

اثر ویژگی‌های مقطع تیر بر رفتار لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده هشتی با پیکربندی‌های متفاوت

محمدنادر نادرپور^۱، علی اکبر آقاچوک^{۲*}

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲- استاد بخش عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

A_Agha@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۸/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۷/۲۵

چکیده- در این مقاله، اثر ویژگی‌های مقطع تیر بر رفتار قاب‌های مهاربندی شده هشتی (شورون) با پیکربندی‌های متفاوت بررسی شده است. بنابراین شش نوع قاب مهاربندی شده هشتی در نظر گرفته شده است. که فقط در ویژگی‌های مقطع تیر با هم تفاوت دارد. از این شش نوع سازه، پنج نوع سازه به ضربدری بزرگ، شش نوع به سامانه هشتی با ستون همبند و یک نوع به سامانه معلق هشتی با ستون همبند تغییر یافته است. عملکرد این سازه‌ها در برابر بار جانبی تحلیل استاتیکی غیرخطی ارزیابی شده است. با بررسی عملکرد اعضای مختلف سامانه هشتی، مشخص شد که قوی کردن تیر به اندازه‌ای که نیروی نامتعادل را به صورت خطی تحمل کند، به بهبود رفتار قاب می‌انجامد؛ در غیر اینصورت قوی کردن تیر نه تنها کمکی به بهبود رفتار سازه نمی‌کند، ممکن است به بدتر شدن رفتار آن نیز منجر می‌شود. همچنین مشخص شد با تغییر چیدمان سامانه هشتی به ضربدری بزرگ، رفتار این‌گونه قاب‌ها به میزان چشم‌گیری بهبود می‌یابد. تحلیل‌های غیرخطی نشان می‌دهد که اضافه کردن ستون‌های همبند به عنوان راه‌کاری برای بهبود رفتار قاب‌های هشتی، زمانی می‌تواند مفید باشد که این قاب با ستون همبند سامانه معلق هشتی تشکیل دهد.

واژگان کلیدی- تحلیل غیرخطی، قاب مهاربندی شده هشتی (شورون)، سامانه ضربدری بزرگ، سامانه هشتی با ستون همبند،

سامانه معلق هشتی با ستون همبند

۱- مقدمه

در اثر اعمال تغییر مکان جانبی ناشی از زلزله به این قاب‌ها، رفتار غیرخطی سازه با کماتش مهاربند فشاری آغاز می‌شود. مهاربند فشاری پس از کماتش دچار افت مقاومت می‌شود. با این حال مهاربند کششی همچنان تمایل به جذب نیروی بیشتر دارد. این مسئله سبب اعمال نیروی نامتعادل به تیر می‌گردد. این نیرو سبب جاری شدن تیر و رفتار خاص این‌گونه قاب‌ها می‌شود؛ با این حال، اثر این نیرو بر رفتار سازه را در یک تحلیل غیرخطی که افت

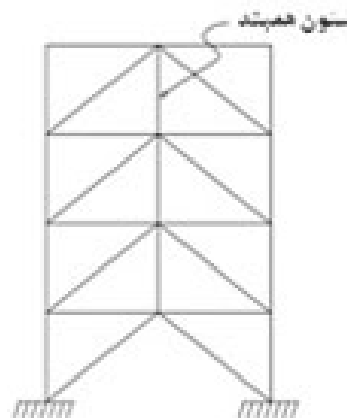
قاب‌های مهاربندی شده همگرا از سامانه‌های رایج قاب‌های فولادی به شمار می‌رود. تغییر مکان جانبی کم در این سامانه که سبب بهبود عملکرد اعضای سازه‌ای و غیرسازه‌ای می‌شود؛ از دلایل استفاده‌ی مهندسان از این سامانه است. یکی از پیکربندی‌های رایج قاب‌های مهاربندی شده همگرا، استفاده از مهاربندهای ۸ است که به دلیل ملاحظات معماری، مورد توجه طراحان است.

و نیروی مهاربند فشاری طبقه دوم را افزایش می‌دهد و در نتیجه مهاربند فشاری کمانش می‌کند. در صورتی که تحریک سازه در همان راستا ادامه داشته باشد، نیروی نامتعادل به تدریج از راه ستون‌های همبند به طبقات بالاتر منتقل می‌شود و مهاربندهای فشاری همه طبقات کمانش می‌کنند. پس از پیشنهاد سامانه هشتی با ستون همبند، تحقیقات زیادی درباره‌ی رفتار این قاب‌ها انجام شد. بر اساس این تحقیقات، کمانش تقریباً همزمان مهاربندهای فشاری سازه، گرچه به پخش یکنواخت خرابی در سازه منجر می‌شود اما می‌تواند به ناپایداری سازه و فروریزش آن به خاطر ایجاد مکانیزم کامل منجر شود [۲]. ترمبلی و

تریکا یک روش طراحی برای سامانه هشتی با ستون همبند پیشنهاد دادند که بر پایه‌ی تسلسل کمانش مهاربندها و بازپخش نیروهای به‌وجودآمده، با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف، است. با این حال، مطالعات تحلیلی آن‌ها نشان داده است که در این سازه‌ها ناپایداری و فروریزش در زلزله‌های نزدیک گسل اتفاق می‌افتد [۲].

برای برطرف کردن مشکل ناپایداری این گونه قاب‌ها، لئون و یانگ یک روش برای طراحی اعضای قاب‌های این سامانه ارائه دادند و آن را "سامانه معلق هشتی با ستون همبند" نامیدند [۳]. روش طراحی این سامانه مهاربندی به گونه‌ای است که مهاربندهای بالاترین طبقه به صورت الاستیک باقی می‌مانند در حالی که به سایر مهاربندهای فشاری اجازه کمانش داده می‌شود. در این صورت، تشکیل مکانیزم کامل در این قاب ممکن نیست [۴]. بر مبنای مطالعاتی که آن‌ها انجام دادند، با ارزیابی عملکرد سازه معلق هشتی با ستون همبند و سامانه هشتی عادی، این نتیجه به‌دست آمد که برای یک سازه مشخص، سامانه معلق

مقاومت را شبیه‌سازی کند می‌توان دید. خطیب و همکاران با انجام مطالعه جامعی، رفتار قاب‌های مهاربندی‌شده هشتی را بررسی کردند. آن‌ها در این مطالعه، تشکیل طبقه نرم در این قاب‌ها و تمرکز خرابی در یک طبقه را از ضعف‌های اصلی این سامانه شمردند [۱]. خطیب و همکاران تغییر پیکربندی مهاربندها به صورت ضربدری بزرگ^۱ را یکی از روش‌های بهبود کارکرد این سامانه معرفی کردند؛ همچنین اضافه کردن ستون همبند^۲ به عنوان یک روش مناسب برای کاهش اثر نامطلوب نیروی نامتعادل، پیشنهاد شد. سامانه به‌دست‌آمده از اضافه کردن این ستون‌ها، سامانه هشتی با ستون همبند نام دارد. در شکل ۱، یک نمونه قاب با مهاربند ۸ با ستون همبند نشان داده شده است.



شکل (۱) سامانه هشتی با ستون همبند

هدف از اضافه کردن این ستون‌ها، به هم دوختن نقطه به هم رسیدن مهاربندها با تیرها در طبقات مختلف است تا پخش نیرو در طبقات بهبود یابد و از تمرکز خرابی در یک طبقه جلوگیری شود.

در این سامانه هنگامی که، برای نمونه، مهاربند فشاری طبقه اول، کمانش می‌کند، نیروی نامتعادل اعمال‌شده به تیر طبقه اول از طریق ستون همبند به طبقه دوم منتقل می‌شود

نوع یک به سامانه معلق هشتی با ستون همبند تبدیل شده‌است. با انجام تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی، رفتار سازه‌ها کاملاً بررسی شده است.

شکل ۱، پلان و نمای سازه‌های مطالعه‌شده را نشان می‌دهد. این سازه‌ها متقارن بوده و به‌وسیله‌ی قاب‌های پیرامونی و در یک دهانه، مهاربندی شده است. طول هر دهانه، ۵ متر و ارتفاع هر طبقه، ۳/۱ متر است. مهاربند‌های سازه بر اساس ضوابط مبحث دهم مقررات ملی ساختمان طراحی شده است [۷]. شش نوع سازه با تغییر مقطع تیر این قاب‌ها در نظر گرفته شده است. مبنای انتخاب مقطع تیر این شش نوع، میزان نیروی نامتعادلی است که می‌تواند در تیر این قاب‌ها توسعه پیدا کند. در نوع یک، حدود ۱/۱ از کل نیروی نامتعادل با توجه به ظرفیت مهاربند‌ها و تیر که بر اساس نشریه ۳۶۰ محاسبه شده است، در طبقات مختلف این قاب می‌تواند توسعه پیدا کند. این میزان برای نوع دو، سه، چهار و پنج به ترتیب ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷ و ۱ است. نوع شش به‌گونه‌ای طراحی شده است که با در نظر گرفتن سخت‌شدگی برای فولاد و افزایش نیروی مهاربند کششی، تیر بتواند نیروی نامتعادل را به صورت خطی تحمل کند. در جداول ۱، ۲ و ۳، مقاطع اعضای مختلف سامانه هشتی نمایش داده شده است. با توجه به این که دو دهانه در هر امتداد این سازه، مهاربندی شده است، مقاطع به‌دست‌آمده برای مهاربند‌ها، مقاطع نسبتاً بزرگی است. اما این موضوع در نتیجه‌گیری این مطالعه تأثیری ندارد. در جدول ۳، مقاطع انتخابی برای تیر نشان داده شده است. همان‌گونه که در این جدول دیده می‌شود، مقاطع انتخابی تیر برای انواع یک تا شش به تدریج قوی‌تر می‌شود به گونه‌ای که در نوع شش، ابعاد انتخابی برای تیرهای مقاطع بسیار قوی است که نشان‌دهنده میزان و اهمیت نیروی نامتعادل است.

هشتی با ستون همبند، ۲۵ درصد کمتر مصالح مصرف می‌کند و هزینه تعمیر سامانه معلق هشتی با ستون همبند، کمتر از سامانه هشتی است [۴].

آیین‌نامه‌های طراحی ساختمان‌ها در گذشته محدودیت‌هایی را برای طراحی مهاربند‌های هشتی قائل می‌شدند؛ هر چند این ضوابط ناظر به طراحی این قاب‌ها در برابر نیروی نامتعادل نبودند [۵]؛ ولی در آیین‌نامه‌های جدید، از جمله مبحث دهم مقررات ملی ساختمان ایران، برای طراحی قاب‌های مهاربندی شده هشتی در برابر نیروی نامتعادل، ضوابط ویژه‌ای ارائه شده است. بر اساس این ضوابط، تیر باید برای آثار برشی و لنگر ناشی از نیروی نامتعادل که با فرض نیروی قطری کششی برابر با ظرفیت نهایی آن و نیروی مهاربند فشاری به اندازه ۰.۳ ظرفیت اسمی فشاری آن به دست می‌آید، محاسبه شود [۶-۷].

در این مقاله، رفتار غیرخطی قاب‌های مهاربندی شده هشتی، ضربدیری بزرگ (هشت و هفت یک در میان)، هشتی با ستون همبند و معلق هشتی با ستون همبند با محوریت اثر مقطع تیر، بررسی شده است. با توجه به پیشینه طراحی قاب‌های مهاربندی شده هشتی و ضوابط طراحی این قاب‌ها در گذشته، امروزه قاب‌های مهاربندی شده زیادی وجود دارند که ضوابط لرزه‌ای آیین‌نامه‌های امروز را برآورده نمی‌کنند؛ پس بررسی رفتار این قاب‌ها و بهسازی آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین ابتدا شش نوع سازه با سامانه هشتی طراحی شده است. این شش نوع در همه ویژگی‌ها بجز مقطع تیر یکسان است. سپس پنج نوع از این سازه‌ها (انواع یک تا پنج) به پیکربندی ضربدیری بزرگ تبدیل شدند؛ همچنین این پنج نوع با تعبیه ستون‌های همبند به سامانه هشتی با ستون همبند تبدیل شده است. در پایان،

جدول (۱) مقطع ستون‌های مدل‌ها در طبقات مختلف

مقطع ستون	طبقه
BOX 350X350X30	اول و دوم
BOX 300X300X30	سوم و چهارم
BOX 250X250X30	پنجم و ششم
BOX 250X250X15	هفتم و هشتم

جدول (۲) مقطع مهاربندها در طبقات

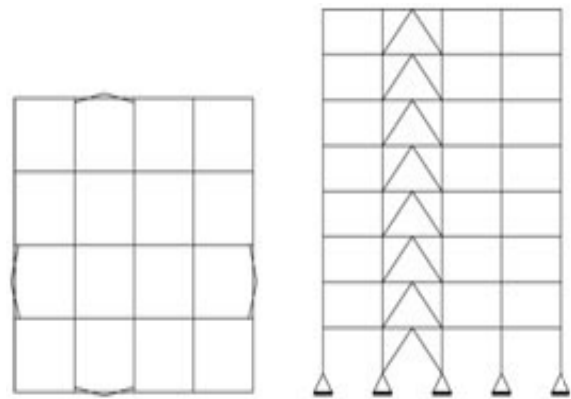
مقطع مهاربند	طبقه
2UPN 240	اول و دوم
2UPN 220	سوم و چهارم
2UPN 220	پنجم
2UPN 180	ششم
2UPN 160	هفتم و هشتم

جدول (۳) مقاطع تیر در انواع مختلف

طبقه	نوع یک	نوع دو	نوع سه	نوع چهار	نوع پنج	نوع شش
اول	IPE 360	IPE 400	IPE 450	IPE 550	2IPE 550	2IPE 600
دوم	IPE 360	IPE 400	IPE 450	IPE 550	2IPE 550	2IPE 600
سوم	IPE 330	IPE 400	IPE 450	IPE 550	2IPE 550	2IPE 600
چهارم	IPE 330	IPE 400	IPE 450	IPE 550	2IPE 550	2IPE 600
پنجم	IPE 330	IPE 400	IPE 450	IPE 550	2IPE 550	2IPE 600
ششم	IPE 300	IPE 360	IPE 400	IPE 450	2IPE 450	2IPE 550
هفتم	IPE 300	IPE 330	IPE 400	IPE 450	2IPE 450	2IPE 550
هشتم	IPE 300	IPE 330	IPE 400	IPE 450	2IPE 450	2IPE 550

جدول (۴) مقطع ستون‌های همبند در سامانه هشتی با ستون همبند

طبقه	نوع یک	نوع دو	نوع سه	نوع چهار	نوع پنج	نوع شش
اول	2UPN 80	2UPN 80	2UPN 80	2UPN 100	2UPN 120	2UPN 120
دوم	2UPN 80	2UPN 80	2UPN 80	2UPN 100	2UPN 120	2UPN 120
سوم	2UPN 80	2UPN 80	2UPN 100	2UPN 100	2UPN 120	2UPN 120
چهارم	2UPN 80	2UPN 100	2UPN 100	2UPN 120	2UPN 120	2UPN 120
پنجم	2UPN 80	2UPN 100	2UPN 120	2UPN 120	2UPN 120	2UPN 120
ششم	2UPN 80	2UPN 120	2UPN 120	2UPN 120	2UPN 120	2UPN 120
هفتم	2UPN 80	2UPN 120	2UPN 120	2UPN 120	2UPN 120	2UPN 120
هشتم	2UPN 80	2UPN 120	2UPN 120	2UPN 120	2UPN 120	2UPN 120



شکل (۱) پلان و نمای سازه‌های مطالعه شده

در مرحله بعد، انواع ۱ تا پنج با تغییر پیکربندی سازه به سامانه ضربدری بزرگ تبدیل شده است. مقاطع اعضای مختلف این سامانه در انواع مختلف عیناً مشابه مقاطع نوع متناظر در سامانه هشتی است. سپس با اضافه کردن ستون‌های همبند به قاب‌های هشتی، پیکربندی جدیدی با نام سامانه هشتی با ستون همبند به وجود آمد. مقطع این ستون‌ها با فرض رفتار کششی و با سعی و خطای مبتنی بر تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی طراحی شده است و به گونه‌ای انتخاب شده است که معیارهای پذیرش مربوط به مهاربندهای کششی را داشته باشد [۸]. مقاطع اعضای مختلف این سامانه در جداول ۱، ۲، ۳، ۴ نشان داده شده است.

سامانه معلق هشتی با ستون همبند از دیدگاه پیکربندی، مشابه سامانه هشتی با ستون همبند است، با این تفاوت که ستون‌های همبند در طبقات به گونه‌ای انتخاب شده است که قادر باشد نیروی نامتعادل را به طبقه بالاتر خود منتقل کند. مهاربندهای بالاترین طبقه نیز به گونه‌ای انتخاب شده است که قادر باشد افزون بر تلاش‌های لرزه‌ای، تلاش‌های حاصل از نیروی نامتعادل را نیز تحمل کند. در جدول ۵ مقاطع استفاده شده در سامانه معلق هشتی با ستون همبند ارائه شده است.

جدول (۵) مقاطع مهاربندها و ستون همبند در سامانه معلق هشتی با

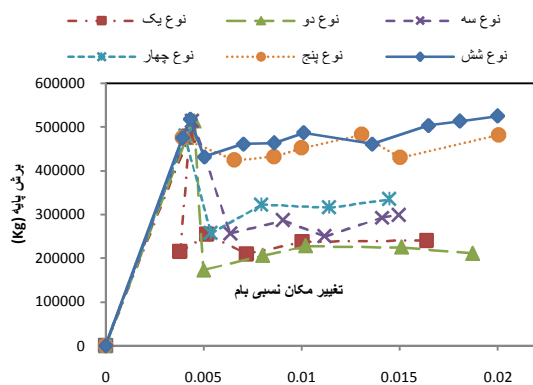
ستون همبند

ستون همبند	مهاربند	طبقه
HSS 200X120X5	2UPN 240	اول
HSS 200X120X5	2UPN 240	دوم
HSS 200X120X5	2UPN 220	سوم
HSS 200X120X6.25	2UPN 220	چهارم
HSS 200X120X6.25	2UPN 220	پنجم
HSS 200X120X6.25	2UPN 180	ششم
HSS 200X120X6.25	2UPN 160	هفتم
HSS 200X120X6.25	HSS 200X120X6.25	هشتم

۵- ارزیابی عملکرد سامانه هشتی

شکل ۲، نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی شش نوع سازه هشتی بررسی شده را نشان می‌دهد.

همان گونه که در شکل ۲ دیده می‌شود با قوی‌تر شدن تیر تا قبل از شروع رفتار غیرخطی، تفاوتی در رفتار سازه‌های مختلف وجود ندارد و شروع رفتار غیرخطی نیز به دلیل وجود مهاربندهای مشابه، تقریباً هم‌زمان است. پس از شروع رفتار غیرخطی، رفتار کلی سازه در انواع گوناگون، تفاوت زیادی دارد. در سازه‌هایی که تیر ضعیف‌تر است، افت بیشتری در منحنی نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی وجود دارد.



شکل (۲) نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی قاب‌های هشتی

در قاب‌هایی که تیر ضعیف است، پس از کماتش مهاربند فشاری، نیروی نامتعادل وارد شده به تیر، بیش از ظرفیت تیر است و سبب بروز رفتار غیرخطی در تیر می‌شود؛ پس این نیرو باید کاهش یابد تا تیر بتواند آن را تحمل کند که در نتیجه، ظرفیت باربری قاب نیز کاهش می‌یابد. به بیان دیگر، در قاب‌های مهاربندی هشتی، افت موجود در منحنی نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی، ناشی از کاهش مقاومت نیروی مهاربند فشاری به خاطر کماتش و نیز کاهش نیروی

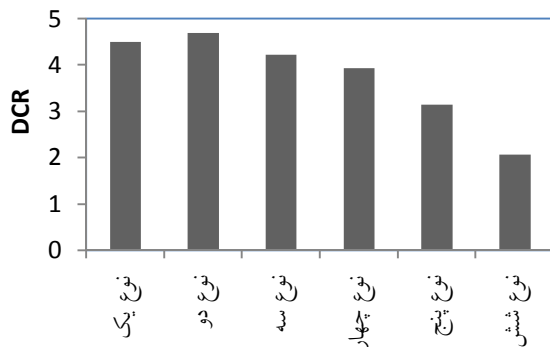
۳- فرضیات مدل سازی

در این مطالعه، مهاربندها به صورت اعضایی که تنها نیروی محوری دارد مدل شده است. تیر نیز به صورت یک تیر، دوسر ساده با در نظر گرفتن یک مفصل پلاستیک در محل اتصال مهاربندها به تیر فرض شده است. رفتار در نظر گرفته شده برای مهاربند و مفصل خمیری تیر بر اساس منحنی‌های رفتاری پیشنهاد شده در نشریه ۳۶۰ [۷] طراحی شده است.

۴- شاخص ارزیابی عملکرد قاب‌ها

برای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای قاب‌های مختلف، به یک شاخص نیاز است. در این مطالعه، نسبت تغییر شکل عضو به تغییر شکل مجاز آن در سطح کارکرد ایمنی جانی به عنوان شاخص ارزیابی کارکرد اعضا در نظر گرفته شده است. میزان تغییر شکل مجاز هر المان بر اساس مراجع [۸، ۹ و ۱۰] استخراج شده است. این شاخص به صورت نسبت تقاضا به ظرفیت، DCR، نشان داده شده است. منظور از DCR، بحرانی‌ترین DCR متناظر است. همچنین نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی نیز برای بررسی رفتار این قاب‌ها

نمودار مشاهده می‌شود، عملکرد مهاربند در قاب‌های با تیر قوی‌تر، از عملکرد همان مهاربند در قاب با تیر ضعیف‌تر، مطلوب‌تر است؛ یعنی در قاب‌های با سامانه هشتی، یک اندرکنش بین تیر و مهاربند وجود دارد. در توجیه این مسئله باید گفت در قاب‌های مهاربندی شده هشتی، مهاربندهای فشاری، افزون بر تغییر شکل‌های ناشی از فشار، باید تغییر شکلی ناشی از تغییر شکل تیر را نیز تحمل کنند. طبیعی است هر چه تیر ضعیف‌تر باشد این تغییر شکل تحمیلی بیشتر و در نتیجه عملکرد مهاربند بدتر است.



شکل (۴) نمودار DCR مهاربندهای سامانه هشتی در انواع مختلف

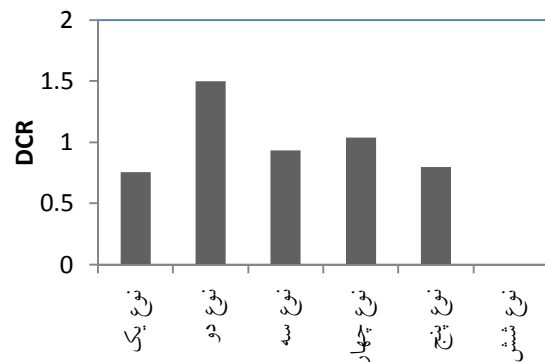
در نوع شش، DCR مهاربند از مقدار مجاز بیشتر شده است؛ معیارهای پذیرش موجود برای مهاربندهای فشاری در نشریه ۳۶۰، برای تحلیل استاتیکی غیرخطی سخت‌گیرانه‌تر از معیارهای پذیرش مهاربندها در مبحث ۱۰ است.

۶- ارزیابی عملکرد سامانه ضربداری بزرگ

در شکل ۵، نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی انواع مختلف سامانه ضربداری بزرگ نمایش داده شده است. همان‌گونه که در این نمودار مشخص است، بر خلاف سامانه هشتی، در سامانه ضربداری بزرگ، اولاً افت منحنی تحلیل استاتیکی غیرخطی کم است؛ ثانیاً منحنی رفتار سازه در انواع گوناگون این سامانه تفاوت ناچیزی دارد.

مهاربند کششی به علت ضعف تیر است. بنابراین واضح است که مقاومت تیر در رفتار کلی قاب‌های هشتی نقش زیادی دارد. همان‌گونه که در شکل ۲ مشخص است، با قوی شدن تیر، میزان افت منحنی، کاهش می‌یابد چون مقاومت تیر برای تحمل نیروی نامتعادل بیشتر است و نیروی مهاربند کششی افت کمتری دارد که این مسئله سبب افت کمتر منحنی استاتیکی غیرخطی می‌شود.

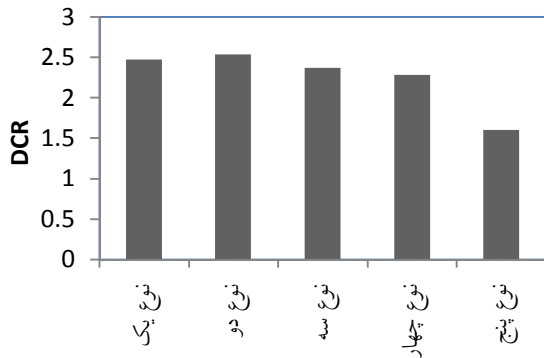
در شکل ۳، DCR تیر انواع مختلف سامانه هشتی نمایش داده شده است؛ در انواع یک تا پنج سامانه هشتی، با وجود این‌که تیر قوی‌تر شده است و ظرفیت باربری جانبی قاب افزایش یافته است؛ ولی نه تنها رفتار تیر بهبود نیافته بلکه در مواردی بدتر نیز شده است؛ چون با قوی‌تر شدن تیر، تغییر شکل‌های مجاز غیرارتجاعی تیر یا شکل‌پذیری آن کاهش می‌یابد ولی در قاب نوع شش، مطابق انتظار، هیچ‌گونه رفتار غیرارتجاعی در تیر بروز نکرده است؛ بنابراین معیارهای پذیرش را دارد.



شکل (۳) نمودار DCR تیر انواع مختلف سامانه هشتی

در شکل ۴، نمودار DCR مهاربندهای انواع گوناگون سامانه هشتی نمایش داده شده است. همان‌گونه که در این نمودار دیده می‌شود، است گرچه مقاطع مهاربندهای به‌کار رفته در قاب‌های مختلف یکسان است اما عملکرد مهاربندها در قاب‌های مختلف، متفاوت است. همان‌گونه که در این

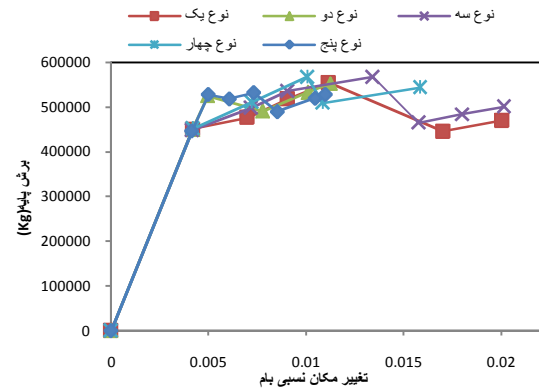
می‌کند که در این سامانه، اثر تیر در رفتار قاب چندان چشم‌گیر نیست و همچنین اندرکنشی بین تیر و مهاربند وجود ندارد.



شکل (۷) DCR مهاربندهای انواع گوناگون در سامانه ضربدری بزرگ

۷- ارزیابی عملکرد سامانه هشتی با ستون همبند

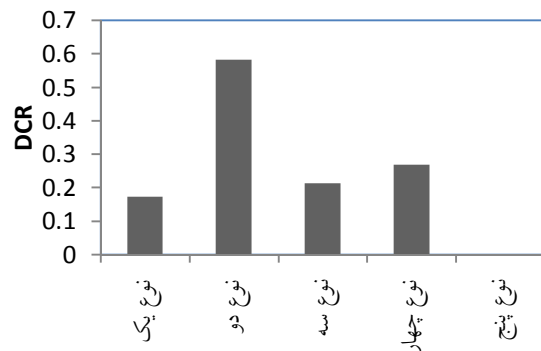
نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی سامانه هشتی با ستون همبند گویای شباهت رفتاری این سامانه با سامانه مهاربندی هشتی است. در این سامانه نیز در منحنی نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی، افت‌های نسبتاً زیادی دیده می‌شود. در شکل ۸، نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی انواع مختلف این سامانه نمایش داده شده است. در این شکل دیده می‌شود که در نوع پنج و شش این سامانه، میزان افت منحنی نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی، کم است؛ در حالی که در نوع یک، این منحنی، افت چشم‌گیری را تجربه می‌کند؛ یعنی ستون‌های همبند نمی‌توانند نقش چندان در افزایش مقاومت پس از تسلیم ایفا کنند. در توجیه رفتار این سامانه باید گفت، پس از کمانش مهاربند فشاری، نیروی نامتعادل به تیر اعمال می‌شود. هم‌زمان با تغییر شکل تیر، ستون همبند وارد عمل می‌شود. انتظار می‌رود با تغییر شکل انتهای ستون همبند، بخشی از نیروی نامتعادل به طبقه بالاتر منتقل شود و نیروی



شکل (۵) نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی انواع مختلف سامانه ضربدری بزرگ

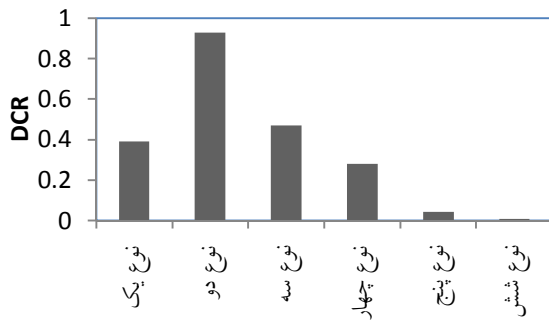
به بیان دیگر، منحنی‌های نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی، چندان به ویژگی‌های تیر حساس نیست؛ چون خنثی شدن نیروی نامتعادل اعمال شده به تیر به خاطر چیدمان خاص مهاربندهاست؛ پس تیرها در انواع این سامانه، چندان رفتار غیرخطی از خود بروز نمی‌دهند.

شکل ۶ نشان می‌دهد تغییرات DCR در سامانه ضربدری بزرگ مشابه سامانه هشتی است با این تفاوت که مقدار DCR متناظر در انواع مختلف این سامانه، کوچک‌تر است که یعنی رفتار خمیری تیر در این سامانه، به گونه‌ای چشم‌گیر کمتر از سامانه هشتی است.



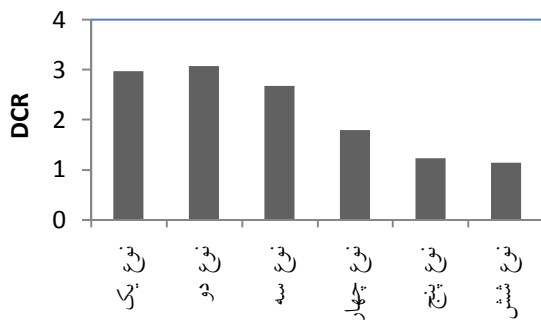
شکل (۶) نمودار DCR تیر در سامانه ضربدری بزرگ

در شکل ۷، نمودار DCR مهاربندهای انواع مختلف سامانه ضربدری بزرگ نمایش داده شده است. این نمودار تأیید



شکل (۹) نمودار DCR تیر در سامانه هشتی با ستون همبند

در شکل ۱۰، نمودار DCR مهاربندها در انواع مختلف سامانه هشتی با ستون همبند مشاهده می‌شود. در مهاربندها، الگوی تغییرات DCR در انواع مختلف سامانه هشتی با ستون همبند، مانند آنچه در سامانه هشتی و ضربدری بزرگ دیده شده است. در نمودارهای تیر و مهاربندها مشاهده می‌شود که نوع پنج عملکرد مناسب‌تری دارد.



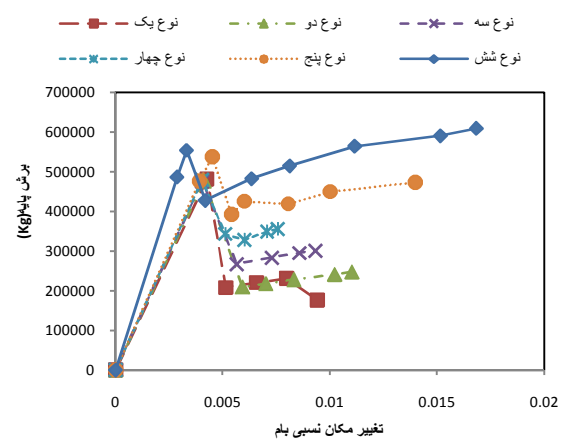
شکل (۱۰) نمودار DCR مهاربندهای سامانه هشتی با ستون همبند

۸- ارزیابی عملکرد سامانه معلق هشتی با

ستون همبند

با دقت در نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی این سامانه که در شکل ۱۱ نشان داده شده است، مشاهده می‌شود که منحنی این سامانه پس از یک کاهش مقاومت، شاهد افزایش دوباره مقاومت است. در این سامانه پس از کماتش مهاربند فشاری، بازپخش نیروها رخ می‌دهد. این رخداد

منتقل شده به طبقه بالاتر، با نیروی نامتعادل خود طبقه جمع شده و این فرایند ادامه یابد؛ اما در این قاب‌ها این فرایند اتفاق نیفتاده است. برای این‌که فرایند گفته شده اتفاق بیفتد باید اولاً ستون همبند بتواند این نیرو را منتقل کند و ثانیاً تیر و یا سامانه دیگری وجود داشته باشد تا در نهایت نیروی نامتعادل تجمعی را تحمل کند. بنابراین در این قاب‌ها هرچند ستون همبند اضافه شده است ولی عملاً باربری جانبی قاب افزایش نیافته است. با قوی شدن تیر در این سامانه از نقش ستون‌های همبند کاسته می‌شود؛ چون نیروی ایجادشده در این ستون‌ها وابسته است به تغییر شکل انتهای ستون همبند که همان تغییر شکل تیر است. با قوی شدن تیر، این تغییر شکل‌ها کوچک می‌شود؛ افزون بر این‌که بخش زیادی از نیروی نامتعادل به وسیله تیر تحمل می‌شود.



شکل (۸) نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی انواع مختلف سامانه هشتی با ستون همبند

در شکل ۹، نمودار DCR تیر در سامانه هشتی با ستون همبند نمایش داده شده است. الگوی کلی تغییرات کارکردی تیر در این سامانه نیز مشابه سامانه هشتی و ضربدری بزرگ است.

قوی شدن تیر باعث افزایش مقاومت قاب می‌شود ولی به دلیل افزایش نسبت تغییر شکل‌های غیرارتجاعی در تیر، بهبود کلی رفتار لرزه‌ای حاصل نمی‌شود.

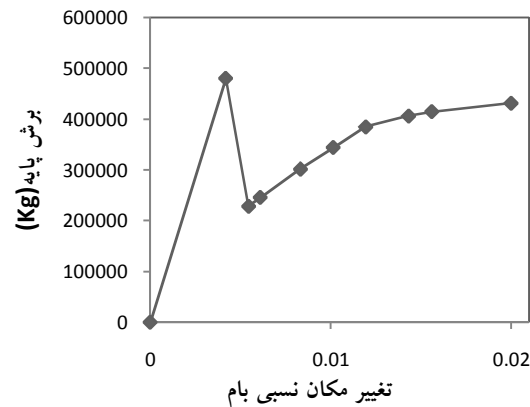
- منحنی به‌دست‌آمده از تحلیل استاتیکی غیرخطی سامانه‌های مهاربندی‌شده با مهارندهای هشتی پس از کمانش مهاربند فشاری، یک افت دارد. میزان افت بستگی به نوع سازه و سامانه آن دارد. هرچه تیر قوی‌تر باشد این افت کمتر است. سامانه ضربدری بزرگ، افت بسیار کمتری نسبت به دو سامانه دیگر دارد. منحنی نتایج تحلیل سامانه ضربدری بزرگ در انواع مختلف با تغییرات ناچیزی همراه است. با تغییر سامانه هشتی با ستون همبند به سامانه معلق هشتی با ستون همبند، منحنی نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی نشان می‌دهد سازه پس از افت اولیه دوباره افزایش مقاومت را تجربه می‌کند.

- تحلیل‌ها نشان می‌دهد که اضافه کردن ستون همبند در مواردی که سامانه با ستون همبند به صورت هشتی باشد، چندان به بهبود رفتار سازه منجر نمی‌شود ولی با تغییر سامانه هشتی با ستون همبند، به سامانه معلق هشتی با ستون همبند رفتار قاب به میزان زیادی بهبود می‌یابد.

- در سامانه ضربدری بزرگ به خاطر خستگی شدن نیروی نامتعادل، رفتار سازه به نسبت دو سامانه هشتی و هشتی با ستون همبند به گونه‌ای چشم‌گیر مطلوب‌تر است.

- با توجه به اهمیت و تأثیر فراوان نیروهای نامتعادل مهارندهای هشتی و از آن‌جا که در تحلیل‌های خطی برای مقاصد بهسازی سازه‌های موجود، در کنترل تیرها، اثر این نیروها به صورت صریح کنترل نمی‌شود، پیشنهاد می‌شود این تیرها به عنوان اعضای کنترل‌شده به وسیله‌ی نیرو معرفی شده و ضرورت کنترل معیارهای پذیرش در آن‌ها در نشریه ۳۶۰ به صورت صریح بیان شود.

سبب انتقال نیروی نامتعادل به طبقات بالا و در نتیجه استفاده از ظرفیت مهاربند طبقه آخر می‌شود. در این نوع پیکربندی، سازوکار گفته‌شده در بند ۷ اتفاق می‌افتد؛ یعنی با تغییر شکل تیر، ستون همبند، بخشی از نیروی نامتعادل را به طبقه بالا منتقل می‌کند. این نیروی نامتعادل با نیروی نامتعادل خود طبقه جمع می‌شود و این فرایند ادامه می‌یابد. از آن‌جا که در این سامانه، ستون همبند توانایی انتقال نیروی نامتعادل را دارد و در نهایت نیز مهارندهای بالاترین طبقه، نیروی تجمعی نامتعادل را تحمل می‌کنند، منحنی رفتار سازه، افزایش مقاومت را تجربه می‌کند.



شکل (۱۱) نتایج تحلیل استاتیکی غیرخطی سامانه معلق هشتی با ستون همبند

۹- نتیجه‌گیری

در این مقاله، رفتار قاب‌های مهاربندی‌شده هشتی با فرم‌ها و چیدمان‌های مختلف بررسی شده است. نتایج مطالعات را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- رفتار قاب‌های مهاربندی‌شده هشتی زمانی قابل اعتماد است که تیر به اندازه کافی قوی باشد تا ارتجاعی باقی بماند؛ وگرنه قوی شدن تیر به بهبود رفتار، کمک شایانی نمی‌کند. تحلیل‌های انجام‌شده نشان می‌دهد در بسیاری از موارد، اگرچه

۱۰- مراجع

- [6] AISC, Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago, 2005
- [7] دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، مبحث دهم مقررات ملی ساختمان «طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی»، وزارت مسکن و شهرسازی، نشر توسعه ایران، ۱۳۸۷
- [۸] سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود نشریه ۳۶۰، ۱۳۸۵
- [9] FEMA 356, Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington DC, 2000
- [10] ASCE 41-06, Seismic Rehabilitation of Existing Building, American Society of Civil Engineering, 2007
- [1] Khatib Ibrahim et al., Seismic behavior of concentrically braced steel frames, UCB/EERC-88/01, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California, 1988
- [2] Tremblay Robert, Tirca L. Behavior and design of multi-story zipper concentrically braced steel frames for the mitigation of soft-story response. In: Proceedings of the conference on behaviour of steel structures in seismic areas, 2003, pp. 471-477
- [3] Yang Chuang Sheng et al, Design and behavior of zipper braced frames. Engineering structure, vol.30, issue4, 2007, pp.1092-1100
- [4] Yang Chuang Sheng et al, Performance Evaluation of Innovative Steel Braced Frames, PEER report No.2009/103, University of California, Berkley, 2009
- [5] مبحث دهم مقررات ملی ساختمان «طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی»، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، نشر توسعه ایران، ۱۳۸۴.

«Research Note»

The Effects of Beam Characteristics on Seismic Behavior of Chevron Braced Frames with Different Configurations

M.N. Maderpour¹, A.A. Aghakouchak^{2*}

1- M.Sc Graduated of Sesimology Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

2- Professor of Civil Engineering Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

A_Agha@modares.ac.ir

Abstract:

One of the most common types of steel frames is Concentrically Braced Frame (CBF). A certain type of CBF called Chevron braced frame has always been interesting to designers due to architectural advantages. When lateral earthquake-induced displacements are applied to these frames, their nonlinear behavior starts with buckling of compression brace. The buckled brace experiences a considerable reduction in resistance. On the other hand, the tension brace tends to increase its internal force. The unsymmetrical behavior of braces in tension and compression leads to application of a force known as unbalanced force to the beam. The unbalanced force can yield the chevron beam and result in failure of this kind of CBF configuration.

In this paper the seismic behavior of ordinary chevron braced frames, super-X braced frames, zipper braced frames and suspended zipper braced frames are investigated. In order to achieve this goal, six types of chevron braced structures are considered. These structures are symmetrical and are braced in one bay of the perimeter frames. The braces of the structures are selected so that they comply with the seismic provisions of Chapter 10 of Iranian National Building Code. By changing the section properties of chevron beams, six types of chevron braced frames are obtained. Then, five types of these frames are converted to super-X frames, six of them to zipper-braced frames and one of them to suspended zipper frame. The performance of these structures is assessed by non-linear static analysis. For each structure, the pushover curves are plotted and the capacity demand ratios (DCRs) of different elements for Life Safety performance level are determined. The performance of different elements is investigated by interpreting the outputs. It is observed that in ordinary chevron frames slight strengthening of the beam is not helpful unless it is fully strengthened so that it can resist the unbalanced force linearly. Otherwise, strengthening the beam may exacerbate the global performance of the frame. It is also observed that the conversion of inverted-V configuration to super-X configuration improves the behaviors of these frames. The non-linear analyses show that adding the zipper column to the frame can improve the seismic behavior of the frame only when the structure has the characteristics of suspended-zipper frames.

Keywords: pushover analysis, chevron braced frame, super-X braced frame, zipper braced frame, suspended zipper braced frame