 2.46\,\text{mm}$$ 5 %

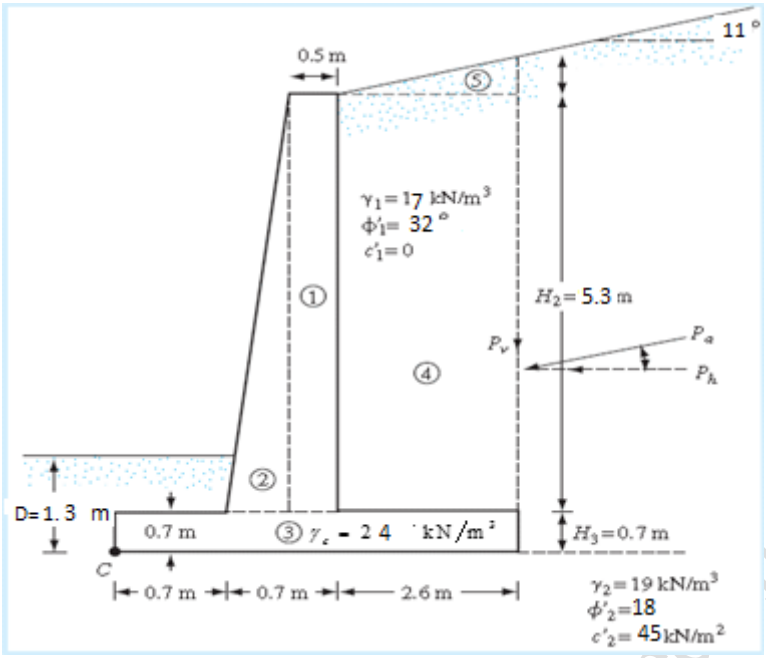
$$s_{g(e)} = \sqrt{\frac{B_g}{D}}s_e = \sqrt{\frac{2.45}{0.45}}\times 2.459 = 5.74\,\text{mm}$$ 2.5 %

2.5 %

Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering

سوال ۳- ضریب اطمینان در مقابل واژگونی، لغزش و ظرفیت باربری (مایرهوف یک طرفه) را تعیین کنید؟ از وزن خاک شماره ۲ جهت برآورد ضریب اطمینان در مقابل واژگونی صرفنظر کنید. (ضریب فشار جانبی را از رابطه کولمب استفاده کنید) **۸ نمره**

$$\gamma_c = 24\,\mathrm{kN/m^3},\ \delta' = 0.6\varphi',\ c_\alpha = 0.8c, D_f = 1.3m$$



$$H' = H_1 + H_2 + H_3 = 2.6\tan 11^\circ + 5.3 + 0.7 = 6.505\mathrm{m}$$

$$\alpha = 11^\circ,\quad \varphi_1' = 32^\circ,\ \delta' = 0.6\varphi' = 19.2^\circ,\quad \theta = 0^\circ$$

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi' - \theta)}{\cos^2\theta\cos(\delta' + \theta)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta' + \varphi')\sin(\varphi' - \alpha)}{\cos(\delta' + \theta)\cos(\theta - \alpha)}}\right]^2} = 0.317$$

5 %

$$\begin{cases} P_a = \frac{1}{2}K_{a1}\gamma_1 H'^2 = \frac{1}{2}0.3532\times 17\times 6.505^2 = 114.175\,\mathrm{kN/m} & \text{2 \%} \\ P_v = P_a\sin\alpha = 114.175\left(\sin 11^\circ\right) = 21.79\,\mathrm{kN/m} & \\ P_h = P_a\cos\alpha = 114.175\left(\cos 11^\circ\right) = 112.08\,\mathrm{kN/m} & \text{2 \%} \end{cases}$$

$$\sum M_o = P_h\frac{H'}{3} = 112.08\frac{6.505}{3} = 243.02\,\mathrm{kN\text{-}m/m}$$ 2 %

Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering

ضریب اطمینان در مقابل واژگونی:

Section no.	Area $\left(\mathrm{m}^2\right)$	Weight/unit length $\left(\mathrm{kN/m}\right)$	Moment arm from point C(m)	Moment $\left(\mathrm{kN\text{-}m/m}\right)$
1	$5.3\times0.5=2.65$	63.6	1.15	73.14
2	$\frac{1}{2}(0.2)5.3=0.53$	12.72	0.833	10.6
3	$4\times0.7=2.8$	67.2	2.0	134.4
4	$5.3\times2.6=13.78$	234.26	2.7	632.5
5	$\frac{1}{2}(2.6)(0.505)=0.657$	11.17	3.133	35
6		$P_v=21.79$	4.0	87.16
		$\sum V=410.74$		$\sum M_R=972.8$

$$\mathrm{FS}_{(\mathrm{Overturing})}=\frac{\sum M_R}{\sum M_o}=\frac{972.8}{243.02}=4>2,\ \mathrm{OK}$$

16 %　16 %　4 %

ضریب اطمینان در مقابل لغزش:

$$\mathrm{FS}_{(\mathrm{Sliding})}=\frac{\left(\sum V\right)\tan\delta_2+Bc_{\alpha2}+P_p}{P_a\cos\alpha},$$

$$\delta_2=0.6\varphi_2'=18,\ c_{\alpha2}=0.8c_2'=36\mathrm{kPa}$$

$$\alpha=0^\circ,\quad \varphi_1'=18^\circ,\ \delta'=0.6\varphi'=10.8^\circ,\quad \theta\approx0^\circ$$

$$K_p=\frac{\cos^2\left(\varphi'+\theta\right)}{\cos^2\theta\cos\left(\delta'-\theta\right)\left[1-\sqrt{\frac{\sin\left(\delta'+\varphi'\right)\sin\left(\varphi'+\alpha\right)}{\cos\left(\delta'-\theta\right)\cos\left(\alpha-\theta\right)}}\right]^2}=2.47$$

4 %

$$P_p=\frac{1}{2}K_{p2}\gamma_2D^2+2c_2'\sqrt{K_{p2}}D$$

$$=\frac{1}{2}\times2.47\times19\times1.3^2+2\times45\sqrt{2.47}\times1.3=223.54\,\mathrm{kN/m}$$

4 %

$$\mathrm{FS}_{(\mathrm{Sliding})}=\frac{(410.74)\tan(0.6\times18)+4(0.8)\times45+223.54}{112.08}=\frac{445.89}{112.08}=3.98>1.5,\ \mathrm{OK}$$

4 %

ضریب اطمینان در مقابل ظرفیت باربری:

$$\sum M_o=243.02\,\mathrm{kN\text{-}m/m},\qquad \sum M_R=972.8\,\mathrm{kN\text{-}m/m}$$

$$\sum V=410.74\,\mathrm{kN\text{-}/m}$$

$$M_{net}=\sum M_R-\sum M_o=972.8-243.02=729.78\,\mathrm{kN\text{-}m/m},$$

2 %

$$H_B=P_h=P_a\cos(\alpha)=112.08\,\mathrm{kN\text{-}/m}$$

$$e=\frac{B}{2}-\frac{\sum M_R-\sum M_o}{\sum V}=\frac{4}{2}-\frac{729.78}{410.74}=0.223m<\frac{B}{6}$$

2 %

Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering

$$q_{\max}=q_{\text{toe}}=\frac{\sum V}{B}\left(1+\frac{6e}{B}\right)=\frac{410.74}{4}\left(1+\frac{6\times 0.223}{4}\right)=137.07\,\text{kN/m}^2\text{-m}$$ 2 %

$$q_{\min}=q_{\text{heel}}=\frac{\sum V}{B}\left(1-\frac{6e}{B}\right)=\frac{410.74}{4}\left(1-\frac{6\times 0.223}{4}\right)=68.34\,\text{kN/m}^2\text{-m}$$ 2 %

$$q_{ult}=cN_cS_cd_ci_c+\bar{q}N_qS_qd_qi_q+\frac{1}{2}\gamma B'N_\gamma S_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

$$\text{FS}_{(\text{bearing capacity})}=\frac{q_{ult}}{q_{\max}}$$ 4%

$\varphi=18^\circ \Rightarrow N_c=13.104,\ N_q=5.258,\ N_\gamma=2.0035$ 2 %

$\bar{q}=19\times 1.3=24.7\,\text{kPa},\quad S_\gamma=1,\quad S_q=1,\quad S_c=1$ for strip foundatin 2 %

$B'=B-2e=4-2\times 0.223=3.554\,\text{m}$ 1 %

$A_f=B'\times L=3.585\times 1=3.554\,\text{m}^2$

$c_{\alpha 2}=0.8c_2=36\,\text{kPa}$ 3 %

$$\begin{cases} i_c=i_q=\left(1-\dfrac{2\theta}{\pi}\right)^2=\left(1-\dfrac{\theta^\circ}{90}\right)^2=0.6896 & \text{for all } \varphi \\ i_\gamma=\left(1-\dfrac{\theta}{\varphi}\right)^2=0.0231 & \varphi>0 \end{cases}$$ 4%

$$\begin{cases} d_c=1+0.2\sqrt{k_p}\,\dfrac{D}{B}=1.0895 & \text{for all } \varphi \\ d_q=d_\gamma=1+0.1\sqrt{k_p}\,\dfrac{D}{B}=1.0447 & \varphi\geq 10^\circ \\ d_q=d_\gamma=1 & \varphi=0^\circ \end{cases}$$ 6 %

$$q_{ult}=cN_cd_ci_c+\bar{q}N_qd_qi_q+\frac{1}{2}\gamma B'N_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

$$=45\times 13.104\times 1.0895\times 0.6896+24.7\times 5.258\times 1.0447\times 0.6896+\frac{1}{2}\times 19\times 3.554\times 2.0035\times 1.0447\times 0.0231$$

$$=443.0+93.558+1.839=538.4\,\text{kPa}$$ 5 %

$$\text{FS}_{(\text{bearing capacity})}=\frac{q_{ult}}{q_{\max}}=\frac{538.4}{137.07}=3.93$$ 4 %

با امید موفقیت، **علی عسگری**،

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

Ali Asgari, PhD in Geotechnical Engineering