اسفند ۱۳۹۵

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ارزیابی و مقایسه رفتار مهاربندهای کمانش ناپذیر و معمولی در سیستم های قاب خمشی فولادی

جمشید بهمن*[۱]، ناهید جوادی فر[۲]، سعید الیاس پاپشتی[۳]

۱- دانشجو کارشناسی ارشد عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان، گرگان، ایران

۲- عضو هیئت علمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان، گرگان، ایران

۳- عضو هیئت علمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان، گرگان، ایران

jamshid.b1@gmail.com

چکیده

در کشور ما تعداد ساختمان‌هایی که براساس ضوابط ویرایش اول استاندارد ۲۸۰۰ طراحی شده‌اند، زیاد است. این سازه‌ها براساس ضوابط ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ و آیین‌نامه‌های معتبر بهسازی لرزه‌ای از شکل‌پذیری کافی برخوردار نیستند و ضعیف عمل می‌کنند؛ بنابراین به کارگیری روش‌های مناسب برای بهسازی این سازه‌ها و تأمین ایمنی جانی ساکنین ضرورت دارد. افزودن مهاربندهای فولادی یکی از راهکارهایی است که ضمن افزایش سختی سازه، بهبود رفتار لرزه‌ای و عدم اختلال در کاربری سازه را به همراه دارد. در این میان استفاده از مهاربندهای کمانش‌ناپذیر، به دلیل رفتار لرزه‌ای مناسب آن مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق این نوع مهاربند به عنوان راه‌حلی برای بهسازی قاب‌های خمشی فولادی طراحی شده براساس ویرایش اول استاندارد ۲۸۰۰ در تعداد طبقات مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد و در نهایت رفتار لرزه‌ای و سطوح عملکرد نمونه‌های بهسازی شده با این نوع مهاربند، با استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی براساس دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت.

کلمات کلیدی: مهاربند کمانش ناپذیر، مهاربند معمولی، آنالیز پوش آور

۱- مقدمه

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

برای مقاومت در برابر بارهای جانبی، سیستم‌های گوناگونی به کارگرفته شده‌اندکه پرکاربردترین آنها، مهاربندها در سازه‌های فلزی می‌باشند. پارامتر کنترلی در طراحی قاب‌های ساده فولادی، کمانش عضو فشاری مهاربندها می‌باشد. جهت بهبود این رفتار در مهاربندها، طرح مهاربندهایی که کمانش نکرده و تحت تنش‌های فشاری جاری شوند، مطرح شد. برای دست یابی به این هدف، اطراف مهاربند به وسیله یک غلاف نگهداری می‌شود. این عمل از تغییر شکل جانبی مهاربند به علت کمانش جلوگیری می‌کند و فولاد هسته به حالت تسلیم می‌رسد. هنگامی‌که نیروی محوری به هسته مهاربند وارد می‌شود، غلاف باید سختی کافی برای جلوگیری از کمانش مهاربند کمانش ناپذیر را داشته باشد. هسته زیر فشار در محدوده غیر ارتجاعی منبسط می‌شود، بنابراین فاصله بازی برای اجتناب از اصطکاک بین هسته و غلاف باید در نظر گرفته شود تا از انتقال نیرو محوری بطور مستقیم از هسته به غلاف که باعث کمانش غیر ارتجاعی غلاف توسط نیروی محوری می‌شود جلوگیری کند. عوامل موثر بر عملکرد غلاف فولادی مهاربندهای کمانش ناپذیر که عبارتند از: ضخامت غلاف فولادی، طول غلاف فولادی، مقدار فاصله باز بین هسته فولادی و غلاف فولادی و اثر سطح مقطع هسته فولادی بر غلاف فولادی پرداخته می‌شود. با استفاده از بارگذاری مختلف، مد شکست و ظرفیت اتلاف انرژی مهاربند کمانش ناپذیر بررسی خواهد شد.

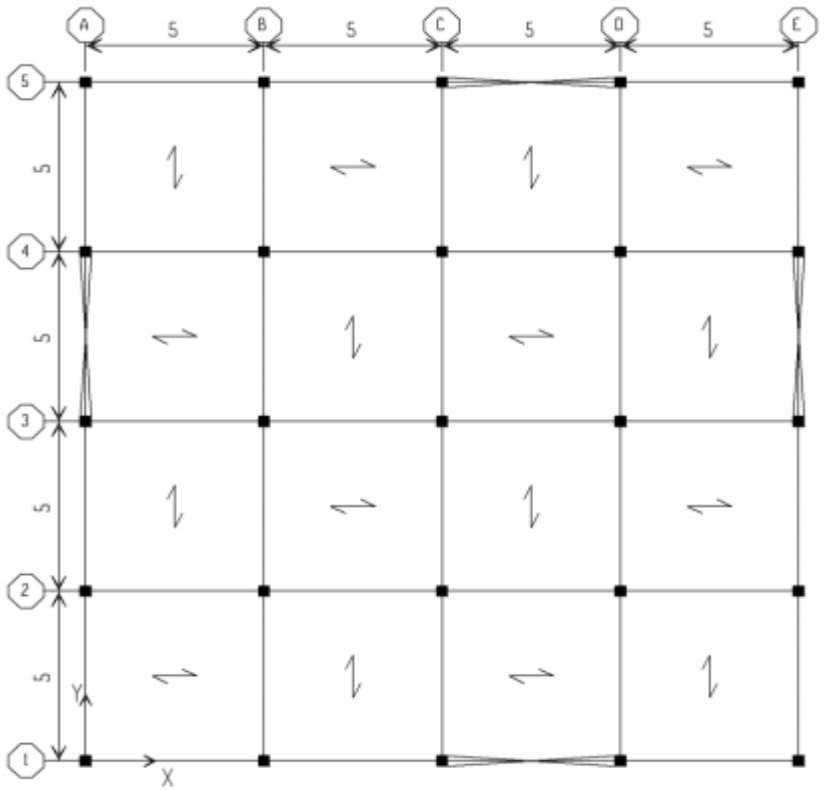
درسال‌های اخیر سیستم جدیدی با نام مهاربند کمانش ناپذیر پا به عرصه گذاشته که روز به روز درحال توسعه و استقبال مهندسان می‌باشد. این سیستم به دلیل جلوگیری ازکمانش بادبند قابلیت جذب انرژی بسیاربیشتری را نسبت به سیستم‌های رایج مهاربندی همگرا دارد دراین تحقیق ظرفیت تغییرمکان نسبی دریفت کلی و نیازهای ساختمان اداری فولادی که توسط مهاربندی‌های کمانش ناپذیر BRB طرح گردیده مورد ارزیابی قرارمی‌گیرد این مقاله عملکرد لرزه‌ای ساختمان را ازمنظر تحلیلی مورد ارزیابی قرار می‌دهد بطور تفصیلی ظرفیت و نیازهای مهاربندهای کمانش ناپذیر BRB توسط پاسخ تحلیل‌های صورت گرفته مورد ارزیابی قرارگرفته می‌شود پس ازآن سطح اطمینان دربرابر پتانسیل تسلیم شدگی مهاربندی‌های کمانش-ناپذیرBRB کمانش و شکستگی آن‌ها محاسبه خواهد شد نتایج نشان می‌دهد که این نوع مهاربندهای نوین کمانش ناپذیرمی-توانند با یک سطح اطمینان بالا اطمینان ازساختمان را برای دسته بندی به اهداف سریع سکونت و ایمنی زندگی حاصل نمایند.

۲- معرفی مدل

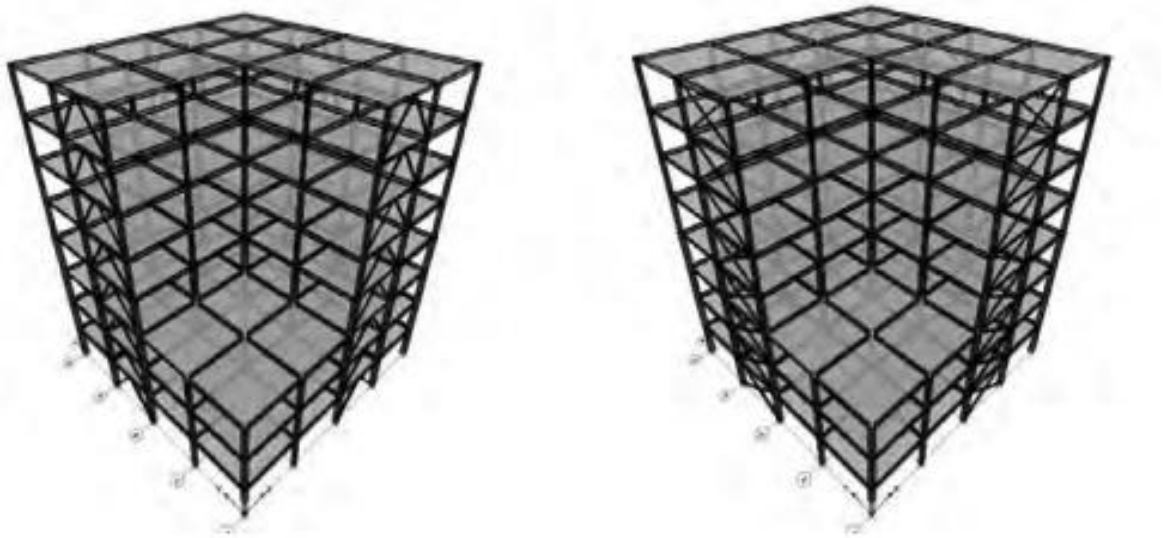
نمونه‌های قاب خمشی فولادی متوسط به صورت ساختمان‌های سه بعدی ۴ طبقه، ۸ طبقه و ۱۲ طبقه به صورت منظم و نامنظم در پلان و در ارتفاع سازه براساس ویرایش اول استاندارد ۲۸۰۰ به صورت الاستیک تحلیل و طراحی شده‌اند. پس از انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی بر روی این نمونه‌ها آسیب‌پذیری این سازه‌ها براساس دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای تأیید شده است. به منظور تحلیل و طراحی این سازه‌ها فرضیات زیر در نظر گرفته شده است:

- کاربری ساختمان‌ها اداری و با اهمیت متوسط فرض شده است.
- محل احداث ساختمان از نظر پهنه‌بندی زلزله جز مناطق با لرزه بالا محسوب می‌شود.
- سیستم باربر جانبی ساختمان در هر دو جهت قاب خمشی متوسط است.
- سیستم باربر ثقلی، سقف تیرچه بلوک است.
- نوع خاک زمین از نوع III است.
- ارتفاع تمامی طبقات به طور یکسان و برابر ۳/۲۰ متر می‌باشد.
- فولاد مصرفی از نوع فولاد نرمه ساختمانی (ST37) و بتن مصرفی در سقف‌ها بتن با مقاومت مشخصه ۲۱۰ کیلومتر بر سانتیمتر مربع می‌باشد.
- بارگذاری ثقلی براساس نشریه ۵۱۹ و بارگذاری جانبی براساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ ویرایش اول مصوب سال ۱۳۶۶ صورت گرفته است.

پس از بررسی آسیب‌پذیری این سازه‌ها، به دلیل آسیب‌پذیری بیشتر قاب‌های خمشی نامنظم به تقویت این نمونه‌ها با استفاده از مهاربندهای همگرا و کمانش‌گریز پرداخته می‌شود. محل استقرار مهاربندها در پلان ساختمان‌های نمونه در شکل زیر نمایش داده شده است.



شکل ۱- محل استقرار مهاربندها در پلان ساختمان‌های نمونه

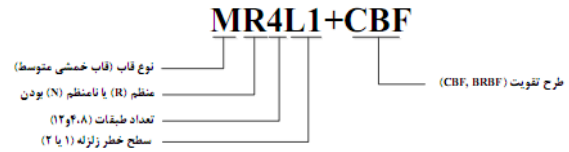


الف- طرح تقویت با CBF ب- طرح تقویت با BRBF

شکل ۲- طرح تقویت ساختمان

برای سهولت در کار نام‌گذاری نمونه‌ها به شکل زیر انجام می‌شود.

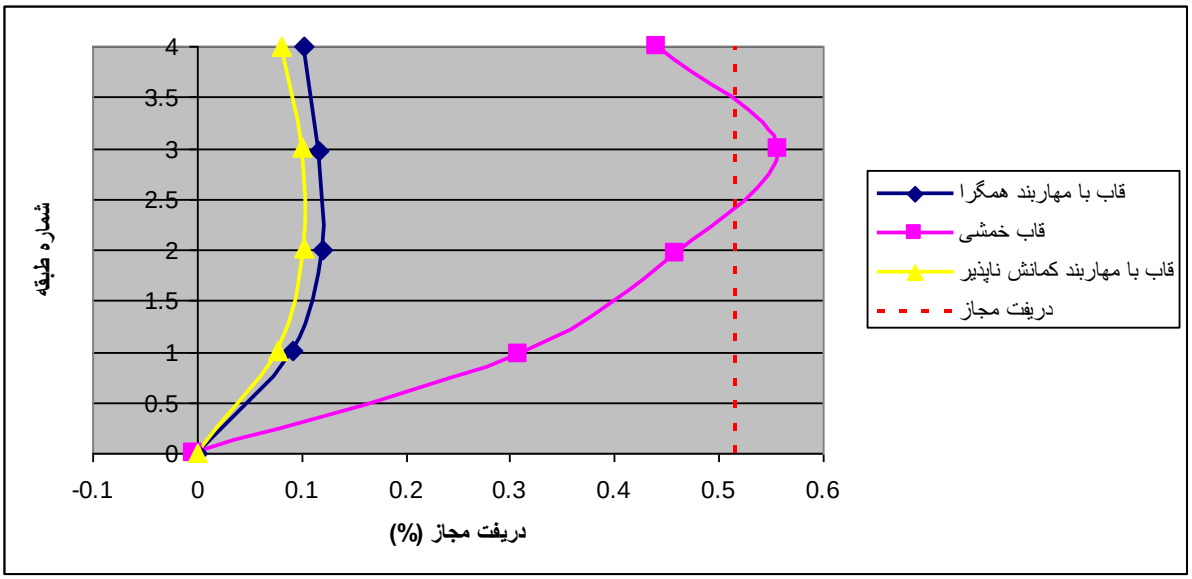
ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



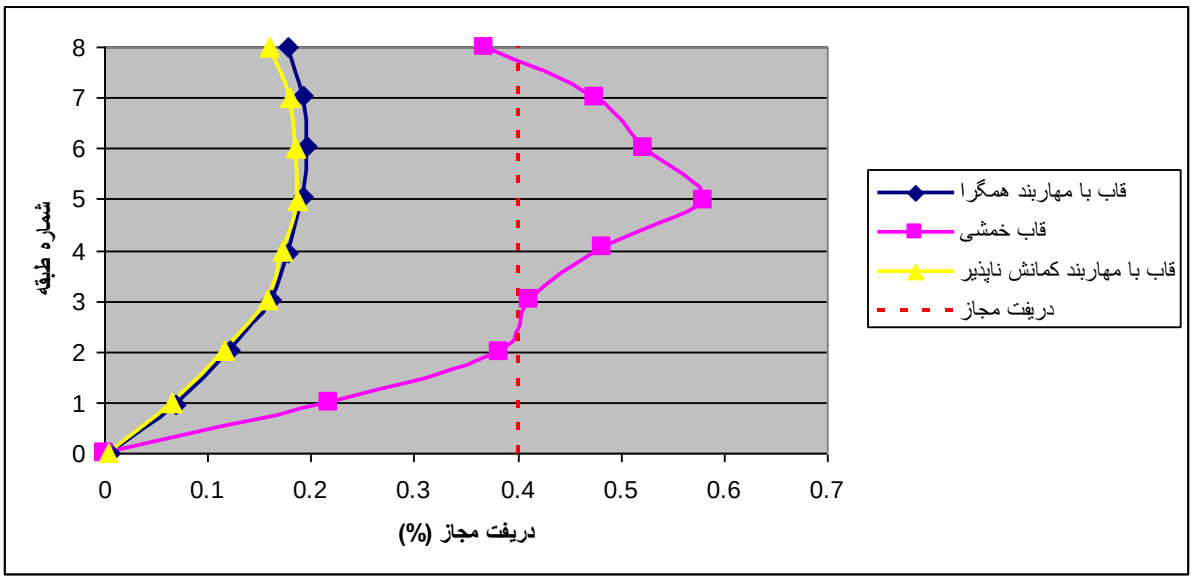
شکل ۳- نحوه نام‌گذاری نمونه‌ها

۳- ارزیابی و مقایسه طرح تقویت نمونه‌ها

کنترل معیار سختی در تراز حد مقاومت براساس تغییر مکان نسبی (گریز یا دریفت) مجاز طبقات بررسی می‌شود. سازه‌های نمونه قبل از تقویت از سختی کافی برخوردار نبوده‌اند و تغییر مکان نسبی آن‌ها فراتر از محدوده مجاز بوده است. پس از اضافه نمودن مهاربندهای هم محور ضربدری و مهاربندهای کمانش‌گریز به سازه، تغییر مکان سازه در تراز مقاومت با مقدار مجاز ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ مطابق شکل ۴-۵ مقایسه شده است.

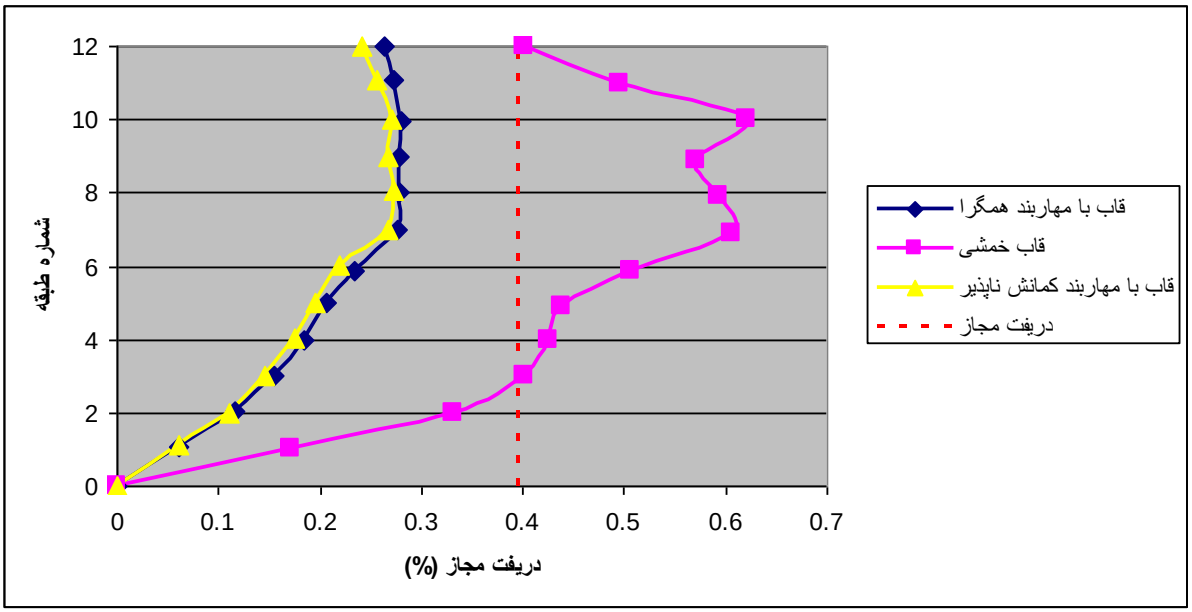


الف- نمونه ۴ طبقه



ب- نمونه ۸ طبقه

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

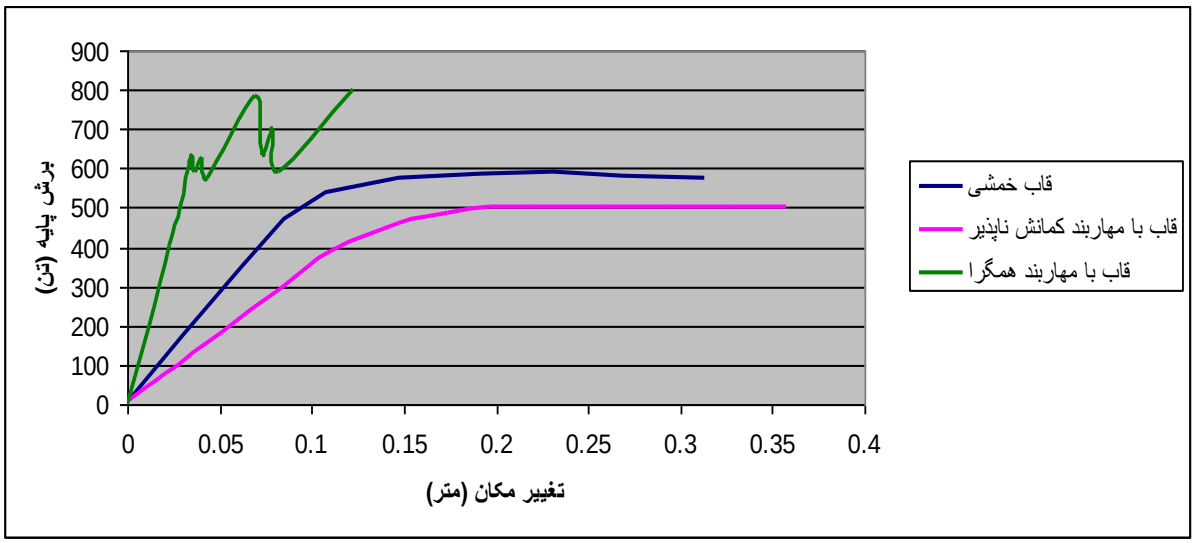


ج- نمونه ۱۲ طبقه

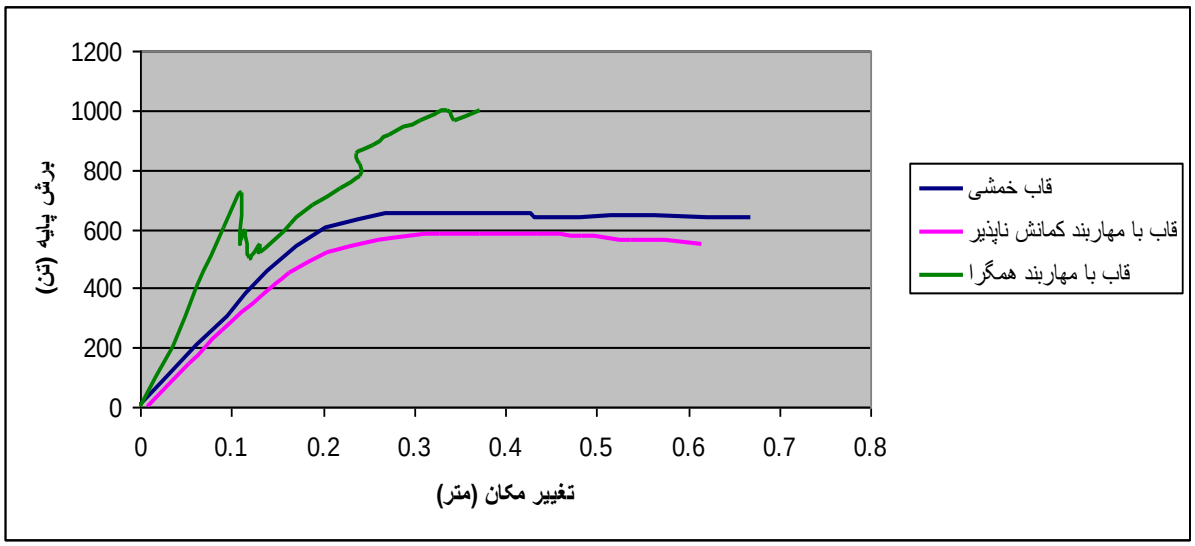
شکل ۴- مقایسه مقدار دریافت طبقات با مقدار مجاز در نمونه‌های تقویت شده

باتوجه به نمودار شکل ۴ مشاهده می‌گردد که در تمامی طرح‌های تقویت دریافت طبقات بسیار کمتر از مقدار مجاز بوده و معیار سختی را براساس ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ برآورد می‌کنند. همان طور که مشاهده می‌شود نمونه تقویت شده با مهاربند کمانش‌گریز در تمامی نمونه‌ها کمترین مقدار تغییر مکان را در بین طرح‌های تقویت‌دار است.

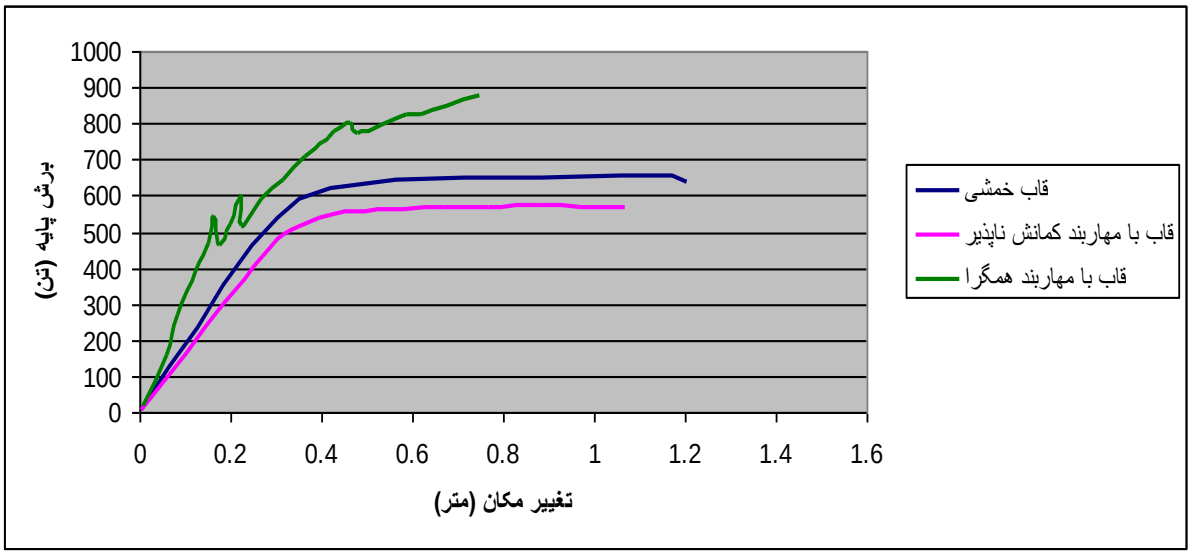
با انجام تحلیل پوش‌آور، مشخص شد که الگوی بار مثلثی وضعیت بحرانی‌تری در سازه ایجاد می‌کند. به دلیل کمانش مهاربند فشاری در فشار، منحنی ظرفیت نمونه‌های تقویت شده با مهاربند همگرا رفتار نامتقارنی در کشش و فشار دارد و پس از کمانش مهاربند، افت شدید سختی در منحنی ظرفیت سازه مشاهده می‌شود. منحنی ظرفیت نمونه‌های تقویت شده با مهاربندهای کمانش‌گریز در مقایسه با منحنی ظرفیت سازه‌های تقویت شده با مهاربندهای همگرا پایدار و بدون افت مقاومت و سختی می‌باشد.



الف- نمونه ۴ طبقه



ب- نمونه ۸ طبقه



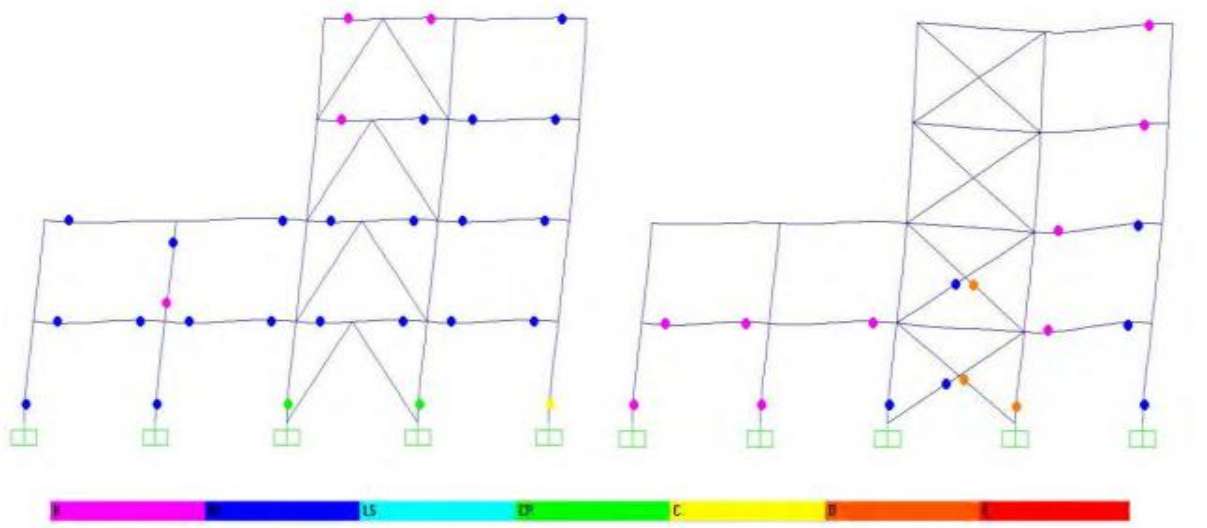
ج- نمونه ۱۲ طبقه

شکل ۵- مقایسه منحنی ظرفیت نمونه‌های تقویت شده تحت الگوی بارگذاری مثلثاتی

در نمونه‌های تقویت شده با مهاربند همگرا (CBF) تمرکز مفاصل پلاستیک در ستون‌های اطراف مهاربند اتفاق می‌افتد. برخی از ستون‌های طبقه اول و برخی از مهاربندهای طبقات اول سطح عملکرد ایمنی جانی را نقض می‌کنند. تیرهای تمامی طبقات دارای سطح عملکرد ایمنی جانی (LS) می‌باشند. به دلیل کمانش مهاربند فشاری در فشار، منحنی ظرفیت این نمونه رفتار نامتقارنی در کشش و فشار دارد و پس از کمانش مهاربند، افت شدید سختی در منحنی ظرفیت سازه مشاهده می‌شود.

در نمونه‌های تقویت شده با مهاربند کمانش گریز (BRBF) هیچ‌گونه مفصلی در مهاربندها ایجاد نمی‌شود و تیرهای تمامی طبقات دارای سطح عملکرد ایمنی جانی (LS) می‌باشند. تعداد اندکی از ستون‌های طبقه اول در تمامی نمونه‌ها و تعداد اندکی از ستون‌ها و تیرهای طبقات میانی در سازه ۱۲ طبقه نیاز به بهسازی موضعی دارند. این نمونه دارای منحنی ظرفیت منظم و متقارن در کشش و فشار در مقایسه با نمونه‌های تقویت شده با مهاربند همگرا (CBF) می‌باشد و از شکل‌پذیری قابل قبولی برخوردار است. همچنین تعداد مفاصل پلاستیک که در سطح عملکرد قرار دارند افزایش یافته است و در تمامی طبقات پخش شده است (شکل۵).

به عنوان نمونه در شکل زیر وضعیت تشکیل مفاصل پلاستیک در حالت رانشی با الگوی بار جانبی مثلثی در راستای x و در گام تغییر مکان هدف، برای قاب محور ۱ در نمونه ۴ طبقه نشان داده شده است.



الف- نمونه MN4L1+CBF ب- نمونه MN4L1+BRBF

شکل ۶- محل و وضعیت تشکیل مفاصل پلاستیک در قاب محور ۱

نتیجه‌گیری

در این پایان نامه استفاده از مهاربندهای هم محور و مهاربندهای هم‌محور و مهاربندهای کمانش‌گریز به عنوان راه‌حلی برای بهسازی قاب‌های خمشی فولادی طراحی شده براساس ویرایش اول استاندارد ۲۸۰۰ در تعداد طبقات مختلف مورد استفاده قرار گرفت و رفتار لرزه‌ای و سطوح عملکرد نمونه‌های بهسازی شده با این نوع مهاربندها، با استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی براساس دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت و به طور خلاصه نتایج زیر حاصل شد:

۱. تغیر مکان قاب ساده با مهاربند ضربدری در مقایسه با تغیر مکان قاب ساده با مهاربند کمانش ناپذیر بیشتر بوده که این به معنی سختی بیشتر قاب با مهاربند کمانش ناپذیر خواهد بود.
۲. با توجه به کمتر بودن تغیر مکان می‌توان به افزایش ظرفیت قاب مورد نظر پی برد، که به عملکرد بهتر این مهاربند می‌انجامد.
۳. عملکرد سازه های با سیستم مهار بند کمانش نا پذیر نسبت به مهاربند ضربدری در مقابل نیروی جانبی ناشی از زلزله مطلوب تر است.
۴. با توجه به منحنی ظرفیت سطح زیر منحنی در قاب ساده با مهاربند ضربدری کمتر از قاب ساده با مهار بند کمانش ناپذیر می‌باشد.
۵. با افزودن مهاربندهای هم‌محور، سختی سازه افزایش قابل توجهی پیدا می‌کند و در محدوده الاستیک نیز تغییر مکان سازه به شدت کاهش می‌یابد و این امر باعث افزایش سطح عملکرد سازه می‌گردد. درصد زیادی از مفاصل پلاستیک تشکیل شده در تیر و ستون‌ها در سطح عملکرد مورد نظر قرار می‌گیرد و سازه تحت سطح خطر ۱ عملکرد لرزه‌ای قابل قبولی خواهد داشت به طوری که در بیشتر نمونه‌ها بیش‌ترین درصد مفاصلی که در سطح عملکرد مورد انتظار قرار دارند در این طرح تقویت مشاهده می‌شود. از طرفی در این حالت در مهاربندهای فشاری مفاصل پلاستیک خارج از سطح عملکرد ایجاد می‌شود که بیانگر کمانش این مهاربندبدها در فشار می‌باشد، به همین دلیل در منحنی ظرفیت طرح‌های تقویت با این نوع مهاربند پرش‌هایی مشاهده می‌شود که بیانگر افت مقاومت ناگهانی پس از کمانش

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

مهاربند فشاری است. همچنین در طرح‌های تقویت شده با این مهاربند تمرکز مفاصل پلاستیک در ستون‌های اطراف مهاربند به خصوص در طبقات پایینی اتفاق می‌افتد و این ستون‌ها نیازمند بهسازی می‌باشند.

۶. در حالت تقویت سازه با مهاربندهای کمانش گریز، سازه سختی قابل قبولی دارد و در مقایسه با مهاربندهای هم محور دچار کمانش نمی‌شوند. سازه‌های تقویت شده با این نوع مهاربندها دارای منحنی ظرفیت متقارن و پایداری می‌باشند و سطح عملکرد قابل قبولی دارند. در حقیقت می‌توان گفت طرح تقویت با مهاربندهای کمانش گریز، معایب مهاربندهای هم محور را برطرف می‌کند، ضمن اینکه از سختی و شکل‌پذیری قابل قبول برخوردار است.

۷. با مقایسه طرح‌های تقویت چهار، هشت و دوازده طبقه در طرح تقویت با مهاربندهای کمانش گریز مشاهده می‌شود، این طرح‌ها در ساختمان‌ها بلندمرتبه کارایی بهتری دارند.

منابع

1- A. Watanabe and Y. Hitomoi, "Brace encased in concrete and steel tube," presented at the 9 th.World conference on Earthquake Engineeing, Japon, 1988.
2- L .A. Fahnestock, et al., "Analytical and Experimental Studies on Buckling Restrained Braced Composite Frames," presented at the Proceedings of International Workshop on Steel and Concrete Composite Construction, 2003.
3- P. Celerk, et al., "Design procedure for building incroporating hysteretic devices," presented at the 69th annual convention.SEAOC, 1999.
4- k. Inoue, et al., "Stiffening requirements for unbounded braces encased in concert panels," Structure Eng, pp. 712-9, 2001.
5- C. Black, et al" ,.Component Testing.stability analays,and characterization of buckling restrained braced braces," univ. of california,Berkley,CA.Report NO. PREE 2002/8.
6- H. Tembaba, et al., "Out-of-plane buckling load of buckling restrained braces including brace joints," Struct Constr Eng, pp. 127-34, 2004.
7- Q. Xie, "State of the art of buckling-restrained braces in Asia," Journal of Constructional Steel Research, vol. 61, pp. 727-748, 2005.
8- T. Takeuchi, et al., "Performance of comperssive tube members with buckling restrained composed of mortar in-filled steel tube," Struct Constr Eng, pp. 71-8, 2005.