



دانشگاه گیلان

پایان نامه کارشناسی ارشد

تأثیر ناهمگونی نهشته های طبیعی بر پاسخ
دینامیکی ساختگاه

از

امین علی نژاد طاهری

استادان راهنما

دکتر رضا جمشیدی چناری

دکتر محمد داودی

اسفند - ۱۳۹۰

اللَّهُمَّ احْمِزْنِي

دانشکده پردیس

گروه عمران

گرایش مکانیک خاک و پی

تأثیر ناهمگونی نهشته های طبیعی بر پاسخ
دینامیکی ساختگاه

از

امین علی نژاد طاهری

استادان راهنما

دکتر رضا جمشیدی چناری

دکتر محمد داودی

اسفند - ۱۳۹۰

تقدیم به:

پدر بزرگوار و مادر مهربانم

آن دو فرشته ای که از خواسته هایشان گذشتند، سختی ها را به جان خریدند و خود را سپر بلا می
مشکلات و ناملایمات کردند تا من به جایگاهی که اکنون در آن ایستاده ام برسم.

و نیز به برادر عزیزم

تقدیر و تشکر:

شکر خداوند متعال را به جای آورده که توفیق نصیب من کرد تا این پایان نامه را به سرانجام برسانم و با سپاس از

استاد ارجمند جناب آقای دکتر رضا حمیدی چناری که در تمامی مراحل انجام این پایان نامه از حمایت های

بی دریغ ایشان بهره مند شدم و جناب آقای دکتر محمد داودی که با صبر و توصیه های ارزشمند خود مسیر انجام این

پایان نامه را آسان نمودند. از داوران محترم جناب آقای دکتر سعید پورزینلی و جناب آقای دکتر محمود حسن لو

را که زحمت بازخوانی و داوری این مجموعه را بر عهده داشتند، صمیمانه تشکر و قدردانی دارم.

تقدیم ب

تقدیر پ

فهرست مطالب ث

فهرست جدول ها ز

فهرست شکل ها س

چکیده فارسی ع

چکیده انگلیسی غ

فهرست مطالب

۱.....	فصل اول مقدمه
۲.....	۱-۱ مقدمه:
۳.....	۲-۱ اهداف
۴.....	۳-۱ روش انجام تحقیق
۴.....	۴-۱ معرفی فصول پایان نامه
۶.....	فصل دوم مروری بر ادبیات فنی
۷.....	۱-۲ مقدمه
۸.....	۲-۲ عدم قطعیت
۱۱.....	۳-۲ تغییرپذیری فضایی ذاتی خاک
۱۱.....	۱-۳-۲ تغییرپذیری فضایی پیوسته
۱۱.....	۲-۳-۲ تغییرپذیری فضایی گسسته
۱۲.....	۳-۳-۲ پروفیل خاک
۱۴.....	۱-۳-۳-۲ ساختار همبستگی
۱۵.....	۲-۴-۳-۲ ضریب تغییرات
۱۶.....	۳-۴-۳-۲ مقیاس نوسان
۱۶.....	۴-۴-۳-۲ طول همبستگی
۱۸.....	۵-۳-۲ مدل‌های کاتوره‌ای
۲۰.....	۶-۳-۲ مشخصات احتمالاتی تغییرپذیری فضایی ویژگیهای خاک

۲۴	۴-۲- عدم قطعیت آماری و خطاهای اندازه‌گیری
۲۵	۵-۲- عدم قطعیت مدل
۲۶	۶-۲- واقعی سازی مونت کارلو
۲۶	۷-۲- آمار و احتمال
۲۶	۱-۷-۲- مقدمه
۲۷	۲-۷-۲- تحلیل گرافیکی تغییرپذیری
۲۷	۱-۲-۷-۲- هیستوگرام
۲۷	۲-۲-۷-۲- نمودار فراوانی
۲۸	۳-۲-۷-۲- نمودار چگالی فراوانی
۲۸	۴-۲-۷-۲- نمودار فراوانی تجمعی
۲۸	۳-۷-۲- فرآیندهای کاتوره ای
۲۹	۱-۳-۷-۲- تابع چگالی احتمالی
۲۹	۲-۳-۷-۲- تابع توزیع احتمال
۳۰	۳-۳-۷-۲- انواع توابع چگالی و توزیع احتمالاتی
۳۰	۱-۳-۳-۷-۲- توزیع احتمالی پیوسته
۳۰	۱-۱-۳-۳-۷-۲- تابع توزیع نرمال یا گوسی
۳۲	۲-۱-۳-۳-۷-۲- تابع توزیع نرمال لگاریتمی
۳۴	۴-۳-۷-۲- امیدهای آماری فرآیندهای کاتوره ای
۳۵	۵-۳-۷-۲- متغیر کاتوره ای
۳۶	۱-۵-۳-۷-۲- تحلیل کمی متغیرها
۳۶	۱-۱-۵-۳-۷-۲- روند یقینی مرکزی
۳۶	۲-۱-۵-۳-۷-۲- پراکندگی داده ها

۳۷	..... چولگی ۳-۱-۵-۳-۷-۲
۳۷	..... همبستگی و استقلال ۴-۱-۵-۳-۷-۲
۳۸	..... ۸-۲ تولید میدان کاتوره ای
۴۰	..... فصل سوم اثرات ساختگاهی
۴۱	..... ۱-۳ مقدمه:
۴۲	..... ۲-۳ تعاریف و اصطلاحات مهم
۴۲	..... ۱-۲-۳ منحنی شتاب زمان
۴۲	..... ۲-۲-۳ طیف فوریه دامنه شتاب نگاشت
۴۲	..... ۳-۲-۳ شتاب حد اکثر زمین
۴۳	..... ۴-۲-۳ پریود غالب شتاب
۴۳	..... ۵-۲-۳ نسبت طیفی
۴۳	..... ۶-۲-۳ پریود طبیعی آبرفت
۴۴	..... ۳-۳ اثر ساختگاه
۴۵	..... ۱-۳-۳ اثرات شرایط ساختگاه بر حرکت زمین
۴۶	..... ۲-۳-۳ نمونه هایی از حرکات اندازه گیری شده زمین
۴۷	..... ۱-۲-۳-۳ مکزیکوسیتی ۱۹۸۵
۴۹	..... ۲-۲-۳-۳ خلیج سانفرانسیسکو ۱۹۸۹
۵۱	..... ۴-۳ انتشار امواج
۵۵	..... ۱-۴-۳ امواج صفحه ای
۵۷	..... ۲-۴-۳ لایه همگن با ضخامت محدود
۵۹	..... ۳-۴-۳ توابع بزرگنمایی
۶۰	..... ۱۱-۳-۴-۳ آبرفت متشکل از لایه های متعدد

- ۵-۳ تحلیل دینامیکی ۶۱
- ۱-۵-۳ تحلیل دینامیکی یک‌بعدی ۶۱
- ۲-۵-۳ تحلیل دینامیکی دوبعدی ۶۲
- ۳-۵-۳ تحلیل به روش خطی ۶۲
- ۴-۵-۳ تحلیل به روش خطی معادل ۶۲
- ۱-۴-۵-۳ روش اندازه‌گیری مستقیم پارامتر با آزمایش ۶۴
- ۲-۴-۵-۳ روش استفاده از روابط تجربی موجود ۶۴
- ۵-۵-۳ تحلیل به روش غیر خطی ۶۶
- ۶-۳ تاثیر محتوای فرکانسی حرکت سنگ بستر بر حرکات لرزه‌ای سطح زمین ۶۷
- ۷-۳ تاثیر سطح شتاب حد اکثر سنگ بستر بر حرکات لرزه‌ای سطح زمین ۶۸
- ۱-۷-۳ تاثیر شتاب بیشینه سنگ بستر بر شتاب بیشینه سطح زمین ۶۸
- ۲-۷-۳ تاثیر شتاب بیشینه سنگ بستر بر پی‌بود دینامیکی آبرفت ۶۸
- ۸-۳ زلزله‌های حوزه نزدیک ۷۱
- ۱-۸-۳ اصول شناخت زلزله‌های حوزه نزدیک گسل ۷۱
- ۲-۸-۳ خصوصیات زلزله‌های حوزه نزدیک ۷۲
- ۳-۸-۳ جهت‌پذیری ۷۳
- ۱-۳-۸-۳ شرایط ایجاد جهت‌پذیری و عوامل موثر در آن ۷۵
- ۴-۸-۳ اثر تغییر مکان ماندگار ۷۹
- ۵-۸-۳ اثر فرا دیواره ۸۱
- ۶-۸-۳ اثر مولفه قائم ۸۱
- ۷-۸-۳ شدت زلزله‌های حوزه نزدیک ۸۲
- ۸-۸-۳ اثر ساختگاه در مشخصات پالس‌های جهت‌پذیری زلزله‌های حوزه نزدیک ۸۲

۸۶	فصل چهارم معرفی نرم افزار تحلیل FLAC
۸۷	۱-۴ مقدمه
۸۸	۲-۴ تشریح عبارات و مفاهیم
۸۸	۱-۲-۴ روش تفاضل محدود
۸۹	۲-۲-۴ روش صریح (پیش رونده با زمان)
۹۱	۳-۲-۴ تحلیل لاگرانژی
۹۱	۳-۴ روابط تحلیل عددی
۹۱	۱-۳-۴ المان بندی
۹۱	۲-۳-۴ معادلات تفاضل محدود
۹۱	۳-۳-۴ روند تحلیل در برنامه FLAC
۹۴	۴-۴ تحلیل دینامیکی در FLAC
۹۴	۱-۴-۴ ملاحظات مدلسازی دینامیکی
۹۴	۲-۴-۴ گام زمانی در تحلیل دینامیکی
۹۵	۳-۴-۴ شرایط مرزی و بارگذاری دینامیکی
۹۵	۱-۳-۴-۴ مرزهای آرام (جاذب)
۹۷	۲-۳-۴-۴ مرزهای میدان-آزاد
۹۹	۴-۴-۴ اعمال محرک ورودی دینامیکی
۹۹	۵-۴-۴ میرایی مکانیکی
۱۰۰	۶-۴-۴ میرایی رایلی
۱۰۲	۱-۶-۴-۴ نسبت میرایی، ξ_{min}
۱۰۲	۲-۶-۴-۴ فرکانس مرکزی، ω_{min}

۱۰۳	..... میرایی هیسترتیک
۱۰۵	..... ۱-۷-۴-۴ کالیبراسیون مدل های هیسترتیک با منحنی های آزمایشگاهی
۱۰۶	..... ۲-۷-۴-۴ مشکلات عملی در رابطه با استفاده از میرایی هیسترتیک
۱۰۶	..... ۱-۲-۷-۴-۴ مقایسه پاسخ میرایی هیسترتیک با نتایج آزمایشگاهی
۱۰۶	..... ۲-۲-۷-۴-۴ کنترل سطح کرنش سیکلی
۱۰۷	..... ۳-۲-۷-۴-۴ کنترل ضریب کاهش مدول برشی
۱۰۷	..... ۴-۲-۷-۴-۴ کنترل شرایط تنش برشی اولیه
۱۰۸	..... ۳-۷-۴-۴ ترکیب میرایی هیسترتیک با مدل خطی الاستیک
۱۰۹	..... ۴-۷-۴-۴ ترکیب میرایی هیسترتیک با مدل موهر-کلمب
۱۱۰	..... ۵-۷-۴-۴ میرایی موضعی
۱۱۰	..... ۵-۴ انتشار موج
۱۱۲	..... فصل پنجم مدلسازی عددی
۱۱۳	..... ۱-۵- مقدمه
۱۱۴	..... ۲-۵- مدلسازی دینامیکی در برنامه FLAC
۱۱۴	..... ۱-۲-۵- هندسه آبرفت
۱۱۴	..... ۲-۲-۵- اندازه المان ها
۱۱۶	..... ۳-۲-۵- مشخصه های آماری اختصاص یافته به مدل دینامیکی آبرفت
۱۱۶	..... ۴-۲-۵- تحلیل استاتیکی و نحوه توزیع تنش مدل
۱۱۷	..... ۵-۲-۵- محرک ورودی در تحلیل دینامیکی
۱۱۸	..... ۶-۲-۵- ابعاد آبرفت در مدل و بررسی کارایی مرزهای جاذب FLAC در تحلیل دینامیکی
۱۱۸	..... ۷-۲-۵- مرزهای میدان آزاد
۱۱۹	..... ۸-۲-۵- مرز های آرام

۱۱۹	۳-۵ بررسی رفتار تشدید نهشته های طبیعی (بخش اول مطالعه)
۱۲۰	۱-۳-۵ مشخصات شتابنگاشت مورد استفاده در تحلیل دینامیکی جهت تعیین فرکانس طبیعی مدل
۱۲۱	۲-۳-۵ تحلیل های یقینی
۱۲۳	۳-۳-۵ تحلیل های کاتوره ای
۱۲۶	۱-۳-۳-۵ بررسی کفایت تعداد واقعی سازی ها
۱۲۷	۲-۳-۳-۵ بررسی نتایج تحلیل های دینامیکی
۱۳۶	۴-۵ رفتار بزرگنمایی نهشته های طبیعی در اثر نگاشت های حوزه نزدیک و دور (بخش دوم مطالعه)
۱۳۷	۱-۴-۵ مشخصات شتابنگاشت های واقعی حوزه نزدیک و دور مورد استفاده در تحلیل دینامیکی
۱۳۹	۲-۴-۵ همپایه نمودن شتابنگاشت ها
۱۴۱	۳-۴-۵ تحلیل های یقینی
۱۴۲	۴-۴-۵ تحلیل های کاتوره ای
۱۴۳	۱-۴-۴-۵ بررسی کفایت تعداد واقعی سازی ها
۱۴۳	۲-۴-۴-۵ بررسی نتایج تحلیل های کاتوره ای
۱۵۸	فصل ششم جمع بندی و نتیجه گیری
۱۵۱	۱-۶ کلیات
۱۵۱	۲-۶ جمع بندی
۱۵۲	۳-۶ نتیجه گیری
۱۵۳	۴-۶ ارائه پیشنهادات جهت ادامه مطالعات
۱۵۵	منابع و مراجع
۱۶۵	پیوست الف نمودارهای میانگین و ضریب تغییرات بزرگنمایی امواج ورودی

فهرست جدول ها

- جدول ۱-۲: ضرایب تغییرات ویژگیهای خاک [۳۶]..... ۱۷
- جدول ۲-۲: توابع خودهمبستگی و مقیاس نوسان متناظر با آنها [۲۶]..... ۱۸
- جدول ۳-۲: طول همبستگی برای ویژگیهای مختلف خاکها [۱۱]..... ۱۹
- جدول ۴-۲: مشخصات توزیع فضایی نتایج آزمایش CPT برای خاک های چسبنده و غیر چسبنده [۱۹]..... ۲۰
- جدول ۵-۲: ضرایب تبدیل مقاومت برشی زهکشی نشده به مدول برشی [۱۹]..... ۲۱
- جدول ۶-۲: مقادیر بدست آمده از مطالعات محققین مختلف برای مقیاس نوسان..... ۲۳
- جدول ۷-۲: مقادیر بدست آمده از مطالعات محققین مختلف برای طول همبستگی..... ۲۴
- جدول ۸-۲: مدل‌های رایج برای متغیرهای تصادفی پیوسته..... ۳۱
- جدول ۱-۴: مقایسه روش مشتق ضمنی و صریح [۷۷]..... ۹۰
- جدول ۲-۴: توابع مختلف برای میرایی هیسترتیک به ترتیب تعداد پارامترهای مورد نیاز برای کالیبراسیون..... ۱۰۴
- جدول ۱-۵: مشخصات مکانیکی آبرفت در تحلیل دینامیکی..... ۱۱۶
- جدول ۲-۵: فرکانس طبیعی مدل در تحلیل های متعین..... ۱۲۳
- جدول ۳-۵: مشخصات شتابنگاشت های حوزه نزدیک انتخاب شده برای تحلیل دینامیکی آبرفت..... ۱۳۷
- جدول ۴-۵: مشخصات شتابنگاشت های حوزه دور انتخاب شده برای تحلیل دینامیکی آبرفت..... ۱۳۷
- جدول ۵-۵: مقادیر ضریب بزرگنمایی سه نوع خاک سست، متوسط و سخت..... ۱۴۲

فهرست شکل ها

- شکل ۱-۲: عدم قطعیتها در تخمین ویژگیهای خاک [۱۲]..... ۱۰
- شکل ۲-۲: نمونه یک پروفیل خاک در آزمایش SCPT [۳۰]..... ۱۲
- شکل ۳-۲: دیاگرام شماتیک تغییرپذیری ذاتی خاک [۱۲]..... ۱۳
- شکل ۴-۲: آزمایشات مقاومت نوک مخروط برجای ثبت شده ۱۵
- شکل ۵-۲: ضریب تغییرات تغییرپذیری ذاتی مقاومت برشی زهکشی نشده در برابر میانگین مقاومت برشی زهکشی نشده [۸]..... ۲۲
- شکل ۶-۲: ضریب تغییرات، مقاومت برشی زهکشی نشده در برابر میانگین مقاومت برشی زهکشی نشده [۴۰]..... ۲۳
- شکل ۷-۲: نمونههای از یک توزیع نرمال پیوسته ۳۲
- شکل ۸-۲: نمونههای از توزیع لگاریتم نرمال ۳۳
- شکل ۹-۲: توصیف آماری و قطعی ویژگی خاک، الف) ویژگی خاک در حالات قطعی و عدم قطعیت؛ ب) توابع توزیع نرمال، لگاریتم نرمال و یکنواخت ۳۵
- شکل ۱-۳: مکانیزم تولید و انتشار امواج زلزله تا سطح زمین [۴]..... ۴۱
- شکل ۲-۳: توابع بزرگنمایی برای دو ساختگاه مختلف، الف) ساختگاه با خاک نرم؛ ب) ساختگاه با خاک سخت [۵۰]..... ۴۵
- شکل ۳-۳: بزرگنمایی موج ورودی در نهشته های طبیعی، الف) نمونه ای از پروفیل خاک؛ ب) تابع بزرگنمایی مربوط به نگاشت سطحی [۵۰]..... ۴۶
- شکل ۴-۳: طیف پاسخ سرعت و شتاب در امتداد مقطعی از شهر سانفرانسیسکو به عرض ۴ مایل [۵۰]..... ۴۷
- شکل ۵-۳: شرایط ژئوتکنیکی مکزیکوسیتی، الف) مناطق با ساختگاه متفاوت؛ ب) منحنی های هم ضخامت خاک نرم [۵۰]..... ۴۸
- شکل ۶-۳: مشخصات نگاشت های ثبت شده در دو ایستگاه SCT و UNAM، الف) شتاب نگاشت های ثبت شده در دو ساختگاه؛ ب) طیف پاسخ شتاب آنها [۵۰]..... ۴۸
- شکل ۷-۳: حداکثر شتاب ثبت شده در نقاط مختلف خلیج سانفرانسیسکو در زلزله لوماپریتا [۵۰]..... ۵۰

- شکل ۳-۸: مشخصات نگاشت های ثبت شده در جزایر Yerba Buena و Treasure در زلزله لوماپریتا، الف) شتاب نگاشت های ثبت شده در دو ساختگاه؛ ب) طیف پاسخ شتاب آنها [۵۰]..... ۵۰
- شکل ۳-۹: روند انکسار امواج در حین عبور از لایه های خاک [۵۰]..... ۶۱
- شکل ۳-۱۰: الگوریتم روش خطی معادل [۵۳]..... ۶۴
- شکل ۳-۱۱: منحنی رفتاری نسبت مدول برشی خاک ارائه شده توسط Vocetic و Dobry برای مقادیر مختلف شاخص خمیری [۵۴]..... ۶۵
- شکل ۳-۱۲: منحنی رفتاری میرایی خاک ارائه شده توسط Vocetic و Dobry برای مقادیر مختلف شاخص خمیری [۵۴]..... ۶۵
- شکل ۳-۱۳: منحنی رفتاری نسبت مدول برشی خاک ارائه شده توسط Seed و Idriss [۵۵]..... ۶۶
- شکل ۳-۱۴: منحنی رفتاری میرایی خاک ارائه شده توسط Seed و Idriss [۵۵]..... ۶۶
- شکل ۳-۱۵: رابطه تقریبی بین شتاب های بیشینه ساختگاه های خاکی و سنگی [۵۹]..... ۶۹
- شکل ۳-۱۶: تاریخچه زمانی شتاب و سرعت ثبت شده در ایستگاه TCU052، الف) طی زلزله حوزه نزدیک زلزله چی چی؛ ب) زلزله حوزه دور [۶۲]..... ۷۲
- شکل ۳-۱۷: شکل هندسی گسل در حال گسیختگی و مسیر تا ایستگاه لرزه ای [۶۳]..... ۷۴
- شکل ۳-۱۸: تغییرات آزیموتی تابع زمانی چشمه برای گسیختگی یک گسل در جهات مختلف [۶۳]..... ۷۴
- شکل ۳-۱۹: نمودار شماتیک انواع جهت پذیری در امتداد گسیختگی نسبت به ساختگاه [۶۴]..... ۷۵
- شکل ۳-۲۰: منطقه Landers که موقعیت کانون زلزله، ایستگاه های ثبت رکورد و نگاشت های ثبت شده در سال ۱۹۶۲ [۶۵]..... ۷۶
- شکل ۳-۲۱: طیف پاسخ هموار شده مولفه عمود بر گسل سه نگاشت حوزه نزدیک به همراه نگاشت حوزه دور Taft [۶۹]..... ۷۸
- شکل ۳-۲۲: نگاشت های مربوط به زلزله Lucerne، الف) تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و تغییرمکان مولفه های عمود بر گسل و موازی گسل؛ ب) طیف پاسخ تغییرمکان [۶۵]..... ۷۸
- شکل ۳-۲۳: نمودار شماتیک نشان دهنده جهت پدیده های جهت پذیری و تغییرمکان ماندگار برای گسلش امتداد لغز و شیب لغز [۶۶]..... ۸۰
- شکل ۳-۲۴: نمودار شماتیک تاریخچه زمانی پالس جهت پذیری و تغییرمکان ماندگار گسلش امتداد لغز و شیب لغز [۶۶]..... ۸۰

- شکل ۳-۲۵: مولفه شرقی-غربی نگاشت Sakarya در زلزله Kocaeli [۷۰]..... ۸۰
- شکل ۳-۲۶: نمودار اثر فرا دیوار [۶۴]..... ۸۱
- شکل ۳-۲۷: نگاشت های ثبت شده در ناحیه Gilroy در زلزله Loma prieta در فواصل بترتیب از بالا به پایین ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴ کیلومتر از گسل ، الف) تاریخچه زمانی سرعت مولفه عمود بر گسل؛ ب) طیف سرعت [۷۶]..... ۸۳
- شکل ۳-۲۸: پاسخ ساختگاه دارای خاک سخت به تحریک ورودی نیم پالسی در سنگ با پریود های مختلف، الف) پریود ۲ ثانیه؛ ب) پریود ۰/۶ ثانیه [۷۶]..... ۸۴
- شکل ۳-۲۹: تاثیر عمق مقطع و شدت تحریک ورودی روی دامنه و پریود پالس برای ساختگاه دارای خاک سخت؛ الف) عمق ۲۰۰ متر؛ ب) عمق ۶۰ متر؛ ج) عمق ۳۰ متر [۷۶]..... ۸۴
- شکل ۳-۳۰: اثر سختی خاک و شدت محرک ورودی بر روی دامنه و پریود پالس مولفه عمود بر گسل، الف) ساختگاه سخت؛ ب) ساختگاه خیلی سخت [۷۶]..... ۸۵
- شکل ۴-۱: روند انجام محاسبات در FLAC [۷۷]..... ۹۰
- شکل ۴-۲: تقسیم بندی یک المان چهار ضلعی (الف) نمایی از المان های چهار ضلعی مورد استفاده در نرم افزار FLAC، ب) نمونه ای از المان مثلثی با بردار های سرعت؛ ج) بردار نیروهای گره ای [۷۷]..... ۹۱
- شکل ۴-۳: انواع مختلف شرایط بارگذاری و مرزی در FLAC، الف) بستر صلب؛ ب) بستر انعطاف پذیر [۷۷]..... ۹۷
- شکل ۴-۴: مدل در نظر گرفته شده برای تحلیل دینامیکی سازه های سطحی و شبکه المان های میدان-آزاد [۷۷]..... ۹۸
- شکل ۴-۵: میرایی رایلی نرمال شده میرایی رایلی با فرکانس [۷۷]..... ۱۰۱
- شکل ۴-۶: نمودار طیف سرعت در برابر فرکانس [۷۷]..... ۱۰۲
- شکل ۴-۷: نمودار تنش کرنش در حالت الاستیک به همراه میرایی هیسترتیک [۷۷]..... ۱۰۸
- شکل ۴-۸: سیکل تنش-کرنش برشی در میرایی هیسترتیک با مدل موهر کلمب [۷۷]..... ۱۰۹
- شکل ۵-۱: مقطع نمونه آبرفت..... ۱۱۴
- شکل ۵-۲: نمای نزدیک از المان بندی آبرفت در FLAC..... ۱۱۵
- شکل ۵-۳: منحنی تنش-کرنش در خاک الاستیک با اعمال میرایی هیسترتیک..... ۱۱۷

- شکل ۴-۵: توزیع تنش های قائم ناشی از وزن در آبرفت..... ۱۱۷
- شکل ۵-۵: مرزهای آزاد در طرفین مدل دینامیکی..... ۱۱۸
- شکل ۶-۵: اعمال مرز جاذب در پایین مدل..... ۱۱۹
- شکل ۷-۵: میانگین طیف شتاب برای ساختگاه های مختلف [۸۷]..... ۱۲۰
- شکل ۸-۵: نگاشت مصنوعی مورد استفاده جهت محاسبه فرکانس طبیعی مدل، الف) شتاب نگاشت موج ورودی؛ ب) طیف
فرکانسی موج ورودی..... ۱۲۱
- شکل ۹-۵: روند افزایشی مدول برشی در خاک با عمق در سه حالت، الف) سست؛ ب) متوسط؛ ج) سخت..... ۱۲۲
- شکل ۱۰-۵: نمودارهای نسبت طیفی برای سه حالت، الف) رس نرم؛ ب) رس متوسط؛ ج) رس سخت..... ۱۲۳
- شکل ۱۱-۵: نحوه تولید ماتریس فاصله در المان بندی مدل تفاضل محدود..... ۱۲۴
- شکل ۱۲-۵: نتایج حاصل از خطای نسبی میانگین گیری و ضرب تغییرات فرکانس طبیعی آبرفت برای $L=2\text{ m}$
..... $\mu_G = 74\text{ MPa}$ و $\text{COV}_G=60\%$ ۱۲۷
- شکل ۱۳-۵: نمودار مقایسه ای پراکندگی نتایج تحلیل های احتمالاتی با تحلیل های متعین برای خاک رس سست، الف)
..... $\text{COV}_G=20\%$ ؛ ب) $\text{COV}_G=40\%$ ؛ ج) $\text{COV}_G=60\%$ ۱۲۸
- شکل ۱۴-۵: نمودار مقایسه ای پراکندگی نتایج تحلیل های احتمالاتی با تحلیل های متعین برای خاک رس متوسط، الف)
..... $\text{COV}_G=20\%$ ؛ ب) $\text{COV}_G=40\%$ ؛ ج) $\text{COV}_G=60\%$ ۱۲۹
- شکل ۱۵-۵: نمودار مقایسه ای پراکندگی نتایج تحلیل های احتمالاتی با تحلیل های متعین برای خاک رس سخت، الف)
..... $\text{COV}_G=20\%$ ؛ ب) $\text{COV}_G=40\%$ ؛ ج) $\text{COV}_G=60\%$ ۱۳۰
- شکل ۱۶-۵: تغییرات مشخصات آماری فرکانس طبیعی برای خاک سست، الف) میانگین فرکانس طبیعی؛ ب) ضریب تغییرات
فرکانس طبیعی..... ۱۳۲
- شکل ۱۷-۵: تغییرات مشخصات آماری فرکانس طبیعی برای خاک متوسط، الف) میانگین فرکانس طبیعی؛ ب) ضریب
تغییرات فرکانس طبیعی..... ۱۳۳
- شکل ۱۸-۵: تغییرات مشخصات آماری فرکانس طبیعی برای خاک سخت، الف) میانگین فرکانس طبیعی؛ ب) ضریب تغییرات
فرکانس طبیعی..... ۱۳۴

- شکل ۵-۱۹: ساختمان‌های مورد مطالعه، الف) ساختمان‌ها با $\mu_G = 40 \text{ MPa}$ و $\text{COV}_G=20\%$ ؛ ب) ساختمان‌ها با
- ۱۳۴..... $\text{COV}_G=60\%$ و $\mu_G = 40 \text{ MPa}$
- شکل ۵-۲۰: پی‌ریز غالب برای خاک دو لایه [۹۰].....
- ۱۳۵.....
- شکل ۵-۲۱: نمونه پروفیل خاک چند لایه ای.....
- ۱۳۶.....
- شکل ۵-۲۲: تاریخچه زمانی شتاب و سرعت نگاشت حوزه‌های نزدیک و دور، الف) زلزله حوزه نزدیک 1986 N. Palm
- ۱۳۸..... Springs؛ ب) زلزله حوزه دور 1987 Whittier narrows
- شکل ۵-۲۳: مدل دینامیکی آبرفت با توزیع تصادفی مدول برشی تحت محرک ورودی.....
- ۱۴۱.....
- شکل ۵-۲۴: بررسی کفایت تعداد شبیه‌سازی‌ها برای ضریب تغییرات ۶۰٪ و طول همبستگی ۲ متر تحت زلزله N2.....
- ۱۴۳.....
- شکل ۵-۲۵: افزایش نواحی ضعیف با افزایش ضریب تغییرات مدول برشی، الف) $\text{COV}_G=20\%$ ؛ ب) $\text{COV}_G=40\%$ ؛ ج)
- ۱۴۵..... $\text{COV}_G=60\%$ [۹۳]
- شکل ۵-۲۶: نمودار بزرگنمایی برای نسبت $L_H/L_V=1$ تحت زلزله N1، الف) خاک سست؛ ب) خاک متوسط؛ ج) خاک
- ۱۴۷..... سخت
- شکل ۵-۲۷: نمودار بزرگنمایی برای نسبت $L_H/L_V=1$ تحت زلزله N2، الف) خاک سست؛ ب) خاک متوسط؛ ج) خاک
- ۱۴۸..... سخت
- شکل ۵-۲۸: نمودار بزرگنمایی برای نسبت $L_H/L_V=1$ تحت زلزله N3، الف) خاک سست؛ ب) خاک متوسط؛ ج) خاک
- ۱۴۹..... سخت
- شکل الف-۱: نمودار ضریب تغییرات برای نسبت $L_H/L_V=1$ تحت زلزله N1، الف) خاک سست؛ ب) خاک متوسط؛ ج) خاک
- ۱۶۶..... سخت
- شکل الف-۲: نمودار ضریب تغییرات برای نسبت $L_H/L_V=1$ تحت زلزله N2، الف) خاک سست؛ ب) خاک متوسط؛ ج) خاک
- ۱۶۷..... سخت
- شکل الف-۳: نمودار ضریب تغییرات برای نسبت $L_H/L_V=1$ تحت زلزله N3، الف) خاک سست؛ ب) خاک متوسط؛ ج) خاک
- ۱۶۸..... سخت

شکل الف-۴: نمودار بزرگنمایی برای نسبت $L_H/L_V=1$ تحت زلزله F1، الف) خاک سست؛ ب) خاک متوسط؛ ج) خاک سخت

۱۶۹.....

شکل الف-۵: نمودار بزرگنمایی برای نسبت $L_H/L_V=1$ تحت زلزله F2، الف) خاک سست؛ ب) خاک متوسط؛ ج) خاک سخت

۱۷۰.....

شکل الف-۶: نمودار بزرگنمایی برای نسبت $L_H/L_V=1$ تحت زلزله F3، الف) خاک سست؛ ب) خاک متوسط؛ ج) خاک سخت

۱۷۱.....

شکل الف-۷: نمودار ضریب تغییرات برای نسبت $L_H/L_V=1$ تحت زلزله F1، الف) خاک سست؛ ب) خاک متوسط؛ ج) خاک

سخت ۱۷۲.....

شکل الف-۸: نمودار ضریب تغییرات برای نسبت $L_H/L_V=1$ تحت زلزله F2، الف) خاک سست؛ ب) خاک متوسط؛ ج) خاک

سخت ۱۷۳.....

شکل الف-۹: نمودار ضریب تغییرات برای نسبت $L_H/L_V=1$ تحت زلزله F3، الف) خاک سست؛ ب) خاک متوسط؛ ج) خاک

سخت ۱۷۴.....