

بهبود رفتار لرزه ای دیوارهای برشی با جایگزینی بادبند فلزی در طبقات بالای

ساختمان

دکتر علی خیرالدین

استادیار دانشکده مهندسی دانشگاه سمنان

مهندس مهدی دربانیان

کارشناس ارشد سازه، مدرس دانشگاه

چکیده:

اختلاف مود تغییر شکل قاب و دیواربرشی در ساختمانهای بلند با سیستم قاب - دیواربرشی باعث ایجاد برش منفی در طبقات بالای سازه می‌شود. تحقیقات زیادی جهت حذف برش منفی با روش قطع نمودن دیواربرشی در طبقات بالای سازه و بر مبنای حداقل قرار دادن تغییر مکان جانبی سازه انجام شده است. در این مقاله، روشهای کاهش برش منفی در طبقات بالای سازه و اثرات آن بر رفتار سازه مورد مطالعه قرار می‌گیرد. ابتدا با یک روش پیشنهادی جهت قطع دیواربرشی اثرات این روش در کاهش برش منفی، همچنین اثرات آن بر رفتار سازه بررسی شده و سپس با توجه به سختی زیاد دیواربرشی، طرح کاهش سختی دیواربرشی در طبقات بالای سازه بررسی می‌شود. این کار با جایگزینی بادبند فلزی بجای دیوار برشی در طبقاتی که دیوار حذف شده، انجام می‌گیرد. حسن دیگر طرح اخیر برای وقتی است که به تعداد طبقات یک ساختمان بتن آرمه موجود افزوده شود. در اینصورت می‌توان در طبقات اضافه شده، تنها از بادبند فلزی بعنوان عناصر مقاوم جانبی استفاده نمود. بر این اساس با انتخاب سه ساختمان ۱۰، ۲۰، ۳۰ طبقه و در ۴ مرحله، موارد فوق و مزایا و معایب آن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

بررسی نتایج نشان می‌دهد، در صورت قطع دیواربرشی با استفاده از روش پیشنهادی، با توجه به اینکه دیوار تا حد زیادی باربری خود را از دست می‌دهد، لذا انتقال ناگهانی بار جانبی از دیوار به قاب ایجاد نشده و در نتیجه تغییرات ناگهانی نیروهای داخلی در اعضای قاب ایجاد نمی‌شود. همچنین در صورت استفاده از بادبند ضربدری در طبقاتی که دیواربرشی حذف شده، بعلاّت کمتر بودن سختی بادبند نسبت به دیواربرشی، برش کمتری توسط بادبند جذب شده و در نتیجه از برش منفی ایجاد شده در طبقات بالا کاسته می‌شود.

۱ - مقدمه:

به ساختمانهایی که مقاومت جانبی آنها در برابر بار جانبی توسط ترکیب دیواربرشی و قابهای صلب تأمین می‌شود، سازه قاب - دیواربرشی گفته می‌شود. تحت تأثیر بار جانبی، قاب تغییر مکانی با مود برشی دارد، حال آنکه تغییر مکان دیوار تقریباً شبیه یک تیرطره‌ای و با مود خمشی می‌باشد (شکل ۱). با توجه به اختلاف مود تغییر شکل دیوار و قاب، همانطور که از شکل (۱ - ج) مشاهده می‌شود، در طبقات پایین سازه، قاب خود را بر دیوار تحمیل می‌کند. اما بعلاّت سختی زیاد دیوار و کم بودن تغییر شکلها تأثیر چندانی بر دیوار ندارد، ولی در طبقات بالای ساختمان با افزایش تغییر شکل دیوار،

دیوار خود را به قاب تحمیل نموده و باعث ایجاد نیروی برشی اضافی در قاب می‌شود که اصطلاحاً برش منفی نامیده می‌شود. محققین بسیاری به بررسی روشهای کاهش یا حذف برش منفی ایجاد شده توسط دیواربرشی پرداخته‌اند. مروری بر تحقیقات انجام شده، نشان می‌دهد که اکثر آنها از روش قطع دیواربرشی، بر مبنای حداقل قرار دادن تغییر مکان استفاده نموده‌اند. در ادامه پس از مرور محدودی از تحقیقات انجام شده به ارائه روش پیشنهادی قطع دیواربرشی و راههای بهبود رفتار دیواربرشی در ارتفاع پرداخته می‌شود.

۲ - مروری بر تحقیقات انجام شده:

در سال ۱۳۷۹ آقای خیرالدین مقاله‌ای با عنوان "استفاده مختلط از دو سیستم دیوار برشی و بادبند فلزی در تقویت ساختمانهای بتن آرمه موجود" ارائه نمود [۱]. نتایج این تحقیق که روی ساختمان ۱۰ طبقه انجام شده، نشان میدهد که استفاده از بادبند تنها در مقاوم سازی ساختمانهای بتن آرمه، زیاد مفید نمی‌باشد و استفاده ترکیبی از بادبند و دیواربرشی نیز حاکی از رفتار بهتر سیستم می‌باشد. در این تحقیق، تنها استفاده مختلط از سیستم دیواربرشی و بادبند در پلان بررسی شده است. شهبازی در سال ۱۳۷۶ در پایان نامه کارشناسی ارشد با عنوان "بررسی دینامیکی خطی و غیرخطی ساختمانهای قاب - دیوار برشی کوتاه شده متقارن" به بررسی ارتفاع بهینه قطع دیوار پرداخته است [۲]. در این پایان نامه نیز که تحقیق بر روی دو ساختمان ۲۰ و ۳۵ طبقه به روش دینامیکی انجام شده، قطع دیوار بر اساس حداقل قرار دادن تغییر مکان انجام شده است. میر طلایی و موسوی مقاله‌ای با عنوان "ارتفاع بهینه قطع دیوارهای برشی در ساختمانهای بلند" ارائه نمودند [۳]. در این مقاله نیز با توجه به فرضیات ساده کننده‌ای یک معادله تغییر شکل برای سازه قاب - دیوار بر حسب پارامتر متغیر ارتفاع نوشته شد، که با مشتق گیری از معادله تغییر مکان بر حسب پارامتر ارتفاع، نقطه قطع دیوار حاصل می‌شود. بادوکس و جیرسا در سال ۱۹۹۰ مقاله‌ای با عنوان "قابهای بتن آرمه با بادبندهای فلزی جهت تقویت لرزه‌ای" ارائه نمودند [۴]. محققین در این مقاله به بررسی عملکرد سیستم بادبندی فولادی برای افزایش مقاومت لرزه‌ای قابهای بتن آرمه به روش آزمایشگاهی پرداخته‌اند. پروفیسور اسمیت در مقاله‌ای با عنوان "رفتار دیواربرشی قطع شده در سازه های قاب - دیوار" به بررسی ارتفاع قطع دیواربرشی در ارتفاع با استفاده از معادله تغییر مکان پرداخته‌اند [۵].

۳ - روش پیشنهادی قطع دیوار:

با توجه به بررسیهای انجام شده در زمینه قطع دیوار و نتایج تحقیقات بیان شده، در صورتیکه تغییر مکان، ملاک کنترل و درنهایت محاسبه ارتفاع قطع دیواربرشی باشد، عمدتاً در طبقات بالای قطع دیوار و خصوصاً در تراز قطع دیوار تغییرات و افزایش ناگهانی در برش و لنگر جذب شده توسط قاب و اعضای آن اعم از تیرها و ستونها بوجود می‌آید. لذا در این مقاله با توجه به مطالعات انجام شده روی قطع دیواربرشی، پیشنهاد می‌شود تا ملاک قطع دیواربرشی، ایجاد برش منفی توسط دیوار باشد. منطقی است که کنترل تغییر مکان در تصمیم گیری و تحلیل و بررسی نتایج جاز اهمیت ویژه‌ای می‌باشد. لذا پس از بدست آوردن تراز طبقه‌ای که در آن برش منفی ایجاد می‌شود، قطع دیواربرشی از آن طبقه به طبقات بالا و تا آخرین طبقه انجام می‌شود. سپس کنترل تغییر مکان سازه و بررسی نتایج بدست آمده از تحلیل انجام می‌گیرد. لازم به ذکر است که پلان سازه، تعداد دیوارهای برشی و آرایش اعضا در تعیین تراز قطع دیوار مؤثرند.

۴ - مدل کامپیوتری و مراحل آنالیز:

در این قسمت شرح مدل کامپیوتری سازه، بارگذاری ثقلی و جانبی، مراحل مختلف آنالیز و اهداف آن ارائه می‌گردد.

۴-۱ - انتخاب مدل کامپیوتری:

برای آنالیز سازه، ساختمانهایی با تعداد طبقات ۱۰، ۲۰ و ۳۰ طبقه مورد بررسی قرار می‌گیرد. این ساختمانها دارای پلان ثابت (شکل ۲) می‌باشند. بعلت کاربردی بودن طرح، ابعاد و دهانه‌ها واقعی و سازه در پلان متقارن در نظر گرفته شده است. کاربری ساختمان

مسکونی است و لذا بار مرده کف 650 Kg/m^2 بار معادل پارتیشن 150 Kg/m^2 و بار زنده طبقات و بام 200 Kg/m^2 منظور شده است. ساختمان در جهت شمال و جنوب دارای همسایه می‌باشد و گذاشتن بادبند و دیوار برشی در جهت X بر روی محورهای ۱ و ۵ از لحاظ معماری ایراد ندارد. سیستم مقاوم جانبی در جهت شرقی - غربی، قاب خمشی فضایی، بادبند و دیواربرشی در جهت شمالی - جنوبی تنها از قاب خمشی فضایی استفاده شده است. برای بارگذاری از آئین نامه ۵۱۹ و ۲۸۰۰ ایران و برای طراحی اعضای بتن آرمه از آئین نامه ACI و برای اعضای فولادی از آئین نامه AISC استفاده شده است. جهت آنالیز کامپیوتری از برنامه ETABS بعلت سادگی مدل‌سازی دیواربرشی و منظور نمودن اثرات P-Δ استفاده شده است. برنامه‌های Waller و Conker نیز جهت طراحی سازه استفاده شده‌اند.

۴ - ۲ - آنالیز سازه و مراحل آن :

آنالیز استاتیکی سازه برای هر سه ساختمان ۱۰، ۲۰ و ۳۰ طبقه در ۴ مرحله انجام می‌شود.

مرحله اول آنالیز : در این مرحله، قاب سه بعدی تحت اثر بار قائم و ۲۵٪ نیروی زلزله قرار می‌گیرد (شکل ۳). هدف از این مرحله، تحلیل و طراحی اعضا بگونه‌ای است که اعضا بتوانند علاوه بر بار قائم، ۲۵٪ نیروی زلزله را که در آئین نامه توصیه شده، تحمل نمایند.

مرحله دوم آنالیز: در این مرحله، قاب به‌همراه دو دیواربرشی قرار گرفته در دو دهانه ابتدایی قاب، تحت اثر بار قائم و ۱۰۰٪ نیروی زلزله قرار می‌گیرد (شکل ۴). هدف از این مرحله بررسی برش جذب شده توسط قاب و دیوار و بدست آوردن تراز طبقه برش منفی می‌باشد.

مرحله سوم آنالیز: در این مرحله از همان سازه مرحله قبل، با این تفاوت که دیواربرشی آن قطع شده، استفاده می‌گردد (شکل ۵). البته تعداد طبقات قطع دیوار در ساختمانهای با تعداد طبقات مختلف یکسان نخواهد بود. سازه جدید تحت اثر بار قائم و ۱۰۰٪ نیروی زلزله تحلیل می‌شود. هدف این مرحله بررسی ارتفاع قطع دیواربرشی بر اساس ملاک برش جذب شده (برش منفی ایجاد شده در طبقات)، تأثیر قطع دیوار بر برش جذب شده توسط قاب و دیوار و تغییر مکان سازه می‌باشد.

مرحله چهارم آنالیز: در این مرحله، با جایگزینی بادبند فلزی بجای دیواربرشی در طبقاتیکه دیوار حذف شده، سازه جدیدی حاصل می‌شود (شکل ۶). این سازه نیز تحت اثر بار قائم و ۱۰۰٪ نیروی زلزله تحلیل می‌شود. هدف از این قسمت بررسی

اثر جایگزینی بادبند فلزی به جای دیواربرشی در ارتفاع و در نتیجه اثر جایگزینی در برش منفی ایجاد شده توسط سیستم مقاوم جانبی می‌باشد. از آنجائیکه سختی بادبند در مقایسه با دیواربرشی کمتر است، لذا با جایگزینی بادبند به جای دیواربرشی از سختی دیوار در طبقات بالای سازه کاسته شده و انتظار می‌رود تا از برش منفی ایجاد شده نیز کاسته شود. بنابراین در صورت کاهش برش منفی، بهبودی در رفتار سیستم مقاوم جانبی حاصل شده است. البته بررسی تغییر مکان جانبی سازه، جزء اهداف این مرحله از تحقیق می‌باشد.

۵ - نتایج آنالیز کامپیوتری :

۵ - ۱ - مرحله اول آنالیز - قاب خمشی تنها:

در این مرحله قاب سه بعدی تحت اثر بار قائم و ۲۵٪ نیروی زلزله تحلیل می‌شود. نیروی وارد به سازه، در کلیه مراحل آنالیز از ترکیب دوم بارگذاری ($E \times 1/87 \times 0/75$) و در جهت X می‌باشد. همانطور که ذکر شد، هدف از این مرحله، تحلیل و طراحی اعضا بگونه‌ای است که اعضا بتوانند علاوه بر بار قائم، ۲۵٪ نیروی زلزله را که در آئین نامه توصیه شده را تحمل نمایند. ابعاد ستونها و تیرهای طراحی شده در این مرحله بعنوان ملاک در مراحل بعدی بکار می‌رود.

۵ - ۲ - مرحله دوم آنالیز - قاب خمشی و دیواربرشی کامل در ارتفاع:

در این مرحله قاب خمشی به همراه دو دیواربرشی قرار گرفته در دو دهانه ابتدایی قاب تحت اثر بار قائم و ۱۰۰٪ نیروی زلزله تحلیل می‌شود. در نمودارهای ۷ و ۸ نمودار درصد برش جذب شده توسط دیواربرشی برای دو ساختمان ۱۰ و ۳۰ طبقه در طبقات مختلف ترسیم شده است. درصدبرش جذب شده عبارت است از نسبت کل نیروی برشی که عنصر مقاوم مورد نظر جذب می‌کند به کل نیروی برشی در طبقه. همانطور که از نمودارها مشاهده می‌شود، هر چه تعداد طبقات ساختمان زیاده‌تر شود، به تعداد طبقاتی که در آن برش منفی ایجاد شده نیز افزوده می‌شود.

جدول ۱ مربوط به متوسط عددی درصد برش جذب شده توسط دیواربرشی در ساختمانهای مختلف می‌باشد. با مقایسه نتایج عددی حاصله دیده می‌شود که با افزایش ارتفاع ساختمان، سختی دیواربرشی کاهش یافته و متوسط جذب برش توسط دیوار کمتر می‌شود.

۵ - ۳ - مرحله سوم - قاب خمشی و دیوار برشی قطع شده در ارتفاع:

در این مرحله قطع دیواربرشی در سازه مرحله قبل انجام می‌شود. بنا به روش پیشنهادی، قطع دیوار از ترازیکه در آن نیروی برش منفی ایجاد شده، انجام می‌شود و تا آخرین طبقه ادامه می‌یابد. لذا با توجه به نمودارهای مرحله قبل، در سازه ۱۰ طبقه، ۲ طبقه قطع دیوار در بالاترین تراز انجام می‌شود. آنالیز مجدد سازه حاکی از عدم وجود برش منفی در طبقه هشتم می‌باشد. لذا قطع انجام شده در ساختمان ۱۰ طبقه مورد تأیید است.

در ساختمان ۲۰ طبقه با نظر به نتایج حاصله، در ۳ طبقه قطع دیوار انجام می‌شود. با آنالیز مجدد سازه جدید، وجود برش منفی توسط دیوار در طبقه هفدهم مشاهده می‌شود. بنابراین در یک طبقه دیگر نیز قطع دیوار انجام می‌پذیرد. آنالیز سه باره سازه باعث تأیید تعداد طبقات قطع دیوار در ساختمان ۲۰ طبقه می‌گردد. در نتیجه در ساختمان ۲۰ طبقه ۴ طبقه قطع دیواربرشی صورت می‌گیرد. با اجرای مراحل فوق جهت ساختمان ۳۰ طبقه و پس از ۴ مرتبه آنالیز مجدد، نتیجه نهایی شامل ۶ طبقه قطع دیوار می‌شود. در صورتیکه حذف دیواربرشی بخصوص اگر بطور ناگهانی و در طبقات محدودی از سازه باشد، باعث انتقال ناگهانی بار جانبی که می‌بایست توسط دیوار تحمل شود به اعضای قاب یعنی تیرها و ستونها می‌گردد. اما در این روش تنها قسمتهایی از دیواربرشی حذف می‌شود که مزاحم سیستم هستند. به بیان دیگر دیوار تحمل جذب برش می‌نماید و به تدریج از باربری آن کاسته می‌شود، تا جائیکه باربری دیوار به صفر می‌رسد و از آن ارتفاع به بالا نه تنها تحمل باربری از خود نشان نمی‌دهد، بلکه نیروی اضافی به سیستم اعمال می‌کند و قطع دیوار درست درجایی است که باربری دیوار صفر می‌شود. لذا انتظار می‌رود که قطع دیوار هیچگونه نیروی ناگهانی به سیستم اعمال ننماید. نمودارهای ۹ و ۱۰ نشان‌دهنده تغییرات درصد جذب برش توسط دیوار در دو حالت سازه با دیوار کامل و سازه با دیوار قطع شده در ارتفاع برای دو ساختمان ۲۰ و ۳۰ طبقه می‌باشد. بررسی نمودارها نشان می‌دهد که اولاً حداکثر تغییرات درصد جذب برش مربوط به طبقه‌های است - ک - در آن دیواربرشی قطع

شده و ثانیاً حداکثر افزایش درصد جذب برش از لحاظ عددی در بین سه ساختمان ۱۰، ۲۰ و ۳۰ طبقه برابر ۱۰ درصد نیروی برشی وارد به همان طبقه می‌باشد. نتیجه فوق در مقایسه با نتایج حاصل از تحقیقات گذشته، مناسب می‌باشد و تغییرات جذب برش بسیار کمتری را نشان می‌دهد.

۵ - ۴ - مرحله چهارم - قاب خمشی به‌مراه دیوار برشی و بادبند در طبقات قطع دیوار:

همانطور که ذکر شد ممکن است بتوان با حذف دیواربرشی یا جایگزینی بادبند به جای دیوار در طبقاتیکه دیوار حذف شده، از میزان برش منفی کاست. لذا جهت تحقیق در این مورد، در طبقاتی از سازه مرحله قبل که دیواربرشی قطع شده، از بادبند ضربدری استفاده می‌شود و مجدداً سازه تحت اثر بار قائم و ۱۰۰٪ نیروی زلزله قرار می‌گیرد. اگر نمودار مقایسه‌ای درصد برش جذب شده توسط قاب در دو حالت سازه با دیواربرشی کامل و سازه ایکه در آن از بادبند به جای دیواربرشی در طبقات قطع دیوار استفاده شده (سازه این مرحله) در نمودارهای ۱۱ و ۱۲ رسم شود، مشاهده می‌شود:

در صورت استفاده از بادبند بجای دیواربرشی در طبقات بالای سازه، با توجه به کمتر بودن سختی بادبند نسبت به دیوار، برش کمتری توسط بادبند جذب می‌شود و در نتیجه برش منفی که توسط بادبند ایجاد می‌شود از برش منفی که توسط دیوار ایجاد می‌شود، کمتر خواهد بود. البته همانطور که از نمودارها مشاهده می‌شود، در طبقات اولیه استفاده از بادبند، جذب برش دیوار و بادبند تقریباً یک اندازه است و تنها در طبقه آخر، برش جذب شده توسط بادبند کاهش بیشتری نشان می‌دهد.

نمودار ۱۳ مربوط به درصد برش جذب شده توسط دیواربرشی و بادبند در طبقه آخر برای هر سه ساختمان ۱۰، ۲۰ و ۳۰ طبقه می‌باشد. همانطور که از نمودار مشاهده می‌شود، با افزایش تعداد طبقات اختلاف بین درصد برش جذب شده توسط دیواربرشی و بادبند فلزی بیشتر می‌شود، به طوری که در ساختمان ۱۰ طبقه درصد برش جذب شده توسط بادبند حدود ۱۴٪ کمتر از درصد برش جذب شده توسط دیوار است. این اختلاف درصد در ساختمان ۲۰ طبقه حدود ۱۶/۵٪ و در ساختمان ۳۰ طبقه حدود ۱۹٪ می‌باشد.

نمودار ۱۴ مربوط به تغییر مکان سازه در هر سه مرحله سازه با دیواربرشی کامل، سازه با دیواربرشی قطع شده در ارتفاع و سازه‌ایکه در آن از بادبند به جای دیواربرشی در طبقات قطع دیوار استفاده شده، برای ساختمان ۳۰ طبقه می‌باشد. همانطور که از نمودار مشاهده می‌شود، تغییرات تغییر مکان کم بوده و در محدوده مجاز آئین نامه قرار دارد.

نتیجه گیری:

نتایج بدست آمده در این مقاله به شرح زیر است:

- ۱- در صورتیکه ملاک قطع دیواربرشی، تراز برش منفی ایجاد شده توسط دیوار باشد و قطع دیوار از آن تراز به بالا انجام شود، بدلیل آنکه دیواربرشی تا حدی باربری خود را از دست می‌دهد، لذا انتقال ناگهانی بار جانبی از دیوار به قاب پیش نمی‌آید. این امر باعث می‌شود تا تغییرات نیروهای داخلی در اعضای قاب بطور ناگهانی و زیاد نباشد.
- ۲- در روش پیشنهادی قطع دیواربرشی، تغییرات برش جذب شده توسط قاب در طبقه قطع دیوار به حداکثر ۱۵٪ نیروی برشی جذب شده در قاب نسبت به حالت با دیوار کامل می‌رسد، حال آنکه وقتی تغییر مکان ملاک تعیین تراز قطع دیواربرشی باشد، این تغییرات به ۱۰۰٪ و گاهی به ۲۰۰٪ نیز می‌رسد.
- ۳- پس از قطع دیواربرشی به روش پیشنهادی، نمودارهای تغییر مکان جانبی سازه، در هر سه ساختمان ۱۰، ۲۰ و ۳۰ طبقه، نشاندهنده قرار داشتن تغییر مکانها در محدوده مجاز می‌باشد.
- ۴- اگر از بادبند ضربدری در طبقاتی که دیواربرشی حذف شده، استفاده شود، بعلاوه کمتر بودن سختی بادبند نسبت به دیواربرشی، جذب برش توسط بادبند در مقایسه با حالت با دیوار کامل کمتر می‌شود. همچنین این امر موجب کاهش درصد برش منفی ایجاد شده در طبقات بالای سازه و در نتیجه بهبود رفتار دیواربرشی خواهد شد.

مراجع:

- ۱- خیرالدین، ع، " استفاده مختلط از دو سیستم دیواربرشی و بادبند فلزی در تقویت ساختمانهای بتن آرمه موجود "، سومین کنفرانس بین المللی بتن، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، (۱۳۷۹).
- ۲- شهبازی، ی، " بررسی دینامیکی خطی و غیر خطی ساختمانهای قاب - دیواربرشی کوتاه شده متقارن "، تز کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، (۱۳۷۶).
- ۳- میر طلایی، ک و موسوی، ش، " ارتفاع بهینه قطع دیوارهای برشی در ساختمانهای بلند ".
- 4 - Badux, M. and Jirsa, J.O. " Steel Bracing of RC Frames for Seismic Retrofitting " , Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.116, No.1, pp.55-74,(1990).
- 5 - Smith, S. " Behavior of Curtailed Wall-Frame Structures " , Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.119, pp.2835-2854, (1993).