



مکانیسم‌های تخریب درون صفحه‌ای دیوارهای URM تحت بار زلزله، بارویکردی بر روش‌های متداول مقاوم‌سازی دیوارهای URM موجود

دکتر منصور قلعه نوی، استاد یار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی *
محسن راشکی، دانشجوی کارشناسی ارشد سازه دانشگاه سیستان و بلوچستان **
مهدی رستمیان، دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری دانشگاه علوم و
تحقیقات تهران ***

Email: Ghalehnovi@eng.usb.ac.ir,

09151411502

Email: Rashki.mohsen@gmail.com,

09155402499

Email: Rostamiyan.m@gmail.com,

09159401400

چکیده:

نتایج آمارگیری صورت گرفته، بیانگر این مطلب است که بیش از نیمی از خانه‌های موجود را، ساختمان‌هایی با مصالح بنایی تشکیل می‌دهند در زلزله‌های سالیان اخیر نیز خسارات‌های مالی و جانی ساختمان‌های بنایی به واسطه آسیب‌پذیری زیاد، همواره بیش از ساختمان‌های با اسکلت بتنی و فلزی بوده است. در ساختمان‌های آجری، دیوارهای باربر اساسی‌ترین عضو سازه محسوب می‌شود و وظیفه تحمل نیروهای جانبی زلزله ((برش و خمش)) را علاوه بر نیروهای ثقلی وارده بر عهده دارند. نیروهای تحمیلی زلزله به دیوارهای درون صفحه‌ای، سبب به وجود آمدن ترک‌های متنوع و خطرناکی در سازه می‌شود که می‌تواند به تخریب سازه منتج گردد. در این مقاله، مکانیسم‌های تاثیر این نیروها بر دیوارهای URM که سبب ترک و تخریب در سازه شده، از دیدگاه ((macro modeling)) مورد بررسی قرار گرفته و در ادامه روش‌های متداول و موثر مقاوم‌سازی این سازه‌ها آورده شده است.

کلید واژه‌ها: ساختمان‌های بنایی غیر مسلح، زلزله، دیوار درون صفحه‌ای، مقاوم

سازی

مکانیسم های تخریب درون صفحه ای دیوارهای URM تحت بار زلزله، بارویکردی بر روشهای متداول مقاوم سازی دیوارهای URM موجود

دکتر منصور قلعه نوی ، استاد یار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد *

محسن راشکی ، دانشجوی کارشناسی ارشد سازه دانشگاه سیستان و بلوچستان **

مهدی رستمیان ، دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری دانشگاه علوم و تحقیقات تهران***

Email: Ghalehnovi@eng.usb.ac.ir,

09151411502

Email: Rashki.mohsen@gmail.com,

09155402499

Email: Rostamiyan.m@gmail.com,

09159401400_

چکیده :

نتایج آمارگیری صورت گرفته ، بیانگر این مطلب است که بیش از نیمی از خانه های موجود را ، ساختمان هایی با مصالح بنایی تشکیل می دهند در زلزله های سالیان اخیر نیز خسارات های مالی و جانی ساختمان های بنایی به واسطه آسیب پذیری زیاد ، همواره بیش از ساختمان های با اسکلت بتنی و فلزی بوده است . در ساختمان های آجری ، دیوارهای باربر ، اساسی ترین عضو سازه محسوب می شود و وظیفه تحمل نیروهای جانبی زلزله ((برش و خمش)) را علاوه بر نیروهای نقلی وارده بر عهده دارند . نیروهای تحمیلی زلزله به دیوارهای درون صفحه ای ، سبب به وجود آمدن ترک های متنوع و خطرناکی در سازه می شود که می تواند به تخریب سازه منتج گردد . در این مقاله ، مکانیسم های تاثیر این نیروها بر دیوارهای URM که سبب ترک و تخریب در سازه شده ، از دیدگاه ((macro modeling)) مورد بررسی قرار گرفته و در ادامه روش های متداول و موثر مقاوم سازی این سازه ها آورده شده است .

کلید واژه ها : ساختمانهای بنایی غیر مسلح ، زلزله ، دیوار درون صفحه ای ، مقاوم سازی

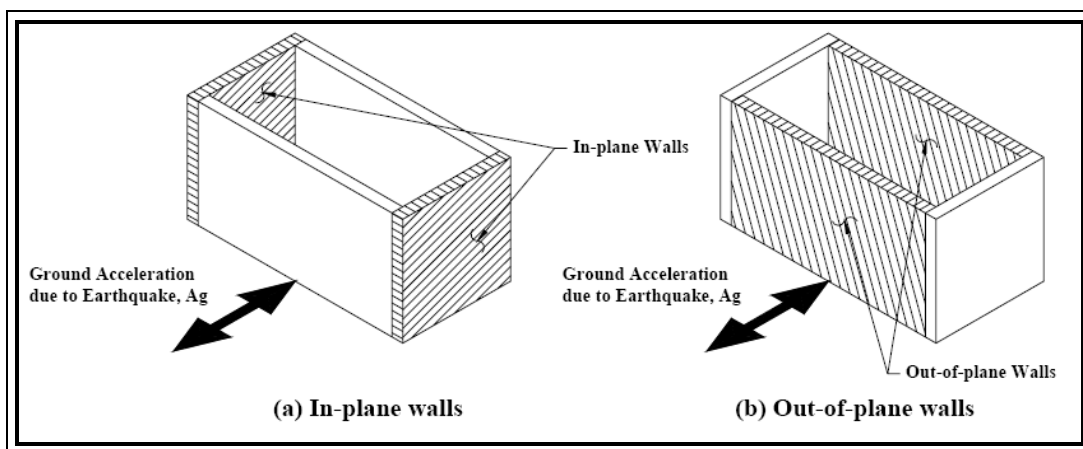
۱. مقدمه :

بررسی گذشته ایران از منظر زلزله خیزی و نیز مطالعه مستندات صدمات حاصل از زلزله در قرن اخیر بیانگر آن است که وقوع زمین لرزه های متوسط و شدید همواره خرابی های گسترده ای از خود به جای گذاشته است . به گونه ای که در حال حاضر ایران در صدر کشورهای است که وقوع زلزله در آن با تلفات جانی بالا همراه است .

آنچه در حال حاضر نیاز به بررسی عملکرد و نیز روش های گوناگون مقاوم سازی سازه های آجری را نمود بیشتری می بخشد ؛ عملکرد ضعیف این سازه ها در برابر نیروهای شدید زلزله می باشد که سبب شده خسارتهای سازه ای و غیر سازه ای این ساختمانها بسیار بیشتر از ساختمان های مشابه فلزی و بتنی باشد و از آنجا که بیش از ۵۰٪ ساختمان های موجود در کشور را این بناها به خود اختصاص داده اند ، نیاز به مطالعه اجزاء آسیب پذیر این ساختمانها مشهود می باشد .

در ساختمان های بنایی ، دیوارها اغلب به عنوان اصلی ترین عنصر سازه ای وظیفه تحمل بارهای قائم و جانبی ناشی از زلزله را بر عهده دارند [10] و شکست دیوارهای برشی و عرضی اصلی ترین حالت های شکست را تشکیل می دهند . چون در ساختمان های آجری سقف بر دیوارها تکیه دارد با سقوط دیوار احتمال در هم فرو ریختن کل ساختمان وجود دارد و لذا ناپایداری دیوارها را می توان به منزله ناپایداری کلی دانست . دیوارهای برشی تقریباً تمامی بار جانبی حاصل از زلزله را بر دوش دارند و سقوطشان به منزله انهدام قطعی ساختمان است اما شکست دیوارهای عرضی معمولاً با خسارت کمتری همراه است و بنابراین به هنگام تسلیح و تقویت ساختمان آجری تاکید اصلی روی دیوارهای برشی است [1] .

زمین لرزه ها در اثر حرکت سنگ ها و صخره ها اغلب با جابجایی گلسهای قرار گرفته موجود در پوسته زمین به وجود می آیند که این لغزش گسل می تواند این زمین را به رویه زمین نزدیک به خود را در جهت عمودی ، افقی و یا ترکیبی از این دو به حرکت وا دارد و این شتاب یا حرکت ناگهانی به وجود آمده باعث به وجود آمدن بار اضافی در سازه خواهد شد که از آن به عنوان بار گزاری لرزه ای یاد می شود . شتاب زمین نخست از طریق دیوارهای موازی با امتداد شتاب (in plane wall) که از آن به عنوان دیوار باربر نیز یاد میشود به ساختمان منتقل می شود زیرا این اعضاء در مقایسه با دیوارهای عمودی بر امتداد سختی بیشتری دارند [2] .



شکل ۱

در حالت کلی دو روش اصلی و مهم برای مدل کردن این سازه ها موجود می باشد [3] :

(۱) marco – modeling (۲) micro - modeling

در روش ماکرو مدلینگ ، برهم کنش میان اجزاء « ملات ، آجر ، و ... » به شکل دقیق مورد توجه قرار نمی گیرد بلکه ساختار کلی سازه بررسی می شود و اغلب برای سازه های با ابعاد بزرگ می تواند موثر باشد . در روش میکرومدلینگ ، ملات و آجر بر هم کنش و اثر آنها به صورت جداگانه مدل شود و

رفتار آنها در کنار هم به صورت جزء به جزء و دقیق تر مورد بررسی قرار می گیرد. در این مقاله، رفتار کلی دیوارهای درون صفحه ای غیر مسلح (UnReinforcement Masonry – in plane walls) تحت اثر نیروی زلزله مورد بررسی قرار گرفته است.

۲. انواع شکست دیوارهای URM و مکانیسم های خرابی ساختمان [1]:

هرگاه دیوارها تحت نیروهای جانبی قرار گیرند دو حالت شکست خواهند داشت: خمشی و برشی. دیواری که نسبت بعدی (ارتفاع به طول) کوچکی دارد به اندازه کافی پهن بوده و امکان شکست خمشی در آن کم می باشد (معمولاً پایه های پهن به حالت برشی و پایه های باریک به حالت خمشی می شکنند). یک ویژگی مشترک دیوارهای آجری غیر مسلح آن است که تحت شتاب پی، مادام که به حد آستانه نرسیده اند، آثار تخریب چندانی در آنها ظاهر نمی شود اما به محض عبور از حد آستانه، دیوار شروع به یک حرکت چرخشی حول محور عمود بر دیوار بنام حرکت "تلو" میکند و این حرکت به نوبه خود موجب پیدایش تنش های خرد کننده ای در پنجه میشود که نهایتاً به خرابی دیوار می انجامد. در عمل، به هنگام زلزله دیوار تحت تاثیر نیروهای لختی ناشی از زلزله، متناوباً بر روی پنجه و پاشنه خم می شود و چنانچه نیروهای عامل (زلزله) بر نیروهای مقاوم چیره شود جابجایی از حد کشسان می گذرد و دیوار شروع به واژگون شدن می کند، اما چون نیروهای زلزله طبیعتی آنی دارند این واژگونی لحظه ای چند بیشتر به طول نمی انجامد و خیلی زود جهت نیروها عوض می شود و دیوار در جهت مقابل به حرکت درمی آید و در هر بار چند میلیمتر تا چند سانتیمتر از محل پی جدا شده، پس از لحظه ای و به دنبال ضربه ای محکم، در جهت دیگر خم می شود و خرابی دیوار را در پی دارد. این شکست از مدهای شکست خمشی می باشد که اغلب در اثر تنش محوری قائم کم و بار درون صفحه ای جانبی زلزله رخ می دهد.

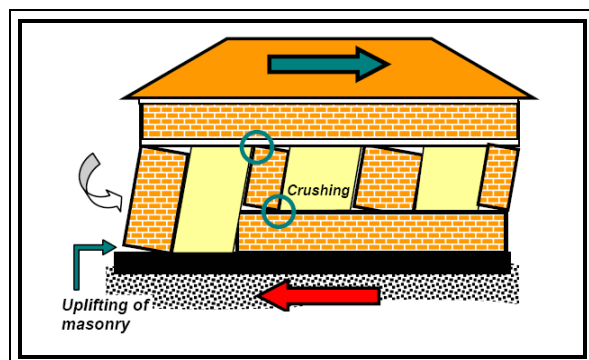
عوامل متداول سازه ای تخریب دیوارهای بنایی غیر مسلح و مکانیسم های شکست [2]:

۱-۲) تلو خوردن: همانطور که ذکر شد این پدیده بسیار خطرناک بوده و آثار زیان بخش زیر را به دنبال دارد [1]:

الف) ضربه های حاصل از تلو موجب خرد شدن پنجه و پاشنه دیوار شده، از عرض موثر پایه می کاهند و دیوار را بیش از پیش در برابر ضربه های بعدی بی دفاع می سازند.

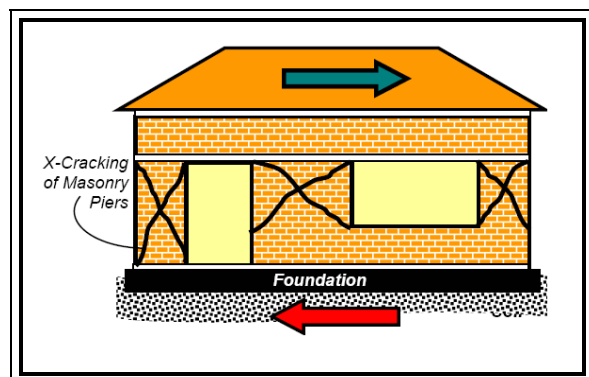
ب) حرکت تلو با ضربه های شدیدی همراه است که نیروهای افقی بزرگی را ایجاد می کنند، این نیروها می تواند به اندازه ای بزرگ شود که شکستهای برشی ایجاد کند. آزمایشهای انجام شده بر روی دیوارهای برشی نشان می دهد که به فاصله کمی پس از آغاز تلو پنجه و پاشنه شروع به خرد شدن کرده و این شکستها در سازه پدیدار می شوند.

ج) حرکت تلو موجب سست شدن ساختمان و در نتیجه کاهش دوره تناوب می شود که به نوبه خویش سبب افزایش شتاب پاسخ و یا نیروهای زلزله شود، بنابراین از یک سو مقاومت ساختمان کم می شود و از سوی دیگر نیروهای زلزله افزایش می یابد و بیش از پیش ساختمان را در معرض انهدام قرار می دهد.



شکل ۲

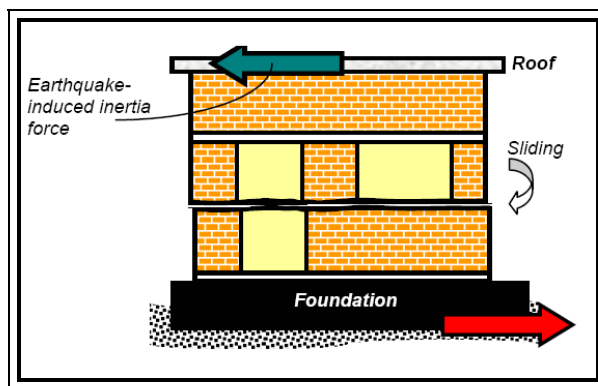
۲-۲) Diagonal tension: یکی از مدل‌های شکست برشی می باشد که اغلب در پایه (pier) دیوارهای URM و نسبت تنش های محوری قائم نسبتاً زیاد دیده می شود. زمانی که پایه تحت ترکیبی از بار قائم و افقی قرار می گیرد، تنش کششی ماکزیم ایجاد شده دیوار از مقاومت کششی مصالح بنایی سازنده دیوارها تجاوز کرده و ترک های ضربدری نشان داده شده در شکل ۳ را به وجود خواهند آورد. حال اگر چسبندگی ملات و آجر به اندازه کافی قوی باشد این ترک ها مستقیم ظاهر می شوند و چنانچه چسبندگی کمتر از حد انتظار باشد شاهد ترک های قطری پلکانی در دیوار خواهیم بود (شکل ۵). با توجه به طبیعت سیکلیک و رفت و برگشتی نیروی های زلزله، نیروها در دو طرف دیوار ترک های قطری را به شکل ترک های ضربدری شکل به دیوار تحمیل خواهد کرد [1] که چنانچه به حد بحرانی برسند، خرابی دیوار را در پی خواهند داشت.



شکل ۳

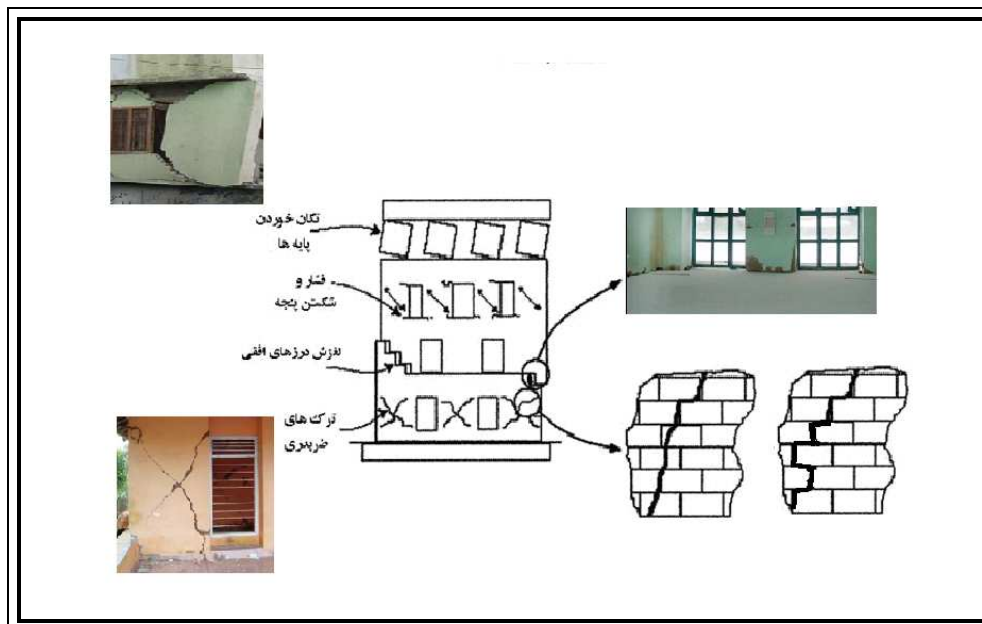
۳-۲) Bed joint sliding: یکی از مدهای گسیختگی برشی دیوارهای URM می باشد که اغلب در مقاطع با مقاومت اصطکاکی (frictional resistance) کم و بار قائم محوری کم رخ می دهد. در حقیقت مقاومت اصطکاکی کم می تواند ناشی از فاکتورهای فراوانی نظیر کیفیت ملات، طرز کار و نحوه ساخت (workmanship)، محدوده درز افقی و... باشد.

این گسیختگی ها سبب ترک های بزرگ افقی در امتداد درز افقی خواهند شد که در نهایت سبب می شوند دیوار تحت بار محوری جانبی بحرانی، در برابر لغزش تحمیلی، مقاومتی نداشته باشد. در واقع می توان چنین برداشت کرد که در این حالت، جذب انرژی توسط جابه جایی کل دیوار صورت گرفته و سازه با افزایش دیوار در امتداد مسیر، شکل پذیری مورد نظر زلزله را ارضا نموده است.



شکل ۴

همانطور که در شکل ها مشاهده می شود این پاسخ سازه به نیروی زلزله سبب ایجاد ترک های متنوعی در دیوار می شود که نمونه ای از این خرابی ها در شکل ۵ آورده شده است:



شکل ۵

۳. روش های مقاوم سازی دیوارهای URM

در ادامه روشهای توصیه شده FEMA [4] به عنوان روشهای موثر و متداول مقاوم سازی و بهسازی دیوارهای URM آورده شده که با توجه به وضعیت مقاوم سازی ساختمانهای موجود در کشور بر سایر روشهای مقاوم سازی ترجیح داده شده است :

۱) **Infilled opening** : در ساختمان های دارای باز شوی بزرگ ، مسیر بحرانی ترک ، از دیوار دارای بازشومی گذرد [5]. یکی از روش های متداول مقاوم سازی درون صفحه ای دیوارهای غیر مسلح بنایی ، پر کردن پنجره ها و درها می باشد که میتواند سبب افزایش مقاومت و ظرفیت برشی و خمشی دیوار گردد .

۲) **enlarge opening** : یکی از دلایل تخریب ساختمان های سنتی در زلزله ویرانگر بم ، وجود بازشویهای متعدد و بزرگ در طول دیوارهای باربر گزارش شده است. کوتاه کردن و کم کردن بازشوها تا حدودی می تواند سختی دیوارها را بهبود بخشد .

۳) **shotcrete** : اجرای مسلح شده نیز یکی از روش های متداول برای افزایش دادن مقاومت درون صفحه ای و برون صفحه ای می باشد . در این حالت نسبت ارتفاع به ضخامت کم خواهد شد و امکان تحمل برش و خمش افزایش می یابد . این روش ظرفیت های برشی و خمشی دیوار را تا حد قابل توجه ای بهبود می بخشد .

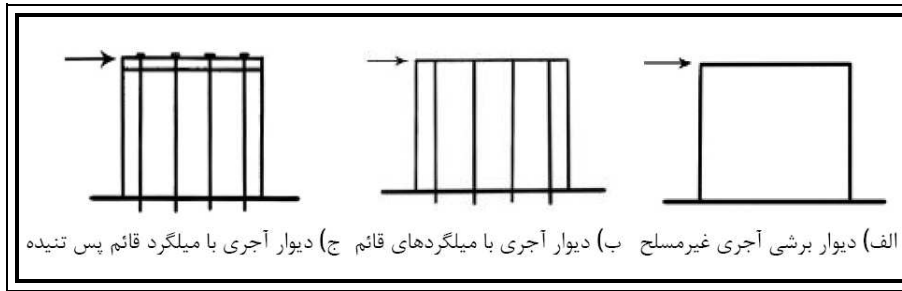
۴) ایجاد پوشش روی دیوار (**Coating for URM walls**) :

ایجاد پوشش های سطحی به منظور افزایش مقاومت درون صفحه ای دیوارهای URM مقاومت دیوار را در برابر بارهای فشاری و افزایش می دهد .

این پوشش ها می تواند به شکل های مختلفی نظیر روشهای ذیل بر روی دیوار انجام گیرد : **Cement plaster coating** ، **gypsum plaster coating** ، تعبیه مش های فولادی و ...

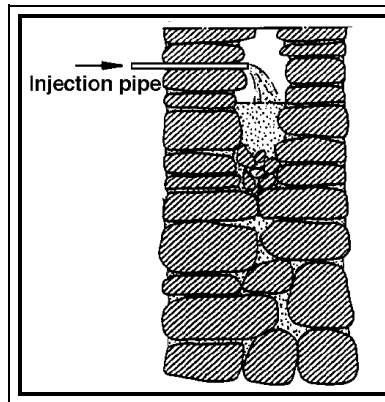
۵) **Reinforcement core for URM walls** : این دیوارها را می توان در جهت قائم به وسیله تعبیه میلگردها در سوراخ های حفر شده در ارتفاع دیوار مسلح کرد که این روش به **center core technique** معروف می باشد . استفاده از اپوکسی رزین نیز برای پر کردن اطراف میلگردها معمول می باشد .

۶) **prestressed cores for URM walls** : در این روش نیز دیوارها با ایجاد سوراخ های قائم مته ، و با تعبیه میلگردهای پیش تنیده در آن ، مسلح می شوند که البته تاندونهای اضافه شده نباید به ملات آغشته شوند . در این روش ، علاوه بر انجام مراحل تسلیح در روش قبل ، در بالای دیوار تیر فلزی یا بتنی قرار داده و میلگردها را از آن عبور می دهند و سپس تنیده می کنند . در این حالت ، بر خلاف روش قبل ، با مقاوم سازی در دو جهت ، امکان شکست های برشی هم عملاً گرفته می شود [8] .



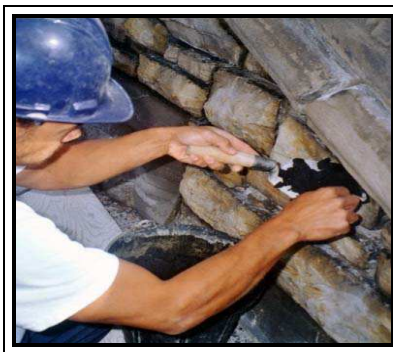
شکل ۶

۷) تزریق دوغاب ملات: تزریق ملات در حفره های دیوار با افزایش پیوستگی دیوار و چسبندگی اجزا، می تواند تا حدی مقاومت برشی و کششی را افزایش دهد.



شکل ۷

۸) Repointing: پروسه برداشتن درزهای ملات تخریب شده و یا ناقص و جایگزینی آن با ملات جدید را Repointing می گویند. این روش تا حدودی مقاومت برشی دیوار را افزایش داده و تا حدودی عملکرد آسیب پذیرترین قسمت دیوار « درز ملات » را بهبود می بخشد [11].

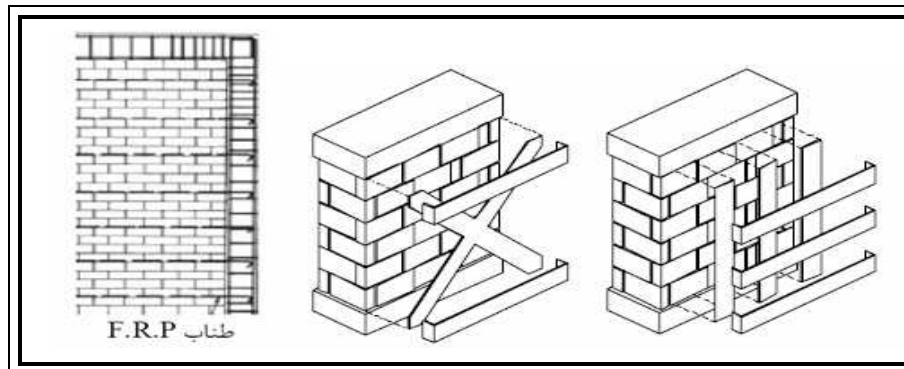


شکل ۸



شکل ۹

۹) Braced masonry walls: تعیبه مهاربند در دیوار می تواند عملکرد دیوار را تحت بارهای جانبی تحمیلی تحت تاثیر قرار داده و مقاومت خارج در صفحه ای را نیز بهبود می بخشد .
 ۱۰) Stiffening elements: اضافه کردن سایر عنصرهای سازه که اغلب به منظور افزایش سختی دیوار به کار گرفته می شوند می توانند مقاومت سبب بهبود عملکرد لرزه ای آن شوند .
 به عنوان مثال استفاده از ورقهای FRP به منظور بهسازی لرزه ای



شکل ۱۰

خلاصه و نتیجه گیری :

تلاش نیروهای جانبی زلزله ، سبب به وجود آمدن ترک های مختلفی در دیوارهای URM می شود که بدان پرداخته شد . به طور خلاصه دیوارهای برشی به دو حالت میشکنند : خمشی و برشی . شکست خمشی با تلو خوردن دیوار همراه شده ، پنجه و پاشنه آن در معرض خرد شدن قرار می گیرند . شکست برشی با ترکهای آریب همراه است و به سبب دو طرفه بودن نیروی زلزله ، این ترکها به صورت ضربدر ظاهر می شود .

به منظور مقاوم سازی این سازه ها و کاهش نیروی زلزله ویا افزایش سختی دیوار روش های متفاوت و نوینی نظیر بکارگیری میراگرهای اصطکاکی و ویسکوز ، مصالح کامپوزیت پلیمری FRP و مرکب سیمانی ((نظیر ECC)) [9] ... نیز وجود دارند که میتوانند به شکل وسیعی نیازهای لرزه ای سازه را در زمان وقوع زلزله تأمین کنند . آنچه در این مقاله آورده شد ، روشهای متداول و توصیه شده ای هستند که به منظور مقاوم سازی دیوارهای URM ارائه شده و اجرای آنها با توجه به شرایط موجود و عدم دسترسی به روش های نوین مقاوم سازی برای عموم ، می توانند عملکرد سازه را در زمان وقوع زمین لرزه ، بهبود ببخشند .

منابع و مأخذ :

- [1] : دکتر حسن مقدم ، "طرح لرزه ای ساختمان های آجری" ، انتشارات دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۷۳
- [2] : "Testing of energy absorbing diaphragm – to – wall connectors for unreinforced masonry " , Alan M. Lockerm, university of Colorado at boulder , 2006
- [3] : Mario M . Attard, Kritchaimoon, "Modeling of unreinforced masonry wall under shear and Compression", School of civil engineering – Engineering Structures, Volume 29, Issue 9, September 2007, Pages 2056-2068
- [4] : BSSC, "NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings", FEMA 273, 1997
- [5] : M. Sharig , H . Irtaza , M . Qamaruddin , "Influence of opening on seismic performance of masonry building walls", April 2007
- [6] : "seismic vulnerability of masonry buildings " , Dr . Ing. S. M. Mohasseb
- [7] : دستور العمل بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود . "سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور ، نشریه شماره ۳۶"
- [8] : "راهکارهای مرمت و بهسازی لرزه ای در ساختمان های آجری ایران" . دکتر محسن وفا مهر ، ۱۳۷۶
- [9] : آرنل اسکندری، "معرفی و بررسی مشخصات و کاربرد و نحوه عملکرد مصالح کامپوزیت و نوین در مقاوم سازی لرزه ای ساختمان های بتن مسلح و مصالح بنایی موجود" ، سازمان نوسازی ، توسعه و تجهیز مدارس .
- [10] : "seismic evaluation of existing Buildings " , ASCEISEI , P 31- 03
- [11] : "Key Considerations for Repointing Mortars for the Conservation of Older Masonry", national research council canada , institute for research in construction