

## ارزیابی روش پیشنهادی مقاوم سازی دیوارهای بنایی تقویت نشده تحت آنالیز غیر خطی به روش المان محدود

حیب اله کاکولوند

کارشناس ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران

[Kakolvand1476@Yahoo.com](mailto:Kakolvand1476@Yahoo.com)

مهرتاش معتمدی

استاد یار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران

[m\\_motamedi@azad.ac.ir](mailto:m_motamedi@azad.ac.ir)

کلید واژه‌ها: دیوار بنایی تقویت نشده، بازشو، مقاوم سازی لرزه‌ای، مد گسیختگی

### چکیده

در این تحقیق به مدلسازی دیوارهای بلوک سیمانی تقویت نشده به روش المان محدود و ارزیابی روش پیشنهادی مقاوم سازی پرداخته می‌شود. هدف شبیه سازی عددی رفتار این دیوارها در حالت با بازشوه‌های مختلف و مطالعه تاثیر روش مقاوم سازی با استفاده از ایجاد هسته مرکزی در بهبود عملکرد لرزه‌ای دیوارهای موجود است. روش هسته مرکزی برای دیوارهای مختلف بکار گرفته شده است. برای مطالعه رفتار داخل صفحه دیوارها، مدل‌های عددی با نتایج آزمایشگاهی بدست آمده از دیوار شبیه سازی شده در کار قبلی مقایسه شده و پاسخ غیرالاستیک نیرو-تغییر مکان و مد شکست نمونه آزمایشگاهی و عددی با هم مقایسه و کالیبره می‌شوند. آنالیز غیرخطی پوش آور برای مطالعه ظرفیت مدل‌ها تا ۰.۴ تغییر مکان نسبی (Drift) دیوارها انجام می‌شود. نتایج بدست آمده از این مطالعه نشان می‌دهد که روش هسته مرکزی راه حل مناسبی برای تقویت دیوارهای بنایی تقویت نشده است.

### مقدمه

ساختمان‌های بنایی سهم عمده ای از ساخت و ساز را در برخی از کشورها را به خود اختصاص داده اند، از مصالح بنایی هنوز برای ساختمان سازی در ایران، ترکیه، آلمان، یونان، برخی کشورهای اروپایی و بعضی از کشورهای جنوبی آمریکا مورد استفاده قرار می‌گیرد. این سازه‌ها دارای وزن زیاد، مقاومت و شکل پذیری و انسجام پایین هستند و در مقابل زلزله آسیب پذیر می‌باشند لذا بایستی رفتار اینگونه سازه‌ها و نحوه تقویت آنها مورد ارزیابی قرار گیرد.

با توجه به زلزله‌های اخیر و تلفات جانی و مالی بسیار گسترده و جبران ناپذیر در ارتباط با سازه‌های بنایی یا دیوارهای پرکننده، لزوم بررسی نوع خسارت‌های وارده بر این نوع سازه‌ها و رفتار شناسی آنها امری ضروری بوده و غیر قابل اجتناب می‌باشد. جهت بررسی لرزه‌ای سازه‌های بنایی تحقیقات متعددی توسط افراد مختلف در سطح دنیا انجام گرفته است، این تحقیقات شامل آزمایش‌های متعددی بر روی مقیاس‌های مختلف از سازه‌های بنایی و یا استفاده از برنامه‌های کامپیوتری جهت مدل سازی دیوارهای بنایی می‌باشد. با توجه به زمان بر و پر هزینه بودن آزمایش‌های لازم، شبیه سازی رفتار و توسعه مدل‌های عددی می‌تواند بعنوان یک راهکار مناسب در بررسی رفتار سازه‌های بنایی مورد استفاده قرار گیرد. در چند دهه گذشته مطالعات و تحقیقات متعددی بر روی سازه‌های با مصالح بنایی در سطح دنیا انجام گرفته است. در اینجا به برخی از مطالعات انجام شده اشاره می‌گردد.

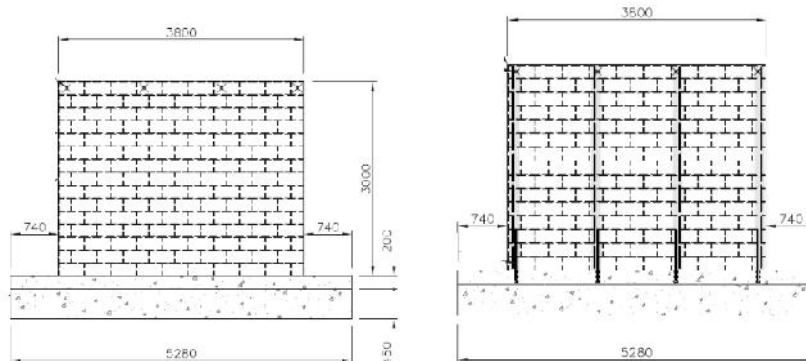
در سالهای ۷۹-۱۹۷۶ یک سری تحقیقات آزمایشگاهی جهت بررسی و تعیین ماکزیمم شدت زلزله قابل تحمل برای خانه‌های یک طبقه با مصالح بنایی از سوی مرکز تحقیقات مهندسی زلزله دانشگاه برکلی در کالیفرنیا انجام شد [۱]. پیچ در سال ۱۹۷۸ [۲] به مدلسازی عددی آجر کاری تحت ترکیب نیروهای درون صفحه به صورت مدلسازی میکرو پرداخت. در مدل وی آجرها رفتار کاملاً خطی دارند و رفتار غیرخطی آجرکاری ناشی از رفتار درزهای ملات در نظر گرفته شده است. لطفی و شینگ در سال ۱۹۹۴ [۳] به مدلسازی دیوارهای آجری به روش میکرو پرداخت.



لورنکو و روتس در سال ۱۹۹۶ [۴] با ارائه المان تماسی جهت مدلسازی دیوارهای آجری به روش مدلسازی میکرو پرداختند. معیار زوال حاکم بر درزهای ملات در این روش مدلسازی، ترکیبی از معیار زوال مور - کلمب با معیار حداکثر مقاومت کششی به همراه یک کلاهیک فشاری می‌باشد. علاوه بر آن یک المان تماسی داخلی برای آجر جهت مدلسازی شکست کششی و برشی در واحد های بنایی استفاده شده است، چیمون و همکارانش در سال ۲۰۰۷ [۵] نیز با استفاده از همین روش به مدلسازی دیوارهای برشی آجری پرداختند. در دهه هشتاد میلادی یک طرح تحقیقاتی توسط برنامه توسعه سازمان ملل (UNDP)، به منظور فراهم آوردن دستورالعمل‌هایی جهت آنالیز، طراحی و ساخت ساختمانهای بنایی مقاوم در برابر زلزله به انجام رسید. در این پروژه رفتار ساختمانهای بنایی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته و مکانیزم و دلایل خرابی آنها تعیین و تعریف شد [۶]. گامباروتا و لاگومارسینو [۷]، بر اساس ویژگیهای ملات بین آجرها و با در نظر گرفتن یک معادله مشخصه برای آجرها، یک مدل مرکب طراحی و برای تحلیل اجزاء محدود حرکت جانبی دیوار برشی آجری بکار بردند. پاسخ های حاصل از این مدل با نتایج آزمایشگاهی حاصل از بارگذاری جانبی بر روی نمونه هایی از دیوارهای آجری مقایسه شده است، و منابع زیاد وجود دارد که رفتار ساختمان های بنایی، مفهوم مدلسازی، ارزیابی و طراحی سازه های مصالح بنایی را شرح می‌دهد.

## روش مقاوم سازی

روش هسته مرکزی بعنوان روش مقاوم سازی برای بهبود رفتار لرزه ای دیوار های بنایی با بلوک سیمانی پیشنهاد می‌گردد. سیستم هسته مرکزی شامل قرارگیری اعضای تقویتی قائم در داخل شیار ایجاد شده در دیوار و وصله کردن آن با میلگرد انتظاری که داخل فونداسیون مهار شده می‌باشد. این اعضای تقویتی باعث افزایش یکپارچگی و مقاومت داخل صفحه ای دیوار بنایی می‌شود. نوع دیوار بنایی مورد مطالعه در این مقاله و اعضای تقویتی پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده است. در عمل (که در آزمایشگاه دانشگاه بریتیش کلمبیا انجام شده) با برش دیوار، شکاف های قائم و پیوسته ای به عرض ۵۰ میلیمتر تا بالای دیوار بنایی ایجاد می‌شود، این شکاف ها به فاصله ۱۲۰۰ میلیمتر از یکدیگر در طول دیوار ایجاد می‌شوند. برای هر شیار قائم یک سوراخ در داخل فونداسیون و در وسط شکاف ایجاد شده و در داخل این سوراخ ها میلگردهایی به طول ۷۵۰ میلیمتر که ۱۵۰ میلیمتر آن داخل فونداسیون قرار گرفته و با اپوکسی (HILTI-HITRe500 epoxy) مهار می‌شوند، سپس داخل هر کدام از این شیارها یک میلگرد قائم قرار گرفته و به میلگرد انتظار وصله می‌گردد. بعد از اینکه روی این شکاف ها قالب چوبی قرار گرفت داخل آن با ملات روان پر می‌شود. (ونتورا، معتمدی و سنتنو) [۸].



شکل ۱: طرح دیوار بنایی با بلوک سیمانی و روش مقاوم سازی

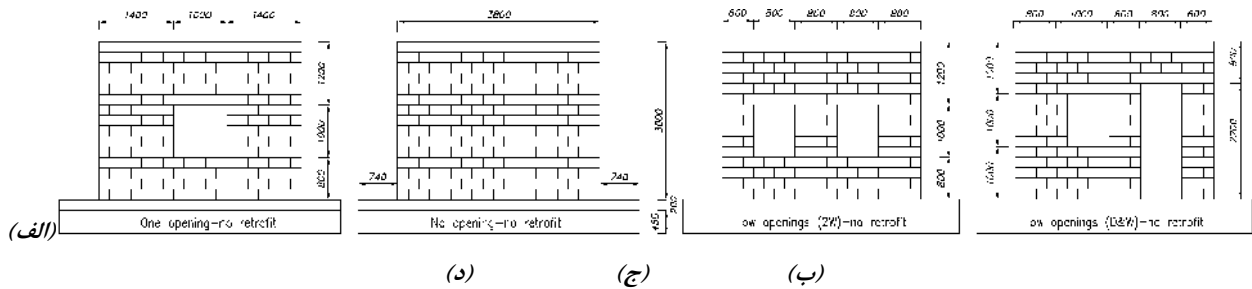
## مدل اجزای محدود دیوارها

در حالت کلی دو رویکرد برای مدلسازی دیوارهای بنایی وجود دارد: روش ماکرو و روش میکرو [۹]. در رویکرد ماکرو، آجر و ملات بصورت پیوسته مدل می‌شوند و مشخصات مصالح مربوط به واحد آجر کاری که شامل ملات و آجر می‌باشد به نرم افزار داده می‌شود. در رویکرد میکرو المان آجرها بصورت مجزا مدل می‌شوند، البته این روش می‌تواند بصورت ساده سازی شده یا با جزئیات باشد. به این ترتیب که در روش ساده سازی شده، ملات بصورت جداگانه مدلسازی نشده و تنها اثرات آن شامل اصطکاک و چسبندگی مدل می‌شود. بطور کلی در این رویکرد مدل قادر به نشان دادن مسیر گسیختگی در دیوارهای بنایی بوده و ضعف چسبندگی بین ملات و آجر را بعنوان منبع کاهش سختی و شروع گسیختگی در نظر می‌گیرد. در نتیجه چسبندگی ملات و اتصال آجر و ملات به عنوان اتصال در نظر گرفته می‌شود [۱۰]. در این تحقیق از روش میکرو المان ساده شده جهت مدلسازی استفاده شده است و از نرم افزار کامپیوتری ABAQUS برای گسترش مدل ها و آنالیز غیرخطی استفاده می‌شود [۱۱].

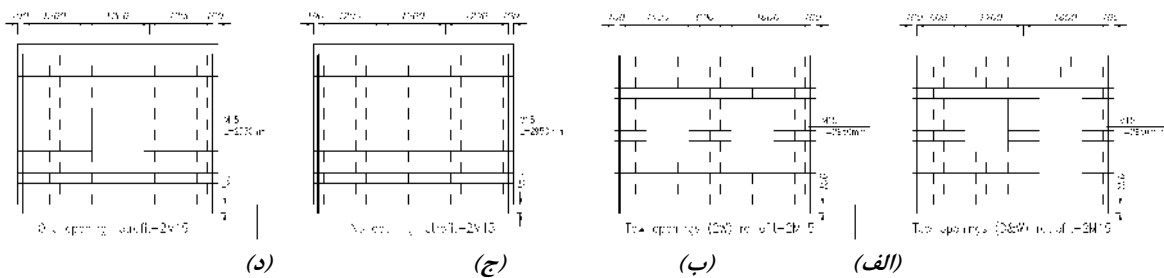
کلیدیه دیوارها دارای ۳۸۰۰ میلیمتر طول، ۳۰۰۰ میلیمتر ارتفاع و ۲۰۰ میلیمتر عرض می‌باشند. نمونه بلوک های سیمانی دارای ابعاد ۴۰۰×۲۰۰×۲۰۰ میلیمتر که با ملات تیپ S با مقاومت فشاری ۱۵ مگاپاسکال ساخته شده است. پداسال فونداسیون دیوارها دارای ابعاد مقطع ۲۰۰×۲۰۰ میلیمتر با مقاومت فشاری ۵۶ مگاپاسکال می‌باشد. چهار نمونه دیوار بنایی مدل شده است: (۱) No opening: دیوار بنایی بدون بازشو؛

One opening (۲): دیوار بنایی با یک بازشو به ابعاد  $1000 \times 1000$  میلی‌متر؛ ۳) Tow openings (D&W): دیوار بنایی با دو بازشو شامل یک در به ابعاد  $2200 \times 1000$  میلی‌متر و یک پنجره به ابعاد  $1000 \times 800$  میلی‌متر؛ ۴) Tow openings (2W): دیوار بنایی با دو بازشو شامل دو پنجره به ابعاد مساوی  $1000 \times 800$  میلی‌متر.

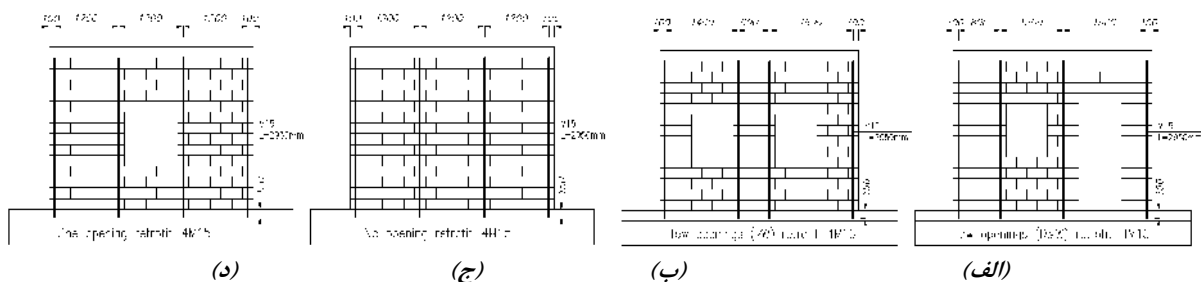
کلیه دیوارهای بنایی تقویت نشده مفروض با تقویت به روش پیشنهادی گسترش می‌یابند. اعضای تقویتی قائم از میلگرد M15 می‌باشد که در شکاف‌های ایجاد شده در دیوار قرار گرفته و سپس با ملات روان تیپ S پر می‌گردد. شکل‌های ۲، ۳ و ۴ به ترتیب مدل‌های اجزای محدود دیوارهای بنایی تقویت نشده، تقویت شده با دو میلگرد M15 و تقویت شده با چهار میلگرد M15 را نشان می‌دهند. درجه آزادی خارج از صفحه کلیه دیوارها قید شده اما این دیوارها می‌توانند دارای چرخش یا حرکت قائم و افقی داخل صفحه ای داشته باشند.



شکل ۲: مدل اجزای محدود دیوارهای بنایی تقویت نشده: (الف) دیوار بنایی بدون بازشو (ب) دیوار بنایی با یک بازشو (ج) دیوار بنایی با دو بازشو شامل یک در و یک پنجره (د) دیوار بنایی با دو پنجره



شکل ۳: مدل اجزای محدود دیوارهای بنایی تقویت شده با دو میلگرد M15: (الف) دیوار بنایی بدون بازشو (ب) دیوار بنایی با یک بازشو (ج) دیوار بنایی با دو بازشو شامل یک در و یک پنجره (د) دیوار بنایی با دو پنجره

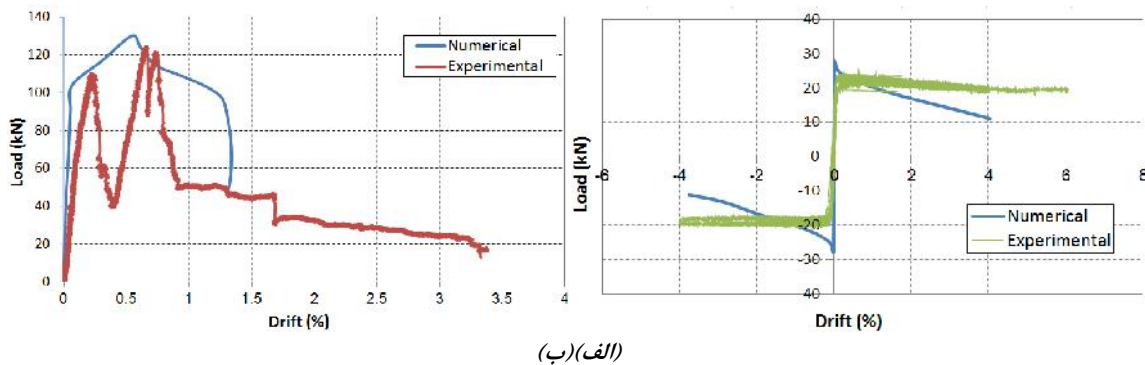


شکل ۴: مدل اجزای محدود دیوارهای بنایی تقویت شده با چهار میلگرد M15: (الف) دیوار بنایی بدون بازشو (ب) دیوار بنایی با یک بازشو (ج) دیوار بنایی با دو بازشو شامل یک در و یک پنجره (د) دیوار بنایی با دو پنجره

برای مدلسازی بلوک‌ها از المان‌های مکعبی با تابع شکل درجه یک و انتگرال‌گیری کاهش یافته (C3D8R) استفاده شده است. بلوک‌ها بصورت تو پر فرض شده و ویژگی‌های آن به طور صحیح با بلوک‌های تو پر هم ارز شده است. از آنجا که روش مورد استفاده در این تحقیق، روش میکرو ساده سازی شده می‌باشد، برای اینکه سختی ملات نیز در محاسبات بیاید ضخامت ملات که ۱۰ میلی‌متر است به ارتفاع بلوک اضافه شده است. به منظور تعیین مقاومت فشاری آجرچینی از مقاومت‌های فشاری بلوک و ملات از پیشنهاد آیین‌نامه (International Building Code 2006) IBC2006 استفاده می‌گردد. مشخصات لایه چسبنده مدلسازی شده عبارتند از: ضریب اصطکاک  $0.65$ ، چسبندگی بین ملات با بلوک سیمانی  $350$  کیلو پاسکال، مقاومت کششی ملات  $62$  کیلو پاسکال، ضریب ارتجاعی برشی  $10 \text{ N/mm}^3$ ، ضریب ارتجاعی قائم  $4 \text{ N/mm}^3$ ، با مدلسازی لایه چسبنده بین آجرها این قابلیت بدست می‌آید که آجرها می‌توانند بر روی یکدیگر بلغزند و یا در یکدیگر

## نتایج اجزای محدود دیوارها

پاسخ نیرو - تغییر مکان دیوار بنایی تقویت نشده بدون باز شو در شکل ۵- الف نمایش داده شده و مدل اجزای محدود با نتایج آزمایشگاهی مقایسه و صحت سنجی شده است. پاسخ نیرو-تغییر مکان دیوار بنایی تقویت شده در شکل ۵- ب نمایش داده شده، که در این مورد نیز مدل اجزای محدود با نتایج آزمایشگاهی مقایسه و صحت سنجی شده است. الگوی پخش ترک و تغییر شکل دیوار بنایی تقویت نشده در شکل ۶ (کانتورهای رنگی برای این شکل و شکل های بعدی بیانگر تغییر مکان افقی داخل صفحه دیوار می باشند که مقدار عددی این کانتورها در این شکل ها مورد نظر نمی باشد) نشان داده شده و با نمونه آزمایشگاهی قابل مقایسه می باشد، مشاهده می گردد که هر دو نمونه آزمایشگاهی و اجزای محدود تحت نیروی جانبی دارای مد شکست بلندشدگی (Rocking) هستند. در شکل ۷ الگوی پخش ترک و تغییر شکل دیوار بنایی تقویت شده را برای نمونه آزمایشگاهی و مدل اجزای محدود، نشان داده شده و قابل مقایسه می باشد. همان طور که مشاهده می گردد هر دو نمونه اجزای محدود و آزمایشگاهی دچار گسیختگی برشی شده اند. بنابراین مدل ها با نتایج آزمایشگاهی بدست آمده از دیوار شبیه سازی شده کالیبره گردیده و از این نتایج برای گسترش مدل های دیگر استفاده می گردد.

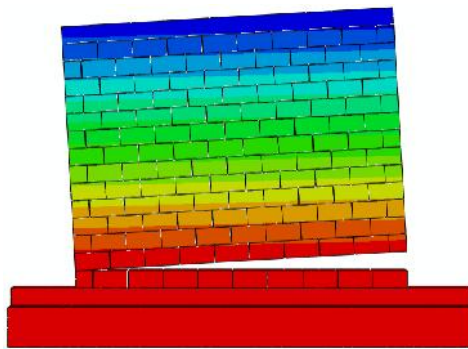


(الف)(ب)

شکل ۵: مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج آنالیز عددی تحت بارگذاری چرخه ای برای دیوار بنایی: (الف) تقویت نشده بدون باز شو (ب) تقویت شده بدون باز شو



(ب)

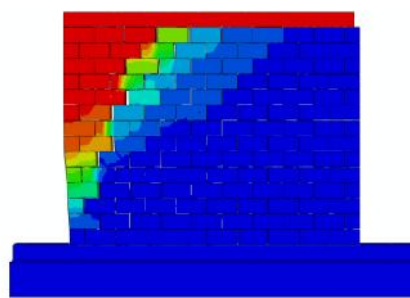


(الف)

شکل ۶: مد خرابی دیوار بنایی تقویت نشده: (الف) نمونه آزمایشگاهی (ب) آنالیز عددی



(ب)

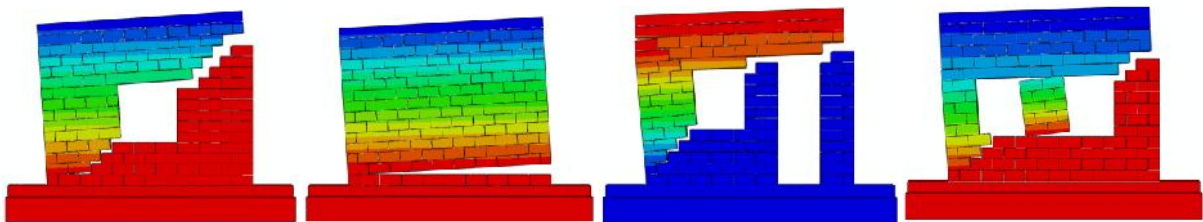


(الف)

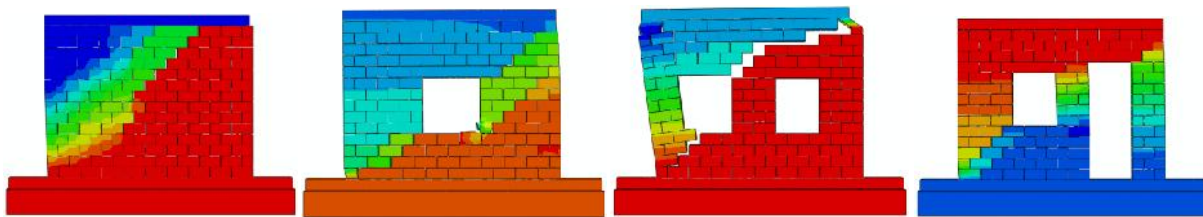
شکل ۷: مد خرابی دیوار بنایی تقویت شده: (الف) نمونه آزمایشگاهی (ب) آنالیز عددی

## ارزیابی تاثیر اجزای تقویتی بر رفتار داخل صفحه ای دیوارهای بنایی

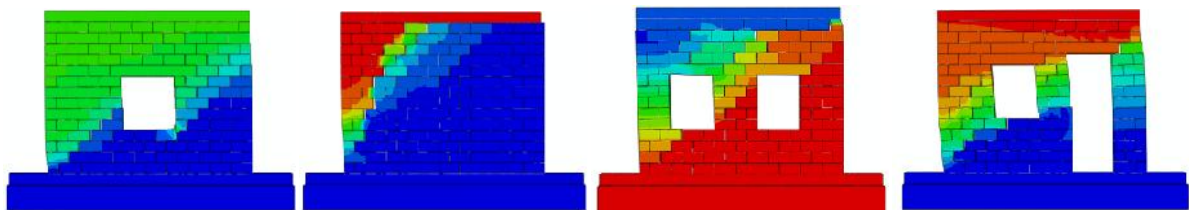
رفتار دیوارهای بنایی بدون و با بازشوهای مختلف تحت بار جانبی با استفاده از نتایج حاصل از کالیبره کردن مدل های اجزای محدود بررسی شده است. شکل های ۹، ۱۰ و ۱۱ تغییر شکل و الگوی پخش ترک بترتیب دیوارهای بنایی تقویت نشده و تقویت شده با دو میلگرد M15، و تقویت شده با چهار میلگرد M15 را نشان می دهند، و در شکل ۱۱ پاسخ نیرو - تغییر مکان این دیوارها را در حالت تقویت شده و تقویت نشده نشان می دهد که قابل مقایسه هستند. روش مقاوم سازی در حالت تقویت با دو میلگرد M15 باعث افزایش ۴۶۷ درصدی ظرفیت برشی و ۱۱۷ درصدی سختی الاستیک در دیوار بنایی بدون بازشو، افزایش ۲۸۰ درصدی ظرفیت برشی و ۱۲۶ درصدی سختی الاستیک در دیوار بنایی با یک بازشو، افزایش ۳۵۰ درصدی ظرفیت برشی و ۱۲۲ درصدی سختی الاستیک در دیوار بنایی با دو بازشو شامل یک در و یک پنجره، افزایش ۱۹۱ درصدی ظرفیت برشی و ۱۱۲ درصدی سختی الاستیک در دیوار بنایی با دو بازشو شامل دو پنجره شده است. و همچنین روش مقاوم سازی در حالت تقویت با چهار میلگرد M15 باعث افزایش ۴۶۷ درصدی ظرفیت برشی و ۱۳۳ درصدی سختی الاستیک در دیوار بنایی بدون بازشو، افزایش ۳۵۰ درصدی ظرفیت برشی و ۱۲۳ درصدی سختی الاستیک در دیوار بنایی با یک بازشو، افزایش ۵۴۰ درصدی ظرفیت برشی و ۱۸۳ درصدی سختی الاستیک در دیوار بنایی با دو بازشو شامل یک در و یک پنجره، افزایش ۲۲۸ درصدی ظرفیت برشی و ۱۱۰ درصدی سختی الاستیک در دیوار بنایی با دو بازشو شامل دو پنجره شده است.



شکل ۸: رفتار و الگوی پخش ترک دیوارهای بنایی تقویت نشده تحت بار جانبی



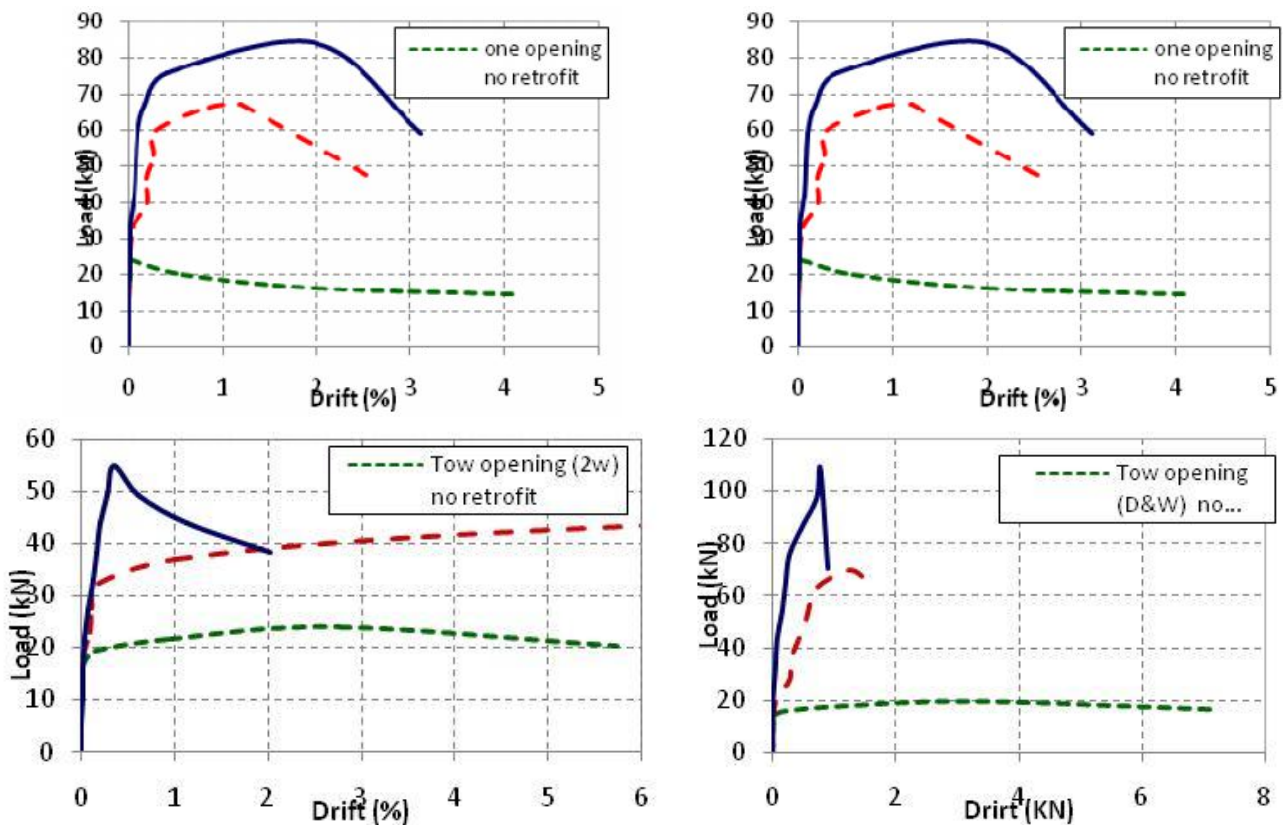
شکل ۹: رفتار و الگوی پخش ترک دیوارهای بنایی تقویت شده با دو میلگرد M15 تحت بار جانبی



شکل ۱۰: رفتار و الگوی پخش ترک دیوارهای بنایی تقویت شده با چهار میلگرد M15 تحت بار جانبی

در این تحقیق برای دیوارهای بنایی تقویت شده آنالیز پوش آور تا رسیدن تنش در میلگردها به تنش مایسز ادامه یافته که این امر و نحوه چیدمان بازشوها و میلگردها باعث گردیده تا شکل پذیری های متفاوتی در دیوارهای مختلف داشته باشیم. نتایج بدست آمده از این مطالعه نشان می دهد که روش هسته مرکزی راه حل مناسبی برای تقویت دیوارهای بنایی تقویت نشده است. سختی الاستیک، ظرفیت برشی نهایی و دریفتی که باعث گسیختگی می شود در جدول شماره ۱ که تحت آنالیز پوش آور بدست آمده مقایسه شده است. همان طوریکه از جدول شماره ۱ مشاهده می گردد دریفتی که باعث گسیختگی می شود در حالت تقویت شده کمتر می باشد و این بدین علت است که آنالیز پوش آور تا رسیدن تنش در میلگردهای تقویتی به تنش مایسز ادامه پیدا می کند.





شکل ۱: نمودار نیرو- تغییر مکان دیوارهای بنایی تقویت نشده و تقویت شده بدست آمده از آنالیز غیرخطی

جدول ۱: پارامترهای پاسخ اندازه گیری شده از مدل دیوارهای بنایی بدست آمده از آنالیز غیرخطی

		No opening	One opening	Two opening (D&W)	Two opening (2W)
Elastic Stiffness(kN/m)	URM Wall	712.82	544.22	317.46	408.16
	Retrofit Wall-2M15	831.42	684.06	388.34	456.29
	Retrofit Wall-4M15	947.42	669.86	580.64	448.81
Shear Capacity(kN)	URM Wall	27.80	24.00	20.00	24.00
	Retrofit Wall-2M15	130.00	67.20	70.00	46.00
	Retrofit Wall-4M15	130.00	84.00	108.00	54.80
Failure Drift(%)	URM Wall	4.04	4.11	3.31	2.77
	Retrofit Wall-2M15	2.10	2.56	1.63	3.65
	Retrofit Wall-4M15	1.31	3.10	0.91	2.02

## نتیجه گیری

در این تحقیق ابتدا دو دیوار بنایی بدون بازشو در دو حالت تقویت نشده و تقویت شده با چهار میلگرد M15 به وسیله نرم افزار اجزای محدود و به روش میکرو المان ساده شده مورد تحلیل قرار گرفته و نتایج بدست آمده با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردید که این نتایج همگرایی خوبی با نتایج آزمایشگاهی از خود نشان داد. از پارامترهای کالیبره شده برای گسترش مدل های دیگر و ارزیابی اثر اعضای تقویتی قائم بر روی دیوارهای تقویت نشده با بازشو های مختلف مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق چهار نمونه دیوار بنایی را در حالت بدون بازشو و با بازشوهای مختلف در دو حالت به روش هسته مرکزی مقاوم سازی شدند. در حالت اول کلیه دیوارها با دو عدد میلگرد M15 که در ابتدا و انتهای دیوارها قرار می گرفتند مورد مقاوم سازی قرار گرفته، و در حالت دوم کلیه دیوارها با چهار عدد میلگرد M15 مورد مقاوم سازی قرار گرفتند.

روش مقاوم سازی پیشنهادی برای دیوارهای بنایی نشان داد که عملکرد مناسبی در کاهش پاسخ مدل ها و افزایش سختی جانبی و ظرفیت برشی دارد، به گونه ای که این روش تقویتی برای حالت با دو عدد میلگرد M15 باعث افزایش ۱۹۱ تا ۴۶۷ درصدی ظرفیت برشی و ۱۱۲ تا ۱۲۶ درصدی سختی الاستیک در دیوارهای مختلف شد. همچنین مقاوم سازی در حالت تقویت با چهار عدد میلگرد M15 موجب افزایش ۲۲۸ تا ۵۴۰ درصدی ظرفیت برشی و ۱۱۰ تا ۱۸۳ درصدی سختی الاستیک در دیوارهای مختلف گردید. نتایج بدست آمده از این مطالعه نشان می دهد که روش هسته مرکزی راه حل مناسبی برای مقاوم سازی دیوارهای بنایی تقویت نشده است.

## مراجع

ABAQUS User Manual (2013)

Chaimoon K & Attard MM (2007) Modeling of unreinforced masonry walls under shear and compression . *Engineering structures* , 2056-2068

Design and construction of stone and brick-masonry buildings(1984) UNDP/UNIDO Project RER/79/015, Vol. 3,

Dumova-JovanoskaE&Schurilov CP(2009)Calibration of a numerical modelfor masonry with application to experimental results. University Ss. Journal of Cyriland Methodius, *Faculty of Civil Engineering*, Skopje, Macedonia

Gambarotta L and LagomarsinoS( 1997) Damage models for the seismicresponse of brick masonry shear walls. Part I: The mortar Joint model and its applications. *Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics* 26:4,423-439

LotfiHR (1994) Interface model applied to fracture of masonry structures,*journal of structural Engineering* , ASCE, 3-8

Lourenco & Jan G.Rots (1998) Multi surface interface model for analysis of masonry structures, *J. struct* , ASCE ,

Lourenco PB, Analysis of masonry structures with interface Elements theoryand applications , TNO Building and construction research , Faculty of civilengineering, Delf university of Technology Mineapolis , USA

Page AW(2005) Finite element model for masonry , *journal of the structural DivisionASSE*, ST8, 1267- 1285

Shaking table study of single-story masonry houses(1979) UCB/EERC – 79/25, September197

Ventura CE, Motamedi M. and Centeno J (2011) Technical report on laboratorytest program, StructuralEngineering Guidelines for the performance-based SeismicRetrofit of British Columbia School Buildings,APEGBC, Vancouver, BC., Canada