



اثر دیوار پرکنندهی آجری بر رفتار لرزه‌ای سازه‌ها

محمد رضا تابش‌پور

استادیار، دانشکده فنی، دانشگاه تربیت معلم سبزوار، tabeshpour@yahoo.com

چکیده

در این مقاله تجربیات موجود در زمینه‌ی اثرات دیوار پرکنندهی آجری بر رفتار لرزه‌ای سازه‌ها حاصل از زلزله‌های قبلی، مدل‌های آزمایشگاهی و مدل‌های کامپیوتری ارائه شده است. این تجربیات در تدوین ضوابط آیین‌نامه مورد استفاده قرار می‌گیرد. اثرات مثبت و منفی دیوار پرکننده در بخش‌های عمده‌ی آیین‌نامه نمود دارد.

کلیدواژه‌ها: دیوار پرکنندهی آجری، رفتار لرزه‌ای سازه‌ها

۱- مقدمه

با دقت در مودهای شکست سازه‌های دارای دیوار پرکنندهی آجری، می‌توان دریافت که دیوار پرکننده دارای اثرات شدید مثبت و منفی است. چه‌بسا سازه‌هایی که از نظر اسکلت، وضعیت خوبی دارند ولی به‌علت عدم توجه به دیوارهای پرکننده در فرایند طراحی، آسیب جدی دیده‌اند. مهمترین اثرات منفی دیوارهای آجری در سازه‌ها عبارتند از:

الف) شکست طبقه‌ی نرم (نامنظمی در ارتفاع)

ب) پیچش (نامنظمی در پلان)

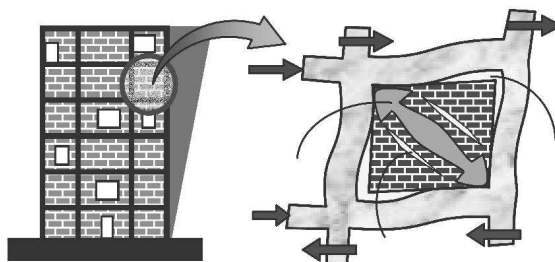
ج) ستون کوتاه (سازه‌های بتنی)

به‌علت سختی و مقاومت قابل‌ملاحظه دیوارهای پرکننده، وجود دیوارها ممکن است باعث نامنظمی شدید در سختی و مقاومت در ارتفاع و پلان شود. اثرات مختلف دیوار پرکنندهی آجری مطابق جدول (۱) است.

چه‌بسا سازه‌هایی که از نظر طراحی اسکلت شرایط قابل‌قبولی برای زلزله‌ای که رخ داده است، نداشته‌اند ولی به‌علت اثرات مثبت افزایش سختی و مقاومت دیوارهای پرکننده (و عدم ایجاد نامنظمی در ارتفاع و پلان) ساختمان، رفتار بسیار مناسبی از خود نشان داده است. به‌این‌ترتیب در زلزله‌های گذشته برخی از ساختمان‌ها که توسط مهندسان، طراحی و اجرا شده‌اند، به‌علت عدم توجه به اثرات منفی دیوارها، آسیب جدی دیده‌اند ولی برخی از سازه‌ها که توسط افراد غیرمتخصص ساخته شده است به‌علت اثرات مثبت دیوارها، کاملاً پایدار مانده‌اند.

۲- مدل سازه‌ای دیوار پرکنندهی آجری

رفتار ترکیبی دیوار پرکننده و قاب سازه‌ای طوری است که می‌توان دیوار را مطابق شکل (۱) به‌صورت عضو میله‌ای فشاری مدل‌سازی کرد.



شکل ۱- رفتار ترکیبی دیوار و قاب



جدول ۱- اثرات مثبت و منفی دیوار پرکننده‌ی آجری

اثرات وجود دیوار پرکننده در قاب فولادی یا بتنی		
ردیف	اثرات منفی	اثرات مثبت
۱	نامنظمی سختی در ارتفاع (طبقه‌ی نرم)	افزایش سختی و کاهش تغییرمکان
۲	نامنظمی مقاومت در ارتفاع (طبقه‌ی ضعیف)	افزایش مقاومت
۳	نامنظمی سختی در پلان (پیچش)	کاهش شکل‌پذیری نیاز
۴	توزیع نامناسب نیرو بین ستون‌های یک قاب بتنی (ستون کوتاه بتنی)	بالا آمدن تراز پایه در شرایط خاص
۵	توزیع نامناسب نیرو در پلان (ستون کوتاه فولادی)	شکست برشی شکل‌پذیر در ستون کوتاه فولادی
۶	افزایش نیروی طراحی به‌علت کاهش پریود	طرح قاب برای نیروی جانبی اندک
۷	افزایش نیروی طراحی به‌علت کاهش ضریب رفتار سیستم توأم	ایجاد سیستم دوگانه با کنش محوری قاب

به‌این ترتیب می‌توان دیوارهای پرکننده را با بادبندهای فشاری معادل، مدل‌سازی کرد. وجود دیوارهای پرکننده باعث می‌شود که رفتار سازه‌ای از کنش خمشی به کنش محوری تبدیل شود.

مزایای تبدیل کنش خمشی به کنش محوری:

- سهم اندک قاب در باربری جانبی و کفایت طرح آن برای بار ثقلی (به‌علاوه اندکی از بار جانبی).
- محدود شدن تغییرشکل‌های جانبی
- معایب تبدیل کنش خمشی به کنش محوری:
- افزایش نیروی محوری در ستون و پی
- ایجاد برش‌های متمرکز در بالا و پایین ستون
- ایجاد برش‌های متمرکز در ابتدا و انتهای تیر
- ایجاد برش‌های بزرگ در روی پی

۳- اندرکنش بین قاب و دیوار پرکننده‌ی آجری

مطابق شکل (۲) مشاهده می‌شود که حتی در صورت وجود دیوار پرکننده با بلوک سفالی غیرضخیم نیز در ستون شکست برشی شدید ایجاد می‌شود.

۴- دیوار بنایی محصور شده (دارای کلاف)

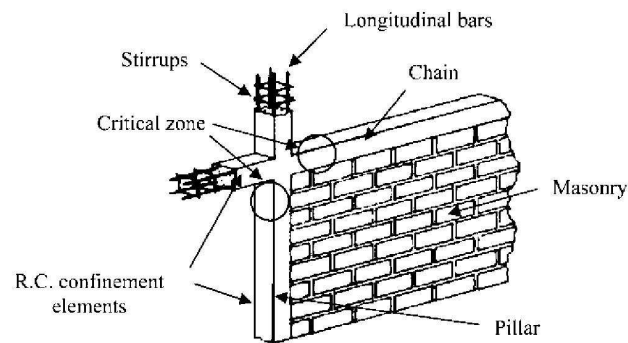
یک نوع متداول از دیوار آجری پرکننده عبارت‌است از دیوار در سازه‌های آجری غیرمسلح کلاف‌دار مانند شکل (۳) که اصطلاحاً به آن‌ها سازه‌ی آجری محصور شده (Confined Masonry) می‌گویند. این نوع دیوار از نظر رفتار لرزه‌ای و مدل‌سازی سازه‌ای بسیار شبیه به دیوار پرکننده‌ی آجری در قاب سازه‌ای هستند. به‌این ترتیب که کلاف‌های قائم نه از نقطه نظر باربری بلکه از نقطه نظر رفتار لرزه‌ای مانند ستون عمل کرده و دیوارهای آجری باربر نیز به‌صورت دیوار



پرکننده (محصور بین کلافها) عمل می کنند. در نتیجه به علت اندرکنش بین دیوار و کلافها، تقریباً در زلزله های شدید، تعداد زیادی شکست در کلافها (به ویژه در کلافهای قائم بتنی) مشاهده می شود. دو نمونه از این شکستها در شکل های (۴) و (۵) آورده شده است.



شکل ۲- شکست برشی ستون بتنی به علت تقابل با دیوار پرکننده ی آجری با بلوک سفالی غیرضخیم



شکل ۳- دیوار آجری غیرمسلح محصور شده توسط کلاف (در این حالت نیز دیوار مانند دستک قطری عمل می کند).



شکل ۴- شکست برشی کلاف قائم در دیوار آجری محصور شده



شکل ۵- شکست کلاف قائم بتنی به علت اندرکنش در دیوار

دلایل شکست فوق عبارتند از:

- فاصله‌ی زیاد بین خاموت‌های کلاف قائم (که منجر به شکست برشی شده است).
- کیفیت نامناسب بتن که شدیداً خرد شده است.
- عدم اتصال مناسب بین کلاف قائم بتنی و کلاف افقی.

در ادامه، مکانیزم‌های مختلف شکست دیوار پرکننده ارائه خواهد شد. یکی از این مکانیزم‌ها وقوع ترک ضربدری قطری در دیوار است. نمونه‌ای از چنین شکستی به همراه آسیب مختصر در بالا و پایین ستون‌ها به علت اندرکنش با دیوار در شکل (۶) مشاهده می‌شود.



شکل ۶- ترک قطری دیوار پرکننده و آسیب قسمت فوقانی ستون

۵- شکست طبقه‌ی نرم (یا ضعیف)

یکی از دلایل مهم شکست ساختمان‌ها در هنگام زلزله، انقطاع سیستم باربر جانبی نظیر بادبند یا دیوار برشی و دیوار پرکننده‌ی آجری در طبقه‌ی هم‌کف است. بنابراین طبقه‌ی هم‌کف به صورت نرم عمل می‌کند. در این حالت ستون‌ها تحت تغییرشکل‌های بزرگی قرار گرفته و معمولاً در آن‌ها مفاصل پلاستیک در نقاط بالایی و پایینی به وجود می‌آید. این حالت به اسم مکانیزم طبقه (جابه‌جایی نسبی شدید طبقه) نامیده می‌شود. معمولاً در این حالت، ساختمان فروریخته یا تا آستانه‌ی فروریزش پیش می‌رود. طبقات فوقانی دارای دیوارهای پرکننده‌ی زیادی است و در نتیجه سختی آن طبقات



در مقایسه با طبقه‌ی زیرین، بیشتر است. در شکل (۷) نمونه‌ای از شکست طبقه‌ی نرم مشاهده می‌شود. در طبقات فوقانی برخی از دیوارهای آجری پرکننده دارای بازشوهای بزرگی هستند. با وجود این، به علت افزایش سختی طبقات فوقانی، در طبقه‌ی اول، شکست طبقه‌ی نرم رخ داده است. توجه شود که شکست طبقه‌ی نرم به ایجاد مفصل پلاستیک در بالا و پایین ستون‌های آن طبقه مربوط است.



شکل ۷- تغییر شکل ناشی از طبقه‌ی نرم

شکست طبقه‌ی نرم ممکن است مطابق شکل‌های فوق به صورت تغییر شکل‌های جانبی ماندگار باشد و یا مطابق شکل‌های (۸) و (۹) منجر به انهدام کامل طبقه شود.



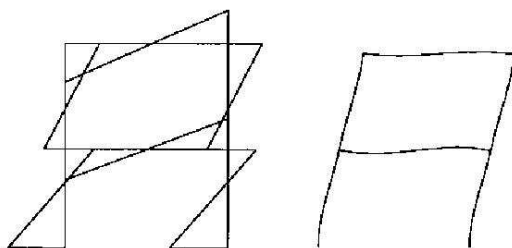
شکل ۸- قسمت بالای ساختمان که دارای مهاربند است، بر روی طبقه‌ی هم کف خوابیده است.



شکل ۹- انهدام کامل طبقه‌ی نرم

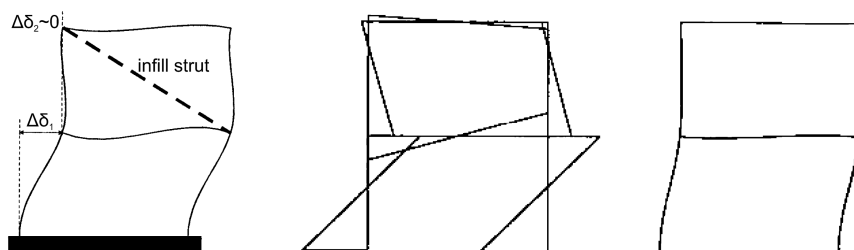


برای درک بهتر پدیده‌ی طبقه‌ی نرم، توزیع ممان و شکل تغییرشکل جانبی قاب دو طبقه مورد بررسی قرار می‌گیرد. در شکل (۱۰) هندسه‌ی تغییرشکل یافته‌ی قاب خمشی دو طبقه به‌همراه دیاگرام ممان خمشی برای تیرها و ستون‌ها در حالت بدون وجود دیوار پرکننده‌ی آجری ارائه شده است.



شکل ۱۰- تغییرشکل و توزیع ممان خمشی در قاب بدون دیوار پرکننده

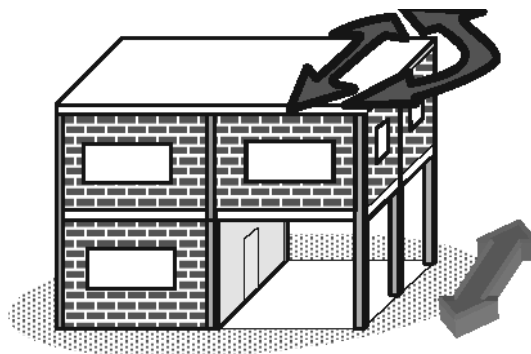
در صورت وجود دیوار پرکننده‌ی آجری در طبقه‌ی دوم، تغییرشکل جانبی نسبی این طبقه شدیداً کاهش می‌یابد و نیز توزیع ممان به‌صورت شکل (۱۱) در می‌آید.



شکل ۱۱- تغییرشکل و توزیع ممان خمشی در قاب دارای دیوار پرکننده در طبقه دوم
ملاحظه می‌شود که تغییرشکل و ممان طبقه بدون دیوار بسیار زیاد است.

۶- شکست پیچشی

یکی دیگر از نکات بسیار مهم در خصوص دیوارهای پرکننده‌ی آجری، چیدمان آن‌ها در پلان است. در صورت چیدمان نامتقارن دیوارهای پرکننده‌ی آجری در پلان، فاصله‌ی بین مرکز جرم تا مرکز سختی، افزایش می‌یابد و منجر به پیچش شدیدی تحت بار جانبی می‌شود. به‌عنوان مثال، ممکن است رفتار پیچشی رخ دهد. همچنین ممکن است مطابق شکل‌های (۱۲) پیچش و طبقه‌ی نرم به‌طور همزمان رخ دهد. معمولاً در این حالت شکست طبقه به‌صورت انهدام کامل است.

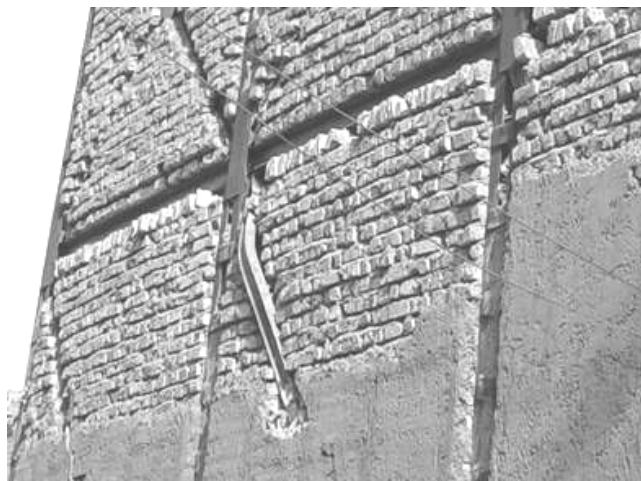


شکل ۱۲- ترکیب طبقه‌ی نرم و پیچش



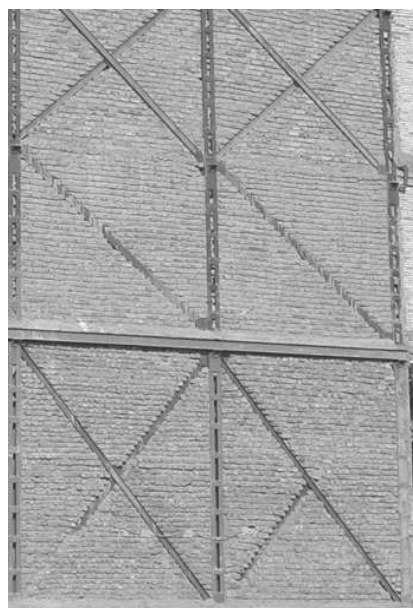
۷- تأثیر دیوار پرکننده آجری در سازه‌های فولادی دارای بادبند

یکی از نکات مهم در خصوص دیوار پرکننده در قاب‌های فولادی دارای بادبند، مشارکت دیوار پرکننده‌ی آجری در تحمل نیروی محوری فشاری است. به این ترتیب که بادبند کششی به خوبی نیروی کششی را تحمل می‌کند ولی ضعف مقاومت فشاری بادبند فشاری را دیوار آجری جبران می‌کند. به این ترتیب حتی در صورت ضعیف بودن بادبندها، البته به شرط وجود اتصالات مناسب، باز هم بادبند مطابق شکل (۱۳) رفتار مطلوبی خواهد داشت.



شکل ۱۳- کمانش فشاری ستون که به علت مشارکت دیوار در تحمل فشار، شکست مطلوبی رخ داده است.

در خصوص ترکیب دیوارهای پرکننده‌ی آجری با قاب‌های فولادی بادبندی شده باید به تحمل فشاری دیوارها توجه شود. در این صورت طراحی بادبندها به طور صحیح تر و اقتصادی تری انجام می‌شود. به عنوان مثال می‌توان گفت که قسمتی از بادبندهای موجود در شکل (۱۴)، مورد نیاز نبوده است.



شکل ۱۴- ترکیب مقاومت کششی بادبند فولادی و مقاومت فشاری دیوار پرکننده‌ی آجری، وجود بادبندهای زیاد به علت عدم توجه به تحمل فشاری دیوارهای پرکننده‌ی آجری



۸- شکست ستون کوتاه

یکی از نکات مهم در رفتار لرزه‌ای سازه‌ها توجه به پدیده‌ی ستون کوتاه است. این پدیده می‌تواند باعث نامنظمی شدید در توزیع نیرو در ستون‌های طبقه شده و همچنین ممکن است منجر به پیچش شود. در مورد ستون‌های بتنی به علت جذب نیروی زیاد، ستون در برش شکست شدیدی می‌بیند. با کوتاه شدن یک ستون، سختی آن افزایش می‌یابد و در نتیجه نیروی جانبی بیشتری جذب می‌کند. از آن جاکه این ستون، نمی‌تواند نیروی مورد نظر را تحمل کند، در نیرویی معادل مقاومت خود شکسته می‌شود.

در این جا برای سهولت در بحث، انواع ستون کوتاه به صورت ذیل دسته‌بندی می‌شود:

الف- ستون کنار دیوار کوتاه (نوع ۱)

ب- قسمتی از ستون که در تقابل با دیوار پرکننده با دیوار در تماس است (نوع ۲).

ج- ستون دارای نیروی متمرکز در قسمت میانی مانند نیم‌طبقه و یا راه‌پله (نوع ۳)

در شکل‌های (۱۵) تا (۱۷) شکست ستون کوتاه نشان داده شده است.



شکل ۱۵- شکست ستون کوتاه با وجود دیوار در یک طرف ستون کوتاه



شکل ۱۶- شکست ستون کوتاه در طبقه‌ی زیرزمین



شکل ۱۷- شکست ستون به علت اندرکنش با دیوار پرکننده

در این جا برای تفکیک انواع ستون کوتاه، شکست راهپله به عنوان ستون دارای نیروی متمرکز در قسمت میانی ارائه شده است. برای حل چنین مشکلی می توان از خاموت با فاصله‌ی حداقل در تمام ارتفاع ستون استفاده کرد. در شکل- های (۱۸) و (۱۹) نمونه‌هایی از شکست ستون راهپله مشاهده می‌شود.



شکل ۱۸- شکست ستون راهپله به عنوان نوعی ستون کوتاه



شکل ۱۹- شکست ستون راهپله

منابع

- [۱]. تابش پور، محمدرضا؛ «تفسیر مفهومی کاربردی آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، ویرایش سوم آیین- نامه ۲۸۰۰ (جلد اول: فصل اول آیین نامه)»، انتشارات گنج هنر، تهران، ۱۳۸۶.
- [۲]. تابش پور، محمدرضا؛ «دیوار پرکننده آجری در قاب های سازه ای»، انتشارات فدک ایستاتیس، تهران، ۱۳۸۸.
- [۳]. تابش پور، محمدرضا؛ «بهسازی لرزه ای قاب های سازه ای دارای دیوار پرکننده آجری»، انتشارات فدک ایستاتیس، تهران، ۱۳۸۸.



- [۴]. تابش پور، محمدرضا؛ «الزامات دارای دیوار پرکننده آجری در آیین نامه ۲۸۰۰»، انتشارات فدک ایساتیس، تهران، ۱۳۸۸.
- [۵]. تابش پور، م. ر.، قناد م. ع.، بخشی، ع.، و گل افشانی ع. ا.، « اثر دیوار آجری بر رفتار لرزه ای قاب های بتنی »، اولین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، اردیبهشت ۱۳۸۳.
- [۶]. آئین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله، "استاندارد ۸۴-۲۸۰۰"، ویرایش سوم، تهران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۴.