تصاویر روی جلد

پل کابلی میدان امام حسین (ع) مشهد

برج تجارت جهانی تبریز

طراحی معماری، محاسبات سازه‌ای و مدیریت ساخت توسط نگارنده اول

اثر ساختگاه بر رفتار لرزه‌ای زمین و سازه‌های ژئوتکنیکی

روش‌های تحلیل و طراحی کاربردی همراه با آموزش نرم‌افزارها

(چاپ دوم)

نگارندگان:

دکتر علی کمک‌پناه

مهندس آیلین نوری

۱۳۹۹

سرشناسه: کمک‌پناه، علی، ۱۳۳۲ -

عنوان و نام پدیدآور: اثر ساختگاه بر رفتار لرزه‌ای زمین و سازه‌های ژئوتکنیکی (روش‌های تحلیل و طراحی کاربردی همراه با آموزش نرم‌افزارها)/ نگارندگان علی کمک‌پناه، آیلین نوری؛ ویراستار ادبی و فنی رضا بیات.

مشخصات نشر: تهران: انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۹۸.

مشخصات ظاهری: ۵۰۰ص.: مصور (بخشی رنگی)، جدول، نمودار (بخشی رنگی).

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۷۵۸۹-۹۷-۷

وضعیت فهرست نویسی: فیپا

یادداشت: واژه‌نامه.

یادداشت: کتابنامه: ص. [٤٦٧] - ٤٧٦.

یادداشت: نمایه.

موضوع: زلزله – مهندسی — Earthquake engineering

موضوع: خاک -- دینامیک — Soil dynamics

موضوع: زلزله -- مهندسی -- نرم‌افزار — Earthquake engineering -- Software

شناسه افزوده: نوری، آیلین، ۱۳۷۰ -

شناسه افزوده: انتشارات دانشگاه تربیت مدرس — Tarbiat Modares University. TMU Press

رده بندی کنگره: TA٦٥٤/٦

رده بندی دیویی: ٦٢٤/١٧٦٢

شماره کتابشناسی ملی: ٥٩٠٤٢٣٥

اثر ساختگاه بر رفتار لرزه‌ای زمین و سازه‌های ژئوتکنیکی (روش‌های تحلیل و طراحی کاربردی همراه با آموزش نرم‌افزارها)

نگارندگان: دکتر علی کمک‌پناه و مهندس آیلین نوری

ویراستار ادبی و فنی: دکتر رضا بیات

طراح جلد: ترنج

صفحه‌آرایی: سمیه زهانی

شماره انتشار: ۲۵۱

شماره پیاپی: ٤١٩

تاریخ انتشار: ۱۳۹۹

شمارگان: ۵۰۰

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۷۵۸۹-۹۷-۷ **شابک الکترونیکی:** ۹۷۸-۶۲۲-۸۳۳۹-۸۸-۷

ناشر: انتشارات دانشگاه تربیت مدرس

نوبت چاپ: دوم

کارشناس اجرایی: لیلا نجفی زمان

ناظر چاپ: مصطفی جانجانی

لیتوگرافی: ایران گرافیک

چاپ و صحافی: قشقایی

مرکز پخش: تقاطع بزرگراه‌های آل‌احمد و دکتر چمران، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس، صندوق پستی: ۳۱۸-۱٤۱۱۵

تلفن: ۸۲۸۸۳۰۹۶

دورنگار: ۸۲۸۸۳۰۳۲

آدرس اینترنتی فروش: pub.modares.ac.ir

مسئولیت صحت مطالب کتاب برعهدهٔ نگارندگان است .

تمام حقوق این اثر برای مرکز نشر آثار علمی دانشگاه تربیت مدرس محفوظ است و تکثیر کتاب به هر روشی بدون اجازه کتبی ناشر موجب پیگرد قانونی می‌شود.

تقدیم به:

ملّت بزرگ ایران

سخن نگارندگان بر چاپ دوم

اگرچه از چاپ اول کتاب کمتر از یک سال گذشته، استقبال محققـان و کارشناسـان کشـورمان از کتاب، آن را به چاپ دوم رسانده و این رویداد موجب مسرّت نگارندگان شده است، زیرا دیـدگاه ما در تألیف کتاب احساس نیاز متخصصان کشورمان بر مطالب مندرج در آن بوده است.

اکنون که بازنگری آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) برای ویرایش پنجم در دست انجام است و مؤلف اول به‌عنوان عضو دائمی بازنگری آیین‌نامه در کمیته تخصصی ملاحظات ژئوتکنیکی، سایر اعضـا را همراهـی مـی‌کنـد، نگـرش اعضـا بـر افـزودن اطلاعـات و روش‌های کاربردی برای بازنگری طیف استاندارد و به‌ویژه طراحی طیف ویژه ساختگاه، ضرورت آشنایی متخصصان کشورمان با مندرجات کتاب را بیش از پیش نمایان می‌کند. از دیـدگاه اعضـای کمیته بازنگری آیین‌نامه، با رشد چشمگیر سطح علمی کشـور در طراحـی سـاختمان‌هـای بلنـد و سازه‌های پیچیده، ضروری است روش‌های کاربردی مطالب پیچیـده ژئوتکنیـک لـرزه‌ای بـا سـاده کردن آنها و امکان استفاده از نرم‌افزارهای کاربردی، توسعه بیشتری پیدا کند.

کتاب حاضر که با این هدف تهیه شده است به‌نظر می‌رسـد بـا انتشـار چـاپ دوم و احتمـالاً چاپ‌های بعدی بتواند سهم خود را در طراحی ایمن سازه‌ها و شناخت بهتر از حرکت قوی زمـین در زلزله‌ها و تغییر پارامترهای محاسباتی رکوردهای زلزله‌ها در مسیر انتشار امـواج از سـنگ بسـتر تـا سطح زمین ایفا نماید.

دکتر علی کمک پناه

مهندس آیلین نوری

اسفند ۱۳۹۹

سخن نگارندگان بر چاپ اول

اگرچه شرایط لرزه‌خیزی کشورمان و وقوع هر چند سال یک‌بار زلزله‌هایی با بزرگای بیش از ۷ ریشتر و ایجاد خسارات جانی و خرابی‌های وسیع در شهرها و روستاها، ایران را در زمرهٔ کشورهای با لرزه‌خیزی شدید قرار داده است، اما سال ۱۳۹٦ را به سالی پرزلزله در تاریخ ایران تبدیل کرد: زلزله شدید ۷/۳ ریشتری ازگله–سرپل‌ذهاب در استان کرمانشاه، زلزله ٦/۲ ریشتری هجدک در استان کرمان، زلزله ٦/۰ ریشتری سفیدسنگ در استان خراسان رضوی، زلزله ۵/۷ ریشتری پیش‌قلعه در استان خراسان شمالی، زلزله ۵/٦ ریشتری سومار در استان کرمانشاه، زلزله ۵/٤ ریشتری سیرچ در استان کرمان، زلزله ۵/٤ ریشتری زیارتعلی در استان هرمزگان، زلزله ۵/۲ ریشتری انار در استان کرمان، زلزله ۵/۱ ریشتری ملارد در استان تهران. انعکاس اخبار متعدد زلزله در نقاط مختلف کشور و آمادگی ذهنی هموطنان و به‌ویژه کارشناسان ساخت و ساز، نگارندگان را بر آن داشت که مجموعه‌ای کامل و کاربردی را در قالب کتاب تدوین کنند. ۲۵ سال تجربهٔ تدریس دروس دینامیک خاک و ژئوتکنیک لرزه‌ای در مقاطع کارشناسی ارشد و دکترا توسط مؤلف اول از یک سو و تجربهٔ‌کاربردی وی در پروژه‌های بزرگ کشوری همانند پل کابلی میدان امام حسین (ع) مشهد، برج تجارت جهانی تبریز (تصاویر روی جلد) و ... که اغلب با انجام تحقیقات محلی و آزمایشگاهی همراه بوده‌اند و نیز تهیهٔ دستنامهٔ فارسی و آموزش نرم‌افزارهای مرتبط توسط نگارنده دوم که در پیوست کتاب ارائه شده، ما را بر آن واداشت تا با گامی کوچک بخشی از دین خود را به جامعهٔ علمی و مهندسی کشور ادا نماییم. بر خود لازم می‌دانیم از سایر محققان عزیز به‌خصوص سرکار خانم دکتر مریم یزدی و سرکار خانم دکتر حدیث جلیلیان مشهود و آقایان دکتر ناصر حافظی مقدس، دکتر رضا بهرو، دکتر مجید یزدان‌دوست، مهندس بهنام شاه‌محمدی، مهندس رضا صادق‌زادگان و مهندس امیر ستاری که در دوران دانشجویی با مؤلف اول در سالیان متمادی در تهیهٔ مقالات همکاری داشته‌اند و در این کتاب از نوشته‌های آنها استفاده شده است، تشکر و قدردانی کنیم. همچنین از جناب آقای دکتر خاجی ریاست محترم دانشکدهٔ عمران و محیط زیست دانشگاه تربیت مدرس و سایر همکاران محترم دانشکده که مشوق ما برای تدوین این کتاب بوده‌اند، سپاسگزاری می‌نماییم.

دکتر علی کمک‌پناه

مهندس آیلین نوری

پاییز ۹۸

فهرست مطالب

پیشگفتار ..... ک

۱- اهمیت مطالعه اثر ساختگاه بر رفتار لرزه‌ای سازه‌ها در سطح زمین ۱

۱-۱ بررسی زلزله‌های مختلف از دیدگاه اثر ساختگاه و بزرگنمایی ۳

۱-۲ زلزله ۱۹۸۵ میچواکان و ۲۰۱۷ مکزیک مرکزی ٤

۱-۳ زلزله ۱۹٦۷ کاراکاس ونزوئلا ۱٦

۱-٤ زلزله ۱۹۷۰ گدیز ترکیه ۱۷

۱-۵ زلزله ۱۹۸۹ لوماپریتا ۱۷

۱-٦ زلزله ۱۹۹٤ نورتریج ۱۸

۱-۷ زلزله ۱۹۹۹ ازمیت ترکیه ۲۰

۱-۷-۱ ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه آداپازاری ۲۱

۱-۸ زلزله ۱۹۹۹ آتن یونان ۲٦

۱-۹ زمین‌لرزه ۲۰۱٦ کوماموتو ژاپن ۲۸

۲- عوامل مؤثر بر پاسخ زمین در بارگذاری چندجهتهٔ زمین‌لرزه ۳۵

۲-۱ تأثیر سطح آب زیرزمینی ۳٦

۲-۲ تأثیر نسبت میرایی ٤۰

۲-۳ تأثیر محل حرکت ورودی ٤۲

۲-٤ تأثیر شدت زمین‌لرزه ٤۵

۳- اثر محلی ساختگاه و روش‌های مطالعهٔ آن ٤۹

۳-۱ رابطهٔ بین بیشینهٔ شتاب در سنگ بستر و سایر ساختگاه‌ها ٤۹

۳-۲ مایکروترمور ۵۱

ب اثر ساختگاه بر رفتار لرزه‌ای زمین و سازه‌های ژئوتکنیکی

۳-۲-۱ روش‌های محاسبه فرکانس طبیعی ساختگاه با استفاده از مایکروترمورها..... ۵۳
۳-۲-۱-۱ روش نسبت طیفی استاندارد SSR..... ۵۳
۳-۲-۱-۲ روش H/V..... ۵۵
۳-۲-۱-۳ مقایسه روش H/V و SSR..... ٦۹
۳-۳ بررسی‌های شدت و آسیب..... ۷۰
۳-٤ زمین‌شناسی سطحی..... ۷٦
۳-۵ سرعت موج برشی زمین..... ۷۸
۳-٦ روش‌های تحلیل پاسخ دینامیکی ساختگاه..... ۸۱
۳-٦-۱ تحلیل خطی..... ۸۱
۳-٦-۲ تحلیل خطی معادل..... ۸۲
۳-٦-۳ تحلیل غیرخطی..... ۸۲
۳-۷ روش‌های تحلیل پاسخ زمین بر پایهٔ ابعاد مسئله..... ۸۳
۳-۷-۱ تحلیل یک‌بعدی پاسخ زمین..... ۸۳
۳-۷-۲ تحلیل دو یا سه‌بعدی پاسخ زمین..... ۸٤

٤- مدل‌سازی پاسخ خاک در طول چرخه‌های برشی..... ۸۷
٤-۱ مدل ویسکوالاستیک..... ۸۸
٤-۲ مدل خطی معادل..... ۹۰
٤-۲-۱ مدل ۱..... ۹۲
٤-۲-۲ مدل ۲..... ۹۲
٤-۳ روش خطی معادل وابسته به فرکانس..... ۹٤
٤-٤ مدل هیسترزیس و غیرخطی..... ۹۵
٤-٤-۱ انرژی تلف شده در طول چرخه کرنشی..... ۹۹
٤-۵ قابلیت کاربرد روش‌های تحلیل غیرخطی برای به‌دست آوردن طیف پاسخ مناسب..... ۱۰٦
٤-۵-۱ مدل رفتاری کد BWGE-NLDYAS..... ۱۱۰
٤-۵-۲ مدل رفتاری کد PSVM-ABAQUS..... ۱۱۱

۵- مقایسه تحلیل خطی معادل و غیرخطی..... ۱۲۱
۵-۱ معرفی نرم‌افزار NERA..... ۱۲۱

۵-۱-۱ فرمول‌بندی المان محدود برای تحلیل یک‌بعدی پاسخ ساختگاه در نرم‌افزار NERA.....۱۲۵
۵-۱-۱-۱ جداسازی زمانی و فضایی.....۱۲۵
۵-۱-۱-۲ الگوریتم تفاضل مرکزی.....۱۲۸
۵-۲ نرم‌افزار EERA.....۱۳۱
۵-۲-۱ حرکت انتقالی.....۱۳۷
۵-۲-۲ تقریب تکراری پاسخ خطی معادل.....۱۳۸
۵-۳ مقایسهٔ نتایج تحلیل خطی معادل و غیرخطی برای زلزلهٔ واقعی (زلزله منجیل).....۱۳۹
٤-۵ مقایسهٔ نتایج نرم‌افزارهای EERA و NERA.....۱٤۱
٦- مطالعات و تحقیقات کاربردی.....۱٤۹
٦-۱ مطالعهٔ پاسخ لرزه‌ای آبرفت‌های شهر تهران.....۱٤۹
٦-۱-۱ گام‌های ارزیابی اثر ساختگاه.....۱٤۹
٦-۱-۲ مشخصات منطقه مورد مطالعه.....۱۵۱
٦-۱-۲-۱ لرزه‌خیزی تهران.....۱۵۱
٦-۱-۲-۲ ویژگی‌های زمین‌شناختی شهر تهران.....۱۵٤
٦-۱-۳ روش تحلیل.....۱۵۵
٦-۱-۳-۱ پردازش اطلاعات.....۱۵۵
٦-۱-٤ پارامترهای تحلیل.....۱۵۷
٦-۱-٤-۱ مشخصات سنگ بستر.....۱۵۷
٦-۱-٤-۲ پریود غالب ساختگاه و سرعت موج برشی تا عمق ۳۰ متری.....۱۵۸
٦-۱-٤-۳ بیشینهٔ شتاب سنگ بستر (PBA).....۱۵۸
٦-۱-٤-٤ حداکثر بزرگای مورد انتظار زلزله.....۱۵۸
٦-۱-۵ تحلیل پاسخ ساختگاه در شهر تهران با استفاده از روش خطی معادل.....۱۵۸
٦-۱-٦ تحلیل پاسخ ساختگاه در شهر تهران به روش تجربی H/V.....۱٦٤
٦-۲ تحقیقات موردی قانون کاهیدگی.....۱۷۰
٦-۲-۱ مدل کاهیدگی و پارامترهای مورد استفاده.....۱۷۱
٦-۲-۱-۱ داده‌های لرزه‌ای.....۱۷۲
٦-۲-۱-۲ پارامتر فاصله.....۱۷۲

٦-٢-١-٣ اثر ساختگاهی ١٧٢
٦-٢-٢ روش تحلیل ١٧٣
٦-٢-٣ روابط کاهیدگی شتاب، سرعت و شتاب RMS ١٧٥
٦-٢-٤ روابط کاهیدگی طیف پاسخ شتاب افقی و قائم ١٧٩

٧- تهیهٔ شتاب‌نگاشت هارمونیک معرف زلزله برای مطالعهٔ همزمان ساختگاه و سازه‌های خاکی ١٨٥

٧-١ استفاده از بارگذاری هارمونیک متغیر برای طراحی دیوارهای خاک مسلح ١٨٦
٧-١-١ تحلیل پاسخ آبرفت ١٨٦
٧-١-٢ تحلیل پارامتری دیوارهای خاک مسلح با بارگذاری دینامیکی هارمونیک ٢٠١
٧-١-٣ مشخصات هندسی مدل عددی ٢٠٣
٧-١-٤ مصالح خاکی ٢٠٥
٧-١-٤-١ مصالح خاکی فونداسیون ٢٠٦
٧-١-٤-٢ مصالح خاکی خاک مسلح ٢٠٧
٧-١-٤-٣ مصالح خاکی خاک‌ریز (پس‌ریز) ٢٠٧
٧-١-٥ مصالح بتنی ٢٠٨
٧-١-٥-١ پوسته‌های بتنی ٢٠٨
٧-١-٥-٢ مصالح بتنی شناژ فونداسیون ٢٠٩
٧-١-٦ المان‌های تسلیح و رویه ٢٠٩
٧-١-٧ شرایط مرزی و تکیه‌گاهی ٢١٠
٧-١-٨ تحلیل‌های استاتیکی و دینامیکی ٢١٠
٧-١-٨-١ مراحل ساخت مدل مطابق روش اجرای سیستم خاک مسلح ٢١٠
٧-١-٨-٢ نتایج تحلیل ساخت مرحله‌ای ٢١١
٧-١-٨-٣ تایج تحلیل دینامیکی ٢١٣
٧-١-٩ تعیین ضریب شتاب افقی برای محاسبهٔ شبه‌استاتیکی دیوارهای خاک مسلح ٢٢٥
٧-٢ مطالعهٔ آزمایشگاهی میز لرزهٔ دیوار خاک مسلح با تسمه‌های پلیمری با استفاده از شتاب‌نگاشت هارمونیک با دامنهٔ متغیر ٢٣٥
٧-٢-١ شرایط مدل‌سازی آزمایشگاهی و عددی ٢٣٧
٧-٢-٢ تأثیر طول مسلح کننده‌ها ٢٤٢

۷-۲-۳ تأثیر بیشینهٔ شتاب ورودی..... ۲۴۳
۷-۲-٤ تأثیر فرکانس بدون رخداد تشدید..... ۲٤٤
۷-۲-۵ تأثیر فرکانس همراه با رخداد تشدید..... ۲٤۵
۷-۳ مطالعهٔ آزمایشگاهی اثر ساختگاه بر عملکرد لرزه‌ای سیستم ریزشمع..... ۲۵٤
۷-۳-۱ نتایج آزمایش‌های میز لرزه..... ۲۵۹
۷-۳-۱-۱ تعیین فرکانس طبیعی ارتعاش تودهٔ خاک..... ۲٦۱
۷-۳-۱-۲ پاسخ میدان آزاد خاک..... ۲٦۳
۷-۳-۱-۳ تأثیر دامنهٔ موج دینامیکی ورودی..... ۲٦۷
۷-۳-۱-٤ تأثیر زاویهٔ نصب ریزشمع‌ها..... ۲۷۱
۷-۳-۱-۵ پاسخ مدل فیزیکی به دو رویداد لرزه‌ای واقعی..... ۲۷۸

۸- مطالعهٔ اثر ساختگاه بر رفتار لرزه‌ای سازه‌های زیرزمینی شهری..... ۲۸۳
۸-۱ تأثیر آبرفت بر پاسخ لرزه‌ای تونل‌های شهری..... ۲۸٤
۸-۱-۱ روش‌های حل بسته در تونل‌های دایره‌ای تحت بار زلزله..... ۲۸۵
۸-۱-۲ مثالی از مدل هندسی با مشخصات مصالح و ویژگی نگاشت‌های زلزلهٔ مفروض..... ۲۹٤
۸-۱-۳ بررسی پاسخ پویای اندرکنش خاک و سازهٔ تونل در برابر زلزله..... ۳۰۵
۸-۲ تأثیر آبرفت در پاسخ لرزه‌ای ایستگاه‌های قطار شهری..... ۳۱۲
۸-۲-۱ مطالعهٔ موردی ایستگاه بقایی شهر اهواز..... ۳۲۱

۹- اثر توپوگرافی بر رفتار لرزه‌ای ساختگاه‌ها..... ۳۲۵
۹-۱ تأثیر توپوگرافی در گسیختگی شیب‌ها و ضریب بزرگنمایی شتاب در زمین‌لرزه..... ۳۲۸
۹-۲ تحلیل دینامیکی برای ارزیابی اثر توپوگرافی..... ۳۳۰
۹-۳ انتخاب پارامترهای مقاومت برشی در تحلیل پایداری لرزه‌ای شیب‌ها..... ۳۳۵
۹-٤ مطالعه آزمایشگاهی اثر توپوگرافی بر پاسخ لرزه‌ای ساختگاه با مدل‌های فیزیکی..... ۳۳۸
۹-۵ روش‌های پهنه‌بندی خطر لغزش..... ۳٤۱
۹-۵-۱ تقسیم‌بندی روش‌های پهنه‌بندی خطر لغزش..... ۳٤۲
۹-۵-۱-۱ تقسیم‌بندی براساس مقیاس..... ۳٤۲
۹-۵-۱-۲ تقسیم‌بندی روش‌ها براساس شیوهٔ تحلیل..... ۳٤۳
۹-۵-۲ روش‌های تهیهٔ نقشهٔ خطر براساس تحلیل پایداری دامنه‌ها..... ۳٤۳

۹-۵-۲-۱ روش‌های تحلیل خطر نسبی ۳٤٤
۹-۵-۲-۲ روش‌های کیفی ۳٤٤
۹-۵-۲-۳ روش همپوشانی عوامل ۳٤٤
۹-۵-۲-٤ روش‌های زمین‌شناسی مهندسی و زمین ریخت‌شناسی ۳٤٤
۹-۵-۲-۵ روش‌های کمّی ۳٤۵
۹-۵-۳ نوع پارامترهای مورد استفاده ۳٤٦
۹-۵-٤ شیوهٔ نمایش اطلاعات ۳٤٦
۹-۵-۵ کارایی نقشه‌های پهنه‌بندی خطر لغزش ۳٤٦
۹-٦ پهنه‌بندی ناپایداری شیب‌های سنگی در مناطق زلزله‌خیز ۳٤۷
۹-٦-۱ روش پهنه‌بندی پیشنهادی برای پهنه‌بندی مناطق سنگی ۳٤۷
۹-٦-۱-۱ عامل توپوگرافی یا ریخت‌شناسی ۳٤۸
۹-٦-۱-۲ عامل آب و هوا ۳٤۸
۹-٦-۱-۳ عامل زمین‌شناسی ۳٤۹
۹-٦-۲ عامل لرزه‌خیزی ۳۵۱
۹-٦-۳ روش کار برای تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی ۳۵۱

پیوست الف: نرم‌افزار NERA ۳۵۳
الف-۱ دانلود کردن NERA و نیازمندی‌های سیستمی ۳۵۳
الف-۲ نصب و حذف NERA ۳۵۳
الف-۳ دستورات NERA ۳۵٤
الف-٤ کاربرگ NERA ۳۵٦
الف-٤-۱ داده‌های زلزله ۳۵۷
الف-٤-۲ پروفیل خاک ۳۵۹
الف-٤-۳ منحنی تنش-کرنش، میرایی-کرنش مصالح ۳٦۱
الف-٤-٤ انجام محاسبات ۳٦۳
الف-٤-۵ خروجی (شتاب) ۳٦۳
الف-٤-٦ خروجی (کرنش) ۳٦٤
الف-٤-۷ خروجی (دامنه) ۳٦۵

الف-٤-٨ خروجی (فوریه) ٣٦٥
الف-٤-٩ خروجی (طیف) ٣٦٦
الف-٥ اجرای NERA ٣٦٧

پیوست ب: نرم‌افزار EERA ٣٦٩
ب-١ دانلود کردن EERA و نیازمندی‌های سیستمی ٣٦٩
ب-٢ نصب و حذف EERA ٣٦٩
ب-٣ دستورات EERA ٣٧٠
ب-٤ کاربرگ EERA ٣٧١
ب-٤-١ داده‌های زلزله ٣٧٣
ب-٤-٢ پروفیل خاک ٣٧٥
ب-٤-٣ منحنی تنش-کرنش، میرایی-کرنش مصالح ٣٧٧
ب-٤-٤ انجام محاسبات ٣٧٨
ب-٤-٥ خروجی (شتاب) ٣٨٠
ب-٤-٦ خروجی (کرنش) ٣٨٠
ب-٤-٧ خروجی (دامنه) ٣٨١
ب-٤-٨ خروجی (فوریه) ٣٨٢
ب-٤-٩ خروجی (طیف) ٣٨٣
ب-٥ اجرای EERA ٣٨٣

پیوست پ: نرم‌افزار DEEPSOIL ٣٨٧
نیازمندی‌های ٣٨٧
پ-١-١ نیازمندی‌های سخت‌افزاری ٣٨٨
پ-١-٢ نیازمندی‌های نرم‌افزاری ٣٨٨
پ-٢ ساختار برنامه ٣٨٨
پ-٢-١ نوار «Profiles» ٣٨٩
پ-٢-٢ نوار «Motions» ٣٩٠
پ-٢-٢-١ تصحیح خط مبنا ٣٩٢
پ-٢-٢-٢ روش‌های محاسبه طیف پاسخ ٣٩٣

پ-۲-۲-۳ طیف دامنهٔ فوریه و میانگین‌گیری ۳۹۷
پ-۲-۲-٤ براورد کاپا (κ) ۳۹۸
پ-۲-۲-۵ افزودن حرکت ورودی جدید (به روزرسانی شده) ٤۰۰
پ-۲-۳ نوار تحلیل ٤۰۰
پ-۲-۳-۱ تعریف تحلیل: گام اول ٤۰۰
پ-۲-۳-۱-۲ دکانولوشن با تحلیل حوزه فرکانس ٤۰٤
پ-۲-۳-۲ تعریف پروفیل خاک و مشخصات مدل: گام ۲a ٤۰٦
پ-۲-۳-۳ تعریف مشخصات سنگ: گام ۲c ٤۱۰
پ-۲-۳-٤ انتخاب حرکت خروجی: گام ۳ ..... ٤۱۱
پ-۲-۳-۵ میرایی ویسکوز ٤۱۳
پ-۲-۳-٦ پارامترهای کنترل تحلیل: گام ۵ ..... ٤۱۷
پ-۲-۳-٦-۲ تحلیل در حوزهٔ زمان ٤۱۹
پ-۲-۳-۷ خروجی: گام٦ ..... ٤۲۱

پیوست ت: نرم‌افزار SHAKE91_Input ٤۲۷
ت-۱ Menu ٤۲۷
ت-۱-۱ File ٤۲۸
ت-۱-۲ Material Properties ٤۲۹
ت-۱-۳ SHAKE91 ..... ٤۳٦
ت-۱-٤ View ٤۳۷
ت-۲ ایجاد فایل ورودی SHAKE91 ..... ٤۳۷
ت-۲-۱ نام فایل ٤۳۷
ت-۲-۲ مشخصات دینامیکی خاک ٤۳۸

پیوست ث: نرم‌افزار SeismoSignal ٤٤۷
ث-۱ مراحل کار در SeismoSignal ٤٤۹
ث-۲ خروجی ٤۵۳
ث-۲-۱ طیف فوریه- طیف توان ٤۵۳
ث-۲-۲ طیف پاسخ ٤۵٤

ث-۲-۳ تاریخچهٔ زمانی جابه‌جایی، سرعت و شتاب سازه با یک درجهٔ آزادی ٤٥٦
ث-۲-٤ تعیین پارامترهای حرکتی زمین ٤٥٧
ث-۲-٤-۱ حداکثر شتاب ٤٥٧
ت-۲-٤-۲ حداکثر سرعت ٤٥٨
ث-۲-٤-۳ حداکثر جابه‌جایی ٤٥٩
ث-۲-٤-٤ پریود غالب ٤٥٩
ث-۲-٤-٥ شتاب rms ٤٥٩
ث-۲-٤-٦ شدت Arias ٤٦٠
ث-۲-٤-۷ شدت مشخصه ٤٦٠
ث-۲-٤-۹ شتاب طراحی مؤثر ٤٦٢
ث-۲-٤-۱۰ سرعت و شتاب حداکثر ماندگار ٤٦٢
ث-۲-٤-۱۱ CAV(Cumulative Absolute Velocity) ٤٦٢
ث-۲-٤-۱۲ شدت طیف پاسخ، شدت طیف سرعت و شدت طیف شتاب ٤٦٣
ث-۲-٤-۱۳ مدت ٤٦٤
منابع ٤٦٧
منابعی برای مطالعه بیشتر ٤٧٧
واژه‌نامه فارسی به انگلیسی ٤٨١
واژه‌نامه انگلیسی به فارسی ٤٨٧
نمایه ٤٩٣

پیشگفتار

پس از آنکه اثر شرایط خاک ساختگاه در زلزله‌های مختلف برای پژوهشگران لرزه‌شناسی و ژئوتکنیک لرزه‌ای اثبات شد، در بین تقریباً تمامی کشورهای لرزه‌خیز این اتفاق‌نظر به‌وجود آمد که باید ضمن اهمیت دادن به موضوع مطالعات اثر ساختگاهی برای پروژه‌ها به‌صورت محلی و پروژه‌ای، ضروری است شهرهای پرجمعیت از نظر ریسک لرزه‌ای ناشی از زلزله‌ها و تأثیر نوع خاک و زمین بر بزرگا و شدت آنها پهنه‌بندی شوند.

به همین دلیل کمیته‌ای به نام کمیتهٔ فنی شماره ٤[1] برای تدوین راهنمای کاربردی برای تهیهٔ پهنه‌بندی در مهندسی ژئوتکنیک لرزه‌ای در سال ۱۹۸۵ توسط انجمن بین‌المللی مکانیک خاک و مهندسی پی [2] پایه‌گذاری شد و کار خود را از سال ۱۹۸٦ آغاز کرد. این کمیته مقرر کرد که از سال ۱۹۸۹ تا سال ۱۹۹٤ با تمرکز بر تهیه آیین‌نامه‌ای برای کاهش خطر زلزله فعالیت کند. کمیتهٔ فنی شماره ٤ دارای ۲۵ عضو از ۲۱ کشور دارد و مؤلف اول عضو ایرانی آن است. نتیجه کار این کمیته در سال ۱۹۹۳ به چاپ «دستنامهٔ پهنه‌بندی خطر ژئوتکنیک لرزه‌ای[3]» منجر شد. علاوه بر مشارکت مؤلف اول در تهیهٔ دستنامه مزبور، یکی از شش پیوست آن که مربوط به مخاطرات ژئوتکنیکی زلزله ۱۹۹۰ منجیل بود، توسط مؤلف و یک همکار[4] نگاشته شد. این دستنامهٔ بین‌المللی، پهنه‌بندی خطر ژئوتکنیک لرزه‌ای را به سه درجه تقسیم کرد. یکی از بخش‌های مهم این دستنامه، به اثر ساختگاهی و روش‌های مطالعاتی آن در سه درجه اختصاص یافته است. در تألیف کتاب حاضر نه تنها سعی شده تعریف ساده‌ای از اثر ساختگاهی ارائه شود، بلکه در تنظیم فصول آن ترتیب درک کامل مطلب و سپس کاربرد آن در مسائل مختلف مهندسی زلزله و ژئوتکنیک لرزه‌ای آورده می‌شود. در فصل اول اهمیت مطالعه اثر ساختگاه بر رفتار لرزه‌ای سازه‌ها در سطح زمین مطرح

---

1. TC4
2. ISSMFE
3. Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards
4. A. Komak Panah and N. Hafezi Moghaddas

شده و تعدادی از زلزله‌ها که اثر ساختگاه در آنها نقش اصلی را داشته، توضیح داده می‌شود. در فصل دوم عوامل مؤثر بر پاسخ زمین در بارگذاری چندجهته زمین‌لرزه آورده شده است. در این فصل نخست نظریه‌های مختلف و سپس روش‌های کاربردی مطالعه تأثیر عوامل مختلف بررسی شده است. در سوم، اثر محلی ساختگاه و روش‌های مطالعهٔ آن با ارائهٔ روش‌های مهم مورد استفاده مانند مایکروترمور، روش نسبت طیفی استاندارد و روش H/V توضیح داده شده است. تحلیل‌های خطی و غیرخطی و معرفی نرم‌افزارهای مورد استفاده در پروژه‌ها در این فصل بیان شده است. در فصل چهارم، مدل‌سازی پاسخ خاک در طول چرخه‌های برشی با تشریح مدل‌های مختلف مورد استفاده توسط محققان بحث شده و در فصل پنجم، تحلیل خطی معادل و تحلیل غیرخطی مقایسه شده و نرم‌افزارهای EERA و NERA معرفی شده است. در فصل ششم با مطالعه پاسخ لرزه‌ای آبرفت‌های شهر تهران، خواننده با نحوهٔ انجام مطالعه در یک پروژه و تهیه مدل محاسباتی و انجام محاسبات و ارائه نتایج آشنا می‌شود. با توجه به اینکه مطالعه اثر ساختگاهی موضوعی مهم و پایه‌ای در ژئوتکنیک لرزه‌ای است، یک روش ابتدایی که توسط نگارندگان پیشنهاد شده و در بیشتر پروژه‌های تحقیقاتی و کاربردی استفاده شده، یعنی «تهیه شتاب‌نگاشت هارمونیک معرف زلزله‌ها برای مطالعه توأم ساختگاه و سازه‌های خاکی» در فصل هفتم معرفی شده است. مثال‌های حل شده در این ارتباط درک مسئله را ساده‌تر می‌سازد.

با توجه به اهمیت اثر ساختگاه بر رفتار لرزه‌ای سازه‌های زیرزمینی شهری، در فصل هشتم مطالعات انجام شده همراه با مثال‌های مطالعاتی مورد بحث قرار گرفته است. در فصل نهم به اهمیت اثر توپوگرافی بر رفتار لرزه‌ای ساختگاه‌ها پرداخته شده است. در پیوست‌های کتاب، آموزش و نحوهٔ استفاده از نرم‌افزارهای NERA، EERA، DEEPSOIL، SHAKE 91-input و Seismo Signal ارائه شده است.