

# مقایسه رفتار لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی مجهز به میراگرهای ویسکوز خطی و غیرخطی تحت زلزله‌های نزدیک به گسل

منصور باقری\*<sup>۱</sup>، سید عباس حسینی<sup>۲</sup>، امین وداد<sup>۳</sup>

۱- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی بیرجند، بیرجند، ایران

۲- استادیار، دانشکده صنعت و معدن چرام، دانشگاه یاسوج، چرام، ایران

۳- کارشناس ارشد سازه، گروه مهندسی عمران، موسسه آموزش عالی بعثت، کرمان

\*mnsrbagheri@birjandut.ac.ir

## چکیده

در دهه‌های اخیر مطالعات گسترده‌ای درباره میراگرهای ویسکوز به عنوان یکی از انواع سیستم‌های کنترل غیرفعال سازه جهت استهلاک و جذب انرژی زلزله انجام شده است. در این تحقیق به بررسی اثر میراگرهای ویسکوز خطی و غیرخطی بر پاسخ لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی ۳، ۹ و ۲۰ طبقه پرداخته شده و پس از انجام تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی، پاسخ‌های سازه‌ای یکدیگر مقایسه شده است. بررسی نتایج نشان داد که جابجایی مطلق قاب‌ها در حالت وجود میراگر غیرخطی نسبت به حالت خطی با افزایش تعداد طبقات به ترتیب ۶۷، ۷۹ و ۸۴ درصد کاهش یافته ولی برای حداکثر تغییر مکان نسبی برای سازه ۲۰ طبقه اثر کمتری داشته و به ترتیب ۸۶، ۸۳ و ۴۰ درصد بوده است. همچنین میزان جذب انرژی میراگر غیرخطی در قاب‌های کوتاه و میان مرتبه با توجه به منحنی هیستریزس استخراج شده با ۷/۵ و ۱۵۷ درصد افزایش، دارای عملکرد بهتری بوده در حالی که در قاب بلند مرتبه به مقدار ۷۴ درصد کاهش یافته است. همچنین توزیع مفاصل پلاستیک نیز برای این نوع میراگرها مبین کاهش خرابی در سطح عملکرد ایمنی جانی می‌باشد و موجب کاهش قابل ملاحظه‌ای در تعداد مفاصل پلاستیک تشکیل شده در سطح عملکرد قابلیت استفاده بی‌وقفه شده است. همچنین برش پایه قاب‌های ۳ و ۹ طبقه با میراگر غیرخطی نسبت به میراگر خطی حدود ۲۱ و ۱۰ درصد کاهش داشته و در عین حال اثر میراگرهای غیرخطی در قاب‌های بلند مرتبه چندان محسوس نبوده است.

**واژگان کلیدی:** قاب خمشی فولادی، میراگر ویسکوز غیرخطی، تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، مفصل پلاستیک، برش پایه.

## ۱- مقدمه

میراگرهای مایع ویسکوز خطی و غیرخطی در سازه‌های فولادی را در نرم افزار SAP2000 بررسی کرده‌اند. ایشان نتیجه گرفتند که مشارکت میراگر غیرخطی موجب بهبود ظرفیت جذب انرژی سازه بدون افزایش سختی و کاهش مقدار پایداری کلی سازه می‌شود. رومرو و رودریگو-مارتینز [3] پاسخ دینامیکی یک ساختمان چند طبقه فولادی با سازه خمشی مقاوم مجهز به میراگرهای ویسکوز مایع که در معرض بارهای لرزه‌ای قرار گرفته را به طور عددی بررسی نموده و پاسخ دینامیکی سازه را در دو حالت مقاوم سازی شده با میراگرهای خطی و غیرخطی و شاخص‌های عملکرد سازه را در هر دو روش مقاوم سازی مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که

به منظور اتلاف انرژی ناشی از زلزله در سازه‌ها و کنترل پاسخ آن‌ها، میراگرها با سیستم کنترل غیرفعال در بخش‌های خاصی از سازه نصب و بخش نسبتاً زیادی از انرژی ورودی به سازه را تحت مکانیزم‌های مختلف جذب می‌نمایند و در نتیجه سازه دچار خرابی جدی نمی‌گردد. پس از وقوع زمین لرزه‌های نورثریج و کوبه، پژوهش‌های آزمایشگاهی گسترده‌ای به منظور مقاوم‌سازی و افزایش شکل پذیری اتصالات انجام شد و تعداد زیادی از اتصالات اصلاح شده پیشنهاد گردید. جری [1] در پژوهش خود به سؤالاتی پیرامون خصوصیات میراگرهای غیرخطی و مکانیزم عملکرد آنها در استهلاک انرژی در سازه پرداخته است. راس و بومچرا [2] نیز در مطالعه خود، رفتار

نیروی بیشینه در میراگرهای ویسکوز غیرخطی ۳۵ درصد کمتر از حالت ویسکوز خطی است. آلتیری و همکاران [4] در پژوهش خود به طراحی بهینه میراگرهای غیرخطی برای مقابله با زلزله در سیستم‌های سازه‌ای پرداختند. آیت‌های بهینه سازی مورد استفاده در این مطالعه احتمال شکست سازه‌ای، هزینه میراگر و نیروهای میراگر بودند. سیلوا و همکاران [5] برای بهبود رفتار سازه‌های فولادی تحت بارهای لرزه‌ای چند سطحی، یک سیستم فوق ارتجاعی ویسکوز را پیشنهاد داده و کارایی آن را در کاهش پاسخ لرزه‌ای با مطالعه آزمایشگاهی و تحلیلی روی یک سازه خمشی ویژه ۶ طبقه فولادی نشان دادند و کمترین تغییر مکان‌های ماندگار حاصل شد. لین و همکاران [6] روشی برای تحلیل پاسخ مودال ساختمان‌های نامتقارن در پلان با میراگرهای ویسکوز غیرخطی ارائه دادند و نتیجه گرفتند که روند تحلیل ساده شده پیشنهادی منجر به برآورد رضایت بخشی از پاسخ لرزه‌ای چنین سازه‌هایی با میراگرهای ویسکوز غیرخطی می‌شود. سیلوا و همکاران [7] ضمن مطالعه مقاومت گسیختگی لرزه‌ای سازه خمشی فولادی با میراگر ویسکوز، توانایی بالای سیستم در برابر خرابی را با کمترین تغییر مکان‌های ماندگار را نتیجه گرفتند. بوردرسون و همکاران [8] با شبیه سازی یک میراگر ویسکوز هیبرید متشکل از ترکیب سری یک کمک فنر ویسکوز و یک محرک فعال، نشان دادند که سیستم کنترل برای مدهای فرکانسی بالا فعال شده و موجب جابه‌جایی لازم در محرک می‌شود. شریعتی و همکاران [9] به بررسی روشی برای بهینه سازی میراگر ویسکوز غیرخطی جهت بهبود پاسخ ساختمان‌های بلند با انواع مهاربندهای همگرا پرداختند. نتایج نشان داد که مهاربند شورون عملکرد بهتری داشته و موجب کاهش تغییر مکان و جذب انرژی بیشتری شده است. سانتوز سانتیاگو و همکاران [10] در مطالعه‌ای به اثر مدهای بالاتر روی پاسخ لرزه‌ای ساختمان‌های دارای میراگر خطی و غیرخطی پرداختند و نتیجه گرفتند که ضرایب تصحیح سرعت و شتاب بترتیب ۵۲ و ۱۶ درصد در سیستم میرایی مؤثر بودند. همچنين کولانی و شین [11] در پژوهشی به اثر پارامترهای مؤثر بر عملکرد لرزه‌ای میراگر ویسکوز از جمله سختی، ضریب میرایی و توان سرعت در سازه ۷ طبقه پرداختند و نتیجه گرفتند که توان سرعت بین ۰/۶ تا ۰/۹ نتایج بهتری در پی دارد. صالحی و قبادی [12] در

مطالعه خود به بررسی استفاده از میراگر ویسکوز در ترکیب با آلیاژ حافظه‌دار شکلی با استفاده از تحلیل IDA پرداختند که تغییر مکان بدون پسماند در این سازه‌ها از عمده مزایای استفاده از وسایل اتلاف انرژی زلزله بیان شد. در پژوهشی، پینه‌دا و همکاران [13] نیز به بررسی بهبود پاسخ لرزه‌ای سازه‌های بتنی با استفاده از میراگرهای مایع ویسکوز پرداختند. نتایج نشان از کاهش قابل ملاحظه تغییر مکان با افزایش مقدار توان سرعت داشت.

با توجه به ضرورت بررسی روش‌های مقابله با نیروی زلزله و استهلاک انرژی حاصل از آن، استفاده از میراگرهای مختلف از جمله میراگر ویسکوز در طراحی سازه‌ها گسترش یافته است. مطالعه رفتار غیرخطی سازه‌های بهسازی شده با میراگرهای ویسکوز خطی و غیرخطی با استفاده از تحلیل طراحی عملکردی مبتنی بر روش تغییر مکان مستقیم و مقایسه پاسخ‌های سازه‌ای در مدل‌های با تعداد طبقات مختلف، از جمله ویژگی‌های پژوهش حاضر می‌باشد. در این مطالعه، ضمن مقایسه عملکرد قاب دارای میراگر با حالت بدون میراگر، انواع خطی و غیرخطی آن مدل شده و پاسخ‌های لرزه‌ای از جمله حداکثر تغییر مکان‌های مطلق بام و نسبی طبقات، برش پایه، منحنی هیستریزس و مفاصل پلاستیک مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

## ۲- روش تحقیق

روش طراحی بر اساس تغییر مکان که در آن تغییر مکان‌ها به‌عنوان معیاری جهت ارزیابی سازه لحاظ می‌شود به دلیل وابستگی خرابی به تغییر مکان بیش از نیرو، پذیرفته شده است که می‌تواند بر نواقص ذاتی روش‌های طراحی بر اساس نیرو غلبه نماید. از سوی دیگر، در ارتباط با عملکرد سازه‌ها سطوح و حالات مختلفی قابل تعریف است. در حالت عملکردی قابلیت استفاده بی‌وقفه<sup>۱</sup> در آن خرابی ایجاد شده در سازه محدود است. در این حالت تغییر مکان جانبی نسبی در اثر ترک خوردگی یا رفتار خمیری در سازه باقی نمی‌ماند، سختی و مقاومت اعضای سازه‌ای اساساً تغییری نمی‌کند و ترک‌های بسیار جزئی در اعضای سازه‌ای و نما ایجاد می‌شود. در حالت

<sup>۱</sup> Immediate Occupancy (IO)

نیروی میرایی این سازه‌ها با توجه به روش شرح داده شده [16] FEMA273 (بند 9.3) تعیین و در حالت کنترل شده توسط سرعت، مطابق رابطه 9.25 مرجع مزبور بدست می‌آیند.

شکل ۲- اجزای میراگر ویسکوز [17]

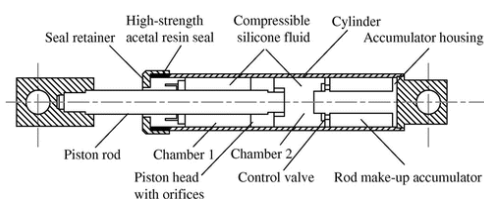


Fig 2. Viscous damper components [17]

میراگرهای ویسکوز بر خلاف انواع میراگرهای تسلیمی و اصطکاکی، محدود به جابجایی نبوده و نیروی داخلی آن‌ها وابسته به سرعت بوده و رفتار آن به دو صورت خطی و غیرخطی می‌باشد. در حالت خطی، نیروی محوری از حاصل-ضرب میرایی در سرعت نسبی دو سر میراگر (سرعت دور یا نزدیک شدن دو گره انتهایی مطابق رابطه (۱) بدست می‌آید.

$$F_{damper} = CV^\alpha \quad (1)$$

که در آن،  $F_{damper}$  نیروی محوری در حالت خطی،  $C$  ضریب میرایی میراگر،  $V$  سرعت نسبی دو سر میراگر و  $\alpha$  در حالت غیرخطی توان سرعت نسبی میراگر بین ۰/۲ تا ۱ بوده که در این مطالعه، از ضریب ۰/۲۵ استفاده شده است. برای محاسبه ضریب میرایی میراگرهای ویسکوز در سه مود اول سازه از رابطه (۲) استفاده می‌شود [16].

$$\beta_{eff} = \beta + \frac{T_s \sum_j C_j \cos^2 \theta_j \varphi_{rj}^2}{4\pi \sum_i m_i \varphi_i^2} \quad (2)$$

که در آن،  $\beta_{eff}$  نسبت میرایی ایجاد شده توسط میراگر،  $\beta$  میرایی ذاتی،  $T_s$  دوره تناوب مود اصلی سازه،  $C_j$  ضریب میرایی طبقه  $j$ -ام،  $\varphi_{rj}$  جابجایی افقی نسبی دو انتهای میراگر در اثر تغییر شکل سازه در مود اول،  $\theta_j$  زاویه میراگر با راستای افق در طبقه  $j$ -ام،  $m_i$  جرم لرزه‌ای طبقه  $i$ -ام و  $\varphi_i$  تغییر مکان طبقه  $i$ -ام در اثر تغییر شکل سازه در مود اول تغییر شکل می‌باشد.

در این مطالعه، روند کلی بررسی تأثیر میراگرهای ویسکوز در

دوم یعنی ایمنی جانی<sup>۲</sup> ساختمان دچار خرابی‌های قابل توجهی می‌شود. مقداری از سختی و مقاومت در تمام طبقات از دست خواهد رفت، تغییرشکل نسبی ناشی از رفتار خمیری در سازه مشاهده خواهد شد و نیز خطر تلفات جانی اندکی بیشتر خواهد بود. در سطح عملکرد آستانه فروریزش<sup>۳</sup> ساختمان دچار خرابی‌های گسترده‌ای می‌گردد. در این حالت در اعضای سازه-ای سختی و مقاومت ناچیزی برای تحمل بارهای جانبی باقی می‌ماند اما ستون‌ها و دیوارهای باربر ثقلی عملکرد خود را حفظ می‌کنند، تغییر شکل‌های نسبی ماندگار زیاد است و احتمال این‌که سازه در اثر پس‌لرزه‌ها فرو بریزد وجود دارد. نواحی مختلف سطوح عملکردی در شکل ۱ نمایش داده شده است.

شکل ۱- منحنی نیرو- تغییرشکل اعضا [14]

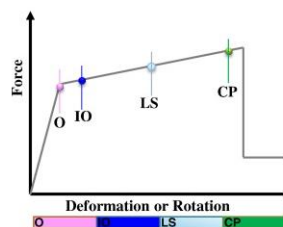


Fig 1. Force-deformation curve of elements [14]

از طرف دیگر، میرایی سازه‌ها تحت تحریک زلزله به صورت ترکیبی از میرایی ذاتی و اضافی است. میرایی ذاتی به مرحله پیش از تسلیم سازه و تشکیل اولین مفصل دراعضای سازه‌ای بستگی دارد که بر اساس مقادیر پیشنهادی منابع معتبر دینامیک سازه در تنش‌های نزدیک به تنش تسلیم اعضا قابل تعریف است و در این مطالعه برابر ۵٪ لحاظ می‌گردد [15] و میرایی اضافی با استفاده از انواع میراگرها مانند میراگر ویسکوز، اصطکاکی، تسلیمی و نظایر اینها ایجاد می‌شود. میراگرهای ویسکوز از یک پیستون روزنه‌دار درون سیلندری که حاوی سیالی با غلظت زیاد می‌باشد، تشکیل شده‌اند. استهلاک این میراگر از طریق هل دادن و عبور سیال چسبنده از سوراخ‌های پیستون انجام می‌شود. شماتیک کلی این نوع میراگر در شکل ۲ نشان داده شده است. این میراگرها دارای دو نوع خطی و غیرخطی بوده که نوع کاربردی و معمول آن، میراگرهای خطی با ضریب توانی سرعت یک می‌باشند. در عمل، مقادیر مناسب

<sup>۲</sup> Life Safety (LS)

<sup>۳</sup> Collapse Prevention (CP)

[20] استفاده شده است. میزان مشارکت بار زنده به عنوان جرم لرزه‌ای در تحلیل سازه، ۲۰ درصد می‌باشد.

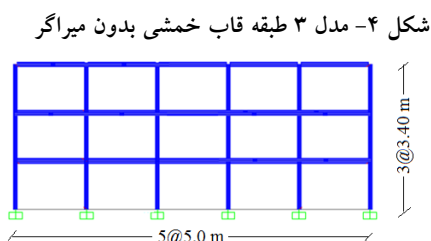


Fig 4. 3-stories bending frame model without damper

مطابق با جداول ۱ و ۲ کلیه ستون‌های مورد استفاده در مدل‌ها از نوع باکس و تیرها از نوع IPE می‌باشند. مشخصات فولاد به کار رفته نیز مطابق جدول ۳ می‌باشد.

جدول ۱- مقاطع ستون باکس مدل‌های ۳، ۹ و ۲۰ طبقه

20-stories	9-stories	3-stories	Story
500x500x25	450x450x20	260x260x25	1-3
450x450x20	350x350x20	-	4-5
350x350x20	350x350x20	-	6-9
350x350x20	-	-	10-15
260x260x20	-	-	16-20

Table 1. Box column sections of 3, 9 and 20-stories models

جدول ۲- مقاطع تیر مدل‌های ۳، ۹ و ۲۰ طبقه

20-stories	9-stories	3-stories	Story
IPE450	IPE400	IPE330	1-3
IPE450	IPE360	-	4-5
IPE400	IPE360	-	6-9
IPE400	-	-	10-15
IPE400	-	-	16-20

Table 2. Beam sections of 3, 9 and 20-stories models

جدول ۳- مشخصات فولاد مورد استفاده

2400 kg/cm <sup>2</sup>	Yield stress
4000 kg/cm <sup>2</sup>	Ultimate stress
2×10 <sup>6</sup> kg/cm <sup>2</sup>	Modulus of elasticity
0.3	Poisson ratio
7850 kg/m <sup>3</sup>	Mass per volume

Table 3. Specifications of the applied steel

برای انجام تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی، شتابنگاشت‌های حوزه نزدیک گسل انتخاب و مطابق با بند ۲-۵-۳ استاندارد ۲۸۰۰، مقیاس شده و طیف پاسخ ترکیب هفت زوج شتابنگاشت به همراه طیف میانگین آن‌ها ترسیم شده است. در

عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌های فلزی بدین صورت در نظر گرفته شده است که ابتدا مدل سه‌بعدی سازه ضمن اعمال اثرات ۱۰۰ درصد نیروی زلزله در یک جهت و ۳۰ درصد در جهت متعامد آن و نیز اعمال پیچش تصادفی، بصورت استاتیکی معادل تحلیل و طراحی اولیه شده و سپس یک قاب متعارفی از سازه-های ۳، ۹ و ۲۰ طبقه با سیستم قاب خمشی انتخاب و در نرم افزار SAP2000 بدون میراگر طراحی شده است. سپس قاب طراحی شده در نرم افزار و در سه حالت بدون میراگر و با میراگر خطی (با ضریب توانی ۱) و غیرخطی (با ضریب توانی ۰/۲۵) تحلیل دینامیکی تاریخیچه زمانی غیرخطی شده و نتایج عملکرد لرزه‌ای شامل حداکثر تغییر مکان مطلق طبقات، حداکثر تغییر مکان نسبی طبقات، توزیع مفاصل پلاستیک و برش پایه استخراج شده است. در نهایت به مقایسه نتایج و تأثیر اضافه نمودن میراگرهای ویسکوز و مقایسه رفتار قاب‌ها پرداخته شده و نتایج جمع بندی شده است. لازم به ذکر است که انتخاب قاب‌های فوق از نظر تعداد طبقات بر اساس تقسیم بندی دستورالعمل HAZUS [18] بوده که در آن سازه‌ها بر اساس تعداد طبقات به سازه‌های کوتاه مرتبه، میان مرتبه و بلند مرتبه تقسیم بندی می‌شوند. در شکل ۳ قاب مزبور همراه با چیدمان قرارگیری میراگرهای ویسکوز نمایش داده شده است. جانمایی میراگرها در سایر مدل‌ها نیز به همین صورت در نظر گرفته شده است.

شکل ۳- قاب ۳ طبقه خمشی با میراگر ویسکوز



Fig 3. 3-stories bending frame with viscous damper

### ۳- مدل‌های مورد بررسی

در این مطالعه، سه قاب خمشی فولادی با ۳، ۹ و ۲۰ طبقه با پنج دهانه‌های ۵ متری و ارتفاع طبقه ۳/۴۰ متر مطابق شکل ۴ با ضریب اهمیت متوسط، الگوسازی و طبق استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم [19] روی خاک نوع ۲ و در منطقه با خطر نسبی زیاد، طراحی لرزه‌ای شده‌اند. بار مرده و زنده طبقات به ترتیب معادل ۵۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع در نظر گرفته شده و برای طراحی اعضای فولادی از آیین‌نامه فولاد امریکا

جدول ۴- مشخصات رکوردهای زلزله [۲۱]

Earthquake	Station	PGA (g)	PGV (m/s)	Mag
Coalinga (1983)	Pumping Plant	0.608	0.61	6.5
Chalfant (1986)	LADWP	0.547	0.432	5.8
Kobe (1995)	Nishi Akashi	0.484	0.531	6.9
Landers (1992)	Fire Station	0.529	0.549	7.3
Mammoth Lakes (1980)	CA-High School Gym	0.784	0.444	6.1
Manjil (1990)	Abbar	0.283	0.443	7.4
Tabas (1978)	Tabas	0.504	0.581	7.4

Table 4. Specifications of the earthquake records [21]

جدول ۵- دوره تناوب اصلی قابها

20-stories	9-stories	3-stories	Period T (sec)
3.356	1.758	0.805	

Table 5. Main period of the frames

جدول ۶- محاسبه ی ضریب میرایی با توجه به ۲۰٪ میرایی اضافی

و ۵٪ میرایی ذاتی در قاب ۳ طبقه

Story 3	Story 2	Story 1	Coefficient
0.00947	0.00678	0.00284	$\Phi_i$
0.00269	0.00394	0.00284	$\Phi_{f1}$
$8.96 \times 10^{-05}$	$4.59 \times 10^{-05}$	$8.04 \times 10^{-06}$	$\Phi_{f2}^2$
6750	6750	6750	$M_i$ (kg)
0.604707	0.310012	0.05429	$M_i \cdot \Phi_i^2$
$7.23 \times 10^{-06}$	$1.55 \times 10^{-05}$	$8.04 \times 10^{-06}$	$\Phi_{f1}^2$
0.633956	0.633956	0.633956	$(\cos\theta_i)^2$
$4.58 \times 10^{-06}$	$9.85 \times 10^{-06}$	$5.1 \times 10^{-06}$	$(\cos\theta_i)^2 \cdot \Phi_{f1}^2$
			C
			125987.3

Table 6. Calculation of damping coefficient with respect to 20% additional damping and 5% inherent damping in a 3-stories frame

جدول ۷- مقاطع استفاده شده در مطالعه راس و بومچرا [۲۳]

Beam	Column	Story
IPE340	HE330M	1-2
IPE340	HE300M	3-5
IPE340	HE240M	6-8
IPE340	HE200M	9-13

Table 7. Sections used in the study of Ras and Boumechra [23]

شکل ۵- رکورد زلزله Chalfant مقیاس شده به بیشینه شتاب زمین

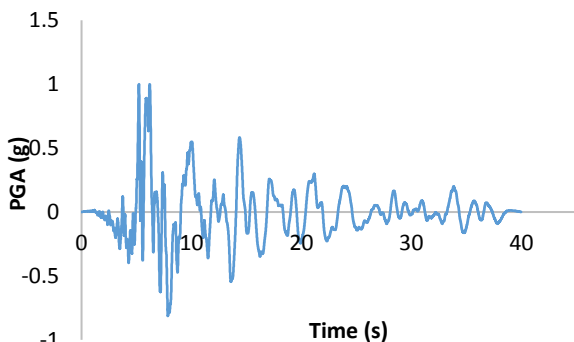


Fig 5. Chalfant earthquake record scaled to the maximum ground acceleration

این مطالعه، از هفت شتاب نگاشت به عنوان رکورد زلزله‌های مورد نیاز در تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی مطابق جدول ۴ استفاده شده است. در انتخاب شتابنگاشت‌ها سعی شده است تا حد امکان ویژگی‌هایی مانند وجود حالت پالس‌گونه به خصوص در نگاشت سرعت لحاظ شده باشد. در شکل ۵ شتابنگاشت مربوط به زلزله Chalfant(1986) قابل مشاهده است. این شتابنگاشت‌ها طبق استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم برای طیف استاندارد خاک نوع ۲ و خطر نسبی زیاد هم پایه می‌شوند. در ابتدا همه شتابنگاشت‌ها به شتاب گرانش زمین (g) مقیاس می‌شوند و با استفاده از نرم افزار SeismoSignal با فرض میرایی ۵٪، طیف الاستیک هر هفت شتابنگاشت ترسیم می‌شود. همچنین متوسط شتابنگاشت‌ها بدست آمده و با طیف استاندارد هم‌پایه شده است. نمودار شتاب طیفی شتابنگاشت‌های هم‌پایه شده و متوسط آنها در شکل ۶ نشان داده شده است. در این مقاله، برای انجام تحلیل دینامیکی از روش نیومارک استفاده شده و مفاصل پلاستیک برای ستون‌ها در ۵٪ و ۹۵٪ طول ستون در قالب نیروی محوری و دو لنگر حول محورهای محلی ۲ و ۳، برای تیرها در ۵٪ و ۹۵٪ طول تیر به‌صورت لنگر حول محور اصلی ۳ مطابق شکل ۷-الف و برای بادبندها در ۵۰٪ طول بادبند در حالت محوری تعریف شده است.

ضمناً منحنی سه خطی لنگر انحناء بصورت شماتیک در شکل ۷-ب نمایش داده شده است. بر اساس بند ۲-۲ پیوست دوم استاندارد ۲۸۰۰، می‌توان دو حالت را برای تبدیل منحنی لنگر-انحناء به صورت دوطخطی و سه‌خطی در نظر گرفت. نمودار لنگر-انحناء به صورت منحنی سه‌خطی نسبت به منحنی دو-خطی دارای دقت بیشتر جهت نشان دادن مراحل مختلف کاهش سختی عضو، تحت خمش می‌باشد.

مطابق رابطه (۲)، ضریب میرایی سازه‌های ۳، ۹ و ۲۰ طبقه به ترتیب برابر با ۱۲۶۰۰۰، ۴۷۸۱۹۴ و ۱۱۶۲۰۰۰ کیلوگرم ثانیه بر متر می‌باشد که با توجه به تقارن دو مهاربند دارای میراگر در هر طبقه، ضریب میرایی بدست آمده نصف می‌شود. دوره تناوب اصلی ارتعاش سازه که از نرم افزار SAP2000 حاصل شده در جدول ۵ و محاسبات مربوط به ضریب میرایی سازه ۳ طبقه قاب خمشی در جدول ۶ آمده است.

داده شده است. همچنین مقاطع مورد استفاده نیز به صورت جدول ۷ می‌باشند.

شکل ۸- مدل ۱۳ طبقه فولادی با میراگر ویسکوز مطالعه راس و

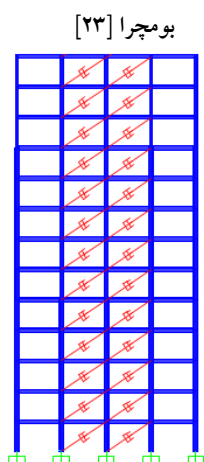


Fig 8. 13-stories steel model with viscous damper of Ras and Boumechra study [23]

تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی بر اساس شتاب نگاشت زلزله (2003) Boumerdes با استفاده از نسبت‌های مختلف میرایی صفر، ۳۰ و ۱۰۰ درصد انجام گرفته است. در شکل ۹ منحنی هیستریزس میراگر ویسکوز سازه مطالعه راس و بومچرا در مقایسه با مدل این مطالعه نمایش داده شده که به دلیل نزدیک بودن سطح زیر هر دو نمودار و میزان انرژی جذب شده مطالعه مزبور و این مطالعه که بترتیب ۹۱/۴ و ۸۹/۵ کیلوگرم سانتیمتر می‌باشد (اختلاف ۲ درصد)، انطباق مناسبی بین مدل‌سازی انجام شده در این تحقیق و مدل‌سازی مطالعه راس و بومچرا وجود دارد.

شکل ۹- مقایسه منحنی هیستریزس میراگر ویسکوز مدل این مطالعه با

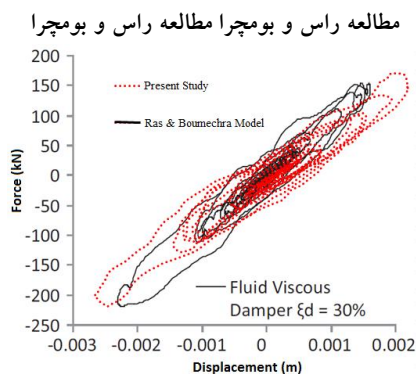


Fig 9. Comparison of viscous damper hysteresis curve of this model with Ras and Boumechra study

شکل ۶- طیف شتاب و متوسط هفت شتاب نگاشت هم پایه شده مطابق طیف استاندارد ۲۸۰۰

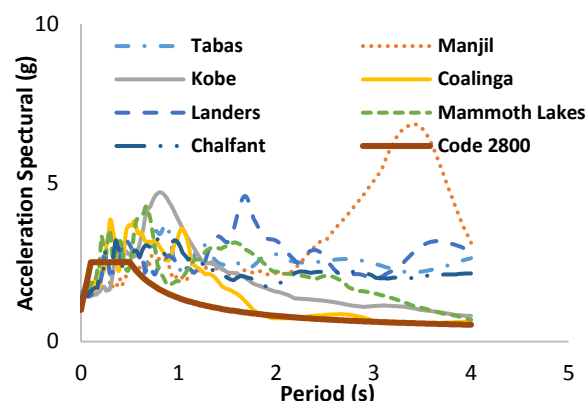


Fig 6. Acceleration spectrum and average of seven accelerogram scaled based on the standard 2800 spectrum

شکل ۷- (الف) موقعیت مفاصل پلاستیک در انتهای تیر و ستون - (ب)

منحنی سه خطی لنگر - انحناى اعضا

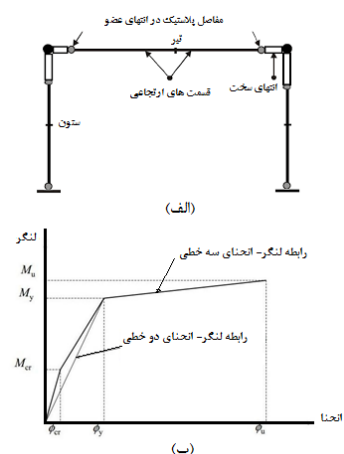


Fig 7. Position of the plastic hinges at the ends of the beams and columns

۴- صحت سنجی

به منظور اطمینان از صحت مراحل مدل‌سازی قاب خمشی فولادی با میراگر ویسکوز در نرم افزار SAP2000، از مطالعه راس و بومچرا [22] استفاده شده که در آن یک سازه قاب خمشی ۱۳ طبقه از مصالح فولادی با مدول الاستیسیته ۲۰۰ گیگاپاسکال و وزن واحد حجم ۷۶۹۸ کیلونیوتن بر متر مکعب با پلانی به ابعاد  $22/92 \times 23/70$  متر و ارتفاع کل  $45/82$  متر مدل شده و ۱۲ حالت مختلف چیدمان برای میراگرهای ویسکوز در پلان در نظر گرفته شده است. همچنین سختی لحاظ شده برای میراگر مورد نظر، معادل با سختی یک پروفیل  $L120 \times 13$  می‌باشد. در شکل ۸ نمای سازه مزبور در حالت چیدمان شماره ۱۰ که گزینه بهینه این مطالعه نیز بوده، نمایش

## ۵- بررسی پاسخ‌های سازه‌ای و تفسیر نتایج

در این مطالعه، مدل‌های تحلیل شده شامل مدل قاب خمشی فولادی بدون میراگر (Original)، قاب خمشی فولادی با میراگر خطی و ضریب توانی ۱ (DEX=1) و همچنین قاب خمشی فولادی با میراگر غیرخطی و ضریب توانی ۰/۲۵ (NDEX=0.25) می‌باشد. منظور از عبارت Ex، توان سرعت میراگر (Exponent of velocity) است و منظور از D میراگر خطی (linear Damper) و ND میراگر غیرخطی یعنی (Nonlinear Damper) می‌باشد. پس از انجام تحلیل تاریخیچه زمانی، پاسخ‌های سازه‌ای شامل حداکثر تغییر مکان مطلق بام و نسبی طبقات، نحوه توزیع مفاصل پلاستیک، منحنی هیستریزس و همچنین برش پایه، بررسی شدند که نتایج آن در ادامه به تفصیل آمده است.

### ۵-۱- تغییر مکان مطلق و نسبی

برای بررسی تغییر مکان بیشینه بام، نمودار تاریخیچه تغییر مکان مطلق طبقه که محور افقی آن زمان و محور قائم تغییر مکان می‌باشد، ترسیم شده است. در شکل ۱۰ نمودار مزبور برای زلزله Chalfant (1986) و برای قاب ۳ طبقه فولادی خمشی بدون میراگر و با میراگر و ضریب توانی ۱ و ۰/۲۵ نشان داده شده است. همانطور که در نمودار قابل مشاهده است، افزایش میرایی باعث کاهش تغییر مکان حداکثر طبقات می‌گردد.

شکل ۱۰- تاریخیچه جابه‌جایی بام مدل ۳ طبقه با میراگر DEX=1 و

NDEX=0.25 و بدون میراگر تحت زلزله Chalfant

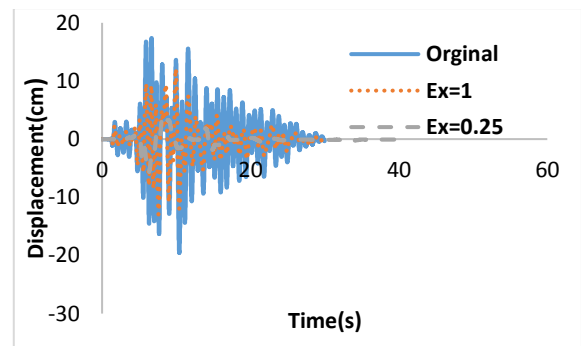
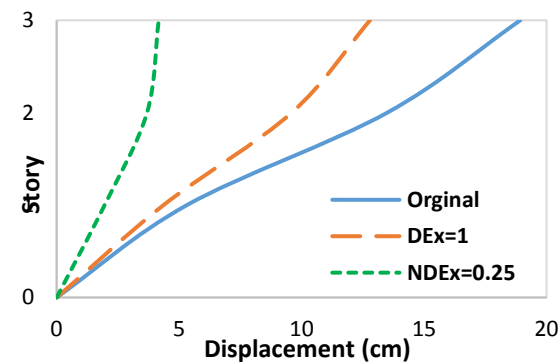


Fig 10. History of a 3-story model roof displacement with DEX = 1 and NDEX = 0.25 dampers and without dampers under Chalfant earthquake

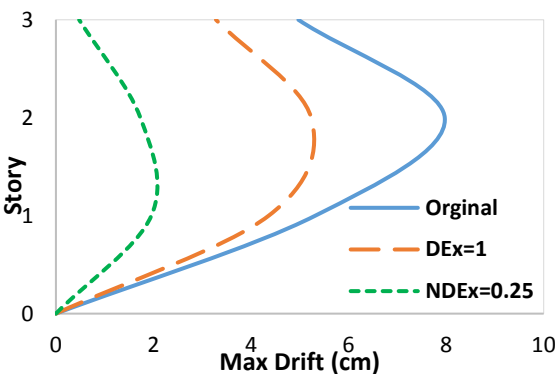
در شکل ۱۱-الف نمودار تغییر مکان مطلق طبقات برای قاب خمشی ۳ طبقه فولادی نشان داده شده است. همانطور که در نمودار مشخص است، افزایش میرایی باعث شده تا در حالت وجود میراگر ویسکوز DEX=1، ۶/۱ سانتی‌متر و در حالت وجود میراگر ویسکوز NDEX=0.25، ۱۴/۷ سانتی‌متر، کاهش در تغییر مکان بیشینه ایجاد شود. همچنین در شکل ۱۱-ب نیز نمودار تغییر مکان جانبی نسبی در برابر زلزله برای قاب ۳ طبقه خمشی فولادی نشان داده شده است. از این نمودار می‌توان نتیجه گرفت، افزایش میرایی باعث کاهش تغییر مکان نسبی طبقات شده و بیشترین تغییر مکان نسبی در طبقات میانی و در حالت وجود میراگر ویسکوز DEX=1، ۵/۷ سانتی‌متر و در حالت وجود میراگر ویسکوز NDEX=0.25، ۲/۰۶ سانتی‌متر اتفاق افتاده است و بطور کلی نشان از کاهش مطلوب تغییر مکان‌های مطلق و نسبی قاب ۳ طبقه دارای میراگر نسبت به قاب بدون میراگر دارد.

شکل ۱۱- (الف) تغییر مکان مطلق - (ب) تغییر مکان نسبی قاب ۳

طبقه



(الف)



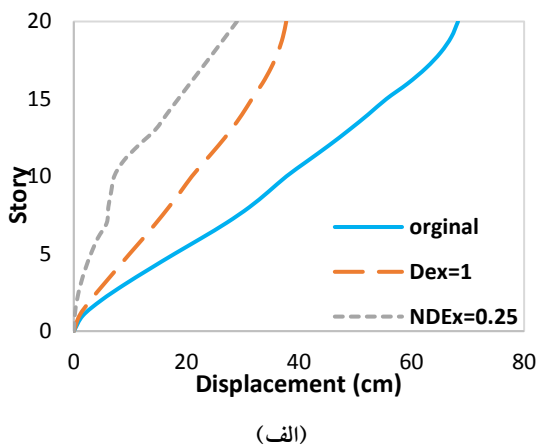
(ب)

Fig 11. (a) Absolute displacement - (b) Relative displacement of a 3-stories frame



همچنین در شکل ۱۳-الف مقدار حداکثر طبقه بام برای قاب ۲۰ طبقه فولادی نشان داده شده است. بر اساس این نمودار، افزایش میرایی باعث شده تا در حالت  $DEX=1$ ،  $30/52$  سانتی‌متر و در حالت  $NDEX=0.25$ ،  $40/34$  سانتی‌متر کاهش تغییر مکان بیشینه در طبقه بام ایجاد شود. همچنین مطابق شکل ۱۳-ب، افزایش میرایی باعث کاهش تغییر مکان نسبی طبقات شده و بیشترین تغییر مکان نسبی در طبقات میانی و در حالت  $DEX=1$ ،  $2/12$  سانتی‌متر و در حالت  $NDEX=0.25$ ،  $2/88$  سانتی‌متر می‌باشد. در حالی که، در قاب ۲۰ طبقه تغییر مکان نسبی در صورت استفاده از میراگر ویسکوز غیرخطی تنها تا طبقات میانی موجب کاهش شده و پس از آن میراگر خطی بر کاهش تغییر مکان نسبی مؤثر بوده است. با توجه به این که قاب ۲۰ طبقه به عنوان یک سازه بلند مرتبه بیش از دو قاب دیگر وارد ناحیه پلاستیک شده، با افزایش شدت زمین لرزه سرعت حرکت نیز افزایش می‌یابد. بنابراین میراگر غیرخطی با افزایش سرعت حرکت دو انتهای خود مواجه می‌گردد که موجب کاهش اثر روی تغییر مکان مطلق و نسبی قاب و اتلاف انرژی کمتری نیز می‌شود. بنابراین در طبقات یازدهم و بالاتر، میراگر  $DEX=1$  مؤثرتر از  $NDEX=0.25$  بوده است. همچنین در شکل ۱۴ درصد کاهش حداکثر تغییر مکان‌های نسبی و مطلق قاب-های ۳، ۹ و ۲۰ طبقه در حالت با و بدون میراگر، و در جدول ۸ نیز حداکثر مقادیر تغییر مکان‌های نسبی و مطلق گزارش شده است.

شکل ۱۳- (الف) تغییر مکان مطلق- (ب) تغییر مکان نسبی قاب ۲۰ طبقه



در شکل ۱۲-الف نمودار تغییر مکان بیشینه طبقه بام برای قاب ۹ طبقه خمشی فولادی نشان داده شده است. با توجه به شکل، افزایش میرایی باعث شده تا در حالت  $DEX=1$ ،  $14/35$  سانتی‌متر و در حالت  $NDEX=0.25$ ،  $33/35$  سانتی‌متر کاهش تغییر مکان حداکثر در طبقه ۹ ایجاد شود. همچنین در شکل ۱۲-ب افزایش میرایی باعث کاهش تغییر مکان نسبی طبقات شده و بیشترین تغییر مکان نسبی در طبقات میانی مشاهده شده و در حالت  $DEX=1$ ،  $4/16$  سانتی‌متر و در حالت  $NDEX=0.25$ ،  $1/62$  سانتی‌متر اتفاق افتاده است. بنابراین حالت  $NDEX=0.25$  دارای تغییرات جابجایی نسبی نرم‌تری می‌باشد. همچنین عملکرد مناسب میراگر غیرخطی با بررسی اختلاف حداکثر تغییر مکان مطلق و نسبی مدل  $NDEX=0.25$  نسبت به  $DEX=1$  برای قاب ۹ طبقه که به ترتیب برابر با  $18/99$  و  $3/58$  سانتی‌متر بوده، مشخص است.

شکل ۱۲- (الف) تغییر مکان مطلق- (ب) تغییر مکان نسبی قاب ۹ طبقه

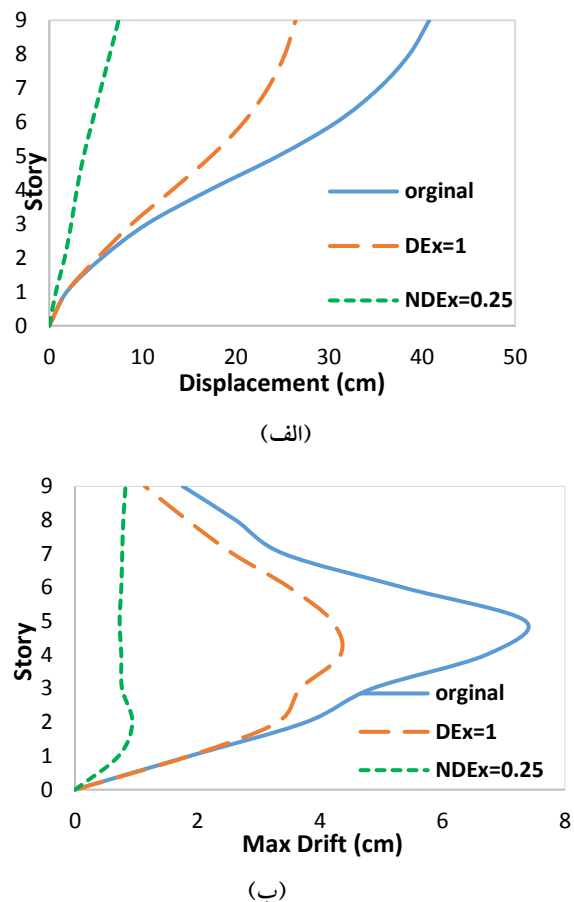


Fig 12. (a) Absolute displacement - (b) Relative displacement of a 9-stories frame



NDEx=0.25 موجب کاهش ۷۸، ۸۵ و ۹۰ درصدی تغییر مکان مطلق به ترتیب در قاب‌های ۳، ۹ و ۲۰ طبقه می‌شود. ضمن این- که استفاده از میراگر NDEx=0.25 نیز نسبت به میراگر DEx=1 باعث کاهش ۶۷، ۷۹ و ۸۴ درصدی به ترتیب در تغییر مکان مطلق قاب‌های ۳، ۹ و ۲۰ طبقه شده است. به بیان دیگر، استفاده از میراگر NDEx=0.25 نسبت به میراگر DEx=1 موجب کاهش مطلوب در تغییر مکان مطلق شده است. همچنین در شکل ۱۴-ب درصد کاهش تغییر مکان نسبی قاب-های مختلف نشان داده شده است. با توجه به این شکل می-توان نتیجه‌گیری نمود که به کار بردن میراگر خطی DEx=1 موجب کاهش ۳۴، ۴۳ و ۸۵ درصدی و میراگر NDEx=0.25 نیز موجب کاهش ۹۰، ۹۰ و ۴۰ درصدی تغییر مکان نسبی به- ترتیب در قاب‌های ۳، ۹ و ۲۰ طبقه می‌گردد. همانطور که در این نمودار مشخص است، با افزایش تعداد طبقات به خصوص در قاب‌های بلند مرتبه، اثر میراگر NDEx=0.25 نسبت به میراگر خطی در کاهش پاسخ قاب و به خصوص در تغییر مکان نسبی، کاهش قابل ملاحظه‌ای دارد که رسیدن اعضای قاب به حالت پلاستیک با افزایش شدت زلزله و همزمان با آن افزایش سرعت حرکت دو انتهای میراگر و کم اثر شدن میراگر غیرخطی، از عمده دلایل آن می‌باشد.

جدول ۸- حداکثر تغییر مکان نسبی و مطلق طبقات قاب ۳، ۹ و ۲۰ طبقه (سانتیمتر)

20-stories	9-stories	3-stories	Frame	Absolute Displacement
68.3	40.8	18.9	Original	
37.7	26.4	12.8	DEx=1	
28.9	7.4	4.2	NDEx=0.25	
2.9	7.8	7.9	Original	Relative Displacement
2.1	4.2	5.7	DEx=1	
2.9	1.6	2.1	NDEx=0.25	

Table 8. Maximum of relative and absolute displacement of 3, 9 and 20-stories frame (cm)

#### ۵-۲- توزیع مفاصل پلاستیک

با بررسی توزیع مفاصل پلاستیک در اعضای قاب‌های ۳، ۹ و ۲۰ طبقه در سطوح مختلف خرابی مشخص می‌شود که ایمنی جانی رعایت شده و وجود میراگر غیرخطی از ایجاد خرابی در اعضای سازه‌ای جلوگیری نموده است. مفاصل

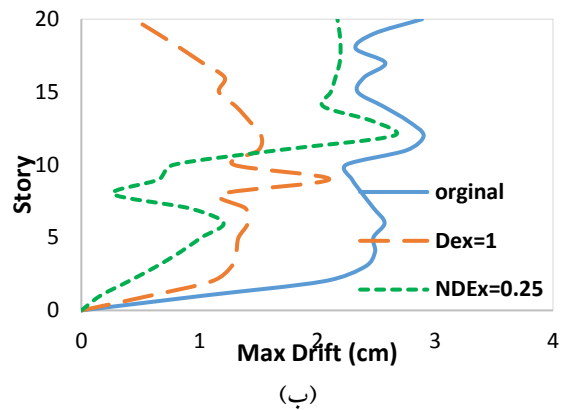


Fig 13. (a) Absolute displacement - (b) Relative displacement of a 20-stories frame

شکل ۱۴- درصد کاهش (الف) تغییر مکان مطلق (ب) تغییر مکان نسبی قاب‌های ۳، ۹ و ۲۰ طبقه بدون میراگر نسبت به DEx=1 و NDEx=0.25

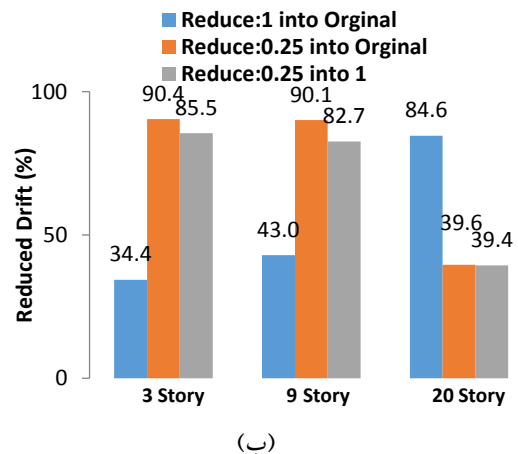
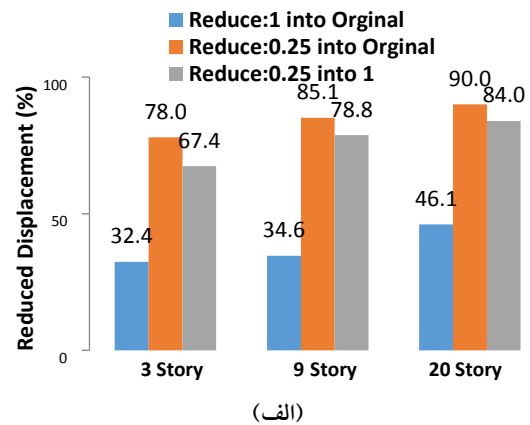


Fig 14. Percentage of reduction: (a) Absolute displacement- (b) Relative displacement of 3, 9 and 20-stories frames without damper relative to DEx = 1 and NDEx = 0.25

براساس شکل ۱۴-الف استفاده از میراگر خطی DEx=1، موجب کاهش ۳۲، ۳۵ و ۴۶ درصدی و میراگر غیرخطی

### ۵-۳- منحنی هیستریزیس

میزان انرژی مستهلک شده توسط مهاربند دارای میراگر را می‌توان با استفاده از منحنی هیستریزیس بررسی نمود. استهلاک انرژی برابر با قدرمطلق مساحت بسته نمودار بار-تغییر مکان می‌باشد، در شکل ۱۶ منحنی هیستریزیس میراگرهای  $DEX=1$  و  $NDEX=0.25$  طبقه اول قاب‌های ۳، ۹ و ۲۰ طبقه فولادی خمشی برای شتاب نگاشت  $Chalfant(1986)$  ترسیم شده است. بر اساس شکل ۱۶-الف، برای قاب ۳ طبقه چرخه هیستریزیس میراگر خطی  $DEX=1$  به صورت نسبتاً تخت بوده و نشان‌دهنده تغییر مکان زیاد و تحمل نیروی کمتر است و در مقابل نیز میراگر غیرخطی  $NDEX=0.25$  با سطح زیر منحنی بیشتر خود، تا حد زیادی مؤثرتر در جذب انرژی بوده است. بر اساس شکل ۱۶-ب برای قاب ۹ طبقه عملکرد جذب انرژی توسط میراگر  $NDEX=0.25$  به طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از میراگر  $DEX=1$  می‌باشد. با بررسی شکل ۱۶-ج می‌توان به کاهش محسوس جذب انرژی میراگر  $NDEX=0.25$  در قاب ۲۰ طبقه اذعان نمود و دلیل آن نیز افزایش سرعت حرکت سازه با افزایش شدت زلزله و به دنبال آن، کاهش نسبی ضریب میراگر غیرخطی نسبت به میراگر خطی می‌باشد. بطور کلی می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از میراگر غیرخطی در قاب‌های کوتاه و میان مرتبه (در این مطالعه ۳ و ۹ طبقه)، موجب افزایش عملکرد لرزه‌ای و جذب مطلوب انرژی نسبت به میراگر خطی شده و از سوی دیگر نیز، میراگر خطی در قاب‌های بلند مرتبه دارای عملکرد بهینه و مناسب‌تری می‌باشند.

در جدول ۱۰ مقادیر انرژی جذب شده توسط میراگرهای خطی و غیرخطی گزارش شده است. با بررسی مقادیر انرژی جذب شده در قاب‌های ۳، ۹ و ۲۰ طبقه مشخص می‌گردد که با افزایش تعداد طبقات، اثر میراگرها به وضوح کاهش یافته به نحوی که برای میراگر  $DEX=1$ ، قاب‌های ۹ و ۲۰ طبقه نسبت به ۳ طبقه به ترتیب ۶۸ و ۷۹ درصد کاهش جذب انرژی داشته اند و این کاهش برای میراگر  $NDEX=0.25$  به ترتیب ۲۵ و ۹۵ درصد بوده است. همچنین میزان جذب انرژی زلزله برای میراگر غیرخطی  $NDEX=0.25$  نسبت به میراگر خطی  $DEX=1$  در قاب کوتاه مرتبه ۳ طبقه با افزایش ۷/۵ درصدی و نیز در قاب ۹ طبقه با افزایش قابل ملاحظه ۱۵۷ درصدی همراه بوده است.

پلاستیک تشکیل شده در قاب ۳ طبقه با و بدون میراگر تحت شتاب نگاشت  $Chalfant(1986)$  در شکل ۱۵ نمایش داده شده و برای دیگر قاب‌ها نیز دارای نتایج مشابهی است. تعداد مفاصل پلاستیک تشکیل شده برای هر کدام از سطوح عملکرد به تفکیک قاب‌های مورد بررسی تحت شتاب نگاشت  $Chalfant(1986)$  در جدول ۹ آمده است. مطابق این جدول، وجود میراگر غیرخطی در سازه‌های ۳ و ۹ طبقه بدون تشکیل مفصل پلاستیک و در سازه ۲۰ طبقه موجب تشکیل تنها ۲۰ مفصل پلاستیک تا سطح عملکرد قابلیت استفاده‌ی بی‌وقفه شده است.

جدول ۹- تعداد مفاصل پلاستیک تشکیل شده

20-stories	9-stories	3-stories	BP	Frame
56	37	10	IO	Original
75	24	14	LS	
0	0	0	CP	
49	27	14	IO	DEX=1
0	2	7	LS	
0	0	0	CP	
20	0	0	IO	NDEX=0.25
0	0	0	LS	
0	0	0	CP	

Table 9. Number of plastic hinges formed

شکل ۱۵- توزیع مفاصل پلاستیک در قاب ۳ طبقه تحت زلزله  $Chalfant$ : (الف) بدون میراگر - (ب)  $DEX=1$  - (ج)  $NDEX=0.25$

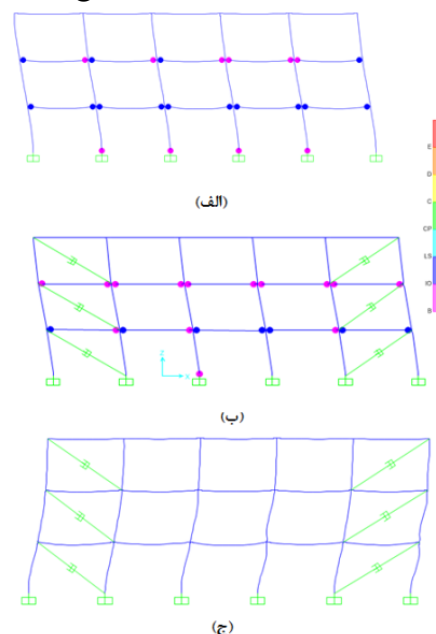
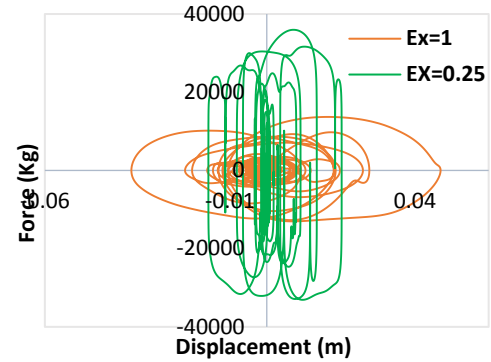
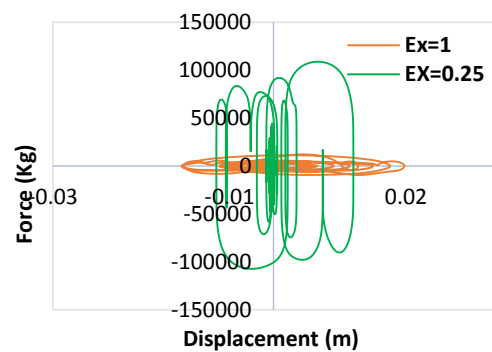


Fig 15. Distribution of plastic hinges in 3-stories frame under Chalfant earthquake: (a) without dampers- (b)  $DEX = 1$  - (c)  $NDEX = 0.25$

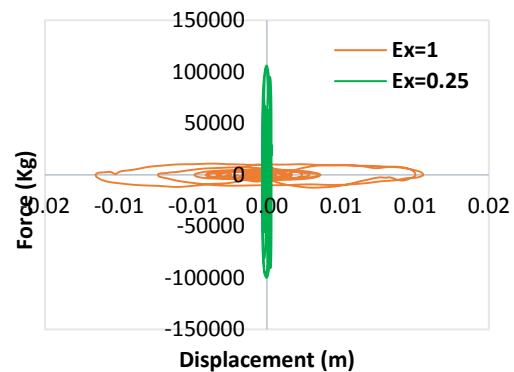
شکل ۱۶- منحنی هیستریزس میراگر  $DEX=1$  و  $NDEX=0.25$  طبقه اول تحت زلزله Chalfant: (الف) طبقه ۳- (ب) طبقه ۹- (ج) طبقه ۲۰



(الف)



(ب)



(ج)

Fig 16. Dampener hysteresis curve  $DEX = 1$  and  $NDEX = 0.25$  First floor of frames under Chalfant earthquake: (a) 3-stories- (b) 9-stories - (c) 20-stories

جدول ۱۰- انرژی جذب شده توسط میراگرها (Kg.m)

20-stories	9-stories	3-stories	Damper
869.96	1364.26	4325.60	$DEX=1$
221.34	3504.98	4647.89	$NDEX=0.25$
-74	157	7.5	Percentage of increase

Table 10. Energy absorbed by dampers (Kg.m)

#### ۴-۵- برش پایه

مقادیر برش پایه مدل‌ها در جدول ۱۱ برای قاب‌های ۳، ۹ و ۲۰ طبقه برای نسبت میرایی‌های مختلف آمده است. مطابق جدول ۹ برش پایه قاب ۳ طبقه با میراگر  $NDEX=0.25$ ، ۲۱٪ نسبت به قاب ۳ طبقه با میراگر  $DEX=1$  کاهش داشته است و این موارد برای قاب ۹ و ۲۰ طبقه به ترتیب، برابر ۱۰٪ و ۱٪ بوده است.

جدول ۱۱- برش پایه قاب‌های ۳، ۹ و ۲۰ طبقه بدون میراگر و با میراگرهای  $DEX=1$  و  $NDEX=0.25$  (Kg)

20-stories	9-stories	3-stories	Damper
273357	173526	160127	Original
225980	144041	141069	$DEX=1$
223066	130019	111060	$NDEX=0.25$

Table 11. Base shear of 3, 9 and 20-stories frames without dampers and with dampers  $DEX = 1$  and  $NDEX = 0.25$  (Kg)

شکل ۱۷- درصد کاهش برش پایه قاب‌های ۳، ۹ و ۲۰ طبقه برای میراگرهای  $DEX=1$  و  $NDEX=0.25$

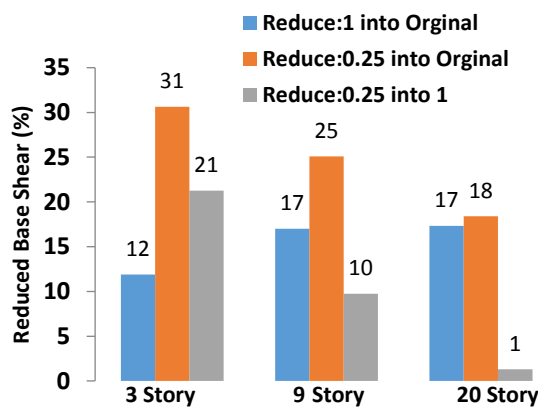


Fig 17. Percentage of reduction of 3, 9 and 20-stories frame for  $DEX = 1$  and  $NDEX = 0.25$  dampers

درصد کاهش برش پایه برای حالات مختلف استفاده از میراگرها در شکل ۱۷ نیز نمایش داده شده که نشان می‌دهد، با افزایش تعداد طبقات اثر میراگر خطی  $DEX=1$  در کاهش برش پایه قاب‌ها از ۱۲ درصد در قاب ۳ طبقه به ۱۷ درصد در قاب‌های ۹ و ۲۰ طبقه افزایش یافته و تأثیر میراگر غیرخطی  $NDEX=0.25$  از ۳۱ درصد در قاب ۳ طبقه تا ۲۵ و ۱۸ درصد در قاب‌های ۹ و ۲۰ طبقه کاسته می‌شود. همچنین استفاده از

میراگر  $NDEx=0.25$  نسبت به  $DEX=1$  با افزایش تعداد طبقات اثر کمتری روی کاهش برش پایه در سازه دارد به صورتی که اثر کاهشی میراگر غیرخطی نسبت به خطی در قاب‌های ۳، ۹ و ۲۰ طبقه به ترتیب ۲۱، ۱۰ و ۱ درصد بوده است.

#### ۶- نتیجه گیری

در این مطالعه به منظور بررسی اثر استفاده از میراگرهای ویسکوز در عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌ها، قاب‌های خمشی فولادی با ۳، ۹ و ۲۰ طبقه انتخاب و در سه حالت بدون میراگر، با میراگر ویسکوز خطی و ضرایب توانی ۱ و نیز با میراگر ویسکوز غیرخطی و ضریب توانی ۰/۲۵، تحت تحلیل تاریخیچه زمانی قرار گرفتند. سپس پاسخ‌های لرزه‌ای شامل حداکثر تغییر مکان مطلق طبقات، حداکثر تغییر مکان نسبی طبقات، توزیع مفاصل پلاستیک، منحنی هیستریزس و برش پایه سازه‌ها استخراج شدند. بررسی نتایج نشان داد:

- استفاده از میراگر ویسکوز باعث کاهش پاسخ‌ها و کاهش خرابی قاب گردیده هر چند نوع میراگر در میزان کاهش مؤثر بوده است. به این ترتیب که کاهش حداکثر تغییر مکان مطلق قاب‌های ۳، ۹ و ۲۰ طبقه برای میراگر غیرخطی نسبت به حالت خطی به میزان ۶۷، ۷۹ و ۸۴ درصد بوده است. هر چند با افزایش تعداد طبقات، وجود میراگر غیرخطی نسبت به میراگر خطی اثر کمتری در کاهش تغییر مکان مطلق دارد.

- بیشینه تغییر مکان نسبی قاب‌ها برای میراگر غیرخطی و نیز میراگر خطی نسبت به حالت بدون میراگر به وضوح کاهش داشته است. همچنین کاهش بیشینه تغییر مکان نسبی قاب‌های کوتاه و میان مرتبه مانند قاب‌های ۳ و ۹ طبقه برای میراگر غیرخطی بیشتر از میراگر خطی بوده ولی با افزایش تعداد طبقات به خصوص در قاب‌های بلند مرتبه اثر میراگر غیرخطی به وضوح کاهش می‌یابد بطوری‌که این کاهش بترتیب برابر با ۸۶، ۸۳ و ۴۰ درصد برای قاب‌های ۳، ۹ و ۲۰ طبقه بوده است.

- استفاده از میراگر غیرخطی در قاب‌های کوتاه و میان مرتبه (در این مطالعه ۳ و ۹ طبقه) با توجه به منحنی هیستریزس و میزان جذب انرژی آن، نسبت به میراگر خطی با ۷/۵ و ۱۵۷ درصد، دارای عملکرد بهینه‌تری بوده و این نوع میراگر نسبت به میراگر خطی برای قاب ۲۰ طبقه، عملکرد مطلوبی ندارد و کاهش ۷۴ درصدی داشته است.

- استفاده از میراگرهای غیرخطی نسبت به میراگرهای خطی به طور قابل ملاحظه‌ای در کاهش خرابی سطح عملکرد ایمنی جانی مؤثر بوده و موجب کاهش چشمگیر تعداد مفاصل پلاستیک در سطح عملکرد قابلیت استفاده بی‌وقفه شده است.

- همچنین برش پایه قاب‌های ۳ و ۹ طبقه با میراگر غیرخطی نسبت به میراگر خطی کاهش حدود ۲۱ و ۱۰ درصد داشته و نشان دهنده اثر مثبت میراگر غیرخطی در این مورد بر قاب‌های کوتاه و میان مرتبه می‌باشد و در عین حال اثر میراگرهای غیرخطی بر قاب‌های بلند مرتبه چندان محسوس نبوده است.

#### مراجع

1. Jeary A.P. 1996 The description and measurement of nonlinear damping in structures. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 59(2-3), 103-114.
2. Ras A., & Boumechra N. 2014 Study of nonlinear fluid viscous dampers behaviour in seismic steel structures design. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39, 8635-8648.
3. Martinez-Rodrigo M., & Romero M.L. 2003 An optimum retrofit strategy for moment resisting frames with nonlinear viscous dampers for seismic applications. *Journal of Engineering Structure*, 25(7), 913-925.
4. Altieri D., Tubaldi E., De Angelis M., Patelli E., & Dall'Asta A. 2017 Reliability-based optimal design of nonlinear viscous dampers for the seismic protection of structural systems, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16, 963-982.
5. Silwal B., Michael R.J., & Ozbulut O.E. 2015 A super elastic viscous damper for enhanced seismic performance of steel moment frames. *Engineering Structures*, 105, 152-164.
6. Lin J.L., Liu T.H., & Tsai K.C. 2015 Real-valued modal response history analysis for asymmetric-plan buildings with nonlinear viscous dampers. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 77, 97-110.
7. Silwal B., Ozbulut O.E., & Michael R.J. 2016 Seismic collapse evaluation of steel moment resisting frames with super elastic viscous damper. *Journal of Constructional Research*, 126, 26-36.
8. Brodersen M.L., Ou G., Hogsberg J., & Shirley Dyke S. 2016 Analysis of hybrid viscous damper

- estimation of steel MR frames. *Journal of Structural and Construction Engineering*, 4, 53-68. (in Persian).
16. FEMA-273. 1997 NEHRP Guidelines for Seismic Rehabilitation of Buildings. *Building Seismic Safety Council, FEMA*, Washington, D.C.
  17. Agrawal A.K. & Amjadian M. 2015 Seismic component devices. *Department of civil and environmental engineering*, The City College of the City University of New York, 160 Convent Ave., New York, NY 10031.
  18. Federal Emergency Management Agency (FEMA). 2014 HAZUS-MH 2.1 Technical Manual: Earthquake Model. Washington, DC: FEM.
  19. No, S., 2800 2005 Iranian Code of Practice for Seismic Resistant Design of Buildings, 4th Revision. *Building and Housing Research Center, Iran*.
  20. American Institute of Steel Construction (AISC). 2010 AISC Seismic. *Seismic provisions for structural steel buildings*, Chicago.
  21. PEER Strong Motion Database. <http://peer.berkeley.edu>.
  22. Ras A., & Boumechra N. 2016 Seismic energy dissipation study of linear fluid viscous dampers in steel structure design. *Alexandria Engineering Journal*, 55(3), 2821-2832.
  9. Shariati A., kamgar R., & Rahgozar R. 2020 Optimum layout of nonlinear fluid viscous damper for improvement the responses of tall buildings. *International Journal of Optimization in Civil Engineering*, 10(3), 411-431.
  10. Santos-Santiago M.A, Ruiz S.E., & Valenzuela-Beltrán F. 2020 Influence if higher modes of vibration on the seismic response of building with linear and nonlinear viscous dampers. *Journal of Earthquake Engineering*, 1-23.
  11. Kookalani S., Shen D. 2020 Effect of fluid viscous damper parameters on the seismic performance. *Journal of Civil Engineering and Materials Application*, 4(3): 141-153.
  12. Salehi S., Ghobadi M.S. 2020 Seismic resilient bracing structure equipped with hybrid device at base. *Soil Dynamic and Earthquake Engineering*, 138.
  13. Pineda A.C., Amortegui L.F., & Chesi C. 2019 Use of viscous fluid dampers for the improvement of the seismic response of RC structures. *Vibroengineering Procedia*, 23, 87-92.
  14. Rezvani F.H., Yousefi A.M., & Ronagh H.R. 2015 Effect of span length on progressive collapse behaviour of steel moment resisting frames. *Structures*, 3, 81-89.
  15. Esmaeilabadi R., & Bahar O. 2017 Improving performance of the direct displacement based design method with improving yield displacement by realtime hybrid simulations. *Engineering Structures*, 126, 675-688.

# Comparison of seismic behavior of steel moment frames equipped with linear and nonlinear viscosity dampers under near-fault earthquakes

Mansour Bagheri<sup>1</sup>, Seyed Abbas Hosseini<sup>2</sup>, Amin Vedad<sup>3</sup>

1. Assistant Professor, Civil Engineering Department, Birjand University of Technology, Birjand, Iran
2. Assistant Professor, Faculty of Technology and Mining, Yasouj University, Choram, Iran
3. M.Sc. of Structural Engineering, Civil Engineering Department, Beat Institute of Higher Education, Kerman, Iran

## ABSTRACT

The displacement-based design method in structural design codes, in which displacement is considered a criterion for evaluating the structure, has been accepted due to the dependence of failure on displacement more than forces, overcoming the inherent shortcomings of force-based design methods. On the other hand, different levels and states can be defined concerning structures' performance. In the functional state of immediate occupancy, the relative lateral displacement due to cracking or plastic behavior does not remain in the structure. The structural members' stiffness and strength do not change fundamentally, and microscopic cracks are created in the structural members and façade. In the second case, i.e., life safety, some stiffness, and strength will be lost in all classes, relative deformation due to plastic behavior in the structure will be observed, and the risk of loss of life will be slightly higher. At the performance level, the collapse threshold remains in the members of structures of low stiffness and strength to withstand lateral loads, but the columns and load-bearing walls maintain their function, the relative deformations are high, and the structure is likely to collapse due to aftershocks. Due to decreased energy caused by earthquakes, dampers with passive control systems are installed in certain parts of the structure and absorb a relatively large part of the energy entering the structure under different mechanisms, and as a result, the structure does not suffer severe damage. After the Northridge and Kobe earthquakes, extensive laboratory studies were conducted to strengthen and increase the joints' ductility, and many modified joints were proposed. Extensive applied structural studies have been conducted on dampers' seismic behavior as one of the advanced tools of passive structural control systems due to earthquake energy dissipation. This work compares the effects of linear and nonlinear viscous dampers on the seismic behavior of 3, 9, and 20-stories steel moment frames, and the structural seismic responses are discussed. In linear dampers, the axial force is obtained by multiplying the damping coefficient ratio at the relative speed of the damper's two ends, and in the nonlinear state, the relative speed of the damper is between 0.2 and 1, in which 0.25 is used in the current study. The results showed that viscous dampers' implementation generally reduced the responses and decreased the structural damage during the earthquake. Absolute displacement of structural models in nonlinear dampers compared to linear ones has decreased with an increasing number of stories, but for maximum relative displacement with the increasing number of stories, nonlinear dampers had a more negligible effect. Due to the hysteresis extracted, nonlinear dampers in short and intermediate structures have more energy loss, which is significantly reduced in high damping structures. The plastic hinge distribution for these dampers has eliminated the failure LS at the life safety performance level. The base shear of 3, 9, and 20 story frames with a nonlinear damper is significantly reduced compared to a linear damper and shows the nonlinear damper's positive effect, especially on high-rise structural frame models.

**Keywords:** steel moment frame, viscose damper, nonlinear time history analysis, plastic hinge, base shear.