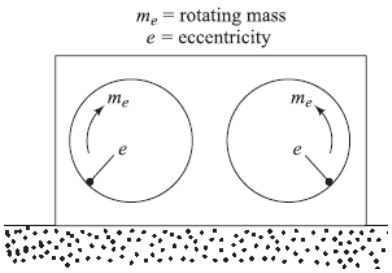
مدت زمان پاسخ‌گویی به سوالات ۱۵۰ دقیقه است. جزوه بسته و فقط ماشین حساب آزاد می‌باشد.

سوال ۱- یک شالوده به ابعاد $2\times 6\,\mathrm{m}^2$ و وزن کل (وزن ماشین و شالوده) $W=680\,\mathrm{kN}$، تحت بار ارتعاشی قائم ناشی از ماشین دورانی به جرم دورانی $5\,\mathrm{kg}$ و خروج از مرکزیت ۵۰ میلیمتر با فرکانس $f=180\,\mathrm{cpm}$ بر روی خاک با مشخصات $\gamma=18.5\,\mathrm{kN/m^3}, \mu=0.4$ و $G=20700\ \mathrm{kPa}$ قرار گرفته است. مطلوبست: **الف)** فرکانس تشدید و نسبت $\frac{f_{\text{resonance}}}{f_{\text{operating}}}\geq 2$ را بررسی کنید؟ **ب)** در صورت عدم برقراری شرط الف چه راهکاری را پیشنهاد می دهید با ذکر دلیل؟



ج) تعیین دامنه ارتعاش شالوده در تشدید؟ ۴٫۲۵ نمره

حل الف)

$$r_0=\sqrt{BL/\pi}=\sqrt{2\times 6/\pi}=1.954\,\mathrm{m}$$

$$B_z=\left(\frac{1-\mu}{4}\right)\left(\frac{m}{\rho r_0^3}\right)=\left(\frac{1-0.4}{4}\right)\left(\frac{680/9.81}{(1.954)^3\times 18.5/9.81}\right)=0.739$$

$$k_z=\frac{4Gr_0}{(1-\mu)}=\frac{4\times 20700\times 1.954}{(1-0.4)}=269709\ \mathrm{kN/m},\quad D_z=\frac{0.425}{\sqrt{B_z}}=\frac{0.425}{\sqrt{0.739}}=0.495$$

$$f_n=\left(\frac{1}{2\pi}\right)\sqrt{\frac{k_z}{m}}=\left(\frac{1}{2\pi}\right)\sqrt{\frac{269709}{680/9.81}}=9.928\mathrm{Hz},\qquad f_m=\frac{f_n}{\sqrt{1-2D_z^2}}=13.89\,\mathrm{Hz}=833.38\,\mathrm{cpm}$$

$$\frac{f_{\text{resonance}}}{f_{\text{operating}}}=\frac{833}{180}=4.63>2$$

حل ب) می توان مدول برشی خاک را افزایش داد که این کار با عملیات تراکم و یا تزریق انجام می شود. با افزایش مدول برشی خاک سختی آن نیز افزایش می یابد؛ بنابراین فرکانس طبیعی نیر افزایش می یابد. مطابق با روابط بالا افزایش ابعاد شالوده و کاهش وزن شالوده نیز می‌تواند فرکانس طبیعی را افزایش دهد.

حل ج)

$$A_{z\,(\text{resonance})}=\frac{m_1 e}{m}\left(\frac{1}{2D_z\sqrt{1-D_z^2}}\right)=\frac{(5\times 10^{-3})\times(50\times 10^{-3})}{680/9.81}\left(\frac{1}{2\times 0.495\sqrt{1-(0.495)^2}}\right)$$

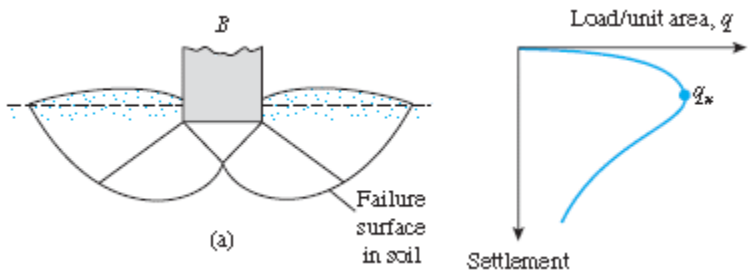
$$A_{z\,(\text{resonance})}=4.195\times 10^{-6}\ \mathrm{m}=4.195\,\mu\mathrm{m}$$

سوال ۲- الف) انواع گسیختگی در شالوده های سطحی را توضیح دهید؟ **ب)** ظرفیت باربری دینامیکی خاک رسی و ماسه ای در مقایسه با ظرفیت استاتیکی چگونه تغییر می کند با ذکر دلیل؟ ۲,۵ نمره

حل الف- در پی‌های سطحی ممکن است سه نوع گسیختگی رخ دهد:

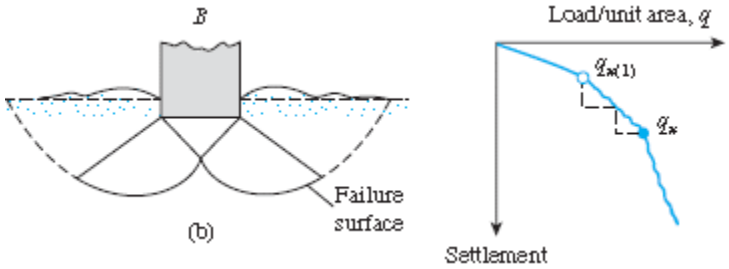
a- گسیختگی برشی کلی (General Shear Failure)

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.



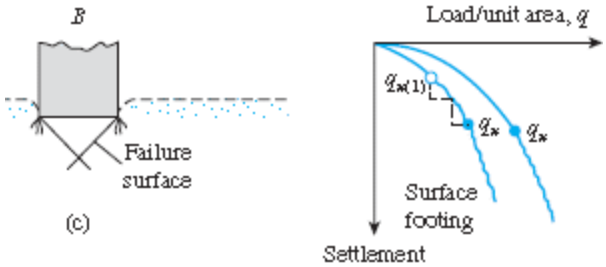
b- گسیختگی برشی موضعی یا محلی (Local Shear Failure)

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.



c- گسیختگی برشی سوراخ کننده یا پانچ (Punching Shear Failure)

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.



حل ب- بسته به نوع خاک، متراکم بودن یا سست بودن ، اشباع یا خشک بودن خاک، نوع بارگذاری دینامیکی و نرخ سرعت آن و مدت زمان بارگذاری و ... ظرفیت باربری دینامیکی نسبت به استاتیکی متفاوت است. مثلا برای ماسه متراکم خشک با افزایش سرعت بارگذاری، ظرفیت باربری به طور تدریجی کاهش می یابد و به مینیمم می‌رسد و سپس افزایش می یابد. ولی در کل ظرفیت دینامیکی نسبت به استاتیکی کمتر است($\varphi_{dy} = \varphi_{st} - 2^\circ$). همچنین روندی در خاک‌های ماسه متراکم اشباع نیز دیده می شود. افزایش سریع ظرفیت باربری نهایی در ماسه متراکم و اشباع که تحت تاثیر بارگذاری سریع قرار دارد به دلیل بوجود آمدن فشار منفذی منفی آب در خاک(رفتار اتساعی) می‌باشد که ممکن است ظرفیت باربری دینامیکی از استتیکی بیشتر شود. موارد گفته شده برای ماسه های نیمه متراکم و سست ممکن است متفاوت باشد، زیرا پدیده روانگرایی در آن‌ها بسیار محتمل است. بر خلاف ماسه، چسبندگی رس های اشباع زهکشی نشده با افزایش سرعت تغییر شکل نسبی افزایش می یابند و مقادیر چسبندگی زهکشی نشده برای سرعت های تغییر شکل نسبی بین ۵۰٪ تا ۴۲۵٪ اختلاف چندانی نداشته و

با تقریب می توان یکی گرفت. بنابراین افزایش سرعت بارگذاری می تواند منجر به افزایش ظرفیت باربری شود به شرط آنکه خاک رسی پتانسیل روانگرایی نداشته باشد. $\frac{c_{u(\mathbf{dynamic})}}{c_{u(\mathbf{static})}} \approx 1.5$

سوال ۳- چه روش‌های برای تعیین نمودار شتاب نگاشت در پروفیل خاکی وجود دارد؟ شما در برنامه کامپیوتری از چه روشی استفاده کردید؟ توضیح مختصری در مورد برنامه نوشته دهید؟ ۲ نمره

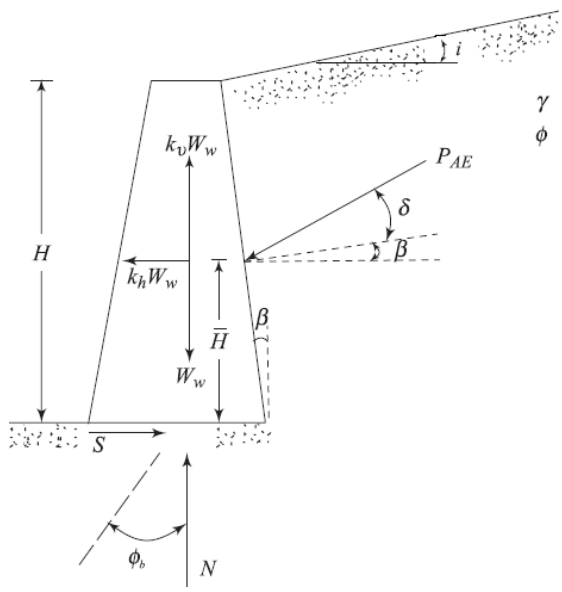
۱- روش‌های حوزه زمان یا همان انتگرال مستقیم مانند تفاشل محدود، نیومارک، شتاب متوسط، ویلسون و...

۲- روش حوزه فرکانس

۳- روش‌های ترکیبی فرکانس-زمان

قسمت دوم پاسخ بسته به روش به کار گرفته توسط دانشجو مت‌تواند متفاوت باشد.

سوال ۴-دیوار وزنی به ارتفاع ۴ متر و مشخصات زیر در نظر بگیرید.



$$\gamma = 18\,\mathrm{kN/m^3},\ \varphi = 34^\circ, \varphi_b = 30^\circ,\ \beta = 10^\circ,$$
$$i = 5^\circ,\quad \delta = 0.5\varphi,$$

مطلوبست تعیین:

الف) مقدار نیروی محرک لرزه ای را از روش *Mononobe-Okabe* با فرض $k_h = 0.2,\ k_v = 0.1$ ؟ ۴,۲۵ نمره

ب) محل اثر نیروی محرک لرزه ای وقتی دیوار حول پنجه دوران کند. (از روش Seed and Whitman (1969) استفاده کنید).

ج) محل اثر نیروی محرک لرزه ای وقتی دیوار حرکت انتقالی داشته باشد. (از روش Sherif, Ishibashi, and Lee (1982) استفاده کنید).

د) وزن مورد نیاز دیوار در سه حالت استاتیکی و زلزله بدون جابجایی و زلزله با جابجایی ۴ سانتی متر(ضریب اطمینان در مقابل لغزش را ۱,۵ بگیرید). $A_a = A_v = 0.15$

ه) تعیین نیروی اضافی دینامیکی ناشی از آب در حالتی که دیوار جابجایی نداشته باشد و سطح آب در ارتفاع ۲,۵ متری بالای کف دیوار باشد؟

و) طراحی دیوار وزنی بر مبنای جابجایی محدود چه مزیتی دارد؟ نتایج قسمت د را باهم مقایسه کنید؟

حل الف)

$$\tan\theta = \frac{k_h}{1-k_v} = \frac{0.2}{1-0.1} = 0.219\,\mathrm{rad} = 12.53^\circ$$

$$K_{AE}=\frac{\cos^2(\phi-\theta-\beta)}{\cos(\theta)\cos^2(\beta)\cos(\delta+\theta+\beta)\left(1+\sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)\sin(\phi-\theta-i)}{\cos(\delta+\theta+\beta)\cos(i-\beta)}}\right)^2}=0.5578$$

$$P_{AE}=\frac{1}{2}\gamma H^2(1-k_v)K_{AE}=72.30\,\text{kN/m}$$

حل ب)

$$K_A=\frac{\cos^2(\phi-\beta)}{\cos(\theta)\cos^2(\beta)\cos(\delta+\beta)\left(1+\sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)\sin(\phi-i)}{\cos(\delta+\beta)\cos(i-\beta)}}\right)^2}=0.354$$

$$P_A=\frac{1}{2}\gamma H^2(1)K_A=50.99\,\text{kN/m}$$

$$\bar{H}=\frac{0.3\bar{3}HP_A+(0.6\times H)\Delta P_{AE}}{P_{AE}}=\frac{0.3\bar{3}\times4\times50.99+(0.6\times4)(72.3-50.99)}{72.3}=1.65\,\text{m},$$

حل ج)

$$\bar{H}=\frac{0.42\times H\times P_A+(0.48\times H)\Delta P_{AE}}{P_{AE}}=1.75\,\text{m}$$

حل د)

حالت استاتیکی:

$$CI=\frac{\cos(\delta+\beta)-\sin(\delta+\beta)\tan(\phi_b)}{\tan(\phi_b)}=1.0893$$

$$W=\text{SF}\times\frac{1}{2}\gamma H^2K_A\times CI=83.3113\,\text{kN/m},$$

حالت زلزله بدون جابجایی:

$$CI_E=\frac{\cos(\delta+\beta)-\sin(\delta+\beta)\tan(\phi_b)}{(1-k_v)\{\tan(\phi_b)-\tan(\theta)\}}=\frac{\cos(17+10)-\sin(17+10)\tan(30)}{(1-0.1)\{\tan(30)-\tan(12.53)\}}=1.968$$

$$W_w=\text{SF}\times\frac{1}{2}\gamma H^2(1-k_v)K_{AE}\times CI_E=213.38\,\text{kN/m}$$

حالت زلزله با جابجایی محدود:

$$k_h=A_a\left(\frac{5.08A_v^2}{A_a\times d(\text{mm})}\right)^{0.25}=0.0557$$

$$\tan\theta = \frac{k_h}{1-k_v} = \frac{0.0557}{1-0.1} = 0.0618\,\text{rad} = 3.543^\circ$$

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\phi-\theta-\beta)}{\cos(\theta)\cos^2(\beta)\cos(\delta+\theta+\beta)\left(1+\sqrt{\frac{\sin(\phi+\delta)\sin(\phi-\theta-i)}{\cos(\delta+\theta+\beta)\cos(i-\beta)}}\right)^2} = 0.399$$

$$P_{AE} = \frac{1}{2}\gamma H^2(1-k_v)K_{AE} = 51.75\,\text{kN/m}$$

$$CI_E = \frac{\cos(\delta+\beta)-\sin(\delta+\beta)\tan(\phi_b)}{(1-k_v)\{\tan(\phi_b)-\tan(\theta)\}} = \frac{\cos(17+10)-\sin(17+10)\tan(30)}{(1-0.1)\{\tan(30)-\tan(3.543)\}} = 1.356$$

$$W_w = \text{SF}\times\frac{1}{2}\gamma H^2(1-k_v)K_{AE}\times CI_E = 105.226\,\text{kN/m}$$

حل ه)

$$P_w = 0.9914k_h\gamma_w h^2 = 0.9914\times0.2\times9.81\times(2.5)^2 = 12.157\,\text{kN/m}$$

حل و)

طراحی دیوار بر مبنای جابجایی محدود اقتصادی است. اگر اجازه دهیم که دیوار در زلزله به اندازه‌ی مجازی جابجا شود مسلما بار محرک لرزه ای کمتری به دیوار وارد می‌شود و در نتیجه وزن مورد نیاز جهت جلوگیری از لغزش کاهش می یابد و در نتیجه طرح اقتصادی تر داریم. مسلما در حالت استاتیک وزن کمتری نسبت به حالت‌های لرزه ای نیاز است.

سوال ۵-الف) چه عامل و یا عواملی باعث می‌شود که احتمال روانگرایی در خاک‌های ماسه‌ای متراکم اشباع کاهش یابد؟ در خاک های چسبنده چطور؟ توضیح کاملی دهید؟

ب) چهار روش اصلاح خاک روانگرا را نام ببرید و حداقل مکانیزم چگونگی کاهش روانگرایی را برای یکی از روش‌ها بنویسید؟

ج) عوامل موثر بر روانگرایی را با ذکر چگونگی اثر آن بیان کنید؟ اگر شرایط محیطی یکسان باشد، احتمال رخداد روانگرایی خاک در زیر ساختمان بیشتر است یا در محیط آزاد؟ با ذکر دلیل توضیح دهید؟ ۳ نمره

جواب الف- در ماسه متراکم در مقابل افزایش یکنواخت بار monotonically increasing load شروع به افزایش حجم در لحظات گسیختگی می‌نماید و این باعث کاهش منفذی گردیده و نتیجتا فشار مؤثر بین دانه‌ای افزایش یافته و ماسه مستحکم‌تر و مقاوم‌تر می‌گردد و این مسئله از روان شدن ماسه متراکم جلوگیری می‌کند. به این رفتار ماسه متراکم، رفتار اتساعی می‌گویند. اگرچه در آزمایشات نشان داده شده است که حتی ماسه متراکم نیز از روان شدن در امان نیست ولی شرایط سخت‌تری لازم است تا یک ماسه ی متراکم روان گردد. برخلاف آن‌چه که در مورد ماسه‌ی شل ملاحظه گردید که ماسه به طور ناگهانی ریزش و روان گردید در اینجا در مورد ماسه متراکم گسیختگی ناگهانی نبوده و خاک توانسته است بدون بروز تغییرشکل‌های زیادی در مقابل بارها مقاومت

نماید. در خاک‌های رسی بدلیل وجود چسبندگی بین ذرات مانع بوجود آمدن روانگرایی است. البته اگر خاصیت خمیری پایینی داشته باشد همچنان روانگرایی محتمل است.

جواب ب- در صورت وجود خطر پتانسیل روانگرایی می‌توان با استفاده از تکنیک‌های مختلف خاک را بهسازی کرد که برخی از موارد شامل: استفاده از ستون سنگی، شمع کوبی، تراکم دینامیکی، تزریق دوغاب و اختلاط عمیق خاک-بتن می‌شوند. مثلا شمع کوبی و تراکم دینامیکی هر دو باعث می‌شود که خاک اصلاح شده یا تسلیح شده یک سیستم سختری شود و رفتار اتساعی از خود نشان دهد که مانع روانگرایی خواهد شد. ستون سنگی نه تنها باعث افزایش موضعی سختی می‌شود بلکه با توجه به نفوذپذیری نسبتا بالا مانع بالا رفتن فشار آب منفذی می‌شود.

جواب ج- ۱-تراکم نسبی R_d افزایش تراکم نسبی باعث کاهش پتانسیل روانگرایی می شود.

۲- فشار همه جانبه σ_3 : افزایش فشار همه جانبه باعث کاهش پتانسیل روانگرایی می شود.

۳- حداکثر تنش ضربه ای σ_d : افزایش حداکثر تنش ضربه ای باعث تشدید در پتانسیل روانگرایی می شود.

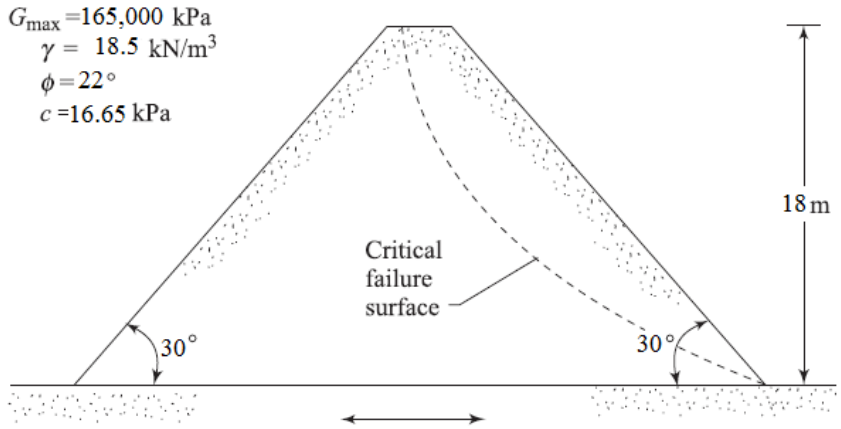
۴- تعداد سیکل‌های تنش ضربه‌ای : افزایش تعداد سیکل‌های تنش ضربه‌ای باعث افزایش پتانسیل روانگرایی می شود.

۵- نسبت پیش تحکیمی: افزایش نسبت پیش تحکیمی باعث کاهش پتانسیل روانگرایی می شود.

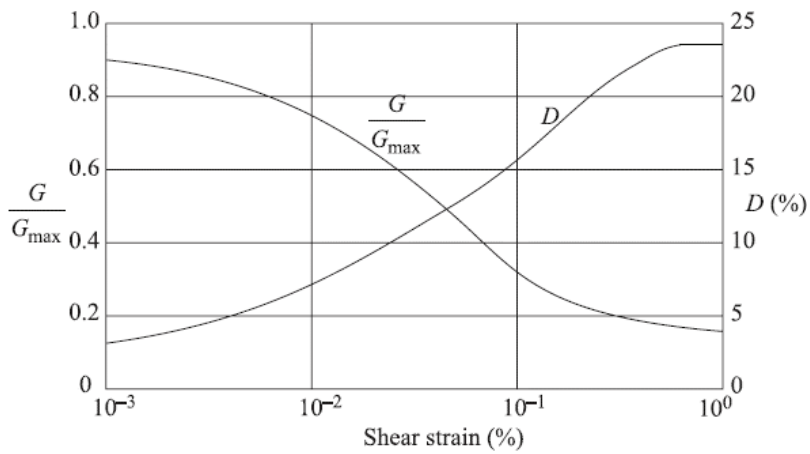
به طور قطع وقتی بر روی خاکی، سازه‌ای بنا می‌گردد باعث افزایش فشار هم جانبه و تنش موثر می‌شود که افزایش فشار همه جانبه باعث کاهش پتانسیل روانگرایی خواهد شد، اما از طرفی باعث افزایش اختلاف تنش اختلافی نیز می‌شود که باعث ایجاد برش بیشتری در خاک می‌شود و پتانسیل روانگرایی را افزایش می‌دهد. در نتیجه به طور قطع نمی‌توان گفت که سازه تاثیر منفی یا مثبت بر پتانسیل روانگرایی دارد. اما در صورت رخداد روانگرایی با وجود سازه نشست های بیشتری رخ خواهد داد. به‌عبارت دیگر، در صورتی که نسبت ضریب اضافه فشار آب منفذی ناشی از زلزله حتی اگر کمتر از یک باشد و سازه نیز بر روی خاک بنا شده باشد ممکن است جابجایی خاک بیشتر از حالت بدون سازه اتفاق بیافتد.

سوال ۶- سد زیر را در نظر بگیرید. مطلوبست تعیین: **الف)** شتاب ماکزیمم در تاج و آنرا به یک رقم اعشار گرد کنید؟

ب) تغییر شکل شیب در تاج در یک زلزله با بزرگای $M = 7.75$ ریشتر؟(شتاب ماکزیمم در کف برابر با $0.2g$ است. ۴ نمره



حل الف) برای حل ابتدا فرض می‌کنیم که $\frac{G}{G_{\max}} = 0.4$ بنابراین از شکل زیر داریم:



$$\frac{G}{G_{\max}} = 0.4 \quad \Rightarrow \quad \gamma' = 0.07\%, \quad D = 14\% \quad , G = 0.4G_{\max} = 0.4 \times 165000 = 66000\,\text{kPa}$$

$$\beta_1 = 2.404,\ \beta_2 = 5.22,\ \beta_3 = 8.65,$$

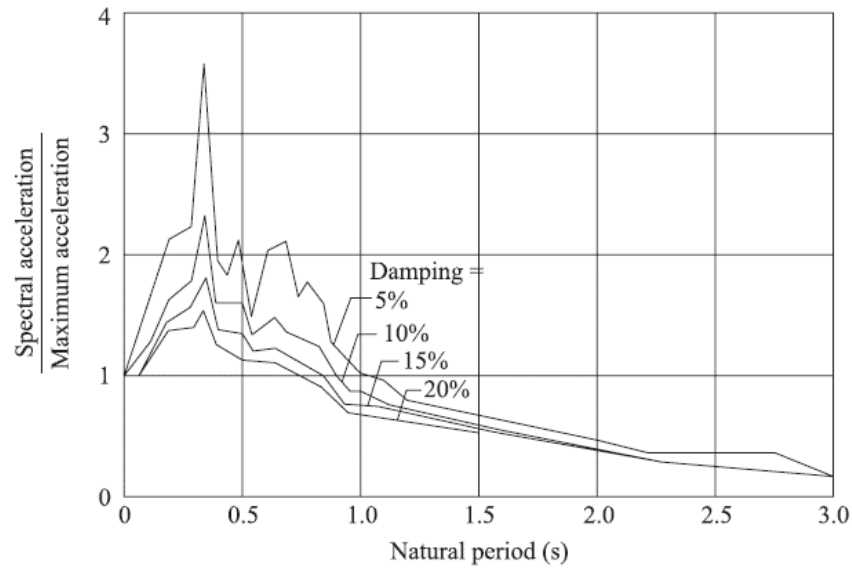
$$\omega_n = \frac{\beta_n}{H}\sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

$$\omega_1 = \frac{\beta_1}{H}\sqrt{\frac{G}{\rho}} = \frac{2.404}{18}\sqrt{\frac{66000}{18.5/9.81}} = 24.985\ \text{rad/s}, \quad T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 0.251\,\text{sec}$$

$$\omega_2 = \frac{\beta_2}{H}\sqrt{\frac{G}{\rho}} = \frac{5.22}{18}\sqrt{\frac{66000}{18.5/9.81}} = 57.37\ \text{rad/s}, \quad T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = 0.11\,\text{sec}$$

$$\omega_3 = \frac{\beta_3}{H}\sqrt{\frac{G}{\rho}} = \frac{8.65}{18}\sqrt{\frac{66000}{18.5/9.81}} = 89.901\ \text{rad/s}, \quad T_3 = \frac{2\pi}{\omega_2} = 0.0699\,\text{sec}$$

با داشتن T_n و D می‌توان از شکل زیر نسبت $\frac{S_{an}}{a_{\max}}$ تعیین کرد:



$$T_1 = 0.251\text{sec},\ D = 14\% \quad \Rightarrow \quad \frac{S_{a1}}{a_{\max}} = 1.5, \quad S_{a1} = 1.5 \times 0.2g = 0.3g$$

$$T_2 = 0.11\text{sec},\ D = 14\% \quad \Rightarrow \quad \frac{S_{a2}}{a_{\max}} = 1.15, \quad S_{a2} = 1.15 \times 0.2g = 0.23g$$

$$T_3 = 0.0699\,\text{sec},\ D = 14\% \quad \Rightarrow \quad \frac{S_{a2}}{a_{\max}} = 1.0, \quad S_{a3} = 1.0 \times 0.2g = 0.2g$$

$$\left[\ddot{u}_a(0)\right]_{\max} = \sqrt{\left(1.6S_{a1}\right)^2 + \left(1.06S_{a2}\right)^2 + \left(0.86S_{a3}\right)^2} = 0.565g$$

$$\left(\gamma'_{av}\right)_{\text{eq}} = 0.195H\frac{\rho}{G}S_{a1} = 0.195 \times 18 \times \frac{18.5/g}{66000}0.3g = 2.95 \times 10^{-4} \approx 0.03\%$$

مقدار کرنش برشی بدست آمده با فرض شده تطابق ندارد بنابراین باید فرض را اصلاح کنیم و مقدار جدید $\left(\gamma'_{av}\right)_{\text{eq}} \approx 0.03\%$ را در نظر بگیریم. با داشتن کرنش جدید مجددا از منحنی $G/G_{\max}$ مقادیر میرایی و نسبت مدول برشی را تعیین می‌کنیم که برابر است با:

$$\gamma' = 0.07\% \quad \Rightarrow \quad \frac{G}{G_{\max}} = 0.6, \quad D = 10\% \quad , G = 0.6G_{\max} = 99000\,\text{kPa}$$

$$\omega_1 = \frac{\beta_1}{H}\sqrt{\frac{G}{\rho}} = \frac{2.404}{18}\sqrt{\frac{99000}{18.5/9.81}} = 30.6\ \text{rad/s}, \quad T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 0.205\,\text{sec}$$

با داشتن T_1 و D می‌توان از شکل طیف پاسخ شتاب نسبت $\frac{S_{a1}}{a_{\max}}$ تعیین کرد:

$$T_1 = 0.205\,\text{sec},\ D = 10\% \quad \Rightarrow \quad \frac{S_{a1}}{a_{\max}} = 1.6, \quad S_{a1} = 1.6 \times 0.2g = 0.32g$$

$$\left(\gamma'_{av}\right)_{\text{eq}} = 0.195H\frac{\rho}{G}S_{a1} = 0.195 \times 18 \times \frac{18.5/g}{99000}0.32g = 2.09 \times 10^{-4} \approx 0.02\%$$

مجددا مقدار کرنش برشی بدست آمده با فرض شده تطابق ندارد بنابراین باید مجددا فرض را اصلاح کنیم و مقدار جدید $\left(\gamma'_{av}\right)_{\text{eq}} \approx 0.02\%$ را در نظر بگیریم. با داشتن کرنش جدید مجددا از منحنی $G/G_{\max}$ مقادیر میرایی و نسبت مدول برشی را تعیین می‌کنیم که برابر است با:

$$\gamma' = 0.07\% \quad \Rightarrow \quad \frac{G}{G_{\max}} = 0.67, \quad D = 8\% \quad , G = 0.67G_{\max} = 110000\,\text{kPa}$$

$$\omega_1 = \frac{\beta_1}{H}\sqrt{\frac{G}{\rho}} = \frac{2.404}{18}\sqrt{\frac{110000}{18.5/9.81}} = 32.256\ \text{rad/s}, \quad T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} = 0.195\,\text{sec}$$

$$\omega_2 = \frac{\beta_2}{H}\sqrt{\frac{G}{\rho}} = \frac{5.22}{18}\sqrt{\frac{110000}{18.5/9.81}} = 74.06\ \text{rad/s}, \quad T_2 = \frac{2\pi}{\omega_2} = 0.0848\,\text{sec}$$

$$\omega_3 = \frac{\beta_3}{H}\sqrt{\frac{G}{\rho}} = \frac{8.65}{18}\sqrt{\frac{110000}{18.5/9.81}} = 116.06\ \text{rad/s}, \quad T_3 = \frac{2\pi}{\omega_2} = 0.054\,\text{sec}$$

با داشتن T_1 و D می‌توان از شکل طیف پاسخ شتاب نسبت $\frac{S_{an}}{a_{\max}}$ تعیین کرد:

$$T_1 = 0.195\,\text{sec},\ D = 8\% \quad \Rightarrow \quad \frac{S_{a1}}{a_{\max}} = 1.7, \quad S_{a1} = 1.7 \times 0.2g = 0.34g$$

$$T_2 = 0.0848\,\text{sec},\ D = 8\% \quad \Rightarrow \quad \frac{S_{a2}}{a_{\max}} = 1.2, \quad S_{a2} = 1.2 \times 0.2g = 0.24g$$

$$T_3 = 0.054\,\text{sec},\ D = 8\% \quad \Rightarrow \quad \frac{S_{a2}}{a_{\max}} = 1.05, \quad S_{a3} = 1.05 \times 0.2g = 0.21g$$

$$\left[\ddot{u}_a(0)\right]_{\max} = \sqrt{\left(1.6S_{a1}\right)^2 + \left(1.06S_{a2}\right)^2 + \left(0.86S_{a3}\right)^2} = 0.627g \approx 0.6g$$

$$\left(\gamma'_{av}\right)_{\text{eq}} = 0.195H\frac{\rho}{G}S_{a1} = 0.195 \times 18 \times \frac{18.5/g}{110000}0.34g = 2.01 \times 10^{-4} \approx 0.02\%$$

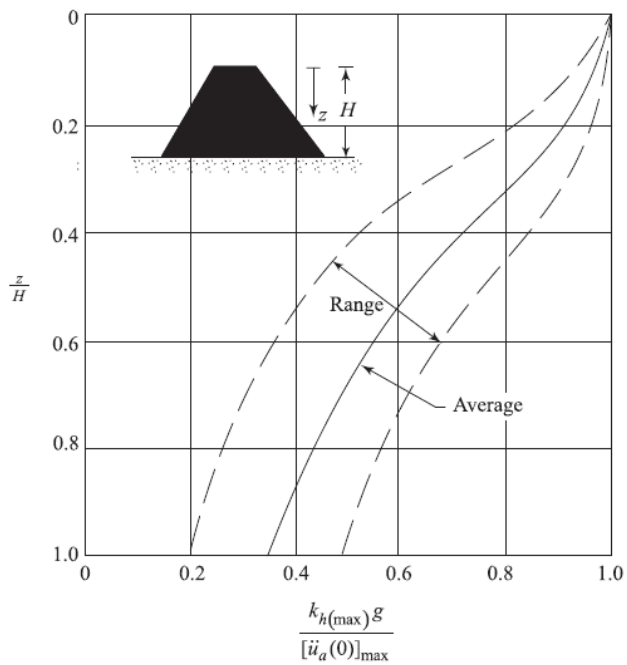
حل ب)

$$\begin{cases} \beta = 30^\circ,\ \varphi = 22^\circ,\ \ \tan\varphi = 0.404 \\ c = 16.65\,\text{kPa} \ \Rightarrow \ \dfrac{c}{\gamma H} = \dfrac{16.65}{18.5 \times 18} = 0.05 \end{cases} \quad \Rightarrow \quad k_h = k_y = 0.14$$

Yield acceleration, $k_h = k_y$, $b = 0$

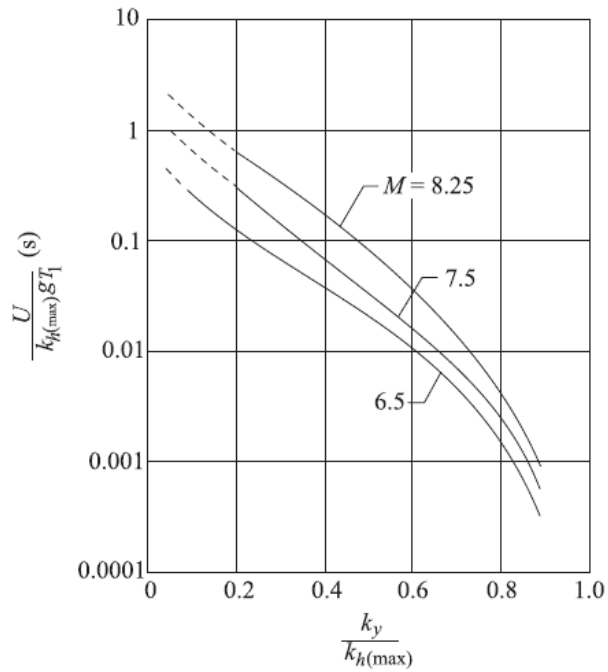
		$c/\gamma H$		
β (deg)	tan ϕ	0.05	0.10	0.15
15	0.1	0.00	0.08	0.15
	0.2	0.10	0.20	0.27
	0.3	0.20	0.31	0.39
	0.4	0.30	0.41	0.50
	0.5	0.40	0.51	0.60
	0.6	0.49	0.61	0.70
	0.7	0.58	0.70	0.80
	0.8	0.66	0.79	0.89
	0.9	0.74	0.87	0.98
30	0.1	—	0.00	0.13
	0.2	0.00	0.11	0.25
	0.3	0.05	0.22	0.37
	0.4	0.14	0.32	0.46
	0.5	0.24	0.41	0.55
	0.6	0.32	0.50	0.63
	0.7	0.40	0.57	0.72
	0.8	0.47	0.65	0.79
	0.9	0.53	0.71	0.86

با توجه به نمودار زیر می توان $k_{h(\max)}$ را در محل تاج سد تعیین کرد:



$$\frac{z}{H}=1 \quad \Rightarrow \quad \frac{k_{h(\max)}g}{\left[\ddot{u}_a(0)\right]_{\max}}=0.34 \quad \Rightarrow \quad k_{h(\max)}=\frac{0.34\left[\ddot{u}_a(0)\right]_{\max}}{g}=\frac{0.34\times 0.6g}{g}=0.204$$

$$\begin{cases} \dfrac{k_y}{k_{h(\max)}} = \dfrac{0.14}{0.204} = 0.686 \\ M_w = 7.75,\ T_1 = 0.195\,\text{sec} \end{cases} \Rightarrow \frac{U}{k_{h(\max)} g T_1} = 0.01, \quad U = 0.01 k_{h(\max)} g T_1 = 0.01 \times 0.204 \times 9.81 \times 0.195 \approx 4\,\text{mm}$$



سوال ۷- در زلزله‌ای شدید با شدت $M_w = 7.9$ ریشتر که شتاب ماکزیمم زمین $0.1g$ ثبت شده است خسارات عمده‌ای به ساختمان‌ها و تأسیسات وارد شده است با بررسی‌های محلی مشخص شد که زمین محل زلزله عموما از ماسه با $D_r \approx 45\%,\ D_{50} = 0.2$ بوده در حالی که سفره آب زیرزمینی در عمق $h_w = 3'$ بوده و لایه ماسه ضخامتی به عمق $h_s = 60'$ دارد. γ وزن واحد حجم مرطوب ماسه تا عمق $3'$ برابر $112.0\ \text{lb/ft}^3$ بوده و از عمق $3'$ به پایین برابر $112.5\,\text{lb/ft}^3$ می باشد. وزن واحد حجم مستغرق ماسه هم $50\,\text{lb/ft}^3$ اندازه‌گیری شده است. مطلوبست تعیین عمق و ضخامت قسمتی از ماسه که در آن روانگرائی رخ داده است. ۴ نمره

$a_{\max}/g$	C_D	$h(\text{ft})$
0.1	1	0
0.1	0.98	10
0.11	0.96	20
0.12	0.94	30
0.13	0.90	35
0.14	0.85	40
0.15	0.7	60

حل الف)

تعیین تنش برشی متوسط دراعماق مختلف ماسه از رابطه‌ی:

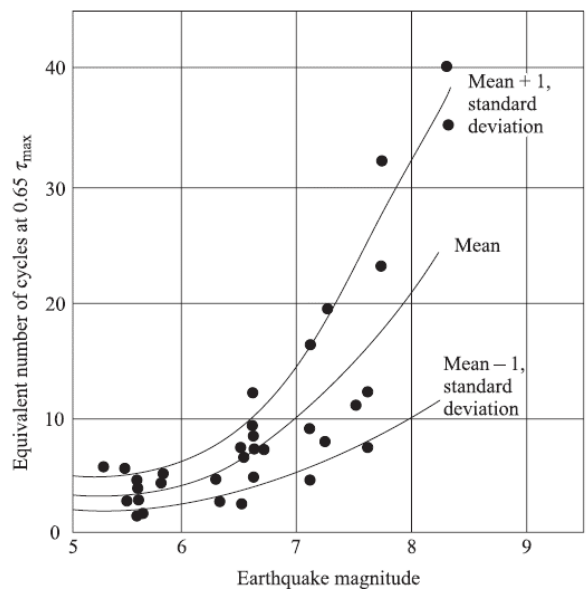
$$\tau_{avg} = 0.65 \times C_D \left(\frac{\gamma h}{g}\right) a_{\max}$$

این همان تنش برشی ماکزیمم ناشی از زلزله می باشد.

$h(\text{ft})$	C_D	$a_{\max}/g$	$\gamma.h(\text{lb/ft}^2)$	$\tau_{avg}(\text{lb/ft}^2)$
0	1	0.1	0	
10	0.98	0.1	1123.5	71.6
20	0.96	0.11	2248.5	154.34
30	0.94	0.12	3372.5	247.35
35	0.90	0.13	3939	299.52
40	0.85	0.14	4498.5	347.96
50	0.77	0.145	5623.5	408.11
60	0.7	0.15	6748.5	460.59

تعیین تعداد سیکل معادل تنش‌های اساسی

از شکل ارائه شده در زیر مقدار N_c (تعداد سیکل‌های معادل) برای زلزله ی 7.9 ریشتر $N_c = 20$ به دست می‌آید.

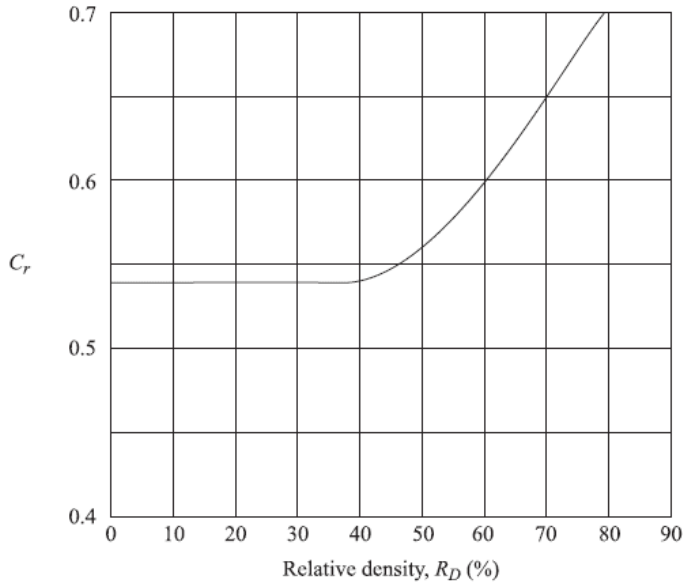


تعیین تنش‌هایی که موجب روانگرائی می‌شود

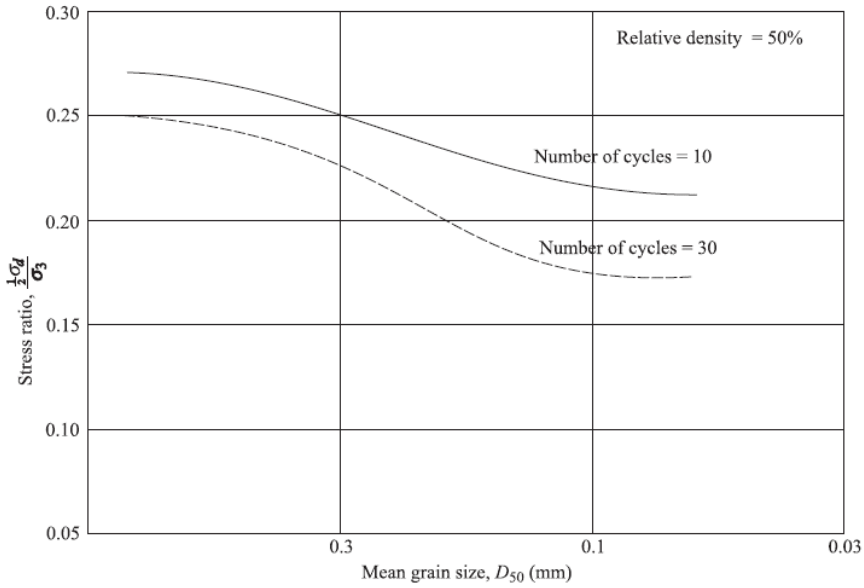
$$\tau_{h(\text{field})\left[R_{D[2]}\right]} = C_r \sigma_v \left(\frac{1/2\sigma_d}{\sigma_3}\right)_{triax,\left[R_{D[1]}\right]} \cdot \frac{R_{D[2]}}{R_{D[1]}},$$

برای $D_r = 45\%$ از شکل داده شده در زیر مقدار C_r به دست می‌آید:

$$C_r = 0.55$$



همچنین مراجعه به منحنی ترسیم شده در شکل زیر، نسبت تنش‌های مولد روانگرائی برای ماسه‌ای بااندازه ذرات متوسط $D_{50} = 0.2$ و برای ۱۰ سیکل و ۳۰ سیکل به صورت:



$$\text{For } D_{50} = 0.2 \;\Rightarrow N = 10\,\text{Cycles} \rightarrow \left(\frac{1}{2}\frac{\sigma_d}{\sigma_3}\right) = 0.24, \quad N = 30\,\text{Cycles} \rightarrow \left(\frac{1}{2}\frac{\sigma_d}{\sigma_3}\right) = 0.21$$

و لذا برای تعداد سیکل محاسبه شده دراین مسئله $N_c = 20$ نسبت تنش‌های مولد روانگرائی با متوسط دو وضعیت به دست می‌آید یعنی:

$$\left(\frac{1/2\sigma_d}{\sigma_3}\right)_{ave_{10,30\,Cycles}} = \frac{0.242 + 0.210}{2} = 0.226$$

اکنون مقدار تنش برشی که منجر به روانگرائی می‌شود از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\tau_{h(\text{field})\left[R_{D[2]}\right]} = C_r \sigma_v \left(\frac{1/2\sigma_d}{\sigma_3}\right)_{triax,\left[R_{D[1]}\right]} \cdot \frac{R_{D[2]}}{R_{D[1]}}$$

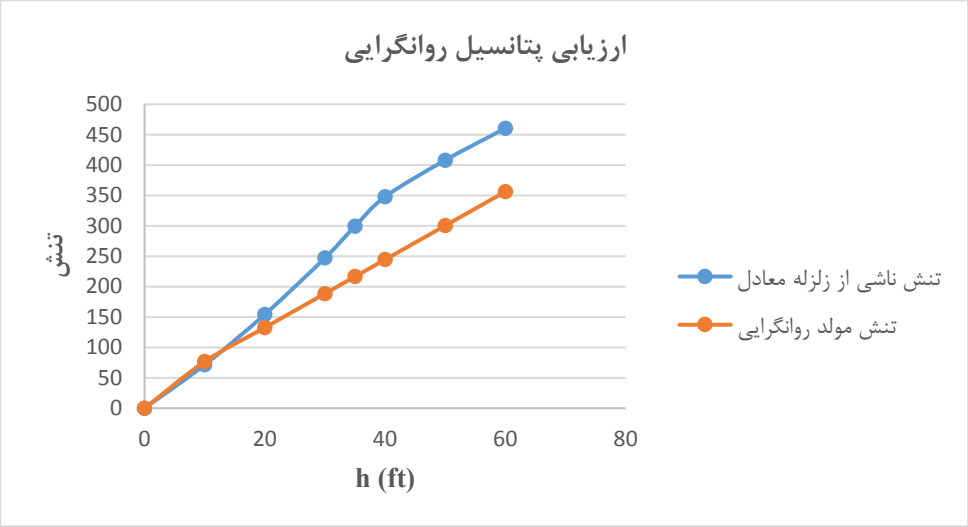
$$= 0.55 \times 0.226 \times \frac{45}{50} \times \sigma'_v = 0.11187 \times \sigma'_v$$

$$\Rightarrow \tau_{h(\text{field})\left[R_{D[2]}\right]} = 0.11187 \times \sigma'_v, \qquad \sigma'_v = \sum \gamma'_i h_i$$

برای محاسبه مقادیر مختلف تنش برشی که موجب روانگرایی می‌شود جدول زیر تنظیم می‌شود:

$h(\text{ft})$	C_D	$a_{\max}/g$	$\gamma.h(\text{lb/ft}^2)$	$\tau_{avg}(\text{lb/ft}^2)$	$\sigma'_v(\text{lb/ft}^2)$	$\tau_{h(\text{field})}(\text{lb/ft}^2)$	پتاسیل روانگرایی
0	1	0.1	0	0	0	0	ندارد
10	0.98	0.1	1123.5	71.6	686	76.74	ندارد
20	0.96	0.11	2248.5	154.34	1186	132.68	دارد
30	0.94	0.12	3372.5	247.35	1686	188.61	دارد
35	0.90	0.13	3939	299.52	1936	216.58	دارد
40	0.85	0.14	4498.5	347.96	2186	244.55	دارد
50	0.77	0.145	5623.5	408.11	2686	300.48	دارد
60	0.7	0.15	6748.5	460.59	3186	356.42	دارد

اکنون مقادیر مختلفی که برای تنش‌های برشی مولد روانگرائی (ستون ۷) به دست آمده در مقابل تنش‌های برشی متوسط (تنش برشی ماکزیمم اصلاح شده ناشی از زلزله = معادل شده) (ستون۵) رسم می‌گردند.



از شکل بالا پیداست که در منطقه‌ای از لایه ماسه‌ای که بین اعماق '15',10' (در عمق ۱۱,۹۲ فوتی به پایین) قرار دارد تنش‌های برشی ماکزیمم تولید شده از تنش‌های مولد روانگرائی بیشتر می‌باشد. بنابراین ابتدا در این منطقه روانگرائی به وقوع می‌پیوندد. از

آن‌جایی که آبهای منفذی تحت فشار در این منطقه پس از روانگرائی بسمت بالا حرکت یافته‌اند و جریان می‌یابند لایه‌ی ماسه واقع در اعماق ۵ الی ۱۵ نیز پس از قسمت قبل روان خواهد شد.

بین سوالات ۶ و ۷ یک سوال را به دلخواه حل کنید.

به امید موفقیت عسگری