بررسی عملکرد لرزه‌ای تیرهای مختلف پیوندی در دیوار برشی با بازشو

سیدحمید هاشمی
کارشناس ارشد مهندسی عمران- سازه، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران ،
گروه مهندسی عمران، واحد سراوان، دانشگاه آزاد اسلامی، سراوان، ایران
hamed3109@gmail.com

محمد رفیع کرد سنگانی پور
گروه مهندسی عمران، واحد ایرانشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ایرانشهر، ایران
Mkord2003@gmail.com

حامد مخدومی
گروه مهندسی عمران، واحد سراوان، دانشگاه آزاد اسلامی، سراوان، ایران ، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران
hamy.mk@gmail.com

سیدحسام مدنی
گروه مهندسی عمران، هیات علمی مرکز علوم پیشرفته و تکنولوژی، کرمان ،ایران
Mkord2003@gmail.com

مهدی شهرکی
گروه مهندسی عمران، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران ، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران
m.shahraki@iauzah.ac.ir

کلید واژه‌ها: دیوار برشی، عملکرد، تیر پیوند، برش پایه، OpenSees

چکیده

وجود بازشو در دیوار برشی، بر روی مشخصات دینامیکی سیستم اثر می گذارد و در صورتی که به صورت مناسبی منظور نگردد، می تواند موجب شکستگی ترد در دیوار برشی و کاهش کارایی آن شود. از سویی دیگر با درک درست رفتار چنین سیستمی، می توان ساز و کاری را فراهم کرد که دیوار برشی با بازشو رفتار یکپارچه‌ای از خود بروز داده و همزمان با آن شکل‌پذیری و اتلاف انرژی سیستم را افزایش داد. در سال های اخیر، طراحی لرزه ای سازه ها با تغییر معیار طراحی از روش های مقاومت به روش عملکرد، مورد استقبال زیاد مجامع مهندسی قرار گرفته است. برای ارزیابی سازه های ساخته شده بر اساس آیین نامه های قبلی نمی توان از آیین نامه های طراحی سازه (استاندارد ۲۸۰۰) استفاده نمود و باید از دستور العمل هایی مانند FEMA356، ATC40 و همچنین دستورالعمل بهسازی لرزه ای که با استفاده از مفهوم طراحی براساس سطح عملکرد به ارزیابی و بهسازی سازه ها می پردازند، استفاده نمود. در این مقاله دو ساختمان چهار وهشت طبقه دو بعدی تحت تحلیل استاتیکی غیر خطی با نرم افزار OpenSees مدل سازی شده است. تاثیر بازشو در دیوار برشی بررسی گردیده است و برای بهبود رفتار در حالت های مختلف تیرپیوند(ضعیف، متوسط و عمیق) با و بدون بازشو مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان داده است در صورت استفاده از تیر پیوند ضعیف، مقاومت سازه به شدت کاهش می یابد. میزان این کاهش مقاومت برای سازه‌های ۴ و ۸ طبقه به ترتیب ۲۹ و ۵۵ درصد بوده است. درصد کاهش مقاومت آن به دلیل بازشو ناچیز است و سازه به دلیل فراهم بودن مکانیزم مناسب برای تشکیل مفصل پلاستیک در محل تیرهای پیوند رفتار شکل‌پذیرتری از خود نشان می‌دهد.

مقدمه

تحقیق بر روی دیوارهای برشی بازشودار به منظور بررسی کارآیی‌ها و توانمندی‌های این سیستم برای مقاومت در برابر بارهای جانبی، بررسی تاثیر اندازه‌ی بازشوها بر روی کارکرد دیوار برشی و تلاش برای افزایش استهلاک انرژی با طراحی مناسب تیرهای پیوند، چالش و مساله‌ی

اصلی در پژوهش پیش‌رو است. طراحی بر اساس عملکرد، روشی نوین در تحلیل و طراحی سازه‌هاست که برخلاف روش‌های کلاسیک کـه تحلیـل سازه را بر مبنای تامین مقاومت انجام می‌دهند و سپس تغییرمکان‌های سازه را کنترل می‌کنند، مستقیماً سازه را بـر اسـاس تغییرمکـان و شـکل-پذیری مورد نیاز تحلیل و طراحی می‌کند. در این تحقیق به کمک تحلیل استاتیکی غیرخطی، رفتار دیوار های برشی همراه با بازشو بـرای سـطوح مختلف ایمنی مورد بررسی قرار گرفته و میزان شکل‌پذیری و مقاومت این دیوارها بسته به اندازه‌ی بازشو بدست آورده شده است. بدین ترتیب می-توان دریافت که حضور بازشوها تا چه اندازه ایمنی، مقاومت و شکل‌پذیری ساختمان‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

تحقیق بر روی سیستم دیوارهای برشی بازشودار به بیش از سه دهه پیش باز میگردد. (Benjamin and Villiams, 1957)، تحقیقی بر روی یک دیوار برشی یک طبقه با بازشو انجام دادند. آنها باری یکنواخت به سازه اعمال کردند و نمونه‌ی آنها در مود برشی دچار گسیختگی شد et al (Adachi ,1981)، یک بررسی آزمایشگاهی بر روی دیوار برشی سه طبقه با اعمال بار رفت و برگشتی به انجام رساندند. آنها از تیر پیوند با میلگردگذاری افقی، قائم و قطری بهره گرفتند. آنها دریافتند که وجود بازشو موجب کاهش مقاومت و افزایش تغییرمکان جانبی دیوار می گردد. بررسی بر روی دیوارهای برشی تا امروز ادامه داشته و همچنان بحثی داغ بوده و با توجه به پیشرفت تکنولوژی و افزایش توانمندی های رایانه‌ای، می توان به بررسی تاثیر بازشوها در ساختمان‌ها بسیار بلند نیز پرداخت(Smith and Coull ,1991)

در دیوارهای برشی مقاوم در برابر زمین‌لرزه، تیرها ضعیف‌تر از دیوارها ساخته می‌شوند. در غیر اینصورت سیستم مطلوبی وجود نخواهد داشت. احتمال دارد پیش از آنکه تیرهای عمیق اتصال از حالت الاستیک خارج شوند، در یک طبقه معین، دیوارها به آستانه‌ی مقاومت نهایی خود برسند و یک مکانیسم شکست در طبقه‌ی مذکور پدید آید. چنین سیستمی در هنگام زمین‌لرزه‌های شدید فاقد شکل‌پذیری و قابلیت جذب انرژی کافی بوده و به شکست برشی دچار می‌شود [(Fema356. 2000), (Vitelmo and Bozorgnia 2006),(Wahid, 2007)]

در این پژوهش با به کارگیری نرم افزارهای مناسب، شبیه سازی و مدلسازی دیوارهای برشی با بازشو انجام می شود. از روش تحلیل بارافزون با کنترل جابجایی برای تحلیل و بررسی ساختمان‌ها استفاده شده است. بازشوها در دیوار برشی با اندازه های گوناگون به کار گرفته شده و به بیانی دیگر از تیرهای پیوند با مقاومت‌های گوناگون برای اتصال دیوارها استفاده شده و با ارایه نتایج و نمودارهای مربوط به ظرفیت قابهای ۴ و ۸ طبقه، عملکرد قاب‌ها از نظر مقاومت و شکل پذیری مقایسه شده است.

روش مدلسازی

در این پژوهش برای بررسی رفتار دیوارهای برشی با بازشو از تحلیل پوش اور و یا به عبارت دیگر از روش طراحی بر اساس عملکرد، برای کند وکاو و پژوهش استفاده شده است. برای رسم منحنی ظرفیت سازه از تحلیل استاتیکی غیرخطی استفاده می‌شود. انتخاب نقطه کنترل، انتخاب نحوه توزیع بار جانبی، تعیین دوره تناوب اصلی سازه و فرآیند تحلیل براساس نشریه FEMA356 انجام شده است(Sharma, 1998) . رابطه‌ی بین برش پایه و تغییرمکان نقطه کنترل باید برای هر گام افزایش نیروهای جانبی تا رسیدن به تغییرمکانی حداقل ۱/۵ برابر تغییرمکان هدف ثبت شود. در تحلیل استاتیکی غیرخطی، مرکز جرم بام، به‌عنوان نقطه‌ی کنترل تغییرمکان سازه انتخاب شده است(Sharma, 1998). زمان تناوب اصلی موثر T_e در امتداد مورد بررسی براساس مدل رفتار دو خطی برابر است با:

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \qquad (1)$$

تغییرمکان هدف برای سازه با دیافراگم های صلب باید با درنظرگرفتن رفتار غیرخطی سازه برآورد شود. به عنوان یک روش تقریبی می‌توان مقدار تغییرمکان هدف را از رابطه‌ی زیر برآورد نمود(Sharma, 1998).

$$¢_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4®^2} g \qquad (2)$$

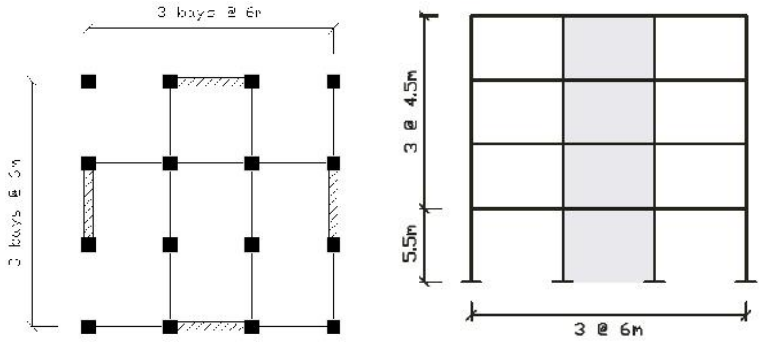
برای انجام مدلسازی از نرم‌افزار OpenSees استفاده شده است که یک برنامه متن‌باز برای شبیه‌سازی مهندسی زلزله است. از المان NonLinear Beam-Column برای ساخت المان تیر-ستون غیرخطی استفاده می‌شود. این المان توانایی توزیع گسترده پلاستیسیته در طول المان را دارا می‌باشد. با بهره‌گیری از دستور Section، یک مقطع که رابطه نیرو تغییرشکل (یا تنش کرنش برآیند) را در نقاط گوسی المان‌های تیر و ستون بیان می‌کند، برای المان به کار می‌شود. با استفاده از زیر دستور fiber، پارامترهای هندسی مقطع مشخص شده و مقطع به نواحی کوچکتری تقسیم‌بندی می‌شود و بدین ترتیب رفتار تنش-کرنش مصالح در این نواحی جمع‌بندی می‌شود تا رفتار برآیند بدست آید (Mazzoni et al ,2009).

مدل دیوار برشی با مقطع فایبر (تار) بر پایه‌ی المان تیر-ستون غیرخطی با قابلیت توزیع پلاستیسیته در طول المان استوار است. بدین ترتیب دیوار برشی به وسیله‌ی یک المان تیر-ستون دو بعدی که دارای سطح مـقطع مش‌بندی شده‌ی فایبر است، ساخته می‌شود. مقطع مش‌بندی

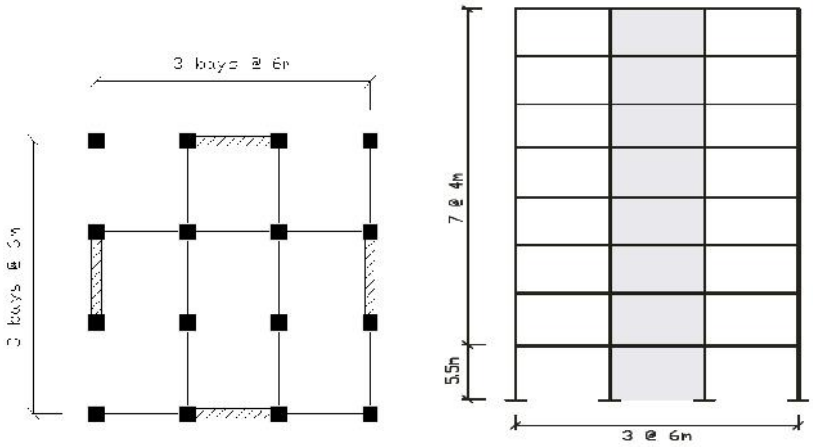
شده فایبر، بر پایه‌ی فرضیه‌ی تئوری تیرها (فرضیه‌ی تیر برنولی) استوار بوده و از مصالح با میدان تنش-کرنش تک‌محوری ساخته می‌شود. مقطع فایبر، توانایی درنظر گرفتن اندرکنش نیروی محوری و لنگر خمشی و همچنین اثر محصورشدگی بتن را دارا می‌باشد و افزون بر آن، چیدمان و اندازه‌ی میلگردهای طولی را به درستی شبیه‌سازی می کند. هم دیوار برشی و هم المان های مرزی (ستون‌های دو طرف دیوار) به‌وسیله‌ی المان-های تیر-ستون غیرخطی با مقطع فایبر مدل می‌شوند. برای آنکه دیوار برشی و المانهای مرزی آن رفتار یکپارچه‌ای داشته باشند، به وسیله‌ی تیرهایی با رفتار خطی در ترازهای هر طبقه به همدیگر متصل می‌شوند. برای در نظر گرفتن اثر محصورشدگی، از دو نوع مصالح بتن بهره گرفته می‌شود. برای پوشش بتن که قسمت محصورنشده‌ی مقطع محسوب می‌شود، از بتن با مشخصات معمول و برای قسمت محصورشده از بتن با مقاومت و شکل‌پذیری بیشتر استفاده می‌شود.

مشخصات نمونه های مدلسازی شده

ساختمان های ۴ و ۸ طبقه برای بررسی رفتار دیوارهای برشی با بازشو به کمک برنامه OpenSees مدلسازی و آنالیز شده است(Mazzoni, et al ,2009). طراحی ساختمان‌ها بر اساس عملکرد و با بهره گیری از آیین‌نامه‌ی FEMA-356 انجام شده است. بار مرده‌ی اعمال شده بر روی کف طبقه ها، ۶۰۰ کیلوگرم بر مترمربع و بار زنده‌ی به‌کارگرفته شده، ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع می باشد. درصد میرایی ۵٪ در نظر گرفته شده است. از بتن با مقاومت فشاری ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع و از میلگردهای طولی با تنش تسلیم ۴۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع به عنوان مصالح استفاده شده است. مقاومت فشاری بتن در ناحیه محصور میان خاموت‌ها به میزان ۳۳ درصد افزایش می‌یابد.کرنش بتن در لحظه‌ی تسلیم، ۰/۰۰۳۶۵ درصد برای بتن محصور شده و ۰/۰۰۲ درصد برای بتن محصور نشده در نظر گرفته شده است. همچنین کرنش نهایی بتن برای ناحیه محصور شده و محصور نشده، به ترتیب ۰/۰۰۶ و ۰/۰۰۴ می‌باشد. ساختمان در منطقه با لرزه‌خیزی زیاد واقع است و نوع خاک در ساختمان ۴و۸ طبقه، به ترتیب III و II فرض شده است. نما و پلان ساختمان های ۴ و ۸ طبقه در شکل های ۱ و ۲ نشان داده شده است. مشخصات مقاطع ستون ها ،تیر ها ودیوار برشی نیز در جداول ۱ ، ۲ و ۳ ذکر شده است.



شکل ۱ : نما و پلان ساختمان ۴ طبقه



شکل ۲ : نما و پلان ساختمان ۸ طبقه

جدول ۱ : مشخصات مقطع تیرها، ستونها و دیوارهای برشی ساختمان ۴ طبقه

طبقه	ستونها	تیرها	دیوارهای برشی
۱	C40×40	B35×35	SW-1
۲	C35×35	B35×35	SW-1
۳	C35×35	B30×33	SW-2
۴	C35×35	B30×33	SW-2

جدول ۲ : مشخصات مقطع تیرها، ستونها و دیوارهای برشی ساختمان ۸ طبقه

طبقه	ستونها	تیرها	دیوارهای برشی
۱	C45×45	B40×35	SW-1
۲	C45×45	B40×35	SW-1
۳	C40×40	B40×35	SW-2
۴	C40×40	B40×35	SW-2
۵	C40×40	B35×35	SW-2
۶	C35×35	B35×35	SW-3
۷	C35×35	B35×35	SW-3
۸	C35×35	B30×30	SW-3

جدول ۳- مشخصات مقطع دیوار های برشی ۴ طبقه و۸ طبقه

طبقه	ضخامت cm	دیوارهای برشی
۱	25	SW-1
۲	25	SW-1
۳	20	SW-2
۴	20	SW-2
۵	20	SW-2
۶	15	SW-3
۷	15	SW-3
۸	15	SW-3

مقایسه عملکرد دیوار برشی بتنی با و بدون بازشو با تیرهای پیوندی مختلف در قاب های ۴ و ۸ طبقه

جرم لرزه‌ای ساختمان سه‌بعدی که برای محاسبه زمان تناوب اصلی و تحلیل دینامیکی به‌کار می رود از مجموع کل بار مرده کف طبقات و جرم اسکلت سازه و ۲۰ درصد بار زنده بدست می‌آید. تغییرمکان هدف برای هر سازه و به ازای هر سطح عملکرد محاسبه شده و در جدول ۴ ارائه شده است:

جدول ۴ : تغییرمکان هدف سازه ها در حالت بدون بازشو

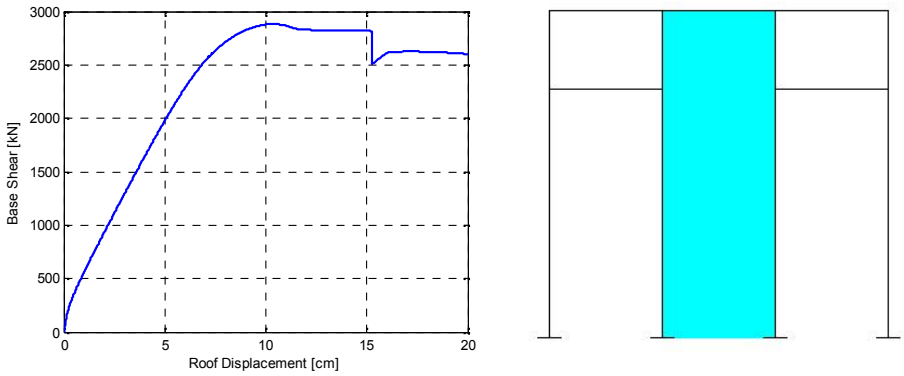
سازه	سطح عملکرد	تغییرمکان هدف (سانتی‌متر)	$1.5\,¢_t$
۴ طبقه	قابلیت استفاده بی وقفه	۵/۵	۸/۲
	ایمنی جانی	۶/۶	۹/۸
	آستانه فروریزش	۷/۴	۱۱/۱
۸ طبقه	قابلیت استفاده بی وقفه	۴/۱۴	۶/۲۱
	ایمنی جانی	۴/۹۶	۷/۴۵
	آستانه فروریزش	۵/۵۸	۸/۳۸

زمان تناوب قاب چهار طبقه در حالت‌های مختلف بازشو، در جدول ۵ آورده شده است:

جدول ۵: زمان تناوب اصلی سازه چهار طبقه (با بازشو)

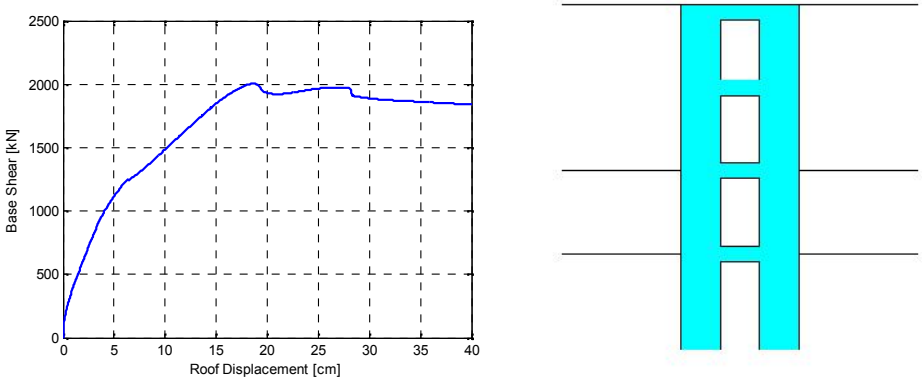
سازه	زمان تناوب اصلی (ثانیه)
دیوار برشی یکپارچه	۰/۳۱۷
دیوار برشی به هم پیوسته با تیر ضعیف	۰/۴۲۱
دیوار برشی به هم پیوسته با تیر متوسط	۰/۳۴۸
دیوار برشی به هم پیوسته با تیر عمیق	۰/۳۴۱

طبق شکل ۳ ملاحظه می شود که در منحنی ظرفیت یک افت مختصری در حداکثر برش پایه ساختمان ایجاد شده وبعداز این افت رفتار منحنی با شیب ملایم نشان می دهد که می توان نتیجه گرفت این رفتار بعد از گسیختگی مختصر دلیل تحمل بتن در مرحله جاری شدن میلگرد ها در قاب بدون بازشو می باشد.



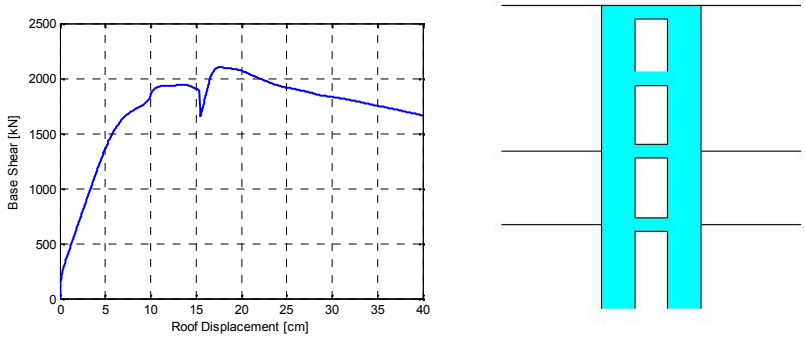
شکل ۳ : نما و منحنی ظرفیت قاب ۴ طبقه بدون بازشو

مطابق شکل ۴ در حالت دیوار برشی با تیر پیوند ضعیف، واضح است که ظرفیت قاب به شدت کاسته شده است. زیرا تیر ضعیف از قدرت کافی برای پیوند دیوارهای جدا از هم برخوردار نیست و در نتیجه دیوار سختی خود را به شدت از دست می‌دهد. در واقع پس از وقوع بارگذاری شدید، تیر پیوند به دلیل ناتوانی در انتقال نیروهای بزرگ میان دیوارها، متلاشی می شود و دیوارها به صورت دو دیوار برشی جدا از هم رفتار می کند که این موضوع مشخصات دینامیکی سازه را به شدت دگرگون ساخته و از قابلیت سازه کم می کند.



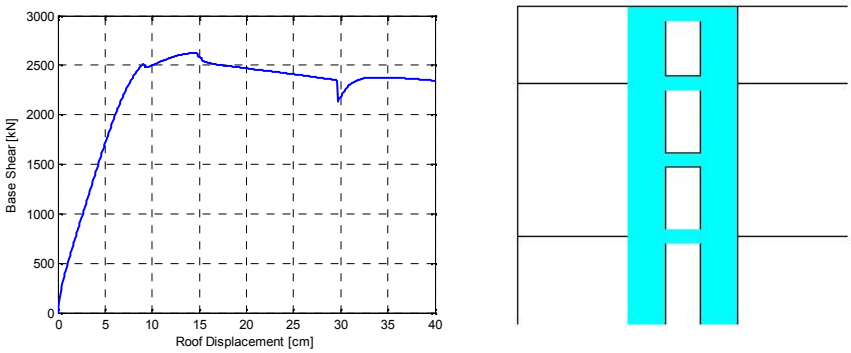
شکل ۴ : نما و منحنی ظرفیت قاب ۴ طبقه با تیر پیوند ضعیف

در شکل ۵ مشاهده می شود که به دلیل مقاومت بالاتر تیر متوسط نسبت به ضعیف یک گسیختگی در نمودار به وجود آمده است که نشان دهنده جاری شدن میلگردها در این تیر می باشد.



شکل ۵ : نما و منحنی ظرفیت قاب ۴ طبقه با تیر پیوند متوسط

شکل ۶ منحنی ظرفیت قاب ۴ طبقه مجهز به دیوار برشی به هم پیوسته با تیر پیوند عمیق را نشان می دهد. گسیختگی که قبلا در جابجایی ۱۵ سانتی متر رخ داده بود، این بار در تغییرمکان نزدیک به ۳۰ سانتی متر به وقوع پیوست که نشان می دهد قاب با دیوار به هم پیوسته با تیر پیوند قوی، دارای شکل پذیری بسیار بالایی می باشد.



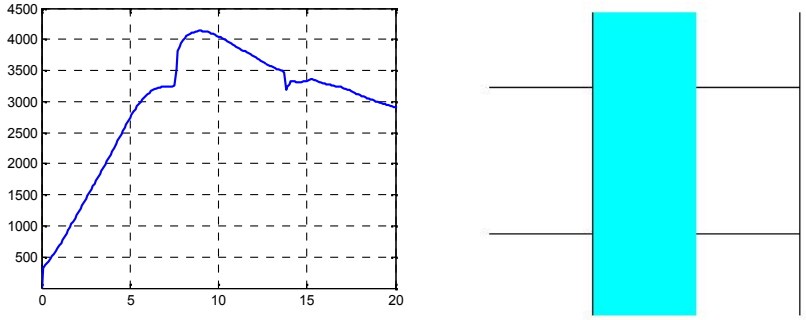
شکل ۶ : نما و منحنی ظرفیت قاب ۴ طبقه با تیر پیوند عمیق

در جدول ۶ زمان تناوب قاب هشت طبقه در حالت‌های مختلف بازشو ارائه شده است:

جدول ۶: زمان تناوب اصلی سازه هشت طبقه (با بازشو)

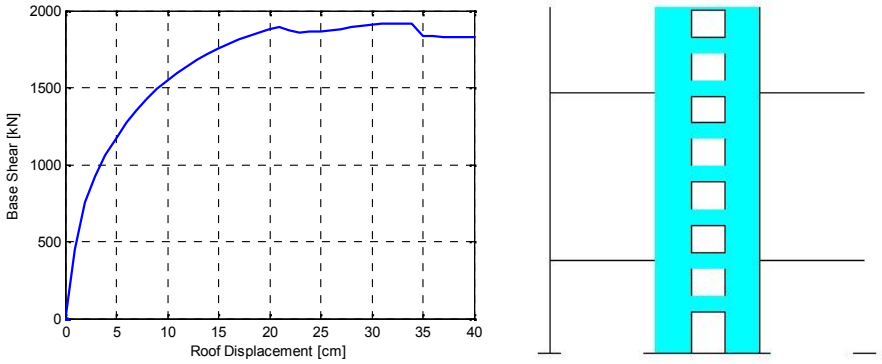
سازه	زمان تناوب اصلی (ثانیه)
دیوار برشی یکپارچه	۰/۲۵۸
دیوار برشی به هم پیوسته با تیر ضعیف	۰/۴۱۱
دیوار برشی به هم پیوسته با تیر متوسط	۰/۲۹۱
دیوار برشی به هم پیوسته با تیر عمیق	۰/۲۷۷

مطابق شکل ۷ در قاب ۸ طبقه با دیوار برشی بدون بازشو، قاب پس از رسیدن به حداکثر ظرفیت خود که ۳۲۶۰ کیلونیوتن می باشد، به شدت دچار کاهش مقاومت شده است و گسیختگی آن به صورت ناگهانی اتفاق افتاده است.



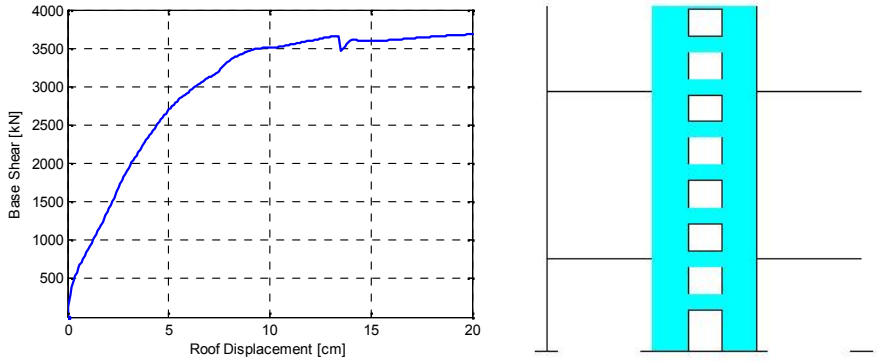
شکل ۷ : نما و منحنی ظرفیت قاب ۸ طبقه بدون بازشو

طبق شکل ۸ در قاب ۸ طبقه با تیر پیوند ضعیف نیز همانند قاب ۴ طبقه با تیر پیوند ضعیف، استفاده از تیر پیوند ضعیف، از مقاومت و ظرفیت سازه به شدت کاسته است.



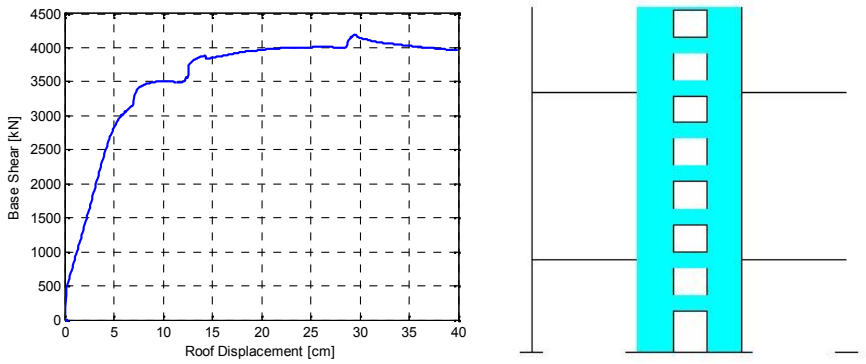
شکل ۸ : نما و منحنی ظرفیت قاب ۸ طبقه با تیر پیوند ضعیف

مطابق شکل ۹ در قاب ۸ طبقه با تیر پیوند متوسط، هر چند رفتار سازه خیلی بهتر از تیر پیوند ضعیف است، اما همچنان گسیختگی سازه به صورت ناگهانی است و مطلوب نیست.



شکل ۹ : نما و منحنی ظرفیت قاب ۸ طبقه با تیر پیوند متوسط

طبق شکل ۱۰ در قاب ۸ طبقه، استفاده از تیر پیوند عمیق، سبب شده است تا سازه علاوه بر آنکه مقاومت بالایی نسبت به حالت های قبل داشته باشد، رفتار شکل‌پذیرتری نیز از خود نشان دهد.



شکل ۱۰ : نما و منحنی ظرفیت قاب ۸ طبقه با تیر پیوند عمیق

در صورت استفاده از تیر پیوند ضعیف، مقاومت سازه به شدت کاهش می‌یابد. میزان این کاهش مقاومت برای سازه‌های ۴ و ۸ طبقه به ترتیب ۲۹ و ۵۵ درصد بوده است. در حالت تیر پیوند متوسط علاوه بر اینکه مقاومت نسبتا کاهش یافته، تیرهای پیوند نیز دچار گسیختگی می‌شوند. این مورد در نمودار پوش‌اور قاب های ۴ و ۸ طبقه نمایان است. در حالت تیر عمیق سازه مقاومت بالایی از خود نشان می‌دهد و درصد

کاهش مقاومت آن به دلیل بازشو ناچیز است و سازه به دلیل فراهم بودن مکانیزم مناسب برای تشکیل مفصل پلاستیک در محل تیرهای پیوند رفتار شکل پذیرتری از خود نشان می‌دهد.

نتیجه گیری

با توجه به مطالعه و تحقیق انجام‌شده بر روی دیوارهای برشی همراه با بازشو، می توان مهم‌ترین نتایج بدست آمده را به صورت زیر بیان نمود:

- دیوارهای برشی همراه با بازشو دارای سختی کمتر نسبت به دیوار برشی یکپارچه هستند که این امر باعث افزایش دوره تناوب چنین سازه هایی شده و رفتار سازه را در هنگام بروز بارگذاری جانبی بهبود می بخشد.
- در صورتی که بازشوها نسبت به ابعاد دیوار برشی بزرگ باشند و به عبارتی دیگر تیرهای پیوند از مقاومت کافی برخوردار نباشند، ظرفیت سازه به شدت کاهش می‌یابد و سازه رفتار غیرخطی نامناسبی از خود بروز می‌دهد. دلیل این امر فروپاشی ناگهانی تیر پیوند در هنگام بارگذاری جانبی شدید می باشد که منجر به تضعیف عملکرد سازه می شود.
- قاب هایی که دارای دیوارهای به هم پیوسته با تیرهای پیوند عمیق می‌باشند، ظرفیت بسیار مناسب و رفتار غیرخطی مطلوبی دارند. دلیل این پدیده آن است که تیرهای عمیق دارای توانایی کافی برای انتقال نیرو از یک دیوار به دیوار دیگر هستند و موجب می‌شوند دیوارهای جدا از هم همانند دیوارهای یکپارچه رفتار کنند. این تیرها توانایی تشکیل مفصل های پلاستیک را دارا هستند که پتانسیل غیرخطی بسیار بالایی را برای سازه فراهم می کند.
- در قاب های با دیوار یکپارچه، هرچند سختی و ظرفیت قاب بالا است اما این قاب ها پس از رسیدن به بیشترین ظرفیت خود، دچار کاهش ناگهانی ظرفیت می‌شوند. به بیانی دیگر پس از رسیدن به آستانه ی فرو ریزش، سازه مقاومت خود را از دست داده و بصورت ناگهانی از هم پاشیده می‌شوند. دلیل این امر نبود مکانیزم مناسب برای تشکیل مفصل پلاستیک و استهلاک انرژی می‌باشد.
- در قاب های همراه با بازشو که دارای تیرهای پیوند عمیق می باشند، قاب پس از رسیدن به آستانه فروریزش، رفتار غیر خطی قابل ملاحظه-ای از خود بروز می‌دهد و بصورت ناگهانی مقاومت خود را از دست نمی‌دهد. زیرا این قاب ها دارای مکانیسم اتلاف انرژی در محل تیرهای پیوند هستند و پس از تسلیم تیر پیوند، همچنان پایدار می‌مانند.
- در دیوارهای برشی با تیر پیوند متوسط علاوه بر اینکه مقاومت نسبتا کاهش یافته، تیرهای پیوند نیز دچار گسیختگی می‌شوند. هرچند گسیختگی تیرهای پیوند سبب افت مقاومت می‌شود اما سازه همچنان پایدار می ماند.
- در صورت استفاده از تیر پیوند ضعیف، مقاومت سازه به شدت کاهش می یابد. میزان این کاهش مقاومت برای سازه‌های ۴ و ۸ طبقه به ترتیب ۲۹ و ۵۵ درصد نسبت به حالت بدون بازشو بوده است.

مراجع

Adachi H, Nakanishi M and Shirai N (1981) Experimental study on reinforced concrete shear walls with openings. Tokyo, Japan. Transactions of the Japan concrete institute., Vol. 3, pp. 407-414

Benjamin JR and Villiams HA (1957) The behavior of one story reinforced concrete shear walls, *Journal of structural division*, Vol. 83, pp. 1254-49. No ST3

Fema356. (2000) Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. s.l. : Federal Emergency Managment Agency

Mazzoni S, McKenna F, Scott MH and Fenves GL et al., (2009) Open System for Earthquake Engineering Simulation (OpenSEES) User Command-Language Manual", Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley

Sharma SK (1998) Study of various structural systems under seismic excitation. M. Sc. Thesis, Tribhuvan University, Institute of Engineering, Lalitpur, Nepal

Smith, B S and Coull, A. (1991). Tall building structure: Analysis and Design. USA. : John Wiley and Sons.

Vitelmo V and Bozorgnia Y (2006) Earthquake Engineering: From Engineering Seismology to Performance-Based Engineering. s.l. : Taylor and Francis e-Library

Wahid N (2007) Frame analysis of reinforced concrete shear walls with openings. Malaysia, MS Thesis