



ارزیابی عملکرد لرزه‌های ساختمان‌های با قاب خمشی ویژه‌ی تقویت شده با بادبند همگرای شورن

غلامرضا نوری¹، رامین ناصری²

1- استادیار، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی

r.nouri@khu.ac.ir

2- کارشناس ارشد سازه، دانشگاه محقق اردبیلی

raminnaseri62@yahoo.com

چکیده

در مقاله حاضر، ساختمان‌های با قاب خمشی ویژه موجود که بر اساس ضوابط آیین نامه 2800- ویرایش دوم ساخته شده‌اند بر اساس نیاز لرزه‌ای استاندارد 2800- ویرایش سوم مورد ارزیابی لرزه‌ای قرار گرفته‌اند. بدین منظور از آنالیز پوش آور و روش طیف ظرفیت ارائه شده در ATC-40 استفاده شده است. همچنین جهت تفسیر نتایج حاصله از سطوح عملکرد ارائه شده در دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ایران (نشریه 360) استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که این ساختمان‌ها بدلیل عدم تأمین مقاومت و سختی مورد انتظار، در محدوده عملکردی موجود در نشریه 360 نبوده و نیازمند تقویت لرزه‌ای می‌باشند. بدین منظور از مهاربند متعارف همگرای 8 (شورن) استفاده شده است. نتایج نهایی حاکی از آن است که استفاده از این شیوه تقویتی علیرغم کاهش ظرفیت استهلاک انرژی سازه، موجب افزایش قابل قبول مقاومت و سختی سازه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تقویت لرزه‌ای، سطوح عملکرد، قاب خمشی ویژه، بادبند همگرای شورن

1. مقدمه

سازه‌هایی که برای مناطق با لرزه‌خیزی بالا طراحی می‌شوند باید دو معیار را ارضا کنند. اول اینکه باید دارای سختی کافی برای کنترل تغییر مکان جانبی بوده تا از وقوع هر گونه خسارت سازه‌ای و غیر سازه‌ای در طی زمین‌لرزه‌های متوسط ولی مکرر جلوگیری به عمل آید. همچنین سازه باید مقاومت و شکل پذیری کافی داشته باشد تا تحت زلزله‌های شدید از فروریزش آن جلوگیری شود. خسارت سازه‌ای محدود و خسارت غیر سازه‌ای مجاز است.

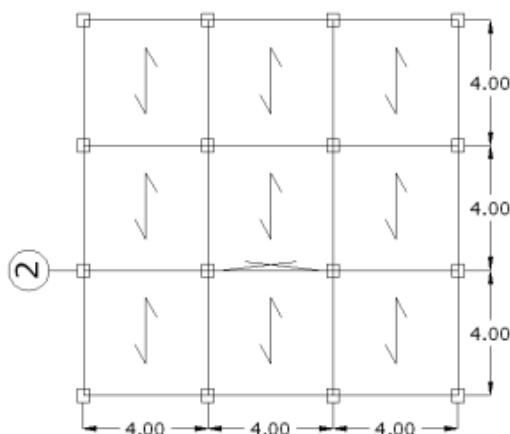
قاب‌های خمشی و مهاربندی همگرا در ساختمان‌های فولادی بطور گسترده‌ای به عنوان سیستم مقاوم در برابر زلزله مورد استفاده قرار می‌گیرند، گرچه هیچ یک از آن‌ها نمی‌تواند سختی و شکل‌پذیری مورد نیاز را توأمأ ارضا کند. در حالی که قاب‌های خمشی شکل‌پذیری مناسبی داشته و قاب‌های مهاربندی همگرا دارای سختی مناسبی می‌باشند [1]. امروزه انبوهی از ساختمان‌های ضروری (گروه 1 از ساختمان‌های با اهمیت زیاد در آیین‌نامه 2800- ویرایش دوم [2]) وجود دارند که بنا به دلایل متعددی احساس می‌شوند نتوانند حداقل نیازهای لرزه‌ای مدنظر آیین‌نامه‌های جاری را تأمین کنند. اما قبل از اقدام به

تقویت لرزه‌ای یک سازه، لازم است عملکرد لرزه‌ای آن تحت زلزله‌ی نیاز، ارزیابی شده و از نیاز یا عدم نیاز آن به تقویت لرزه‌ای اطمینان حاصل گردد.

اولین گام در ارزیابی تقویت لرزه‌ای یک سازه این است که با توجه به اهمیت سازه و شرایط اقتصادی، یک هدف عملکرد¹ مناسب برای سازه انتخاب شود. بنابه تعریف، یک هدف عملکرد برای یک سازه‌ی معین، مشخص می‌کند که تحت چه زلزله‌ای چه میزان آسیب در سازه مجاز است. به عبارتی دیگر، یک هدف عملکرد، تراز عملکرد مطلوب ساختمان را برای زمین‌لرزه‌ی داده شده مشخص می‌کند. بعد از انتخاب هدف عملکرد ساختمان، می‌توان نیاز لرزه‌ای² (تراز زلزله) را برای استفاده در آنالیز و حداکثر آسیب مجاز (تراز عملکرد) را برای استفاده در ارزیابی و طرح تقویت سیستم‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای ساختمان تعیین کرد [3].

2. مدل‌های مورد مطالعه

مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق از نوع ساختمان‌های با اهمیت خیلی زیاد و در مناطق با خطر نسبی لرزه‌ای خیلی زیاد می‌باشند. این مدل‌ها بصورت ساختمان‌های 3، 5 و 7 طبقه بوده که دارای سیستم قاب خمشی ویژه³ فولادی می‌باشند که به ترتیب با نام‌های SMRF3، SMRF5 و SMRF7 مشخص شده‌اند. مدل‌های فوق بر روی خاک نوع II در نظر گرفته شده‌اند. بارگذاری ثقلی و لرزه‌ای براساس ضوابط استانداردهای 519 و 2800- ویرایش دوم بر مدل‌های سازه‌ای اعمال شده سپس سازه‌ها تحت تحلیل استاتیکی غیرخطی قرار گرفته و طراحی شده‌اند. این مدل‌ها پس از تقویت با بادبند هم‌مرکز با نام‌های SMRF3+CBF، SMRF5+CBF و SMRF7+CBF مشخص شده‌اند. این قاب‌ها از یک سازه‌ی سه بعدی انتخاب شده‌اند. پلان ساختمان به همراه موقعیت قاب و مهاربندها در شکل (1) نشان داده شده است.



شکل (1): موقعیت قاب و مهاربندهای مورد مطالعه

¹ Performance Objective

² Seismic Demand

³ Special Moment Resistant Frame



3. فرضیات مورد استفاده برای ارزیابی لرزه‌ای نمونه‌ها

برای بررسی و ارزیابی رفتار غیرخطی نمونه‌ها در تراز عملکرد مورد نظر، از آنالیز استاتیکی غیرخطی و روش طیف ظرفیت¹ ارائه شده در ATC-40 [4] استفاده شده است. مدل سازی، تحلیل، طراحی و بررسی رفتار غیر خطی نمونه‌ها به کمک نرم‌افزار ETABS2000 [5 و 6] صورت گرفته است. همچنین از معیارهای پذیرش ارائه شده در FEMA356 [7] و دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ایران [8] استفاده شده است.

مطابق جدول پیوست 1 دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ایران (نشریه ی 360)، برای ساختمان‌های از نوع امدادی (مانند بیمارستان)، بایستی هدف بهسازی ویژه انتخاب شود. فلذا بایستی برای زلزله سطح خطر 1، عملکرد قابلیت استفاده بی‌وقفه و برای زلزله سطح خطر-2، عملکرد ایمنی جانی تأمین گردد. بدین منظور در این تحقیق اهداف زیر دنبال شده است:

1- سازه تحت زلزله‌ی سطح خطر 1 از تراز قابلیت استفاده‌ی بی‌وقفه تجاوز نکند.

2- سازه تحت زلزله‌ی سطح خطر 2 از تراز ایمنی جانی تجاوز نکند.

مراحل کلی تعیین سطح عملکرد سازه‌های مورد مطالعه، بصورت اعمال نیروی جانبی به سازه و انجام تحلیل پوش اور² تا رسیدن تغییر مکان هدف (بام) به تغییر مکان نقطه‌ی عملکرد و در نهایت تعیین سطح عملکرد سازه‌ها می‌باشد.

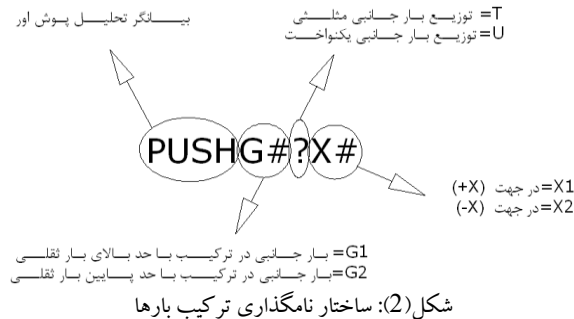
ترکیبات بار مورد استفاده برای تحلیل با رعایت بندهای 3-2-8 و 3-3-3-1-3 دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ایران انتخاب شده‌اند. بدین صورت که از حد بالا و پایین اثرات بار ثقلی به همراه دو نوع توزیع بار جانبی استفاده شده است که در مجموع 4 نوع ترکیب بار ثقلی و جانبی به دست آمده است. با اعمال بارگذاری جانبی در دو جهت رفت و برگشت تعداد ترکیبات بار به 8 ترکیب افزایش می‌یابد. این ترکیبات بار بصورت زیر می‌باشند.

$$\begin{aligned} \text{GRAV1} &= 1.1 \times (\text{QD} + \text{QL}) \\ \text{PUSHG1TX1} &= 1.1 \times (\text{QD} + \text{QL}) + \text{EX} \\ \text{PUSHG1TX2} &= 1.1 \times (\text{QD} + \text{QL}) - \text{EX} \\ \text{PUSHG1UX1} &= 1.1 \times (\text{QD} + \text{QL}) + \text{AccIX} \\ \text{PUSHG1UX2} &= 1.1 \times (\text{QD} + \text{QL}) - \text{AccIX} \\ \text{GRAV2} &= 0.9 \times \text{QD} \\ \text{PUSHG2TX1} &= 0.9 \times \text{QD} + \text{EX} \\ \text{PUSHG2TX2} &= 0.9 \times \text{QD} - \text{EX} \\ \text{PUSHG2UX1} &= 0.9 \times \text{QD} + \text{AccIX} \\ \text{PUSHG2UX2} &= 0.9 \times \text{QD} - \text{AccIX} \end{aligned}$$

¹ Capacity Spectrum

² Push Over

برای نامگذاری ترکیب بارها از الگوی شکل (2) استفاده شده است.

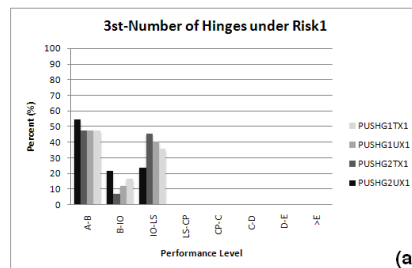
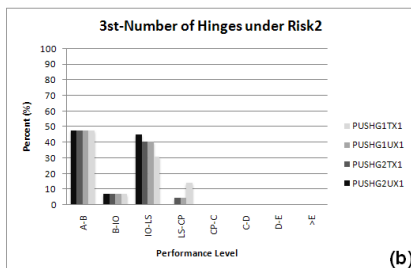


تحت ترکیبات بار بدست آمده، رفتار و عملکرد لرزه‌ای سازه‌ها با کنترل دو معیار زیرمورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است:

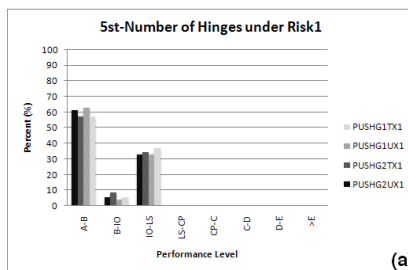
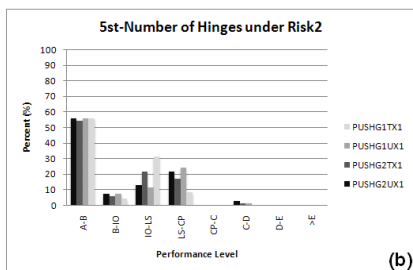
- (الف) براساس تشکیل مفاصل پلاستیک در اعضا (معیار مقاومت)
- (ب) براساس مقدار تغییر مکان نسبی طبقات (معیار سختی)

4. نتایج حاصل از تحلیل پوش اور

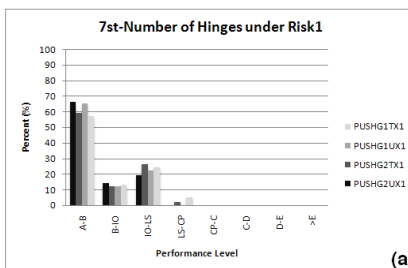
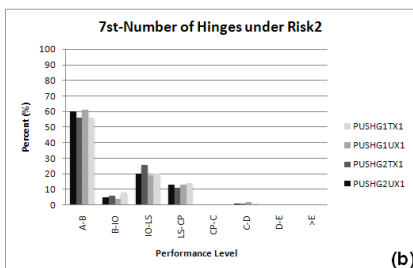
آنالیز استاتیکی غیرخطی روی مدل‌های مورد مطالعه انجام شده و سطوح عملکرد سازه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است. به منظور بررسی رفتار اعضای سازه، وضعیت تشکیل مفاصل پلاستیک از لحاظ تعداد و موقعیت در نقطه‌ی عملکرد در اعضای سازه‌ای بررسی شده است. این نتایج بصورت درصدی از تعداد کل مفاصل ایجاد شده در محدوده سطوح عملکردی مورد نظر برای ترکیبات مختلف بارگذاری تحت زلزله‌های سطح خطر 1 و سطح خطر 2 در شکل‌های (3) تا (5) نشان داده شده است.



شکل (3): تعداد مفاصل اعضا در نقطه‌ی عملکرد برای نمونه‌ی SMRF3 تحت زلزله‌ی: (a) سطح خطر 1 (b) سطح خطر 2



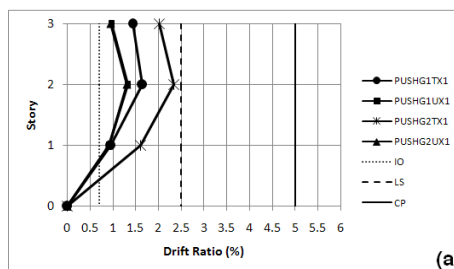
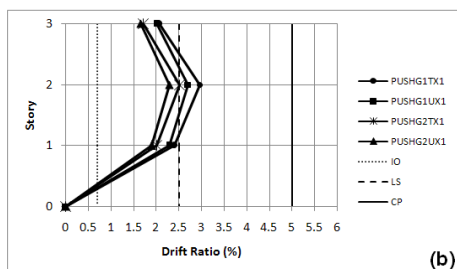
شکل (4): تعداد مفاصل اعضا در نقطه‌ی عملکرد برای نمونه‌ی SMRF5 تحت زلزله‌ی: (a) سطح خطر 1 (b) سطح خطر 2



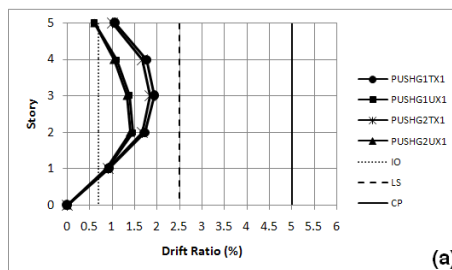
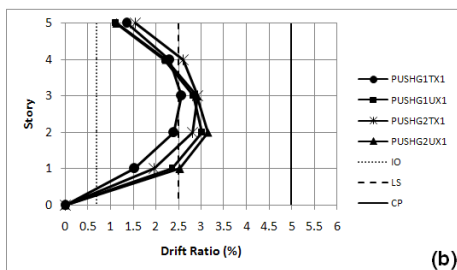
شکل (5): تعداد مفاصل اعضا در نقطه‌ی عملکرد برای نمونه‌ی SMRF7 تحت زلزله‌ی: (a) سطح خطر 1 (b) سطح خطر 2

نتایج بیانگر این است که میزان آسیب‌های سازه‌ای در هر سه مدل SMRF3، SMRF5 و SMRF7 در محدوده عملکرد مورد انتظار نمی‌باشند. به طوری که این آسیب‌ها تحت زلزله سطح خطر 1 از تراز قابلیت استفاده‌ی بی وقفه (IO) و تحت زلزله سطح خطر 2 از تراز ایمنی جانی (LS) تجاوز کرده‌اند. در نتیجه این سازه‌ها دارای مقاومت کافی جهت مقابله با زلزله‌های نیاز ایران نمی‌باشند.

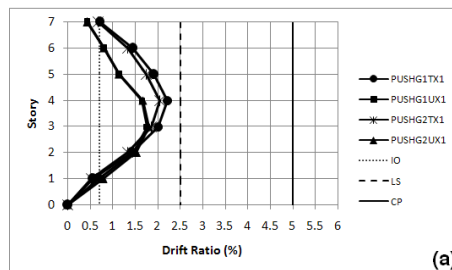
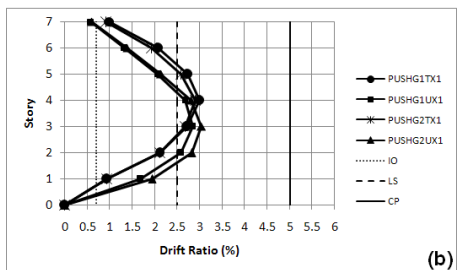
جهت بررسی وضعیت سختی جانبی سازه‌های مورد مطالعه، از نتایج بدست آمده از نسبت گریز بین طبقات استفاده شده است. این نتایج در اشکال (6) تا (8) نشان داده شده است.



شکل (6): نسبت گریز بین طبقات سازه‌ی SMRF3 در نقطه‌ی عملکرد تحت زلزله‌ی: (a) سطح خطر 1 (b) سطح خطر 2



شکل (7): نسبت گریز بین طبقات سازه‌ی SMRF5 در نقطه‌ی عملکرد تحت زلزله‌ی: (a) سطح خطر 1 (b) سطح خطر 2

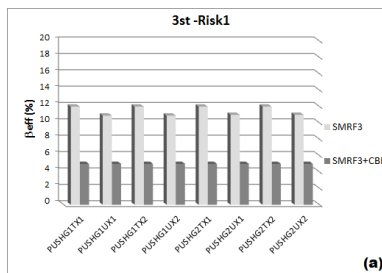
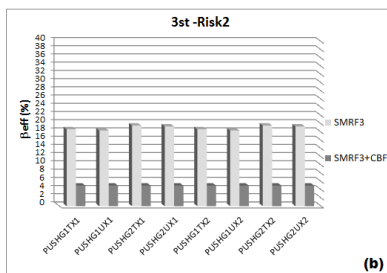


شکل (8): نسبت گریز بین طبقات سازه‌ی SMRF7 در نقطه‌ی عملکرد تحت زلزله‌ی: (a) سطح خطر 1 (b) سطح خطر 2

نتایج حاصل از بررسی اشکال فوق حاکی از آن است که تحت زلزله‌ی سطح خطر 1 مقدار گریز طبقات در تمامی طبقات از تراز عملکرد قابلیت استفاده‌ی بی‌وقفه فراتر رفته است. همچنین تحت زلزله‌ی سطح خطر 2 این نسبت برای طبقات میانی از تراز عملکرد ایمنی جانی تجاوز کرده است. فلذا تقویت لرزه‌ای این سازه‌ها جهت تأمین شرایط عملکردی مورد انتظار اجتناب ناپذیر می‌باشد.

5. بررسی عملکرد طرح تقویتی SMRF+CBF

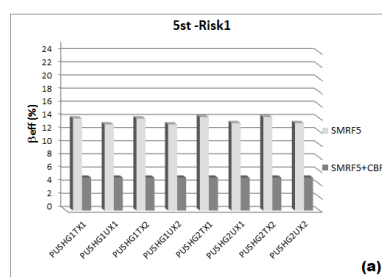
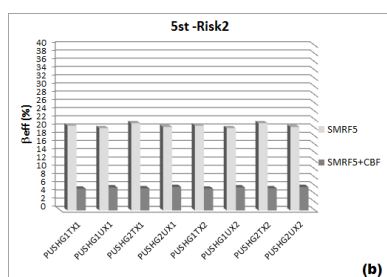
شیوه‌ای که به منظور تقویت لرزه‌ای سازه‌های اولیه مد نظر قرار گرفته است استفاده از مهاربندی همگرای 8 شکل (Chevron) می‌باشد. طراحی سیستم مهاربندی به گونه‌ای صورت گرفته است که هر یک از اعضای سازه‌ای در محدوده‌ی عملکردی خود عمل کنند. به منظور مقایسه ظرفیت استهلاک انرژی در سیستم اولیه و سیستم تقویتی از میرایی ویسکوز مؤثر (β_{eff}) (که بیان‌گر میزان کاهش نیاز لرزه‌ای الاستیک و در نتیجه افزایش ظرفیت استهلاک انرژی می‌باشد) استفاده شده است. در شکل‌های (9) تا (11) توان استهلاک انرژی سازه‌ی اولیه و طرح‌های تقویتی ارائه شده در هر یک از سطوح خطر زلزله با یکدیگر مقایسه شده‌اند.



شکل (9): مقادیر β_{eff} سازه SMRF3 و SMRF3+CBF در نقطه‌ی عملکرد تحت زلزله:

(b) سطح خطر 2

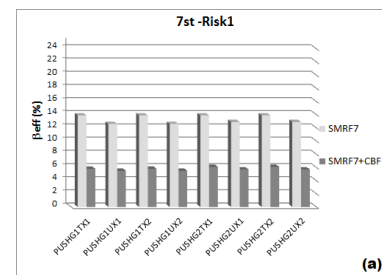
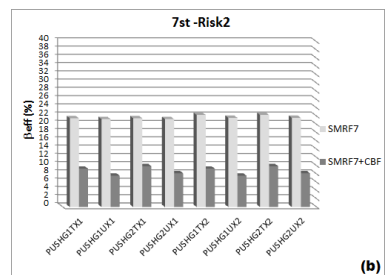
(a) سطح خطر 1



شکل (10): مقادیر β_{eff} سازه SMRF5 و SMRF5+CBF در نقطه‌ی عملکرد تحت زلزله:

(b) سطح خطر 2

(a) سطح خطر 1



شکل (11): مقادیر β_{eff} سازه SMRF7 و SMRF7+CBF در نقطه‌ی عملکرد تحت زلزله:

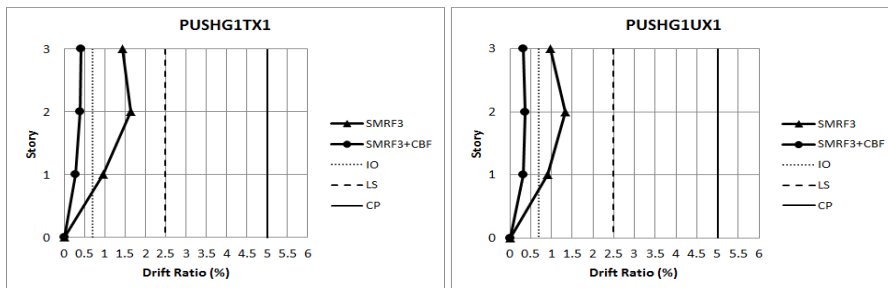
(b) سطح خطر 2

(a) سطح خطر 1

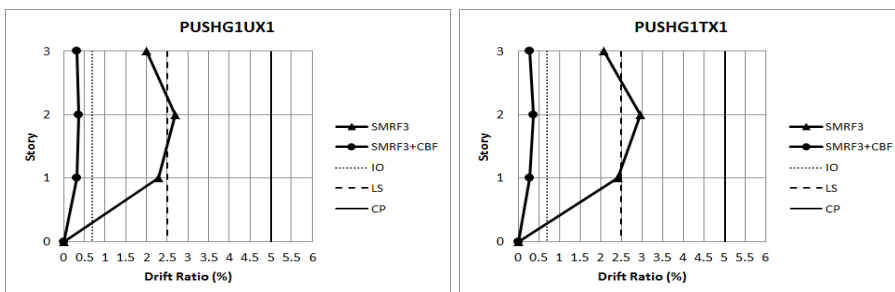
با بررسی نتایج نهایی حاصل از تحلیل غیرخطی سیستم‌ها مشاهده می‌شود که به خاطر الاستیک ماندن سیستم لرزه‌بر در این طرح تقویت، مقدار میرایی ویسکوز مؤثر (β_{eff}) بسیار کمی در نقطه‌ی عملکرد حاصل شده و نهایتاً استفاده از سیستم CBF جهت تقویت سازه‌ی SMRF باعث کاهش ظرفیت استهلاک انرژی این سازه‌ها می‌شود.

برای مقایسه میزان سختی سیستم اولیه و طرح تقویتی ارائه شده، از نسبت گریز بین طبقات در نقطه عملکرد سازه استفاده شده است. بدین منظور، این نسبت تحت سطوح خطر 1 و 2 برای این سیستم‌ها در شکل‌های (12) تا

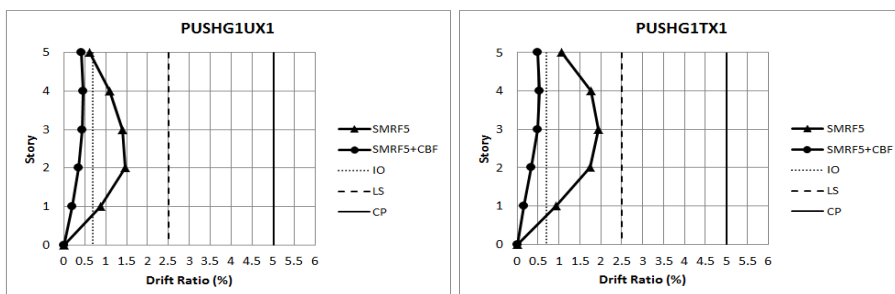
(17) نشان داده شده است. جهت اجتناب از ازدحام اشکال، تنها نتایج مربوط به ترکیب بارهای شامل G1 و در جهت رفت ارائه شده است. نتایج برای دیگر ترکیب بارها نیز چنین است.



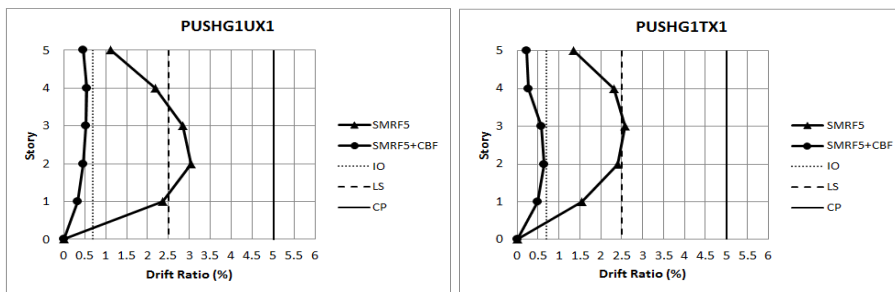
شکل (12): نسبت گریز طبقات سازه‌ی SMRF3 و SMRF3+CBF تحت زلزله‌ی سطح خطر 1



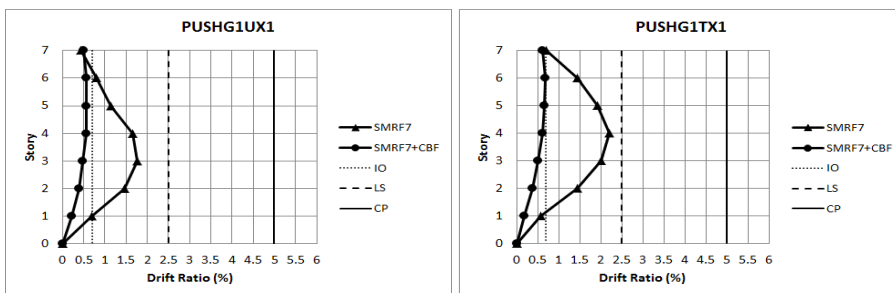
شکل (13): نسبت گریز طبقات سازه‌ی SMRF3 و SMRF3+CBF تحت زلزله‌ی سطح خطر 2



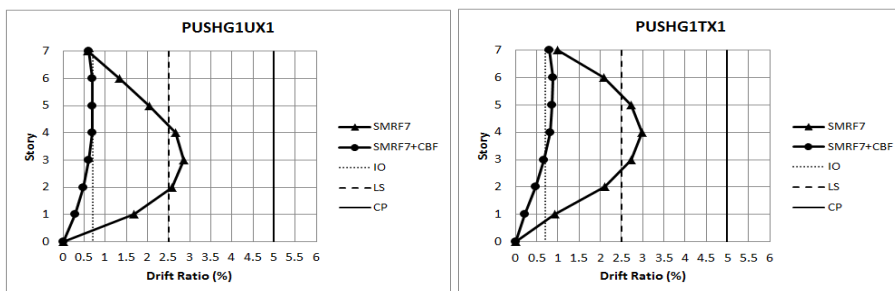
شکل (14): نسبت گریز طبقات سازه‌ی SMRF5 و SMRF5+CBF تحت زلزله‌ی سطح خطر 1



شکل (15): نسبت گریز طبقات سازه‌ی SMRF5 و SMRF5+CBF تحت زلزله‌ی سطح خطر 2



شکل (16): نسبت گریز طبقات سازه‌ی SMRF7 و SMRF7+CBF تحت زلزله‌ی سطح خطر 1



شکل (17): نسبت گریز طبقات سازه‌ی SMRF7 و SMRF7+CBF تحت زلزله‌ی سطح خطر 2

با بررسی اشکال فوق نتیجه می‌شود که استفاده از شیوه تقویتی SMRF+CBF باعث افزایش چشمگیر و قابل قبولی در میزان سختی بین طبقات سازه‌های مورد مطالعه شده است.

6. خلاصه و نتیجه‌گیری

در این تحقیق ساختمان‌های فولادی موجود با سیستم قاب خمشی ویژه با توجه به رفتار عملکردی خود مورد ارزیابی لرزه‌ای قرار گرفتند. سپس با استفاده از مهاربندی همگرای 8 (شورن) تقویت شدند. در هر دو

حالت، قبل و بعد از تقویت، از آنالیز استاتیکی غیر خطی جهت ارزیابی لرزه‌ای استفاده شد. نتایج حاصله بصورت زیر می‌باشد:

- 1- بررسی نتایج مربوط به تعداد و موقعیت مفاصل پلاستیک ایجاد شده در اعضای سازه‌ای سازه‌های با قاب خمشی ویژه نشان داد که این سازه‌ها تراز عملکرد مورد انتظار را رد کرده‌اند، فلذا تقویت آن‌ها لازم می‌باشد.
- 2- با بررسی میزان تغییر مکان نسبی طبقات در مدل‌های اولیه مشاهده شد که این ساختمان‌ها شرایط عملکردی مورد نیاز را ارضا نکرده و فاقد سختی جانبی قابل قبول می‌باشند.
- 3- استفاده از سیستم مهاربندی هم مرکز فولادی برای تقویت لرزه‌ای سازه‌ها باعث کاهش ظرفیت جذب و استهلاک انرژی سازه به میزان 58٪ و 69٪ به ترتیب برای زلزله‌های سطح خطر 1 و سطح خطر 2 و در عین حال موجب افزایش چشمگیر و قابل قبول سختی جانبی سازه‌ها به شد.

9. مراجع

- [1] قدرتی امیری، غ، و نعیمی، م، بررسی و مقایسه‌ی عملکرد قابهای مهاربند زانویی و ضربدری، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، ایران، 1387.
- [2] مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، آئین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد 2800، ویرایش دوم، تهران، ایران، 1378.
- [3] امینی، ف، و کاتب، ج، بررسی امکان تقویت لرزه‌ای سازه‌های فولادی موجود با استفاده از بادبند زانویی و المان زانویی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، 1381.
- [4] Applied Technology Council, Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, ATC-40 Report, Redwood City, California, November, 1996.
- [5] فاروقی، ع، راهنمای کاربردی بهسازی لرزه‌ای، چاپ اول، انتشارات سیمای دانش، تهران، ایران، 1387.
- [6] باجی، ح، و هاشمی، ج، تکنیک‌های مدل‌سازی، تحلیل و طراحی کامپیوتری سازه‌ها در قالب پروژه‌های کاربردی با استفاده از برنامه‌های SAP2000-ETABS-SAFE، چاپ دوم، انتشارات آزاده، تهران، ایران، 1384.
- [7] Applied Technology Council, Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings, FEMA-356 Report, Washington, Federal Emergency Management Agency, November, 2000.
- [8] سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، نشریه شماره 360، تهران، ایران، 1385.