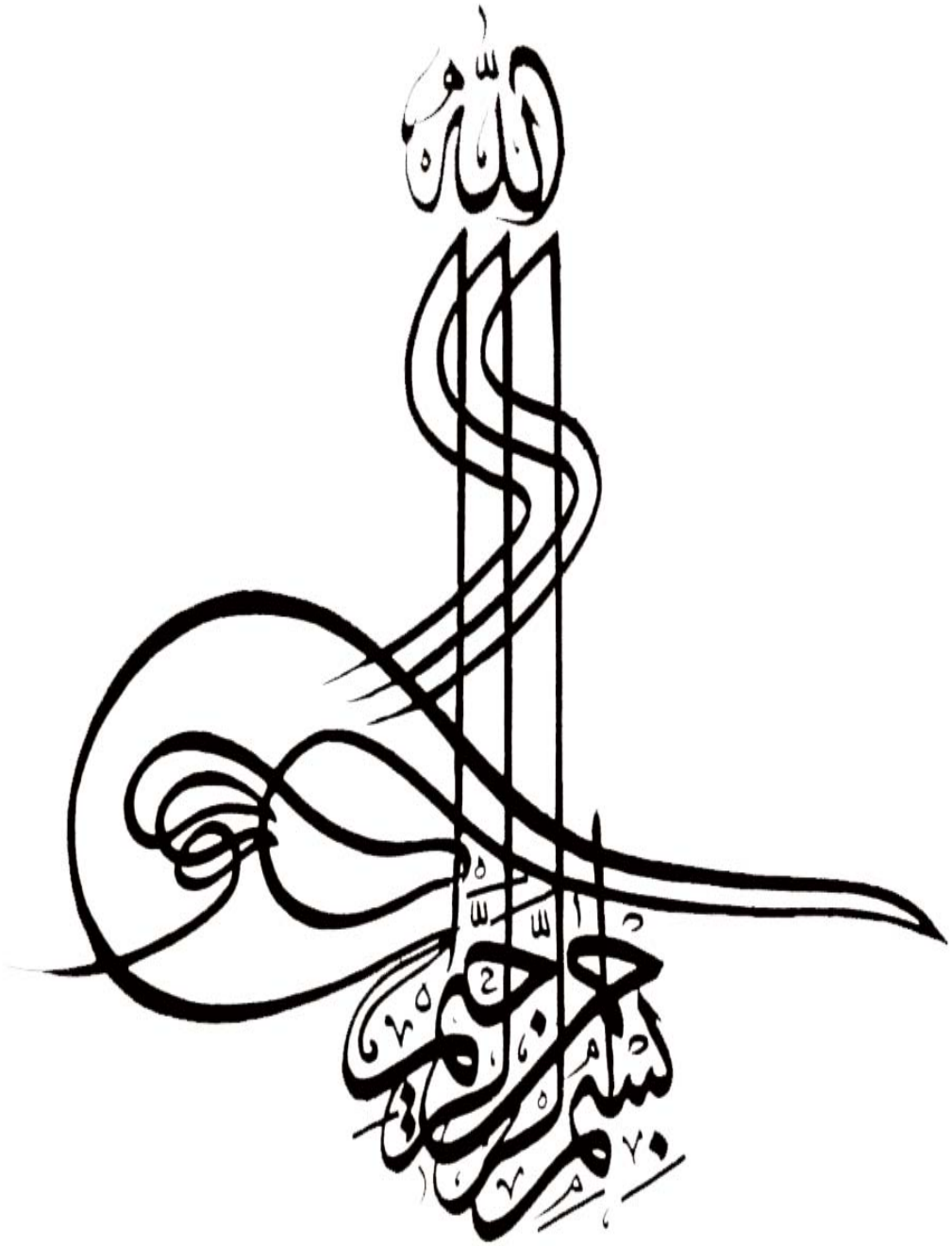
الله
بسم الله الرحمن الرحيم

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

**دانشگاه تفرش**

دانشکده مهندسی عمران

# پایان نامه کارشناسی ارشد

# بررسی ستون‌های کوتاه بتنی در طراحی و بهسازی لرزه‌ای

**اساتید راهنما:**

دکتر محمدرضا تابش‌پور

دکتر حمیدرضا صبا

**دانشجو**

افسانه سادات موسوی

۱۳۹۰

تقدیم به

آفتاب همیشه گرمابخش

**پدرم**

و

حیات همیشه هستی بخش

**مادرم**

آنانی که بار راهنمایی ها و زحمات بی دریغشان مسیر پیشرفت و خوشبختی را آشکار ساخته، دعای خالصانه شان بدرقه راه و وجودشان دلگرمی وجودم است. آنانی که کوشیدند تا بدانم هدف غایی وجود این است که هستی را پروردگاریست بی مانند.

# سپاسگزاری

سپاس پروردگاری راکه خود را خارج از الطاف بی کرانش نیافتم وآنچه به من بخشیده است همواره بیش از آن بود که در تصورم می گنجید. در میان بخشایش های بی پایانش آنانی که مرا از دانش و بینش شان بهره مند گردانیده اند جایگاه ویژه ای دارند. پدر عزیزم که به من آموخت در کاوش جهان هستی و قضاوت های درباب آن تنها بر عقل تکیه کنم. مادر گرامی که برایم آموزگار بی بدیل عشق بی دلیل بودم. اساتیدم که همواره مرا مورد لطف و تشویق قرار داده اند و اندک بهره ام از سفره دانشی که ایشان گسترانده اند به لطف همین تشویق ها بوده نه توانایی هایم. از اساتید راهنمای ارجمندم جناب آقای دکتر تابش پور و جناب آقای دکتر صبا که در امر تحقیق مرا یاری کردند صمیمانه سپاسگذارم. مراتب قدردانی خود را از اساتید گرامی گروه عمران دانشگاه تفرش که افتخار شاگردی این بزرگان را داشتم اعلام می کنم. امیدوارم همیشه زیر سایه حق سرافراز و ماندگار باشند.

در انتها از آقایان مهندس امیر آزاد و مهندس کمیل کریمی و خانم مینا منصوری که مرا برای پیمودن این راه دشوار همراهی نمودند و همنوردهای آنها رو شکر این مسیر گردید سپاس گزارم.

با سپاس فراوان از آقای **دکتر محمدرضا تابش پور** و **دکتر حمیدرضا صبا** که بار راهنمایی هایشان من را در انجام این تحقیق یاری نمودند.

**چکیده**

در دهه‌های گذشته محققین و مهندسین زیادی روی اثرات دیوارهای آجری پرکننده‌ی درون قاب‌های سازه‌ای، تحقیق و پژوهش نموده‌اند و همواره اثراتی که دیوارهای آجری پرکننده می‌توانند بر روی رفتار سازه داشته باشند یکی از دغدغه‌های مهندسین بوده است. از آن‌جا که مصالح مورد استفاده و در نتیجه مقاومت و سختی این دیوارها تا حد بسیار زیادی به محل ساخت و مصالح در دسترس وابسته است، اکثر کشورها با توجه به شرایط اقلیمی موجود خود ضوابطی را برای در نظر گرفتن اثرات دیوارهای آجری پرکننده، در طراحی‌ها و آیین‌نامه‌های خود وارد کرده‌اند. کشور ما ایران هم از این قاعده مستثنی نبوده است و در طی سال‌های گذشته شاهد بودیم که در بعضی از بندهای آیین‌نامه ۲۸۰۰ اثر وجود دیوار پرکننده آجری در رفتار ساختمان لحاظ شده است. یکی از این بندها که وجود دیوار در ساختمان روی آن تاثیر می‌گذارد بند ۱-۵-۷ آیین‌نامه ۲۸۰۰ می‌باشد که مطابق این بند بایدازایجاد ستون‌های کوتاه به خصوص درنورگیرهای زیرزمین‌ها حتی الامکان خودداری شود.با وجود این محدودیت گاه به دلیل شرایط خاص معماری و عوامل دیگر وجود ستون کوتاه اجتناب ناپذیر می‌گردد. آیین‌نامه هیچ اشاره‌ای در مورد چگونگی در نظر گرفتن اثرستون‌های کوتاه نکرده است. در ایران به دلیل عدم شناخت کافی مهندسین از چگونگی رفتار دیوار پرکننده آجری در زلزله از مدل‌سازی دیوار پرکننده پرهیز می‌کنند و هم‌چنین اثرات مثبت و منفی دیوار پرکننده بر روی رفتار سازه را نادیده می‌گیرند. هدف اصلی این تحقیق بررسی ایجاد شکست ناشی از ستون کوتاه بتنی در سازه‌های با سیستم قاب خمشی با الگوهای مختلف وجود دیوار در طبقات و تعیین مفصل برشی برای آنالیز غیرخطی سازه می‌باشد. همچنین در این تحقیق می خواهیم به موضوع تقویت لرزه‌ای ستون‌های کوتاه برای پرهیز از شکست برشی ترد و اثر میانقاب‌های آجری سازه بتنی درتشکیل ستون کوتاه بپردازیم. در مدل‌سازی دیوار را با میله فشاری معادل مدل‌سازی خواهیم کرد واثر آنرا در تشکیل ستون کوتاه مورد بررسی قرار خواهیم داد تا نوع تحلیل مورد نیازرا بیابیم. سپس با استفاده ازتحلیل های استاتیکی خطی وغیر خطی در نرم افزارهای OpenSees و SAP۲۰۰۰ مدل‌سازی دو سازه یکی معمولی باوجود ستون کوتاه و دیگری سازه طراحی شده برای ستون کوتاه را انجام خواهیم داد. با مقایسه نتایج حاصل ازتحلیل‌ها ملزومات طراحی برای منظور کردن اثر ستون کوتاه به دست خواهدآمد. اگرستون کوتاه بر اساس این ملزومات طراحی شوند هم از ظرفیت های موجود به طوربهینه استفاده خواهد شد و هم شاهد حوادث ناگواردر زلزله های آتی نخواهیم بود.

**کلمات کلیدی:** ستون کوتاه، اندرکنش بین دیوار پرکننده آجری و ستون بتنی، دیوار پرکننده آجری، گسیختگی برشی، آنالیز استاتیکی غیرخطی

## فهرست مطالب

**عنوان** ..... **صفحه**


**فصل اول: پیشگفتار**

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- تاریخچه ۵

۱-۲-۱- مدل‌سازی دیوار پرکننده آجری ۵

۱-۲-۲- اندرکنش بین قاب و دیوار پرکننده آجری ۶

۱-۲-۳- شکست طبقه نرم (یا ضعیف) ۷

۱-۲-۴- شکست پیچشی ۸

۱-۲-۵- شکست ستون کوتاه ۱۰

۱-۳- تاریخچه‌ی مدل‌سازی دیوار آجری پرکننده و قاب ۱۴

۱-۳-۱- مدل‌های پایه‌ای (میکرو) ۱۵

۱-۳-۲- مدل‌های ساده (ماکرو) ۱۷

۱-۳-۳- مدول یانگ مصالح بنایی ۱۹

۱-۴- ملاحظات آیین‌نامه‌ای مربوط به اثر دیوار پرکننده آجری ۲۱

۱-۴-۱- بند "۱-۸-۱-۲" آیین‌نامه ۲۸۰۰: منظم بودن در ارتفاع ۲۱

۱-۴-۲- بند "۲-۳-۶" آیین‌نامه ۲۸۰۰: زمان تناوب اصلی نوسان $(T)$ ۲۲

۱-۵- روش تحقیق ۲۲

۱-۶- فصول مختلف پایان‌نامه ۲۳

**فصل دوم: بررسی مبانی تئوری گسیختگی برشی**


۲-۱- مقدمه ۲۴

۲-۱-۱- گسیختگی مؤلفه‌هایی که منجر به فروریزش می‌شوند ۲۵

۲-۱-۱-۱- گسیختگی ستون ۲۵

۲-۱-۱-۲- گسیختگی اتصالات تیر-ستون ۲۶

۲-۱-۱-۳- اجرای یکپارچه رایج شده در چند دهه اخیر ۲۷

۲-۲- ظرفیت تغییرشکل ستون‌های سازه‌های قدیمی‌تر ۲۷

۲-۲-۱- دسته‌بندی ستون‌ها ۲۸

۲-۲-۲- رفتار غیر خطی تیرها یا ستون‌ها ۲۸

۲-۲-۲-۱- مد گسیختگی خمشی ۲۹

۲-۲-۲-۲- مد گسیختگی برشی ۳۰

۲-۲-۲-۳- مد گسیختگی برشی - خمشی ۳۰

۲-۳- مدل‌های ظرفیت جابجایی نسبی پیشنهادی ۳۱

۲-۳-۱- مدل گسیختگی محوری ۳۵

۲-۳-۱-۱- رخدادهای تجربی ۳۵

۲-۳-۲- مدل اصطکاک - برش ۳۶

۲-۳-۲-۱- زاویه ترک بحرانی ۳۷

۲-۳-۳- ظرفیت جابجایی نسبی در گسیختگی محوری ۳۸

۲-۴- بررسی برش در آیین‌نامه‌های مختلف ۳۸

۲-۴-۱- ترک‌های برشی جان ۳۹

۲-۴-۲- ترک‌های خمشی - برشی ۳۹

۲-۴-۳- ترک‌های خمشی ۳۹
۲-۵- حالت‌های شکست عضو بتنی ۳۹
۲-۵-۱- شکست خمشی ۴۰
۲-۵-۲- شکست قطری کششی ۴۰
۲-۵-۲- شکست برشی فشاری و شکست برشی کششی ۴۰
۲-۶- بررسی معادلات مقاومت برشی پیشنهادی ۴۱
۲-۷- قوانین طراحی اعضا ۵۶
۲-۷-۱- مصالح ۵۶
۲-۷-۱-۱- بتن محصورنشده ۵۶
۲-۷-۱-۲- بتن محصور شده ۵۸

**فصل سوم: نتایج تحلیل الاستیک، غیر الاستیک و مباحثی از ستون کوتاه**

۳-۱- مقدمه ۶۵
۳-۲- پاسخ الاستیک خطی ستون بتن مسلح ۶۵
۳-۲-۱- مدل‌های ظرفیت ۶۵
۳-۲-۱-۱- ظرفیت محوری ۶۶
۳-۲-۱-۲- ظرفیت خمشی ۶۶
۳-۲-۱-۳- ظرفیت برشی ۶۶
۳-۲-۲- دیاگرام اندرکنشی ۶۷
۳-۲-۳- جابجایی تسلیم ۶۷
۳-۲-۳-۱- تغییرشکل خمشی ( $\Delta_{fl}$ ) ۶۷
۳-۲-۳-۲- لغزش آرماتورها ( $\Delta_{sl}$ ) ۶۷

۳-۲-۳-۳- تغییرشکل برشی ($\Delta_{sh}$) ۶۸
۳-۳- پاسخ غیر الاستیک خطی ستون بتن مسلح ۶۸
۳-۳-۱- پاسخ انحنای خمشی ۶۸
۳-۳-۲- مدل ظرفیت جابجایی نسبی برشی ۶۹
۳-۳-۳- مدل ظرفیت محوری ۶۹
۳-۴- توزیع نیروهای محوری، برشی و خمشی در قاب ۱ دهانه ۱ طبقه ۷۳
۳-۵- مباحث ستون کوتاه ۷۳
۳-۵-۱- ستون کوتاه ۷۳
۳-۵-۲- مباحث تحلیلی ۷۶
۳-۵-۲-۱- طیف پاسخ ۷۶
۳-۵-۲-۲- بررسی تغییرات سختی ۷۶
۳-۵-۲-۳- نسبت خمش وبرش در ستون کوتاه ۷۷
۳-۵-۳- بررسی مکانیزم شکست خمشی و برشی ۷۸
۳-۵-۴- اثر غیر مستقیم خاموت عرضی در پدیده ستون کوتاه ۸۱
۳-۶- اثر دیوار روی تناوب سازه ۸۲
۳-۷- پارامترهای پانل دیوار پرکننده ۸۲
۳-۷-۱- سختی ۸۳
۳-۷-۲- مقاومت ۸۴
۳-۷-۳- ظرفیت تغییرشکل ۸۴
۳-۷-۴- اثر اجزای دیوار پرکننده بر اعضای قاب ۸۴
۳-۸- آیین نامه‌ها ۸۵

۳-۸-۱- آیین‌نامه نیوزیلند ۸۵
۳-۸-۲- آیین نامه ترکیه ۸۶
۳-۸-۳- آیین‌نامه هند ۸۷
۳-۸-۴- آیین‌نامه آمریکا ۸۸
۳-۸-۵- *Fema* 306 ۸۸

**فصل چهارم: تحلیل استاتیکی فزاینده**

۴-۱- مقدمه ۹۰
۴-۲- روش های تحلیل ۹۱
۴-۲-۱- روش‌های تحلیل خطی ۹۲
۴-۲-۲- روش‌های تحلیل غیرخطی ۹۲
۴-۲-۲-۱- روش استاتیکی غیرخطی ۹۲
۴-۲-۲-۲- روش دینامیکی غیرخطی ۹۲
۴-۳- آنالیزهای استاتیکی غیرخطی ۹۳
۴-۳-۱- تحلیل استاتیکی غیرخطی ۹۳
۴-۳-۲- روش ضرایب فِما ۳۵۶ ۹۳
۴-۳-۳- مدل رفتار دوخطی نیرو - تغییرمکان در استاندارد فما ۳۵۶ ۹۶
۴-۴- تقریب منحنی ظرفیت سازه به صورت دو خطی ۹۷
۴-۶- مقایسه آئین‌نامه ۲۸۰۰ (ویرایش سوم) و دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ۱۰۰
۴-۷- مدل کردن رفتار غیرخطی اعضاء ۱۰۰
۴-۸- نرم‌افزارهای تحلیل غیرخطی سازه‌ها ۱۰۱
۴-۹- مدل‌سازی ۱۰۲

۴-۹-۱- طراحی سازه‌های مورد مطالعه و فرضیات ۱۰۲
۴-۹-۱-۱- طراحی سازه ۳ طبقه ۱۰۳
۴-۹-۱-۲- طراحی سازه ۵ طبقه ۱۰۴
۴-۱۰- نمودارهای پوش‌اور مربوط به حالت‌های مختلف وجود دیوار ۱۰۵
۴-۱۰-۱- قاب ۱ طبقه ۱۰۵
۴-۱۰-۲- قاب ۳ طبقه ۱۰۶
۴-۱۰-۳- قاب ۵ طبقه ۱۱۰
۴-۱۴- تفسیر نتایج ۱۱۳

**فصل پنجم: معرفی نرم‌افزار OpenSees و نحوه مدل‌سازی در آن**

۵-۱- مقدمه ۱۱۳
۵-۲- معرفی نرم‌افزارOpenSees ۱۱۳
۵-۲-۱- ساخت مدلModel-Building ۱۱۴
۵-۲-۱-۱- انواع مدل‌های مصالح تک محوره ۱۱۴
۵-۲-۱-۲- انواع مدل‌های مقاطع ۱۱۶
۵-۲-۱-۳- انواع المان (اعضاء) ۱۱۶
۵-۳- فرضیات مدل‌سازی درOpensees ۱۱۷
۵-۳-۱- تعریف المان‌های سازه‌ای ۱۱۷
۵-۳-۲- مدلهای مصالح تک محوره مورد استفاده در OpenSees ۱۱۹
۵-۳-۳- مدل کردن ستون ۱۲۰
۵-۳-۴- سیستم فنر برشی ۱۲۱
۵-۳-۵- سیستم فنر محوری ۱۲۲

۵-۴- نمودارهای پوش‌اور مربوط به حالت‌های مختلف وجود دیوار ۱۲۶

۵-۴-۱- صحت سنجی نتایج ۱۲۶

۵-۴-۲- مدل‌های مورد بررسی در نرم‌افزار OpenSees ۱۲۸

۵-۴-۲-۱- قاب ۱ دهانه ۱ طبقه ۱۲۸

۵-۴-۲-۲- قاب ۲ دهانه ۱ طبقه ۱۲۹

۵-۴-۲-۳- قاب ۱ طبقه ۳ دهانه ۱۳۱

۵-۴-۲-۴- قاب ۲ طبقه ۱ دهانه ۱۳۲

۵-۴-۲-۵- قاب ۲ طبقه ۲ دهانه ۱۳۵

**فصل ششم:** جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

۶-۱- مقدمه ۱۸۲

۶-۲- نتیجه‌گیری 821

## فهرست اشکال

**عنوان ..... صفحه**


شکل(۱-۱) زلزله‌های اخیر در ایران ۱

شکل (۱-۲) دیوار مجزا از قاب بوسیله درز انقطاع ۳

شکل (۱-۳) رفتار ترکیبی دیوار و قاب ۵

شکل (۱-۴) مدل‌سازی دیوار به صورت دستک فشاری ۵

شکل (۱-۵) تبدیل کنش خمشی به کنش محوری به علت وجود دیوار ۵

شکل (۱-۶) مدل تیر به تیر برای بادبندمعادل ۶

شکل (۱-۷) معادل‌سازی دیوار پرکننده با دو میله‌ی فشاری گره به گره ۶

شکل (۱-۸) مدل ستون به ستون برای بادبند معادل ۶

شکل (۱-۹) شکست برشی ستون به علت تقابل با دیوار پرکننده آجری با بلوک سفالی ۷

شکل (۱-۱۰) شکست برشی تیر بتن مسلح به علت اندرکنش با دیوار پرکننده آجری ۷

شکل (۱-۱۱) پتانسیل ایجاد طبقه‌ی نرم به علت فقدان دیوارهای پرکننده ۷

شکل (۱-۱۲) ایجاد مکانیزم طبقه در ساختمان در حال احداث و آستانه‌ی فرو ریزش (ایتالیا ۱۹۷۶) ۷

شکل (۱-۱۳) ایجاد طبقه نرم در طبقات فوقانی ۸

شکل (۲-۱۴) شکست طبقه‌ی نرم ۸

شکل (۲-۱۵) خرابی کامل طبقه اول در اثر ایجاد طبقه نرم ۸

شکل (۱-۱۶) چیدمان نامتقارن دیوار در پلان ۹

شکل (۱-۱۷) ترکیب طبقه نرم و پیچش ۹

شکل (۱-۱۸) شکست برشی به دلیل عدم در نظر گرفتن اثر دیوار پرکننده (کوبه، ۱۹۹۵) ۱۰

شکل (۱-۱۹) شکست برشی به دلیل عدم در نظر گرفتن اثر دیوار پرکننده (زلزله بم، ۱۹۹۵) ۱۰

شکل (۱-۲۰) جذب نیروی زیاد در ستون کوتاه ۱۱

شکل (۱-۲۱) پدیده ستون کوتاه به دلیل جذب نیروی زیاد در طول مؤثر ستون ۱۱
شکل (۱-۲۲) شکست ستون کوتاه ۱۲
شکل (۱-۲۳) شکست خمشی ستون کوتاه ۱۲
شکل (۱-۲۴) ستون کوتاه به علت هندسه ی معماری ووجود دیوارها ۱۳
شکل (۱-۲۵) ایجاد شکست ترد برشی در ستون به علت پدیده ستون کوتاه و اندرکنش دیوار با قاب ۱۳
شکل (۱-۲۶) ایجاد شکست ترد برشی در ستون به علت پدیده ستون کوتاه و اندرکنش دیوار با قاب ۱۴
شکل (۱-۲۷) مدل المان محدودی قاب و دیوار پرکننده‌ی آجری ۱۵
شکل (۱-۲۸) مودهای شکست قاب پر شده با دیوار ۱۶
شکل (۱-۲۹) بارگذاری قطری در سیستم قاب و دیوار ۱۸
شکل (۱-۳۰) مدل دارای شش میله ۱۹
شکل (۲-۱) آمار خرابی ۴ زلزله ۲۲
شکل (۲-۲) گسیختگی برشی و محوری ستون، زلزله کوکالی (۱۹۹۹) و ایتالیا ۲۰۰۹ ۲۶
شکل (۲-۳) گسیختگی متناظر با فروریزش اتصال تیر-ستون ۲۶
شکل (۲-۴) تغییرشکل مضاعف ستون‌ها ۲۹
شکل (۲-۵) تعریف تصویری از مدهای گسیختگی ستون ۲۹
شکل (۲-۶) روابط نیرو-جابه‌جایی مد گسیختگی خمشی ۳۰
شکل (۲-۷) روابط نیرو-جابه‌جایی مد گسیختگی برشی ۳۰
شکل (۲-۸) روابط نیرو-جابه‌جایی مد گسیختگی برشی-خمشی ۳۱
شکل (۲-۹) تاثیر پارامترهای کلیدی در جابجایی نسبی گسیختگی برشی ۳۲
شکل (۲-۱۰) مقایسه جابجایی نسبی محاسبه شده در گسیختگی برشی با توجه به معادله ۲-۳ ۳۳
شکل (۲-۱۱) محاسبه جابجایی نسبی در گسیختگی برشی ۳۴
شکل (۲-۱۲) جابجایی نسبی به عنوان تابعی از بار محوری برای ستون‌های بتنی ۳۵
شکل (۲-۱۳) ستون گسیخته شده در زلزله کوکالی در سال ۱۹۹۹ ۳۶

شکل (۲-۱۴) دیاگرام جسم آزاد ستون پس از گسیختگی برشی ۳۶

شکل (۲-۱۵) ارتباط بین زاویه مشاهده شده ترک بحرانی و بار محوری ۳۸

شکل (۲-۱۶) کاهش مقاومت برشی بتن با افزایش شکل‌پذیری ۴۵

شکل (۲-۱۷) سهم بار محوری در مقاومت برشی ۴۶

شکل (۲-۱۸) کاهش مقاومت برشی با افزایش شکل‌پذیری ۴۸

شکل (۲-۱۹) پارامتر $k$ ۴۹

شکل (۲-۲۰) منحنی تنش- کرنش برای بتن استوانه‌ای که در راستای محوری بارگذاری شده است ۵۵

شکل (۲-۲۱) پارامترهای طراحی بلوک تنش بتن برای محاسبه مقاومت خمشی ۵۶

شکل (۲-۲۲) محصورشدگی بتن توسط حلقه‌های مربعی و دایره‌ای ۵۸

شکل (۲-۲۳) محصورشدگی ستون توسط تسلیح طولی و عرضی ۵۹

شکل (۲-۲۴) مدل تنش-کرنش برای بارگذاری یکنواخت بتی محصورشده و نشده تحت فشار ۵۹

شکل (۲-۲۵) تعیین مقاومت فشاری بتن محصورشده از تنش‌های محصوریت جانبی برای مقاطع مستطیلی ۶۲

شکل (۲-۲۶) فاکتور اندازه‌گیری ضریب دینامیکی $D_f$ و $D_E$ ۶۲

شکل (۲-۲۷) پارامترهای بلوک تنش فشاری بتن برای مقاطع مستطیلی بتنی که با حلقه‌های مستطیلی برای استفاده در معادله ۲-۸۸ و ۲-۸۹ محصور شده است. ۶۲

شکل (۳-۱) تحلیل مقطع عرضی استفاده شده برای بدست آوردن ظرفیت خمشی ستون بتن مسلح ۶۵

شکل (۳-۲) تغییرشکل خمشی در یک ستون ۶۶

شکل (۳-۳) لغزش آرماتورهای ستون ۶۷

شکل (۳-۴) تغییرشکل برشی ستون ۶۷

شکل (۳-۵) نیروی محوری تحت بار ثقل در حالت اتصال دیوار با قاب ۶۹

شکل (۳-۶) نیروی محوری تحت بار ثقل در حالت عدم اتصال دیوار با قاب ۶۹

شکل (۳-۷) نیروی برشی تحت بار ثقل در حالت اتصال دیوار با قاب ۶۹

شکل (۳-۸) نیروی برشی تحت بار ثقل در حالت عدم اتصال دیوار با قاب ۶۹
شکل (۳-۹) لنگرهای خمشی تحت بار ثقل در حالت اتصال دیوار با قاب ۷۰
شکل (۳-۱۰) لنگرهای خمشی تحت بار ثقل در حالت عدم اتصال دیوار با قاب ۷۰
شکل (۳-۱۱) نیروی محوری تحت بار جانبی در حالت اتصال دیوار با قاب ۷۰
شکل (۳-۱۲) نیروی محوری تحت بار جانبی در حالت عدم اتصال دیوار با قاب ۷۰
شکل (۳-۱۳) نیروی برشی تحت بار جانبی در حالت اتصال دیوار با قاب ۷۱
شکل (۳-۱۴) نیروی برشی تحت بار جانبی در حالت عدم اتصال دیوار با قاب ۷۱
شکل (۳-۱۵) لنگرهای خمشی تحت بار جانبی در حالت اتصال دیوار با قاب ۷۱
شکل (۳-۱۶) لنگرهای خمشی تحت بار جانبی در حالت عدم اتصال دیوار با قاب ۷۱
شکل (۳-۱۷) شکست قطری ستون کوتاه به دلیل وجود بازشو ۷۲
شکل (۳-۱۸) شکست برشی ستون کوتاه در زلزله ۷۲
شکل (۳-۱۹) شکل شماتیک شکست ستون کوتاه به دلیل وجود باز شو ۷۳
شکل (۳-۲۰) شکست ستون کوتاه به دلیل وجود باز شو ۷۳
شکل (۳-۲۱) ایجاد ستون کوتاه به دلیل وجود نیم طبقه ۷۳
شکل (۳-۲۲) نمونه‌ای از خرابی ساختمان ناشی از ستون کوتاه به دلیل وجود نیم طبقه ۷۴
شکل (۳-۲۳) ساختمان دارای ستون کوتاه ۷۴
شکل (۳-۲۴) تیرعمیق وایجاد ستون کوتاه ۷۴
شکل (۳-۲۵) دیوار پرکننده و ایجاد ستون کوتاه ۷۵
شکل (۳-۲۶) حالت های ممکن طیف پاسخ با اثر دیوار پرکننده ۷۵
شکل (۳-۲۷) حالت های متفاوت ارتفاع ستون ۷۶
شکل (۳-۲۸) مفاصل پلاستیک و ارتفاع ستون کوتاه و معمولی ۷۷
شکل (۳-۲۹) منحنی نیرو-تغییر مکان برای ستون بلند وستون کوتاه با خاموت معمولی ۷۷
شکل (۳-۳۰) انرژی جذب شده برای ستون کوتاه با خاموت معمولی ۷۸

شکل (۳-۳۱) منحنی نیرو-تغییر مکان برای ستون بلند وستون کوتاه با خاموت ویژه ۷۹
شکل (۳-۳۲) مقایسه رفتار ستون کوتاه با دو حالت دیوار پرکننده کامل وقاب خالی ۷۹
شکل (۳-۳۳) مقایسه شکست برشی و خمشی در ستون فولادی ۸۰
شکل (۳-۳۴) مدل‌ساده‌ی میله برای المان کوتاه ۸۰
شکل (۳-۳۵) مدلسازی پانل دیوار پرکننده با میله معادل ۸۲
شکل (۳-۳۶) میله معادل و توزیع ممان ناشی از نیروهای اندرکنش بین قاب و دیوار پرکننده ۸۳
شکل (۳-۳۷) تاثیر دیوار پرکننده بر عملکرد قاب (ایجاد ستون کوتاه) ۸۵
شکل (۳-۳۸) ممان‌های طراحی و خاموت‌بندی مناسب ۸۶
شکل (۳-۳۹) تسلیح مناسب برای ستون کوتاه ۸۶
شکل (۳-۴۰) دیوار پرکننده بین دو ستون بتنی که ستون کوتاه را ایجاد می‌کنند. ۸۷
شکل (۴-۱) روش ضرائب برای تعیین جابجایی هدف ۹۳
شکل (۴-۲) منحنی ساده شده نیرو تغییر مکان ۹۵
شکل (۴-۳) تقریب منحنی ظرفت سازه به صورت دو خطی ب- تقریب منحنی ظرفیت دندانه ای ۹۶
شکل (۴-۴) تعیین نقطه عملکرد با استفاده از روش ATC-40 ۹۷
شکل (۴-۵) الف- منحنی شتاب در دستگاه استاندارد، ب- طیف شتاب در دستگاه ADRS ۹۸
شکل (۴-۶) الف- منحنی ظرفیت در دستگاه استاندارد ب- طیف ظرفیت در دستگاه ADRS ۹۸
شکل (۴-۷) منحنی رفتار اعضای سازه و پارامترهای مدلسازی ۹۹
شکل (۴-۸) الگوهای قرارگیری دیوار پرکننده آجری متصل با قاب در ساختمان ۳ طبقه برای دیوار ۲۳ سانتی متر ۱۰۱
شکل (۴-۹) الگوهای قرارگیری دیوار پرکننده آجری متصل با قاب در ساختمان ۵ طبقه برای دیوار ۲۳ سانتی متری ۱۰۱
شکل (۴-۱۰) نمای سازه ۵ طبقه ۱۰۲
شکل (۴-۱۱) نمای سازه ۳ طبقه ۱۰۲

شکل (۴-۱۲) پلان تمام سازه‌ها ۱۰۲

شکل (۴-۱۳) قاب خالی ۱ طبقه ۱۰۴

شکل (۴-۱۴) منحنی‌های پوش‌اور برای قاب ۱ طبقه ۱۰۵

شکل (۴-۱۵) منحنی‌های پوش‌او برای قاب خالی ۳ طبقه ۱۰۶

شکل (۴-۱۶) منحنی‌های پوش‌اور برای قاب ۳ طبقه در حالت وجود دیوار ۲۳ سانتی‌متری در تمام دهانه‌ها ۱۰۶

شکل (۴-۱۷) منحنی‌های پوش‌اور قاب ۳ طبقه در حالت وجود دیوار ۲۳ سانتی‌متری در دهانه وسطی با فرض بازشو ۵۰ سانتی متری ۱۰۷

شکل (۴-۱۸) منحنی‌های پوش‌اور قاب ۳ طبقه در حالت وجود دیوار ۲۳ سانتی‌متری در دهانه وسطی با فرض بازشو ۱۰۰ سانتی متری ۱۰۷

شکل (۴-۱۹) منحنی‌های پوش‌اور قاب ۳ طبقه در حالت وجود دیوار ۲۳ سانتی‌متری در دهانه وسطی با فرض بازشو ۱۵۰ سانتی متری ۱۰۸

شکل (۴-۲۰) مقایسه بین منحنی‌های پوش‌اور قاب‌های ۳ طبقه با بازشو ۵۰ سانتی‌متری ۱۰۹

شکل (۴-۲۱) مقایسه بین منحنی‌های پوش‌اور قاب‌های ۳ طبقه بازشو ۱۵۰ و ۱۰۰ سانتی متری ۱۰۹

شکل (۴-۲۲) منحنی‌های پوش‌اور برای قاب خالی ۵ طبقه ۱۰۹

شکل (۴-۲۳) منحنی‌های پوش‌اور برای قاب ۵ طبقه در حالت وجود دیوار ۲۳ سانتی‌متری در تمام دهانه‌ها ۱۱۰

شکل (۴-۲۴) منحنی‌های پوش‌اور برای قاب ۵ طبقه در حالت وجود دیوار ۲۳ سانتی‌متری در تمام دهانه‌ها ۱۱۰

شکل (۴-۲۵) مقایسه بین منحنی‌های پوش‌اور قاب‌های ۵ طبقه بازشو ۵۰ سانتی متری ۱۱۱

شکل (۴-۲۶) مقایسه بین منحنی‌های پوش‌اور قاب‌های ۵ طبقه با بازشو ۵۰،۱۰۰ و ۱۵۰ سانتی متری ۱۱۱

شکل (۵-۱) عضو با مقاطع فایبر ۱۱۶

شکل (۵-۲) استفاده از دستور Layer برای ساخت مقطع فایبر ۱۱۷

شکل (۵-۳) استفاده از دستور Patch برای ساخت مقطع فایبر ۱۱۷

شکل (۵-۴) نمونه یک مقطع فایبر ساخته شده با دستورات Patch و Layer ۱۱۷

شکل (۵-۵) روابط بین مصالح و المان‌ها در OpenSees ۱۱۷

شکل (۵-۶) مصالح تک محوره هیسترتیک ۱۱۸
شکل (۵-۷) فنر برشی در مدل مصالح هیسترتیک ۱۲۰
شکل (۵-۸) فنر برشی در مدل استفاده شده برای مصالح حالت حدی ۱۲۰
شکل (۵-۹) تعریف شیب نزولی، $K_{deg}$ ۱۲۲
شکل (۵-۱۰) فنر محوری در مدل ۱۲۲
شکل (۵-۱۱) فنر ترکیبی برشی-محوری بعد از گسیختگی محوری مدل نشان داده شده ۱۲۳
شکل (۵-۱۲) جزئیات افت بار محوری شکل ۵-۱۱ ۱۲۳
شکل (۵-۱۳) تعریف پارامترهای backbone مربوط به مصالح هیسترتیک ۱۲۳
شکل (۵-۱۴) تعریف پارامترهای باربرداری در مصالح هیسترتیک ۱۲۳
شکل (۵-۱۵) روند تعریف مراحل انجام کار در OpenSees ۱۲۴
شکل (۵-۱۶) نمونه آزمایشگاهی میز لرزان ۱۲۵
شکل (۵-۱۷) مشخصات مقاطع موجود در سازه طراحی شده برای میز لرزان ۱۲۵
شکل (۵-۱۸) نتایج هیسترزیس ستون میانی و ایده‌آل‌سازی آن ۱۲۶
شکل (۵-۱۹) نتایج تحلیل دینامیکی ستون میانی ۱۲۶
شکل (۵-۲۰) نمودار نیرو-جابجایی نسبی ستون میانی مدل دکتر الوود ۱۲۷
شکل (۵-۲۱) منحنی‌های پوش‌اور برای قاب ۱ طبقه ۱ دهانه ۱۲۷
شکل (۵-۲۲) رفتار برشی ستون توسط فنر به طول صفر ۱۲۸
شکل (۵-۲۳) قاب ۱ طبقه ۲ دهانه (دهانه سمت راست پرکننده تا سقف امتداد یافته است) ۱۲۸
شکل (۵-۲۴) قاب ۱ طبقه ۲ دهانه (هر دو دهانه دارای بازشو طویل می‌باشند) ۱۲۹
شکل (۵-۲۵) مقایسه قاب ۱ طبقه ۲ دهانه با حالات مختلف چیدمان دیوار ۱۲۹
شکل (۵-۲۶) رفتار مفصل برشی در سازه ۱ طبقه ۲ دهانه (هر دو دهانه دارای بازشو می‌باشند) ۱۳۰
شکل (۵-۲۷) رفتار مفصل برشی در سازه ۱ طبقه ۲ دهانه (هر دو دهانه دارای بازشو می‌باشند) ۱۳۰

شکل (۵-۲۸) قاب ۱ طبقه ۳ دهانه ( دهانه وسط دارای دیوار پرکننده دارای بازشو می‌باشد) ۱۳۱
شکل (۵-۲۹) رفتار مفصل برشی قاب ۱ طبقه ۳ دهانه ۱۳۱
شکل (۵-۳۰) نمودار پوش-اور قاب ۲ طبقه ۱ دهانه (با در نظر گرفتن ستون کوتاه در طبقه اول) ۱۳۲
شکل (۵-۳۱) رفتار مفصل برشی قاب ۲ طبقه ۱ دهانه ۱۳۲
شکل (۵-۳۲) نمودار پوش-اور قاب ۲ طبقه ۱ دهانه (با در نظر گرفتن ستون کوتاه در هر دو طبقه) ۱۳۳
شکل (۵-۳۳) رفتار مفصل برشی قاب ۲ طبقه ۱ دهانه ۱۳۳
شکل (۵-۳۴) نمودار پوش‌اور قاب ۲ طبقه ۱ دهانه ( طبقه دوم بدون دیوار پرکننده است) ۱۳۴
شکل (۵-۳۵) نمودار پوش‌اور قاب ۲ طبقه ۲ دهانه ۱۳۴
شکل (۵-۳۶) رفتار فنرهای با طول صفر در طبقه اول ۱۳۵
شکل (۵-۳۷) نمودار پوش-اور قاب ۲ طبقه ۲ دهانه ۱۳۵
شکل (۵-۳۸) رفتار فنرهای با طول صفر هر دو طبقه ۱۳۶
شکل (۵-۳۹) نمودار پوش-اور قاب ۲ طبقه ۲ دهانه ۱۳۶
شکل (۵-۴۰) مقایسه نمودار پوش-اور قاب ۲ طبقه ۲ دهانه با چیدمان‌های مختلف دیوار ۱۳۷
شکل (۵-۴۱) منحنی‌های پوش‌اور برای قاب ۳طبقه ۳ دهانه ۱۳۷
شکل (۵-۴۲) منحنی‌های پوش‌اور برای قاب ۳طبقه ۳ دهانه ۱۳۸