

راهکاری مناسب برای ملاحظات و جزئیات اجرایی دیوارهای پرکننده و جداکننده برای رفتار لرزه‌ای مطلوب

محمد رضا تابش پور

هیأت علمی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف

tabeshpour@sharif.edu

چکیده

تقریباً در تمامی سازه‌ها دیوار پرکننده آجری دارای سهم عمده‌ای از حجم مصالح است. دیوارهای پرکننده جزء مهم‌ترین قسمت‌های ساختمان هستند که باید در مراحل طراحی و اجرا توجه ویژه‌ای به آن‌ها شود. به علت مجاورت این دیوارها با قاب سازه‌ای، سختی و مقاومت این دیوارها بروز می‌کند. دیوار پرکننده بر اساس نحوه چیدمان ممکن است اثرات مثبت و یا منفی داشته باشد. رفتار درون-صفحه و برون صفحه‌ای دیوارهای پرکننده تأثیر مهمی بر عملکرد لرزه‌ای ساختمان دارد. جلوگیری از شکست برون صفحه دیوار پرکننده تأثیر مهمی در کاهش خسارات و تلفات لرزه ای دارد. در این مقاله مرور نسبتاً کاملی به اثرات مثبت و منفی دیوار پرکننده و ملاحظات و جزئیات اجرایی دیوارهای جداگر به منظور عدم تأثیر بر رفتار سازه و عدم شکست جداگر ارائه شده است.

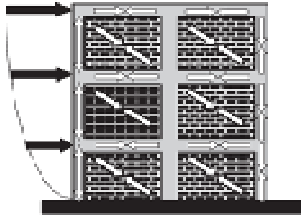
کلمات کلیدی: جداگر (تیغه)، ستون کوتاه، شکست خارج از صفحه، طبقه ی نرم، پانل سبک

۱. مقدمه

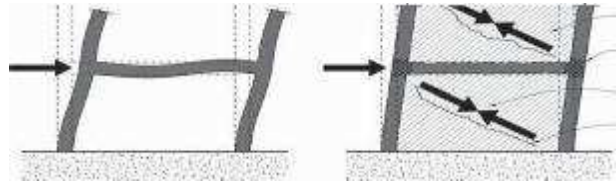
اثرات دیوارهای پرکننده چه با قاب تقابل داشته باشند و چه از قاب جدا باشند جزء مسائل مهم در مهندسی زلزله است. دسته بندی اجزاء به سازه ای و غیرسازه ای و بررسی این که آیا دیوار پرکننده جزء سازه ای به شمار می رود یا جزء غیرسازه ای محسوب می شود در فرایند طراحی و اجرا اهمیت دارد؟ آیا ممکن است شکست یک جزء غیرسازه ای مهم تر از شکست یک جزء سازه ای باشد؟ آیا کاربری ساختمان تأثیری در میزان اهمیت اجزای غیرسازه ای دارد؟ جزئیات اجرایی مناسب (ارزان و عملی و کارآمد) کدام است؟ آیا کنش قوسی (در صورتی که دیوار با قاب تماس داشته باشد) برای جلوگیری از شکست خارج از صفحه دیوار کفایت می کند؟ چند درصد از تیغه های ۱۰ سانتی متری یا نازک تر در زلزله های متوسط و شدید در ایران فرو ریخته اند؟ میزان توسعه و عمق اثرات منفی دیوارهایی که با قاب در تماس بوده اند در انواع زلزله های ایران چقدر است؟ انواع مختلف مصالح که در اجرای دیوارهای پرکننده در ایران به کار می رود چیست؟ در این مقاله ضمن بررسی تفصیلی منافع و مضرات هر یک از دو رویکرد ذکر شده، جزئیات اجرایی مناسبی برای اجرای صحیح دیوارهای جداگر ارائه می شود.

۲. اندرکنش بین دیوار و قاب

در صورت وجود دیوار پرکننده در قاب خمشی، مطابق شکل ۱ رفتار خمشی به کنش محوری تبدیل می شود. در شکل دو سیستم دوگانه قاب و دیوار و تقابل بین آن‌ها نشان داده شده است. وجود دیوارهای پرکننده باعث کاهش جابه جایی ها می شود. ممکن است سختی دیوار چندین برابر قاب باشد وجود دیوار پرکننده مطابق شکل ۱ کنش خمشی را به کنش محوری تبدیل می کند. به علت ایجاد کشش در امتداد قطر در دیوار ترک ضربدری ایجاد می شود در شکل ۳ نمونه ای از این ترک نشان داده شده است. به علت وجود نیروهای متمرکز در بالا و پائین ستون ممکن است شکست هایی در این نقاط ایجاد شود در شکل های ۴ و ۵ نمونه هایی از این شکست ترد مشاهده می شود.



شکل ۲- تقابل دیوار با قاب خمشی و ایجاد سیستم محوری



شکل ۱- قاب خالی رفتار خمشی دارد و قاب دارای دیوار پرکننده به صورت سیستم محوری عمل می کند.

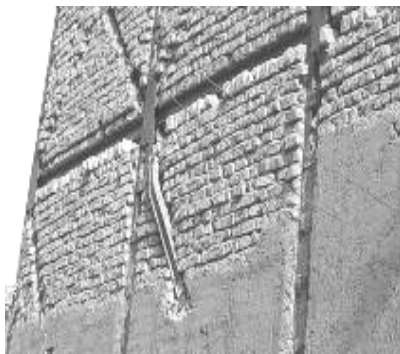


شکل ۴- شکست برشی ستون بتنی به علت تقابل با دیوار پرکنندهی آجری با بلوک سفالی غیرضخیم



شکل ۳- ترک قطری دیوار پرکننده در زلزلهی تایوان (چی چی، ۱۹۹۹).

یکی از نکات مهم در خصوص دیوار پرکننده در قاب های 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 می کند ولی ضعف مقاومت فشاری بادبند فشاری را دیوار آجری جبران می کند. به این ترتیب حتی در صورت ضعیف بودن بادبندها، البته به شرط وجود اتصالات مناسب، باز هم بادبند، مطابق شکل ۶ رفتار مطلوبی خواهد داشت.

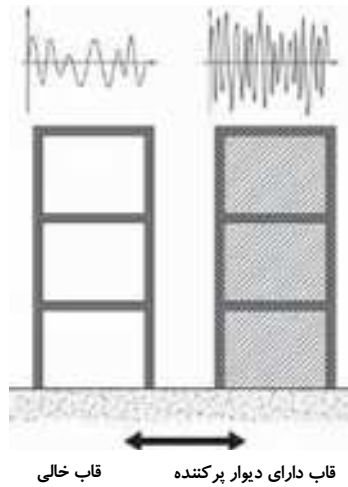


شکل ۶- کماتش فشاری ستون که به علت مشارکت دیوار در تحمل فشار، شکست مطلوبی در زلزلهی بم رخ داده است.



شکل ۵- ایجاد خرابی در ستون به علت اندرکنش با دیوار پرکننده (مکزیکوسیتی، ۱۹۸۵).

یکی از نکات مهم در خصوص اثرات دیوارهای پرکننده در سازه ها، افزایش سختی و کاهش پریود است. این امر منجر به افزایش شتاب و نیروهای اینرسی مطابق شکل ۷ می شود. البته در کنار افزایش نیروهای اینرسی ناشی از زلزله، مقاومت و سختی سازه نیز به علت اثر دیوار افزایش می یابد.



شکل ۷- مقایسه‌ی پاسخ شتاب بام در قاب خالی و قاب دارای دیوار پرکننده. در قاب دارای دیوار پرکننده، پیروید حرکت کمتر از قاب خالی و دامنه‌ی حرکت بیشتر از مقدار متناظر در قاب خالی است.

۳. پیچش

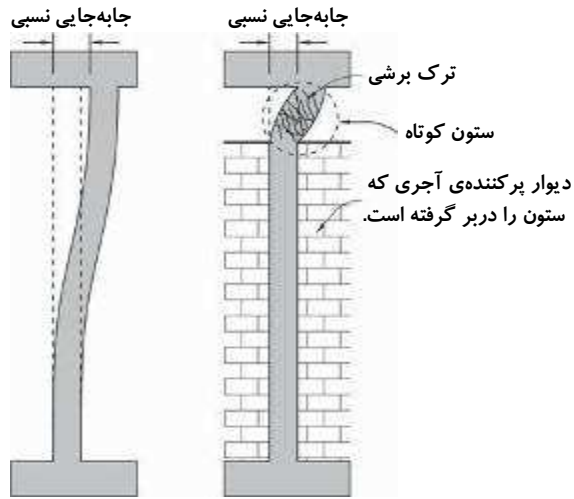
- در شکل ۸ شکست طبقه ی هم کف به علت پیچش مشاهده می شود. این گونه شکست ها ممکن است به علت نامنظمی در سختی به علت چیدمان نامتقارن دیوارها باشد. سه روش برای جلوگیری از این شکست پیچشی وجود دارد:
- الف- جدا کردن دیوار از قاب
 - ب- اجرای دیوار در بیرون قاب و مهار آن به سازه
 - ج- طراحی قاب برای اندرکنش با دیوار و تحمل پیچش ایجاد شده در حالتی که دیوارها به قاب متصل هستند.



شکل ۸- انهدام طبقه‌ی همکف ساختمان بتنی به علت پیچش، (کوبه، ۱۹۹۵)

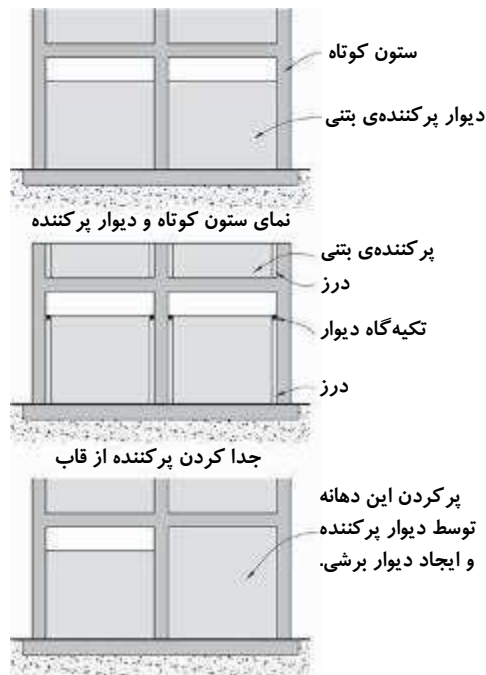
۴. ستون کوتاه

- به علت سختی زیاد ستون کوتاه مطابق شکل ۹ این ستون در مود برشی شکسته می شود. برای حل این مشکل دو روش وجود دارد:
- الف- طول باز شو کوچک شود.
 - ب- دیوار از ستون جدا شود (شکل ۱۰). برای توضیحات بیشتر به شکل ۱۳ دقت شود.



نمای یک ستون بدون دیوار وجود دیوار
نمای ستون در حالت

شکل ۹- مقایسه‌ی بین ستون معمولی و ستون کوتاه در تغییر شکل جانبی.



پر کردن یک دهانه برای ایجاد دیوار برشی

شکل ۱۰- روش‌های جلوگیری از شکست ستون کوتاه در حالت وجود دیوار پرکننده‌ی بتنی.

در صورتی که مطابق شکل ۱۰ یکی از دهانه‌ها کاملاً پر شود، هنوز هم مشکل ستون کوتاه وجود دارد. تعیین کلاف در پیرامون دیوار در شکل ۱۱ باعث تخریب شدید ستون کوتاه شده است. در صورت اجرای دیوار کوتاه و ایجاد ستون کوتاه بتنی باید دیوار از ستون جدا شود.



شکل ۱۲- پتانسیل شکست ستون کوتاه در یک مدرسه



شکل ۱۱- نمونه‌ای از شکست ستون کوتاه

۵. حل مشکلات مربوط به دیوار پرکننده

سه راه برای حل مشکلات مربوط به دیوار پرکننده وجود دارد:

- ۱- افزایش سختی سازه با تعبیه ی دیوار برشی بتن مسلح یا بادبند. (این مورد توسط میکائیل فردیس برای سازه های بتنی در اروپا توصیه شده است) هم چنین در آئین نامه ی اروپا مشخص شده است که اگر دیوارهای پرکننده در پلان ایجاد نامنظمی کرده اند باید مدل سه بعدی ساختمان مورد تحلیل قرار گیرد و ستون های طبقه ی نرم به اندازه ی کافی قوی تر طرح شوند. (برخی موارد ممکن است این ستون ها برای پنج برابر ستون معمولی طرح شوند.
 - ۲- جدا کردن دیوار از قاب. برخی از متخصصان بر این عقیده اند که با توجه به رفتار و عمل کرد ضعیف دیوارهای پرکننده در زلزله های قبلی بهتر است دیوار ها از قاب جدا شوند به عنوان مثال نگرش قالب در کشورهای ژاپن، آمریکا و نیوزیلند جدا کردن دیوار از قاب است. فاصله ی مناسبی بین دیوار و قاب تعبیه می شود این فاصله باید توسط مهندس محاسب تعیین شود. نکته ی مهم در اینجا جلوگیری از شکست خارج از صفحه ی این دیوار (جداگر) است. نکته ی مهم این است که احتمالا در کشور ایران بهتر است به جای رویکرد جدا کردن دیوار از قاب ، یکی از دو رویکرد دیگر استفاده شود.
 - ۳- در نظر گرفتن اندرکنش و تقابل بین قاب و دیوار. در این صورت باید دیوار در مدل سازی و طراحی در نظر گرفته شود. این امر مستلزم بررسی دو نوع اثر می باشد:
 - اثرات محلی: بالا و پائین ستون، ابتدا و انتهای تیر.
 - اثرات کلی: طبقه ی نرم و پیچش.
- هم چنین پدیده ی ستون کوتاه باید به صورت زیر بررسی شود:
- سازه های بتنی: در این سازه ها طراحی ستون کوتاه به منظور تحمل برش بزرگ معمولا امکان پذیر نیست و تقریبا همیشه جز موارد خاص، باید دیوار از ستون جدا شود.
 - سازه های فولادی: معمولا در این نوع سازه ها خود ستون کوتاه دچار آسیب نمی شود ولی به علت افزایش سختی در ستون کوتاه ممکن است طبقه ی نرم رخ دهد یا پیچش بزرگی ایجاد شود. در این مورد نیز باید دیوار از ستون جدا شود.

۶. راه حلی مناسب با استفاده از تکنولوژی بومی ایران

متأسفانه در اکثر قریب به اتفاق سازه‌ها در ایران مسأله برهم کنش قاب با دیوار در نظر گرفته نمی‌شود و پارتیشن‌ها و دیوارها نیز از قاب جدا نمی‌شود. یکی از روش‌های مناسب برای حل این مشکل، استفاده از پانل‌های سبک مشابه محصولی است که توسط شرکتی دانش‌نویان به نام ایزی وال تولید می‌شود. این پانل‌ها به صورت یکپارچه در امتداد ارتفاع اجرا می‌شوند و از آنجا که کامپوزیت و مسلح هستند، و با توجه به روش صحیح اجرا، دارای تکیه گاهی مناسب در بالا و پایین هستند. در شکل ۱۳ شاقول کردن پانل و قرار دادن آن در محل نصب نشان داده شده است. شکل ۱۴ اتصال نبشی ورقی به سقف با کمک میخ برای ایجاد تکیه‌گاه مناسب برای پانل را نشان می‌دهد. در شکل ۱۵ اتصال دو المان پانل بوسیله نوار و رزین مخصوص دیده می‌شود. امکان تقسیم پانل به قطعات مورد نیاز در شکل ۱۶ مشاهده می‌شود. امکان حمل به طبقات در ساختمان‌های بلند نیز به سادگی وجود دارد (شکل ۱۷). در شکل ۱۸ ظاهر مناسب این دیوارها بعد از اجرا دیده می‌شود. یکی از مزایای این نوع دیوار مطابق شکل ۱۹ امکان اجرای تأسیسات بدون آسیب به رفتار پانل است. با توجه به نوع اجرای تکیه‌گاه برای دیوار، برای انواع سازه‌ها مناسب است. در شکل ۲۰ نمونه‌ای از اجرای پانل در سقف فلزی نشان داده شده است. نمونه‌ای از کار اتمام یافته در شکل ۲۱ در ساختمان دارای پانل ایزی‌وال دیده می‌شود.



شکل ۱۴ اتصال نبشی ورقی به سقف با کمک میخ، ایجاد تکیه‌گاه مناسب برای پانل



شکل ۱۳ شاقول کردن پانل، قرار دادن پانل در محل نصب



شکل ۱۶ امکان تقسیم پانل به قطعات مورد نیاز



شکل ۱۵ اتصال دو المان پانل بوسیله نوار و رزین مخصوص



شکل ۱۸ ظاهری مناسب بعد از اجرا



شکل ۱۷ حمل به طبقات در ساختمان‌های بلند



شکل ۲۰ نمونه‌ای از اجرای پانل در سقف فلزی



شکل ۱۹ امکان اجرای تأسیسات بدون آسیب به رفتار پانل



شکل ۲۱ ساختمان دارای پانل ایزی‌وال

۷. نتیجه گیری

با توجه به رفتار لرزه‌ای سازه‌های دارای دیوار پرکننده در زلزله‌های گذشته، می‌توان گفت که دیوارهای پرکننده جزء مهم-ترین قسمت‌های ساختمان هستند و باید در مراحل طراحی و اجرا توجه ویژه‌ای به آن‌ها شود. هرچند از نظر معماری معمولاً دیوارهای بنایی برای جداسازی فضاهای معماری به کار می‌روند اما به علت مجاورت این دیوارها با قاب سازه‌ای، سختی و مقاومت این دیوارها بروز می‌کند. دیوار پرکننده بر اساس نحوه چیدمان ممکن است اثرات مثبت و یا منفی داشته باشد. طبقه نرم و پیچش، ناشی از چیدمان نامتقارن دیوار پرکننده بوده و در زلزله خسارات زیادی وارد می‌کند. شکست ستون کوتاه نیز در سازه‌های بتنی بسیار متداول است. اهمیت شکست ستون کوتاه در این است که عمدتاً قابل تعمیر نیستند و نیز به سادگی قابل پیشگیری است. در این مقاله بر اساس مودهای شکست مربوط به رفتار درون‌صفحه‌ای و برون‌صفحه‌ای دیوارهای پرکننده آجری، جزئیات اجرایی مناسبی برای استفاده از اثرات مثبت و پرهیز از اثرات منفی دیوارهای پرکننده آجری پیشنهاد شد. روش درست طراحی و اجرای تیغه‌های جداکننده (پارتیشن‌ها) جزو موارد چالش برانگیز در جامعه مهندسی عمران بوده است. در برخی از سوله‌ها دیوارهایی مرتفع اجرا شده است که به سادگی تحت زلزله‌های متوسط دچار شکست خارج از صفحه می‌شوند. با اجرای این جزئیات می‌توان از ظرفیت مصالح به کاررفته در ساختمان استفاده بهینه کرد. همچنین به علت شباهت‌های بین سازه بنایی کلاف‌دار با سازه دارای دیوار پرکننده، دستاوردهای حاصل، قابل تعمیم به سازه‌های بنایی کلاف‌دار نیز می‌باشد.

۸. قدردانی

از شرکت بنای رسیس (مبتکر و سازنده محصولات دیوار ایزی‌وال) به خاطر همکاری در ارائه تصاویر آموزشی روش اجرا و نصب پانل ایزی‌وال تشکر می‌شود.

۶. مراجع

- [۱]. آئین‌نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله، "استاندارد ۸۴-۲۸۰۰"، ویرایش سوم، تهران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۸۴.
- [۲]. طرح و اجرای ساختمانهای با مصالح بنایی، مبحث هشتم مقررات ملی ساختمان، ۱۳۸۴.
- [3]. Andrew Charleson, "SEISMIC DESIGN FOR ARCHITECTS", 2008 Elsevier.
- [۴]. تابش پور، محمدرضا؛ «دیوار پرکننده آجری در قاب‌های سازه‌ای»، انتشارات فدک ایساتیس، تهران، ۱۳۸۸.
- [۵]. تابش پور، محمدرضا؛ «بهسازی لرزه‌ای قابهای سازه‌ای دارای دیوار پرکننده آجری»، انتشارات فدک ایساتیس، تهران، ۱۳۸۸.
- [۶]. تابش پور، محمدرضا؛ «تفسیر مفهومی کاربردی آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، ویرایش سوم آیین‌نامه ۲۸۰۰ (جلد سوم: فصل سوم آیین‌نامه)»، انتشارات گنج هنر، تهران، ۱۳۸۶.
- [۷]. تابش پور، محمدرضا؛ «ارزیابی محاسباتی شکست ستون کوتاه در زلزله»، پژوهشنامه زلزله، شماره ۸، بهار ۸۴.
- [۸]. تابش پور، محمدرضا؛ «بررسی تفصیلی مودهای شکست سازه‌های آجری»، مجله بنا، ۱۳۸۴.
- [9]. IAEE (1986). "Guidelines for Earthquake-Resistant Non-Engineered Construction", International Association for Earthquake Engineering, Tokyo, Japan.
- [10]. Blondet, M., Torrelva, D., and Villa Garcia, G. (2002). Adobe in Peru: Tradition, Research and Future. Modern Earth Building 2002 – International Conference and Fair, Berlin, Germany.
- [11]. PUCP/CIID (1995). Nuevas Casas Resistentes De Adobe. (New Earthquake-Resistant Adobe Houses) Pontificia Universidad Católica del Peru, Centro Internacional de Investigacion Para el Desarrollo (CIID), Lima, Peru.
- [۱۲]. شرکت بنای رسیس، مبتکر و تولیدکننده پانل سبک ایزی‌وال به صورت کامپوزیت مسلح: (<http://www.easywall.ir>).