تاریخ دریافت: ۹۴/۰۳/۲۰
تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۲/۲۲

مقایسه کاربرد مهاربندهای کمانش‌ناپذیر و هشتی در مقاوم‌سازی ساختمان بتن مسلح هفت طبقه با استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی

حسن سهرابی (نویسنده مسئول)، دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بندرعباس، *h.sohrabi@iauba.ac.ir*
احمد رهبر، استادیار گروه عمران، دانشگاه امیرکبیر
عباس اکبرپور نیک‌قلب، استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

چکیده: *ساختمان‌های آسیب‌پذیر و مقاوم‌سازی آنها از مسائل مهم برای مناطق زلزله‌خیز می‌باشند. در دهه‌های اخیر مطالعات روی بهسازی و مقاوم‌سازی سازه‌های گوناگون منجر به ابداع روش‌های جدید و متنوع در این زمینه گردیده است. روش‌های زیادی همچون اضافه‌کردن اجزای سازه‌ای (دیوار برشی فولادی و بتنی، بادبندهای فولادی و کمانش‌ناپذیر)، تقویت اعضای سازه‌ای ضعیف و تغییر کاربری سازه را می‌توان برای بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه نام برد. در پاسخ به بسیاری از مسائل عملی و ملاحظات اقتصادی، مهندسان بیشتر از قاب‌های مهاربندی شده به‌عنوان سامانه‌ی مقاوم در برابر بارهای جانبی ناشی زمین‌لرزه استفاده می‌کنند. هدف مطالعه حاضر، بررسی عملکرد لرزه‌ای و مقایسه مقاوم‌سازی یک قاب بتن مسلح هفت طبقه موجود با استفاده از مهاربند کمانش‌ناپذیر و هشتی پیرامونی به‌صورت جداگانه می‌باشد. نتایج حاصل از تحقیق‌های استاتیکی غیرخطی با الگوی سازه نشان داد که به علت رفتار مناسب بادبند کمانش‌ناپذیر در فاز غیر خطی و تحت بارهای فشاری، این نوع بادبندها باعث افزایش سختی و مقاومت کم‌وبیش ۳/۵۰ برابر و کاهش چشمگیر در دریفت طبقات و زمان تناوب سازه (در حدود ۳/۳۰ برابر) نسبت به سازه‌ی اولیه شده‌اند.*

کلمات کلیدی: *بادبند شورن، مقاوم‌سازی لرزه‌ای، سطح عملکرد، عملکرد لرزه‌ای*

۱– مقدمه

زلزله یکی از پدیده‌های مخرب طبیعی است که طی نیم‌قرن اخیر خسارات جانی و مالی زیادی را به‌جا گذاشته است. کشور ایران به‌عنوان یکی از کشورهای زلزله‌خیز جهان، طی این دوره دچار خسارات و عواقب ناشی از پدیده گردیده است. امکان وقوع زلزله‌های شدید به دلیل شرایط طبیعی زمین ساختاری ایران، طراحی و ساخت ساختمان‌های بتنی زیادی که ضوابط بارگذاری لرزه‌ای در آنها رعایت نشده یا به دلیل تغییر این ضوابط، بارهای لرزه‌ای آنها دست پایین برآورد شده و نیز تغییر در کاربری ساختمان‌ها، اشتباه در تحلیل و طراحی، عدم دسترسی به آیین‌نامه‌ی دقیق، حوادث طبیعی در طول عمر سازه، بتن کم کیفیت، ستون ضعیف- تیر قوی، اتصالات ضعیف و ... ارزیابی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود و نیز بهسازی آنها را ضروری می‌سازد [۱].

روش‌های زیادی همچون اضافه کردن اجزای سازه‌ای (دیوار برشی فولادی و بتنی، مهاربندهای فولادی و مهاربندهای

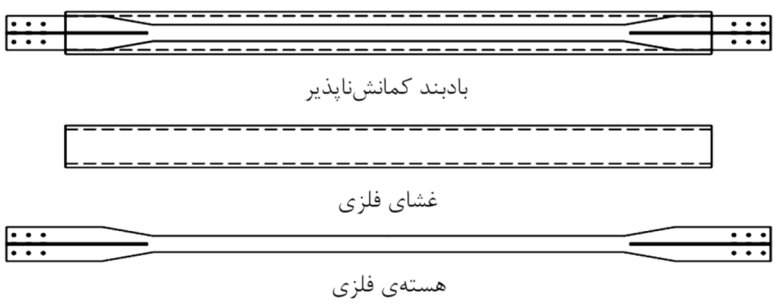
کمانش ناپذیر (Buckling Restrained Bracings (BRB)، تقویت اعضای سازه‌ای ضعیف و تغییر کاربری سازه برای بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه را می‌توان نام برد [۲-۳]. اکثر این روش‌ها مستلزم وقفه در بهره‌برداری به منظور انجام عملیات مقاوم‌سازی می‌باشند.

امروزه استفاده از میراکننده‌های انرژی در سازه به منظور اتلاف انرژی زلزله مورد توجه فراوان قرار گرفته است. مزیت اصلی استفاده از میراگرها، جذب انرژی زلزله در اجزایی مجزا از قاب سازه می‌باشد که این امر منجر به کاهش آسیب‌های سازه‌ی اصلی در هنگام وقوع زلزله می‌گردد. در میان انواع مختلف میراگرها، میراگرهای هیسترزیس به دلیل هزینه‌ی کم، قابلیت اطمینان بالا و فقدان اجزای مکانیکی در آن از جایگاه ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. مطالعات نشان داده است مؤثرترین و اقتصادی‌ترین روش افزایش سختی و مقاومت جانبی سازه‌ی موجود، افزودن عضو جدید به سازه می‌باشد [۴]. استفاده از دیوار برشی و مهاربندهای قطری فولادی به‌عنوان روش‌های جالب به منظور بهبود عملکرد لرزه‌ای مورد توجه قرار گرفته‌اند. به‌هرحال باید به این نکته توجه شود که بادبندهای معمول و مرسوم موقعی که تحت تأثیر تنش‌های فشاری قرار می‌گیرند تمایل به کمانش دارند که منجر به رفتار ناپایدار در بارهای چرخه‌ای می‌گردند [۵].

مطالعات انجام گرفته روی مقاوم‌سازی لرزه‌ای سازه‌ی بتنی با استفاده از مهاربند کمانش‌ناپذیر نشان می‌دهد که این سیستم تأثیر چشمگیری بر افزایش مقاومت و سختی سازه بتنی دارد و عملکرد لرزه‌ای سازه را بهبود می‌بخشد [۶-۷]. این مهاربندها می‌توانند در قاب‌های پیرامونی [۷] و همچنین قاب‌های داخلی [۸] سازه نصب گردند. در هرحال همه‌ی این موارد مقاوم‌سازی، سختی و مقاومت سازه را در حد رضایت‌بخشی افزایش می‌دهند؛ اما اکثر آنها به‌غیراز مهاربندهای پیرامونی نیازمند عملیات اجرایی در داخل سازه بوده که منجر به ایجاد مزاحمت برای بهره‌برداری از ساختمان می‌گردند و باعث می‌شوند که سازه برای مدتی قابل‌استفاده نباشد. در نتیجه تحقیقات به سمت استفاده از روش‌هایی که این مشکل را برطرف کنند متمرکز گردید [۹].

بسیاری از نقایص رفتاری مهاربندهای همگرای متعارف نتیجه‌ی اختلاف بین ظرفیت فشاری و کششی و زوال در مقاومت این مهاربندها تحت بارگذاری چرخه‌ای می‌باشد. ازاین‌رو تحقیقات بسیاری صرف بهسازی این مهاربندها جهت رسیدن به یک رفتار الاستوپلاستیک ایده‌آل گردیده است. برای رسیدن به این هدف لازم بود تا با استفاده از مکانیسم مناسبی از کمانش فشاری مهاربند جلوگیری شود و امکان تسلیم فشاری فولاد فراهم شود. روشی که مد نظر قرار گرفت عبارت بود از محصورسازی یک هسته‌ی فلزی شکل‌پذیر در میان حجمی از بتن که خود توسط یک غشای فلزی در بر گرفته شده است (شکل ۱). وقتی این نوع مهاربندها به‌صورت مناسب طراحی و جزئیات‌بندی شوند، غلاف فولادی نباید هیچ‌گونه نیروی محوری را متحمل شود [۱۰].

مبانی اصلی عملکرد این میراگر، جلوگیری از وقوع کمانش هسته‌ی فولادی به منظور امکان وقوع پدیده تسلیم



***شکل (۱)**: مهاربند کمانش‌ناپذیر.*

فشاری در آن و در نتیجه امکان جذب انرژی در این عضو از سازه می‌باشد. این امر با پوشاندن سراسر طول هسته‌ی فولادی در لوله فولادی پر شده با بتن یا ملات میسر می‌گردد [۱۱]. در مهاربندهای مقاوم در برابر کمانش (BRB) به دلیل جلوگیری از کمانش مهاربند در کشش و فشار، قابلیت اتلاف انرژی و شکل‌پذیری سیستم بالا رفته و سازه رفتار بسیار پایدارتری از خود نشان می‌دهد [۱۲].

رفتار قاب‌های دارای مهاربندهای کمانش‌ناپذیر به‌رغم مشابهت ظاهری، تفاوت زیادی با قاب‌های مهاربندی متداول هم‌محور دارد. در سیستم مهاربندی کمانش‌ناپذیر حلقه‌های هیسترزیس از نوع پایدار بوده و طی چرخه‌های بارگذاری و باربرداری متعدد، افت در مقاومت و سختی سیستم مشاهده نمی‌شود. درحالی‌که تحقیقات دو دهه‌ی اخیر نشان می‌دهد که در سیستم مهاربندی‌های هم‌محور این مهاربندها در مود فشاری دچار کمانش کلی می‌شوند و در نتیجه سیستم دچار زوال در مقاومت و سختی می‌شود و در واقع پایین‌افتادگی منحنی هیسترزیس را موجب می‌شود. برای جلوگیری از این رفتار نامطلوب و کمانش مهاربندها، سیستم مهاربندهای کمانش‌ناپذیر به وجود آمد [۱۳]. در این سیستم نیاز به فراهم آوردن یک سطح لغزش یا لایه ناپیوستگی بین هسته‌ی فلزی و بتن محصورکننده وجود دارد. سطح مقطع هسته‌ی فولادی در دو انتهای مهاربند که خارج از غلاف فولادی می‌باشد برای اطمینان جهت عدم کمانش بیشتر است [۱۴]. در مطالعه‌ای، ساختمان‌های بتنی با مهاربندهای فولادی ۷، ۸ و ضربدری در مدل‌های چهار دهانه‌ی ۵، ۸، ۱۲ و ۱۵ طبقه به دو صورت قرارگیری مهاربندها در دهانه‌های کناری و وسط، بر اساس آیین‌نامه‌های ایران طراحی و عملکرد مدل‌ها قبل و بعد از مهاربندی بر اساس دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ایران مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که در کل، مهاربندی سبب بهبود عملکرد سازه می‌شود، همچنین مشاهده گردید که سازه با مهاربند ضربدری تغییر مکان کمتری را نسبت به سایر حالت‌ها متحمل می‌شود و نیز سازه‌های دارای مهاربندی ۷ و ۸، با توجه به تعداد مفاصل در سطح عملکرد مربوطه، عملکرد بهتری را نسبت به حالت عادی و نیز سازه با مهاربند ضربدری دارند [۱۵]. دی سارنو و مانفردی [۱۶]، مطالعاتی را روی یک ساختمان دو طبقه‌ی بتن آرمه انجام دادند که پس از وقوع زلزله، در بعضی نقاط تیر و ستون مفصل پلاستیک ایجاد شده بود. ایشان ساختمان مورد نظر را با مهاربندهای ضد کمانش (BRB) مقاوم‌سازی نموده و پس از تحلیل و بررسی به این نتیجه رسیدند که سازه‌ی مقاوم‌سازی شده دارای انعطاف‌پذیری بیشتری بوده و اتلاف انرژی آن به نسبت زیاد می‌باشد [۱۶].

مظفری جویباری و اکبرپور، ساختمان‌های ۳، ۵ و ۸ طبقه‌ی بتن مسلح با سیستم قاب خمشی با شکل‌پذیری متوسط که برای بارهای لرزه‌ای برآورد شده بر اساس «استاندارد ۲۸۰۰- ویرایش دوم» طراحی گردیده‌اند، مدل‌سازی کردند. به منظور ارزیابی ساختمان‌ها تحت بارهای لرزه‌ای اصلاح شده، مدل‌ها را بر اساس ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ دوباره بارگذاری کردند. تحلیل مجدد بیانگر آن بود که نسبت تنش‌ها در اکثر ستون‌ها از یک تجاوز کرده بود. ساختمان‌های بتنی موردنظر توسط مهاربندهای خارج از مرکز با پیوند افقی مقاوم‌سازی شده بودند. ساختمان‌های مقاوم‌سازی شده با انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی منطبق بر دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای مورد ارزیابی لرزه‌ای قرار گرفته و نحوه تشکیل و توزیع مفاصل پلاستیک و سطوح عملکرد تأمین‌شده توسط اعضا ارزیابی شدند. مفاصل پلاستیک تغییر مکانی و سطوح عملکرد بر اساس ضوابط مدل‌سازی غیرخطی اعضا مندرج در دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود تعریف شده بود. نتایج تحقیق نشان‌دهنده‌ی آن بود که نحوه‌ی تشکیل و توزیع مفاصل پلاستیک حاکی از مصون ماندن اکثر ستون‌ها در قاب‌ها می‌باشد [۱۷].

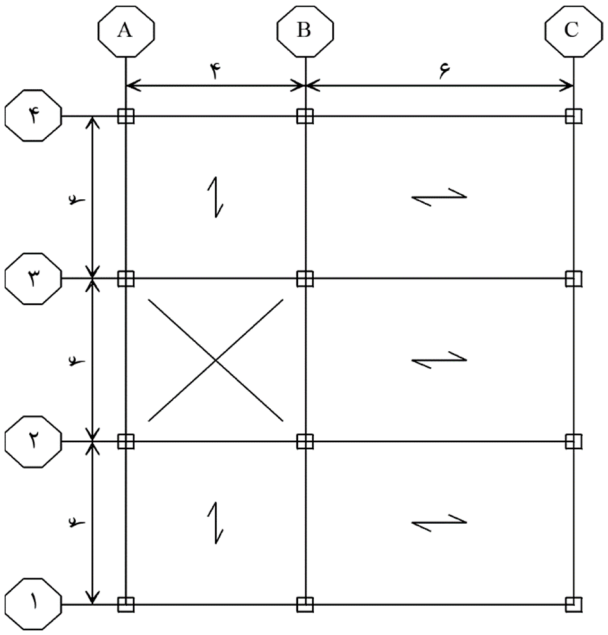
در طراحی سیستم‌هایی که از مهاربند کمانش‌ناپذیر استفاده می‌شود، آگاهی از تأثیر این نوع مهاربند بر رفتار سازه مهم است؛ از جمله: ۱- تأثیر بر سختی سازه؛ ۲- تأثیر بر مقاومت سازه و ۳- تأثیر بر جذب انرژی که مورد اول و

دوم بر منحنی ظرفیت سازه تأثیر می‌گذارند.

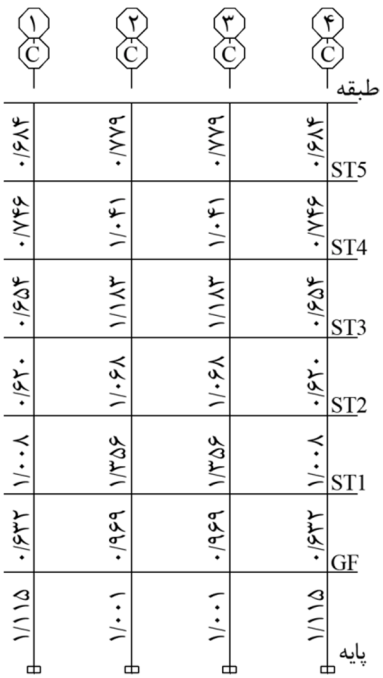
۲- مقاوم‌سازی

سازه‌ی انتخاب شده در این مطالعه یک ساختمان مسکونی بتنی و با ارتفاع ۲۲/۹۰ متر از سطح زمین بوده و دارای هفت طبقه می‌باشد که بر اساس معیارهای ویرایش اول استاندارد ۲۸۰۰ ملی ایران در سال ۱۳۷۰ و در شهر تهران احداث شده است. طبقه‌ی همکف با ارتفاع ۳/۷۰ متر کاربری تجاری دارد و سایر طبقات با ارتفاع ۳/۲۰ متر مسکونی هستند (شکل ۲ و جدول ۱). ابتدا عملکرد قاب انتخاب شده از سازه‌ی موجود با استفاده از مدل‌سازی دو بعدی با دیافراگم صلب در نرم‌افزار ETABS مورد تحلیل و طراحی قرار گرفت [۱۸]. تحلیل‌های انجام گرفته حاکی از آن است که ستون‌ها در وضعیت جدید پاسخگوی بارهای لرزه‌ای ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ ملی ایران نبوده و نسبت تنش در تعدادی از آنها از یک تجاوز کرده (شکل ۳) و همچنین جابه‌جایی نسبی در بعضی از طبقات از مقدار مجاز بیشتر شده است.

سطح عملکرد و منحنی ظرفیت سازه موجود نیز با استفاده از نرم‌افزار PERFORM-3D و توسط روش تحلیل استاتیکی غیرخطی (پوش‌آور) مورد بررسی قرار گرفت. معیارهای مدل‌سازی و پذیرش تیر و ستون بر اساس پارامترهای مدل‌سازی و معیارهای پذیرش برای روش‌های غیرخطی تیرها و ستون‌های بتن مسلح، دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود نشریه ۳۶۰ انتخاب گردیدند. سازه باید تحت اثر زلزله طرح در سطح عملکرد ایمنی جانی (LS) به ۱/۵ برابر مقدار تغییر مکان هدف ($\delta_i = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{Te^2}{4\pi^2} g$) برسد. تحلیل‌ها نشان داد که سازه از سطح عملکرد ایمنی جانی گذشته و در تعدادی از تیرها مفصل پلاستیک تشکیل می‌گردد. پس از بررسی سازه



شکل (۲): *پلان سازه.*



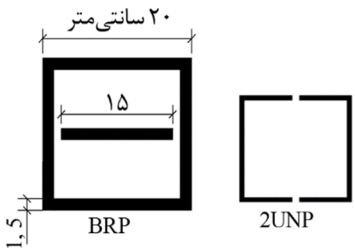
شکل (۳): *نسبت تنش در سازه موجود.*

جدول (۱): *مقاطع تیر و ستون.*

	همکف	طبقه اول	طبقه دوم	طبقه سوم	طبقه چهارم	طبقه پنجم	طبقه ششم
تیر	B40*40 8Q18	B40*40 *8Q18	B35*35 *8Q16	B35*35 *8Q16	B35*35 *8Q16	B30*30 *6Q16	B30*30 *6Q16
ستون	C40*16Q18	C40*16Q16	C35*12Q16	C35*12Q16	C35*8Q16	C30*Q816	C30*8Q16

مشخص شد که ظرفیت سازه با نیاز لرزه‌ای آن برابر نیست؛ بنابراین در برابر بار جانبی آسیب‌پذیر است و به‌عبارت‌دیگر نیاز به بهسازی دارد. در بهسازی، هدف آن است که بتوان به طریقی ظرفیت سازه را با نیاز لرزه‌ای آن برابر ساخت. در برخی موارد ظرفیت سازه افزایش می‌یابد تا با نیاز لرزه‌ای آن برابر شود. به این افزایش ظرفیت سازه مقاوم‌سازی می‌گویند [۱۹].

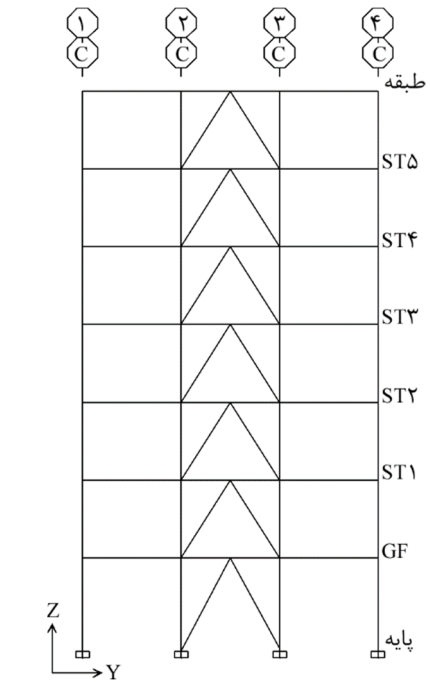
به منظور مقاوم‌سازی این قاب، مهاربندهای کمانش-ناپذیر و هشتی با مشخصات ارائه شده در شکل (۴) انتخاب و در دهانه بین محور ۲ و ۳ در تمامی طبقات اضافه گردید. موقعیت مهاربندها در شکل (۵) نشان داده شده است. مقطع BRB مورد استفاده در طبقات تغییر نمی‌کند ولی مهاربند هشتی در طبقات مطابق جدول زیر متغیر می‌باشد. موقعیت و سطح مقطع مهاربندها بر اساس افزایش ظرفیت لرزه‌ای سازه و تأمین سطح عملکرد ایمنی جانی انتخاب گردیده‌اند و سعی شده حتی‌الامکان در موقعیت‌های یکسان استفاده گردند.



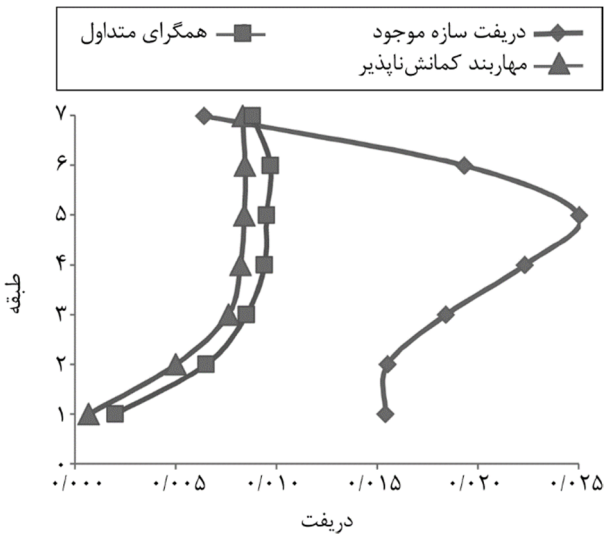
GF	St1	St2	St3	St4	St5	St6
2UNP140	2UNP140	2UNP140	2UNP120	2UNP100	2UNP100	2UNP140

شکل (۴): *مهاربندهای مورد استفاده جهت مقاوم‌سازی.*

در نمودار شکل (۶) دریفت سازه موجود و مقاوم‌سازی شده با مهاربند کمانش‌ناپذیر و همگرای متداول نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است دریفت طبقات کاهش قابل‌ملاحظه‌ای داشته‌اند. با وجود کاهش دریفت در هر دو روش مقاوم‌سازی مشاهده می‌شود مهاربند کمانش‌ناپذیر باعث کاهش بیشتر دریفت طبقات گردیده است.

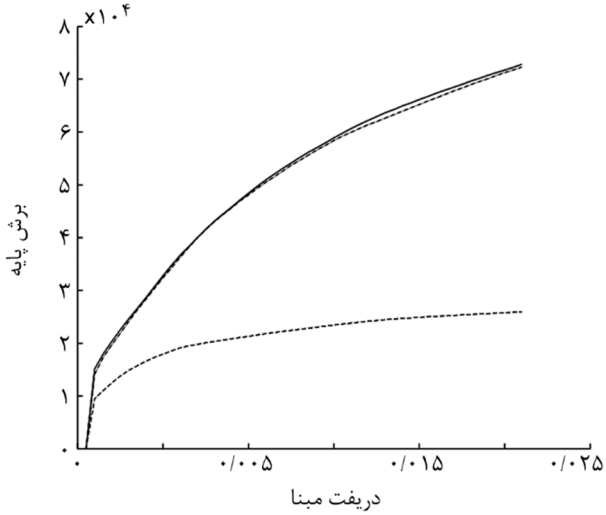


شکل(۵): *موقعیت مهاربندها در قاب.*



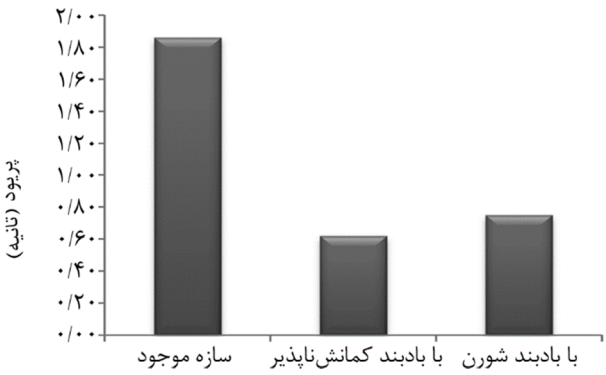
شکل (۶): *دریفت نسبی طبقات.*

در نمودار شکل (۷) منحنی ظرفیت (مقاومت) سازه موجود (پایین‌ترین نمودار) و مقاوم‌سازی شده (نمودار خط پیوسته با *BRB* و نقطه خط با بادبند شورون) نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل مشخص است بعد از مقاوم‌سازی ظرفیت سازه حدوداً ۳/۵۰ برابر افزایش داشته است. این نمودار نشان می‌دهد که با اضافه شدن مهاربند کمانش‌ناپذیر مقاومت سازه افزایش بیشتری داشته است [۲۰].



شکل (۷): *منحنی ظرفیت سازه قبل و بعد از مقاوم‌سازی.*

زمان تناوب اصلی سازه‌ها در شکل (۸) نشان داده شده است. سازه با سیستم کمانش‌ناپذیر کمترین زمان تناوب را نسبت به سازه‌ی اولیه و سازه‌ی مقاوم‌شده با مهاربند همگرای هشتی داشته است. هرچه تعداد طبقات سازه بیشتر باشد مقدار اختلاف در کاهش زمان تناوب بین دو سیستم بیشتر می‌گردد [۲۱].



شکل (۸): *زمان تناوب اصلی سازه‌ها.*

۳- نتایج

۱. افزودن مهاربندهای فولادی به قاب‌های بتنی، کنش‌های خمشی وارده بر ستون‌ها را محوری نمود؛ لذا نسبت تنش‌ها را در آنها به کمتر از یک تقلیل می‌دهد.

۲. مهاربند کمانش‌ناپذیر نسبت به هشتی، تأثیر بیشتری در کاهش تغییر مکان جانبی ساختمان (در حدود ۳۰ درصد) داشته است.

۳. مهاربند کمانش‌ناپذیر در حدود ۵ درصد تأثیر بیشتری در افزایش برش پایه سازه نسبت به مهاربند هشتی داشته است.

مراجع

1. Yakut, A. Gülkan, P., Bakır, S., and Yılmaz, T. (2005) Re-examination of damage distribution in Adapazari structural considerations. *Eng. Struct.*, **27**(7), 990-1001.
2. *Handbook on Seismic Retrofit of Building* (2007) Central public works department and INDIAN building congress in association with INDIAN institute of technology-MADRAS, Chapter 9.
3. Fardis, M.N. (2009) *Seismic Design, Assessment and Retrofitting of Concrete Buildings, Based on EN-Eurocode 8*, Volume 8, Chapter 6.
4. Kaltakci, M., Arslan, M., and Yavuz, G. (2010) Effect of internal and external shear wall location on strengthening weak RC frames. *Sharif University of Technology*, **17**(4), 312-323.
5. Bertero, V., Anderson, J., and Krawinkler, H. (2004) *Performance of Steel Building Structures During the Northridge Earthquake*. Report EERC 94/09, University of California at Berkeley.
6. Bosh, T.D., Jones, E.A., and Jirsa, J.O. (1991) Behavior of RC frame strengthened using structural steel bracing. *Journal of Structural Engineering*, **117**(4), 1115-1126.
7. Uriz, P. and Mahin, S.A. (2008) *Towards Earthquake-Resistant Design of Concentrically Braced Steel-Frame Structures*. Report PEER 2008/08, University of California at Berkeley.
8. Masri, A. and Goel, S. (1996) Seismic design and testing of an RC slab-column frame strengthened with steel bracing. *Earth, Spectra*, **12**(4), 645-666.
9. Kaplan, H., Yilmaz, S., Cetinkaya, N., and Atimtay, E. (2011) Seismic strengthening of RC structures with exterior shear walls. *Sadhana Indian Academy of Sciences*, **36**(1), 17-34.
10. Burkholder, M. (2012) *Performance Based*

Analysis of a Steel Braced Frame Building with Buckling Restrained braces. A Thesis presented to the Faculty of California Polytechnic State University, San Luis Obispo.

11. Jinkoo, K. and Hyunhoon, C. (2011) *Behavior and Design of Structures with Buckling-Restrained brace*. Department of Architectural Engineering, Sungkyunkwan University, Chunchun-dong, Jangan-gu, 440-746 Suwon, South Korea.

12. Fahnestock, L., Sause, R., and Ricles, J. (2007) Seismic response and performance of buckling-restrained braced frames. *Journal of Structural Engineering*, **133**(9), 1195-204.

13. Ranf, R.T. (2003) *Analysis and Design Comparison between Unbounded and Conventional Bracing*. CEE 513, Advanced Steel Design.

14. Rahai, A. and Lashgari, M. (2006) Eismic strengthening of nine-storey RC building using concentric and buckling-restrained bracing. *31st Conference on OUR World in Concrete and Structures*, Singapore.

۱۵. مرسلی، وحید، فیروزی‌لاکتراشانی، یدالله، سروقد مقدم، علی (۱۳۸۷) ارزیابی عملکرد ساختمان‌های بتنی با مهاربند فولادی ۷ و ۸ و ضربدری به روش طراحی بر اساس عملکرد. *اولین کنفرانس بین‌المللی مقاوم‌سازی لرزه‌ای تبریز*.

16. Di Sarno, L. and Manfredi, G. (2010) Seismic retrofitting with buckling restrained braces: application to an existing non-ductile RC framed C. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **30**(11), 1279-1297.

۱۷. مظفری جویباری، یدالله و اکبرپور، عباس (۱۳۹۰) مقاوم‌سازی ساختمان‌های بتنی با مهاربندهای خارج از مرکز. *اولین کنفرانس بین‌المللی ساخت‌وساز شهری در مجاورت گسل‌های فعال تبریز*.

۱۸. *آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)*، ویرایش اول و سوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، وزارت مسکن و شهرسازی.

۱۹. دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود نشریه شماره ۳۶۰، دفتر امور فنی و تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور.

20. Mahin, A.S. and Uriz, P. (2008) *Toward Earthquake-Resistant Design of Concentrically Braced Steel-Frame Structures*. Pacific Earthquake Engineering Research Center College of Engineering University of California, Berkeley, PEER Report 2008/08.

۲۱. ایزدی، مهدی، ایزدی، محمد، و اکبرپور، عباس (۱۳۹۴) کاربرد مهاربند کمانش‌ناپذیر و دیوار برشی در مقاوم‌سازی ساختمان بتنی موجود. *نشریه علمی پژوهشی انجمن مهندسی سازه ایران*، **۲**، ۶۲-۸۰.