

# بررسی کفایت طرح تیپ بهسازی مدارس آجری غیر مسلح دو طبقه با روش شاتکریت

محمد یکرنگ‌نیا<sup>۱\*</sup>؛ علی محمودی<sup>۲</sup>

۱- دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران.

۲- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران.

Email: yekrangnia@sru.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۸/۲۶

## چکیده

نظر به تعداد قابل ملاحظه مدارس مصالح بنایی دو طبقه در کشور و با توجه به تیپ بودن مشخصات تعداد قابل ملاحظه‌ای از این ساختمان‌ها، نیاز به ارائه دستورالعملی به منظور تیپ سازی طرح بهسازی این ساختمان‌ها وجود دارد. در پاسخ به این نیاز، سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس کشور در سال ۱۴۰۰ اقدام به تدوین دستورالعملی به منظور تیپ‌سازی طرح بهسازی این ساختمان‌ها با روش شاتکریت دیوارهای آجری نمود. در این پژوهش سعی شده است براساس نتایج به دست آمده از پنج مدرسه مصالح بنایی غیرمسلح دو طبقه، راستی‌آزمایی طرح تیپ بهسازی مدارس آجری غیرمسلح دو طبقه با روش شاتکریت براساس دستورالعمل سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس کشور مورد مطالعه قرار گیرد. بدین منظور، ساختمان‌های مورد بررسی در دو حالت سقف انعطاف‌پذیر و دیوارهای فاقد کلاف و سقف صلب و دیوارهای دارای کلاف در نرم‌افزار Etabs با استفاده از المان صفحه‌ای و روش تحلیل دینامیکی طیفی، یک بار براساس الزامات دستورالعمل [1] و یک بار بر اساس نشریه ۳۶۰ [2]، با روش شاتکریت بهسازی شدند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در حالت سقف انعطاف‌پذیر فاقد کلاف، مقاوم سازی بر اساس دستورالعمل سازمان نوسازی مدارس منجر به آسیب‌پذیری حداقلی ساختمان‌های مصالح بنایی مقاوم سازی شده می‌شود. در حالت سقف صلب دارای کلاف، نتایج گویای آن است که بر اساس این دستورالعمل، درصدی از دیوارهای بهسازی شده و بهسازی نشده در هر راستای آسیب‌پذیر هستند؛ به گونه‌ای که میانگین درصد دیوارهای آسیب‌پذیر بر حسب طول نسبی برای طبقه اول در راستای طولی ۶۳٪ و در راستای عرضی ۳۸٪ و برای طبقه همکف در راستای طولی ۵۶٪ و در راستای عرضی ۱۷٪ می‌باشد.

**واژگان کلیدی:** ساختمان‌های مدارس مصالح بنایی دو طبقه، بهسازی لرزه‌ای، شاتکریت، دستورالعمل سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز

مدارس کشور، نشریه ۳۶۰

## ۱- مقدمه

نوع اسکلت مدرسه، مهمترین عامل در تعیین طرح بهسازی می‌باشد و به این ترتیب از نقطه نظر اهمیت الگوسازی در روش‌های بهسازی نسبی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. در شکل (۱) انواع سیستم‌های ساختمانی یا توجه به مصالح استفاده شده و فراوانی هر یک از آنها، ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بالغ بر ۹۰ درصد از مدارس کشور، از نوع مصالح بنایی هستند [5].

با توجه به مطالب بیان شده، مقاوم‌سازی مدارس بنایی غیرمسلح موجود، با هدف کاهش آسیب‌پذیری به عنوان یک راهکار و روش مناسب ضرورت می‌یابد. ارائه راهکار مناسب بهسازی در هر پروژه، نیازمند انجام مطالعات متعدد مراحل ارزیابی، انجام آزمایش‌های متعدد و خدمات جنبی متنوع و در نتیجه صرف زمان و هزینه قابل توجه است. همچنین در برخی از مناطق کشور، امکانات لازم به منظور انجام این خدمات وجود ندارد. در همین راستا سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس کشور با مشارکت نویسندگان دوم این مقاله، با توجه به تیپ بودن مشخصات تعداد قابل ملاحظه‌ای از این ساختمان‌ها، دستورالعملی [1] را برای ارائه طرح تیپ بهسازی لرزه‌ای مدارس آجری غیرمسلح دو طبقه با روش شاتکریت ارائه کرده است. با این حال تاکنون این دستورالعمل براساس نشریه‌های معتبر و معمول در حوزه بهسازی، مورد راستی آزمایی قرار نگرفته است. هدف از این پژوهش، راستی آزمایی این دستورالعمل بر اساس روش مندرج در دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (نشریه‌ی ۳۶۰) [2] می‌باشد. در روش بهسازی با شاتکریت، ابتدا یک شبکه میلگرد روی دیوار قرار می‌گیرد که این شبکه میلگرد باید توسط اتصالاتی به دیوار دوخته شود؛ سپس روی این شبکه میلگرد، بتن پاشیده می‌شود و به این ترتیب شبکه میلگرد به همراه بتن پاشیده شده مانند یک لایه بتن مسلح عمل کرده و پس از گیرش کامل بتن سبب بهبود رفتار لرزه‌ای دیوار می‌شود. این لایه علاوه بر ایجاد انسجام مناسب در دیوارهای مصالح بنایی، مقاومت دیوارها را نیز افزایش می‌دهد [6]. ابداع شاتکریت به کارل ادان [7] نسبت داده می‌شود. او برای اولین بار در سال ۱۹۰۷ ترکیب

ایران به دلیل فرارگیری در کمربند لرزه‌خیز آلپ-همالیا و در محل اتصال ورقه‌های اوراسیا-عربستان از نظر زمین‌شناسی فعال است، به طوری که حدود ۸ درصد از زمین‌لرزه‌های دنیا و حدود ۱۷ درصد از زلزله‌های بزرگ دنیا در فلات ایران رخ می‌دهد [3]. در سال ۱۳۸۲ در یک حرکت فراگیر، اطلاعات کاملی از وضعیت مدارس ایران تحت عنوان شناسنامه فنی مدارس کشور برداشت شد. با اجرای پروژه فوق، حدود ۳۸۰ هزار کلاس درس در قالب یک‌صد هزار فضای آموزشی، توسط کارکنان سازمان‌های وابسته به وزارت آموزش و پرورش مورد بازدید و ثبت اطلاعات قرار گرفت. یکی از خروجی‌های مهم این پروژه، طبقه‌بندی ساختمان‌های آموزشی از حیث پایداری لرزه‌ای به ۳ گروه سازه‌های مقاوم، سازه‌های بدون استحکام و سازه‌های خطر آفرین بود. ساختمان‌های گروه دو، سازه‌های آسیب‌پذیر لرزه‌ای را شامل می‌شود که قابلیت مقاوم‌سازی داشته و با انجام فرآیندهای مطالعاتی و اجرائی لازم می‌توانند در رده گروه یک قرار گیرند. ساختمان‌های گروه سه، ارزش مقاوم‌سازی نداشته و باید تخریب و بازسازی شوند. براساس این شناسنامه، از کل کلاس‌های درس مورد بررسی، ۳۶٪ در گروه تخریب و بازسازی، ۲۹٪ در گروه مقاوم‌سازی و ۳۵٪ مستحکم تشخیص داده شدند [4].

شکل ۱. فراوانی انواع ساختمان مدارس کشور [5].

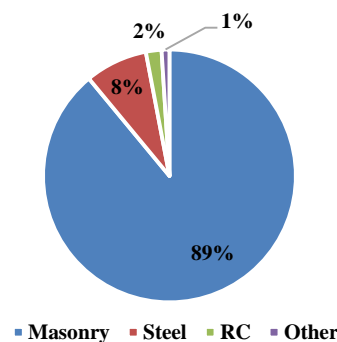


Fig. 1. Distribution of different structural type of school buildings [5]

شاتکریت خشک را به منظور ایجاد پوششی مقاوم و به منظور ترمیم فرورفتگی‌های سطح سازه‌های بتنی بکار برد. کاربرد شاتکریت در ایران را می‌توان به صورت گسترده از سال ۱۳۶۶ در نظر گرفت [8]. رئیسی دهکردی و همکاران [9]، از روش شاتکریت پیرامونی به منظور بهسازی سازه‌های مصالح بنایی استفاده نمودند. نتایج مطالعه ایشان حاکی از این بود که در سازه بهسازی شده به روش شاتکریت پیرامونی، مقادیر کرنش پلاستیک در سازه به شدت کاهش می‌یابد. همچنین گریز نسبی طبقه در محل مرکز جرم سقف سازه نیز به طور چشمگیری کاهش می‌یابد. الجواد و همکاران [10]، نشان دادند بهسازی با استفاده از شاتکریت دو طرفه دیوارها با ضخامت ۲۰ میلی‌متر در مقایسه با استفاده از شاتکریت یک‌طرفه با ضخامت ۴۰ میلی‌متر، منجر به افزایش مقاومت جانبی با ضریب ۳/۶ می‌شود. لین و همکاران [11]، شاتکریت با ضخامت‌های گوناگون را روی چندین دیوار ساخته شده با مصالح بنایی آزمایش کردند و ثابت نمودند که افزایش ضخامت شاتکریت استفاده شده منجر به افزایش مقاومت برشی سازه خواهد شد. شابدین و همکاران [12] ثابت کردند که مقاوم‌سازی دیوارهای مصالح بنایی با استفاده از شاتکریت، از ایجاد ترک جلوگیری می‌کند و لایه شاتکریت می‌تواند مقاومت و سختی را افزایش دهد. همچنین شابدین و همکاران [13]، آزمایش‌هایی را بر روی دیوارهای مصالح بنایی غیر مسلح با استفاده از شاتکریت انجام دادند. با توجه به نتایج، تقویت مرزهای دیوار با استفاده از شاتکریت یک‌طرفه، رضایت‌بخشی کمتری داشت؛ درحالی که در نمونه دوم تقویت شده با استفاده از شاتکریت دو طرفه، روش بهسازی پیشنهادی موثر بود و بیشترین مقاومت جانبی و ظرفیت تغییر شکل به میزان قابل ملاحظه‌ای بهبود یافت. یکرنگ‌نیا و همکاران [14]، عملکرد لرزه‌ای یک مدرسه بنایی غیرمسلح یک طبقه در تهران را با استفاده از تحلیل‌های دینامیکی ارزیابی نمودند. ارزیابی خطرپذیری این نوع ساختمان‌های مدارس با در نظر گرفتن هر سه گسل مجاور برای سه بزرگای زلزله مختلف انجام شد. نتایج نشان داد بهبود عملکرد قابل توجهی با اضافه کردن کلاف‌ها به دیوارها حاصل می‌شود که می‌تواند منجر به کاهش بیش از ۱۰۰ میلیون دلاری در هزینه‌های خسارت به

ساختمان‌های مدارس بنایی گردد. غیاثی و همکاران [15]، برای دیوارهای بهسازی شده با شاتکریت یک‌طرفه یا دو طرفه، سه مود خرابی شامل برشی قطری، سرخوردگی پای دیوار و خمشی در نظر گرفتند. ایشان برای هر یک از این مودها، روابطی تحلیلی به منظور تعیین ظرفیت نیرویی ارائه دادند. همچنین بر اساس بررسی انجام گرفته روی چند دیوار آجری مسلح که پیشتر در آزمایشگاه، تحت آزمایش‌های استاتیکی رفت و برگشتی قرار گرفته بودند، نتیجه‌گیری کردند معیارهای پذیرش دیوارهای بنایی مسلح موجود در استاندارد ASCE 41 [16]، برای دیوارهای شاتکریت شده مناسب است. قزلباش و همکاران [17]، مجموعه‌ای از آزمایش‌های میز لرزان را روی یک ساختمان بنایی یک طبقه نیمه‌مقیاس انجام دادند. ابتدا نمونه سازه‌ی مقاوم‌سازی نشده در معرض هفت مرحله افزایشی تحریک لرزه‌ای در دو راستا قرار گرفت. سپس ساختمان آسیب دیده با استفاده از شبکه‌های فولادی و لایه شاتکریت در قالب دو دیوار مقاوم‌سازی شده از نمای بیرونی و دو دیوار دیگر از نمای داخلی بازسازی شد. نتایج حاکی از کفایت روش مقاوم‌سازی در تامین یکپارچگی سازه مورد بررسی بود که منجر به عملکرد ترکیبی قابل قبولی بین لایه آجر و شاتکریت شد. فراهانی و همکاران [18]، رفتار لرزه‌ای دیوارهای بنایی تقویت‌شده با روش تسلیح مغزه را به صورت شبیه‌سازی عددی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که افزایش نیروی فشاری قائم و مقاومت برشی ملات می‌تواند به طور قابل توجهی ظرفیت برشی نهایی دیوارها را بهبود بخشد. اثر افزایش اضافه بار اعمال شده (از ۰ تا ۰/۵ مگاپاسکال) در بهبود مقاومت برشی دیوارها در دیوارهای با طول دو متر بارزتر بود.

در این پژوهش در گام نخست به بررسی روند مدلسازی پرداخته می‌شود، سپس جزئیات روش ارزیابی آسیب‌پذیری و بهسازی لرزه‌ای ارائه خواهد شد. در گام آخر نتایج تحقیق در حوزه ارزیابی آسیب‌پذیری و بهسازی ارائه شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت.

## ۲- مدلسازی

برای هر مدل، بهسازی تیپ با روش شاتکریت انجام پذیرفته است. در بهسازی لرزه‌ای براساس این دستورالعمل با توجه به پارامتر صلبیت سقف، طرح تیپ بهسازی انتخاب می‌شود؛ سپس با محاسبه مقدار شتاب طیفی، مقادیر متوسط طول نسبی دیوارهای شاتکریت شده مورد نیاز در هر راستا مشخص می‌شود. همچنین این دستورالعمل برای هر طرح بهسازی، اولویت‌هایی را در راستای انتخاب دیوارها در هر راستا در نظر گرفته است که باید مورد توجه قرار گیرد. بعد از بهسازی لرزه‌ای مدارس براساس این دستورالعمل، دوباره روی مدل‌های بهسازی شده، ارزیابی آسیب‌پذیری انجام گرفته تا وضعیت آسیب‌پذیری دیوارهای بهسازی شده و بهسازی نشده تعیین شده و به این ترتیب میزان کارایی این دستورالعمل مشخص شود. در گام آخر، نتایج این دو طرح بهسازی با یکدیگر مقایسه خواهد شد.

## ۲-۱- فرضیه

در راستای مدلسازی در نرم‌افزار و ارزیابی لرزه‌ای نمونه‌ها، فرضیاتی در نظر گرفته شده است که عبارت اند از: ۱) از بررسی اندرکنش خاک و سازه، صرف‌نظر شده است. ۲) محل تمامی ساختمان‌های مورد بررسی، شهر تهران در نظر گرفته شده است. ۳) خاک محل موردنظر براساس استاندارد ۲۸۰۰ [20]، نوع دو در نظر گرفته شده است. ۴) پی کفایت لازم را برای انتقال بارهای وارد شده را دارد. ۵) فقط رفتار درون صفحه دیوارهای مصالح بنایی در نظر گرفته می‌شود. بر اساس لزوم نشریه ۳۶۰ [2]، کنترل کفایت دیوارهای مصالح بنایی در برابر بارهای خارج از صفحه به صورت تجویزی بوده که با توجه به جدول (۷-۳) این دستورالعمل، نسبت لاغری دیوار (نسبت ارتفاع به ضخامت) با در نظرگیری پارامترهای لرزه‌خیزی محل و نیز شماره طبقه مورد نظر محدود می‌شود. بر این اساس و با توجه به محل فرض شده ساختمان‌های مورد بررسی که تهران است، نسبت لاغری برای دیوارهای طبقه همکف و اول به ترتیب ۱۵ و ۹ محدود شده است. با در نظرگیری ارتفاع طبقات برابر ۳ متر، تنها دیوارهای دارای

به منظور راستی آزمایی دستورالعمل سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس کشور برای بهسازی لرزه ای مدارس مصالح بنایی غیرمسلح دو طبقه با روش شاتکریت، پنج مدرسه بنایی غیرمسلح دو طبقه نماینده در نرم‌افزار Etabs، مدلسازی و تحلیل شد. لازم به ذکر است که پلان این پنج مدرسه، از جمله پلان‌های پرتکرار مدارس مصالح بنایی دو طبقه در کشور می‌باشد که در اشکال (۲-الف تا ۲-ث) ارائه شده است. برای هر مدل که بیانگر یک ساختمان نماینده است، در دو حالت سقف انعطاف‌پذیر فاقد کلاف و سقف صلب دارای کلاف، اقدامات زیر انجام پذیرفته است: در گام نخست ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای در وضعیت موجود صورت گرفته و بر اساس فرضیات دستورالعمل طرح تیپ بهسازی لرزه‌ای مدارس آجری غیرمسلح دو طبقه، دیوارهایی که نسبت نیاز به ظرفیت در آنها با لحاظ کردن ضریب آگاهی و ضریب  $m$  برای اجزای کنترل شونده توسط تغییر شکل  $\frac{QUD}{mkQCE}$  در اجزای کنترل شونده توسط تغییر شکل  $\frac{QUF}{\kappa QCL}$  در اجزای کنترل شونده توسط نیرو) که از این پس در این مقاله (DCR) نام گذاری می‌شود، بزرگتر از مقدار ۱/۰۵ می‌باشد، آسیب‌پذیر تلقی شدند [19]. در گام دوم براساس ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای انجام گرفته، فقط دیوارهای آسیب‌پذیر با روش شاتکریت مقاوم‌سازی شده و مجدد روی این طرح اولیه بهسازی، ارزیابی آسیب‌پذیری انجام می‌گیرد تا میزان موثر بودن طرح اولیه در کاهش آسیب‌پذیری دیوارها مشخص شود؛ چنانچه در این طرح هنوز تعدادی از دیوارها آسیب‌پذیر باشند، دیوارهای آسیب‌پذیر مورد بهسازی قرار گرفته و این عملیات تا زمانی که نسبت نیاز به ظرفیت در تمامی دیوارها، اعم از دیوارهای بهسازی شده و بهسازی نشده کمتر از مقدار ۱/۰۵ برسد، ادامه یافته تا طرح بهسازی لرزه‌ای نهایی بدون هیچ گونه آسیب‌پذیری دیوارها باشد. در گام سوم بدون توجه به نتایج ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای و براساس الزامات دستورالعمل سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس

1 Demand to capacity ratio

ضخامت ۲۲ سانتی متر در طبقه اول کفایت لازمه در راستای خارج از صفحه را ندارند. راهکار مورد نظر در این موارد جلوگیری از پرتاب خارج از صفحه دیوار با بهره‌گیری از وال پست یا پشت‌بند و نیز تامین اتصالات مناسب بین دیوار و سقف و کف و در نتیجه ایجاد عملکرد قوسی در دیوارها است که همه این راهکارها مورد توصیه استاندارد ۲۸۰۰ [20] نیز می‌باشد. ۶) در سازه‌های مصالح بنایی که المان‌های لرزه‌بر، دیوارهای باربر هستند، اگر سقف صلب باشد، توزیع بار جانبی براساس میزان سختی هر دیوار انجام می‌شود. بنابراین میزان سهم نیروی هر دیوار، به نسبت سختی هر دیوار به مجموع سختی کل دیوارهای طبقه می‌باشد؛ اما اگر سقف انعطاف‌پذیر باشد، توزیع بار جانبی براساس میزان جرم لرزه‌ای هر دیوار به جرم لرزه‌ای طبقه، انجام می‌شود. پس از آنجا که میزان سهم نیروی هر دیوار از نیروی جانبی، وابستگی مستقیم به صلبیت سقف دارد، این پارامتر به عنوان یکی از پارامترهای مورد بررسی در این مطالعه در نظر گرفته شده است. ۷) ضخامت دیوارها برابر ۲۲ و ۳۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. از مدل‌سازی دیوارهای تیغه با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر صرف نظر شده است. دیوارها با لحاظ کردن ضخامت‌های آنها در شکل (۲) نمایش داده شده‌اند. مقادیر دیوار نسبی در پلان‌های ۱ تا ۵ در راستای X به ترتیب برابر ۶، ۶، ۵، ۶ و ۸ درصد است. این مقدار در راستای Y به ترتیب ۷، ۷، ۵، ۶ و ۷ درصد است. ضخامت هر لایه شاتکریت برابر ۵۰ میلی‌متر در نظر گرفته شده است که بر اساس ضخامت متداول در پروژه‌های بهسازی مدارس آجری توسط سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس کشور است. مقاومت فشاری مشخصه بتن برابر ۱۸ مگاپاسکال، تسلیح به کار رفته شامل میلگرد به قطر ۸ میلیمتر با طول چشمه‌های ۲۰۰ میلیمتر است. مقاومت تسلیم فولاد این شبکه برابر ۴۰۰ مگاپاسکال، مقاومت برشی ملات ۰/۲۴ مگاپاسکال و مقاومت فشاری آجر ۱۵/۰۰ مگاپاسکال در نظر گرفته شده است. همچنین مقدار کرانه پایین مقاومت فشاری مصالح بنایی ( $f'_m$ ) برای ملات نوع متوسط فرض شده بر اساس جدول ۲-۵-پ نشریه ۳۶۰، برابر با ۲/۷ مگاپاسکال است. ۸) برای هر مدل در نرم‌افزار، بارگذاری براساس مبحث ششم مقررات ملی

ساختمان [21] انجام گرفته است. سقف برای تمامی نمونه‌ها، از نوع طاق ضربی می‌باشد؛ همچنین بار دیوارهای پیرامونی و دیوارهای داخلی با توجه به تفاوت در ضخامت آنها، متفاوت در نظر گرفته شده است و بار راه پله لحاظ شده است. ۹) در تمامی مدل‌ها به منظور در نظر گرفتن آثار اضافی بارها، آثار  $P - \Delta$  لحاظ شده است. مدل‌سازی دیوارهای مصالح بنایی در نرم‌افزار با استفاده از المان صفحه‌ای انجام پذیرفته است. لایه شاتکریت به صورت لایه‌ای از جنس بتن از مقطع کامپوزیت در کنار لایه دیوار با مصالح بنایی اختصاص داده شده به المان‌های صفحه‌ای مدل شده است. به این ترتیب اتصال کامل بین لایه شاتکریت و لایه مصالح بنایی دیوار در نظر گرفته شده است. این فرض با توجه به مشخصات مناسب و تعداد کافی اتصال دهنده‌های شبکه فولادی به دیوار بر اساس لزوم دستورالعمل اجرای شاتکریت توسط سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس کشور و عدم مشاهده جدایش و یا لغزش بین لایه شاتکریت و لایه مصالح بنایی دیوار منطقی به نظر می‌رسد. از مصالح بتن برای مدل‌سازی دیوارها و بتن شاتکریت استفاده شده است. با این حال از آنجا که تحلیل‌ها از نظر رفتار مصالح، خطی است، تنها مشخصات الاستیک مصالح به نرم‌افزار معرفی شده است و از آن استفاده می‌شود. برای مدل‌سازی سقف انعطاف‌پذیر در نرم‌افزار، دیافراگم از نوع Semi Rigid و برای سقف صلب، دیافراگم از نوع Rigid انتخاب شده است؛ همچنین تکیه‌گاه‌های سازه از نوع گیردار می‌باشد. از آنجا که در این مطالعه مدل‌های مورد بررسی در زمانی که کلاف‌دار فرض شده‌اند دارای سقف صلب نیز هستند، توزیع نیروی جانبی در آن به نسبت سختی به دلیل وجود سقف صلب انجام می‌شود و در نتیجه نیازی به در نظرگیری کلاف‌های افقی نیست. همچنین مدل‌سازی کلاف‌های قائم هیچ تاثیری در تغییر نیروی مورد نیاز (سهم هر دیوار از برش ایجاد شده در طبقه) ندارد و روی سختی دیوارها نیز موثر نیست. در نتیجه، تاثیر وجود کلاف در مقاومت و نیز معیارهای پذیرش دیوارها بر اساس توصیه‌های مندرج در نشریه ۳۶۰ به صورت دستی در نظر گرفته شده است. به عبارت دیگر، نیروهای مورد نیاز از مدل عددی برای هر دیوار استخراج شده و سپس با توجه به تغییر مقاومت‌ها و

تجربی آن امتداد بزرگ‌تر نمی‌باشد، نیازی به هم‌پایه کردن برش پایه نیست.

### ۲-۳- ترکیب بارگذاری

در ترکیب بارگذاری ثقلی و جانبی، حد بالا و پایین آثار بار ثقلی ( $Q_G$ )، باید مطابق با روابط (۱) و (۲) محاسبه شود [2]:

$$Q_G = 1.1 [Q_D + Q_L] \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$Q_G = 0.9 Q_D \quad \text{رابطه (۲)}$$

شکل ۲-الف. پلان مدرسه آجری شماره ۱ (زمان تناوب راستاهای X و Y به ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۰۳ ثانیه).

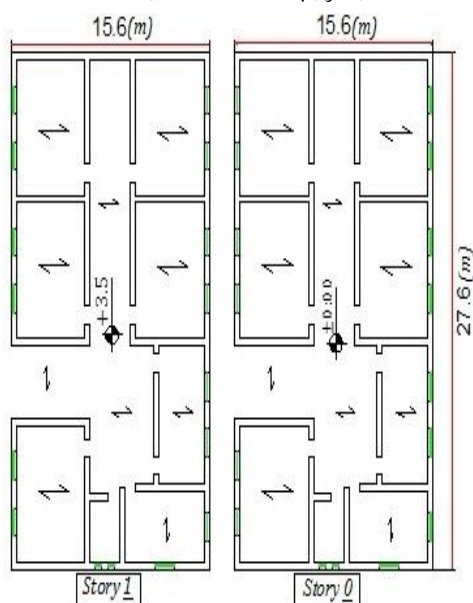


Fig. 2a. Plan view of the URM school building#1

شکل ۲-ب. پلان مدرسه آجری شماره ۲ (زمان تناوب راستاهای X و Y به ترتیب ۰/۰۴ و ۰/۰۶ ثانیه).



Fig. 2b. Plan view of the URM school building#2

معیارهای پذیرش به دلیل وجود کلاف، برای هر دیوار به صورت دستی کنترل می‌شود. (۱۰) در این مطالعه اتصال بین دیوارها به صورت ایده‌آل فرض شده است که با وجود کلاف‌های قائم و نیز اتصال هشت‌گیر بین دیوارهای متعامد حتی در غیاب کلاف‌های قائم، فرضی منطقی به نظر می‌رسد. به این ترتیب، اتصال بین دیوارها تنها در مدل‌های با سقف صلب در انتقال نیرو بین دیوارها موثر خواهد بود. (۱۱) بار مرده برای سقف طبقه همکف و اول، برای دیوارهای با ضخامت ۳۵ و ۲۲ سانتی‌متر، برای پله و پارگرد به ترتیب برابر ۵۳۱، ۶۰۴، ۶۲۴، ۴۳۹، ۸۹۳ و ۶۵۷ کیلوگرم بر متر مربع در نظر گرفته شده است. همچنین مقادیر بار زنده برای کلاس‌های درس و اتاق‌های اداری، نمازخانه، راهروی طبقه همکف، راهروی سایر طبقات، پله و بام به ترتیب برابر ۲۵۰، ۶۰۰، ۵۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ کیلوگرم بر متر مربع در نظر گرفته شده است.

### ۲-۲- روش تحلیل سازه

در این پژوهش به منظور تحلیل سازه، ابتدا روش استاتیکی خطی مطابق بند (۳-۳-۳) نشریه ۳۶۰، استفاده شده است. استفاده از روش تحلیل استاتیکی خطی هنگامی مجاز است که ساختمان دارای شرایط بند (۳-۳-۱-۱) نشریه ۳۶۰، از نظر ارتفاع و نظم سازه‌ای باشد؛ اما از آنجاکه در تمامی نمونه‌های این پژوهش، شرایط استفاده از تحلیل استاتیکی خطی برقرار نبود، برای تحلیل سازه در تمامی نمونه‌ها، از روش دینامیکی طیفی، مطابق بند (۳-۳-۴-۱-۲) نشریه ۳۶۰، استفاده شده است. طیف استاندارد ۲۸۰۰ برای زمین نوع II است که منطبق بر زمین‌لرزه سطح خطر ۱ می‌باشد. در هر امتداد ۳۲ مود اول نوسان در نظر گرفته شده است. برای هر مدل در نرم افزار، تعداد مدها به گونه‌ای انتخاب شده است که جمع درصد مشارکت جرم موثر برای هر امتداد تحریک زلزله در مدهای انتخاب شده، حداقل ۹۰٪ باشد و از روش ترکیب مربعی کامل (CQC) برای در نظر گرفتن اندرکنش بین مدها، استفاده شده است. اثر زلزله در امتداد عمود بر امتداد مورد نظر در نظر گرفته شده است. باتوجه به این که زمان تناوب تحلیلی مود اصلی در هر دو امتداد اصلی ساختمان از ۱/۴ برابر زمان تناوب



هنگام ارزیابی کمتر باشد. ترکیبات کنترل شونده توسط تغییر مکان و توسط نیرو مطابق روابط (۳ و ۴) می باشد [2].

$$Q_{UD} = Q_G + Q_E \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$Q_{UF} = Q_G \pm \frac{Q_E}{C_1 C_2 J} \quad \text{رابطه (۴)}$$

شکل ۲-ث. پلان مدرسه آجری شماره ۵ (زمان تناوب راستاهای X و Y به ترتیب ۰/۰۴ و ۰/۰۵ ثانیه).



Fig. 2e. Plan view of the URM school building#5

در روابط (۳ و ۴)،  $Q_E$  تلاش ناشی از بار زلزله،  $C_1$  ضریب تصحیح برای در نظر گرفتن تغییر مکان های غیر ارتجاعی سازه،  $C_2$  ضریب تصحیح برای آثار کاهش سختی و مقاومت اعضای سازه ای و ضریب  $J$  برای سطح عملکرد ایمنی جانی بر اساس نشریه ۳۶۰ برابر ۲ می باشد [2].

### ۳- روش ارزیابی لرزه ای

در این بخش روند تعیین مقاومت و معیارهای پذیرش دیوارهای بنایی غیر مسلح، که در درون صفحه خود تحت نیروی جانبی قرار دارند، ارائه می شود. هدف از ارزیابی لرزه ای مدارس مصالح بنایی دو طبقه موجود، تامین ایمنی جانی ساکنین در برابر زلزله سطح خطر یک بر اساس نشریه ۳۶۰ می

شکل ۲-پ. پلان مدرسه آجری شماره ۳ (زمان تناوب راستاهای X و Y به ترتیب ۰/۰۳ و ۰/۰۶ ثانیه).

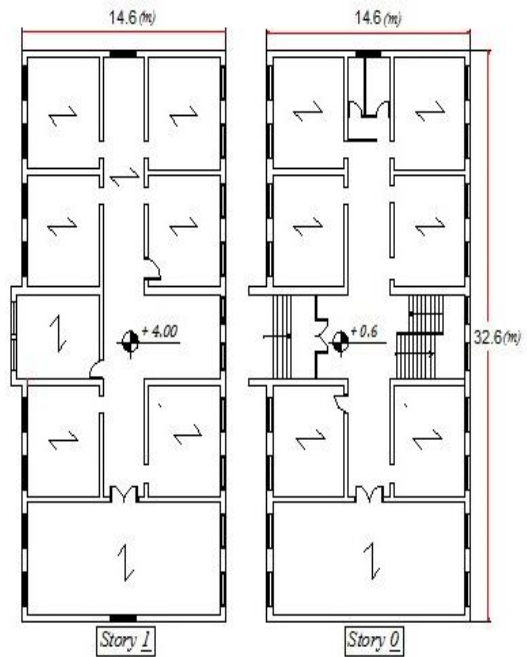


Fig. 2c. Plan view of the URM school building#3

شکل ۲-ت. پلان مدرسه آجری شماره ۴ (زمان تناوب راستاهای X و Y به ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۰۵ ثانیه).

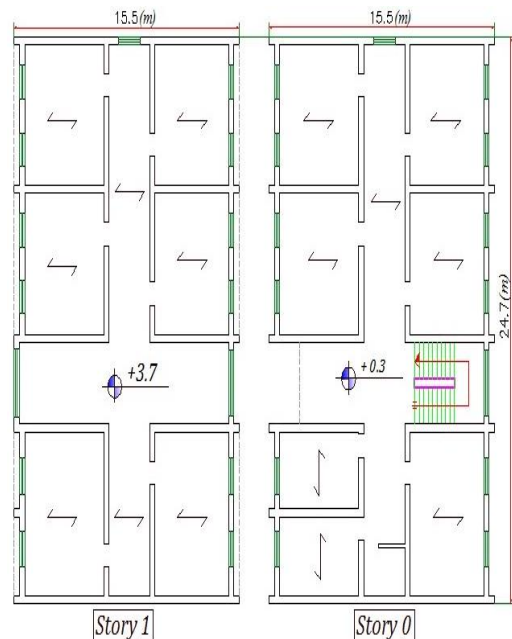


Fig. 2d. Plan view of the URM school building#4

که در آن،  $Q_D$  بار مرده و  $Q_L$  معادل ۲۵ درصد بار زنده طراحی کاهش نیافته است که نباید از بار زنده واقعی موجود در

نظر گرفته شده است، از جزئیات و مشخصات سازه می باشد. ضرایب اصلاح  $m$  برای اعضای تغییر شکل کنترل با استفاده از جدول (۱) تعیین می شود.

جدول ۱. ضرایب اصلاح  $m$  [2].

Performance level (Life Safety)	Failure mode	
3.0	Confined	
2.0	Unconfined	Shear
$\frac{3h_{eff}}{L} \geq 1.5$	Confined	
$\frac{2h_{eff}}{L} \geq 1.5$	Unconfined	Rocking

Table 1. m-factors [2]

#### ۴- مودهای خرابی دیوارهای بهسازی شده

در این پژوهش روش بهسازی دیوارهای مصالح بنایی، شاتکریت یک طرفه یا دو طرفه است. در غیاب روابط طراحی و معیارهای پذیرش برای دیوارهای بهسازی شده با شاتکریت در آیین نامه ها و دستورالعمل های ملی و بین المللی، از نتایج مطالعات غیائی و همکاران [15] استفاده شده است. ایشان در حالت کلی، سه مود خرابی را برای دیوارهای شاتکریت شده در نظر گرفتند که عبارت اند از مود خرابی خمشی، برشی قطری، و سرخوردگی پای دیوار و برای هر یک از این مودها، روابطی تحلیلی به منظور تعیین ظرفیت نیرویی ارائه دادند. معیارهای پذیرش دیوارهای مصالح بنایی بهسازی شده با روش شاتکریت، برای تحلیل های خطی در قالب تعریف فاکتورهای  $m$  در جدول (۲) ارائه شده است. در این جدول  $\rho$ ،  $f_y$ ،  $f_{me}$  و  $f_{as}$  به ترتیب درصد میلگردهای قائم، تنش تسلیم میلگردها، مقاومت فشاری منشور بنایی و تنش فشاری قائم روی دیوار است.

جدول ۲. معیارهای پذیرش [2].

Performance level	$\frac{\rho f_y}{f_{me}}$	$\frac{f_{as}}{f_{me}}$	Failure mode
7	$\leq 0.07$		
2	$> 0.07$		Flexural
3.5	$\leq 0.07$		
2	$> 0.07$		Diagonal
2	-	-	Diagonal
3	-	-	Bed-joint sliding

Table 2: Acceptance criteria [2]

باشد. تلاش های موجود در دیوارهای مصالح بنایی غیرمسلح به دو گروه تغییرشکل کنترل و نیرو کنترل تقسیم می شود. مقاومت مورد استفاده برای تلاش های تغییرشکل کنترل، مقاومت مورد انتظار ( $Q_{CE}$ ) است و برای تعیین مقاومت مورد انتظار اعضا، باید از مقاومت مورد انتظار مصالح استفاده نمود و مقاومت مورد استفاده برای تلاش های نیرو کنترل، مقاومت کرانه پایین ( $Q_{CL}$ ) می باشد که برای تعیین مقاومت کرانه پایین اعضا، باید از کرانه پایین مقاومت مصالح استفاده کرد.

#### ۳-۱- مقاومت جانبی مورد انتظار

مقاومت جانبی مورد انتظار دیوارهای مصالح بنایی غیرمسلح، برابر کم ترین مقاومت جانبی حاصل از دو مود شکست برشی لغزشی و حرکت گهواره ای می باشد که مطابق بند (۷-۲-۲-۲-۱) نشریه ۳۶۰ تعیین می شود.

#### ۳-۲- کرانه پایین مقاومت جانبی

کرانه پایین مقاومت جانبی دیوارهای مصالح بنایی غیرمسلح، برابر کم ترین مقاومت جانبی براساس دو مود تنش کششی قطری و تنش فشاری پنجه دیوار می باشد که مطابق بند (۷-۲-۲-۲-۲) نشریه ۳۶۰ تعیین می شود.

#### ۳-۳- معیارهای پذیرش

مقاومت جانبی درون صفحه دیوارها، در صورتیکه مقاومت مورد انتظار آنها کم تر از مقاومت کرانه پایین آنها باشد، به صورت تغییرشکل کنترل منظور می شود؛ در غیر این صورت مقاومت دیوار به صورت نیرو کنترل در نظر گرفته می شود. در روش های خطی، تلاش های بدست آمده اعضا مصالح بنایی با ظرفیت آن ها مقایسه می شود.

تلاش ها در دیوارهای بنایی که تغییرشکل کنترل هستند، باید رابطه (۵) و در دیوارهایی که نیرو کنترل هستند، باید رابطه (۶) را برآورده نمایند.

$$m k Q_{CE} \geq Q_{UD} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$K Q_{CL} \geq Q_{UF} \quad \text{رابطه (۶)}$$

در روابط بالا،  $m$  ضریب اصلاح بر مبنای رفتار غیرخطی عضو می باشد و  $k$  ضریب آگاهی که در این مطالعه برابر واحد در



## ۵- نتایج

انتقالی افقی و ۱ درجه پیشینی) نسبت به حالت قبلی، درصد آسیب‌پذیری دیوارها کاهش یافته است. همچنین وجود سقف صلب، اثر قابل ملاحظه‌ای در کاهش میزان آسیب‌پذیری دیوارهای طبقه همکف داشته است. در اشکال (۴ و ۵)، توزیع تنش‌های اصلی بیشینه در یک نمونه از دیوارهای خارجی مدرسه‌ی آجری شماره ۱، در دو حالت سقف انعطاف‌پذیر و سقف صلب ذکر شده است. همان‌گونه که قابل مشاهده است، در گوشه‌های پنجره‌ها تمرکز تنش وجود دارد و در پای دیوارها، مقدار تنش بیشتر است. در حالت سقف صلب دارای کلاف، نسبت به حالت سقف انعطاف‌پذیر فاقد کلاف، توزیع تنش بین دیوارها وضعیت بهتری داشته و این امر باعث کاهش آسیب‌پذیری در دیوارها می‌شود.

شکل ۳. میانگین درصد دیوارهای آسیب‌پذیر برحسب طول نسبی برای ۵ مدرسه‌ی آجری مورد بررسی.

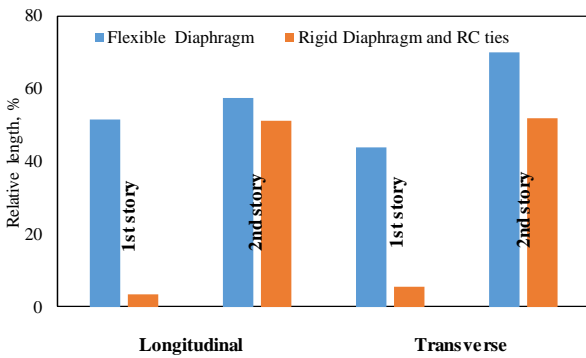


Fig. 3. Average of the vulnerable walls.

شکل ۴. توزیع تنش‌های اصلی بیشینه در دیوارهای خارجی مدرسه آجری ۱ در حالت سقف انعطاف‌پذیر فاقد کلاف.

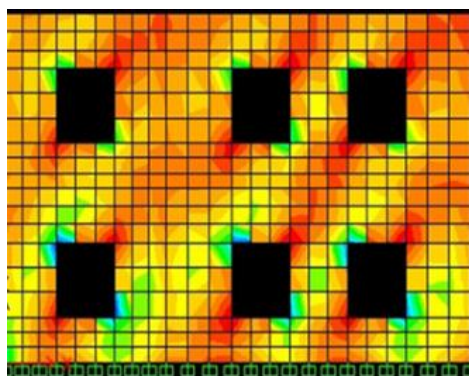


Fig. 4. Contour of the maximum principal stress in a typical external wall of case#1 without RC ties

در این بند به ارائه نتایج به دست آمده از تحلیل‌های انجام شده پرداخته می‌شود. در اولین گام به بررسی نتایج مربوط به ارزیابی لرزه‌ای صورت گرفته براساس نشریه ۳۶۰ پرداخته خواهد شد؛ سپس در گام بعدی نتایج بهسازی براساس دستورالعمل سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس و نتایج بهسازی براساس ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ارائه می‌شود.

### ۵-۱- ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای

برای پنج مدرسه آجری غیرمسلح دو طبقه، در دو حالت سقف انعطاف‌پذیر فاقد کلاف و سقف صلب دارای کلاف، ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای براساس نشریه ۳۶۰ انجام شده است. در جدول (۳)، درصد دیوارهای آسیب‌پذیر برحسب طول نسبی برای مدارس آجری مورد بررسی در دو حالت مدنظر ذکر شده است. در شکل (۳)، میانگین طول نسبی دیوارهای آسیب‌پذیر برای تمامی مدارس آجری مورد بررسی ارائه شده است.

جدول ۳. درصد دیوارهای آسیب‌پذیر بر حسب طول نسبی برای پنج مدرسه آجری مورد بررسی.

Building story	Transverse		Longitudinal		Building story	Diaphragm
	2 <sup>nd</sup> story	1 <sup>st</sup> story	2 <sup>nd</sup> story	1 <sup>st</sup> story		
Flexible	81	77	53	42	1	
	74	43	51	43	2	
	61	23	57	60	3	
	66	18	58	53	4	
	66	57	68	58	5	
Rigid	74	5	42	0	1	
	78	13	57	3	2	
	20	1	57	5	3	
	57	2	58	2	4	
	30	7	42	7	5	

Table 3. Percentage of vulnerable walls

در تمامی پلان‌های مورد بررسی در این پژوهش، درصد آسیب‌پذیری دیوارها در طبقه اول و در هر دو راستا، نسبت به طبقه همکف بیشتر است، همچنین در حالت سقف انعطاف‌پذیر فاقد کلاف، بیشترین درصد آسیب‌پذیری در دیوارها مشاهده می‌شود. در حالت سقف صلب، به علت سختی بالای دیافراگم و محدود کردن درجات آزادی سازه به سه درجه آزادی (۲ درجه

جدول ۴. میانگین و انحراف معیار DCR دیوارهای تمامی مدارس آجری مورد بررسی (حالت سقف انعطاف پذیر فاقد کلاف).

Building	URM wall	Average and STD DV	2 <sup>nd</sup> story		1 <sup>st</sup> story	
			Longitudinal	Transverse	Longitudinal	Transverse
1	One-sided shotcrete	$\mu$	0.77	0.80	0.70	0.69
		$\sigma$	0.29	0.28	0.28	0.31
	Unretrofitted	$\mu$	0.88	1.03	0.83	0.99
		$\sigma$	0.11	0.02	0.08	0.02
2	One-sided shotcrete	$\mu$	0.46	0.69	0.50	0.63
		$\sigma$	0.21	0.33	0.31	0.31
	Unretrofitted	$\mu$	0.94	0.63	0.94	0.58
		$\sigma$	0.11	0.35	0.06	0.38
3	One-sided shotcrete	$\mu$	0.64	0.58	0.67	0.63
		$\sigma$	0.25	0.37	0.28	0.22
	Unretrofitted	$\mu$	0.97	0.61	0.94	0.59
		$\sigma$	0.08	0.12	0.09	0.11
4	One-sided shotcrete	$\mu$	0.63	0.72	0.77	0.69
		$\sigma$	0.20	0.26	0.21	0.20
	Unretrofitted	$\mu$	1.01	0.50	0.9	0.60
		$\sigma$	0.01	0.36	0.07	0.14
5	One-sided shotcrete	$\mu$	0.47	0.70	0.53	0.73
		$\sigma$	0.24	0.03	0.27	0.23
	Unretrofitted	$\mu$	0.83	0.75	0.81	1.03
		$\sigma$	0.24	0.17	0.23	0.01

Table 4. Average and SD of DCR of the walls (Flexible diaphragm w/o ties)

جدول ۵. درصد دیوارهای آسیب پذیر برحسب طول نسبی برای تمامی مدارس آجری مورد بررسی (حالت سقف صلب دارای کلاف).

Building	URM wall	2 <sup>nd</sup> story		1 <sup>st</sup> story	
		Transverse	Transverse	Longitudinal	Transverse
1	Double-	25	10	31	0
	One-	0	9	0	35
	Unretrofi	33	26	0	9
	Sum	58	45	31	44
2	Double-	34	9	26	7
	One-	16	16	9	8
	Unretrofi	23	8	3	0
	Sum	73	33	38	15
3	Double-	21	0	42	0
	One-	0	23	0	7
	Unretrofi	31	13	25	5
	Sum	52	36	67	12
4	Double-	9	0	40	0
	One-	13	17	0	0
	Unretrofi	43	0	10	0
	Sum	65	17	50	0
5	Double-	25	17	31	9
	One-	27	7	28	0
	Unretrofi	15	35	37	6
	Sum	67	59	96	15

Table 5. Percentage of the vulnerable walls (Rigid diaphragm with ties)

شکل ۵. توزیع تنش های اصلی بیشینه در دیوارهای خارجی مدرسه آجری ۱ در حالت سقف صلب دارای کلاف.

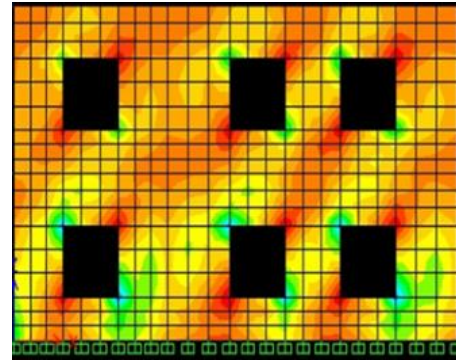


Fig. 5. Contour of the maximum principal stress in a typical external wall of case#1 with RC ties

### ۱-۵-۱- ارزیابی بهسازی لرزه ای

#### ۱-۲-۵- نشریه سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس

برای پنج مدرسه آجری غیرمسلح دو طبقه در حالت سقف انعطاف پذیر فاقد کلاف، در جدول (۴) میانگین و انحراف معیار DCR دیوارهای بهسازی شده و بهسازی نشده آورده شده است. با توجه به نتایج ارائه شده، برای تمامی پلان های مورد بررسی، بهسازی براساس این دستورالعمل در حالت سقف انعطاف پذیر فاقد کلاف، موثر می باشد؛ زیرا نسبت نیاز به ظرفیت (DCR) در تمامی دیوارهای بهسازی شده و بهسازی نشده کمتر از مقدار  $1/0.5$  می باشد؛ اما در تمامی پلان ها، در حالت سقف صلب دارای کلاف که براساس لزوم دستورالعمل سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس بهسازی لرزه ای شده اند، در درصد بالایی از دیوارهای مصالح بنایی غیرمسلح که با روش شاتکریت یک طرفه یا دوطرفه بهسازی لرزه ای می شوند، مشاهده می شود همچنان نسبت نیاز به ظرفیت (DCR)، بزرگتر از مقدار  $1/0.5$  می باشد و این بدان معناست که همچنان آسیب پذیر هستند. همچنین این وضعیت در دیوارهای بهسازی نشده نیز مشاهده می شود. جدول (۵) درصد دیوارهای آسیب پذیر برحسب طول نسبی برای هر پلان را ارائه می دهد. این نتایج بیانگر این موضوع است که بهسازی بر اساس الزامات این دستورالعمل در حالت سقف صلب دارای کلاف، موثر واقع نشده است زیرا هنوز درصدی از دیوارها، اعم از بهسازی شده و بهسازی نشده همچنان آسیب پذیر هستند.

جدول ۷. متوسط میانگین و انحراف معیار DCR دیوارهای تمامی مدارس آجری مورد بررسی (حالت سقف صلب دارای کلاف).

URM wall	Average and STD V	2 <sup>nd</sup> story		1 <sup>st</sup> story	
		Longitudinal	Transverse	Longitudinal	Transverse
Double-sided shotcrete	$\mu$	0.32	0.31	0.19	0
	$\sigma$	0.06	0.04	0.01	0
One-sided shotcrete	$\mu$	0.63	0.75	0.62	0.44
	$\sigma$	0.22	0.25	0.11	0.08
Unretrofitted	$\mu$	0.59	0.35	0.7	0.63
	$\sigma$	0.12	0.19	0.17	0.18

Table 7. Average and SD of DCR of the walls (Rigid diaphragm with ties)

### ۳-۵- مقایسه نتایج دو طرح بهسازی لرزه‌ای

با توجه به اینکه ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای برای پنج مدرسه آجری غیرمسلح دو طبقه، یکبار براساس نشریه سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس و بار دیگر براساس نشریه ۳۶۰ انجام گرفته، به مقایسه طول نسبی دیوارهای شاتکریت شده براساس این دو طرح پرداخته می‌شود. در اشکال (۶ و ۷) میانگین طول نسبی دیوارهای شاتکریت شده بر اساس این دو طرح ارائه شده است. همانگونه که در نمودارهای ارائه شده قابل مشاهده است، در طرح بهسازی براساس دستورالعمل سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس در حالت سقف صلب دارای کلاف، طول نسبی دیوارهای شاتکریت شده در مقایسه با طرح بهسازی براساس ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای، بیشتر می‌باشد؛ اما همانگونه که در بخش (۵-۲-۱) اشاره شد، همچنان درصد قابل ملاحظه‌ای از دیوارهای مصالح بنایی اعم از بهسازی شده و بهسازی نشده در طرح بهسازی براساس دستورالعمل سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس کشور، آسیب‌پذیر هستند. علت این امر، آن است که در طرح بهسازی براساس دستورالعمل سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس، دیوارهای آسیب‌پذیر شناسایی شده براساس نشریه ۳۶۰، در اولویت برای بهسازی قرار نمی‌گیرند، بلکه دیوارهایی با طول زیاد در راستای طولی خصوصاً دیوارهای داخلی در اولویت بهسازی قرار دارند؛ در حالیکه براساس ارزیابی آسیب-

### ۲-۲-۵- براساس ارزیابی آسیب‌پذیری نشریه ۳۶۰

علاوه بر بهسازی لرزه‌ای براساس دستورالعمل سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس، بهسازی براساس ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای صورت گرفته براساس نشریه ۳۶۰ نیز انجام شده است. در واقع دیوارهایی که براساس نشریه ۳۶۰ آسیب‌پذیر (DCR) بزرگتر از مقدار (۱/۰۵) شناسایی شده‌اند، مورد بهسازی قرار گرفته‌اند؛ سپس دیوارهایی مقاوم‌سازی شدند که باعث شوند نسبت نیاز به ظرفیت (DCR) در دیوارهای بهسازی شده و بهسازی نشده کمتر از مقدار ۱/۰۵ شود. در جدول (۶)، مقادیر متوسط میانگین و انحراف معیار DCR دیوارهای بنایی بهسازی شده و بهسازی نشده برای پنج مدرسه آجری غیرمسلح دو طبقه مورد بررسی در حالت سقف انعطاف‌پذیر فاقد کلاف و در جدول (۷) برای حالت سقف صلب دارای کلاف ذکر شده است.

براساس جداول ارائه شده، مقدار DCR در تمامی دیوارهای مصالح بنایی اعم از بهسازی شده و بهسازی نشده کمتر از ۱/۰۵ می‌باشد، بنابراین، ساختمان بهسازی شده مورد نظر در نهایت آسیب‌پذیر نبوده و طرح بهسازی براساس ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای در هر دو حالت، موثر می‌باشد.

جدول ۶. متوسط میانگین و انحراف معیار DCR دیوارهای تمامی مدارس آجری مورد بررسی (حالت سقف انعطاف‌پذیر فاقد کلاف).

URM wall	Average and STD V	2 <sup>nd</sup> story		1 <sup>st</sup> story	
		Longitudinal	Transverse	Longitudinal	Transverse
Double-sided shotcrete	$\mu$	0.140	0.250	0.320	0.250
	$\sigma$	0.057	0.022	0.077	0.035
One-sided shotcrete	$\mu$	0.636	0.640	0.730	0.630
	$\sigma$	0.238	0.286	0.248	0.204
Unretrofitted	$\mu$	0.840	0.450	0.640	0.710
	$\sigma$	0.126	0.051	0.172	0.160

Table 6. Average and SD of DCR of the walls (Flexible diaphragm w/o ties)

## ۶- بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش به منظور راستی‌آزمایی دستورالعمل سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس کشور که برای ارائه طرح تیپ بهسازی لرزه‌ای مدارس آجری غیرمسلح دو طبقه با روش شاتکریت می‌باشد، پنج مدرسه آجری غیرمسلح دو طبقه در شهر تهران با خاک نوع دو در نظر گرفته شده است. تمامی این مدارس براساس نشریه ۳۶۰، در دو حالت سقف انعطاف پذیر فاقد کلاف و سقف صلب دارای کلاف مورد ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای قرار گرفتند و دیوارهایی که نسبت نیاز به ظرفیت (DCR) در آنها بزرگتر از مقدار ۱/۰۵ بود، آسیب‌پذیر در نظر گرفته شدند. در تمامی این مدارس در حالت سقف انعطاف‌پذیر فاقد کلاف، بیشترین میزان آسیب‌پذیری در دیوارها و در حالت سقف صلب دارای کلاف، کمترین میزان آسیب‌پذیری مشاهده می‌شود. در دو حالت مدنظر در تمامی پلان‌ها، میزان آسیب‌پذیری دیوارها در هر دو راستای طولی و عرضی در طبقه اول، نسبت به طبقه همکف بیشتر بوده و در راستای طولی، دیوارهای خارجی دارای بازشو، در زمره آسیب‌پذیرترین دیوارها بود. تمامی این پنج مدرسه در دو حالت مدنظر، یکبار براساس نکات دستورالعمل سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس برای شتاب طیفی برابر 1g (AB) بر اساس استاندارد (۲۸۰۰) و یکبار براساس ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای صورت گرفته براساس نشریه ۳۶۰ مورد بهسازی لرزه‌ای با روش شاتکریت قرار گرفتند. در حالت سقف انعطاف‌پذیر فاقد کلاف، بهسازی براساس دستورالعمل سازمان نوسازی مدارس، منجر به آسیب‌پذیری حداقلی دیوارهای می‌شود. در حالت سقف صلب دارای کلاف، بهسازی براساس این دستورالعمل، منجر به ایجاد نسبت نیاز به ظرفیت (DCR) بزرگتر از مقدار ۱/۰۵ در درصد بالایی از دیوارهای بهسازی شده و بهسازی نشده می‌شود؛ اما در بهسازی لرزه‌ای انجام گرفته براساس ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای نشریه ۳۶۰، برای حالت سقف انعطاف‌پذیر فاقد کلاف و سقف صلب دارای کلاف، ابتدا دیوارهای آسیب‌پذیر بهسازی می‌شوند و سپس دیوارهایی مورد بهسازی قرار می‌گیرند که باعث شود عملکرد سازه در برابر بار جانبی بهبود یافته و نسبت نیاز به ظرفیت در

پذیری لرزه‌ای انجام گرفته براساس نشریه ۳۶۰، دیوارهای خارجی دارای بازشو و دیوارهای با طول کم در راستای طولی در هر دو حالت مدنظر، در زمره آسیب‌پذیرترین دیوارها بوده که باید برای بهسازی لرزه‌ای در اولویت قرار گیرند. همچنین لزوم دستورالعمل سازمان نوسازی، توسعه و تجهیز مدارس طول نسبی بیشتری از دیوارهای طبقه همکف در مقایسه با دیوارهای طبقه اول با روش شاتکریت بهسازی می‌شود؛ اما در ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای مدارس که نتایج آن در بند (۵-۱) ارائه شده است، مشخص شد که درصد آسیب‌پذیری دیوارهای طبقه اول نسبت به طبقه همکف در هر دو راستا بیشتر بوده و برای بهسازی لرزه‌ای باید مورد توجه قرار گیرند.

شکل ۶. میانگین طول نسبی دیوارهای شاتکریت شده تمامی مدارس آجری (حالت سقف انعطاف‌پذیر فاقد کلاف).

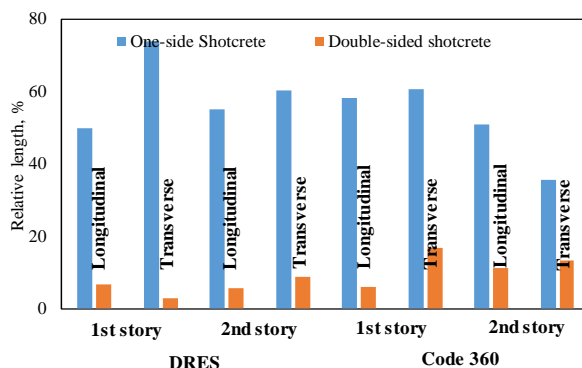


Fig. 6. Average of the retrofitted walls relative length (Flexible diaphragm w/o ties)

شکل ۷. میانگین طول نسبی دیوارهای شاتکریت شده تمامی مدارس آجری (حالت سقف صلب دارای کلاف).

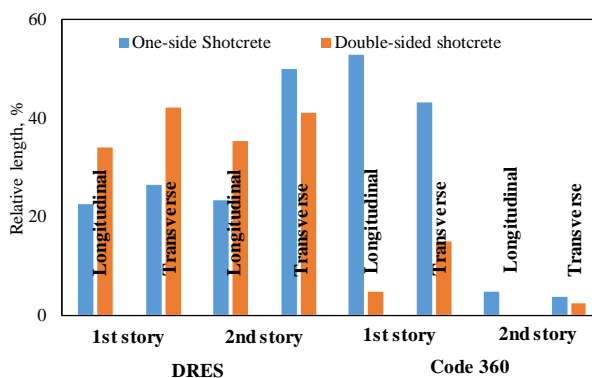


Fig. 7. Average of the retrofitted walls relative length (Rigid diaphragm with ties)

- [11] Lin YW, Wotherspoon L, Scott A, Ingham JM. 2014 In-plane strengthening of clay brick unreinforced masonry wallettes using ECC shotcrete. *Engineering Structures*, 6, 57-65.
- [12] Shabdin M., Attari N.K.A. and Zargar M. 2018 Experimental study on seismic behavior of Un-Reinforced Masonry (URM) brick walls strengthened with shotcrete. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16, 3931-3956.
- [13] Shabdin M., Attari N.K.A. and Zargar M. (2019) Experimental study on seismic behavior of Unreinforced Masonry (URM) brick walls strengthened in the boundaries with shotcrete, *Journal of Earthquake Engineering*, 25(7), 1381-1407.
- [14] Yekrangnia M, Bakhshi A, Ghannad MA, Panahi M (2020) Risk assessment of confined masonry buildings; A case study: School buildings in Tehran. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19(2), 1079-1120.
- [15] Ghiassi B, Soltani M, Ali Tasnimi A. 2012 Seismic evaluation of masonry structures strengthened with reinforced concrete layers. *Journal of Structural Engineering*, 138(6).
- [16] ASCE 41-13, 2013 Publication Anticipated Seismic Evaluation and Upgrade of Existing Buildings, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia. Public Comment Edition available through the American Society of Civil Engineers.
- [17] Ghezelbash A., Beyer K., Dolatshahi K.M., Yekrangnia M. 2020 Shake table test of a masonry building retrofitted with shotcrete. *Engineering Structures*, 219, 110912.
- [18] Farahani EM, Yekrangnia M, Rezaie M, Bento R. 2021 Seismic behavior of masonry walls retrofitted by centercore technique: A numerical study. *Construction and Building Material*, 267.
- [19] Lew HS 2003 Analysis procedures for progressive collapse of buildings. *Building and Fire Research Laboratory*, NIST, Gaithersburg, MD.
- [20] Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings, Standard No. 2800, the 4th edition, 2014.
- [21] Iranian national building code (INBC), part 6: Design loads for buildings, ministry of housing and urban development", Tehran, Iran; 2013.

دیوارهای بهسازی شده و بهسازی نشده کمتر از مقدار ۱/۰۵ می‌باشد که این امر در نهایت کاهش درصد دیوارهای آسیب‌پذیر را به همراه خواهد داشت.

## مراجع

- [1] Regulation for Seismic Retrofit of Masonry School Buildings 2012 Organization for Development, Renovation and Equipping Schools of IR. Iran (DRES) (in Persian).
- [2] Instruction for Seismic Optimization of the Buildings (Code No. 360) 2006, the Iranian Organization of Management and Planning.
- [3] <http://www.iiees.ac.ir>
- [4] [www.dres.ir](http://www.dres.ir)
- [5] Abrams D.P., Moghadam A.S., Bozorgnia Y., Yekrangnia M. 2015 Seismic Retrofit of School Buildings in Iran. *12th North American Masonry Conference*, May 17-20, Denver, Colorado, USA.
- [6] Kumar PR, Srikanth K. 2008 Mechanical characteristics of fiber reinforced self compacting mortars. *Asian Journal of Civil Engineering*, 9(6), 647-657.
- [7] Thomas A 2008 Sprayed concrete lined tunnels. CRC Press.
- [8] Bagherpour R. 1999 Comparison of the shotcrete by steel mesh and fibers in underground excavation in Karoon 3, MSc. Dissertation, Amirkabor University of technology (in Persian).
- [9] Raissi M., Yaghubi A., Yekrangnia M. 2014 Seismic Retrofit of single-story URM buildings with peripheral shotcrete method, *The 8th National Congress on Civil Engineering*, May 7-8, 2014, Babol, Iran (in Persian).
- [10] ElGawady M., Lestuzzi P., Badoux M. 2006, Retrofitting of masonry walls using shotcrete, *NZSEE Conference*.



## Verification of Typical Retrofit Scheme for Two-Story URM School Buildings Retrofitted by Shotcrete Method

Mohammad Yekrangnia<sup>1\*</sup>, Ali Mahmoudi<sup>2</sup>

1- Associate Professor, Department of Civil Engineering. Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

2- MSc. Graduate, Department of Civil Engineering. Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran

Email: yekrangnia@sru.ac.ir

### Abstract

Unreinforced masonry buildings are quite popular in many countries such as Iran, even though they are prone to significant damage against even moderate seismic excitations. In 2003, 26000 people lost their lives and 30000 were injured in southeastern Iran during Bam earthquake. The regional investigations showed an almost total overall collapse of all adobe and masonry buildings. Even to this day, notable number of buildings in Iran is masonry buildings due to low costs, especially in rural areas. Hence, the popularity despite the poor performance has sought researchers to study efficient ways to improve the URM buildings. Generally speaking, masonry buildings are classified into unreinforced and reinforced; the latter usually benefit from horizontal and vertical steel bars which significantly improve strength, ductility and energy dissipation capacity of such walls. Masonry buildings can also be categorized as confined and unconfined. Using horizontal and/or vertical ties usually in the form of lightly reinforced concrete members at the perimeter of walls, their intersection with perpendicular walls and if necessary, around large openings can considerably enhance their ductility and in some cases their strength. Unlike other masonry construction types, the behavior of Confined unreinforced Masonry (referred to CM hereafter) buildings has not yet been fully formulated. This is mainly because of more sophisticated behavioral characteristics of CM walls compared to unconfined Unreinforced Masonry (referred to URM hereafter) buildings. CM is the only masonry system that has been allowed practicing by the Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings (Standard 2800) in seismic-prone areas. When it comes to seismic retrofitting of masonry buildings, there are a rather wide variety of available options, e.g. shotcrete, adding steel or FRP sheets on the wall, adding Reinforced Concrete (RC) ties, changing the arrangement and size of the openings, and using Near Surface Mounted (NSM) rods on the walls. Considering the significant number of two-story URM school buildings in Iran, there is a need to provide instructions for the type of improvement plan of these buildings. In response to this need, the Organization of Renovation, Development and Equipping of Schools of Iran developed a guideline for the purpose of typifying the improvement plan of these buildings with the shotcrete method in 2021. In this research, based on the results obtained from five two-story URM schools, the accuracy of this guideline is evaluated. For this purpose, the investigated buildings in the two cases of flexible roof without ties and rigid roof with ties in ETABS software using shell elements and spectral dynamic analysis method, once based on the requirements of the guideline and once based on the Code 360 was evaluated and retrofitted using Shotcrete. The results of this research show that the guideline in the case of flexible roofs leads to minimum vulnerability of the walls of the studied buildings. In the case of a rigid roof, the results show that according to this guideline, some of improved and unimproved walls are vulnerable in both direction; In such a way that the average percentage of vulnerable walls in terms of relative length for the first floor is 63% in the longitudinal direction and 38% in the transverse direction, and for the ground floor in the longitudinal direction is 56% and in the transverse direction is 17%.

**Keywords:** Two-story URM school buildings, Seismic retrofit, Shotcrete, DRES guideline, Code 360.