

۲۲۳۲۵۷۸

راهنمای پهنه‌بندی حرکات لرزه‌ای و نحوه تحلیل دینامیکی اثر ساختگاه بر تشدید امواج زلزله

مؤلفین:

دکتر علی اکبر فیروزی

(استادیار دانشگاه بوتسوانا)

دکتر علی اصغر فیروزی

(پسا دکتری دانشگاه شیراز)

دکتر سید مجدالدین میرمحمدحسینی

(استاد دانشگاه صنعتی امیرکبیر)

انتشارات جهاد دانشگاهی

واحد صنعتی امیرکبیر

نمایشگاه و فروشگاه دائمی: تهران، خیابان حافظ، روبروی خیابان سمیه، جنب دانشگاه صنعتی امیرکبیر،
انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر تلفن: ۹۸۱ ۹۵۰ ۶۶ ۹۸۲۱ + تلفکس: ۹۸۲ ۹۵۰ ۶۶ ۹۸۲۱ +
فروشگاه اینترنتی: www.jdamirkabir.ac.ir

پیشگفتار ناشر

اَطْلُبُوا الْعِلْمَ مِنَ الْمَهْدِ إِلَى اللَّحْدِ

توانمندسازی پایه‌های علمی دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی کشور از وظایف اصلی سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان نظام مقدس جمهوری اسلامی ایران می‌باشد. این مهم، ضمن افزایش اقتدار علمی کشور در عرصه‌های بین‌المللی؛ زمینه‌ساز استقلال اقتصادی با محوریت یافته‌های فن‌آورانه و دانش‌بنیان می‌گردد که خود از ارکان اصلی توسعه پایدار به‌شمار می‌آید. هم‌چنین واضح است که در کنار دو عنصر تعهد و تخصص، دسترسی به اطلاعات روز علمی و تکنولوژی‌های مدرن؛ نیاز اولیه برای توانمندسازی پایه‌های علمی به‌شمار می‌رود.

بر این اساس جهادگران جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر با مدیریت جهادی خود علاوه بر فعالیت‌های فرهنگی، پژوهش‌های فن‌آورانه و نیز آموزش‌های تخصصی فن‌آور و اشتغال‌محور، با چاپ کتب و مجلات علمی متخصصان و دانشگاہیان فرهیخته کشور و هم‌چنین ترجمه آثار فاخر و به‌روز دنیا توسط "انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر «پلی تکنیک تهران»" که یکی از معتبرترین انتشارات دانشگاهی در حوزه علوم پایه و مهندسی می‌باشد؛ به وظیفه انقلابی و اعتقادی خویش جامه عمل پوشانده و امیدوار است بتواند نیازهای علمی پژوهشگران، دانشجویان و پیوندگان راه علم را در تحقق آرمان‌های اصیل انقلاب فراهم سازد.

این کتاب به روح پرفروش معمار کبیر انقلاب، شهدا و ایثارگران هشت سال دفاع مقدس به‌ویژه شهدای گرانقدر جهاد دانشگاهی و دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تقدیم می‌گردد. امید است دانشگاہیان و فعالین عرصه‌های علم و فن‌آوری کشور، پیونده راه این شهیدان والا مقام همچون شهدای جهاد علمی، در محیط مقدس و انسان‌ساز دانشگاه باشند.

از همه عزیزان محقق و دانش‌پژوه تقاضا می‌شود این انتشارات را از نظرات تخصصی و پیشنهادات راهگشای خود در جهت ارتقاء سطح علمی کتب منتشره و هم‌چنین گسترش زمینه‌های علمی آن‌ها، بهره‌مند سازند.

"هماره در پرتو الطاف الهی پیروز و سربلند باشید"

انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر

مقدمه

اهمیت اجتماعی، سیاسی و اقتصادی کلان شهرها، پروژه‌های بزرگی مانند پتروشیمی‌ها، سدها، پل‌ها و تونل‌های شهری و غیرشهری از یک سو و احتمال وقوع یک زمین‌لرزه بزرگ از سوی دیگر، لزوم بررسی هرچه دقیق‌تر وضعیت لرزه‌خیزی این مناطق و ابعاد مختلف آن را آشکار می‌سازد که بایستی به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار گیرند. یکی از ابعاد مطالعات لرزه‌خیزی شهرهای بزرگ نظیر تهران که بنا به تجربه زلزله‌های مختلف دنیا و زلزله منجیل رودبار (۱۳۶۹) شاید از مهم‌ترین آن‌ها باشد، بررسی تأثیر شرایط محلی ژئوتکنیکی آبرفت بر روی مشخصات جنبش قوی در سطح زمین است. در این مطالعات که در قالب ریز پهنه‌بندی حرکات لرزه‌ای شهرها از نقطه نظر تأثیر ساختگاه صورت می‌پذیرد مناطق مشابه از نقطه نظر پاسخ لرزه‌ای سطح زمین شناسایی و طبقه‌بندی می‌شوند. نقشه‌های ریز پهنه‌بندی بدست آمده در این مطالعات ابزار کارآمدی در برنامه‌ریزی‌های شهری، توسعه شهری و شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در حین زلزله به شمار می‌روند.

امید است که این کتاب بتواند گامی مؤثر در طراحی صحیح و ایمن‌تر سازه‌ها در برابر زلزله برداشته و شاهد آبادانی و توسعه پایدار کشور عزیزمان باشیم.

فهرست

فصل ۱: مروری بر مهندسی زلزله	۲۵
۱-۱- ساختار زمین	۲۵
۲-۱- فشار و دمای زمین	۲۶
۳-۱- سرعت انتشار امواج زلزله	۲۷
۴-۱- زمین لرزه	۲۸
۵-۱- علل وقوع زلزله	۳۱
۶-۱- امواج زلزله	۳۶
۱-۶-۱- امواج حجمی	۳۷
۲-۶-۱- امواج سطحی	۳۸
۷-۱- حرکات زلزله	۴۲
۸-۱- مقیاس‌های سنجش زلزله	۴۵
۱-۸-۱- مقیاس شدت زلزله	۴۵
۲-۸-۱- مقیاس بزرگی زلزله	۴۷
فصل ۲: پهنه‌بندی حرکات لرزه‌ای (پتانسیل لرزه خیزی) ساختگاه	۵۳
۱-۲- پهنه‌بندی	۵۴

۵۴	۱-۱-۲- کلان پهنه‌بندی
۵۵	۲-۱-۲- ریز پهنه‌بندی
۵۵	۲-۲- مشخصات و درجات پهنه‌بندی
۵۶	۳-۲- پهنه‌بندی حرکات زمین
۵۷	۱-۳-۲- روش‌های درجه ۱
۵۷	۱-۱-۳-۲- لرزه‌خیزی
۶۰	۲-۱-۳-۲- میرایی شدت حرکات زمین
۶۷	۳-۱-۳-۲- اثرات محلی منطقه
۶۹	۴-۱-۳-۲- اندازه‌گیری و ارزیابی شدت و خرابی‌ها
۷۴	۵-۱-۳-۲- زمین‌شناسی سطحی
۷۷	۲-۳-۲- روش‌های درجه ۲
۷۸	۱-۲-۳-۲- تحقیقات ژئوتکنیکی
۸۰	۲-۲-۳-۲- طبقه‌بندی زمین
۸۲	۳-۲-۳-۲- میکروترموور
۸۳	۴-۲-۳-۲- سرعت موج برشی زمین
۸۵	۳-۳-۲- روش‌های درجه ۳
۸۵	۱-۳-۳-۲- تحلیل یک بعدی توده‌های خاک
۸۹	۲-۳-۳-۲- تحلیل غیر خطی
۹۰	۳-۳-۳-۲- تحلیل دو یا سه بعدی
۹۱	۴-۲- کاربرد نقشه‌های پهنه‌بندی لرزه‌ای
۹۱	۱-۴-۲- نقشه‌های کاربری زمین
۹۲	۲-۴-۲- آیین‌نامه‌های ساختمان
۹۲	۵-۲- نقشه پهنه‌بندی ریسک
۹۲	۱-۵-۲- سازه ساختمان‌ها
۹۴	۲-۵-۲- شریان‌های حیاتی
۹۴	۳-۵-۲- آتش‌سوزی پس از زلزله

- ۹۵ ۲-۵-۴- کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی
- ۹۵ ۲-۵-۵- گسترش کشوری ریز پهنه‌بندی

فصل ۳: تأثیر شرایط ساختگاهی بر پاسخ لرزه‌ای زمین..... ۹۹

- ۱-۳- زمین لرزه ۱۹۸۵ میچواکان مکزیک (سید و همکاران ۱۹۸۸) ۹۹
- ۱-۱-۳- مطالعات تحلیلی جنبش زمین براساس تعیین خواص از نگاشت‌های زمین لرزه..... ۱۰۴
- ۲-۱-۳- زمین لرزه ۱۹۸۵ مکزیک (بارد و همکاران ۱۹۸۸)..... ۱۰۸
- ۳-۱-۳- وضعیت ژئوتکنیکی شهر مکزیکوسیتی و مدل مربوطه..... ۱۱۰
- ۴-۱-۳- تأثیر رسوبات عمیق..... ۱۱۱
- ۵-۱-۳- تأثیر تغییرات ضخامت در لایه‌های سطحی رس در مقیاس بزرگ..... ۱۱۴
- ۶-۱-۳- تأثیر تغییرات ضخامت در لایه‌های سطحی رسی در مقیاس کوچک..... ۱۱۸
- ۲-۳- پاسخ ساختگاه‌های روی خاک نرم- زمین لرزه ۱۹۸۵ لوماپیتا (ادریس ۱۹۹۰) .. ۱۲۴
- ۱-۲-۳- تحلیل‌های پاسخ زمین در زمین لرزه لوماپیتا..... ۱۲۵
- ۳-۳- تأثیر شرایط خاک بر حرکت‌های زلزله‌ای زمین..... ۱۳۰
- ۱-۳-۳- ویژگی‌های حرکت‌های زلزله‌ای زمین..... ۱۳۰
- ۲-۳-۳- عوامل مؤثر بر حرکت‌های زلزله‌ای زمین..... ۱۳۵
- ۴-۳- تأثیر شرایط خاک بر ویژگی‌های حرکت زمین..... ۱۳۹
- ۱-۴-۳- شتاب‌های اوج..... ۱۳۹
- ۲-۴-۳- حداکثر سرعت زمین..... ۱۴۲
- ۳-۴-۳- طیف پاسخ..... ۱۴۳
- ۵-۳- پارامترهای ساختگاه..... ۱۴۸
- ۱-۵-۳- ضخامت لایه‌های خاک..... ۱۴۸
- ۲-۵-۳- سرعت امواج برشی..... ۱۴۹
- ۱-۲-۵-۳- آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)..... ۱۵۲
- ۳-۵-۳- مدول برشی (G)..... ۱۶۳

۱۷۰ ۳-۵-۴- ضریب میرایی

۱۷۲ ۳-۵-۵- مروری بر تحقیقات انجام شده از اثرات ساختگاه

فصل ۴: طیف‌های پاسخ و کاربرد آن در طراحی سازه‌ها ۱۷۳

۱۷۳ ۴-۱- طیف پاسخ زمین‌لرزه

۱۷۳ ۴-۱-۱- پارامترهای طیفی

۱۷۶ ۴-۲- طیف‌های پاسخ

۱۷۹ ۴-۲-۱- ویژگی‌های طیف پاسخ و تقویت‌های تکان

۱۸۴ ۴-۳- طیف‌های طراحی زمین‌لرزه

۱۸۵ ۴-۳-۱- طیف طراحی نیومارک-هال

۱۸۷ ۴-۳-۱-۱- ساخت طیف طراحی نیومارک-هال

۱۸۹ ۴-۳-۲- طیف‌های NRC

۱۸۹ ۴-۴- تأثیر نوع خاک بر طیف طراحی

۱۹۱ ۴-۴-۱- طیف‌های طراحی سید-ادریس

۱۹۲ ۴-۴-۲- طیف طراحی مهرز

۱۹۸ ۴-۴-۱-۲- ساخت طیف مهرز

۱۹۸ ۵-۴- بررسی آیین‌نامه کشورهای مختلف

۲۰۵ ۴-۵-۱- آیین‌نامه ژاپن

۲۰۶ ۴-۵-۲- آیین‌نامه هند

۲۰۶ ۴-۵-۳- آیین‌نامه بین‌المللی ساختمان کانادا

۲۰۸ ۴-۵-۴- آیین‌نامه کوبا

۲۱۰ ۴-۵-۵- آیین‌نامه UBC97

۲۱۶ ۴-۵-۶- آیین‌نامه ترکیه

۲۱۸ ۴-۵-۷- آیین‌نامه بین‌الملل ساختمان (IBC)

۲۱۸ ۴-۵-۸- آیین‌نامه ایران (آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش

۲۱۸ (چهارم)

فصل ۵: تحلیل دینامیکی آبرفت و معرفی نرم افزار EERA ۲۱۹

۱-۵- مقدمه ۲۱۹

۲-۵- روش تحلیل واکنش آبرفت ۲۱۹

۱-۲-۵- انتخاب مدل مناسب برای نشان دادن خواص دینامیکی خاک ۲۲۰

۲-۲-۵- انتخاب روش تحلیل ۲۲۱

۳-۲-۵- انتخاب سنگ بستر لرزه‌ای ۲۲۱

۴-۲-۵- انتخاب حرکات ورودی مناسب ۲۲۲

۳-۵- معرفی نرم افزار EERA ۲۲۲

۴-۵- مدل معادل خطی پاسخ خاک ۲۲۳

۱-۴-۵- روابط یک بعدی تنش- کرنش ۲۲۳

۲-۴-۵- معادل سازی رفتار تنش کرنش غیر خطی براساس مدل خطی معادل ۲۲۵

۱-۲-۴-۵- مدل ۱ ۲۲۷

۲-۲-۴-۵- مدل ۲ ۲۲۸

۳-۴-۵- آنالیزهای پاسخ تک بعدی زمین ۲۲۸

۴-۴-۵- تکان‌های رخ داده در سطح آزاد زمین، سنگ بستر و درختنمون سنگی ۲۳۱

۵-۴-۵- تکان‌های گذرا ۲۳۲

۶-۴-۵- پاسخ خطی معادل به روش تکرار ۲۳۳

منابع و مراجع ۲۳۵

فهرست جداول

جدول (۱-۱)	خواص فیزیکی اعماق مختلف زمین	۲۷
جدول (۲-۱)	نوع خاک و سرعت امواج برشی	۳۸
جدول (۳-۱)	مقیاس‌های مختلف شدت زلزله	۴۶
جدول (۴-۱)	مقایسه سه مقیاس اصلی شدت (JMA-MSK-MM)	۴۷
جدول (۵-۱)	مقادیر M ، m ، ML و $\log E$ برای بزرگای زلزله	۵۰
جدول (۶-۱)	بزرگی زلزله‌ها و انرژی رها شده هریک	۵۱
جدول (۷-۱)	مقادیر مرتبط بین بزرگی و شدت حداکثر زلزله	۵۱
جدول (۸-۱)	مقایسه دو مقیاس شدت JMA و MM و شتاب‌های زمین و بزرگی زلزله معادل	۵۲
جدول (۹-۱)	انرژی معادل T.N.T برای زلزله‌هایی با بزرگی مختلف	۵۲
جدول (۱-۲)	راهنمای روش‌های پهنه‌بندی پدیده‌های ژئوتکنیکی	۵۶
جدول (۲-۲)	مقایسه روابط تجربی میرایی شدت زلزله	۶۱
جدول (۳-۲)	تعریف عوارض متناظر با مقیاس‌های شدت مرکالی اصلاح شده (ریشتر ۱۹۵۸)	۶۲
جدول (۴-۲)	مقایسه روابط میرایی تجربی	۶۵
جدول (۵-۲)	مقادیر پیش بینی شده طیف پاسخ افقی با ۵ درصد میرایی	۶۶
جدول (۶-۲)	برگ سوالات برای بررسی شدت لرزه (موراکامی و کاکامی ۱۹۹۱)	۷۱
جدول (۷-۲)	نرخ شدت برای واحدهای زمین‌شناسی	۷۴
جدول (۸-۲)	تشدید نسبی محل برای هر واحد زمین‌شناسی	۷۶
جدول (۹-۲)	روابط تجربی بین $N(SPT)$ و سرعت موج برشی	۷۹
جدول (۱۰-۲)	تشریح طبقه‌بندی خاک طبق آئین‌نامه ساختمان ژاپن (۱۹۵۰)	۸۱
جدول (۱۱-۲)	روابط ضریب تشدید نسبی با سرعت متوسط موج برشی	۸۴
جدول (۱۲-۲)	خواص دینامیکی خاک برای هر لایه (شیما و ایمای، ۱۹۸۲)	۸۹
جدول (۱-۳)	مشخصات برای استفاده در برنامه EERA و SHAKE	۱۲۵
جدول (۲-۳)	مقادیر معرف نسبت V_{max}/a_{max} برای شرایط متفاوت زمین‌شناسی	۱۴۳
جدول (۳-۳)	روابط تجربی بین $N(SPT)$ و سرعت موج برشی	۱۵۰
جدول (۴-۳)	روابط تجربی جهت تعیین سرعت موج برشی (اتا و گوته ۱۹۷۶)	۱۵۱
جدول (۵-۳)	ضرایب اصلاح عدد N	۱۶۲

جدول (۶-۳)- ضرایب اصلاحی عدد SPT برای گمانه‌های حفر شده	۱۶۳
جدول (۷-۳)- پارامترهای مؤثر بر مدول برشی و میرایی خاک	۱۶۳
جدول (۸-۳)- روابط پیشنهادی مدول برشی برای انواع خاک‌ها	۱۶۹
جدول (۹-۳)- تغییرات مقادیر K نسبت به نشانه خمیری	۱۷۰
جدول (۱۰-۳)- مقادیر پیشنهادی D_{max} برای انواع خاک‌ها	۱۷۱
جدول (۱-۴)- مقادیر نسبی تقویت طیف (به نقل از نیومارک و هال)	۱۸۶
جدول (۲-۴)- مقادیر ضرایب تقویت (به نقل از نیومارک و هال)	۱۸۷
جدول (۳-۴)- ضرایب میرایی توصیه شده برای انواع مختلف سازه‌ها، زمین‌ها، شرایط و ترازهای تنش (به نقل از نیومارک و هال)	۱۸۸
جدول (۴-۴)- خلاصه نسبت‌های v/a و ad/v^2 (توزیع لوگ نرمال)، (به نقل از مهرز)	۱۹۴
جدول (۵-۴)- پارامترهای طیفی برای شتاب زمین واحد (به نقل از مهرز)	۱۹۷
جدول (۶-۴)- گروه‌بندی ژئوتکنیک ساختمانی	۱۹۹
جدول (۷-۴)- مقادیر F_v به عنوان تابع از شدت لرزش و شرایط ساختمانی	۲۰۰
جدول (۸-۴)- مقادیر F_s به عنوان تابعی از شرایط ساختمانی و شدت لرزش	۲۰۰
جدول (۹-۴)- پروفیل خاک در منطقه‌ای (سواحل رد وود در جنوب سان فرانسیسکو، کالیفرنیا) با ساختمانی	۲۰۲
خاک رسی نرم متأثر از زلزله ۱۹۸۹ لوماپریتا	۲۰۲
جدول (۱۰-۴)- خلاصه‌ای از تقسیم‌بندی ساختمانی در آیین‌نامه‌های جدید (NEHRP94, 97) همراه با تخمینی از تقسیم‌بندی قدیم ساختمانی	۲۰۴
جدول (۱۱-۴)- مقادیر R_t براساسی زمان تناوب خاک و سازه	۲۰۶
جدول (۱۲-۴)- تقسیم‌بندی خاک‌ها در آیین‌نامه هند	۲۰۶
جدول (۱۳-۴)- تقسیم‌بندی گروه خاک با توجه به آیین‌نامه کانادا	۲۰۸
جدول (۱۴-۴)- مقادیر پارامترهای موجود در روابط برش پایه آیین‌نامه کوبا	۲۰۹
جدول (۱۵-۴)- تقسیم‌بندی خاک در آیین‌نامه کوبا	۲۰۹
جدول (۱۶-۴)- تقسیم‌بندی ساختمانی با توجه به طیف طراحی مربوط به آن، ویرایش آیین‌نامه ساختمان و تحلیل احتمال خطر زلزله‌های محل	۲۱۲
جدول (۱۷-۴)- فاکتورهای بزرگ‌نمایی زمان تناوب کوتاه و متوسط F_v , F_s برای شرایط متفاوت ساختمانی	۲۱۴
جدول (۱۸-۴)- انواع پروفیل خاک در آیین‌نامه UBC	۲۱۴

۲۱۵	جدول (۱۹-۴) - پارامتر لرزه‌خیزی در آیین‌نامه UBC
۲۱۵	جدول (۲۰-۴) - فاکتور C_v در آیین‌نامه UBC
۲۱۶	جدول (۲۱-۴) - N_a فاکتور فاصله از گسل
۲۱۶	جدول (۲۲-۴) - N_v فاکتور فاصله از گسل
۲۱۷	جدول (۲۳-۴) - مقادیر TB ، TA
۲۱۷	جدول (۲۴-۴) - تقسیم‌بندی خاک‌ها بر اساس آیین‌نامه ترکیه
۲۱۷	جدول (۲۵-۴) - تقسیم‌بندی محلی ساختمان در آیین‌نامه ترکیه
۲۱۸	جدول (۲۶-۴) - تقسیم‌بندی نوع زمین ساختمان-آیین‌نامه ایران (۲۸۰۰، ویرایش چهارم)

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) - ساختار داخلی زمین ۲۵
- شکل (۲-۱) - سرعت امواج در داخل زمین ۲۷
- شکل (۳-۱) - کانون و مرکز زلزله-انعکاس و انکسار و انتشار امواج حجمی ۲۸
- شکل (۴-۱) - نمونه‌ای از ثبت حرکات زلزله ۲۹
- شکل (۵-۱) - تعیین ناحیه مرکز زلزله توسط سه ایستگاه رکوردگیری ۳۰
- شکل (۶-۱) - تشکیل قاره‌ها و جابجائی آن‌ها ۳۲
- شکل (۷-۱) - شکل کلی حرکات تکتونیکی ۳۲
- شکل (۸-۱) - تصویر شماتیک لرزه زمین ساخت در اقیانوس و فرورفتگی کناره‌ها در مرز قاره‌ها ۳۳
- شکل (۹-۱) - جهت حرکات صفحات مختلف پوسته زمین در پدیده زمین ساختی و مناطق زلزله خیز ۳۵
- شکل (۱۰-۱) - صفحات اصلی ایران و مناطق مجاور ۳۶
- شکل (۱۱-۱) - شکل شماتیک انواع گسل ها ۳۶
- شکل (۱۲-۱) - تغییرات سرعت امواج برشی بصورت تابعی از عدد N در لای و ماسه ۳۸
- شکل (۱۳-۱) - سرعت نسبی امواج مختلف زلزله ۴۰
- شکل (۱۴-۱) - حرکت زمین نزدیک سطح ناشی از امواج طولی (فشاری) ۴۰
- شکل (۱۵-۱) - حرکت زمین ناشی از امواج برشی ۴۰
- شکل (۱۶-۱) - حرکت زمین نزدیک سطح ناشی از امواج لاو ۴۰
- شکل (۱۷-۱) - حرکت زمین نزدیک سطح ناشی از امواج ریلی ۴۱
- شکل (۱۸-۱) - قسمتی از شتاب نگاشت مؤلفه شمال-جنوب زلزله ۱۹۷۳ در شهر مکزیکوسیتی (شبه حرکت تناوبی) ۴۱
- شکل (۱۹-۱) - انعکاس امواج حجمی زلزله در سطح زمین ۴۲
- شکل (۲۰-۱) - شتاب نگاشت زلزله کرماندک (۱۱ ژوئن ۱۹۵۷) ۴۲
- شکل (۲۱-۱) - زلزله منفرد بندر هیومن در سال ۱۹۵۷ ۴۳
- شکل (۲۲-۱) - زلزله بی قاعده ال سنترو در سال ۱۹۴۰ ۴۳
- شکل (۲۳-۱) - زلزله مکزیکوسیتی، ۶ ژوئیه ۱۹۶۴ ۴۴

- شکل (۱-۲۴)- کاهش مقاومت برشی خاک در اثر پدیده روانگرایی و فرورفتگی و کج شدن ساختمان‌ها هنگام زلزله در شهر Hualien (۲۰۱۸ تایوان) ۴۴
- شکل (۱-۲۵)- اندازه‌گیری دامنه حرکت زمین (لرزه‌نگاشت) ۴۷
- شکل (۱-۲۶)- نمودار اصلاح بزرگی در مقیاس ریشتر ۴۸
- شکل (۱-۲۷)- تصحیح فاصله برای تعیین بزرگی در مقیاس ریشتر A- برای زلزله‌های نزدیک، B- برای زلزله‌هایی با مدت، ۲ ثانیه در امواج سطحی ۴۹
- شکل (۲-۱)- روند نمای طبقه‌بندی لرزه‌ای برای جنبش‌های زمین ۵۷
- شکل (۲-۲)- نقشه لرزه‌خیزی ژاپن ۵۸
- شکل (۲-۳)- زلزله‌های مورد نظر برای پهنه‌بندی لرزه‌ای سایت‌های ژاپن (شیما و ایماهی ۱۹۸۲) ۵۹
- شکل (۲-۴)- رابطه گوتنبرگ-ریشتر برای زلزله‌های ژاپن ۶۰
- شکل (۲-۵)- سرعت مورد انتظار سنگ بستر برای یک دوره بازگشت ۱۰۰ ساله (ماکینو و ماتسومورا ۱۹۷۸) ۶۰
- شکل (۲-۶)- رابطه میرایی براساس شدت زلزله (مرکالی اصلاح شده) برای کالیفرنیا جنوبی (با استفاده از روش سال ۱۹۶۹) ۶۱
- شکل (۲-۷)- رابطه تخمینی R.F و M.S.K, M.M, J.M.A (بخش زلزله‌شناسی J.M.A, ۱۹۷۱) ۶۲
- شکل (۲-۸)- رابطه شدت زلزله با بیشینه شتاب زمین ۶۴
- شکل (۲-۹)- مقایسه روابط میرایی پیشنهادی ۶۴
- شکل (۲-۱۰)- مقایسه مقیاس‌های مختلف بزرگای زلزله (اوتسو ۱۹۸۲) ۶۸
- شکل (۲-۱۱)- طیف پاسخ پیش‌بینی شده (جوینر و بور ۱۹۸۲) ۶۸
- شکل (۲-۱۲)- طیف پاسخ پیش‌بینی شده (کاواشیما و همکاران ۱۹۸۴) ۶۹
- شکل (۲-۱۳)- نقشه ریز پهنه‌بندی توکیو براساس خرابی‌های حادث شده ۷۰
- شکل (۲-۱۴)- نقشه‌های توزیع زلزله و شدت زلزله شهر سانفرانسیسکو در طول زلزله ۱۹۰۶ ۷۰
- شکل (۲-۱۵)- نقشه نرخ رشد شدت زلزله مربوط به شهر کاواساکی که به روش تحلیل فرم‌های پرسش تهیه شده است (اوتا ۱۹۷۴) ۷۳
- شکل (۲-۱۶)- نقشه شدت پیش‌بینی شده برای زلزله گسل هیوارد کالیفرنیا ۷۶
- شکل (۲-۱۷)- توزیع بیشینه سرعت زمین در دشت کانتو ژاپن برای زلزله نیشی-سایتاما ۱۹۳۱ ۷۷

- شکل (۲-۱۸)- نقشه طبقه‌بندی زمین برای شهرهای Callao Lima and در پرو (کالدرون ۲۰۱۴) ۸۱...
- شکل (۲-۱۹)- طیف طرح برای سازه‌های بتن مسلح (سازمان تحقیقات مسکن، ۱۳۶۹) ۸۲.....
- شکل (۲-۲۰)- طبقه‌بندی پیشنهادی زمین با استفاده از اندازه‌گیری‌های میکروترمور (کانایی و تاناکا ۱۹۶۱) ۸۳.....
- شکل (۲-۲۱)- نقشه طبقه‌بندی در شمال تهران با استفاده از اندازه‌گیری‌های میکروترمور (جعفری و همکاران ۲۰۰۴) ۸۳.....
- شکل (۲-۲۲)- رابطه ضریب تشدید زمین با نسبت سرعت‌های موج برشی در سطح زمین و سنگ بستر (شیما ۱۹۷۸) ۸۴.....
- شکل (۲-۲۳)- مقایسه ضرایب تشدید نسبی ۸۵.....
- شکل (۲-۲۴)- توزیع ضرایب حداکثر تشدید در ناگویا (ایدا و همکاران، ۱۹۷۸) ۸۶.....
- شکل (۲-۲۵)- نیمرخ‌های خاک برای شرایط مختلف ژاپن (European Soil Data Centre) ۸۷.....
- شکل (۲-۲۶)- پاسخ محاسبه شده محل برای شرایط مختلف زمین (شیما و ایمای، ۱۹۸۲) ۸۸.....
- شکل (۲-۲۷)- نقشه پهنه‌بندی شدت زلزله سایتها ژاپن برای زلزله کانتو (واکاماتسو و ماتسوکا ۲۰۰۶) ۸۸...
- شکل (۲-۲۸)- تغییرات شتاب در خاک نرم نسبت به سنگ بستر (ادریس ۱۹۹۰) ۹۰.....
- شکل (۲-۲۹)- مقایسه طیف پاسخ مدل‌های یک، دو و سه بعدی برای حوزه بیضوی (اهری و همکاران، ۱۹۹۰) ۹۰.....
- شکل (۲-۳۰)- بهره‌گیری از نقشه‌های پهنه‌بندی خطر در ارزیابی مخاطرات زلزله (نولر ۱۹۹۱) ۹۱.....
- شکل (۲-۳۱)- توابع آسیب‌پذیری برای انواع زلزله‌ها (شاه ۱۹۹۱) ۹۲.....
- شکل (۲-۳۲)- منحنی ریسک زلزله برای ساختمان‌های موجود و ساختمان‌های ترمیم شده برای مخاطرات زلزله در لس‌آنجلس ۹۳.....
- شکل (۲-۳۳)- نمودار یکپارچه برای ارزیابی مخاطرات ژئوتکنیک لزره‌ای (هان-صائم و چونگ-کی ۲۰۱۶) ۹۳.....
- شکل (۲-۳۴)- نمودار شماتیک ارزیابی زلزله با اطلاعات شبکه مکانی ژئوتکنیک (هان-صائم و چونگ-کی ۲۰۱۶) ۹۴.....
- شکل (۲-۳۵)- نقشه ریسک زلزله ۱۰۰ ساله زمین (NSHM، ۲۰۱۸) ۹۵.....
- شکل (۲-۳۶)- نقشه ریسک ایران برای زلزله با دوره بازگشت ۴۷۵ ساله (طاهریان و کلانتری ۲۰۱۹) ۹۶.....

- شکل (۲-۳۷)- نقشه ریسک ایران با در نظر گرفتن بزرگای زلزله (موسوی بافروئی و شعبانی ۲۰۱۵) ... ۹۶
- شکل (۲-۳۸)- نقشه ریسک جامعه زلزله برای لس‌آنجلس (سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده ۲۰۱۶) ۹۷
- شکل (۲-۳۹)- مدل زنجیره‌ای مخاطرات برای ارزیابی ریسک (موگوس ۲۰۱۵) ۹۷
- شکل (۳-۱)- پروفیل خاوری-باختری خاک، حوضه دره مکزیکوسیتی (سید و همکاران ۱۹۸۸) ۱۰۰
- شکل (۳-۲)- نهشته‌های دریاچه‌ای نزدیک شهر و موقعیت ایستگاه‌های نگاشت ۱۰۱
- شکل (۳-۳)- طیف‌های پاسخ شتاب میانگین برای جنبش‌های نگاشته شده روی شرایط خاک مختلف ... ۱۰۲
- شکل (۳-۴)- طیف‌های پاسخ میانگین در ساختمان CAO برای لرزه اصلی و شدیدترین پس لرزه ... ۱۰۳
- شکل (۳-۵)- ضرایب میرایی و نسبت‌های مدول برشی وابسته به کرنش برای رس شهر مکزیکوسیتی (نقل از لئون و همکاران ۱۹۷۴ و رومو و جیمز ۱۹۸۶) ۱۰۴
- شکل (۳-۶)- تحلیل پاسخ زمین در ساختمان SCT بر اساس پروفیل خاک که با استفاده از نتایج گمانه‌زنی و ویژگی‌های فرکانسی جنبش‌های نگاشته شده بدست آمده است. ۱۰۵
- شکل (۳-۷)- تحلیل پاسخ زمین در ساختمان CAF بر اساس پروفیل خاک که با استفاده از نتایج گمانه‌زنی و ویژگی‌های فرکانسی جنبش‌های نگاشته شده بدست آمده است. ۱۰۵
- شکل (۳-۸)- تحلیل پاسخ زمین در ساختمان CAO بر اساس پروفیل خاک که با استفاده از نتایج گمانه‌زنی و ویژگی‌های فرکانسی جنبش‌های نگاشته شده بدست آمده است. ۱۰۶
- شکل (۳-۹)- مقایسه طیف پاسخ برای نگاشت به مقیاس درآمده پاسادینا (۱۹۵۲) و طیف میانگین نگاشت‌های UNAM (۱۹۸۵) ۱۰۷
- شکل (۳-۱۰)- مقایسه ۷۵٪ حاصل از تحلیل پاسخ زمین با استفاده از نگاشت به مقیاس درآمده پاسادینا به عنوان جنبش لایه سخت بیرون‌زده، با طیف میانگین جنبش‌های نگاشته شده در ساختمان SCT ۱۰۸
- شکل (۳-۱۱)- مؤلفه‌های افقی شتاب‌نگاشته شده در ایستگاه‌های TACY, CUIP, CUO1 ۱۰۹
- شکل (۳-۱۲)- منحنی‌های هم ضخامت دو واحد رسوبی اصلی خاک‌های شهر مکزیکوسیتی (بارد و همکاران ۱۹۸۸) ۱۱۰
- شکل (۳-۱۳)- ویژگی‌های هندسی و مکانیکی مدل‌های بزرگ مقیاس ۱۱۱
- شکل (۳-۱۴)- اثرهای فقط نهشته‌های ژرف در سه ساختمان در سطح ۱۱۳
- شکل (۳-۱۵)- نسبت‌های طیفی بین نگاشت‌های TACY و CUIP، این نسبت‌ها از طیف‌های فوریه نگاشت‌ها محاسبه شده‌اند. ۱۱۴
- شکل (۳-۱۶)- اثرهای بزرگ مقیاس نسبت لایه رس به تنهایی، در محدوده فرکانس، توابع انتقال فوریه

- برای ۸ محل..... ۱۱۵
- شکل (۱۷-۳)- اثرهای ترکیبی بزرگ مقیاس مدل کامل دره، در محدوده فرکانسی هم لایه رسی و هم نهشته‌های ژرف DS2 در نظر گرفته شده است..... ۱۱۶
- شکل (۱۸-۳)- اثرهای ترکیبی بزرگ مقیاس مدل کامل دره، در نمودار محدوده زمانی، مقایسه بین نتایج حاصل از مدل‌های سرعت DS1 (خط چین) و DS2 (خط توپر)..... ۱۱۸
- شکل (۱۹-۳)- اثرهای کوچک مقیاس یک افزایش محلی کم در ضخامت لایه رسی و مقایسه بین نتایج دو بعدی و یک بعدی..... ۱۱۹
- شکل (۲۰-۳)- اثرهای یک افزایش بزرگ محلی در ضخامت لایه رسی و مقایسه بین نتایج حاصل از مدل‌های دو بعدی و یک بعدی، برای $L=Dh$ ، $500m=300m$ ۱۲۱
- شکل (۲۱-۳)- اثرهای کوچک مقیاس یک افزایش ضخامت محلی لایه رسی، مدل 'بسته' Pocket، موج ورودی هم اکنون یک منشاء نقطه‌ای SH در فاصله ۵ کیلومتری 'بسته' در ژرفای ۳۰۰ متری است..... ۱۲۳
- شکل (۲۲-۳)- محل ایستگاه‌های CSMIP که زمین لرزه ۱۹۸۹ لوماپریتا در آن‌ها ثبت شده است. (ادریس، ۱۹۹۰)..... ۱۲۴
- شکل (۲۳-۳)- پروفیل خاک در نزدیکی ایستگاه شتاب‌نگاری جزیره ترژر..... ۱۲۶
- شکل (۲۴-۳)- محدوده سرعت‌های موج برشی که در جزیره ترژر مورد استفاده قرار گرفت..... ۱۲۶
- شکل (۲۵-۳)- تاریخچه زمانی‌های نگاشته شده و محاسبه شده در جزیره ترژر..... ۱۲۶
- شکل (۲۶-۳)- طیف‌های نگاشته شده و محاسبه شده در جزیره ترژر..... ۱۲۷
- شکل (۲۷-۳)- تاریخچه زمانی‌های نگاشته شده و محاسبه شده در شهر فوستر..... ۱۲۸
- شکل (۲۸-۳)- طیف‌های محاسبه شده و نگاشته شده در شهر فوستر..... ۱۲۸
- شکل (۲۹-۳)- محاسبه شتاب در ساختگاه‌های خاک نرم..... ۱۲۹
- شکل (۳۰-۳)- تغییرات شتاب‌ها در ساختگاه‌های خاک نرم نسبت به ساختگاه‌های سنگی..... ۱۳۰
- شکل (۳۱-۳)- نمونه‌ای از شتاب نگاشت‌های ثبت شده..... ۱۳۰
- شکل (۳۲-۳)- نمونه شتاب‌نگاشت تصحیح شده و نمودارهای زمانی سرعت و تغییر مکان..... ۱۳۱
- شکل (۳۴-۳)- طیف پاسخ شتاب زلزله ۱۹۴۰ ال سنترو..... ۱۳۳
- شکل (۳۵-۳)- طیف پاسخ سرعت زلزله ۱۹۴۰ ال سنترو..... ۱۳۳
- شکل (۳۶-۳)- شتاب‌نگاشت‌ها و طیف‌های پاسخ شتاب در دو حرکت زمین با شتاب‌های حداکثر قابل

- قیاس..... ۱۳۵
- شکل (۳-۳۷)- ایستگاه‌های حرکت شدید در دره امپریال کالیفرنیا (ر.ل. پورسلا و ر.ب. ماتیس، سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده، نگاشت‌های گزارش آزاد شماره ۱۶۵۴-۷۹)..... ۱۳۷
- شکل (۳-۳۸)- تحلیل رگرسیون شتاب‌های اوج ثبت شده در زلزله ۱۵ اکتبر ۱۹۷۹ دره امپریال..... ۱۳۷
- شکل (۳-۳۹)- شتاب‌های اوج در سنگ برای زلزله‌های با بزرگی تقریبی ۶/۶..... ۱۳۸
- شکل (۳-۴۰)- مقادیر متوسط شتاب‌های حداکثر در سنگ..... ۱۳۸
- شکل (۳-۴۱)- مقایسه منحنی‌های کاهیدگی در مناطق سنگی و زلزله ۱۹۷۹ دره امپریال..... ۱۳۹
- شکل (۳-۴۲)- روابط تقریبی میان شتاب‌های حداکثر در سنگ و دیگر شرایط محلی..... ۱۴۰
- شکل (۳-۴۳)- منحنی‌های شتاب اوج زمین در خاک‌های سخت ($MS=7/5$)..... ۱۴۱
- شکل (۳-۴۴)- منحنی‌های کاهیدگی زلزله در بخش‌های شرقی و غربی ایالات متحده..... ۱۴۱
- شکل (۳-۴۵)- تغییرات سرعت حداکثر زمین با فاصله در محل‌های مختلف (صدیق و همکاران ۱۹۷۹)..... ۱۴۳
- شکل (۳-۴۶)- تعیین طیف پاسخ نرمالیزه شده شتاب..... ۱۴۴
- شکل (۳-۴۷)- طیف متوسط شتاب برای انواع مختلف زمین محل..... ۱۴۶
- شکل (۳-۴۸)- طیف ۸۴ درصد برای جنبش‌های مختلف زمین محل..... ۱۴۶
- شکل (۳-۴۹)- منحنی‌های نرمالیزه شده طیفی توصیه شده برای آئین‌نامه ساختمانی..... ۱۴۷
- شکل (۳-۵۰)- منحنی‌های طیفی نرمالیزه شده به شتاب اوج زلزله (EPA) برای محل‌های متشکل از نهشته‌های سخت برای استفاده در آئین‌نامه ساختمانی..... ۱۴۷
- شکل (۳-۵۱)- تغییرات پیشنهادی ضریب نیروی جانبی در شرایط مختلف خاک..... ۱۴۸
- شکل (۳-۵۲)- فاکتور تشدید طبیعی برای موج ورودی g ۰/۵ و میرایی ۵ درصد (Silva, 1989)..... ۱۴۹
- شکل (۳-۵۳)- تصویر نموداری سه چکش معمول مورد استفاده..... ۱۵۳
- شکل (۳-۵۴)- کارگر حفار در حال انجام آزمایش نفوذ استاندارد با استفاده از چکش ایمنی و طبوک و طناب جهت بالابری وزنه..... ۱۵۵
- شکل (۳-۵۵)- تجهیزات معمول نمونه‌گیری و آزمایش درجا (ASTM D1586)..... ۱۵۷
- شکل (۳-۵۶)- نمونه‌گیری در آزمایش نفوذ استاندارد..... ۱۶۰
- شکل (۳-۵۷)- ترتیب نمونه‌گیری جهت آزمایش نفوذ استاندارد صحرایی..... ۱۶۱
- شکل (۳-۵۸)- تأثیر پارامترهای دامنه کرنش، میانگین تنش‌های اصلی مؤثر و تعداد سیکل‌های بارگذاری

- بر مدول برشی ماسه تمیز ۱۶۴
- شکل (۵۹-۳) - تغییرات مدول برشی نرمالیزه شده نسبت به دامنه کرنش برشی برای خاک‌های مختلف ۱۶۵
- شکل (۶۰-۳) - اثر فشار محدودکننده بر مدول برشی ماسه‌ها ۱۶۶
- شکل (۶۱-۳) - نحوه تغییرات مدول برشی در کرنش‌های مختلف ۱۶۶
- شکل (۶۲-۳) - تغییرات نسبت میرایی نسبت به دامنه کرنش برشی برای ماسه تمیز ۱۶۷
- شکل (۶۳-۳) - تغییرات مدول برشی و نسبت میرایی بصورت تابعی از تعداد سیکل‌های بارگذاری ۱۶۷
- شکل (۶۴-۳) - مقادیر K2 در فرمول پیشنهادی سید و ادریس (۱۹۷۰) ۱۷۰
- شکل (۶۵-۳) - نمایش وابستگی مدول برشی و نسبت میرایی به دامنه کرنش برشی ۱۷۱
- شکل (۱-۴) - مختصات مرجع برای یک سیستم یک درجه آزادی ۱۷۴
- شکل (۲-۴) - مقایسه SV و PSV برای یک نمونه نگاشت زمین‌لرزه (به نقل از گوپتا) ۱۷۵
- شکل (۳-۴) - مقایسه سرعت طیفی با ماکزیمم سرعت نسبی در ۵ درصد میرایی برای شتاب‌نگاشت شکل (۲-۴) ۱۷۶
- شکل (۴-۴) - مقایسه شتاب طیفی با ماکزیمم شتاب مطلق در ۵ درصد میرایی با شتاب‌نگاشت شکل (۲-۴) ۱۷۷
- شکل (۵-۴) - کاربرد طیف پاسخ شتاب (به نقل از سید و ادریس) ۱۷۷
- شکل (۶-۴) - طیف‌های پاسخ شتاب زمین‌لرزه شکل (۲-۴) (به نقل از سید و ادریس) ۱۷۸
- شکل (۷-۴) - یک طیف پاسخ نمونه رسم شده بر روی نمودار لگاریتمی سه جانبه برحسب پیوندهای طبیعی صعودی ۱۸۰
- شکل (۸-۴) - یک طیف پاسخ نمونه رسم شده روی نمودار لگاریتمی سه جانبه برحسب فرکانس‌های طبیعی صعودی ۱۸۰
- شکل (۹-۴) - تقویت‌های شتاب، سرعت و جابجایی رسم شده برحسب فرکانس در ۵ درصد میرایی برای شتاب‌نگاشت شکل (۲-۴) ۱۸۱
- شکل (۱۰-۴) - تقویت‌های شتاب، سرعت و جابجایی رسم شده بر حسب پیوند در ۵ درصد میرایی برای شتاب‌نگاشت شکل (۲-۴) ۱۸۱
- شکل (۱۱-۴) - مناطق سه گانه طیف پاسخ و تقویت‌های تکان زمین ۱۸۲
- شکل (۱۲-۴) - حالت‌های حدی کمیاب طیفی ۱۸۳
- شکل (۱۳-۴) - طیف‌های طراحی نرمال شده در ۲۰ درصد شتاب ثقل (g/۰.۲) (به نقل از هاووزنر) ۱۸۵

- شکل (۴-۱۴)- طیف‌های طراحی نرمال شده در $1.0g$ (به نقل از نیومارک و هال) ۱۸۷
- شکل (۴-۱۵)- طیف‌های پاسخ طراحی افقی NRC، نرمال شده در شتاب افقی زمین $(1.0g)$ ، A، B، C و D فرکانس‌های کنترل متناظر با ۳۳، ۹، $2/5$ و $0/25$ هرتر هستند. ۱۹۰
- شکل (۴-۱۶)- طیف‌های طراحی قائم NRC نرمال شده در شتاب افقی زمین $(1.0g)$ ، A، B، C و D به ترتیب فرکانس‌های کنترل متناظر با ۳۳، ۹، $3/5$ و $0/25$ هرتر هستند. ۱۹۰
- شکل (۴-۱۷)- طیف‌های شتاب میانگین برای انواع مختلف زمین (به نقل از سید و همکاران) ۱۹۱
- شکل (۴-۱۸)- طیف‌های شتاب میانگین به اضافه یک انحراف استاندارد برای انواع مختلف زمین (به نقل از سید و همکاران) ۱۹۲
- شکل (۴-۱۹)- طیف‌های میانگین ۱۹۳
- شکل (۴-۲۰)- مقایسه تقویت‌های شتاب افقی میانگین در ۵ درصد میرایی برای سنگ (به نقل از مهرز) ۱۹۳
- شکل (۴-۲۱)- طیف‌های پاسخ میانگین به اضافه یک انحراف استاندارد در ۲ درصد میرایی برای چهار طبقه‌بندی زمین، نرمال شده در شتاب افقی زمین $(1.0g)$ ، (به نقل از مهرز) ۱۹۴
- شکل (۴-۲۲)- تغییرات شتاب طیفی بر حسب میرایی در شتاب زمین واحد، برای مؤلفه‌های افقی با اوج شتاب بزرگتر (به نقل از مهرز) ۱۹۵
- شکل (۴-۲۳)- تغییرات سرعت طیفی بر حسب میرایی در شتاب زمین واحد، برای مؤلفه‌های افقی با اوج شتاب بزرگتر (به نقل از مهرز) ۱۹۶
- شکل (۴-۲۴)- تغییرات جابجایی طیفی بر حسب میرایی، در شتاب زمین واحد، برای مؤلفه‌های افقی با اوج شتاب بزرگتر (به نقل از مهرز) ۱۹۶
- شکل (۴-۲۵)- طیف‌های طراحی برای تکان افقی در ۵ درصد میرایی (به نقل از مهرز) ۱۹۷
- شکل (۴-۲۶)- منحنی‌های طیف طراحی در بستر سنگی و بستر آبرفتی ۲۰۱
- شکل (۴-۲۷)- نمودار متوسط طیف ضبط شده از زلزله ۱۹۸۹ لوماپریتا در منطقه خلیج سان فرانسيسکو در بستر سنگی و خاک نرم ۲۰۲
- شکل (۴-۲۸)- ترسیمه لایه یکنواخت بر بستر الاستیک تحت تأثیر موج برشی عمودی ۲۰۴
- شکل (۴-۲۹)- نمودار تغییرات RRS بر لایه رسی نرم بر اساس تحلیل معادل خطی ساختگاه ۲۰۵
- شکل (۴-۳۰)- نمودار فاکتور پی مفروض برای خاک‌های سخت و عمیق دانه‌ای و خاک نرم مقدار F تابعی از نسبت T/T_0 است که T زمان تناوب سازه و T_0 زمان تناوب خاک می‌باشد. ۲۰۷
- شکل (۴-۳۱)- نمودار رابطه بین S_R (طیف پاسخ ساختگاه) در سطوح زمان تناوب کوتاه و بلند حرکت

- زمین (I_p و I_a) و ضرایب بزرگنمایی F_p و F_a ۲۱۰
- شکل (۳۲-۴) - نمودار فاکتورهای بزرگنمایی ۲۱۳
- شکل (۱-۵) - نمایش طرح کلی مدل تنش- کرنش استفاده شده در مدل معادل خطی ۲۲۳
- شکل (۲-۵) مدل معادل خطی ۲۲۵
- شکل (۳-۵) - یک نمونه نرم‌شدگی کرنش در منحنی‌ها τ/τ_{max} و G/G_{max} که در مقیاس‌های خطی و نیم لگاریتمی رسم شده‌اند ۲۲۶
- شکل (۴-۵) - تغییرات دامنه مدول برشی نرمالیز شده با نسبت میرایی بحرانی (مدل ۱) ۲۲۷
- شکل (۵-۵) - تغییرات انرژی منتشر شده نرمالایزه به ازای چرخه بارگذاری به عنوان یک تابع از نسبت میرایی بحرانی برای مدل‌های ۱ و ۲ ۲۲۸
- شکل (۶-۵) - سیستم لایه‌ای جهت تحلیل یک بعدی خاک آبرفتی (Schnable et al, 1972) ۲۲۹
- شکل (۷-۵) - مجموعه مورد استفاده در تحلیل اثرساختگاه ۲۳۲
- شکل (۸-۵) - تکرار مدول برشی و نسبت میرایی با کرنش برشی در تحلیل‌های خطی معادل ۲۳۴