

روانگرایی دارند لذا در اینجا احتمال پتانسیل روانگرایی وجود ندارد. به این ترتیب گزینه ۱ صحیح است.

(۱۳) گزینه ۳

پیش از این دیدیم به ازاء $PI < 10$ تاثیری بر CRR ندارد اما برای $PI > 10$ یک ضریب افزایشده بصورت $F = 1 + 0.02(PI - 10)$ بر CRR ضرب شده و مقاومت سیکلی در برابر روانگرایی را افزایش می‌دهد. لذا گزینه ۳ صحیح است.



۸. وقوع روانگرایی و شتاب وارد بر ساختمان

یک لایه ماسه شل اشباع مفروض است. بر روی ماسه یک ساختمان قرار دارد. با اعمال زلزله ماسه شل روانگرا می‌شود. سوال این است که با روانگرا شدن ماسه در حین وقوع زلزله آیا شتاب وارد بر ساختمان زیاد می‌شود یا کم می‌شود؟ (یا تغییری نمی‌کند؟)

میتوان برای پاسخگویی به سوال ماسه روانگرا شده را در حالت اغراق آمیز با آب جایگزین کرد. وقتی ماسه روانگرا می‌شود می‌توانیم فرض کنیم ساختمان بر روی آب قرار گرفته است.

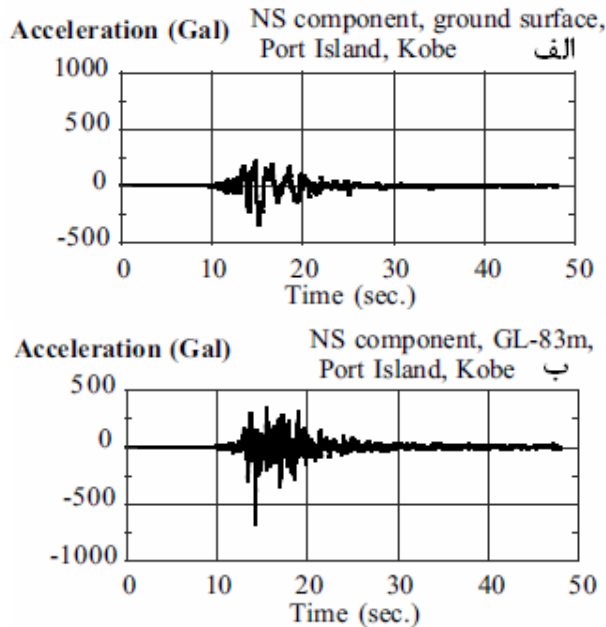
در این حالت آیا امواج زلزله می‌توانند از آب عبور کنند و به سطح زمین و پی سازه برسند؟ امواج لرزهای که درون زمین انتقال می‌یابند امواج P و S هستند. موج P می‌تواند از آب عبور کند اما موج S چنین توانایی ندارد فلذا امواج کم‌تری از آب (یا همان ماسه روانگرا شده در حالت اغراق آمیز) عبور خواهند کرد و شتاب کم‌تری به ساختمان منتقل می‌شود.

تکنولوژی ایزوله سازی لرزهای برای سازه‌های مدرن استفاده از مصالح خیلی نرم در پی را پیشنهاد می‌دهد که می‌تواند از ایجاد نیروی برشی قوی که باعث بوجود آمدن شتاب بالایی در پی ساختمان‌های بزرگ می‌شود اجتناب کند. همین قانون در لایه‌های روانگرا شده هم صادق است زیرا مدول برشی به طور قابل توجهی کاهش یافته و تنش برشی زیادی به لایه‌های سطحی زمین منتقل نمی‌شود. این پدیده بوسیله رابطه نیوتن تعریف می‌شود. یعنی شتاب در سطح برابر است با نسبت نیروی برشی در

$$\left(a = \frac{F}{m} \right)$$

لایه روانگرا بر روی جرم توده خاک.

دو شکل ۴-الف و ب تاریخچه شتاب زمان در دو عمق مختلف را در زلزله ۱۹۹۵ کوبه نشان می‌دهند. در شکل الف شتاب در سطح زمین و در شکل ب در عمق ۸۳ متری زیر لایه روانگرا شده نشان داده شده است.



شکل ۴. الف. تاریخچه شتاب زمان در سطح زمین. شتابهایی که به سطح زمین رسیده‌اند در قیاس با شکل ب که شتاب‌های عمق ۸۳ متری سطح زمین را ثبت کرده‌اند بسیار کم‌تر هستند.

آشکارا دیده می‌شود بیش‌ترین شتاب ثبت شده در سطح زمین از بیش‌ترین شتاب ثبت شده در عمق ۸۳ متری سطح زمین کم‌تر می‌باشد. نکته مهم دیگر آنکه شتاب ثبت شده در سطح زمین پیروی طولانی تری از حرکت در زیر سطح زمین دارد که ناشی از نرم شدن لایه روانگرا شده و طولانی شدن پیروی طبیعی است (پدیده رزناس). افزایش پیروی در سطح زمین در پاسخ سرعت و تغییر مکان تأثیر می‌گذارد. پس از انتگرالگیری بر حسب زمان، پاسخ سطح زمین بزرگتر از پاسخ لایه‌های زیرین است. بنابراین، اگرچه کاهش یافتن شتاب محتملا برای سازه‌های سنگین واقع در سطح زمین خسارت کم‌تری بوجود می‌آورد اما تغییر مکان اضافی برای تاسیسات مدفون در خاک و سازه‌های حیاتی خطرناکند.

۹. خودآزمایی

۱۴. وقوع روانگرایی در لایه‌های رسوبی اشباع باعث کدام پدیده نمی‌شود؟ (دکترای آزاد ۹۵)
۱. کاهش ظرفیت باربری ساختمان
 ۲. افزایش شتاب وارد بر ساختمان و پیروی غالب آن
 ۳. بالا آمدن سازه‌های سبک مدفون
 ۴. ناپایداری شیروانی‌های خاکی
۱۵. وقوع روانگرایی در لایه‌های رسوبی اشباع در زیر یک ساختمان در حین وقوع زلزله باعث کدام پدیده می‌شود؟ (دکترای سراسری ۹۲)

۱. افزایش شتاب وارده به ساختمان و کاهش ظرفیت باربری خاک زیر پی
۲. کاهش شتاب وارده به ساختمان ولی بدون تاثیر بر ظرفیت باربری خاک زیر پی
۳. بدون تاثیر بر شتاب وارده به ساختمان ولی کاهش ظرفیت باربری خاک زیر پی
۴. کاهش شتاب وارده به ساختمان و کاهش ظرفیت باربری خاک زیر پی

(۱۴) گزینه ۲

روانگرایی باعث کاهش بسیار زیاد در ظرفیت باربری خاکها می شود همچنین پریود سازه نیز افزایش می یابد. اما شتاب وارد بر آنها کاهش خواهد یافت. از طرفی می دانیم شیروانی خاکی و سازه های سبک ناپایدار می شوند. لذا لایه روان شده، شتاب اعمالی به سازه را کاهش می دهد اما با کاهش سختی خاک طبق رابطه زیر پریود ارتعاش را افزایش داده و می تواند منجر به تغییر مکان بیش تری شود.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

(۱۵) گزینه ۴

۱۰. عبور امواج مکانیکی تابع فاصله مولکولها در محیط انتشار

امواج در محیط جامد راحت تر حرکت می کنند، در محیط مایع حرکت سخت تر بوده اما در محیط گازی به دلیل فاصله مولکولی زیاد، مولکولها سخت تر منتقل می شوند. حال سوالی که مطرح است اینکه چرا موج در محیط جامد به راحتی عبور می کند اما در محیط مایع سخت تر و در گازها بسیار سخت منتشر می شود؟ فرض کنیم دو ذره جامد در کنار هم قرار دارند وقتی موج به ذره اول برسد در آن تنش و کمی تغییر شکل ایجاد می کند. از طرفی چون ذره جامد با توجه به مدولش توان تحمل تنش را دارد در برابر آن مقاومت کرده و با کمی تغییر شکل انرژی ایجاد شده را به ذره مجاورش منتقل می کند و خودش به حالت اول بر می گردد. ذره جامد دوم هم به همین صورت عمل می کند. به این ترتیب در ذرات جامد با انتقال تنش مواجه می شویم. می توانیم همین بحث را بسط دهیم. یعنی این سوال را طرح کنیم که چرا موج برشی در فاز جامد منتقل می شود حال آنکه در فاز مایع نمی تواند؟ با مقدمه گفته شده پاسخ روشن است. ذرات جامد توان تحمل برش را دارند (با توجه به مدول برشی شان) فلذا با توجه به مکانیزم گفته شده موج برشی منتقل می شود حال آنکه در بین مولکولهای مایع به دلیل کم بودن مدول برشی (صفر فرض می شود) پس از انتقال تنش به یک مولکول مقاومتی رخ نمی دهد و طبیعتا امکان انتقال موج بسیار کم خواهد بود. در فاز گاز شرایط شدیدتر از فاز مایع

است و اساسا انتقالی رخ نمی‌دهد.

۱۱. آیا رس روانگرا می‌شود؟

الف. معیار اصلاح شده چینی‌ها

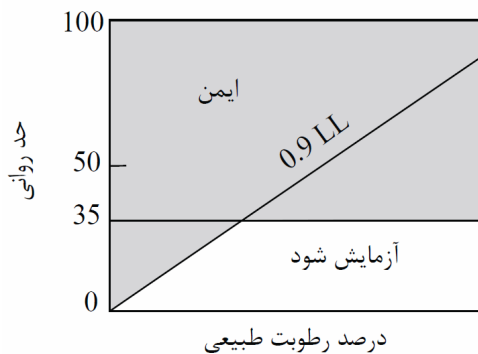
شکل ۵ معیار اصلاح شده چینی‌ها را نشان می‌دهد که طی دو دهه گذشته پرکاربردترین معیارها برای تعریف خاک‌های روانگرا بوده است. وانگ (۱۹۷۹) و سید و ادریس (۱۹۸۲) اعلام کردند در صورتیکه سه شرط زیر به طور همزمان برقرار باشد احتمال بروز روانگرایی در رس وجود دارد:

(۱) درصد ذرات ریزتر از $0/005$ میلیمتر کم‌تر از ۱۵ درصد باشد. (در تعریف چینی‌ها، خاک رس معادل اندازه ذرات کوچکتر از $0/005$ میلیمتر تعریف می‌شود در حالیکه در روش متحد این میزان $0/002$ میلیمتر بود).

(۲) حد روانی کم‌تر از ۳۵ درصد باشد.

(۳) درصد رطوبت خاک بیش‌تر از ۹۰ درصد حد روانی باشد.

باید دقت داشت خاک رسی که حد روانی کم‌تر از ۳۵ درصد داشته باشد (برای مثال حد روانی آن ۲۵ درصد باشد) به این مفهوم است که با رطوبت کمی خاک در حالت استاتیکی روان می‌شود پس طبیعتا در شرایط لرزه‌ای و با کمی تحریک هم می‌تواند ساختار جامد خود را از دست بدهد. همچنین اگر خاک رسی دارای درصد رطوبتی بیش‌تر از ۹۰ درصد حد روانی آن باشد به این معناست که در حالت استاتیکی هم در مرز روان شدن می‌باشد و برای مثال کمی آب با بارندگی یا تراوش وارد خاک شود محتمل است خاک به حالت روان درآمد و وارد فاز روانی شود (بر اساس حدود اتربرگ). لذا این خاک تحت زلزله هم محتمل است روانگرا شود. جمع بندی آنکه آن دسته از خاک‌های رسی که بر اساس حدود اتربرگ حد روانی کمی داشته و رطوبت طبیعی خاک به حد روانی آن نزدیک باشد محتمل است طی زلزله روانگرا شوند.

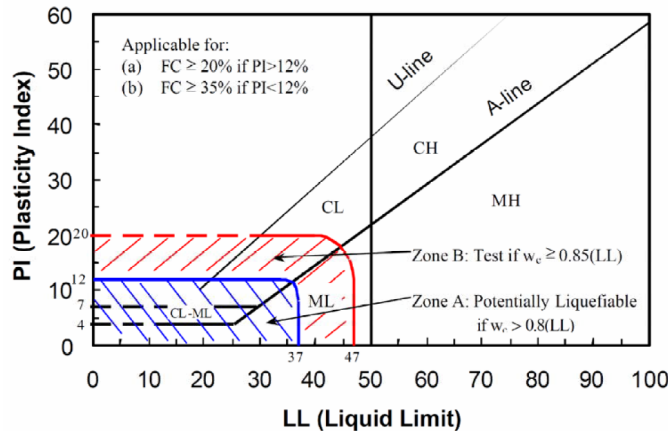


شکل ۵. بر اساس ضوابط بالا محدوده‌ها شور خورده احتمال روانگرایی ندارد در حالیکه بخش سفید محتمل برای روانگرایی است.

برخی تحقیقات نشان داد بخش مربوط به "درصد ریزدانه رسی" معیار چینی‌ها ناقص است و مقدار ریزدانه رسی اهمیت کمتری نسبت به سهم کلی ریزدانه‌ها در خاصیت خمیری دارد (موارد زیادی از روانگرایی در خاک‌های با ریزدانه رسی بیش از ۱۰ تا ۱۵ درصد وجود دارد). بنابراین استفاده از معیاری جدید توصیه شد.

ب. روش سید و همکاران

سید و همکاران (۲۰۰۳) معیار جدیدی را برای ارزیابی استعداد روانگرایی خاک‌های ریزدانه پیشنهاد کردند. این پیشنهاد برای بررسی قابلیت روانگرایی خاک‌های با درصد ریزدانه زیاد است. به عبارتی خاک‌های دارای درصد ریزدانه کافی که ریزدانه‌ها ذرات درشت‌تر را جدا کرده و رفتار کلی خاک را کنترل می‌کنند. این جداسازی ذرات درشت‌تر معمولاً هنگامی رخ می‌دهد که مقدار ریزدانه بیش از ۲۰ درصد باشد.



شکل ۶. بررسی محدوده روانگرایی برای خاک‌های ریزدانه. این نمودار برای دو حالت قابل رجوع است. (۱) درصد ریزدانه خاک بیشتر از ۲۰ درصد و دامنه خمیری آن بزرگتر از ۱۲ درصد باشد. (۲) درصد ریزدانه خاک بیشتر از ۳۵ درصد و دامنه خمیری آن کم‌تر از ۱۲ درصد باشد.

در شکل ۶ خط A که مرز جدایی رس و لای است و همچنین خط U که در بالای آن عملاً هیچ خاکی نمی‌تواند وجود داشته باشد نشان داده شده است. بر اساس شکل، سه ناحیه A، B و C نشان داده شده است.

(الف) خاک‌ها در ناحیه A به عنوان خاک‌های بالقوه مستعد روانگرایی لرزه‌ای در نظر گرفته می‌شوند.

(ب) خاک‌های ناحیه B می‌توانند مستعد روانگرایی باشند.

(ج) خاک‌های ناحیه C یعنی ناحیه خارج از A و B معمولاً مستعد روانگرایی لرزه‌ای نیستند، اما باید برای پتانسیل کاهش مقاومت ناشی از دست‌خوردگی کنترل شوند.

ناحیه A: در خاکهایی که رفتار آنها توسط ریزدانه‌ها کنترل می‌شود، روانگرایی ناشی از بارگذاری سیکنی عمدتاً در حالتی رخ می‌دهد که این ریزدانه‌ها یا غیرخمیری باشند و یا لای یا رس لای دار با خاصیت خمیری کم ($LL \leq 37\%$ و $PI \leq 12\%$) و نیز مقدار رطوبت بالایی نسبت به حد روانی داشته باشند ($w > 0.85LL$). در واقع لای‌ها و ماسه‌های لای دار غیر خمیری و یا با خاصیت خمیری کم می‌توانند از جمله خطرناکترین خاک‌های با قابلیت روانگرایی باشند چرا که نه تنها ممکن است به صورت سیکنی روانگرا شوند بلکه محتوی آب خود را به خوبی نگاه داشته و در اثر نفوذپذیری پایین در آنها از بین رفتن اضافه فشار آب حفره‌ای به آرامی صورت می‌گیرد. این دسته از خاک‌ها در ناحیه A از شکل ۶ قرار گرفته و به عنوان خاک‌های بالقوه مستعد برای روانگرایی ناشی از بارهای سیکنی در نظر گرفته می‌شوند.

خاک‌های قرار گرفته در ناحیه B در داخل یک محدوده انتقالی میان خاک‌های بالقوه مستعد و غیر مستعد روانگرا قرار دارند. این خاک‌ها ممکن است در برخی موارد مستعد روانگرایی باشند - به ویژه هنگامی که درصد رطوبت طبیعی آنها بیش از ۸۵ درصد حد روانی آنها باشد - اما تمایل به شکل پذیری بیشتری داشته و ممکن است به مفهوم کلاسیک یعنی از دست دادن بخش عمده‌ای از سختی و مقاومت در کرنش‌های برشی سیکنی نسبتاً کوچک روانگرا نشوند. لازم به ذکر است که در کنار کنترل استعداد روانگرایی سیکنی، میزان حساسیت این خاک‌های چسبنده نیز باید کنترل شود. طبق برخی توصیه‌ها، خاک‌های رسی با حساسیت بیش‌تر از ۴ معمولاً دارای پتانسیل از دست دادن مقاومت هستند.

خاک‌های قرار گرفته در محدوده C معمولاً بالقوه مستعد روانگرایی ناشی از بارگذاری سیکنی نیستند اما می‌توانند حساس بوده و نسبت به از دست دادن مقاومت در طی دست خوردگی یا تغییر شکل‌های برشی زیاد آسیب پذیر باشند.

۱۲. آیا شن‌ها روانگرا می‌شوند؟

خاک‌های شنی به طور بالقوه مستعد تولید فشار منفذی تناوبی و روانگرایی هستند. یک مثال مناسب در زمینه وقوع روانگرایی در شن‌ها، روانگرایی خاک‌های درشت دانه (شن‌ها) در زلزله سال ۱۹۹۵ کوبه می‌باشد که در آن لایه‌هایی از جنس گرانیت هوازده به طور گسترده روانگرا شدند. رفتار این خاک‌ها نسبت به خویشاوندان ریزترشان یعنی خاک‌های ماسه‌ای از دو جهت متفاوت است: الف. این خاک‌ها به مراتب نفوذپذیرتر هستند و در نتیجه می‌توانند فشارهای منفذی ایجاد شده در اثر بارگذاری تناوبی را به سرعت از بین ببرند.

ب. با توجه به جرم بیش‌تر ذرات بزرگتر خاک‌های شنی، این خاک‌ها به ندرت به آرامی انباشته شده و از این رو بیش‌تر اوقات در حالت خیلی سست، که اغلب در خاک‌های ماسه‌ای ریزتر با آن برخورد می‌شود، قرار نمی‌گیرند. خاک‌های ماسه‌ای محدوده‌ای از خیلی سست تا خیلی متراکم را شامل می‌شوند، در حالیکه وضعیت خیلی سست در خاک‌های شنی و خاک‌های درشت دانه نسبتاً غیر معمول

است.

زهکشی مناسب در خاک‌های درشت دانه شنی که خصوصیت آشکار این نوع از خاک‌ها می‌باشد به واسطه هر یک از عوامل زیر می‌تواند از بین برود:

۱. مصالح ریزتر با نفوذپذیری کم‌تر، اطراف این نوع از خاک‌ها را همانند محفظه‌ای فرا گرفته باشند.
۲. وجود خاک‌های ریزدانه در داخل خلل و فرج میان ذرات درشت دانه سبب عدم زهکشی مناسب داخلی شود (لازم به ذکر است که اندازه موثر ذرات خاک یعنی D_{10} و نه اندازه متوسط ذرات یا D_{50} ، نزدیکترین همبستگی را با نفوذپذیری خاک دارد).
۳. ابعاد لایه خاک درشت دانه (شنها) به قدری بزرگ باشد که مسیری که باید در طی زلزله در امتداد آن زهکشی سریع رخ دهد، طولانی شود.

به طور کلی در مورد خاکی که ناحیه شنی منحنی دانه بندی آن بزرگ است، چنانچه ضریب نفوذپذیری برابر ۳ سانتیمتر بر ثانیه یا بیش‌تر باشد، خاک به عنوان غیر روانگرا شناخته می‌شود. هر چند چنانچه این لایه خاک در زیر یک لایه با نفوذپذیری کم - نظیر رس یا سیلت - قرار گرفته باشد، باید با آن به عنوان خاکی که امکان وقوع روانگرایی دارد برخورد نمود.

به عنوان یک معیار فنی به منظور ارزیابی پتانسیل روانگرایی شنها گفته می‌شود در صورتیکه $D_{50} \leq 10 \text{ mm}$ و $D_{10} \leq 1 \text{ mm}$ باشد احتمال روانگرا شدن دارند.

۱۶. خاک‌های حاوی ۵۰ درصد شن که اشباع هستند، در شرایط زلزله و بارهای

دینامیکی: (دکترای سراسری ۹۴)

۱. در صورتیکه دارای $D_{50} \leq 10 \text{ mm}$ و $D_{10} \leq 1 \text{ mm}$ باشند حتما دچار روانگرایی می‌شوند.
۲. در صورتیکه دارای $D_{50} \leq 10 \text{ mm}$ و $D_{10} \leq 1 \text{ mm}$ باشند احتمال روانگرا شدن دارند.
۳. در صورتیکه دارای $D_{50} \geq 10 \text{ mm}$ و $D_{10} \geq 1 \text{ mm}$ باشند احتمال روانگرا شدن دارند.
۴. خاک‌های شنی تحت هیچ شرایطی دچار روانگرایی نمی‌شوند.

در صورتیکه با ضابطه روانگرایی شنها پیش از این آشنا نبوده اید با توجه به گزینه‌ها قطعا ۱ یا ۲ صحیح است زیرا گزینه ۳ با یک تحلیل منطقی که سائز دانه‌ها را بسیار بزرگ فرض کرده پاسخ صحیحی نخواهد بود. گزینه ۲ صحیح است.

۱۳. رفتار ماسه شل تحت بارگذاری سیکلی با دستگاه سه محور سیکلی

یک ماسه شل اشباع با تراکم نسبی ۳۸ درصد تحت تنش انحرافی سیکلی $\pm 0.4 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ و

فصل دوم

دیوار حائل تحت بار لرزه ای

۱. مقدمه‌ای بر دیوارهای حائل تحت اثر بارهای استاتیکی

پیش از اینکه وارد بحث درباره رفتار دیوارهای حائل تحت اثر بار زلزله شویم در مورد دیوارهای حائل تحت اثر بارهای استاتیکی بحث خواهیم کرد و نکاتی را یادآور می‌شویم. به طور کلی فشار جانبی وارد بر دیوار حائل در سه حالت قابل بررسی است. حالتی که دیوار از خاک پشتش دور می‌شود که به آن حالت محرک گویند، حالتی که دیوار به خاک پشتش نزدیک می‌شود که به آن حالت مقاوم می‌گویند و حالتی که دیوار نسبت به خاک پشتش حرکت نمی‌کند که به آن حالت سکون گویند. باید توجه داشت وقتی در حالت محرک دیوار از خاک دور می‌شود گویی خاک در حال هل دادن دیوار است و در مقابل وقتی در حالت مقاوم دیوار به خاک نزدیک می‌شود گویی دیوار در حال هل دادن خاک است. برای جا افتادن بحث سری به موارد زیر می‌زنیم و در قالب تست نکاتی مفهومی را طرح می‌کنیم.

۱. بحث ۱. تاثیر زاویه شیب خاکریز بر نیروی محرک کل وارد بر دیوار

با افزایش زاویه شیب خاکریز (i) فشار جانبی خاک در حالت محرک (P_a):



۱. افزایش می‌یابد.
۲. کاهش می‌یابد.
۳. تغییری نمی‌کند.

پاسخ: برای مثال ابتدا زاویه شیب خاکریز $i = 0$ است و خاکریز افقی است، سپس زاویه شیب خاکریز افزایش می‌یابد و خاکریز به دیوار مسلط می‌شود، در حالت محرک چون خاک به دیوار فشار

می‌آورد لذا نیروی محرک وارد بر دیوار افزایش می‌یابد. می‌توانید از رابطه کولمب هم این مورد را به طور کمی بررسی کنید.

برای دیوار بدون اصطکاک و خاک دانه‌ای و زاویه شیب i داریم:

$$k_a = \cos i \frac{\cos i - \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \phi}}{\cos i + \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \phi}}$$

طبق این رابطه دیده می‌شود مطابق جدول زیر هر چه زاویه شیب خاکریز افزایش یابد ضریب فشار جانبی خاک در حالت محرک (k_a) افزایش می‌یابد.

i	k_a		
	$\Phi=30^\circ$	$\Phi=34^\circ$	$\Phi=38^\circ$
۰	۰/۳۳	۰/۲۸	۰/۲۴
۱۰	۰/۳۵	۰/۲۹	۰/۲۵
۲۰	۰/۴۱	۰/۳۴	۰/۲۸

بحث ۲. تاثیر زاویه شیب خاکریز بر نیروی مقاوم کل وارد بر دیوار

در بحث قبل در حالت مقاوم، فشار جانبی خاک (P_p) چه تغییری می‌کند؟

۱. افزایش می‌یابد. ۲. کاهش می‌یابد. ۳. تغییری نمی‌کند.

پاسخ: در حالت مقاوم چون دیوار قصد هل دادن خاک را دارد چون با افزایش زاویه شیب، خاکریز کاملاً سوار بر دیوار می‌شود لذا دیوار نمی‌تواند به خاک مسلط شود پس فشار جانبی حالت مقاوم کاهش می‌یابد. بر اساس رابطه کولمب برای ضریب فشار جانبی در حالت مقاوم داریم:

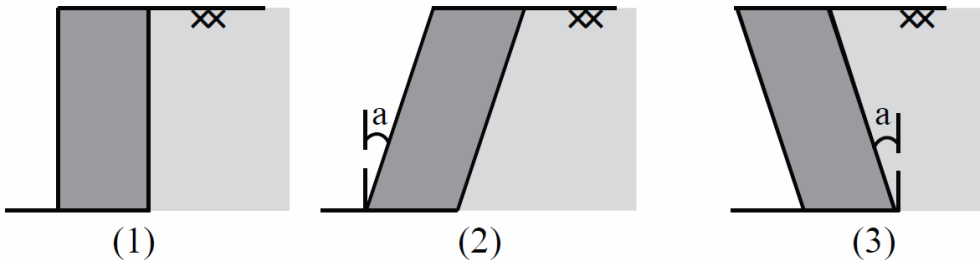
$$k_p = \cos i \frac{\cos i + \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \phi}}{\cos i - \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \phi}}$$

i	k_p		
	$\Phi=30^\circ$	$\Phi=34^\circ$	$\Phi=38^\circ$
۰	۳	۳/۵	۴/۲
۱۰	۲/۷۷	۳/۳	۳/۹
۲۰	۲/۱	۲/۶	۳/۲

دیده می‌شود با افزایش زاویه شیب خاکریز k_p افزایش می‌یابد.

بحث ۳. تاثیر هندسه دیوار بر فشار جانبی محرک کل وارد بر دیوار

با فرض یکی بودن خاک پشت دیوار در هر سه مورد در کدام حالت فشار جانبی اعمالی در حالت محرک به دیوار بیش‌تر است؟ (در هر سه حالت ارتفاع دیوار و حجم دیوار یکسان است).



۱. ۱ ۲. ۲ ۳. ۳ ۴. هر سه یکسان است.

در دو بحث اول هندسه خاکریز مورد سوال قرار گرفت اما در این سوال هندسه دیوار مورد بحث است. در حالت محرک زمانی بیش‌ترین فشار به دیوار اعمال می‌شود که خاک کاملاً مسلط بر دیوار باشد. در این بین دیوار (۳) به گونه‌ای است که خاک پشتش کاملاً به دیوار تسلط دارد و بیش‌ترین فشار را به آن وارد می‌کند. پاسخ: گزینه ۳

بحث ۴. تاثیر هندسه دیوار بر فشار جانبی مقاوم کل وارد بر دیوار

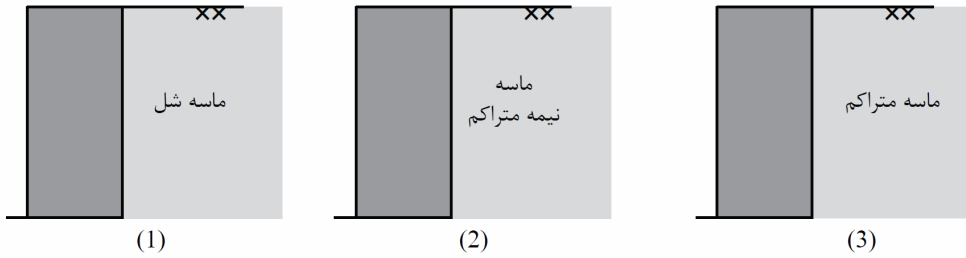
در بحث قبل با فرض شرایط یکسان فشار جانبی اعمالی در حالت مقاوم در کدام حالت بیش‌تر است؟

۱. ۱ ۲. ۲ ۳. ۳ ۴. هر سه یکسان است.

گفتیم در حالت مقاوم چون دیوار خاک را هل می‌دهد لذا حالتی که دیوار به خاک مسلط باشد دیوار ۲ است. و در این حالت بیش‌ترین فشار از طرف دیوار به خاک اعمال خواهد شد. گزینه ۲

بحث ۵. تاثیر تراکم خاک بر فشار جانبی محرک کل وارد بر دیوار

پشت یک دیوار حائل در حالت اول یک خاک ماسه‌ای متراکم، در حالت دوم خاک ماسه‌ای نیمه متراکم و در حالت سوم خاک ماسه‌ای شل قرار دارد. در صورتی که جنس خاک و هندسه دیوار در هر سه حالت یکسان باشد در آنصورت فشار جانبی اعمالی دیوار در حالت محرک در کدام حالت بیش‌تر است؟



۱. حالت اول ۲. حالت دوم ۳. حالت سوم ۴. هر سه یکسان

پاسخ: حال در این تست به دنبال یافتن بهترین گزینه برای خاک پشت دیوار هستیم. ابتدا تراکم خاک را بررسی می‌کنیم.

الف. بررسی کیفی: حالت محرک یعنی حالتی که دیوار از خاک دور می‌شود. وقتی دیوار از خاک دور شد در این حالت یک فضای خالی بین خاک و دیوار شکل می‌گیرد و خاک می‌تواند به سمت دیوار حرکت کند. حال سوال این است که وقتی خاک شل باشد راحت‌تر و آزادانه‌تر به سمت دیوار حرکت می‌کند یا خاک متراکم؟ طبیعتاً هر چه خاک شل‌تر باشد بلافاصله پس از دور شدن دیوار به سمت آن حرکت کرده و اصطلاحاً بر روی دیوار خراب می‌شود.

ب. بررسی کمی: در حالت محرک برای تخمین محاسبه فشار جانبی حالت محرک از ضریب فشار جانبی حالت محرک خاک استفاده می‌کنیم که برابر است با $k_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$. می‌بینیم هر چه خاک شل‌تر باشد زاویه اصطکاک خاک پایین‌تر است لذا k_a افزایش می‌یابد. باید در نظر داشت در اینجا تاثیر زاویه اصطکاک بر تغییرات وزن مخصوص غالب است.

بحث ۶. تاثیر تراکم خاک بر فشار جانبی مقاوم کل وارد بر دیوار

در بحث قبل در کدام حالت فشار جانبی اعمالی به دیوار در حالت مقاوم بیش‌تر است؟

۱. حالت اول ۲. حالت دوم ۳. حالت سوم ۴. هر سه یکسان

پاسخ: دقیقاً مانند تست قبل از دو منظر می‌توان به سوال نگاه کرد. برای مثال از منظر کمی رابطه ضریب فشار جانبی خاک در حالت مقاوم از رابطه $k_p = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$ استفاده می‌شود و هر چه خاک متراکم‌تر باشد زاویه اصطکاک داخلی خاک افزایش یافته لذا k_p بیش‌تر می‌شود. گزینه ۳

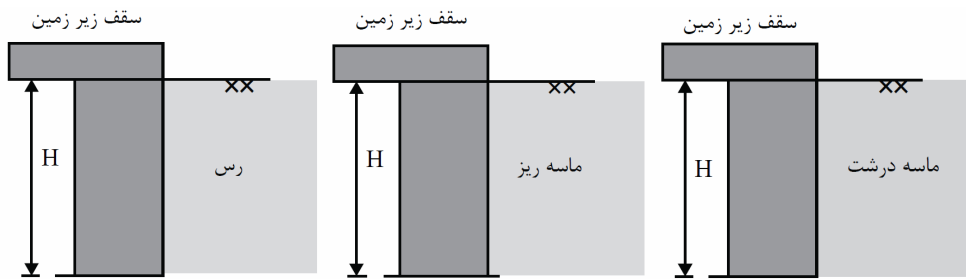
بحث ۷. در بحث ۵ در کدام حالت فشار جانبی اعمالی به دیوار در حالت سکون بیش‌تر

است؟

۱. حالت اول ۲. حالت دوم ۳. حالت سوم ۴. هر سه یکسان

پاسخ: مدل رفتاری حالت سکون بسیار شبیه به حالت محرک است به عبارتی در عین حال که دیوار در این حالت حرکتی ندارد ولی در حال تحمل فشار وارد از طرف خاک است و چون خاک در حال هل دادن دیوار است لذا هر چه خاک شل‌تر باشد در حال سکون هم فشار بیشتری به دیوار اعمال می‌شود. از منظر کمی هم می‌دانیم ضریب فشار جانبی خاک در حالت سکون از رابطه $k_0 = 1 - \sin \phi$ استفاده می‌شود که هر چه خاک شل‌تر باشد ضریب k_0 بیشتر می‌شود. گزینه ۱

بحث ۸. در کدام حالت فشار جانبی خاک به دیوار حائل بیشتر است؟ در هر سه حالت **هندس دیوار یکسان است و دیوار به سقف زیر زمین متصل است.**



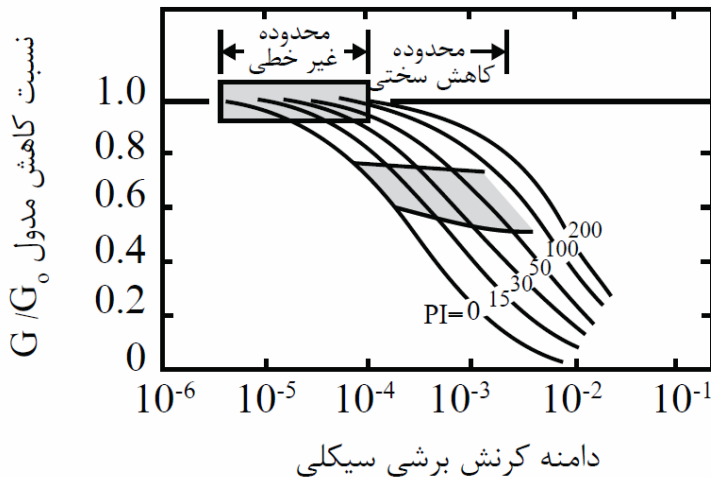
۱. خاک ریز دانه پشت دیوار باشد.
۲. ماسه ریز پشت دیوار باشد.
۳. ماسه درشت پشت دیوار باشد.
۴. در هر سه حالت یکسان است.

پاسخ:

در سوالات قبل دیدیم هر چه خاک شل‌تر باشد در حالت محرک که در پروژه‌های مهندسی معمول است فشار جانبی بیشتری به دیوار وارد می‌شود. در اینجا قصد داریم نوع خاک اعمالی به دیوار را بررسی کنیم. ابتدا باید ببینیم سوال باید در حالت محرک، مقاوم یا سکون بررسی شود؟ چون دیوار از بالا گیردار است امکان حرکت جانبی دیوار سلب شده فلذا در حالت سکون بررسی می‌شود. از موارد دیگری که دیوار در کارهای مهندسی در حالت سکون ارزیابی می‌شود کوله پلهاست. حال باید ببینیم در حالت سکون در کدام خاک فشار جانبی اعمالی به دیوار بیشتر است. به منظور بررسی کیفی کلا خاک‌های رسی داستان دارند. جذب آب و تورمشان یکطرف و شکل پذیریشان و مسائل مختلف باعث می‌شود مزیتی به خاک‌های دانه‌ای نداشته باشند. لذا همواره خاک‌های دانه‌ای برای پر کردن خاک پشت دیوار بهترین گزینه هستند. حداقل باید تا حجم گوه گسیختگی از خاک‌های دانه‌ای استفاده شود. به منظور بررسی کمی هم طبق رابطه $k_0 = 1 - \sin \phi$ چون خاک‌های رسی زاویه اصطکاک کم‌تری دارند لذا k_0 بیشتر شده و فشار جانبی وارد بر دیوار بیشتر می‌شود. در حالت محرک هم قصه به همین صورت است.

بر اساس شکل ۳۲ دیده می‌شود هر چه کرنش برشی سیکلی خاک بیشتر شود کاهش نسبت سختی برشی نیز افزایش می‌یابد.

۲. تعریف کرنش برشی آستانه و عوامل موثر بر آن



شکل ۳۳. تاثیر دامنه خمیری خاک‌های ریز دانه بر کرنش برشی آستانه

شکل ۳۳ بیانگر کرنش برشی آستانه است. مطابق شکل دیده می‌شود میزان کرنشی که به ازاء کرنش‌های بزرگتر از آن کاهش نسبت $\frac{G}{G_{max}}$ آغاز می‌شود را کرنش برشی آستانه گویند. همچنین هر چه دامنه خمیری بیشتر شود خاک دیرتر ترک خورده فلذا کرنش برشی آستانه آن بیشتر خواهد بود.

۸. خودآزمایی

۱۵. کرنش آستانه تغییر رفتار خطی به غیر خطی در بارگذاری‌های برشی سیکلی در

خاک‌ها با افزایش اندیس خمیری **PI**: (دکترای سراسری ۹۳)

۱. کاهش می‌یابد.
۲. افزایش می‌یابد.
۳. در برخی از خاک‌ها افزایش و در برخی دیگر کاهش می‌یابد.
۴. تحت تاثیر تغییرات **PI** قرار ندارد.

۱۶. در بارگذاری‌های برشی سیکلی در خاک‌ها پدیده‌های کاهش سختی سیکلی (cyclic

degradation): (دکترای سراسری ۹۳)

۱. در محدوده کرنش‌های برشی بالاتر از حدود 10^{-3} ایجاد می‌شوند.

۲. در محدوده کرنش‌های برشی پایین‌تر از حدود 10^{-3} ایجاد می‌شوند.

۳. فقط در خاک‌های دانه‌ای ایجاد می‌شوند و ارتباطی با سطح کرنش ندارند.

۴. در همه سطوح کرنش برشی ایجاد می‌شوند.

۱۷. کدام یک از گزینه‌های زیر در خصوص محدوده کرنش برشی که در آن رفتار خاک‌ها

در بارگذاری سیکلیک خطی است صحیح است؟ (دکترای سراسری ۹۱)

۱. معمولا محدوده خطی رفتار رس‌ها کم‌تر از ماسه‌ها و ماسه‌ها کم‌تر از شن‌هاست.

۲. محدوده خطی رفتار خاک‌ها ربطی به دانه بندی و نوع آن‌ها ندارد و تابع تراکم آن‌هاست.

۳. محدوده خطی رفتار خاک‌های رسی با افزایش اندیس پلاستیسیته (PI) کاهش می‌یابد.

۴. معمولا محدوده خطی رفتار رس‌ها بزرگ‌تر از ماسه‌ها و ماسه‌ها بزرگ‌تر از شن‌هاست.

(۱۵) گزینه ۲

بر اساس شکل ۳۳

(۱۶) گزینه ۱

بر اساس نمودار ۲۳ دیده می‌شود به ازاء کرنش‌های برشی بزرگ‌تر از 10^{-3} درصد یا کرنش 10^{-5}

کاهش سختی برشی خاک یا پدیده (cyclic degradation) آغاز می‌شود.

(۱۷) گزینه ۴

دیدیم هر چه خاک رسی‌تر باشد کرنش برسی آستانه بزرگتری خواهد داشت لذا کرنش برشی

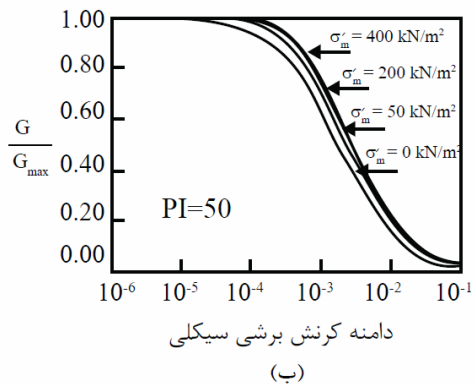
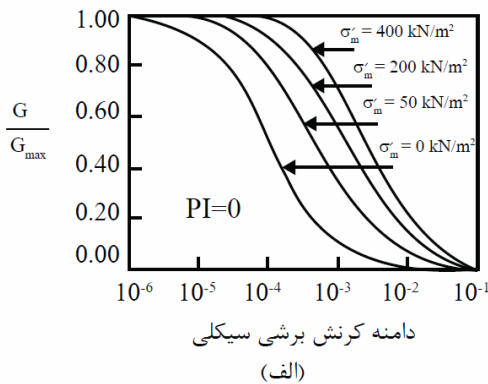
آستانه رس از ماسه و ماسه از شن بزرگ‌تر می‌باشند.

۹. عوامل موثر بر نسبت $\frac{G}{G_{max}}$

الف. فشار همه جانبه: با افزایش فشار همه جانبه نسبت $\frac{G}{G_{max}}$ افزایش می‌یابد اما باید در نظر

داشته باشیم هر چه خاک خمیری‌تر باشد تاثیر فشار همه جانبه بر نسبت $\frac{G}{G_{max}}$ کاهش خواهد یافت.

بر اساس مطلب ذکر شده در خاک‌های پلاستیک فشار همه جانبه نمی‌تواند تاثیر زیادی بر نسبت $\frac{G}{G_{max}}$ داشته باشد. این امر بر این اساس قابل توجیه است که رفتار خاک‌های دانه‌ای در بارگذاری دینامیکی به شدت تابع تنش همه جانبه و رفتار خاک‌های رسی (به خصوص با خاصیت خمیری بالا) به شدت تابع PI خاک می‌باشد. در شرایط نرمالیزه شده مکانیزم رفتاری خاک‌ها به خوبی قابل تفکیک است. به طور کلی وقتی نسبت $\frac{G}{G_{max}}$ افزایش می‌یابد یعنی کاهش سختی کم‌تری رخ می‌دهد و بالعکس.



شکل ۳۴. الف) تغییرات نسبت سختی برشی در خاک‌های دانه‌ای با افزایش تنش موثر میانگین (با افزایش تنش موثر میانگین افزایش کرنش آستانه دیده می‌شود). ب) تغییرات نسبت سختی برشی در خاک رسی پلاستیک (در رس‌های پلاستیک، تنش موثر میانگین تاثیر زیادی بر تغییرات نسبت سختی ندارد).

ب. **تخلخل خاک:** با افزایش تخلخل، خاک شل‌تر شده و نسبت $\frac{G}{G_{max}}$ کاهش می‌یابد. به عبارت

دیگر در خاک شل‌تر کاهش سختی بیش‌تری روی می‌دهد.

ج. **سن زمین‌شناسی:** پیش از این هم گفتیم هر چه سن رسوبات زمین‌شناسی بیش‌تر باشد

سختی خاک بیش‌تر می‌شود پس احتمالاً نسبت $\frac{G}{G_{max}}$ بیش‌تر خواهد شد.

د. **سیمان‌تاسیون:** با افزایش چسبندگی در خاک، احتمال است $\frac{G}{G_{max}}$ افزایش یابد.

ه. **نسبت پیش‌تحکیمی (OCR):** بی‌اثر می‌باشد.

و. **دامنه خمیری:** با افزایش دامنه خمیری خاک‌ها نسبت $\frac{G}{G_{max}}$ افزایش می‌یابد.

ز. کرنش سیکلی: مطابق نمودارها هر چه کرنش برشی سیکلی خاک بیش تر شود نسبت $\frac{G}{G_{max}}$

کاهش می یابد.

ح. سرعت کرنش: بی اثر می باشد.

ط. تعداد سیکل های بارگذاری: در خاک های رسی با افزایش کرنش سیکلی، بعد از N سیکل

کاهش می یابد. البته G_{max} قبل از N سیکل اندازه گیری شده است. در خاک های ماسه ای $\frac{G}{G_{max}}$

در حالت زهکشی شده محتمل است افزایش یابد و در حالت زهکشی نشده (سرعت بارگذاری بیشتر از سرعت خروج آب) محتملا کاهش می یابد.

تفاوت این عوامل با عوامل موثر بر G_{max} در OCR و سرعت کرنش دیده می شود. به عبارتی در حالت نرمالیزه شده عواملی که بیش تر تابع ویژگی های خود خاک است نقش خود را فعال ایفا میکنند اما در مورد تاریخچه تنش اعمالی به خاک (OCR) و نحوه کرنش ایجاد شده در خاک (سرعت کرنش) نمی توان از این عوامل در حالت نرمالیزه شده برای تفسیر نتایج بارگذاری دینامیکی بهره جست.

۱۰. تاثیر عوامل موثر بر نسبت میرایی (۵)

باید در نظر داشته باشیم میرایی به مفهوم جذب انرژی است و در اجسام انعطاف پذیرتر میرایی بیش تر است. به این ترتیب هر چه خاک شل تر باشد میرایی بیش تری خواهد داشت.

الف. فشار همه جانبه: با افزایش فشار همه جانبه خاک متراکم تر شده لذا میرایی کم تر خواهد شد. البته باز هم با افزایش خاصیت خمیری در خاکها اثر فشار همه جانبه کم تر می شود.

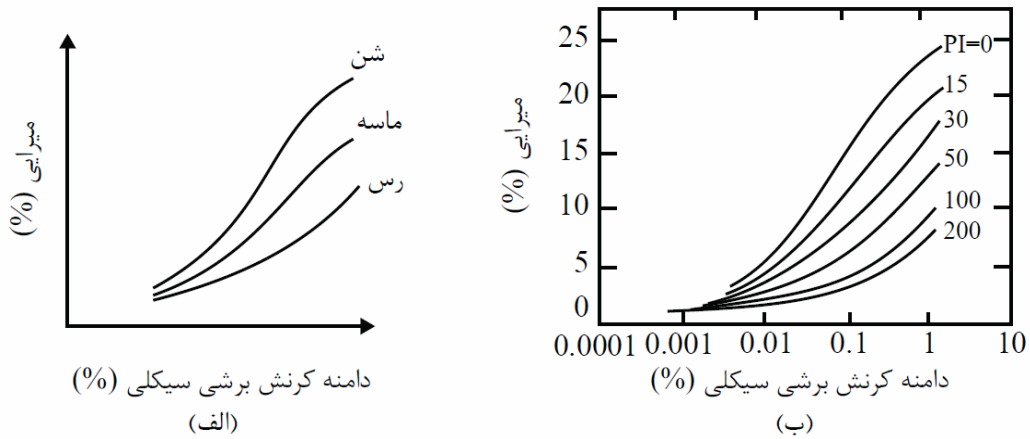
ب. سن زمین شناسی: با افزایش سن رسوبات افزایش تراکم و کاهش میرایی قابل انتظار است.

ج. سیمانناسیون: با افزایش چسبندگی محتمل است میرایی کاهش یابد زیرا خاک مقاومتر شده

است.

د. ضریب پیش تحکیمی: بی تاثیر می باشد.

ه. دامنه خمیری: به طور کلی میرایی در خاک های دانه ای بیش تر است زیرا خاک های دانه ای دارای رفتار اصطکاکی بین ذرات هستند و رفتار اصطکاکی به مفهوم اتلاف انرژی است. به عبارتی در ذرات بین خاک های دانه ای میرایی بیش تری رخ می دهد تا خاک های رسی فلذا با افزایش PI نسبت میرایی کاهش می یابد.



شکل ۳۵. الف) تغییرات نسبت میرایی بر حسب کرنش برشی سیکلی خاک. (ب) تفسیر شکل الف)

کرنش سیکلی: هر چه کرنش برشی سیکلی در خاک بیشتر شود ذرات خاک تغییر مکان بیش‌تری داشته پس قابلیت جذب انرژی بیش‌تری خواهد بود و میرایی بیش‌تر می‌شود. **تعداد سیکل‌های بار:** برای کرنش برشی و تعداد سیکل بار متوسط چندان مهم نیست. به منظور جمع بندی، هر چه خاک درشت‌دانه‌تر (غیر خمیری‌تر) و شل‌تر باشد میرایی آن بیش‌تر است، زیرا قابلیت جذب انرژی در آن بیش‌تر خواهد بود. همچنین نسبت پیش‌تحکیمی و سرعت کرنش نقش قابل توجهی ایفا نمی‌کنند.

۱۱. خودآزمایی

۱۸. با افزایش عمق در یک نهشته ماسه ای: (دکترای سراسری ۹۴)

۱. نسبت میرایی (D) کاهش می‌یابد ولی سختی برشی سیکلی (G) بدون تغییر می‌ماند.
۲. نسبت میرایی (D) بدون تغییر می‌ماند ولی سختی برشی سیکلی (G) افزایش می‌یابد.
۳. نسبت میرایی (D) کاهش و سختی برشی سیکلی (G) افزایش می‌یابد.
۴. نسبت میرایی (D) افزایش و سختی برشی سیکلی (G) کاهش می‌یابد.

۱۹. کدامیک از گزاره‌های زیر در خصوص عوامل موثر بر منحنی‌های نسبت مدول برشی

به مدول برشی حداکثر به ازاء کرنش برشی $\left(\frac{G}{G_0} - \gamma \right)$ و نسبت میرایی به ازاء کرنش برشی

$(D - \gamma)$ صحیح است؟ (دکترای سراسری ۹۱)

۱. منحنی $\left(\frac{G}{G_0} - \gamma\right)$ و $(D - \gamma)$ برای کلیه خاک‌ها تابع تراکم آن‌ها و میزان نسبت بیش تحکیمی OCR است.

۲. منحنی $\left(\frac{G}{G_0} - \gamma\right)$ و $(D - \gamma)$ برای خاک‌های دانه‌ای (ماسه‌ها و شن‌ها) تابع تراکم آن‌ها و برای خاک‌های رسی تابع اندیس پلاستیسیته (PI) است.

۳. منحنی $\left(\frac{G}{G_0} - \gamma\right)$ و $(D - \gamma)$ برای خاک‌های دانه‌ای (ماسه‌ها و شن‌ها) تابع سطح تنش محصور کننده موثر و برای خاک‌های رسی تابع اندیس پلاستیسیته (PI) است.

۴. منحنی $\left(\frac{G}{G_0} - \gamma\right)$ و $(D - \gamma)$ برای خاک‌های دانه‌ای (ماسه‌ها و شن‌ها) بیش‌تر تابع تراکم آن‌ها و برای خاک‌های رسی تابع تنش محصور کننده موثر است.

۲۰. در صورتی که به یک خاک ماسه‌ای مقدار ۳۰ درصد رس با PI‌های ۱۰، ۳۰، ۵۰ اضافه شود در یک سطح تنش موثر و تراکم یکسان با افزایش PI نسبت میرایی و سختی برشی سیکلی خاک‌های مخلوط به ترتیب چگونه تغییر می‌یابند؟ (دکترای سراسری ۹۲)

۲. افزایش - کاهش

۱. افزایش - افزایش

۴. کاهش - کاهش

۳. کاهش - افزایش

(۱۸) گزینه ۳

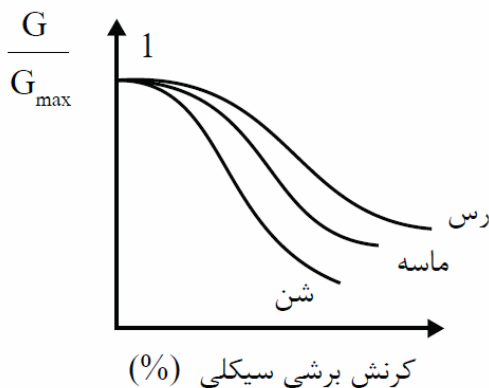
(۱۹) گزینه ۳

(۲۰) گزینه ۳

هر چه خاک درشت دانه‌تر باشد اصطکاکی‌تر است (بر خلاف خاک‌های چسبیده نقش ϕ غالب است). بطور کلی با توجه به مفهوم فیزیکی اصطکاک می‌دانیم این پدیده در مقابل حرکت مقاومت می‌کند و انرژی را مستهلک می‌کند. پس هر چه خاک اصطکاکی‌تر باشد میراکننده‌تر خواهد بود. (انرژی بیش‌تری را مستهلک می‌کند (شکل ۳۵)). با این تفاسیر افزایش PI در جهت کاهش میرایی مخلوط خاک نقش ایفا خواهد کرد.

اما در خاک‌ها، سختی خاک، ساز و کاری بر عکس با میرایی دارد. به عبارتی هر چه PI خاک بیش‌تر شود مقاومت خاک در برابر تحمل بارهای سیکلی بیش‌تر می‌شود (زیرا خاک با PI بالاتر

پتانسیل تغییر شکل بیش‌تری دارد لذا در شرایط کرنش برابر با خاک با PI پایین، چون ترک نمی‌خورد و یا دیرتر دچار ترک خوردگی می‌شود به این ترتیب مقاومت بیش‌تری در قیاس با خاک‌های با PI پایین از خود نشان می‌دهد. باید در نظر داشته باشیم ترک خوردگی در خاک رس به شدت باعث کاهش چسبندگی خاکش شده و ترم مقاومتی خاک را کاهش می‌دهد و لذا انتظار سختی بیش‌تر می‌رود. در حالت اول PI خاک ماسه‌ای صفر بود و با افزودن رس، PI مخلوط خاک افزایش یافت. عبارتی صفحات رس در بین دانه‌های ماسه چسبندگی و استحکام بهتری به مخلوط خاک در برابر بارهای سیکلی داده‌اند (شکل ۳۶).



شکل ۳۶. تغییرات نسبت $\frac{G}{G_{max}}$ بر حسب کرنش برشی سیکلی با توجه به نوع خاک

۱۲. روابط محاسباتی برای G_{max}

مدول برشی ماکسیمم با مجذور تنش موثر و همچنین با ریشه چهارم سرعت موج برشی ارتباط مستقیم دارد. بر این اساس می‌توان گفت:

$$\frac{G_{max2}}{G_{max1}} = \sqrt{\frac{\sigma'_2}{\sigma'_1}}$$

که در آن G_{max2} مدول برشی ماکسیمم در نقطه ۲، G_{max1} مدول برشی ماکسیمم در نقطه ۱، σ'_2 تنش موثر در نقطه ۲ و σ'_1 تنش موثر در نقطه ۱ می‌باشد.

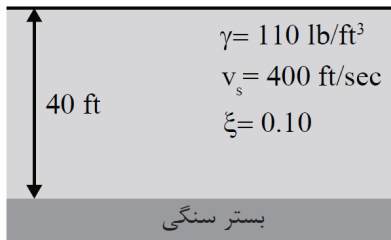
با استفاده از آزمایش SPT و داشتن عدد SPT اصلاح شده می‌توان به کمک فرم کلی زیر G_{max} را بدست آورد:

فصل چهارم

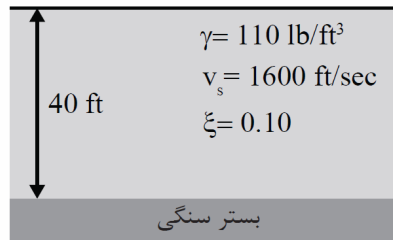
اثرات ساختگاه

۱. تاثیر تراکم خاک بر رفتار لرزه ای

دو لایه فرضی خاک که بر بستر سنگی مستقرند در هر دو ساختگاه خاکها مشابه هستند. به عبارتی ضخامت و میرایی و وزن مخصوص لایهها برابرند به جزء سرعت موج برشی که در ساختگاه (ب) چهار برابر ساختگاه (الف) است. با فرض اینکه رفتار خاکها الاستیک خطی است و بستر سنگی نیز صلب است می توانیم ضریب تشدید دو ساختگاه را با تغییرات فرکانس اعمالی به آنها ببینیم.



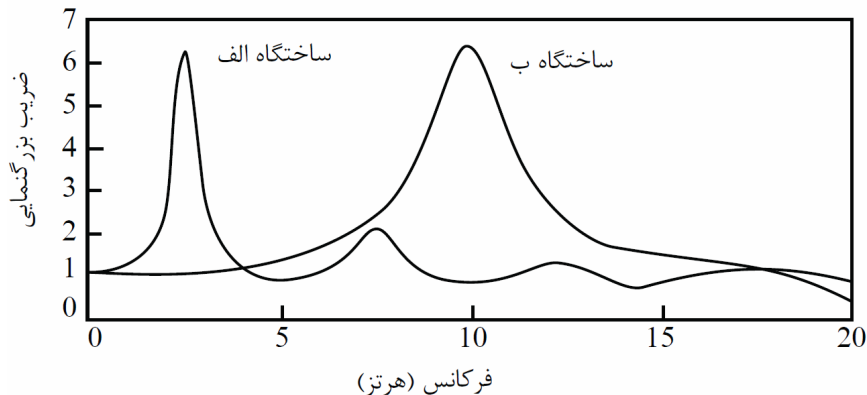
الف



ب

شکل ۱. پروفایل دو لایه مشابه خاک با تراکمهای متفاوت

نتیجه: ساختگاه نرمتر (خاک نرمتر) که ساختگاه (الف) است حرکات فرکانس پایین بستر سنگی را به نسبت ساختگاه سخت (خاک متراکم) بیش تر تشدید می کند. عکس این مطلب برای حرکات فرکانس بالا مشاهده می شود. اما دلیل این امر چیست؟ می دانیم فرکانس طبیعی برابر است با نسبت سرعت موج برشی بر ضخامت لایه رس $f = \frac{v_s}{4H}$. چون ضخامت لایهها در دو ساختگاه برابر است هر چه سرعت موج برشی بیشتر باشد فرکانس طبیعی لایه خاک هم بیشتر شده فلذا برای بروز پدیده تشدید باید زلزلههایی با فرکانس بالاتر رخ دهد.

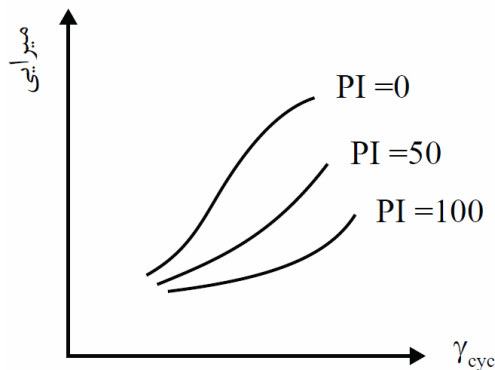


شکل ۲. ساختگاه نرم حرکات با فرکانس پایین را تشدید می‌کند و ساختگاه سخت زلزله‌های با فرکانس بالا را.

۲. بررسی پدیده تشدید در مهندسی ژئوتکنیک

الف. بررسی کیفی

می‌دانیم وقتی موج زلزله بر اثر لغزش دو گسل از محل تماس آن‌ها رها می‌شود در جهات مختلف منتشر خواهد شد. عمق کانونی زلزله‌ها تا ۷۰ کیلومتر، از ۷۰ تا ۳۰۰ کیلومتر و بیش از ۳۰۰ کیلومتر دسته بندی می‌شوند. هر چه عمق کانونی زلزله کم‌تر باشد تخریب زلزله در سطح زمین می‌تواند بیش‌تر باشد. وقتی موج زلزله به عنوان مثال از عمق ۱۰۰ کیلومتری سطح زمین منتشر می‌شود در جهات مختلفی طی مسیر می‌کند. آن جهاتی که تاثیری بر سازه‌های روی زمین ندارند مورد مطالعه نخواهند بود. اما بخشی که به سمت زمین گسیل می‌شود حدوداً تا ۱۰۰ متری یا ۲۰۰ متری سطح زمین در حال حرکت در لیتوسفر یا بخش سنگی کره زمین است. به عبارتی تقریباً همه مسیر ۱۰۰ کیلومتری را در سنگ طی می‌کند تا به خاک زیر پی برسد. وقتی موج زلزله از سنگ به خاک وارد می‌شود تغییراتی رخ می‌دهد که موضوع بحث تشدید می‌باشد. مفهوم تشدید به آن معناست که میزان تخریب برای سازه‌های روی زمین بیش‌تر شود. هر چه جنس دو لایه‌ای که روی هم قرار دارند بهم نزدیک‌تر باشد تشدید کم‌تر و هر چه غیر هم جنس‌تر باشند تشدیدشان بیش‌تر خواهد بود. با توجه به اینکه لایه زیرین سنگ است، اگر لایه رسوبی از جنس شن باشد کم‌ترین تشدید رخ می‌دهد (چون در بین ۴ نوع خاک، شن‌ها درشت دانه‌ترین و بسیار نزدیک به سنگ هستند، هم به لحاظ سایز دانه و هم به لحاظ جنس مصالح) و هر چه لایه رسوبی از جنس رس با PI بالاتر باشد تشدید بیش‌تر خواهد شد (زیرا رس دارای ساختاری صفحه‌ای است و کاملاً به لحاظ جنس و اندازه با سنگ فاصله دارند و به عبارتی هر چه خاصیت خمیری رس بیش‌تر باشد خاک خمیری‌تر است و شرایطش از سنگ بیش‌تر فاصله می‌گیرد) فلذا در رس با PI‌های بالا بیش‌ترین تشدید رخ می‌دهد.



شکل ۳. تاثیر دامنه خمیری خاک بر میرایی

می‌دانیم خاک‌های دانه ای، اصطکاکی اند و اصطکاک از جنس اتلاف انرژی است، پس هر چه خاک اصطکاکی تر باشد میرایی اش بیشتر است (مطابق شکل ۳) و هر چه میرایی اش بیشتر باشد انرژی کمتری از زلزله را منتقل می‌کند و تشدید کم‌تر خواهد شد (پس با فرض لایه زیرین سنگی، اگر لایه رسوبی بالایی شن باشد میرایی بیشتر و تشدید کم‌تر است).

ب. بررسی کمی

علاوه بر بررسی کیفی پدیده تشدید، می‌توان بطور کمی نیز پدیده تشدید را بررسی کرد. به این

منظور شاخص امیدانس ارائه شده که بصورت $\left(\alpha_z = \frac{\rho_2 V_2}{\rho_1 V_1} \right)$ تعریف می‌شود که در آن ρ_1 و V_1

چگالی و سرعت موج در لایه اول و ρ_2 و V_2 چگالی و سرعت موج در لایه دوم می‌باشند. امیدانس در واقع مقاومت در برابر بزرگنمایی (تشدید) ناشی از زلزله می‌باشد. نسبت امیدانس برابر عکس بزرگنمایی است. به این معنا که هر چه بزرگنمایی بیشتر شود نسبت امیدانس کوچکتر خواهد بود. بزرگنمایی یعنی اگر حرکت ایجاد شده ناشی از شتاب ماکسیمم $a_{\max 1}$ ناشی از زلزله در بستر سنگی برابر U_1 و حرکت ایجاد شده ناشی از شتاب ماکسیمم $a_{\max 2}$ منتقل شده به روی سطح خاک ناشی از زلزله U_2 باشد آنگاه نسبت این دو بزرگنمایی را نشان می‌دهد که عمدتاً بزرگتر از یک است $(AMP = \frac{U_2}{U_1})$.

بر این اساس هر چه α_z کوچکتر باشد تشدید بیشتر خواهد بود، عبارتی جنس لایه دوم بسیار نرمتر از جنس لایه اول است که موجبات تشدید زیادی را فراهم می‌کند. باید توجه داشت نسبت امیدانس و متعاقباً میزان تشدید تابع جنس محیط‌هایی است که موج طی می‌کند.

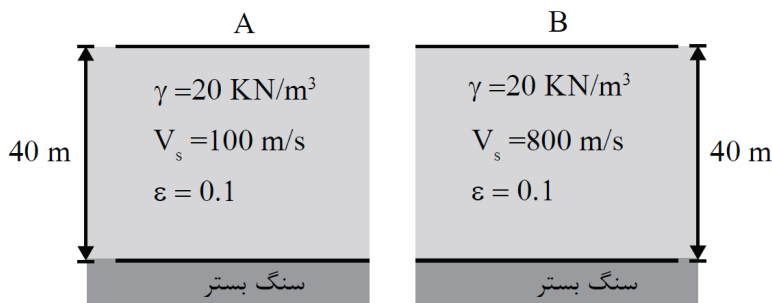
۳. خودآزمایی

۱. اگر یک لایه آبرفت بر روی بستر سنگی قرار گرفته باشد و موج زلزله‌ای از سنگ به

آبرفت وارد شود آنگاه: (از میرایی مصالح در آبرفت و سنگ صرفنظر شود.) (دکترای آزاد ۹۵)

۱. اگر سرعت موج سنگ و آبرفت به یکدیگر نزدیک باشند پاسخ افزایش می‌یابد و دامنه فرکانس‌های کم افزایش می‌یابد.
۲. اگر سرعت موج سنگ و آبرفت به یکدیگر نزدیک باشند پاسخ افزایش می‌یابد و دامنه فرکانس‌های زیاد افزایش می‌یابد.
۳. اگر سرعت موج سنگ بستر خیلی بزرگتر از آبرفت باشد پاسخ کاهش می‌یابد و دامنه فرکانس‌های زیاد افزایش می‌یابد.
۴. اگر سرعت موج سنگ بستر خیلی بزرگتر از آبرفت باشد پاسخ افزایش می‌یابد و دامنه فرکانس‌های زیاد افزایش می‌یابد.

۲. دو سایت مطابق شکل داده شده مد نظر است: کدام صحیح است؟ (دکترای آزاد ۹۵)



۱. سایت A فرکانس‌های کم زلزله را تشدید می‌نماید و پریود غالب آن در حدود ۱ ثانیه است.
 ۲. سایت A فرکانس‌های زیاد زلزله را تشدید می‌نماید و پریود غالب آن در حدود ۱/۵ ثانیه است.
 ۳. سایت B فرکانس‌های کم زلزله را تشدید می‌نماید و پریود غالب آن در حدود ۰/۵ ثانیه است.
 ۴. سایت B فرکانس‌های زیاد زلزله را تشدید می‌نماید و پریود غالب آن در حدود ۰/۲ ثانیه است.
۳. سه ساختمان با تعداد طبقات ۲، ۱۰ و ۲۰ طبقه قرار است که بر روی یکی از ساختگاه‌های زیر ساخته شوند. شما کدام یک را پیشنهاد می‌کنید؟ (دکترای آزاد ۹۵)

خاک A: ضخامت ۲۰ متر بر روی سنگ بستر و سرعت موج برشی $v_s = 100 \frac{m}{s}$

خاک B: ضخامت ۲۰ متر بر روی سنگ بستر و سرعت موج برشی $v_s = 400 \frac{m}{s}$

خاک C: ضخامت ۲۰ متر بر روی سنگ بستر و سرعت موج برشی $v_s = 50 \frac{m}{s}$

۱. ۲ طبقه: خاک A - ۱۰ طبقه: خاک C - ۲۰ طبقه: خاک B



- ۲.۲ طبقه: خاک B - ۱۰ طبقه: خاک C - ۲۰ طبقه: خاک A
 ۳.۲ طبقه: خاک C - ۱۰ طبقه: خاک A - ۲۰ طبقه: خاک B
 ۴.۲ طبقه: خاک A - ۱۰ طبقه: خاک B - ۲۰ طبقه: خاک C

۴. اگر لایه خاکی با وزن واحد حجم γ_1 و دانسیته نسبی ρ_1 و سرعت انتشار موج برشی V_{s1} بر روی لایه‌ای عمیق با وزن واحد حجم γ_2 ، دانسیته نسبی ρ_2 و سرعت انتشار موج برشی V_{s2} قرار گرفته باشد، کدام شرایط زیر حتما باعث افزایش ضریب تشدید در شرایط زلزله می‌شود؟ $\alpha = \frac{\rho_1 V_{s1}}{\rho_2 V_{s2}}$ و D نسبت میرایی است. فرض شود فرکانس غالب زلزله اعمالی

به فرکانس اساسی زمین نزدیک باشد. (دکترای سراسری ۹۴)

۱. مقدار α زیاد و مقدار D کم باشد.
 ۲. مقدار α کم و مقدار D زیاد باشد.
 ۳. مقدار α زیاد و مقدار D زیاد باشد.
 ۴. مقدار α کم و مقدار D کم باشد.

۵. در صورتیکه یک لایه رسوبی با ضخامت ۱۵ متر روی یک لایه سنگی قرار داشته باشد و سرعت متوسط سرعت انتشار موج برشی متوسط برای این لایه ۳۰۰ متر بر ثانیه باشد، در صورتیکه:

۱. جنس لایه رسوبی شن باشد.
 ۲. جنس لایه رسوبی رس با $PI < 15$ باشد.
 ۳. جنس لایه رسوبی رس با $PI > 15$ باشد.
 ۴. جنس لایه رسوبی ماسه باشد.

در این صورت کدام یک از گزاره‌های زیر صحیح می‌باشند؟ (دکترای سراسری ۹۱)

۱. بیش‌ترین تشدید امواج زلزله در حالت ۳ و کم‌ترین تشدید در حالت ۱ رخ می‌دهد.
 ۲. بیش‌ترین تشدید در حالت ۱ و کم‌ترین تشدید در حالت ۳ رخ می‌دهد.
 ۳. بیش‌ترین تشدید در حالت ۲ و کم‌ترین تشدید در حالت ۳ رخ می‌دهد.
 ۴. بیش‌ترین تشدید در حالت ۲ و کم‌ترین تشدید در حالت ۴ رخ می‌دهد.

۶. با توجه به پروفایل‌های خاک نشان داده شده در زیر امکان بیش‌ترین تشدید در زلزله

در کدام یک رخ می‌دهد؟ (دکترای سراسری ۹۱)

(1)	(2)	(3)	(4)
<p>رس</p> <p>10 m</p> <p>$V_s = 100 \text{ m/sec}$</p> <p>PI = 20</p> <p>$\gamma = 17 \text{ KN/m}^3$</p>	<p>رس</p> <p>10 m</p> <p>$V_s = 200 \text{ m/sec}$</p> <p>PI = 20</p> <p>$\gamma = 19 \text{ KN/m}^3$</p>	<p>رس</p> <p>10 m</p> <p>$V_s = 300 \text{ m/sec}$</p> <p>PI = 20</p> <p>$\gamma = 18 \text{ KN/m}^3$</p>	<p>رس</p> <p>10 m</p> <p>$V_s = 400 \text{ m/sec}$</p> <p>PI = 20</p> <p>$\gamma = 17 \text{ KN/m}^3$</p>
<p>$V_s = 600 \text{ m/sec}$</p> <p>$\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$</p>	<p>$V_s = 800 \text{ m/sec}$</p> <p>$\gamma = 19 \text{ KN/m}^3$</p>	<p>$V_s = 1200 \text{ m/sec}$</p> <p>$\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$</p>	<p>$V_s = 1600 \text{ m/sec}$</p> <p>$\gamma = 20 \text{ KN/m}^3$</p>
۴. پروفیل ۴	۳. پروفیل ۳	۲. پروفیل ۲	۱. پروفیل ۱

(۱) گزینه ۴

هر چه سرعت موج سنگ و آبرفت به هم نزدیکتر باشد پاسخ تغییر شکل کاهش می‌یابد و بالعکس هر چه سرعت موج سنگ بستر بیش‌تر از آبرفت باشد شرایط بحرانی‌تر بوده و پاسخ تغییر شکل افزایش می‌یابد. سنگ بستر دارای پیروید کم و فرکانس بالاست که به واسطه نزدیک شدن به رزناس، دامنه تغییر شکل در فرکانس‌های بالا افزایش می‌یابد.

(۲) گزینه ۴

فرکانس طبیعی پروفایل B بیش‌تر از پروفایل A است زیرا ضخامت دو لایه برابر است ولی سرعت موج برشی در پروفایل B بیش‌تر می‌باشد، به این ترتیب زلزله پروفایل B را در فرکانس‌های بالاتر به تشدید می‌رساند و پروفایل A را در فرکانس‌های کم‌تر. از طرفی برای پیروید اصلی دو پروفایل داریم:

$$T_A = \frac{4H}{V_s} = \frac{4(40)}{100} = 1.6 \text{ s}$$

$$T_B = \frac{4H}{V_s} = \frac{4(40)}{800} = 0.2 \text{ s}$$

(۳) گزینه ۳

هرچه سازه سنگین‌تر باشد باید بر روی خاکی با تراکم بیش‌تر ساخته شود. از طرفی هرچه سرعت موج برشی خاک بیش‌تر باشد به معنای تراکم بیش‌تر آن است، به این ترتیب باید سازه ۲۰ طبقه بر روی ساختگاه B، سازه ۲ طبقه بر روی ساختگاه C و سازه ۱۰ طبقه بر روی ساختگاه A ساخته شوند.

(۴) گزینه ۴

دیدیم هرچه نسبت امپدانس کوچک‌تر باشد ضریب بزرگنمایی و تشدید افزایش می‌یابد، همچنین این امر با کاهش نسبت میرایی محقق می‌شود. زیرا افزایش میرایی باعث کاهش دامنه حرکت در

$$\omega = 2\pi f = 2\pi(15) = 30\pi = 94.2 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

به این ترتیب داریم:

$$F_{\text{dyn}} = \left| \frac{36}{1 - \frac{94.2^2}{75}} \right| = 140.625 \text{ kN}$$

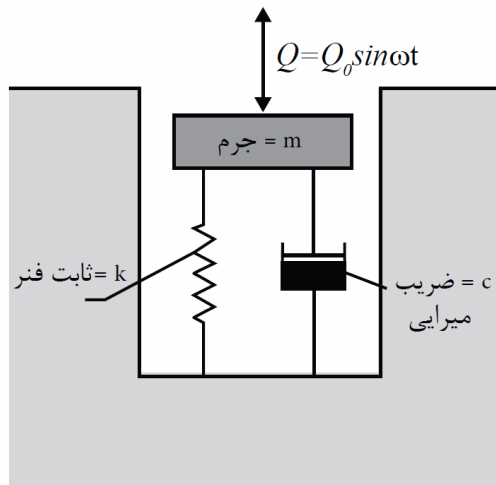
ماکسیمم نیروی اعمالی به بستر برابر است با: $160 + 140.625 = 300.625 \text{ kN}$

مینیمم نیروی اعمالی به بستر برابر است با: $160 - 140.625 = 19.375 \text{ kN}$

۵. ارتعاش آزاد یک سیستم یک درجه آزادی میرا

در ارتعاشات آزاد نامیرا، ارتعاشات تا آنجا که سیستم در حال حرکت است ادامه خواهد داشت. اما در واقعیت دامنه کلیه ارتعاشات در طی زمان دچار یک کاهش تدریجی خواهد شد، این پدیده را میرایی گوئیم. در شکل ۵ پی متکی بر یک فنر و یک میراگر نشان داده شده است. میراگر نشان دهنده خاصیت میرایی خاک است. برای ارتعاش آزاد نیروی خارجی برابر صفر است لذا معادله حرکت بصورت زیر بیان می‌شود:

$$m\ddot{z} + c\dot{z} + kz = 0$$



شکل ۵. ارتعاش آزاد یک سیستم میرا (در صورتیکه $Q = 0$ باشد)

اگر $z = Ae^{rt}$ یک حل این معادله باشد که در آن A مقداری ثابت است آنگاه با جایگزینی در

معادله فوق داریم:

$$r^2 + \left(\frac{c}{m}\right)r + \frac{k}{m} = 0$$

حل معادله به صورت زیر است:

$$r = -\frac{c}{2m} + \sqrt{\frac{c^2}{4m^2} - \frac{k}{m}}$$

در اینجا سه حالت عمومی محتمل است رخ دهد:

(۱) اگر $\frac{c}{2m} > \sqrt{\frac{k}{m}}$ باشد هر دو ریشه معادله حقیقی و منفی می‌باشند. به این حالت بیش

میرا می‌گویند.

(۲) اگر $\frac{c}{2m} = \sqrt{\frac{k}{m}}$ و $r = -\frac{c}{2m}$ باشد این حالت را میرایی بحرانی می‌نامند در نتیجه

در این حالت داریم:

$$c = c_{cr} = 2\sqrt{km}$$

(۳) اگر $\frac{c}{2m} < \sqrt{\frac{k}{m}}$ باشد ریشه‌های معادله به صورت اعداد مختلط خواهند بود:

$$r = -\frac{c}{2m} \pm i \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{c^2}{4m^2}}$$

این حالت را کم میرا گویند. به این ترتیب می‌توان نسبت میرایی (D) را به صورت زیر تعریف کرد:

$$D = \frac{c}{c_{cr}} = \frac{c}{2\sqrt{km}}$$

سیستم‌های بیش میرا و با میرایی بحرانی ارتعاش نمی‌کنند و تنها پاسخ سازه زمانی که سیستم کم

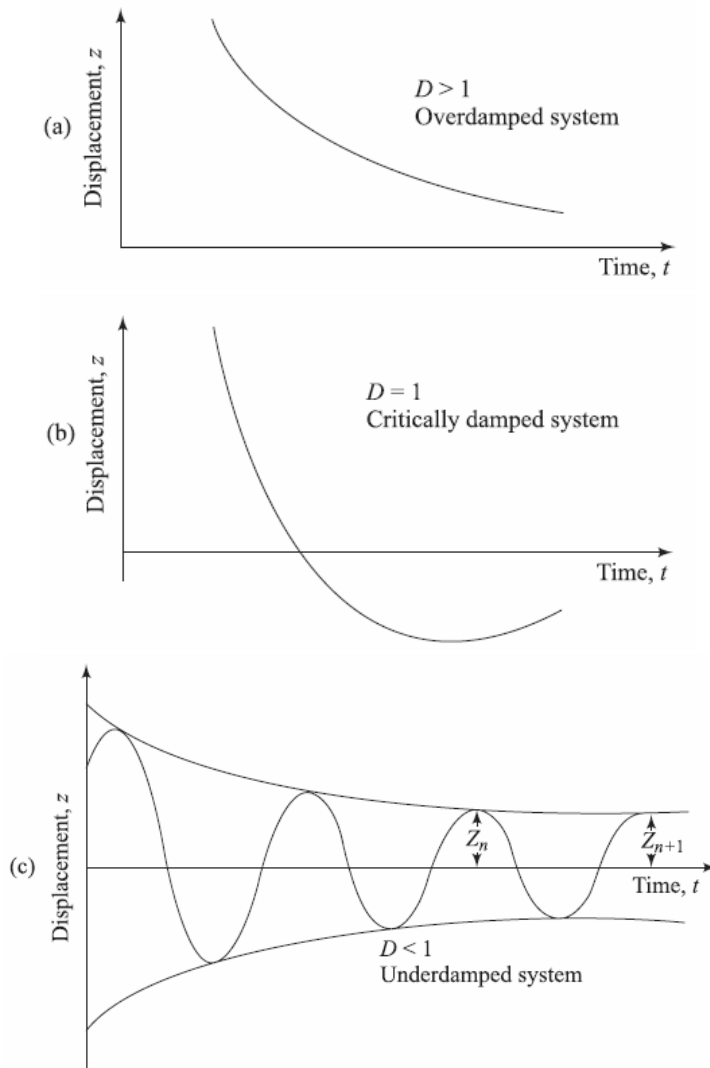
میرا است به صورت ارتعاش خواهد بود. (مطابق شکل ۶)

برای حالت کم میرا فرکانس طبیعی زاویه‌ای میرا (ω_d) از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - D^2}$$

در این حالت پاسخ سیستم به صورت زیر می‌باشد:

$$u(t) = e^{-D\omega_n t} [A \sin \omega_d t + B \cos \omega_d t]$$



شکل ۶. (a) سیستم بیش میرا، (b) سیستم با میرایی بحرانی، (c) سیستم کم میرا. دیده می‌شود تنها پاسخ یک سیستم کم میرا به صورت ارتعاشی است.

می‌دانیم تاثیر میرایی کاستن تدریجی دامنه ارتعاشات در طول زمان می‌باشد. به منظور تعیین مقدار کاهش دامنه ارتعاشات در طول زمان فرض می‌کنیم Z_n و Z_{n+1} دو مقدار متوالی مثبت یا منفی حداکثر تغییر مکان در زمان‌های t_n و t_{n+1} از شروع ارتعاشات و به صورت نشان داده شده در شکل ۶-۲ باشد آنگاه چون $t_{n+1} - t_n = T$ است داریم:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_d} = \frac{2\pi}{\omega_n \sqrt{1-D^2}}$$

به این ترتیب مدت زمان δ را کاهش لگاریتمی گویند و برابر است با:

$$\delta = \ln\left(\frac{Z_n}{Z_{n+1}}\right) = \frac{2\pi D}{\sqrt{1-D^2}}$$

اگر مقدار نسبت میرایی D کوچک باشد رابطه بالا به صورت زیر خلاصه می‌شود:

$$\delta = \ln\left(\frac{Z_n}{Z_{n+1}}\right) = 2\pi D$$

همچنین نسبت کاهش دامنه در m سیکل مختلف بصورت زیر برابر است با:

$$\ln\left(\frac{Z_n}{Z_{n+m}}\right) = 2\pi m D$$

۶. خودآزمایی

۸. در شرایط ارتعاش یک سیستم جرم، فنر و میراگر به ترتیب با جرم، سختی و میرایی

m ، k و c در صورتیکه جرم و سختی دو برابر شود نسبت میرایی (D): (دکترای آزاد ۹۴)

۱. نصف می‌شود.
۲. دو برابر می‌شود.
۳. چهار برابر می‌شود.
۴. تغییر نمی‌کند.

۹. یک پی ماشین آلات به وزن $w = 90 \text{ kN}$ بر روی خاکی قرار گرفته است. با فرض

سیستم جرم متمرکز - فنر، ثابت فنر معادل خاک برابر $10000 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ و میرایی معادل

$360 \frac{\text{kN}\cdot\text{s}}{\text{m}}$ فرض می‌شود. در صورتیکه برای تقلیل دامنه به صورت لگاریتمی رابطه

$\frac{Z_n}{Z_{n+1}} = e^\delta$ برقرار باشد در خصوص این سیستم جرم و فنر کدام گزینه زیر صحیح است؟

(شتاب ثقل زمین $g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ فرض شود). (دکترای سراسری ۹۳)

۱. سیستم کم میرا (underdamped) و $\delta = 1.57$ است.
۲. سیستم بیش میرا (overdamped) و نمی‌توان δ را تعیین کرد.
۳. سیستم بیش میرا و $\delta = 6.28$ است.

۴. سیستم کم میرا و $\delta = 4.71$ است.

۱۰. در آزمایش تخمین میرایی یک تیر با مدل SDF، جرم موثر برابر 375000 کیلوگرم و سختی موثر برابر $38850 \frac{kN}{m}$ ، نسبت دامنه تغییرمکان دو ارتعاش آزاد متوالی، از ترسیمه آزمایش برابر $1/0.5$ اندازه گیری شده است. مقدار ضریب میرایی این تیر بر حسب $\frac{kN-sec}{m}$ کدام است؟ ($\ln 1.05 = 0.049$) (دکترای سراسری ۹۴ سازه)

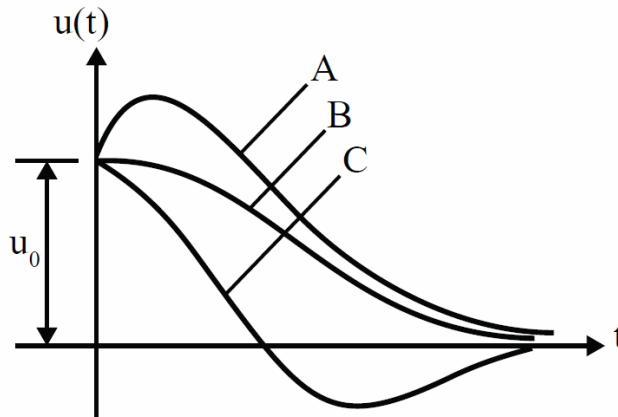
۴. ۶۹/۵

۳. ۵۹/۵

۲. ۴۹/۵

۱. ۳۹/۵

۱۱. منحنی‌های ارائه شده در شکل زیر، هر سه برای حالت ارتعاش آزاد با میرایی بحرانی (درصد میرایی برابر ۱۰۰) با شرایط اولیه u_0 و \dot{u}_0 ترسیم شده‌اند. کدام گزینه به ترتیب از راست به چپ برای منحنی‌های A، B و C می‌تواند صحیح باشد؟ (دکترای سراسری ۹۳ سازه)



۱. $\dot{u}_0 > 0$, $\dot{u}_0 = 0$, $\dot{u}_0 < 0$

۲. $\dot{u}_0 < 0$, $\dot{u}_0 = 0$, $\dot{u}_0 > 0$

۳. $\dot{u}_0 < 0$, $\dot{u}_0 > 0$, $\dot{u}_0 = 0$

۴. $\dot{u}_0 > 0$, $\dot{u}_0 < 0$, $\dot{u}_0 = 0$

۱۲. یک تیر ساده در وسط دهانه خود تحت یک نیروی استاتیکی به طرف پایین خیز بر می‌دارد و سپس نیرو به طور ناگهانی حذف می‌شود. دامنه ارتعاش آزاد تیر با قانون اکسپونانسیل طی ۵ سیکل ارتعاش از ۴ سانتی متر به ۲ سانتی متر کاهش پیدا می‌کند. درصد میرایی تیر چند درصد تخمین زده می‌شود؟ (راهنمایی:

($\ln(0.5) = -0.639$, $\ln(4) = 1.386$) (دکترای سراسری ۹۳ سازه)

۴. ۸/۲

۳. ۴/۲

۲. ۶/۲

۱. ۲/۲

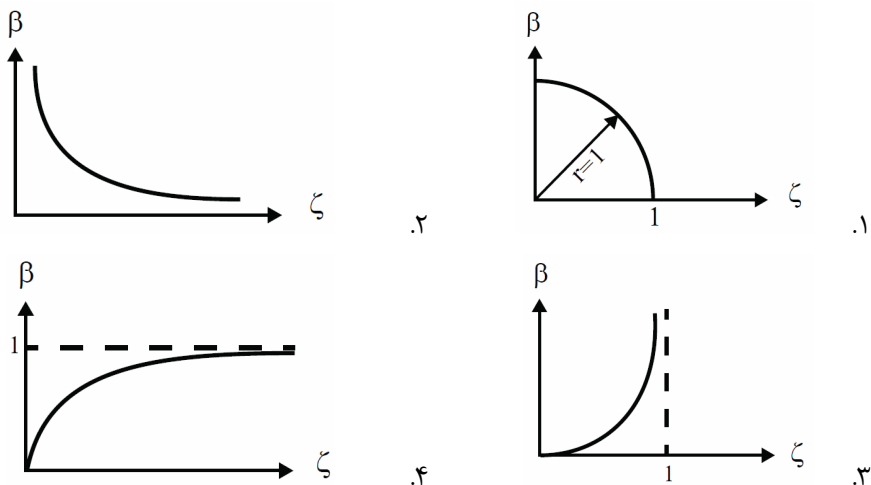
۱۳. در بررسی رفتار دینامیکی مدل فیزیکی یک سازه‌ی ساده و معادل یک درجه آزادی در حالت ارتعاش آزاد، ملاحظه می‌شود که در پایان پنج سیکل ارتعاش، دامنه‌ی حرکت دقیقاً نصف شده است. بر اساس نتایج فوق، درصد میرایی سازه‌ی مورد نظر حدوداً چقدر خواهد بود؟ (راهنمایی $\ln 2 = 0.69$ و $\ln 0.5 = -0.693$) (دکترای سراسری ۹۲ سازه)

- ۵/۲ .۱ ۵/۴ .۲ ۲/۵ .۳ ۲/۲ .۴

۱۴. در یک سیستم نوسانی یک درجه آزادی با نسبت میرایی D که در حال ارتعاش آزاد است، دامنه نوسان در هر سیکل $\frac{1}{e}$ برابر می‌شود. نسبت میرایی این سیستم برابر است با: (دکترای آزاد ۹۳ سازه)

۱. $D = 2\pi$ ۲. $D = \frac{e}{2\pi}$ ۳. $D = \frac{2\pi}{e}$ ۴. $D = \frac{1}{2\pi}$

۱۵. در یک سیستم نوسانی یک درجه آزادی با نسبت میرایی ζ اگر نسبت زمان تناوب طبیعی نامیرا (T_n) به زمان تناوب ارتعاش میرا (T_D) را با β نمایش دهیم، $\beta = \frac{T_n}{T_d}$ نمودار تغییرات β بر حسب ζ چگونه می‌باشد؟ (دکترای آزاد ۹۳ سازه)



۱۶. چنانچه K سختی، ξ درصد میرایی و T پریود طبیعی ارتعاش آزاد یک سازه معادل یک درجه آزاد باشد، در این صورت مقدار میرایی C با کدام رابطه بیان خواهد شد؟

(دکترای سراسری ۹۱ سازه)



$$\begin{array}{ll} \frac{KT}{\xi\pi} & .۱ \\ \frac{2KT}{\xi\pi} & .۲ \\ \frac{K\xi T}{\pi} & .۳ \\ \frac{2K\xi T}{\pi} & .۴ \end{array}$$

۱۷. برای یک پی ماشین آلات وزن مجموع ۲۵۰ کیلونیوتن، ضریب ثابت فنر ۱۰۰۰۰ کیلونیوتن بر متر و میرایی سیستم ۲۰۰ کیلونیوتن ثانیه بر متر می‌باشد. نسبت دو دامنه متوالی و فرکانس طبیعی میرا برابرند با:

$$\begin{array}{ll} ۱. e^{1.3} ، ۳/۹ هرتز & .۱ \\ ۲. e^{0.3} ، ۳/۹ هرتز & .۲ \\ ۳. e^{0.3} ، ۳/۱ هرتز & .۳ \\ ۴. e^{1.3} ، ۳/۱ هرتز & .۴ \end{array}$$

(۸) گزینه ۱

$$D = \frac{c}{c_{cr}} = \frac{c}{2\sqrt{km}}$$

می‌دانیم نسبت میرایی برابر است با:

وقتی سختی و جرم دو برابر شود مخرج کسر دو برابر و نسبت میرایی نصف می‌شود.

(۹) گزینه ۴

$$C_c = 2\sqrt{km} = 2\sqrt{10^4 \times \frac{90}{10}} = 600 \frac{kN \cdot s}{m}$$

$$D = \frac{C}{C_c} = \frac{360}{600} = 0.6 < 1$$

پس سیستم کم میراست.

$$\delta = \frac{2\pi D}{\sqrt{1-D^2}} = \frac{2\pi(0.6)}{\sqrt{1-(0.6)^2}} = 1.5\pi = 4.71$$

(۱۰) گزینه ۳

$$\ln\left(\frac{Z_n}{Z_{n+1}}\right) = 2\pi D \rightarrow \ln(1.05) = 2\pi D \rightarrow D = \frac{\ln(1.05)}{2\pi}$$