بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده عمران

پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد

مقاوم‌سازی دیوارهای سازه‌های بنایی توسط پیش‌تنیدگی

مجید احسان بقا

استاد راهنما

دکتر وحیدرضا کلات جاری

بهمن ماه ۱۳۹۴

تقدیم به:

پدرم که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، ایستادگی را تجربه نمایم

و به مادرم، دریای بی کران فداکاری و عشق که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش

برایم همه مهر

با تقدیر و تشکر شایسته از استاد فرهیخته و فرزانه دکتر وحید رضا کلات جاری که با نکته های دلاویز و گفته های بلند، صحیفه های سخن را علم پرور نموده و همواره راهنما و راه گشای بنده در اتمام و اکمال این پایان نامه بوده اند.

تعهد نامه

اینجانب **مجید احسان بقا** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران (سازه) دانشکده مهندسی عمران و معماری دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **مقاوم‌سازی دیوارهای سازه-های بنایی توسط پیش‌تنیدگی** تحت راهنمائی دکتر وحیدرضا کلات‌جاری، متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « **Shahrood University of Technology** » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است

.

تاریخ ۲۷ / ۱۱ / ۱۳۹۴

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

امروزه تعداد زیادی از ساختمان‌های موجود در کشور ما و نیز سایر کشورهای جهان را ساختمان‌های بنایی تشکیل می‌دهند و درصد قابل توجهی از مردم در این‌گونه ساختمان‌ها ساکن هستند. عواملی نظیر شرایط محیطی، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، راحتی اجرا و مصالح موجود سبب پیداش انواع مختلفی از سازه‌های بنایی گردیده است. در زمینه مقاوم‌سازی متاسفانه عمده توجه مهندسان در زمینه مقاوم‌سازی، به مقاوم‌سازی ساختمان‌های بتنی و فولادی معطوف است در حالی‌که هنگام وقوع زلزله ساختمان‌های مصالح بنایی دچار بیشترین خسارت می‌شوند. عدم توجه به مقاوم‌سازی این‌گونه ساختمان‌ها، موجب تلفات جانی و مالی زیادی در زلزله‌ها می‌شود.

در این پایان نامه شیوه جدید مقاوم‌سازی دیوارهای بنایی به روش پیش‌تنیدگی مطالعه شده است. روش‌های بنایی سنتی نیاز به ارتقاء و بهبود کیفی در مراحل طراحی و اجرا دارند. پیچیدگی رفتار این نوع سازه‌ها در برابر بارهای رفت و برگشتی موجب شده که با روش‌های معمول مهندسی نمی‌توان اطلاعت دقیقی از رفتار آن‌ها به‌دست آورد. رفتار ناهمسان‌گرد، ناهمگن، غیرخطی و وجود ترک‌های فراوان از یک سو، و صفحه‌ای بودن اجزای سازه‌های آجری از سوی دیگر پیچیدگی خاصی را ایجاد کرده که غالباً جز با روش‌های اجزاء محدود نمی‌توان از وضعیت تنش‌ها اطلاعاتی به‌دست آورد. با توجه به اندرکنش دیوارها و سقف در زلزله ، بررسی تاثیر اندازه، شکل، هندسه و محل قرارگیری بازشوها در رفتار سازه و نیز ارزیابی روش کلاف بندی ارائه شده در آیین نامه ۲۸۰۰ ، از اهداف این پژوهش می‌باشد. پس از مدل کردن دیوار بنایی، و اعمال بار سیکلی نتایج آزمایشگاهی مندرج در مقاله‌ای معتبر مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته و سپس با استفاده از روش اجزاء محدود و توسط نرم افزار Abaqus رفتار دیوار مدل‌سازی شده و رفتار داخل صفحه و هم‌چنین، تاثیر بازشوها و پارامترهای موثر در رفتار لرزه‌ای آن‌ها از جمله تاثیر بازشوها و پیش‌تنیدگی، مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. نتیجه این که مشخص گردید، استفاده از پیش‌تنیدگی در دیوارهای بنایی ظرفیت باربری را به مقدار قابل توجهی بهبود بخشید ولی در شکل‌پذیری این اتفاق نیفتاد و توانست تا حدودی در شکل‌پذیری دیوار بنایی موثر باشد. بنابراین از این روش می‌توان در مقاوم‌سازی دیوارهای بنایی که فاقد مقاومت کافی و نیز دارای بازشوهای غیر استاندارد می‌باشند استفاده نمود.

کلمات کلیدی: مصالح بنایی، پیش‌تنیدگی، دیوار بنایی،Abaqus

عنوان **صفحه**

فصل اول:

کلیات..... ۱

۱-۱ مقدمه..... ۲

۱-۲ انواع مصالح مورد استفاده در سازه های بنایی..... ۳

۱-۳ انواع دیوار..... ۴

۱-۳-۱ دیوارهای باربر..... ۴

۱-۳-۲ دیوارهای جداگر..... ۵

۱-۳-۳ دیوارهای دارای باز شو..... ۶

۱-۴دسته بندی سازه های بنایی..... ۷

۱-۴-۱ ساختمان های آجری غیر مسلح..... ۸

۱-۴-۱-۱ ساختمان بنایی با کلاف کامل..... ۸

۱-۴-۱-۳ ساختمان های بنایی تک میل‌گردی..... ۹

۱-۴-۱-۴ ساختمان های آجری ، بلوک سیمانی و سنگی بدون کلاف..... ۹

۱-۴-۱-۵ ساختمان های بنایی مختلط..... ۹

۱-۴-۲ ساختمان های آجری نیمه مسلح..... ۱۰

۱-۴-۳ ساختمان های آجری مسلح..... ۱۰
۱-۴-۴ ساختمان آجری مرکب..... ۱۱
۱-۵ مروری بر کارهای تحقیقاتی در زمینه سازه های بنایی..... ۱۲
۱-۶ مزایای سازه‌های بنایی..... ۱۲
۱-۷ مشکلات اجرایی سازه‌های بنایی..... ۱۳
۱-۸ نیروی زلزله..... ۱۵
۱-۹ عملکرد ساختمان‌های بنایی و زلزله‌های گذشته..... ۱۶
۱-۱۰ علت شکست دیوارهای بنایی..... ۱۷
۱-۱۰-۱ گسیختگی کششی پاشنه دیوار..... ۱۸
۱-۱۰-۲ گسیختگی خشمی پنجه دیوار..... ۱۹
۱-۱۰-۳ گسیختگی برشی..... ۱۹
۱-۱۰-۴ گسیختگی برشی لغزشی..... ۲۰
۱-۱۱ نحوه خرابی دیوارهای بنایی..... ۲۱
۱-۱۲ گسیختگی ساختمان های مصالح بنایی..... ۲۲
۱-۱۳ علت گسیختگی در ساختمان های با مصالح بنایی..... ۲۴
۱-۱۳-۱ کیفیت مصالح و اجرا..... ۲۵

۱-۱۳-۲ شکل و سیستم سازه..... ۲۷

۱-۱۳-۳ تراکم کم دیوار به‌واسطه وجود بازشوهای بزرگ..... ۲۸

۱-۱۳-۴دیوارهای ساختمان..... ۲۹

۱-۱۳-۵ سیستم سقف ۳۱

۱-۱۳-۶ منسجم نبودن اجزای ساختمان..... ۳۲

۱-۱۳-۷عدم رعایت محدودیت های آیین نامه برای دیوارهای با مصالح بنایی با بازشو..... ۳۲

۱-۱۴ ضرورت مقاوم سازی و بهسازی..... ۳۲

۱-۱۴-۱ ضرورت بهسازی از دیدگاه سوانح و حوادث..... ۳۲

۱-۱۴-۲ ضرورت بهسازی از لحاظ حفظ با محیط زیست..... ۳۲

۱-۱۴-۳ ضرورت بهسازی از دیدگاه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله..... ۳۳

۱-۱۵ اهمیت مقاوم سازی سازه های بنایی..... ۳۵

۱-۱۶ مقاوم سازی دیوارهای آجری موجود..... ۳۶.

۱-۱۷ روش های مقاوم سازی لرزه ای دیوارهای بنایی..... ۳۷

۱-۱۷-۱ استفاده از شاتکریت روی دیوار..... ۳۷

۱-۱۷-۲ استفاده از کامپوزیت های پایه پلیمری..... ۳۸

۱-۱۷-۳ پر کردن بازشوها..... ۳۹

۱-۱۷-۴ افزایش بارهای قائم..... ۴۰

۱-۱۷-۵ افزودن هسته مرکزی..... ۴۰

۱-۱۷-۶ مقاوم سازی توسط میل‌گردهای پیش تنیده..... ۴۱

۱-۱۸ مروری بر پیش تنیدگی در سازه های بنایی..... ۴۲

۱-۱۹ شیوه پیش تنیدگی..... ۴۳

۱-۲۰ هدف تحقیق..... ۴۳

۱-۲۱ روش های تحقیق..... ۴۵

۱-۲۲ روند انجام پایان نامه..... ۴۵

فصل دوم: روش های مدل سازی دیوار بنایی توسط پیش تنیدگی..... ۴۷

۲-۱ مقدمه..... ۴۸

۲-۲ بیان هدف..... ۵۰

۲-۳ واحد مصالح بنایی..... ۵۰

۲-۴ مشخصات مصالح بنایی..... ۵۱

۲-۴-۱مقاومت فشاری مصالح بنایی..... ۵۲

۲-۴-۲ مدول الاستیته مصالح بنایی در فشار..... ۵۳

۲-۴-۳ مقاومت مشخصه دیوار با مصالح بنایی..... ۵۴

۲-۴-۴ سختی دیوار برشی.....۵۵

۲-۴-۵ مدول ارتجاعی و برشی دیوار مصالح بنایی.....۵۵

۲-۵ بررسی رفتار لرزه ای ساختمان های مصالح بنایی.....۵۵

۲-۶ انواع مدل های شکست سازه ای مصالح بنایی.....۵۶

۲-۶-۱ شکست داخل صفحه.....۵۸

۲-۶-۱-۱شکست برشی.....۵۸

۲-۶-۱-۲ شبکه برشی لغزشی.....۵۹

۲-۶-۱-۳ شکست خمشی.....۶۰

۲-۶-۱-۴ شکست کششی.....۶۰

۲-۶-۲ شکست خارج از صفحه.....۶۱

۲-۶-۲-۱ شکست خمشی در راستای قائم.....۶۱

۲-۶-۲-۲ شکست خمشی در راستای افقی.....۶۱

۲-۷ سابقه پیش تنیدگی.....۶۲

۲-۸ تعریف پیش تنیدگی.....۶۲

۲-۹ انواع روش های پیش تنیدگی.....۶۳

۲-۹-۱ سیستم چسبنده ۶۳

۲-۹-۲ سیستم غیر چسبنده.....۶۴

۲-۱۰مزیت های پیش تنیدگی.....۶۵

۲-۱۱مواد پیش تنیدگی.....۶۶

۲-۱۲ کاربرد پیش تنیدگی در دیوار بنایی ۶۶

۲-۱۳ انواع مدل سازی در نرم افزار آباکوس.....۶۷

۲-۱۳-۱مدل سازه میکرو.....۶۷

۲-۱۳-۲ مدل سازی ماکرو.....۶۸

۲-۱۴ فلسفه مدل سازی ۶۹

۲-۱۵ شیوه مدل سازی پیش تنیده.....۷۱

۲-۱۵-۱ تفکیک عمومی ۷۲

۲-۱۶مدل سازی مصالح بنایی.....۷۳

۲-۱۷ مشخصات مکانیکی مدل نمونه آزمایشگاهی.....۷۳

۲-۱۸خواص بر هم کنش مدل دیوار های بنایی.....۷۵

۲-۱۹ روش تحلیل دیوار بنایی.....۷۶

۲-۲۰ بارگذاری و اعمال شرایط مرزی مدل دیوارهای بنایی.....۷۶

فصل سوم: صحت سنجی نرم افزار آباکوس با مدل سازی یک نمونه دیوار آزمایشگاهی.....۷۷

۳- ۱مقدمه..... ۷۸

۳-۲ ویژگی‌هایی نمونه مورد آزمایش..... ۸۰

۳-۳ عملیات صحت سنجی با استفاده از نمونه آزمایشگاهی..... ۸۰

۳-۳-۱ مدل سازی آزمایشگاهی دیوار آجری..... ۸۰

۳-۳-۲ مدل سازی کامپیوتری دیوار بنایی..... ۸۱

۳-۴ سیستم و نحوه انجام آزمایش درون صفحه..... ۸۲

۳-۵ نتایج حاصل از آزمایش..... ۸۳

۳-۶ مراحل مدل سازی..... ۸۴

۳-۶-۱ مدول part ۸۴

۳-۶-۲ مدول property ۸۷

۳-۶-۳مدول assembly ۸۸

۳-۶-۴ مدول step ۸۸

۳-۶-۵مدول interaction ۸۹

۳-۶-۵-۱ قیدtie ۹۰

۳-۶-۶ مدولload..... ۹۲

۳-۶-۶-۱ اعمال پیش‌تنیدگی..... ۹۲

۳-۶-۷ مدول mesh ۹۳

۳-۶-۸ خروجی آباکوس..... ۹۴

۳-۶-۸-۱ منحنی نیرو و تغییر مکان بر حسب زمان..... ۹۶

۳-۶-۸-۲ مقایسه نمودار هیسترزیس آزمایشگاهی با مدل عددی..... ۹۷

۳-۶-۸-۳ مقایسه شکست و خرابی..... ۱۰۰

۳-۶-۸-۴ مقایسه منحنی میانگین نبرو تغییرمکان سیکل ۳ در مدل عددی و آزمایشگاهی..... ۱۰۲

فصل چهارم: مدل سازی دیوار بنایی دارای بازشو پیش تنیده و بدون پیش تنیده ومقایسه نتایج با هم..... ۱۰۵

۴-۱ مقدمه ۱۰۶

۴-۲ معرفی نرم افزار آباکوس..... ۱۰۶

۴-۳ روند کلی مدل سازی و اجرای برنامه..... ۱۰۷

۴-۳-۱ قسمت های مختلف آنالیز مدل..... ۱۰۷

۴-۳-۱-۱ساختن مدل..... ۱۰۷

۴-۳-۱-۲ بارگذاری و آنالیز..... ۱۰۷

۴-۴ مدل اجزای محدود..... ۱۰۸

۴-۵ بررسی رفتار داخل صفحه یک دیوار تحت اثر بار رفت و برگشتی..... ۱۰۸

۴-۶ ساخت هندسه مدل..... ۱۰۸
۴-۶-۱ خصوصیات مصالح..... ۱۰۸
۴-۶-۱-۱ خصوصیات بتن..... ۱۰۹
۴-۶-۱-۲ خصوصیات مصالح بنایی..... ۱۰۹
۴-۶-۱-۳ خصوصیات میل‌گرد..... ۱۱۰
۴-۶-۲ تعریف سطح مقطع..... ۱۱۱
۴-۶-۳ اختصاص دادن مقاطع..... ۱۱۱
۴-۷ سر هم بندی مقاطع..... ۱۱۱
۴-۸ نوع تحلیل و خروجی برای دیوار بنایی..... ۱۱۲
۴-۹ اندرکنش ها..... ۱۱۳
۴-۱۰ بارها و شرایط تکیه گاهی..... ۱۱۴
۴-۱۱ مش‌بندی..... ۱۱۵
۴-۱۲ آنالیز(Job)..... ۱۱۶
۴-۱۳ مدل سازی..... ۱۱۶
۴-۱۴ تاثیر ابعاد بازشو ۱۱۸
۴-۱۴-۱ مقایسه نتایج حاصل از مدل‌سازی دیوارهای ۱و۲و۳..... ۱۱۸

۴-۱۴-۲ مقایسه نتایج حاصل از مدل‌سازی دیوارهای۱و۴و۵..... ۱۲۳

۴-۱۴-۳ مقایسه نتایج حاصل از مدل‌سازی دیوارهای ۱و۶و۷..... ۱۲۷

۴-۱۵مقایسه نتایج حاصل از تحلیل..... ۱۳۳

فصل پنجم نتیجه گیری و پیشنهادات..... ۱۴۱

۵-۱ نتیجه‌گیری..... ۱۴۲

۵-۲ پیشنهادات..... ۱۴۵

مراجع..... ۱۴۶

جدول **صفحه**

۱-۱ آمارتلفات زلزله در ایران..... ۱۷

۱-۲ ضرایب کرانه پایین مشخصات به مشخصات مورد نظر..... ۵۱

۱-۳ مشخصات مکانیکی بتن..... ۸۷

۲-۳ مشخصات مکانیکی مصالح بنایی..... ۸۷

۱-۴ مشخصات دیوارها..... ۱۱۷

شکل **صفحه**

فصل اول

۱-۱ فاصله دو سوم ارتفاع بازشو از انتهای دیوار رعایت شده است..... ۷

۱-۲ دیوار بنایی مسلح..... ۱۱

۱-۳ انواع گسیختگی در دیوارهای بنایی..... ۱۸

۱-۴ عملکرد جعبه ای ساختمان های مصالح بنایی..... ۲۲

۱-۵ تغییر شکل دیوار های آجری دارای بازشو..... ۲۳

۱-۶ خرابی در گوشه یک ساختمان آجری..... ۲۴

۱-۷ کیفیت نا مطلوب ملات..... ۲۶

۱-۸ از بین رفتن ملات بین رگه ها..... ۲۷

۱-۹ شکست تحت نیروی افقی..... ۲۹

۱-۱۰ شکست در اثر ارتفاع زیاد دیوار..... ۳۰

۱-۱۱ شکست در اثر کوتاه بودن طول تکیه گاه..... ۳۱

۱-۱۲ دیوار تقویت شده با شاتکریت..... ۳۸

۱-۱۳ دیوار تقوت شده با FRP..... ۳۹

۱-۱۴ دیوار پیش تنیده..... ۴۲

فصل دوم

۲-۱ دیوار بنایی پیش تنیده..... ۴۹

۲-۲ شکست برشی اطراف بازشو..... ۵۷

۲-۳ شکست برشی در پای دیوار..... ۵۷
۲-۴ انواع شکست برشی، برشی-لغزشی و خمشی..... ۵۷
۲-۵ انواع لغزش ها در دیوار..... ۵۹
۲-۶ مودهای شکست برون صفحه ای دیوار آجری..... ۶۱
۲-۷ سیستم پیش تنیده unbounded..... ۶۵
۲-۸ مدل ماکرو و میکرو..... ۶۹
۲-۹ تغییر شکل جانبی در سیستم‌های پیش‌تنیده..... ۷۱
۲-۱۰ تفکیک عمودی دیوار..... ۷۳
۲-۱۱ نمودار تنش-کرنش برای مدل بتن آسیب دیده..... ۷۵

فصل سه

۳-۱ مدل آزمایشگاهی ۸۱
۳-۲ اعمال نیرو توسط جک هیدرولیکی..... ۸۲
۳-۳ شکست برشی در دیوار..... ۸۳
۳-۴ منحنی جابه‌جایی رفت و برگشتی..... ۸۴
۳-۵ مدل تیر فوقانی در نرم افزار آباکوس..... ۸۵
۳-۶ مدل تیر پایینی در نرم افزار آباکوس..... ۸۶
۳-۷ مدل دیوار در نرم افزار آباکوس..... ۸۶
۳-۸ اندرکنش بین دیوار بنایی و تیرها..... ۹۰
۳-۹ بارهای وارد بر دیوار بنایی..... ۹۱
۳-۱۰ مش بندی مدل آزمایشگاهی..... ۹۳

۳-۱۱ شکل المان Quadratic ۹۳
۳-۱۲ شکل المان Hex ۹۴
۳-۱۳ تغییر شکل های مدل اجزا محدود نمونه آزمایشگاهی ۹۵
۳-۱۴ نمودار نیرو بر حسب زمان ۹۶
۳-۱۵ نمودار تغییر مکان بر حسب زمان ۹۷
۳-۱۶ نمودار هیسترزیس مدل نرم افزار ۹۸
۳-۱۷ نمودار هیسترزیس مدل اجزا محدود ۹۹
۳-۱۸ نمودار هیسترزیس نمونه آزمایشگاهی ۹۹
۳-۱۹ مقایسه پوش منحنی‌های هیسترزیس آزمایشگاهی و نرم‌افزاری ۱۰۰
۳-۲۰ شکست در نمونه آزمایشگاهی ۱۰۱
۳-۲۱ شکست در مدل نرم‌افزار ماکرو ۱۰۱
۳-۲۲ میانگین هر دو جفت نیرو تغییر مکان در نمونه آزمایشگاهی ۱۰۲
۳-۲۳ میانگین هر دو جفت نیرو و تغییر مکان مدل اجزا محدود در سیکل ۳ منحنی هیسترزیس ۱۰۳

فصل چهار

۴-۱ نمودار تنش-کرنش بتن ۱۰۹
۴-۲ نمودار تنش- کرنش مصالح بنایی ۱۱۰
۴-۳ نمودار تنش-کرنش فولاد ۱۱۱
۴-۴ سرهم‌بندی قطعات مدل شده در نرم‌افزار آباکوس ۱۱۲
۴-۵ اندرکنش بین سطوح ۱۱۴
۴-۶ مش‌بندی مدل دیوار در آباکوس ۱۱۵

۴-۷ محل اعمال بار جانبی ۱۱۸
۴-۸ جابه‌جایی افقی برای مدل با درصد بازشو ۱۵ درصد..... ۱۱۹
۴-۹ نمودار هیسترزیس دیوار ۱..... ۱۲۰
۴-۱۰ مقایسه منحنی پوش هیسترزیس دیوار ۲ و دیوار ۳..... ۱۲۰
۴-۱۱ مقایسه پوش منحنی هیسترزیس دارای بازشو ۱۵ درصد با دیوار توپر..... ۱۲۱
۴-۱۲ مقایسه ظرفیت باربری دیوار ۲ و ۳..... ۱۲۲
۴-۱۳ مقایسه ظرفیت باربری دیوارهای دارای ۱۵ درصد بازشو با دیوار بدون بازشو..... ۱۲۲
۴-۱۴ مقایسه تغییرمکان دیوارهای پیش تنیده و ساده دارای ۱۵ درصد بازشو..... ۱۲۳
۴-۱۵ محل اعمال بار رفت و برگشتی جانبی به دیوار با بازشو ۲۵ درصد..... ۱۲۴
۴-۱۶ مقایسه پوش هیسترزیس دیوار ۴ و دیوار ۵..... ۱۲۵
۴-۱۷ مقایسه ظرفیت باربری دیوار ۴ و ۵..... ۱۲۶
۴-۱۸ مقایسه ظرفیت باربری دیوارهای دارای ۲۵ درصد بازشو با دیوار بدون بازشو..... ۱۲۶
۴-۱۹ مقایسه تغییرمکان دیوارهای پیش تنیده و ساده دارای ۲۵ درصد بازشو..... ۱۲۷
۴-۲۰ محل اعمال بار جانبی رفت و برگشتی در دیوار با ۴۰ درصد بازشو..... ۱۲۸
۴-۲۱ منحنی پوش هیسترزیس دیوار ۶ و دیوار ۷..... ۱۲۹
۴-۲۲ مقایسه ظرفیت باربری دیوار ۶ و دیوار ۷..... ۱۳۰
۴-۲۳ مقایسه ظرفیت باربری دیوارهای دارای بازشو ۴۰ درصد با دیوار بدون بازشو..... ۱۳۱
۴-۲۴ مقایسه تغییرمکان دیوار پیش تنیده و ساده دارای ۴۰ درصد بازشو..... ۱۳۲
۴-۲۵ پوش منحنی هیسترزیس کل دیوارها ۱۳۳
۴-۲۶ مقایسه ظرفیت باربری دیوارها..... ۱۳۴

۴-۲۷ ظرفیت باربری دیوارها..... ۱۳۴
۴-۲۸ مقایسه ظرفیت باربری دیوارهای غیر پیش‌تنیده..... ۱۳۵
۴-۲۹ مقایسه درصد ظرفیت باربری دیوارهای غیر پیش‌تنیده..... ۱۳۶
۴-۳۰ مقایسه ظرفیت باربری دیوارهای یش‌تنیده..... ۱۳۷
۴-۳۱ درصد افزایش ظرفیت دیوارهای پیش‌تنیده..... ۱۳۷
۴-۳۲ مقایسه تغییرمکان دیوارهای ۱-۷..... ۱۳۸
۴-۳۳ مقایسه درصد تغییرمکان‌ها..... ۱۳۹

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

قبل از استفاده از مصالح ساختمانی جدید نظیر بتن مسلح و فولاد، مصالح بنایی به عنوان عمده‌ترین مصالح برای ساختمان‌ها رواج داشته است. البته هنوز هم این نوع ساخت‌وساز به دلیل سهولت و اقتصادی بودن حتی در مناطق زلزله‌خیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. با دقت در خرابی‌های ایجاد شده در زلزله‌های گذشته می‌توان دریافت که اغلب سازه‌های مصالح بنایی خسارت قابل ملاحظه ای دیده‌اند. مقاومت و شکل‌پذیری اندک، وزن زیاد و کاهش شدید مقاومت تحت بارهای لرزه ای از جمله دلایل شکست سازه‌های آجری می‌باشد. با توجه به آن‌که تعداد زیادی از ساختمان‌های مناطق مسکونی در کشور ما با استفاده از مصالح بنایی ساخته شده است، بررسی آسیب پذیری این نوع سازه تحت اثر زلزله دارای اهمیت خاصی می‌باشد. هم‌چنین اغلب سازه‌هایی که دارای اهمیت تاریخی می‌باشند، با استفاده از مصالح بنایی ساخته شده‌اند. این نوع سازه‌ها معمولاً در برابر زلزله دارای ضعف‌های عمده‌ای می‌باشند [۱]. شناخت این ضعف‌ها مقدمه‌ای بر انتخاب روشی مناسب برای مقاوم‌سازی آن‌ها می‌باشد. از آن‌جا که سازه‌های آجری بیشترین پتانسیل خرابی در زلزله را داشته و نیز دارای مکانیزم‌های متعدد شکست می‌باشند، و نیز با توجه با وجود عدم قطعیت‌های فراوان در پارامترهای موجود در این نوع سازه، باید مطالعه آسیب‌پذیری این سازه‌ها با آگاهی مناسبی از این پارامترها و در نظر گرفتن تمام مودهای محتمل برای شکست سازه باشد. عواملی نظیر شرایط محیطی، اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی، راحتی اجرا، مصالح موجود سبب پیدایش انواع مختلفی از سازه‌های بنایی گردیده و علت استقبـــــــال مردم از این ساختمان‌ها همین موضوع است. این ساختمان‌ها نیز دچار ضعف‌هایی هستند.

ضعف‌های عمده عبارت‌اند از

۱) کمبود مقاومت برشی در صفحه

۲) کمبود مقاومت خمشی خارج از صفحه

۳) عدم امکان تأمین درصد نسبی مجاز دیوارهای مقاوم در دو جهت مختلف.

عدم توجه به مقاوم‌سازی این‌گونه ساختمان‌ها، موجب تلفات جانی و مالی زیادی در زلزله‌ها می‌شود. با توجه به این‌که کشور ایران بر روی کمربند زلزله‌خیزی آلپ قرارگرفته است هرچند سال یک‌بار شاهد زلزله‌های گوناگون هستیم. آن‌چه واضح است زلزله‌های اخیر نشان می‌دهد که کشور ما نیازمند حرکت به‌سوی بازیافت سازه‌های خویش در استانداردهای مقاوم‌سازی در برابر زلزله هست و با توجه به عملکرد بسیار ضعیف ساختمان‌های بنایی در زلزله‌های گذشته، تسریع در مقاوم‌سازی این بناها امری بسیار ضروری است. پس از فصل اول، در فصل دوم، مروری بر مطالعات انجام شده در رابطه با ساختمان‌های آجری در سطح دنیا و کشور به عمل آمده در آخر این فصل نقاط ضعف اصلی ساختمانهای آجری یادآوری شده است. در فصل سوم تاریخچه ساخت، مشخصات، قابلیت‌ها. در فصل چهارم مراحل مدل کردن یک دیوار بنایی با و بدون بازشو تشریح شده است. در این فصل مشخصات مصالح و نحوه اتصال دیوار و تاندون‌ها به هم و مراحل مدل‌سازی، نحوه آنالیز مدل‌ها و نتایج تحلیل آن‌ها بیان شده است. در فصل پنجم نیز نتایج حاصله از آزمایش و تحلیل دیوار خلاصه شده و پیشنهادهایی در مورد طراحی و اجرای سازه‌هایی از این نوع ارائه گردیده است.

۱-۲ انواع مصالح مورد استفاده در سازه‌های بنایی

مصالح مورد استفاده برای اجرای ساختمان‌های بنایی شامل آجر،خشت، چوب، انواع ملات‌ها و انواع مصالح تقویت کننده برای ساختمان‌های بنایی می‌باشد [۱۴]. که این مصالح باید با ویژگی‌های ارائه شده در مبحث پنجم مقررات ملی ساختمان و فصل دوم این مقررات مطابقت داشته باشند. انواع ملات‌های مورد استفاده عبارت از گل وکاه‌گل، گل آهک، ماسه آهک و ماسه سیمان می‌باشد.

۱-۳ انواع دیوار

۱-۳-۱ دیوارهای باربر (سازه‌ای)

دیوارهای باربر باید به طور یکنواخت در هر دو جهت عمود بر هم در پلان ساختمان توزیع شوند. برای تأمین مقاومت در برابر نیروهای جانبی ناشی از زلزله، دیوارها باید در کف و سقف به نحو مناسبی مهار شوند. در هر یک از امتدادهای طولی و عرضی ساختمان مقدار دیوار نسبی در زیرزمین نباید از ۱۰ درصد و در طبقه بالای زیر زمین نباید از ۶ درصد کمتر باشد. دیوارهای باربر باید دارای مشخصات زیر باشند

۱) ارتفاع هر دیوار نباید بیش از ۸ برابر ضخامت آن باشد

۲) هواکش، لوله بخاری یا فاضلاب نباید در دیوارهای باربر قرار گیرند

۳) برای اتصال مناسب‌تر دیوارهای گوشه باید از کلاف‌های گوشه حداکثر در هر ۷۰ سانتی‌متر ارتفاع دیوار استفاده شود. کلاف گوشه از سه قطعه چوب به ضخامت یک خشت و عرض ۱۰ سانتی‌متر به شکل گونیا ساخته می‌شود. طول قطعه‌های متعامد یک متر و قطعه مورب نیم متر باشد

۴) در بالای تمام دیوارهای باربر در تراز سقف باید از کلاف چوبی به قطر حدود ۱۰ سانتی‌متر استفاده شود

۵) رج‌های دیوار چینی در تمام قسمت‌های ساختمان باید هم زمان (در ارتفاع) اجرا شود و استفاده از روش هشت‌گیر درساخت دیوارها مجاز نمی باشد

۶) بندهای قائم (کوره بند) در دو رج متوالی، در یک امتداد نبوده، یک رج در میان در مقابل هم قرار گرفته باشند. از اجرای بندهای مورب ممتد در ساختمان‌های سنگی پرهیز شود.

۱-۳-۲ دیوارهای جداگر (غیرسازه‌ای)

دیوارهای جداگر منحصراً به منظور جداسازی فضاهای ساختمان به‌کار می‌روند. وزن این دیوارها یا مستقیماً به‌وسیله شالوده یا با واسطه کف‌ها توسط دیوارهای باربر تحمل می‌شود. دیوارهای جداگر می‌توانند از آجر، بلوک سفالی یا قطعات پیش ساخته گچی و نظایر آن ساخته شوند. حداقل ضخامت دیوارهای جداگر برای آجر ۱۱ سانتی‌متر و برای بلوک سفالی و قطعات پیش ساخته گچی ۸ سانتی‌متر می‌باشد. حداکثر طول آزاد دیوار جداگر بین دو پشت بند عبارت است از ۴۰ برابر ضخامت دیوار یا ۵ متر هرکدام کمتر باشد. پشت بند باید به ضخامت حداقل معادل ضخامت دیوار وحداقل به طول بزرگترین دهانه طرفین پشت بند باشد. به جای پشت بند می‌توان اجزای قائم فولادی یا چوبی در داخل دیوار قرار داد و دو سر این اجزا را به گونه مناسبی در کف و سقف طبقه مهار کرد. حداکثر ارتفاع مجاز دیوارهای جداگر از تراز کف مجاور ۳ متر می‌باشد. در صورت تجاوز از این حد باید با تعبیه کلاف‌های افقی به گونه مناسبی به دیوار جداگر متصل گردد. جداگرهایی که در تمام ارتفاع طبقه ادامه دارند باید کاملا" به زیر پوشش سقف مهار شوند، یعنی رج آخر دیوار با فشار و ملات کافی یا روش‌های مناسب دیگر، در زیر سقف جای داده شود (مهار شود). لبه فوقانی جداگرهایی که در تمام ارتفاع طبقه ادامه ندارند باید با کلاف مناسب به دیوار یا کلاف‌های احاطه کننده جداگر متصل شود. لبه قائم جداگرها نباید آزاد باشد. لبه جداگر باید به دیوار یا جداگر عمود بر آن یا یک ستون کوتاه، به نحو مناسب متصل گردد. ستون کوتاه می‌تواند از فولاد یا چوب ساخته شود. برای ستون کوتاه می‌توان از یک ناودانی نمره ۶ (یا پروفیل فولادی معادل آن) یا چوب استفاده کرد. چنان‌چه طول دیوار جداگر پشت‌بند کمتر از ۱ متر باشد لبه آن می‌تواند آزاد باشد.

۱-۳-۳ دیوار دارای بازشو

بازشوها حتی الامکان در قسمت مرکزی طول دیوارها تعبیه شوند. مجموع سطح بازشوها در هر دیوار باربر از $\frac{۱}{۳}$سطح آن دیوار بیشتر نباشد. طول کل بازشوها در هر دیوار از $\frac{۱}{۳}$ طول دیوار بیشتر نباشد. در هر یک از امتدادهای طولی و عرضی ساختمان مقدار دیوارنسبی در هر طبقه نباید از ۱۰ درصد کمتر باشد. دیوارهای بالا و پایین بازشوها در محاسبه دیوار نسبی منظور نمی‌شوند. به عبارت دیگر برای تعیین مقدار دیوارنسبی مقطع افقی دیوار شکست‌هایی که حداقل مساحت دیوار را به دست می‌دهد در نظر گرفته می‌شود. فاصله اولین بازشو در هر دیوار باربر از بر خارجی ساختمان (از انتهای دیوار) کمتر از $\frac{۲}{۳}$ ارتفاع بازشو یا کمتر از ۷۵ سانتی‌متر نباشد مانند شکل (۱-۱)، مگر آن‌که در طرفین بازشو کلاف قائم (از کف تا سقف) قرار داده شود [۲۳]. فاصله دو بازشو نباید از دو سوم ارتفاع کوچک‌ترین بازشوی طرفین خود و هم‌چنین از یک ششم مجموع طول آن دو بازشو کمتر باشد. در غیر این‌صورت جرز بین دو بازشو جزئی از بازشو منظور می‌شود و نباید آن‌را به عنوان دیوار باربر به حساب آورد. هیچ از یک از ابعاد بازشو از دو و نیم متر بیشتر نباشد. در غیر این‌صورت باید طرفین بازشو با تعبیه کلاف‌های قائم و افقی، تقویت کرد.

شکل (۱-۱) فاصله $\frac{۲}{۳}$ ارتفاع بازشو از انتهای دیوار رعایت شده است

۱-۴ دسته بندی سازه‌های بنایی

منظور از سازه‌های بنایی آن‌هایی هستند که با مصالح فشاری و ملات بنا شده‌اند، مصالحی هم‌چون آجر، بلوک بتنی، سنگ و خشت. این ساختمان‌ها را می‌توان به چهار گروه مهم تقسیم کرد: غیرمسلح، نیمه مسلح، مسلح و مرکب.

۱-۴-۱ ساختمان‌های آجری غیر مسلح

این نوع ساختمان متداول‌ترین و قدیمی‌ترین نوع ساختمان‌های آجری در کشور ما هستند و به دو گروه شهری و روستایی قابل تفکیک‌اند. در ساختمان‌های روستایی دیوارها معمولاً از خشت خام یا سنگ‌های رودخانه‌ای با ملات گل ساخته شده، سقف به‌صورت گنبدی از خشت خام (مثلاً در نواحی جنوب خراسان) و یا تیرهای چوبی با پوشش گل (مثلاً در نواحی شمالی کشور) بنا می‌شوند [۳]. گاهی برای استحکام بیشتر از شمع‌های چوبی استفاده می‌شود که به طور افقی در دیوارها قرار می‌گیرند. در ساختمان‌های شهری دیوارها از آجر فشاری با ملات ماسه سیمان بنا می‌شود و سقف‌ها تیرآهن یا تیرچه بلوک و گاهی نیز چوبی است. ضوابط طرح و اجرای ساختمان‌های بنایی غیر مسلح در فصل سوم آیین نامه ۲۸۰۰ ایران نیز آمده است، که براساس آن ساختمان‌های بنایی غیر مسلح در گروه‌های زیر دسته بندی می‌گردد [۲].

۱-۴-۱-۱ ساختمان‌های بنایی با کلاف کامل

در ساخت آن‌ها کلاف زیرین، رویی و کلاف‌های قائم به‌کار برده شده است. طبق ضوابط آیین نامه در کلیه ساختمان‌های بنایی دو طبقه و یک طبقه با اهمیت زیاد باید کلاف‌بندی قائم هم به کار رود.

۱-۴-۱-۲ ساختمان‌های بنایی با کلاف افقی زیرین (شناژ)

به دلیل عدم استفاده از کلاف‌های افقی رویی عملکرد آن‌ها به کیفیت ملات مصرفی، آجر، چسبندگی آن دو، نحوه آجرچینی، نحوه قفل و بست ایجاد شده بین دیوارها، تیغه‌ها و سقف بستگی دارد. در این ساختمان‌ها در صورت عدم استفاده از کلاف‌های رویی باید سعی شود که برای پلان های

با طول و عرض بیشتر، از درز انقطاع استفاده شود و بازشوها در مرکز دیوار و با ابعاد کوچک به کار روند.

۱-۴-۱-۳ ساختمان‌های بنایی تک میل‌گردی

شبیه ساختمان‌ها با کلاف کامل هستند که براساس بند ۲-۹-۲-۴ آیین نامه به جای کلاف بندی قائم از تک میل‌گردها استفاده شده است.

۱-۴-۱-۴ ساختمان‌های آجری، بلوک سیمانی و سنگی بدون کلاف

اکثر این ساختمان‌ها معمولاً دچار مشکل می‌گردند که دلایل انهدام آن‌ها عبارتند از

۱) نداشتن پی و کرسی چینی و یا اجرای نادرست آن‌ها که موجب نشست ناهم‌سان و گسیختن دیوار می‌شود
۲) استفاده از ملات با کیفیت پایین
۳) استفاده از مصالح ضعیف
۴) عدم مهار سقف به دیوار.

۱-۴-۱-۵ ساختمان‌های بنایی مختلط

قسمتی از بار توسط دیوارهای باربر و قسمتی از آن توسط قاب تحمل می‌شود. علاوه بر مشکلات ساختمان‌های بنایی، به علت عدم سازگاری از نظر مقاومت و تغییر شکل بین اجزای مختلف به‌کار

رفته، این سیستم دچار مشکل شده‌اند. توصیه می‌شود از اختلاط سیستم پرهیز شود و از مصالح هم‌جنس و حداقل سازگاری استفاده گردد.

۱-۴-۲ ساختمان‌های آجری نیمه مسلح

در این ساختمان‌ها که تقریباً مشابه با ساختمان‌های نوع اول هستند برای بهبود رفتار ساختمان درمقابل زلزله از کلاف‌های فوقانی، تحتانی و یا قائم در دیوارهای آجری استفاده می‌گردد. کاربرد این عناصر سبب می‌شود که ساختمان دارای افزایش نسبی مقاومت و شکل پذیری گردد.

۱-۴-۳ ساختمان‌های آجری مسلح

ساختمان‌های نیمه مسلح هر چند دارای عناصری هستند که موجب افزایش مقاومت می‌شوند اما زمانی می‌توان سازه را کاملاً مسلح دانست که دارای یک سیستم کاملاً ایستا و قابل محاسبه باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد. سیستم کاملاً ایستا، آن است که در کلیه حالت‌های اصلی شکست دارای عناصر تسلیح باشد. مثلاً دیوارهای برشی دو حالت اصلی شکست خمشی و برشی دارند که عناصر تسلیح اولی میل‌گردهای قائم و دومی میل‌گردهای افقی است. با کلاف‌های تحتانی و فوقانی نمی‌توان مانع شکست خمشی شد. پس متداول‌ترین شکل تسلیح ساختمان‌های آجری عبارت است از تعبیه کلاف‌های افقی در زیر و میل‌گردهای افقی و قائم در داخل دیوارهای برشی مانند شکل (۱-۲)، البته از روش‌های دیگر هم می‌توان برای تسلیح ساختمان‌های آجری استفاده کرد.

شکل (۱-۲) دیوار بنایی مسلح

۱-۴-۴ ساختمان آجری مرکب

این نوع ساختمان‌ها دارای اسکلت‌های فلزی یا بتنی که بین آن‌ها با مصالح بنایی پرشده است و اصطلاحاً اعضای میان‌قاب نامیده می‌شود هستند. با توجه به این‌که در این نوع ساختمان‌ها تمام یا قسمتی از بارهای قائم توسط دیوارهای با مصالح بنایی تحمل می‌گردد، لذا بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران، این قبیل ساختمان‌ها نیز در ردیف ساختمان‌های با مصالح بنایی قرار می‌گیرند. با وجود آن‌که ساختمان‌های آجری نوع سوم و چهارم تا حدودی در مقابله با زلزله مقاومت از خود نشان می‌دهند ولی متأسفانه به علت آن‌که اکثر ساختمان‌های کوچک بنایی به‌وسیله افرادی ساخته می‌شود که به اصول مهندسی زلزله آگاه نیستند و هم‌چنین به دلیل آن‌که بسیاری از صاحبان ساختمان‌های کوچک حاضر نیستند و یا نمی‌توانند ازنظر مالی هزینه‌های ساخت را تأمین کنند لذا در بسیاری از شهرها و روستاهای کشور ما عمده ساختمان‌های آجری از نوع اول و درمواردی از نوع دوم می‌باشند [۴]، که درنتیجه هنگام زلزله کاملاً تخریب‌شده و تلفات انسانی بسیار بالایی حاصل می‌گردد.

۱-۵ مروری بر کارهای تحقیقاتی در زمینه سازه‌های بنایی

سازه‌های بنایی در معماری گذشته و حال کشورهای اروپایی و آمریکایی، هم‌چون کشور ما از اهمیت خاصی برخوردار بوده‌اند. خوش اقبالی برخی از کشورها مانند انگلیس در دوری از کمربندهای زلزله موجب حفظ سازه‌های بنایی و قدیمی آن‌ها شده و این کشورها را قادر ساخته است که ساختمان‌های آجری مرتفعی را بنا کنند. در قرن اخیر به موازات متداول شدن ساختمان‌های اسکلت فولادی و بتنی، تلاش‌هایی برای تعیین نقش دیوارهای آجری شده است. در کشورهایی که از لرزه‌خیزی پایینی برخوردارند ساختمان‌های آجری اصولاً برای تحمل نیروهای قائم وزن و نیروی افقی باد طراحی می‌شوند و به سبب سنگینی معمولاً به راحتی نیروی باد را تحمل می‌کنند. لذا در این کشورها دیوارها اصولاً برای نیروهای زیر طراحی می‌شوند: تنش‌های فشاری ناشی از وزن، تنش‌های خمشی ناشی از خروج از مرکزیت نیروهای وزن روی دیوارهای باربر، تنش‌های برشی حاصل از نیروهای برشی و تنش‌های خمشی حاصل از نیروهای باد که عمود بر صفحه دیوار وارد شوند. برای تعیین مقاومت دیوارهای آجری در برابر این نیروها پژوهش‌هایی به عمل آمده است و هندری مروری کلی بر آن کرده و حاصل این پژوهش‌ها در آیین نامه به صورت ضوابط، جدول‌ها و نمودارهایی پدیدار شده است. بدین ترتیب به کارگیری سازه‌ای که در آن نیروهای قائم و افقی هر دو توسط دیوار آجری غیر مسلح به زمین منتقل می‌شود به رسمیت شناخته شده است (در کشورهای با لرزه خیزی پایین) و برای این منظور کتاب‌های طراحی تدوین شده است که می‌توان به کار Hendry اشاره کرد[۱۴].

۱-۶ مزایای سازه‌های بنایی

از جمله مزیت‌هایی را که می‌توان به‌عنوان دلیل استفاده فراوان از این نوع سازه‌ها بر شمرد عبارتند از

۱) مصالح مورد استفاده عموما" به‌صورت فراوان و نسبتا" ارزان در دسترس می‌باشند و برای ساختمان‌های کوتاه طبقه هزینه ایجاد این‌گونه ساختمان‌ها اغلب ارزان‌تر از سایر ساختمان‌ها می‌باشد.

۲) مهارت نیرو انسانی برای ایجاد ساختمان در حد متوسط کافی بوده و به تخصص‌های فوق العاده نیاز نمی‌باشد. چون این روش ساختمان سازی اغلب سنتی است، مهارت‌های لازمه نیز دارای سابقه و فراوانی زیادی است.

۳) سرعت عمل در احداث بناهای کوتاه وجود دارد. (هر چند احداث سازه فولادی سریع‌تر است)

۴) عموما" هزینه‌های تعمیر و نگهداری این نوع ساختمان‌ها در مقابل ساختمان‌های فولادی و بتن آرمه ناچیز است

۵) نیاز به هزینه‌های اضافی برای حفاظت در برابر آتش سوزی، عایق حرارتی و صوتی ندارد

۶) زیبایی ظاهری (نما سازی) این نوع ساختمان‌ها با توجه به ذوق و سلیقه افراد مختلف به سهولت انجام می‌شود.

۱-۷ مشکلات اجرایی سازه‌های مصالح بنایی

با توجه به آن‌چه که از مشاهدات وسیع در سراسر جهان و از جمله در ایران نسبت به رفتار سازه‌های مصالح بنایی در برابر شرایط متفاوت و نیروهای گوناگون وارد بر آن‌ها و چگونگی عدم

مقاومت و نهایتا" تخریب این نوع سازه ها بدست آمده است، برخی از مهم‌ترین معایب سازه‌های مصالح بنایی را یادآور می‌شویم

۱) وزن زیاد این نوع ساختمان‌ها و حجیم بودن ابعاد المان‌های مختلف آن‌ها.
۲) تغییرات نسبتا" زیاد در مقاومت ساختمان در نقاط مختلف آن که، در اثر اجرا با کیفیت‌های متفاوت حاصل می‌شود.
۳) نبودن اتصال قابل اطمینان بین المان‌های مختلف ساختمان، مانند اتصال بین دیوارها و سقف در ساختمان‌های بنایی متداول.
۴) شکنندگی و مقاومت ضعیف کششی و برشی و امکان فرو ریزی هر یک از المان‌های ساختمان به‌طور مجزا مانند دیوار ها به‌ویژه در برابر بارهای جانبی درون و برون صفحه.
۵) سختی زیاد سازه که خود باعث پاسخ شدید در برابر امواج زلزله در پریودهای طبیعی کوتاه می‌شود
۶) محدودیت در ارتفاع برای این نوع سازه‌ها علی الخصوص در نوع غیر مسلح آن طبق ضوابط آیین‌نامه‌ها.
۷) تردی و شکنندگی مصالح بنایی به همراه مقاومت ضعیف اجزا، مانند ملات که بیشتر ناشی از کیفیت نامرغوب مواد اولیه تشکیل دهنده، عدم رعایت نسبت‌های مناسب اختلاط و کیفیت پایین اجرایی آن‌ها می‌باشد. (کلیه مصالح بنایی دارای مقاومت فشاری نسبتا" مناسبی هستند ولی مقاومت کششی و برشی آن‌ها بسیار اندک است که ناشی از طبیعت این گونه مصالح است).

۱-۸ نیروی زلزله

هنگام وقوع زلزله و حرکت شتابدار زمین زیر ساختمان، در بخش‌های مختلف ساختمان مانند سقف‌ها و دیوارها، نیروهایی موسوم به نیروهای ماند یا اینرسی ایجاد می‌شود. با توجه به این که نیروی وارده به ساختمان طبق قانون دوم نیوتن متناسب با شتاب حرکت زمین و وزن ساختمان است[۲۲] با افزایش شدت زمین لرزه و وزن ساختمان، نیروی وارده بر آن نیز بیشتر می‌شود. در این حالت، اجزای باربر ساختمان که قبل از وقوع زمین لرزه فقط بارهای قائم را تحمل می‌نمودند، در اثر نیروهای جانبی از حرکات زمین، باید نیروی برشی و لنگر خمشی را نیز تحمل نمایند. بدیهی است که تحت این شرایط، وضعیت تنش در اجزای ساختمان در لحظه متغیر بوده و از حالت تنش فشاری خالص به ترکیبی از تنش‌های فشاری تبدیل می‌شود، چنان‌چه در حین وقوع زلزله مقدار تنش‌های کششی ناشی از بارهای جانبی در قسمتی از دیوار از میزان مقاومت کششی مصالح بیشتر شود، در این قسمت ترک ایجاد شده و در نتیجه سطح موثر برای جذب نیروی برشی کمتر شده و تنش برشی افزایش خواهد یافت[۵]. افزایش تنش برشی نیز به تدریج موجب گسترش ترک خوردگی و در نهایت واژگونی و تخریب دیوار می‌شود. بنابراین ملاحظه می‌شود که برای مقاومت در برابر زمین لرزه نه‌تنها ساختمان باید بتواند بار قائم را تحمل کند، بلکه باید در برابر نیروهای کششی و برشی نیز به اندازه کافی مقاومت کند.

ساختمان‌های مصالح بنایی دارای دو ویژگی سختی بالا و وزن زیاد هستند و کم و بیش به دلیل کوتاه بودن پریود سازه، پاسخ زلزله در آن‌ها زیاد است. شتاب‌هایی که در حین زمین لرزه بر ساختمان‌های بنایی وارد می‌شوند گاهی تا حدود شتاب ثقل نیز می‌رسند و نیروهای زیادی در اعضاء ایجاد می‌کنند. این نیروها به مراتب از نیروهای طراحی ساختمان‌های مصالح بنایی بیشتر هستند. فرض بر این است که مازاد این نیروها به وسیله شکل‌پذیری اعضا تلف می‌شود. شکل‌پذیری با تغییر شکل خمیری می‌تواند نیروهای بزرگتری را بدون فروریختگی تحمل نماید و این چیزی است که در

رفتار سازه‌ها در برابر نیروی زلزله مورد نظر است. ساختمان‌های مصالح بنایی به ویژه نوع غیرمسلح چنین قابلیتی را ندارند و به محض رسیدن به مقاومت نهایی دچار فروریختگی جزئی یا کلی می‌گردند.

۱-۹ عملکرد ساختمان‌های بنایی در زلزله‌های گذشته

در دهه‌های اخیر در ایران چندین زلزله بزرگ و مخرب روی داده است که موجب تلفات سنگین شده‌اند، آخرین آن‌ها، زلزله منجیل ۱۳۶۹ با بزرگی ۷/۷ ریشتر، سبب مرگ ده‌ها هزار تن شد. علاوه بر زلزله‌های بزرگ، حتی زلزله‌های متوسط نیز گاهی در ایران فاجعه آفریدند. در جدول (۱-۱)، تعدادی از زلزله‌های ثبت شده همراه با تعداد تلفات آمده است[۱۳].

به طور کلی با نگاهی به تاریخچه زلزله‌های کشور مشخص می‌شود که خانه‌های روستایی که در ناحیه مرکزی زلزله‌هایی با بزرگی بیش از ۵/۵ ریشتر قرار گرفته باشند، در معرض خطر ترک خوردن و فروریختن هستند. البته ساختمان‌های آجری شهری که با ملات سیمان چیده شده باشند، مقاومت بیشتری دارند و ممکن است در برابر زلزله هایی با بزرگی ۶/۵-۶ ریشتر پایدار بماند، اما برای اغلب ساختمان‌های آجری غیرمسلح زلزله هایی با بزرگی ۷ یا بیشتر امکان پذیر نیست و این قبیل ساختمان‌ها بر اثر زلزله فرو می‌ریزند.

سال	مرکز زلزله	بزرگی ریشتر	تعداد تلفات
۱۲۹۰	راور (کرمان)	۶/۲	۷۰
۱۳۰۲	شمال بجنورد	۷/۳	۳۲۰۰
۱۳۰۹	سلماس	۷/۲	۲۵۰۰
۱۳۱۴	مازندران	۶/۳	۵۰۰
۱۳۴۱	بوئین زهرا	۷/۲	۱۲۲۰۰
۱۳۴۷	فردوس	۶/۴	با خاک یکسان شد
۱۳۵۶	کرمان	۵/۷	۶۶۵
۱۳۵۷	طبس	۷/۳	۱۸۰۰۰
۱۳۶۹	رودبار و منجیل	۷/۷	۴۰۰۰۰
۱۳۸۲	بم	۷/۶	۳۱۷۲۸
۱۳۹۱	ورزقان	۵/۲	۳۰۶

جدول (۱-۱) آمار تلفات زلزله در ایران

۱-۱۰ علت شکست دیوارهای بنایی

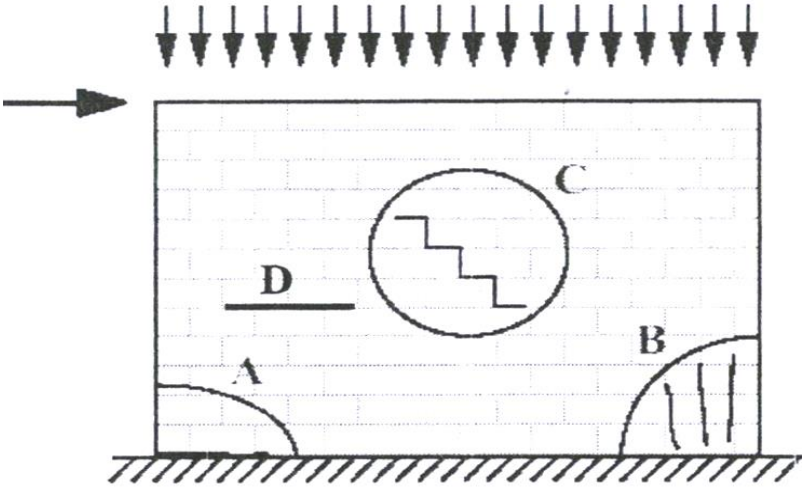
نیروهای اینرسی در جهت شتاب اعمالی به ساختمان وارد می‌گردند و از آن‌جایی که غالباً شتاب افقی زلزله در رفتار ساختمان‌ها تعیین کننده می‌باشد. از این رو، ساختمان مورد نظر تحت نیروهای افقی زلزله مورد بررسی قرار می‌گیرد. در علم مهندسی زلزله، معمولاً به نظر سادگی انجام محاسبات مربوطه فرض می‌گردد که تمام وزن ساختمان در تراز سقف‌ها متمرکز شده و نیروی زلزله به صورت یک نیروی متمرکز در هر تراز اعمال می‌گردد.

در ساختمان‌های بنایی[1]، این نیروها از طریق دیوارهای برشی آجری به طبقات پایین‌تر و در نهایت به پی ساختمان منتقل می‌گردد. دیوارهای آجری که در مسیر انتقال بار از سقف به پی قرار دارند. به‌دلیل رفتار تردشان ممکن است بسته به ابعاد هندسی دیوار، شرایط مرزی و هم‌چنین خصوصیات مکانیکی مصالح مصرفی در آن‌ها دچار شکست‌های موضعی یا کلی شوند. به عنوان مثال، اگر یک دیوار آجری غیرمسلح تحت بار قائم گسترده و یک بار جانبی متمرکز در تراز سقف درنظر گرفته شود، بسته به شرایط تنش‌های داخلی ممکن است مودهای گسیختگی موضعی ذیل در آن اتفاق افتد.

۱-۱۰-۱ گسیختگی کششی پاشنه دیوار (حالت A)

در اثر افزایش تنش‌های کششی عمود بر درز افقی آجرها و گسترش ترک‌های افقی و لغزش در بین درزها اتفاق می‌افتد. این حالت گسیختگی معمولاً در مواقعی که بارهای قائم در مقایسه با بارهای جانبی کم هستند، رخ می‌دهد شکل (۱-۳).

1- Masonry



شکل (۱-۳) انواع گسیختگی در دیوارهای مصالح بنایی

۱-۱۰-۲ گسیختگی خمشی پنجه دیوار (حالتB)

به دنبال گسترش ترک‌های کششی در پای دیوار و تحمل برش فزاینده توسط مصالح بنایی تحت فشار ایجاد می‌شود. در این حالت، گسیختگی نهایی به صورت واژگونی دیوار و یا خرد شدگی کنج فشاری آن اتفاق می‌افتد. این نوع گسیختگی معمولاً در مورد دیوارهای با نسبت هندسی بالا یعنی نسبت ارتفاع به طول بالا رخ می‌دهد. این پدیده موجب افزایش تغییر مکان‌ها (حرکت گهواره‌ای) می‌گردد که با افزایش بارهای قائم از مقدار آن کاسته می‌شود.

۱-۱۰-۳ گسیختگی برشی (حالتC)

در اثر تشکیل ترک‌های قطری ایجاد می‌گردد. این نوع گسیختگی معمولاً برای دیوارهای با نسبت هندسی نسبتاً کوچک اتفاق می‌افتد. به ازای بارهای قائم کوچک و به‌ویژه اگر مقاومت ملات مصرفی کمتر از مقاومت آجر و نسبتاً ضعیف باشد، ترک‌های قطری معمولاً در سطح ملات و بندهای عمودی

به صورت ترک پله‌ای گسترش می‌یابد[۱۹]. در این حالت، بخش‌های جدا شده از دیوار مصالح بنایی لغزنده و منجر به تغییر شکل‌های بزرگی می‌شوند. در شرایطی که نیروهای قائم بزرگ و یا زمانی که مقاومت واحدهای مصالح بنایی (آجرها) کم باشد، این ترک‌های قطری حتی از میان آجرها نیز عبور می‌کنند. در این حالت، بخش‌های جدا شده از دیوار در راستای ترک قطری منظم‌تری با شکل‌پذیری کم تمایل به لغزش به سمت پایین دارند[۶].

۱-۱۰-۴ گسیختگی برشی لغزشی (حالتD)

به‌دلیل کم بودن بارهای ثقلی و پایین بودن مقاومت ملات و اجرای نامناسب دیوار که چسبندگی بین ملات و آجرها نامناسب باشد، رخ می‌دهد. توزیع تنش در داخل دیوارهای مصالح بنایی بسته به نوع مصالح بنایی، هندسه دیوار، نیروهای اعمالی و شرایط تکیه‌گاهی نسبتاً پیچیده است. گسیختگی موضعی در پای دیوار یا در مرکز آن اتفاق می‌افتد. با وجود این، در صورت عدم وجود ناپیوستگی‌های بزرگ در سطح دیوار، هیچ‌کدام از این گسیختگی‌های موضعی به شکست کلی دیوار منجر نمی‌شود، بلکه پس از ایجاد گسیختگی موضعی سخت دیوار به طور پیش رونده‌ای دچار زوال شده و گسیختگی نهایی معمولاً به صورت ترکیبی از این چهار حالت گسیختگی یا برخی از آن‌ها اتفاق می‌افتد. ضعف عمده دیوارهای مصالح بنایی غیرمسلح که با الگوی ساخت و ساز متداول ساخته می‌شوند، کمبود مقاومت برشی، به‌ویژه در لایه‌های آجرکاری که ناشی از عدم پیوستگی مناسب آجر و ملات است، می‌باشد.

۱-۱۱ نحوه خرابی دیوارهای بنایی

دیوارهای بنایی در صفحه خود بسیار سخت می‌باشند و لذا نیرویی که از زلزله به آن‌ها انتقال می‌یابد بسیار زیاد هست. خرابی دیوارها معمولا" با ایجاد ترک آغاز شده و با گسترش و عریض‌تر شدن

ترک‌ها، نابودی کامل دیوار که ناشی از خرابی دیوار در صفحه خود هست، صورت خواهد پذیرفت[۷]. ترک‌ها عموما" در نزدیکی بازشوها متمرکز بوده و اغلب از محل ملات ها ریشه می‌گیرند. اگر دیواری آجری تحت اثر نیروهای جانبی قرار بگیرد به علت تغییر مکان دیوار و رفتار شکننده آن، در پای دیوار ترک ایجادشده و مقاومت دیوار به مقدار زیادی کاهش پیدا می‌کند و درنهایت در مقداری مشخص از تغییر مکان، مقاومت دیوار تقریباً صفر می‌گردد. حال اگر نیروی جانبی اعمال‌شده در این لحظه امکان انتقال به اعضای سازه‌ای دیگر را نداشته باشد گسیختگی دیوار به طور ناگهانی رخ خواهد داد. بر اساس مطالعات تحلیلی و نتایج حاصل از آزمایش‌های گوناگون، گسیختگی در دیوارهای آجری به شدت وابسته به انرژی جذب‌شده توسط آن در زمان اعمال نیرو بوده و هم چنین بر اساس ملاحظات جذب انرژی، نشان داده شده است که نیروی لازم برای خرابی یک دیوار به دلیل ناپایداری در صفحه دیوار بسیار زیاد هست و لذا خرابی دیوارها به جای ناپایداری آن‌ها، اغلب به دلیل برش هست. اگر نیروهایی که بر دیوار اعمال می‌شود در راستای سطح دیوار و در امتداد طول آن باشند، به علت اینرسی زیاد دیوار در امتداد نیرو، دیوار مقاومت قابل توجهی از خود نشان می‌دهد. در چنین حالاتی اگر دیوار دچار گسیختگی گردد، علت آن می‌تواند به یکی از دلایل زیر و یا ترکیبی از آن‌ها باشد.

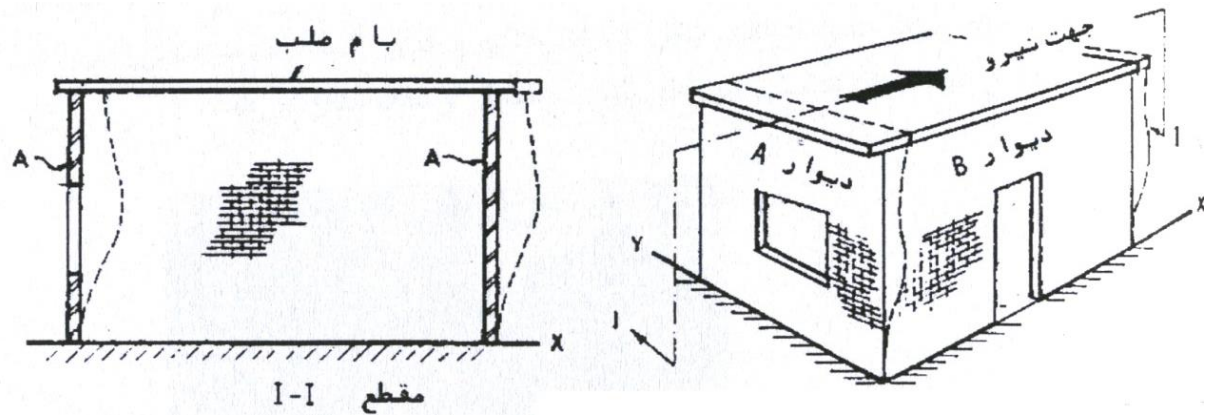
الف) تشکیل ترک‌های قطری مورب که از محل درزهای ملات گسترش می‌یابند. این ترک‌ها به دلیل وجود تنش های کششی در صفحه دیوار و در امتدادهای مایل می‌باشند[۲۴].

ب) تشکیل ترک‌های افقی در طول ملات به علت لغزش یا گسیختگی برشی افقی در صفحه دیوار.

ج) گسیختگی ناشی از تنش های کششی که در اثر خمش در دیوار بوجود آمده‌اند. حال اگر نیروها عمود بر سطح دیوار اعمال شوند، دیوار تحت خمش قرار می‌گیرد و در آن ترک تشکیل می‌گردد. شکل و نحوه تشکیل ترک‌ها در این حالت وابسته به نسبت ارتفاع دیوار به طول آن هست. اگر این نسبت کمتر از یک باشد ترک‌ها حالتی افقی دارند و با افزایش این نسبت، شکل ترک‌ها ابتدا مورب شده و سپس به‌صورت قائم در دیوار ظاهر خواهند شد.

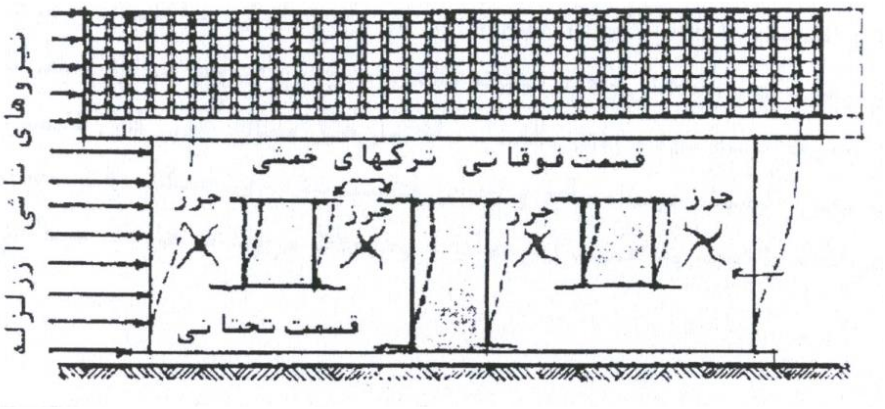
۱-۱۲ گسیختگی ساختمان‌های مصالح بنایی

ساختمان‌های مصالح بنایی معمولاً از چندین دیوار برشی آجری در دو جهت متعامد و سقف‌ها تشکیل می‌شوند. برای انتقال نیروهای زلزله از سقف به دیوارها لازم است اتصال سقف به دیوارهای تحتانی فراهم شود، زیرا در صورت عدم اتصال صحیح اعضای ساختمان در تراز سقف ممکن است شتاب وارده به سقف موجب جدایی و پرتاب آن شود. یکی از نکات مهمی که در رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های مصالح بنایی باید به آن توجه نمود، تامین عملکرد جعبه‌ای آن‌ها در برابر نیروهای زلزله است[۸]. اگر نیروی زلزله مطابق شکل (۱-۴) در امتداد محور x به ساختمان اثر کند و سقف‌ها به اندازه کافی صلب و غیرقابل انعطاف باشند، نیروهای جانبی حاصله در آن به نسبت سختی به چهار دیوار اطراف آن منتقل می‌گردد. از آن‌جایی که سختی دیوارهای B در امتداد محور x خیلی بیشتر از سختی دیوارهای A در این جهت است تقریباً تمام نیروی جانبی سقف توسط دیوارهای B تحمل می‌شود، اما در صورتی که سقف انعطاف‌پذیر باشد، نیروی سقف به دیوارهایی که بر روی آن قرار گرفته است، منتقل می‌شود. به عبارت دیگر، این ساختمان به صورت جعبه‌ای در برابر نیروهای جانبی مقاومت می‌کند و بدیهی است که هرچه طول دیوارها افزایش یابد، از اثر جعبه‌ای ساختمان کاسته می‌شود.



شکل (۱-۴) عملکرد جعبه‌ای ساختمان‌های مصالح بنایی

در اغلب دیوارهای مصالح بنایی مطابق شکل (۱-۵) به منظور تعبیه محل درب و پنجره بازشوهایی تعبیه می‌شود. در این حالت، بخش‌های پیرامونی بازشوها (جرزها) به علت کاهش سطح مقطع موثر دیوار به مراتب انعطاف‌پذیرتر از قسمت‌هایی از دیوار که در بالا و پایین بازشوها قرار دارند، می‌باشند. بنابراین تقریباً تمامی تغییر شکل دیوار در جرزها اتفاق می‌افتد و ترک‌های برشی نیز در این نواحی تشکیل می‌شود. افزایش سطح نسبی بازشوها به میزان قابل ملاحظه ای باعث تغییر نیاز لرزه‌ای ساختمان‌های آجری می‌شود، به طوری که افزایش مقدار سطح نسبی بازشوها از ۰/۱۶ به ۰/۲۹، موجب افزایش ۳۲ درصدی ضریب شکل‌پذیری تغییر مکانی و کاهش ۵۸ درصدی ظرفیت باربری جانبی دیوارهای آجری می‌شود. طبق آزمایشات انجام شده، اطراف بازشوها محل ضعف اصلی ساختمان‌های آجری بدون کلاف و حتی نوع کلاف‌دار می‌باشد[۹]. در ساختمان‌های بدون کلاف به محض تشکیل نخستین ترک، ظرفیت باربری و سختی ساختمان به شدت کاهش می‌یابد، ولی در ساختمان دارای کلاف، شدت کاهش به مراتب کمتر است.



شکل (۱-۵) تغییر شکل دیوارهای آجری دارای بازشو

معمولاً شکستگی و خرابی دیوارها در گوشه‌های بازشوها و گوشه‌های ضعیف ساختمان به علت ایجاد تنش‌های اضافی اتفاق می‌افتد. شکل (۱-۶)، گسیختگی و خرابی گوشه یک ساختمان آجری در زلزله ۱۳۸۲ بم را به دلیل عدم اتصال مناسب دیوارهای باربر به یکدیگر و سقف نشان می‌دهد.

شکل (۱-۶) خرابی در گوشه یک ساختمان آجری (زلزله بم ۱۳۸۲)

۱-۱۳ علت گسیختگی ساختمان‌های با مصالح بنایی

به‌طور کلی با توجه به مطالب گفته شده در فوق و هم‌چنین رفتار ساختمان‌های مصالح بنایی در زلزله گذشته، مهم‌ترین عوامل موثر در گسیختگی یا عدم گسیختگی این قبیل ساختمان‌ها را می‌توان به صورت زیر بیان نمود

۱) کیفیت مصالح و اجزا

۲) شکل و سیستم سازه

۳) تراکم کم دیوار به واسطه بازشوهای بزرگ

۴) دیوارهای ساختمان

۵) سیستم سقف

۶) منسجم نبودن اجزای ساختمان

۷) عدم رعایت محدودیت های آیین نامه

چنان‌چه سیستم ساختمان ساده و مناسب انتخاب گردد، دیوارها در دو جهت اصلی ساختمان به صورت یکنواخت توزیع شوند و در آن تغییرات ناگهانی سختی وجود نداشته باشد و همچنین دیوارها در تراز کف با کف اصلی و کلاف بتنی مسلح به‌یکدیگر بسته شوند، رفتار مناسب ساختمان‌های مصالح بنایی قابل تضمین است. به هر حال وضعیت خاک محل، کیفیت خوب و اجرای مناسب نیز برای ضمانت رفتار خوب ساختمان‌های بنایی لازم است. در ادامه با توجه به اهمیت این عوامل، توضیحات مربوط به هر یک بیان می‌گردد.

۱-۱۳-۱ کیفیت مصالح و اجرا

با وجود کفایت سازه برای تحمل بارهای ثقلی، مشخصات مکانیکی مصالح بکار برده شده در اجرای ساختمان‌های مصالح بنایی، چه آجر و چه ملات، برای تحمل اثرات خمش و برش ناشی از زمین لرزه بر سیستم سازه ای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. پایین بودن کیفیت و مقاومت آجر، مانند شکل (۱-۷) یکی از دلایل آسیب پذیری ساختمان‌های مصالح بنایی است. آجرها که اغلب بدون نظارت فنی تولید می‌گردند، دچار فرسودگی و شکست زود هنگام می‌شوند. استفاده از ملات‌های نامناسبی چون ملات گل یا عدم رعایت نسبت‌های مناسب ماسه سیمان باعث پایین آمدن کیفیت مصالح می‌گردد.

شکل (۱-۷) کیفیت نا مطلوب ملات

کیفیت اجرا نیز اغلب نامطلوب است. عدم هم‌پوشانی کافی بین آجرها در دیوار و قرار گرفتن درزهای عمودی در امتداد یکدیگر، ضعف‌های موضعی ایجاد می‌کنند. عریض بودن درزهای افقی و پر نکردن درزهای قائم با ملات، باعث کاهش شدید مقاومت آجر در صفحه و کاهش ظرفیت برشی درون صفحه‌ای دیوار می‌گردد. به‌کار بردن آجرهایی که قبل از استفاده زنجاب نمی شوند، باعث از دست رفتن آب ملات و کاهش مقاومت و قدرت چسبندگی آن می‌گردد شکل (۱-۸). هم‌چنین استفاده از روش هشت‌گیر در اجرای دیوارها، باعث ایجاد انفصال در دیوار و در نتیجه کاهش مقاومت خارج از صفحه دیوار می‌گردد.

شکل (۱-۸) از بین رفتن ملات بین رج‌ها

۱-۱۳-۲ شکل و سیستم سازه

در خصوص شکل و سیستم سازه‌ای ساختمان‌های مصالح بنایی، نواقص زیر را می‌توان نام برد

۱) کامل نبودن مسیر انتقال بار، نیروهای زمین لرزه که به اجزای مختلف ساختمان وارد می‌شود، از طریق دیافراگم‌های افقی سقف به دیوارهای برشی منتقل می‌گردند. دیوارهای برشی با عملکرد خمشی و برشی خود، نیروها را به پی و نهایتاً به زمین منتقل می‌نمایند. در صورت وجود ناپیوستگی در این مسیر، یا طولانی بودن آن، ساختمان توانایی مقاومت در برابر بارهای جانبی را نخواهد داشت. سیستم مقاوم باربر جانبی باید مسیری مستقیم میان دیافراگم ها، دیوارهای برشی و پی تشکیل دهد. کامل نبودن این مسیر، یکی از دلایل گسیختگی ساختمان‌های مصالح بنایی است.

۲) کافی نبودن مقاومت برشی ساختمان، نیروهای زلزله در ساختمان‌های مصالح بنایی توسط دیوارهای باربر (دیوارهای برشی آجری در امتداد نیروهای زلزله) تحمل می‌شود. این دیوارها با سختی و مقاومت برشی درون صفحه‌ای خود، در برابر این نیروها مقاومت می‌کنند. چنان‌چه مقاومت این دیوارها کمتر از مقدار مورد نیاز بوده یا تراکم آن‌ها نسبت به سطح

ساختمان به دلیل وجود بازشوهای بزرگ کم باشد، ساختمان فاقد مقاومت برشی لازم در برابر نیروهای زلزله می‌باشد.

۳) توزیع نامتقارن دیوارها در پلان، این مساله باعث ایجاد اثرات پیچشی در سازه شده و موجب افزایش تنش دیوارها در نواحی بحران می‌گردد. ساختمان‌هایی که در یک جهت دیوار باربر دارند، مثال کاملی از فرم نامناسب سازه‌ای می‌باشند. دیوارهای خارجی در جهت یکدیگر، شامل بازشوهای متعدد بوده و نمی‌توانند در برابر نیروهای زلزله مقاومت نمایند.

۴) توزیع غیریکنواخت سختی در ارتفاع ساختمان، این مساله می‌تواند موجب بروز خسارت شدید دیوارها در ترازی که تغییرات ناگهانی سختی صورت گرفته است، گردد. تغییرات ناگهانی سختی در اثر نامنظمی قائم در ساختمان مصالح بنایی شامل طبقه ضعیف، طبقه نرم، نامنظم هندسی قائم طبقات و نامنظمی در وزن طبقات می‌باشد.

۵) اثر ساختمان مجاور، ساختمان‌هایی که در مجاورت یکدیگر قرار دارند و بین آن‌ها درز انقطاع مناسبی وجود ندارد، به دلیل هم فاز نبودن ارتعاشات در هنگام زمین لرزه به‌یکدیگر ضربه می‌زنند که به آن تنه‌زدگی گفته می‌شود. این مساله باعث بروز خسارات شدیدی در محل برخورد می‌گردد. هنگامی که اختلاف ساختمان مجاور زیاد یا زمین شیب‌دار باشد، این خسارت شدیدتر است.

۱-۱۳-۳ تراکم کم دیوار به واسطه وجود باز شوهای بزرگ

در ساختمان های با مصالح بنایی، دیوارها از اجزای اصلی و مقاوم یک سازه در برابر تلاش‌های ناشی از زلزله می‌باشند. عملکرد دیوارهای با مصالح بنایی که در اکثر ساختمان های متداول به‌کار می‌رود با سه بازشو در شکل نشان داده شده است. جرزهای میان بازشوها انعطاف بیشتری نسبت به

قسمت زیرین (از روی کرسی تا کف پنجره) و یا بالای دیوار (روی نعل درگاه تا سقف) دارند[۲۳]. مکانیزم تغییر شکل دیوار با توجه به نیروی افقی ناشی از زلزله درشکل (۱-۹) نشان داده شده است.

شکل (۱-۹) شکست تحت نیرو افقی

۱-۱۳-۴ دیوارهای ساختمان

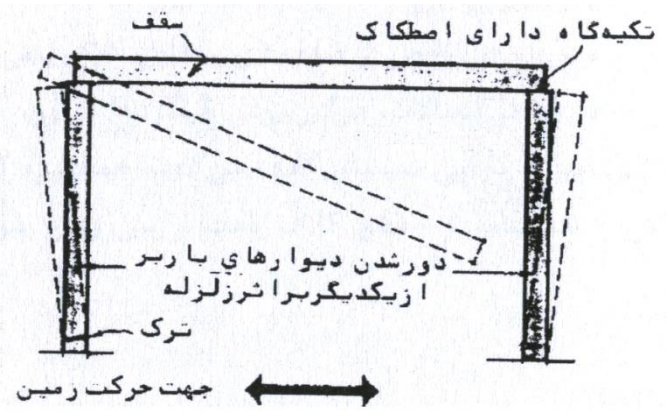
یکی دیگر از عوامل گسیختگی در ساختمان‌های مصالح بنایی، آسیب‌پذیر بودن دیوارها می‌باشد. زیاد بودن ارتفاع و مهار نبودن خارج از صفحه دیوار، پایداری و ظرفیت باربری دیوار در راستای خارج از صفحه را محدود می‌نماید. هم‌چنین طول مهارنشده زیاد دیوار نیز باعث افزایش لنگر خمشی خارج از صفحه می‌گردد. دیوارهایی که نسبت ارتفاع به ضخامت بالایی دارند، در برابر زمین لرزه دچار گسیختگی خارج از صفحه می‌گردند. از طرف دیگر، وجود بازشوهای بزرگ در دیوار باعث کاهش مقاومت برشی و خمشی آن می‌گردد شکل (۱-۱۰). هم‌چنین نزدیکی بازشو به انتهای دیوار سبب می‌شود که اتصال آن دیوار و دیوار متقاطع ضعیف شده و دیوار به صورت یک دیوار مهار نشده رفتار می‌نماید. نسبت $\frac{h}{\mathrm{t}}$ باید از $\frac{1}{10}$ بیشتر نباشد، در غیر این‌صورت با افزایش ضخامت و یا استفاده از

سیستم پشت‌بند می‌توان این نسبت را کنترل نمود. ارتفاع آزاد دیوار نباید از ۴ متر بیشتر باشد، جهت کاهش ارتفاع دیوار می‌توان از کلاف افقی استفاده شود البته توجه به این نکته مهم است که کلاف افقی دارای اتصال مناسبی با دیوار داشته باشد، هم‌چنین کلاف افقی واتصال آن برای نیروی خارج از صفحه دیوار طراحی گردد. طول آزاد دیوار باربر از ۵ متر بیشتر نباشد. جهت کاهش طول آزاد دیوار می توان از پشت بند مناسب و یا کلاف قائم (بتنی یا فلزی) که به نحو مناسبی به کلاف افقی متصل گردیده استفاده کرد.

شکل (۱-۱۰) شکست در اثر ارتفاع زیاد

۱-۱۳-۵ سیستم سقف

نامناسب بودن سیستم سقف در ساختمان‌های مصالح بنایی علت بسیاری از فرو ریختگی‌ها در هنگام وقوع زلزله می‌باشد. استفاده از مصالح سنگین یا آجری آسفالت مجدد در سقف ها، باعث سنگین شدن آن‌ها در طول زمان می‌گردد که در هنگام زمین لرزه نه‌تنها باعث افزایش نیروی جانبی ساختمان می‌گردد، بلکه ارتعاش قائم سقف را نیز موجب می‌شود. عدم وجود سقف‌های صلب با کلاف‌های خارجی باعث ایجاد ترک‌های قائم در محل اتصال دیوار یا تقاطع دیوارها و بروز خمش خارج از صفحه در دیوار می‌گردد. دیوارهایی که از بقیه اجزای سازه‌ای جدا می‌شوند، ممکن است حتی در زلزله‌های متوسط نیز فرو بریزند. گاهی دیده شده است که در اثر کوتاه بودن طول تکیه‌گاهی تیرهای سقف بر روی دیوارهای باربر، دیوار دچار شکست‌های موضعی شده و تیرهای سقف جابجا گردیده و یا فرو ریخته‌اند (شکل ۱-۱۱). هم‌چنین وجود بازشوهای بزرگ در سقف باعث کاهش عملکرد دیافراگمی و بروز خسارت شدیدی شده است. زیاد بودن ابعاد دال سقف یا بزرگ بودن نسبت طول دهانه به عرض دال نیز از مواردی است که باعث انعطاف پذیری سقف و تغییر شکل‌های خارج از صفحه بزرگی خواهد شد.



شکل (۱-۱۱) شکست در اثر کوتاه بودن طول تکیه گاه

۱-۱۳-۶ منسجم نبودن اجزای ساختمان

رفتار مناسب و پایدار ساختمان‌های مصالح بنایی در گرو انسجام و یک‌پارچگی اجزای آن‌ها می‌باشد. مناسب نبودن یا ضعیف بودن اتصال بین دیوارهای باربر متقاطع، اتصال بین دیوارها و سقف و هم‌چنین اتصال بین تیغه‌ها و دیوارها با سقف از مواردی است که انسجام ساختمان را به مخاطره می‌اندازد. ضعف در کیفیت اجرا، استفاده از روش هشت‌گیر در آجرچینی، نزدیکی بازشوها به کنج دیوارها و یا عدم استفاده از سیستم مهاری مناسب باعث ضعف اتصالات می‌گردد.

۱-۱۳-۷ عدم رعایت محدودیت‌های آیین‌نامه برای دیوارهای با مصالح بنایی با بازشو

کنترل تراکم دیوار، ضوابط بند ۳-۵-۲، استاندارد ۲۸۰۰ ایران

۱) مجموع سطح بازشوها در هر دیوار باربر از $\frac{1}{3}$ سطح آن دیوار بیشتر نشود

۲) مجموع طول بازشوها در هر دیوار باربر از $\frac{۱}{۲}$ طول دیوار بیشتر نباشد

۳) فاصله افقی دوبازشو از $\frac{۲}{۳}$ ارتفاع کوچکترین بازشوی طرفین خود وهم‌چنین از $\frac{۱}{۶}$ مجموع طول آن دو بازشو بیشتر نباشد.

۴) هیچ‌کدام از ابعاد دو بازشواز ۲/۵ متر بیشتر نباشد..

۱-۱۴ ضرورت مقاوم‌سازی و بهسازی

۱-۱۴-۱ ضرورت بهسازی از دیدگاه سوانح و حوادث

احتمال تقلیل قابلیت ساختمان در اثر سوانح و حوادث را نیز نباید از نظر دور داشت. گاه اتفاق می‌افتد که ساختمان در اثر زلزله، جاری شدن سیل و یا بروز یک آتش‌سوزی یا مشابه آن‌ها کیفیت مطلوب خود را از دست می‌دهد و حاشیه ایمنی آن باریک‌تر می‌شود وحتی ممکن است ساختمان به طورکامل غیرقابل بهره برداری گردد.

۱-۱۴-۲ ضرورت بهسازی از لحاظ حفظ محیط زیست

امروزه مساله بهسازی از دیدگاه حفظ محیط زیست هم یک ضرورت تلقی می‌شود، زیرا ریختن نخاله حاصل از تخریب هر ساختمان و برداشتن مصالح از منابع محدود کره خاکی ما، برای ساختن ساختمانی به جای آن‌چه تخریب شده، به محیط زیست آسیب می‌رساند و با اقدام به بهسازی می‌توان ساختمان‌های تخریبی و در نتیجه حجم نخاله حاصل از تخریب و حجم مصالح لازم برای بازسازی و نوسازی را کاست و به این ترتیب به حفظ محیط زیست کمک نمود.

۱-۱۴-۳ ضرورت بهسازی از دیدگاه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله

در نسل جدید آیین نامه‌های طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، تصریح می‌شود که ایمنی در برابر زلزله امری نسبی و با رعایت ضوابط و قیود آیین نامه‌ای نمی‌توان به ایمنی مطلق در برابر زلزله دست یافت به‌طوری که در هیچ زلزله‌ای هیچ سازه و ساختمانی، هیچ‌گونه آسیبی نبیند و با عنایت به این‌که، یک زلزله با بزرگی مشخص، در نقاط مختلف، شدت‌های مختلفی دارد و بزرگ‌ترین شدت‌ها در منطقه‌ای بسیار محدود، حول مرکز زلزله پدیدار می‌شوند و به‌تدریج که از این منطقه دور می‌شویم، شدت زلزله به‌سرعت کاهش می‌یابد (مگر در محل گسل). هزینه ایمن‌سازی ساختمان‌ها و سازه آن‌ها در برابر زلزله با تقلیل احتمال آسیب دیدن ساختمان و سازه، به‌صورت تصاعدی افزایش

می‌یابد. هنوز نمی‌توان نیروهای زلزله را با دقت ریاضی برآورد کرد. با دانش امروز بشر، به صفر رساندن احتمال آسیب دیدن ساختمان‌ها از زلزله، حتی با هزینه‌های غیر معقول، غیر ممکن است. زیرا نیرویی که کوه‌های پر صلابت و پوسته زمین را می‌شکافد، می‌تواند همه تمهیدات را بی اثر سازد، حتی اگر بتوانیم نیروهای زلزله را کاملاً دقیق برآورد کرده و با صرف هزینه‌های زیاد، احتمال آسیب دیدن از زلزله را به صفر نزدیک کنیم، تعداد کمی ساختمان خواهیم داشت که همه امکانات را بلعیده‌اند و این با منطق زندگی اجتماعی و امکانات موجود هماهنگی ندارد. حال که به ضرورت مقاوم‌سازی پرداخته شد این سؤال مطرح می‌شود که اساساً چه ساختمان‌هایی نیاز به مقاوم‌سازی دارند و مقاوم‌سازی وظیفه چه کسانی است؟

پاسخ به این سؤال از دو دیدگاه علمی و عملی قابل تأمل است. از دیدگاه علمی تمام ساختمان‌هایی که بر اساس اصول وضوابط حال حاضر آیین نامه‌های طراحی ساختمان‌ها اجرا نشده‌اند نیاز به مقاوم‌سازی دارند، که خود دو دسته‌اند

۱) آن‌هایی که قبل از تدوین آیین‌نامه‌های مربوط طراحی و اجرا شده‌اند و در زمان اجرای آن‌ها آیین نامه‌ها و مقررات مورد نیاز در کشور وجود نداشت
۲) آن‌هایی که در سال‌های اخیر ساخته‌شده‌اند اما متأسفانه به دلیل قصور کارفرمایان و عدم اطلاع آن‌ها از اصول ساخت‌وساز، دست مهندسان متعهد را از کار کوتاه کرده (می‌کنند) و به همین دلیل مسائل فنی لازم رعایت نمی‌شود و یا به دلیل عدم دسترسی به مصالح و دانش فنی مناسب (در روستاها و مناطق دورافتاده) امکان رعایت اصول فنی وجود ندارد. از دیدگاه عملی، امکان مقاوم‌سازی تمام این‌گونه ساختمان‌ها به لحاظ زمان، هزینه و راه‌کار اجرایی وجود ندارد، چرا که به این ترتیب تقریباً باید تمام کشور را دوباره ساخت. بنابراین باید مقاوم‌سازی را محدودتر کرد.

۱-۱۵ اهمیت مقاوم‌سازی سازه‌های بنایی

به طور بدیهی، هیچ چیز در جهان ابدی نیست و عمر مفیدی دارد که طی آن در اثر مرور زمان یا علل دیگر فروپایگی پیدا کرده و بالاخره غیر قابل استفاده می‌شود. ساخته‌های دست بشر از جمله ساختمان‌ها، مصالح و فرآورده‌های ساختمانی هم از این قاعده مستثنی نیستند. عمر مفید ساختمان‌ها به عوامل مختلفی از جمله کیفیت طرح، کیفیت اجرا (که خود تابع کیفیت مصالح و کیفیت کاربرد آن‌هاست)، کیفیت رویارویی با شرایط محیطی، کیفیت بهره برداری و بالاخره کیفیت نگهداری بستگی دارد. هر چند با طراحی خوب و مناسب با شرایط محیطی، با اجرای خوب و بهره برداری و نگهداری صحیح می‌توان پدیدار شدن فرسودگی را به تأخیر انداخت و عمر مفید را طولانی‌تر کرد، ولی در نهایت ازعوارض پیری و فرسودگی گریزی نیست. به عبارت دیگر نمی‌توان چیزی ساخت که فرسودگی پیدا نکند ولی می‌توان با رعایت نکات فنی سرعت و دامنه فرسودگی را کاهش داد.

امروزه موضوع مقاوم‌سازی سازه‌های بنایی، بافت‌های تاریخی و فرسوده در ایران به موضوع چالش برانگیز و محلی برای مناقشه در بین تصمیم‌گیران حوزه‌های مختلف بدل گشته است. از آن‌جا که سازه‌های بنایی و بناهای تاریخی به عنوان یک میراث معماری به سبب جنبه‌های اقتصادی و فرهنگی یکی از ابعاد کلیدی برای جوامع مدرن محسوب می‌شوند و در هزاره سوم، علاوه بر سوابق تاریخی، صنعت گردشگری یک صنعت اصلی می‌باشد، بنابراین وجود بناهای تاریخی که از سازه بنایی ساخته شده‌اند می‌تواند به عنوان یکی از مهم‌ترین جاذبه اصلی شهرها یا کشورها در جذب توریست به حساب آید[۱۰].

در طی دهه‌های گذشته، تعدادی از بناهای مسکونی و قدیمی با ارزش تاریخی، مانند ارگ بم در ایران و بسیاری از سازه‌های بنایی، توسط زلزله آسیب دیده‌اند و یا کاملاً تخریب شده‌اند. از آن‌جا که

زلزله به عنوان یک عامل زیست محیطی همواره به‌عنوان بزرگترین تهدید کننده این سازه‌ها بوده است، موضوع مقاوم‌سازی سازه‌های بنایی در این زمینه حائز اهمیت می‌شود. علی‌رقم آن‌که دانش تعمیر و بازسازی این سازه‌ها دانشی قدیمی می‌باشد، اما تلفیق دو شاخه دانش و تجربه در زمینه مقاوم‌سازی و بازسازی، سازه‌های ساخته شده از مصالح بنایی و خشتی، موضوعی نوین در مقاوم‌سازی سازه‌های بنایی در ایران و سایر کشورها می‌باشد.

۱-۱۶ مقاوم‌سازی دیوارهای آجری موجود

مقاوم‌سازی در کل، موضوعی پیچیده است و در بعضی از حالات بسیار مشکل است و می‌تواند هزینه آن بیشتر از هزینه تخریب و دوباره‌سازی ساختمان باشد. ولی به این نکته مهم باید توجه داشت که تقویت ساختمان‌های آجری می‌تواند سبب گردد که به‌جای گسیختگی کلی، ساختمان حداکثر دچار خرابی موضعی شده و لذا از میزان تلفات جانی به‌شدت کاسته گردد. از نکات مهم در مقاوم‌سازی آن است که فقط دیوارهای باربر محیطی را نباید در نظر گرفت و تقویت نمود، بلکه ساختمان به گونه‌ای باید مقاوم‌سازی شود که در زمان بروز زلزله، هیچ بخشی از آن تخریب نگردد. به بیان دیگر تقویت یک ساختمان بنایی باید به‌صورت همه جانبه در نظر گرفته شود و نوع روشی که برای مقاوم‌سازی مورداستفاده قرار می‌گیرد وابسته به پرداخت هزینه‌های مختلف بوده و اجرای آن نیز می‌بایستی توجیه اقتصادی داشته باشد. از جمله این هزینه‌ها سن ساختمان مورد نظر بوده و این‌که آیا پس از گذشت زمان، مشخصات مهندسی مصالح کاهش‌یافته است یا خیر؟ آیا در نحوه کاربری ساختمان تغییراتی صورت پذیرفته است؟ آیا پس از ساخت ساختمان، اندازه بازشوها تغییر یافته یا بازشوهای جدیدی ایجاد شده‌اند؟ و در نهایت آن‌که تسلط و تجربه نقشی کلیدی در انتخاب نوع روش تقویت دارد. در کلیه روش‌های مقاوم‌سازی ساختمان‌ها، افزایش مقاومت دیوارهای جانبی هدف اولیه هست

زیرا این دیوارها عموماً در برابر بارهای ثقلی از خود مقاومت نشان می‌دهند و در برابر بارهای جانبی به علت عدم داشتن خاصیت شکل‌پذیری مناسب، مقاومت چندانی ندارند.

در حال حاضر مقاوم‌سازی به شیوه‌های مختلفی صورت می‌گیرد از جمله: مقاوم‌سازی با FRP، کلاف‌های بتنی مسلح، بادبند فلزی، شبکه فولادی به همراه بتن پاششی و غیره .

۱-۱۷ روش‌های مقاوم‌سازی لرزه ای دیوارهای بنایی

۱-۱۷-۱ استفاده از شاتکریت روی دیوار

از روش‌های موجود برای مقاوم‌سازی ساختمان‌های بنایی غیرمسلح پوشش دادن دیوار و یا پایه‌ها با شاتکریت می‌باشد. روش کار به‌این صورت است که پوشش بتن بر روی شبکه آرماتورهای موجود پاشیده می‌شود. در این روش اگر طراحی به درستی صورت پذیرد، فولادهای استفاده شده برای مسلح‌سازی ظرفیت بالایی از جذب انرژی را به ساختمان‌های بنایی غیرمسلح اضافه می‌نماید. باید توجه نمود که حداقل آرماتورهای شبکه همان میزان آرماتور افت وحرارت جهت کنترل ترک باشد[۱۷].

برای این‌که دیوار و بتن پاشیده شده مانند یک جسم مرکب عمل کنند باید اتصالات برشی میان آن‌دو تعبیه شود شکل (۱-۱۲). برای پر نمودن سوراخ‌هایی که برای ثابت نگه داشتن اتصالات برشی نیز می‌توان از اپوکسی و یا گروت سیمانی استفاده نمود. ضخامت پوشش بتن پاشیده نیز با توجه به میزان لرزه‌خیزی منطقه متفاوت است که حداقل ۶۰ میلی‌متر می‌باشد. جهت ایجاد چسبندگی لازم میان آجر و پوشش شاتکریت باید ابتدا آجر را به حالت اشباع با سطح خشک درآورد تا آب موجود در شاتکریت را جذب نکرده و سبب ایجاد ترک در بتن پاشیده شده نشود. و سپس لایه‌ای مانند اپوکسی

را برروی آجر پاشیده و بعد از آن بتن پاشیده شده را بر روی اپوکسی شوت نماییم. اگر بتن پاشی به طریقه بالا صورت پذیرد می‌توان مقدار بار نهایی ساختمان‌های بنایی غیرمسلح را افزایش داد.

شکل (۱-۱۲) دیوار تقویت شده با شاتکریت [۶]

۱-۱۷-۲ استفاده از کامپوزیت‌های پایه پلیمری

امروزه از نوارهای FRP، به‌دلیل مزایای بی‌شمار مثل سبک بودن و بالا بودن مقاومت نسبت به وزن، مدول الاستیسته بالا، مقاومت بالا در کشش و برش، مقاومت در برابر رطوبت و شرایط محیطی (عدم زنگ‌زدگی و پوسیدگی) انعطاف‌پذیری بالا، دوام و پایداری بالا و غیره در تقویت دیوار با مصالح بنایی استفاده می‌شود. اکثر دیوارهای آجری غیرمسلح تحمل نیروهای رفت و برگشتی را ندارند و عمدتا" برای بار ثقلی و گرانشی طراحی شده‌اند و قادر به تحمل نیروی برش داخل صفحه و خمش خارج از صفحه نمی‌باشند. مقاومت خمشی دیوارهای بنایی غیرمسلح بستگی به مقاومت کششی ملات آن دارد و چسباندن ورقه FRP به سطح بیرونی دیوار برای تحمل نیروی کششی به همراه مقاومت فشاری آجر تاثیر به‌سزایی در افزایش مقاومت خمشی دارد شکل (۱-۱۳).

شکل (۱-۱۳) دیوار تقویت شده با FRP [۶]

۱-۱۷-۳ پر کردن بازشوها

یک روش ساده برای مقاوم‌سازی در صفحه یک دیوار بنایی پرکردن بخشی و یا تمام پنجره‌ها یا درهای غیرضروری می‌باشد. این عمل از تمرکز تنش که در گوشه‌های بازشوها تولید می‌شود و سبب ایجاد ترک است جلوگیری می‌نماید و هم‌چنین باعث افزایش سختی جانبی دیوار می‌شود. نکته مهم در پر کردن بازشوها این است که قسمت‌های پر شده با قسمت‌های موجود به شکل در هم‌تنیده اجرا شود و یا نوعی از اتصالات برشی بین آن دو تعبیه شود. این عمل باعث ایجاد عملکرد واحد دیوارهای موجود با بازشوهای پرشده می گردد.

۱-۱۷-۴ افزایش بارهای قائم

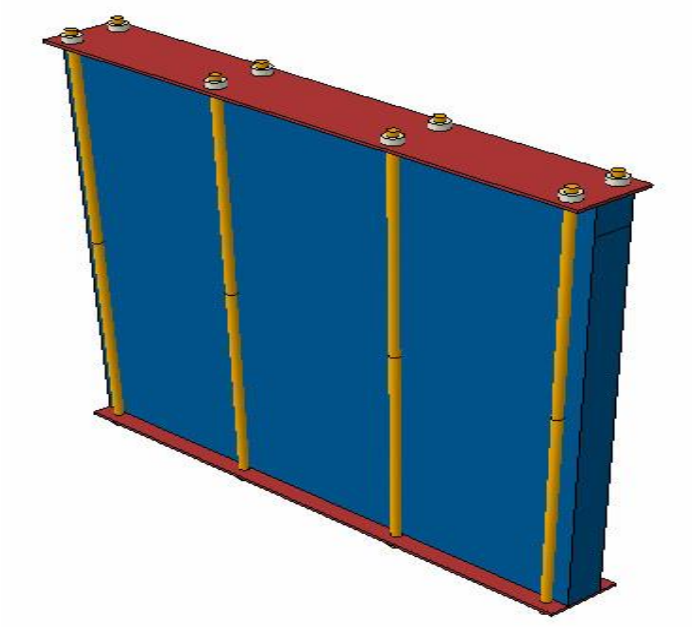
افزودن بارهای قائم به ساختمان‌های بنایی غیرمسلح معمولا" عملکرد دیوار را تحت بارهای داخل و خارج از صفحه بهبود می‌بخشد. بارهای قائم در کنار هم نگه‌داشتن ماتریس بنایی کمک می‌کند و هم‌چنین بعد از وقوع ترک سبب تولید نیروهای اصطکاکی بیشتری می‌شود. در این روش، مقاوم‌سازی می‌تواند به سادگی و با افزودن وزن سازه انجام شود و یا با اجرای میله و یا کابل‌های پیش‌تنیده، تنش قائم بر روی اجزای دیوار اعمال کرد. البته این روش باید به دقت انجام گیرد زیرا به‌مانند نیروهای قائم تنش‌ها روی ساختمان‌های بنایی غیرمسلح افزایش می‌یابد و می‌تواند به گسیختگی شکننده ناشی از خردشدگی منجر شود. هم‌چنین طراح باید افت کشش ناشی از خزش و انقباض مصالح بنایی را در محاسبات وارد نماید.

۱-۱۷-۵ افزودن هسته‌های مرکزی

یک هسته تثبیت شده به‌وسیله گروت می‌تواند به یک دیوار ساختمان بنایی غیرمسلح اضافه شود تا رفتار آن‌را به یک دیوار مسلح تغییر دهد. گروت باید پیوستگی کافی را میان عناصر تقویتی و مصالح بنایی موجود ایجاد کند تا بتواند نیروی زلزله را منتقل کند. مشخصات مقاومتی و مدول گروت باید با مصالح بنایی موجود سازگار باشد. فولادهای اضافه شده به مقدار زیادی شکل‌پذیری دیوارهای برشی را اضافه می‌نماید.

۱-۱۷-۶ مقاوم‌سازی توسط میل‌گردهای پیش‌تنیده

پیش‌تنیدگی در دیوار به دو صورت عمودی و افقی قابل اجرا می‌باشد. همان‌طور که می‌دانیم برای یک دیوار حالت‌های شکست خمشی و برشی محتمل است. حال اگر این دیوار را از بالا سوراخ کرده و یا یک فضایی برای میل‌گرد مشخص کرده و میل‌گردها را تا محل پی فرو ببریم و سپس در مرحله بعد دوغاب را داخل فضای خالی بوجود آمده قرار دهیم جلو شکست خمشی را گرفته‌ایم اما هنوز شکست برشی امکان پذیر است حال اگر در بالای دیوار کلاف بتنی، تیر فلزی و یا پلیت فلزی قرار دهیم مانند شکل(۱-۱۴) و میل‌گردها را از داخل آن عبور داده و سپس پیش‌تنیده کنیم تنش قائم را افزایش داده‌ایم. با پیش‌تنیدگی می‌توان جلو شکست برشی را گرفت. فشاری که در جهت افقی توسط کابل یا آرماتور پیش تنیده ایجاد می‌شود می‌تواند علاوه بر این که مقاومت برشی دیوار را بالا ببرد باعث تقویت اتصالات قائم شود. راحت‌ترین روش برای ایجاد پیش‌تنیدگی افقی در دیوارها قرار دادن دو میل‌گرد افقی با مقاومت زیاد به‌صورت موازی با یکدیگر در دو لبه دیوار و کشیدن آن‌ها توسط جک انجام می‌شود، سپس با مهره‌های مخصوص آن‌ها را روی ورق های فولادی ثابت می‌کنیم. پیش‌بینی می‌شود با این روش مقاوم‌سازی، پایداری دیوارها افزایش می‌یابد و هم‌چنین مقاومت در برابر کمانش‌های برون صفحه ای نیز افزایش می‌یابد.



شکل (۱-۱۴) دیوار پیش تنیده

۱-۱۸ مروری بر پیش‌تنیدگی در سازه‌های بنایی

پرایستلی و تائو اولین افرادی بودند که مکانیزم سازه‌های پیش‌تنیده نامحدود را آزمایش کردند. ریکلز و همکاران نیز عملکرد مشخص رفتار فولادهای پیش‌تنیده را بررسی کردند[۲۱]. مطالعه پیش‌تنش توسط ماندر و همکاران و پرکاسی به پیشرفت سازه‌های پل گسترده شد. پیج و هویزر، آزمون‌هایی روی سه دیوار انجام دادند. هدف آن‌ها مقایسه عملکرد بین دیوارهای بنایی تقویت شده و پیش‌تنیده با بارگذاری یکنواخت تحت بار درون صفحه بود[۴۵]. در نهایت، تحقیق آن‌ها ثابت کرد که پیش‌تنیدگی، ظرفیت باربری جانبی و سختی برشی را افزایش می‌دهد. پیترلارسن و جیسون اینگام، آزمایشی روی عملکرد دیوارهای بنایی پیش‌تنیده تحت بارگذاری استاتیکی انجام دادند. تحقیق آن‌ها شامل هشت دیوار با ابعاد، دوغاب و نیروی پیش‌تنیدگی متفاوت بود. آن‌ها نتیجه‌گیری کردند که دیوار آن‌ها، رفتار کشسان نسبتا" خطی در واکنش به بار لرزه‌ای نشان می‌دهد که اتلاف انرژی حداقل است. مکانیزم لغزش نیز ارائه شده است. نتیجه‌گیری اصلی برای طراحی لرزه‌ای این است که دیوارها

بعد از تسلیم میله‌های کششی پیش‌تنیده، بدون تغییر باقی می‌مانند. سری بعدی آزمون‌های لارسن، تاثیرصفحات محدود کننده از جنس فولاد نرم معمولی است. همان‌طورکه انتظار می‌رفت، صفحات محدود کننده و روش‌های مقاوم‌سازی با آرماتور، تغییرشکل های جانبی مجاز را بهبود بخشیدند در حالی‌که از آسیب به بخش های پاشنه و پنجه دیوار جلوگیری به عمل آمد.

۱-۱۹ شیوه پیش‌تنیدگی

میل‌گردهای پیش‌تنیده باید نیروی کشیدگی را به کلاف زیر دیوار منتقل سازند. لذا باید داخل این کلاف قلاب شوند. آیین نامه ۲۸۰۰ حداقل ۶ سانتی‌متر را برای فضای میل‌گرد قائم توصیه می‌کند. استفاده از بلوک یا آجرهای تو خالی سهولت خاصی برای استقرار میل‌گردهای قائم ایجاد می‌کند. دیوارهای ساختمان‌های بنایی توسط نرم‌افزارهای مرتبط از قبیل Abaqus مدل شده و توسط پیش‌تنیدگی مقاوم‌سازی می‌شوند. استفاده از حالت پیشنهادی ظرفیت باربری و مدهای خرابی مطالعه و راجع به تاثیر مقاوم‌سازی توسط پیش تنیدگی نتایج مربوطه ارائه خواهد شد.

۱-۲۰ هدف تحقیق

اهداف اولیه تحقیق عبارتند از: ۱) ایجاد درک رفتار سازه‌های بنایی آجری پیش‌تنیده ۲) ایجاد روش‌های آنالیز و طراحی مناسب برای اجرا توسط مهندسانی که استفاده از بنای پیش‌تنیده که طراحی سازه‌ها را تسهیل می‌کند. برای رسیدن به این اهداف، باید مجهولات مشخصی را بررسی کرد. درکی از رابطه جابه‌جایی نیرو را باید به دست آورد. کرنش بین دیوار بنایی پیش‌تنیده و پی ارائه شود.

علاوه بر مشاهده کرنش در دیوار، درک تاثیری که بازشو بر عملکرد دیوارهای بنایی آجری پیش‌تنیده می‌گذارد بسیار مهم است. بازشو در دیوارهای بنایی، پنجره یا در، تراکم دیوار بنایی پیش‌تنیده را کم می‌کند. تراکم و تخریب آن به‌وسیله بازشو، بعدا"در این پایان نامه بررسی می‌شود. هدف نهایی شامل جمع آوری داده‌ها درباره عملکرد دینامیکی دیوارهای بنایی آجری پیش تنیده است. که شامل پیش بینی عملکرد دیوار با استفاده از رابطه جابه جایی- نیرو و طیف واکنش جابه جایی مرتبط به یک زلزله خاص است.

۱-۲۱ روش‌های تحقیق

باید روش‌های تحقیق مختلفی برای بررسی رفتار دیوارهای بنایی آجری پیش‌تنیده استفاده شود. مطالعات آزمایشی و تحلیلی انجام و با جزئیات بیان شده اند: آزمایش حرکت رفت و برگشتی دینامیکی دیوارهای بنایی آجری پیش‌تنیده انجام شده را مورد بررسی قرار می‌دهیم. آزمایش اعمال باررفت و برگشتی روی دیوارهای پیش تنیده با و بدون بازشو اجرا می‌شود. آزمایش انجام شده جهت صحت سنجی در این پایان نامه مورد بررسی قرار می‌گیرد. مدل‌سازی و پیش‌بینی رفتار دیوارهای بنایی آجری پیش‌تنیده با استفاده از برنامه اجزای محدود آباکوس مدل می‌گردد. در این پایان نامه ابتدا سعی می‌شود تا با ارائه یک شیوه تحلیلی، رفتار دیوار بنایی مسلح تقویت‌شده به این روش مورد ارزیابی قرار گیرد. سپس با توجه به نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام‌شده، رفتار برشی دیوارهای تقویت‌شده با میل‌گردهای پیش‌تنیده که تا سطوح مختلفی پیش‌تنیده شده‌اند، مورد بررسی قرار می‌گیرد و به‌خصوص درباره‌ی رفتار این دیوارها و مقایسه این نتایج با رفتار نمونه‌ی تقویت‌شده غیر پیش‌تنیده و نمونه مبنا (تقویت نشده)، بحث می‌شود به این منظور نمونه‌هایی در مقیاس واقعی ساخته شدند و تحت یک بار رفت و برگشتی چرخه‌ای درون صفحه با افزایش قرار می‌گیرند. دیوار بر روی فونداسیون بتن مستحکم ساخته شد که بر روی کف مستحکم ثابت گردیده است .

۱-۲۲ روند انجام پایان نامه

در این پایان نامه ابتدا نتایج آزمایشگاهی مندرج در[۱۱] مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته و سپس با استفاده از روش اجزاء محدود و توسط نرم افزار Abaqus رفتار داخل صفحه دیوار، مدل‌سازی و رفتار لرزه‌ای آن‌ها از جمله تاثیر بازشوها مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. پس از فصل اول که در خصوص معرفی دیوارهای بنایی و شیوه‌های مقاوم سازی بحث شد، در فصل دوم، مروری بر مطالعات انجام شده در رابطه با ساختمان‌های آجری در سطح دنیا و کشور به عمل آمده و به توضیح خصوصیات مصالح بنایی می پردازیم و سپس در آخر این فصل در خصوص پیش‌تنیدگی و مدل کامپیوتری توضیحاتی ارائه می‌شود. در فصل سوم نمونه آزمایشگاهی مورد صحت سنجی قرار می‌گیرد، در فصل چهارم مراحل مدل کردن یک دیوار بنایی با و بدون بازشو تشریح شده است. در این فصل مشخصات مصالح ونحوه اتصال دیوار و میل‌گردها به هم و مراحل مدل‌سازی، نحوه آنالیز مدل‌ها و نتایج تحلیل آنها بیان شده است. در فصل پنجم نتایج حاصله از آزمایش و تحلیل دیوار خلاصه شده و پیشنهادهایی در مورد طراحی و اجرای سازه‌ها از این نوع ارائه گردیده است.

فصل دوم

روش های مدل‌سازی دیوار بنایی

توسط

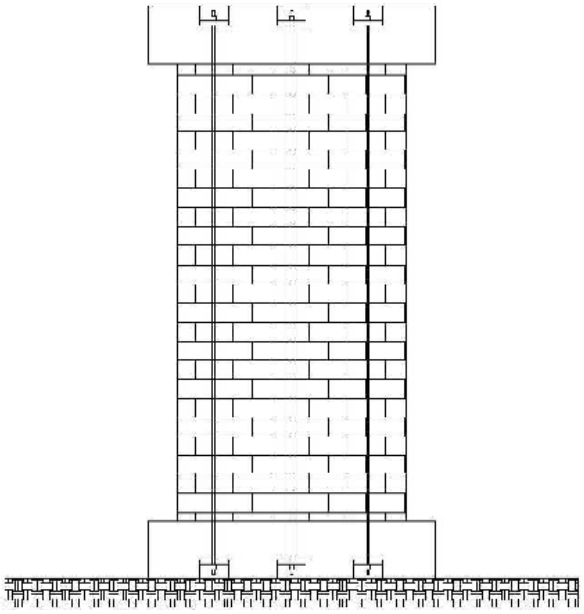
پیش‌تنیدگی

۲-۱ مقدمه

ساخت آجر به سال‌های باستان و کهن می‌رسد. پیدایش و مصرف آجر از هزاران سال قبل بوده است. در دوره‌های باستان در کناره‌های رودخانه‌های دجله و فرات پس از هر طغیان گل و لای بر سطح زمین رسوب می‌کرده و این رسوبات با چسبندگی خود، در اثر تابش خورشید آب خود را از دست داده و از گِل خشک به‌صورت مکعب‌های نامنظم پدیدار می‌گشته، که از این گِل به علت چسبندگی زیاد به‌عنوان ملات جهت دیوارهای گِلی در آن روزگار استفاده‌شده است. پیدایش ساختمان‌های آجری در ایران را می‌توان از اواسط هزاره اول قبل از میلاد در بنای چغار زنبیل در هفت‌تپه خوزستان دانست. علاوه بر اسکلت‌سازی این بنای آجری در سرداب‌های این معبد وجود آجر در دیوار سازی و طاق‌های سهمی شکل که به عرض دهانه ۴ متر و ارتفاع حدود ۳ متر و طول ۱۰ متر کاربرد داشته که تا به امروز به یادگار مانده است[۱۵]. با توجه به این‌که در دهه‌های اخیر چندین زلزله بزرگ و مخرب در کشور روی‌داده است و تلفات و خسارات سنگینی وارد شده است، می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به موقعیت ایران از نظر لرزه‌خیزی ساختمان‌هایی با مصالح بنایی غیرمسلح در زلزله‌های گذشته عملکرد خوبی از خود نشان نداده‌اند، از طرفی دیگر بخش عمده‌ای از ساختمان‌ها با مصالح بنایی ساخته می‌شود. در کشورهای در حال توسعه نظیر ایران که حداقل هزینه ساخت مورد توجه است از این الگوی ساخت بیشتر استفاده می‌شود. سکونت بخش وسیعی از مردم در این خانه‌های کم دوام به ترکیبی از عوامل اقتصادی، فرهنگی و اجتماعی باز می‌گردد، اما باید توجه داشت که استفاده از در دسترس‌ترین مصالح و ساده‌ترین روش‌ها برای خانه‌سازی در جوامع کم‌درآمد هست. اگرچه نحوه پایدار کردن این ساختمان‌ها در برابر بارهای قائم، بر اساس تجربه به‌دست آمده در طی سال‌های متمادی هنوز استوار هستند ولی در برابر حرکات ناشی از زمین لرزه، اغلب به‌دلیل فقدان دانش و آگاهی خراب و خسارت زیادی متوجه این ساختمان‌ها می‌گردد. بیشتر آجرهای امروزی از جنس خاک رُس هستند. هرچند که در مناطق زیادی نیز استفاده از آجرهای سیلیکات کلسیم (ماسه

آهکی) مرسوم و به‌صرفه هست. در بین آجرها مرسوم‌ترین نوع آجر فشاری هست که با بهره‌گیری از خاک رُس نرم ساخته می‌شود. آجر رسی یکی از رایج‌ترین مواد ساخت به‌کار رفته در سراسر جهان است. سازه های آجری هزاران سال قدمت دارند.

ما به دنبال مقاوم‌سازی این دیوارها هستیم. آجر رسی را می‌توان به‌عنوان یکی از اجزای اصلی سازه‌های بنایی دانست. دیوارهای آجری معمولا" از یک تیغه با حفره ای که در داخل آن قرار دارد ساخته می شود. تیغه به صورت طولی تقویت و دوغاب ریزی می شوند. البته این دیوارهای تقویت شده، عملکرد بهتری نسبت به دیوار تقویت نشده نشان می‌دهند، اما هنوز عملکرد خوبی در زمان زلزله نشان نمی‌دهند. جدیدترین شیوه ساخت دیوار بنایی مسلح، تعویض فولاد طولی با فولاد پیش تنیده است[۱۱]. تحقیقات نشان داده است که دیوارهایی با فولاد پیش تنیده، ظرفیت مناسبی برای استفاده در برابر بار جانبی دارند. هدف ما این است که نشان دهیم دیوار آجری پیش تنیده را می‌توان به عنوان سازه ای مناسب در مناطق لرزه خیز استفاده کرد.



شکل (۲-۱) دیوار بنایی پیش تنیده [۱۱]

۲-۲ بیان هدف

دیوارهای بنایی پیش‌تنیده، مفهوم طراحی نسبتا" جدیدی است. اگر بتوانیم ثابت کنیم این دیوارها رفتار مناسبی در مناطق زلزله خیز دارند در آینده دیوارهای آجری پیش‌تنیده یکی از مناسب‌ترین روش‌های ساخت خواهد بود.

سازه‌های بنایی، مزایای زیادی در طول زمان داشته و دارند همان‌طور که در فصل قبل ذکر شد

۱) سازه‌های بنایی از نظر زیبا شناختی جالب و دلنشین هستند
۲) سازه های بنایی غیرقابل احتراق هستند. چوب را می‌توان با مواد شیمیایی تقویت کرد تا در برابر آتش مقاوم شوند، ولی در نهایت می‌سوزند. فولاد نیز غیرقابل احتراق است اما از گرمای بسیار ایجاد شده با آتش نرم می‌شود. محصولات بنایی بیشترین درجه محافظت در برابر آتش را دارند.

هدف این پایان نامه، ایجاد اطلاعات بیشتر درباره عملکرد دیوارهای بنایی پیش‌تنیده و رفتار مناسب آن‌ها برای استفاده در سیستم ساختاری مناطق لرزه خیز است.

۲-۳ واحد مصالح بنایی

یکی از اجزای اصلی تشکیل دهنده دیوار مصالح بنایی، شامل آجر یا بلوک را واحد مصالح بنایی می‌نامند.

۲-۴ مشخصات مصالح بنایی

مشخصات مصالح و اجزای به‌کار رفته در ساختمان مطابق ضوابط آیین‌نامه ۳۷۶ استخراج می‌باشد[۵۰]. مشخصات مورد انتظار مصالح بنایی، متوسط مقادیر به‌دست آمده از آزمایش‌های انجام شده می‌باشد و کرانه پایین مشخصات مصالح بنایی نیز از متوسط منهای یک انحراف معیار مقادیر آزمایش‌ها تعیین می‌شود [۱۲]. مشخصات اسمی مصالح بنایی، یا به‌عبارتی مقادیر استفاده شده در اسناد و مدارک ساخت وساز نیز، به‌عنوان کرانه پایین مشخصات مصالح در نظر گرفته می‌شود. هم‌چنین، می‌توان مشخصات مورد انتظار را از مقادیر کرانه پایین، به‌دست آورد. در این‌صورت برای به‌دست آوردن مقادیر مقاومت مورد انتظار، مقادیر کرانه پایین باید در ضریبی که در جدول زیر آورده شده است، ضرب شود.

خصوصیت	ضریب
مقاومت فشاری	**۱/۲**
مدول الاستیسیته در فشار	--
مقاومت کششی	**۱/۲**
مقاومت برشی	**۱/۲**

جدول (۲-۱) ضرایب کرانه پایین مشخصات به مشخصات مورد نظر

۲-۴-۱ مقاومت فشاری مصالح بنایی (f_{me})

سه روش برای اندازه‌گیری مقاومت فشاری مورد انتظار مصالح بنایی وجود دارد که دو روش آن به‌صورت انجام آزمایش بر روی منشورهایی است که از دیوار مصالح بنایی بیرون کشیده شده و به آزمایشگاه منتقل می‌شوند. روش سوم به صورت درجا و با قرار دادن یک جک مسطح در دیوار مصالح بنایی موجود، انجام می‌شود. در روش اول، به منشورهای نمونه برداری شده از دیوار بنایی موجود، فشار وارد کرده و آن‌قدر تنش فشاری قائم را افزایش می‌دهند تا به اوج مقاومت برسد. منشور مورد آزمایش، بایستی شرایط زیر را داشته باشد

۱) دارای حداقل ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر باشد
۲) نسبت ارتفاع به ضخامت آن، بیشتر از ۲ باشد
۳) حداقل دارای سه ردیف واحد بنایی باشد.

مزیت این روش، انجام آزمایش در شرایط کنترل شده آزمایشگاهی و اندازه‌گیری کرنش برای تعیین مدول الاستیسیته است. از معایب این روش، کاهش مقاومت فشاری منشور در هنگام بیرون کشیدن از دیوار و محدود بودن تعداد نمونه ها، به علت هزینه بالای نمونه‌برداری و سپس پرکردن محل آن است. در روش دوم، نمونه‌های آزمایشگاهی با استفاده از الگوی منشورهایی که از دیوار بیرون کشیده شده است، شبیه‌سازی می‌شود، برای شبیه‌سازی نسبت اختلاط و ساخت ملات برای نمونه‌های آزمایشگاهی، از آنالیز شیمیایی استفاده می‌شود. مزیت این روش، همان مزیت روش اول است و از معایب آن این است که آثار دما، رطوبت و خزش را نمی‌توان شبیه‌سازی کرد.

در روش سوم، شکافی در محل ملات دیوار بنایی ایجاد می‌شود. با قرارگیری جک مسطح هیدرولیکی در شکاف، فشار لازم وارد می‌شود، تا قسمت مورد نظر از دیوار بنایی در معرض تنش قائم قرار گیرد. این فشار تا آن‌جا افزایش پیدا می‌کند که فاصله نقاط بالا و پایین شکاف (که به وسیله گیج

نصب شده، اندازه گرفته می‌شود)، کاهش یابد. مزیت این روش، اندازه‌گیری مقاومت به صورت درجا و همچنین، غیرمخرب بودن آن است. عیب این روش آن است که انواعی از جک‌های مسطح، قادر به رسیدن به فشارهای بالا نیستند. در هرحال، مقادیر پیش فرض کرانه پایین مقاومت فشاری، نباید از $۶۰ kg/cm^2$ تجاوز کند[۲۹].

۲-۴-۲ مدول الاستیسیته مصالح بنایی در فشار(E_{me})

مدول الاستیسیته مصالح بنایی در فشار به دو روش تعیین می‌شود. در روش اول، منشورهایی از دیوار موجود بیرون آورده و به آزمایشگاه منتقل می‌شود و آزمایش‌هایی مشابه آزمایش مقاومت فشاری که شرح داده شد، بر روی آن ها انجام می شود[۱۲]. تنها این تفاوت وجود دارد که در آزمایشگاه، گیجی برای ثبت تغییرشکل‌ها قرار داده می‌شود، تا بتوان کرنش‌ها را ثبت و مدول الاستیسیته را محاسبه کرد.

در روش دوم، که به‌صورت درجا انجام می‌شود، دو شکاف به فاصله چهار تا شش ردیف از المان‌های بنایی در قسمت ملات دیوار ایجاد می‌شود و سپس با قراردادن جک‌های مسطح هیدرولیکی در شکاف‌ها فشار لازم اعمال می‌شود تا قسمت مورد نظر از دیوار در معرض تنش قائم قرار گیرد. مقدار فشار اعمالی توسط جک‌ها، در این آزمایش تا کمتر از نصف مقاومت مصالح، کافی است. تغییرشکل، به وسیله گیج‌ها اندازه‌گیری می‌شود و کرنش از تقسیم این تغییر شکل بر فاصله بین گیج‌ها به دست می‌آید.

$$E_{me} = 550\, f_{me}$$

۲-۴-۳ مقاومت مشخصه دیوار با مصالح بنایی

مقاومت فشاری و خردشدگی در دیوارهای ساخته شده با مصالح بنایی بستگی به عوامل ذیل دارد

۱) مقاومت فشاری و خردشدگی مصالح بنایی

۲) ترکیب ملات مورد استفاده و سن آن.

ملات‌های مختلف در کیفیت و مقاومت دیوار نقش مهمی را دارا می‌باشند. در کل، این موارد بر پایه مواد اصلی مانند سیمان یا ملات آهکی، ملات ترکیب سیمان و آهک، ترکیب آهک و پوزولان یا ملات آهک هیدورلیکی تعریف می‌شوند. ملات گل نیز در برخی نقاط کشور مخصوصاً در مناطق روستایی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳) ضخامت کم در مقابل ارتفاع

کاهش ضخامت در مقابل افزایش ارتفاع و طول دیوار باعث افزایش لاغری دیوار گردیده که این افزایش لاغری باعث کاهش مقاومت دیوار خواهد شد. افزایش مقدار خروج از مرکزیت بار محوری دیوار با کاهش مقاومت همراه خواهد بود. مساحت بازشوها در دیوار و بزرگ بودن مقدار بازشو با کاهش مقاومت همراه خواهد بود. مقاومت کششی و برشی مصالح بنایی عمدتاً بستگی به چسبندگی و اصطکاک سطحی در سطح تماس بین مصالح بنایی و ملات دارد و در کل می‌توان گفت مقدار این مقاومت درصد کوچکی از مقاومت فشاری است. هر چه مقدار نسبت سیمان یا آهک ملات بیشتر شود، درصد مقاومت کششی و برشی آن نیز افزایش خواهد یافت.

۲-۴-۴ سختی دیوار برشی بنایی

از آن‌جا که پهنای دیوار آجری کم و بیش مساوی ارتفاع دیوار و حتی گاهی بیشتر است، لذا نمی‌توان جابه‌جایی جانبی دیوار را صرفا" ناشی از خمش دانست، بلکه برش می‌تواند سهم زیادی داشته باشد.

۲-۴-۵ مدول ارتجاعی و برشی دیوار مصالح بنایی

به‌خصوصیات و سختی واحد بنایی(در کنار ترکیب با ملات) بستگی دارد. در آجرکاری با وزن مخصوص معادل kg/m^3 ۱۹۰۰ و یا سنگ کاری با وزن مخصوص برابر kg/m^3 ۲۴۰۰ با ملات ماسه سیمان (نسبت ۶ به۱) مقدار Mpa ۲۰۰۰ می‌توان در نظرگرفت [۱۲]. مقدار مدول ارتجاعی و برشی، قابلیت تغییر شکل‌پذیری مصالح را تعیین می‌کند. مقادیر مدول ارتجاعی، به صورت آزمایشگاهی G ، و مدول برشی E به دست می‌آیند.

۲-۵ بررسی رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های مصالح بنایی

ضعف اساسی ساختمان‌های بنایی در مقابل زلزله، کمبود مقاومت نیست، بلکه کمبود نرمی (شکل‌پذیری) است، میزان خسارت سازه‌های نرم تا حدودی، تابع بزرگی زلزله است و در زلزله‌های بسیار مخرب با بزرگی بیش از ۷ در ناحیه‌ی مرکزی زلزله بیشترین آسیب مشاهده می‌شود و از مرکز که دور می‌شویم به‌تدریج از شدت آسیب کاسته می‌شود [۲۰]. در حالی‌که در مورد ساختمان‌های

بنایی چنین نیست و از منطقه‌ای که ساختمان‌ها کامل فرو ریخته است و ناگهان به منطقه‌ای با ساختمان‌های نسبتاً سرپا می‌رسیم.

۲-۶ انواع مدهای شکست سازه‌های مصالح بنایی

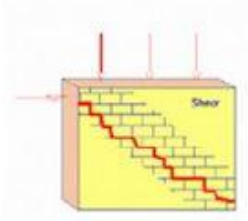
برای دیوارهای برشی یا طولی تحت نیروهای زمین لرزه دو حالت شکست خمشی و شکست برشی محتمل است. معمولاً پایه‌های پهن دچار گسیختگی برشی و پایه های باریک دچار گسیختگی خمشی می‌گردند. شکست خمشی و برشی را به‌صورت شکل (۲-۴) در دیوارهای بنایی آجری نشان می‌دهد [۱۳]. به هنگام زمین لرزه دیوار تحت نیروهای جانبی متناوب بر روی پاشنه و پنجه تلو می‌خورد. چنان‌چه مقدار نیروی زلزله از مقاومت حد الاستیک دیوار بیشتر گردد، جابه‌جایی زیاد شده و دیوار واژگون می‌گردد. اما از آن‌جایی که نیروی زلزله ماهیت رفت و برگشتی داشته و لحظه‌ای می‌باشد. واژگونی چند لحظه بیشتر طول نمی‌کشد و دیوار به سمت مقابل منحرف می‌گردد. در هر بار دیوار تا چندین سانتی‌متر از پی جدا شده و مجدداً پس از لحظه‌ای با یک ضربه‌ی محکم به پی در جهت دیگر حرکت می‌کند. این ضربات اولاً باعث خردشدن پنجه و پاشنه دیوار گشته و از عرض موثر پایه می‌کاهد. از این رو دیوار به تدریج ضعیف‌تر و ضعیف‌تر می‌گردد. ثانیاً حرکات تلوی دیوار با ضربات شدیدی همراه است که نیروهای افقی بزرگی را ایجاد می‌کنند. این نیروها که ناشی از اندازه حرکت دیوار می‌باشند به اندازه‌ای بزرگ‌اند که می‌توانند گسیختگی‌های برشی ایجاد نمایند. آزمایشاتی که بر روی دیوارهای بنایی صورت گرفته است نشان می‌دهند که بلافاصله پس از آغاز تلو خوردن پاشنه و پنجه خرد شده و دیوار دچار گسیختگی برشی می گردد. ثالثاً حرکت تلوی دیوار باعث ضعیف شدن ساختمان و کاهش دوره تناوب سازه می‌گردد، که افزایش پاسخ را به دنبال دارد. یعنی هم مقاومت سازه کم می‌شود و هم نیروهای زلزله بیشتر می‌گردد و ساختمان را بیشتر تهدید می‌نماید. بنابراین می‌توان گفت که در شکست خمشی دیوار که با تلو خوردن دیوار

همراه است پاشنه و پنجه دیوار خرد می‌گردد و در شکست برشی ترک‌های مورب ایجاد می‌شود که به دلیل عوض شدن جهت نیروی زلزله به صورت ضربدری و دو طرفه در دیوار ظاهر می‌گردد.

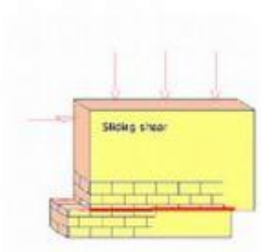
شکل (۲-۲) شکست برشی اطراف بازشو [۱۹]

شکل (۲-۳) شکست برشی در پای دیوار[۱۹]

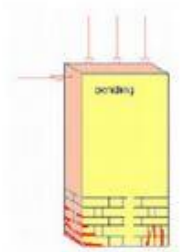
علاوه بر دیوارهای مصالح بنایی با نسبت زیاد ارتفاع به طول، دیوارهای بنایی مسلح با فولاد قائم کم نیز دچار گسیختگی خمشی می‌گردند. این در حالتی است که دیوار دچار گسیختگی کرنش تار فشاری زیاد و جاری شدن میل‌گردهای کششی شده است.



الف



ب



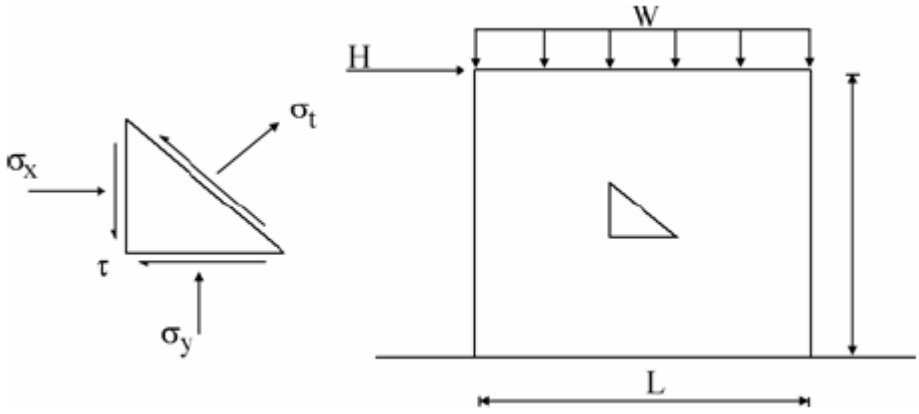
ج

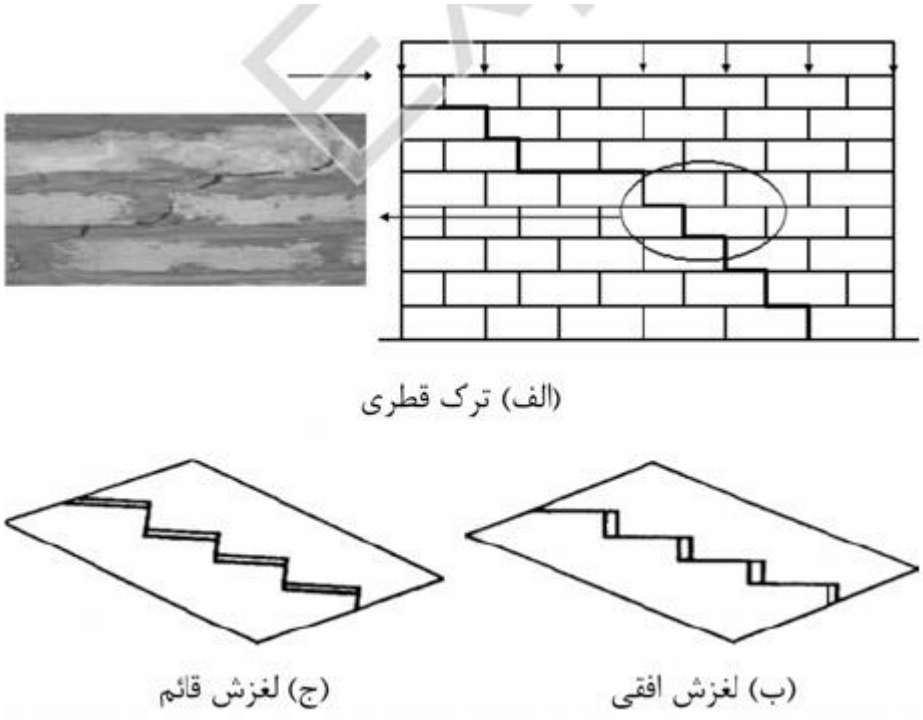
شکل (۲-۴) الف) شکست برشی، ب) شکست برشی-لغزشی، ج) شکست خمشی

۲-۶-۱ شکست داخل صفحه

۲-۶-۱-۱ شکست برشی

درصورتی‌که دیوار تحت بار قائم زیاد و نسبت ارتفاع به طول دیوار کمتر از واحد باشد، مطابق شکل (۲-۴ الف) مود شکست برشی رخ می‌دهد. هم‌چنین اگر نسبت ارتفاع به طول بزرگ‌تر از واحد (تقریباً برابر ۲) و مقدار بار قائم بسیار سنگین باشد، باز هم امکان شکست برشی وجود دارد [۲۵]. بررسی لغزش قائم ناشی از شکست برشی پایه‌های باریک هنگامی که یک دیوار برشی تحت اثر هم‌زمان نیروی افقی و قائم قرار می‌گیرد ، وضعیت تنش‌ها در داخل اجزای دیوار مطابق شکل (۲-۵) خواهد بود. ملاحظه می‌شود که سه سطح شکست بالقوه وجود دارد: سطح مایل، سطح افقی و سطح قائم.





شکل (۲-۵) انواع لغزش ها در دیوار

۲-۶-۱-۲ شکست برشی- لغزشی[1]

درصورتی‌که مقاومت برشی دیوار، اندک و بار جانبی در مقایسه با بار قائم بزرگ باشد، شکست برشی- لغزشی رخ خواهد داد. در این حالت معمولاً نسبت ارتفاع به طول دیوار ۱/۵ به ۱ و در حدود ۱ به ۱ است. شکل (۲-۶-ب) این حالت را نشان می‌دهد[۴۱].

1 -silding-shear failure

۲-۶-۱-۳ شکست خمشی

درصورتی‌که مقاومت برشی دیوار به‌اندازه کافی و نسبت ارتفاع به طول دیوار ۲ به ۱ باشد، مطابق شکل (۲-۴-ج) شکست خمشی رخ می‌دهد. اگر مقدار بار قائم اندک باشد، در صورت کم بودن مقاومت برشی نیز شکست خمشی رخ می‌دهد.

۲-۶-۱-۴ شکست کششی

شکست روی سطح مایل از نوع کششی است و از میان خود آجرها می‌گذرد، بنابراین زمانی که تنش سطحی به حد مقاومت کششی آجرها برسد شکست آغاز می‌شود. معمولاً آجرها از مقاومت کششی نسبتاً خوبی برخوردارند و این شکست رخ نمی‌دهد، زیرا قبل از آن‌که تنش سطحی به حد مقاومت آجر نزدیک شود، لغزش برشی روی سطوح افقی یا قائم صورت می‌گیرد. در شرایطی که از آجر سوراخ‌دار و ملات بسیار قوی استفاده شود، مقاومت برشی درزهای افقی و قائم افزایش یافته، شکست روی سطح مایل اتفاق می‌افتد و از میان آجرها می‌گذرد. البته در عمل این حالت کمتر پیش می‌آید.

۲-۶-۲ شکست خارج از صفحه

۲-۶-۲-۱ شکست خمشی در راستای قائم

اگر تنش کششی منجر به شکست، موازی درزهای افقی آجرها باشد، مطابق شکل (۲-۶-الف)، ترک قائم در ارتفاع دیوار به وجود می‌آید. این شکست معمولا هنگامی رخ می‌دهد که طول دیوار بزرگ باشد.

شکل(۲-۶) مودهای شکست برون صفحه‌ای دیوار آجری

الف) شکست خمشی در راستای قائم ب) شکست خمشی در راستای افقی

۲-۶-۲-۲ شکست خمشی در راستای افقی

اگر تنش کششی منجر به شکست، عمود بر درزهای افقی آجرها باشد، مطابق شکل (۲-۶-ب)، ترک افقی در میانه دیوار به وجود می‌آید. این شکست معمولا" هنگامی رخ می‌دهد که ارتفاع دیوار بزرگ باشد.

۲-۷ سابقه پیش تنیدگی

مصری‌هادر ۵۰۰۰ سال پیش درساختن قایق‌های خود از خاصیت پیش‌تنیدگی استفاده می‌کردند. درسال ۱۸۸۸ دوهرینگ مهندس آلمانی با قرار دادن یک میله فولادی کشیده شده در داخل عضو بتنی، توانست اولین دال بتنی را بسازند. در ابتدای قرن بیستم یک مهندس فرانسوی بنام یوجین فریسینه با استفاده از برخورد منطقی با مساله، با استفاده از فولاد با مقاومت بالا توانست تکنیک پیش‌تنیدگی را با موفقیت به‌کار برد. از این زمان به بعد پیش‌تنیدگی به‌عنوان یک روش ساخت قابل قبول مورد استفاده واقع شد و امروزه در بسیاری از کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه در دسترس است.

۲-۸ تعریف پیش‌تنیدگی

پیش‌تنیدگی روشی است برای مقاوم‌سازی دیوار بنایی که توسط رشته‌های فولادی با مقاومت بالا و یا میل‌گردها انجام می‌شود. در واقع نیروی فشاری مورد نیاز در دیوار پیش تنیده توسط کشش در فولاد با مقاومت بالا تولید می‌شود، فولاد می‌تواند قبل یا بعد از بتن ریزی کشیده شود [۱۱]. چنان‌چه فولاد قبل از بتن‌ریزی کشیده شود به آن پیش‌تنیدگی و چنان‌چه فولاد بعد از بتن‌ریزی کشیده شود به آن پس‌تنیدگی گفته می‌شود. عضوهای پیش‌تنیده مقاومت نهایی المان‌ها را با جلوگیری از وقوع حالت‌های شکست پیش از موعد افزایش می‌دهد.

۲-۹ انواع روش‌های پیش‌تنیدگی

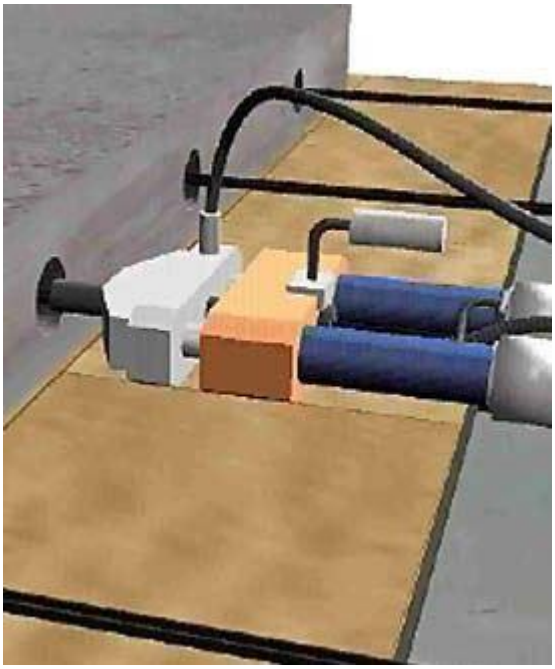
۲-۹-۱ سیستم چسبنده (Bonded)

در آن کابل‌ها داخل غلاف از طریق گروت با دیوار ارتباط پیدا می‌کند. در این سیستم‌ها دو یا چند تاندون از درون یک مجرای محافظ فلزی یا پلاستیکی عبور داده می‌شود در حالی‌که این مجرا از قبل به صورت مدفون در دیوار کار گذاشته می‌شود. تاندون‌ها توسط یک جک کششی بزرگ مهار شده و کشیده می‌شوند. سپس مجرای لوله‌های داکت توسط گروت پر می‌شود. استفاده از این گروت هم باعث محافظت از خوردگی کابل‌های فولادی می‌شود هم باعث انتقال نیروی کششی بین کابل‌ها و مجرای لوله‌های داکت شده و گیرداری طول مشخصی از کابل را در محیط اطراف موجب می‌شود. می‌توان انکرهای خاک و سنگ نیز از نوع سیستم چسبنده (گیرداری) در نظر گرفت اما با قدری تفاوت در مراحل اجرای انکرگذاری به‌طوری که به‌وسیله دستگاه حفاری سوراخ مدنظر به‌همراه یک غلاف لوله‌های غلاف جهت جلوگیری از ریزش خاک و سنگ در محل ایجاد می‌شود. این کار ممکن است در دیواره یک تونل و یا دیواره حایل و توده خاک پشت آن انجام گیرد. در درون غلاف عبور داده شده عملیات تزریق گروت آغاز می‌شود. بعد از این‌که گروت به مقاومت مدنظر رسید عملیات کشش تاندون یا کابل آغاز می‌شود. در حالت پایدارسازی زمین‌های شیبدار (ترانشه‌ها) و یا دیواره تونل‌ها استفاده از انکر گذاری باعث نگهداری خاک سست و سنگ و پیوستگی آن دو با هم می‌شود، به‌طوری که وقتی عملیات خاک‌برداری داخل آغاز می‌شود، فشار پشت توسط نیروی پیش‌تنیدگی انکر خنثی می‌شود و دیواره شیت پایل در محل خود استوار می‌ماند. در این روش چند کابل داخل یک غلاف فلزی قرار گرفته و همگی به یک مهار انتهایی ختم می‌شوند. مهارهای انتهایی در محل مناسب روی قالب نصب شده و پس از بتن‌ریزی و عملیات کشش مواد پرکننده (گروت) داخل غلاف‌ها تزریق

می‌شود. آج‌های روی جداره غلاف طوری طراحی شده‌اند تا درگیری مناسب با بتن ایجاد کنند بدین ترتیب بین کابل‌ها و بتن پیوند (Bonded) قابل قبولی ایجاد می‌شود.

۲-۹-۲ غیر چسبنده (unbounded)

بیشتر سیستم‌های غیر چسبنده به صورت تک رشته‌ای می‌باشند. یک رشته کابل یا میل‌گرد که با نوعی گریس جهت حفاظت خوردگی پوشیده می‌شود و کل مجموعه درون یک روکش پلی اتیلن قرار گرفته است. در قسمت ابتدایی نیز از یک صفحه فولادی سوراخ‌دار به همراه گوه‌هایی فولادی دو تکه استفاده می‌شود و این گوه‌ها طوری طراحی شده‌اند که کابل را درون خود محکم نگه می‌دارد. در این روش هر کابل پیش‌تنیده داخل یک غلاف پلاستیکی قرار دارد. کابل قابلیت حرکت در داخل غلاف پلاستیکی را دارد و مستقیما" توسط یک مهار نگه داشته می‌شود. پس از ساخت دیوار کابل‌ها کشیده می‌شود. در این روش نیروی فشاری از طریق مهارهای انتهایی به دیوار منتقل می‌شود و کابل در طول خود پیوند و تماس مستقیمی با دیوار ندارد. منظور از غیر چسبنده بودن، عدم تماس مستقیم فولاد کابل با دیوار به‌واسطه پوشش پلی اتیلنی آن می‌باشد. از آن‌جایی که نیازی به تامین چسبندگی بین کابل و دیوار وجود ندارد عملیات تزریق گروت در این سیستم حذف می‌شود.



شکل (۲-۷) سیستم پیش تنیده Un bonded [۱۱]

۲-۱۰ مزیت‌های پیش‌تنیدگی

۱) استفاده‌ی بهتر از قابلیت‌های مصالح مقاوم کننده

۲) ایجاد ترک‌هایی با عرض کمتر و توزیع بهتر در دیوار بنایی

۳) بار برداری از مسلح کننده‌های فولادی

۴) بالا رفتن مقدار باری که منجر به تسلیم فولادها می‌شود، که این امر را می‌توان مهم‌ترین مزیت استفاده از مصالح مقاوم کننده پیش‌تنیده دانست. نتایج این پایان نامه نشان دهنده‌ی افزایش سختی و ظرفیت باربری نهایی در نمونه‌های پیش‌تنیده نسبت به نمونه‌های غیر پیش‌تنیده می‌باشد.

۲-۱۱ مواد پیش‌تنیدگی

۱- میل‌گرد یا کابل ۲- پوشش پلاستیکی با غلاف ۳- صفحه اتصال ۴- جک هیدرولیکی.

۲-۱۲ کاربرد پیش‌تنیدگی در دیوارهای بنایی

سازه‌های غیر مسلح (URM) به دلیل حرکت زمین در زلزله‌های متوسط تا قوی زمین، آسیب‌های زیادی را تا کنون تجربه کردند. چندین تکنیک برای مقاوم‌سازی دیوارهای URM[۱] مورد بررسی قرار گرفته‌اند. پیش‌تنیدگی ناشی از کشش آرماتورها پیش از بتن‌ریزی، معیار امیدوار کننده دیگری برای مقاوم‌سازی سازه‌های URM می‌باشد[۱۴]. این پیش‌تنیدگی عمودی سبب مقاوم‌سازی اساسی در استحکام خارج از صفحه و درون‌صفحه و ترک‌خوردگی دیوارهای URM می‌شود. پیش‌تنیدگی ناشی از کشش آرماتورها در اصل سازه‌های بنایی و آثار تاریخی را تقویت و مقاوم‌سازی می‌کند. این امر به دلیل دانش و شناخت رفتار دیواهای پیش‌تنیده بنایی است. علاوه بر این، استفاده از سازه‌های بنایی پیش‌تنیده از چند سال اخیر آغازشده است [۳۲]. اخیراً، تحقیق بر روی تکنیک پیش‌تنیدگی در سازه‌های جدید بنایی واقع در نواحی زلزله‌خیز متوسط تا بالا متمرکز می‌باشد. تا به امروز، بیشتر کاربردهای سازه‌های بنایی پیش‌تنیده به دلیل سهولت ساخت و در کل ازنظر اقتصادی شامل پیش‌تنیدگی بدون اتصال بوده است. دیوار پیش‌تنیده بدون اتصال بنایی (PT-MW) رفتار تکان‌دهنده همراه با جابه‌جایی‌های بزرگ را زمانی نشان می‌دهد که در معرض بارهای جانبی قرار بگیرد. علاوه بر این، رفتار خود محوری ارائه شده توسط نیروی بازگرداننده به‌وسیله تاندون پیش‌تنیدگی، جابه‌جایی پس‌ماند (PT-MW) را کاهش می‌دهد. رفتار المان‌های مصالح بنایی به عنوان یک ماده مرکب به علت پیچیدگی رفتار و اندرکنش اجزای تشکیل دهنده آن‌ها یعنی بلوک‌ها،

۱- دیوار بنایی غیرمسلح

ملات اتصال دهنده بلوک‌ها و بازشدگی و لغزش بین بلوک‌ها و ملات بسیار پیچیده بوده و نیاز به یک بررسی جامع از رفتار مجزای این اجزا را می‌طلبد. با این حال با شناخت رفتار متوسط المان‌های مصالح بنایی و استفاده از ارتباط متوسط تنش و متوسط کرنش در مدل همگن این المان‌ها، می‌توان با یک دقت و زمان تحلیل مناسب، رفتار غیرخطی مصالح بنایی را به صورت ماده همگن و پیوسته بررسی کرد.

۲-۱۳ انواع مدل‌سازی در نرم‌افزار آباکوس

مدل‌سازی سازه‌های بنایی در نرم‌افزار اجزای محدود برای سازه‌های بنایی و مدل کردن آن‌ها به دو روش صورت می‌گیرد که آن دو روش میکرو و ماکرو می‌باشد[۳۱].

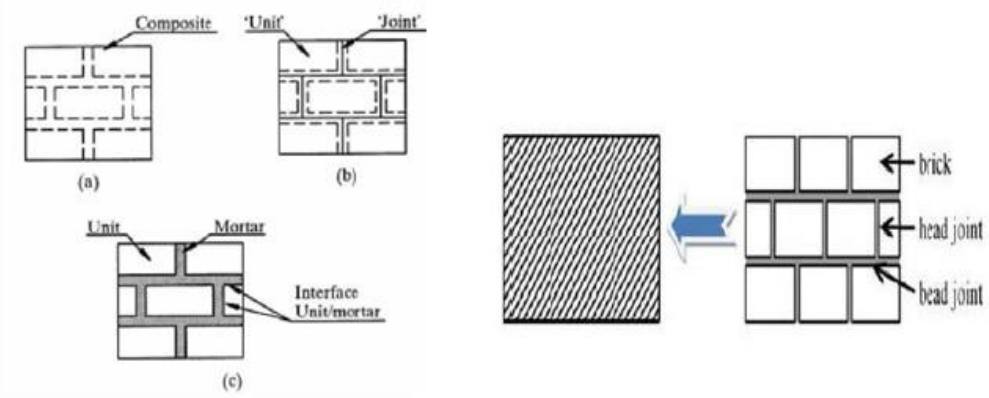
۲-۱۳-۱ مدل‌سازی میکرو

مدل‌سازی میکرو بهترین روش برای فهمیدن رفتار سازه‌های بنایی است. از فواید استفاده این روش می‌توان مدنظر قرار دادن چندین معیار شکست را عنوان نمود. در این روش مدل‌سازی، اجزای مختلف از لحاظ پتانسیل‌های ترک‌خوردگی، لغزش و یا پوسته پوسته شدن به‌صورت جداگانه مدل می‌شوند. در این مدل اغلب پارامترهای مؤثر مصالح از لحاظ جنبه‌های مدل‌سازی به صورت واضح مشخص می‌گردند. یک محدودیت جدی در این روش که نمی‌توان رد کرد، این است که این روش غیرعملی و غیر واقع بینانه برای مدل واقعی سازه بنایی که شامل مقدار زیادی اجزا و عناصر (آجر) هست، می‌باشد. در حقیقت مدل میکرو باید شامل همه انواع اساسی، خصوصیات مکانیزم های شکست باشد، ازجمله ترک‌های کششی در مفاصل، لغزش در بالا و پایین برای سطوح تنش حداکثر، ترک کششی در آجرها، ترک کششی قطری و پوسته پوسته شدن سازه. روشن است که دو حالت اول دارای ساز و کار مشابه هستند. ترک‌های کششی در آجرها مسلماً یک مکانیزم واحد را تشکیل می‌دهند و برای دو مکانیزم آخر هم آجرها و هم مفاصل درگیر می‌گردند. این‌که همه مکانیزم‌ها، در

یک مدل قرار داده شوند به یک چالش تبدیل می‌شود. یک روش شناخته‌شده، به‌عنوان مدل پیشنهاد شده که در آن همه آسیب‌ها متمرکزشده است، ولی برای جداسازی اتصالات یا مفصل‌ها نسبتاً ضعیف است. این مفاصل تداخلی برای این که یک معیار تسلیم مناسب باشد باید شامل همه‌ی مکانیزم‌های نام برده بالا به‌جز ترک کششی تک محوری باشد[۴۲]. این کار توسط لورنسو که در گذشته برای مدل‌های انجام شده، اثر کشش و برش در مکانیزم‌های شکست در مفاصل به خوبی مدل شده بود، توسعه داده شده است.

۲-۱۳-۲ مدل‌سازی ماکرو

با توجه به این‌که در تعریف سازه‌های بنایی به کمک مدل میکرو، وجود تعداد زیاد آجرها در یک مقطع از سازه، بررسی نحوه قرار گرفتن آن‌ها در میان ملات‌ها باعث بالا رفتن درصد اشتباه، برای ایجاد پیوستگی در میان تمام اجزا در مدل می‌گردد، برای کاهش مقدار این خطا برای همگن‌سازی دیوار بنایی غیرمسلح از روش‌های ماکرو کمک گرفته می‌شود. روش مدل‌سازی ماکرو نیازمند به یک ماده همگن به‌عنوان جایگزین آجرها و ملات در یک مقطع از سازه است. ماده همگن معادل می‌تواند ایزوتروپیک یا ارتوتروپیک باشد. باید به این نکته توجه داشت که مشخصات مکانیکی مصالح نسبت به تعاریف مختلف دارای مقادیر مختلفی هستند، مثلا" با توجه به‌نحوه قرارگیری آجرها و درزهای افقی و قائم ملات در دیوار موجب می‌شود، تا سختی مصالح دیوار در امتدادهای مختلف متفاوت باشد [۴۰].



شکل (۲-۸) مدل‌سازی میکرو و ماکرو

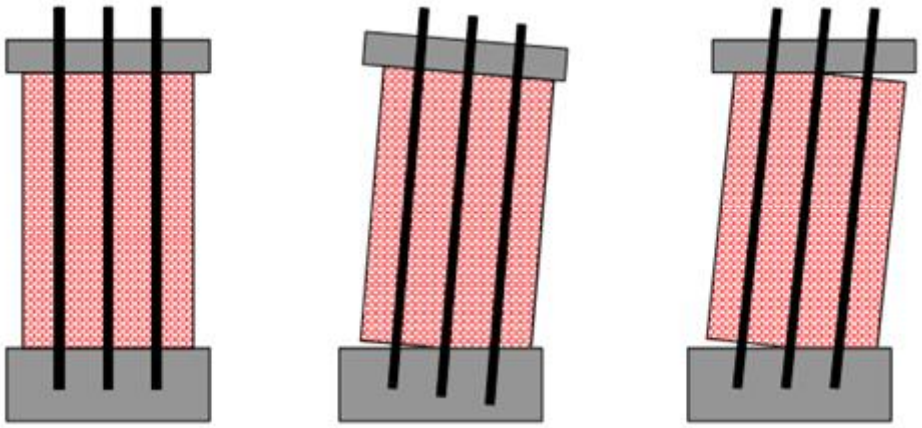
۲-۱۴ فلسفه مدل‌سازی

در تحلیل سازه‌های بنایی، تعداد زیادی از بندها و ردیف‌ها مشاهده می‌شود، که این اجزا توسط مدل ماکرو و با کمک تعریف رابطه میانگین تنش‌ها وکرنش‌ها در آن‌ها، می‌توان به مدل‌سازی پرداخت. یا به نوعی می‌توان گفت با مشخص کردن یک رابطه میان اجزا، سعی در کاهش پارامترهای مدل‌سازی و سریع‌تر کردن روند اجرای برنامه می‌باشد[۲۷]. در این حالت اگر مصالح (آجر وملات) ایزوتروپیک هم باشند، با توجه به هندسه قرارگیری مصالح رفتار میان آن‌ها غیر ایزوتروپیک است. در مدل‌سازی سازه‌های بنایی در مقیاس ماکرو، به یک مدل پلاستیسیته غیر ایزوتروپیک که از نظر عددی بسیار دقیق باشد، نیاز است. درحالی‌که اغلب مدل‌های پلاستیسیته غیر ایزوتروپیک برای تئوری‌های حقیقی و نظریه‌های آزمایشگاهی کاربرد دارد و تنها تعداد کمی از این مدل‌ها برای شرایط عددی بسیار دقیق مناسب است. پس روشن است که به دست آوردن شرایط مناسب برای مدل بسیار مشکل است و اصلا" شگفت‌آور نیست که تعداد کمی از مدل‌ها برای این شرایط و آزمایشات مناسب باشد. وجود نقطه منفرد در سطح تسلیم، به‌عنوان نقطه اوج در معیار دراکر– پراگر و نقطه کناری در معیار موهر- کلمب و نقطه ای درسطح واقع در میان جدارها برای معیار گسیختگی تعریف می‌شود،

که هر کدام از این‌ها دارای یک چالش است. این مشکلات بیشتر برای مدل غیرایزوتروپیک نمایان می‌شوند، در حالی‌که ساده سازی محاسبات نیز برای این مدل‌ها بسیار سخت است. آنالیز دقیق سازه‌های بنایی توسط مدل‌سازی ماکرو نیازمند به مشخص کردن وضعیت تمام تنش‌ها برای مصالح می‌باشد. این آنالیز هنگامی که نتایج آزمایشگاهی به صورت جامع در دسترس نباشد، باعث ایجاد مشکل می‌گردد، زیرا برای تعریف یک رابطه که رفتار مصالح غیر الاستیک و غیر ایزوتروپیک را مشخص کند، به این داده‌ها نیازمند هستیم. در این مورد از دو روش برای مدل‌سازی در روش ماکرو می‌توان استفاده کرد. در روش اول رفتار مصالح را با یک معیار مشخص می‌شود که معیار تسلیم هوفمان نام دارد. اگرچه این معیار تسلیم واحد بسیار انعطاف پذیر و محبوب برای استفاده است، ولی متاسفانه در چندین تحقیق انجام شده نتایج حاصل از آن با نتایج آزمایشگاهی مطابقت کافی را ندارد. برای توصیف دقیق رفتار غیر الاستیک در یک سطح مناسب، داده‌های آزمایشگاهی می‌توانند با توجه به نقش به‌هم آمیخته سخت شدگی و نرم شدگی منجر به پیچیدگی بیش از حد شناخت سطح تسلیم گردند. با توجه به این اطلاعات این روش یک روش عملی نیست. روش دوم توسعه و بسط فرمول‌های قدیمی که برای مصالح نیمه ترد ایزوتروپیک که به منظور رفتارشناسی ارتوتروپیک آن‌ها است، می‌باشد. در این روش، معیارهای غیر الاستیک مختلفی برای کشش و فشار استفاده می‌شود. به‌عنوان پیش فرض، دو مکانیزم شکست در آن واحد می‌توانند برای این حالت مفید باشد، فرض اول به بررسی شکست‌های موجود در محل (ترک های کششی) و فرض دیگر به پردازش شکست‌های توزیع شده (ترک‌های موضعی) می‌پردازد.

۲-۱۵ شیوه مدل‌سازی پیش‌تنیده

مفهوم پیش‌تنیدگی جدا، برای مقاومت لرزه‌ای ابتدا توسط پرایستلی پیشنهاد شد و بعد در ساخت دیوارهای بنایی گسترش یافت. دیوارهای بنایی آجر رسی قدیمی از دو تیغه ساخته شده، اطراف میله های تقویت گسترده از پی با حفره مرکزی پر شده با دوغاب ساخته می‌شوند. دیوار به‌وسیله پیچش تغییر شکل می‌دهد، تنش‌های کششی در میله‌های تقویت کننده، ترک‌ها را در طول ارتفاع دیواره بنایی توزیع می‌کند. در مقابل، دیوارهای بنایی آجر رسی پیش‌تنیده جدا در اطراف مجراها ساخته می‌شوند که مانع اتصال دوغاب به میله‌های پیش‌تنیده می‌شوند. میله‌های پیش‌تنیده، قرار گرفته در مجراها، به پی متصل و از بالای دیوار تنیده می‌شوند. دیوار بنایی آجر رسی پیش‌تنیده جدا با حرکت در جهت فصل مشترک دیوار تا پی تغییر شکل می‌دهد مانند (شکل ۲-۹)، که آسیب محدود به مناطق پاشنه و پنجه دیوار است.



شکل (۲-۹) تغییرشکل جنبشی در سیستم‌های پیش‌تنیده جدا

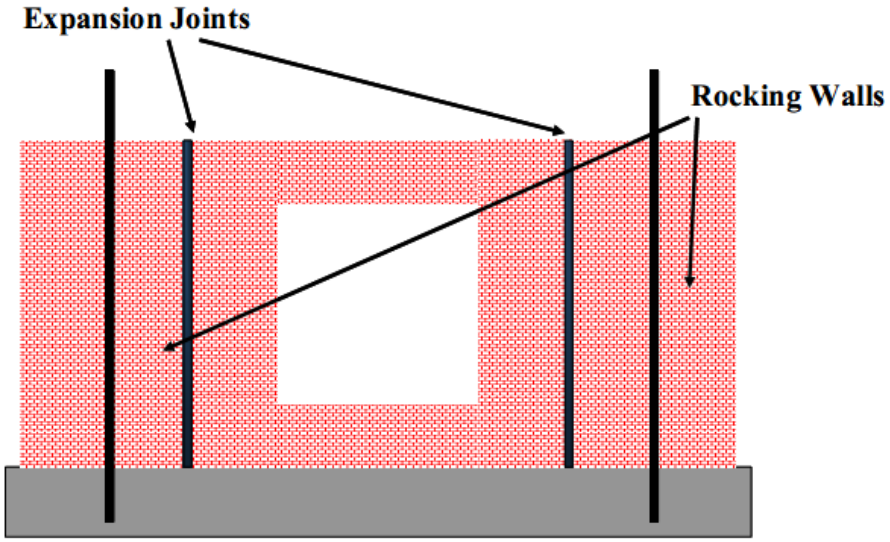
دیوارهای بنایی پیش‌تنیده جدا دو مزیت اصلی بر دیوارهای بنایی تقویت شده قدیمی دارد: ۱- به‌جای پیچش با جنبش تغییر شکل می‌دهند. ۲- خود اصلاح هستند. بنابراین ترک‌های برشی و

پیچشی مشاهده شده در دیوارهای قدیمی وجود ندارند و در نتیجه، دیوارها در تغییر شکل‌های جانبی بزرگ بدون آسیب باقی می‌مانند. بعد از بارگذاری جانبی شدید، مانند زمین لرزه یا طوفان، دیوارهای بنایی پیش‌تنیده جدا با طراحی مناسب، تغییرشکل ندارند.

یک روش مناسب برای حفظ انسجام دیوارهای بنایی پیش‌تنیده جدا با وجود بازشوها وجود دارد. تفکیک دیوارها به‌صورت عمودی، روش تفکیک برای تقسیم دیوار بنایی پیش‌تنیده جدا با بازشوها در یک بخش به کار می‌رود. این‌کار با استفاده از اتصالات سخت انجام می‌شود. بازشو باید همیشه با استفاده از روش‌های تفکیک انجام شود. در سطوح با تغییر شکل جانبی خیلی کم، دیوارهای بنایی پیش‌تنیده جدا با بازشو کوچک و دیوار مشابه بدون بازشو رفتار یکسانی دارند.

۲-۱۵-۱ تفکیک عمودی

تفکیک عمودی، مانند شکل (۲-۱۰)، از اتصالات عمودی برای تفکیک دیوار به قسمت های مختاف استفاده می‌شود. دو طرف بازشو رفتاری شبیه به یک ستون دارند که هر طرف به صورت مجزا تحلیل می‌شود یا این‌که از محل وسط بازشو دیوار را نصف کرده و مدل‌سازی را برای نصف دیوار بنایی انجام می‌دهند.



شکل (۲-۱۰) تفکیک عمودی دیوار

۲-۱۶ مدل‌سازی مصالح بنایی

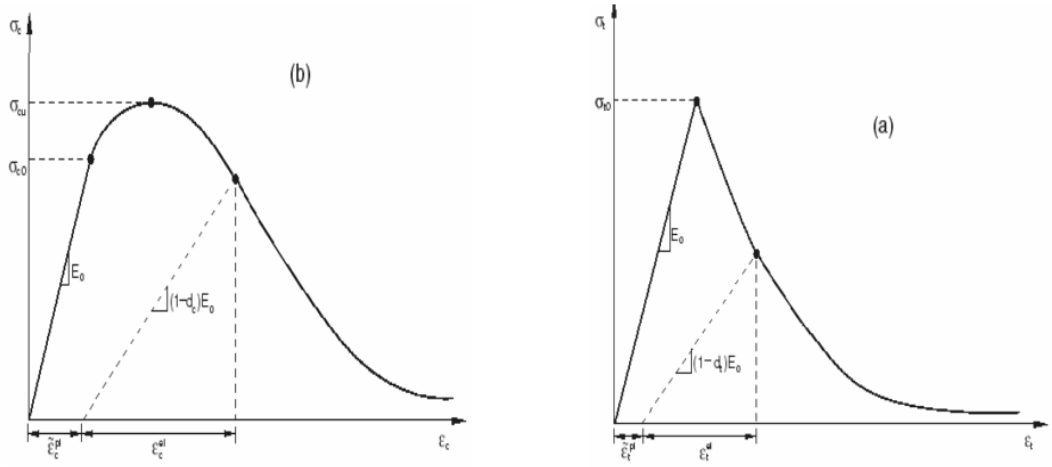
برای مدل‌سازی دیوارهای بنایی ساده و تقویت شده موجود در آزمایش موجود در پایان نامه، لازم است شرایط حاکم بر آزمایش شبیه‌سازی گردد. لذا در این بخش به ارائه مشخصات مکانیکی، روابط تنش و کرنش در بارگذاری‌های فشاری و کششی، خواص بر هم کنش اجزای مدل و اعمال شرایط مرزی و بارگذاری در نرم‌افزار آباکوس اختصاص داده شده است.

۲-۱۷ مشخصات مکانیکی مدل نمونه آزمایشگاهی

دیوارهای موجود در آزمایش به‌صورت همگن (مدل ماکرو) و ایزوتروپ در نرم‌افزار آباکوس مدل گردیده‌اند. مقاطع دیوار و میل‌گردها به‌ترتیب به‌صورت جسم توپر و محوری معرفی شده و دارای قابلیت شکل‌پذیری می‌باشند. مشخصات مکانیکی ارائه شده به نرم‌افزار از مشخصات مکانیکی آجر و ملات به‌کار رفته در ساخت دیوارهای تحت آزمایش به‌دست آمده است. متاسفانه کتاب‌خانه مصالح نرم‌افزار گزینه‌ای برای معرفی مصالح بنایی ندارد اما گزینه‌ای برای تعریف خصوصیات بتن وجود دارد

که قابلیت مدل‌سازی سازه‌های بنایی را دارد. جهت تعریف مصالح دیوار از گزینه بتن آسیب دیده پلاستیک[1] استفاده شده که این روش یک مدل آسیب دیده پیوسته و قابل استفاده برای بتن و سایر مصالح ترد و شکننده تحت تاثیر بارگذاری یکنواخت و رفت و برگشتی می‌باشد، که با توجه به نوع دیوار انتخابی و شرایط بارگذاری در این پایان نامه گزینه مناسبی می‌باشد. در مدل مذکور فرض می‌گردد که پاسخ به کشش و فشار تک محوره به وسیله معیار خرابی پلاستیک کنترل می‌شود که در شکل نشان داده شده است. در اثر کشش تک محوره منحنی تنش-کشش تا نقطه تنش خرابی به صورت خطی تغییر می‌کند که این تنش با شروع وگسترش ترک‌های ریز در بتن مقارن می‌باشد. پس از عبور، از نقطه مذکور، خرابی‌ها به صورت ترک‌های قابل مشاهده در می‌آیند که به صورت منحنی نرم شدگی در فضای تنش- کرنش نمایش داده می‌شوند. تحت فشار تک محوره، پاسخ سازه تا رسیدن به نقطه جاری شدن به صورت الاستیک خواهد بود و در ناحیه پلاستیک رفتار عموماً به‌وسیله منحنی سخت شدگی بیان می‌شود که در نهایت با رسیدن به نقطه تنش‌نهایی منحنی‌ها به‌صورت منحنی نرم‌شدگی در می‌آیند. این مدل معرفی شده با وجود سادگی نسبی، خصوصیات اصلی بتن را ارضا می‌کند.

1- Concrete Damage Plasticity



شکل (۲-۱۱) نمودار برای مدل بتن آسیب دیده

۲-۱۸ خواص برهم کنش مدل دیوارهای بنایی

جهت تعیین خواص بر هم کنش بین اجزای مدل (پایه بتنی، بدنه دیوار و میل‌گرد ها) دو نوع تعامل تعریف می‌شود. یک قید برای معرفی نوع سطوح تماس بین لبه‌های دیوار با پایه بتنی و دومین قید برای تعیین سطوح تماس میل‌گرد با دیوار بنایی می‌باشد. با توجه به این‌که مدول الاستیسیته دیوار از مدول الاستیسیته پایه بتنی و لایه کمتر است، لذا دیوار به عنوان سطح پیرو و پایه بتنی و میل‌گرد به عنوان سطح پایه انتخاب می‌شوند. برای محدود کردن حرکت نسبی میان اجزا، از قید گره‌ای جهت اتصال استفاده شده است و برای جاسازی میل‌گرد درون دیوار از قید جاسازی استفاده شده است.

۲-۱۹ روش تحلیل دیوار بنایی

از میان روش‌های گوناگون تحلیل دیوارهای بنایی، روش تحلیلی به‌کار گرفته شده در این تحقیق تحلیل غیر خطی (ABAQUS/Explicit) می‌باشد. اخیرا" این مورد استفاده شده و نتایج قابل قبولی به دنبال داشته است و در برخی دستورالعمل‌ها مانند FEMA273 مجاز شمرده شده است.

۲-۲۰ بارگذاری و اعمال شرایط مرزی مدل دیوارهای بنایی

از آن‌جا که در یک ساختمان آجری، در هنگام وقوع زلزله، نیروی اینرسی ناشی از زلزله که در سقف‌ها تولید می‌شود به نقاط بالای دیوارهای ساختمان انتقال می‌یابد، جهت شبیه سازی بهتر اثر زلزله [۱۶]، نیروی جانبی به تیر بالای دیوار اعمال می‌شود. بارگذاری در نرم‌افزار به‌صورت بارگذاری سیکلی رفت و برگشتی (کنترل شده توسط تغییر شکل) می‌باشد ضمن این‌که بار فشاری نیز بر روی سطح تیر بتنی بالای دیوار وارد شده است. برای تعریف دامنه نوسان بارگذاری دوره‌ای جانبی از گزینه (Amplitude) استفاده شده است.

فصل سوم

صحت سنجی نرم‌افزار آباکوس با مدل‌سازی

یک نمونه دیوار آزمایشگاهی

۳-۱ مقدمه

ساختمان‌های مصالح بنایی یکی از قدیمی‌ترین سیستم‌های سازه‌ای هستند که از گذشته‌های دور تاکنون رایج بوده‌اند. از این جهت فعالیت‌های آزمایشگاهی متنوعی جهت بررسی رفتار این ساختمان‌ها انجام شده است. فعالیت‌های آزمایشگاهی از آزمایش آجرکاری در ابعاد کوچک تا آزمایش یک ساختمان آجری، تحت انواع مختلف بارگذاری توسط محققین مختلف انجام شده است.

اما اخیراً مدل‌سازی عددی ساختمان‌های آجری غیرمسلح، موضوعی است که نظر محققین مختلف را به خود جلب کرده است. وجود ساختمان‌های مصالح بنایی متعدد به‌جا مانده از گذشته و یا وجود بناهای تاریخی با ارزش با اشکال معماری متنوع و پیچیده، باعث شده است که برای بررسی رفتار این‌گونه سازه‌ها در زلزله، از مدل‌سازی عددی این ساختمان‌ها استفاده شود. جهت مدل‌سازی ساختمان‌های آجری می‌بایست اجزای اصلی سازه‌ای این ساختمان‌ها که در رفتار آن‌ها موثر می‌باشد، شناسایی شده و رفتار آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد. از این رو مدل‌سازی دیوارهای آجری به عنوان اصلی‌ترین عناصر باربر در این ساختمان‌ها که هم نقش باربری ثقلی و هم نقش باربری جانبی در زلزله به عنوان دیوار برشی را دارا هستند، بسیار مهم به نظر می‌رسد.

محققین بسیاری به ارائه روش‌هایی برای مدل‌سازی دیوارهای آجری به شیوه‌های مختلف پرداخته‌اند. به دلیل پیچیدگی مدل‌سازی این‌گونه ساختمان‌ها، مدل‌های ارائه شده دارای محدودیت‌هایی هستند که کاربر با توجه به نیاز خود از هر کدام از روش‌های موجود استفاده می‌کند.

Page در سال ۱۹۷۸ از اولین کسانی بود که به مدل‌سازی عددی دیوار آجری تحت ترکیب نیروهای درون صفحه به صورت مدل‌سازی میکرو پرداخت. در مدل وی آجرها رفتار کاملاً خطی دارند و رفتار غیرخطی دیوار ناشی از رفتار درزهای ملات در نظر گرفته شده است. وی از معیار زوال مور-کلمب جهت مدل‌سازی درزهای ملات استفاده کرد. P.Lotfi و B.Shing نیز در سال ۱۹۹۴ به

مدل‌سازی دیوارهای آجری به روش میکرو پرداختند [۴۴]. B.Lourenco و G.Rots در سال ۱۹۹۶ به ارائه المان تماسی جهت مدل‌سازی دیوارهای آجری به روش مدل‌سازی میکرو پرداختند. معیار زوال حاکم در بر درزهای ملات در این روش مدل‌سازی، ترکیبی از معیار زوال مور-کولمب با معیار حداکثر مقاومت کششی می‌باشد. علاوه بر آن یک المان تماسی داخلی برای آجر جهت مدل‌سازی شکست کششی و برشی در واحدهای بنایی استفاده شده است [۴۵].

K.Chaimoon و همکارانش در سال ۲۰۰۷ نیز با استفاده از همین روش به مدل‌سازی دیوارهای برشی آجری پرداختند. تعدادی دیگر از محققین نیز از نرم‌افزارهای موجود جهت مدل‌سازی دیوارهای آجری استفاده کرده‌اند. از جمله این فعالیت‌ها، مدل‌سازی به شیوه ماکرو در نرم‌افزار آباکوس توسط Gobor می‌باشد. هم‌چنین تعداد دیگر نیز به مدل‌سازی ماکرو ساختمان‌های آجری در ابعاد بزرگ در نرم‌افزارهایی چون Abaqus و Ansys پرداختند [۴۷].

در این پایان نامه جهت مدل‌سازی از نرم افزار آباکوس[1] برای تحلیل به روش اجزا محدود استفاده می‌شود. در این قسمت ابتدا یک نمونه عملی که بر روی آن تحت شرایط مشخص، آزمایش انجام شده است، با نرم‌افزار مدل گردیده و میزان تطابق آن با نتایج بدست آمده مورد بررسی قرار گرفته است. سپس در فصل بعد سازه اصلی که دیوار پیش‌تنیده دارای بازشو است مدل شده و نتایج آن با یک دیوار تقویت نشده مقایسه شده است.

1-Abaqus

۳-۲ ویژگی‌های نمونه مورد آزمایش

یک نمونه دیوار آجری به طول ۱۲۲ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۱۴ سانتی‌متر و ضخامت ۳۰ سانتی‌متر تهیه شده است. آجرهای مورد استفاده برای ساخت این دیوار با سطح خشک بوده و جهت ساخت ملات نیز از ماسه ریزدانه، با دانه‌بندی قرار گرفته در محدوده استاندارد ASTM استفاده شده است.

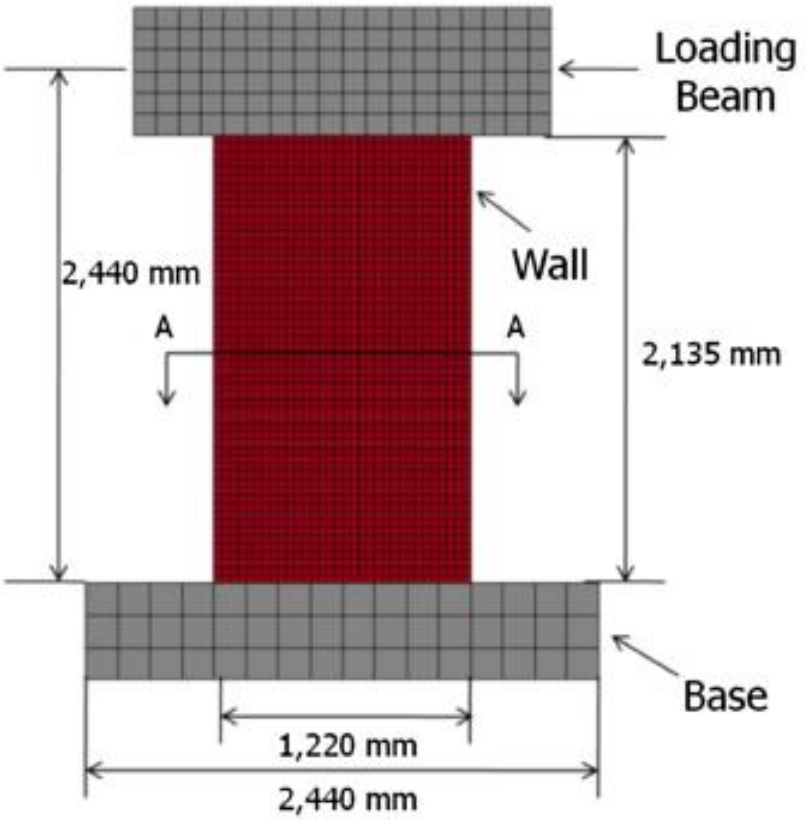
۳-۳ عملیات صحت سنجی با استفاده از نمونه آزمایشگاهی

۳-۳-۱ مدل‌سازی آزمایشگاهی دیوار آجری

آقایان Kowalsky و Rosenboom [۴۱] بر روی یک دیوار آجری با مشخصات طول 122 و ضخامت 30 و ارتفاع ۲۱۴ سانتی‌متر و نیرو پیش تنیدگی333 KN آزمایش انجام دادند که اتصال میل‌گردهای پیش‌تنیده با دیوار به‌صورت Unbonded است (اتصال بین میل‌گرد و دیوار نداریم یعنی فضای خالی با یک ماده پر کننده پر می‌شود). برای کنترل صحت مدل‌سازی با آباکوس، این مدل به‌صورت عددی مطالعه و با نتایج حاصل مقایسه شده است. در این آزمایش یک دیوار که مد نظر بوده، مدل شده و مورد مطالعه قرار گرفته است. حالتی که برای این مدل‌سازی در نظر می‌گیریم، دیوار آجری است که چسبندگی برشی و کششی مناسب بین سطوح آجر و ملات قابل توجه بوده و شکست و ترک برشی هم از آجر و هم از ملات عبور می‌کند و تقریبا" هیچ گونه لغزشی بین سطوح آجر و ملات ایجاد نمی‌شود. به عبارتی دیوار آجری در این حالت یک‌پارچه و یک دست عمل می‌کند. با توجه به این که موضوع مورد بررسی در این پایان نامه جزو سازه‌های بنایی می‌باشد و یکی از بارزترین خصوصیات این بناها مقاومت بسیار کم ملات می‌باشد. لذا با این شرایط عملیات صحت سنجی را برای این دیوار انجام می‌دهیم.

۳-۳-۲ مدل‌سازی کامپیوتری دیوار بنایی

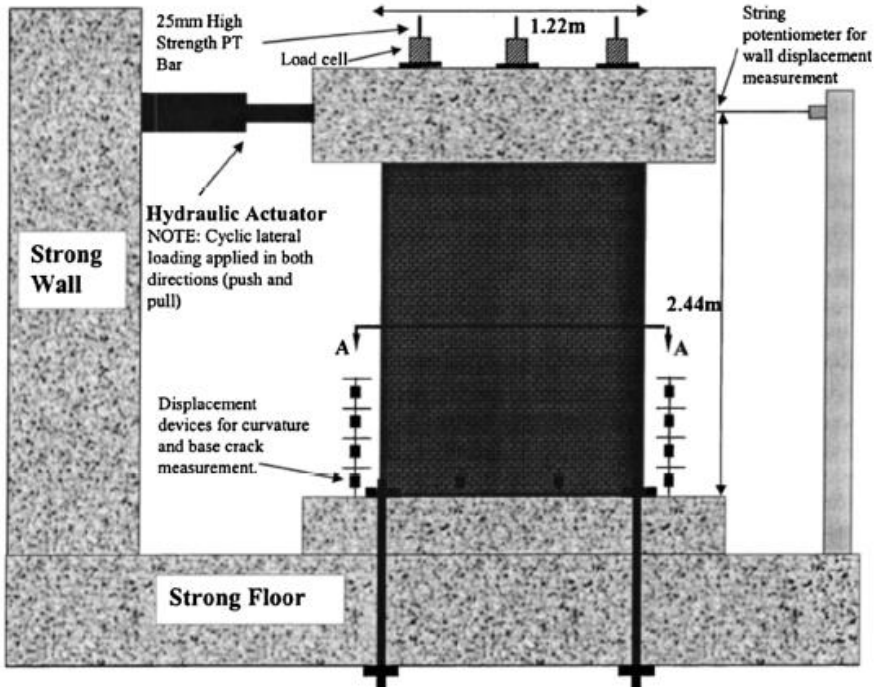
مدلی که در این پایان نامه استفاده شده مدل دیوار بنایی ماکرو می‌باشد [۲۸]. در این مدل جهت سبک‌تر شدن عملیات تحلیل مجموعه آجر و ملات‌ها به‌صورت یک بلوک در نظر گرفته شده. از آن‌جا که فرض شده است که ترک از آجرها عبور می‌کند رفتار آجرهای بنایی به صورت الاستیک و پلاستیک می‌باشد که شکست در بلوک‌های معادل اتفاق می‌افتد.



شکل (۳-۱) مدل آزمایشگاهی[۱۱]

۳-۴ سیستم و نحوه انجام آزمایش درون صفحه

سیستم انجام آزمایش در شکل زیر نشان داده شده است. اجزا اصلی این سیستم عبارتند از قاب یا دیوار عکس‌العمل، کف مقاوم و جک هیدرولیکی افقی. بارگذاری از طریق یک جک هیدرولیکی به تیر افقی بتنی اعمال می‌شود. بعلاوه به این تیر بتنی بار قائم نیز اثر می‌کند. دیوار تحت اثر این بارگذاری دارای رفتار برشی است. آزمایش نیز به‌صورت دینامیکی انجام می‌شود. هم‌چنین در هر مرحله از بارگذاری تغییر شکل‌های نمونه با استفاده از چند جابه‌جایی سنج نصب شده بر روی دیوار ثبت می‌شود. بارگذاری تا شکست کامل نمونه ادامه یافته و در نهایت منحنی‌های نیرو-جابه‌جایی نمونه حاصل می‌شود.



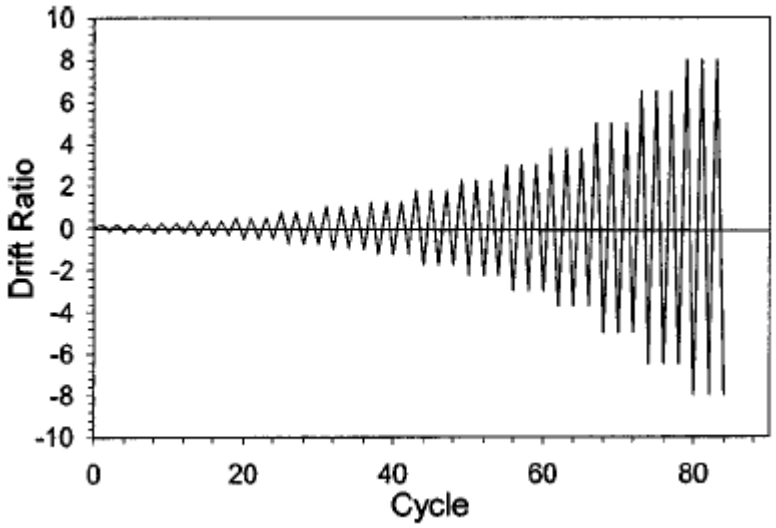
شکل (۳-۲) اعمال نیرو توسط جک هیدرولیکی [۱۱]

۳-۵ نتایج حاصل از آزمایش

آزمایش بر روی نمونه به‌همراه اعمال بارهای رفت و برگشتی صورت می‌پذیرد. در پایان بارگذاری شکست‌های برشی که به صورت ترک‌های قطری هستند در نمونه ایجاد می‌شود. مشاهده می‌شود که ترک قطری برشی کاملا" از سطح تماس آجر و ملات به صورت لغزشی عبور کرده است. لذا نتایج آزمایشگاهی جهت کالیبره کردن مدل در این قسمت قابل استفاده است. (البته در حالت UnBonded که در نتایج آزمایشگاهی مقاله مورد نظر موجود است)

شکل (۳-۳) شکست برشی در دیوار

منحنی جابه‌جایی اعمال شده به دیوار مورد آزمایش در شکل ۳-۴ نشان داده شده است..



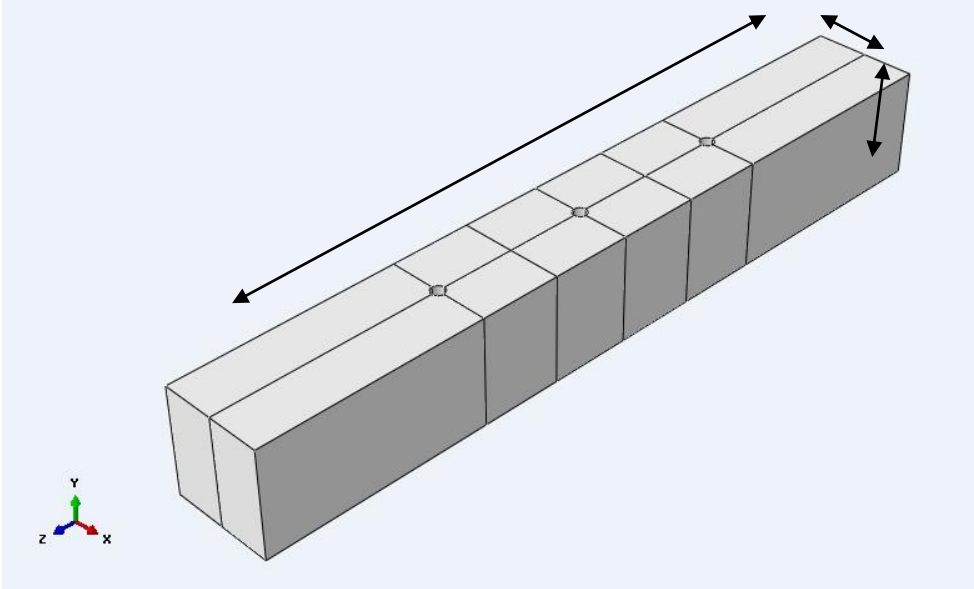
شکل (۳-۴) منحنی جابه‌جایی رفت و برگشتی

۳-۶ مراحل مدل‌سازی

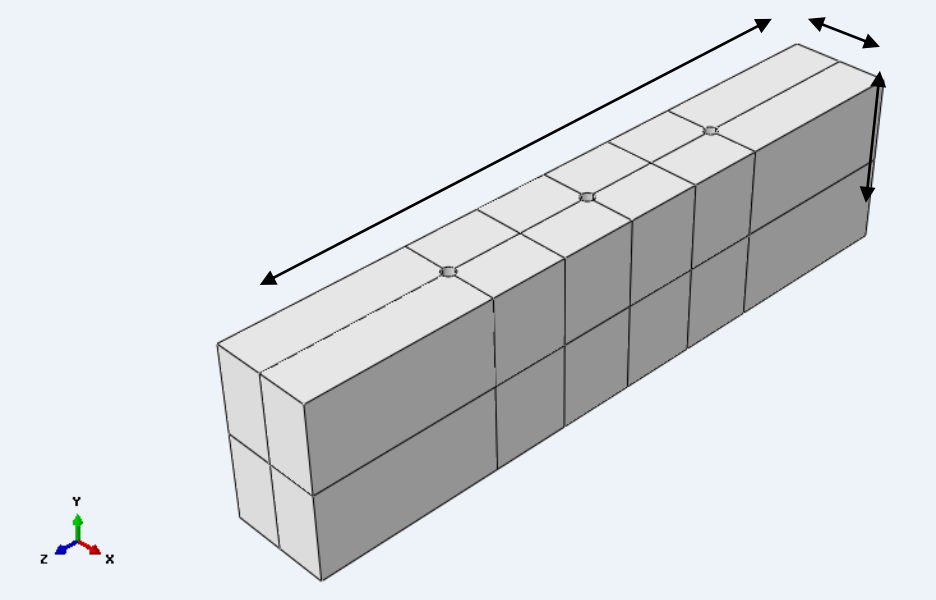
۳-۶-۱ مدول Part

در آباکوس برای ایجاد مدل هندسی قطعات از مدول Part استفاده می‌شود. با استفاده از امکانات این مدول هر یک از قطعات سازنده جداگانه ترسیم شده، نام‌گذاری می‌شوند و امکان اصلاح و ویرایش دارند. ویرایش به این صورت می‌باشد که می‌توان طول، ضخامت و ارتفاع هرکدام از قطعه‌ها را به‌صورت دلخواه تغییر داد یا می‌توان بر روی آن حفره یا منافذی ایجاد کرد. ناگفته نماند که در این مدول نیز می‌توان بر روی هر Part خطوط کمکی نیز رسم کرد تا از آن‌ها برای پارتیشن بندی و

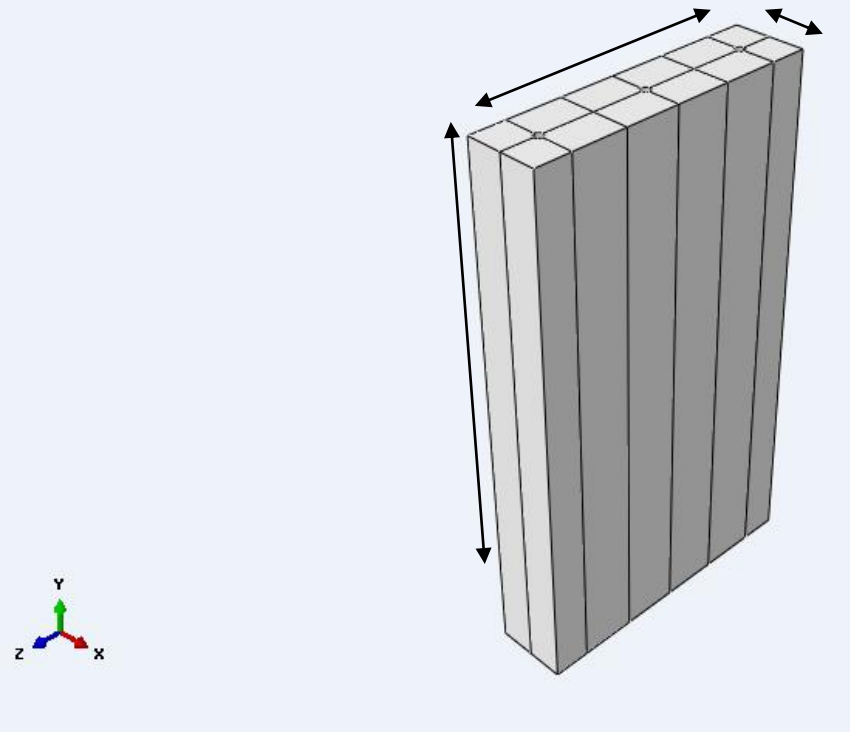
مشخص کردن محل اعمال بارها استفاده شود. در شکل ۳-۶ مدل تیر صلب تحتانی جهت ایجاد کف صلب آزمایش، به ابعاد ۲۱۳*۱۲۲*۳۰ سانتی‌متر. در شکل ۳-۷ مدل دیوار مکعب مستطیلی به ابعاد ۲۰۰*۵۰*۳۰ سانتی‌متر است. و شکل ۳-۵ تیر بالایی جهت تیر بالایی به ابعاد ۳۰*۳۰*۲۲۰ نشان داده شده است. برای میل‌گردها نیز عضوی با قطر ۲ سانتی‌متر و طول ۲۹۳ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است.



شکل (۳-۵) مدل تیر فوقانی در نرم‌افزار آباکوس



شکل (۳-۶) مدل تیرپایینی در نرم‌افزار آباکوس



شکل (۳-۷) مدل دیوار در نرم افزار آباکوس

۳-۶-۲ مدول Property

در آباکوس از مدول Property برای انجام عملیاتی از قبیل تعریف ماده، تعریف سطح مقطع یک تیر (Profile)، تعریف ویژگی‌های یک ناحیه از مدل (Section)، نسبت دادن ویژگی‌های یک ناحیه، تعیین جهت‌های کاربردی در یک قطعه، تعریف میل‌گردهای تقویت شده، تعریف فنر و میراگر بین دو نقطه استفاده می‌شود. این مدول برای تعریف مشخصات مواد به‌کار رفته استفاده می‌گردد، در المان‌های محوری اگر جهت برای عضو تعریف نگردد مقاطع اختصاص داده نشده و در پایان تحلیل با خطا مواجه می‌شویم. مشخصات مکانیکی تیر بتنی فوقانی همانند جدول زیر می‌باشد.

نوع مصالح	جرم حجمی	مدول الاستیسیته	ضریب پواسن	رفتار
بتن	۲۴۰۰ Kg/m^3	۲۱ Mpa	۰/۲	الاستیک

جدول (۳-۱) مشخصات مکانیکی بتن

هم‌چنین در این آزمایش مشخصات مصالح بنایی مصرفی به‌صورتی که در جدول (۳-۲) می‌باشد.

نوع مصالح	جرم حجمی	مدول الاستیسیته	ضریب پواسن	رفتار
مصالح بنایی	۱۸۵۰Kg/m^3	۱۸/۱۳ Mpa	۰/۲	غیر خطی

جدول (۳-۲) مشخصات مکانیکی مصالح بنایی

۳-۶-۳ مدول Assembly

برای مدل‌سازی یک سیستم که در آن چندین قطعه مختلف وجود دارند، ابتدا مدل هندسی تک تک قطعات با استفاده از مدول Part جداگانه ترسیم شده، سپس با استفاده از مدول Assembly از هر قطعه، به‌تعداد مورد نیاز نمونه برداشت کرده و با توجه به شرایط مساله در کنار هم چیده می‌شوند. از مدول Part در صورت لزوم می‌توان چندین نمونه برداشت کرد و در این مورد محدودیتی وجود ندارد. برای ساختن مدل، هنگام فراخواندن هر قطعه در جعبه Create instance در قسمت Instancetype نوع نمونه Independent معرفی می‌گردد و این زمانی به‌کار می‌رود که قرار باشد مش‌بندی در هر قطعه به صورت جداگانه تولید شود. یعنی اجازه پارتیشن بندی به کاربر داده می‌شود. برای ایجاد یک آرایه خطی نیز از Linear pattern استفاده می‌گردد. پس از آن مدل هندسی مساله ایجاد و ویژگی‌های مربوط به مواد و نواحی تعیین و نحوه قرارگیری قطعات در کنار هم مشخص می‌شود، حال هنگام آن است که نوع تحلیل با توجه به صورت مساله تعیین شود. با استفاده از مدول Step می‌توان نوع تحلیل را مشخص نمود. در قسمت Create step نوع تحلیل Dynamic explicit تعریف می‌گردد. قابل به ذکر است باید در مدول Step سطحی که قرار است بار رفت و برگشتی به آن وارد شود را مشخص کنیم.

۳-۶-۴ مدول Step

پس از آن‌که نرم‌افزار عملیات تحلیل را انجام داد نتایج در اختیار کاربر قرار می‌گیرد. می‌توان خروجی‌ها را در این قسمت تعیین کرد تا زمان تحلیل کاهش یابد. نتایج خروجی را می‌توان به دو شکل عمده رویت نمود.

الف) Field output

خروجی‌ها در این حالت به صورت توزیع رنگ‌ها[1] نمایش داده می‌شوند. گزینه‌هایی که در این قسمت فعال می‌گردد عبارت است از تنش، کرنش و جابه‌جایی و غیره.

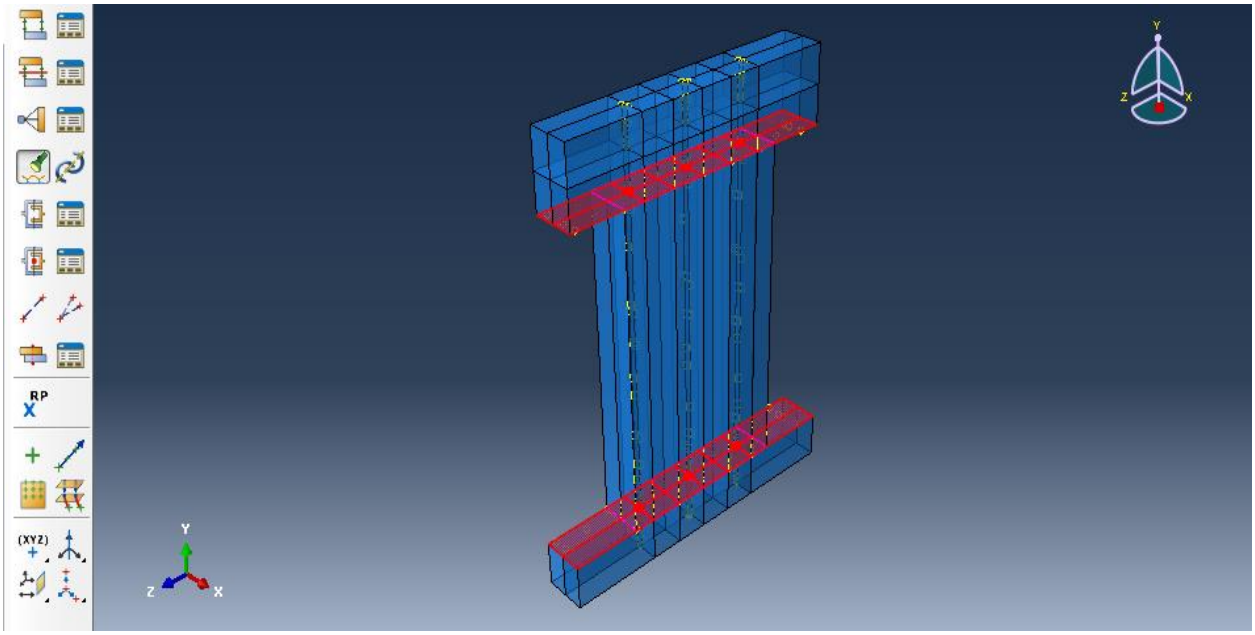
ب) History output

خروجی‌ها در این قسمت به‌صورت نمودار بر اساس زمان تحلیل نمایش می‌یابند.

۳-۶-۵ مدول Interaction

آباکوس بر هم کنش بین دو سطح مختلف از یک مدل را درک نمی‌کند. لذا برای تعریف بر هم کنش بین دو سطح باید از مدول Interaction استفاده گردد. ساده‌ترین بر هم کنش بین دو سطح، نیروهای تماسی هستند که بین دو سطح مبادله می‌شوند. از مدول Interaction می‌توان برای تعریف انواع مختلف بر هم کنش استفاده کرد. General contact تنها در تحلیل‌گر Abaqus/explicit قابل اعمال است. و از آن برای اتصال بین آجرها می‌توان استفاده کرد.

1-Contour



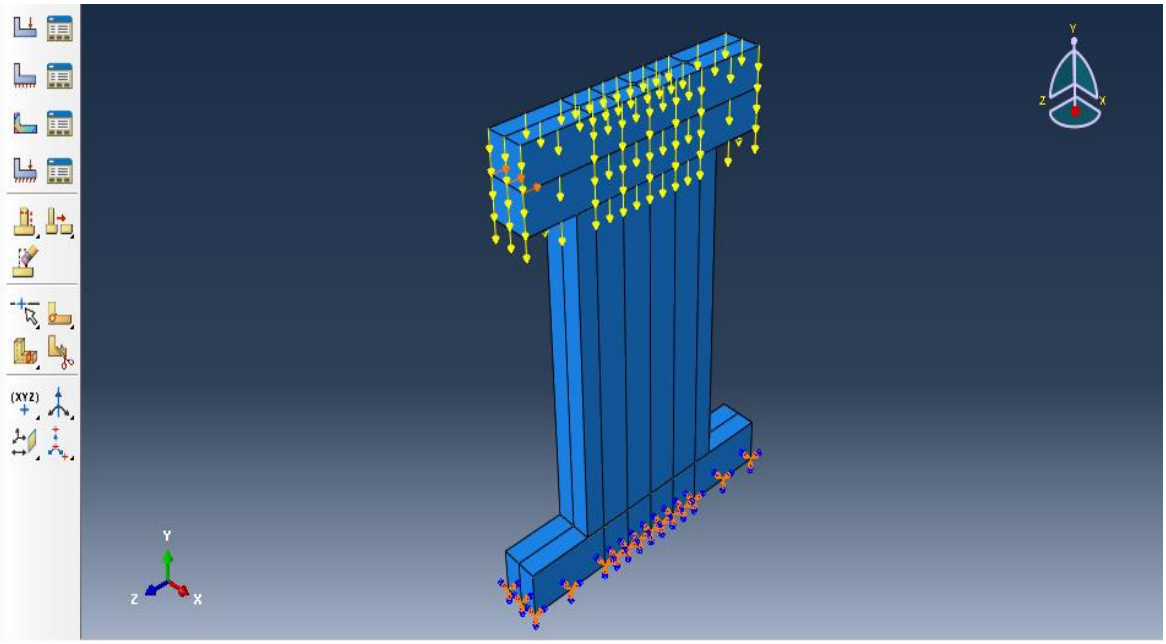
شکل (۳-۸) اندرکنش بین دیوارهای بنایی و تیرها

۳-۶-۵-۱ قید Tie

قیود موجود در Assembly روی موقعیت‌های اولیه نمونه‌ها اعمال شده و چیدمان آن‌ها را درکنار یک دیگر شکل می‌دهد. اما قیود تعریف شده در مدول Interaction در واقع قیود اعمال شده بر درجات آزادی در یک تحلیل است که ناشی از تاثیر حرکت یک بخش از مدل بر بخش دیگر است. از قید Tie برای چسباندن زیر تیر فوقانی با سطح بالای دیوار و هم‌چنین چسباندن روی تیر پایینی با زیر سطح دیوار استفاده می‌شود. این قید اجازه می‌دهد تا دو ناحیه با مش بندی متفاوت با یک‌دیگر ترکیب گردد.

۳-۶-۶ مدول load

برای اعمال بارهای خارجی و هم‌چنین تعمیم شرایط مرزی مساله می‌توان از مدول load استفاده کرد. در هنگام اعمال Create load باید Step مورد نظر انتخاب گردد و نباید آن Step را در حالت Initial قرار داد ،چون Initial مخصوص شرایط تکیه‌گاهی است. پس می‌توان گفت هر Step نوع بارگذاری خود را دارد. بارهایی که تعریف می شوند عبارت است از بار جانبی فشاری به سطح و بار فشاری قائم سربار به سطح و بار گرانشی ناشی از وزن دیوارکه در شکل (۳-۹) آمده است.



شکل (۳-۹) بارهای وارد بر دیوار بنایی

از این مدول برای تعریف شرایط مرزی نیز می‌توان استفاده کرد. شرایط مرزی مساله، اتصال گیردار بین کف صلب و دیوار است. برای این منظور در جعبه Create boundary condition در قسمت Category نوع Mechanical و گیردار کامل تعریف می‌گردد.

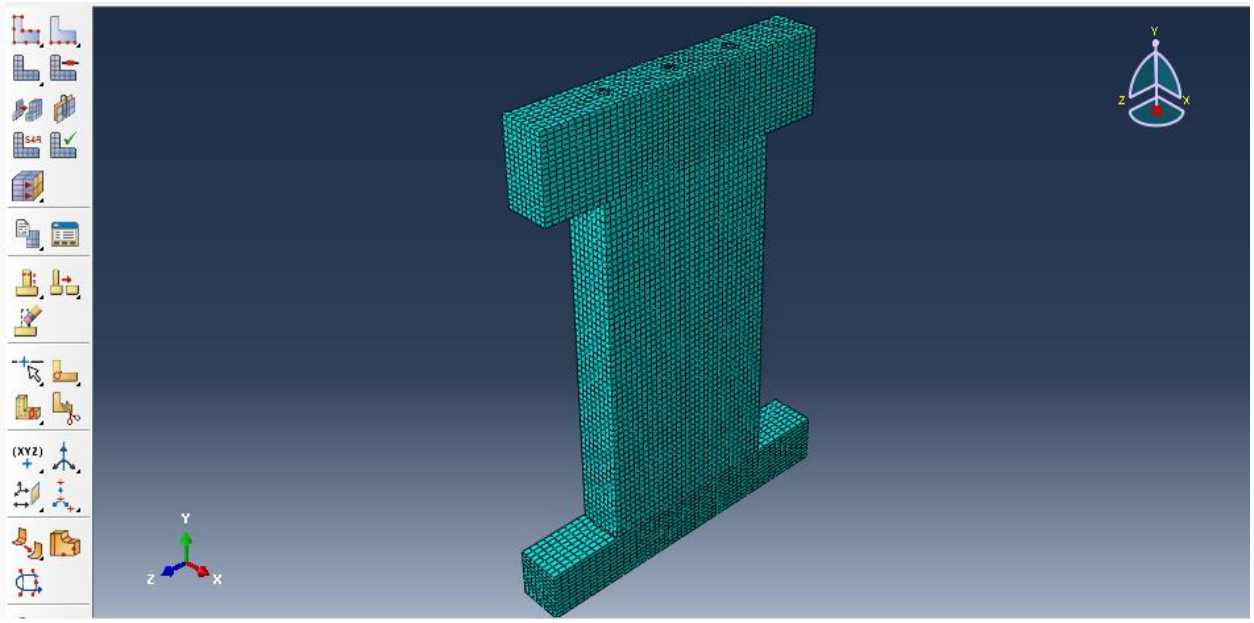
۳-۶-۶-۱ اعمال پیش تنیدگی

جهت اعمال پیش تنیدگی درعضو پیش‌تنیده شده از منو load و گزینه Predefined Field استفاده می‌کنیم. یک نوع step که از نوع initial می‌باشد را کاندید کرده و گزینه‌های mechanical و stress را برای آن انتخاب می‌کنیم. مفهوم این رفتار یعنی باری که قرار است به میل‌گردها وارد شود از نوع stress می‌باشد. و در مرحله آخر مقدار نیرو پیش‌تنیده‌گی را که مقدارKN ۳۳۳ می‌باشد را فقط در جهت Y که در نرم‌افزار با Sigma 22 مشخص شده را به میل‌گردها اعمال می‌کنیم. ذکر این نکته ضروری است که مقدار تنش در سایر جهت ها را باید صفر قرار دهیم. علت آن این است که چون فقط در یک جهت تنش وارد شده و در صورتی که مقدار برای آن قرار ندهیم نرم‌افزار با خطا رو برو شده و جواب درستی به ما نخواهد داد.

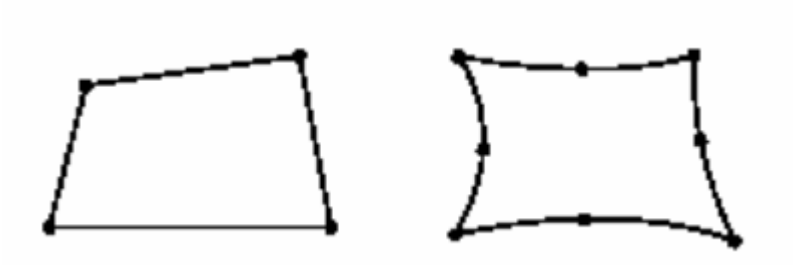
Sigma 11= Sigma 33= Sigma12= Sigma13= Sigma23= 0

۳-۶-۷ مدول Mesh

برای مش بندی از مدول Mesh استفاده می‌گردد. مش بندی با ابعاد ۵ سانتی‌متر انجام می‌گیرد. برای مش بندی کف صلب از Quadratic[۱] مطابق شکل (۳-۱۱) و برای مش بندی تیر فوقانی و آجر از Hex[۲] مطابق شکل (۳-۱۲) استفاده می‌کنیم. نحوه مش بندی مطابق شکل (۳-۱۰) است.



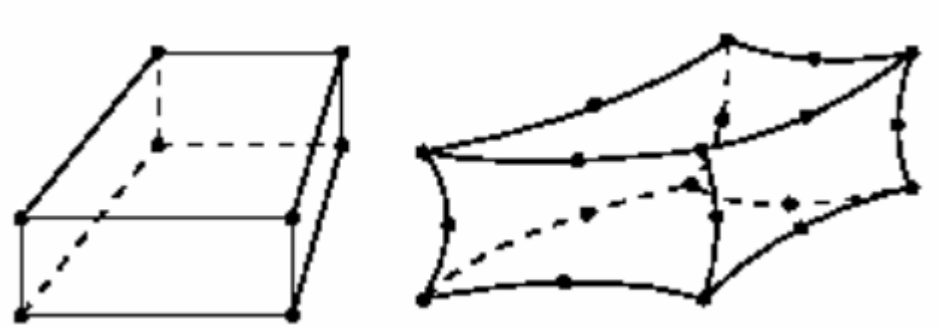
شکل(۳-۱۰) مش بندی مدل آزمایشگاهی



شکل (۳-۱۱) شکل المان Quadratic

۱- عموما از المان‌های چهار ضلعی برای تولید این مش استفاده می‌شود

۲- در این نوع مش‌بندی از المان‌های شش وجهی استفاده می‌شود

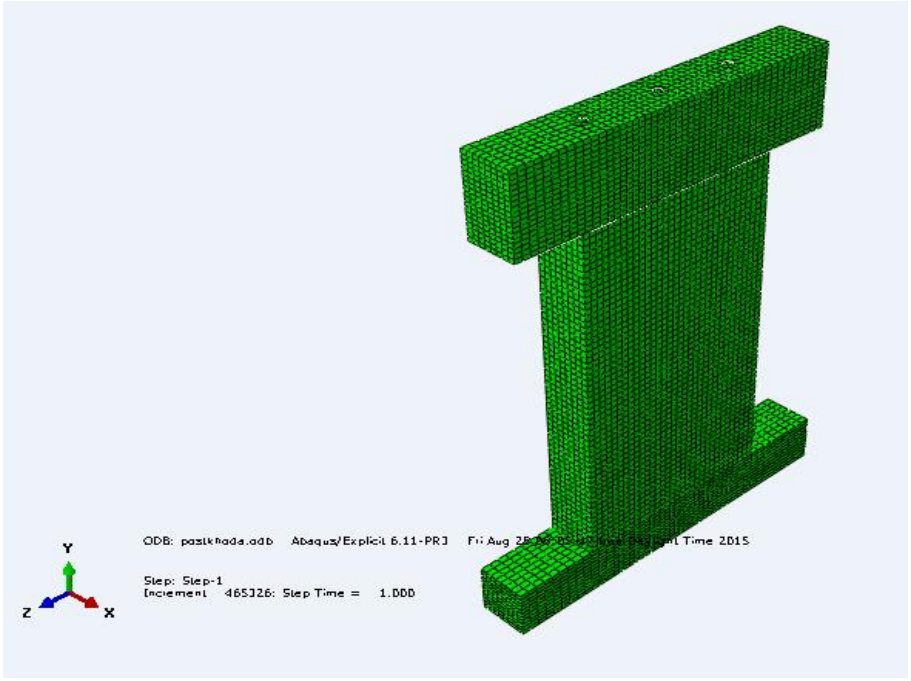


شکل (۳-۱۲) شکل المان Hex

۳-۶-۸ خروجی آباکوس

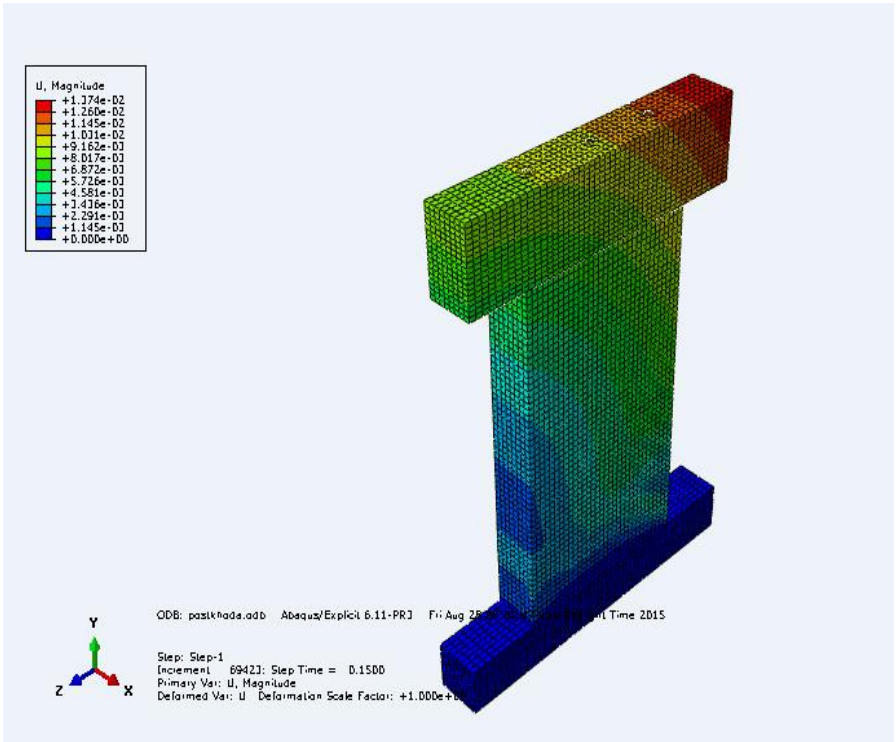
فایل‌های ذخیره شده در نرم افزار Abaqus با دونام ذخیره می‌گردد. فایل‌های ورودی با نام cae. و فایل‌های خروجی با نام odb. می‌باشد. واحدهای ارائه شده همه بر حسب SI هستند و لذا در رسم نمودارها به این نکته توجه می‌گردد. نرم‌افزار تمامی خروجی‌ها را بر حسب زمان ارائه می‌دهد. لذا با استفاده از نرم‌افزار Excell می‌توان داده‌ها را در کنار هم قرار داد و نمودارها را بر حسب نیرو-تغییرمکان رسم کرد.

پس از انجام تحلیل بر روی دیوار مورد نظر، نتایجی از جمله توزیع منحنی نیرو-جابجایی، مقاومت نهایی نمونه و شکل تغییر شکل یافته دیوار آجری برای نمونه تحلیل شده قابل استخراج است. در شکل (۳-۱۳) می‌توان تغییر شکل‌های داخلی را ملاحظه کرد.



(الف) دیوار قبل از تغییر شکل

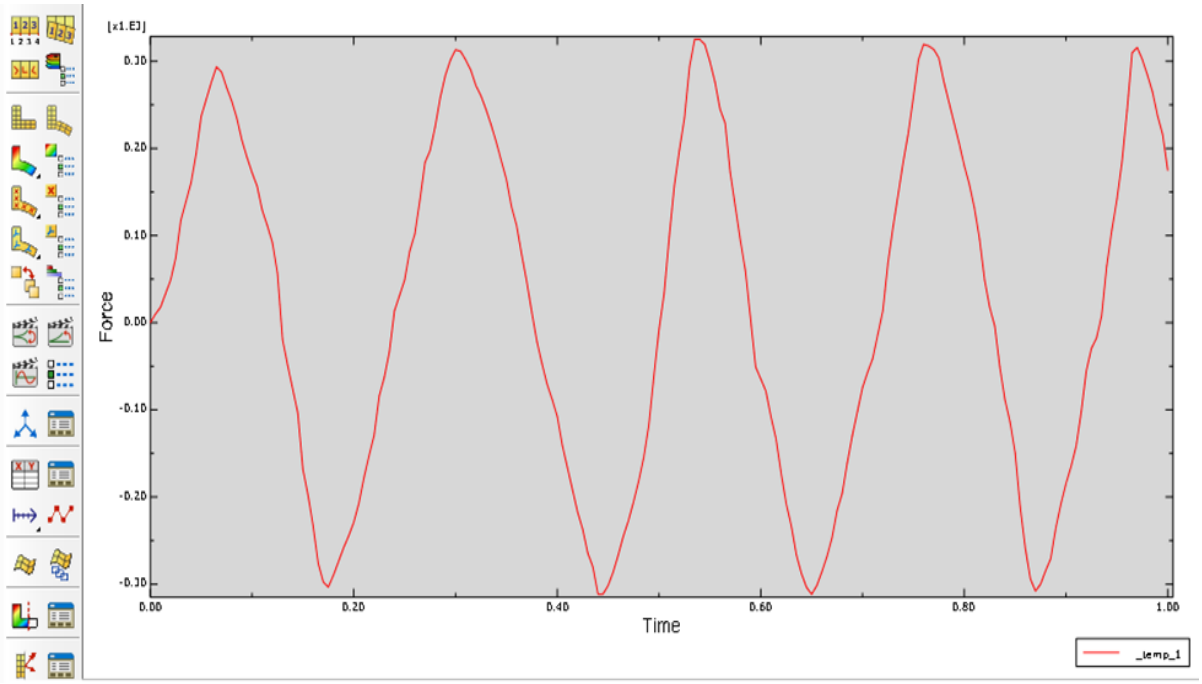
(ب) دیوار بعد از تغییر شکل



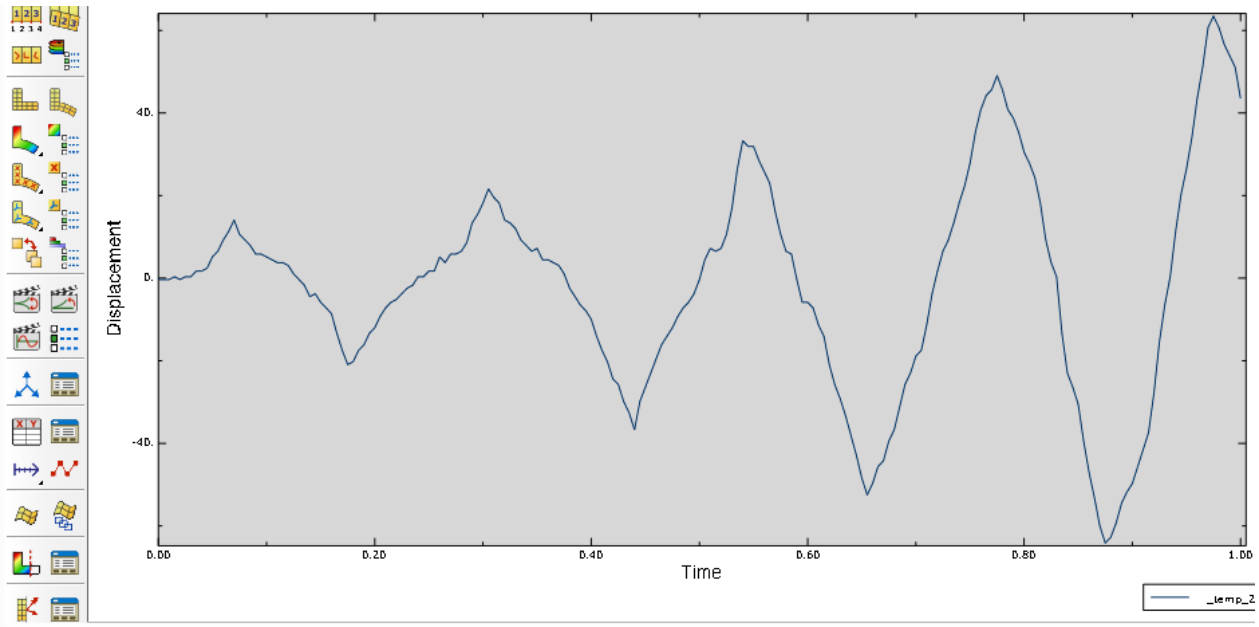
شکل (۳-۱۳) تغییر شکل‌های مدل اجزا محدود نمونه آزمایشگاهی

۳-۶-۸-۱ منحنی‌های نیرو و تغییر مکان برحسب زمان

منحنی‌های خروجی شامل منحنی‌های نیرو و تغییر مکان و بر حسب زمان می‌باشد. منحنی نیروی اعمال شده به تیر فوقانی بر حسب زمان در شکل (۳-۱۴) و به همین ترتیب در شکل (۳-۱۵) منحنی تغییر مکان نقطه اثر بار بر حسب زمان نشان داده شده است.



شکل (۳ -۱۴) نمودار نیرو بر حسب زمان

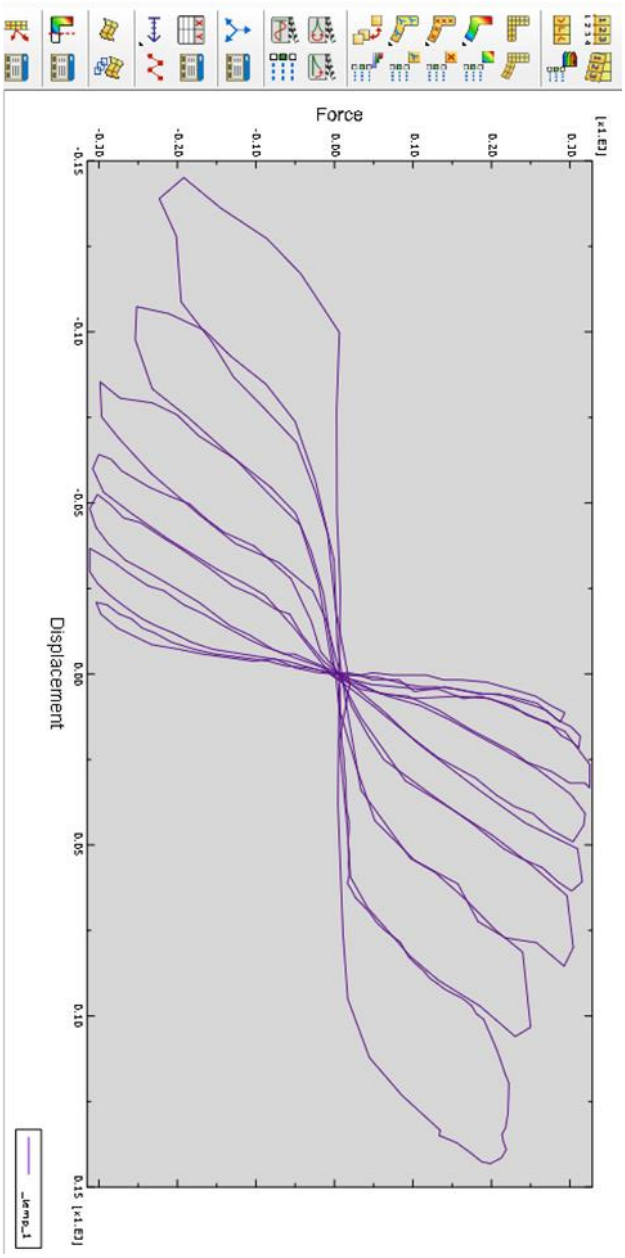


شکل (۳-۱۵) نمودار تغییر مکان بر حسب زمان

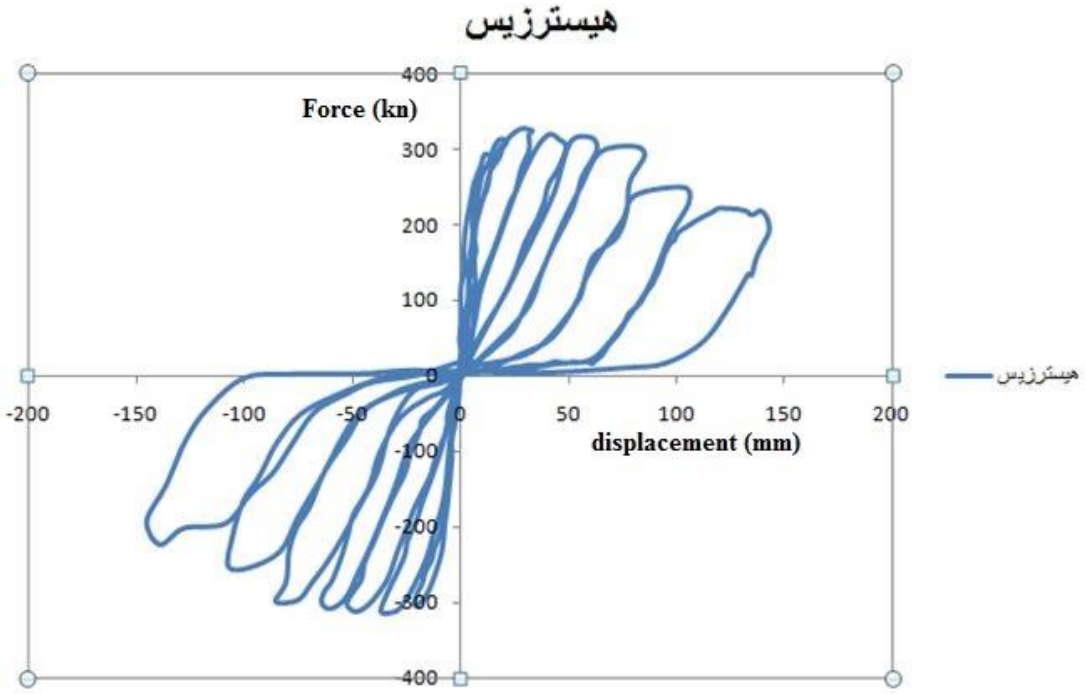
بیشترین مقدار تغییر مکان در مدل آزمایشگاهی ۱۴۸ میلی‌متر و برای مدل اجزای‌محدود مقدار ۱۴۵ میلی‌مترمی‌باشد که به نسبت مقدار دقیقی می‌باشد.

۳-۶-۸-۲ مقایسه نمودار هیسترزیس آزمایشگاهی با مدل عددی آباکوس

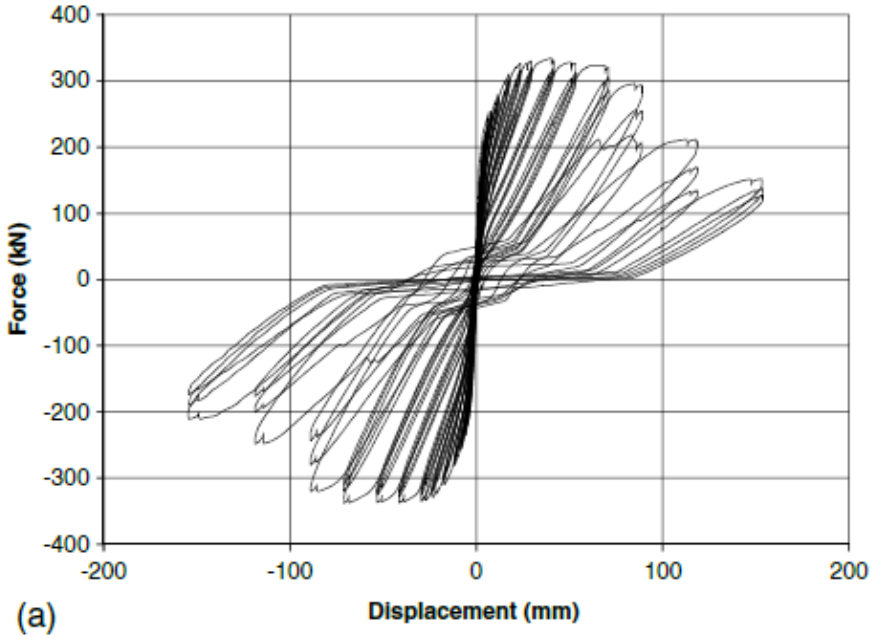
با بررسی شکل (۳-۱۶) ملاحظه می‌شود که بیشترین مقدار نیرو در نمودار هیسترزیس حاصل از آزمایش مقدار ۳۳۰ کیلو نیوتن می‌باشد که این مقدار برای منحنی هیسترزیس حاصل از مدل اجزای‌محدود مقدار ۳۲۶ کیلونیوتن است. لذا با توجه به درصد اختلاف ۱/۲٪ می‌توان به مناسب بودن مدل عددی اذعان داشت. بیشترین مقدار تغییرمکان درمدل آزمایشگاهی ۱۴۸ میلی‌متر و برای مدل اجزای‌محدود مقدار ۱۴۵ میلی‌مترمی‌باشدکه با توجه به درصد اختلاف ۲/۰۳٪ می‌توان گفت مقدار مناسبی است.



شکل (۳-۱۶) نمودار هیسترزیس مدل نرم‌افزار

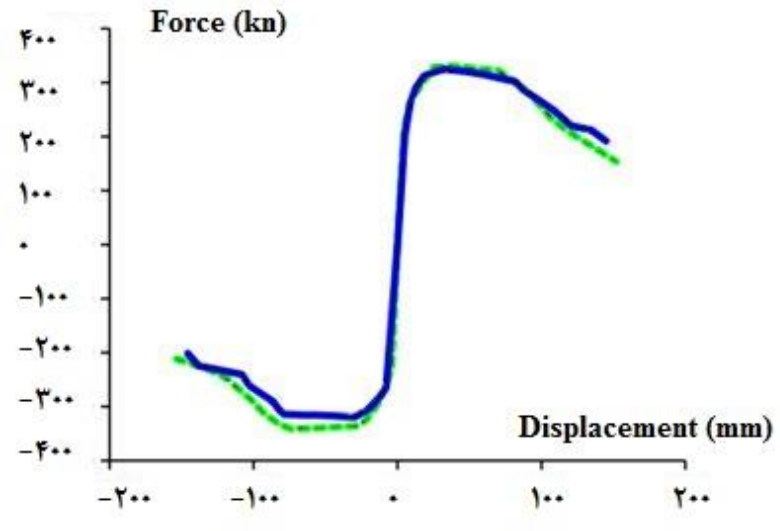


شکل (۳-۱۷) نمودار هیسترزیس مدل اجزا محدود



شکل (۳-۱۸) نمودار هیسترزیس نمونه آزمایشگاهی

با رسم پوش منحنی هیسترزیس خروجی نرم‌افزار و پوش منحنی هیسترزیس آزمایشگاهی این اختلاف کم را می‌توان در شکل (۳-۱۹) مشاهده نمود.

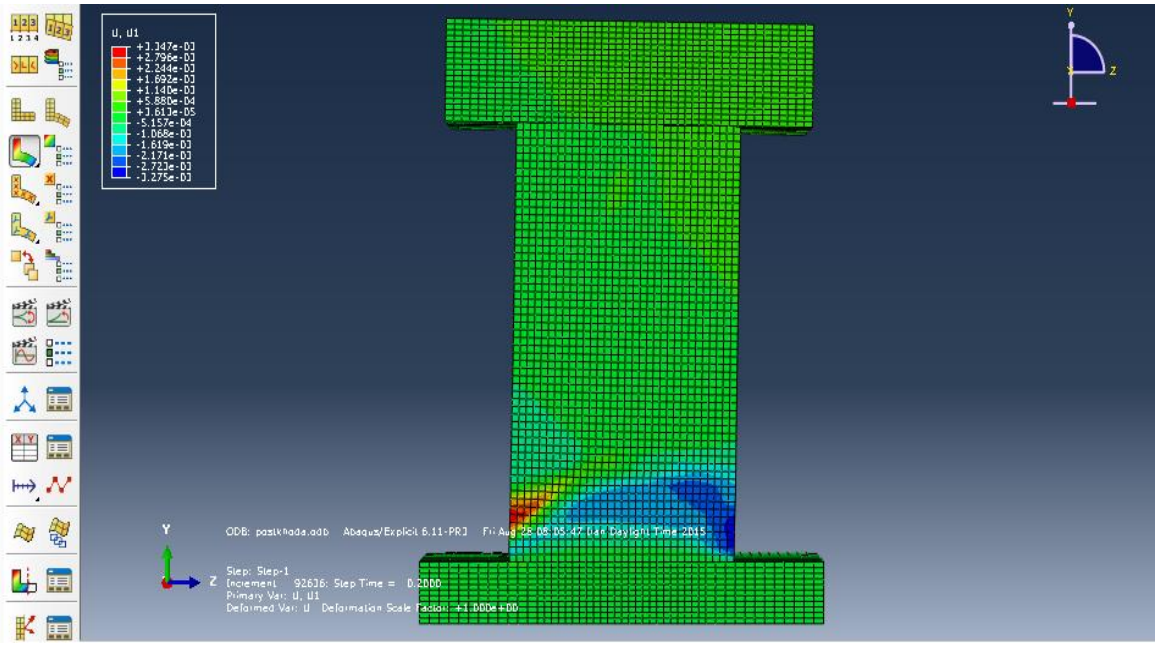


شکل (۳-۱۹) مقایسه پوش منحنی‌های هیسترزیس آزمایشگاهی و نرم‌افزاری

۳-۶-۸-۳ مقایسه شکست و خرابی

با مقایسه اشکال (۳-۲۰) و (۳-۲۱) ملاحظه می‌شود که پیش بینی نرم‌افزار آباکوس جهت خرابی دیوار در محل‌های پاشنه و پنجه دیوار مناسب می‌باشد.

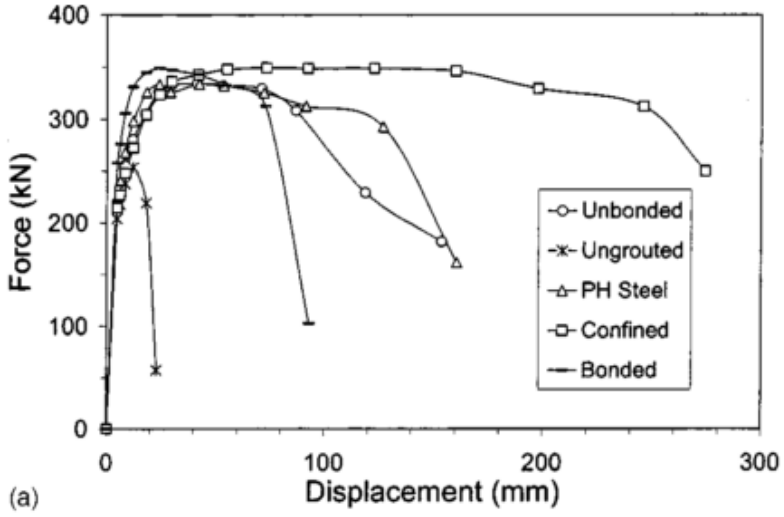
شکل (۳-۲۰) شکست در نمونه آزمایشگاهی



شکل (۳-۲۱) شکست در مدل نرم‌افزاری ماکرو

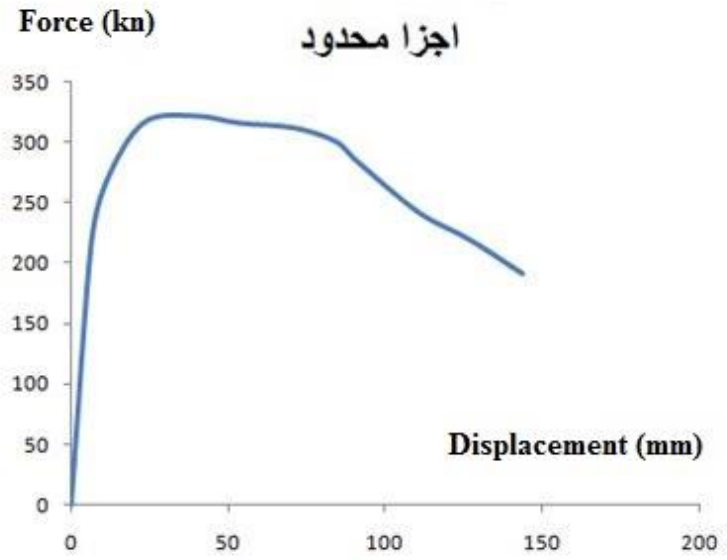
۳-۶-۸-۴ مقایسه منحنی میانگین نیرو-تغییر مکان سیکل۳ در مدل عددی و آزمایشگاهی

در شکل(۳-۲۲)منحنی نیرو-تغییرمکان جانبی حاصل از آزمایش به ازای وضعیت‌های(۱ تا ۵) شان داده شده است.به این منظور در نمودار میانگین هر دو جفت پاسخ نیرو-تغییرمکان در سیکل سوم که بیشترین تغییر مکان را داشته، نشان داده شده است.



شکل (۳-۲۲) میانگین هر دو جفت نیرو تغییر مکان در نمونه آزمایشگاهی

در ادامه در شکل (۳-۲۳) همین نتایج برای حالت استفاده از میل‌گرد پیش‌تنیده بدون دوغاب نشان داده شده است.



شکل (۳-۲۳) میانگین هر دو جفت نیرو-تغییر مکان مدل اجزا محدود در سیکل‌های ۳ منحنی هیسترزیس

با بررسی منحنی‌ها، ملاحظه می‌شود که بیشترین مقدار نیروی میانگین برای نمونه آزمایشگاهی ۳۲۸ کیلو نیوتن می‌باشد که این مقدار در مدل اجزای‌محدود ۳۱۹/۸ کیلو نیوتن به‌دست آمده است واختلاف ۲/۵٪ را نشان می‌دهد.

فصل چهارم

مدل‌سازی دیوارهای بنایی پیش‌تنیده با و بدون بازشو

ومقایسه آن با حالات غیر پیش‌تنیده

۴-۱ مقدمه

در سال‌های اخیر با پیشرفت رایانه‌ها و با افزایش سرعت و توان آن‌ها در انجام محاسبات، در تمامی عرصه‌های دانش بشری تحولی بزرگ ایجاد شده است. امروزه اکثر آزمایش‌های عملی در زمینه‌های مختلف تحقیقاتی هم‌زمان توسط نرم‌افزار، طراحی و نتایج آن بررسی می‌شود و نتایج مدل واقعی توسط مدل‌های نرم افزاری مقایسه و ارزیابی می‌شود. در این پایان نامه سعی شده است تا با مدل‌سازی دیوار آجری با روش اجزای محدود، رفتار لرزه‌ای آن و پارامترهای موثر بر رفتار آن مورد بررسی قرار گیرد. بدین منظور نرم افزاری مورد نیاز می‌باشد که قابلیت‌های زیر را داشته باشد. اثرات غیرخطی مصالح را داشته باشد. قادر به مدل‌سازی مواد مختلف از جمله فولاد، بتن و موادی که رفتاری شبیه بتن دارند (مصالح دیوار) باشد، قادر به انجام تحلیل تاریخچه زمانی باشد. در این فصل پس از معرفی نرم افزار آباکوس و ارائه توضیحاتی در مورد خواص المان‌های مورد استفاده، نحوه مدل‌سازی اجزای دیوار و تحلیل آن‌ها تشریح شده و نتایج حاصل از آنالیز مدل‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

۴-۲ معرفی نرم افزار آباکوس (Abaqus)

علی‌رغم توضیحات مقدماتی که در فصل قبل داده شد، در این فصل نحوه مدل‌سازی با جزئیات بیشتر توضیح داده خواهد شد. نرم‌افزار آباکوس با استفاده از المان‌های متعدد و متنوعی که درآن موجود می‌باشد و هم‌چنین با قابلیت‌های تحلیلی بسیار بالا قادر است انواع آنالیزهای مختلف در حالت‌های خطی و غیرخطی را انجام دهد، به‌طوری که می‌توان هم مصالح و هم هندسه سازه را به صورت خطی و یا غیرخطی مدل کرد. این برنامه علاوه بر آن‌که یک برنامه تحلیلی است، تمام امکانات یک زبان برنامه نویسی مانند فرترن را هم دارا می‌باشد. تعریف انواع متغیرها از قبیل آرایه‌های چند بعدی، ایجاد حلقه در اجرای برنامه‌ها، خواندن و نوشتن متغیرها با فرمت‌های دلخواه و نیز سایر موارد یک زبان برنامه نویسی در نرم‌افزار آباکوس گنجانده شده است.

۴-۳ روند کلی مدل‌سازی و اجرای برنامه

۴-۳-۱ قسمت‌های مختلف آنالیز یک مدل

الف) ساختن مدل ب) بارگذاری و آنالیز ج) مشاهده نتایج.

در ادامه در مورد هر کدام از موارد فوق توضیحاتی ارائه شده است.

۴-۳-۱-۱ ساختن مدل

ساختن یک مدل بیشترین وقت کاربران را نسبت به سایر بخش‌های تحلیل خواهد گرفت. از طریق منو Part نوع المان، مقادیر ثابت المان‌ها، خواص مواد و هندسه تعیین می‌شود. در کتاب‌خانه نرم‌افزار می‌توان انواع المان‌ها را تعریف کرد. لازم به ذکر است که علاوه بر نوع المان، درجات آزادی، مقادیر ثابت (مساحت، ممان اینرسی، جرم واحد طول و غیره)، خواص مقاطع (مدول الاستیسیته، مدول برشی و غیره) و سایر اطلاعات لازم باید مشخص و تعریف شود. گام بعدی پس از تعیین خواص مقاطع، ایجاد مدل المان محدود، یعنی ایجاد گره ها و المان ها می‌باشد.

۴-۳-۱-۲ بارگذاری و آنالیز

در این مرحله از منو Step برای تعیین نوع آنالیز و گزینه‌های تحلیل و بارگذاری استفاده می‌شود. پس از تعیین نوع تحلیل و نیز گزینه‌های آن، بارگذاری انجام می‌شود. کلمه بار در آباکوس شامل تمام شرایط مرزی مانند قیدها، تکیه گاه‌ها می‌شود که عینا" مانند نیروهای داخلی و خارجی عمل می‌کند.

۴-۴ مدل اجزای محدود

جهت مدل‌سازی دیوارها و کلاف های قائم از المان سه بعدی Solid استفاده شده است. همان‌طور که اشاره شد جهت مقایسه نتایج حاصل از آزمایش با یک مدل اجزای محدود، از نرم افزار آباکوس استفاده شده است. رفتار دیوار در حالت ذکر شده مورد بررسی قرار گرفته است.

۴-۵ بررسی رفتار داخل صفحه یک دیوار تحت اثر بارگذاری رفت و برگشتی

به طور کلی رفتار دیوار بنایی را در مود درون صفحه، مورد بررسی قرار می‌دهیم. در مورد رفتار درون صفحه بسته به میزان سربار، نسبت ارتفاع به طول دیوار، مقاومت‌های برشی و فشاری ملات و منشور بنایی رفتارها و مودهای خرابی متفاوتی را از دیوار می‌توان انتظار داشت که برای هر یک ظرفیت‌هایی بر اساس روابط موجود می‌توان بدست آورد. مساله مورد نظر یک دیوار بنایی با طول ۴ و ارتفاع ۳/۲ و ضخامت ۰/۳ می‌باشد. خواسته‌هایی که از مساله می‌خواهیم مود خرابی دیوار و نمودار برش پایه تغییر مکان بالای دیوار می‌باشد.

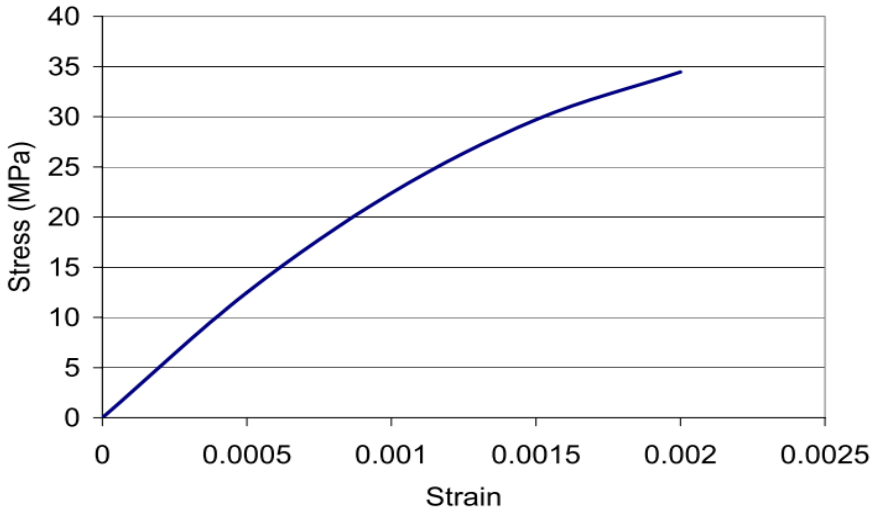
۴-۶ ساخت هندسه مدل

در گام اول مدل‌سازی از آن‌جا که روش مورد استفاده از نوع ماکرو می‌باشد باید کل دیوار به صورت یک‌جا مدل گردد. با استفاده از مسیر Part/create در مدول Part وارد فضای ترسیم شده و تیر بتنی بالا، تیر بتنی پایین و دیوار را رسم می کنیم. این المان‌ها از نوع Solid می‌باشد.

۴-۶-۱ خصوصیات مصالح

۴-۶-۱-۱ خصوصیات بتن

از منو Material/create مصالحی با نام بتن (Concrete) تعریف می‌کنیم و میزان جرم حجمی بتن را ۲۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و مدول الاستیسیته ۲۵ Gpa و ضریب پواسن ۰/۲ اختیار می‌کنیم. در مصالح تیر بتنی فقط خصوصیات الاستیک خطی را وارد می‌کنیم و بتن تیر را بدون میل‌گرد در نظر می‌گیریم چون در طول آزمایش هیچ گونه خسارتی در آن پدید نمی‌آید و از دو طرف به جایی متصل نمی‌باشد. منحنی رفتار تنش-کرنش بتن به صورت شکل (۴-۱) در نظر گرفته شده است.



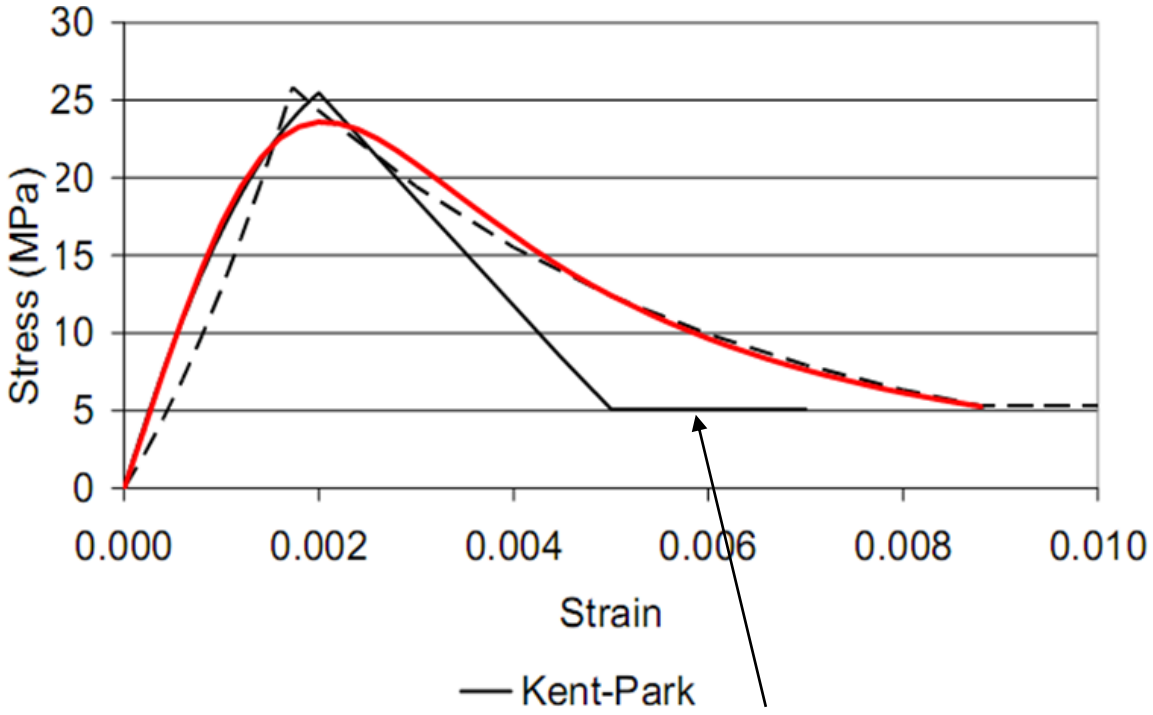
شکل (۴-۱) نمودار تنش-کرنش بتن

۴-۶-۱-۲ خصوصیات مصالح بنایی

از مسیر Material/create مصالحی با نام مصالح بنایی (Masonry) تعریف می‌کنیم که جرم حجمی آن Kg/m^3 ۱۸۵۰، مدول الاستیسیته آن $E = 700f'_m$ و ضریب پواسن آن ۰/۲ می‌باشد، که طبق آزمایشی که کوالسکی[1] روی منشور بنایی انجام داد مقدار f'_m را ۲۵/۹Mpa در نظر

1- kowalsky

گرفت. برای خصوصیات رفتاری مصالح بنایی از منحنی تنش کرنشی که kent-park از آزمایش منشور بنایی به دست آورده مطابق شکل استفاده می‌کنیم.

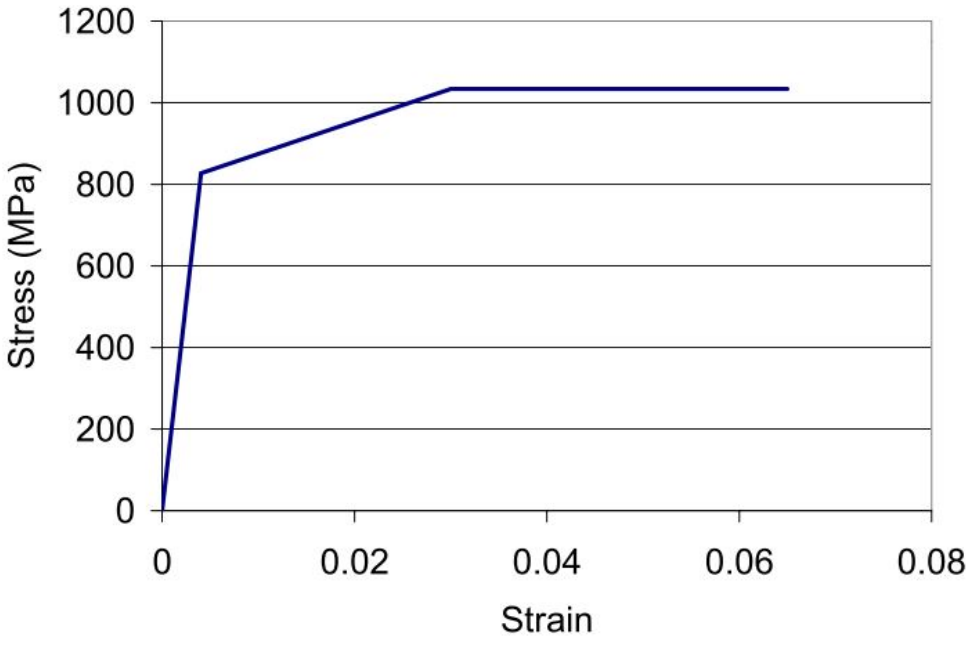


شکل (۴-۲) نمودار تنش-کرنش مصالح بنایی

۴-۶-۱-۳ خصوصیات میل‌گرد

از مسیر Material/create مصالحی با نام میل‌گرد (Steel) تعریف می‌شود که جرم حجمی آن Kg/m^3 ۸۰۰۰، مدول الاستیسیته آن ۲۰۵Gpa و ضریب پواسن ۰/۳ می‌باشد. نمودار رفتار تنش کرنش فولاد که باید پیش‌تنیده شود، توسط کووالسکی بدست آمده به‌صورت شکل (۴-۳) می‌باشد[۱۱].

۲- مقاومت فشاری مصالح بنایی



شکل (۴-۳) نمودار تنش-کرنش فولاد

۴-۶-۲ تعریف سطح مقطع

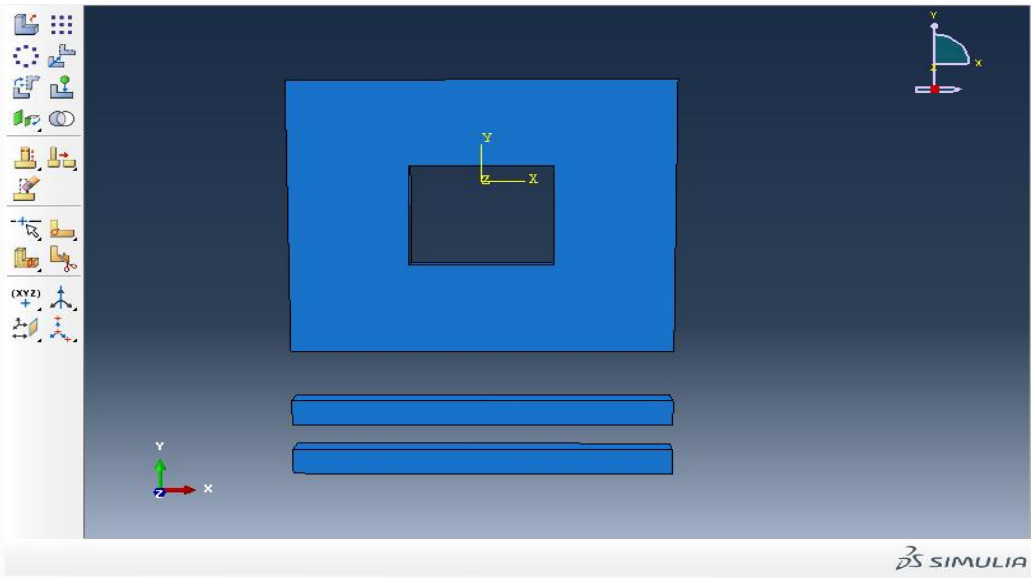
سطح مقطح برای هرکدام از Material را تعریف کرده و از منو Section/create که هر سه نوع ماده از نوع Solid homogeneous انتخاب می‌کنیم.

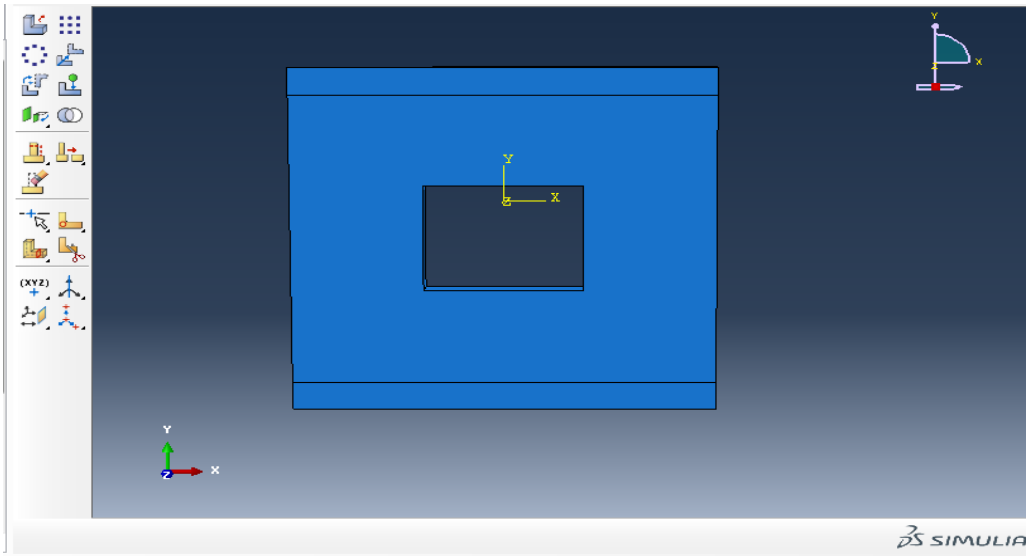
۴-۶-۳ اختصاص دادن مقاطع

با استفاده از منو Assign/section هر کدام از مقاطعی که تعریف کردیم به Material مربوط به آن ماده اختصاص می‌دهیم.

۴-۷ سرهم بندی مقاطع (assembly)

در این مرحله از منو create/instance تمامی قسمت‌هایی که جداگانه مدل شده بودند مطابق شکل (۴-۴) را به هم متصل می‌کنیم.





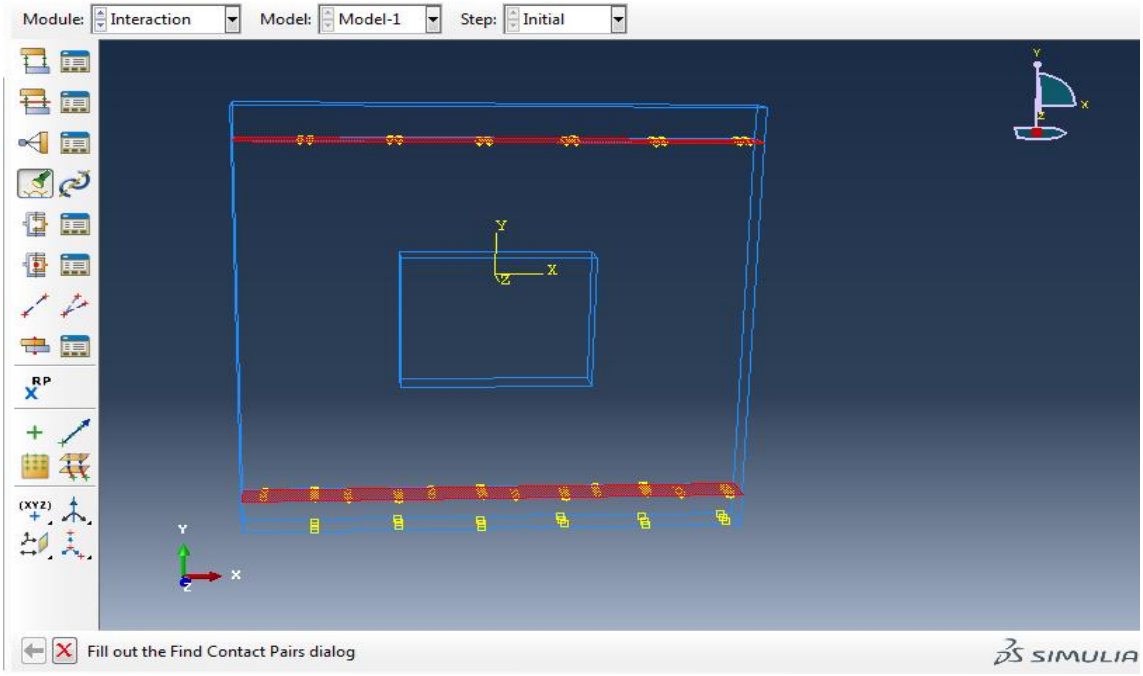
شکل (۴-۴) سر هم‌بندی قطعات مدل شده در نرم‌افزار آباکوس

۴-۸ نوع تحلیل و خروجی برای دیوار بنایی

تحلیل و خروجی‌های نرم‌افزار در مدول Step انجام می‌شود. در این گام نوع آنالیز برای این مدل از نوع صریح است، را از مسیر Step/create و از نوع Dynamic explicit تعریف می‌کنیم. در این مدول زمان پریود سازه و محل اعمال بار و نیز نوع خروجی را تعیین می‌کنیم. در منو History output نوع خروجی که مربوط به تغییر مکان‌ها و نیرو است را برای محل مورد نظر تعریف می‌کنیم تا در پایان تحلیل از خروجی آن نقاط به نمودار مورد نظر برسیم.

۴-۹ اندر کنش‌ها (Interaction)

برای تعریف اندرکنش در ابتدا باید رفتار مربوطه تعریف گردد، برای این منظور از منو Interaction/property/create رفتار تماسی مربوط به تماس بین دیوار و تیر بتنی بالا و پایین را تعریف می‌کنیم. ضریب اصطکاک بین این سطوح مقدار ۰/۸ را در نظر می‌گیریم. چون دیوار پیش‌تنیده از نوع Unbounded می‌باشد، بنابراین رفتار بین میل‌گرد و دیوار را بدون اصطکاک در نظر می‌گیریم. چون در نرم‌افزار رفتار بین سطوح کنار هم اگر تعریف نشود نرم افزار خطا می‌دهد بنابراین برای سطح بین میل‌گرد و دیوار مجاور هم اصطکاک از نوع صفر در نظر می‌گیریم. برای سطوح تماس بزرگ مثل سطوح بین دیوار و تیر بتنی از روش Surface-to-surface و برای سطوح کوچک از روش Node-to-surface بهره می‌بریم، لازم به ذکر است هر مجموعه تماسی حداقل شامل یک قسمت مبنا و یک قسمت تابع می‌باشد. این قسمت‌ها می‌تواند یک نقطه، خط و یا سطح باشد مطابق شکل (۴-۵). در یک مجموعه تماسی تنها یک Master می‌تواند وجود داشته باشد. این در حالی است که از نظر تعداد سطوح محدودیتی وجود ندارد و می‌توان بی‌شمار مجموعه تماسی تعریف نمود.



شکل (۴-۵) اندرکنش بین سطوح

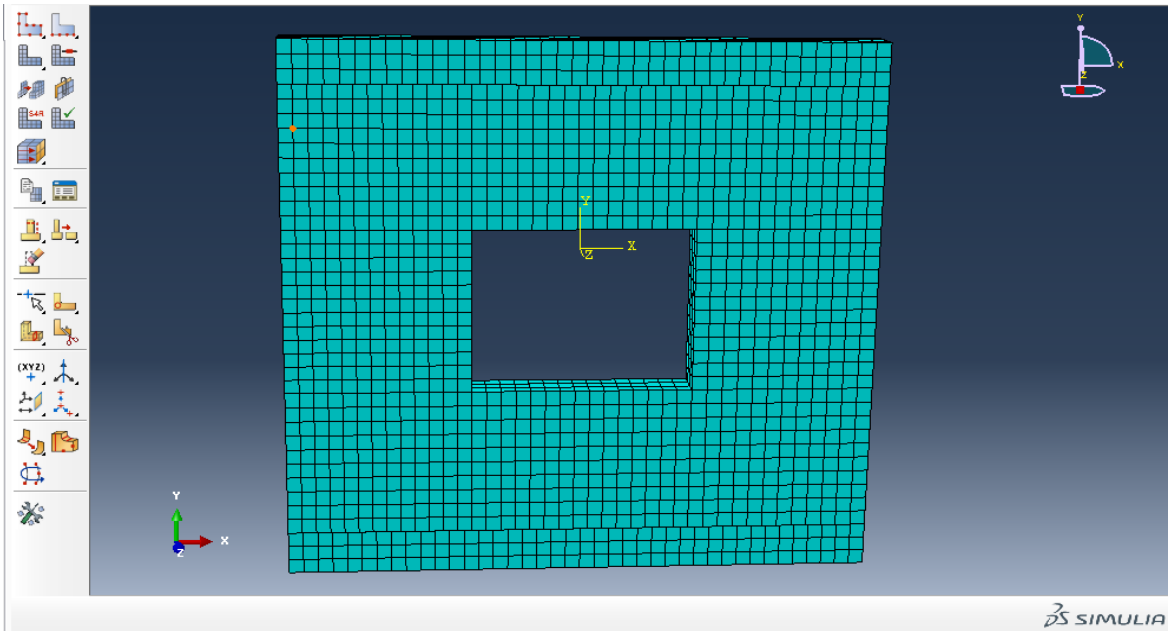
۴-۱۰ بارها و شرایط تکیه‌گاهی(Load)

اتصال دیوار روی زمین‌گیردار می‌باشد بنابراین در این مدول از مسیر Bc/create سطح زیر تیر بتنی پایین را گیردار کرده و نوع Step آن از نوع Initial اعمال می‌کنیم. بار جانبی اعمالی به دیوار را به سطحی که از قبل تعریف کردیم از نوع Step تعریف شده وارد می‌کنیم. این اعمال بار را نیز از منو گفته شده اعمال کرده و چون نوع آن از نوع تاریخچه زمانی بوده از آیکون Amplitude زمان و دامنه هر سیکل را وارد می‌کنیم. در گام بعدی بارهای وارد شده به سیستم را تعریف می‌کنیم. میزان بار اعمالی ۴۵۶ کیلو نیوتن و از نوع Body force می‌باشد. نکته قابل توجه در این مدل‌سازی این است که اگر اعمال سربار به‌صورت Pressure بر روی سطح بالایی تیر فوقانی روشی نادرست است. این امر به این دلیل است که این نوع بار همواره عمود بر سطح بوده و با چرخش تیر فوقانی نسبت به محور افقی دیگر عمود نخواهد بود. در این حالت مولفه قائم این نیرو مقداری کمتر از سربار مورد نظر داشته و مولفه افقی آن نیز نیرویی در خلاف جهت نیروی اعمالی ایجاد می‌کند که سبب تخمین نادرست ظرفیت برشی می‌شود. برای اعمال نیرو پیش‌تنیدگی از

منو Predefind field/create مقدار این نیرو که ۱۰۰۰ کیلو نیوتن از نوع Stress می‌باشد را در جهتی که میل‌گردها قرار دارند اعمال می‌کنیم. باید به این نکته توجه داشت در جهت‌هایی که نیرو پیش‌تنیدگی نداریم حتما مقدار صفر گذاشته شود.

۴-۱۱ مش‌بندی (Mesh)

برای تعریف مش‌ها از منو Seed/instance باید هریک از المان‌ها را به‌صورت جداگانه مش‌بندی کنیم. برای این که مش‌بندی در قسمت حفره‌ها دچار خطا نشود محل حفره‌ها را باید پارتیشن‌بندی کنیم و سپس مش اطراف سوراخ در Part را به صورت دستی وارد می‌کنیم و اضلاع اطراف را نیز به همان نسبت تقسیم می‌کنیم .مش‌ها از نوع Quadratic می‌باشد. در شکل (۴-۶) می‌توان مش‌بندی را ملاحظه نمود.



شکل (۴-۶) مش‌بندی مدل دیوار در آباکوس

۴-۱۲ آنالیز (Job)

برای هر مرحله از آنالیز یک نام معنی‌دار برای Job که مربوط به خودش باشد انتخاب می‌کنیم.

۴-۱۳ مدل‌سازی

بعد از شرح نحوه مدل‌سازی و ذکر خصوصیات اجزای تشکیل دهنده به بررسی چند مدل عددی دیوار با و بدون پیش‌تنیدگی می‌پردازیم، مدل‌های عددی مورد بررسی، هفت نوع دیوار انتخاب شده است که خصوصیات مصالح و ابعاد آن شبیه به‌هم بوده اما از نظر ظاهر با هم تفاوت‌هایی دارند جدول (۴-۱). دیوار اول یک دیوار غیر مسلح بدون بازشو با ابعاد ۳/۲*۴*۰/۳ متر می‌باشد، دیوار دوم نیز همانند دیوار اول غیر مسلح بوده و ابعاد آن ۳/۲*۴*۰/۳ متر می‌باشد که دارای یک باز شو با ابعاد ۱/۲*۱/۵ در مرکز خود می باشد، دیوار سوم یک دیوار بنایی مسلح پیش تنیده با ابعاد و باز شوهایی شبیه دیوار دوم می‌باشد. سایر دیوارها نیز از نظر ابعاد شبیه به دیوار اول می‌باشد اما دارای درصد بازشوهای مختلفی می‌باشد. جهت پیش‌تنیدگی، در هر دیوار دو عدد میل‌گرد نمره ۲۰ قرار داده شده است که این میل‌گردها در فاصله ۶۰ سانتی‌متری از لبه دیوار کار گذاشته شده اند. مطابق فصل دوم از نیرو۳۳۳KN استفاده شده است.

تمامی ابعاد دیوارها به متر می باشد.

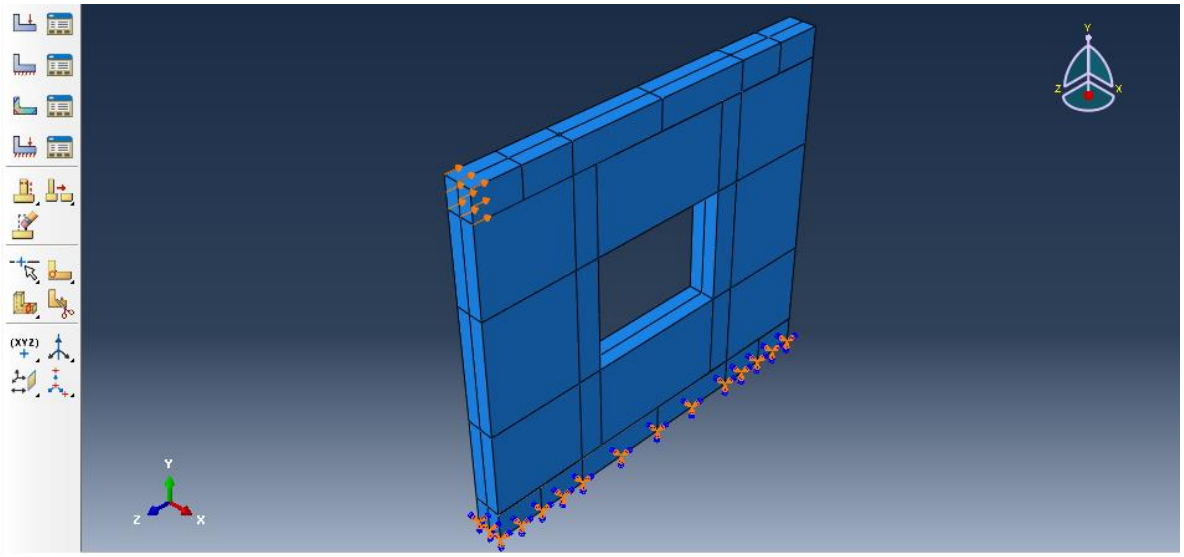
نام دیوار	طول	ارتفاع	ضخامت	طول بازشو	ارتفاع بازشو	درصد بازشو	پیش تنیده
دیوار ۱	۴	۳/۲	۰/۳	۰	۰	۰	No
دیوار ۲	۴	۳/۲	۰/۳	۱/۵	۱/۲	٪۱۵	No
دیوار ۳	۴	۳/۲	۰/۳	۱/۵	۱/۲	٪۱۵	Yes
دیوار ۴	۴	۳/۲	۰/۳	۲/۵	۱/۲۵	٪۲۵	No
دیوار ۵	۴	۳/۲	۰/۳	۲/۵	۱/۲۵	٪۲۵	Yes
دیوار ۶	۴	۳/۲	۰/۳	۲/۵	۲	٪۴۰	No
دیوار ۷	۴	۳/۲	۰/۳	۲/۵	۲	٪۴۰	Yes

جدول (۴-۱) مشخصات دیوارها

هدف از بررسی دیوارهای فوق این است که تاثیر پیش‌تنیدگی را بر روی ظرفیت باربری دیوارها بررسی نمایم. از خروجی x-y data در سطح معرفی شده در منو Step تمام نیروهای تکیه‌گاهی را با هم جمع می‌بندیم. خروجی این قسمت نمودار-نیرو برحسب زمان می‌باشد، در مرحله بعد میانگین تمام تغیر مکان‌های سطح تعریف شده را محاسبه کرده که خروجی آن در این حالت نمودار تغییر مکان بر حسب زمان می‌باشد. برای رسم منحنی هیسترزیس دو نمودار قبل را با هم ترکیب می‌کنیم تا نموداری بر حسب نیرو-تغییر مکان بدست آید که همان نمودار هیسترزیس می‌باشد.

۱۴-۴ تاثیر ابعاد بازشو

جهت اعمال بارگذاری سیکلی (تناوبی)، اعمال بار جابه‌جایی از صفر شروع شده و تحت بار رفت و برگشتی ادامه پیدا می‌کند. طبق آیین نامه FEMA 302[1] مقدار جابه‌جایی نسبی مجاز برای دیوارهای بنایی برابر۰/۷ درصد ارتفاع آن توصیه می‌گردد، لذا در این تحلیل برای رسیدن به حد مجاز خرابی ۰/۷ درصد ارتفاع دیوار، جابه‌جایی مانند شکل (۴-۷) اعمال می‌گردد و نتایج مورد بررسی قرار می‌گیرد.



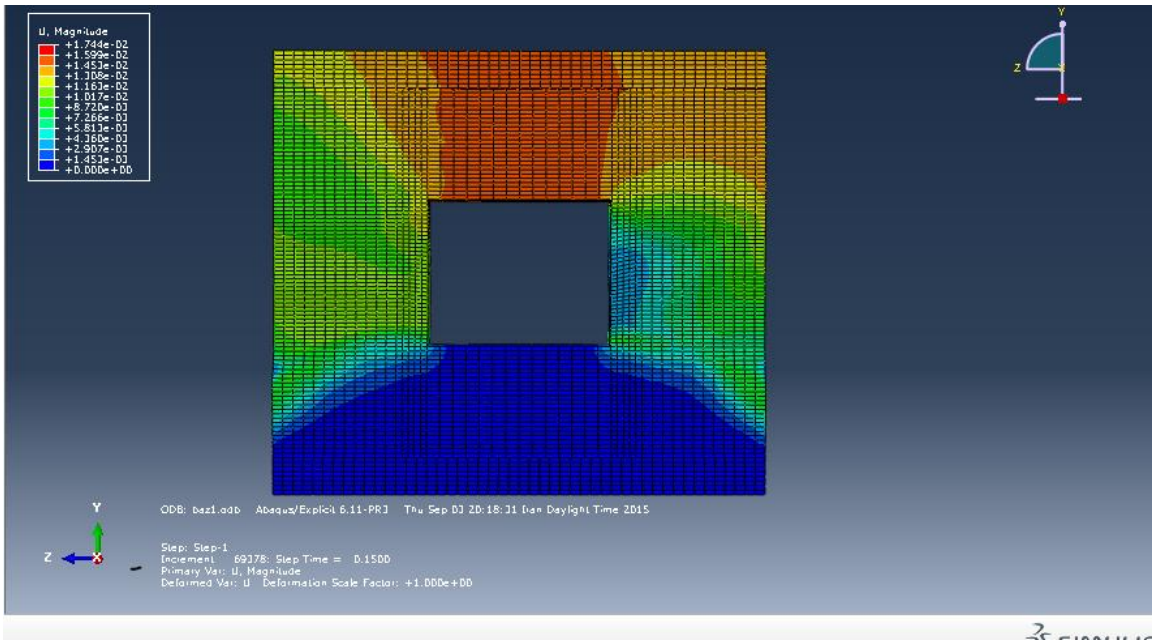
شکل (۴-۷) محل اعمال بار جانبی

۴-۱۴-۱ مقایسه نتایج حاصل از مدل‌سازی دیوارهای نوع ۲،۱و۳

دیوارهای ۲و۳ دیوار بنایی با ابعاد و مشخصات مشخص که دارای بازشویی به ابعاد ۱/۲*۱/۵ متر در مرکز می‌باشد، در این قسمت مورد بارگذاری و تحلیل قرار گرفته است. سطح این بازشو در دیواری به ابعاد ۴*۳/۲ متر حدودا" ۱۵ درصد سطح مقطع کل می‌باشد. بارگذاری مطابق شکل (۴-۷) و به‌صورت جابه‌جایی در حد مجاز آیین نامه یعنی ۰/۷ درصد ارتفاع دیوار می‌باشد.

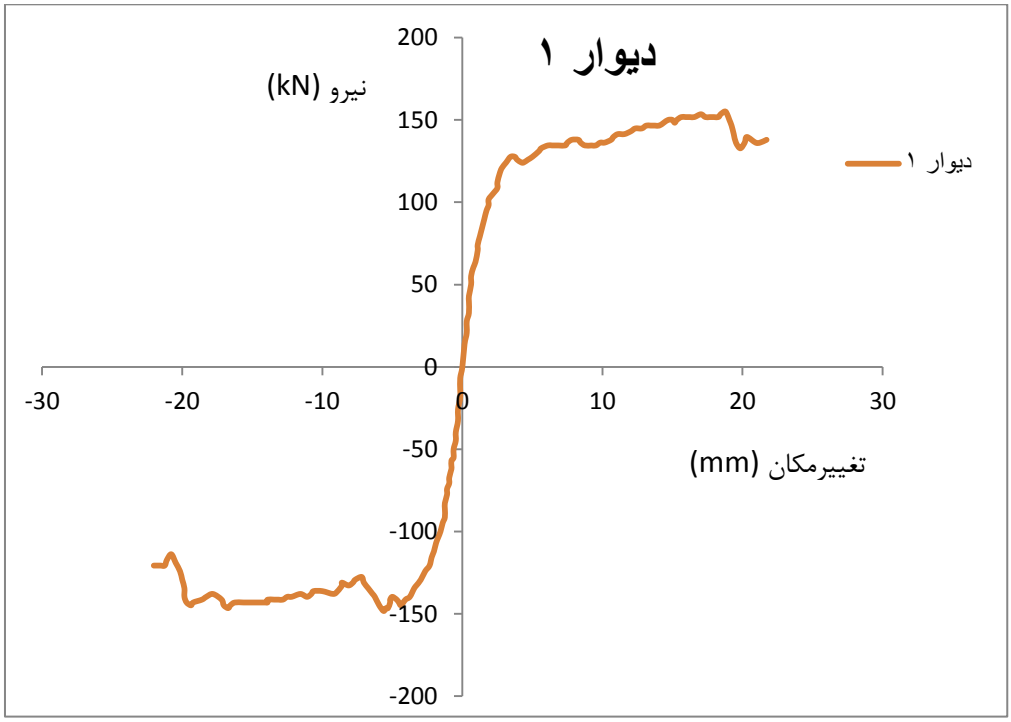
1-Federal Emergency Management Agency

پس از اعمال بارگذاری و تحلیل، نتایج به‌صورت زیر به‌دست می‌آید که در ادامه این نتایج مورد بررسی قرار می‌گیرد. تنش ایجاد شده در دیوار۲ بیانگر این مطلب است که در اثر بارگذاری نواحی اطراف بازشو و پایه‌ها دارای تنش بیشینه است که این نواحی بیشتر در خطر تخریب و آسیب می‌باشند. در مدل دیوار ۲ تنش در اکثر نقاط بیشتر است و توزیع تنش در دیوار به صورت کلی اتفاق می‌افتد.

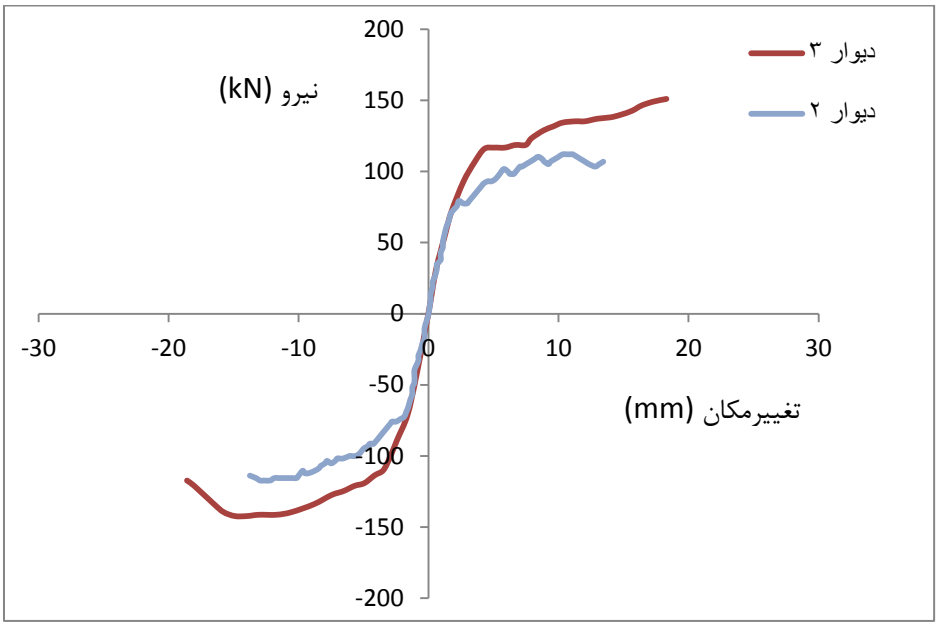


شکل (۴-۸) جابه‌جایی افقی برای مدل با ۱۵ درصد بازشو

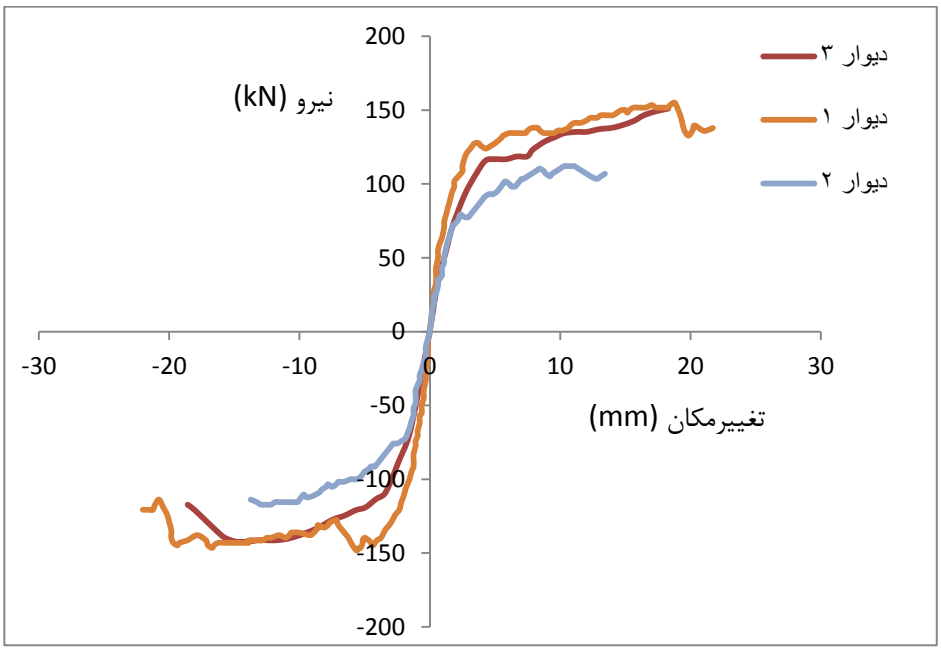
ترک خوردگی از گوشه های فشاری و کششی آغاز می‌گردد و در این محل‌ها بیشترین مقدار را دارد. بدیهی است که با توجه به ضعف مصالح بنایی در کشش ترک خوردگی و آسیب در این نقاط رخ دهد. در اطراف بازشو این آسیب دیدگی‌ها بیشینه است. پس از اعمال بارگذاری و اتمام آن خروجی مربوط به نیرو عکس العمل تکیه‌گاهی را از نرم‌افزار گرفته می‌شود و با خروجی تغییر مکان ادغام کرده که خروجی آن منحنی هیسترزیس می‌باشد.



شکل (۴-۹) پوش منحنی هیسترزیس دیوار ۱ (توپر بدون پیش‌تنیدگی)

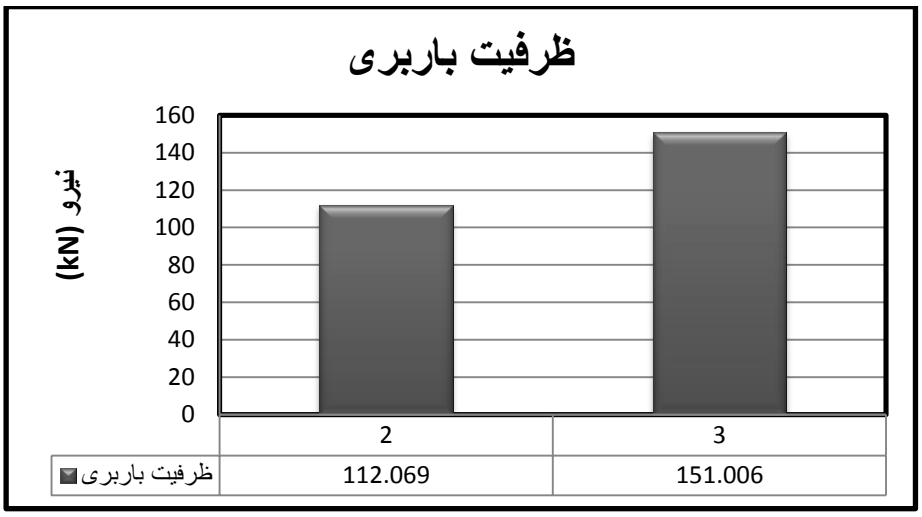


شکل (۴-۱۰) مقایسه منحنی پوش هیسترزیس دیوار ۲ و دیوار ۳ (۱۵٪ بازشو)



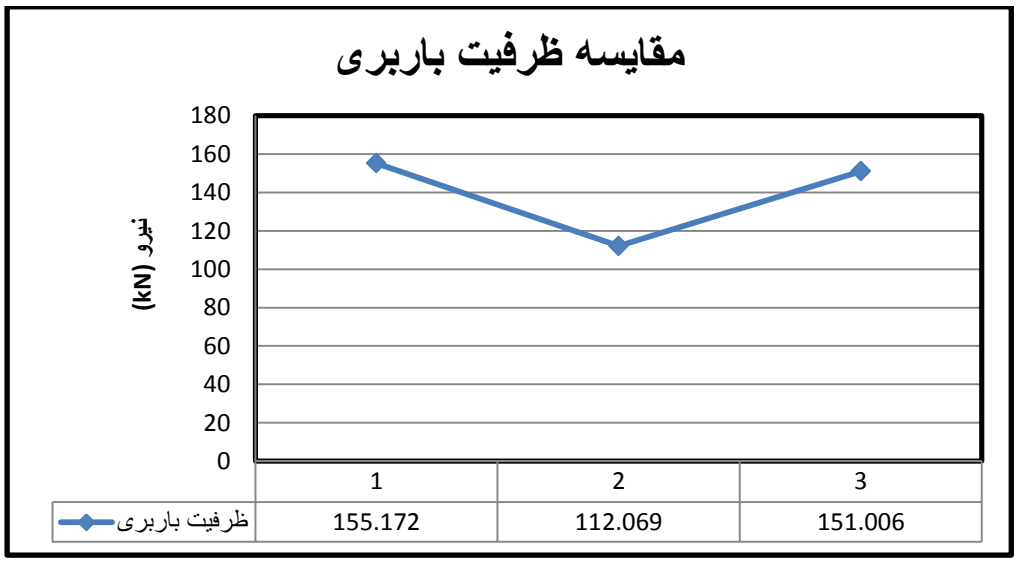
شکل (۴-۱۱) مقایسه پوش منحنی هیسترزیس دیوار دارای بازشو ۱۵درصد با دیوار توپر

با مقایسه منحنی پوش هیسترزیس‌های دیوار ۲ و ۳ در شکل (۴-۱۰) ملاحظه می‌شود که در مرحله اولیه سختی دیوار قابل توجه بوده و در ابتدای بارگذاری تاب تحمل را داشته است، با مقایسه ظرفیت باربری نمودارها در شکل (۴-۱۲) و (۴-۱۳) مشاهده می‌شود که دیوار۲ در وضعیت بدون پیش‌تنیدگی نیروی ۱۱۲/۰۶۹ KN و در وضعیت با پیش‌تنیدگی نیروی ۱۵۱/۰۰۶ KNرا تحمل می‌کند، یعنی استفاده از پیش‌تنیدگی باعث افزایش ۳۴/۷۵ درصدی ظرفیت باربری می‌گردد.



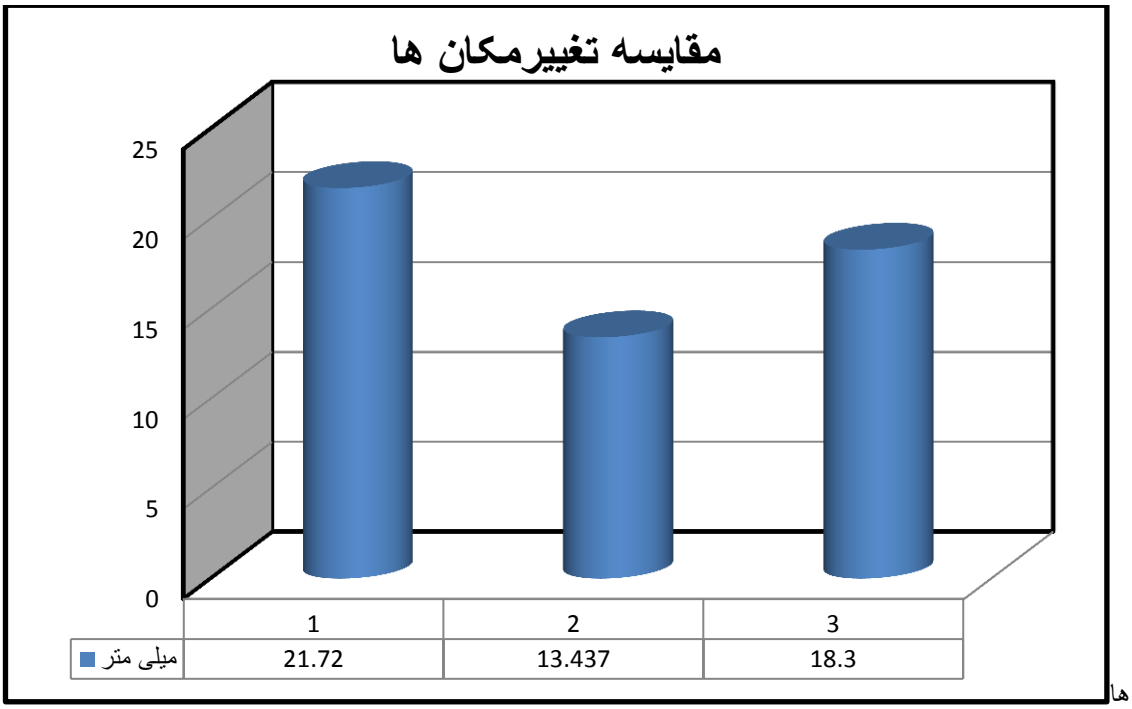
شکل (۴-۱۲) مقایسه ظرفیت باربری دیوار ۲ و ۳

با مقایسه باربری دیوار ۲ با ۱۵ درصد بازشو فاقد پیش تنیدگی با دیوار ۱ بدون بازشو (توپر)، ملاحظه می‌شود که دیوار ۲ در حدود ۸/ ۲۷ درصد ظرفیت باربری آن نسبت به دیوار ۱ کمتر می‌باشد و برای دیوار ۳ با ۱۵ درصد بازشو دارای پیش‌تنیدگی در مقایسه با دیوار ۱ ظرفیت باربری دیوار ۳ حدود ۲/۷ درصد کمتر از دیوار ۱ (توپر) می‌باشد. یعنی در مجموع دیوار پیش‌تنیده دارای ۱۵درصد بازشو، ظرفیت باربری آن در حدود ۳ درصد کمتر از دیوار فاقد بازشو می‌باشد.



شکل (۴-۱۳) نمودار مقایسه ظرفیت باربری دیوارهای دارای ۱۵ درصد بازشو با دیوار بدون بازشو

با مقایسه تغییرمکان‌ها در دیوارهای ذکر شده مطابق شکل (۴-۱۴) تغییرمکان دیوار ۲ نسبت به دیوار ۱ به مقدار ۳۸ درصد کمتر می‌باشد و هم‌چنین تغییرمکان دیوار ۳ نسبت به ۱ به مقدار ۱۵/۸ درصد کمتر می‌باشد. و با مقایسه دیوار ۲و۳ می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از پیش‌تنیدگی تغییرمکان دیوار ۲ به میزان ۲۷ درصد افزایش می‌یابد. یعنی با استفاده از پیش‌تنیگی می‌توان تغییرمکان دیواری که در آن بازشو بوجود آمده است را به میزان ۲۲/۲ درصد بهبود بخشد.

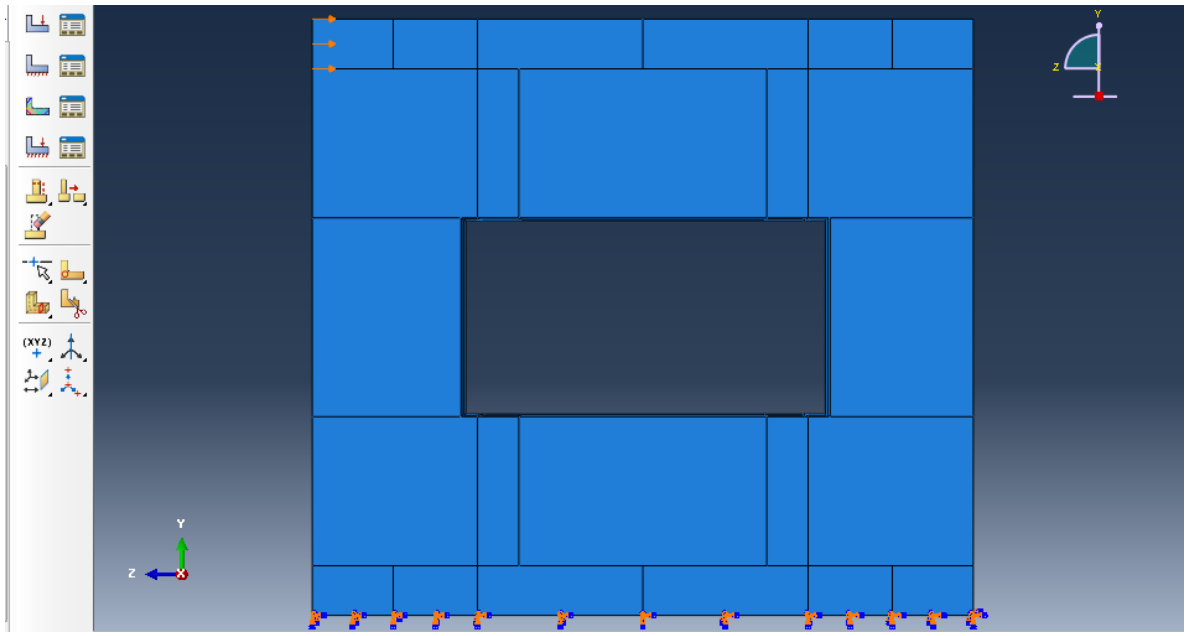


شکل (۴-۱۴) مقایسه تغییرمکان دیوارهای پیش تنیده و ساده دارای ۱۵ درصد بازشو

۴-۱۴-۲ مقایسه نتایج حاصل از مدل‌سازی دیوارهای نوع ۴،۱و۵

دیوارهای ۴و۵ با دیوار بنایی با ابعاد و مشخصات مشخص که دارای بازشویی با ابعاد ۱/۲۵*۲/۵ متر در مرکز می‌باشد، در این قسمت مورد بارگذاری و تحلیل قرار گرفته است. سطح این بازشو در دیواری به ابعاد ۴*۳/۲ متر حدودا" ۲۵ درصد سطح مقطع کل می‌باشد. بارگذاری مطابق شکل (۴-

۱۵) می‌باشد. پس از اعمال بارگذاری و تحلیل، نتایج به‌صورت زیر به‌دست می‌آید که در ادامه این نتایج مورد بررسی قرار می‌گیرد. تنش ایجاد شده در دیوار۴ بیانگر این مطلب است که در اثر بارگذاری نواحی اطراف بازشو و پایه‌ها دارای تنش بیشینه است که این نواحی بیشتر در خطر تخریب و آسیب می‌باشند. در مدل دیوار ۴ تنش در اکثر نقاط بیشتر است و توزیع تنش در دیوار به صورت کلی اتفاق می‌افتد.

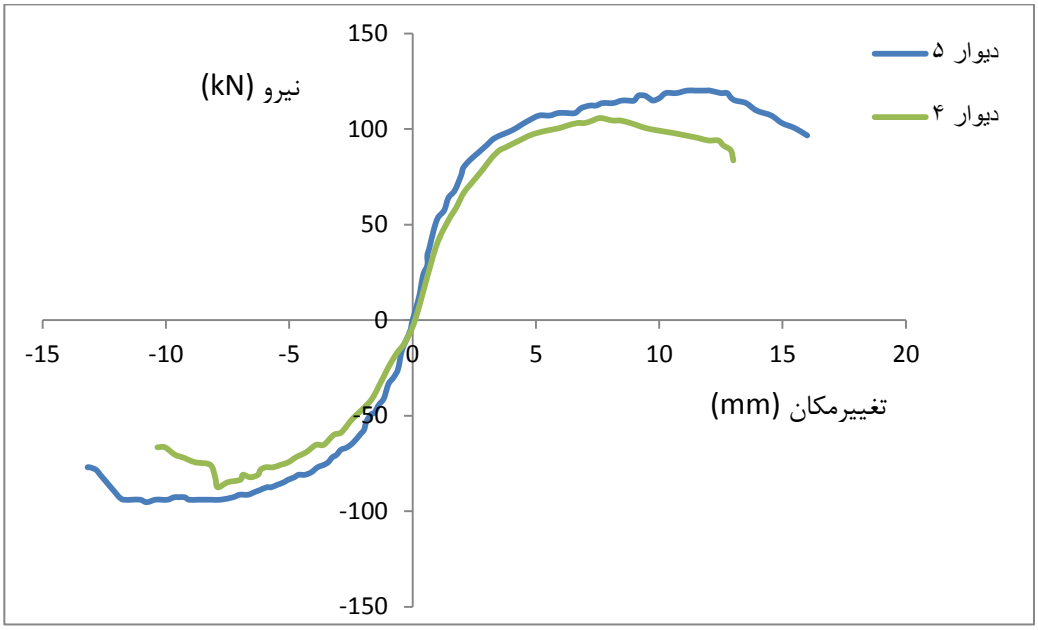


شکل (۴-۱۵) محل اعمال بار رفت و برگشت جانبی به دیوار با بازشو ۲۵ درصد

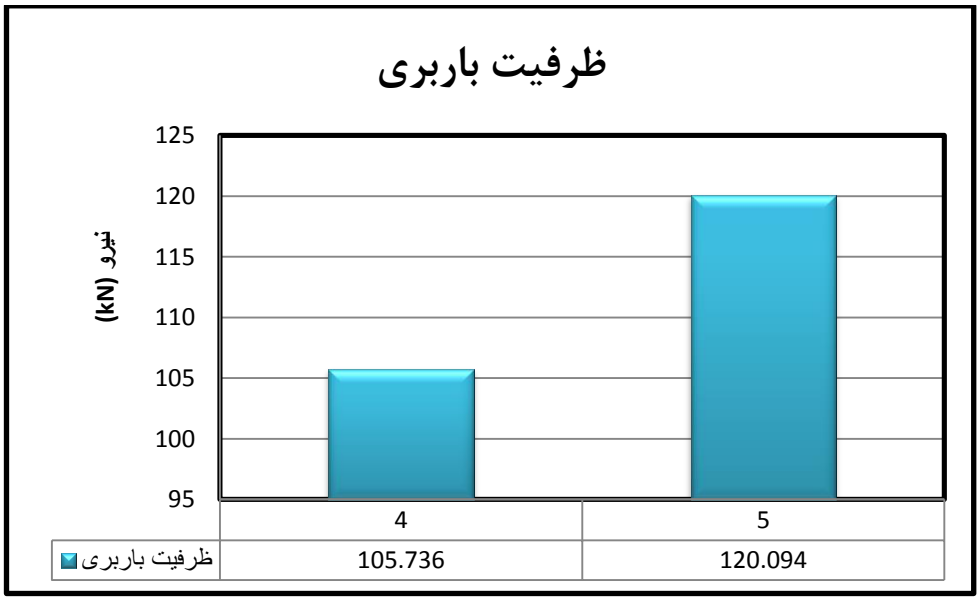
ترک خوردگی از گوشه های فشاری و کششی آغاز می‌گردد و در این محل‌ها بیشترین مقدار را دارد. بدیهی است که با توجه به ضعف مصالح بنایی در کشش ترک خوردگی و آسیب در این نقاط رخ دهد. در اطراف بازشو این آسیب دیدگی‌ها بیشینه است. پس از اعمال بارگذاری و اتمام آن خروجی مربوط به نیرو عکس العمل تکیه‌گاهی را از نرم‌افزار گرفته می‌شود و با خروجی تغییر مکان ادغام کرده که خروجی آن منحنی هیسترزیس می‌باشد.

با مقایسه منحنی پوش هیسترزیس‌های دیوار ۴ و ۵ در شکل (۴-۱۶) ملاحظه می‌شود که در مرحله اولیه سختی دیوار قابل توجه بوده و در ابتدای بارگذاری تاب تحمل را داشته است، با مقایسه

ظرفیت باربری نمودارها در شکل (۴-۱۷) مشاهده می‌شود که دیوار۴ در وضعیت بدون پیش‌تنیدگی نیروی ۱۰۵/۷۳۶ KN و دیوار ۵ در وضعیت با پیش‌تنیدگی نیروی ۱۲۰/۰۹۴ KNرا تحمل می-کند، یعنی استفاده از پیش‌تنیدگی باعث افزایش ۱۱/۹۶ درصدی ظرفیت باربری می‌گردد.

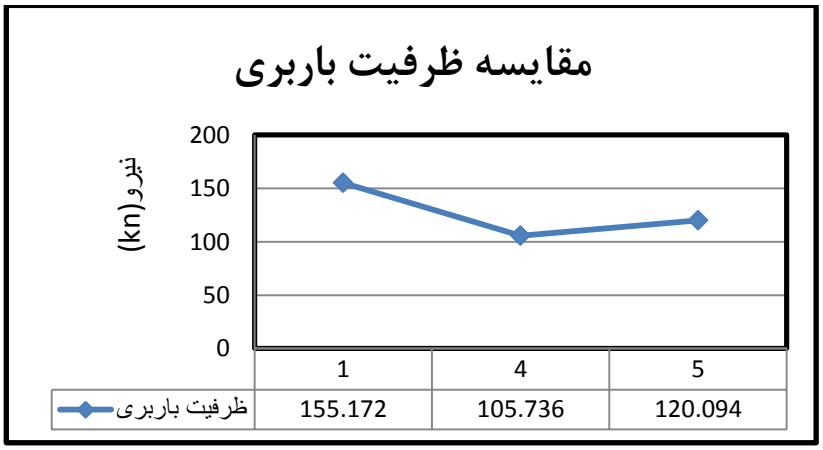


شکل (۴-۱۶) مقایسه پوش هیسترزیس دیوار ۴ و دیوار ۵ (پیش‌تنیده)



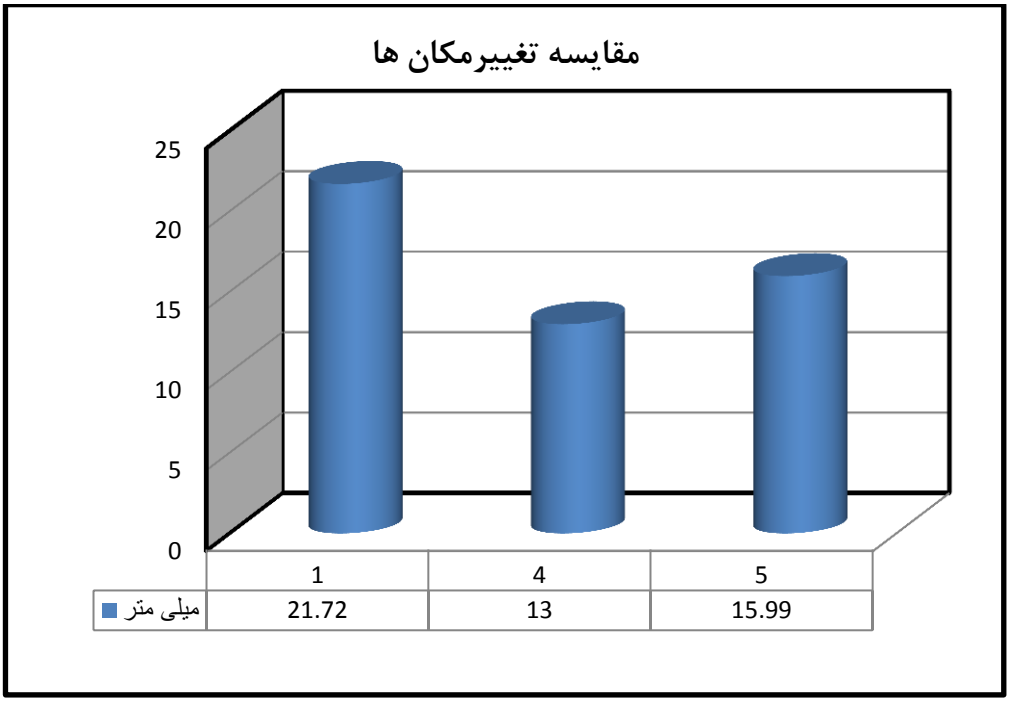
شکل (۴-۱۷) مقایسه ظرفیت باربری دیوار ۴ و ۵

با مقایسه باربری دیوار ۴ در شکل (۴-۱۸) با ۲۵ درصد بازشو فاقد پیش تنیدگی با دیوار ۱ بدون بازشو (توپر)، ملاحظه می‌شود که دیوار ۴ در حدود ۴۶ /۷۵ درصد ظرفیت باربری آن نسبت به دیوار ۱ کمتر می‌باشد و برای دیوار ۵ با ۲۵ درصد بازشو دارای پیش‌تنیدگی در مقایسه با دیوار ۱ ظرفیت باربری دیوار ۵ حدود ۲۹/۲ درصد کمتر از دیوار ۱ (توپر) می‌باشد. یعنی در مجموع دیوار پیش‌تنیده دارای ۲۵درصد بازشو، ظرفیت باربری آن در حدود ۳۰ درصد کمتر از دیوار فاقد بازشو می‌باشد



شکل (۴-۱۸) مقایسه ظرفیت باربری دیوارهای دارای ۲۵ درصد بازشو با دیوار بدون بازشو

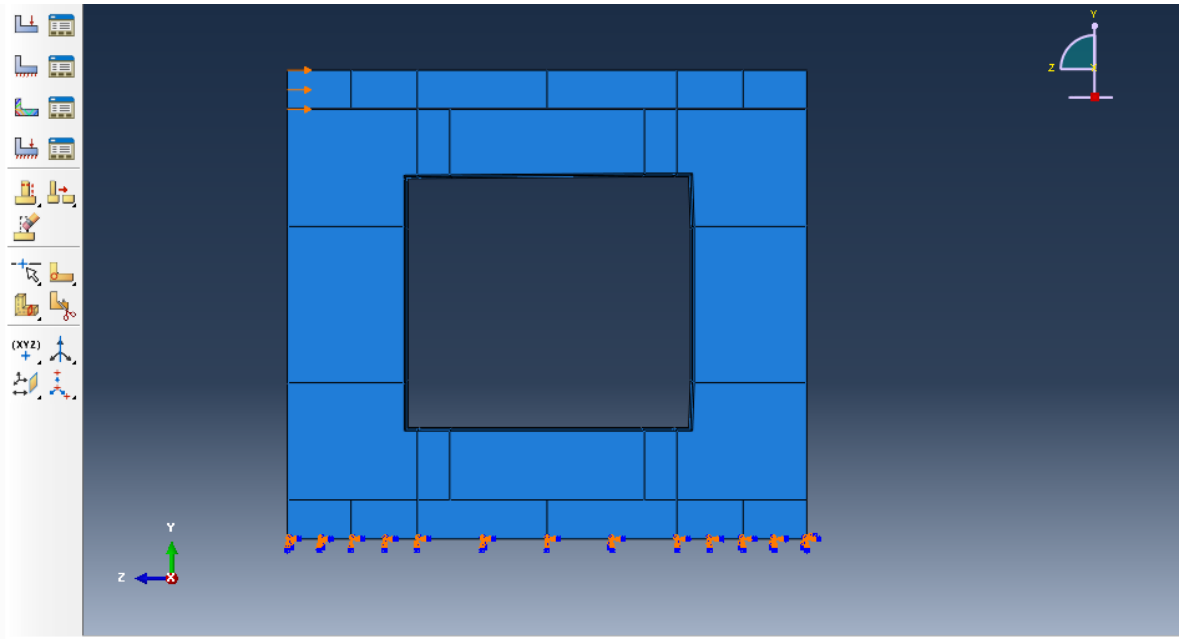
با مقایسه تغییرمکان‌ها در دیوارهای ذکر شده مطابق شکل (۴-۱۹) تغییرمکان دیوار ۳ نسبت به دیوار ۱ به مقدار ۴۰ درصد کمتر می‌باشد و همچنین تغییرمکان دیوار ۵ نسبت به ۱ به مقدار ۲۶/۳۵ درصد کمتر می‌باشد. و با مقایسه دیوار ۴ و ۵ می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از پیش‌تنیدگی تغییرمکان دیوار ۴ به میزان ۱۸/۷ درصد افزایش می‌یابد. یعنی با استفاده از پیش‌تنیگی می‌توان تغییرمکان دیواری که در آن بازشو بوجود آمده است را به میزان ۳۱/۲۳ درصد جبران نمود.



شکل (۴-۱۹) مقایسه تغییرمکان دیوارهای پیش تنیده و ساده دارای ۲۵ درصد بازشو

۴-۱۴-۳ مقایسه نتایج حاصل از مدل‌سازی دیوارهای نوع ۶،۱و۷

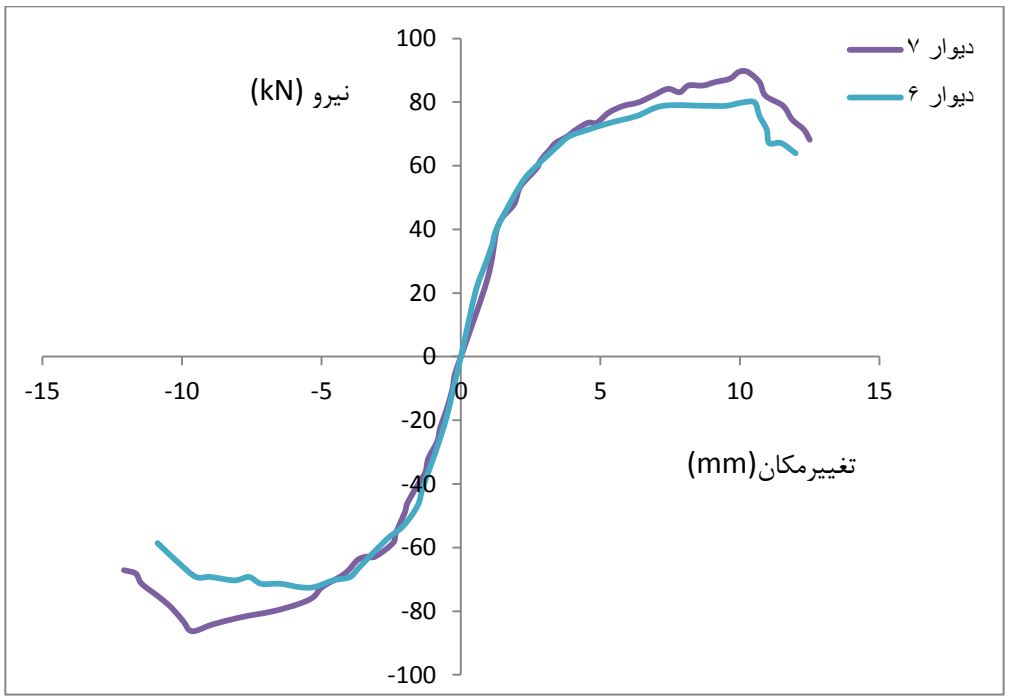
دیوارهای ۶ و ۷ با دیوار بنایی با ابعاد و مشخصات مشخص که دارای بازشویی با ابعاد ۲*۲/۵ متر در مرکز می‌باشد، در این قسمت مورد بارگذاری و تحلیل قرار گرفته است. سطح این بازشو در دیواری به ابعاد ۴*۳/۲ متر حدوداً ۴۰ درصد سطح مقطع کل می‌باشد. بارگذاری مطابق شکل (۴-۲۰) می‌باشد. پس از اعمال بارگذاری و تحلیل، نتایج به‌صورت زیر به‌دست می‌آید که در ادامه این نتایج مورد بررسی قرار می‌گیرد. تنش ایجاد شده در دیوار۶ بیانگر این مطلب است که در اثر بارگذاری نواحی اطراف بازشو و پایه‌ها دارای تنش بیشینه است که این نواحی بیشتر در خطر تخریب و آسیب می‌باشند. در مدل دیوار ۶ تنش در اکثر نقاط بیشتر است و توزیع تنش در دیوار به صورت کلی اتفاق می‌افتد.



شکل (۴-۲۰) محل اعمال بار رفت و برگشت جانبی با بازشو ۴۰ درصد

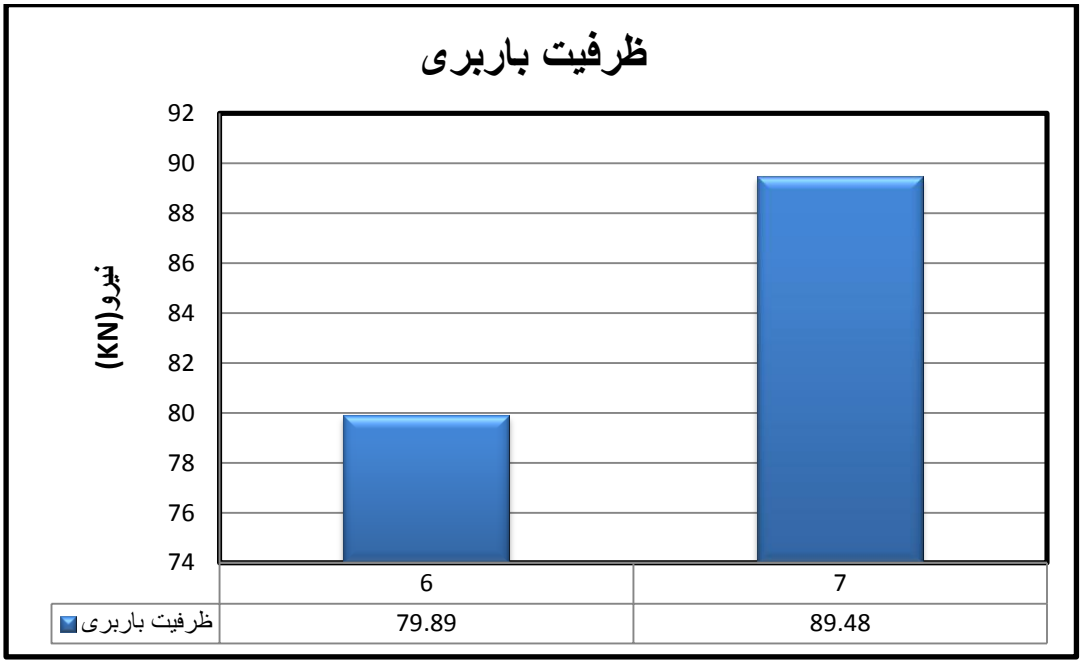
ترک خوردگی از گوشه های فشاری و کششی آغاز می‌گردد و در این محل‌ها بیشترین مقدار را دارد. بدیهی است که با توجه به ضعف مصالح بنایی در کشش ترک خوردگی و آسیب در این نقاط رخ دهد. در اطراف بازشو این آسیب دیدگی‌ها بیشینه است. پس از اعمال بارگذاری و اتمام آن خروجی مربوط به نیرو عکس العمل تکیه‌گاهی را از نرم‌افزار گرفته می‌شود و با خروجی تغییرمکان ادغام کرده که خروجی آن منحنی هیسترزیس می‌باشد.

با مقایسه منحنی پوش هیسترزیس‌های دیوار ۶ و ۷ در شکل (۴-۲۱) ملاحظه می‌شود که در مرحله اولیه سختی دیوار قابل توجه بوده و در ابتدای بارگذاری تاب تحمل را داشته است، با مقایسه ظرفیت باربری نمودارها در شکل (۴-۲۲) مشاهده می‌شود که دیوار۶ در وضعیت بدون پیش‌تنیدگی نیروی ۷۹/۸۹ KN و دیوار ۷ در وضعیت با پیش‌تنیدگی نیروی ۸۹/۴۸ KN را تحمل می‌کند، یعنی استفاده از پیش‌تنیدگی باعث افزایش ۱۰/۸ درصدی ظرفیت باربری می‌گردد.



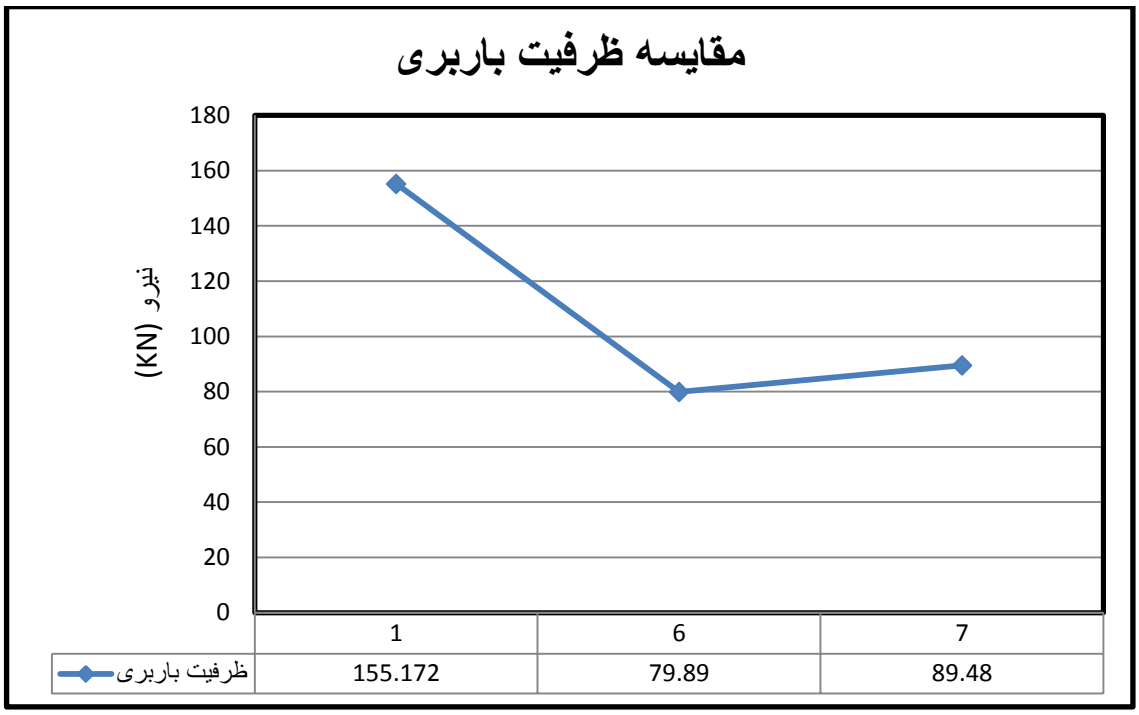
شکل (۴-۲۱) مقایسه پوش هیسترزیس دیوار ۶ و دیوار ۷ (پیش تنیده)

با مقایسه پوش هیسترزیس‌های دیوار ۶ و دیوار ۷ در شکل (۴-۲۱) می‌توان فهمید که در مرحله اولیه سختی دیوار قابل توجه بوده و در ابتدای بارگذاری تاب تحمل راداشته است. با مقایسه ظرفیت باربری نمودارها در شکل (۴-۲۲) که مقایسه ظرفیت باربری دیوار غیر پیش‌تنیده و ظرفیت دیوار پیش‌تنیده می‌باشد،که در حالت عادی ظرفیت باربری دیوار KN ۷۹/۸۹ و در حالت پیش‌تنیده KN ۸۹/۴۸ می‌باشد، یعنی استفاده از پیش‌تنیدگی باعث افزایش ۱۲ درصدی ظرفیت باربری می‌گردد.

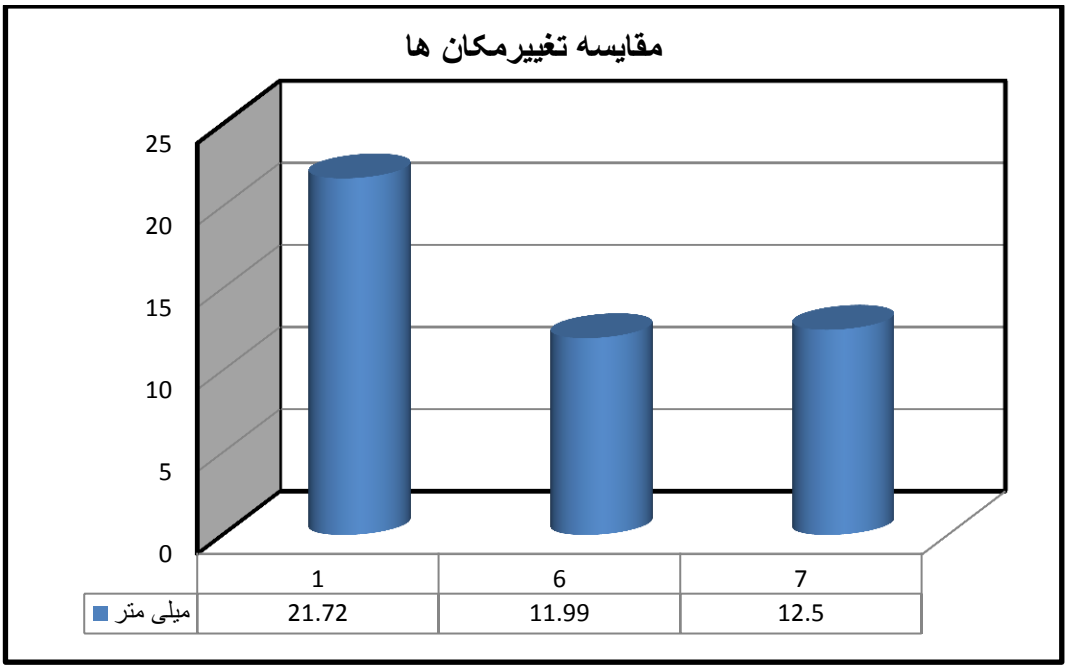


شکل (۴-۲۲) مقایسه ظرفیت باربری دیوار ۶ و ۷

با مقایسه باربری دیوار ۶ در شکل (۴-۲۳) با ۴۰ درصد بازشو فاقد پیش تنیدگی با دیوار ۱ بدون بازشو (توپر)، ملاحظه می‌شود که دیوار ۶ در حدود ۴۸/۵ درصد ظرفیت باربری آن نسبت به دیوار ۱ کمتر می‌باشد و برای دیوار ۷ با ۴۰ درصد بازشو دارای پیش‌تنیدگی در مقایسه با دیوار ۱ ظرفیت باربری دیوار ۷ حدود ۴۲/۳ درصد کمتر از دیوار ۱ (توپر) می‌باشد. یعنی در مجموع دیوار پیش‌تنیده دارای ۴۰درصد بازشو، ظرفیت باربری آن در حدود ۴۲ درصد کمتر از دیوار فاقد بازشو می‌باشد.



شکل (۴-۲۳) مقایسه ظرفیت باربری دیوارهای دارای بازشو ۴۰ درصد با دیوار بدون بازشو

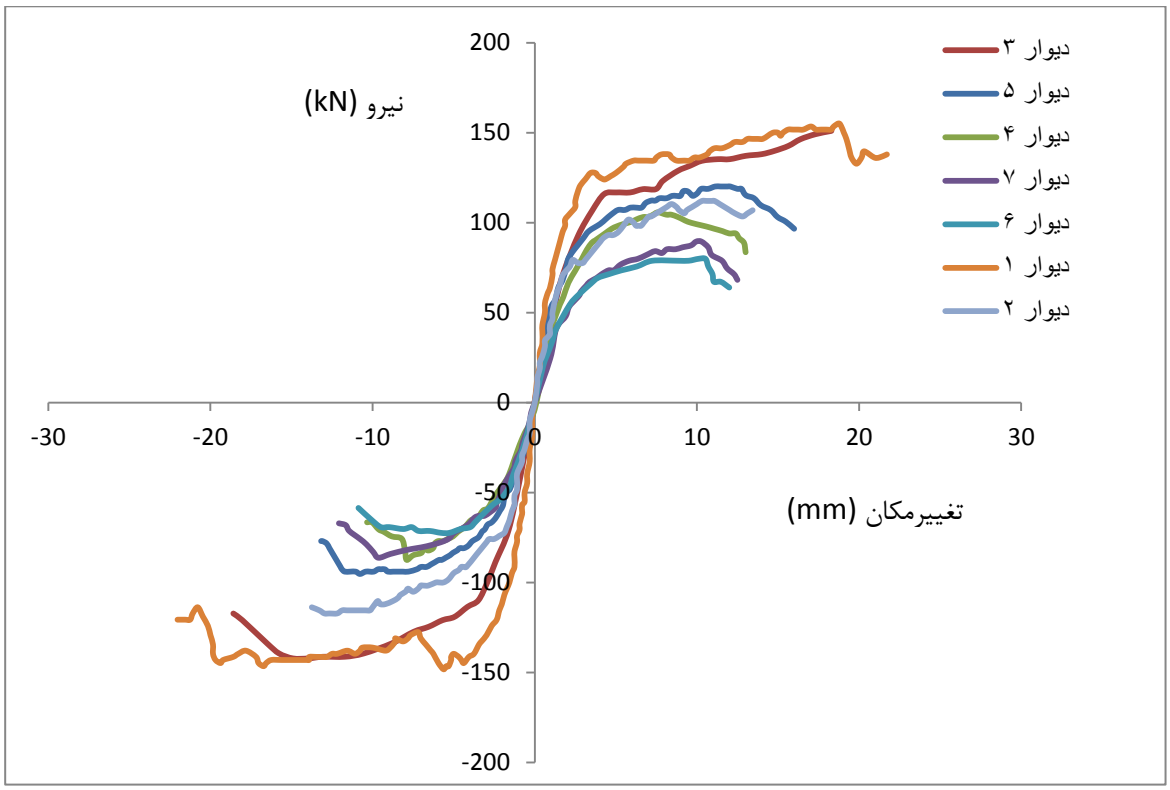


شکل (۴-۲۴) مقایسه تغییرمکان دیوارهای پیش تنیده و ساده دارای ۴۰درصد بازشو

با مقایسه تغییرمکان‌ها در دیوارهای ذکر شده مطابق شکل (۴-۲۴) تغییرمکان دیوار ۶ نسبت به دیوار ۱ به مقدار ۴۴/۸ درصد کمتر می‌باشد و هم‌چنین تغییرمکان دیوار ۷ نسبت به ۱ به مقدار ۴۴/۴۵ درصد کمتر می‌باشد. و با مقایسه دیوار ۶ و ۷ می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از پیش-تنیدگی تغییرمکان دیوار ۶ به میزان ۴/۰۸ درصد افزایش می‌یابد. یعنی با استفاده از پیش‌تنیدگی می‌توان تغییرمکان دیواری که در آن بازشو بوجود آمده است را به میزان ۱ درصد بهبود می‌بخشد.

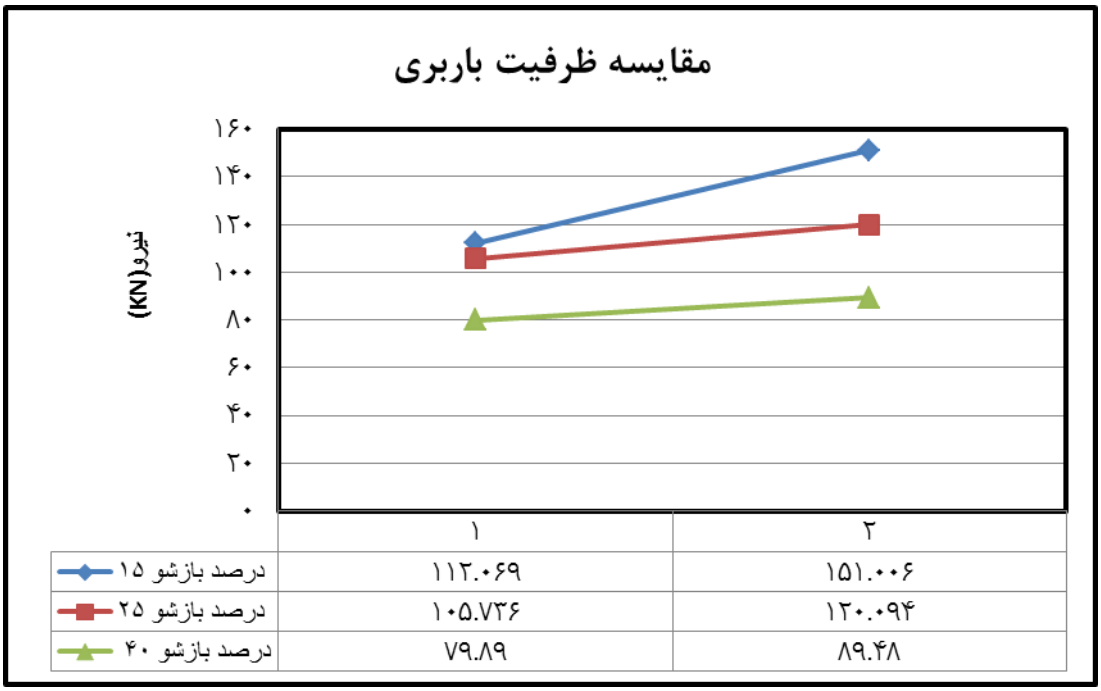
۴-۱۵ مقایسه نتایج حاصل از تحلیل

بعد از این که هفت دیوار مورد نظر توسط نرم‌افزار مدل و تحلیل شدند نمودارها و منحنی‌های پوش هیسترزیس را با هم مقایسه گردید طبق بررسی انجام شده می‌توان به‌صورت زیر نتیجه گرفت.

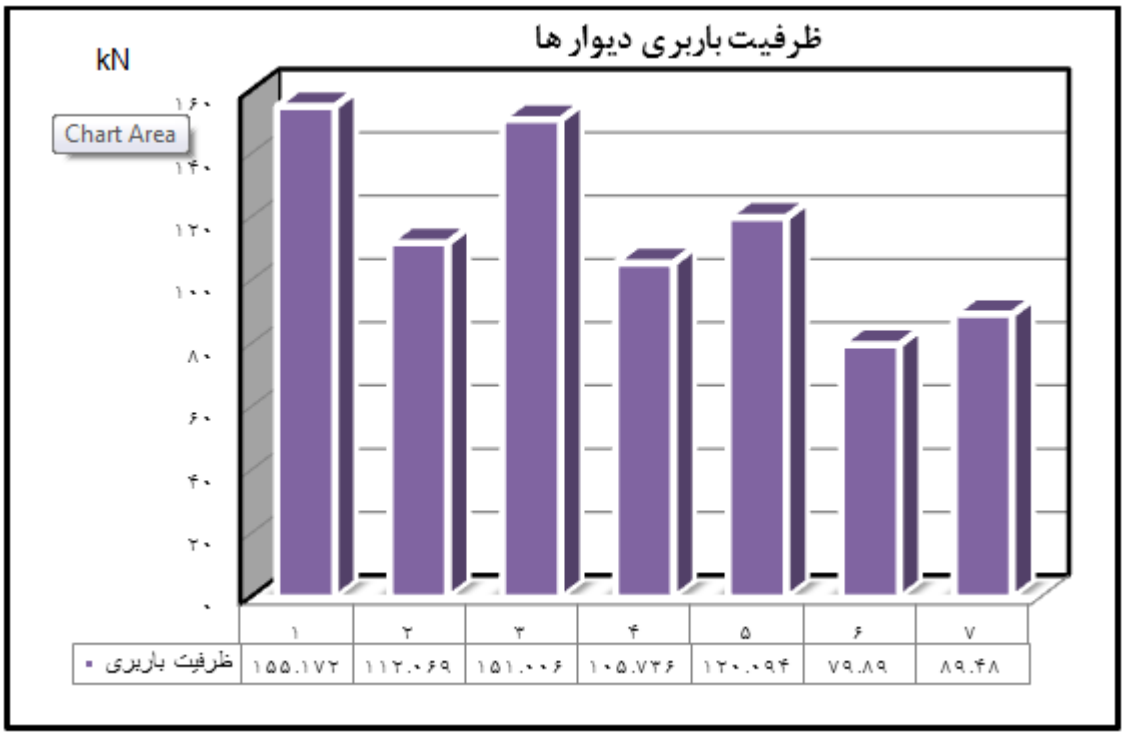


شکل (۴-۲۵) پوش منحنی‌های هیسترزیس کل دیوارها

با مقایسه پوش منحنی‌های هیسترزیس دیوارهای دارای بازشو و دیوار بدون بازشو و از مقایسه حداکثر ظرفیت باربری طبق شکل (۴-۲۶) می‌توان گفت که حداکثر ظرفیت باربری متعلق به نمونه دیوار ۱ (بدون بازشو) مقدار۱۵۵/۱۷۲ کیلو نیوتن و حداقل برای دیوار ۶ به مقدار ۷۹/۸۹ کیلو نیوتن می‌باشد.

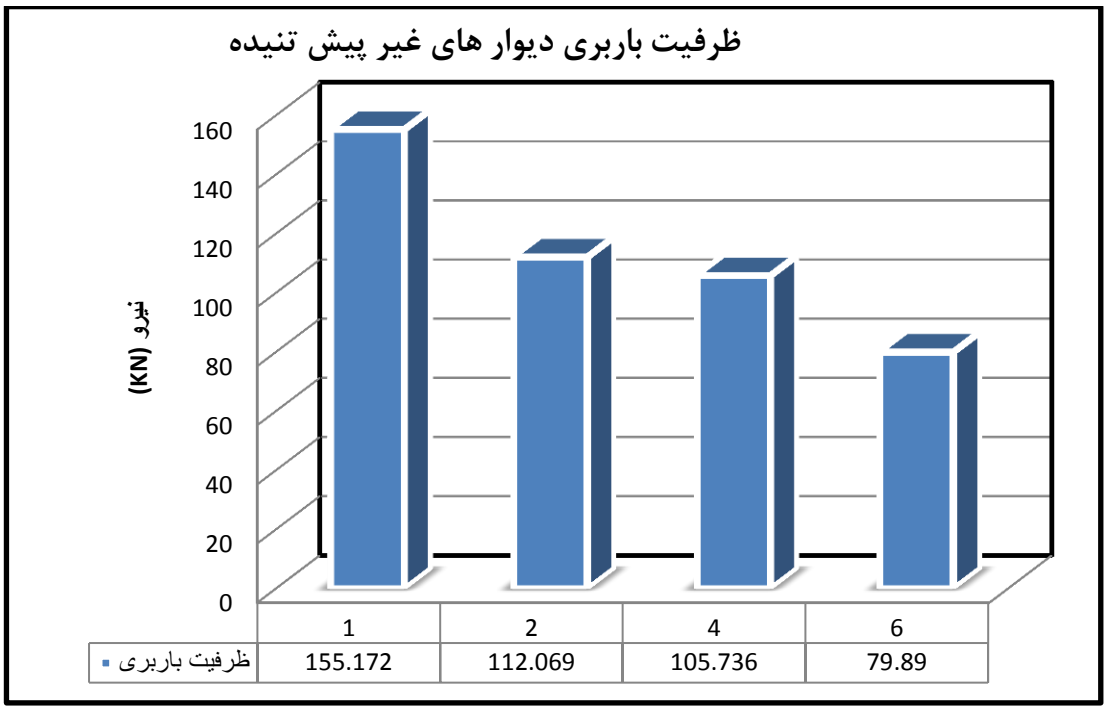


شکل (۴-۲۶) مقایسه ظرفیت باربری دیوارها



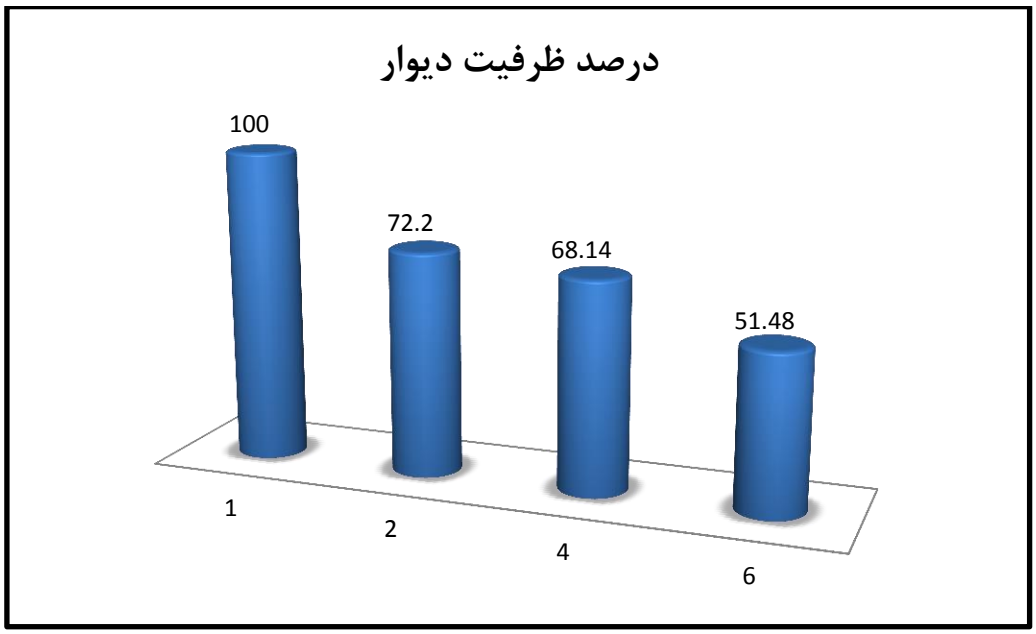
شکل (۴-۲۷) ظرفیت باربری دیوارها

با مقایسه ظرفیت باربرها در دیوار های غیر پیش‌تنیده مانند شکل (۴-۲۸) می‌توان گفت اثر بازشو باعث می‌شود تا ظرفیت باربری دیوار کاهش یابد. که با توجه به تحلیل‌های انجام شده در صدد افزایش ظرفیت باربری توسط پیش‌تنیدگی هستیم.



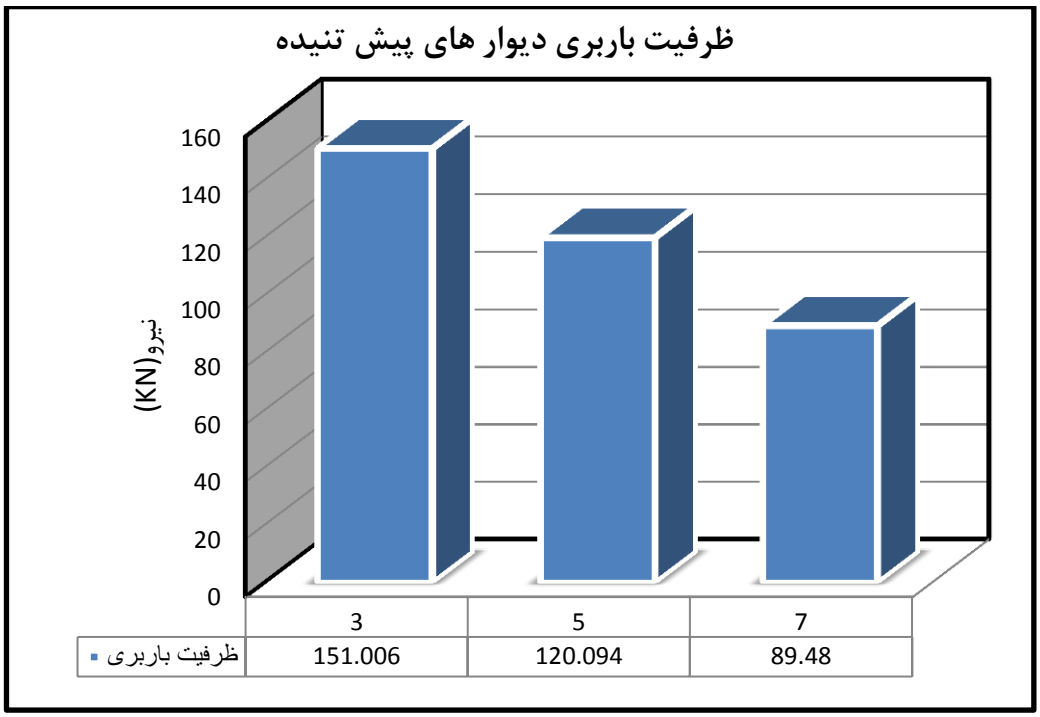
شکل (۴-۲۸)مقایسه ظرفیت باربری دیوارهای غیر پیش‌تنیده

اگر بخواهیم این مقادیر را به‌صورت درصد بیان کنیم با توجه به شکل (۴-۲۹) می‌توان گفت بازشو ۴۰ درصدی اثر زیادی بر ظرفیت باربری دیوار داشته و ظرفیت دیوار را تا حد ۵۱/۴۸ درصد کاهش می‌دهد.

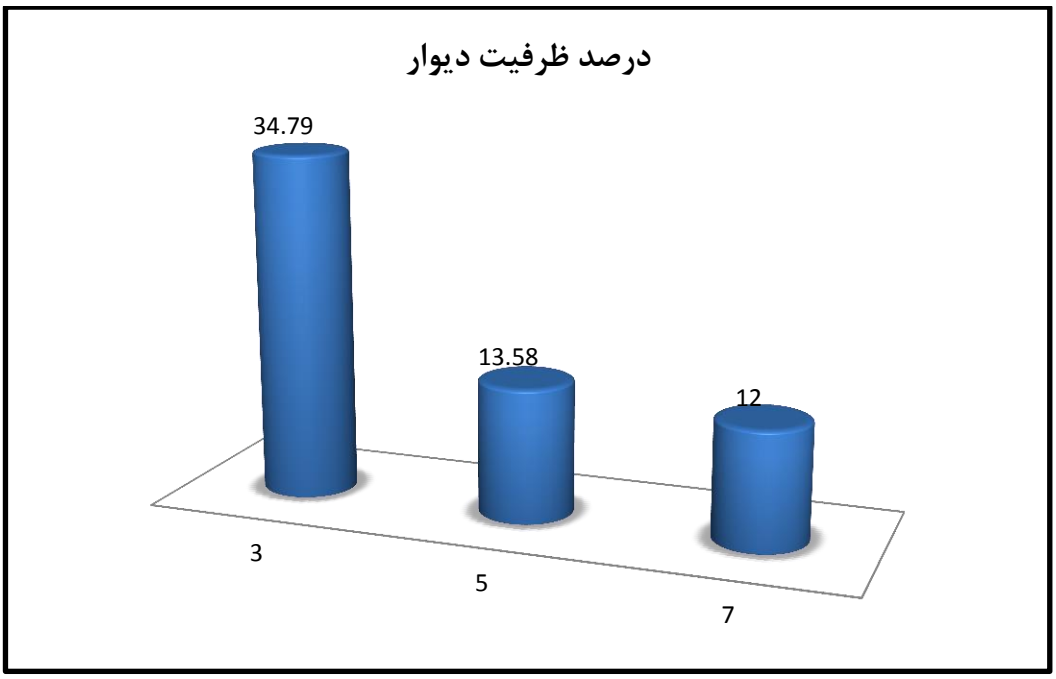


شکل (۴-۲۹) مقایسه درصد ظرفیت دیوارهای غیر پیش تنیده

با مقایسه نتایج پیش‌تنیدگی در دیوارها مطابق شکل (۴-۳۰) با پیش‌تنیدگی می‌توان گفت هر چه ابعاد بازشو کوچک‌تر باشد، اثرات مثبت پیش‌تنیدگی در آن می‌تواند بیشتر باشد باتوجه به شکل (۴-۳۱) پیش‌تنیدگی دیوار بنایی دارای بازشو ۱۵ درصد را ۳۴/۷۵ درصد بهبود بخشیده است، یعنی ظرفیت باربری دیوار دارای بازشو پیش‌تنیده تقریبا" برابر دیوار بدون بازشو می‌باشد.

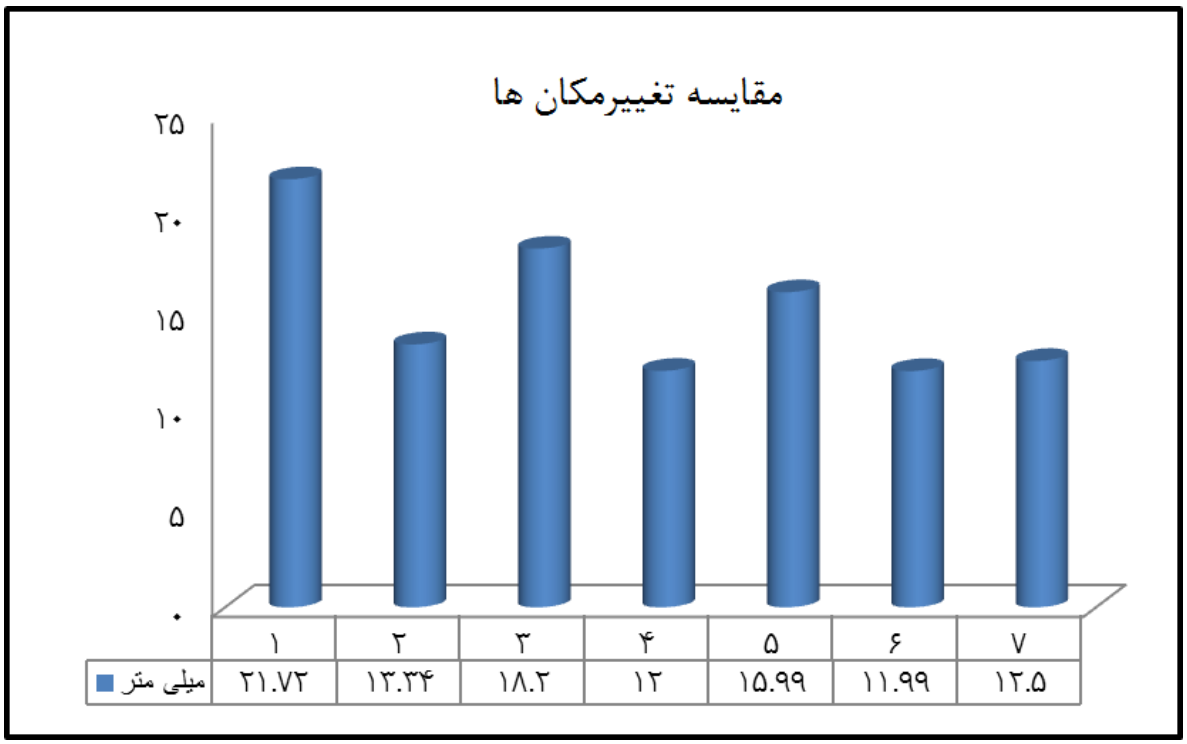


شکل (۴-۳۰) مقایسه ظرفیت باربری دیوارهای پیش تنیده



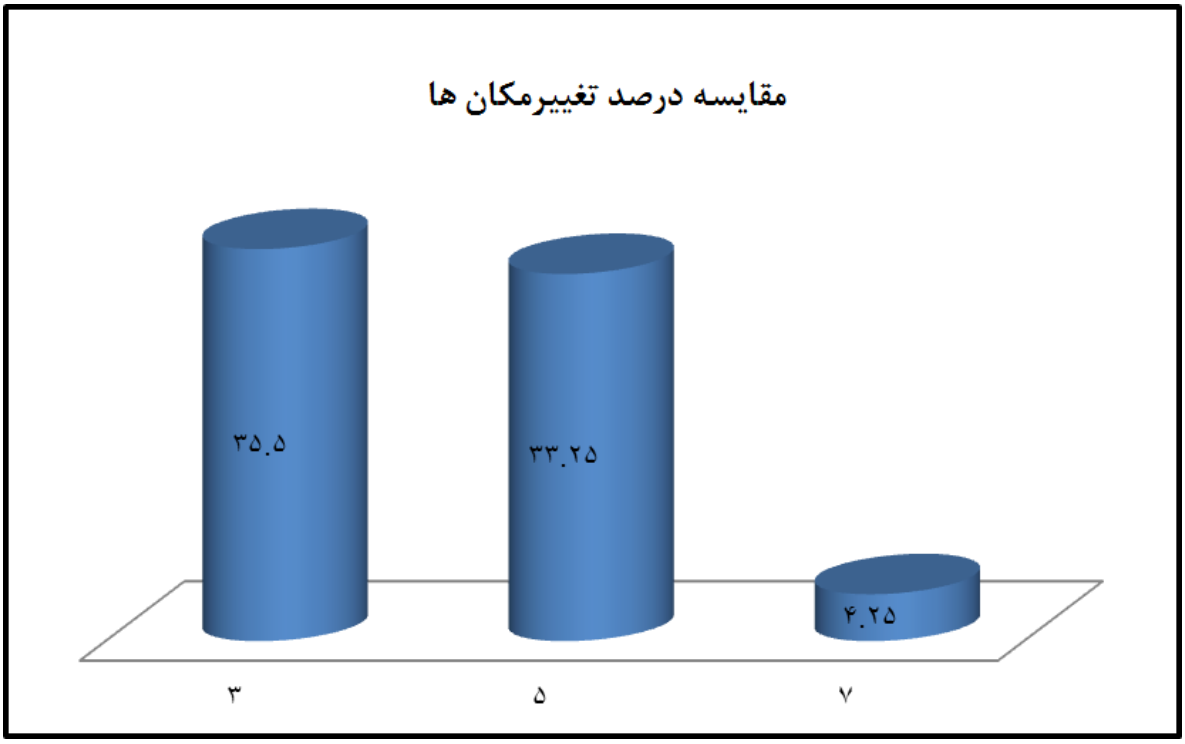
شکل (۴-۳۱) درصد افزایش ظرفیت دیوارهای پیش‌تنیده

با مقایسه ظرفیت باربری‌ها در شکل (۴-۳۲) می‌توان نتیجه گرفت که با ایجاد بازشو درون دیوار تغییرمکان آن به‌صورت قابل توجهی کاهش می‌یابد و کمترین مقدار تغییرمکان مربوط به حالتی است که دیوار دارای ۴۰ درصد بازشو می‌باشد.



شکل (۴-۳۲) مقایسه تغییرمکان دیوارهای ۱ تا ۷

با پیش‌تنیدگی می‌توان شکل‌پذیری دیوارها را بهبود بخشید، که بهترین حالت با توجه به درصدهای بدست آمده از شکل (۴-۳۳) مربوط به حالتی است که دیوار دارای ۱۵ و ۲۵ درصد بازشو می‌باشد. با پیش تنیدگی می‌توان تغییرمکان دیوار ۲ را به مقدار ۳۵/۵ درصد ودیوار ۴ را به مقدار ۳۳/۲۵ درصد بهبود بخشید.



شکل (۴-۳۳) مقایسه درصد تغییرمکان‌ها

فصل پنجم

نتیجه گیری

۵-۱ نتیجه‌گیری

پس از بررسی مدل‌های مورد مطالعه و خروجی‌ها و نمودارهای مربوط به هر یک از مدل‌ها نتایج زیر قابل برداشت و تحلیل می‌باشد.

نمونه مبنا مدل‌سازی شده و نتایج تحلیل با نتایج آزمایشگاهی موجود مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که تطابق خوبی بین نتایج آزمایشگاهی و عددی وجود دارد.

مدل‌سازی میکرو-ماکرو، بررسی تأثیر عملکرد دیوارهای مصالح بنایی با مدل‌سازی آجر و رفتار تماسی بین مصالح ساختمان می باشد، که نتایج نشان دهنده این است که استفاده از روش المان محدود و روش میکرو مدل در مسائل بنایی بسیار دقیق می باشد که حذف ملات و استفاده از رفتار تماسی علاوه بر دقت بالا، پیچیدگی محاسبات را کاهش می دهد.

استفاده از پیش‌تنیدگی در دیوارهای مصالح بنایی، سختی را به طور چشمگیری افزایش داده و اما تغییر مکان نهایی را کاهش می‌دهد.

نتایج به‌دست آمده از تحلیل‌های نرم‌افزاری نشان می‌دهد که وجود پیش‌تنیدگی سبب کاهش قابلیت تغییرمکان جانبی در سیستم می‌شود که این موضوع با افزایش مقاومت دیوار شدت می یابد و باعث غیرانعطاف پذیری و ترد شدن سازه می‌گردد، ولی در عین حال همین پیش‌تنیدگی به شدت سازه را سخت نموده و مقاومت سیستم را بالا می‌برد که این موضوع سبب می شود تا این‌گونه سازه ها در هنگام زلزله های ضعیف و متوسط تغییر شکل‌های کمی داشته و رفتار سازه در حوزه عملکرد خطی باقی بماند ولی در زمان وقوع زلزله های شدید به‌دلیل زیاد بودن انرژی زلزله توانایی این سیستم‌ها در مستهلک کردن انرژی از سازه‌های خمشی کمتر بوده و آسیب های جدی خواهند دید.

منحنی نیرو-جابه‌جایی به‌دست آمده از دیوارهای پیش‌تنیده دارای شیب پایدار با روند رو به رشد حداکثر بار و افت ظرفیت باربری بوده که نشان دهنده جذب مناسب انرژی ورودی می باشد.

ایجاد بازشو در مرکز نمونه ها سختی و مقاومت دیوارها را کاهش می‌دهد به گونه ای که ایجاد ۱۵ ٪ بازشو باعث کاهش ۲۷درصدی ظرفیت باربری می‌گردد.

در تمام مدل‌های دارای درصد بازشوی مختلف، دیوار تا آن‌جایی که هیچ آسیب و ترکی در آن رخ نداده است سختی قابل ملاحظه‌ای داشته و پس از اولین ترک ظرفیت باربری آن کاهش می‌یابد.

در دیوار ۲ با ۱۵ درصد بازشو حداکثر بار قابل تحمل توسط دیوار برابر ۱۱۲/۰۶۹ کیلونیوتن می‌باشد، این میزان در دیوار ۷ با ۴۰ درصد بازشو ۷۹/۸۹ کیلونیوتن است. یعنی با افزایش درصد بازشو از۱۵ ٪ به ۴۰ ٪ ظرفیت باربری ۲۸/۷٪کاهش می یابد.

افزایش میزان بازشو از مقدار توصیه شده آئین نامه (٪ ۳۰سطح دیوار) باعث افت شدیدتری در مقاومت سازه می‌گرددد.

سختی دیوار که همان شیب ابتدایی نمودار نیرو-تغییر مکان می‌باشد با افزایش سطح بازشو کاهش می‌یابد .این میزان کاهش در مورد دیوارهایی با درصد بازشو کم ناچیز است. میزان کاهش سختی در مدل‌هایی که میزان بازشو از میزان توصیه شده آیین نامه تجاوز نموده است نرخ شدیدتری دارد. هم‌چنین با توجه به کانتورهای آسیب، دراکثر مدل‌ها مود شکست غالب کشش قطری است، که طبق آیین نامه بصورت کنترل شونده توسط نیرو می باشد.

پارامتر تعیین کننده‌ی مقاومت نهایی دیوار بنایی، ابعاد و درصد بازشو است. در دیوارهای با درصد بازشو بالاتر از ٪۳۵ عملا" مقاوم‌سازی تاثیر مفیدی ندارد، این در حالی است که، آیین نامه‌ها میزان بازشو مجاز را یک سوم سطح دیوار اعلام داشته اند.

با بررسی نتایج دیوار دارای ۱۵٪ بازشو می‌توان گفت که می‌توان دیوارهای بنایی پیش‌تنیده دارای بازشویی را طراحی کرد تا همه مزایای دیوارهای بدون بازشو را حفظ کند. البته این شرط مستلزم این است که درصد بازشو از ۱۵٪ بیشتر نباشد.

اگرچه پیش‌تنیدگی میل‌گردهای عمودی، استحکام تراکمی دیوار بنایی را افزایش می‌دهند، اما برای کاهش رشد اضافی ترک مناسب نیستند. و برای جلوگیری از رشد ترک باید از میل‌گرد افقی استفاده نماییم.

مدل اجزای محدود می‌تواند رفتار دیوار بنایی را تا حدی درست پیش بینی کند.

دیوارهای بنایی پیش‌تنیده، تحت بارگذاری دینامیک، مزایای یکسانی دارند که در طی آزمایش رفت و برگشتی مشاهده شد. مکانیزم حرکتی قوی مشاهده شد و مطابق با مدل‌سازی آسیب به بخش‌های پنجه و پاشنه دیوار محدود شده است.

نتایج حاصل از تحلیل المان محدود دیوار آجری با فرض مصالح دیوار به صورت همگن، به روش ارائه شده در این تحقیق، هم‌خوانی قابل قبولی با نتایج حاصل از آزمایش دارد و می‌توان با استفاده از این روش رفتار سازه‌های مشابه را مطالعه نمود.

آن‌چه که باعث ضعف و ناپایداری ساختمان‌های آجری غیرمسلح می‌باشد عدم شکل‌پذیری آن‌هاست. بنابراین می‌توان با استفاده از پیش‌تنیدگی (با کرنش گسیختگی بزرگتر) شکل‌پذیری و اتلاف انرژی دیوار را افزایش داد.

۵-۲ پیشنهادات

- مقاوم‌سازی سازه‌های بنایی به شکل L ، T و I که این نوع سازه‌ها معمولا" در طراحی و ساختمان‌ها زیاد مشاهده می شوند، ضروری هستند
- کاربرد دیوارهای بنایی پیش‌تنیده برای ساختمان‌های بزرگ، سازه‌های تجاری و مسکونی با ارتفاع زیاد و ساختمان‌های صنعتی سبک
- مقاوم‌سازی سازه‌های بنایی توسط میل‌گردهای پیش‌تنیده عرضی
- اتلاف پیش‌تنیدگی بر اثر خزش مصالح بنایی تا چه میزان می‌باشد و بررسی راهکار بهینه‌سازی آن توسط حالت‌های حدی
- مقایسه نتایج مقاوم‌سازی سازه‌های بنایی به‌وسیله FRP و پیش‌تنیدگی از نظر افزایش ظرفیت باربری و هزینه
- مقاوم‌سازی سازه‌های بنایی از طریق مسلح کردن دیوارها با آرماتورهای برشی و خمشی
- مقاوم سازی سازه های بنایی توسط میل‌گردهای کار گذاشته شده درون بندهای دیوار(روفیکس)

مراجع

۱) تهرانی زاده و تقی خانی و عرب عامری، « بررسی آسیب پـذیری و تحلیـل اسـتاتیکی غیـر خطـی ساختمان‌های بنایی نیم اسکلت » ، مجموعه مقـالات چهـارمین کنفـرانس ملـی مهندسـین عمـران، دانشگاه تهران، ایران، اردیبهشت .۱۳۸۷

۲) آیین نامه طراحی ساختمان‌هـا در برابـر زلزلـه (اسـتاندارد ۲۸۰۰ ایـران) ، ویـرایش سـوم، مرکـز تحقیقات ساختمان و مسکن ، سال۱۳۹۲ .

۳) مقدم « طراحی لرزه ای ساختمان های آجری» دانشگاه صنعت شریف، چاپ سوم، سال .۱۳۹۱

۴) « مبحث هشتم مقررات ملی ساختمان» وزارت مسکن و شهرسازی ، سال .۱۳۹۲

۵) صفی یاری « بهسازی لرزه ای ساختمان‌های تاریخی » ، شرکت مهندسان مشاور سدره ساز پارس، عمارت الماس کاخ گلستان، تهران، سال ۱۳۸۵ .

۶) « راهنمای کاربردی دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود ساختمان بنایی» ، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، مرکز داده ورزی و اطلاع رسانی، چاپ اول، سال ۱۳۸۸.

۷) معتمدی « خسارات وارده بر ساختمان‌های خشتی و مصالح بنـایی» ، پژوهشـکده زلزلـه شناسـی، سال ۱۳۸۶ .

۸) بنی شفیع و آقاکوچک ،« اثر میان‌قاب های آجری بر رفتار لرزه‌ای قاب‌های فولادی دارای اتصالات خورجینی »، مجموعه مقـالات چهـارمین کنفـرانس ملـی مهنسـی عمـران، دانشـگاه تهـران، ایـران، اردیبهشت.۱۳۸۷

۹) تسنیمی، « رفتار ساختمان‌های آجری با کلاف و بی‌کلاف» سـتاد حـوادث و سـوانح غیـر مترقبـه کشور، چاپ سال ۱۳۸۵.

۱۰) فلامکی، « زنده سازی بناها و شهرهای تاریخی » ، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ .۱۳۷۴

11) Ewing, B. D., and Kowalsky, M. J. (2004). “Compressive behavior of unconfined and confined clay brick masonry.” J. Struct. Eng., 10.1061/(ASCE)0733-9445(2004)130:4(650), 650–661.

۱۲) «دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های بنایی غیر مسلح موجود »، سال .۱۳۸۶

۱۳) تسنیمی « رفتار ساختمان ها با مصالح بنائی » ، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ، سال.۱۳۹۲

14) w.H.Hendry , " structural brick work " , Macmillan press , 1981.

۱۵) خانزادی « بررسی و تحلیل تجراب تاریخی مقاوم‌سازی » ، اولـین همـایش بـین المللـی مقـاوم سازی لرزه ای، تهران، ایران، سال ۱۳۸۵ .

16) Mallardo & Vincenzo , " 3D non-linear seismic analysis of a historical masonry bulding in ferrara ", Roberto malvezzi, Enrico Milani, Department of Architecture, university of Ferrara, 2006.

۱۷) قدس، « بررسی تحلیلی رفتار دیوار آجری تقویت شده» پایان نامه، دانشـگاه آزاد اسـلامی واحـد تهران جنوب، تهران، ۱۳۸۲ .

18) Mistler. M, "modeling methods of historical masonry building under seismic excitation " j.seismol, 2006 .

۱۹) تابش پور، « مودهای شکست ساختمانهای بنایی»، دانشـگاه صـنعتی شـریف، دانشـکده عمـران، تهران، سال ۱۳۸۶ .

20) A.Orton , " structural design of masonry ", Longman inc, newyork, 1986.

21) Lourenco & Jan G.Rots, " multi surface interface model for analysis of masonary structures ", J. struct, ASEE, 1998.

۲۲) باغبانی گل پسند، « بررسی رفتار لرزه ای ساختمان ها با مصالح بنایی»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، ۱۳۸۶ .

۲۳) تسنیمی و محب خواه، « تأثیر سطح نسبی بازشوها بر نیاز لرزه ای_غیر خطی ساختمان‌های مصالح بنایی »، هفتمین کنگره مهندسین عمران، ایران تهران، سال ۱۳۸۵ .

۲۴) وطنی اسکویی، « زلزله و ساختمان های متعارف »، گزارش بنیاد مسکن انقلاب اسلامی، سال ۱۳۸۶ .

۲۵) تابش پور و گل افشانی، « مودهای شکست سازه های آجری» دومین کنگره مهندسین عمران، دانشگاه علم و صنعت تهران، ایران، ۱۳۸۴ .

26) Building construction under seismic conditions in the Balkan region (1984), Design and construction of stone and brick – masonry building, 3, united nations industrial development organization,Vienna.

۲۷) رحمانی و کیوانی و غفارزاده، « روش های مدل‌سازی سازه‌های بنایی»، اولین کنفرانس بین المللی مقاوم‌سازی لرزه‌ای، تبریز، ۲۹ مهر ۱۳۸۷ .

28) Salonkios etal.T, " comparactive inelastic pushover analysis of masonry frames ", Engineering structures, J, PP 1515-1523, 2003.

۲۹) تهرانی زاده و دیلمی و امداد، « تعیین روابط تحلیلی ظرفیت باربری جانبی دیوارها در ساختمان‌ها با مصالح بنایی غیر مسلح »، مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس ملی مهندسین عمران، دانشگاه تهران، ایران، اردیبهشت ۱۳۸۷ .

۳۰) « دستورالعمل تحلیل آسیب پذیری و بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های بنایی غیر مسلح موجود»، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، نشر توسعه ایران، چاپ اول، سال ۱۳۸۵ .

31) Magenes.G , " A method of pushover analysis in seismic assessment of masonry building ", 12 WCEE, 2000.

32) Penelis .GR.G, " An efficient approach for pushover of URM structures " , journal of eg. eng 2005.

32) Krawinkler. H & Seneviratna. G.D.P.K, " Pros and cons of a pushover analysis of seismic performance Evaluation ", Engineering structure, 2009, 452-464.

۳۶)عالمی و ناطقی الهی و ضیائی فر، « مطالعات آزمایشگاهی و تحلیل کمی آسیب پذیری لرزه‌ای دیوارهای آجری غیر مهندسی متداول در ایران »، JSEE ، سال دهم، ویژه نامه فارسی، زمستان ۱۳۸۷ .

37) Abrams. D.P& Costly. S.C, " Dynamic response of unreinforced masonry building with flexible Diaphragm ", NCEER – 96-0001, 1996 .

38) Kappos, S. J, Penelis, G.G & Drakopovlos, C.G." Evaluation of simplified models for lateral load analysis of unreinforced masonry building " , j . of structural Engingeering, ASCE, 128(7), 890-897 , 2002.

39) Lourence .P.B , " analysis of masonry structures with interface Elements theory and applications ", TNO Building and construction research, Facalty civil engineering, Delf university of Technology Minneapolis, USA.

۴۰) مرادی و سلطانی و تسنیمی، « ریز مدلسازی رفتار دیوارهای بنایی غیر مسلح تحت بـار لـرزه‌ای خارج صفحه » ، مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس ملی مهندسین عمران، دانشـگاه تهـران، ایـران، اردیبهشت ۱۳۸۷.

۴۱)میرشاهزاده و حلبیان و هاشم الحسینی ، « بررسی رفتار داخل صفحه دیوارهای باربر غیـر مسـلح بنایی به روش المان مجزا »، هشتمین کنگره بین المللی مهندسین عمران، اردیبهشت ۱۳۸۸ شیراز.

42) Cundall P.A.," A computer model for simulating progressive large scale movement in blocky rock systems " , In proc. symp, int soc. Rock mechanise, Nancy, France, 1971.

42) Lourenco .P.B." Computer strategies for masonry structures ", PhD thesis. Delft (the Netherlands), Delft university of technology, 1996.

43) Page A.W, " Finite element model for masonry ", Journal of the structural Division ASCE, ST8, 1267-1285, 2005.

44) Lotfi.H.R , " Interface model applied to fracture of masonry structures " , journal of structural Engineering, ASCE, 3-8, 1994.

45) Lourenco & Jan G.Rots , " multi surface interface model for analysis of masonary structures ", J . structures " J.struct, ASEE, 1998.

46) Chaimoon , k & Attard, M.M, " modeling of unreinforced masonry walls under shear and compression, Engineering structures 2056-2068, 2007.

47) Gabor , A& Ferrier, E." analysis and modeling of in plane shear behaviour of hollow brick masonry panels ", construction and building materials, 308-321, 2006.

۴۸) مهندس سروش نیا، « کاملترین مرجع علمی آباکوس »، انتشارات نگارنده دانش، خرداد ماه ۱۳۹۴.

49) ABAQUS User Manual (2013)

۵۰) « دستورالعمل بهسازی لرزه¬ای ساختمان¬های بنایی غیرمسلح موجود » ، نشریه شماره ۳۷۶، سازمان برنامه و بودجه، چاپ اول، ۱۳۸۶

51) Rosenboom OA, Kowalsky MJ. Reversed in-plane cyclic behavior of posttensioned clay brick masonry walls. J Struct Eng 2004;130(5):787–98.

Abstract

A lot of buildings in our country and the rest of the world masonry buildings constitute a significant percentage of people living in these buildings. Factors such as environmental, economic, social, cultural, easily implemented and available materials may have been found in a variety of building structures. Retrofitting Unfortunately focus on strengthening engineering, is focused on strengthening steel and concrete structures. While masonry buildings during an earthquake are suffering the most damage. Lack of attention to retrofitting these buildings, caused great losses of life and property in the earthquake.

In the end a new way of strengthening masonry walls post-tentioning method has been studied.Traditional building methods need to improve the quality of their design and implementation stages. The complexity of this type of structure against loads caused by the conventional reciprocating engineering, detailed information can be obtained from their behavior.non-linear anisotropic behavior and the presence of abundant cracks method creating a peculiar complexity of the components of the brick structures that often but with finite element methods can obtain information on the status of tensions. Due to the interaction walls and ceiling in an earthquake, the effect of size, shape, geometry and location of the openings in structural behavior and Rewinding evaluate the proposed regulations in 2800, the goals of this research.

Following the model of a masonry wall, and cyclic loading experimental results mentioned in the article are valid evaluated And then using Abaqus finite element software behavior modeling wall and screen behavior as well as their impact on seismic behavior of ups and parameters including the impact of ups and post-tenioning, discussed and examined. The result showed that the use of pre-stress in masonry walls to significantly improve the bearing capacity but this did not happen in ductility and formability masonry walls have been partially effective. Therefore, this method can be retrofit masonry walls that lacks sufficient strength and are also used non-standard openings.

Keywords: masonry materials, pre-tensioning, masonry walls, Abaqus.

Shahrood University of Technology

Retrofitting walls of masonry structures by post-tentioning

Majid Ehsanbagha

Supervisor
Dr. Vahid Reza Kalat Jari