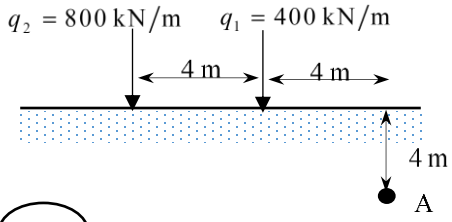
وقت: ۱۲۰ دقیقه، جزوه بسته، بارم هر سوال ۲ نمره است.

سوال ۱- دو بار خطی موثر بر سطح خاک را نشان می دهد. مطلوبست تعیین افزایش تنش در نقطه A ؟ $\Delta\sigma = \dfrac{2qz^3}{\pi\left(x^2+z^2\right)^2}$



40 %

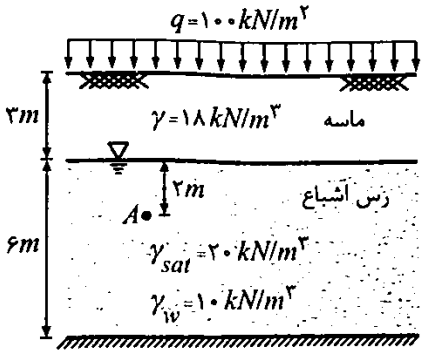
$$\Delta\sigma_1 = \frac{2q_1z^3}{\pi\left(x^2+z^2\right)^2} = \frac{2\times400\times(4)^3}{\pi\left(4^2+4^2\right)^2} = 15.92, \qquad \Delta\sigma_2 = \frac{2q_2z^3}{\pi\left(x^2+z^2\right)^2} = \frac{2\times800\times(4)^3}{\pi\left(8^2+4^2\right)^2} = 5.09$$

40 %

$$\Delta\sigma = \Delta\sigma_1 + \Delta\sigma_2 = 15.92 + 5.09 = 21.01\,\text{kPa}$$

20 %

سوال ۲- در شکل زیر یک بار گسترده به شدت نشان داده شده به صورت سربار در یک سطح وسیع روی خاک اعمال می شود. با توجه به اطلاعات داده شده در شکل، مطلوب است تعیین فشار آب حفره ای و تنش موثر در نقطه A درلحظات قبل از اعمال بار و بلافاصله بعد از اعمال بار و بعد از سالیان زیادی بعد از اعمال بار؟



33.3 %

$$u_A = 2\times10 = 20\,\text{kPa},$$
$$\sigma'_A = \sigma_A - u_A = 18\times3 + 20\times2 - 20 = 74\,\text{kPa}$$

33.3 %

$$u_A = 2\times10 + 100 = 120\,\text{kPa},$$
$$\sigma'_A = \sigma_A - u_A = 18\times3 + 20\times2 + 100 - 120 = 74\,\text{kPa}$$

33.3 %

$$u_A = 2\times10 + 0 = 20\,\text{kPa},$$
$$\sigma'_A = \sigma_A - u_A = 18\times3 + 20\times2 + 100 - 20 = 174\,\text{kPa}$$

سوال ۳- نوع خاک رس را تعیین کنید؟

الف) اگر خاک رس عادی تحکیم را بارگذاری کنیم و تحت آن تنش تحکیم یابد آنگاه باربرداری کنیم و اگر بخواهیم مجددا بارگذاری کنیم آن خاک **رس پیش تحکیم** است.

12.5 %

ب)اگر خاک رسی پیش تحکیم باشد و آن را با دست خوردگی بالا بهم بریزیم آن خاک **رس عادی تحکیم** می‌شود.

12.5 %

ج) خاک رس با ضریب پیش تحکیم OCR = 1 یک خاک **رس عادی تحکیم** است و با OCR >1 خاک **رس پیش تحکیم** است.

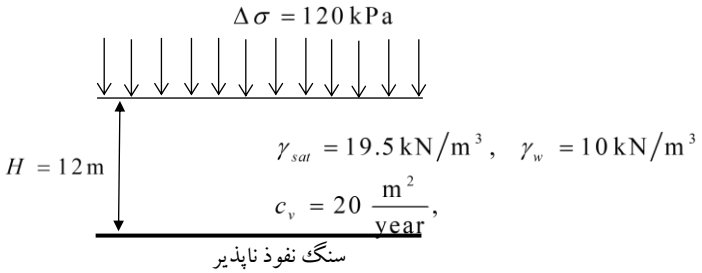
25 %

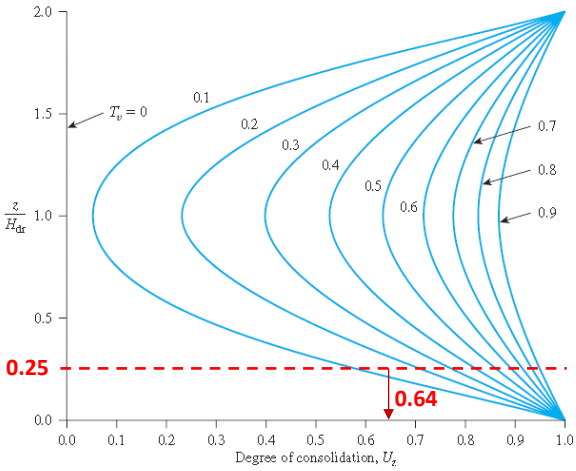
د) اگر خاک رسی قبلا ۱۰۰ کیلوپاسکال تحمل کرده باشد و در حال حاضر ۵۰ کیلو پاسکال به آن بار وارد شود آن خاک از نوع **رس پیش تحکیم** و با OCR **برابر با ۲** است.

25 %

ه) اگر به خاک رس دست خورده و اشباع ۱۵۰ کیلوپاسکال بار وارد کنیم و بعد از گذشت ۲ روز بار را به ۸۰ کیلو پاسکال تغییر دهیم آنگاه خاک رس از نوع **بسته به ارتفاع خاک میتواند عادی یا پیش تحکیم باشند(ارتفاع خیلی کم باشد عادی تحکیم و ...)** و با OCR برابر با **بزرگتر یا مساوی یک** است. (25 %)

سوال ۴- 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؟





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

حل ۳- الف- (20 %)

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

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

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

$$U_{z=3} = 1 - \frac{u_t}{u_0} \xrightarrow{u_0 = \Delta\sigma} 0.6362 = 1 - \frac{u_t}{120} \Rightarrow u_t = 43.66\,\text{kPa}$$ اضافه فشار آب حفره ای در عمق ۳متری بعداز یکسال (15 %)

ب-

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

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

$$\bar{U}_z = 1 - \frac{\bar{u}_t}{u_0} \xrightarrow{u_0 = \Delta\sigma} 0.4205 = 1 - \frac{\bar{u}_t}{120} \Rightarrow \bar{u}_t = 69.54\,\text{kPa}$$ 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 ۵- یک نمونه به قطر ۵۰ میلی متر و ارتفاع ۲۰ میلی متر، از یک لایه رسی به ضخامت ۵ متر استخراج شده است. این نمونه تحت آزمایش ادومتری قرار گرفته است. زمان لازم برای تحکیم ۵۰٪ برابر با ۲۰ دقیقه است. الف) اگر لایه رسی در صحرا همان شرایط آزمایشگاهی را داشته باشد زمان لازم برای رسیدن ۵۰٪ تحکیم لایه رسی ۵ متری چقدر است؟ ب) اگر لایه ۵ متری فقط از یک طرف زهکشی شود این زمان را مجددا محاسبه کنید؟

پاسخ: الف)

$$if \quad \bar{U}_{Az} = \bar{U}_{Sa} \quad \rightarrow \quad T_{vAz} = T_{vSa} \quad \rightarrow \quad \frac{c_{vAz} \times t_{Az}}{H_{drAz}^2} = \frac{c_{vSa} \times t_{Sa}}{H_{drSa}^2} \quad \rightarrow \quad \frac{t_{Sa}}{t_{Az}} = \left(\frac{H_{drSa}}{H_{drAz}}\right)^2 \quad (20\%)$$

$$\frac{t_{Sa}}{t_{Az}} = \left(\frac{H_{drSa}}{H_{drAz}}\right)^2, \quad \frac{t_{Sa}}{20} = \left(\frac{5/2}{0.02/2}\right)^2 \quad t_{Sa} = 125 \times 10^4\ \text{min} = 2.38\,\text{year} \quad (40\%)$$

ب)

$$\frac{t_{Sa}}{t_{Az}} = \left(\frac{H_{drSa}}{H_{drAz}}\right)^2, \quad \frac{t_{Sa}}{20} = \left(\frac{5}{0.02/2}\right)^2 \quad t_{Sa} = 5 \times 10^6\ \text{min} = 9.513\,\text{year} \quad (40\%)$$

سوال ۶- تغییرات حجم خاک و اضافه فشار آب حفره‌ای در مقابل نیروی برشی (در آزمایش برش مستقیم) را در انواع خاک‌ها را با ذکر دلیل توضیح دهید. (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 %)

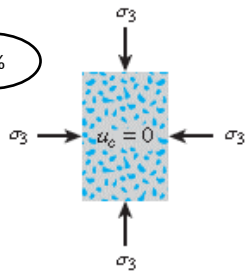
سوال ۷- مسیر تنش کل (TSP) و موثر (ESP) در آزمایش CD را با رسم شکل توضیح دهید؟

فاز تحکیم:

$$\sigma_1=\sigma_3=\sigma_1'=\sigma_3',\quad u_c=0$$

$$\begin{cases} p=p'=\dfrac{\sigma_1+\sigma_3}{2}=\dfrac{\sigma_1'+\sigma_3'}{2}=\sigma_3, \\ q=0,\quad q'=0, \end{cases}$$

35 %

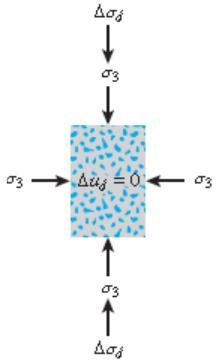


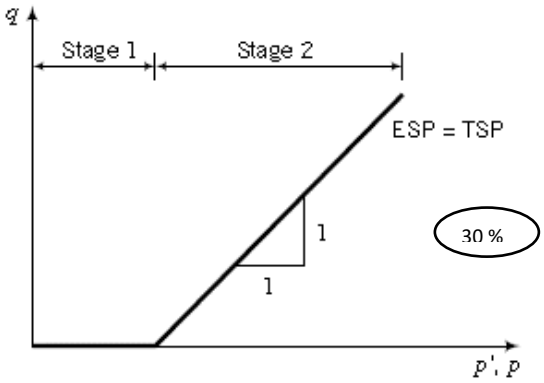
فاز برش:

$$\sigma_1=\sigma_1'=\sigma_3+\Delta\sigma_d,\quad \sigma_3=\sigma_3',\quad \Delta u_d=0$$

$$\begin{cases} p=p'=(\sigma_1+\sigma_3)/2 \\ q=q'=\Delta\sigma_d/2, \end{cases} \xrightarrow{\sigma_1=\sigma_3+\Delta\sigma_d} p=p'=\sigma_3+\Delta\sigma_d/2,$$

35 %

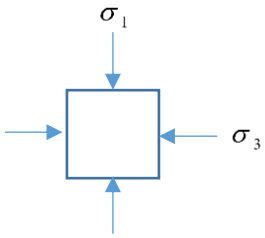




30 %

سوال ۸- نتایج دو آزمایش CU بصورت زیر است. مطلوبست تعیین الف) اضافه فشار آب حفره‌ای در هر آزمایش و ب) مقاومت برشی خاک از معیار مور-کولمب؟ ضرایب اسکمپتون $B=0.9$ و $A=-0.1$ می‌باشند. توجه شود که علامت A منفی است.

$$\begin{cases} \sigma_1=100 \quad \text{kPa},\ \sigma_3=30 \quad \text{kPa} \\ \sigma_1=150 \quad \text{kPa},\ \sigma_3=50 \quad \text{kPa} \end{cases}$$



$$\Delta u=A\Delta\sigma=A(\sigma_1-\sigma_3),$$

$$\Delta u_1=-0.1(100-30)=-7\,\text{kPa},\quad \Delta u_2=-0.1(150-50)=-10\,\text{kPa}$$

10%

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

10%

$$\begin{cases} 100-(-7)=(30-(-7))\tan^2\left(45+\dfrac{\phi}{2}\right)+2c\tan\left(45+\dfrac{\phi}{2}\right) \\ 150-(-10)=(50-(-10))\tan^2\left(45+\dfrac{\phi}{2}\right)+2c\tan\left(45+\dfrac{\phi}{2}\right) \end{cases}$$

10%

$$\begin{cases} 107 = 37\tan^2\left(45+\frac{\phi}{2}\right)+2c\tan\left(45+\frac{\phi}{2}\right) \\ 160 = 60\tan^2\left(45+\frac{\phi}{2}\right)+2c\tan\left(45+\frac{\phi}{2}\right) \end{cases}$$ 10%

$$53 = 23\tan^2\left(45+\frac{\phi}{2}\right) \Rightarrow 2.3 = \tan^2\left(45+\frac{\phi}{2}\right) \Rightarrow 1.518 = \tan\left(45+\frac{\phi}{2}\right)$$

$$\Rightarrow \theta = 45+\frac{\phi}{2} = 56.63 \Rightarrow \phi = 23.25^\circ$$ 20%

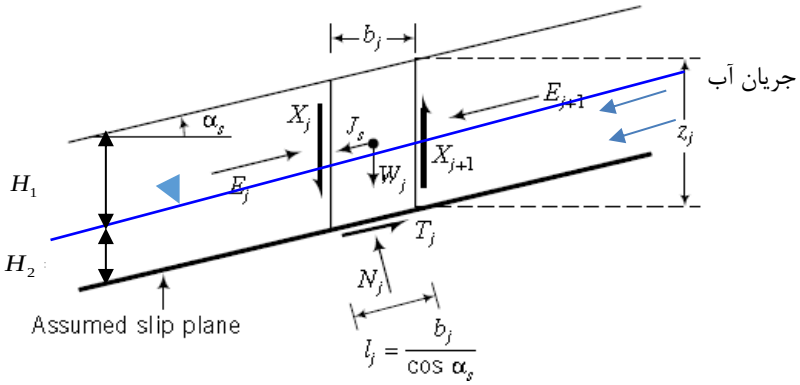
$$160 = 60\times\frac{53}{23}+2c\times1.518 \Rightarrow c = 7.16\ \text{kPa}$$ 20%

ب) مقاومت برشی هر تست:

$$test\,1:\ \tau_f = \frac{\sigma_1-\sigma_3}{2}\sin 2\theta \Rightarrow \tau_f = \frac{107-37}{2}\sin\left(2\times56.63\right) = 32.16\,\text{kPa}$$ 10%

$$test\,2:\ \tau_f = \frac{160-60}{2}\sin\left(2\times56.63\right) = 45.94\,\text{kPa}$$ 10%

سوال ۹- ضریب اطمینان را برای شیب زیر محاسبه کنید؟



$\gamma = 17.5\,\text{kN/m}^3,\ \gamma_{sat} = 19.5\,\text{kN/m}^3,$
$c' = 20\,\text{kN/m}^2,\ \alpha_s = 20^\circ,\ \varphi' = 30^\circ$
$H_1 = 5m,\ H_2 = 2.5m$

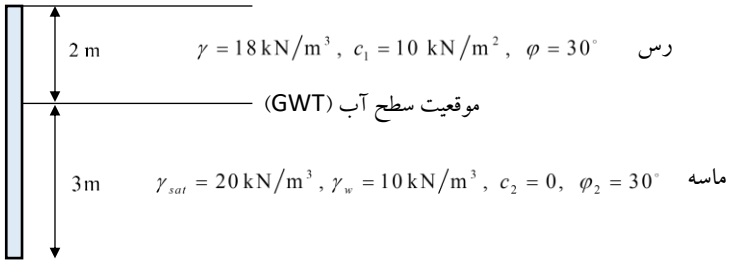
حل:

$$F_d = J_s + W_j'\sin\alpha_s = \gamma_w b_j H_2\sin\alpha_s + \left\{\gamma H_1 + \left(\gamma_{sat}-\gamma_w\right)H_2\right\}b_j\sin\alpha_s$$ 35 %
$$= 10\times2.5\times\sin21^\circ + \left\{17.5\times5+\left(19.5-9.81\right)\times2.5\right\}\sin21^\circ = 46.6$$

$$F_R = \left\{\gamma H_1 + \left(\gamma_{sat}-\gamma_w\right)H_2\right\}b_j\cos\alpha_s\tan\varphi' + c'b_j/\cos\alpha_s$$ 35 %
$$= \left\{17.5\times5+\left(19.5-9.81\right)\times2.5\right\}\cos21^\circ\tan32^\circ + 20/\cos21^\circ = 61.04$$

$$\textbf{F.S} = \frac{F_R}{F_d} = \frac{61.04}{46.6} = 1.31 < 1.5\ \textbf{N.O.K.}$$ 30 %

سوال ۱۰- دیواری به ارتفاع ۵ متر نشان داده شده است. مطلوبست تعیین فشار محرک رانکین برای واحد طول دیوار قبل و بعد از وقوع ترک و محل اثرشان؟

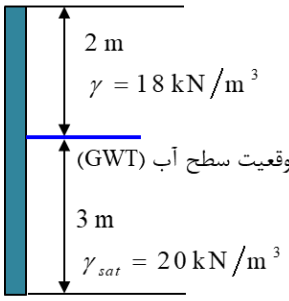


برای خاک ۱ رس عادی تحکیم و همچنین خاک ۲ ماسه:

10 %

$$(k_a)_1 = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) = \tan^2\left(45^\circ - \frac{30}{2}\right) = \frac{1}{3},\quad \sigma_h = k_a\sigma'_v - 2c\sqrt{k_a} + u$$

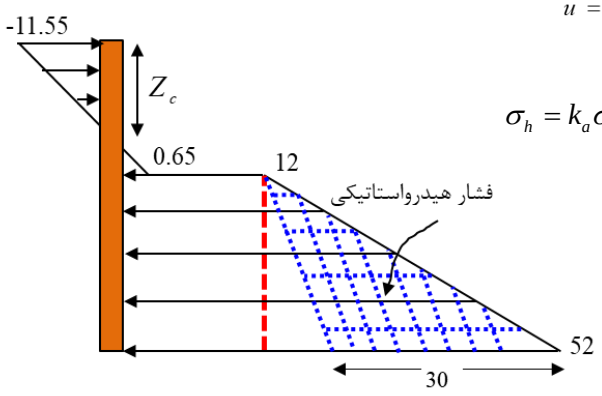
$$z = 0,\quad \sigma'_v = 0,\quad u = 0,\qquad \sigma_h = 0 - 2\times 10\sqrt{3}/3 + 0 = -11.55$$ 10 %



$$\begin{cases} z = 2^-,\ \sigma'_v = 18\times 2 = 36,\quad \sigma_h = (k_a)_1\sigma'_v - 2c_1\sqrt{(k_a)_1} + u = 0.33\times 36 - 2\times 10\sqrt{0.33} = 0.65 \\ z = 2^+,\quad u = 0,\qquad \sigma_h = (k_a)_2\sigma'_v - 2c_2\sqrt{(k_a)_2} + u = 0.33\times 36 + 0 = 12 \end{cases}$$ 20 %

$$z = 5,\ \sigma'_v = 2\times 18 + 3(20-10) = 66,\quad \sigma_h = (k_a)_2\sigma'_v - 2c_2\sqrt{(k_a)_2} + u = 0.33\times 66 + 3\times 10 = 52$$

$$u = 3\times 10 = 30$$ 10 %



10 %

$$\sigma_h = k_a\sigma'_v - 2c\sqrt{k_a} = k_a\gamma' Z_c - 2c\sqrt{k_a} = 0,\ Z_c = \frac{2c}{\gamma'\sqrt{k_a}} = \frac{2\times 10}{18\sqrt{0.33}} = 1.92\mathrm{m}$$

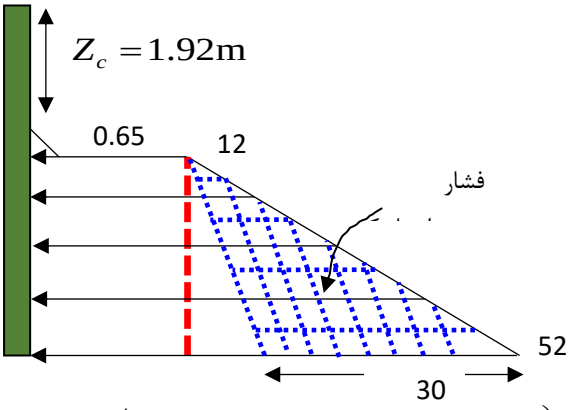
نیروی محرک رانکین قبل از وقوع ترک:

$$P_a = \frac{-11.55\times 1.92}{2} + (2-1.92)\times\frac{0.65}{2} + \frac{12+52}{2}\times 3 = 84.93$$ 10 %

محل اثر نیروی وارد بر طول واحد دیوار نسبت با پای دیوار:

$$\bar{Z} = \frac{\sum_{i=1}^{4} A_i z_i}{\sum_{i=1}^{4} A_i} = \frac{-11.55\times 1.92/2\times\left(5-\frac{1}{3}\times 1.92\right) + 0.65\times 0.04\times\left(3+\frac{1}{3}\times 0.08\right) + 12\times 3\times 1.5 + (52-12)\times 1.5\times 1}{-11.55\times 1.92/2 + 0.65\times 0.04 + 12\times 3 + (52-12)\times 1.5} =$$

$$\frac{-48.344 + 0.0787 + 54 + 60}{-11.088 + 0.026 + 36 + 60} = \frac{65.73}{84.94} = 0.774\mathrm{m},$$ 10 %



نیروی محرک رانکین بعد از وقوع ترک:

10 %

$$P_a = (2-1.92)\times\frac{0.65}{2}+\frac{12+52}{2}\times 3 = 96.03$$

محل اثر نیروی وارد بر طول واحد دیوار نسبت با پای دیوار:

10 %

$$\bar{Z} = \frac{\sum_{i=1}^{4} A_i z_i}{\sum_{i=1}^{4} A_i} = \frac{0.65\times 0.04\times\left(3+\frac{}{3}\times 0.08\right)+12\times 3\times 1.5+(52-12)\times 1.5\times 1}{0.65\times 0.04+12\times 3+(52-12)\times 1.5} = \frac{114.0786933}{96.026} = 1.19\text{m}$$

تهیه و تنظیم: **علی عسگری**،

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