بررسی عملکرد لرزه‌ای قابهای خمشی بتنی بهسازی شده با سیستم ترکیبی مهاربندهای کمانش‌ناپذیر و معمولی

علی حاج پنجعلی زاده[1]، یعقوب محمدی[2]
1- کارشناس ارشد سازه، دانشگاه محقق اردبیلی
ali.hpanjaliz@gmail.com
2- دکتری سازه، استادیار و هیئت علمی دانشگاه محقق اردبیلی
yaghoubm@uma.ac.ir

چکیده
در این تحقیق با استفاده از تحلیل پوش‌آور 3 بعدی، با اضافه نمودن مهاربندهای معمولی، مهاربندهای کمانش‌ناپذیر و نیز ترکیب مهاربندهای معمولی و کمانش‌ناپذیر به قابهای خمشی 5 و 10 طبقه بتنی مفروض، سازه‌های بهسازی شده مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است. برای ترکیب، مهاربندهای کمانش‌ناپذیر قطری با مهاربندهای قطری معمولی و مهاربندهای کمانش‌ناپذیر شورون (هشت شکل) با مهاربندهای ضربدری معمولی در ارتفاع، ترکیب شده‌اند. نتایج بیانگر آنست که با توجه به هدف بهسازی، می‌توان این سیستم ترکیبی را جایگزین حالتی نمود که تنها یک نوع از این مهاربندها جهت بهسازی به کار رود.

واژه‌های کلیدی: بهسازی لرزه‌ای، ترکیب در ارتفاع، قاب خمشی بتنی، مهاربند کمانش‌ناپذیر BRB، تحلیل پوش‌آور.

1. مقدمه

سیستم قاب خمشی یکی از پرکاربردترین سیستم‌های مقاوم لرزه‌ای در جهان می‌باشد، این سیستم به دلیل شکل پذیری و انعطاف پذیری بالای سازه، مهمترین مشکلشان تغییرمکان زیاد طبقات است که سبب ایجاد نیرویی بیش از ظرفیت اجزا بر آنها شده و خرابی اجزای سازه‌ای و غیر سازه‌ای را منجر میشود. سیستم مهاربندی روشی موثر برای کنترل تغییرمکان جانبی سازه و بهسازی لرزه‌ای قابهای خمشی می‌باشد، نوع جدید سیستم های مهاربندی که در طراحی سازه‌های جدید و بهسازی سازه‌های ضعیف قدیمی مورد استفاده قرار می‌گیرد، مهاربندهای کمانش ناپذیر یا BRB می‌باشد که در این تحقیق در عملکرد لرزه‌ای قابهای خمشی بتنی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

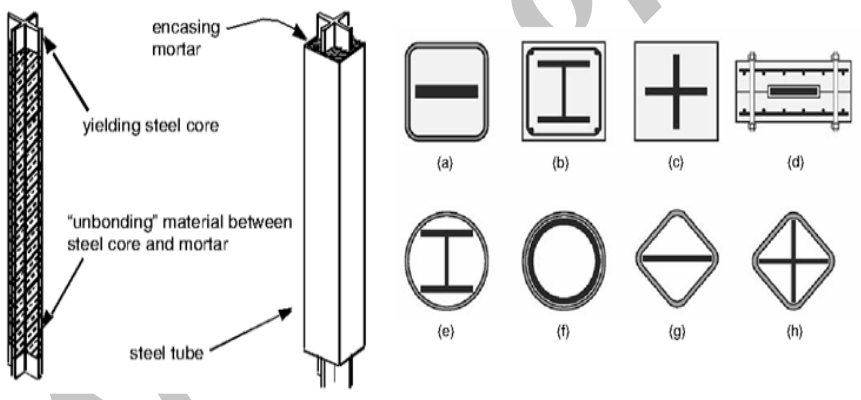
از طرفی یکی از اهدافی که همواره در اجرای سازه‌ها مدنظر قرار می‌گیرد، سرعت اجرا و اقتصادی بودن طرح می‌باشد که مهاربندهای کمانش ناپذیر به دلیل مشکلات اجرایی در کارگاه و هزینه نسبتا بالا تا حدودی مانع این مهم می‌شود، یکی از راهکارهایی که برای کاهش و یا حل این مسائل می‌توان پیشنهاد نمود، استفاده از سیستم

Archive of SID
www.SID.ir

ترکیبی مهاربندهای کمانش ناپذیر و معمولی(ترکیب در ارتفاع) می‌باشد که در این تحقیق مورد بررسی قرارگرفته است.

2. مهاربندهای کمانش‌ناپذیر یا BRB

همانطوریکه در شکل (1) نشان داده شده است مهاربندهای کمانش‌ناپذیر از یک هسته فولادی شکل پذیر تشکیل شده است. این هسته فولادی درون یک مقطع مستطیلی یا گرد که با بتن یا ملات پر شده است، قرار می-گیرد. بتن یا ملاتی که بین هسته فولادی و قوطی گرد یا مستطیلی شکل، را پر می‌کند باعث تاخیر در کمانش‌های موضعی هسته فولادی می‌شود. سطح روی هسته فولادی با یک ماده نچسب پوشانده می‌شود تا بتن از مقطع فولادی جدا شود. این ماده نچسب تا حد ممکن باعث کاهش اصطکاک بین بتن و فولاد می‌گردد و انتقال نیروی محوری را از هسته فولادی به بتن و مقطع فولادی قوطی شکل کاهش می‌دهد، همچنین چون اثر پواسون باعث انبساط هسته فولادی در فشار می‌شود بنابراین فاصله کوچکی بین هسته فولادی و بتن مورد نیاز است.[1]

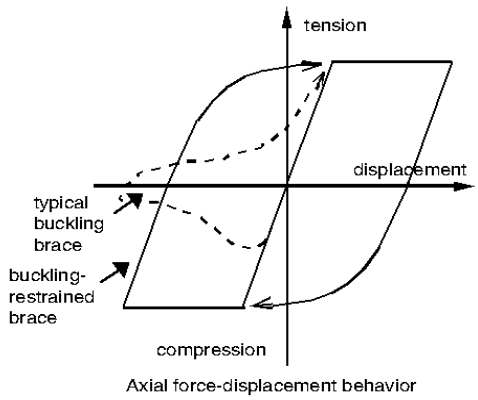


شکل (1) : مقاطع رایج و اجزای تشکیل دهنده مهاربندهای کمانش‌ناپذیر

همچنین با توجه به شکل (2) در ناحیه فشاری، مهاربندهای معمولی دارای چرخه‌های هیسترزیس ناپایدارند و جذب انرژی در ناحیه فشاری کم است، در صورتی که در مهاربندهای مهارشده در برابر کمانش ناحیه فشاری دارای چرخه‌های هیسترزیس پایدار است و جذب انرژی در ناحیه فشاری برابر با ناحیه کششی است. در حقیقت این نوع سیستم‌های سازه‌ای همانند یک میرا کننده هیسترزیس عمل می‌کنند.

Archive of SID

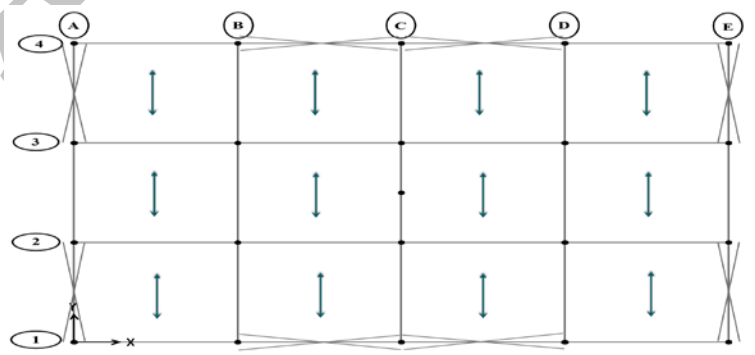
www.SID.ir



شکل (2) : مقایسه رفتار چرخه‌ای مهاربندهای کمانش‌ناپذیر و مهاربندهای معمولی

3. فرضیات و مدل‌های مورد بررسی

سازه‌های مورد مطالعه در مرحله اول قابهای خمشی بتنی متوسط 5 و 10 طبقه می‌باشد که بر اساس مبحث ششم مقررات ملی ساختمان و آیین‌نامه 2800 ویرایش 3 بارگذاری و تحلیل شده‌اند و بر اساس آیین‌نامه ACI 2005 که مشابه مبحث نهم مقررات ملی ساختمان از روش حدی برای طراحی استفاده می‌کند، به صورت نتایج لب مرزی تحلیل و طراحی شده‌اند و سپس با اضافه کردن مهاربند، سازه‌های بهسازی شده مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. سازه‌های مورد بررسی در منطقه 1 یعنی پهنه با خطر نسبی خیلی زیاد قرار دارند و نوع زمین نوع 3 در نظرگرفته شده است و گروه ساختمان هم گروه 3 یعنی ساختمان‌های با اهمیت متوسط است. پلان مورد بررسی و جهت تیرچه ریزی که در شکل (3) نشان داده شده است، در جهت X ، 3 دهانه و در جهت Y ، 4 دهانه می‌باشد که کلیه دهانه‌ها 5 متر می‌باشد و ارتفاع طبقات هم 3.2 متر در نظر گرفته شده است. همچنین جهت مدل سازی سازه‌های مورد بررسی از نرم‌افزار SAP2000 استفاده شده است. و تحلیل مورد استفاده نیز تحلیل استاتیکی غیرخطی 3 بعدی می‌باشد.



Archive of SID
www.SID.ir

شکل (3) : محل قرارگیری مهاربندها در سازه‌های بهسازی شده

همچنین جهت مقایسه، سطح مقطع هسته فولادی مهاربندهای کمانش ناپذیر برابر سطح مقطع مهاربندهای معمولی در نظر گرفته شده است و همچنین با در نظر گرفتن 0.66 طول عادی مهاربندها به عنوان طول هسته تسلیم شونده مهاربندهای کمانش ناپذیر، سختی محوری این اعضا 1.5 برابر، در نظر گرفته شده است و نیز نسبت طول مهارنشده برای کمانش این اعضا نیز 0.01 در نظر گرفته شده است.

4. نام‌گذاری و حالات ترکیب مدل‌های مورد مطالعه

MRF و D و X به ترتیب قاب خمشی و مهاربند قطری و ضربدری بوده و D(BRB) و IV(BRB) به ترتیب مهاربند کمانش‌ناپذیر قطری و شورون (هشت شکل) می‌باشد.

به عنوان مثال منظور از MRF5+2-D(BRB)-3-D قاب خمشی 5 طبقه بتنی بهسازی شده با ترکیب مهاربند کمانش‌ناپذیر قطری و مهاربند قطری معمولی است به طوریکه در 2 طبقه اول مهاربند کمانش‌ناپذیر قطری و در 3 طبقه آخر مهاربند قطری معمولی استفاده شده باشد. و منظور از MRF10+X قاب خمشی 10 طبقه بتنی بهسازی شده با مهاربندهای ضربدری در کلیه طبقات است.

در مورد حالات ترکیب برای سازه‌های 5 طبقه مهاربندهای کمانش‌ناپذیر در 2 و 3 طبقه اول و برای سازه-های 10 طبقه مهاربندهای کمانش‌ناپذیر در 4، 5 و 6 طبقه اول و برای طبقات آخر مهاربند معمولی در نظر گرفته شده است.

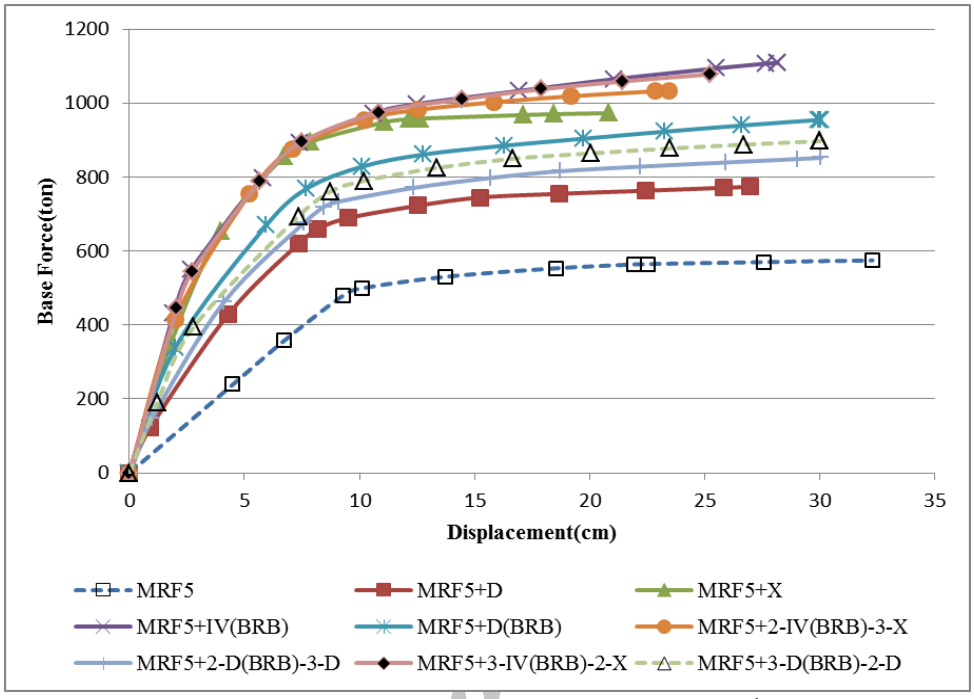
از آنجاییکه مهاربندهای کمانش‌ناپذیر شورون نیروی نامتعادل کمی به تیرهای دهانه مهاربندی شده وارد می‌کنند می‌توانند در بهسازی سازه بدون در نظر گرفتن طرح تقویت برای آن تیرها به کار برده شوند ولی با توجه به ضوابط لرزه‌ای آیین‌نامه AISC2005 و نیز ضوابط لرزه‌ای مبحث دهم مقررات ملی ساختمان در روش حدی در صورت استفاده از مهاربند شورون معمولی چون بایستی تیر دهانه مهاربندی شده برای نیروی نامتعادل سنگینی طرح شود و در نتیجه بایستی طرح تقویت دیگری برای تیرها ارائه شود، در صورتی که در این تحقیق هدف بهسازی قاب خمشی موجود با مهاربندها است در نتیجه مهاربندهای شورون کمانش‌ناپذیر با مهاربندهای ضربدری معمولی ترکیب شده است.

5. بررسی مدل‌ها

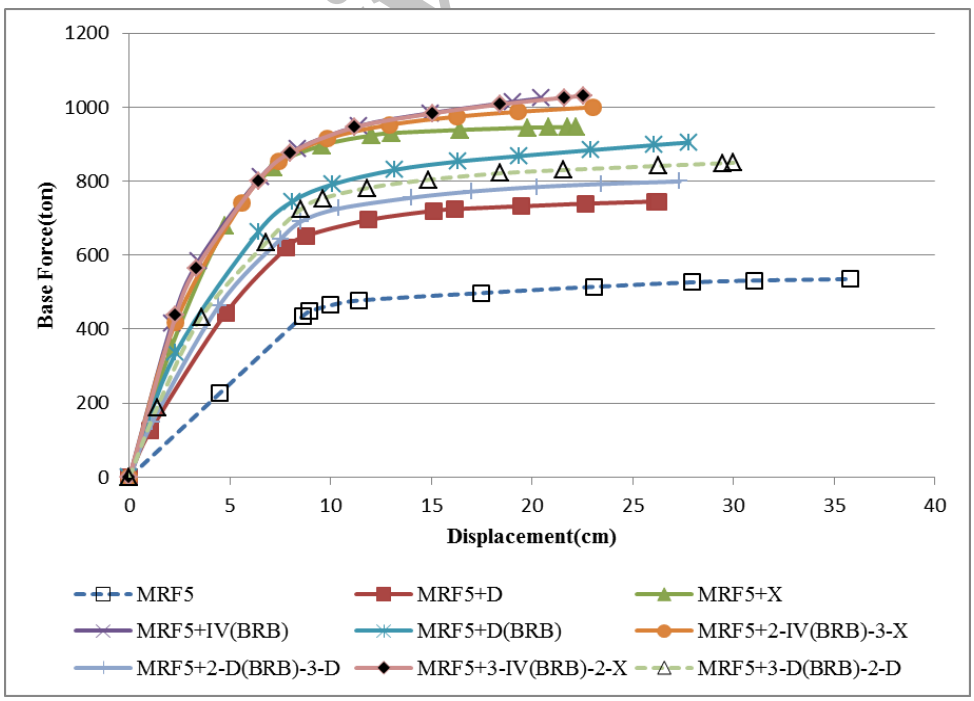
در اشکال ذیل مقایسه منحنی‌های ظرفیت، سختی و شکل‌پذیری مدل‌ها، در دو جهت سه دهانه و چهار دهانه، جداگانه برای سازه‌های 5 و 10 طبقه آورده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

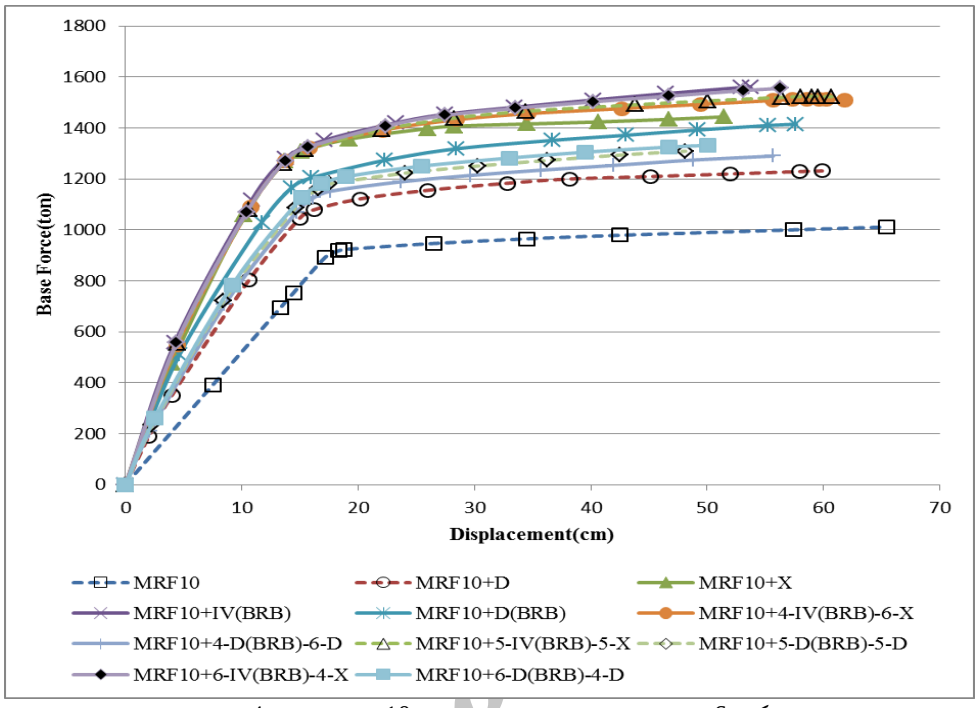


شکل (4) : مقایسه منحنی‌های ظرفیت سازه‌های 5 طبقه در جهت 4 دهانه.

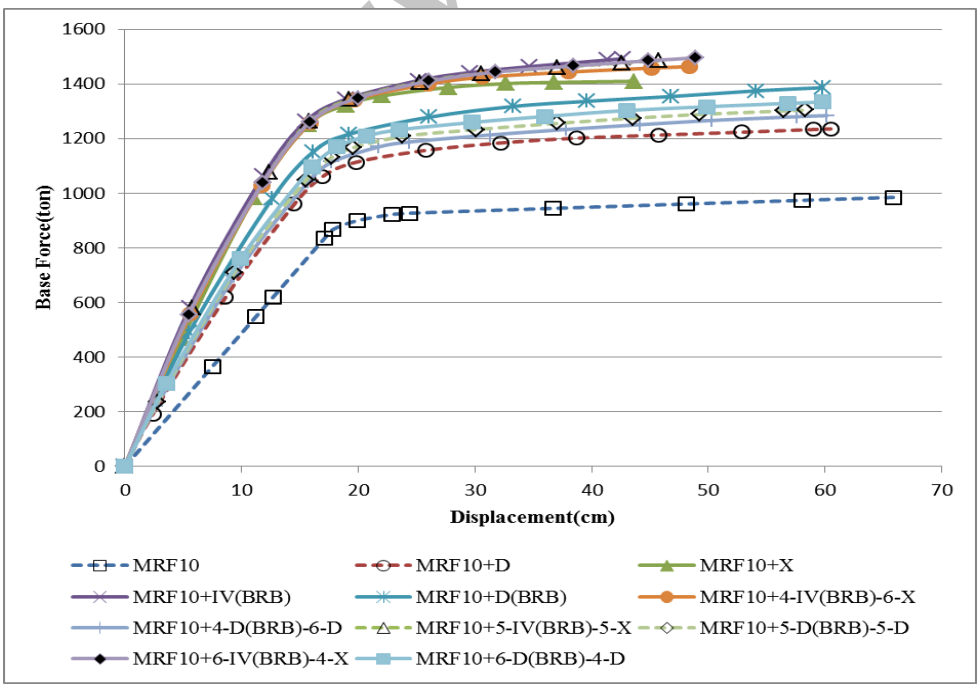


www.SID.ir

شکل (5) : مقایسه منحنی‌های ظرفیت سازه‌های 5 طبقه در جهت 3 دهانه.

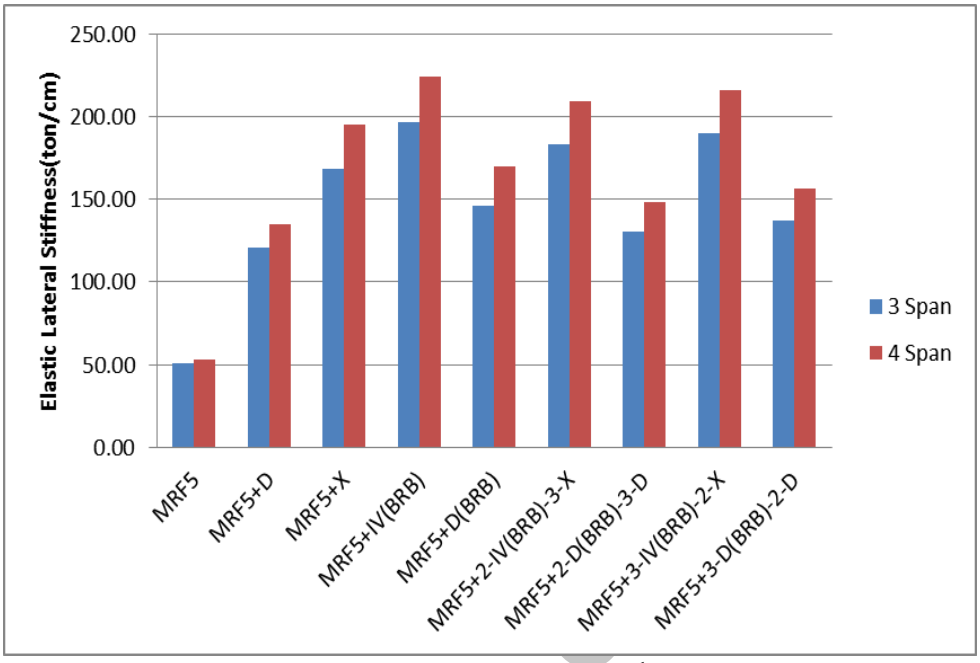


شکل (6) : مقایسه منحنی‌های ظرفیت سازه‌های 10 طبقه در جهت 4 دهانه.

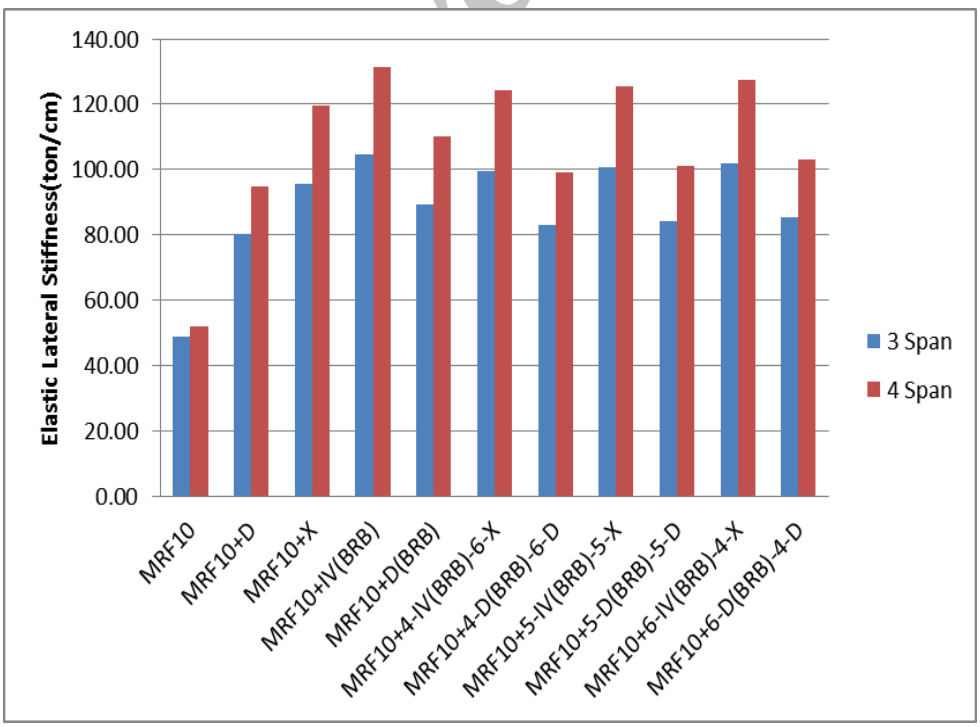


www.SID.ir

شکل (7) : مقایسه منحنی‌های ظرفیت سازه‌های 10 طبقه در جهت 3 دهانه.

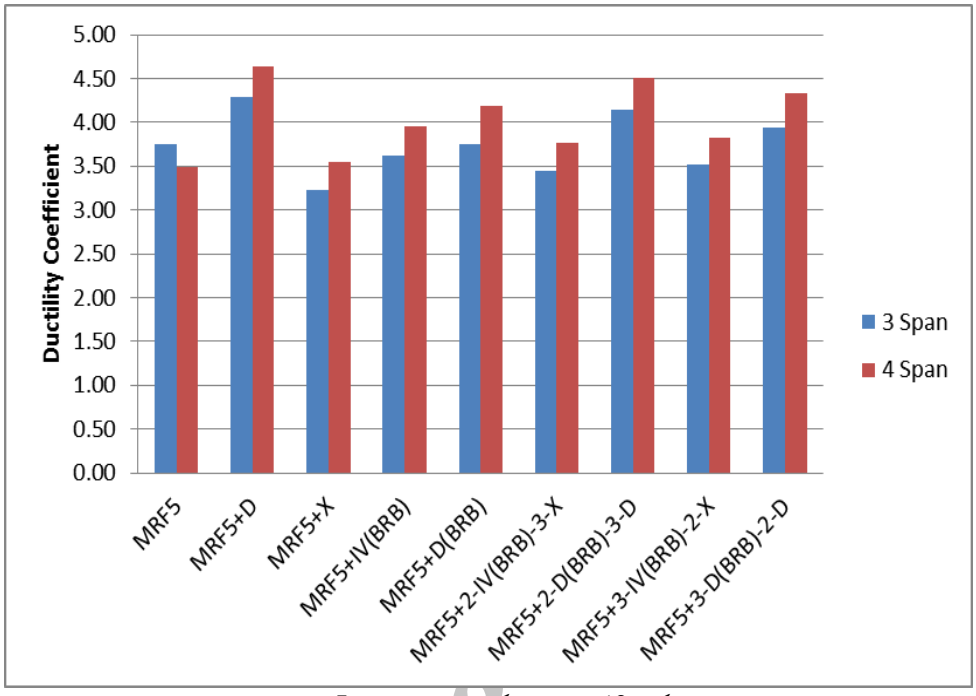


شکل (8) : مقایسه سختی سازه‌های 5 طبقه

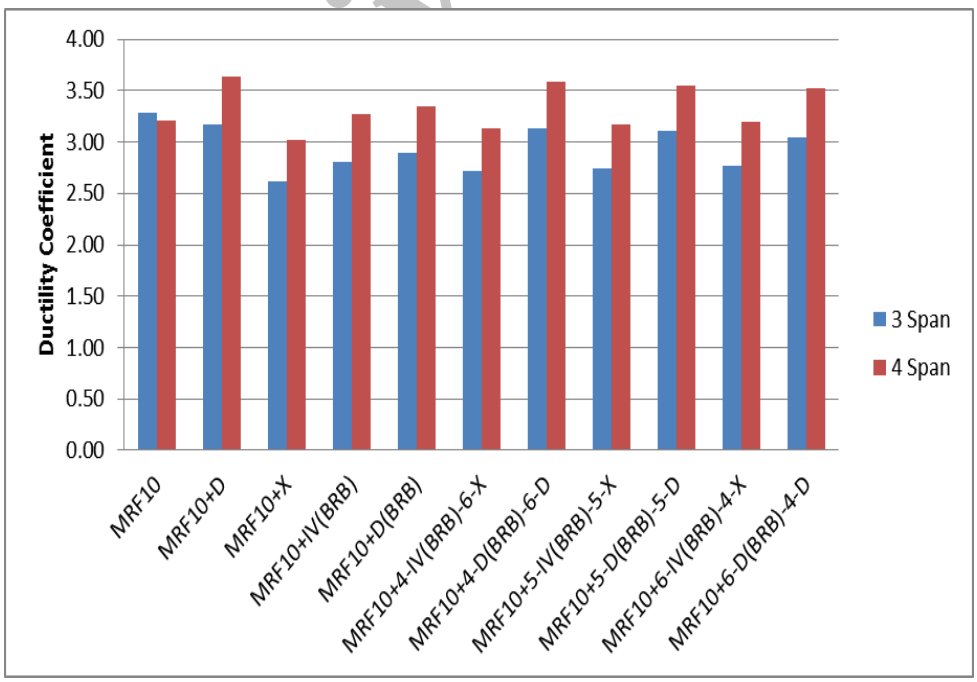


www.SID.ir

شکل (9) : مقایسه سختی سازه‌های 10 طبقه



شکل (10) : مقایسه شکل‌پذیری سازه‌های 5 طبقه



www.SID.ir

شکل (11) : مقایسه شکل‌پذیری سازه‌های 10 طبقه

6. نتیجه‌گیری

با توجه به منحنی ظرفیت سازه‌های بهسازی شده، سازه بهسازی شده با مهاربند هشت شکل کمانش‌ناپذیر، بهترین عملکرد و سازه بهسازی شده با مهاربند قطری معمولی، ضعیف‌ترین عملکرد را داراست همچنین عملکرد سازه بهسازی شده با مهاربندهای ضربدری، بهتر از سازه بهسازی شده با مهاربندهای قطری کمانش‌ناپذیر است. ولی در تغییر مکان‌های فراتر، شاهد عملکرد بهتر مهاربندهای قطری کمانش‌ناپذیر هستیم که این به دلیل افت مقاومت سازه بهسازی شده با مهاربندهای ضربدری به دلیل کمانش مهاربندها می‌باشد. در سازه‌های بهسازی شده، از لحاظ سختی نیز، سازه بهسازی شده با مهاربند هشت شکل کمانش‌ناپذیر بیشترین سختی و سازه بهسازی شده با مهاربند قطری معمولی، کمترین سختی را دارد، همچنین سختی سازه بهسازی شده با مهاربند ضربدری بیشتر از سختی سازه بهسازی شده با مهاربند قطری کمانش‌ناپذیر است. در سازه‌های بهسازی شده، از لحاظ شکل‌پذیری، سازه بهسازی شده با مهاربند قطری معمولی بیشترین شکل‌پذیری و سازه بهسازی شده با مهاربندهای ضربدری، کمترین شکل‌پذیری را دارد و همچنین شکل‌پذیری سازه بهسازی شده با مهاربند هشت شکل کمانش‌ناپذیر کمتر از شکل‌پذیری سازه بهسازی شده با مهاربند قطری کمانش‌ناپذیر است. همچنین سازه بهسازی شده با مهاربندهای هشت شکل کمانش‌ناپذیر با وجود سختی بیشتر نسبت به سازه بهسازی شده با مهاربندهای ضربدری، شکل‌پذیری بیشتری نیز دارند.

در حالت سازه بهسازی شده با ترکیب مهاربندهای قطری کمانش‌ناپذیر با مهاربندهای قطری معمولی، با توجه به منحنی ظرفیت سازه‌های بهسازی شده، کاملا شاهد یک روند منظم از عملکرد هستیم به طوریکه هرچه تعداد مهاربند قطری کمانش‌ناپذیر در طبقات پایین افزایش یابد، عملکرد به همان نسبت به عملکرد حالتی که کلا مهاربند قطری کمانش‌ناپذیر استفاده شده باشد، نزدیک می‌شود. از لحاظ سختی و شکل‌پذیری نیز، با افزایش مهاربندهای قطری کمانش‌ناپذیر در طبقات پایین شاهد افزایش سختی و کاهش شکل‌پذیری هستیم. بنابراین اگر هدف تامین سختی سازه موجود در حد مهاربندهای کمانش‌ناپذیر قطری نباشد و در عین حال کاهش حداقلی شکل‌پذیری سازه موجود حائز اهمیت باشد و همچنین افت مقاومت سازه ناشی از کمانش مهاربندهای قطری معمولی در تغییرمکان‌های فراتر به حداقل برسد، می‌توان از ترکیب مهاربندهای کمانش‌ناپذیر قطری و مهاربندهای قطری معمولی در ارتفاع جهت بهسازی استفاده نمود.

در حالت سازه بهسازی شده با ترکیب مهاربندهای هشت شکل کمانش‌ناپذیر با مهاربندهای ضربدری، با توجه به منحنی ظرفیت سازه‌های بهسازی شده، در سازه 5 طبقه زمانی که در 3 طبقه اول از مهاربند هشت شکل کمانش‌ناپذیر و در سازه 10 طبقه، زمانی که در 6 طبقه اول از مهاربند هشت شکل کمانش‌ناپذیر استفاده شده باشد، منحنی عملکرد تقریبا منطبق بر منحنی عملکرد حالتی است که کلا مهاربند هشت شکل کمانش‌ناپذیر استفاده شده باشد و با کاهش مهاربندهای هشت شکل کمانش‌ناپذیر در طبقات پایین با وجود کاهش عملکرد نسبت به حالت قبل، باز عملکرد بیشتر متمایل به حالتی است که کلا مهاربند هشت شکل کمانش‌ناپذیر استفاده

Archive of SID
www.SID.ir

شده باشد و این به این دلیل است که در تغییرمکان‌های فراتر، افت مقاومت سازه ناشی از کمانش مهاربندهای ضربدری به حداقل می‌رسد. از لحاظ سختی و شکل‌پذیری نیز با افزایش مهاربندهای هشت شکل کمانش‌ناپذیر در طبقات پایین، هم سختی و هم شکل‌پذیری سازه افزایش پیدا می‌کند. بنابراین می‌توان سازه بهسازی شده با ترکیب مهاربندهای هشت شکل کمانش‌ناپذیر با مهاربندهای ضربدری را به شرطی که مهاربندهای هشت شکل کمانش-ناپذیر درحداقل، تعداد بیشتر از نصف تعداد طبقات، به کار گرفته شود، با دقت قابل قبولی جایگزین حالتی که کلا مهاربند هشت شکل کمانش‌ناپذیر استفاده شود، نمود. همچنین در صورت استفاده از مهاربندهای هشت شکل کمانش‌ناپذیر در تعداد نصف طبقات یا کمتر در ترکیب مهاربندهای هشت شکل کمانش‌ناپذیر با مهاربندهای ضربدری، علاوه بر بهبود سختی و شکل‌پذیری مهاربندهای ضربدری، مشکل افت مقاومت سازه در تغییرمکان‌های فراتر به دلیل کمانش مهاربندهای ضربدری را نیز بهبود می‌بخشد.

7. مراجع

[1] تقی نژاد، ر، طراحی و بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها بر اساس سطح عملکرد با استفاده از تحلیل پوش‌آور ETABS-SAP2000 ، نشر کتاب دانشگاهی، چاپ اول، 1388.

[2] داوران، ع، حسن زاده، ج و عباسپور، الف، بررسی رفتار سازه‌های مهاربندی ترکیبی BRB-SCBF و تاثیر فرم هندسی مهاربندهای BRB ، سومین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، 1386.

[3] دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، نشریه شماره 360، معاونت امورفنی، دفتر امور فنی، تدوین معیارها و کاهش خطرپذیری ناشی از زلزله، 1385.

[4] آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله استاندارد 2800، انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ویرایش سوم، 1384.

[5] Lopez W.A, Sabelli R. Seismic Design of Buckling-Restrained Braced Frames, Structural Steel Educational Council, SteelTIPS, 2004.

[6] ACI 318-05, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, American Concrete Institute, 2005.

[7] Di Sarno L, Manfredi G. Seismic retrofitting with buckling restrained braces: Application to an existing non-ductile RC framed building, Journal of Soil Dynamics and Earthquake Engineering, vol 30, pp 1279-1297, 2010.

[8] AISC, Seismic Provisions for Structural Steel Buildings Including Supplement No 1, American Institute Of Steel Construction INC, Second Print, 2005.

[9] Engelhardt M.D. Design of Seismic-Resistant Steel Building Structures, University of Texas at Austin, American Institute of Steel Construction, 2007.

Archive of SID

www.SID.ir