نگاه تحلیلی به جزییات مهار برون‌صفحه دیوارها و تیغه‌ها در پیوست شش استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش چهارم)

محمدرضا تابش پور[۱*]، آزاده نوری فرد[۲]

۱- دانشیار، دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف

۲- استاد مدعو، دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران

پست الکترونیکی نویسندگان:

۱-tabeshpour@sharif.edu

۲-azadeh.noorifard@ut.ac.ir

چکیده

دیوارها و تیغه‌ها در ساختمان‌ها جزء مهمترین قطعات غیرسازه‌ای می‌باشند. تجارب زلزله‌های گذشته نشان می‌دهد ضوابطی که برای مهار شکست برون‌صفحه دیوار بعد از زلزله سرپل ذهاب به استاندارد ۲۸۰۰ اضافه گردیده است، نیاز به بررسی عمیق‌تری دارد. در این پژوهش با تاکید بر درک عمیق مفاهیم خمش برون صفحه به نقد و بررسی شش بند از پیوست ۶ استاندارد ۲۸۰۰ پرداخته و در راستای بررسی عددی رفتار برون صفحه دیوارها از مدلسازی المان محدود در نرم افزار آباکوس استفاده شده است. نتایج مطالعات حاضر نشان می‌دهد لازم است در خصوص محدودیت طبقات ساختمان در رویکرد اتصال دیوار به سازه، محدودیت طول و ارتفاع آزاد دیوار و عرض درز جداسازی در پیوست شش استاندارد ۲۸۰۰ تجدید نظر شود و میلگرد بستر با توجه به جهت خمش برون صفحه دیوارها کارایی چندانی برای سیستم نخواهد داشت همچنین بر اساس تحلیل های انجام شده دیوارهای دارای جزئیات کمینه و وادارهای سراسری رفتار مشابهی را در برابر نیروهای عمود بر صفحه خواهند داشت، بر این اساس جزییات بسیار مفصل استاندارد ۲۸۰۰ قابل تبدیل به یکی، دو تکیه‌گاه محدود در زیر سقف بوده که اصلاح این موارد در جزییات اجرایی مهار برون صفحه دیوارها صرفه جویی قابل توجهی در مصرف فولاد و هزینه های اجرایی به همراه خواهد داشت.

واژگان کلیدی:

وادار، پیوست ۶ استاندارد ۲۸۰۰، اتصال دیوار به سازه، کنش قوسی، خمش برون صفحه

* محمدرضا تابش پور، دانشیار، دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف

ایمیل: tabeshpour@sharif.edu (نویسنده مسوول مقاله)

ACCEPTED MANUSCRIPT

۱- مقدمه

شکست برون صفحه‌ای دیوارهای غیرباربر زمانی به وقوع می‌پیوندد که جهت نیروهای وارده عمود بر دیوار باشد. هرچند شکست برون صفحه برای دیوارهای عمود بر جهت غالب زلزله مشاهده شده است ولی اگر نسبت ارتفاع به ضخامت و طول به ضخامت مقدار کمی باشد چنین شکستی رخ نخواهد داد. همچنین اگر دیوارها به مقدار کافی در اعضای قاب مهار شوند نیز چنین شکستی رخ نخواهد داد[۱]. به طور کلی عوامل موثر بر رفتار برون صفحه دیوار شامل نسبت لاغری (ارتفاع به ضخامت)، نسبت ظاهری (ارتفاع به طول)، شرایط تکیه گاهی (اتصال دیوار به سازه)، مقاومت فشاری آجر و اندود [۲، ۳ و ۴]، بازشوها، بار قائم، خسارات درون صفحه‌ای و سختی قاب می‌شود [۴]. به منظور ارزیابی ظرفیت برون صفحه دیوارها، رویکردهای مختلفی مانند اثر قوسی و تئوری خط تسلیم پیشنهاد شده است [۵]. بررسی مودهای شکست زلزله‌های گذشته نشان می‌دهد، در گذشته که ساختمان‌ها بدون وادار اجرا می شدند و یا تنها در موارد خاص از وادار استفاده می شد، در صد اندکی از دیوارها در برون صفحه دچار شکست شده‌اند که این امر ناشی از اثر کنش قوسی دیوارهاست. می‌توان گفت اگر زلزله سرپل رخ نمی داد، این میزان از مصالح به عنوان وادار در ساختمان‌ها به کار نمی‌رفت. بررسی مودهای شکست برون صفحه دیوار در زلزله سرپل ذهاب که مورد اصلی آن مربوط به ساختمان‌های مسکن مهر می باشد، در بخش کنسول قاب خمشی بتنی بوده است که هیچکدام از دیوارهای پیرامونی داخل قاب اجرا نشده‌اند (شکل ۱). اگر طرح ساختمان به نحوی بود که این دیوارها داخل قاب اجرا می‌شدند و یا سازه‌ها از نوع فولادی بوده و همان نگاه سنتی استفاده از نبشی و سپری و شاخک‌ها و استرات ها در گوشه‌ها انجام شده بود، هیچ یک از دیوارها دچار شکست نمی شدند و در نتیجه جداسازی دیوارها از سازه مرسوم نمی شد و جامعه مهندسی به اشتباه حجم انبوهی از فولاد را برای اجرای وادار به ساختمان‌ها تحمیل نمی‌کردند.



شکل ۱: شکست برون صفحه دیوارها مسکن مهر در زلزله سرپل ذهاب [۶]

Figure 1: Out-of-plane failure of walls in Mehr Housing during the Sarpol-e Zahab earthquake [6].

تجارب زلزله‌های گذشته نشان می‌دهد برخی از ساختمان‌های ساخته شده توسط افراد غیرمتخصص به علت آثار مثبت دیوارها کاملاً پایدار باقی مانده‌اند [۷-۱۱]. آثاری همچون افزایش مقاومت جانبی، افزایش سختی جانبی، افزایش ظرفیت جذب و استهلاک انرژی، کاهش تغییرمکان، ایجاد سیستم دوگانه با کنش محوری قاب، پوشش اشکالات طراحی و اجرای سازه‌ها بدون هزینه اضافی [۱۲] و استفاده از کنش قوسی در مقاومت برون صفحه دیوارها از آن جمله هستند. چسباندن دیوارها به سازه می‌تواند آثار منفی مانند پیچش، طبقه نرم و ستون کوتاه را به همراه داشته باشد، اقدامات متعددی در مراحل مختلف طراحی از طراحی پایه معماری و سازه تا طراحی تفصیلی معماری و سازه می‌توان در نظر گرفت تا از آثار منفی دیوارهای پرکننده جلوگیری شود و در عوض بتوان از آثار مثبت آنها بهره برد [۱۳]، نوری فرد در رساله دکتری اقدامات موثر جهت جلوگیری از آثار نامطلوب دیوارها را به صورت چک لیست‌هایی در مراحل طراحی پایه و تفصیلی معماری و سازه به تفکیک برای ۴ سازه؛ قاب خمشی بتن مسلح،

ACCEPTED MANUSCRIPT

قاب خمشی فولادی، قاب ساده فولادی با مهاربند و دیوار برشی بتن مسلح ارائه کرده است [۲]. لذا منطقی است تنها در ۵ حالت؛ دهانه‌های بلند، ارتفاع‌های بلند، بازشوهای بزرگ، کنسول‌ها، دیوارهای سر آزاد از وادار استفاده شود، به غیر از این موارد استفاده از وادار به معنی محروم کردن سیستم از منافع سختی و مقاومت دیوار است.

در ادامه ادبیات موجود در خصوص رفتار برون صفحه دیوارها مورد بررسی قرار گرفته است. ژای و همکاران با استفاده از روش المان محدود سه بعدی میکرو غیرخطی ساده شده، رفتار دیوارهای پرکننده تحت نیروی برون صفحه را مطالعه کردند. در این مطالعه شرایط اتصال به قاب پیرامونی، نسبت لاغری، مقاومت فشاری مصالح بنایی و نسبت ظاهری بررسی گردیده است و یک فرمول ساده برای مقاومت برون صفحه دیوار ارائه گردیده است [۱۴]. پرادهان و همکاران در یک مقاله، تحقیقات گسترده در خصوص آزمایش‌های برون صفحه دیوار پرکننده را بر اساس پارامترهای موثر شامل؛ نسبت لاغری، نسبت ظاهری، شرایط مرزی، بازشوها، نیروی قائم، خسارت درون صفحه، مقاومت مصالح بنایی، اندود و سختی قاب مرور کرده اند [۴]. در بخشی از تحقیق آزمایشگاهی سینگهال و رای، دیوار پرکننده با و بدون بازشو تحت نیروهای درون صفحه و برون صفحه مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج آزمایش به وضوح ضرورت استفاده از عناصر مهاری در اطراف بازشوها را برای عملکرد لرزه‌ای مطلوب تر نشان می‌دهد [۱۵]. فورتادو و همکاران در تحقیقی آزمایشگاهی دیوارهای پرکننده را تحت نیروهای برون صفحه با و بدون خسارت درون صفحه قبلی مورد مطالعه قرار دادند [۱۶]. آخوندی و هاشمی در تحقیقی، از طریق مدلسازی المان محدود غیرخطی، عواملی همچون ابعاد بازشو، مقاومت فشاری مصالح بنایی، مقاومت کششی مصالح بنایی و ضخامت میانقاب را در مقاومت برون صفحه دیوار بررسی کرده‌اند [۱۷]. رازقی و همکاران در مقاله‌ای رفتار دیوار غیرسازه‌ای با میلگرد بستر و شبکه الیاف تحت اثر توامان جابه‌جایی درون صفحه‌ای و بار برون صفحه‌ای را به صورت آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار داده‌اند و اثر مطلوب‌تر الیاف را گزارش کرده‌اند [۱۸]. کریمی قلعه جوق با استفاده از مدل المان محدود، به بررسی مشارکت وادارهای فلزی در رفتار برون صفحه دیوارهای بنایی غیرسازه‌ای پرداخته است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد وادارهای با سختی بیشتر، می‌تواند مقاومت برون صفحه دیوار را بهبود بخشد و مشارکت وادار در مورد دیوارهای با طول کوتاه‌تر و دارای بازشو برجسته تر است [۱۹]. کریمی قلعه جوق و گل هاشم در مطالعه دیگری با استفاده از تحلیل المان محدود به مطالعه رفتار برون صفحه دیوار بنایی غیر سازه‌ای که با استفاده از درز برای تطبیق با دریفت بین طبقه جداسازی شده است، پرداخته اند. در این مطالعه، شرایط تکیه‌گاهی مختلف، میزان میلگرد بستر و جزییات بازشوها تحت نیروهای برون صفحه مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج مطالعات نشان می‌دهد همواره میلگرد بستر، مقاومت برون صفحه نهایی دیوار را صرفنظر از شرایط تکیه گاهی و جزییات بازشوها افزایش می‌دهد [۲۰]. علی رغم تحقیقات گسترده‌ای که در خصوص مقاومت برون صفحه دیوار انجام شده است، لکن بهینه سازی میزان وادار ارائه شده در پیوست شش استاندارد ۲۸۰۰ در خصوص دیوارهایی که از سازه جدا شده‌اند و یا نقد این پیوست مورد توجه محققان نبوده است. در این مقاله با تاکید بر درک عمیق مفاهیم خمش برون صفحه به نقد و بررسی شش بند اصلی از پیوست ۶ استاندارد ۲۸۰۰ پرداخته می‌شود و در راستای بررسی عددی رفتار برون صفحه دیوارهای دارای وادار سراسری و جزئیات کمینه از مدلسازی نرم افزاری استفاده شده است.

۲- مروری بر بندهایی از پیوست شش استاندارد ۲۸۰۰

در ادامه به بخش‌هایی از شش بند اصلی پیوست ۶ استاندارد ۲۸۰۰ که مورد بحث این مقاله است، اشاره می‌شود [۲۱]. در خصوص ضوابط پیوست ۶ و به ویژه بندهای ذیل سوالات فلسفی عمیقی قابل طرح است [۲۲].

- در بند پ ۶-۱-۴-۱ اشاره شده است الزامات جداسازی دیوار برای کلیه ساختمان‌های بلندتر از چهار طبقه می‌بایست رعایت شود.
- در بند پ ۶-۱-۴-۱-۱-۱ برای طول آزاد دیوار خارجی در پلان، محدودیت ۴ متر و برای ارتفاع آزاد آن محدودیت ۳,۵ متر در نظر گرفته شده است.

ACCEPTED MANUSCRIPT

- در بند پ ۶-۱-۴-۱-۱-۳ برای فاصله جداسازی دیوار از ستون‌ها، اندازه ۰٫۰۱ ارتفاع کف تا کف در نظر گرفته شده است.
- در بند پ ۶-۱-۴-۱-۱-۵ استفاده از المان مسلح کننده میلگرد بستر برای دیوارهای دارای ملات ماسه سیمان جهت یکپارچه سازی و حفظ پیوستگی دیوار الزامی شده است.
- در بند پ ۶-۱-۴-۲-۱ اشاره شده است در صورتی که طول دیوار از ۴ متر بیشتر باشد، از عضو قائم یا وادار به عنوان تکیه‌گاه جهت مهار خارج از صفحه دیوار استفاده می‌شود.
- در بند پ ۶-۱-۴-۲-۴ عنوان شده است در دیوارهای با ارتفاع بیش از ۳٫۵ متر باید با استفاده از عضو افقی یا تیرک، ارتفاع آزاد را کاهش داد.

۳- محدودیت طبقات ساختمان برای اتصال دیوار به سازه

در پیوست شش استاندارد ۲۸۰۰، رعایت الزامات جداسازی برای ساختمان‌های بلندتر از ۴ طبقه ضروری است. سوالی که در اینجا مطرح است این است که بین ساختمان ۴ طبقه و ۵ طبقه چه تفاوتی وجود دارد که در ساختمان ۴ طبقه می‌توان دیوار را از سازه جداکرد ولی در ساختمان ۵ طبقه باید جدا کرد؟ اگر بحث دوره تناوب است، می‌توان یک سازه چهار طبقه سخت با دیوار برشی داشت که دوره تناوب آن ۰٫۳ ثانیه باشد، یا یک سازه قاب خمشی چهار طبقه داشت که دوره تناوب آن ۰٫۶ ثانیه است. یعنی اگر بحث اثر دینامیکی است و یک دوره تناوب خاصی مدنظر است که باید مقدار T تعیین شود، اگر بحث ارتفاع است، باید یک عدد برای H ارائه شود. ولی اینکه بدون توجه به ارتفاع کل، بدون توجه به دوره تناوب و بدون توجه به اثرات ساختگاهی و محتوای فرکانسی، الزامات مربوط به جداسازی برای ساختمان‌های بلندتر از ۴ طبقه مطرح گردد، جای سوال دارد [۲۳].

۴- محدودیت طول و ارتفاع آزاد دیوار

برای ارتفاع و طول دیوار در پیوست شش محدودیت‌هایی تعیین شده است، نکته مهم اینست که پارامتر ارتفاع و یا طول به تنهایی برای ارزیابی مقاومت برون صفحه دیوار کافی نیست، بلکه آنچه مهم است نسبت ابعاد هندسی $\frac{L}{t}$ و $\frac{h}{t}$است. به بیان دیگر محدودیت‌های مطرح شده در استاندارد می‌تواند برای یک ضخامت دیوار کافی، برای ضخامت دیگر کم و یا حتی زیاد باشد. در استانداردهای مختلف نسبت طول به ضخامت و ارتفاع به ضخامت دیوار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که در ادامه به بررسی چند نمونه از آن‌ها پرداخته شده است. در متن استاندارد۲۸۰۰، طول دیوار غیرسازه‌ای بین دو پشت بند به میزان ۴۰ برابر ضخامت دیوار، یا $6\ m$، حداقل نسبت ضخامت به ارتفاع به $\frac{1}{30}$ و حداکثر ارتفاع دیوار به میزان m ۳/۵ محدود شده‌است. در صورت تجاوز از این حدود تعبیه کلاف‌های افقی و قائم ضروری است [۲۴]. بر اساس یوروکد ۸، جهت کنترل شکست خارج از صفحه، لازم است در خصوص دیوارهایی که نسبت لاغری آن‌ها به معنی نسبت بعد کوچکتر طول یا ارتفاع به ضخامت بیش از ۱۵ است، تمهیدات ویژه‌ای درنظر گرفته شود [۲۵]. در یوروکد ۶ برای قابلیت سرویس دهی حالت حدی دیوار بر اساس شرایط پیرامونی آن نمودارهایی جهت تعیین نسبت ارتفاع به ضخامت و طول به ضخامت ارائه شده است[۲۶]. در جلد دیگری از یوروکد ۶ روش محاسبه ساده ای برای طراحی دیوار تحت بار یکنواخت جانبی و بدون بار قائم بر اساس نمودارهایی ارائه شده است که در آن از نسبت طول به ضخامت، ارتفاع به ضخامت، مقاومت خمشی در

ACCEPTED MANUSCRIPT

صفحه عمود به بندها یا موازی بندها و بار جانبی وارد به دیوار و شرایط پیرامونی استفاده شده‌است [۲۷]. در نشریه ۳۶۰ و FEMA 356 جهت جلوگیری از شکست برون صفحه‌ای، برای حداکثر نسبت ظاهری $\frac{h}{t}$ برای مناطق با خطر لرزه خیزی مختلف و برای سطوح عملکرد متفاوت، نسبت‌هایی بین ۸ تا ۱۶ ارائه شده‌است [۲۸و ۲۹].

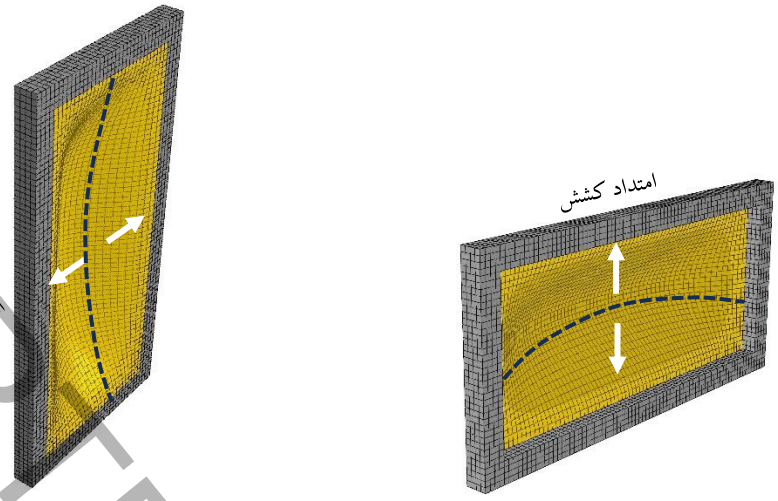
۵- عرض درز جداسازی دیوار از سازه

در رویکرد جداسازی دیوار از سازه، سوال بسیار مهم و کلیدی که مطرح است اینست که فاصله افقی و قائم مناسب بین دیوار بنایی و قاب چقدر باشد؟ بر اساس ضوابط پیوست شش فاصله جداسازی دیوار از ستون به میزان ۰،۰۱ ارتفاع کف تا کف می‌باشد. این فاصله بخش مهمی از طراحی وادار است. در زلزله های خفیف و متوسط جابه جایی نسبی طبقه به حدود ۱٪ می رسد ولی در زلزله طرح این جابه جایی به ۲٪ تا ۴٪ می‌تواند برسد. در زلزله های شدیدتر این جابه جایی می‌تواند به ۱۰٪ هم برسد در حالی که هنوز سازه فرونریخته است. وقتی میزان جابه جایی از فاصله بین دیوار و ستون بیشتر شود، برخورد دیوار با قاب بسیار محتمل است، بعد از این برخورد، فلسفه جداسازی دیوار از سازه به هم می‌خورد و در این حالت سختی دیوار مانند دستک معادل مشارکت می‌کند و از این به بعد انواع تبعات منفی مانند طبقه نرم، پیچش، ستون کوتاه و شکست موضعی در سازه می‌تواند رخ دهد. ضربه شدیدی که بین دیوار و سازه ایجاد شود، می‌تواند منجر به شکست قابل ملاحظه‌ای در بخش فوقانی ستون بتنی شود و همچنین گوشه‌های دیوار بنایی نیز دچار خردشدگی شدید شود. در حالتی که دیوار از سازه جدا می‌شود، این فاصله حداقل باید ۲٪ باشد چون تغییر مکان نسبی متناظر با رفتار مورد انتظار برای سازه در استاندارد ۲۸۰۰ که حفظ ایستایی در زلزله‌های شدید است به نحوی که ایمنی جانی تامین شده و تلفات کمینه شود تحمل حداقل ۲٪ تغییرمکان نسبی است. در نتیجه از لحاظ حقوقی نمی‌توان این فاصله را کمتر در نظر گرفت [۲۳]. از طرفی لازم است توجه شود اگر معادل ۲٪ تغییرمکان نسبی برای زلزله طرح بین دیوار و قاب فاصله ایجاد شود، یعنی در قاب به ارتفاع ۳ متر، ۶ سانتیمتر درز لازم است که مقدار زیادی است و برای نازک کاری چالش ایجاد می‌کند.

۶- امتداد خمش برون صفحه

در دیوارهای طویل که طول دیوار از ارتفاع بلندتر است و در هر چهار ضلع تکیه گاه دارد، خمش در امتداد افق بوده و منجر به تنش کششی در امتداد قائم می‌شود. در دیوارهای بلند که ارتفاع دیوار بلندتر از طول می‌باشد و در هر چهار ضلع تکیه گاه دارد، خمش در امتداد قائم بوده و منجر به تنش کششی در امتداد افقی می‌شود (شکل ۲). امتداد خمش برون صفحه علاوه بر نسبت‌های ابعادی دیوارها به شرایط تکیه گاهی نیز مربوط است، چنانچه اضلاع مجاور ستون‌ها مهار شود، تحت نیروی عمود بر صفحه، خمش در امتداد قائم رخ خواهد داد (شکل ۳-الف) و چنانچه امتداد زیر تیر مهار شود، خمش در امتداد افقی رخ خواهد داد (شکل ۳-ب). با توجه به اینکه در دیوارهای طویل با استفاده از وادار، نسبت های ابعادی دیوار تغییر می‌کند در اغلب موارد خمش در امتداد افقی و در نتیجه کشش در امتداد قائم خواهد بود، لذا اساساً میلگردهای بستر که در پیوست شش الزامی شده است، در امتداد کشش نخواهند بود و کارایی چندانی برای سیستم نخواهند داشت.

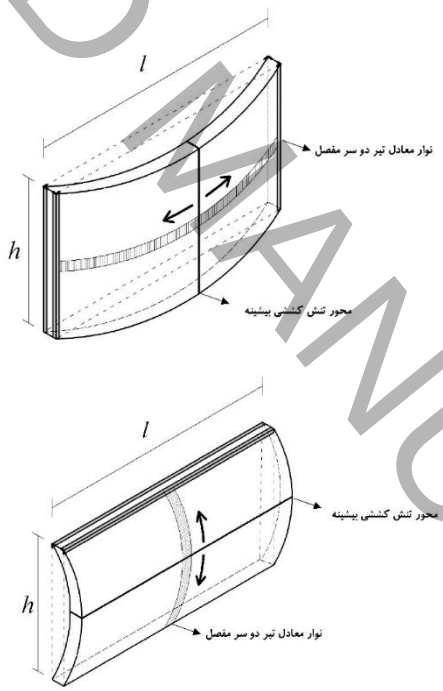
ACCEPTED MANUSCRIPT



(ب) (الف)

شکل ۲: امتداد خمش برون صفحه دیوار، (الف) خمش در امتداد افقی، کشش در امتداد قائم، (ب) خمش در امتداد قائم، کشش در امتداد افقی

Figure 2: Direction of out-of-plane bending of the wall: (a) bending in the horizontal direction, tension in the vertical direction; (b) bending in the vertical direction, tension in the horizontal direction.



(الف)

(ب)

شکل ۳: امتداد خمش برون صفحه دیوار، (الف) خمش در امتداد قائم، کشش در امتداد افق، (ب) خمش در امتداد افق، کشش در امتداد قائم

Figure 3: Direction of out-of-plane bending of the wall: (a) bending in the vertical direction, tension in the horizontal direction; (b) bending in the horizontal direction, tension in the vertical direction.

ACCEPTED MANUSCRIPT

در قسمتی از پیوست شش گفته شده است؛ اگر طول دیوار بیش از ۴ متر بود باید از عضو قائم به عنوان تکیه گاه جهت مهار خارج از صفحه استفاده شود. اشکالی که در این قسمت وارد است این است که اگر خمش حول محور افقی یا طولی دیوار باشد که طول المان در خمش معادل ارتفاع دیوار باشد، آنگاه اهمیتی ندارد که طول دیوار چقدر باشد، چون طولی از دیوار که در خمش است همان ارتفاع دیوار است که مثلاً ۳ متر است، پس مهم نیست که طول دیوار ۳ متر باشد، ۵ متر باشد یا ۷ متر. در این حالت، زلزله در محدودیت طول دیوار حاکم نمی‌شود، بلکه ملاحظات انبساط و انقباض حاکم می‌شود. همین اشکال در خصوص بخش دیگری از پیوست شش که قید شده است؛ در دیوارهای با ارتفاع بیش از ۳,۵ متر باید با استفاده از عضو افقی یا تیرک ارتفاع آزاد را کاهش داد، وجود دارد. در خصوص دیوارهای با ارتفاع بلند به عنوان مثال دیواری با دهانه ۳ متر و ارتفاع ۵ متر، با مهار دیوار به ستون‌ها می‌توان محور خمش را از امتداد افق به امتداد قائم منتقل کرد و به این صورت تا جایی که کمانش دیوار تحت وزن آن موضوعیت ندارد، نیازی به استفاده از تیرک در میانه ارتفاع دیوار نخواهد بود.

۷- کنش قوسی

هنگامی که یک دیوار بین دو تکیه‌گاه قرار داشته باشد، افزایش طول در وجه کششی به علت خمش خارج از صفحه نمی‌تواند بدون ایجاد نیروی فشاری رخ دهد. به این ترتیب تحت بار جانبی، این نیروی فشاری منجر به کنش قوسی می‌شود و بر اساس تحلیل‌ها می‌توان گفت که تا حدود ۲,۵ برابر ممکن است ظرفیت بار ترک خوردگی را افزایش دهد. کنش قوسی زمانی در یک دیوار ایجاد می‌شود که عناصر اطراف آن قادر به تحمل فشار باشند. در مدل قوسی یک طرفه، فروریختن به مکانیزم سه مفصلی که درامتداد کوتاه تر فعال می‌شود مرتبط است [۳۰] می‌توان گفت رفتار دیوار قبل از ترک تحت کنش خمشی و بعد از ترک تحت کنش قوسی است [۳۱].

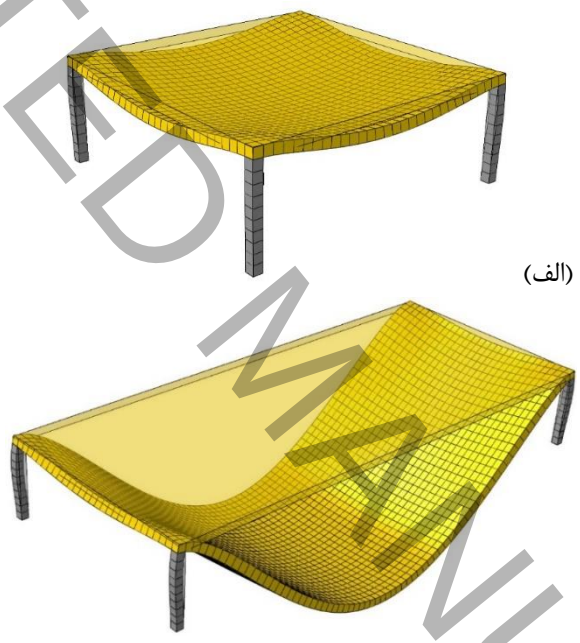
جهت بهره‌مندی از کنش قوسی دیوار در برابر نیروهای برون صفحه لازم است قسمت فوقانی دیوار توسط اتصالات مناسب از طریق چیدن رج آخر به صورت مورب و استفاده از چکش لاستیکی برای ضربه زدن و ایجاد پس فشردگی به قاب متصل شده باشد [۳۲]. نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد که محصور بودن دیوار در لبه‌های فوقانی و تحتانی در مقاومت خارج از صفحه بسیار مهم است و در صورتی که هر چهار ضلع به خوبی به قاب پیرامونی متصل باشد، مزایایی را در مقاومت دیوار به همراه دارد [۱۴]. کنش قوسی به عوامل متعددی از جمله نسبت لاغری [۴، ۱۴ و ۳۰]، مقاومت فشاری دیوار [۴ و ۳۰] و سختی قاب پیرامونی بستگی دارد [۴، ۲۸ و ۳۰]. با افزایش نسبت ظاهری (طول به ارتفاع) ظرفیت برون صفحه کاهش می‌یابد [۳۳]، این مورد از طریق آزمایش های انجام شده توسط پژوهشگران متعددی تایید شده است [۳۳، ۳۴، ۳۵، ۳۶ و ۳۷]. بنابراین می‌توان انتظار داشت زمانی که نسبت ظاهری نزدیک به یک است، ظرفیت برون صفحه در حداکثر میزان باشد [۴]. لازم است اشاره شود این پژوهشگران، مقاومت برون صفحه دیوار با دهانه طویل را در مقایسه با دیوار با دهانه کوتاه در شرایط خمش دوطرفه در نظر می‌گیرند در حالی که به طور اعم کنش قوسی در حالت خمش یک طرفه می‌باشد که با توجه به رفتار مورد نظر می‌توان یک نوار قائم به طول واحد را به عنوان نماینده دیوار در نظر گرفت و در این شرایط نسبت ظاهری و افزایش طول دیوار تاثیری در مقاومت برون صفحه ندارد.

برای جلوگیری از ریزش دیوارها در اغلب مواقع، کنش قوسی کفایت می‌کند و اصلاً نیازی به وادار نمی‌باشد، در زلزله‌های فراوانی این نکته اثبات شده است [۳۲]. در حالی که ضوابط پیوست ۶ استاندارد ۲۸۰۰، به نحوی تنظیم گردیده است که اغلب مهندسین را به سمت جداسازی دیوار از سازه هدایت می‌کند، در حالی که در صورت اتصال آگاهانه دیوار به سازه علاوه بر بهره مندی سیستم از آثار مثبت دیوار، خود دیوارها بدون نیاز به تمهید خاصی در برابر نیروهای برون صفحه مقاومت خواهند کرد که این امر ناشی از کنش قوسی دیوارهاست.

ACCEPTED MANUSCRIPT

۸- فلسفه استفاده از وادار با استفاده از مفهوم خمش برون صفحه

در این قسمت فلسفه استفاده از وادار با استفاده از مفهوم خمش برون صفحه مرور می‌شود. در شکل ۴ تغییرشکل برون صفحه یک صفحه ۳ متر در ۳ متر و یک صفحه ۳ متر در ۷ متر که بر روی ۴ پایه قرار داده شده‌اند تحت بار گسترده عمود بر صفحه نشان داده شده است. در شکل ۴-الف میزان تغییرشکل در هر دو امتداد یکسان است ولی در شکل ۴-ب تغییرشکل بزرگتر در جهتی رخ می دهد که سیستم نرم‌تر است.



(الف)

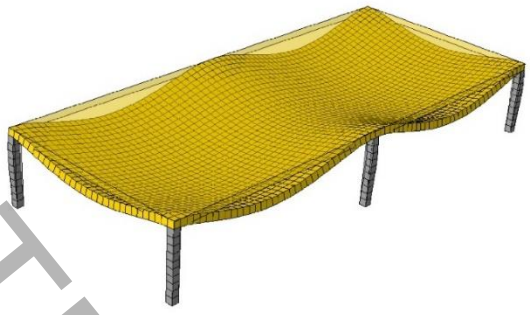
(ب)

شکل ۴: تغییرشکل خمشی به‌علت بار گسترده عمود بر صفحه، (الف) صفحه ۳×۳، (ب) صفحه ۳×۷

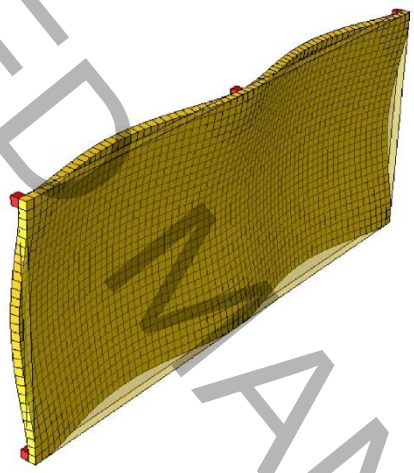
Figure 4: Flexural deformation due to uniformly distributed out-of-plane load: (a) 3×3 m plate; (b) 3×7 m plate.

در صورتی که طول یا ارتفاع دیوار زیاد باشد تحت بار زلزله عمود بر صفحه، خمش قابل ملاحظه‌ای در بخش میانی آن رخ می‌دهد. درک رفتارشناسی در خمش بر مبنای مقاومت مصالح عملاً مهمترین نکته در ارائه جزییات مناسب برای جلوگیری از شکست برون صفحه دیوار می‌باشد. با نصف شدن طول دهانه مقادیر ممان خمشی با توان دوم و تغییرشکل‌ها با توان چهارم کاهش می‌یابد. در نتیجه فلسفه وادار عبارت است از کاهش دهانه خمشی [۶]. حال اگر در میانه دهانه ۷ متری، مطابق با شکل ۵- الف دو پایه اضافه شود، میزان تغییرشکل‌ها در هر دو امتداد مشابه گردیده و شرایط شبیه شکل ۴-الف می شود. در صورتی که همین صفحه مطابق با شکل ۵-ب، ۹۰ درجه دوران داده شود، شرایط دقیقاً مشابه استفاده از وادار در دیوار طویل خواهد شد.

ACCEPTED MANUSCRIPT



(الف)



(ب)

شکل ۵: تغییرشکل خمشی صفحه ۳×۷ تحت بار گسترده عمود بر صفحه با تکیه گاه میانی، (الف) صفحه افقی، (ب) صفحه قائم

Figure 5: Flexural deformation of a 3×7 m plate under uniformly distributed out-of-plane load with an intermediate support: (a) horizontal plate; (b) vertical plate.

۹- جزئیات کمینه

برای کاهش و رساندن تنش و تغییرشکل بزرگ به‌علت دهانه بزرگ به مقادیر مجاز نیازی به وادار سراسری نیست، می‌توان با محاسبات بسیار ساده نقاط مناسب برای اجرای تکیه‌گاه با طول محدود را تعیین کرد، این وادار در واقع جزئیات کمینه است. در شکل ۶ جزئیات کمینه با استفاده از ورق گالوانیزه ارائه شده است [۶].

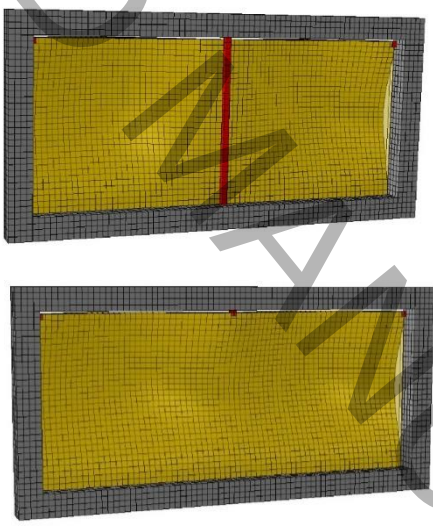
ACCEPTED MANUSCRIPT



شکل ۶: استفاده از جزئیات کمینه با استفاده از ورق گالوانیزه جهت جلوگیری از شکست برون صفحه دیوار [۶]

Figure 6: Application of minimal detailing using galvanized steel sheets to prevent out-of-plane failure of wall [6].

با درک عمیق مفهوم خمش برون صفحه به‌سادگی می‌توان برای مهار یک دیوار جدا از قاب که طولی حدود ۶ یا ۷ متر دارد به جای یک پروفیل سرتاسری قائم، از یک المان کشویی نگهدارنده با طول محدود در قسمت میانی تیر در بالای دیوار به عنوان جزئیات کمینه استفاده نمود (شکل ۷).



(الف)

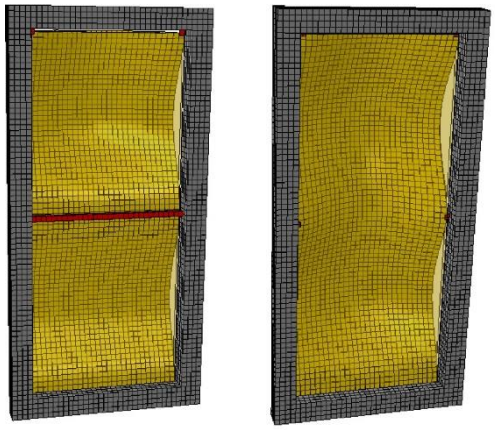
(ب)

شکل ۷: استفاده از وادار در دیوار طویل، (الف) وادار قائم سراسری، (ب) جزئیات کمینه

Figure 7: Application of wall post in a long wall: (a) continuous vertical wall post; (b) minimal detailing.

اگر امتداد قائم دیوار بزرگتر از امتداد افقی آن باشد نیز می‌توان به جای استفاده از تیرک سرتاسری از جزئیات کمینه در میانه ارتفاع ستون‌های طرفین استفاده نمود (شکل ۸)

ACCEPTED MANUSCRIPT



(ب) (الف)

شکل ۸: استفاده از تیرک در دیوار بلند، (الف) تیرک سراسری، (ب) جزئیات کمینه

Figure 8: Application of wall post in a tall wall: (a) continuous post; (b) minimal detailing.

۱۰- مدلسازی

در این بخش به مطالعه عددی رفتار برون صفحه دیوار با جزئیات کمینه و وادار سراسری تحت نیروی عمود بر صفحه پرداخته شده است. با توجه به اینکه بالا و پایین دیوار به صورت مفصلی است. بعد از اینکه سازه تحت نیروی زلزله، دچار تغییرشکل جانبی شد، دیوار دو حرکت جسم صلب و دوران جسم صلب را تجربه می کند، در این موقعیت دوران یافته، دیوار مانند یک تیر دو سر مفصل تغییرشکل خمشی می دهد. در این مقاله آگاهانه از این دوران که منجر به یکسری تنش در دیوار می شود صرفنظر شده است. این تنش ها با افزایش ضریب اطمینان قابل پوشش می باشد. البته با توجه به ترد بودن مصالح دیوار اگر این جابه جایی نسبی، نسبت به زلزله طرح که ۲٪ است افزایش زیادی پیدا کند، یعنی بالای ۴٪ بشود آنگاه این تغییر شکل نسبی به همراه نیروهای اینرسی برون صفحه دیوار توامان پتانسیل شکست برون صفحه را افزایش می دهد ولی نکته اینست که چنین اتفاقی در دریفت های بزرگی رخ می‌دهد که خود اعضای اصلی سازه نیز مجاز به پذیرش انواع آسیب‌های عمده سازه‌ای هستند، چه رسد به دیوار غیرسازه‌ای.
در این قسمت مدلسازی عددی در دو گروه اصلی انجام شده است؛ در گروه یک، دیواری به طول ۷ متر و ارتفاع ۳ متر در چهار حالت زیر در نرم افزار آباکوس مدلسازی شده و تنش‌ها و تغییرشکل ایجاد شده در دیوار تحت نیروی گسترده ۵۰ کیلوگرم بر مترمربع بررسی گردیده است[۳۸].

۱. استفاده از دو ناودانی در طرفین بخش فوقانی دیوار
۲. استفاده از دو ناودانی در طرفین بخش فوقانی دیوار و یک قوطی سرتاسری قائم در بخش میانی دیوار
۳. استفاده از سه ناودانی در طرفین و میانه فوقانی دیوار
۴. اتصال کامل دیوار به قاب پیرامونی (استفاده از کنش قوسی)

هرچند برای در نظر گرفتن دقیق رفتار دیوارهای بنایی باید هر دو بخش ملات و بلوک های آجری به روش مناسبی در نرم افزارهای المان محدودی شبیه سازی شود ولی بسیار متعارف است در کارهایی که هدف اصلی بررسی برهمکنش این دو نمی باشد از روش ساده‌تری استفاده شود. به این ترتیب که به جای در نظر گرفتن دو ماده و نحوه اتصال آن ها به یکدیگر، از یک ماده همگن معادل استفاده شود. ضمن اینکه اگر مطابق با استاندارد، ملات به اندازه کافی از قطعات بلوک های آجری مقاومت بیشتری داشته باشد این فرض همگنی با در نظر گرفتن خواص مکانیکی آجر، علاوه بر مناسب بودن در جهت اطمینان نیز می باشد. لذا در این مقاله جهت مدلسازی دیوارها از روشی استفاده شده است که در آن تفاوتی بین واحدهای آجر و ملات نبوده و یک روش همگن سازی برای به دست آوردن ویژگی‌های مکانیکی مواد جدید به کار می‌رود. بدین منظور دیوارها به صورت یکپارچه و با استفاده از المان Shell در نرم افزار آبکوس مدلسازی گردیده است. جهت اتصال المان Shell دیوارها به وادار در هر دو حالت وادار

ACCEPTED MANUSCRIPT

سرتاسری و وادار کمینه از قید Tie استفاده شده است. ویژگی های مصالح به کار رفته در مدل‌ها به صورت زیر تعریف شده است و نتایج خروجی تحلیل ها در جدول ۱ ارائه گردیده است.

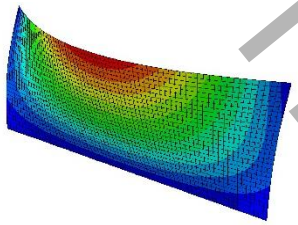
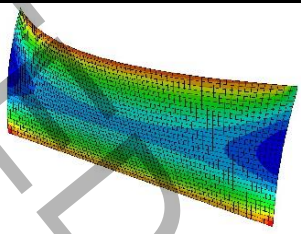
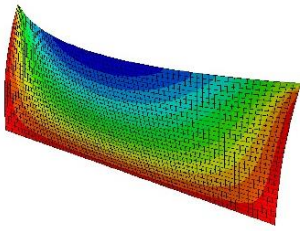
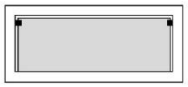
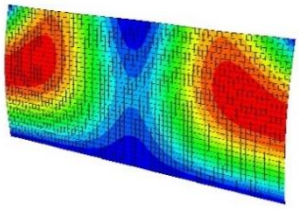
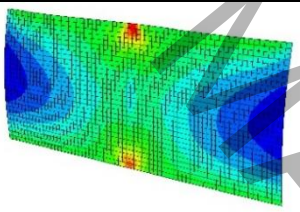
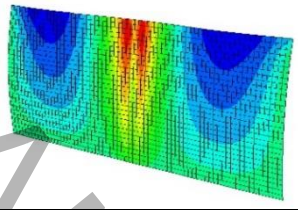
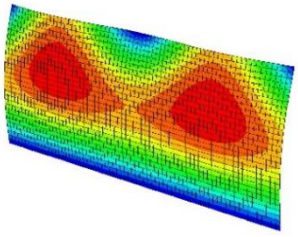
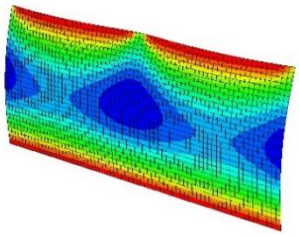
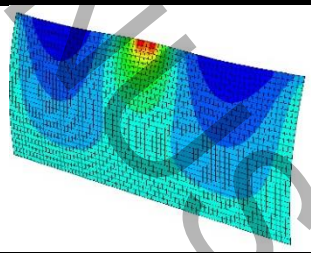
مشخصات دیوار آجری: $E = 2\times10^{9}\,Pa\ ,\ t = 10cm$

مشخصات ناودانی‌ها: $E = 2\times10^{11}\,Pa\ ,\ UNP100\times100$

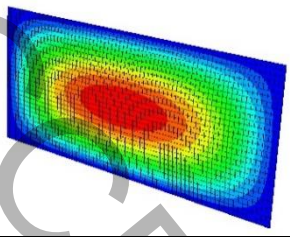
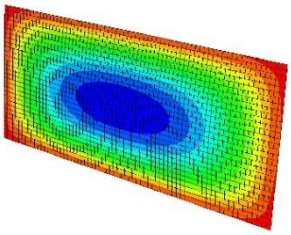
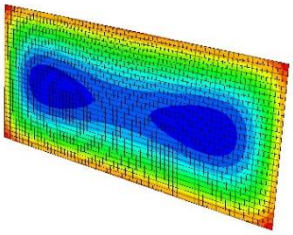
مشخصات قوطی: $E = 2\times10^{11}\,Pa\ ,\ Box100\times100$

جدول ۱: نتایج تحلیل مدل‌های گروه یک [۳۸]

Table 1: Analysis results for the Group 1 models [38].

$U3(cm)$	$S22(kg/cm^2)$	$S11(kg/cm^2)$	
			
3.77	4.22	6.71	**مدل ۱**
			
0.3	2.95	2.55	**مدل ۲**
			
0.45	3.77	3.12	**مدل ۳**

ACCEPTED MANUSCRIPT

			
0.26	2.95	1.01	**مدل ۴**

در گروه دو، دیواری به طول ۸ متر و ارتفاع۴,۷ متر از بلوک لیکای ۱۵ در دو حالت زیر در نرم افزار آباکوس مدلسازی شده است [۲۳]:

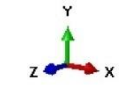
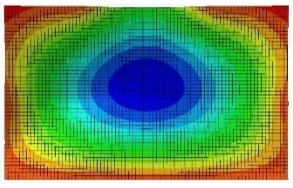
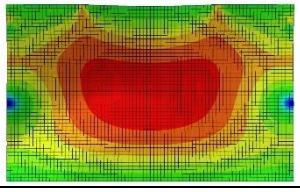
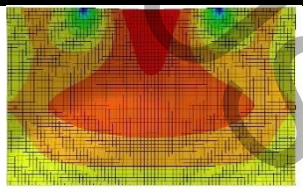
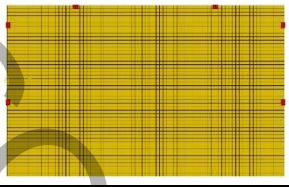
۱. استفاده از دو ناودانی در ارتفاع طرفین دیوار و دو ناودانی در طول فوقانی دیوار
۲. استفاده از وادار سرتاسری در میانه دهانه و تیرک سرتاسری در ارتفاع

جهت بارگذاری دیوار به صورت واقعی، دیوار در یک مسجد در شهر تهران در نظر گرفته شده است. با فرض یک طرف نمای اندود گچ و یک طرف نمای سنگ پلاک، بار مرده دیوار به میزان ۲۷۵ کیلوگرم بر مترمربع می باشد. بار زلزله وارد به دیوار بر اساس ویرایش چهار استاندارد ۲۸۰۰ به میزان ۹۵ کیلوگرم بر مترمربع، بار باد وارد به دیوار بر اساس مبحث ششم سال ۱۳۹۲ به میزان ۷۵ کیلوگرم بر مترمربع و بر اساس مبحث ششم سال ۱۳۹۸ به میزان ۷۰ کیلوگرم بر مترمربع محاسبه گردیده است. بر این اساس، برای دیوار لیکای ۱۵ سانتیمتری با احتساب نازک کاری داخلی و خارجی، بار زلزله غالب می باشد که به صورت بار گسترده یکنواخت و در جهت عمود بر صفحه دیوار اعمال گردیده است. مشابه گروه قبلی، دیوارها به صورت یکپارچه و با استفاده از المان Shell در نرم افزار آبکوس مدلسازی گردیده است و جهت اتصال المان Shell دیوارها به وادار در هر دو حالت وادار سرتاسری و وادار کمینه از قید Tie استفاده شده است. . ویژگی های دیوار از بلوک لیکا که در مدل‌ها به کار رفته است به صورت زیر تعریف شده است و نتایج خروجی تحلیل ها در جدول ۲ و ۳ و شکل ۹ ارائه گردیده است.

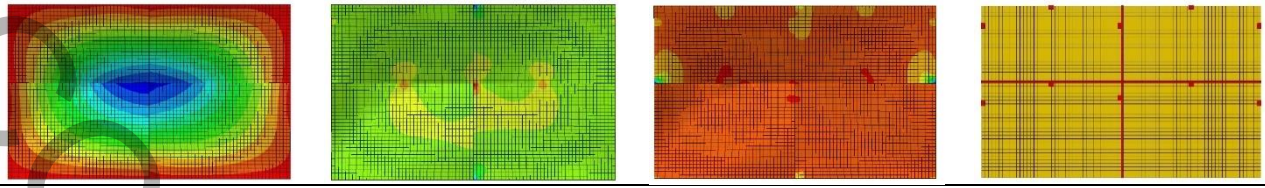
مشخصات دیوار: $E = 4\times10^{9}\,Pa$, $t = 21cm$

جدول ۲: نتایج تحلیل مدل‌های گروه دو

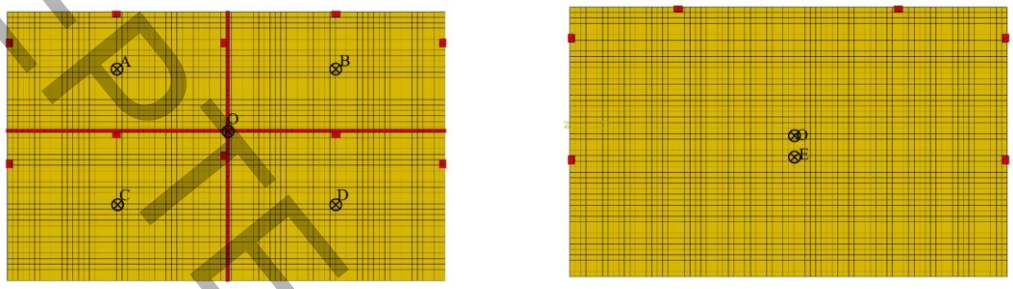
Table 2: Analysis results for the Group 2 models.

$U3$	$S22$	$S11$	
			
			مدل ۱

ACCEPTED MANUSCRIPT



مدل ۲



مدل ۲ مدل ۱

شکل ۹: موقعیت مقادیر تنش‌ها و تغییرشکل‌ها برای مدل های گروه دو

Figure 9: Location of stress and deformation measurement points for the Group 2 models.

جدول ۳: مقادیر تنش و تغییرشکل دیوار برای مدل های گروه دو

Table 3: Stress and deformation values of the wall for the Group 2 models.

$U3(mm)$	$S22(kg/cm^2)$	$S11(kg/cm^2)$	موقعیت	مدل
1.8	2.6	1.6	E	مدل ۱
1.8	2.5	1.7	O	مدل ۱
0.7	0.9	0.9	A	مدل ۲
0.7	0.9	0.8	B	مدل ۲
1	1.3	0.9	C	مدل ۲
1	1.3	0.9	D	مدل ۲
1.9	-	-	O	مدل ۲

۱۱- صحت سنجی

جهت صحت سنجی مدلسازی نرم افزاری صورت گرفته در بخش قبلی در این بخش، از محاسبات دستی مقاومت مصالح استفاده شده و تنش و تغییرشکل مدل دارای جزییات کمینه از گروه دو محاسبه شده است. به این منظور یک نوار یک متری از امتداد قائم دیوار که ضلع کوتاه تر است انتخاب شده و به صورت تیر دو سر مفصل در نظر گرفته شده است (شکل ۱۰) در محاسبات تنش کششی اثر وزن نیمه دیوار که منجر به تنش فشاری

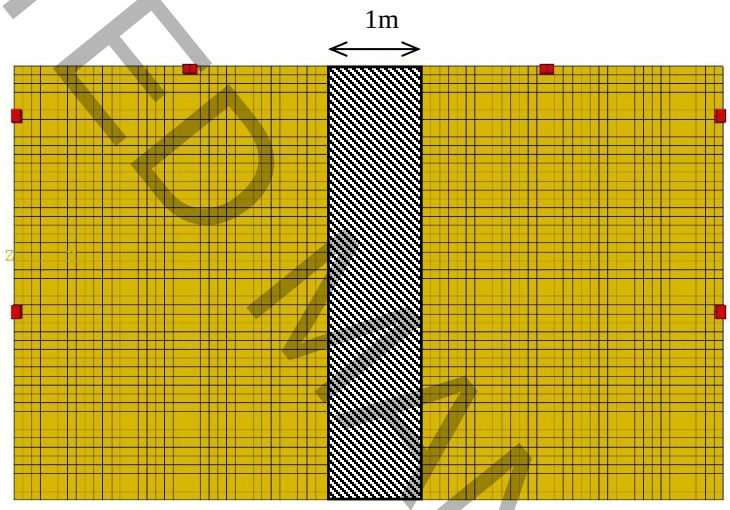
ACCEPTED MANUSCRIPT

می شود نیز لحاظ گردیده است. مقاومت کششی دیوار و تنش کششی مجاز در ادامه ارائه شده است که مقدار آن در برابر نیروهای جانبی زلزله ۳۳% قابل افزایش می باشد.

مقاومت کششی $\sigma_t = 5 \, kg/cm^2$

تنش کششی مجاز $f_{ta} = \frac{5}{1.5} = 3.3 \, kg/cm^2$

تنش کششی مجاز در بار زلزله $f_{ta} = 3.3 \times 1.33 = 4.39 \, kg/cm^2$



شکل ۱۰: محاسبه تنش و تغییرشکل در یک باند یک متری در میانه طول دیوار

Figure 10: Calculation of stress and deformation in a one-meter strip at the mid-length of the wall.

$$\sigma = \frac{mc}{I} - \frac{N}{A} = \frac{\frac{95 \times 1 \times 4.7^2}{8} \times \frac{0.21}{2}}{\frac{1 \times 0.21^3}{12}} - \frac{275 \times 2.35}{0.21} = \frac{262.32 \times 0.1050}{0.00077} - 3077 = 32694 \, kg/m^2 = 3.2 \, kg/cm^2$$

$$\delta = \frac{5\omega l^4}{384EI} = \frac{5 \times 95 \times 1 \times 4.7^4}{384 \times 4 \times 10^8 \times \frac{1 \times 0.21^3}{12}} = \frac{231785}{118272000} = 0.00195m = 1.95mm$$

$$\delta_a = \frac{1}{200} \times l = \frac{1}{200} \times 4700 = 235mm$$

ACCEPTED MANUSCRIPT

محاسبات دستی صورت گرفته نیز طرح قابل قبول جزییات کمینه را تایید می‌کند. لازم به ذکر است این محاسبات به صورت محافظه کارانه بوده و در عمل به دلیل عملکرد دو طرفه دیوار، تنش کششی از این مقدار کمتر خواهد بود.

۱۲- بحث

در مدل‌های گروه یک، بررسی میزان تغییر شکل مدل ۲ که دارای وادار سرتاسری است با مدل ۱ نشان می‌دهد، استفاده از وادار میانی تغییرشکل‌ها را تا ۱/۱۰ مدل فاقد وادار میانی کاهش داده و آن را در محدوده مجاز ۱/۲۰۰ قرار می‌دهد. مقایسه تغییر شکل مدل ۳ با مدل ۲ نیز گویای این امر است که استفاده از وادار سرتاسری به جای جزئیات کمینه تاثیر قابل ملاحظه‌ای از لحاظ محدوده مجاز تغییر شکل نخواهد داشت. با توجه به نسبت‌های ابعادی دیوارهای مورد مطالعه، تنش‌های افقی اهمیت دارد، استفاده از وادار میانی در مدل‌های ۲ و ۳ تنش را در مقایسه با مدل ۱ که فاقد وادار میانی است به نصف کاهش داده است و در این خصوص تفاوت معناداری بین مدل ۲ و ۳ وجود ندارد. مدل ۴ که در واقع نشان دهنده رفتار دیوار با کنش قوسی است تنش‌هایی در حدود ۱/۷ مدل ۱ را تجربه می‌کند. طبق انتظار مقدار تنش در امتداد قائم در هر ۴ مدل، تفاوت قابل توجهی ندارد. مقایسه تنش‌های افقی و قائم در مدلهای ۲، ۳ و ۴ که جزییات مناسبی در برابر نیروهای عمود بر صفحه دارند، نشان می‌دهد مقدار تنش در امتداد قائم بیش از مقدار افقی است و به بیان دیگر خمش در امتداد افقی رخ داده است و در نتیجه استفاده از میلگرد بستر فاقد کارایی است.

در مدل‌های گروه دو، مشاهده می‌شود وجود المان‌های سراسری قائم و افقی، هرچند تنش‌های کششی ناشی از خمش و تغییرشکل‌های برون صفحه را تا دو برابر کاهش می‌دهد ولی نکته بسیار مهم اینست که مقادیر ایجاد شده در حالت جزییات کمینه یعنی بدون المان‌های سراسری افقی و قائم باز هم در محدوده مجاز است. لازم است توجه شود که حجم کار و فولاد مربوط به جزییات کمینه کمتر از ۲۰٪ حالت المان‌های سراسری افقی و قائم است، یعنی هزینه اجرای آن ۵ برابر کاهش یافته در حالی که تغییرشکل‌ها و تنش‌ها فقط دو برابر شده است. در نتیجه فقط برای حالتی که دیوارهای با طول و ارتفاع زیاد، دارای ضخامت بسیار کمی باشند به این المان های افقی و قائم سراسری نیاز می باشد.

۱۳- خلاصه و نتیجه گیری

در این پژوهش با تاکید بر درک عمیق مفاهیم خمش برون صفحه به نقد و بررسی شش بند اصلی از پیوست ۶ استاندارد ۲۸۰۰ در راستای استفاده بهینه از مصالح در مهار برون صفحه دیوارها پرداخته شده است. مطالعات حاضر نشان می‌دهد لازم است در خصوص محدودیت طبقات ساختمان در رویکرد اتصال دیوار به سازه، محدودیت طول و ارتفاع آزاد دیوار و عرض درز جداسازی در پیوست شش استاندارد ۲۸۰۰ تجدید نظر شود، همچنین با توجه به جهت خمش برون صفحه دیوارها میلگردهای بستر الزام شده در پیوست شش استاندارد ۲۸۰۰ کارایی چندانی برای سیستم در برابر نیروهای برون صفحه نخواهد داشت. بر اساس نتایج مطالعات عددی انجام شده در این پژوهش می‌توان گفت به جز در موارد خاص از جمله پدیده ستون کوتاه بتنی که جداسازی دیوار تنها راهکار می‌باشد، دیوارهای دارای جزئیات کمینه و وادار سراسری رفتار مشابهی را در برابر نیروهای عمود بر صفحه خواهند داشت، لذا بازنگری اساسی در ضوابط پیوست شش استاندارد ۲۸۰۰ علاوه بر بهره وری بالاتر ساختمان در برابر نیروهای جانبی زلزله، منجر به صرفه جویی اقتصادی قابل توجهی در مصرف فولاد و هزینه های اجرایی خواهد شد.

مراجع

1. Tabeshpour, M. R., 2016. Interpretation of standard No 2800, 4th edition, volume II; Consideration of infill wall, Banae Danesh Press, Tehran, Iran [In Persian].

ACCEPTED MANUSCRIPT

2. Noorifard, A., 2017. “A model for determining the arrangement and geometrical specifications of non-structural walls in the final stages of basic architectural design to improve the seismic behavior of buildings; Common mid-rise residential buildings in Tehran”. Doctoral dissertation, Iran University of Science and Technology, School of Architecture and Environmental Design [In Persian].
3. Mohyeddin, A., Goldsworthy, H. M. and Gad, E. F., 2013. “Sensitivity analysis of nonlinear behaviour of infill-frames under in-plane and out-of-plane loading”. Advances in Structural Engineering, 16(10), pp.1729-1747. https://doi.org/10.1260/1369-4332.16.10.1729
4. Pradhan, B., Zizzo, M., Sarhosis, V. and Cavaleri, L., 2021. “Out-of-plane behaviour of unreinforced masonry infill walls: Review of the experimental studies and analysis of the influencing parameters”. Structures 33, pp. 4387-4406. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.07.038
5. Liberatore, L., 2021. “Assessment of out-of-plane strength of masonry infills according to EC6”. In COMPDYN 2021, Proceedings of the 8th International Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering, 1, Athens, Greece, pp. 795-807. https://hdl.handle.net/11573/1604087
6. Tabeshpour, M. R. and Noorifard, A., 2023. Phenomenological analysis of failure modes in Sarpol-e-Zahab earthquake (Based on understanding the strength of materials). Banae Danesh Press, Tehran, Iran [In Persian].
7. Moghadam, H., 2003. Earthquake engineering theory and application. 2nd Edition, Farhang Press, Tehran, Iran [In Persian].
8. Parsa, F. and Moghadam, A. S., 2009. “Experimental investigation of masonry infilled reinforced concrete frame”. Journal of The College of Engineering, 42(6), pp.681-690 [In Persian].
9. Alaluf, R., Hernandez, R., Dönmez, C. and İrfanoğlu, A., 2012. “Learning from earthquakes the Mw 7.1 Erciş-Van, Turkey earthquake of October 23, 2011”. EERI Special Earthquake Report.
10. Mostafaei, H. and Kabeyasawa, T., 2004. “Effect of infill masonry walls on the seismic response of reinforced concrete buildings subjected to the 2003 Bam earthquake strong motion: A case study of Bam telephone center”. Bulletin of Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, 79, pp.133-156.
11. Sanada, Y. and Konishi, D., 2011. “Effects of nonstructural brick infills on an Indonesian earthquake-damaged building”. Procedia Engineering, 14, pp.2077-2085. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.261
12. Noorifard, A., Saradj F. M. and Vafamehr, M., 2016. “Conceptual assessment of seismic performance of nonstructural walls in conventional medium rise buildings according to the experiences of past earthquakes”. Naqshejahan-Basic studies and New Technologies of Architecture and Planning, 6(3), pp.38-50 [In Persian]. http://bsnt.modares.ac.ir/article-2-2619-fa.html
13. Noorifard, A., Saradj F. M. and Tabeshpour M. R., 2017. “Preventing undesirable seismic behaviour of infill walls in design process”. Urbanism. Architecture. Construction, 8(1), pp.1-24.
14. Zhai, C. H., Kong, J. C., Wang, X. M. and Wang, X. H., 2018. “Finite-element analysis of out-of-plane behaviour of masonry infill walls”. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings, 171(3), pp.203-215. https://doi.org/10.1680/jstbu.15.00093
15. Singhal V. and Rai, D. C., 2018. “Behavior of confined masonry walls with openings under in-plane and out-of-plane loads”. Earthquake Spectra, 34(2), pp.817-841. https://doi.org/10.1193/061416EQS097M
16. Furtado A., Rodrigues H., Arêde A. and Varum, H., 2016. “Experimental evaluation of out-of-plane capacity of masonry infill walls”. Engineering Structures, 111, pp.48-63. http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.12.013
17. Akhoundi F. and Hashemi S. J., 2021. “Parametric Analysis of Out-of-Plane Behavior of Masonry Infilled RC Frames”. Journal of Civil and Environmental Engineering, 51(1), pp. 27-34. [In Persian]. Doi: 10.22034/jcee.2020.27828.1673
18. Razeghi V., Zargaran M., Nikkhoo, A., Attari N. and Azadvar N., 2024. “Experimental investigation on cyclic behavior of non-structural masonry walls strengthened with bed joint reinforcement and textile-reinforced concrete”. Sharif Journal of Civil Engineeing, 39(4), pp.89-99. [In Persian]. Doi: 10.24200/J30.2023.61543.3185
19. Karimi Ghaleh Jough, F., 2023. “The contribution of steel wallposts to out-of-plane behavior of non-structural masonry walls”. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 22(1), pp.243-262. https://doi.org/10.1007/s11803-023-2161-4
20. Karimi Ghaleh Jough F. and Golhashem M., 2020. “Assessment of out-of-plane behavior of non-structural masonry walls using FE simulations”. Bulletin of Earthquake Engineering, 18(14), pp.6405-6427. https://doi.org/10.1007/s10518-020-00932-x

ACCEPTED MANUSCRIPT

21. Appendix No.6 of standard No. 2800, 2019. Seismic design and construction of architectural nonstructural elements. Road, Housing and Urban Development Research Center and Office of National codes and Building Control, Tehran, Iran [In Persian].
22. Tabeshpour M. R., 2024. "45 questions from standard No. 2800, appendix No.6". 9th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering, Tehran, Iran [In Persian].
23. Tabeshpour, M. R. and Noorifard, A., Under publication. "Interpretation of standard No 2800, 4th edition, volume V; Wall post". Banae Danesh Press, Tehran, Iran [In Persian].
24. Standard No. 2800, 2015. Iranian code of practice for seismic resistant design of buildings. 4th edition, Building and Housing Research Center, Tehran, Iran [In Persian].
25. EN 1998-1, 2003. Eurocode8: Design of structures for earthquake resistance -Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. European Committee for Standardization, Brussels.
26. EN 1996-1-1, 2005. Eurocode 6: Design of masonry structures - Part 1-1: General rules for reinforced and unreinforced masonry structures. European Committee for Standardization, Brussels.
27. EN 1996-3, 2006. Eurocode 6: Design of masonry structures - Part 3: Simplified calculation methods for unreinforced masonry structures. European Committee for Standardization, Brussels.
28. Instruction for seismic rehabilitation of existing buildings, No. 360, 2014. First revision, Office of deputy for strategic supervision, Department of technical affairs, Vice presidency for strategic planning and supervision, Tehran, Iran [In Persian].
29. FEMA 356, 2000. Prestandard and commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
30. McDowell, E. L., McKee, K. and Sevin, E., 1956. "Arching action theory of masonry walls". Journal of the Structural Division, 82(2), 915-1. https://doi.org/10.1061/JSDEAG.0000019
31. Dawe, J. L. and Seah, C. K., 1989. "Out-of-plane resistance of concrete masonry infilled panels". Canadian Journal of Civil Engineering, 16(6), pp.854-864. https://doi.org/10.1139/l89-128
32. Tabeshpour, M. R., 2013. Infilled Frames. Fadak Issatis Publisher, Tehran, Iran [In Persian].
33. Moreno-Herrera, J., Varela-Rivera, J. and Fernandez-Baqueiro, L., 2016. "Out-of-plane design procedure for confined masonry walls". Journal of Structural Engineering, 142(2), 04015126. https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.00013
34. Lunn, D. S. and Rizkalla, S. H., 2011. "Strengthening of infill masonry walls with FRP materials". Journal of Composites for Construction, 15(2), pp.206-214. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.000008
35. Di Domenico, M., De Risi, M. T., Ricci, P., Verderame, G. M. and Manfredi, G., 2021. "Empirical prediction of the in-plane/out-of-plane interaction effects in clay brick unreinforced masonry infill walls". Engineering Structures, 227, 111438. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111438
36. Di Domenico, M., Ricci, P. and Verderame, G. M., 2019. "Experimental assessment of the out-of-plane strength of URM infill walls with different slenderness and boundary conditions". Bulletin of Earthquake Engineering, 17, pp.3959-3993.
37. Varela-Rivera, J., Moreno-Herrera, J., Lopez-Gutierrez, I. and Fernandez-Baqueiro, L., 2012. "Out-of-plane strength of confined masonry walls". Journal of Structural Engineering, 138(11), pp.1331-1341. https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000578
38. Tabeshpour M. R. and Noorifard A., 2024. "Modifying and rewriting some parts of appendix No.6 of standard No. 2800". 9th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering, Tehran, Iran [In Persian].

ACCEPTED MANUSCRIPT