



پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

پایان نامه کارشناسی ارشد
مهندسی عمران - مهندسی زلزله

بررسی تاثیر میرایی‌های مختلف بر پاسخ لرزه‌ای سد های خاکی

دانشجو

محمد حسین بهشتی خواه

استاد راهنما

دکتر محمد داودی

استاد مشاور

دکتر محمد کاظم جعفری

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقديم به

مقدم

از تمامی زحمات اساتید ارجمندم جناب آقای دکتر داودی و پروفسور جعفری، که در تمامی مراحل انجام این تحقیق با راهنمایی‌ها، کمک‌ها و تشویق‌های خویش من را راهنمایی و یاری نموده‌اند، تشکر میکنم.

اعضاء هيئت داوران:

امضاء

استاد راهنما

امضاء

استاد مشاور

امضاء

استاد مدعو (خارجی)

امضاء

استاد مدعو (داخلی)

امضاء

مدیر تحصیلات تکمیلی

چکیده

در تحقیق حاضر که به منظور بررسی میرایی در سدهای خاکی در مدل های عددی دو و سه بعدی تعریف شده، سد سنگریزه ای مسجد سلیمان انتخاب گردیده است. با مقایسه شتابنگاشت های ثبت شده در بدنه سد و پاسخ مدل های عددی، که صحت آن ها با نتایج مطالعات قبلی تائید شده است، از بین مدل های مختلف میرایی، مدل میرایی رایلی و از بین روش های مختلف انتخاب فرکانس مرکزی میرایی رایلی، روش نسبت طیفی تاج به محرک ورودی، به دلیل میسر بودن انتخاب مودهای پر انرژی از آن، بهترین نتایج را ارائه داده اند.

از مدل میرایی هیسترتیک به عنوان یک مدل رفتاری استفاده شده است. این مدل در حقیقت یک مدل رفتاری غیرخطی است، که پارامترهای منحنی اسکلت آن از منحنی های آزمایشگاهی مدول برشی و نسبت میرایی به دست می آید و برای رفتار غیرخطی از قوانین میسینگ استفاده کرده و پارامترهای آن از منحنی های آزمایشگاهی مدول برشی و نسبت میرایی استخراج می شود؛ بنابراین برخلاف مدل های رفتاری پیچیده تعیین پارامترهای آن ساده بوده و نیاز به آزمایش های خاص ندارد و در عین حال تغییرات مدول برشی و نسبت میرایی را با کرنش در نظر می گیرد. این مدل به عنوان یک مدل رفتاری منعکس کننده ی منحنی های آزمایشگاهی، می تواند تخمین مناسبی از رفتار لرزه ای سد ارائه دهد، لذا از این مدل میرایی به عنوان معیاری برای ارزیابی تاثیر زلزله های حوزه دور و نزدیک روی نسبت میرایی استفاده شده است، بطوریکه در تحلیل های کرنش کوچک، حساسیت پاسخ ها به انتخاب پارامترهای میرایی رایلی (میرایی اضافی) قابل توجه بوده و اختلاف پاسخ ها در حالت بیشترین نسبت به کمترین پاسخ با میرایی رایلی، برای زلزله های حوزه دور و نزدیک، به حدود ۲۰ درصد می رسد. در محدوده کرنش های بزرگ، مقادیر انتخابی برای میرایی رایلی (میرایی اضافی)، به دلیل استهلاک انرژی ناشی از مدل رفتاری، اهمیت چندانی نداشته و پاسخ ها با حالت نامیرا (بدون میرایی اضافی) تقریباً یکسان است؛ لذا اختلاف حالت میرایی رایلی و میرایی هیسترتیک ناشی از استهلاک انرژی بیش از حد در مدل رفتاری موهر-کلمب است، که می تواند دلیلی بر ناکارآمدی این مدل رفتاری در تحلیل های دینامیکی سد مسجد سلیمان باشد. از طرف دیگر، با توجه به بزرگنمایی مجذور میانگین مربعات (RMS) سرعت در ارتفاع در محدوده کرنش های کوچک، می توان گفت، مدل با زلزله حوزه نزدیک به میرایی بیشتری نسبت به مدل با زلزله حوزه دور نیاز دارد، که دلیل آن می تواند، وجود پالس های با پیوند بلند در زلزله حوزه نزدیک باشد.

واژه های کلیدی

تحلیل لرزه ای، سد سنگریزه ای مسجد سلیمان، میرایی هیسترتیک، میرایی رایلی، فرکانس مرکزی

پیشگفتار

این تحقیق که در راستای پروژه پژوهشی "بررسی تاثیر میرایی های مختلف روی پاسخ لرزه ای سدهای خاکی" تعریف و انجام شده، از مدل های عددی دو و سه بعدی سد سنگریزه ای مسجد سلیمان در نرم افزار های $FLAC^{2D}$ ، نسخه ۷/۰ و $FLAC^{3D}$ ، نسخه ۳/۱ و شتابنگاشت های ثبت شده در بدنه سد استفاده شده است. از آن جایی که میرایی رایلی و مدل رفتاری موهر-کلمب در تحلیل های دینامیکی در شرکت های مهندسی مشاور و تحقیقات علمی مورد استفاده بسیار است، هدف نهایی این تحقیق، به چالش کشیدن آن ها و بررسی روش های محاسبه پارامتر های میرایی رایلی است. این تحقیق بدون همکاری اساتید و کارمندان پژوهشگاه میسر نبود. لذا لازم می دانم، از اساتید گرانقدر جناب آقای دکتر داودی و دکتر جعفری که حقیقتاً پا را از علم فراتر نهاده و راهنمای اینجانب در درس زندگی بوده اند، تشکر کنم. ضمناً از دیگر اساتید پژوهشگاه، مخصوصاً جناب آقای دکتر کمالیان، دکتر عسکری، دکتر سروشیان، دکتر عشقی و دیگر اساتید که با دلگرمی های خود مشوق بنده بوده اند، صمیمانه سپاسگذارم. این تحقیق، از همکاری های بخش کتابخانه و مرکز اسناد، تحصیلات تکمیلی و مرکز سایت کامپیوتر پژوهشگاه، بهره های بسیار برده است، لذا از تمامی همکاران این مراکز، به خصوص سرکار خانم پاکدامن، مسئول کتابخانه، سرکار خانم فرجام فر، مسئول تحصیلات تکمیلی و آقای صداقت، مسئول سایت کامپیوتر صمیمانه قدردانی می کنم. در انتها، از جناب آقای مهندس هادیانی و مهندس صدرالدینی، دانشجویان واحد علوم تحقیقات تهران، که هیچ گاه راهنماییهای ارزشمندشان را از بنده دریغ نکردند تشکر کنم.

از تمامی خوانندگان تقاضا می کنم، بنده را از پیشنهادات خود در زمینه مباحث مطرح شده در این تحقیق بی بهره نگذارند.

محمد حسین بهشتی خواه

تهران، پژوهشگاه بین المللی مهندسی زلزله و زلزله شناسی

زمستان ۱۳۹۰

Beheshtikhah@gmail.com

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

الف	چکیده
ر	پیشگفتار
۱	فصل اول مبانی میرایی در مدل های رفتاری
۲	۱-۱- مقدمه
۲	۱-۲- مدل ویسکوالاستیک خطی
۵	۱-۳- مدل خطی معادل
۷	۱-۴- مدل های تنش- کرنش غیر خطی
۹	۱-۴-۱- مدل مور-کلمب
۱۱	۱-۴-۲- مدل های هیپربولیک
۱۳	۱-۴-۳- مدل های رفتاری پیشرفته خاک
۱۵	فصل دوم کاربرد میرایی در ابنیه های مختلف
۱۶	۱-۲- مقدمه
۱۶	۲-۲- سدهای بتنی
۱۷	۳-۲- سد های خاکی
۱۷	۲-۳-۱- سد خاکی Long-Valley با میرایی هیسترتیک
۱۷	۲-۳-۲- سد خاکی Long-Valley با میرایی ویسکوز
۱۹	۳-۳-۲- سد خاکی با هندسه دلخواه
۲۱	۴-۲- دیوار حائل انعطاف پذیر (سپر)
۲۳	فصل سوم معرفی نرم افزار و بررسی مدل های مختلف میرایی مصالح در آن
۲۴	۱-۳- مقدمه
۲۴	۲-۳- تشریح عبارات و مفاهیم
۲۵	۳-۲-۱- روش تفاضل محدود
۲۵	۳-۲-۲- روش صریح Time-Marching
۲۷	۳-۲-۳- آنالیز لاگرانژی
۲۷	۳-۳- روابط آنالیز عددی
۲۷	۳-۳-۱- المان بندی
۲۸	۳-۳-۲- معادلات تفاضل محدود
۲۹	۳-۳-۳- روند آنالیز در برنامه FLAC ^{2D}
۳۰	۴-۳- آنالیز تراوش و در نظر گرفتن اثر متقابل خاک سیال

۳۱	۵-۳- تحلیل دینامیکی در FLAC
۳۱	۳-۵-۱- گام زمانی در تحلیل دینامیکی
۳۲	۳-۵-۲- شرایط مرزی و بارگذاری دینامیکی
۳۲	۳-۵-۲-۱- مرزهای آرام (جاذب)
۳۴	۳-۵-۲-۲- مرزهای میدان-آزاد
۳۶	۳-۵-۲-۳- اعمال محرک ورودی دینامیکی
۳۶	۳-۵-۳- میرایی مصالح
۳۸	۳-۵-۳-۱- میرایی رایلی
۴۰	۳-۵-۳-۱-۱- نحوه انتخاب نسبت میرایی، ξ_{min}
۴۰	۳-۵-۳-۱-۲- نحوه انتخاب فرکانس مرکزی، ω_{min}
۴۱	۳-۵-۳-۲- میرایی هیسترتیک
۴۲	۳-۵-۳-۲-۱- کالیبراسیون مدل های هیسترتیک با منحنی های آزمایشگاهی
۴۴	۳-۵-۳-۲-۲- ملاحظات عملی در رابطه با استفاده از میرایی هیسترتیک
۴۵	۳-۵-۳-۳- ترکیب میرایی هیسترتیک با مدل مور-کلمب
۴۶	۳-۵-۳-۴- ویسکوزیته مصنوعی
۴۶	۳-۵-۳-۵- میرایی موضعی
۴۷	۳-۵-۳-۶- میرایی ترکیبی
۴۷	۳-۵-۳-۷- تغییرات مکانی میرایی
۴۷	۳-۵-۴- انتخاب بهینه ابعاد المان ها
۴۹	فصل چهارم صحت سنجی مدل عددی سد مسجد سلیمان
۵۰	۴-۱- مقدمه
۵۰	۴-۲- مشخصات سد مسجد سلیمان
۵۱	۴-۳- مدل سازی دو بعدی سد مسجد سلیمان
۵۱	۴-۳-۱- هندسه مدل
۵۲	۴-۳-۲- المان بندی
۵۳	۴-۳-۳- مشخصات مصالح
۵۵	۴-۳-۴- شرایط مرزی
۵۶	۴-۳-۵- نتایج تحلیل استاتیکی و محاسبه تنش های اولیه
۵۸	۴-۳-۶- محرک ورودی و مشخصات آن ها در آنالیز دینامیکی
۵۸	۴-۳-۷- برآورد فرکانس مود اصلی سد
۶۲	۴-۴- مدل سازی سه بعدی سد مسجد سلیمان
۶۲	۴-۴-۱- هندسه مدل
۶۲	۴-۴-۲- المان بندی
۶۳	۴-۴-۳- مشخصات مصالح

۶۳	۴-۴-۴- شرایط مرزی
۶۴	۴-۴-۵- نتایج تحلیل استاتیکی و محاسبه تنش های اولیه
۶۵	۴-۴-۶- محرک ورودی و مشخصات آن ها در آنالیز دینامیکی
۶۶	۴-۴-۷- برآورد فرکانس مود اصلی سد
۶۶	۴-۵- نتیجه گیری از مدل های دو و سه بعدی
۶۸	فصل پنجم انتخاب میرایی مناسب با استفاده از رکوردهای ثبت شده در بدنه سد
۶۹	۵-۱- مقدمه
۶۹	۵-۲- معرفی و پردازش های شتاب نگاشت های ثبت شده
۷۴	۵-۳- نتایج تحلیل با مدل های میرایی متفاوت
۷۴	۵-۳-۱- نامیرا
۷۵	۵-۳-۲- میرایی رایلی
۷۶	۵-۳-۲-۱- محاسبه پارامتر های میرایی رایلی از روش های مرسوم
۷۹	۵-۳-۲-۲- محاسبه پارامتر های میرایی رایلی با استفاده از فرکانس غالب مسئله
۸۲	۵-۳-۳- میرایی هیسترتیک و کالیبراسیون آن
۸۴	۵-۳-۴- انواع دیگر میرایی
۸۵	۵-۳-۴-۱- ویسکوزیته مصنوعی
۸۵	۵-۳-۴-۲- میرایی موضعی
۸۶	۵-۳-۴-۳- میرایی ترکیبی
۸۷	۵-۴- مقایسه مدل های مختلف میرایی با توجه به پاسخ سد و نتیجه گیری
۱۰۳	فصل ششم تاثیر زلزله های حوزه نزدیک و دور در انتخاب پارامترهای میرایی رایلی
۸۹	۶-۱- مقدمه
۸۹	۶-۲- مشخصات میرایی هیسترتیک
۹۰	۶-۳- استفاده از شتابنگاشت های مقیاس شده به PGA
۹۱	۶-۳-۱- معرفی پارامتر های میرایی رایلی
۹۱	۶-۳-۲- بزرگنمایی مجذور میانگین مربعات (RMS) سرعت در ارتفاع
۹۲	۶-۳-۲-۱- محدوده کرنش های کوچک
۹۲	۶-۳-۲-۲- محدوده کرنش های بزرگ
۹۳	۶-۴- استفاده از شتابنگاشت های مقیاس شده به شدت آریاس
۹۴	۶-۴-۱- فرکانس مرکزی میرایی رایلی
۹۵	۶-۴-۲- تخمین نسبت میرایی
۹۶	فصل هفتم جمع بندی، نتیجه گیری و پیشنهاد ها
۹۷	۷-۱- مقدمه
۹۷	۷-۲- جمع بندی و نتیجه گیری

- ۱۰۰ مراجع
- ۱۰۴ پیوست اول مقایسه رکورد ثبت شده ونتایج مدل عددی دو و سه بعدی در راه دسترسی
پیوست دوم نتایج برازش مدل میرایی هیسترتیک به منحنی های کاهش مدول برشی آزمایشگاهی برای مصالح مختلف
- ۱۰۸ بدنه سد
- ۱۱۳ چکیده انگلیسی

فهرست اشکال

صفحه

عنوان

- شکل (۱-۱): منحنی هیستریزس تولید شده توسط مدل کلوین ۳
- شکل (۲-۱): نمونه ای از مدل های ویسکوالاستیک خطی ۳
- شکل (۳-۱): سیستم یک بعدی خاک ۴
- شکل (۴-۱): مدول برشی سکانت و تانژانت ۶
- شکل (۵-۱): حلقه هیستریزس مدل غیرخطی ۸
- شکل (۶-۱): تعریف انرژی ذخیره شده الاستیک و اتلاف انرژی ۹
- شکل (۷-۱): سیکل تنش- کرنش برشی در مدل رفتاری موهر-کلمب ۱۰
- شکل (۸-۱): منحنی مدول برشی و نسبت میرایی در برابر کرنش سیکلی در مدل الاستوپلاستیک موهر-کلمب ۱۱
- شکل (۹-۱): تعریف کرنش مرجع ۱۲
- شکل (۱۰-۱): نسبت مدول برشی و نسبت میرایی مدل هیپربولیک ۱۳
- شکل (۱۱-۱): رابطه بین نسبت میرایی و نسبت مدول برشی ۱۳
- شکل (۱-۲): بدنه و مدل سد بتنی قوسی Punt-Dal-Gall ۱۶
- شکل (۲-۲): مقایسه پاسخ تاج در سد Punt-Dal-Gall (۸٪ میرایی) ۱۷
- شکل (۳-۲): منحنی های میرایی رایلی در نظر گرفته شده در تحلیل حساسیت سد Long-Vally ۱۸
- شکل (۴-۲): مقایسه PGA های محاسبه شده در میرایی های مختلف به ترتیب از بالا برای جهت بالا دست-پایین دست و قائم در تحلیل حساسیت سد Long-Vally ۱۸
- شکل (۵-۲): شکل شماتیک سد مدل شده سد خاکی با هندسه دلخواه ۱۹
- شکل (۶-۲): نمودارهای آزمایشگاهی و مدل مدول برشی و میرایی به ترتیب از راست برای ماسه و رس ۱۹
- شکل (۷-۲): جابجایی نسبی تاج با میرایی های مختلف در سد خاکی با هندسه دلخواه ۲۰
- شکل (۸-۲): پروفیل نسبت بزرگنمایی شتاب در خط مرکزی مدل سد خاکی با هندسه دلخواه ۲۰
- شکل (۹-۲): هندسه دیوار تحلیل Miaorano & Tamagnini ۲۱
- شکل (۱۰-۲): مش بندی و تغییر مشخصات خاک با عمق در تحلیل سپر ۲۲
- شکل (۱۱-۲): بیشترین ممان خمشی در برابر نسبت میرایی با سختی های متفاوت به ترتیب از راست در مدل مورکلمب و مدل سخت شونده ۲۲
- شکل (۱-۳): روند انجام محاسبات در FLAC ۲۶
- شکل (۲-۳): تقسیم بندی یک المان چهار ضلعی ۲۸
- شکل (۳-۳): انواع مختلف شرایط بارگذاری و مرزی FLAC ۳۴
- شکل (۴-۳): مدل در نظر گرفته شده برای آنالیز دینامیکی سازه های سطحی و شبکه المان های میدان-آزاد ۳۵
- شکل (۵-۳): میرایی رایلی نرمال شده میرایی رایلی با فرکانس ۴۰
- شکل (۶-۳): نمودار طیف سرعت در برابر فرکانس ۴۱
- شکل (۷-۳): سیکل تنش-کرنش برشی در میرایی هیستریک با مدل مور کلمب ۴۵
- شکل (۱-۴): موقعیت سد مسجد سلیمان بر روی نقشه استان خوزستان ۴۹
- شکل (۲-۴): نمایی از بدنه سد مسجد سلیمان ۵۰

- شکل (۳-۴): هندسه و ناحیه بندی مدل دو بعدی سد مسجد سلیمان ۵۱
- شکل (۴-۴): اندازه المان ها در مدل دو بعدی سد مسجد سلیمان ۵۲
- شکل (۵-۴): رابطه بین سختی استاتیکی و دینامیکی خاک ۵۲
- شکل (۶-۴): تغییرات مدول برشی دینامیکی با عمق در سد مسجد سلیمان ۵۴
- شکل (۷-۴): سرعت موج برشی در مدل دو بعدی سد مسجد سلیمان ۵۴
- شکل (۸-۴): توزیع تنش قائم در بدنه سددر پایان ساخت و قبل از آبیگری در سد مسجد سلیمان ۵۵
- شکل (۹-۴): توزیع تنش افقی در بدنه سددر پایان ساخت و قبل از آبیگری در سد مسجد سلیمان ۵۶
- شکل (۱۰-۴): توزیع فشار آب حفره ای در مدل دو بعدی سد مسجد سلیمان ۵۶
- شکل (۱۱-۴): توزیع تنش کل قائم در مدل دو بعدی سد مسجد سلیمان بعد از آبیگری ۵۷
- شکل (۱۲-۴): نسبت طیفی پاسخ تاج به محرک ورودی در جهت بالا دست-پایین دست به ترتیب از بالا مربوط به زلزله های Castaic و Gukasyan و Tolmezzo در مدل دو بعدی سد مسجد سلیمان ۵۹
- شکل (۱۳-۴): نسبت طیفی پاسخ تاج به گالری در جهت بالادست-پایین دست به ترتیب از بالا مربوط به زلزله های Castaic و Gukasyan و Tolmezzo در مدل دو بعدی سد مسجد سلیمان ۶۰
- شکل (۱۴-۴): هندسه سد از نمای کناری و بالادست در مدل سه بعدی سد مسجد سلیمان ۶۱
- شکل (۱۵-۴): المان بندی نمای کناری (تکیه گاهی) در مدل سه بعدی سد مسجد سلیمان ۶۲
- شکل (۱۶-۴): تغییرات سرعت موج برشی با عمق در مقطع میانی در مدل سه بعدی سد مسجد سلیمان ۶۲
- شکل (۱۷-۴): تنش قائم در مقطع میانی از سد قبل از آبیگری در مدل سه بعدی سد مسجد سلیمان ۶۳
- شکل (۱۸-۴): فشار آب حفره ای بعد از آبیگری در مقطع میانی در مدل سه بعدی سد مسجد سلیمان ۶۴
- شکل (۱۹-۴): تنش قائم موثر در مقطع میانی بعد از آبیگری در مدل سه بعدی سد مسجد سلیمان ۶۴
- شکل (۲۰-۴): نسبت طیفی سد در جهت بالادست-پایین دست به ترتیب از بالا مربوط به زلزله های Castaic و Gukasyan و Tolmezzo در مدل سه بعدی ۶۶
- شکل (۱-۵): مقطع سد و موقعیت شتابنگاشتهای مستقر در گالری، راه دسترسی به تاج و نیز تاج سد مسجد سلیمان ۶۹
- شکل (۲-۵): تاریخچه زمانی ثبت شده و دامنه طیف فوریه آن در گالری به ترتیب از بالا در جهت بالادست-پایین دست، طولی و قائم ۷۰
- شکل (۳-۵): تاریخچه زمانی ثبت شده و دامنه طیف فوریه آن در راه دسترسی به ترتیب از بالا در جهت بالادست-پایین دست، طولی و قائم ۷۰
- شکل (۴-۵): تاریخچه زمانی ثبت شده و دامنه طیف فوریه آن در تاج به ترتیب از بالا در جهت بالادست-پایین دست، طولی و قائم ۷۰
- شکل (۵-۵): توزیع زمان-فرکانس شتابنگاشت ثبت شده در گالری در جهت بالادست-پایین دست ۷۱
- شکل (۶-۵): توزیع زمان-فرکانس شتابنگاشت ثبت شده در گالری در جهت طولی ۷۲
- شکل (۷-۵): توزیع زمان-فرکانس شتابنگاشت ثبت شده در گالری در جهت قائم ۷۲
- شکل (۸-۵): به ترتیب از چپ مقایسه تاریخچه زمانی و دامنه طیف فوریه پاسخ ثبت و محاسبه شده نامیرا در تاج در مدل دو و سه بعدی در سه جهت ۷۳
- شکل (۹-۵): نسبت طیفی مولفه بالا دست-پایین دست شتاب تاج به گالری به ترتیب از راست در مدل دو و سه بعدی ۷۴
- شکل (۱۰-۵): تغییرات نسبت میرایی نرمال با فرکانس به ترتیب از راست به صورت لگاریتمی و معمولی ۷۵
- شکل (۱۱-۵): به ترتیب از چپ مقایسه تاریخچه زمانی و دامنه طیف فوریه پاسخ ثبت و محاسبه شده با استفاده از مود اول مدل عددی در تاج در مدل دو و سه بعدی در سه جهت ۷۶

- شکل (۵-۱۲): به ترتیب از بالا طیف شتاب مولفه های محرک ورودی و نسبت میرایی نرمال ۷۷
- شکل (۵-۱۳): به ترتیب از چپ مقایسه تاریخچه زمانی و دامنه طیف فوریه پاسخ ثبت و محاسبه شده با میرایی رایلی ۷۸
- پیشنهادی در تاج در مدل دو و سه بعدی در سه جهت ۷۸
- شکل (۵-۱۴): به ترتیب از راست نمودار طیف فوریه سرعت و شتاب تاج سد در جهت بالادست-پایین دست ۷۸
- شکل (۵-۱۵): به ترتیب از راست نمودار طیف پاسخ سرعت و طیف پاسخ شتاب برای پاسخ شتاب تاج در جهت بالادست-پایین دست ۷۹
- شکل (۵-۱۶): نسبت طیفی مولفه بالا دست-پایین دست سرعت تاج به گالری به ترتیب از راست در مدل دو و سه بعدی ۷۹
- شکل (۵-۱۷): به ترتیب از چپ مقایسه تاریخچه زمانی و دامنه طیف فوریه پاسخ ثبت و محاسبه شده با میرایی رایلی از روش سعی و خطا در تاج در مدل دو و سه بعدی در سه جهت ۸۰
- شکل (۵-۱۸): مدول برشی و نسبت میرایی رایلی در سد مسجد سلیمان ۸۱
- شکل (۵-۱۹): منحنی های کاهشی Core به ترتیب از راست بر اساس برآزش نسبت میرایی و مدول برشی نرمال ۸۲
- شکل (۵-۲۰): منحنی های کاهشی Core بر اساس میانگین برآزش مدول برشی و نسبت میرایی ۸۲
- شکل (۵-۲۱): به ترتیب از چپ مقایسه تاریخچه زمانی و دامنه طیف فوریه پاسخ ثبت و محاسبه شده با میرایی هیسترتیک در تاج در مدل دو و سه بعدی در سه جهت ۸۳
- شکل (۵-۲۲): به ترتیب از چپ مقایسه تاریخچه زمانی و دامنه طیف فوریه پاسخ ثبت و محاسبه شده با ویسکوزیته مصنوعی در تاج در مدل دو و سه بعدی در سه جهت ۸۴
- شکل (۵-۲۳): به ترتیب از چپ مقایسه تاریخچه زمانی و دامنه طیف فوریه پاسخ ثبت و محاسبه شده با میرایی موضعی در تاج در مدل دو و سه بعدی در سه جهت ۸۵
- شکل (۵-۲۴): به ترتیب از چپ مقایسه تاریخچه زمانی و دامنه طیف فوریه پاسخ ثبت و محاسبه شده با میرایی ترکیبی در تاج در مدل دو و سه بعدی در سه جهت ۸۵
- شکل (۶-۱): میانگین بزرگنمایی مجذور میانگین مربعات (RMS) سرعت در ارتفاع به ترتیب از چپ برای زلزله های حوزه دور و نزدیک با دامنه 0.1g با میرایی های متفاوت ۹۱
- شکل (۶-۲): میانگین بزرگنمایی مجذور میانگین مربعات (RMS) سرعت در ارتفاع به ترتیب از چپ برای زلزله های حوزه دور و نزدیک با دامنه 0.5g با میرایی های متفاوت ۹۲
- شکل (۶-۳): نسبت طیفی شتاب تاج به محرک ورودی در جهت بالادست-پایین دست برای مدل الاستیک نامیرا ۹۳
- شکل (۶-۴): بزرگنمایی مجذور میانگین مربعات (RMS) سرعت در جهت بالادست-پایین دست در ارتفاع به ترتیب از راست به چپ برای زلزله حوزه دور و نزدیک (در محدوده کرنش های کوچک) ۹۴

فهرست جداول

صفحه

عنوان

۲۱	جدول (۱-۲): ضرایب میرایی در نسبت میرایی ۵ درصد برای سه محرک ورودی متفاوت
۲۷	جدول (۱-۳): مقایسه روش مشتق ضمنی و صریح
۴۲	جدول (۲-۳): توابع مختلف برای میرایی هیسترتیک به ترتیب تعداد پارامترهای مورد نیاز برای کالیبراسیون
۵۳	جدول (۱-۴): پارامترهای استفاده شده در مرحله تحلیل دینامیکی سد مسجدسلیمان
۵۷	جدول (۲-۴): PGA: شتابنگاشت های انتخابی به منظور محاسبه فرکانس مود اصلی مدل سد مسجد سلیمان
۶۵	جدول (۳-۴): مقایسه فرکانس (برحسب هرتز) مود اول بالادست-پایین دست سد در تحلیل های عددی و نتایج آزمایش
۶۹	جدول (۱-۵): مشخصات کلی نگاشتهای ثبت شده زلزله های مورخ ۱۳۸۲/۱۰/۱۶ بر روی نقاط مختلف بدنه سد
۷۶	جدول (۲-۵): پارامترهای میرایی رایلی با روش استفاده از فرکانس مود اول مدل عددی
۸۰	جدول (۳-۵): پارامترهای میرایی رایلی با روش استفاده از روش نسبت طیفی
۸۲	جدول (۴-۵): پارامتر های میرایی هیسترتیک با مدل سه پارامتری با معیار میانگین منحنی های کاهش
۸۹	جدول (۱-۶): پارامتر های میرایی هیسترتیک برای نواحی مختلف مدل در تحلیل حساسیت
۸۹	جدول (۲-۶): مشخصات شتابنگاشت های حوزه دور و نزدیک (مدت دوام=۱۵ ثانیه)
۹۰	جدول (۳-۶): پارامتر های میرایی رایلی در تحلیل حساسیت
۹۳	جدول (۴-۶): PGA: شتابنگاشت های حوزه دور و نزدیک (مدت دوام=۱۵ ثانیه) بر حسب g

فصل اول

۱-۱- مقدمه

مبحث مدل های رفتاری در خاک، از مفاهیم پایه در علم مهندسی ژئوتکنیک است. از همین رو فصل اول این تحقیق، به مفاهیم پایه ای میرایی در مدل های رفتاری خاک اختصاص داده شده است. در این فصل، مدل های رفتاری به سه دسته ویسکوالاستیک خطی، خطی معادل و غیرخطی تقسیم می شود. مدل های غیر خطی، پیچیدگی بیشتری را نسبت به دو مدل دیگر دارند، ولی پاسخ های واقعی تری را نیز ارائه می دهند. از آنجایی که مدل های رفتاری مور کلمب و هیپربولیک، از مرسوم ترین مدل های رفتاری غیرخطی در تحلیل های استاتیکی و دینامیکی سد های خاکی هستند، مفاهیم میرایی در این دو مدل بررسی خواهد شد.

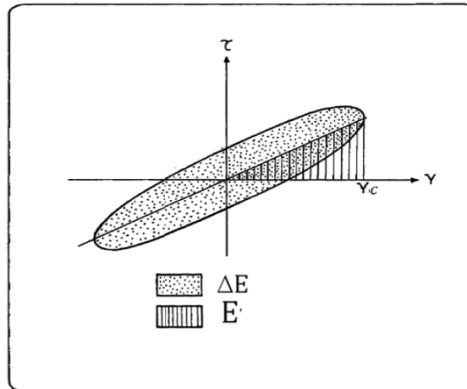
۱-۲- مدل ویسکوالاستیک خطی

هنگامی که خاک تحت کرنش های کوچک، در حد 10^{-6} تا 10^{-4} قرار می گیرد، استفاده از مدل الاستیک رضایت بخش بوده و مهمترین پارامتر جهت مدل کردن خاک، مدول برشی می باشد، ولی در کرنش های بزرگتر مدول برشی با کرنش کاهش یافته و اتلاف انرژی در سیستم رخ می دهد. بنابراین مدول برشی و میرایی پارامتر های مهم در پاسخ خواهند بود [۱].

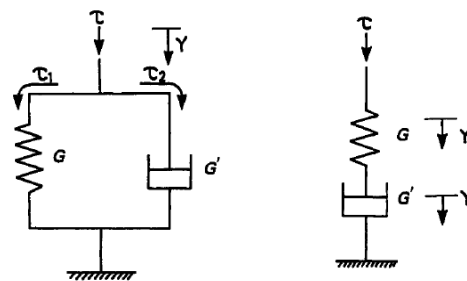
معمولا میرایی در خاک به صورت انرژی مستهلک شده امواج منتشره که به حرارت تبدیل می شوند، در نظر گرفته می شود. این عمل تبدیل همیشه با کاهش دامنه موج همراه است. میرایی ویسکوز با طبیعت مکانیکی ساده اش غالبا جهت معرفی این استهلاک انرژی به کار می رود. برای مقاصد انتشار موج ویسکوالاستیک، خاک ها معمولا به صورت اجسام Kelvin-Voigt مدل می شود (یعنی مصالح با رفتار خطی که مقاومتشان در برابر تغییر شکل های برشی مجموع مقاومت یک بخش الاستیک و یک بخش ویسکوز می باشد). در این مدل حلقه تنش-کرنش هیستریک به صورت یک بیضی خواهد بود، که در شکل (۱-۱) نشان داده شده است. اگرچه این مدل، متداول ترین مدل مورد استفاده برای خاک ها بوده، ولی فقط معرف یکی از بی نهایت مدل رئولوژیک^۱ می باشد. با تنظیم مجدد و یا افزودن فنرها و زائل کننده های بیشتر به سیستم، نمونه های بسیار متفاوتی از خاک را می توان مدل کرد، مثل مدل Maxwell، که معمولا میزان پیچیدگی حل معادلات حرکت افزایش خواهد یافت [۲]. در شکل (۱-۲) سیستم فنر-میراگر مدل Kelvin-Voigt و Maxwell نشان داده شده است.

در خاک های واقعی، استهلاک انرژی الاستیک در اثر لغزش ذرات نسبت به یکدیگر صورت می گیرد؛ در نتیجه مشخصات استهلاک انرژی آنها مستقل از فرکانس است. جهت حذف وابستگی فرکانس در عین حال که سهولت روابط ویسکوالاستیک حفظ شود، روابط تئوریک به گونه ای تنظیم می گردد تا ویسکوزیته معادلی تولید شود که ضریب میرایی مستقل از فرکانس شود [۲].

¹-Rheologic Model



شکل (۱-۱): منحنی هیستریزس تولید شده توسط مدل کلوین [۲]



(a) Kelvin model

(b) Maxwell model

شکل (۲-۱): نمونه ای از مدل های ویسکوالاستیک خطی [۳]

تحلیل این مدل هم می تواند در فضای فرکانس و هم می تواند در فضای زمان انجام گیرد. ولی از آنجایی که در تحلیل فضای زمان نمی توان میرایی را به صورت مستقل از فرکانس بیان کرد، عموماً از تحلیل در فضای فرکانس استفاده می شود و اکثراً از همین مدل برای حل دقیق انتشار یک بعدی امواج به صورت شکل (۳-۱) استفاده می شود.

در مدل کلوین برای یک بارگذاری ثابت، در لحظه اول بارگذاری، میراگر مانع از تغییر شکل سیستم می شود و در زمان بی نهایت، فنر جلوی تغییر مکان بیش از حد سیستم را می گیرد، که مشابه حالت تحکیم در خاک است [۱]. حل یک بعدی معادله موج SH با فرض مدل Kelvin-Voigt که در آن معادله یک بعدی حرکت برای موج های برشی که به صورت قائم انتشار می یابند به صورت زیر است.

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial \tau}{\partial z} \quad (1-1)$$

که ρ ، دانسیته، τ ، تنش برشی، u ، جابجایی و z ، عمق هستند.

رفتار خاک با Kelvin-Voigt تقریب زده می شود بنابراین رابطه تنش- کرنش برشی به صورت زیر بیان می شود.



$$\tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma}{\partial t} \quad (2-1)$$

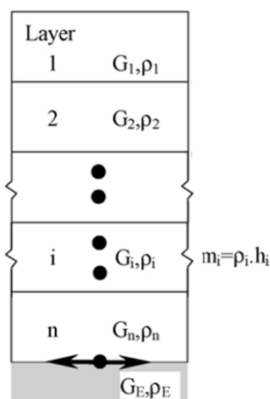
که G ، مدول برشی، γ ، کرنش برشی و η ، ویسکوزیته هستند.
با جایگذاری معادله (2-1) در (1-1) داریم

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (3-1)$$

این معادله می تواند برای انتشار موج هارمونیک برای خاک چند لایه حل شود. با این حل، مقدار u برای هر لایه با استفاده از تابع انتقال زیر به دست می آید [1].

$$F_{ij} = \frac{a_i(\omega) + b_i(\omega)}{a_j(\omega) + b_j(\omega)} \quad (4-1)$$

که در آن F_{ij} دامنه تابع انتقال بین لایه های i و j است و a_i و a_j دامنه های نرمال شده موج های رو به بالا در لایه i و j است و b_i و b_j دامنه های نرمال شده موج های رو به پایین در لایه i و j است. عموماً نرمال کردن دامنه های موج نسبت به دامنه در لایه اول (بالایی) انجام می گیرد که در آن به دلیل انعکاس کامل موج در سطح آزاد (شرایط تنش برشی صفر) $a_1 = b_1$ است.



شکل (3-1): سیستم یک بعدی خاک [1]

با کرنش برشی به صورت معادله

$$\gamma = \gamma_0 \sin \omega t \quad (5-1)$$

استهلاک انرژی در یک سیکل به صورت زیر خواهد بود

$$E_D = \int_{t_0}^{t_0+2\pi/\omega} \tau d\gamma = \int_{t_0}^{t_0+2\pi/\omega} \tau \frac{\partial \gamma}{\partial t} dt = \pi \eta \omega \gamma_0^2 \quad (6-1)$$



معادله فوق نشان می دهد انرژی مستهلک شده تابعی از فرکانس است. ولی تجربه نشان داده است که میرایی در بازه مورد علاقه مهندسی مستقل از فرکانس است. بنابراین بهتر است ویسکوزیته برحسب نسبت میرایی مستقل از فرکانس بیان شود. پس نسبت میرایی به صورت زیر خواهد بود.

$$\xi = \frac{E_D}{4\pi E_s} = \frac{\eta\omega}{2G} \quad (7-1)$$

$$E_s = \frac{1}{2} G\gamma_0^2 \quad \text{که}$$

بنابراین

$$\eta = \frac{2G}{\omega} \xi \quad (8-1)$$

با جایگذاری این معادله در معادله (۲-۱) معادله موج برای بارگذاری هارمونیک با فرکانس دایره ای ω مستقل از فرکانس می شود.

چون حل معادله برای یک بارگذاری دلخواه با تبدیل محرک ورودی به جمع محرک های هارمونیک با استفاده از تبدیل فوریه انجام می شود، میرایی سیستم به دلیل وابسته به فرکانس شدن ویسکوزیته، مستقل از فرکانس می شود [۱].

۱-۳- مدل خطی معادل

رایج ترین ابزار تحلیلی جهت نمایش خواص وابسته به کرنش ولی مستقل از فرکانس خاک، روش خطی معادل بر اساس مفهوم ویسکوالاستیک است. این روش، تکرار آنالیز خطی با تغییر گام به گام خواص خاک با استفاده از سعی و خطا می باشد. در این روش، رفتار غیر خطی خاک با استفاده از سعی و خطا و حل معادلات خطی، به صورت تقریب برآورد می گردد. از آنجائیکه خاک دارای رفتار غیر خطی می باشد، رفتار واقعی هیستریزس تنش-کرنش خاک را می توان با در نظر گرفتن خواص معادل خطی خاک تعیین نمود. مدول برشی معادل خطی، عموماً به صورت مدول برشی سکانت^۲ و نسبت میرایی معادل خطی به صورت نسبت میرایی که اتلاف انرژی یکسانی با آنچه منحنی هیستریزس متعلق به یک سیکل واقعی تولید می کند، در نظر گرفته می شود، که در شکل (۴-۱) نشان داده شده است [۱].

از آنجایی که موثرترین پارامتر در مدول برشی معادل خطی و نسبت میرایی معادل خطی، کرنش می باشد، منحنی های این پارامترها بر حسب کرنش نشان داده می شود.

مراحل روش خطی معادل را می توان به صورت زیر بیان کرد [۱].

(۱) حدس اولیه برای کرنش

²-Secant Module

