

بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود

تئوری و کاربرد

جلد اول: ارزیابی عملکرد لرزه‌ای

چاپ اول

تألیف: دکترید بهرام بهشتی‌اول

دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی

پیشگفتار

پس از زلزله‌های مخرب و فاجعه بار رودبار و بم، از سال ۱۳۸۳ تاکنون، تنها مدرکی که از آن به طور مستقیم در انجم محاسبات پروژه‌های مقاوم‌سازی استفاده می‌شود، مجلد بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود ایران و تقسیم آن می‌باشد. این مدرک به کوشش کارشناسان پژوهشکده بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله تهیه شده است. در اوایل دوران ارایه آن، در حالی که اعمال آیین‌نامه زلزله ۲۸۰۰ به صورت ابتدائی هنوز در امور ساخت و ساز بسیاری از اقصی نقاط کشور با مشکلات آموزشی مواجه بود، ارائه آن ساده لازم‌الاجرا چنین مدرکی که بر پایه آخرین دست‌آوردهای مهندسی زلزله تهیه شده بود، مری بسیار متحورانه و شجاعانه محسوب می‌شد. عدم آشنایی و آمادگی جامعه مهندسی ساختمان کشور در آن حال صحیح این دستورالعمل سبب تأخیر در انجام این پروژه‌ها به خصوص در امور ساختمان‌ها، هم‌ولتی گردید. در مقابل نقص فوق، برای جامعه دانشگاهی فرصتی را فراهم نمود که به بازنگری زمینه‌های آموزش علوم مرتبط با مهندسی زلزله توجه ویژه نموده و به عنوان پیشرو به ایجاد تحول در کاربردهای عملی آن همت گمارد. برگزاری دوره‌های مقام‌سازی توسط اساتید دانشگاهی برای مهندسی شرکت‌های درگیر پروژه‌های بهسازی لرزه‌ای، امکان انتقال دانش به آنان را فراهم ساخت. در این راستا تهیه کتب مرجع که بتواند در آموزش دانشجویان بر اساس آخرین دست‌یافته‌های مهندسی زلزله مفید باشد، امر مهمی به نظر می‌رسید.

شاید بتوان ادعا نمود که در طراحی ابنیه تنها نیروی طراحی که بر اساس آن تجاوز تنش‌ها از مقادیر حد ارتجاعی پذیرفته باشد، بارهای مرتبط به نیروهای زلزله است. ماهیت رشد دینامیک این دانش و اعمال سریع و صریح آنها در مدارک طراحی سبب شده است که مهندسی ساختمان حتی بعد از فراغت از تحصیل نسبت به بروز نمودن اطلاعات خود توجه جدی داشته باشند.

مجلد پیش‌رو تلاشی در راستای رفع کمبود این مدارک در کشور می‌باشد. تفاوت این مجلد با دیگر کتب موجود آن است که سعی شده خواننده با اطلاعات اولیه در مقوله مهندسی زلزله به صورت گام به گام از اصول اولیه شروع نموده و در ادامه از آخرین دست‌آوردهای مهندسی زلزله بر اساس روش‌های عملکردی مطلع گردد. این کتاب نه تنها قابل استفاده در آموزش بهسازی لرزه‌ای در دروس دوره‌های کارشناسی ارشد و دکتری سازه و زلزله است بلکه مهندسين نیز می‌توانند جهت درک عمیق اصول بهسازی از آن استفاده نمایند. انشاءالله... کتاب در ۳ مجلد تقدیم می‌شود. کتابی که ملاحظه می‌فرمایید جلد اول از این سری است. در این مجلد ضمن ارائه اصول مهندسی زلزله و معرفی فرآیندهای عملکردی در ارزیابی رفتار لرزه‌ای سازه‌ها، سعی شده ابزارهای تحلیل لرزه‌ای را آورد عملکرد سازه‌ای را معرفی نماید. در مجلد دوم فرضیات و نحوه مدل‌سازی غیرخطی و آیین‌بندی لرزه‌ای انواع سیستم‌های سازه‌ای ارائه خواهد شد. در مجلد سوم ضمن ارائه تجربیات اجرایی، روش‌ها و تکنیک‌های بهسازی و مقاوم‌سازی در قالب معرفی استراتژی‌های کاربردی برای انواع سیستم‌های سازه‌ای بیان می‌گردد.

کتاب حاضر به چهار بخش مس‌بندی شده است. در بخش اول که در یک فصل ارائه گردیده، ضمن بیان تاریخچه‌ای از مهندسی زلزله، به روند تطوّر شامل تولد، رشد و بلوغ آن می‌پردازد. خواننده پس از اتمام مطالعه این بخش به ددی کلی از جایگاه مهندسی زلزله در یک طراحی لرزه‌ای دست می‌یابد. در بخش دوم که شامل فصل دوم تا هفتم است، ابزارهای لازم برای انجام یک ارزیابی لرزه‌ای در اختیار کاربر قرار می‌گیرد. اگرچه این اطلاعات در کتب مهندسی زلزله موجود می‌باشد، اما سعی شده این مطالب به صورت منسجم با قالبی که در تحلیل‌های آتی مورد نیاز است، ارائه گردد. روش‌های غیرخطی که با تحلیل‌های بنابجایی آغاز می‌شود در بخش سوم شامل فصول هشتم تا دوازدهم قابل دسترسی است. روش‌های تحلیل با افزون و طیف ظرفیت در این بخش معرفی گردیده‌اند. در بخش چهارم که شامل فصول سزدهم تا چهاردهم است، دو دیدگاه تعیینی و احتمالی در چارچوب روش ضرایب ارائه شده‌اند. در انتها یعنی در فصل پانزدهم نیز روش تحلیل دینامیکی افزایشی که اخیراً کاربردی فراوان در برآورد طلب و ظرفیت لرزه‌ای سازه دارد، معرفی می‌گردد. سه پیوست نیز جهت تکمیل مطالب ضمیمه می‌باشند. در پیوست اول نمونه‌ای از پرسشنامه‌ها که جهت درج اطلاعات ارزیابی کیفی ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد، معرفی گردیده و در پیوست دوم نیز مقدماتاً تحلیل خطر که قدم اول در برآورد نیاز لرزه‌ای می‌باشد، گنجانده شده است. در انتها نیز کاربرد نرم‌افزار SAP در قالب یک مثال در برآورد نیاز لرزه‌ای معرفی می‌گردد. در انتها لازم به تأکید است که جهت تکمیل اطلاعات ارائه شده خواننده می‌باید به مدارک معرفی شده در مراجع هر فصل مراجعه نماید.

این کتاب مطمئناً در چاپ اول دچار کاستی‌های فراوانی است که انشاءالله... به کمک راهنمایی خوانندگان ایرادات آن در چاپ‌های بعدی مرتفع خواهد شد. لذا بر اینجانب متّ غذارده و از شما

صاحب نظر گرامی تقاضا دارد که پیشنهادات خویش را به آدرس پست الکترونیکی اینجانب ارسال نماید.

بر خود لازم می‌دانم که از شماری از دانشجویان دوره کارشناسی ارشد زلزله دانشکده عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی چون خانم‌ها کشانی، محمدزاده، کبیری و فیاضی و آقایان اندرامی، فیروزآبادی، دربانی، ماهبانویی و سالاریان که با بازخوانی مطالب و ارائه نقطه نظرات خود اینجانب را کمک و یاری نمودند، تشکر نمایم. پیوست‌های دوم و سوم به کمک آقایان مهندس خجسته‌فر و علی‌نوری نوشته شده، که لازم است مراتب سپاسگزاری خویش را از این عزیزان ابراز نمایم. همچنین از آقای مهندس صمدزاد که با سلیقه خاص خود طرح روی جلد را تهیه نمودند، سپاسگزارم.

سید بهرام بهشتی اول

Sb_beheshti@yahoo.com

زمستان ۱۳۹۱

بخش اول: کلیات

فصل ۱: نگرش لرزه‌ای به سازه‌ها از گذشته تا حال و کمی هم آینده

۳	۱-۱- مقدمه
۴	۲-۱- تفاوت زلزله با دیگر بارهای ساختمانی وارد بر ساختمان
۵	۳-۱- روند بسط و توسعه آیین‌نامه‌های زلزله
۵	۱-۳-۱- اساس آیین‌نامه‌های زلزله
۶	۲-۳-۱- آیین‌نامه‌های زلزله از دیرباز تا کنون
۱۸	۳-۳-۱- ایرادات و اوجه بر کدهای لرزه‌ای فعلی
۱۹	۴-۳-۱- اهداف آیین‌نامه‌های فعلی
۲۰	۴-۱- دگرگونی اول در آیین‌نامه‌های زلزله
۲۲	۵-۱- عملکردهای مورد انتظار در آیین‌نامه‌های زلزله جاری
۲۳	۶-۱- اعمال طراحی بر اساس روش عملکردی
۲۴	۷-۱- مقایسه برآورد نیاز در آیین‌نامه‌های فعلی و روش عملکردی
۲۶	۸-۱- جایگزینی نگرش نیرویی با نگرش جابجایی
۲۷	۹-۱- سیر تحول استانداردهای طراحی بر اساس روش عملکردی
۳۱	۱۰-۱- تعیین نقطه عملکرد در روش‌های بر پایه عملکرد
۳۲	۱۱-۱- مزایا و معایب روش طراحی بر اساس عملکرد
۳۲	۱-۱۱-۱- مزایا
۳۳	۲-۱۱-۱- معایب
۳۴	۱۲-۱- آینده آیین‌نامه‌های زلزله
۳۶	۱۳-۱- فرایند آتی طراحی لرزه‌ای
۴۲	۱-۱۳-۱- برآورد پارامترهای تصمیم‌گیری
۴۴	۱-۱۳-۱-۱- شدت جنبش زمین
۴۶	۲-۱۳-۱- تحلیل سازه
۴۸	۳-۱۳-۱- توابع شکنندگی سازه
۵۱	۴-۱۳-۱-۱- شکنندگی اجزاء غیر سازه‌ای
۵۲	۵-۱۳-۱- تابع خسارت

۵۳	۱-۱۳-۲- جمع خسارت
۵۴	۱-۱۴- نتیجه گیری
۵۵	۱-۱۵- مراجع

بخش دوم: پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها

۵۹	فصل ۲: مفاهیم و معادلات پایه
۵۹	۲-۱- مقدمه
۶۰	۲-۲- سیستم‌های یک درجه آزادی
۶۳	۲-۲-۱- سیستم یک درجه آزادی تحت جنبش زمین
۶۴	۲-۲-۲- پاسخ لرزه‌ای آزاد
۶۵	۲-۲-۲-۱- سازه‌های بدون استپلاک
۶۶	۲-۲-۲-۲- سازه‌های مستطیلک شونده
۷۰	۲-۳- محاسبه تجربی نسبت م‌رایی
۷۰	۲-۴- ضربه
۷۲	۲-۵- بارگذاری اختیاری
۷۲	۲-۶- تغییر مکان سیستم یک درجه آزادی در بار لرزه
۷۳	۲-۳- تحلیل دینامیکی دستگاه‌های چند درجه آزادی
۷۸	۲-۴- تحلیل دینامیکی سازه‌های نامتقارن در پلان
۸۱	۲-۵- پاسخ کلی سازه‌ها به تحریک لرزه‌ای
۸۳	۲-۵-۱- تحلیل پاسخ طیفی
۸۸	۲-۵-۱-۱- گراف‌های سه تایی
۹۴	۲-۵-۱-۲- کاربرد طیف پاسخ طراحی الاستیک*
۱۰۵	۲-۵-۱-۳- اثر دیگر عوامل بر مقادیر طیف
۱۰۸	۲-۵-۲- کاربرد نرم‌افزارهای محاسبه طیف‌های زلزله
۱۰۹	۲-۵-۳- تحلیل طیفی سیستم‌های چند درجه آزادی
۱۱۶	۲-۶- پرسش
۱۱۷	۲-۷- مراجع
۱۱۹	فصل ۳: عوامل مؤثر بر جنبش زمین
۱۱۹	۳-۱- مقدمه

۲-۳- زلزله‌خیزی

۱۲۰

۳-۳- اثر بزرگی زمین لرزه و مسافت بر حرکات زمین

۱۲۱

۴-۳- مکانیزم منبع

۱۲۳

۵-۳- اثر شرایط محلی بر حرکات زلزله

۱۲۵

۶-۳- مشخصات رکوردهای حرکات زلزله

۱۲۷

۷-۳- مراجع

۱۲۹

فصل ۴: انتخاب، پردازش و مقیاس‌سازی رکوردهای جنبش زمین

۱۳۱

۱-۴- مقدمه

۱۳۱

۱-۱-۴- رکوردهای تاریخی

۱۳۲

۲-۱-۴- رکوردهای مصنوعی تولید شده

۱۴۱

۱-۲-۱-۴- رید رکوردهای مصنوعی

۱۴۱

۲-۴- کاربرد نرم افزار تولید رکات زلزله

۱۴۴

۳-۴- روش‌های همپایه کردن شتاب نگاشت‌ها

۱۴۴

۱-۳-۴- همپایه کردن بر اساس شدت پی

۱۴۵

۲-۳-۴- همپایه کردن بر اساس متوسط مندرج شتاب و شدت آریاس

۱۴۶

۳-۳-۴- همپایه کردن بر اساس شتاب، یا - ابعاد اوج

۱۴۸

۴-۳-۴- همپایه کردن بر اساس انطباق با طیف طراحی

۱۴۹

۵-۳-۴- همپایه کردن بر اساس انطباق با پاسخ سازه

۱۵۱

۶-۳-۴- مقیاس رکورد به جهت انطباق در تمام فرکانس‌ها با طیف طراحی

۱۵۳

۷-۳-۴- استفاده از میانگین حسابی شتاب طیفی

۱۵۳

۸-۳-۴- روش‌های مقیاس‌سازی شتاب‌نگاشت‌ها در آیین‌نامه‌های زلزله

۱۵۴

۴-۴- تعداد رکوردها

۱۵۶

۵-۴- درجه انطباق طیف حاصل از رکوردهای مورد استفاده با طیف طراحی

۱۵۶

۱-۵-۴- ملزومات انطباق طیف رکوردهای مجزا

۱۵۶

۲-۵-۴- ملزومات انطباق طیف مجموع برای مجموع رکوردها

۱۵۷

۶-۴- ملاحظات انجام یک تحلیل دینامیکی برای چندین مؤلفه حرکت

۱۵۷

۷-۴- پرسش

۱۵۹

۸-۴- تحقیق

۱۶۰

۹-۴- مراجع

۱۶۱

فصل ۵: پارامترهای مشخصه سیستم‌های لرزه‌بر

۱۶۳	۵-۱- مقدمه
۱۶۳	۵-۲- نقش سیستم‌های سازه‌ای بر عملکرد لرزه‌ای ساختمان
۱۶۶	۵-۳- نقش معماری و عناصر غیر سازه‌ای بر عملکرد لرزه‌ای ساختمان
۱۷۲	۵-۴- تقسیم‌بندی سیستم‌های سازه‌ای بر اساس رفتار
۱۷۳	۵-۴-۱- سیستم‌های خطی
۱۷۶	۵-۴-۲- سیستم‌های غیر خطی و مفهوم فیوز
۱۸۵	۵-۴-۲-۱- طراحی ظرفیت
۱۸۶	۵-۴-۲-۲- تحمل خرابی
۱۸۶	۵-۴-۲-۱- طراحی پلاستیک
۱۸۹	۵-۵- طراحی میرایی (روش‌های جابجایی و انرژی)
۱۹۰	۵-۶- مشخصات غیر خطی لرزه‌ای سازه‌ها
۱۹۰	۵-۶-۱- رفتار ترد و شکل‌پذیر
۱۹۱	۵-۶-۲- مقاومت و شکل‌پذیری
۱۹۳	۵-۶-۳- اضمحلال و جذب انرژی
۱۹۴	۵-۶-۴- بازپخش کنش‌ها
۱۹۵	۵-۶-۵- ضریب اضافه مقاومت طراحی
۱۹۸	۵-۶-۶- میرایی
۲۰۰	۵-۷- ضرایب شکل‌پذیری
۲۰۲	۵-۷-۱- شکل‌پذیری براساس حداکثر تغییر مکان واقعی
۲۰۳	۵-۷-۲- شکل‌پذیری براساس واکنش چرخه‌ای
۲۰۳	۵-۸- شکل‌پذیری براساس تغییر شکل پلاستیک تجمعی
۲۰۳	۵-۹- شکل‌پذیری بر اساس کل انرژی پسماند
۲۰۴	۵-۱۰- شکل‌پذیری سیستم‌های چند درجه آزادی
۲۰۴	۵-۱۱- تخمین مقادیر جابجایی تسلیم و نهایی در سازه‌ها
۲۰۷	۵-۱۲- مفهوم ضریب رفتار
۲۱۱	۵-۱۲-۱- ضریب R_{code} بر پایه طراحی (مقدار نیرویی یا آیین نامه‌ای)
۲۱۴	۵-۱۲-۲- ضریب R_{demand} بر پایه نیاز (جابجایی/ شکل‌پذیری)
۲۱۵	۵-۱۲-۲-۱- برآورد R_{demand} از سیستم یک درجه آزادی معادل

۲۲۸	۵-۱۲-۲-۲- تصحیح ضریب رفتار برای سیستم های چند درجه آزادی (MDOF)
۲۳۳	۵-۱۲-۲-۳- تأثیر میرایی بر ضریب کاهش مقاومت (R_E)
۲۳۳	۵-۱۲-۲-۴- برآورد R_{demand} از سیستم چند درجه آزادی واقعی
۲۳۴	۵-۱۲-۳- ضریب R_{supply} بر پایه مقاومت موجود (ظرفیت)
۲۳۶	۵-۱۲-۳-۱- روش آمریکایی (ATC-19)
۲۳۸	۵-۱۲-۳-۲- روش اروپایی (EC8)
۲۴۲	۵-۱۲-۴- ضریب کاهش آیین نامه ای (ضریب تنش مجاز Y)

۲۴۳	۵-۱۳- ضریب C_R جهت برآورد تغییر شکل غیر ارتجاعی
۲۴۵	۵-۱۴- ۱! میت ضریب شکل پذیری و کاهش مقاومت در فرآیند طراحی به روش عملکردی
۲۴۷	۵-۱۵- جمع بندی عوامل مؤثر بر روابط ضریب رفتار و ضریب شکل پذیری
۲۵۰	۵-۱۶- پرسش
۲۵۴	۵-۱۷- تحقیق
۲۵۵	۵-۱۷- مراجع

فصل ۶: پاسخ غیر ارتجاعی سازه ها

۲۵۹	۶-۱- مقدمه
۲۶۰	۶-۲- پاسخ به شتاب ضربه ای
۲۶۰	۶-۲-۱- ضربه کوتاه مدت
۲۶۳	۶-۲-۲- ضربه طولانی مدت
۲۶۵	۶-۳- طیف پاسخ غیرالاستیک
۲۶۵	۶-۳-۱- طیف نرمی
۲۶۸	۶-۳-۲- طیف تسلیم غیر ارتجاعی
۲۷۰	۶-۳-۳- طیف پاسخ جابجایی کل
۲۷۵	۶-۳-۴- طیف طراحی

۲۷۷	۶-۴- محدودیت های طیف طراحی غیر ارتجاعی
۲۷۸	۶-۵- پرسش
۲۷۹	۶-۶- مراجع

فصل ۷: خصوصیات جنبش زمین نزدیک به منبع

۲۸۱	۷-۱- مقدمه
۲۸۳	۷-۱-۱- جهت پذیری پیش رونده

۲۸۵	۲-۱-۷- جهت پذیری پس رونده
۲۸۵	۳-۱-۷- جهت پذیری خنثی
۲۸۷	۲-۷- اثر تغییر مکان ماندگار بر زلزله حوزه نزدیک
۲۸۹	۳-۷- مقایسه مؤلفه‌های افقی و قائم رکوردهای نزدیک گسل
۲۹۲	۴-۷- مقایسه بین حوزه‌ی نزدیک و دور
۲۹۶	۵-۷- طیف‌های پاسخ سرعت و تغییر مکان رکوردهای نزدیک گسل
۲۹۹	۶-۷- اثر میرایی در رفتار سازه در زلزله‌های نزدیک گسل
۲۹۹	۷-۷- مشخصات حرکت پالس گونه رکوردهای نزدیک گسل
۳۰۱	۸-۷- شبیه سازه پالس‌های رکوردهای نزدیک گسل
۳۰۵	۹-۷- چرخش رکوردهای نزدیک
۳۰۶	۱۰-۷- نحوه برداشتن نام‌های زلزله‌های جهت طراحی سازه‌ها برای حرکات نزدیک گسل
۳۰۹	۱۱-۷- تحقیق
۳۱۰	۱۲-۷- مراجع

بخش سوم: پاسخ غیر خطی سازه‌ها تحت اثر زلزله

۳۱۳	فصل ۸: روش جابجایی
۳۱۳	۱-۸- مقدمه (نگرش نیرویی و جابجایی)
۳۱۷	۲-۸- سیستم یک درجه آزادی
۳۲۸	۳-۸- تعمیم روش به سیستم‌های چند درجه آزادی
۳۳۲	۴-۸- برآورد حداکثر تغییر مکان جانبی غیر خطی سیستم یک درجه آزادی تحت جنبش شدید زمین از مشخصات ارتجاعی آن
۳۳۳	۱-۴-۸- روش‌های خطی‌سازی معادل
۳۳۹	۲-۴-۸- ضرایب اصلاح جابجایی
۳۴۳	۵-۸- پرسش
۳۴۴	۶-۸- تحقیق
۳۴۵	۷-۸- مراجع

فصل ۹: فرآیند تحلیل غیرارتماعی استاتیکی

۳۴۷	۱-۹- مقدمه
۳۴۹	۲-۹- مدل‌سازی

۳۵۲	۳-۹- مشخصات جنبش زمین
۳۵۴	۴-۹- مفهوم منحنی بار افزون
۳۵۸	۵-۹- مفاهیم معمول در یک تحلیل استاتیکی غیرخطی
۳۵۸	۱-۵-۹- ظرفیت
۳۵۹	۲-۵-۹- طلب یا نیاز
۳۵۹	۳-۵-۹- عملکرد
۳۵۹	۶-۹- روش‌های تحلیل غیرخطی استاتیکی
۳۶۱	۷-۹- مراجع
۳۶۳	فصل ۱۰: تحلیل غیرخطی استاتیکی بر پایه طیف ظرفیت
۳۶۳	۱-۱۰- مقدمه
۳۶۳	۲-۱۰- روش طیف ظرفیت (روش ATC-40)
۳۶۹	۱-۲-۱۰- محاسبه نیاز لرزه
۳۷۰	۲-۲-۱۰- ضرایب تبدیل منحنی ظرفیت به طیف ظرفیت
۳۷۴	۳-۲-۱۰- تبدیل منحنی ایستادگی و شتاب طلب لرزه به طیف طلب واکنش
۳۷۶	۴-۲-۱۰- خلاصه تبدیل منحنی طلب لرزه و ظرفیت به سیستم مختصات طیفی ADRS
۳۷۷	۵-۲-۱۰- تبدیل ظرفیت طیفی
۳۸۰	۶-۲-۱۰- نمایش دوخطی طیف ظرفیت
۳۸۱	۷-۲-۱۰- تخمین میرایی و کاهش طیف پاسخ با میرایی
۳۸۶	۸-۲-۱۰- روش عددی کاهش طیف
۳۸۸	۹-۲-۱۰- قطع منحنی طیف ظرفیت و طیف طلب
۳۸۹	۱۰-۲-۱۰- فرآیند جستجو نقطه تلاقی طیف‌های ظرفیت و طلب
۳۹۸	۱۱-۲-۱۰- تصحیح فرآیند ATC-40 با استفاده از پررود کج (فرآیند اصلاحی FEMA-440)
۳۹۹	۱۲-۲-۱۰- تصحیح ضریب کاهش طیف براساس پررود مؤثر (فرآیند اصلاحی براساس FEMA-440)
۴۰۰	۱۳-۲-۱۰- تصحیح فرآیند تکراری جستجوی نقطه عملکرد
۴۰۳	۱۴-۲-۱۰- جمع بندی
۴۰۴	۳-۱۰- نسخه‌ی جدیدی بر تحلیل غیرخطی استاتیکی بر اساس منحنی مرکب ظرفیت - طلب (روش رین هورن)

۴۱۱	۱۰-۳-۱- محاسبه طیف طلب
۴۱۳	۱۰-۳-۲- طیف ظرفیت
۴۱۴	۱۰-۳-۳- طلب زلزله بر اساس طیف غیر ارتجاعی
۴۱۵	۱۰-۳-۴- طلب زلزله بر اساس طیف مرکب معادل میرایی
۴۱۷	۱۰-۳-۵- منحنی دو خطی ظرفیت
۴۱۷	۱۰-۴-۱- روش تحلیل غیرخطی استاتیکی N_2
۴۱۸	۱۰-۴-۱- شرح روش
۴۱۸	۱۰-۴-۲- انتخاب آرایش بارگذاری جانبی
۴۱۹	۱۰-۴-۳- تبدیل منحنی مقاومت
۴۲۰	۱۰-۴-۴- دامن طیف ارتجاعی طلب
۴۲۲	۱۰-۴-۵- محاسبه طلب برای سیستم تک درجه آزادی معادل
۴۲۴	۱۰-۴-۶- طلب لرزه برای سیستم چند درجه آزادی و تغییر شکل‌های محلی و کلی سیستم
	فوق
۴۲۴	۱۰-۴-۷- ارزیابی عملکرد (تحلیل تجربی)
۴۲۵	۱۰-۴-۸- محدودیت‌ها
۴۲۸	۱۰-۵- پرسش
۴۲۹	۱۰-۶- مراجع
۴۳۱	فصل ۱۱: تحلیل مودال بارافزون (MPA) جهت تخمین طیف لرزه‌ای
۴۳۱	۱۱-۱- مقدمه
۴۳۲	۱۱-۲- اعمال روش به ساختمان‌های چند طبقه ارتجاعی
۴۳۲	۱۱-۲-۱- تحلیل مودال پاسخ سیستم چند درجه آزادی
۴۳۷	۱۱-۳- استخراج روش تحلیل بار افزون
۴۳۷	۱۱-۴- ساختمان‌های چند طبقه غیرارتجاعی
۴۵۰	۱۱-۵- روش MMP
۴۵۳	۱۱-۶- تحلیل بار افزون مودال اصلاح شده
۴۵۹	۱۱-۷- آنالیز استاتیکی غیرخطی در سازه‌های نامنظم در پلان و دارای پیچش
۴۶۰	۱۱-۷-۱- تعمیم آنالیز بارافزون مودال برای سازه‌های سه بعدی
۴۷۲	۱۱-۸- پرسش
۴۷۳	۱۱-۹- مراجع

۴۷۵	فصل ۱۲: روش‌های تحلیل بارافزون
۴۷۵	۱-۱۲- مقدمه
۴۸۰	۲-۱۲- فرآیند بار افزون تطبیقی
۴۸۷	۱-۲-۱۲- الگوریتم بار افزون تطبیقی بر پایه نیرو
۴۸۷	۱-۱-۲-۱۲- تعریف بردار بار اسمی و اینرسی جرمی
۴۸۷	۲-۱-۲-۱۲- محاسبه ضریب بار
۴۸۸	۳-۱-۲-۱۲- محاسبه بردار مقیاس نرمال شده
۴۹۰	۴-۱-۲-۱۲- به روز نمودن بردار بار نیرو
۴۹۴	۲-۲-۱۲- الگوریتم بار افزون تطبیقی بر پایه تغییر مکان
۴۹۵	۱-۲-۱۲- تعریف بردار بار اسمی و اینرسی جرمی و محاسبه ضریب بار
۴۹۶	۲-۱-۲-۱۲- محاسبه بردار مقیاس نرمال شده
۴۹۸	۳-۲-۲-۱۲- به روز نمودن بردار جابجایی
۴۹۹	۳-۱۲- آنالیز طیف پاسخ دینامیک IRSA بر مبنای طیف جابجایی الاستیک
۵۰۰	۱-۳-۱۲- جمع آثار مودهای جزء خطی جهت آنالیز تاریخچه زمانی غیرخطی
۵۰۰	۱-۱-۳-۱۲- تعریف دیاگرام‌های ظرفیت و دال معادله حرکت
۵۰۱	۲-۱-۳-۱۲- جمع آثار جزء خطی مودی
۵۰۲	۳-۱-۳-۱۲- دیاگرام‌های ظرفیت مودال
۵۰۴	۲-۳-۱۲- بسط آنالیز طیف پاسخ افزاینده (IRSA) برای آنالیز بارافزون چند مودی
۵۰۵	۱-۲-۳-۱۲- فرآیند تقریبی برای آنالیز تاریخچه‌ای پوشش دهنده اثرش همزمان دیاگرام‌های ظرفیت مودال
۵۱۱	۲-۲-۳-۱۲- تخمین کمیت‌های پاسخ حداکثر
۵۱۱	۳-۲-۳-۱۲- آنالیز بارافزون تطبیقی تک مودی (یک حالت خاص از IRSA)
۵۱۵	۳-۳-۱۲- نسخه کاربردی IRSA با استفاده از طیف پاسخ الاستیک صاف شده
۵۱۵	۱-۳-۳-۱۲- IRSA بر پایه قانون تغییر مکان معادل
۵۱۶	۲-۳-۳-۱۲- مقیاس کردن یکنواخت طیف پاسخ صاف شده
۵۱۷	۳-۳-۳-۱۲- شناسایی محل مفصل پلاستیک در هر قدم بارافزون
۵۱۸	۴-۳-۳-۱۲- مثالی با کاربرد طیف پاسخ الاستیک صاف شده
۵۱۹	۴-۳-۱۲- خلاصه IRSA
۵۲۱	۴-۱۲- نتیجه

۵-۱۲- پرسش

۵۲۲

۶-۱۲- مراجع

۵۲۴

۵۲۵

بخش چهارم: اعمال روش عملکردی

۵۲۷

فصل ۱۳: فرآیند ارزیابی لرزه‌ای مطابق دستورالعمل بهسازی ایران

۵۲۷

۱-۱۳- مقدمه

۵۲۹

۲-۱۳- نیاز یا عدم نیاز به بهسازی

۵۳۰

۳-۱۳- مراحل مختلف بهسازی لرزه‌ای سازه

۵۳۲

۴-۱۳- مدارک مورد استفاده در فرآیند بهسازی

۵۳۴

۵-۱۳- تهیه پرسش‌نامه

۵۳۶

۶-۱۳- تعیین اهداف بهسازی

۵۳۶

۱-۶-۱۳- سطوح عملکرد سازه

۵۳۷

۱-۱-۶-۱۳- سطوح عملکرد سازه

۵۳۸

۲-۶-۱۳- سطوح عملکرد غیر لرزه‌ای

۵۴۰

۳-۶-۱۳- سطوح عملکرد کل ساختمان

۵۴۳

۴-۶-۱۳- خطر زلزله

۵۴۷

۵-۶-۱۳- اهداف بهسازی

۵۴۹

۷-۱۳- ارزیابی کیفی

۵۴۹

۸-۱۳- آمادگی برای انجام تحلیل‌ها

۵۵۰

۱-۸-۱۳- سطح اطلاعات

۵۵۱

۲-۸-۱۳- ارزیابی وضعیت موجود

۵۵۱

۳-۸-۱۳- سطح آزمایش‌ها

۵۵۳

۴-۸-۱۳- تعیین سطوح آزمایش‌ها، میزان ارزیابی و سطح اطلاعات

۵۵۴

۹-۱۳- مدل‌سازی

۵۵۵

۱-۹-۱۳- اعضای اصلی و غیر اصلی سازه‌ای

۵۵۷

۲-۹-۱۳- تلاش‌های کنترل‌شونده توسط نیرو و تغییر شکل

۵۶۲

۱۰-۱۳- تحلیل سازه

۵۶۲

۱-۱۰-۱۳- روش خطی

۵۶۸

۱-۱۰-۱۳- روش خطی استاتیکی (LSP)

- ۵۷۲ ۱۳-۱۰-۲- روش تحلیل دینامیکی خطی (LDP)
- ۵۷۲ ۱۳-۱۰-۳- تلاش‌های طراحی (ترکیب بارگذاری) و معیار پذیرش فرآیند خطی
- ۵۷۸ ۱۳-۱۰-۲- روش غیرخطی
- ۵۸۲ ۱۳-۱۰-۲-۱- روش استاتیکی غیرخطی (NSP)
- ۶۰۷ ۱۳-۱۰-۳- اصلاح ضرایب تحلیلی استاتیکی غیرخطی FEMA-356 توسط FEMA-440
- ۶۱۱ ۱۳-۱۰-۳-۱- نسبت تغییر مکان ماکزیمم (ضریب C_1)
- ۶۱۵ ۱۳-۱۰-۳-۲- اثر کاهش مقاومت و سختی سیستم (ضریب C_2)
- ۶۱۹ ۱۳-۱۰-۳-۳- اثر $P-\Delta$ (ضریب C_3)
- ۶۲۳ ۱۳-۱۰-۴- اثر تعدد درجات آزادی
- ۶۲۷ ۱۳-۱۱-۱- ایسا، جیم، ستورالعمل بهسازی ایران با مدارک مشابه در دیگر کشورهای لرزه‌خیز
- ۶۲۸ ۱۳-۱۱-۱-۱- پیش‌استدard FEMA-355 و اختلافات اساسی آن با دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود در ایران
- ۶۲۹ ۱۳-۱۱-۲- دستورالعمل بررسی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود ASCE/SEI 31-03
- ۶۳۰ ۱۳-۱۱-۳- پیش‌نویس آیین‌نامه نیوزیلند لرزه‌ای و ارتقاء سازه‌ای ساختمان‌ها در برابر خطر زلزله (NZDC)
- ۶۳۱ ۱۳-۱۱-۴- دستورالعمل ارزیابی مقاومت عملکرد ساختمان‌های موجود و توصیه‌هایی برای مقاوم‌سازی (گزارش SERC هند)
- ۶۳۲ ۱۳-۱۱-۵- توصیه‌های طراحی برای مقاوم‌سازی سازه‌ها در برابر زلزله - بخش ۱ تا ۴ ضوابط کلی برای مقاوم‌سازی و تعمیر ساختمان‌ها (کد اروپایی EC8)
- ۶۳۲ ۱۳-۱۱-۶- مقایسه فرایندهای ارزیابی
- ۶۳۳ ۱۳-۱۱-۶-۱- کنترل‌های مربوط به پیکربندی
- ۶۳۵ ۱۳-۱۱-۶-۲- کنترل مقاومت
- ۶۳۸ ۱۳-۱۱-۶-۳- روش‌های بهسازی لرزه‌ای
- ۶۳۸ ۱۳-۱۱-۶-۴- مقایسه کلی
- ۶۳۹ ۱۳-۱۱-۷- نتیجه‌گیری
- ۶۴۸ ۱۳-۱۲- پرسش

۶۵۳	۱۳-۱۳- تحقیق
۶۵۴	۱۳-۱۴- مراجع
۶۵۷	فصل ۱۴: فرآیند قابلیت اعتماد جهت بررسی کفایت عملکرد لرزه‌ای قاب‌های خمشی فلزی
۶۵۷	۱-۱۴- مقدمه
۶۶۲	۲-۱۴- انتخاب سیستم سازه‌ای و پارامتر طلب و ظرفیت
۶۶۲	۱-۲-۱۴- انتخاب سیستم سازه‌ای
۶۶۳	۲-۲-۱۴- انتخاب پارامتر طلب و ظرفیت
۶۶۶	۳-۱۴- سطح عملکرد
۶۶۸	۴-۱۴- اهداف عملکردی
۶۷۱	۵-۱۴- فرآیند ارزیابی عملکرد
۶۷۲	۶-۱۴- روش‌های تحلیل سازه
۶۷۲	۱-۶-۱۴- روش استاتیکی مودال
۶۷۴	۱-۱-۶-۱۴- محاسبه بار جانبی
۶۷۵	۲-۱-۶-۱۴- محاسبه گریز طبقه
۶۷۵	۳-۱-۶-۱۴- محاسبه طلب ستون‌ها
۶۷۶	۲-۶-۱۴- روش تحلیل دینامیکی خطی
۶۷۶	۱-۲-۶-۱۴- محاسبه کنش‌ها و تغییر شکل‌ها
۶۷۶	۳-۶-۱۴- روش تحلیل استاتیکی غیرخطی
۶۷۷	۱-۳-۶-۱۴- محاسبه کنش‌ها و تغییر شکل‌ها
۶۷۷	۴-۶-۱۴- روش دینامیکی غیرخطی (NDP)
۶۷۸	۱-۴-۶-۱۴- محاسبه کنش‌ها و تغییر شکل‌ها
۶۷۸	۷-۱۴- ملاحظات مدل‌سازی
۶۸۱	۱-۷-۱۴- مدل‌سازی اتصالات
۶۸۳	۱-۱-۷-۱۴- اتصالات مقاوم خمشی صلب
۶۸۴	۲-۱-۷-۱۴- اتصال نیمه صلب
۶۸۵	۳-۱-۷-۱۴- مدل ریاضی
۶۸۹	۲-۷-۱۴- اثر $P-\Delta$
۶۹۰	۳-۷-۱۴- اثر مؤلفه قائم زلزله

۶۹۰ ۸-۱۴-۸- معیار قبولی

۶۹۲ ۱۴-۸-۱- ارزیابی عملکرد توسط تخمین زاویه گریز طبقه

۶۹۲ ۱۴-۸-۱-۱- زاویه گریز طلب ضریب دار طبقه

۶۹۵ ۱۴-۸-۱-۲- ظرفیت ضریب دار زاویه گریز طبقه

۶۹۹ ۱۴-۸-۱-۳- مدل اتصالات مقاوم خمشی قبل از نورتریج

۷۰۱ ۱۴-۸-۲- نیروی فشاری ستون به عنوان شاخص عملکرد

۷۰۱ ۱۴-۸-۱-۲- نیروی فشاری طلب ستون

۷۰۲ ۱۴-۸-۲-۲- ظرفیت نیروی فشاری ستون

۷۰۲ ۱۴-۸-۳- نیروی کششی وصله ستون به عنوان شاخص عملکرد

۷۰۲ ۱۴-۸-۱- نیروی کششی طلب وصله ستون

۷۰۲ ۱۴-۸-۲- ظرفیت کششی وصله ستون

۷۰۲ ۱۴-۹-۱- فرآیند ارزیابی عملکردی در چارچوب قابلیت اعتماد

۷۰۲ ۱۴-۹-۱- مقدمه

۷۰۳ ۱۴-۹-۱-۱- انتخاب هدف عملکردی

۷۰۳ ۱۴-۹-۱-۲- محاسبه مشخصه جنبش نسبی برای هدف عملکردی

۷۰۳ ۱۴-۹-۱-۳- محاسبه طلب سازه‌ای برای مشخصه جنبش زمین

۷۰۳ ۱۴-۹-۱-۴- محاسبه تخمین متوسط ظرفیت سازه‌ای

۷۰۴ ۱۴-۹-۱-۵- محاسبه نسبت طلب به ظرفیت ضریب در (۲)

۷۰۴ ۱۴-۹-۱-۶- محاسبه سطح اعتماد

۷۰۶ ۱۴-۹-۲- محاسبه پارامترهای خطر

۷۰۶ ۱۴-۹-۱-۲- پاسخ شتاب طیفی

۷۰۶ ۱۴-۹-۲-۲- شیب منحنی خطر لگاریتمی

۷۰۸ ۱۴-۹-۳- محاسبه ضرایب طلب

۷۱۰ ۱۴-۹-۴- محاسبه ظرفیت گریز

۷۱۳ ۱۴-۹-۴-۱- محاسبه ظرفیت و ضریب مقاومت محلی اتصال تیر- ستون

۷۱۴ ۱۴-۹-۴-۲- ظرفیت پایداری کلی

۷۱۹ ۱۴-۱۰- پرسش

۷۲۱ ۱۴-۱۱- تحقیق

۷۲۲ ۱۴-۱۲- مراجع

۷۲۵	فصل ۱۵: تحلیل دینامیکی افزایشی
۷۲۵	۱-۱۵- مقدمه
۷۳۰	۲-۱۵- انتخاب پارامتر شدت IM و پاسخ DM
۷۳۰	۱-۲-۱۵- پارامتر شدت (طلب IM)
۷۳۹	۲-۲-۱۵- پارامتر طلب DM
۷۴۰	۳-۱۵- تحلیل دینامیکی افزایشی تک رکورده و چند رکورده
۷۴۳	۴-۱۵- خصوصیات کلی منحنی‌های IDA
۷۴۶	۵-۱۵- الگوریتم جستجو و انباشت جهت مقیاس منحنی‌های IDA
۷۴۹	۶-۱۵- برآورد رفریت سازه‌ای و شرایط حدی بر اساس تحلیل IDA تک رکورده
۷۵۱	۷-۱۵- برآورد مستقیم نیاز و ظرفیت لرزه‌ای سیستم‌های SDOF و MDOF با استفاده از تحلیل‌های بار افردن استاتیکی SP
۷۵۴	۸-۱۵- تحقیق
۷۵۵	۹-۱۵- مراجع
۷۵۷	پیوست ۱- نمونه پرسش‌نامه
۷۷۷	پیوست ۲- مقدمه‌ای بر تحلیل خطر لرزه‌ای
۸۲۵	پیوست ۳- کاربرد نرم افزار SAP در تحلیل ایستایی پذیری