بسم الله الرحمن الرحیم

۱۳۷۱۰۲

دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی عمران

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد عمران – سازه

تعیین ضرایب اصلاح غیرخطی و مقادیر معیارهای پذیرش در طراحی عملکردی ساختمانهای بنایی غیرمسلح

استاد راهنما:

پروفسور عیسی سلاجقه

استاد مشاور:

دکتر جواد سلاجقه

مؤلف:

علیرضا بهزادی

۱۳۸۹/۳/۱۷

شعبه مرکزی

شهریور ماه ۱۳۸۷

۱۳۷۱۰۲

دانشگاه شهید باهنر کرمان

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

گروه مهندسی عمران

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی‌شود.

دانشجو: علیرضا بهزادی

استاد راهنما: دکتر عیسی سلاجقه

داور۱: دکتر غلامرضا پورابراهیم

داور۲: دکتر حامد صفاری

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی یا نماینده دانشکده: دکتر جواد سلاجقه

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

دانشگاه شهید باهنر کرمان
اداره تحصیلات تکمیلی

چکیده:

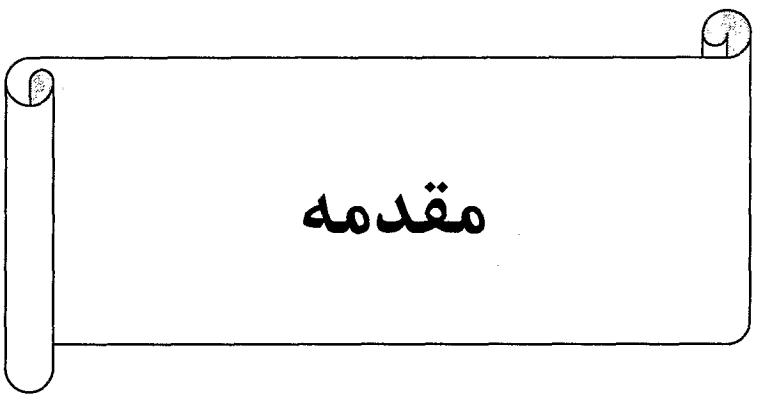
ساختمان‌های بنایی قدمتی به‌اندازه تمدن بشری دارند اما تحقیقات هدفدار و پیوسته بر روی خصوصیات فنی و مکانیکی این سازه‌ها به حدود ۷۰ سال پیش برمی‌گردد. از آنجا که در ایران ساختمان‌های بنایی حجم نسبتا زیادی را نسبت به دیگر ساختمان‌ها دربرمی‌گیرند، لذا نیاز به انجام تحقیقات وسیع‌تری در این زمینه در کشور احساس می‌شود. تا به‌حال در ایران برای ارزیابی و بهسازی ساختمان‌های با مصالح بنایی موجود، چندین نشریه و دستورالعمل از جمله نشریه شماره ۳۷۶ با عنوان دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های بنایی غیرمسلح موجود منتشر شده است. نشریه ۳۷۶ با فرض مشابه بودن مسائل اجرایی و مصالح به کاررفته در سازه‌های بنایی ایران با دیگر کشورهای غربی، عینا از ضوابط و مقررات فصل هفتم استاندارد FEMA 356 جهت تهیه و تدوین این دستورالعمل استفاده نموده است. با مقایسه شرایط ساخت و ساز ساختمان‌های بنایی در ایران با دیگر کشورهای دنیا ملاحظه می‌شود که این فرض تا حدود زیادی دور از واقعیت و در جهت عدم اطمینان می‌باشد. در این تحقیق با ایجاد مدلهای مختلف از دیوارهای بنایی غیرمسلح در برنامه اجزا محدود ANSYS و آنالیز آن‌ها تحت بار استاتیکی غیرخطی، مقادیر ضرایب اصلاح غیرخطی و معیارهای پذیرش بدست آمده و با مقادیر ارائه شده در نشریه ۳۷۶ مقایسه گشته است. در پایان با حل یک مثال اجرایی به هر دو روش (روش المان محدود و روش نشریه) صحت نتایج بدست آمده مورد بررسی قرار گرفته است.

فصل اول: مقدمه ۴
۱-۱- مقدمه ۵
۱-۲- اهداف ۵
۱-۳- مروری بر کارهای گذشته ۶
۱-۴- ساختار پایان‌نامه ۸
فصل دوم: تئوری های حاکم بر رفتار ساختمانهای بنایی ۹
۲-۱- خواص سازهای و دینامیکی ساختمانهای بنایی ۱۰
۲-۲- توزیع نیروی زلزله در ساختمانهای بنایی ۱۰
۲-۳- حالتهای شکست ۱۱
۲-۳-۱- شکست دیوارهای برشی ۱۱
۲-۳-۲- شکست دیوارهای عرضی ۱۲
۲-۴- روش های ارزیابی کمی آسیب‌پذیری ساختمانهای بنایی غیرمسلح ۱۲
۲-۴-۱- روش ارزیابی دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای موجود ۱۳
۲-۴-۲- روش ارزیابی فصل هفتم دستورالعمل FEMA356 ، FEMA273 ۱۴
۲-۴-۳- روش ارزیابی لانگ – باخمن ۱۵
۲-۵- استفاده از روش قاب معادل در ارزیابی ساختمانهای مصالح بنایی ۱۹
۲-۶- دلیل بنیادی ناپایداری لرزه‌ای ساختمانهای آجری غیرمسلح در برابر زلزله [۱] ۲۰
۲-۷- ماهیت نیروهای زلزله [۱] ۲۱
۲-۸- عملکرد ساختمانهای آجری غیرمسلح در مقابل زلزله [۱] ۲۲
۲-۹- مقاومت جانبی دیوار برشی غیرمسلح ۲۳
۲-۱۰- تقویت لرزه‌ای ساختمان های بنایی ۲۵
۲-۱۰-۱- روش تسلیح دیوارهای آجری ۲۶
۲-۱۰-۲- روش کلاف‌بندی دیوار آجری [۱] ۲۷
۲-۱۱- خواص سازه‌ای و دینامیکی قابهای مرکب ۲۷
۲-۱۱-۱- مقدمه ۲۸
۲-۱۱-۲- اندرکنش قاب و میانقاب ۲۸
۲-۱۱-۳- تبدیل کنش خمشی به کنش خرپایی [۱] ۲۹
۲-۱۱-۴- حالتهای شکسته [۱] ۳۱
۲-۱۲- مقاومت دیوار کلاف‌بندی شده (قاب مرکب) ۳۲
۲-۱۲-۱- مقاومت ترک قطری ۳۲
۲-۱۲-۲- مقامت شکست کنج [۱] ۳۳
۲-۱۲-۳- مقاومت نهایی [۱] ۳۵
۲-۱۳- تاثیر بازشوها بر قابهای مرکب ۳۵
۲-۱۳-۱- نتیجه‌گیری در مورد بازشوها [۱] ۳۵
۲-۱۳-۲- محاسبه مقاومت و سختی میانقاب های بازشودار ۳۶
۲-۱۴- ضریب رفتار قاب های مرکب ۳۷
فصل سوم: بررسی ضوابط و استانداردهای فنی ۳۸
۳-۱- مقدمه ۳۹

۳-۲- معرفی آیین‌نامه‌ها ۳۹
۳-۲-۱- آیین‌نامه FEMA-154 ایالات متحده آمریکا [۸] ۳۹
۳-۲-۲ دستورالعمل ATC-20 (Applied Technolgy Council) ۴۴
۳-۲-۲-۱ ارزیابی ساختمانها بعد از زلزله ۴۶
۳-۲-۲-۲ روشهای ارزیابی ساختمانها ۴۷
۳-۲-۳- مجموعه FEMA (306-307-308) [۴] و [۵] و [۶] ۵۲
۳-۲-۳-۱- ارزیابی ساختمان طبق دستورالعمل FEMA (306-307-308) ۵۳
۳-۲-۳-۲- ترمیم المان‌های آسیب‌دیده از زلزله طبق دستورالعمل FEMA(306-307-308) ۵۵
۳-۲-۳-۴ روش‌های ترمیمی ارائه شده در دستورالعمل FEMA308[6] ۵۵
۳-۳ جمع‌بندی ۵۷
۳-۴ دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود(دفتر تدوین معیارهای سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی) ۵۸
۳-۴-۱ بررسی کلی دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود ۵۸
۳-۴-۲ بخش ساختمان‌های مصالح بنایی دستورالعمل ۶۲
۳-۴-۳ انواع ساختمان‌های مصالح بنایی مشمول دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود ۶۲
۳-۴-۴ محدوده کاربرد ۶۲
۳-۵- پیشنویس دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای بنایی(شرکت خدمات مدیریت ایرانیان)[۴۰] ۶۳
۳-۵-۱- ویژگی‌های مهندسی دیوارهای با مصالح بنایی ۶۴
۳-۵-۲- انواع دیوارهای بنایی ۶۵
۳-۵-۲-۱- دیوارهای بنایی موجود ۶۵
۳-۵-۲-۲- دیوارهای بنایی جدید ۶۶
۳-۵-۲-۳- دیوارهای تقویت شده ۶۶
۳-۵-۳- روش‌های تحلیل‌سازه ۶۶
۳-۵-۳-۱- تحلیل استاتیکی خطی ۶۶
• تعیین زمان تناوب اصلی نوسان سازه ۶۷
• برآورد نیروها و تغییرشکلها ۶۷
• توزیع نیروی جانبی در ارتفاع ۶۷
۳-۵-۳-۲- تحلیل دینامیکی خطی ۶۸
۳-۵-۳-۳- تحلیل استاتیکی غیرخطی ۶۸
۳-۵-۴- رفتار درون صفحه‌ای دیوارها و پایه‌های مصالح بنایی ۶۹
۳-۵-۴-۱- سختی ۷۰
۳-۵-۴-۲- مقاومت ۷۱
• مقاومت جانبی مورد انتظار پایه‌ها و دیوارهای با مصالح بنایی غیرمسلح ۷۱
• کرانه پایین مقاومت جانبی پایه‌ها و دیوارهای با مصالح بنایی غیرمسلح ۷۳
۳-۵-۵- معیارهای پذیرش ۷۳
۳-۵-۵-۱- روشهای خطی ۷۳
۳-۵-۵-۲- روش استاتیکی غیرخطی ۷۴
فصل چهارم: مدلسازی ساختمان آجری محصور با برنامه اجزاء محدود (ANSYS) ۷۶
۴-۱- مدلسازی دیوارها و ساختمانهای آجری ۷۷

۴-۲- مشخصات المانهای مصرفی ۷۷
۴-۲-۱- المان Solid 65 ۷۷
۴-۲-۱-۱- رفتار خطی المان Solid 65 ۸۳
۴-۲-۱-۲- رفتار غیرخطی المان Solid 65 ۸۵
• مدلسازی ترک ۸۵
• مدل خرد شدگی ۸۹
۴-۲-۲- المان Contac 52 ۸۹
۴-۲-۲-۱- مدلهای اصطکاکی ۹۳
۴-۲-۲-۲- سختی نرمال ۹۳
۴-۲-۲-۳- سختی چسبندگی ۹۴
۴-۲-۲-۴- ماتریسهای المان ۹۴
۴-۳- معیار گسیختگی Concer ۹۵
۴-۳-۱- قلمرو $\circ \geq \sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ ۹۷
۴-۳-۲- قلمرو $\sigma_1 \geq \circ \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ ۱۰۱
۴-۳-۳- قلمرو $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \circ \geq \sigma_3$ ۱۰۲
۴-۳-۴- قلمرو $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3 \geq \circ$ ۱۰۲
فصل پنجم: جمع‌بندی و نتایج ۱۰۴
۵-۱- مشخصات مصالح ۱۰۵
۵-۲- بارگذاری و شرایط تکیهگاهی ۱۰۶
۵-۳- مشخصات مدلها ۱۰۶
۵-۴- مقایسه مدلها و ارزیابی نتایج ۱۰۹
۵-۴-۱- مدلهای با ضخامت ۴۵ سانتیمتر ۱۱۰
۵-۴-۲- مدلهای با ضخامت ۳۵ سانتیمتر ۱۱۳
۵-۴-۳- مدلهای با ضخامت ۲۰ سانتیمتر ۱۱۶
۵-۵- نتایج و پیشنهادات و حل مثال ۱۱۹
مراجع: ۱۳۱

فصل اول


مقدمه

۱-۱- مقدمه

ایران کشوری است لرزه‌خیز که بر روی کمربند لرزه‌ای آلپ- هیمالیا قرار گرفته است. کشور ما همواره در طول تاریخ، شاهد زلزله‌هایی نیرومند بوده و همواره خسارت‌های جانی و مالی زیادی را این پدیده طبیعی متحمل شده است. تجربه زلزله‌های گذشته در ایران بیانگر این نکته است که مهم‌ترین عامل خسارت‌های فراوان اقتصادی و تلفات انسانی، آسیب‌پذیری بالای ساختمان‌ها و تاسیسات زیربنایی می‌باشد و در این میان با توجه به حجم گسترده ساختمان‌های بنایی و وجود ضعف‌های فنی و اجرایی در آن‌ها، می‌توان عامل اصلی بروز خسارت در زلزله را آسیب‌پذیری بالای ساختمان‌های بنایی عنوان کرد. این در حالی است که تجربه همین زلزله‌ها نشان می‌دهد که ساختمان‌های با مصالح بنایی که حداقل‌های ضوابط آیین‌نامه را رعایت نموده‌اند، رفتار بسیار مناسبی از خود نشان داده‌اند. ولی متاسفانه حجم ساختمان‌های ساخته شده مطابق استاندارد در مقابل غیر استاندارد زیاد نیست و ساختمان‌ای مهم زیادی هم‌چون مدارس، مساجد، مراکز مخابراتی و انتظامی وجود دارند که ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ را برآورده نمی‌سازند و نیاز به بهسازی دارند.

تا به‌حال در ایران برای ارزیابی و به تبع آن بهسازی ساختمان‌های با مصالح بنایی موجود، چندین نشریه و دستورالعمل توسط سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور و مرکز تحقیقات مسکن و شهرسازی منتشر شده است. در این میان تئوری حاکم بر نشریه شماره ۳۷۶ با عنوان دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های بنایی غیر مسلح موجود تئوری طراحی بر اساس عملکرد می‌باشد. در این راستا این دستورالعمل با استفاده از فصل هفتم استاندارد FEMA 356 تهیه شده است که جای تحقیقات و فعالیت‌های بیشتر در این زمینه وجود خواهد داشت. در این پایان‌نامه ضوابط نشریه ۳۷۶ مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت با توجه شرایط کشور پیشنهاداتی ارایه شده است.

۱-۲- اهداف

با توجه به پیچیدگی‌های رفتاری مصالح بنایی و عدم انجام آزمایشات متعدد در کشور، ایجاد سازگاری رفتار دیوارها با شرایط متداول، نیازمند تحقیقات بیشتری خواهد بود. در این راستا تحقیق حاضر سعی در برآورده ساختن این کمبودها خواهد داشت.

برای این منظور ۱۵ مدل سازگار با شرایط در نظر گرفته شده و ضرایب اصلاح غیرخطی و مقادیر معیارهای پذیرش تعیین گشته و در نهایت روابطی برای محاسبه مقادیر فوق پیشنهاد شده است.

۱-۳- مروری بر کارهای گذشته

نصب دستگاه‌های لرزه‌نگار در نقاط مختلف جهان از اواخر قرن نوزدهم آغاز شد و طی مدت کوتاهی به سرعت بر تعداد آنها افزوده شد. به کمک آن‌ها مجموعه اطلاعات بسیار ارزشمندی به دست می‌آید. از میان همه این اطلاعات شاید یک مطلب بیش از همه شایان توجه باشد و آن اینکه زلزله‌ها به هر سبب که ایجاد شده باشند تکرارپذیرند و تنها راه مقابله با زلزله، طراحی و اجرای ساختمان‌ها به گونه‌ای است که تاب ایستادگی در مقابل زلزله‌های مخرب را داشته باشد.

بررسی عملکرد سازه‌های مختلف در زلزله‌های رخ داده گواه آن است که اگر ساختمان‌های آجری را در یک کفه و سازه‌هایی نظیر پل، سد، ساختمان‌های فلزی و بتنی که تحت عنوان سازه-های مهندسی عنوان می‌شوند را در کفه دیگر بگذاریم، آمار تلفات جانی و تخریب کامل بنا، تماما به گروه اول اختصاص داشته و گروه دوم به طور نسبی آمار بسیار پایینی دارند. همین امر جامعه مهندسی را بر آن داشت که در کنار تدوین آیین‌نامه برای ساختمان‌های مهندسی، به بررسی رفتار ساختمان‌های بنایی نیز پرداخته و در صدد تدوین دستورالعمل جامع برای طرح و اجرای این نوع سازه‌ها برآیند. ماحصل این تلاش‌ها تدوین فصل سوم آیین‌نامه ۲۸۰۰ به عنوان تنها مرجع داخلی در زمینه طرح و اجرای این نوع ساختمان‌ها می‌باشد.

به دلیل برجاماندن تعداد زیادی از ساختمان‌های بنایی که در آن‌ها اصول آیین‌نامه ۲۸۰۰ رعایت نشده است و رفتار نامطلوب این ساختمان‌ها در زلزله‌های گذشته، ضرورت امر مقاوم‌سازی آن‌ها محققان را بر آن داشته تا در صدد تدوین آیین‌نامه‌هایی برای بهسازی این ساختمان‌ها برآیند. در ادامه برخی از این آیین‌نامه‌ها را که درمتن پایان‌نامه به تفصیل درمورد آن‌ها بحث شده را مرور می‌نماییم.

آیین‌نامه FEMA-154 ایالات متحده آمریکا[۲] یک روش ارزیابی سریع چشمی را ارائه می-دهد. این روش برای ساختمان‌های موجودی می‌باشد که هنوز در معرض زلزله قرار نگرفته‌اند و روش‌های موجود در این آیین‌نامه ماحصل تجارب و بررسی خرابی‌های زلزله‌های گذشته در سطح ایالات متحده می‌باشد. نتیجه این بررسی‌ها میزان آسیب‌پذیری ساختمان را در یک زلزله احتمالی نشان می‌دهد.

دستورالعمل ATC-20(Applied Technology Council)[۳] برای کمک به تعیین میزان امنیت در ساختمان‌هایی می‌باشد که در معرض زلزله قرار گرفته‌اند. نیروهای متخصص کار خود را با نیروهای امدادی آغاز می‌کنند و وضعیت ایمنی هر ساختمان را با نصب علایم، مشخص می‌نمایند.

به طور خلاصه آیین‌نامه ATC 20 را می‌توان راهنمای ارزیابی سریع سطح ایمنی ساختمان‌های آسیب‌دیده از زلزله دانست.

مجموعه (306-307-308) FEMA [۴]، [۵]، [۶] را می‌توان راهنمای ترمیم ساختمان‌های آسیب‌دیده از زلزله دانست. این آیین‌نامه‌ها را سازمان مدیریت بحران فدرال (FEMA) در پروژه ATC 43 با هدف ارزیابی و تعمیر خرابی‌های ساختمان‌های بتنی و با مصالح بنایی در سال ۱۹۹۶ شروع کرد. نتایج این پروژه در قالب ۳ گزارش ارائه شده است، که این گزارش‌ها مجموعه (FEMA 306-307-308) را تشکیل می‌دهند. FEMA 306 [۴] و FEMA 307 [۵] برای ارزیابی ساختمان‌ها و FEMA 308 [۶] به عنوان راهنمای بهسازی می‌باشد. برخی روش‌های ترمیمی این آیین‌نامه در پایان‌نامه آورده شده است.

دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود که اولین ویرایش آن را دفتر تدوین معیارهای سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی در خردادماه ۱۳۸۱ کشور با همکاری پژوهشگاه بین‌المللی زلزله منتشر کرد. این دستورالعمل در حقیقت اولین و تنها آیین‌نامه ملی موجود در زمینه ازریابی آسیب‌پذیری و بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌ها می‌باشد. البته بخش‌های عمده این آیین‌نامه ترجمه پیش‌نویس آیین‌نامه FEMA356 می‌باشد که با توجه به شرایط و آیین‌نامه‌های داخلی تا حد امکان بومی شده است. بدیهی است که در صورت انجام ارزیابی آسیب‌پذیری تفصیلی و ارائه طرح بهسازی برای یک ساختمان، استفاده از این دستورالعمل به عنوان تنها دستورالعمل داخلی توصیه می‌شود. بخش مربوط به ساختمان‌های بنایی در این دستورالعمل بر خلاف سایر بخش‌ها (که به صورت طراحی بر اساس عملکرد می‌باشند) به بررسی نواقص ساختمان‌های بنایی اکتفا کرده است و روش ساده بهسازی را پیشنهاد نموده است.

دستورالعمل تحلیل آسیب‌پذیری و بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های بنایی غیرمسلح موجود (وزارت مسکن و شهرسازی)[۲] که با هدف بالا بردن توان و حفظ ایستایی و کاهش تلفات جانی ناشی از اثرات مخرب زلزله بر ساختمان بنایی غیرمسلح موجود از طریق بهبود عملکرد تدوین شده است. این دستورالعمل دارای روش‌هایی برای ارزیابی و راهکارهایی برای بهسازی لرزه‌ای با جزییات اجرایی می‌باشد.

در کنار آیین‌نامه‌هایی که در بالا مطرح شد، تحقیقات دیگری نیز صورت گرفته است که به صورت مقالات و گزارش‌هایی منتشر شده است. از جمله مهمترین آنها می‌توان به تحقیقات و مقالات گسترده دکتر تسنیمی در این زمینه اشاره کرد که تحت عناوینی مانند «رفتار ساختمان-

های با مصالح بنایی»[۴۸] و «تحلیل دینامیکی ساختمان‌های آجری دوطبقه تحت اثر زلزله»[۴۹] در دسترس مهندسین می‌باشد. در تحقیق اول با بررسی رفتار دیوارهای مصالح بنایی و انجام آزمایشات متعدد بر روی آجر و ملات، خصوصیات مختلفی از آنها بدست آمده که جهت انجام مطالعات بیشتر در این زمینه از آنها استفاده شده است. در دومین پروژه تحقیقاتی رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های آجری دوطبقه‌ای که در آنها مقررات مندرج در فصل آیین‌نامه طرح ساختمان‌ها در برابر زلزله (استانداردها ۲۸۰۰ ایران) بطور کامل رعایت شده است، با هدف کنترل برخی از ضوابط و دستورالعمل‌های موجود در این فصل نظیر بندهای ۳-۲-۳ و ۳-۵ به کمک برنامه اجزای محدود ANSYS مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. در مدلسازی کامپیوتری ساختمان‌ها، المانهای دیوار به صورت یک مجموعه مرکب از آجر و ملات تعریف و از مدلسازی آن به صورت گسسته به علت پیچیدگی و نیاز به حافظه مناسب کامپیوتر با حجم بسیار زیاد داده‌ها اجتناب شده است. البته این ساده‌سازی بر پایه تحقیقات دکتر تهرانی‌زاده و همکاران در دانشگاه امیرکبیر تهران[۵۰] و دکتر ماهری در دانشگاه شیراز[۵۱] در نظر گرفته شده است. در این مقالات با انجام آزمایشات متعدد ثابت شده است مدل‌سازی دیوارهای آجری به صورت پیوسته در نرم‌افزار Ansys با تقریب بسیار خوبی رفتار آنها را در حالت گسسته مدل می‌کند. در نتیجه در این پایان‌نامه نیز با استناد به نتایج بدست آمده از تحقیقات مذکور کلیه دیوارها به صورت همگن و پیوسته مدل شده‌اند.

۱-۴- ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه در پنج فصل و به شرح زیر تهیه شده است:

فصل دوم شامل خلاصه‌ای از تحقیقات انجام شده در تئوری‌های حاکم بر رفتار ساختمان‌های بنایی بوده که پایه و اساس تدوین دستورالعمل‌های مرتبط می‌باشد.

در فصل سوم کاربردهای مهندسی، دستورالعمل‌ها، استانداردها و راهنماهای موجود داخلی و خارجی متداول مورد بررسی قرار گرفته است.

فصل چهارم شامل نحوه مدل‌سازی دقیق رفتار سازه‌های بنایی در نرم‌افزار ANSYS و تطبیق آن با نتایج آزمایشگاهی انجام شده می‌باشد.

در فصل پنجم مدل‌ها معرفی شده و آنالیزهای غیرخطی بر روی آنها اجرا می‌شود و در نهایت به عنوان نتیجه ضرایب اصلاح غیرخطی و مقادیر معیارهای پذیرش دیوارهای بنایی متداول در کشور همراه با نمودارهایی جهت تعمیم نتایج ارایه شده‌اند.

فصل دوم

تئوری های حاکم بر رفتار ساختمان‌های بنایی

۲-۱- خواص سازه‌ای و دینامیکی ساختمان‌های بنایی

در ساختمان‌های بنایی، مصالح بنایی که ممکن است آجر یا بلوک باشند به همراه ملات بین آن‌ها عناصر اصلی باربر ثقلی و جانبی ساختمان می‌باشند. از طرفی به دلیل پیچیدگی رفتار این نوع سازه ها نمی‌توان روش جامعی برای تحلیل خواص مکانیکی و سازه‌ای آن‌ها ارائه داد. رفتار ناهمسانگرد، ناهمگن و غیرخطی و وجود ترک‌های فراوان از یک‌سو و صفحه ای بودن اجزای سازه-های بنایی ازسوی دیگر پیچیدگی خاصی را ایجاد کرده است که غالبا جز با آزمایش‌های در مقیاس واقعی نمی‌توان از وضعیت خرابی‌ها و تنش‌های ایجاد شده در اجزای سازه‌ای اطلاعاتی بدست آورد[۱]

۲-۲- توزیع نیروی زلزله در ساختمان‌های بنایی

نیروهای لختی که در نتیجه شتاب پی (ناشی از حرکت زمین به هنگام زلزله) درساختمان پدید می‌آیند باید به پی و از آنجا به زمین منتقل شوند. دیوارهای ساختمان بنایی به دو دسته برشی و عرضی تقسیم می‌شوند. دیوارهای موازی جهت حرکت پی برشی و دیوارهای عمود بر این جهت عرضی نامیده می‌شوند. بخشی از نیروهای دیوارهای عرضی به سقف و بخشی به زمین و بقیه به دیوارهای برشی که در دو طرف دیوار عرضی قرارگرفته‌اند وارد می‌شود. سقف ها نیروهای حاصل از زلزله و دیوارهای عرضی را به دیوارهای برشی منتقل می‌کنند.

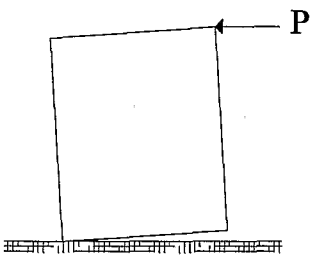
اصلی‌ترین عنصر لرزه‌بر هر ساختمان آجری دیوارهای برشی است که سرانجام باید بار افقی حاصل از کلیه اجزای دیگر را به زمین منتقل کند. علاوه براین سقف نیز باید از یکپارچگی لازم برای انتقال نیروهای خود و نیز نیروهایی که از بخش های دیگر دریافت می‌کند، به دیوارهای برشی برخوردار باشد. به عنوان مثال سقف‌های تیرچه بلوک و طاق ضربی که ضوابط آیین نامه ۲۸۰۰ را رعایت کرده باشند از صلابت برشی خوبی برخوردارند، در حالی که سقف‌های سبک شیروانی چنین نیستند و نمی‌توانند بار دیوارهای عرضی (دیوارهای عمود بر جهت زلزله) را به دیوارهای برشی (دیوارهای در جهت زلزله) انتقال دهند. از طرف دیگر دیوارهای عرضی باید بتوانند بار خود را به سقف و پی و دیوارهای متعامد انتقال دهند.

۲-۳- حالت‌های شکست

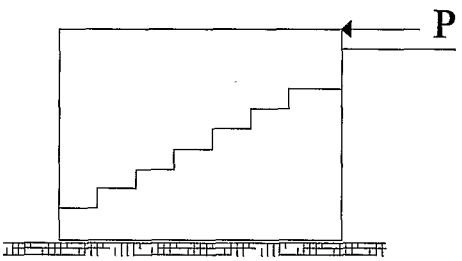
شکست دیوارهای برشی وعرضی اصلی‌ترین حالت‌های شکست را تشکیل می‌دهند. چون در ساختمان‌های آجری سقف بر دیوارها تکیه دارد با سقوط دیوار احتمال درهم فروریختن کل ساختمان وجود دارد و لذا ناپایداری دیوارها را می‌توان به منزله ناپایداری کلی دانست. دیوارهای برشی تقریبا تمامی بار جانبی حاصل از زلزله را بردوش دارند، پس سقوطشان به منزله انهدام قطعی ساختمان است. اما شکست دیوارهای عرضی معمولا با خسارات کمتری همراه است و بنابراین به هنگام تسلیح و تقویت ساختمان آجری، تاکید اصلی روی دیوارهای برشی است.

۲-۳-۱- شکست دیوارهای برشی

هرگاه دیوارهای برشی تحت نیروهای جانبی قرارگیرند دو حالت شکست خواهند داشت: خمشی و برشی. معمولا پایه‌های پهن به حالت برشی و پایه‌های باریک به حالت خمشی می‌شکنند. این مطلب درشکل های ۲-۱ الف و ب نشان داده شده است.



شکل ۲-۱(الف) شکست خمشی (پایه های باریک)



شکل ۲-۱ (ب) شکست برشی (پایه های پهن)

در عمل به هنگام زلزله دیوار تحت تاثیر نیروهای لختی ناشی از زلزله، متناوبا بر روی پنجه و پاشنه خم می‌شود و چنانچه نیروهای زلزله بر نیروهای مقاوم چیره شوند جابجایی ازحد کشسان خارج می‌شود و دیوار شروع به واژگون شدن می‌کند. اما چون نیروهای زلزله طبیعتی آنی دارند این واژگونی لحظه‌ای بیشتر طول نمی‌کشد و خیلی زود جهت نیروها عوض می‌شود و دیوار در جهت مقابل به حرکت درمی‌آید و در هر بار چند میلی‌متر تا چند سانتی‌متر از محل پی جابجا شده، پس از لحظه‌ای و به دنبال ضربه‌ای محکم، در جهت دیگر خم می‌شود. این حرکت‌های خمشی را تلو می‌گویند. حرکت تلو ذاتا بسیار خطرناک است و آثار زیان‌بخش زیر را به دنبال دارد :

الف) ضربه‌های حاصل از تلو موجب خردشدن پنجه و پاشنه دیوار شده، از عرض موثر پایه می‌کاهد و دیوار را بیش از پیش در برابر ضربه‌های بعدی بی‌دفاع می‌سازد.

ب) حرکت تلو با ضربه‌های شدیدی همراه است که نیروهای افقی بزرگی را ایجاد می‌کند زیرا اندازه حرکت حاصل (جرم دیوار در سرعت) باید در زمان نسبتا کوتاهی صفر شود، بنابراین نیروی افقی قابل ملاحظه‌ای را به وجود می‌آورد. این نیرو می‌تواند به اندازه‌ای بزرگ شود که شکست‌های برشی ایجاد کند. آزمایش‌های انجام شده بر روی دیوارهای برشی نشان می‌دهد که به فاصله کمی پس از آغاز تلو، پنجه و پاشنه شروع به خردشدن کرده وشکست‌های برشی پیدا می‌شود.

ج) حرکت تلو موجب سست شدن ساختمان و در نتیجه کاهش دوره تناوب می‌شود که به نوبه خود سبب افزایش شتاب پاسخ و یا نیروهای زلزله می‌گردد، بنابراین از یک‌سو مقاومت ساختمان کم می‌شود و از سوی دیگر نیروهای زلزله افزایش می‌یابد و ساختمان بیش از پیش در معرض انهدام قرار می‌گیرد.

پس به طور خلاصه دیوارهای برشی به دو حال می‌شکنند: خمشی و برشی . شکست خمشی با تلو خوردن دیوار همراه شده، پنجه و پاشنه آن در معرض خرد شدن قرار می‌گیرد. شکست برشی با ترک‌های اریب همراه است و به سبب دو طرفه بودن نیروی زلزله، این ترک ها به صورت ضربدر ظاهر می‌شوند[۱]

۲-۳-۲- شکست دیوارهای عرضی

دیوارهایی که بر جهت زلزله عمودند، به سبب نیروهای لختی افقی که بر اثر شتاب حاصل از زلزله، از جرم خود دیوار پدید می‌آیند، مانند دال تختی که بر چهار تکیه گاه قرار گرفته باشد (زمین ، سقف ، دو دیوار برشی عمود بر دیوار) تحت خمش قرار گرفته، خطوطی مشابه خطوط تسلیم در آن‌ها پدید می‌آید. در صورتی‌که فاصله دیوارهای عمودی زیاد باشد، خمش عمدتا بین سقف و زمین انجام شده، ترک‌های خمشی در امتداد افقی ظاهر می‌شوند. علاوه بر این چنانچه اتصال دیوار خمشی و دیوارهای متعامد خوب نباشد، در حین زلزله دیوارهای متعامد از هم جدا می‌شوند.

۲-۴- روش های ارزیابی کمی آسیب‌پذیری ساختمان‌های بنایی غیرمسلح

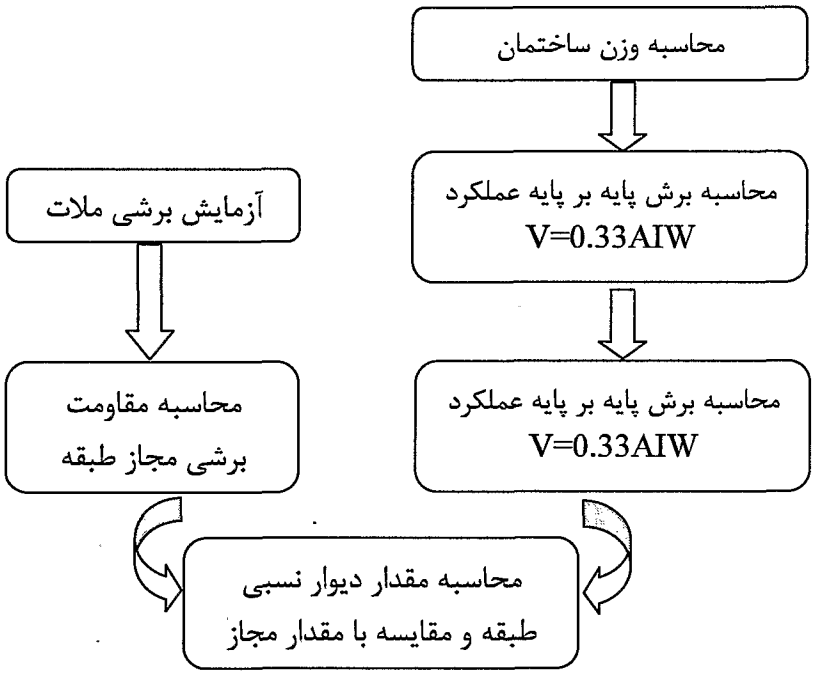
با توجه به تعداد نسبتا زیاد ساختمان‌های بنایی در کشور که در فصل قبل مورد بررسی قرار گرفت و رفتار این سازه ها که در این فصل مورد بررسی قرار می‌گیرد و از آنجا که روش قطعی برای ارزیابی آسیب‌پذیری آن‌ها وجود ندارد دراین قسمت به بررسی پاره‌ای از این روش‌ها پرداخته می‌شود.

ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های موجود در واقع پیش‌بینی عملکرد این ساختمان‌ها در زلزله‌های آتی می‌باشد و امکان قضاوت مهندسی برای ساخت مجدد یا مقاوم‌سازی ساختمان‌های موجود را فراهم می‌آورد. این ارزیابی در دو مرحله کیفی و کمی انجام می‌شود. به این صورت که در مرحله کیفی با توجه به شرایط لرزه‌خیزی و براساس تجربیات زلزله‌های گذشته اطلاعاتی از سیستم سازه‌ای مانند: پی، عناصرلرزه بر و نوع سقف جمع‌آوری شده و براساس نتایج این مرحله، ارزیابی کمی با انجام آزمایش برای تعیین مقاومت مصالح سازه‌ای و انجام تحلیل و کنترل معیارهای پذیرش انجام می‌شود. تاریخچه تحقیقات ارزیابی آسیب‌پذیری کمی درخصوص ساختمان‌های بنایی غیرمسلح، شامل تحقیقاتی است که به انجام آزمایش بر روی سازه موجود جهت تکمیل اطلاعات لازم برای ارزیابی کمی می‌پردازند و همچنین تحقیقاتی که به مدل‌سازی و ایجاد روابط ریاضی برای انجام ارزیابی کمی منتهی شده اند. تحقیقات نوع اول به ایجاد آزمایش‌هایی مانند آزمایش سرعت موج فراسونیک و آزمایش سرعت موج مکانیکی [۱۸] آزمایش سختی سطحی [۳]، آزمایش ضربه انعکاسی [۱۹] و آزمایش ارتعاش اجباری[۲۰] در ساختمان‌های بنایی منجر شده است. درمورد تحقیقات نوع دوم نیز می‌توان به مطالعات ترنسک و شپارد [۲۱] بر روی مقاومت کششی قطری دیوار در سال ۱۹۸۰، مطالعات ابرمز [۲۲] بر روی تنش فشاری و کششی در خمش حول محول قائم در سال ۱۹۹۲ و مطالعات لانگ و باخمن [۳۲] در سال ۲۰۰۲ برای انجام تحلیل غیرخطی مبتنی بر تغییرشکل برای ساختمان‌های بنایی اشاره کرد به هر حال این تحقیقات منجر به ایجاد روش‌هایی برای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه ای ساختمان‌های بنایی غیرمسلح شده اند که در ادامه به معرفی ساختار کلی سه روش دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای، روش ارزیابی FEMA و روش لانگ – باخمن، پرداخته می‌شود [۱۰].

۲-۴-۱- روش ارزیابی دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود

این فصل از دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ایران [۷] که به ساختمان‌های بنایی غیرمسلح اختصاص دارد با روندی متفاوت از سایر فصول دستورالعمل که براساس طراحی بر پایه عملکرد می‌باشند، به کنترل ضوابط تجربی و اجرایی پیوست آیین نامه ۲۸۰۰ پرداخته است وتنها در مورد

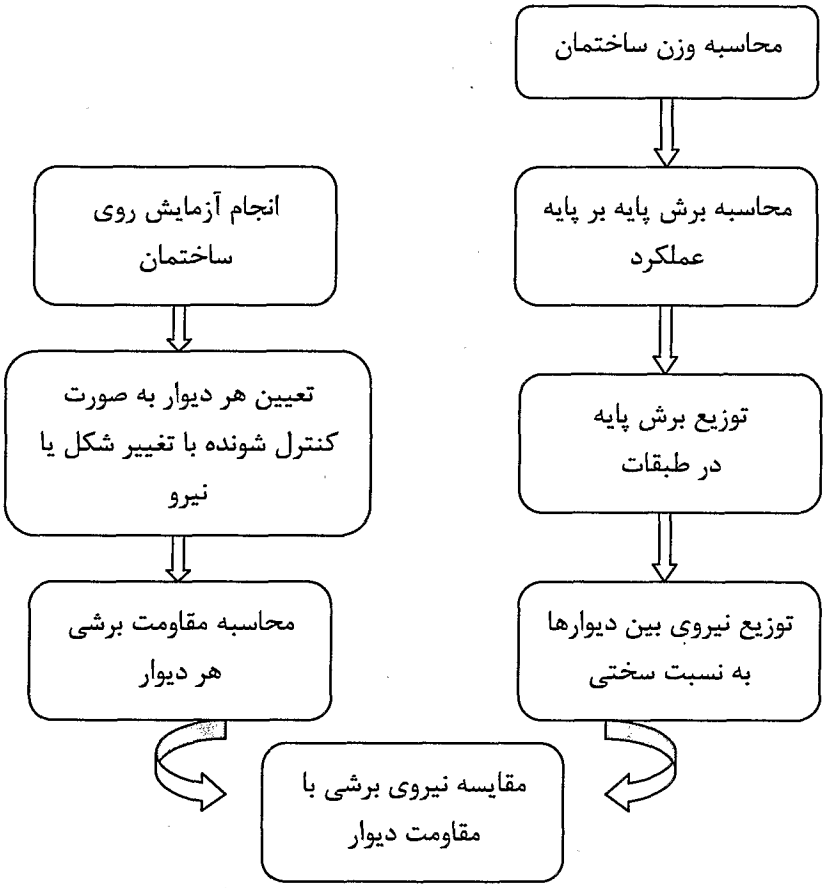
محاسبات مقاومت برشی ساختمان ارزیابی کمی به صورت کنترل دیوار نسبی مطابق نمودار شکل ۲-۲ انجام می‌شود. در این ارزیابی نیروی زلزله به صورت استاتیکی و با استفاده از رابطه ارائه شده برای سازه بنایی محاسبه گشته و براساس آن بدون توزیع بین عناصر سازه‌ای (دیوارها) مقدار برش در هر طبقه به دست می‌آید که مقدار آن باید ازظرفیت برشی طبقه کمتر باشد. لازم به ذکر است که این برآورد نیاز و ظرفیت، منحصراً برای ساختمان‌های تا حداکثر سه طبقه و سطح عملکرد ایمنی جانی می‌باشد.



شکل ۲-۲- ساختار ارزیابی کمی فصل هفتم دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود [۷]

۲-۴-۲- روش ارزیابی فصل هفتم دستورالعمل FEMA356 ، FEMA273

دراین دستورالعمل، ارزیابی کمی از ارزیابی کیفی جدا شده و مبنای کار در ارزیابی کمی طراحی براساس عملکرد می‌باشد که در آن نیاز لرزه‌ای با روش‌های خطی و غیرخطی به نحوی محاسبه می‌گردد که تغییرشکلی معادل تغییرشکل واقعی در اثر زلزله در سازه ایجاد شود. با تعیین نیاز لرزه‌ای برای محل سازه و سپس توزیع در طبقات در نهایت این نیرو به نسبت سختی اعضای باربر جانبی (دیوارها) بین آنها توزیع شده و با مقاومت هر عضو با توجه به مدهای رفتاری شکست به صورت کنترل شونده توسط تغییرشکل یا نیرو مقایسه می‌شود. این روند در نمودار شکل ۲-۳ آمده است [۸] و [۹].



شکل ۲-۳ ساختار ارزیابی در فصل هفتم FEMA356 و FEMA273 [۸] و[۹]

۲-۴-۳- روش ارزیابی لانگ – باخمن

در این روش برای ساختمان های بنایی، منحنی ظرفیت ساختمان (نیروی برشی بر حسب تغییر مکان سازه) از مجموع منحنی ظرفیت دیوارها در هر جهت حاصل شده و بر روی این منحنی درجات آسیب‌پذیری سازه (براساس EMS98 اروپا) [۲۴] مطابق شکل ۲-۴ مشخص می‌گردد. همچنین ساختمان به صورت سیستم یک درجه آزادی مدل شده و فرکانس آن در هرجهت تعیین می‌گردد و با در نظرگرفتن اثرات غیر خطی، تغییر مکان نهایی سازه براساس طیف طرح سازه حاصل می‌شود. با استفاده از این تغییر مکان و منحنی ساختمان مشخص می‌شود که سازه برای زلزله موردنظر در چه سطحی از آسیب پذیری قرار دارد [۲۴] روند این روش در نمودار شکل ۲-۵ و مراحل ترسیم منحنی ظرفیت برای این روش در شکل ۲-۶ مشاهده می‌شود.

شرح	براساس EMS 98 اروپا	درجه آسیب پذیری
نقطه متناظر با اولین ترک (Δ_σ)	آسیب جزئی (اعضای سازه‌ای بی‌آسیب، آسیب جزئی به عناصر غیرسازه‌ای) – ترک مویی در تعداد کمی از دیوارها	(درجه ۱) DG1
شروع رفتار غیرخطی سازه $(\Delta_{y\min})$	آسیب متوسط (آسیب جزئی اعضای سازه‌ای آسیب متوسط، اعضا غیرسازه‌ای) – ایجاد ترک در بسیاری از دیوارها – تخریب قطعات بزرگ اندودها	(درجه ۲) DG2
صفر شدن سختی سازه $(\Delta_{y\max})$	آسیب زیاد (آسیب متوسط اعضا سازه‌ای، آسیب زیاد عناصر غیر سازه‌ای) – ایجاد ترک‌های وسیع در دیوارها – تخریب تیر سقف‌ها	(درجه ۳) DG3
تخریب اولین دیوار $(\Delta_{x\min})$	آسیب بسیار زیاد (آسیب زیاد اعضا سازه‌ای، آسیب زیاد عناصر غیر سازه‌ای) – تخریب دیوارها و سقف	(درجه ۴) DG4
$V=2/3V_r$	آستانه فروریزش ساختمان	(درجه ۵) DG5

شکل ۲-۴ درجات آسیب‌پذیری در روش لانگ - باخمن