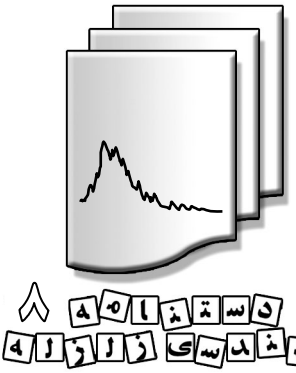
به نام آن که جان را فکرت آموخت



مهندسی زلزله کاربردی

در طراحی و بهسازی

مؤلفان:

دکتر محمدرضا تابش‌پور

(عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت معلم سبزوار)

حسین ابراهیمیان

(دانشجوی دکترا، دانشگاه صنعتی شریف)

دانشگاه تربیت معلم سبزوار

فدک ایساتیس

۱۳۸۸

سرشناسه	:	تابش‌پور، محمدرضا،۱۳۵۴-
عنوان و نام پدیدآور	:	مهندسی زلزله کاربردی در طراحی و بهسازی/ محمدرضا تابش‌پور، حسین ابراهیمیان.
مشخصات نشر	:	تهران: فدک ایساتیس، ۱۳۸۸.
مشخصات ظاهری	:	۴۰۴ ص. : مصور، جدول، نمودار.
شابک	:	۸۰۰۰۰ ریال : ۲-۵۹-۵۲۰۳-۶۰۰-۹۷۸
وضعیت فهرست‌نویسی	:	فیپا
یادداشت	:	کتابنامه: ص. ۴۰۶-۴۰۷.
موضوع	:	زلزله -- مهندسی
موضوع	:	ساختمان‌ها -- اثر زلزله
موضوع	:	زلزله‌شناسی
شناسه افزوده	:	ابراهیمیان، حسین، ۱۳۵۴-
رده‌بندی کنگره	:	۱۳۸۸ ۹م۲ت/۶/TA۶۵۴
رده‌بندی دیویی	:	۶۲۴/۱۷۶۲
شماره کتابشناسی ملی	:	۱۶۷۴۶۴۲

فدک ایساتیس

مهندسی زلزله کاربردی
در طراحی و بهسازی

دانشگاه تربیت معلم سبزوار

مؤلفان	:	**دکتر محمدرضا تابش‌پور، حسین ابراهیمیان**
مدیر تولید	:	**مهندس رضا کرمی‌شاهنده**
ویراستار فنی	:	**سید فرید قهاری**
ویراستار ادبی	:	**عوض لطیفی خرشکی**
نوبت چاپ	:	**اول- ۱۳۸۸**
تیراژ	:	**۲۰۰۰**
لیتوگرافی	:	**هزاره**
چاپ	:	**رهنما**
صحافی	:	**کیمیا**
قیمت	:	**۸۰۰۰۰ ریال**
شابک	:	**۹۷۸-۶۰۰-۵۲۰۳-۵۹-۲**

نشانی: تهران - خیابان انقلاب - خیابان اردیبهشت- بین لبافی‌نژاد و جمهوری- ساختمان ۱۰ (۱۲۶قدیم)
تلفن: ۶۶۴۶۵۸۳۱ - ۶۶۴۸۱۰۹۶ - ۶۶۴۸۲۲۲۱
نمایندگی یزد: میدان آزادی (باغ ملی)- ابتدای خیابان فرخی- جنب مجتمع ستاره
تلفن: ۶۲۲۵۴۹۱- ۶۲۶۸۸۲۲-۰۳۵۱
www.fadakbook.ir

کلیه‌ی حقوق و حق چاپ متن و عنوان کتاب که به ثبت رسیده است؛ مطابق با قانون حقوق مولفان و مصنفان مصوب ۱۳۴۸ محفوظ و متعلق به انتشارات فدک ایساتیس می‌باشد. هرگونه برداشت، تکثیر، کپی‌برداری به هرشکل (چاپ، فتوکپی، انتشار الکترونیکی) بدون اجازه کتبی از انتشارات فدک ایساتیس، ممنوع بوده و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار خواهند گرفت.

معاونت حقوقی
انتشارات فدک ایساتیس

پیشگفتار مؤلف اول

هر چند شدت لرزه‌خیزی کشور ایران از آسیای شرقی (به عنوان مثال کشور ژاپن) به‌مقدار قابل‌ملاحظه‌ای کمتر است، با وجود این، آمار تلفات زلزله در کشور ایران در مقایسه با جمعیت آن در همه‌ی جهان بی‌نظیر است. علت این امر، بی‌توجهی عمومی به ساخت و ساز مقاوم در برابر زلزله است. یکی از کارهای اساسی در جهت حل این مشکل، تدوین و تألیف مراجع آموزش مهندسی برای جامعه دانشگاهی و مهندسی کشور است. به‌منظور انجام وظیفه در راستای این رسالت، اینجانب بر آن شدم تا بر اساس دستاوردهای مهندسی زلزله و با توجه به تجربیات مربوط به زلزله‌های گذشته دوره‌ی «دستنامه‌ی مهندسی زلزله» را به جامعه‌ی مهندسی عمران و معماری کشور تقدیم کنم. این دوره شامل مجموعه نسبتاً کاملی از مطالب علمی این زمینه است. کتاب حاضر هشتمین کتاب از این سری بوده که با همکاری آقای ابراهیمیان از برجسته‌ترین دانشجویان دکترای سازه و در شانزده فصل تدوین شده است.

در دهه‌های آخر قرن نوزدهم که برخی از مهندسان در کشورهای اروپایی مأمور تدوین آیین‌نامه‌های لرزه‌ای شدند، معلوم بود که سازه‌ها در هنگام زلزله‌های شدید، وارد ناحیه غیرخطی می‌شوند. چند دهه بعد بایوت مفهوم طیف پاسخ را بیان کرد و راه علمی و مهندسی برای بارگذاری لرزه‌ای را تدوین کرد. بایوت به خوبی با حل مسایل ارتعاش غیرخطی آشنا بود. حیطه‌ی کاری بایوت طوری نبود که مجال پرداختن به مسایل مهندسی زلزله را بیابد. به‌همین دلیل مفهوم طیف پاسخ بیش از یک دهه، مغفول واقع شد و حدود ۶۰ سال طول کشید تا مختصر تغییری در شکل طیف بایوت صورت گیرد. از نقطه نظر ارزش ایده‌ی اولیه و امکان طرح ساده و قابل اطمینان، می‌توان گفت که کار بایوت به تنهایی به‌اندازه‌ی تمام کارهای ایده‌پردازانه که در مهندسی زلزله انجام شده، برابری می کند و حتی بیشتراست.

سرفصل کتاب حاضر برای دروس مبانی مهندسی زلزله، مهندسی زلزله پیشرفته، طرح لرزه‌ای سازه‌ها و بهسازی لرزه‌ای سازه‌های موجود، قابل استفاده است. با توجه به استانداردهای موجود در ایران، مطالب تکمیلی در برخی از قسمت های کتاب اضافه شده است تا ارتباط منطقی بین مطالب علمی و آیین نامه‌های لازم الاجرا در ایران حفظ گردد.

از همکاری و مساعدت صمیمانه‌ی آقای فرید قهاری که از برجسته‌ترین دانشجویان دکترای کشور بوده و ویرایش کتاب را با دقت فراوانی انجام دادند، سپاسگزاری می‌شود. از زحمات سرکار خانم‌ها ناهید و ندا

تابش‌پور صمیمانه تشکر می‌گردد. همچنین از همکاری و مساعدت سرکار خانم احتشام‌فر سپاسگزاری می‌شود. تهیه این اثر بیش از هرچیز مرهون همراهی و مساعدت همسر اینجانب بوده که از ایشان تشکر به عمل می‌آید.

از اساتید، دانشجویان و مهندسان محترم تقاضا می‌شود که نظرات و پیشنهادات خود را برای اصلاح و رفع نقایص کتاب برای نویسندگان ارسال فرمایند. پیشاپیش از تمامی منتقدان و پیشنهاددهندگان که اینجانبان را مورد منت قرار داده و زحمت ارسال نظرات خود را تقبل می‌کنند، صمیمانه تشکر می‌شود.

برای تبادل نظر به سایت dastnameh.ir مراجعه شود.

محمدرضا تابش‌پور

تابستان ۱۳۸۸

tabesh_mreza@yahoo.com
tabeshpour@civil.sharif.ir
info@dastnameh.ir

تقدیم به:

پدر

و

مادر

و همسرم

محمدرضا تابش پور

پیشگفتار مؤلف دوم

مهندسی زلزله بی‌شک در زمره‌ی یکی از مهمترین گرایش‌های مهندسی عمران قرار دارد. در کشور ایران که جزو مناطق لرزه‌خیز است، اهمیت این علم بیش از پیش نمایان است. هر چند سال با وقوع یک زلزله شدید، تلفات جانی و مالی شدیدی به هم‌وطنان عزیزمان وارد می‌شود که دلیل عمده‌ی آن عدم توجه دست اندرکاران به اصول طراحی و اجرای سازه‌های مقاوم در برابر زلزله است. تنها راه برای رفع این مشکل آن است که ساخت و ساز مقاوم در برابر زلزله به‌صورت یک فرهنگ عمومی درآید. خوشبختانه در دانشگاه‌های ایران اساتید بسیار توانایی برای آموزش دانش زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله وجود دارند، ولی متأسفانه در کشور ما فاصله زیادی میان صنعت ساخت و ساز با آن‌چه مهندسان در دانشگاه‌ها فرا می‌گیرند، وجود دارد. بررسی خرابی‌های ناشی از زلزله‌های به وقوع پیوسته در سالیان اخیر، نشان می‌دهند که با رعایت اصولی بسیار ساده و ابتدایی در طراحی و اجرا، می‌توانستیم مانع از بین رفتن جان تعداد بیشماری از هم‌وطنانمان شویم.

تدوین، ترویج، تصحیح و به‌روزرسانی آیین‌نامه‌های طراحی و بهسازی لرزه‌ای از یک سو و تألیف مراجع کمک آموزشی مهندسی زلزله برای درک بهتر مفاهیم مطرح شده درآیین‌نامه‌ها از سوی دیگر، می‌توانند گام‌های مؤثری جهت خدمت به جامعه مهندسی کشور و گسترش فرهنگ مهندسی زلزله باشند. هر چند در سالیان اخیر، آیین‌نامه‌ها و استانداردهای طراحی و اجرای سازه‌های مقاوم در برابر زلزله در کشور ما تغییرات چشم‌گیری یافته‌اند، ولی نیاز به اصلاح روش‌های طراحی لرزه‌ای موجود در آیین‌نامه‌ها به شدت احساس می‌شود. در بسیاری از آیین نامه های موجود و رایج طراحی لرزه‌ای (از جمله آیین‌نامه‌های *UBC* ، *IBC* ، آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران و ...)، نگرش اصلی استفاده از طیف طراحی خطی و طراحی بر مبنای نیرو است. ضریب رفتار R برای در نظر گرفتن رفتار غیرخطی سازه در زلزله مورد استفاده قرار می‌گیرد. با رعایت مبانی این آیین‌نامه‌ها انتظار می‌رود در زلزله‌ی طرح ساختمان به سطح پاسخ مشخص شده برسد. ولی با بررسی زلزله‌های به‌وقوع پیوسته، مشخص می‌شود که ساختمان‌های طراحی شده بر اساس این نگرش عملکردهای متفاوتی از خود نشان داده‌اند. نسل جدید روش‌های طراحی و بهسازی لرزه‌ای بر مبنای عملکرد، این امکان را ایجاد می‌کند که سازه‌ها در سطوح مختلف خطر لرزه‌ای، میزان کارایی (یا میزان خسارت قابل پذیرش) مشخصی داشته باشند. در روش‌های طراحی بر مبنای عملکرد، نگرش اصلی، استفاده از تحلیل‌های غیرخطی و فلسفه‌ی طراحی بر مبنای جابجایی است. برای تعیین پاسخ غیرخطی سازه‌ها از روش‌های ساده‌ای بر مبنای ترکیب طیف پاسخ با تحلیل استاتیکی فزاینده غیرخطی استفاده می‌شود. البته لازم به ذکر است که پاسخ لرزه‌ای یک ساختمان به عوامل متعددی از جمله ماهیت تحریک پایه ناشی از زلزله، هندسه سازه و مقاومت

اجزای آن وابسته بوده که هر کدام با عدم قطعیت‌های بسیاری مواجه است. از این رو برآورد دقیق میزان پاسخ لرزه‌ای سازه تقریباً غیرممکن است. بنابراین نگرش جدیدی که در سال‌های اخیر در طراحی لرزه‌ای بر مبنای عملکرد پیشنهاد شده است، برآورد حوزه تغییرات پاسخ سازه (به جای مقدار دقیق پاسخ) و برآورد احتمال افزایش یا کاهش پاسخ از مقادیر حدی است. این نگرش احتمالاتی، دورنمای سال‌های آینده مهندسی زلزله در آیین‌نامه‌ها را نشان می‌دهد.

هدف از تألیف کتاب حاضر تهیه مرجعی آموزشی برای آشنایی با فلسفه‌های موجود در نگرش‌های مختلف طراحی لرزه‌ای مطرح شده، است. مطالب ارائه شده در این کتاب برای مباحث مختلفی شامل مبانی مهندسی زلزله، مهندسی زلزله پیشرفته، طرح لرزه ای سازه ها و بهسازی لرزه ای سازه های موجود، مفید و قابل استفاده می‌باشند. امید است که کتاب حاضر برای دانشجویان و مهندسان حرفه‌ای قابل کاربرد بوده و گامی در راستای درک بیشتر مهندسی زلزله کاربردی فراهم آورد.

در خاتمه از همکاری و یاری دوستان بسیار خوبم آقای مهندس فرید قهاری و آقای مهندس حسین جهان‌خواه که از برجسته‌ترین دانشجویان دکترای مهندسی عمران گرایش زلزله در دانشگاه صنعتی شریف هستند، تشکر و قدردانی می‌نمایم. تشکر خالصانه خود را از استاتید گرانقدر دوران تحصیلات دانشگاهی آقای دکتر علی‌اکبر گل‌افشانی و آقای دکتر سید احمد انوار، که نقش عمده‌ای در پیشرفت علمی اینجانب داشته‌اند، ابراز می‌دارم. شاگردی در محضر این اساتید بزرگوار برای من بزرگترین افتخار علمی محسوب می‌شود. در پایان از همراهی و کمک‌های بی‌دریغ همسرم تشکر و سپاسگزاری می‌نمایم. تقدیم این کتاب، کمترین کاری است که می‌توانم در برابر محبت‌های پاک و خالصانه‌ی ایشان انجام دهم.

از اساتید بزرگوار، دانشجویان و مهندسان محترم که نظرها و پیشنهادهای خود را برای اصلاح این مجموعه ارسال می‌فرمایند، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

حسین ابراهیمیان
ebrahimian@civil.sharif.ir

تقدیم به:

همسرم

حسین ابراهیمیان

سخن ویراستار

با توجه به وجود منابع گوناگون و ارزشمند فارسی و انگلیسی در زمینه‌های مختلف مهندسی زلزله، همچنان کمبود مراجعی که بتواند طیف گسترده مهندسی زلزله از زلزله‌شناسی مهندسی تا طراحی لرزه‌ای را پوشش دهد و جواب‌گوی نیازهای دانشجویان، محققین و مهندسان عزیز باشد، به‌خوبی احساس می‌گردد. این کمبود در حالی‌است که تلاشهای ارزشمندی توسط محققان و اساتید برجسته‌ی داخل کشور انجام گردیده و نتایج قابل ستایشی نیز ارائه شده است.

کتاب پیش روی که قسمتی از آن برگرفته از مطالب تدریس شده توسط پروفسور میهین در دانشگاه برکلی می‌باشد، به همت دو تن از محققین برجسته کشور تهیه و تألیف شده است. دکتر محمدرضا تابش‌پور و مهندس حسین ابراهیمیان کوشیده‌اند تا مطالب ارائه شده توسط پروفسور میهین را به صورت تفسیری و جامع در اختیار دانشجویان و محققین عزیز قراردهند. علاوه بر آن، مؤلفین سعی نموده‌اند تا مطالب و فصولی را نیز به سبب نیاز جاری دانشجویان و مهندسان به آن بیفزایند، همچنین سعی شده است تا حد ممکن ارتباط منطقی میان مطالب با ملزومات آئین‌نامه‌های داخل کشور فراهم شود. کتاب حاضر به‌سبب پیوستگی و جامعیت آن در مفاهیم مهندسی زلزله، کوشیده است تا طیف گسترده خوانندگان از دانشجویان دوره کارشناسی تا دکترا را تحت پوشش قرار داده و نیاز جامعه مهندسی را نیز تا حد زیادی رفع کند.

در این کتاب، مؤلفین تمام تلاش خود را بکارگرفته‌اند تا با بهره‌گیری از دانش خود در زمینه مهندسی زلزله، تجربیات خود در تدریس و تألیف منابع علمی و همچنین با استفاده از تجربیات کسب نموده در طی فعالیتهای حرفه‌ای، بتوانند تا حد ممکن شکاف میان مباحث تئوریک و کاربردهای عملی در مهندسی زلزله را کاهش داده و کتابی چندوجهی را تقدیم خوانندگان نمایند.

امید است کمبودهای موجود در کتاب از کیفیت مطالب کتاب نکاسته باشد. در پایان از همه اساتید، دانشجویان و همکاران عزیز خواهشمندم تا با نظرات سودمند خود ما را در بهبود مطالب این کتاب در ویرایش‌های آینده یاری فرمایند.

سید فرید قهاری
دانشجوی دکترا، دانشگاه صنعتی شریف
Ghahari@civil.sharif.ir

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه‌ای بر طرح ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله

۱.۱ مقدمه ۳

۲.۱ انواع خرابی در زلزله ۳

۳.۱ راهنمایی‌های مهم بر اساس زلزله‌های گذشته ۱۰

۴.۱ کمّی سازی شدت خرابی در زلزله ۱۵

۵.۱ فعالیت‌های مربوط به بهبود و اصلاح آیین‌نامه‌های ساختمانی ۱۶

منابع ۱۷

فصل دوم: مفاهیم اساسی طراحی بر اساس عملکرد

۱.۲ مقدمه ۲۱

۲.۲ آیین‌نامه‌های موجود: *CBC (UBC)*، *IBC*، *ASCE-7* ۲۲

۳.۲ توصیه‌های *SEAOC* (کتاب آبی) ۲۲

۴.۲ *Vision 2000*، حرکت به سمت طراحی بر اساس عملکرد ۲۳

۵.۲ انواع کاربری در *Vision 2000* ۲۵

۶.۲ شاخص بندی کمّی زلزله ۲۵

۷.۲ معیارهای پذیرش در *Vision 2000* ۲۶

۸.۲ پیشرفت‌های مهم در *FEMA-273/356* ۲۸

۹.۲ پروژه‌ی فولادی *FEMA/SAC* ۲۹

۱.۹.۲ طراحی بر اساس عملکرد: رویکرد *SAC* ۳۰

۲.۹.۲ رویکرد *SAC* برای ساختمان‌های نو (*FEMA-350*) ۳۰

۳.۹.۲ برخی از محدودیت‌های روش *SAC* ۳۱

۱۰.۲ تحول سریع در آیین نامه‌ها و راهنماها بر اساس عملکرد ۳۱

۱۱.۲ بهبود ابزارهای مهندسی ۳۲

۱۲.۲ طراحی بر اساس عملکرد ۳۳

۱۳.۲ چارچوب *PEER* ۳۳

۱۴.۲ آینده‌ی روش طراحی بر اساس عملکرد ۳۶
منابع ۳۷

فصل سوم: نگرشی به روند اصلی طراحی لرزه‌ای

۱.۳ مقدمه ۴۱
۲.۳ مراحل اصلی در روند طراحی ۴۱
۱.۲.۳ مقتضیات و نیازهای عملی لازم برای بهره‌برداری از طرح ۴۲
۲.۲.۳ برآورد شرایط محیطی، ژئوتکنیکی و لرزه‌شناسی در محل احداث طرح ۴۲
۳.۲.۳ انتخاب سیستم مناسب ۴۲
۴.۲.۳ انجام عملیات مهندسی ۴۳
۵.۲.۳ کنترل کیفیت و تضمین طرح (بیمه) ۴۵
۳.۳ رهیافت‌های طرح لرزه‌ای ۴۵
۱.۳.۳ مقدمه‌ای بر رهیافت‌های طراحی ۴۶
۲.۳.۳ رهیافت‌هایی برای طراحی لرزه‌ای در سطوح خطر بالا ۴۶
۳.۳.۳ حد نیرویی در سازه‌های غیرخطی ۴۷
۴.۳.۳ حد شتاب در سازه‌های غیرخطی ۴۹
۵.۳.۳ طراحی بر مبنای جابه‌جایی ۵۰
۶.۳.۳ رویکردهای معمول طراحی ۵۰
۱.۶.۳.۳ روش تنش مجاز (تحلیل الاستیک) ۵۱
۲.۶.۳.۳ پاسخ سازه‌ی طراحی شده بر اساس مقاومت ۵۱
۳.۶.۳.۳ رویکرد طراحی بر مبنای ظرفیت ۵۲
۷.۳.۳ رویکرد طراحی سازه‌های مقاوم در برابر خسارت (خسارت تاب) ۵۳

فصل چهارم: خصوصیات مهندسی زمین لرزه‌ها و تحلیل خطر

۱.۴ مقدمه ۵۷
۲.۴ هدف تحلیل خطر ۵۷
۳.۴ محیط لرزه‌ای ۵۷
۴.۴ مرگ و میر ناشی از زلزله‌ها ۵۹
۵.۴ زمین‌لرزه‌های آمریکا ۶۰

۶.۴ تئوری بازگشت ارتجاعی ۶۲
۷.۴ گسلش ۶۳
۸.۴ خطر لرزه‌ای ۶۵
۹.۴ وابستگی حرکت زمین به مکانیزم گسلش ۶۶
۱۰.۴ اثرات زلزله نزدیک گسل ۶۷
۱۱.۴ اثرات مسیر عبور موج ۶۸
۱۲.۴ اثرات محلی (ساختگاهی) ۶۹
۱۳.۴ اندرکنش خاک و سازه ۷۰
۱۴.۴ بحث کیفی روی تاریخچه‌ی زمین ۷۱

فصل پنجم: کاربرد تحلیل خطر در مهندسی زلزله

۱.۵ مقدمه ۷۷
۲.۵ مقیاس‌های شدت زلزله ۷۷
۱.۲.۵ بزرگاهای لرزه شناسی ۷۷
۲.۲.۵ شدت مرکالی اصلاح‌شده (*Modified Mercalli Intensity, MMI*) ۷۸
۳.۵ شاخص‌های مهندسی مربوط به شدت زلزله ۷۸
۴.۵ تخمین شدت زلزله ۸۱
۵.۵ تخمین بر اساس طول گسل ۸۱
۶.۵ تخمین آماری شدت زلزله ۸۲
۱.۶.۵ رابطه‌ی بور، جوینر و فیومال (*Boore, Joyner and Fumal*) ۸۳
۲.۶.۵ رابطه‌ی کمپل و بزرگ نیا ۸۴
۷.۵ پریود غالب تحریک ۸۵
۸.۵ بیشینه‌ی سرعت و جابه‌جایی زمین ۸۵
۹.۵ تحلیل خطر به روش قطعی(تعیّنی، متعین) ۸۷
۱۰.۵ تحلیل خطر به روش احتمالی ۸۸
۱۱.۵ داده‌های *USGS* ۹۰
۱۲.۵ تاریخچه‌ی زمانی زلزله ۹۱
۱۳.۵ رکوردهای مصنوعی حرکت زمین ۹۱
۱.۱۳.۵ اصلاح رکوردهای موجود ۹۲

۲.۱۳.۵ روش‌های حوزه‌ی فرکانس ۹۳
۳.۱۳.۵ روش‌های حوزه‌ی زمان ۹۴

فصل ششم: طیف‌های پاسخ و طراحی

۱.۶ مقدمه ۱۰۱
۲.۶ طیف پاسخ خطی ۱۰۱
۳.۶ طیف طراحی ۱۰۲
۴.۶ هموارکردن طیف پاسخ ناشی از رکوردهای مختلف ۱۰۳
۵.۶ میرایی ویسکوز (لزج) ۱۰۴
۶.۶ شیوه‌های مختلف ترسیم طیف پاسخ ۱۰۶
۷.۶ نمودار طیف پاسخ سه جانبه ۱۰۷
۸.۶ نمودار طیف پاسخ دو جانبه شبه شتاب- جابجایی ۱۰۹
۹.۶ روابط تحلیلی برای ایجاد منحنی طیف طرح الاستیک ۱۱۰
۱۰.۶ ایجاد منحنی طیف طرح الاستیک بر پایه‌ی روابط تحلیلی آماری (کاهندگی) ۱۱۰
۱۱.۶ اثر جهت‌گیری پیش‌رونده‌ی انتشار شکست (*Forward Directivity Effect*) در نواحی نزدیک گسل بر طیف طراحی ۱۱۴
۱۲.۶ روابط تجربی ساده برای ایجاد طیف طرح الاستیک ۱۱۵
۱۳.۶ خصوصیات طیف طرح الاستیک نیومارک- هال ۱۱۶
۱۴.۶ نحوه‌ی ایجاد طیف طرح الاستیک نیومارک- هال ۱۱۹
۱۵.۶ مقایسه میان طیف طرح الاستیک نیومارک- هال با طیف‌های موجود در آیین‌نامه‌ها ۱۲۳
۱۶.۶ نکاتی پیرامون طیف طرح الاستیک نیومارک- هال ۱۲۴
۱۷.۶ تأثیر جنس خاک بستر بر طیف طرح الاستیک نیومارک- هال ۱۲۵
۱۸.۶ رفتار سازه‌ها در محدوده‌ی سرعت ثابت (محدوده‌ی نزولی طیف) در طیف طرح نیومارک- هال ۱۲۶
۱۹.۶ طیف‌های طراحی جدید در آیین‌نامه‌ها ۱۲۷
۲۰.۶ نکاتی پیرامون طیف طرح *NEHRP* (*FEM-368*) ۱۲۸
۲۱.۶ طیف طرح آیین‌نامه *NEHRP* ۱۳۱
۲۲.۶ اصلاح طیف طرح برای میرایی‌های غیر از ۵٪ ۱۳۲
۲۳.۶ جمع‌بندی ۱۳۳

فصل هفتم: پاسخ دینامیکی غیرخطی سیستم‌های ساده

۱.۷ مقدمه ۱۳۷

۲.۷ پاسخ غیرالاستیک به تحریک‌های ساده ۱۳۸

۱.۲.۷ حالت الف: پالس با پریود بلند ($T_p > T$) ۱۳۹

۲.۲.۷ حالت ب: پالس با پریود کوتاه ($T > T_p$) ۱۴۲

۳.۲.۷ حالت ج: پالس با پریود خیلی کمتر از پریود سازه ($T >> T_p$) ۱۴۶

۴.۲.۷ حالت د: تحریک هارمونیک با پریودی برابر پریود سازه ($T \approx T_p$) ۱۴۸

۱.۴.۲.۷ پاسخ سیستم الاستیک ۱۴۹

۲.۴.۲.۷ پاسخ سیستم غیرالاستیک ۱۵۰

۳.۴.۲.۷ نکاتی پیرامون روش سازه‌ی جایگزین ۱۵۳

فصل هشتم: طیف‌های پاسخ غیرخطی

۱.۸ مقدمه ۱۵۷

۲.۸ طیف پاسخ غیرخطی – کلیات ۱۵۷

۳.۸ نحوه‌ی ساخت طیف پاسخ غیرخطی با مقاومت یکسان ۱۵۸

۴.۸ موارد استفاده‌ی طیف پاسخ غیرخطی با مقاومت یکسان ۱۶۰

۱.۴.۸ تحلیل غیرخطی سیستم‌های یک درجه آزادی (برای ارزیابی سازه‌های موجود) ۱۶۰

۲.۴.۸ طراحی سیستم‌های یک درجه آزادی برای شکل‌پذیری مجاز ۱۶۱

۵.۸ نکاتی در مورد طیف پاسخ غیرخطی با مقاومت یکسان ۱۶۲

۶.۸ طیف پاسخ غیرخطی با شکل‌پذیری یکسان ۱۶۳

۷.۸ ضریب اصلاح پاسخ غیرخطی R ۱۶۳

۸.۸ حداکثر جابه‌جایی غیرخطی ۱۶۴

۹.۸ ضریب اصلاح جابه‌جایی γ ۱۶۶

۱۰.۸ جمع‌بندی ۱۶۶

فصل نهم: طیف طرح غیر الاستیک (غیر خطی)

۱.۹ مقدمه ۱۷۳

۲.۹ ایجاد طیف طرح غیرالاستیک ۱۷۴

۳.۹ روش نیومارک و هال در استخراج طیف غیر الاستیک ۱۷۴

۴.۹ تخمین جابه‌جایی ۱۷۶
۵.۹ ضرایب اصلاح تجربی برای طیف طرح غیرالاستیک ۱۷۷
۶.۹ ضریب رفتار R ۱۷۸
۷.۹ فرمت طیف شتاب بر حسب طیف جابه‌جایی ۱۷۹
منابع ۱۸۰

فصل دهم: اثر $P-\Delta$ و نوع رفتار چرخه‌ای

۱.۱۰ مقدمه ۱۸۳
۲.۱۰ ضرورت اصلاح طیف غیرخطی ۱۸۳
۳.۱۰ مشاهداتی در منحنی‌های چرخه‌ای ۱۸۴
۴.۱۰ مدل‌های کاهندگی سختی ۱۸۴
۱.۴.۱۰ طیف‌های R ثابت ۱۸۶
۲.۴.۱۰ نمودار نیرو- جابه‌جایی ۱۸۷
۳.۴.۱۰ تاریخچه‌ی جابه‌جایی ۱۸۸
۴.۴.۱۰ اثر خصوصیات حرکت زمین ۱۸۹
۱.۴.۴.۱۰ سیستم‌های الاستیک ۱۸۹
۲.۴.۴.۱۰ سیستم‌های غیرالاستیک ۱۸۹
۵.۱۰ مدل الاستیک- کاملاً پلاستیک (*EPP*) ۱۸۹
۶.۱۰ اثر زوال مقاومت ۱۹۱
۷.۱۰ اثر $P-\Delta$ ۱۹۲
۱.۷.۱۰ روش ساده اثر غیرخطی هندسی ۱۹۲
۳.۷.۱۰ اثر کلی سختی هندسی ۱۹۴
۴.۷.۱۰ اثر سختی منفی فراتسلیم ۱۹۵
۵.۷.۱۰ اثر $P-\Delta$ در خلال زلزله ۱۹۶
۶.۷.۱۰ مود شکست ۱۹۷
۷.۷.۱۰ افزایش جابه‌جایی‌های بیشینه ۱۹۸
۸.۷.۱۰ طراحی برای اثر $P-\Delta$ ۱۹۹
۹.۷.۱۰ افزایش مقاومت به منظور جبران اثر $P-\Delta$ ۲۰۰
۱.۹.۷.۱۰ روش عمومی ۲۰۰
۲.۹.۷.۱۰ روش بروشک و میهین (*Boroschek and Mahin*) ۲۰۱

۱۰.۷.۱۰ نتایج عددی ۲۰۲

فصل یازدهم: نکاتی پیرامون زلزله نزدیک گسل

۱.۱۱ مقدمه ۲۱۱
۲.۱۱ خصوصیات رکورد زلزله‌ی نزدیک گسل ۲۱۱
۳.۱۱ طیف ضربه (*Shock Spectrum*) ۲۱۲
۱.۳.۱۱ طیف غیرخطی ضربه (برای ضربه‌ی ایده آل سازی شده‌ی مؤلفه‌ی عمود بر گسل) ۲۱۲
۴.۱۱ مشاهدات مربوط به زلزله‌ی نزدیک گسل ۲۱۴

فصل دوازدهم: استفاده از طیف پاسخ غیر ارتجاعی در طراحی

۱.۱۲ مقدمه ۲۲۷
۲.۱۲ تقلیل سیستم *MDOF* به سیستم معادل *SDOF* ۲۲۷
۳.۱۲ مفهوم تبدیل پاسخ *SDOF* به سیستم غیر الاستیک *MDOF* ۲۲۸
۴.۱۲ مروری بر طیف غیرالاستیک طرح ۲۲۸
۵.۱۲ برونیابی طیف‌های غیرالاستیک به سیستم‌های *MDOF* ۲۲۹
۶.۱۲ روش متداول تحلیل مودی ۲۲۹
۷.۱۲ نکاتی پیرامون تحلیل مودی ۲۳۰
۸.۱۲ کاربردهای آیین‌نامه‌ای ۲۳۱
۱.۸.۱۲ آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰، *UBC-97* و *IBC-2000* ۲۳۱
۲.۸.۱۲ *FEMA-368* (*NEHRP-2002*) ۲۳۱
۳.۸.۱۲ *FEMA-273/356*، ارزیابی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود ۲۳۱
۹.۱۲ روش استاتیکی خطی در *FEMA-273/356* ۲۳۱
۱.۹.۱۲ برش پایه ۲۳۱
۲.۹.۱۲ توزیع نیرو در ارتفاع ساختمان ۲۳۲
۳.۹.۱۲ معیار پذیرش در اعضا ۲۳۲
۴.۹.۱۲ معیار جابه‌جایی میان‌طبقه‌ای ۲۳۳
۱۰.۱۲ روش دینامیکی خطی در *FEMA-273/356* ۲۳۳
۱۱.۱۲ روش استاتیکی غیرخطی در *FEMA-273/356* ۲۳۴
۱۲.۱۲ تحلیل پوش اور ۲۳۵

۱۳.۱۲ بعضی از عبارات در *FEMA- 273/356* ۲۳۶
۱۴.۱۲ ضوابط *FEMA-350* در تحلیل پوش اور ۲۳۷
۱۵.۱۲ روش‌های غیرخطی در *FEMA-273/356* ۲۳۸
۱۶.۱۲ تقلیل سیستم *MDOF* به *SDOF* ۲۳۹
۱۷.۱۲ سیستم *SDOF* معادل ۲۳۹
۱۸.۱۲ یادآوری سیستم *SDOF* ۲۴۲
۱۹.۱۲ پیشرفت‌های تجربی ۲۴۲
منابع ۲۴۳

فصل سیزدهم: روش‌هایی ساده برای برآورد لرزه‌ای سازه‌ها

۱.۱۳ مقدمه ۲۴۷
۲.۱۳ ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها ۲۴۷
۱.۲.۱۳ سطوح عملکرد ساختمان (*Performance Level*) ۲۴۷
۲.۲.۱۳ سطوح خطر لرزه‌ای (*Hazard Level*) ۲۴۹
۳.۲.۱۳ اهداف بهسازی ۲۴۹
۱.۳.۲.۱۳ بهسازی مبنا ۲۴۹
۲.۳.۲.۱۳ بهسازی مطلوب ۲۵۱
۳.۳.۲.۱۳ بهسازی ویژه ۲۵۱
۴.۲.۱۳ نگرش آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ در تعیین عملکرد لرزه‌ای ۲۵۱
۵.۲.۱۳ روشهای کلی ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها ۲۵۲
۶.۲.۱۳ پاسخ به یک پرسش اصلی ۲۵۵
۳.۱۳ تحلیل استاتیکی غیرخطی، مبانی ۲۵۸
۱.۳.۱۳ تعیین منحنی رفتاری اعضای سازه ۲۵۸
۲.۳.۱۳ توزیع ارتفاعی بار جانبی برای انجام تحلیل استاتیکی فزاینده‌ی غیرخطی ۲۶۲
۳.۳.۱۳ نقطه‌ی عملکرد ۲۶۳
منابع ۲۶۶

فصل چهاردهم: روش اصلاح جابجایی یا ضریب جابجایی برای تعیین نقطه عملکرد سازه‌ها

۱.۱۴ مقدمه ۲۶۹

۲.۱۴ روش‌های مختلف دو خطی‌کردن منحنی نیرو- جابه‌جایی ۲۷۱
۳.۱۴ ضریب C_0 ۲۷۳
۴.۱۴ ضریب C_1 ۲۷۴
۵.۱۴ ضریب C_2 ۲۸۱
۶.۱۴ ضریب C_3 ۲۸۳
۷.۱۴ جمع‌بندی ۲۸۸
منابع ۲۸۸

فصل پانزدهم: روش خطی‌سازی معادل یا طیف ظرفیت

۱.۱۵ مقدمه ۲۹۱
۲.۱۵ روش طیف ظرفیت ارائه شده در دستورالعمل *ATC-40* ۲۹۱
۳.۱۵ جمع‌بندی روش طیف ظرفیت ارائه شده در دستورالعمل *ATC-40* ۳۰۷
۴.۱۵ روش خطی‌سازی معادل در دستورالعمل *FEMA-440* ۳۰۸
۱.۴.۱۵ تعیین میرایی مؤثر ۳۱۰
۲.۴.۱۵ تعیین زمان تناوب مؤثر ۳۱۰
۳.۴.۱۵ ارتباط میان زمان تناوب مؤثر در روش خطی‌سازی با زمان تناوب معادل (سکانتی) ۳۱۱
۴.۴.۱۵ روش‌های تعیین طیف جابه‌جایی-شبه شتاب با میرایی مؤثر ۳۱۵
۵.۴.۱۵ روش‌های تعیین نقطه‌ی عملکرد سازه‌ها به روش خطی‌سازی معادل ۳۱۶
۵.۱۵ روش *N2* ۳۲۲
۶.۱۵ روش کلی طیف ظرفیت مبتنی بر طیف غیرالاستیک ۳۲۹
۱.۶.۱۵ استفاده از طیف نیاز غیرالاستیک حقیقی با مقاومت یکسان ۳۲۹
۲.۶.۱۵ استفاده از طیف نیاز غیرالاستیک تقریبی با مقاومت یکسان ۳۳۰
۳.۶.۱۵ استفاده از طیف الاستیک تقریبی با شکل‌پذیری یکسان ۳۳۱
منابع ۳۳۳

فصل شانزدهم: روش‌های ساده تحلیل غیرخطی سازه‌ها با در نظر گرفتن اثر مودهای مختلف

۱.۱۶ مقدمه ۳۳۷
۲.۱۶ روش تحلیل تاریخچه‌ی زمانی مودال غیردرگیر ۳۳۷

۳.۱۶ روش تحلیل استاتیکی فزاینده‌ی مودال ۳۴۱
۴.۱۶ گام‌های انجام روش تحلیل تاریخچه‌ی زمانی مودال غیردرگیر ۳۴۷
۵.۱۶ گام‌های انجام روش تحلیل استاتیکی فزاینده‌ی مودال ۳۴۸
۶.۱۶ مقایسه‌ی میان روش‌های تحلیل استاتیکی فزاینده‌ی مودال و تحلیل تاریخچه‌ی زمانی مودال غیردرگیر ۳۴۸
منابع ۳۵۰

واژه‌نامه‌ی انگلیسی به فارسی ۳۵۱
واژه‌نامه‌ی فارسی به انگلیسی ۳۵۷
فهرست الفبایی ۳۶۳

فصل ۱

مقدمه‌ای بر طرح ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله