

# ارزیابی لرزه‌ای قاب‌های خمشی دوگانه فولادی با مهاربند همگرای قطری مسلح شده توسط آلیاژ حافظه‌دار شکلی

منصور باقری<sup>۱\*</sup>، امین وداد<sup>۲</sup>، مهدی اکبری<sup>۳</sup>

- ۱- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی بیرجند  
۲- کارشناس ارشد سازه، گروه مهندسی عمران، موسسه آموزش عالی بعثت  
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، گروه مهندسی عمران، موسسه آموزش هرمان

\*mnsrbagheri@birjandut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۹/۱/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۲۷

## چکیده

هدف از این مطالعه، تعیین منحنی شکنندگی سیستم قاب خمشی دوگانه فولادی با مهاربند همگرای قطری دارای میله آلیاژ حافظه‌دار شکلی در سازه‌های ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵ و ۲۰ طبقه با استفاده از دستورالعمل HAZUS به کمک تحلیل دینامیکی فزاینده و نیز تعیین میزان کاهش تغییر مکان پسماند سازه‌های دارای آلیاژ مزبور با انجام تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی است. با بررسی منحنی‌های شکنندگی سطح خرابی جزئی سازه‌های دارای آلیاژ در طبقات مختلف نتیجه شده که میزان کاهش خسارت برای سازه‌های ۳ و ۶ طبقه به میزان ۲۳ و ۱۸ درصد بوده و برای سازه با طبقات بیشتر، به ۴ تا ۹ درصد محدود شده است. در سطح خرابی متوسط نیز بین سازه با طبقات مختلف کاهش یکسانی با استفاده از این نوع آلیاژ به میزان متوسط ۳۰ درصد دیده شده است. از طرف دیگر، کاهش حدود ۴۰ درصدی در سطح خسارت گسترده برای سازه‌های کوتاه و میان‌مرتبه بوده درحالی‌که این کاهش به ۱۵ درصد برای سازه‌های ۱۲ تا ۲۰ طبقه محدود شده است. همچنین در سطح خرابی کلی بکار بردن آلیاژ مزبور تأثیر چندانی در کاهش خسارت به ویژه در سازه‌های بلندمرتبه نداشته است. همچنین، کاهش میزان تغییر مکان پسماند برای سازه‌های بلندمرتبه دارای آلیاژ بین ۸۰ تا ۹۵ درصد تغییر مکان پسماند سازه بدون آلیاژ بوده است. بنابراین از نظر کاهش خسارات در سطوح مختلف، وجود آلیاژ حافظه‌دار شکلی در سازه‌های کوتاه‌مرتبه مؤثرتر از سازه‌های بلندمرتبه و از نظر خاصیت برگشت‌پذیری، استفاده از این مصالح می‌تواند نکته مثبتی در کاهش خسارات ناشی از تغییر مکان‌های پسماند در زمان بهره‌برداری برای ساختمان‌های بلندمرتبه باشد.

**واژگان کلیدی:** قاب خمشی دوگانه فولادی با مهاربند همگرای قطری، آلیاژ حافظه‌دار شکلی، تحلیل دینامیکی غیرخطی فزاینده، منحنی شکنندگی.

## ۱- مقدمه

کاربرد سیستم‌های هوشمند از جمله آلیاژهای حافظه‌دار کلی<sup>۱</sup> در مهندسی مطرح و پیشنهادهای مختلفی نیز در این زمینه ارائه

کردند که احتمال برون رفت از سطوح مختلف خطر برای این سازه‌ها بطور واضحی کمتر از سازه‌های دیگر بوده و تغییر مکان پسماند کمتری نیز دارد. مرادی و آلام [7]، قاب‌های فولادی مهاربندی دارای SMA را تحت تحلیل دینامیکی فزاینده قرار دادند و پاسخ لرزه‌ای این سازه‌ها با قاب‌های مهارشده کماتش تاب مقایسه شد. همچنین وفایی و اسکندری [8] عملکرد لرزه‌ای قاب‌های دارای ابرمهارهای فولادی مجهز به SMA را تحت زلزله‌های دور از گسل بررسی نمودند. نتایج حاکی از عملکرد عالی مهارهای مزبور تحت این نوع زلزله به سبب کاهش تغییر مکان نسبی و نیز تغییر مکان پسماند طبقه بالا بود. همچنین کیو و ژو [9]، طراحی لرزه‌ای مبتنی بر عملکرد برای قاب مهارشده برگشت‌پذیر دارای SMA را در مطالعه‌ای بررسی نمودند. نتایج تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی نشان داد که تمامی قاب‌های مورد نظر در سطوح مختلف خطر لرزه‌ای در سطوح عملکرد جواب مناسبی دادند. همچنین زارعی و همکاران [10] در مقاله‌ای به بررسی سیستم مهاربندی مبتنی بر آلیاژهای حافظه‌دار شکلی نوین در ساختمان پرداختند که رفتار دینامیکی سازه را با کاهش خطر لرزه‌ای و اتلاف انرژی به کمک ظرفیت برگشت‌پذیری در حالت کشش و فشار و نیز پس از زلزله بهبود می‌بخشد. همچنین مطالعه‌ای در مورد بهینه‌سازی SMA در مهاربندی‌های همگرای قاب فولادی توسط بابایی و زرفام [3] انجام گرفت. در این پژوهش سطوح عملکرد و منحنی‌های شکنندگی با ارزیابی رفتار لرزه‌ای قاب بهینه‌سازی شده، حاصل شد و احتمال فراگشت از سطوح خطر مورد نظر مطلوب بوده و بر نتایج تحلیل قطعی، هماهنگی داشت. اسپنچر و همکاران [11] نیز به بررسی مدل آزمایشگاهی سیستم مهاربندی ضربدری با استفاده از SMA پرداختند و نتایج به دست آمده ثابت کرد که سیستم دارای SMA منجر به توزیع تغییر شکل بیشتری نسبت به سیستم معمولی شده است. همچنین قلهکی و همکاران [12] به بررسی اثر آلیاژ حافظه‌دار شکلی Ni-Ti در شکل‌پذیری دیوارهای برشی فولادی پرداختند. ایشان نتیجه گرفتند که نمونه‌های دارای آلیاژ در طبقات اول و سوم دارای شکل‌پذیری بیشتری نسبت به سایر

شده است و از جمله کاربردهای اصلی آن، مهار جابه‌جایی‌های پلاستیک پسماند و یا تغییر شکلی‌های پلاستیک در انتهای زلزله است. آلیاژهای حافظه‌دار شکلی به علت دارا بودن ویژگی‌های میکروسکوپی و ماکروسکوپی ممتازی همچون ظرفیت میرایی بالا، دوام، خاصیت فوق ارتجاعی یا شبه ارتجاعی، تغییر شکل‌ها و کرنش‌های بزرگ و برگشت‌پذیر که در مصالح سنتی موجود نیست، کاربردهای زیادی در زمینه‌های مختلف از جمله سازه‌های ساختمانی پیدا کرده‌اند [1] (شکل ۱). دو سازوکار برای برگشت‌پذیری تغییر شکل‌ها در مواد حافظه‌دار وجود دارد که عبارت از اثر حافظه‌داری (ترمیم کرنش پسماند توسط حرارت) و رفتار فوق ارتجاعی (ترمیم کرنش پسماند با باربرداری) است. بوهلر و همکاران [2]، مطالعات گسترده‌ای در ارتباط با آلیاژ نایتینول که ترکیب نیکل و تیتانیوم است، انجام دادند.

شکل ۱. رفتارهای مصالح SMA؛ (الف): اثر حافظه شکلی، (ب): اثر فوق الاستیک [3]

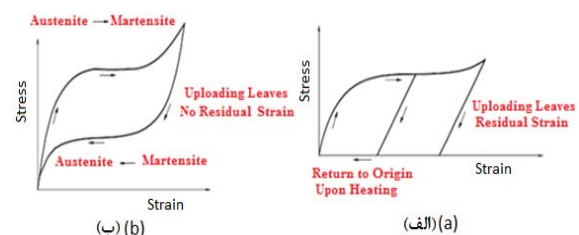


Fig. 1. SMA behaviors: (a): Shape memory effect (b): Super-elastic effect [3].

قاسمیه و کارگر مؤخر [4] نیز در مطالعه‌ای، به تعیین ضریب اصلاح پاسخ قاب‌های مهاربندی شده فولادی از انواع مهاربندهای قطری، ضربدری و شورون دارای آلیاژهای حافظه‌دار شکلی پرداختند. ایشان نتیجه گرفتند که پاسخ لرزه‌ای مهاربندهای شورون نسبت به دیگر انواع مهاربندها، مناسب‌تر است. محمودی و همکاران [5] در مقاله خود به ارزیابی عملکرد لرزه‌ای مهاربندهای زانویی مجهز به آلیاژ حافظه‌دار شکلی پرداختند. نتایج نشان داد که استفاده از آلیاژهای حافظه‌دار شکلی در سیستم مهاربندی زانویی، امکان استفاده مجدد سازه را پس از زلزله، فراهم می‌کند. همچنین در پژوهش شی و همکاران [6] نیز ارزیابی لرزه‌ای قاب مهاربندی شده با مهارهای SMA با استفاده از تحلیل IDA انجام شد. ایشان بیان

## ۲- مدل‌های بررسی شده

قاب دویبعی مدل شده در این مطالعه دارای ۵ دهانه ۴ متری و با ارتفاع هر طبقه برابر ۳/۲۰ متر در منطقه با شدت لرزه‌ای خیلی زیاد روی خاک نوع C با سیستم قاب خمشی فولادی دوگانه با مهاربند همگرای قطری در نرم‌افزار ETABS 9.7.4 [16] مدل‌سازی و طراحی اولیه شده است. همچنین مطابق شکل (۲) مهاربندهای قطری سازه ۶ طبقه در دهانه‌های دوم و چهارم جای داده شده‌اند.

شکل ۲. مدل قاب ۶ طبقه و موقعیت قرارگیری مهاربندها

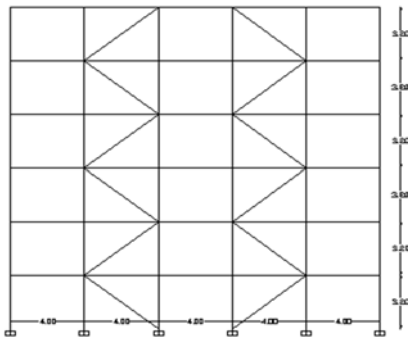


Fig. 2. Configuration of the 6-stories frame and position of the bracing.

بار زنده و مرده مؤثر وارد بر تیرهای قاب نیز، ۳۰ کیلونیوتن بر متر طول در نظر گرفته شده است. مشخصات مقاطع مورد استفاده مطابق جداول (۱) تا (۳) است.

جدول ۱. مشخصات مقاطع ستون، تیر و مهاربند در قاب ۳ طبقه

| Story | Lateral Columns | Middle Columns | Beams      | Braces              |
|-------|-----------------|----------------|------------|---------------------|
| 1-3   | HE140A          | HE140A         | IPE27<br>0 | TUBO<br>120×120×7.1 |

Table 1. Section properties of column, beam and brace of the 3-stories frame.

جدول ۲. مشخصات مقاطع ستون، تیر و مهاربند در قاب ۶ طبقه

| Story | Lateral Columns | Middle Columns | Beams      | Braces              |
|-------|-----------------|----------------|------------|---------------------|
| 1-2   | HE180A          | HE260M         | IPE27<br>0 | TUBO<br>140×140×7.1 |
| 3-4   | HE160A          | HE240B         | IPE27<br>0 | TUBO<br>140×140×7.1 |
| 5-6   | HE140A          | HE140A         | IPE27<br>0 | TUBO<br>100×100×7.1 |

Table 2. Section properties of column, beam and brace of the 6-stories frame.

نمونه‌ها بودند. مطالعه‌ای نیز توسط خیرالدین و همکاران [13] در مورد ارزیابی عملکرد لرزه‌ای قاب‌های بتن مسلح مقاوم شده با مهارهای فولادی با استفاده از تحلیل دینامیکی فزاینده و پوش‌آور تحت شتاب نگاشت‌های نزدیک گسل انجام شد. بررسی نتایج نشان داد که قاب بتنی دارای مهاربندی واگرا نسبت به همگرا، برش پایه کمتر داشته که این مسئله موجب افزایش عملکرد این سازه‌ها در حالت عملکردی قابلیت استفاده بی‌وقفه شده است. همچنین پاچیده و همکاران [14] با استفاده از تحلیل پوش‌آور به بررسی شاخص خسارت دیوارهای برشی فولادی پرداختند. ایشان نتیجه گرفتند که این شاخص برای قاب‌های بلند منجر به نتایج بهتری می‌شود.

با توجه به اینکه یکی از روش‌های کنترل و بررسی عملکرد سازه در برابر زلزله، روش احتمالاتی و یافتن درصد خروج از سطح عملکرد مورد نظر بوده و این روش به ویژه به دلیل نبود تشابه کامل بین ویژگی‌های شتاب نگاشت‌های انتخاب شده، میزان خطا را در یافتن نتایج کاهش می‌دهد، پس در این مطالعه، منحنی‌های شکنندگی قاب‌های خمشی دوگانه فولادی با مهاربند همگرای قطری دارای میله SMA در سازه‌های ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵ و ۲۰ طبقه به عنوان نماینده ساختمان‌های کوتاه‌مرتبه، میان‌مرتبه و بلندمرتبه ترسیم و نمودارهای مربوط به تحلیل دینامیکی فزاینده و نیز منحنی‌های شکنندگی مدل‌های با SMA (DSF-SMA) و بدون آن (DSF) در سطوح مختلف عملکردی و در طبقات مختلف با هم مورد مقایسه و نیز میزان برگشت‌پذیری سازه‌های دارای آلیاژ حافظه‌دار شکلی با انجام تحلیل‌های دینامیکی تاریخچه زمانی بطور جداگانه بررسی شده است.

لازم به ذکر است که تعریف محدوده ساختمان‌های کوتاه تا بلندمرتبه مطابق جدول (۲-۳) دستورالعمل HAZUS [15] با عنوان طبقه‌بندی ساختمان‌ها براساس کاربری است. در جدول مزبور ساختمان‌های فولادی و بتنی دارای تعداد طبقات یک تا سه با عنوان کوتاه‌مرتبه و ۴ تا ۷ طبقه به عنوان میان‌مرتبه توصیف شده و ساختمان‌های ۸ طبقه و بالاتر نیز در محدوده سازه‌های بلندمرتبه تعریف شده است.

شکل ۳. جزئیات اتصال میله SMA به سیستم مهاربند

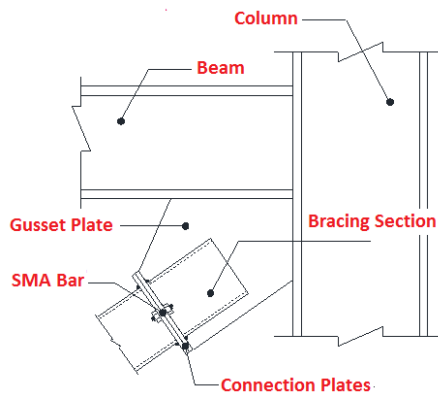


Fig. 3. Details of SMA bar connection to the bracing system

همچنین منحنی تنش- کرنش فولاد مورد استفاده در این پژوهش به صورت سه خطی با سختی کرنشی سینماتیکی ۰/۰۰۵ براساس ویژگیهای تعریف شده در نرم افزار ساین مواستراکت، از نوع Menegotto-pinto [18] بوده و با عنوان stl-mp شناخته می شود. در شکل (۴) منحنی تنش- کرنش آلیاژ حافظه دار شکلی نشان داده شده است.

شکل ۴. منحنی تنش- کرنش آلیاژ حافظه دار شکلی

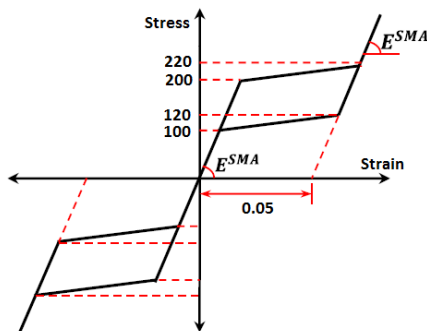


Fig. 4. Stress- Strain curve of SMA bar.

### ۳- ر کوردهای مورد استفاده

با توجه به اینکه خاک محل اجرای سازه ها از نوع C فرض شده، پس شتاب نگاشت های مورد نظر برای این نوع خاک از جدول (C-2) دستورالعمل FEMA440 [19] انتخاب شده اند. لیست شتاب نگاشت های استفاده شده که برای امکان مقایسه نتایج به عدد شتاب گرانش زمین مقیاس شده اند، در جدول (۵) آمده است. محتوای این شتاب نگاشت ها نیز از سایت PEER<sup>+</sup> گرفته شده است.

جدول ۳. مشخصات مقاطع ستون، تیر و مهاربند در قاب ۲۰ طبقه

| Story | Lateral Columns | Middle Columns | Beams  | Braces           |
|-------|-----------------|----------------|--------|------------------|
| 1-4   | HE320 M         | H400×467       | IPE400 | TUBO 140×140×8.0 |
| 5-8   | HE280 M         | H400×383       | IPE400 | TUBO 140×140×7.1 |
| 9-12  | HE280B          | HE300M         | IPE400 | TUBO 140×140×7.1 |
| 13-16 | HE200 M         | HE240M         | IPE400 | TUBO 120×120×8.0 |
| 17-20 | HE160 M         | HE180M         | IPE300 | TUBO 120×120×7.1 |

Table 3. Section properties of column, beam and brace in 20-story frame.

سپس سازه های مورد نظر در نرم افزار ساین مواستراکت [17] تحت تحلیل دینامیکی غیرخطی فزاینده قرار گرفته اند. مشخصات آلیاژ حافظه دار شکلی شامل مدول الاستیسیته و تنش اولیه و نهایی تبدیل حالت های آستنیت به مارتنزیت و بالعکس و نیز کرنش نهایی این نوع مصالح مطابق جدول (۴) است. آلیاژ قرار داده شده در انتهای مهاربندها، به طول ۱۰ سانتی متر و قطر ۱۲ میلی متر است [5]. که در پژوهش ایشان به عنوان قطر بهینه معرفی شده است. همچنین چگونگی اتصال میله SMA به ورق های اتصال مهاربند نیز در شکل (۳) نمایش داده شده است.

جدول ۴. مشخصات مصالح آلیاژ حافظه دار شکلی

| Material Properties                      | Value | Unit |
|------------------------------------------|-------|------|
| Modulus of elasticity for austenite      | 10    | GPa  |
| Austenite to martensite starting stress  | 200   | MPa  |
| Austenite to martensite finishing stress | 220   | MPa  |
| Martensite to austenite starting stress  | 120   | MPa  |
| Martensite to austenite finishing stress | 100   | MPa  |
| Design strain limit                      | 5     | %    |

Table 4. SMA Material properties.

جدول ۵. مشخصات شتاب نگاشت های انتخاب شده [19]

| No. | Date | Earthquake Name | Station         | Station Number | Component | Mag (Ms) | PGA (cm/s <sup>2</sup> ) |
|-----|------|-----------------|-----------------|----------------|-----------|----------|--------------------------|
| 1   | 1989 | Loma Prieta     | Gilroy #6       | 57383          | 90        | 7.1      | 166.9                    |
| 2   | 1989 | Loma Prieta     | Saratoga        | 58065          | 0         | 7.1      | 494.5                    |
| 3   | 1989 | Loma Prieta     | Monterey        | 47377          | 0         | 7.1      | 71.60                    |
| 4   | 1989 | Loma Prieta     | San Francisco   | 58130          | 90        | 7.1      | 110.8                    |
| 5   | 1989 | Loma Prieta     | Yerba           | 58163          | 90        | 7.1      | 66.70                    |
| 6   | 1994 | Northridge      | Castaic         | 24278          | 360       | 6.8      | 504.2                    |
| 7   | 1984 | Morgan Hill     | Gavilon College | 47006          | 67        | 6.8      | 95.0                     |

Table 5. Properties of the earthquake records [19].

## ۴-درستی آزمایی

در این پژوهش و به منظور مشابهت بیشتر با مطالعه قاسمیه و کارگرمؤخر [4] و استفاده ایشان از انواع مهاربندها از جمله مهاربند قطری، برای درستی‌آزمایی و به منظور اطمینان از صحت مراحل مدل‌سازی قاب فولادی با مهاربند قطری دارای میله SMA در نرم‌افزار سازه‌مواستراکت، از مطالعه مزبور استفاده شده که در آن مجموعه‌ای از قاب‌های فولادی ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۴ طبقه با طول دهانه ۶ متر و ارتفاع هر طبقه برابر با ۳/۲ متر در سه نوع مختلف مهاربندهای همگرایی قطری، ضربدری و شورون مدل شده و تحت بار ثقلی ناشی از بار مرده و زنده بترتیب برابر با ۶ و ۲ کیلونیوتن بر متر مربع قرار گرفته‌اند. در این مدل‌ها، مدول الاستیسیته برابر ۲۰۰ گیگاپاسکال و تنش تسلیم ۲۴۰ مگاپاسکال برای فولاد در نظر گرفته شده است. همچنین برای آلیاژ حافظه‌دار شکلی نیز مقاومت تسلیم و نهایی حالت آستنیت به مارتزیت به ترتیب ۳۸۰ و ۴۹۰ مگاپاسکال، همچنین مقاومت تسلیم و نهایی حالت مارتزیت به آستنیت به ترتیب برابر با ۲۲۰ و ۱۲۰ مگاپاسکال، مدول الاستیسیته ۵۰ گیگاپاسکال با کرنش نهایی ۰/۰۵ است. ابعاد مقاطع استفاده شده برای ستون، تیر، مهاربند و SMA برای قاب چهار طبقه مطابق جدول (۶) در نظر گرفته شده است.

جدول ۶. مشخصات مقاطع استفاده شده در مطالعه قاسمیه و کارگرمؤخر برای سازه ۴ طبقه [4]

| Story | Outer Column | Inner Column | Beam   | bracing        | SMA (cm <sup>2</sup> ) |
|-------|--------------|--------------|--------|----------------|------------------------|
| 1     | IPE330       | IPE400       | IPE330 | TUBE 60×60×8   | 9.5                    |
| 2     | IPE270       | IPE360       | IPE330 | TUBE 60×60×5   | 8.6                    |
| 3     | IPE240       | IPE300       | IPE330 | TUBE 60×60×4.5 | 6.8                    |
| 4     | IPE200       | IPE220       | IPE330 | TUBE 60×60×3.6 | 4.6                    |

Table 6. 4-stories frame sections of the Ref. [4].

شکل ۵. مدل قاب مهاربندی شده ۴ طبقه دارای میله SMA [4]

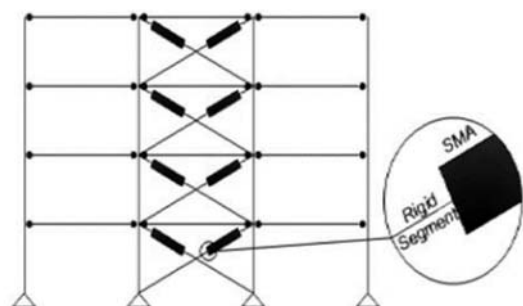


Fig. 5. 4-Stories braced frame model utilizing SMA bar of the Ref. [4].

در شکل (۶) منحنی بار-تغییرمکان قاب فولادی ۴ طبقه با مهاربندی قطری مطالعه قاسمیه و کارگرمؤخر با مدل این مطالعه نمایش داده شده است که نشان دهنده هماهنگی مناسب بین این دو مدل است.

شکل ۶. مقایسه پاسخ سازه‌ای قاب فولادی ۴ طبقه با مهاربندی قطری دارای میله SMA مدل این مطالعه با مدل مطالعه مرجع [4].

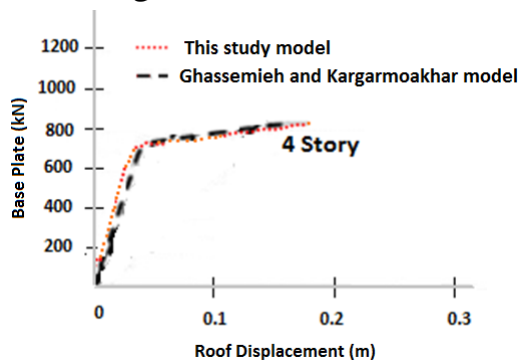


Fig 6. Comparison of structural response of the 4-stories braced frame utilizing SMAs diagonal brace applied in this study via Ref. [4].

همچنین مقادیر نیرو و تغییرمکان تسلیم و نهایی مطابق نمودار فوق و نیز میزان جذب انرژی قاب مدل شده در دو مطالعه در جدول (۷) آمده است و هماهنگی دو مطالعه را مشخص می‌نماید.

جدول ۷. مقایسه مقادیر برش و تغییر مکان تسلیم و نهایی قاب فولادی ۴ طبقه با مهاربندی قطری دارای میله SMA با مرجع [4].

| Model                      | V <sub>y</sub> (kN) | V <sub>u</sub> (kN) | Δ <sub>y</sub> (m) | Δ <sub>u</sub> (m) | E (kN.m) |
|----------------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|----------|
| Ghassemieh & Kargarmoakhar | 725                 | 826                 | 0.0437             | 0.171              | 114.56   |
| This study                 | 712                 | 821                 | 0.0375             | 0.168              | 113.38   |

Table 7. Comparison of shear and displacement values of yield and ultimate of 4-stories steel frame with diagonal bracing with SMA rod by reference [4].

## ۵-تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی

در این پژوهش از تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی به منظور بررسی رفتار لرزه‌ای قاب‌های دوبعدی و اثر برگشت‌پذیری آن‌ها تحت شتاب‌نگاشت‌های مورد نظر استفاده شده است. در شکل (۷) خروجی ناشی از این تحلیل با عنوان تغییرمکان پسماند در پایان زمان مؤثر زلزله برای شتاب‌نگاشت زلزله لوماپریتا ایستگاه ساراتوگا قابل مشاهده است. مطابق با نمودار شکل مزبور، تغییر مکان پسماند سازه ۶ طبقه دارای

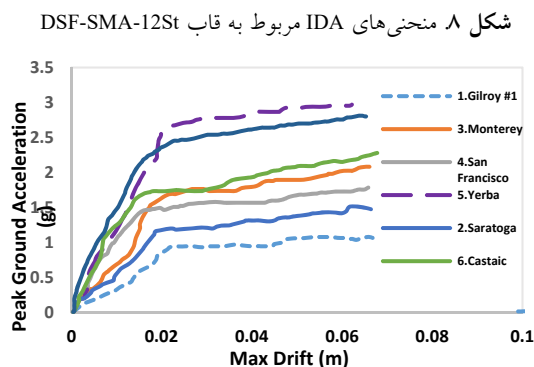


Fig. 8. IDA curves of the DSF-SMA-12St frame.

نمودار فوق نشان می‌دهد که منحنی IDA بسته به نوع شتاب نگاشت و ویژگی‌های ذاتی آن در ابتدا به صورت خطی بوده و پس از آن و با ورود سازه به ناحیه پلاستیک، دارای شیب ملایمی می‌شود و سپس با افقی شدن آن، شرایط ناپایداری در سازه رخ می‌دهد. برای نمونه، در زلزله لوماپریتا ایستگاه سانفرانسیسکو (شتاب نگاشت ردیف ۴)، سازه ۱۲ طبقه دارای SMA تا رسیدن PGA به نزدیک ۱/۵g در ناحیه الاستیک بوده و پس از آن و در تغییر مکان نسبی ۰/۰۱۵ متر وارد ناحیه پلاستیک می‌شود.

## ۴- منحنی شکنندگی

منحنی شکنندگی، احتمال خرابی متناظر با یک حالت خرابی معین را در چندین سطح از شدت‌های لرزه‌ای زمین بیان می‌کند. در واقع منحنی شکنندگی، نسبت بین شدت زمین‌لرزه و سطح خرابی لرزه‌ای محتمل را توصیف می‌کند. از جمله شاخص‌هایی که شدت زلزله را بطور مناسب برای تحلیل شکنندگی معرفی می‌نمایند، می‌توان به شتاب طیفی در دوره اصلی سازه، بیشینه شتاب، سرعت و تغییر مکان زمین اشاره کرد. تابع شکنندگی، یک احتمال شرطی است، از این رو احتمال اینکه یک سازه به سطح معینی از خرابی برسد یا از آن فراتر رود را در یک شدت زلزله معین بیان می‌کند. این احتمال مشروط در معادله ۱. بیان شده است.

$$(۱) \quad \text{تابع شکنندگی} = P[LS | IM = y]$$

که در آن؛ LS حالت حدی یا سطح خرابی مؤلفه سازه و IM اندازه شدت زلزله است و y به ازای مقادیر مربوطه تعیین

SMA تحت شتاب نگاشت مزبور مقدار ناچیزی بوده و این تغییر مکان برای سازه بدون SMA بطور واضحی بیشتر و برابر با یک سانتی‌متر است. این کاهش تغییر مکان پسماند در سازه دارای SMA برای شتاب نگاشت‌های دیگر و طبقات مختلف و به ویژه سازه‌های بلندمرتبه وجود داشته که در قسمت بحث و تفسیر نتایج، خروجی این تحلیل و نتایج حاصل شده آمده است.

شکل ۷. تغییر مکان پسماند بام سازه ۶ طبقه در طول زمان مؤثر زلزله تحت شتابنگاشت زلزله لوماپریتا ایستگاه ساراتوگا

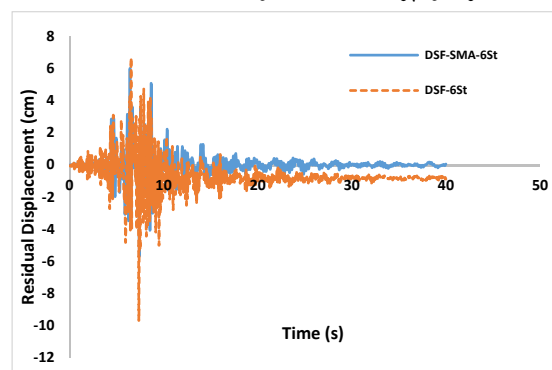


Fig. 7. Residual displacement of the 6-stories structure during the effective earthquake time under the Loma Prieta Earthquake Saratoga Station Accelerometer.

## ۶- تحلیل دینامیکی غیر خطی فزاینده

پس از مدل‌سازی قاب‌های دو بعدی ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵ و ۲۰ طبقه دارای سیستم قاب خمشی دوگانه با مهاربند همگرایی قطری دارای میله آلیاژ حافظه‌دار شکلی (سیستم DSF-SMA) و قاب‌های بدون آلیاژ حافظه‌دار (سیستم DSF)، در نرم‌افزار ساینمو استراکت، تحلیل دینامیکی غیرخطی فزاینده ۱۰ تحت شتاب نگاشت‌های مزبور انجام شده است بطوری‌که منحنی‌های IDA به صورت ماکزیمم تغییر مکان نسبی طبقات به عنوان پارامتر پاسخ در برابر بیشینه شتاب زمین به عنوان پارامتر شدت، ترسیم شده‌اند. در شکل (۸) منحنی IDA مربوط به سازه ۱۲ طبقه دارای SMA نمایش داده شده است.

جدول ۸ مقدار دررفت متناظر با سطوح خرابی مختلف مطابق HAZUS [21]

| Failure Level | Drift    |             |           |
|---------------|----------|-------------|-----------|
|               | Low Rise | Middle Rise | High Rise |
| Slight        | 0.005    | 0.0033      | 0.0025    |
| Moderate      | 0.01     | 0.0067      | 0.005     |
| Extensive     | 0.03     | 0.02        | 0.015     |
| Complete      | 0.08     | 0.0533      | 0.04      |

**Table 8.** Limits of drift in different failure levels according to the HAZUS [21].

نتایج خروجی سیستم DSF-SMA-12St ناشی از تحلیل IDA برای حالات خرابی مختلف بر اساس دستورالعمل HAZUS به تفکیک هر شتاب‌نگاشت در جدول (۹) آمده است.

جدول ۹. نتایج خروجی مربوط به PGA برای DSF-SMA-12St در حالات خرابی مختلف مطابق دستورالعمل HAZUS

| No. | Slight | Moderate | Extensive | Complete |
|-----|--------|----------|-----------|----------|
| 1   | 0.124  | 0.188    | 0.589     | 0.952    |
| 2   | 0.201  | 0.335    | 0.845     | 1.32     |
| 3   | 0.259  | 0.356    | 1.171     | 1.80     |
| 4   | 0.204  | 0.612    | 1.421     | 1.571    |
| 5   | 0.204  | 0.713    | 1.867     | 2.844    |
| 6   | 0.313  | 0.619    | 1.663     | 1.936    |
| 7   | 0.569  | 0.917    | 2.107     | 2.615    |

**Table 9.** Results of PGA for DSF-SMA-12St in different failure levels according to the HAZUS.

## ۸- بحث و تفسیر نتایج

با بررسی منحنی شکنندگی سازه قاب دو بعدی ۱۲ طبقه با آلیاژ حافظه‌دار شکلی (سیستم DSF-SMA-12St) در حالات مختلف خرابی مطابق شکل (۹) مشخص شد که شاخص خسارت این سازه در  $PGA=0.5$  در حالت خرابی جزئی به ۹۷٪ خرابی کل سازه و در حالت خرابی متوسط به ۷۰٪ خرابی کل سازه رسیده است. همچنین شاخص خسارت در  $PGA=1$  در حالت خرابی گسترده و کلی به ترتیب به ۴۰ و ۰/۰۸ درصد رسیده است. منحنی مربوط به سطح خسارت کلی نسبت به دیگر سطوح خسارت، با شیب کمتری بوده پس احتمال فراگذشت از آن کمتر از سطوح خسارت جزئی، متوسط و گسترده است.

می‌شود. برای بررسی تلفات ناشی از زمین‌لرزه و ارزیابی آسیب‌پذیری انواع سازه‌ها، انجمن مدیریت بحران فدرال ۱ دستورالعملی با عنوان HAZUS [15] تهیه کرده که در آن روش‌های مختلفی برای تخمین تلفات ناشی از زلزله معرفی و توصیف شده است تا در مدت آن، تخمین مخاطرات ناشی از زمین‌لرزه، در مقیاس منطقه‌ای ممکن شود. در این دستورالعمل، منحنی شکنندگی از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$P[ds | S_d] = \phi\left[\frac{1}{\beta_{ds}} \ln\left(\frac{S_d}{S_{d,ds}}\right)\right] \quad (2)$$

که در آن  $S_d$  مقدار ظرفیت لرزه‌ای،  $S_{d,ds}$  مقدار نیاز لرزه‌ای در زمانی که مدل به هر یک از حالات حدی برسد،  $S_{d,ds}$  مقدار نیاز لرزه‌ای است که با توجه به هریک از سیستم‌های ساختمانی و برای هر حالت خرابی در HAZUS مقداری ارائه شده،  $\beta_{ds}$  مقدار انحراف معیار لگاریتم طبیعی جابه‌جایی طیفی برای هر یک از حالات خرابی و  $\phi$  تابع توزیع تجمعی نرمال است. برای هر نوع سیستم ساختمانی و با توجه به تعداد طبقات آن، مقدار ظرفیت لرزه‌ای و انحراف معیار در HAZUS به شکل ضرایبی معرفی شده‌اند که می‌توان از آنها برای تهیه منحنی شکنندگی استفاده کرد. در این مطالعه، منحنی‌های شکنندگی سازه‌های مختلف در سطوح خرابی جزئی، متوسط، گسترده و کلی طبق دستورالعمل HAZUS ترسیم شده‌اند. در جدول (۸) نیز مقادیر دررفت متناظر با سطوح خرابی جزئی ۲، متوسط ۳، گسترده ۴ و کلی ۵ مطابق دستورالعمل مزبور برای سازه مهاربندی شده و به تفکیک ساختمان‌های با طبقات کم (۱ تا ۳ طبقه)، متوسط (۴ تا ۷ طبقه) و زیاد (بیشتر از ۸ طبقه) آمده است. مطابق این جدول، برای سازه ۱۲ طبقه که به عنوان ساختمان با طبقات زیاد در نظر گرفته می‌شود، عدد مربوط به  $PGA$  متناظر با مقادیر دررفت ۰/۰۲۵، ۰/۰۰۵، ۰/۰۱۵ و ۰/۰۴ به ترتیب برای خسارت جزئی، متوسط، گسترده و کلی، از نمودار IDA شکل (۸) استخراج می‌شود.



شکل ۱۰. منحنی شکنندگی سازه‌های ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵ و ۲۰ طبقه مدل DSF-SMA در سطح خرابی؛ (الف: جزئی، (ب: متوسط، (پ: گسترده، (ت: کلی

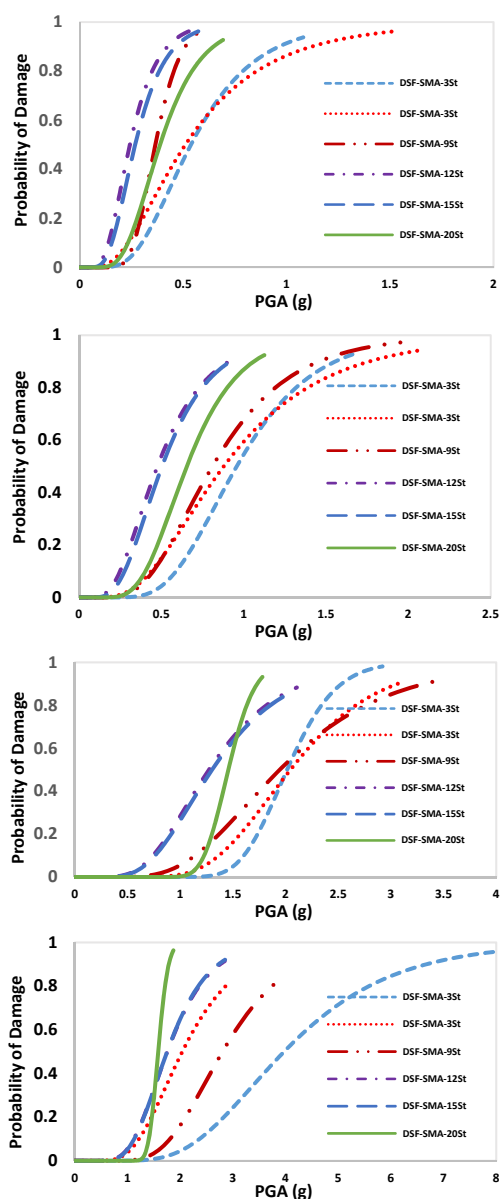


Fig. 10. Fragility curve of 3, 6, 9, 12, 15 and 20 story structures for DSF-SMA model: (a): Slight (b): Moderate (c): Extensive (d): Complete failure.

پس از بررسی منحنی‌های شکل (۱۰-پ) مربوط به حالت خرابی گسترده سازه‌های دارای SMA در طبقات مختلف مشخص می‌شود که میزان خروج از این حالت خرابی برای سازه‌های ۱۲ و ۱۵ طبقه یکسان و برای سازه‌های ۶ و ۹ طبقه نیز تقریباً مشابه است. احتمالات خرابی در این حالت برای

شکل ۹. منحنی شکنندگی DSF-SMA-12St در سطوح مختلف خرابی

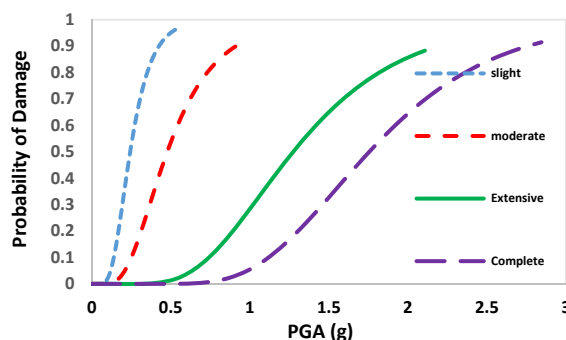


Fig. 9. Fragility curve for DSF-SMA-12St in different failure levels.

از جمله نتایج حاصل از این مطالعه می‌توان به بررسی و مقایسه منحنی شکنندگی سازه‌های دارای آلیاژ حافظه‌دار شکلی در طبقات مختلف اشاره نمود. بر این اساس و مطابق شکل ۱۰-الف. مشخص شد که در حالت خرابی جزئی، برای سازه ۳ طبقه در PGA مابین ۰/۱ تا ۱/۲، برای سازه ۶ طبقه در PGA مابین ۰/۱ تا ۱/۵ و برای سازه ۹ طبقه ۰/۲ تا ۰/۶ است. همچنین برای سازه ۱۲ و ۱۵ طبقه در PGA مابین ۰/۱ تا ۰/۶ و برای سازه ۲۰ طبقه در PGA مابین ۰/۱ تا ۰/۷ رخ می‌دهد و این حالت خرابی برای سازه‌های ۹، ۱۲، ۱۵ و ۲۰ طبقه، ناگهانی و ترد بوده و به وضوح بحرانی‌تر است. بر اساس شکل (۱۰-ب) که منحنی شکنندگی را در حالت خرابی متوسط نشان داده است، مشخص می‌شود که در این حالت، برای سازه ۳ طبقه در PGA مابین ۰/۴ تا ۱/۷، برای سازه ۶ طبقه در PGA مابین ۰/۲ تا ۲/۱ و برای سازه ۹ طبقه ۰/۲ تا ۲ است. همچنین برای سازه ۱۲ و ۱۵ طبقه در PGA مابین ۰/۱ تا ۰/۹ و برای سازه ۲۰ طبقه در PGA مابین ۰/۲ تا ۱/۱ رخ می‌دهد و این حالت خرابی برای سازه‌های ۱۲ و ۱۵ طبقه نسبت به سایرین بحرانی‌تر و برای سازه ۳، ۶ و ۹ طبقه دارای احتمال فراگذشت کمتری است. با دقت در منحنی مربوط به سازه ۱۲ طبقه مشخص می‌شود که وجود SMA موجب عملکرد مناسب این سازه نسبت به سازه‌های ۱۲ و ۱۵ طبقه شده است.



مطابق جدول مزبور، در حالت خرابی جزئی، سازه ۳ طبقه با ۲۳ درصد و سازه ۶ طبقه با ۱۸ درصد، بیشترین اثر کاهشی را داشته‌اند. در حالت خرابی متوسط نیز کاهش تقریباً یکسانی بین ۲۵ تا ۳۵ درصد در همه سازه‌ها مشاهده شده است. همچنین سازه‌های کوتاه و میان‌مرتبه، اثر کاهشی بیشتری بین ۳۳ تا ۴۵ درصد نسبت به سازه‌های بلندمرتبه این پژوهش با حدود ۱۵ درصد در حالت خرابی گسترده تجربه کرده‌اند. در حالت خرابی کلی نیز در سازه ۳ طبقه ۶ درصد کاهش و سازه ۹ طبقه نیز بیشترین درصد کاهش را دارد. همچنین مطابق با شکل (۱۱) میزان تغییرمکان پسماند بام سازه‌های ۳ تا ۲۰ طبقه با آلیاژ حافظه‌دار شکلی و بدون آن تحت متوسط شتاب نگاشت‌های مورد نظر در پایان زمان مؤثر زلزله قابل مشاهده است. همان‌گونه که در این نمودار مشخص است، مقدار تغییرمکان پسماند بام برای هر کدام از شتاب نگاشت‌ها در سازه دارای آلیاژ حافظه‌دار شکلی بطور قابل ملاحظه‌ای کمتر از سازه بدون این آلیاژ است. این مورد با افزایش تعداد طبقات سازه نمود بیشتری پیدا می‌کند.

شکل ۱۱. متوسط مقادیر تغییرمکان پسماند سازه‌های ۳ تا ۲۰ طبقه در پایان زمان مؤثر زلزله در کلیه شتاب نگاشت‌ها

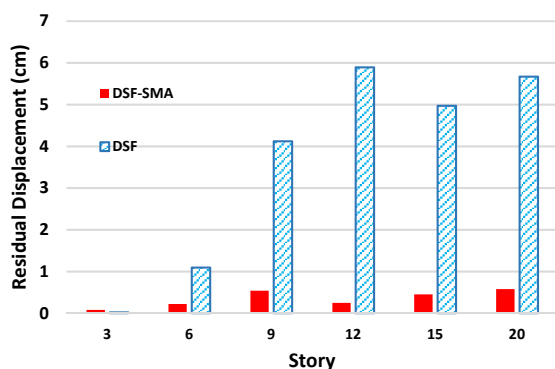


Fig. 11. Average values of residual displacement of 3 to 20 stories structures at the end of effective earthquake time in the all accelerometers

## ۹- نتیجه‌گیری

در این مطالعه به توسعه منحنی‌های شکنندگی قاب خمشی دوگانه فولادی دارای مهاربند همگرای قطری با و بدون میله‌های آلیاژ حافظه‌دار شکلی در ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵ و ۲۰ طبقه به‌عنوان نماینده‌ی ساختمان‌های کوتاه‌مرتبه، میان‌مرتبه و بلندمرتبه پرداخته شده و نتایج زیر بدست آمده است.

با بررسی منحنی شکنندگی مدل‌های دارای SMA و بدون آن،

سازه ۲۰ طبقه تا حدود PGA برابر با ۱/۴، نسبت به دو سازه ۱۲ و ۱۵ طبقه کمتر و پس از آن بحرانی‌تر است.

همچنین احتمال فراگذشت از سطح خرابی گسترده برای سازه ۳ طبقه نیز طبق منحنی ۱۰-پ. برای PGA بالاتر از ۲، بیشتر از سازه‌های ۶ و ۹ طبقه است. بطور کلی در حالت خسارت گسترده، فاصله قابل توجهی بین منحنی سازه‌های ۱۲ تا ۲۰ طبقه نسبت به سایر سازه‌ها وجود دارد، هر چند سازه ۲۰ طبقه عملکرد مناسب‌تری در این حالت از خود نشان می‌دهد. در سطح خرابی کلی نیز منحنی‌های شکنندگی برای سازه‌های دارای SMA در طبقات مختلف مطابق شکل (۱۰-ت) قابل بررسی است. شاخص خسارت در این حالت تا PGA برابر با ۰/۶ برای همه سازه‌ها یکسان بوده است ولی با توجه به اینکه فاصله منحنی‌های شکنندگی بطور مشخصی بیشتر شده پس میزان خروج از این حالت خرابی برای سازه‌های مختلف تفاوت عمده‌ای دارد به گونه‌ای که بر خلاف سه حالت خرابی قبل، در این حالت، سازه ۲۰ طبقه با شیب بسیار تندی رو به خرابی کلی گذاشته و از PGA برابر با ۱/۵ به بعد، میزان خروج از سطح خرابی کلی بیشتری نسبت به سازه‌های ۱۲ و ۱۵ طبقه دارد. همچنین مانند حالات قبلی، احتمال خرابی سازه‌های ۱۲ و ۱۵ طبقه بر هم هماهنگ است. در جدول (۱۰) نیز درصد کاهش شاخص خسارت در حالات مختلف خرابی در سازه‌های DSF-SMA نسبت به DSF آمده است.

جدول ۱۰. درصد کاهش خسارت برای سازه‌های DSF-SMA و DSF در حالات خرابی مختلف

| Story | Slight | Moderate | Extensive | Complete |
|-------|--------|----------|-----------|----------|
| 3     | 23     | 30       | 45        | 6        |
| 6     | 18     | 28       | 33        | 4        |
| 9     | 4      | 35       | 21        | 6        |
| 12    | 4      | 25       | 15        | 8        |
| 15    | 8      | 27       | 13        | 2        |
| 20    | 9      | 30       | 15        | 2        |

Table 10. Percentage of damage reduction for DSF-SMA and DSF structures in different failure levels

## مراجع

- [1] Song G., Ma N.A. & Li H.N. 2006 Applications of shape memory alloys in civil structures. *Engineering Structures*, 28, 1266-1274.
  - [2] Hu J.W. 2014 Seismic analysis and evaluation of several recentering braced frame structures. *Journal Mechanical Engineering Science*, 228(5), 781-798.
  - [3] Babaei S. & Zarfam P. 2019 Optimization of shape memory alloy braces for concentrically braced steel braced frames. *Open Engineering*, 9(1), 697-708.
  - [4] Ghassemieh M. & Kargarmoakhar R. 2013 Response modification factor of steel frames utilizing shape memory alloys. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 24(10), 1213-1225.
  - [5] Mahmoudi M., Montazeri S. & Sadr Abad M.J. 2018 Seismic performance of steel X-knee-braced frames equipped with shape memory alloy bars. *Journal of Constructional Steel Research*, 147, 171-186.
  - [6] Shi F., Saygili G. & Ozbulut O.E. 2018 Probabilistic seismic performance evaluation of SMA braced steel frames considering SMA brace failure. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16, 5937-5962.
  - [7] Moradi S. & Alam M.S. 2014 Incremental dynamic analysis of shape memory alloy braced steel frames. *Applied Mechanics and Materials*, 680, 263-266.
  - [8] Vafaei D. & Eskandari R. 2016 Seismic performance of steel mega braced frames equipped with shape-memory alloy braces under near-fault earthquakes. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 25(1), 3-21.
  - [9] Qiu C.X. & Zhu S. 2017 Performance-based seismic design of self-centering steel frames with SMA-based braces. *Engineering Structures*, 130, 67-82.
  - [10] Zareie S., Mirzai M., Shahria N.A. & Rudolf S.J. 2017 A dynamic analysis of a novel shape memory alloy-based bracing system. Conference Paper: Vancouver, Canada.
  - [11] Speicher M.S., DesRoches D. & Leon R.T. 2017 Investigation of an articulated quadrilateral bracing system utilizing shape memory alloys. *Journal of Constructional Steel Research*, 130: 65-78.
- مشخص شد که احتمال خروج از کلیه سطوح خرابی برای سازه-های کوتاه و میانمرتبه، مدل بدون SMA، بیشتر از مدل دارای SMA است. همچنین برای سازه‌های بلندمرتبه به ویژه سازه ۲۰ طبقه، فاصله بین دو منحنی مدل DSF-SMA و DSF بیشتر بوده و احتمال خرابی در مدل بدون SMA بطور مشخصی بیشتر است. از طرف دیگر، با بررسی منحنی‌های شکنندگی سطح خرابی جزئی سازه‌های با سیستم DSF-SMA در طبقات مختلف نتیجه می‌شود که میزان کاهش خسارات برای سازه‌های ۳ و ۶ طبقه به میزان ۲۳ و ۱۸ درصد بوده و برای سازه با طبقات بیشتر، به ۴ تا ۹ درصد محدود شده است و در این سطح خرابی، منحنی شکنندگی برای سازه‌های بلندمرتبه، به‌وضوح بحرانی‌تر از سایر سازه‌ها بوده و دارای شیب تندی است. در سطح خرابی متوسط نیز بین سازه با طبقات مختلف کاهش یکسانی با استفاده از SMA به میزان ۲۵ تا ۳۵ درصد دیده شده است. همچنین در سطح خسارت گسترده باز هم سازه‌های کوتاه و میانمرتبه کاهش بیشتری به اندازه حدود ۳۳ تا ۴۵ درصد داشته‌اند درحالی‌که این کاهش به ۱۵ درصد برای سازه‌های ۱۲ تا ۲۰ طبقه محدود شده است. از طرف دیگر، در سطح خرابی کلی نیز فاصله بین منحنی‌های شکنندگی سازه‌ها بیشتر شده و احتمال رخداد این سطح خرابی برای سازه‌های بلندمرتبه از جمله سازه ۲۰ طبقه بصورت مشخصی بیشتر است و استفاده از SMA در حالت خرابی کلی تأثیر چندانی در کاهش خسارت به ویژه در سازه‌های بلندمرتبه نداشته است. بنابراین از نظر کاهش خسارات در سطوح خطر چهارگانه، وجود آلیاژ حافظه‌دار شکلی در سازه‌های کوتاه‌مرتبه مؤثرتر از سازه‌های بلندمرتبه است که با توجه به پرهزینه بودن، استفاده از آن جز برای ساختمان‌های با اهمیت خیلی زیاد توجیه ندارد ولی از منظر خاصیت برگشت‌پذیری، کاهش میزان تغییر مکان پسماند برای سازه‌های بلندمرتبه دارای SMA بیشتر از سایر سازه‌ها بوده است و این کاهش بین ۸۰ تا ۹۵ درصد تغییر مکان پسماند سازه بدون آلیاژ را شامل می‌شود. بنابراین استفاده از این مصالح می‌تواند نکته مثبتی در کاهش خسارات ناشی از تغییر مکان‌های پسماند در زمان بهره‌برداری برای ساختمان‌های بلندمرتبه باشد.

- [16] Habibullah A. 1979 ETABS-Three dimensional analysis of building systems. Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [17] Seismosoft. 2016 SeismoStruct 2016 – A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures, available from <http://www.seismosoft.com>.
- [18] Menegotto M. Pinto P.E. 1973 Method of analysis for cyclically loaded R.C. plane frames including changes in geometry and non-elastic behaviour of elements under combined normal force and bending. Symposium on the Resistance and Ultimate Deformability of Structures Acted on by Well Defined Repeated Loads, International Association for Bridge and Structural Engineering, Zurich, Switzerland, 15-2.
- [19] FEMA. Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures. FEMA 440. Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- [12] Gholhaki M. khosravikhor A. & Rezayfar O. 2018 Study effect of Ni-Ti shape memory alloy on ductility of steel plate shear walls, Journal of Structural and Construction Engineering, Iran.(In Persian)
- [13] Kheyroddin A. Ghohaki M. & Pachideh Gh. 2018 Seismic elevation of reinforced concrete moment frames retrofitted with steel braces using IDA and pushover method in the near-fault field, Journal of Rehabilitation in Civil Engineering, 7(10), 159-173.
- [14] Pachideh Gh. Ghohaki M. & Saedi Daryan A. 2019 Analyzing the damage index of steel plate shear walls using pushover analysis, Institution of Structural Engineers, 20, 437-451.
- [15] Federal Emergency Management Agency (FEMA). 2014 HAZUS-MH 2.1 Technical Manual: Earthquake Model. Washington, DC: FEM.

# Seismic Evaluation of Steel Moment Concentric Diagonal Bracing Frames Equipped with Shape Memory Alloys

\*Mansour Bagheri<sup>1</sup>, Amin Vedad<sup>2</sup>, Mehdi Akbari<sup>3</sup>

1. Assistant Professor, Civil Engineering Department, Birjand University of Technology, Birjand, Iran

2. M.Sc. of Structural Engineering, Civil Engineering Department, Besat Institute of Higher Education, Kerman, Iran

3. M.Sc. Student of Structural Engineering, Civil Engineering Department, Hormozan Institute of Higher Education, Birjand, Iran

\*mnsrbagheri@birjandut.ac.ir

## Abstract

In addition to the stiffness, strength, and ductility, that are the main requirements of earthquake-resistant buildings, the necessity of reversibility is also essential, and one of the ways to meet this demand is to use materials with high elasticity and low residual strain, such as shape memory alloys (SMAs). Among the main applications of SMAs is the inhibition of plastic displacements or plastic deformations at the end of earthquakes. Due to their microscopic and macroscopic properties such as high damping capacity, durability, ultra-elastic or quasi-elastic properties, large and reversible deformations and strains that are not found in traditional materials, SMAs have applications in many fields; including structural engineering. There are two mechanisms for the reversibility of deformations in SMAs: memory retention (repair of residual strain by heat) and super-elastic behavior (residual strain repair by loading). Probabilistic methods are suitable for controlling and evaluating the performance of the structures against earthquakes. Due to the percentage of departure from the desired performance level, mainly due to the lack of complete similarity between the acceleration characteristics of selected maps, in this study, the fragility curves of dual steel bending frames with diagonal convergent bracing with SMA bars in structures with the various number of stories are drawn as short-rise, medium-rise and high-rise buildings are derived. It should be noted that the definition of the range of short to high-rise buildings is following the HAZUS guideline as the classification of steel and concrete buildings with one to three floors are described as short-rise and 4 to 7 floors as medium-rise, and buildings with 8 and higher floors are defined as high-rise structures. Incremental dynamic nonlinear analysis of models with SMA (DSF-SMA) and without it (DSF) at different performance levels are compared, and the reversibility of structures with SMA are examined separately. Survey the fragility curves of the partial failure level of alloyed structures in different stories, it was concluded that the rate of damage reduction for 3 and 6 stories structures was 23% and 18%, and for structures with more stories, it was limited to 4% to 9%. At the level of average failure, the same reduction between structures with different classes using this type of alloy has been seen by an average of 30%. The reduction was about 40% in extensive damage for short and medium-sized structures, while this reduction was limited to 15% for structures of 12 to 20 stories. In addition, in the level of general failure, the use of SMA has not had much effect in reducing damage, especially in high-rise structures. On the other hand, the reduction in residual displacement for high-rise structures with alloys has been between 80 and 95% of the residual displacement of structures without alloys. Therefore, in terms of reducing damage at different levels, the presence of shaped memory alloy in short-rise structures is more effective than high-rise structures. In terms of reversibility, using these materials can be a positive point in reducing damage due to residual displacement in operating time for high-rise structural buildings.

**Keywords:** steel moment dual eccentric diagonal bracing frames, shape memory alloy, incremental dynamic nonlinear analysis, fragility curve.