



http://journaliss.ir

## ارزیابی تاثیر میراگر تسلیمی شبه بیضی در بهبود عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی موجود

سید افشین محبی<sup>۱</sup>، سید مهدی زهرایی<sup>۲\*</sup>، رضا رؤفی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲- استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۳- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

\*تهران، صندوق پستی ۴۵۶۳-۱۱۱۵۵، mzahrai@ut.ac.ir

### چکیده

استفاده از سیستم‌های کنترل غیر فعال باعث کاهش نیاز لرزه‌ای و جلوگیری از آسیب به اجزای اصلی سازه می‌شود. میراگرهای تسلیم شونده یکی از متداول‌ترین ابزارهای مستهلک کننده انرژی ورودی زلزله به سازه می‌باشند. هدف اصلی این پژوهش معرفی یک میراگر تسلیم شونده جدید شبه بیضی، جهت بهبود عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی موجود است. با توجه به تاثیر پارامترهای هندسی میراگر شبه بیضی بر مقادیر سختی و مقاومت آن، در این پژوهش مطالعه دقیق عددی بر روی نسبت‌های مختلف قطر به ضخامت و نیز دیگر ابعاد این میراگر صورت گرفته است. جهت ارزیابی تاثیر میراگر پیشنهادی در عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی موجود از سه سازه محک ۳، ۹ و ۲۰ طبقه که توسط این نوع میراگر بهسازی شده، استفاده گردیده است. همچنین تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی با استفاده از شتاب‌نگاشت‌های حوزه دور و نزدیک، جهت ارزیابی نتایج تحلیل‌ها در حالت‌های لرزه‌ای مختلف انجام شده است. نتایج تحلیل‌های عددی بیانگر عملکرد مناسب میراگر تسلیم شونده شبه بیضی پیشنهادی در استهلاک انرژی ورودی زلزله به سازه و کاهش پاسخ‌های لرزه‌ای ساختمان‌های محک بهسازی شده توسط این میراگر می‌باشد. بدین صورت که به طور میانگین، حداکثر نسبت دررفت بین طبقات در ساختمان‌های محک ۳، ۹ و ۲۰ طبقه به ترتیب ۶۶، ۶۹ و ۶۷ درصد کاهش یافته است.

### واژگان کلیدی

میراگر تسلیم شونده، میراگر شبه بیضی، بهسازی لرزه‌ای، ساختمان‌های فولادی، تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی

## Evaluating the effect of pseudo elliptical yielding damper on improvement of the seismic performance of existing steel buildings

S.A. Mohebi, S.M. Zahrai, R. Raoufi

### Abstract

Use of passive control systems causes reduction in seismic demand and prevents damage to the main components of the structure. Yielding dampers are among the common tools used for dissipation of earthquake energy entering the structure. The main goal of the present research is introduction of a novel pseudo elliptical yielding damper for improvement of the seismic performance of the existing steel structures. Considering the impact of geometric parameters of the pseudo elliptical damper on its stiffness and strength, a precise numerical study was performed on the ratio of diameter to thickness and other dimensions of the damper in this research. For evaluating the impact of proposed damper on the seismic performance of existing steel buildings, use was made of three benchmark structures with 3, 9 and 12 stories which were retrofitted by this type of dampers. Also, the nonlinear time history analysis has been performed using the near field and far field accelerometers to evaluate the analyses results at different seismic states. The results of numerical analyses indicated the good performance of propose pseudo elliptical yielding damper in terms of dissipating the earthquake energy entering the structure and reduction in the seismic responses of retrofitted benchmark buildings by this type of dampers. It was found that on average, the maximum inter-story drift in the 3, 9 and 20 story benchmark buildings were reduced by 66, 69 and 67%, respectively.

### Keywords

Yielding damper, pseudo elliptical damper, seismic improvement, steel buildings, nonlinear time-history analysis



هیسترتیک این میراگر دارد و با کاهش مقدار این نسبت، ظرفیت مقاومت برشی افزایش یافته و رفتار هیسترتیک آن پایدار می‌شود. **هان و همکاران**<sup>۴</sup> [۷] در یک بررسی آزمایشگاهی بر روی میراگر تسلیم شونده با ورقه‌های لوزی شکل تحت اثر بارهای شبه استاتیکی، نشان دادند که این میراگر دارای ظرفیت بالای استهلاک انرژی بوده و می‌توان با به‌کارگیری این میراگر ارتعاشات و آسیب‌های سازه‌ها را کاهش داد. **دنگ و همکاران**<sup>۵</sup> [۸] با مطالعه بر روی یک پانل برشی فولادی، نشان دادند که سختی و مقاومت مناسب صفحات مهارکننده خارجی میراگر می‌تواند بر کماتش خارج از صفحه ورق مستهلاک کننده انرژی تاثیر مطلوب داشته باشد. **لی و همکاران**<sup>۶</sup> [۹] با معرفی میراگر تسلیم شونده قوسی شکل، تاثیر آن را بر کاهش تقاضای لرزه‌ای سازه‌های تجهیز شده به وسیله این میراگر مورد بررسی قرار داد. **زهرايي و مرتضی قلی** [۱۰] در یک مطالعه بر روی دو نوع میراگر بیضوی تسلیم شونده، روابط طراحی را بر حسب مشخصات هندسی، فواصل بین دیافراگم‌های برشی و ضخامت ارائه نمودند. نتایج حاصل، کارایی مناسب آن‌ها را در استهلاک انرژی و افزایش میرایی را نشان می‌دهد. **مرتضی قلی و زهرايي** [۱۱] در یک پژوهش بر روی تیرهای پیوند عمودی با مقطع بیضوی با طول‌ها و ضخامت‌های مختلف، دریافتند که این میراگر می‌تواند باعث افزایش اتلاف انرژی در سازه‌های به کار رفته شود.

در این پژوهش با هدف انتقال مفاصل پلاستیک از اجزای سازه‌ای ساختمان به میراگر شبه بیضی پیشنهادی، از نرم‌افزار ABAQUS جهت مدل‌سازی و تعیین مقادیر بهینه سختی و مقاومت میراگر تسلیم شونده استفاده می‌گردد. شایان ذکر است، پیکره‌بندی پیشنهادی برای میراگر شبه بیضی باعث افزایش سختی جانبی و نیروی تسلیم این میراگر نسبت به میراگرهای دایره‌ای شکل هم ارتفاع ارائه شده، توسط سایر محققین می‌گردد [۱-۴]. با توجه به عدم نیاز به افزایش ارتفاع ورق‌های قائم میراگر شبه بیضی پیشنهادی، تنها با افزایش طول بخش میانی افقی آن‌ها، سختی و نیروی تسلیم بیشتر، تامین می‌شود. بدین واسطه از افزایش گشتاور خمشی متمرکز ناشی از زوج نیروهای برشی در محل میراگر و نیز تشدید پدیده کماتش موضعی، در ورق‌های قائم با ارتفاع بیشتر، جلوگیری به عمل می‌آید. همچنین با

یکی از انواع سیستم‌های کنترل سازه که می‌تواند قسمت بزرگی از انرژی ورودی زلزله به سازه را به صورت مکانیکی مستهلاک نماید، ابزار و تجهیزات کنترل غیرفعال سازه‌ها می‌باشد. با استفاده از این سیستم‌های مستهلاک کننده انرژی، اعضای اصلی سازه شامل ستون‌ها، مهاربندها و تیرها در حین زلزله در محدوده ناحیه ارتجاعی باقی می‌مانند. یکی از انواع تجهیزات کنترل غیرفعال سازه، میراگرهای تسلیم شونده می‌باشند که به دلیل طراحی آسان، سادگی در ساخت، هزینه پایین ساخت و نصب، رفتار پایدار در برابر بارهای جانبی وارد بر سازه‌ها و نیز عدم تاثیر عوامل محیطی بر روی آن‌ها، همواره مورد توجه محققین و مهندسين طراح سازه قرار گرفته است. این نوع میراگرها جزء میراگرهای وابسته به تغییرمکان بوده که به دلیل خصوصیات غیرارتجاعی فلزات و قابلیت بالای تسلیم شوندگی می‌توانند انرژی تحمیلی زلزله به سازه را به شکل مطلوبی مستهلاک نمایند.

**سوزوکی و همکاران**<sup>۱</sup> [۱] با معرفی یک میراگر فلزی U شکل در بررسی‌های آزمایشگاهی، ظرفیت بالای استهلاک انرژی و تحمل تغییرشکل‌های بزرگ را برای این نوع میراگر نشان دادند. **چان و همکاران**<sup>۲</sup> [۲] در یک بررسی آزمایشگاهی بر روی یک پانل برشی تسلیم شونده، عملکرد آن را مورد ارزیابی قرار دادند. این میراگر از طریق تغییرشکل‌های پلاستیک برشی دیافراگم فولادی، باعث استهلاک انرژی ورودی به سازه شده است. **ملکی و باقری** [۳ و ۴] با انجام مطالعات آزمایشگاهی بر روی لوله‌های توخالی و پر شده از بتن امکان به‌کارگیری این نوع تجهیزات را به عنوان میراگر تسلیم شونده تحت اثر تنش‌های برشی بررسی نمودند. نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد که سختی و مقاومت این میراگرهای لوله‌ای با افزایش طول لوله به صورت خطی و با افزایش ضخامت و کاهش قطر داخلی آن به شکل غیرخطی افزایش می‌یابد. **زهرايي و مصلحي تبار** [۵] در یک بررسی تحلیلی بر روی قاب‌های مهاربندی شده شورون پانل برشی، دریافتند که این سیستم می‌تواند باعث اتلاف انرژی بیشتری در مقایسه با قاب‌های بدون استفاده از این سیستم گردد. نتایج بررسی **ایبه و جوی**<sup>۳</sup> [۶] بر روی یک پانل برشی دایره‌ای شکل نشان می‌دهد که نسبت قطر پانل به ضخامت آن تاثیر قابل توجهی بر رفتار

<sup>4</sup> Han et al.

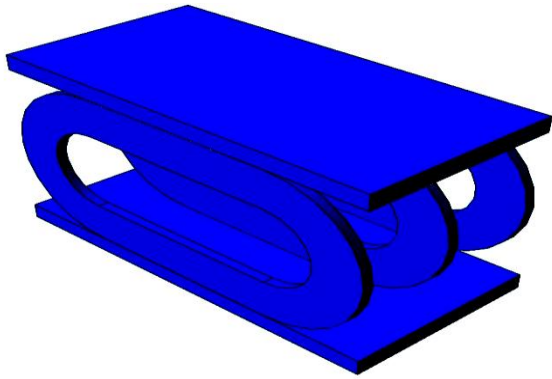
<sup>5</sup> Deng et al.

<sup>6</sup> Lee et al.

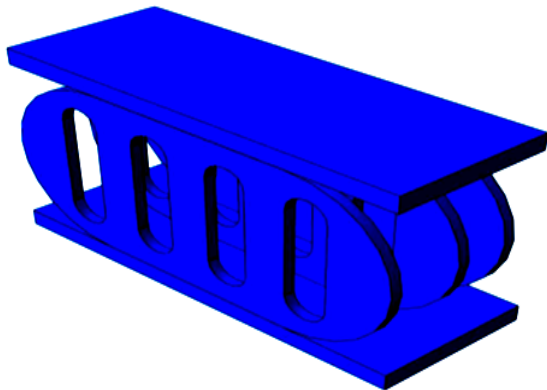
<sup>1</sup> Suzuki et al.

<sup>2</sup> Chan et al.

<sup>3</sup> Abebe and Choi



شکل ۱- میراگر شبه بیضی میان‌تهی پیشنهادی



شکل ۲- میراگر شبه بیضی شیاردار پیشنهادی



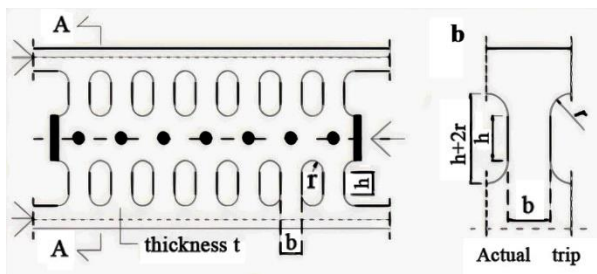
شکل ۳- نحوه استقرار میراگر پیشنهادی در قاب بهسازی شده

موارد فوق می‌تواند قدرت انتخاب بیشتری را در اختیار طراح سازه برای به‌کارگیری این نوع میراگر، قرار دهد. فرایند تولید این میراگر به آسانی مهیا می‌باشد و حتی می‌توان ساخت آن را در محل پروژه ساختمانی انجام داد. از نظر ابعاد، پهنای این میراگر (بعد عمود بر صفحه قاب) در حدود عرض بال تیرها قابل انتخاب بوده تا بتوان بدون مشکل آن را در ضخامت دیوار مستقر نمود. همچنین می‌توان این میراگر را با استفاده از اتصالات پیچی به وسط تیر و مهاربند شورون متصل نمود. در صورت وقوع

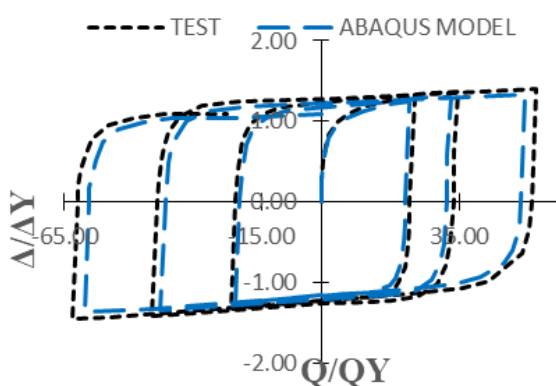
به‌کارگیری ورق‌های میان‌تهی شبه بیضی در پانل‌های برشی (به جای استفاده از ورق کامل) ضمن انتقال مفصل پلاستیک از اجزای سازه‌ای به میراگر فلزی از احتمال وقوع کماتش موضعی در میراگر پیشنهادی تا حد زیادی کاسته می‌شود. تاثیر میراگر تسلیم شونده در بهبود عملکرد و رفتار لرزه‌ای سازه‌های فولادی موجود با انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی به وسیله نرم‌افزار SAP2000 بر روی قاب‌های ساختمان‌های محک ۳، ۹ و ۲۰ طبقه مورد بررسی قرار می‌گیرد. در تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی از چهار شتاب‌نگاشت زلزله‌های حوزه دور و حوزه نزدیک استفاده شده است. میزان حداکثر تغییر مکان جانبی نسبی بین طبقه‌ای و میزان استهلاک انرژی در دو حالت قبل و بعد از بهسازی لرزه‌ای توسط نرم‌افزار SAP2000 مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۲- معرفی میراگر پیشنهادی (میراگر تسلیم شونده شبه بیضی)  
میراگر شبه بیضی پیشنهادی از دو صفحه افقی و چندین صفحه قائم فولادی تشکیل شده است. این صفات قائم شبه بیضی بر اثر تنش‌های برشی و خمشی و با توجه به تغییر شکل‌های پلاستیک ایجاد شده در آن، انرژی ورودی زلزله به سازه را مستهلک می‌نمایند. صفحات قائم این میراگر به دو صورت میان‌تهی و شیاردار در نظر گرفته شده است، که در شکل‌های (۱) و (۲) قابل مشاهده می‌باشد. با مقایسه این دو نوع از صفحات قائم، می‌توان بیان داشت که، نوع میان‌تهی این صفحات با تشکیل مفاصل پلاستیک در محل اتصال نوار طولی (بخش میانی افقی) به نوار منحنی شکل این میراگر در استهلاک انرژی ورودی زلزله به سازه مشارکت نموده اما در نوع شیاردار این صفحات، مفاصل پلاستیک علاوه بر محل فوق الذکر در محل نوارهای ایجاد شده ما بین شیارها در استهلاک انرژی ورودی به سازه مشارکت می‌نمایند. دو صفحه افقی بالا و پایین این میراگر، آن را به وسط تیر و محل تقاطع مهاربندهای شورون متصل نموده که در شکل (۳) نحوه اتصال آن در قاب بهسازی شده، قابل مشاهده می‌باشد. از مزایای این میراگر با صفحات قائم شبه بیضی نسبت به میراگرهای لوله‌ای شکل این است که به راحتی با توجه به نوارهای طولی بالا و پایین حلقه‌های شبه بیضی می‌توان طول جوش مورد نیاز برای اتصال این میراگر به اجزاء اصلی سازه (تیر و مهاربند) را به سادگی تامین نمود. همچنین با توجه به سختی و مقاومت مورد نیاز می‌توان پهنای نوارهای میراگر شبه بیضی را برای آن میراگر تنظیم نمود.

میراگر (شامل مقادیر تنش تسلیم  $f_y = 499 \text{ MPa}$ ، تنش نهایی  $f_u = 512 \text{ MPa}$  و مدول الاستیسیته  $E = 200 \text{ GPa}$ ) و همچنین بارگذاری انجام شده مشابه پژوهش بناونت-کلیمنت [۱۲] و به صورت بارگذاری شبه استاتیکی می باشد.



شکل ۴- میراگر آزمایش شده توسط بناونت-کلیمنت [۱۲]



شکل ۵- مقایسه منحنی هیستریزس آزمایشگاهی و مطالعه عددی

جهت صحت‌سنجی برای مدل‌سازی میراگر تسلیم شونده شیاردار تحقیق فوق‌الذکر، از نرم‌افزار المان محدود ABAQUS استفاده شده است. برای این مدل‌سازی المان Solid نوع C3D8R با کتابخانه المان Standard و از خانواده 3D Stress به کار گرفته شده است. اندازه مش‌های به کار رفته برای این مدل‌سازی 5 mm برای ورق‌های قائم و 10 mm برای ورق‌های افقی بالا و پایین میراگر پیشنهادی بوده، شکل المان از نوع Hex و با استفاده از تکنیک Sweep و با الگوریتم Medial axis صورت گرفته است.

#### ۴- مدل‌سازی میراگر شبه بیضی پیشنهادی

پس از صحت‌سنجی انجام شده توسط نرم‌افزار ABAQUS، میراگرهای شبه بیضی پیشنهادی که به صورت میان‌تهی و شیاردار می‌باشند، مجدد همان نوع المان و با مشخصات مشابه که برای

زلزله‌های شدید و به وجود آمدن آسیب در میراگر، امکان دسترسی و تعویض آن‌ها به سادگی میسر می‌باشد. با توجه به این که میراگر شبه بیضی پیشنهادی، یک اتصال سری را با مهاربند متصل شده به آن به وجود می‌آورد، سختی معادل این ترکیب نسبت به سختی قاب مهاربندی شده بدون میراگر کمتر می‌شود. در نتیجه میزان جذب انرژی القایی زلزله در کل سازه کاهش یافته، اما میزان انرژی مستهلک شده توسط این ترکیب مهاربند و میراگر شبه بیضی پیشنهادی، افزایش می‌یابد. به همین دلیل جهت بهسازی لرزه‌ای سازه‌های فولادی موجود به کارگیری این میراگر پیشنهادی، گزینه مناسبی می‌باشد.

#### ۳- صحت‌سنجی مدل‌سازی میراگر شبه بیضی

با توجه به این که یکی از انواع صفحات قائم میراگر شبه بیضی پیشنهادی، به صورت صفحات شیاردار می‌باشد، به همین منظور جهت صحت‌سنجی مدل‌سازی میراگر پیشنهادی، از نتایج پژوهش بناونت-کلیمنت<sup>۱</sup> [۱۲] که میراگرهای تسلیم شونده شیاردار را مورد مطالعه آزمایشگاهی قرار داده بود، استفاده گردید. در شکل (۴) میراگر تسلیم شونده شیاردار این مطالعه آزمایشگاهی نشان داده شده است. جابه‌جایی تسلیم  $(\delta_y)$  و نیروی تسلیم محوری  $(Q_y)$  نوارهای میراگر شیاردار از روابط ذیل محاسبه می‌شوند:

در روابط (۱) و (۲)  $t$  و  $b$  به ترتیب عرض و ضخامت نوارها، شعاع قسمت انتهایی نوارها،  $n$  تعداد مجموع نوارهای میراگر،  $h$  ارتفاع نوارها،  $h'$  ارتفاع شیار،  $f_y$  تنش تسلیم کششی فولاد،  $E$  مدول یانگ و  $G$  مدول برشی مصالح می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۵) قابل مشاهده است، نتایج حاصل از مدل‌سازی میراگر در نرم‌افزار ABAQUS با نتایج کار آزمایشگاهی همخوانی کامل دارد و منحنی‌های هیستریزس مدل‌سازی عددی و نتایج آزمایشگاهی به هم نزدیک است.

$$\delta_y = \frac{Q_y h'}{n E t b^3} (1 + \ln \frac{h+2r}{h'}) + \frac{3 Q_y h'}{2 n t b G} (1 + \ln \frac{h+2r}{h'}) \quad (1)$$

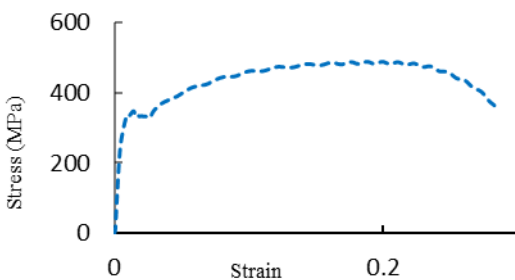
$$Q_y = \min \left\{ n \frac{f_y t b^2}{2 h'}, n \frac{2 f_y t b}{3 \sqrt{3}} \right\} \quad (2)$$

کلید اطلاعات مورد نیاز جهت صحت‌سنجی از قبیل: مشخصات فیزیکی میراگر (شامل عرض، ارتفاع و ضخامت ورق) برابر  $160 \times 160 \times 8 \text{ mm}$  و نیز مشخصات مکانیکی

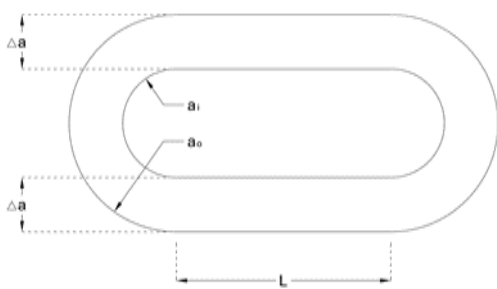
<sup>1</sup> Benavent-Climent



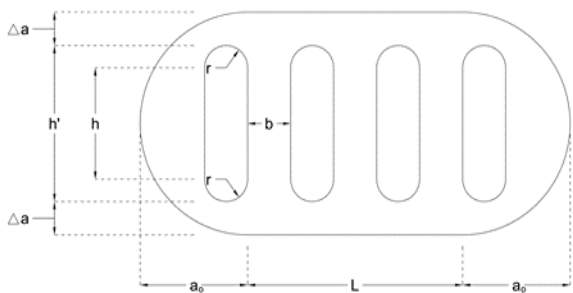
شکل ۶- تست کشش جهت تعیین مشخصات فولاد



شکل ۷- منحنی تنش-کرنش فولاد



شکل ۸- میراگر شبه بیضی میان تهی (PEHD)



شکل ۹- میراگر شبه بیضی شیاردار (PESD)

با توجه به مدل‌سازی‌ها و تحلیل‌های انجام شده در نرم‌افزار

صحت‌سنجی به کار گرفته شده بود، در مدل‌سازی میراگر پیشنهادی استفاده شده است. ورق‌های قائم و افقی میراگر پیشنهادی با قید از نوع Tie به یک دیگر متصل شده‌اند و در مازول Step این نرم‌افزار نوع تحلیل به صورت Implicit و به صورت Dynamic بوده و اثرات غیرخطی هندسی با در نظر گرفتن تغییرشکل‌های بزرگ، در نظر گرفته شده است. همچنین تکنیک حل در این مازول از نوع Full Newton می‌باشد.

جهت بالا بردن دقت مدل‌سازی، آزمایش کشش توسط دستگاه یونیورسال که در شکل (۶) نشان داده شده است، بر روی نمونه استاندارد ورق فولادی از نوع ST37 انجام شده است.

منحنی تنش-کرنش فولاد در آزمایشگاه مهندسی سازه به صورت عملی به دست آمده، که در شکل (۷) قابل مشاهده می‌باشد.

روابط (۳) تا (۵)، مبانی طراحی میراگر پیشنهادی جهت تعیین سختی جانبی ورق‌های آن را با استفاده از روش کار مجازی به صورت ذیل بیان می‌دارد.

$$1 * \Delta = \int \frac{M \cdot m}{E \cdot I} \quad (3)$$

$$\Delta = \frac{P \cdot R^2}{E \cdot I} \int_0^\pi (1 - \cos \theta)^2 \cdot ds = \frac{P \cdot R^3}{E \cdot I} \left[ \theta - 2 \cdot \sin \theta + \frac{\theta}{2} + \frac{\sin 2\theta}{4} \right]_0^\pi = \frac{3 \cdot \pi \cdot P \cdot R^3}{2 \cdot E \cdot I} \quad (4)$$

$$K = \frac{P}{\Delta} = \frac{2 \cdot E \cdot I}{3 \cdot \pi \cdot R^3} \quad (5)$$

در روابط فوق M و m به ترتیب گشتاور خمشی تحت اثر بارگذاری واقعی و بار واحد مجازی است. P نیروی وارده، R شعاع، E مدول الاستیسیته، I ممان اینرسی، Δ تغییر مکان جانبی و K سختی جانبی میراگر می‌باشد.

در این پژوهش دو دسته از میراگر تسلیم شونده شبه بیضی میان تهی (PEHD)<sup>۱</sup> و شیاردار (PESD)<sup>۲</sup> که به ترتیب در شکل‌های (۸) و (۹) نشان داده شده، توسط نرم‌افزار ABAQUS مدل‌سازی شده است. ضخامت‌های مورد نظر برای این دو دسته از میراگر به ترتیب ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ میلیمتر می‌باشد.

<sup>2</sup> Pseudo Elliptical Slit Damper

<sup>1</sup> Pseudo Elliptical Hollow Damper



المان محدود ABAQUS برای هر دو دسته میراگر تسلیم شونده شبه بیضی میان تهی و شیاردار و با مقایسه نتایج تحلیل هیستریزس در می‌بایم که میراگر شبه بیضی شیاردار دارای سختی و مقاومت تسلیم بیشتری نسبت به نوع میان تهی این میراگر می‌باشد. میراگر شبه بیضی میان تهی (PEHD) و شیاردار (PESD) دارای تیپ SA<sup>1</sup> با پهنای پیرامونی ( $\Delta a$ )، به میزان ۲۵ میلی‌متری و تیپ SB<sup>2</sup> با پهنای پیرامونی ۵۰ میلی‌متری، با در نظر گرفتن چهار ضخامت مختلف، در نرم‌افزار ABAQUS، مدل‌سازی شده و تحت اثر بارگذاری چرخه‌ای بر اساس پروتکل بارگذاری ATC-24 [۱۳] قرار گرفتند.

نتایج پارامترهای سختی، مقاومت تسلیم و میزان انرژی مستهلک شده این ۱۶ نمونه در جدول (۱)، ارائه شده است. در جدول (۱)،  $\Delta a$  پهنای پیرامونی حلقه،  $a_0$  شعاع خارجی بخش منحنی شکل، L طول نوار افقی بالا و پایین، t ضخامت ورق، S سطح جانبی، K سختی و Py مقاومت تسلیم و E میزان استهلاک انرژی توسط میراگرهای شبه بیضی می‌باشد. b ضخامت نوارها،

r شعاع قسمت انتهایی شیارها و h ارتفاع نوارهای میراگر شبه بیضی شیاردار است. با توجه به نتایج به دست آمده در جدول (۱) می‌توان دریافت که میراگر شبه بیضی شیاردار در مقایسه با شبه بیضی میان تهی با سطح جانبی و ضخامت ورق مشابه (وزن یکسان)، از نظر سختی و مقاومت تسلیم، مقادیر بیشتری را حاصل می‌آورند. با توجه به نتایج جدول (۱)، می‌توان مشاهده نمود که نسبت سطح ورق میراگر شیاردار (PESD) نوع SB نسبت به میراگر میان تهی از همین نوع تنها ۱/۳ برابر بیشتر بوده اما نسبت سختی جانبی ایجاد شده برای نوع شیاردار نسبت به نوع میان تهی بیش از ۳/۷ برابر می‌باشد و نسبت نیروی تسلیم ورق شیاردار نسبت به نوع میان تهی بیش از ۲/۸ برابر است. از مقایسه موارد فوق می‌توان دریافت که تعبیه نوارهای قائم به صورت ورق شیاردار نسبت به ورق میان تهی، سختی جانبی و نیروی تسلیم میراگر با ورق شیاردار را به میزان قابل توجهی نسبت به میراگر با ورق میان تهی بیشتر می‌نمایند. در شکل‌های (۱۰) و (۱۱) به ترتیب، نحوه مش‌بندی و

جدول ۱- مشخصات هندسی، سختی جانبی، و مقاومت تسلیم و انرژی مستهلک شده توسط انواع ورق‌های میراگر پیشنهادی

Type	$a_0$ (mm)	$\Delta a$ (mm)	L (mm)	t (mm)	b (mm)	h (mm)	r (mm)	S (mm <sup>2</sup> )	K (N/mm)	$P_y$ (N)	E (J)
PESD-SA-01	100	25	200	10	40	110	20	48776	55453	74951	39357
PEHD-SA-01	100	25	200	10	#	#	#	23737	3519	9145	4460
PESD-SA-02	100	25	200	15	40	110	20	48776	83893	117003	58616
PEHD-SA-02	100	25	200	15	#	#	#	23737	5275	13686	6656
PESD-SA-03	100	25	200	20	40	110	20	48776	112076	155582	77862
PEHD-SA-03	100	25	200	20	#	#	#	23737	6997	18186	8862
PESD-SA-04	100	25	200	25	40	110	20	48776	139465	184112	97028
PEHD-SA-04	100	25	200	25	#	#	#	23737	10573	26927	12515
PESD-SB-01	100	50	200	10	40	60	20	56776	135525	149324	84722
PEHD-SB-01	100	50	200	10	#	#	#	43550	37786	52909	26639
PESD-SB-02	100	50	200	15	40	60	20	56776	205928	223485	127243
PEHD-SB-02	100	50	200	15	#	#	#	43550	56116	79221	39913
PESD-SB-03	100	50	200	20	40	60	20	56776	278224	300715	171255
PEHD-SB-03	100	50	200	20	#	#	#	43550	75354	106184	53631
PESD-SB-04	100	50	200	25	40	60	20	56776	350952	374722	214873
PEHD-SB-04	100	50	200	25	#	#	#	43550	88571	129242	66480

یادداشت: # به معنای عدم وجود پارامتر می‌باشد.

#### ۵- انتخاب مدل‌های سازه‌ای

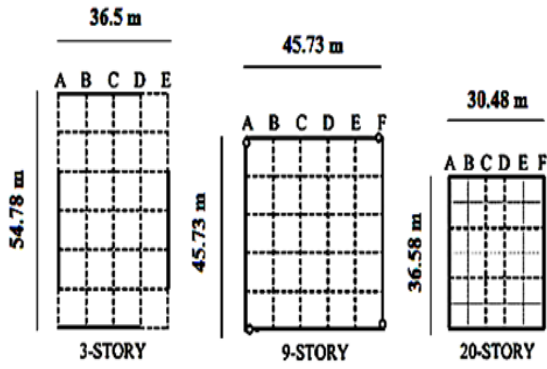
در این پژوهش برای بررسی لرزه‌ای سازه‌ی مجهز به میراگر تسلیم شونده پیشنهادی، از سه سازه محک ۳، ۹ و ۲۰ طبقه که توسط

کانتورهای تنش به وجود آمده در میراگر پیشنهادی شبه بیضی میان تهی و شیاردار مستخرج شده از نرم‌افزار ABAQUS، نمایش داده شده است.

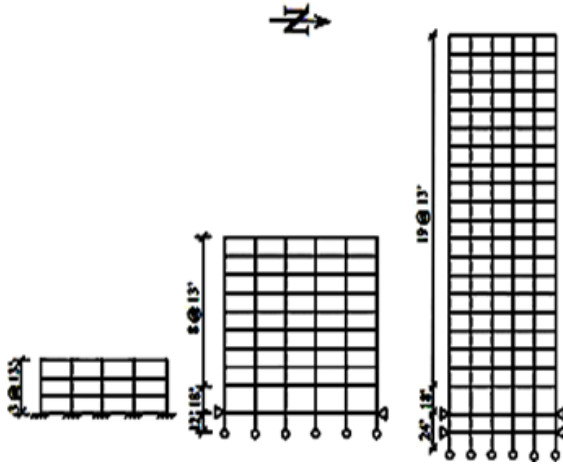
<sup>1</sup> Series A

<sup>2</sup> Series B





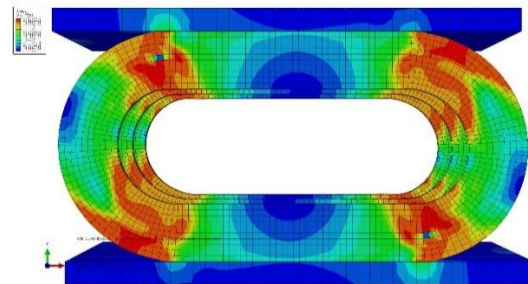
شکل ۱۲- پلان سازه‌های مبنای ۳، ۹ و ۲۰ طبقه [۱۴]



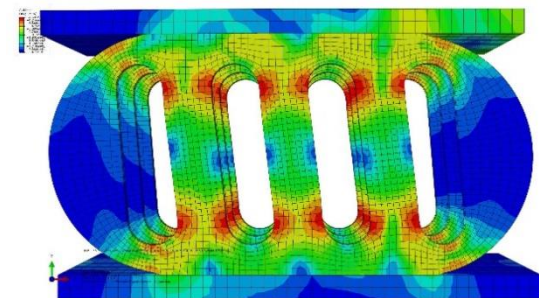
شکل ۱۳- نمای سازه‌های مبنای ۳، ۹ و ۲۰ طبقه [۱۴]

۶- تاثیر میراگر تسلیم شونده پیشنهادی در سازه‌های محک جهت صحت‌سنجی عملکرد و رفتار هیستریزس المان غیرخطی Wen، با استفاده از تحلیل‌های انجام شده در نرم‌افزار المان محدود ABAQUS مقادیر سختی موثر و مقاومت تسلیم میراگر را تعیین و این مشخصات در المان غیرخطی Wen در نرم‌افزار SAP2000 اعمال می‌گردد. در شکل (۱۴)، منحنی هیستریزس خروجی نرم‌افزار SAP2000 برای المان Wen با نتایج حاصل از تحلیل چرخه‌ای میراگر شبه بیضی در نرم‌افزار ABAQUS مقایسه شده است. بر اساس شکل (۱۴)، می‌توان دقت و مشابهت مناسب منحنی هیستریزس نیرو-تغییر مکان به دست آمده از المان لینک غیرخطی در نرم‌افزار SAP2000 را با منحنی به دست آمده از نرم‌افزار ABAQUS مشاهده نمود. اکنون با توجه به صحت‌سنجی انجام شده، می‌توان با استفاده از المان لینک

اوتوتوری و همکارانش<sup>۱</sup> [۱۴] ارائه شده است، استفاده می‌گردد. در مطالعه حاضر با توجه به این که قاب‌های خمشی نقش اصلی را در تحمل بارهای زلزله بر عهده دارند، قاب‌های پیرامونی سازه‌های محک که خمشی هستند در نرم‌افزار SAP2000 مدل‌سازی شده‌اند. به استثنای یک دهانه مفصلی در سازه ۳ طبقه، سایر قاب‌ها در تمامی دهانه‌ها خمشی ویژه هستند و اتصالات، گیردار فرض شده‌اند. در سازه‌های ۹ و ۲۰ طبقه، تکیه‌گاه‌های جانبی، همان خاک اطراف سازه بوده که تراز پایه را ایجاد کرده است و در مدل‌سازی با قرار دادن قیدی که مانع حرکت در جهت افق است، در نظر گرفته شده‌اند. محل قرارگیری قاب‌های خمشی ویژه پیرامونی با خطوط پر رنگ و قاب‌های ساده ساختمانی با خط چین در پلان‌های شکل (۱۲) نشان داده شده است. نمای سازه‌های محک در شکل (۱۳) نشان داده شده است. شرح کامل مشخصات سازه‌ها شامل ابعاد، اندازه اعضا، بارگذاری و نوع مصالح استفاده شده در مطالعه انجام شده توسط اوتوتوری و همکارانش [۱۴] موجود می‌باشد.



شکل ۱۰- نحوه مش‌بندی و کانتورهای تنش به وجود آمده در میراگر پیشنهادی شبه بیضی میان‌تهی



شکل ۱۱- نحوه مش‌بندی و کانتورهای تنش به وجود آمده در میراگر پیشنهادی شبه بیضی شیاردار

<sup>1</sup> Ohtori et al.

در شکل‌های (۱۵) تا (۱۷) موقعیت استقرار میراگرهای پیشنهادی به کار رفته در سازه‌های محک ۳، ۹ و ۲۰ طبقه بهسازی شده را نمایش می‌دهد.

$$\omega \text{ فرکانس طبیعی سازه از رابطه (۱۱) به دست می‌آید.} \quad (11) \quad \omega^2 = \frac{\phi_{roof}^* C_0 S_a}{d_{max,roof}}$$

در رابطه فوق  $\phi_{Roof}^*$  درایه شکل مد اول سازه مربوط به بام،  $C_0$  ضریب مشارکت در مد اول سازه،  $S_a$  شتاب طیفی طرح و  $d_{max,Roof}$  حداکثر تغییر مکان جانبی مربوط به بام سازه است.  $k_i^*$  سختی بهینه طبقات سازه برای رسیدن به دریفت طبقات یکسان در سازه از رابطه (۱۲) تعیین می‌گردد.

$$k_i^* = \omega^2 k_i' \quad (12)$$

سختی جانبی میراگر مربوط به طبقات مختلف سازه بهسازی شده از رابطه (۱۳)، به دست می‌آید.

$$k_{Damper(i)} = k_i^* - k_i \quad (13)$$

در رابطه فوق  $k_i$  سختی جانبی طبقات سازه بهسازی نشده است.

جدول‌های (۲) تا (۴) به ترتیب نوع و تعداد میراگرهای پیشنهادی به کار رفته در سازه‌های محک ۳، ۹ و ۲۰ طبقه بهسازی شده را ارائه می‌نماید.

جدول ۲- نوع و تعداد میراگر پیشنهادی

در قاب ساختمان محک ۳ طبقه بهسازی شده

شماره طبقه	نوع میراگر	تعداد میراگر در هر طبقه	تعداد ورق‌های قائم در هر میراگر
ST3	PEHD-SB-01	2	2
ST2	PESD-SA-01	2	2
ST1	PESD-SA-01	2	2

جدول ۳- نوع و تعداد میراگر پیشنهادی

در قاب ساختمان محک ۹ طبقه بهسازی شده

شماره طبقه	نوع میراگر	تعداد میراگر در هر طبقه	تعداد ورق‌های قائم در هر میراگر
ST9	PEHD-SB-01	2	2
ST8	PESD-SA-01	2	3
ST7	PESD-SA-01	2	4
ST6	PESD-SA-04	2	2
ST5	PESD-SA-04	2	2
ST4	PESD-SA-03	2	3
ST3	PESD-SA-03	2	3
ST2	PESD-SB-01	2	3
ST1	PESD-SA-01	2	5

غیرخطی Wen، مشخصات میراگر تسلیم شونده موردنظر را در قاب مهاربندی شده با میراگر در ساختمان‌های محک اعمال نموده و پاسخ لرزه‌ای این سازه‌ها را در دو حالت قاب خمشی تنها و قاب بهسازی شده، مقایسه نمود.

در پژوهش موسوی و همکاران [۱۵] با استفاده از تکنیک توزیع سختی جانبی بهینه در ارتفاع ساختمان جهت رسیدن به تغییر مکان نسبی یکنواخت در طبقات (بر اساس الگوی شکل مود اول سازه)، روابط (۶) تا (۱۰)، ارائه گردیده است. برای به دست آوردن سختی جانبی طبقات می‌توان ماتریس الگوی سختی،  $[K]$  را مطابق رابطه (۶)، تعریف کرد.

$$[K'] = \frac{1}{\omega_1^2} [K] \quad (6)$$

با استفاده از دینامیک سازه کلاسیک، امکان دستیابی به یک سختی توزیع شده در نتیجه یک شکل مود اصلی هدف از پیش تعریف شده وجود دارد. اگر  $\{\phi^*\}$  شکل مود اصلی هدف باشد و  $[M]$  و  $\omega_1$  به ترتیب ماتریس جرم و فرکانس اصلی تعریف شده باشد، آنگاه  $[K]$  ماتریس سختی مربوطه را می‌توان به وسیله رابطه ۷ به دست آورد.

$$[K] \{\phi^*\} = \omega_1^2 [M] \{\phi^*\} \quad (7)$$

با استفاده از روابط (۶) و (۷) ماتریس الگوی سختی می‌تواند به صورت مستقیم تعریف گردد.

$$[K'] \{\phi^*\} = [M] \{\phi^*\} \quad (8)$$

که در آن:

$$\{\phi^*\} = \begin{Bmatrix} \frac{1}{n} \\ \frac{2}{n} \\ \vdots \\ \frac{n-1}{n} \\ 1 \end{Bmatrix}, [K'] = \begin{bmatrix} k_1' + k_2' & & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & k_n' \end{bmatrix}, [M] = \begin{bmatrix} m_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & m_n \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$k_i' = \frac{\sum_{q=i}^n m_q \phi_q^*}{\Delta \phi_i^*}, \Delta \phi_i^* = \phi_i^* - \phi_{i-1}^* \quad (10)$$

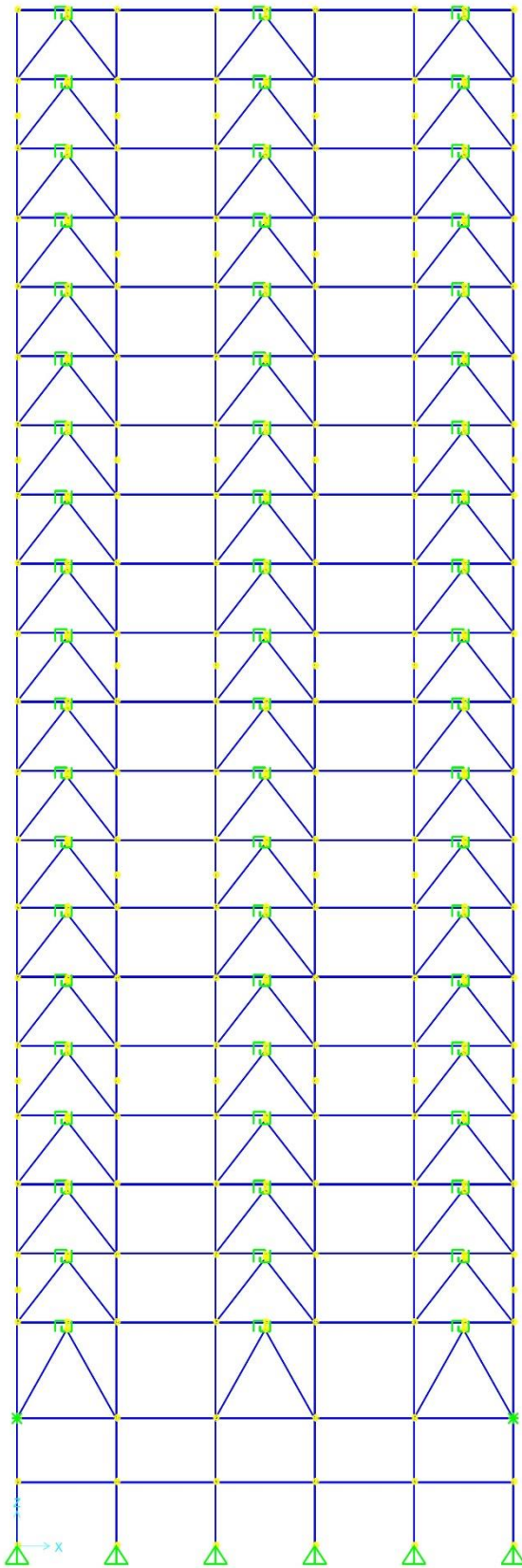
در رابطه (۱۰)،  $n$  شماره طبقات می‌باشد. لازم به ذکر است، شکل مود اصلی دارای یک الگوی خطی مرتبط با توزیع یکنواخت تغییر مکان نسبی در همه طبقات می‌باشد.  $k_i'$  سختی جانبی توزیع شده طبقات، برای دستیابی به شکل مدی اصلی خطی، از رابطه (۷) تعیین می‌گردد.



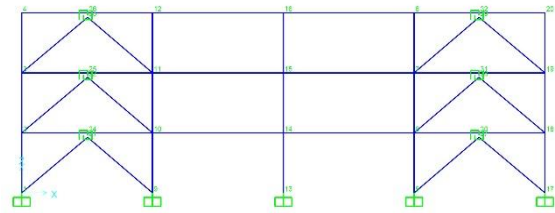


جدول ۴- نوع و تعداد میراگر پیشنهادی در قاب ساختمان محک ۲۰ طبقه بهسازی شده

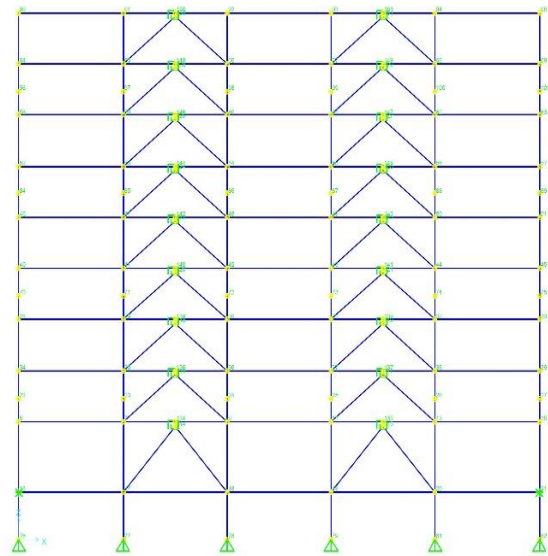
شماره طبقه	نوع میراگر	تعداد میراگر در هر طبقه	تعداد ورق‌های قائم در هر میراگر
ST20	PEHD-SA-01	3	2
ST19	PEHD-SA-02	3	4
ST18	PEHD-SA-04	3	3
ST17	PEHD-SA-04	3	4
ST16	PEHD-SB-01	3	2
ST15	PEHD-SB-01	3	2
ST14	PESD-SA-01	3	2
ST13	PESD-SA-01	3	2
ST12	PESD-SA-01	3	2
ST11	PESD-SA-01	3	3
ST10	PESD-SA-01	3	3
ST9	PEHD-SB-01	3	4
ST8	PEHD-SB-01	3	4
ST7	PESD-SA-01	3	3
ST6	PESD-SA-02	3	2
ST5	PESD-SA-02	3	2
ST4	PESD-SA-02	3	2
ST3	PEHD-SB-04	3	2
ST2	PEHD-SB-04	3	2
ST1	PEHD-SB-01	3	4



شکل ۱۷- موقعیت استقرار میراگرهای پیشنهادی در سازه ۲۰ طبقه محک بهسازی شده



شکل ۱۵- موقعیت استقرار میراگرهای پیشنهادی در سازه ۳ طبقه محک بهسازی شده



شکل ۱۶- موقعیت استقرار میراگرهای پیشنهادی در سازه ۹ طبقه محک بهسازی شده

## ۷- نتایج تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی

به منظور صحت‌سنجی تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی و نشان دادن تاثیر بهسازی انجام شده در این تحلیل‌ها توسط میراگر شبه بیضی پیشنهادی، ساختمان‌های محک در نرم‌افزار SAP2000 مدل‌سازی شده و از شتاب‌نگاشت‌های معرفی شده توسط **اوهتوری و همکارانش [۱۴]** استفاده شده است. این شتاب‌نگاشت‌ها شامل دو شتاب‌نگاشت حوزه دور ال‌سنتر و <sup>۱</sup> و هاچینوهه<sup>۲</sup> و دو شتاب‌نگاشت حوزه نزدیک نورث‌ریچ<sup>۳</sup> و کوبه<sup>۴</sup> است. مقدار شتاب پیشنهادی برای این شتاب‌نگاشت‌ها به ترتیب ۳/۴۱۷، ۲/۲۵۰ و ۸/۲۶۷۶ متر بر مجذور ثانیه می‌باشند. نتایج به دست آمده از تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی با یک دیگر مقایسه و میزان اثر به‌کارگیری میراگر تسلیم شونده پیشنهادی در کاهش تقاضای لرزه‌ای ساختمان‌های محک مورد بررسی قرار می‌گیرد.

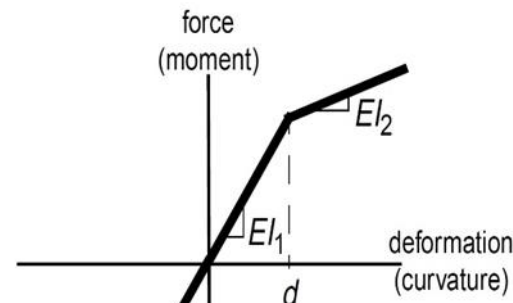
جدول (۵)، فرکانس سازه‌های محک ۳، ۹ و ۲۰ طبقه اولیه و بهسازی شده توسط میراگرهای پیشنهادی را ارائه می‌نماید.

جدول ۵- فرکانس سازه‌های اولیه محک و سازه‌های بهسازی

نوع سازه	فرکانس سازه بهسازی شده	
	فرکانس اولیه (Hz)	فرکانس سازه بهسازی شده (Hz)
3-Story	0.96	1.52
9-Story	0.42	0.88
20-Story	0.26	0.48

در هنگام وقوع زمین لرزه‌های بزرگ، اعضای سازه‌ای می‌توانند تسلیم شوند، به همین دلیل رفتار غیرخطی آن‌ها ممکن است که به طور قابل توجهی با رفتار خطی اعضای سازه‌ای متفاوت باشد. برای بهتر نمایش دادن رفتار غیرخطی، از یک مدل هیستریزس دوخطی استفاده می‌شود که در شکل (۱۸) نشان داده شده است. این مدل برای تعریف مفاصل پلاستیک نقاط تسلیم شده اعضای سازه‌ای ساختمان‌های محک ۳، ۹ و ۲۰ طبقه در قاب خمشی اولیه و نیز در قاب بهسازی شده مورد استفاده قرار گرفته است. خصوصیات خمشی دوخطی، برای هر عضو سازه‌ای تعیین شده است. این مفاصل پلاستیک که در اتصالات تیر-ستون و نیز

ستون-ستون پدید می‌آیند، رفتار غیر خطی مصالح این سازه‌ها را معرفی می‌کند.



شکل ۱۸- مدل هیستریزس دوخطی برای اعضا خمشی سازه‌های محک [۱۴]

## ۷-۱- کنترل تغییر مکان جانبی بام

پس از انجام تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی برای سازه‌های محک و سازه‌های بهسازی شده، با توجه به شکل‌های (۱۹) تا (۲۱)، می‌توان کاهش تغییر مکان جانبی بام ساختمان‌های محک بهسازی شده را پس از به‌کارگیری میراگر تسلیم شونده پیشنهادی، مشاهده نمود.

همان‌طور که در شکل (۱۹) مشاهده می‌شود، میزان کاهش حداکثر جابه‌جایی بام در ساختمان محک سه طبقه پس از بهسازی توسط میراگر شبه بیضی پیشنهادی، تحت اثر شتاب‌نگاشت‌های ال‌سنتر، هاچینوهه، نورث‌ریچ و کوبه به ترتیب ۴۹، ۶۲، ۷۶ و ۷۸ درصد می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۲۰) قابل مشاهده است، میزان کاهش حداکثر جابه‌جایی بام در ساختمان محک نه طبقه پس از بهسازی توسط میراگر شبه بیضی پیشنهادی، تحت اثر شتاب‌نگاشت‌های ال‌سنتر، هاچینوهه، نورث‌ریچ و کوبه به ترتیب ۶۸، ۷۱، ۶۷ و ۶۲ درصد می‌باشد. در شکل (۲۱) مشاهده می‌شود که، میزان کاهش حداکثر جابه‌جایی بام در ساختمان محک بیست طبقه پس از بهسازی توسط میراگر شبه بیضی پیشنهادی، تحت اثر شتاب‌نگاشت‌های ال‌سنتر، هاچینوهه، نورث‌ریچ و کوبه به

<sup>3</sup> Northridge

<sup>4</sup> Kobe

<sup>1</sup> El Centro

<sup>2</sup> Hachinohe

ترتیب ۳۵، ۴۰، ۴۱ و ۱۹ درصد می‌باشد.

در جدول (۶)، حداکثر میزان حداکثر میزان جابه‌جایی بام سازه‌های محک ۳، ۹ و ۲۰ طبقه اولیه و سازه‌های بهسازی شده، ارائه گردیده است.

جدول ۶- حداکثر میزان جابه‌جایی بام سازه‌های اولیه محک و

سازه‌های بهسازی شده

نوع سازه	نوع شتاب‌نگاشت	سازه اولیه (mm)	سازه بهسازی شده (mm)
3-Story	El Centro	145	73
	Hachinohe	129	49
	Northridge Kobe	285 319	69 68
9-Story	El Centro	317	100
	Hachinohe	375	108
	Northridge Kobe	619 462	201 175
20-Story	El Centro	306	197
	Hachinohe	342	204
	Northridge Kobe	719 502	422 408

همان‌طور که در شکل‌های (۱۹) تا (۲۱) مشاهده می‌شود، میزان میانگین کاهش حداکثر جابه‌جایی بام در ساختمان سه طبقه ۶۶٪، ساختمان نه طبقه ۶۷٪ و ساختمان بیست طبقه ۳۴٪ می‌باشد. کاهش مناسب حداکثر تغییر مکان بام در هر سه ساختمان محک منجر به کاهش ریسک برخورد ساختمان‌های مجاور در زلزله‌های شدید می‌شود. شایان ذکر است بر مبنای تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی، عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌های محک سه طبقه و نه طبقه بهسازی شده با میراگر شبه بیضی پیشنهادی، نسبت به ساختمان بیست طبقه مناسب‌تر است.

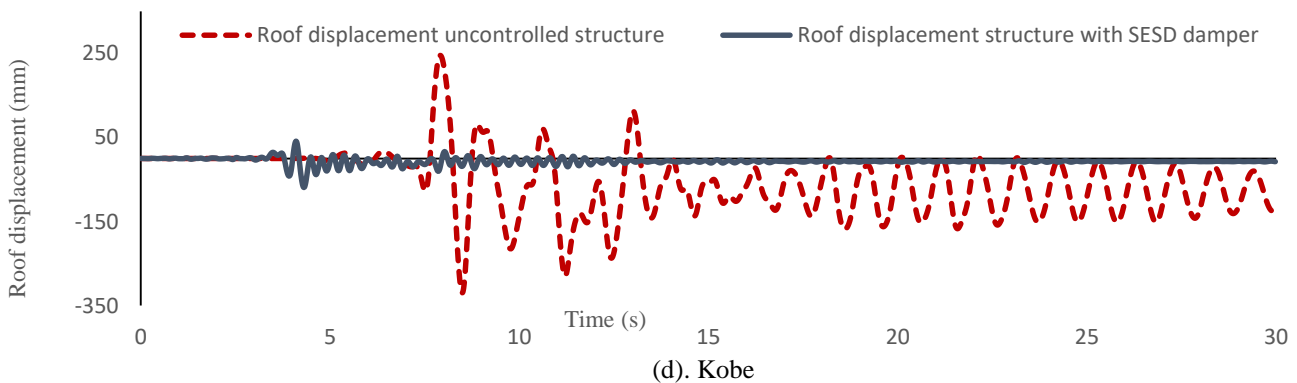
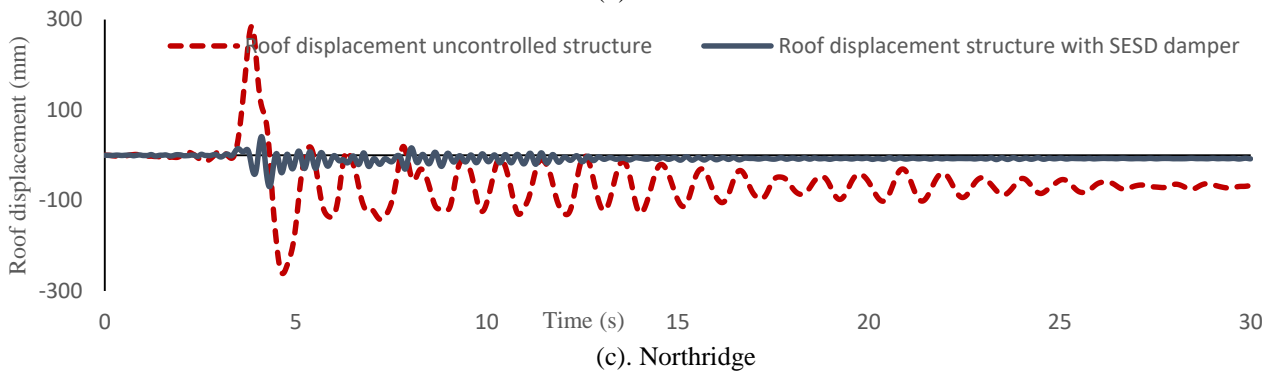
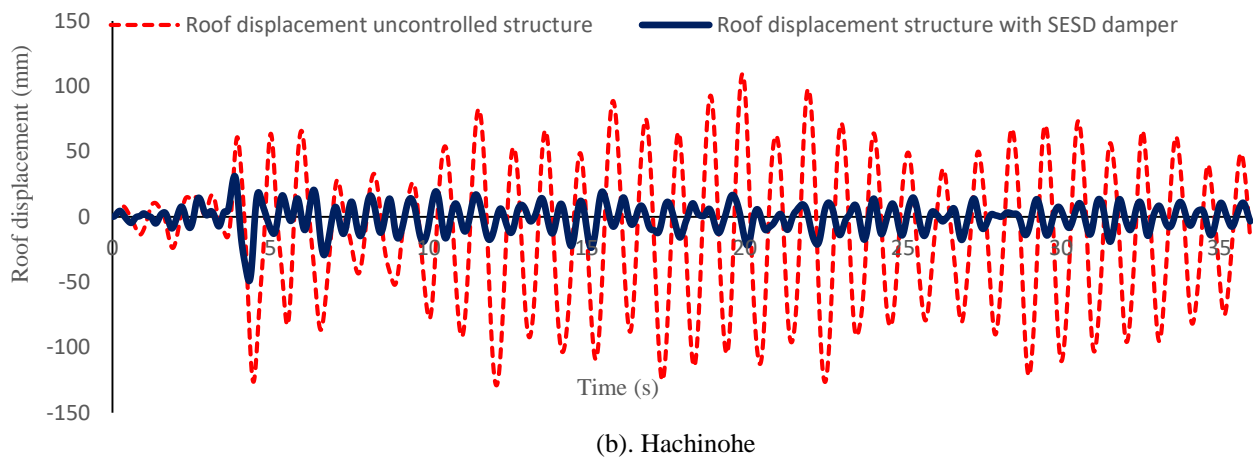
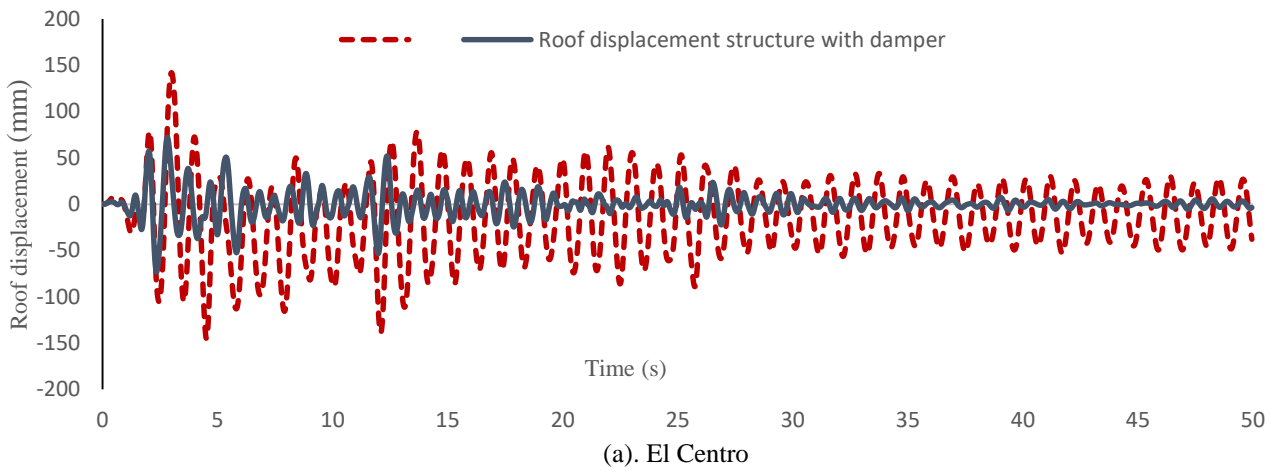
#### ۷-۲- کنترل تغییر مکان نسبی بین طبقات

تغییر مکان جانبی نسبی طبقات یکی از مهمترین پارامترهای پاسخ سازه می‌باشد که ارتباط مستقیم با میزان آسیب به اجزای سازه‌ای ساختمان دارد. در این مطالعه درصد نسبت دررفت بین طبقات که از پارامترهای موثر پاسخ سازه است به عنوان شاخصی جهت تعیین سطح عملکرد سازه‌های مورد بررسی، استفاده شده است. حداکثر درصد نسبت دررفت طبقات یک سازه با  $\Delta$  نمایش داده می‌شود، مقادیر کوچکتر از ۰/۷ درصد حالت حدی بهره‌برداری بی‌وقفه، بزرگتر از ۰/۷ درصد تا کوچکتر از ۲/۵ درصد سطح عملکرد ایمنی جانبی و مقادیر بزرگتر از ۲/۵ درصد تا ۵ درصد، سطح عملکرد آستانه فروریزش تعیین می‌گردد [۱۶].

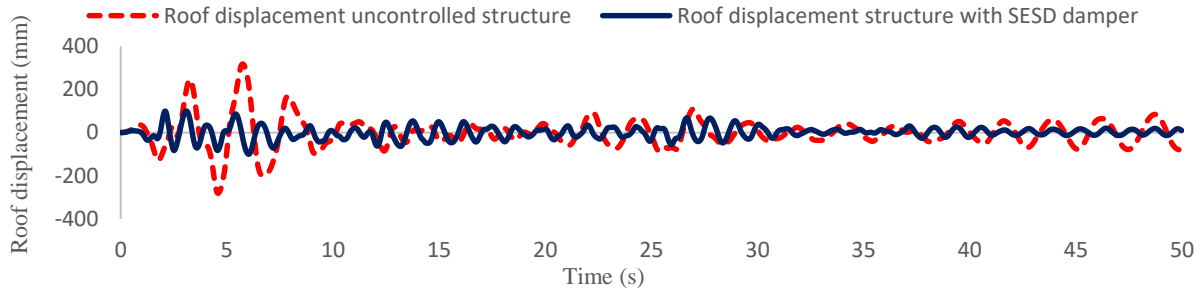
در شکل (۲۲) نمودارهای نسبت دررفت برای سازه ۳ طبقه محک، قبل و بعد از بهسازی ارائه شده است. همان‌گونه که در شکل (۲۲-ا)، مشاهده می‌شود استفاده از میراگر شبه بیضی پیشنهادی در سازه بهسازی شده ۳ طبقه منجر به کاهش حداکثر نسبت دررفت بین طبقات به میزان ۵۷ درصد شده است و سطح عملکردی سازه بهسازی شده را به حد عملکرد استفاده بی‌وقفه ارتقا داده است.

در شکل (۲۲-ب)، کاهش حداکثر نسبت دررفت بین طبقات به میزان ۵۸ درصد شده است و سطح عملکردی سازه بهسازی شده را در حد عملکرد بهره‌برداری بی‌وقفه بهبود داده است. در شکل‌های (۲۲-ج) و (۲۲-د) کاهش حداکثر نسبت دررفت بین طبقات به ترتیب میزان ۷۹ و ۷۱ درصد رسیده و از آستانه فروریزش به سطح عملکردی بهره‌برداری بی‌وقفه ارتقا یافته است. در سازه ۹ طبقه ساختمان‌های محک که به وسیله میراگر شبه بیضی پیشنهادی بهسازی شده است، تحت اثر زلزله حوزه دور الاسترو با کاهش ۶۸ درصدی در پارامتر درصد نسبت دررفت، سطح عملکردی ایمنی جانبی به سطح عملکردی بی‌وقفه با خرابی خیلی کم ارتقا یافته است که در شکل (۲۳-ا)، قابل مشاهده می‌باشد. برای زلزله هاجینوهه کاهش در این پارامتر برای سازه بهسازی شده ۶۵ درصد است که در شکل (۲۳-ب)، قابل مشاهده است. تحت اثر زلزله حوزه نزدیک نورثریج، با کاهش ۶۸ درصدی این پارامتر برای سازه بهسازی شده، سطح عملکردی ایمنی جانبی با خرابی شدید به سطح عملکردی بهره‌برداری بی‌وقفه با سطح خرابی کم ارتقا یافته که در شکل (۲۳-ج)، قابل مشاهده است و نیز تحت اثر شتاب‌نگاشت زلزله کوبه درصد نسبت دررفت سازه بهسازی شده با میراگر شبه بیضی با کاهش ۷۷ درصد از سطح عملکردی آستانه فروریزش با خرابی شدید به سطح عملکردی بهره‌برداری بی‌وقفه با خرابی کم ارتقا مناسبی داشته که در شکل (۲۳-د) قابل مشاهده است.

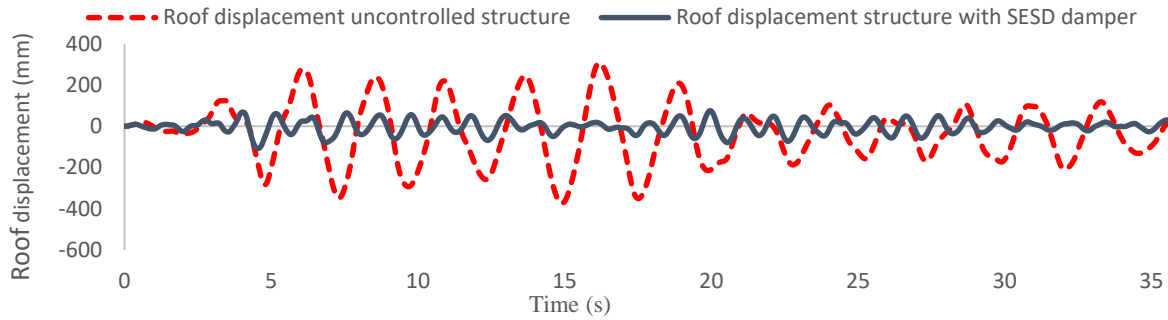
در سازه ۲۰ طبقه ساختمان‌های محک که تحت اثر زلزله حوزه دور الاسترو قرار گرفته است، علی‌رغم آن که سازه بهسازی نشده و سازه بهسازی شده با میراگر شبه بیضی پیشنهادی، هر دو در سطح عملکردی بهره‌برداری بی‌وقفه است اما در سازه بهسازی شده با کاهش میزان ۵۹ درصد نسبت دررفت حداکثر در آن سازه، خرابی همان سطح عملکردی از کم به خرابی خیلی کم تقلیل پیدا کرده که در شکل (۲۴-ا)، این مورد قابل مشاهده است. در سازه بهسازی شده تحت اثر زلزله هاجینوهه این پارامتر به میزان ۶۶



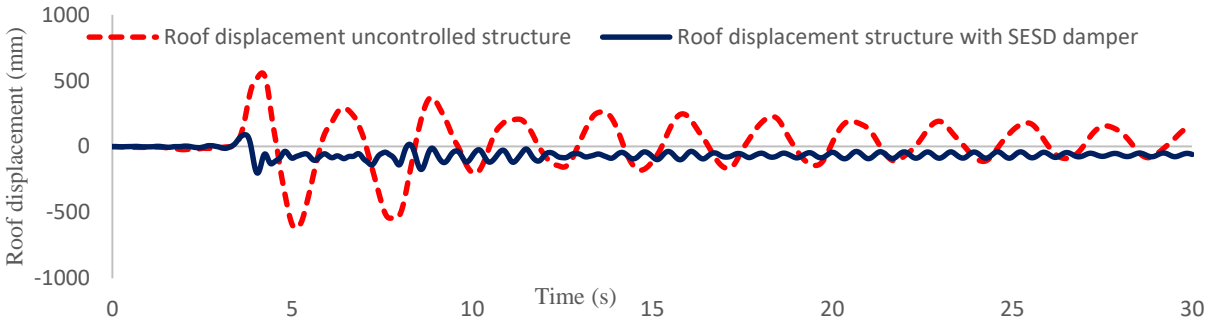
شکل ۱۹- مقایسه جابه‌جایی بام سازه ۳ طبقه محک با سازه بهسازی شده با میراگر شبه بیضی پیشنهادی



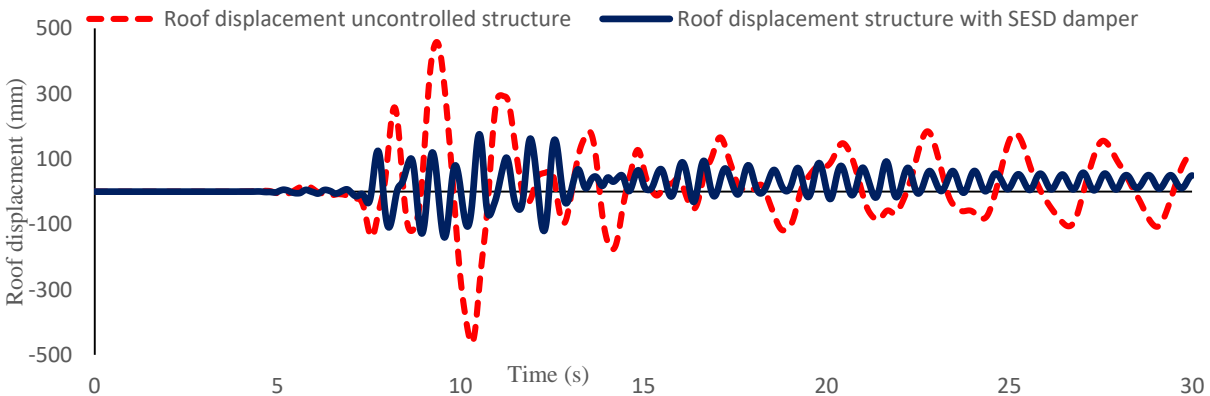
(a). El Centro



(b). Hachinohe



(c). Northridge

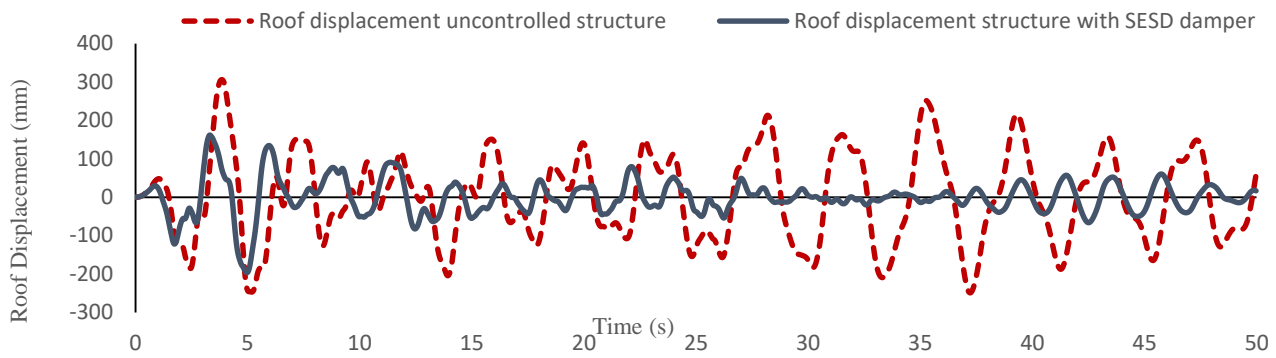


(d). Kobe

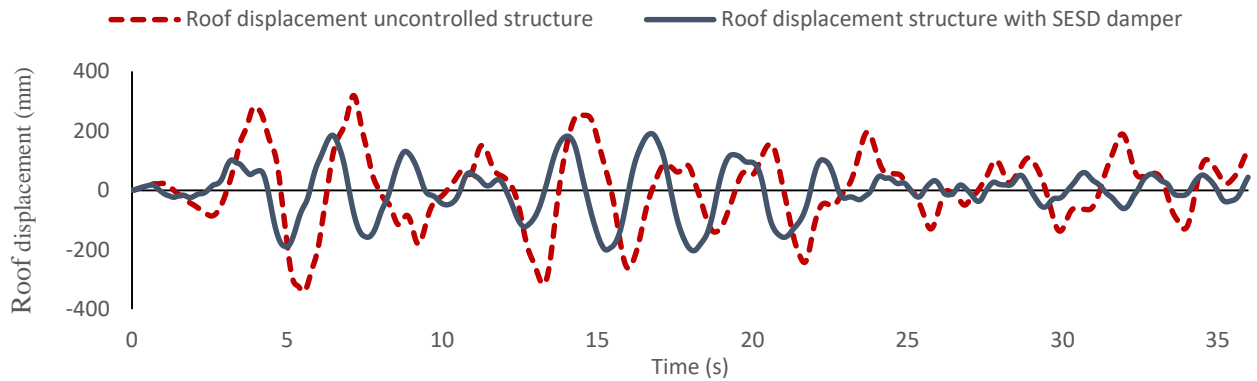
شکل ۲۰- مقایسه جابه‌جایی بام سازه ۹ طبقه محک با سازه بهسازی شده با میراگر شبه بیضی پیشنهادی

شونده بیضی‌گون را مشاهده نمود که سطح عملکردی این ساختمان از ایمنی جانی با خرابی شدید به سطح عملکردی بهره‌برداری بی‌وقفه با خرابی کم ارتقا یافته است. برای همین

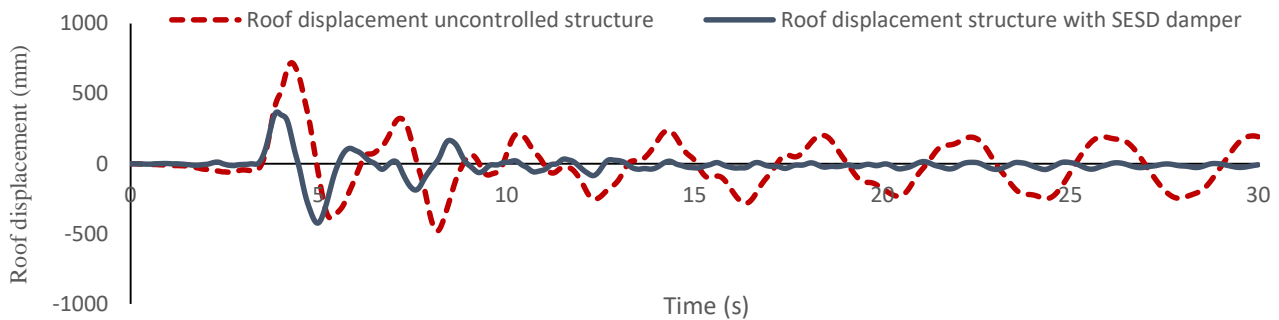
درصد کاهش داشته که در شکل (b-۲۴)، دیده می‌شود. در شکل (c-۲۴)، می‌توان کاهش ۶۳ درصدی پارامتر درصد نسبت دریافت طبقات را در این سازه ۲۰ طبقه بهسازی شده با میراگر تسلیم



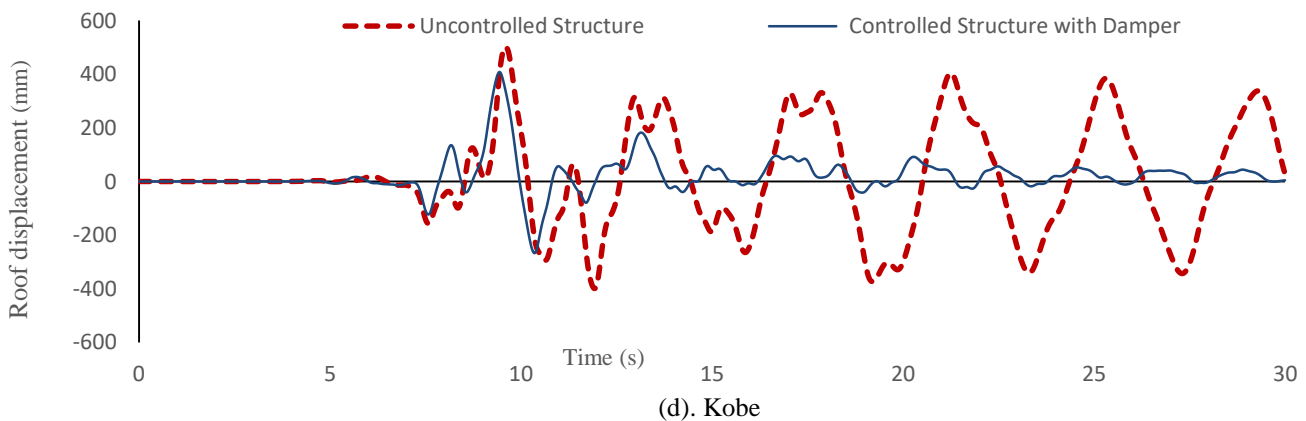
(a). El Centro



(b). Hachinohe



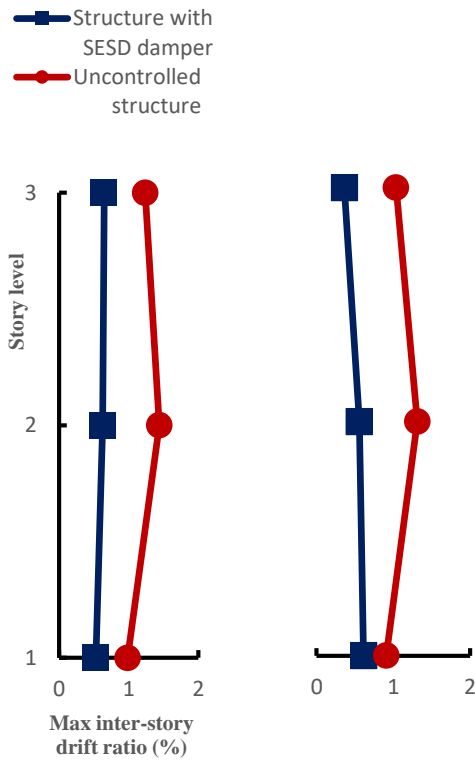
(c). Northridge



(d). Kobe

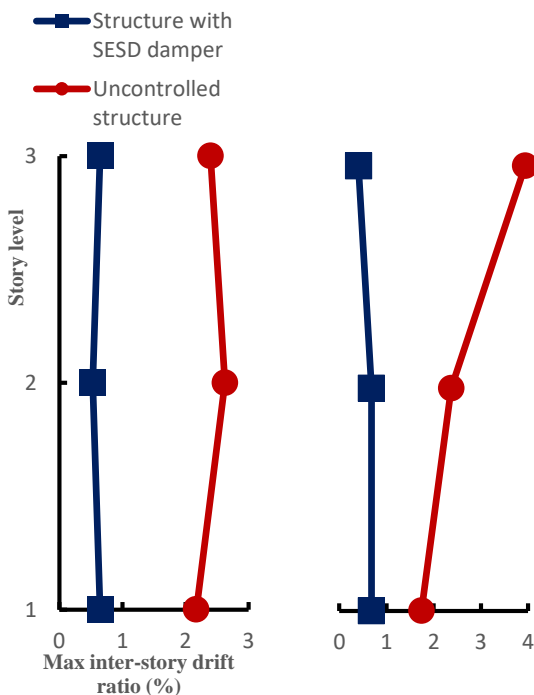
شکل ۲۱- مقایسه جابه‌جایی بام سازه ۲۰ طبقه محک با سازه بهسازی شده با میراگر شبه بیضی پیشنهادی

ورودی به سازه بهسازی شده توسط میراگر موردنظر تحت اثر زلزله هاجینوهه ۶۴ درصد است که در شکل (۲۶-ب)، نمایش داده



(a). El Centro

(b). Hachinohe



(c). Northridge

(d). Kobe

شکل ۲۲- مقایسه درصد نسبت دررفت طبقات سازه ۳ طبقه محک با سازه بهسازی شده با میراگر شبه بیضی پیشنهادی

ساختمان پس از بهسازی مقدار این پارامتر برای زلزله حوزه نزدیک کوبه به میزان ۷۹ درصد کاهش یافته و سطح عملکردی ایمنی جانی با خرابی شدید به سطح عملکردی بهره‌برداری بدون وقفه با خرابی کم، بهبود یافته که در شکل (۲۴-د)، این مورد قابل مشاهده است.

در جدول (۷)، حداکثر درصد دررفت طبقات، سازه‌های محک ۳، ۹ و ۲۰ طبقه اولیه و سازه‌های بهسازی شده، ارائه گردیده است.

۳-۷- انرژی مستهلک شده توسط میراگر پیشنهادی (میراگر تسلیم شونده شبه بیضی)

همان‌گونه که در شکل‌های (۲۵) تا (۲۷) قابل مشاهده است، بخش عمده‌ای از انرژی القایی زلزله در سازه توسط عملکرد غیرخطی میراگرهای پیشنهادی مستهلک می‌شود. به عبارت دیگر با به‌کارگیری میراگرها تسلیم شونده شبه بیضی پیشنهادی، محل تشکیل مفاصل پلاستیک از اجزای سازه‌ای (از قبیل ستون‌ها، مهاربندها و تیرها) به میراگرهای تسلیم شونده پیشنهادی منتقل شده است. در شکل (۲۵-ا)، میزان انرژی ورودی به سازه بهسازی شده ساختمان ۳ طبقه محک و نیز انرژی مستهلک شده توسط میراگر تسلیم شونده پیشنهادی تحت اثر زلزله حوزه دور الاسترو نشان داده شده است. در این قسمت از شکل (۲۵-ا) می‌توان مشاهده نمود که ۷۰ درصد از انرژی ورودی به سازه بهسازی شده توسط این میراگر تسلیم شونده شبه بیضی مستهلک شده است. همین سازه بهسازی شده تحت اثر زلزله هاجینوهه به وسیله این میراگر تسلیم شونده پیشنهادی ۶۰ درصد از انرژی ورودی به این سازه را مستهلک نموده است که در شکل (۲۵-ب)، قابل مشاهده است.

میزان استهلاک انرژی ورودی به این سازه ۳ طبقه تحت اثر زلزله حوزه نزدیک نورثریچ به ۵۸ درصد می‌رسد که در شکل (۲۵-ج)، نشان داده شده است. در شکل (۲۵-د)، می‌توان استهلاک ۷۲ درصدی انرژی ورودی به سازه موردنظر را توسط میراگر شبه بیضی پیشنهادی مشاهده نمود.

در شکل (۲۶) میزان انرژی ورودی به سازه بهسازی شده ۹ طبقه و نیز میزان استهلاک این انرژی توسط میراگر تسلیم شونده شبه بیضی پیشنهادی نشان داده شده است. در شکل (۲۶-ا)، این موارد تحت اثر زلزله حوزه دور الاسترو قابل مشاهده است که نشان می‌دهد ۵۹ درصد از انرژی ورودی به این سازه توسط میراگر پیشنهادی مستهلک شده است. میزان استهلاک انرژی

شده است. این سازه بهسازی شده که تحت اثر زلزله حوزه نزدیک نورتریج قرار گرفته است، به وسیله میراگر تسلیم شونده پیشنهادی ۶۹ درصد از انرژی ورودی به سازه را مستهلک کرده است که در شکل (۲۶- c)، می توان این موضوع را مشاهده نمود. مقدار انرژی مستهلک شده از انرژی ورودی به سازه بهسازی شده ۹ طبقه توسط میراگر تسلیم شونده پیشنهادی به میزان ۷۰ درصد بوده که در شکل (۲۶- d)، قابل مشاهده است.

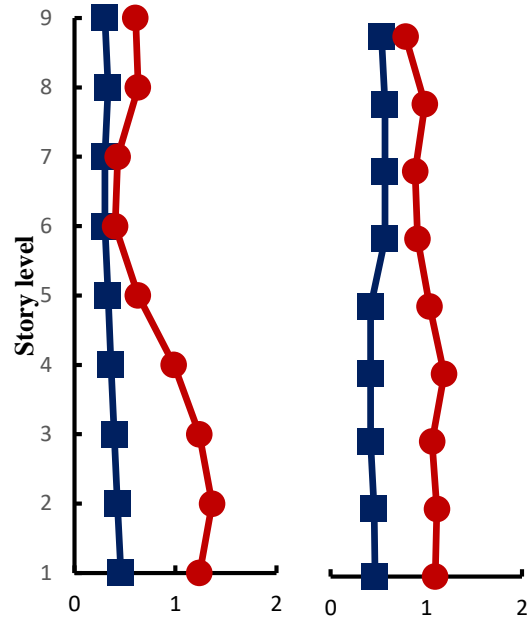
جدول ۷- حداکثر درصد دریافت طبقات سازه های اولیه محک و سازه های بهسازی شده

نوع سازه	نوع شتاب نگاشت	سازه بهسازی شده	
		سازه اولیه (%)	سازه بهسازی شده (%)
3-Story	El Centro	1.44	0.64
	Hachinohe	1.31	0.61
	Northridge	2.62	0.65
	Kobe	3.93	0.68
9-Story	El Centro	1.36	0.46
	Hachinohe	1.18	0.57
	Northridge	2.07	0.69
	Kobe	3.1	0.68
20-Story	El Centro	0.58	0.38
	Hachinohe	0.68	0.3
	Northridge	1.84	0.7
	Kobe	1.69	0.34

و انرژی مستهلک شده توسط میراگر شبه بیضی پیشنهادی در شکل (۲۷- a)، می توان مشاهده نمود که ۷۴ درصد از انرژی ورودی به سازه ۲۰ طبقه بهسازی شده ساختمان های محک که تحت اثر زلزله حوزه دور ال سنتر و قرار گرفته توسط میراگر تسلیم شونده شبه بیضی، مستهلک شده است. مقدار استهلاک انرژی در این سازه بهسازی شده توسط این میراگر پیشنهادی تحت اثر زلزله هاجینوه به میزان ۸۹ درصد بوده که در شکل (۲۷- b)، قابل مشاهده است. تحت اثر شتاب نگاشت زلزله حوزه نزدیک نورتریج میراگرهای تسلیم شونده این سازه بهسازی شده ۸۴ درصد از انرژی ورودی را مستهلک نموده است که در شکل (۲۷- c)، می توان مشاهده نمود.

در شکل (۲۷- d)، مقدار استهلاک انرژی ورودی به این سازه بهسازی شده ۲۰ طبقه، که به میزان ۷۱ درصد از انرژی ورودی به این سازه می باشد، قابل مشاهده است.

Structure with SESD damper  
Uncontrolled structure

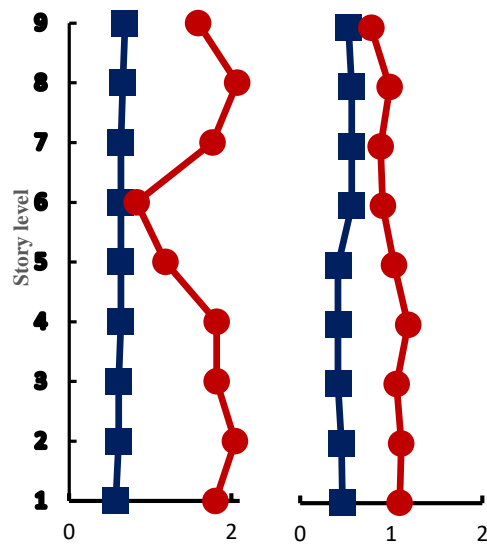


Max inter-story drift ratio (%)

(a). El Centro

(b). Hachinohe

Structure with SESD damper  
Uncontrolled structure



Max inter-story drift ratio (%)

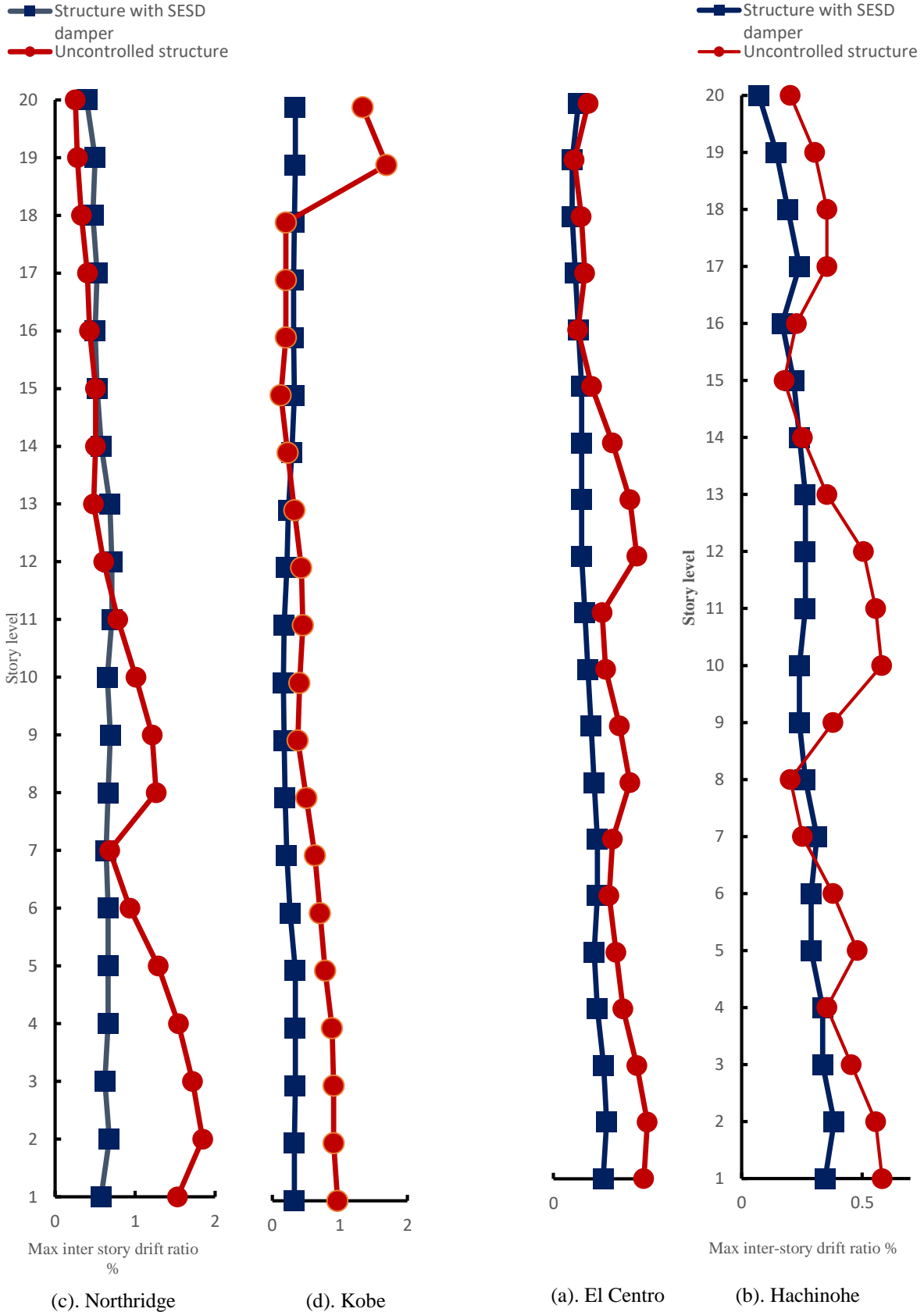
(c). Northridge

(d). Kobe

شکل ۲۳- مقایسه درصد نسبت دریافت طبقات سازه ۹ طبقه محک با سازه بهسازی شده با میراگر شبه بیضی پیشنهادی



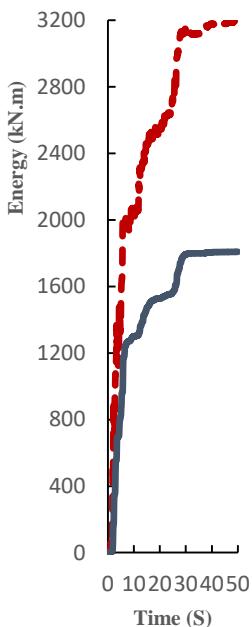




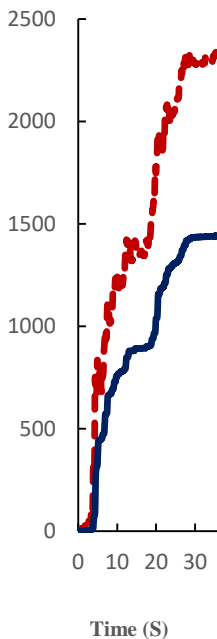
شکل ۲۴- مقایسه درصد نسبت دررفت طبقات سازه ۲۰ طبقه محک با سازه بهسازی شده با میراگر شبه بیضی پیشنهادی



--- Input energy  
 — Dissipated energy

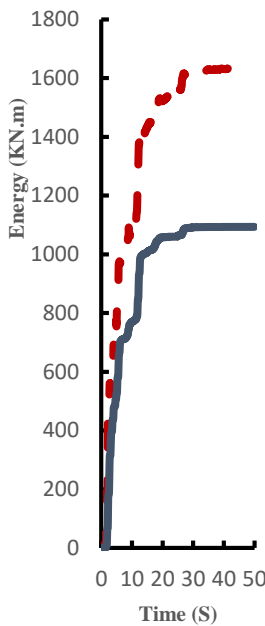


(a). El Centro

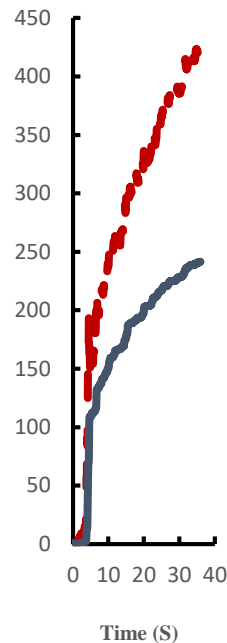


(b). Hachinohe

--- Input Energy  
 — Dissipated Energy

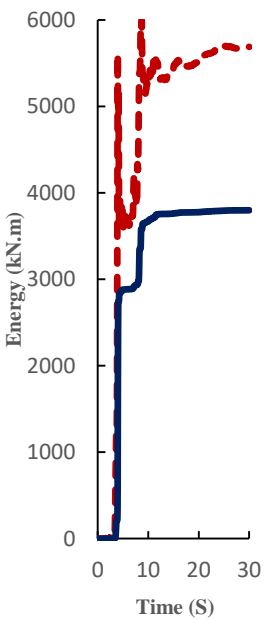


(a). El Centro

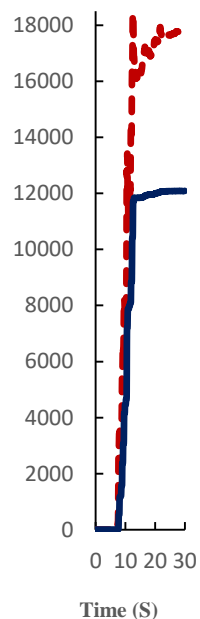


(b). Hachinohe

--- Input energy  
 — Dissipated energy

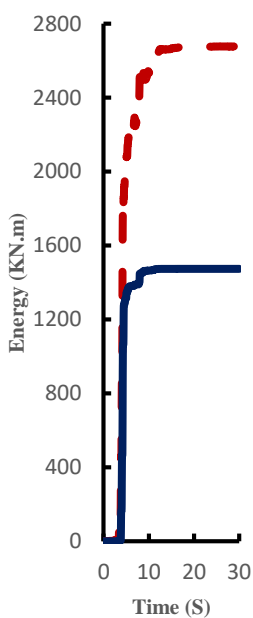


(c). Northridge

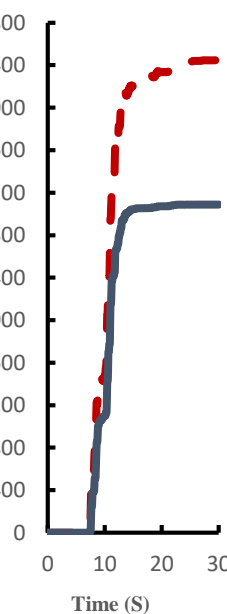


(d). Kobe

--- Input Energy  
 — Dissipated Energy



(c). Northridge



(d). Kobe

شکل ۲۶- مقایسه انرژی ورودی به سازه ۹ طبقه بهسازی شده و انرژی مستهلک شده توسط میراگر شبه بیضی پیشنهادی

شکل ۲۵- مقایسه انرژی ورودی به سازه ۳ طبقه بهسازی شده و انرژی مستهلک شده توسط میراگر شبه بیضی پیشنهادی



بالتری از سختی موثر و مقاومت تسلیم را برای این میراگر حاصل می‌آورد. با انجام تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی بر اساس رکوردهای زلزله حوزه دور و نزدیک، نتایج نشان داد که به‌کارگیری میراگر تسلیم شونده شبه بیضی پیشنهادی در قاب بهسازی شده با این میراگر، میزان میانگین کاهش حداکثر جابه‌جایی بام در ساختمان‌های محک سه، نه و بیست طبقه به ترتیب ۶۶، ۶۷ و ۳۴ درصد می‌باشد. همچنین به طور میانگین، حداکثر نسبت دررفت بین طبقات در ساختمان‌های محک کوتاه مرتبه (۳ طبقه)، میان مرتبه (۹ طبقه) و بلند مرتبه (۲۰ طبقه) به ترتیب ۶۶، ۶۹ و ۶۷ درصد کاهش یافته است. میزان استهلاک انرژی ورودی به سازه توسط این میراگر تسلیم شونده شبه بیضی به طور میانگین در ساختمان‌های محک ۳، ۹ و ۲۰ طبقه به ترتیب برابر ۶۵، ۶۶ و ۷۹ درصد بوده است. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، روابطی جهت محاسبه تأثیر عوامل مختلف مثل ضخامت، تعداد و اندازه شیارها و دیگر متغیرها بر عملکرد سیستم میراگرهای الحاقی مورد بررسی قرار گیرد.

## ۹- مراجع

[1] Suzuki, K., Watanabe, A. and Saeki, E. (2005), "Development of U-shaped steel damper for seismic isolation system", Nippon Steel Technical Report, No. 92, pp. 56-61.

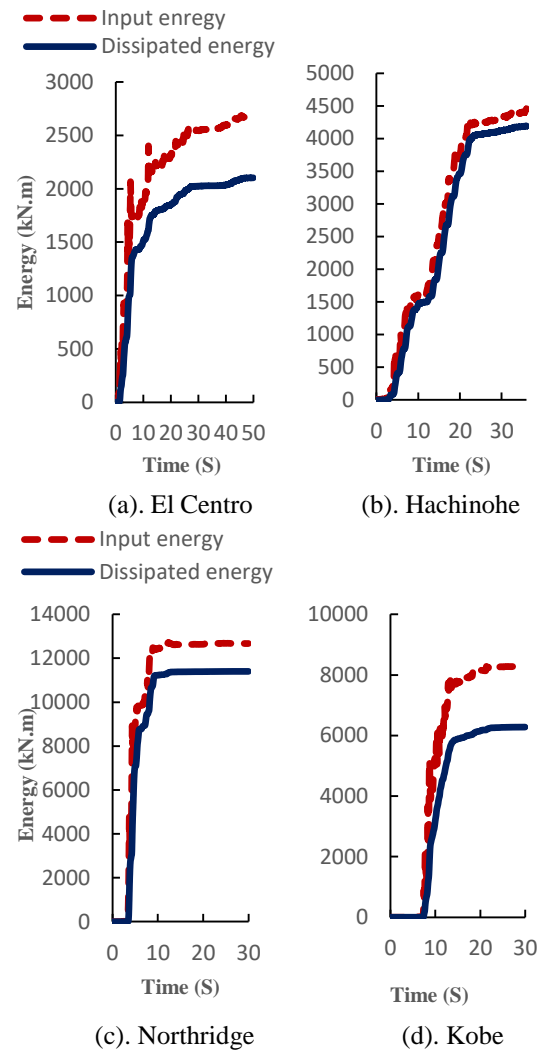
[2] Chan, R.W., Albermani, F. and Williams, M.S. (2009), "Evaluation of yielding shear panel device for passive energy dissipation", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 65, No. 2, pp. 260-268.

[3] Maleki, S. and Bagheri, S. (2010), "Pipe damper, Part I: Experimental and analytical study", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 66, No. 8-9, pp. 1088-1095.

[4] Maleki, S. and Bagheri, S. (2010), "Pipe damper, Part II: Application to bridges", Journal of Constructional Steel Research, Vol. 66, No. 8-9, pp. 1096-1106.

[5] Zahrai, S.M. and Moslehi Tabar, A. (2013), "Analytical study on cyclic behavior of chevron braced frames with shear panel system considering post-yield deformation", Canadian Journal of Civil Engineering, Vol. 40, No. 7, pp. 633-643.

[6] Abebe, D.Y. and Choi, J. (2014), "Analytical evaluation on hysteresis performance of circular shear panel damper", International Journal of Civil and Environmental Engineering, Vol. 8, No. 6, pp. 744-750.



شکل ۲۷- مقایسه انرژی ورودی به سازه ۲۰ طبقه بهسازی شده و انرژی مستهلک شده توسط میراگر شبه بیضی پیشنهادی

## ۸- نتیجه‌گیری

در این مطالعه با مقایسه منحنی‌های هیستریزس نیرو- جابه‌جایی به دست آمده از میراگر شبه بیضی مدل‌سازی شده در نرم‌افزار المان محدود ABAQUS با نتایج به دست آمده از المان لینک غیرخطی Wen در نرم‌افزار SAP2000، نزدیکی و مشابهت این منحنی‌ها با یک دیگر، اطمینان لازم از بابت عملکرد مشابه و مناسب برای به‌کارگیری این نوع المان برای انجام تحلیل‌های تاریخیچه زمانی غیرخطی در نرم‌افزار SAP2000 را می‌توان مشاهده نمود. از میان ۱۶ نمونه حلقه‌های شبه بیضی میراگرهای مدل‌سازی شده، نتایج نشان داد که حلقه‌های میراگر پیشنهادی شبه بیضی شیاردار (PESD)، از نوع SB، عملکرد بهتر و مقادیر

[7] Han, Q., Jia, J., Xu, Z., Bai, Y. and Song, N. (2014), "Experimental evaluation of hysteretic behavior of rhombic steel plate dampers", *Advances in Mechanical Engineering*, Vol. 6, No. 57, 185629.

[8] Deng, K., Pan, P., Li, W. and Xue, Y. (2015), "Development of a buckling restrained shear panel damper", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 106, No. 26, pp. 311-321.

[9] Lee, C.L., YP, Y.W. and Cai, M.Y. (2017), "An Experimental Verification of Seismic Structural Control Using in-Plane Metallic Dampers", 3rd International Conference on Architecture, Material and Construction, (ICAMC 2017).

[10] Zahrai, S.M. and Mortezağholi, M.H. (2018), "Cyclic performance of an elliptical-shaped damper with shear diaphragms in chevron braced steel frames", *Journal of Earthquake Engineering*, Vol. 22, No. 7, pp. 1209-1232.

[11] Mortezağholi, M.H. and Zahrai, S.M. (2018), "Proposed relationship for proper shear strength of elliptical damper based on its geometrical parameters", *International Journal of Steel Structures*, Vol. 18, No. 3, pp. 880-890.

[12] Benavent-Climent, A. (2010), "A brace-type seismic damper based on yielding the walls of hollow structural sections", *Engineering Structures*, Vol. 32, No. 4, pp. 1113-1122.

[13] Council AT, Guidelines for cyclic seismic testing of components of steel structures, ATC-24, (1992).

[14] Ohtori, Y., Christenson, R., Spencer, B. and Dyke, S. (2004), "Benchmark control problems for seismically excited nonlinear buildings", *Journal of engineering mechanics*, Vol. 130, No. 4, pp. 366-385.

[15] Mousavi, S.A., Zahrai, S.M. and Pasand, A.A. (2021), "Drift-based seismic design procedure for Buckling Restrained Braced Frames", *Structures*, Elsevier, Vol. 30, No. 6, pp. 62-74.

[16] Fragiadakis, M., Lagaros, N.D. and Papadrakakis, M. (2006), "Performance-based multiobjective optimum design of steel structures considering life-cycle cost", *Structural and Multidisciplinary Optimization*, Vol. 32, No. 1, pp. 1-11.

