



ارزیابی آسیب پذیری لرزه‌ای سازه‌های بنایی و روش‌های مقاوم‌سازی آن‌ها با استفاده از مدل‌سازی عددی

ساجده سهراب زهی

گروه عمران، دانشگاه پیام نور، تهران شمال، ایران.

چکیده

سازه‌های بنایی اغلب در مقاومت برشی داخل صفحه و کمانش خارج از صفحه دارای ضعف هستند؛ علاوه بر آن در برابر نیروهای جانبی و لرزه‌ای به شدت آسیب‌پذیری بالایی دارند و باعث ایجاد زیان‌های مالی و جانی فراوانی می‌شوند. بنابراین از هر جهت اهمیت مقاوم‌سازی این سازه‌ها به شدت احساس می‌شود. همچنین، قبل از تعیین روش مقاوم‌سازی هر سازه رفتار آن سازه تحت نیروی لرزه‌ای می‌بایستی مشخص شده باشد. در این پایان‌نامه یک ساختمان بنایی غیرمسلح تحت بارگذاری لرزه‌ای قرار گرفت و سپس به وسیله روش بهینه مقاوم‌سازی شد. در این پژوهش برای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای سازه‌های بنایی و روش‌های مقاوم‌سازی آن‌ها یک سازه سه‌بعدی دو طبقه با مصالح بنایی با روش‌های مختلف مقاوم‌سازی با تحلیل تاریخچه زمانی تحت رکورد زلزله کوبه مورد بررسی قرار گرفت. برای صحت سنجی مدل‌سازی انجام‌گرفته از یک پژوهش آزمایشی بهره‌گیری شد. نتایج نشان داد که مدل‌سازی نرم‌افزاری و نمونه آزمایشگاهی پاسخ حدوداً یکسانی را نشان می‌دهند و این بیان‌کننده صحت مدل‌سازی دیوار آجری و ملات ماسه سیمان و تأثیر آن‌ها بر یکدیگر است. با توجه به نتایج صحت سنجی و همچنین هزینه و زمان بالای کارهای آزمایشگاهی می‌توان با استفاده از نرم‌افزارهای المان محدود برای طراحی و بهسازی سازه‌های بنایی استفاده کرد. سازه بدون بهسازی، این سازه در لحظات ابتدایی اعمال شتاب‌نگاشت زلزله دچار فروپاشی شد. این امر نشان می‌دهد که با توجه به رفتار سازه‌های بنایی در برابر نیروهای ثقلی و فشاری که مقاومت خوبی نشان می‌دهند ولی در برابر نیروهای جانبی اصلاً مقاومت خوبی ندارند. در مقایسه جذب انرژی سازه در برابر نیروهای جانبی وارده، سازه بهسازی شده با ستون و ورق‌های FRP بیشترین میزان جذب انرژی را از خود نشان داد که در مقایسه با سازه بهسازی شده با ستون و سازه بهسازی شده با ورق‌های FRP به ترتیب حدود ۸ و ۱۵ برابر بود.

واژگان کلیدی: سازه بنایی، آجر، شتاب‌نگاشت، نیروی جانبی، FRP، بهسازی



مقدمه

منظور از سازه‌های بنایی غیرمسلح، سازه‌هایی است که در آن‌ها قسمتی و یا تمام بارهای جانبی و قائم، توسط دیوارهایی با مصالح بنایی که عموماً از سنگ، بلوک سیمانی، آجر و یا خشت می‌باشند، تحمل می‌شود. سازه‌ها مصالح بنایی، یکی از رایج‌ترین و با قدمت‌ترین انواع سازه‌های ساختمانی در ایران هستند. در کشور ما هزاران ساختمان تاریخی و بنای باستانی وجود دارد. اجرا و طراحی سازه‌های بنایی نخست به‌طور کاملاً تجربی صورت است. این سازه‌ها زمانی که تحت نیروهای جانبی زلزله قرار دارند، قابلیت آسیب‌های جزئی و کلی هستند. بررسی زلزله‌های اخیر در ایران نشان می‌دهد که طی سال‌های گذشته، تقریباً هر ۱۰ سال یک زلزله با قدرت تخریب بالا رخ داده و باعث تخریب گسترده خانه‌ها و تلفات جانی و ایجاد خسارت‌های اقتصادی زیادی شده است. این مسئله در ایران، باعث ایجاد دغدغه‌های زیادی شده است، چرا که در زمین‌لرزه‌ها بیشترین خسارات به سازه‌های بنایی که بر اساس اصول مقاوم در برابر زمین‌لرزه ساخته نشده‌اند، وارد آمده است. آسیب‌پذیری لرزه‌ای بالا در سازه‌های بنایی به دلیل عدم وجود قوانین، دستورالعمل‌ها و ضوابط مربوط به فرآیند ساخت‌وساز و استانداردهای مرتبط و عدم توجه به قوانین و مقررات ملی و ساختمانی لازم و استفاده از سازندگان تجربی است. ساختمان‌های بنایی موجود غالباً در برابر زمین‌لرزه دچار خسارت‌های زیادی و باعث وارد آمدن خسارت‌های جانی فراوانی می‌شوند. بسیاری از ساختمان‌های بنایی که در گذشته ساخته شده‌اند و تقریباً کلیه سازه‌های تاریخی دارای مقاومت لازم در برابر زلزله شدید نیستند، این سازه‌ها عموماً به روش تجربی و با استفاده از افراد بدون تخصص لازم و علمی و به صورت ترکیبی از سنگ یا آجر و ملات ساخته شده‌اند، عموماً در برابر بارگذاری‌های استاتیکی مقاومت لازم را دارند، هنگامی که سازه (و مصالح بنایی) به طور کامل بازرسی شد، یک استراتژی مقاوم سازی انتخاب می‌شود. اولین گام همیشه اطمینان از اتصال مناسب عناصر سازه ای است تا سازه بتواند یکپارچگی خود را در هنگام زلزله حفظ کند و با رفتار جعبه مانند به بارهای لرزه ای پاسخ دهد (یوسف، ۲۰۱۶) بندکشی شامل دیوارها و کف های متصل، دیوارهای عمود بر هم و در صورت ضعیف بودن کفپوش های چوبی، همچنین از سفت شدن سازه های کف است. در سازه ای که عناصر سازه ای به هم متصل نیستند، هر کدام به تنهایی به بار لرزه ای پاسخ می دهند و ریزش سازه ها زمانی رخ می دهد که ضعیف ترین عنصر از کار بیفتد. از سوی دیگر، در مورد رفتار جعبه مانند، بارهای لرزه ای بین همه عناصر توزیع می شود. جنبه مهم در اینجا این است که دیوارهای بارگذاری شده در صفحه تقریباً تمام مقاومت را فراهم می کنند. حتی سازه هایی که به درستی گره خورده اند نیز می توانند تحت بارهای لرزه ای شکست بخورند اگر بنایی به اندازه کافی قوی نباشد. در چنین مواردی، سنگ تراشی نیاز به تقویت دارد. نیروهای لختی که در نتیجه ی شتاب پی (ناشی از حرکت زمین به هنگام زلزله) در ساختمان پدید می آیند باید به پی و از آنجا به زمین منتقل شوند. دیوارها به دودسته ی برشی و عرضی تقسیم می شوند (پتوکلیرز، ۲۰۲۰). دیوارهایی که موازی جهت حرکت پی هستند برشی و آن‌ها که عمود بر این جهت اند عرضی نامیده می شوند. بخشی از نیروهای دیوارهای عرضی به سقف، بخشی به زمین و بقیه به دیوارهای برشی که در دو طرف دیوار عرضی قرار گرفته اند وارد می شود. سقف نیروهای حاصل از زلزله و دیوارهای عرضی را به دیوارهای برشی منتقل می کند. اصلی ترین عنصر لرزه بر هر ساختمان آجری، دیوارهای برشی است که سرانجام باید بار افقی حاصل از کلیه اجزای

دیگر را به زمین منتقل کند. علاوه بر این سقف نیز باید از یکپارچگی لازم برای انتقال نیروهای خود و نیز نیروهایی که از بخش‌های دیگر دریافت می‌کند، به دیوارهای برشی برخوردار باشد. به عنوان مثال سقف‌های تیرچه بلوک و طاق ضربی نسبتاً از صلابت برشی خوبی برخوردارند، در حالی که سقف‌های سبک شیروانی چنین نیستند و نمی‌توانند بار دیوارهای عرضی را به دیوارهای برشی منتقل کنند. همچنین دیوارهای عرضی باید بتوانند بار خود را به سقف و پی و دیوارهای متعامد انتقال دهند. (یون، ۲۰۲۰)

روش‌های زیادی برای تقویت بنایی وجود دارد که برخی از آنها در این مقاله ارائه شده است. مهم‌ترین و اولین قدم برای بهبود پاسخ لرزه‌ای سازه‌های بنایی موجود، بستن دیوارها و کف بنایی است که یکپارچگی سازه و رفتار جعبه مانند را فراهم می‌کند. بستن معمولاً با افزودن اتصالات فولادی یا بتن مسلح در سطح کف انجام می‌شود. ممکن است عناصر عمودی پیوند نیز اضافه شود، اما به ندرت از آن استفاده می‌شود، زیرا گوشه‌های دیوارهای بنایی قوی‌ترین قسمت آنها است. بررسی تجربی و بررسی رویکردهای نظری نشان داده است که بستن منجر به افزایش مقاومت فشاری و مهم‌تر از آن، مقاومت برشی درون صفحه دیوارهای بنایی می‌شود. دیوارهای بنایی با پیوندهای مناسب تحت آزمایش چرخه‌ای قرار گرفتند که بسته به جزئیات اتصال بین دیوار بنایی و عناصر بتنی، سفتی ۱۰ تا ۲۶ درصد افزایش یافت. ثانیاً ظرفیت تحمل بار جانبی دیوار بین ۷۰ تا ۹۰ درصد افزایش یافته و در نهایت شکل پذیری ۷۸ تا ۸۸ درصد افزایش یافته است. این تحقیق همچنین نشان داد که جزئیات اتصالات بین عناصر بنایی و بتنی تأثیر معنی‌داری بر نتایج نداشته است. اشکالات اصلی زدن مشکلات مربوط به ساخت و ساز و نیاز به نیروی کار ماهر است. علاوه بر این، گاهی اوقات طراحی، جزئیات و ساخت ضعیف مشاهده می‌شود. در نهایت، این روش ممکن است برای سازه‌های بنایی تاریخی به دلیل تهاجمی بودن آن قابل اجرا نباشد. حتی یک سازه بنایی که به درستی گره خورده است ممکن است در برابر زلزله آسیب پذیر باشد زیرا بنایی به عنوان یک ماده به اندازه کافی قوی نیست. در این موارد، بنایی باید تقویت شود، همانطور که در بخش‌های بعدی توضیح داده شده است.

ژاکت بتنی یا شاتکریت یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای مقاوم سازی لرزه‌ای سازه‌های بنایی موجود است. ایده این است که مش‌های فولادی را روی سطح دیوار قرار دهید و بتن را تحت فشار بالا اعمال کنید. پوشش باید به درستی به دیوار متصل شود که معمولاً با لنگر زدن به دست می‌آید. لنگر زدن مناسب توری به پایه‌ها نیز باید حاصل شود. این روش را می‌توان از یک یا دو طرف دیوار اعمال کرد. برای دستیابی به مقطع متقارن، پاسخ انعطاف پذیرتر و اتلاف انرژی بیشتر، استفاده از روش در دو طرف دیوار مطلوب است.

جایگزینی ملات (Repointing) یک روش مرسوم مقاوم سازی سنتی است که در آن ملات قدیمی و آسیب دیده تا عمق معینی از درزها برداشته می‌شود. پس از آن ملات جدید و قوی‌تر با خواص مکانیکی و دوام بهتر نصب می‌شود. لازم به ذکر است که این روش تنها زمانی قابل استفاده است که آسیب فقط در اتصالات ملات ظاهر شود. از سوی دیگر، زمانی که آجرها پس از زلزله در یک بخش از دیوار بنایی آسیب می‌بینند، امکان حذف موضعی و بازسازی آجر وجود دارد. آجرها و ملات آسیب دیده حذف شده و از عناصر آجری و ملات جدید استفاده می‌شود. هدف اصلی دستیابی به سازگاری بین بخش‌های قدیمی و جدید دیوار است. برای این منظور باید از ملات با مشخصات مکانیکی، شیمیایی و فیزیکی مشابه استفاده شود یا ملات در لایه‌های نازک اجرا شود. در مورد دیوارهای بنایی سنگی، تزریق دوغاب روشی پرکاربرد برای تقویت است. این روش در صورتی موثر است که فضای خالی کافی در دیوارها وجود داشته باشد. تزریق دوغاب تحت فشار به دیوار تزریق می‌شود و هنگامی که سخت می‌شود، برگ‌های دیوار را به یک عنصر همگن متصل می‌کند که تحت بارهای لرزه‌ای بسیار بهتر عمل می‌کند. اگرچه روش‌های سنتی متعدد دیگری وجود دارد، اما امروزه از روش‌های مدرن و پایدارتر مقاوم سازی لرزه‌ای سازه‌های بنایی بیشتر استفاده می‌شود.

تفاوت اصلی روش سنتی و مدرن در مواد مورد استفاده است. روش‌های مدرن مبتنی بر استفاده از مواد پلیمری تقویت‌شده با الیاف کامپوزیت (FRP) هستند که سبک وزن، مستحکم هستند و می‌توانند سریع‌تر، آسان‌تر و تمیزتر روی دیوار اعمال شوند. FRP ها شامل الیافی هستند که در یک ماتریس رزین پلیمری تعبیه شده‌اند. رزین یک عامل پیوند دهنده است که همچنین از الیاف در برابر عناصر محافظت می‌کند. تمایز اصلی بین انواع مختلف FRP در مواد الیاف است. رایج‌ترین انواع پلیمرهای تقویت‌شده با الیاف آرامید (AFRP)، پلیمرهای تقویت‌شده با فیبر کربن (CFRP) و پلیمرهای تقویت‌شده با الیاف شیشه (GFRP) است. اشکال و اشکال مختلفی از محصولات FRP وجود دارد مانند میله‌ها، نوارهایی که به شکل پارچه هستند، نوارهایی که به شکل ورقه‌ای و پارچه‌هایی به

شکل مشبک هستند. صرف نظر از نوع الیاف و فرم، اطمینان از اتصال مناسب به دیوار و فونداسیون بسیار مهم است. از FRP ها، یک روش اضافی به نام ماتریس سیمانی تقویت شده با پارچه (FRCM) ایجاد شد. در این سیستم ها، رزین اپوکسی معمولی با ماتریس ملات جایگزین شد. در سیستم های FRCM، تنها شکل تقویت، مش است که باید به دیوار و به فونداسیون نیز متصل شود. این روش در سالهای اخیر به طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است (فرمونیسون، ۲۰۱۵؛ سنگل، ۲۰۱۶) ولی همان طور که اشاره شد در برابر بارگذاری های دینامیکی و جانبی شدید، نظیر زمین لرزه مقاومت لازم را نداشته و آسیب پذیر می باشند. از این رو توجه به مقاومت سازی سازه های بنایی از اهمیت بالایی برخوردار است.

روش تحقیق

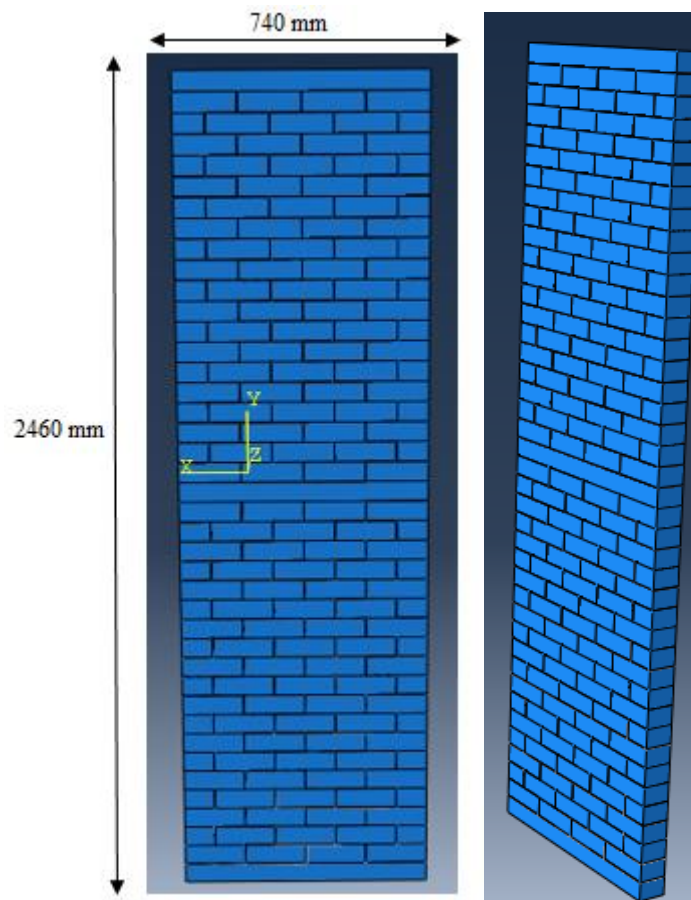
جهت بررسی رفتار لرزه ای سازه های بنایی تحقیقات متعددی توسط افراد مختلف در سطح دنیا انجام گرفته است، این تحقیقات شامل انجام آزمایش ها متعددی بر روی مقیاس های مختلف از سازه های بنایی و یا استفاده از برنامه های کامپیوتری جهت مدل سازی دیوارهای بنایی است. با توجه به زمان بر و پرهزینه بودن آزمایش های لازم، شبیه سازی رفتار و توسعه مدل های عددی می تواند به عنوان یک راهکار مناسب در بررسی رفتار سازه های بنایی مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به گستردگی روش ها و تنوع آن ها، در این بخش به معرفی روش های موجود جهت مدل سازی ساختمان های بنایی پرداخته خواهد شد. مدل سازی عددی مصالح آجری و بنایی به مدل های محاسباتی نیاز دارد که بتواند حالت های مختلف خرابی را ثبت کند و به اندازه کافی دقیق و ساده برای پیاده سازی باشد. چندین تکنیک مدل سازی وجود دارد. تکنیک مورد استفاده از سطح مطلوبی از دقت و سادگی شروع می شود. مدل های المان محدود (FEMs) و مدل های عناصر ساختاری (SEMs) رفتار مصالح را در مقیاس های مختلف نشان می دهند، بنابراین پیش بینی ها ممکن است بسته به مدل انتخابی به طور قابل توجهی متفاوت باشد. با توجه به کدهای فعلی استفاده از مدل های پیچیده تر به دلیل نیاز به تجربه عالی طراح، حساسیت بالای پارامترهای مورد استفاده، پراکندگی پیش بینی ها و نیاز به تفسیر بهتر پس پردازش توصیه نمی شود. به دست آوردن نتایج قابل اجرا. مصالح بنایی به دلیل تأثیر اتصالات ملات که به عنوان سطوح ضعف عمل می کنند، خواص جهتی متفاوتی از خود نشان می دهد. بسته به جهت درزها و جهت تنش ها و از طرف دیگر سطح تنش معمولی اعمال شده، شکست می تواند تنها در درزها (حالت برشی لغزشی درز بستر) یا همزمان در درزها و آجرها رخ دهد. حالت برشی لغزش اتصال بستر یا ترک خوردگی تنش مورب). تعداد قابل توجهی از عوامل تأثیرگذار مانند ابعاد و ناهمسانگردی آجرها، ضخامت درز و ترتیب درزهای بستر و سر، خواص مصالح آجر و ملات و کیفیت محل پوشش. ساخت و ساز شبیه سازی سنگ تراشی آجری را بسیار پیچیده می کند. Abaqus/CAE دارای ابزارهایی است که می توانید با استفاده از تحلیل های پیشرفته Abaqus به راحتی شبیه سازی ها را ایجاد، ویرایش، نظارت، تشخیص و تجسم کنید. رابط بصری و آسان برای استفاده، مدل سازی، تجزیه و تحلیل و تجسم نتایج را در یک محیط واحد یکپارچه می کند. این به کاربران امکان می دهد تا به سرعت نرم افزار را یاد بگیرند و بهره وری بالایی داشته باشند. برای کاربرانی که با مهندسی به کمک کامپیوتر آشنا هستند، Abaqus/CAE از تکنیک های مدل سازی پارامتریک و همچنین روش های سنتی تر پشتیبانی می کند.

یافته ها

پس از انجام صحت سنجی، یک سازه دو طبقه بتنی در حالت های مختلف مدل سازی شد. برای بررسی پایداری، تنش ها و میزان جابه جایی این سازه حالت های مختلف بهسازی مورد بررسی قرار گرفت.

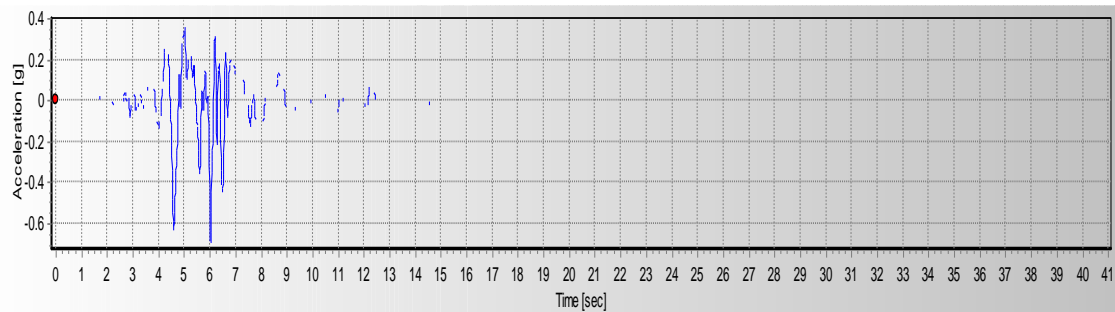
سازه بدون بهسازی

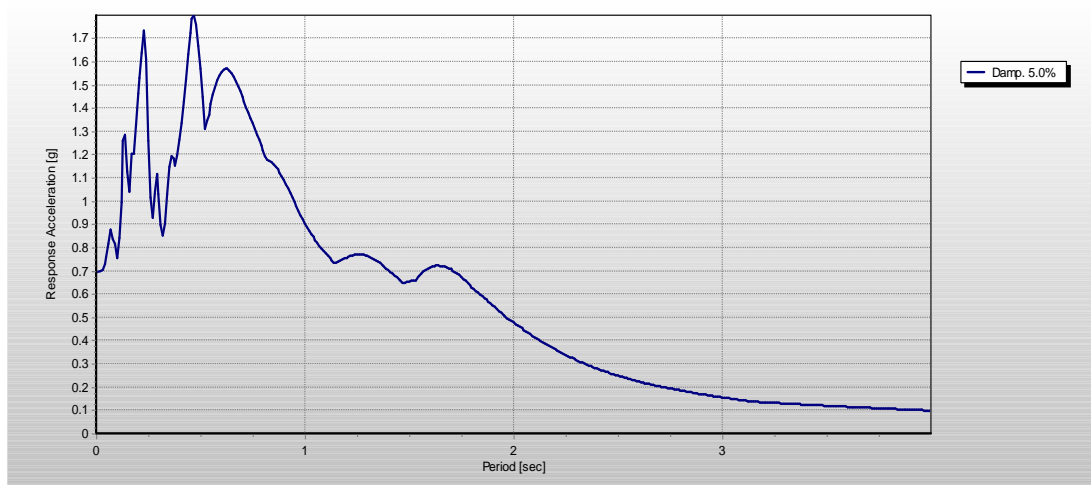
در شکل ۱ مشخصات این سازه دو طبقه آورده شده است.



شکل ۱ مدل بدون مقاوم سازی

برای بررسی رفتار این سازه، در ابتدا این سازه تحت وزن خود تحلیل و سپس شتاب‌نگاشت زلزله کوبه ژاپن به این سازه اعمال شد.





شکل ۲ مشخصات زلزله کوبه

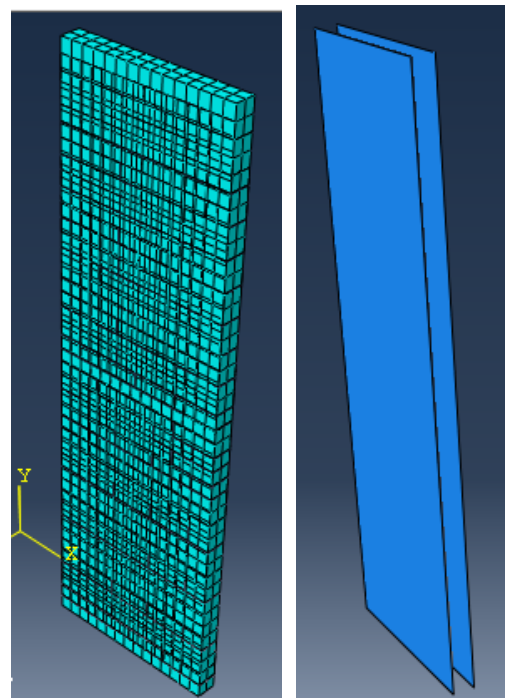
سپس سازه تحت بارگذاری لرزه‌ای قرار گرفت. در لحظه‌های ابتدایی اعمال نیروی لرزه‌ای سازه بدون بهسازی دچار فروپاشی شد.

سازه بهسازی شده با ورق‌های FRP

جهت بهسازی این سازه از ورق‌های FRP استفاده شد. این ورق‌ها در پشت و جلو این سازه بنایی قرار گرفت (شکل ۴-۳). در جدول ۴-۱ مشخصات مکانیکی ورق‌ها آورده شده است.

جدول ۱ مشخصات مصالح FRP

وزن واحد حجم	تنش تسلیم	تنش نهایی	ضریب پواسون	مدول الاستیسیته
kg/m ³	F _y (Mpa)	F _u (Mpa)	ν	E (Gpa)
۱۵۸۰	۳۴۳۰	۴۰۰۰	۰.۳	۲۲۶



شکل ۳ بهسازی با ورق FRP

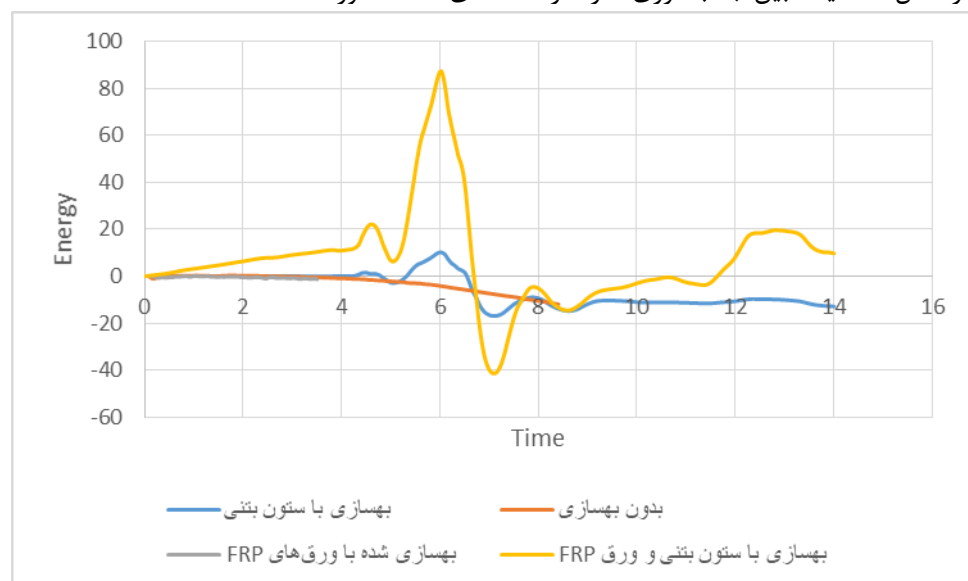
پس از اعمال نیروی وزن، سازه بهسازی شده با ورق FRP تحت نیروی زلزله قرار گرفت. این سازه دچار تغییر شکل‌های زیادی شد. اما ورق‌های FRP مانع فروپاشی سازه شدند

بهسازی با قرار دادن ستون بتنی

پس از مشاهده رفتار سازه دو طبقه، دو ستون بتنی در کنار این سازه قرار گرفت. پس از اعمال نیروی وزن، سازه تحت نیروی زلزله آنالیز شد.

بهسازی با قرار دادن ستون بتنی همراه ورق FRP

در این مدل سازه به همراه ورق‌های تقویتی FRP و ستون‌های بتنی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. پس از اعمال نیروی وزن، سازه تحت نیروی زلزله آنالیز شد. مقایسه جذب انرژی تحت بار زلزله در شکل ۴ مقایسه بین جذب انرژی سازه در حالت‌های مختلف آورده شده است.



شکل ۴. مقایسه جذب انرژی

بحث و نتیجه گیری

مدل سازی دیوار مصالح بنایی در نرم افزار های عددی دارای پیچیدگی های خاصی است. امروزه به دلیل تکنولوژی پیشرفته و هزینه بهینه در انجام پروژه های تحقیقاتی از نرم افزار های عددی جهت تحلیل و طراحی سازه استفاده می شود. در بیشتر تحقیقات قبل از آنالیز مربوطه ابتدا باید مدل مربوطه صحت سنجی شود. مدل سازی سازه بنایی نیز از این قاعده مستثنی نیست، سازه مصالح بنایی به دلیل مصالح مصرفی مانند آجر و ملات دارای رفتار ترد و شکننده است از این رو مدل سازی دیوار مصالح بنایی در نرم افزار های المان محدود دارای پیچیدگی های خاص خود است. در این پژوهش برای بررسی رفتار دیوار مصالح بنایی از نوع آجری، یک نمونه دیوار با ابعاد، مشخصات و شرایط بارگذاری مطابق آزمایشات مرجع در نرم افزار المان محدود آباکوس استفاده شده به طوری که بر اساس ساده سازی دو بعدی و با استفاده از روش میکرووی ساده شده به کمک نرم افزار اجزای محدود آباکوس، مدل کرده و نتایج تحلیل سازه با نمونه آزمایشگاهی مرجع مقایسه شد و دقت مدل سازی کامپیوتری به این روش آشکار گردید.

- باتوجه به نتایج سازه بدون بهسازی، این سازه در لحظات ابتدایی اعمال شتابنگاشت زلزله دچار فروپاشی شد. این امر نشان می دهد که باتوجه به رفتار سازه های بنایی در برابر نیروهای ثقلی و فشاری که مقاومت خوبی نشان می دهند ولی در برابر نیروهای جانبی اصلاً مقاومت خوبی ندارند.
- باتوجه به نتایج سازه بهسازی شده با ورق های FRP، ورق های FRP مانع فروریزش سازه شدند ولی سازه دچار تغییر شکل های زیادی شد. همچنین سازه تقویت شده با ورق های FRP عکس العمل بهتری در برابر بارگذاری تحت نیروی وزن سازه داشت.
- در سازه بهسازی شده با ستون بتنی، سازه رفتار مناسبی در برابر نیروهای ثقلی و نیروهای زلزله از خود نشان داد و همچنین سازه دچار فروریزش و تغییر شکل های نامتعارف نشد.
- در سازه بهسازی شده با ستون بتنی و ورق های FRP سازه رفتار بهتری نسبت به دیگر مدل ها داشت.
- در مقایسه جذب انرژی سازه در برابر نیروهای جانبی وارده، سازه بهسازی شده با ستون و ورق های FRP بیشترین میزان جذب انرژی را از خود نشان داد که در مقایسه با سازه بهسازی شده با ستون و سازه بهسازی شده با ورق های FRP به ترتیب حدود ۸ و ۱۵ برابر بود.
- مدل سازی نرم افزاری و نمونه آزمایشگاهی پاسخ حدوداً یکسانی را نشان می دهند و این بیان کننده صحت مدل سازی دیوار آجری و ملات ماسه سیمان و تأثیر آن ها بر یکدیگر است.
- باتوجه به نتایج صحت سنجی و همچنین هزینه و زمان بالای کارهای آزمایشگاهی می توان با استفاده از نرم افزار های المان محدود برای طراحی و بهسازی سازه های بنایی استفاده کرد.



منابع

- Formisano, A., & Mazzolani, F. M. (2015). On the selection by MCDM methods of the optimal system for seismic retrofitting and vertical addition of existing buildings. *Computers & Structures*, 159, 1-13
- Pohoryles, D. A., & Bournas, D. A. (2020). A unified macro-modelling approach for masonry-infilled RC frames strengthened with composite materials. *Engineering Structures*, 223, 111161
- Singhal, V., & Rai, D. C. (2016). In-plane and out-of-plane behavior of confined masonry walls for various tothing and openings details and prediction of their strength and stiffness. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 45(15), 2551-2569
- Youssf, O., ElGawady, M. A., & Mills, J. E. (2016). Static cyclic behaviour of FRP-confined crumb rubber concrete columns. *Engineering Structures*, 113, 371-387
- Yön, B., Onat, O., Öncü, M. E., & Karaşin, A. (2020). Failures of masonry dwelling triggered by East Anatolian Fault earthquakes in Turkey. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 133, 106126



Seismic Vulnerability Assessment of Masonry Structures and Their Strengthening Methods Using Numerical Modeling

Sajede sohrabzahi

Department of Civil Engineering,
Payam Noor University, North Tehran,
Iran.

1-1- Abstract

Structures are often weak in in-plane shear strength and out-of-plane buckling; In addition, they are highly vulnerable to lateral and seismic forces and cause a lot of financial and human losses. Therefore, in all respects, the importance of strengthening these structures is strongly felt. Also, before determining the reinforcement method of each structure, the behavior of that structure under seismic force must be determined. In this dissertation, an unreinforced building was subjected to seismic loading and then retrofitted by the optimal method. In this study, to evaluate the seismic vulnerability of masonry structures and their retrofitting methods, a three-dimensional two-story structure with masonry materials with different retrofitting methods was analyzed by analyzing the time history under the Kobe earthquake record. An experimental study was used to validate the modeling. The results showed that software modeling and laboratory samples show approximately the same answer and this indicates the accuracy of modeling brick wall and cement sand mortar and their effect on each other. Due to the results of validation as well as the high cost and time of laboratory work can be used using finite element software to design and improve masonry structures. Structure without improvement, this structure collapsed in the first moments of earthquake acceleration mapping. This shows that due to the behavior of masonry structures against gravitational and compressive forces that show good resistance but not at all good lateral forces. Comparing the energy absorption of the structure against the lateral forces, the structure improved with columns and FRP sheets showed the highest amount of energy absorption, which compared to the structure improved with columns and the structure improved with FRP sheets, respectively, about 8 and 15 It was equal..

1-2- Keywords: Building structure, brick, accelerometer, lateral force, FRP, improvement