



## بررسی تاثیر استفاده از میراگر ویسکوز در فاصله درز انقطاع میان دو قاب بتنی با تعداد دهانه متفاوت

سجاد محمدیان آبی<sup>۱\*</sup>

<sup>۱\*</sup> دانشجوی دکتری مهندسی عمران - سازه، گروه مهندسی عمران، دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

(sajjadmohammadian90@yahoo.com)

(تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۴/۸، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۹/۱۳)

### چکیده

فاصله بین دو ساختمان در مناطق شهری درز انقطاع نامیده می‌شود. عدم وجود این درز و یا عدم رعایت مناسب این فاصله باعث برخورد دو ساختمان به هنگام وقوع زلزله‌های شدید می‌شود. در چنین مواردی استفاده از میراگرهای ویسکوز مفید به نظر می‌رسد. در این تحقیق دو قاب ۴، ۸ طبقه با سیستم خمشی بتنی متوسط انتخاب شد. جهت ایجاد رفتار نامتقارن سازه سمت چپ همواره با ۲ دهانه و سازه سمت راست با تعداد دهانه‌های ۳ و ۴ و ۵ مدل شد. مدل‌ها با توجه به آیین‌نامه‌های موجود طراحی گردید. کلیه مدل‌ها یکبار با درز انقطاع و بار دیگر با میراگر ویسکوز در وسط درز انقطاع مدل شد. سپس تحلیل دینامیکی غیرخطی با هفت شتاب‌نگاشت بر روی تمامی سازه‌ها صورت گرفت و نتایج بدست آمده از این تحلیل با هم مقایسه گردید. در نهایت مشخص شد که وجود میراگر باعث کاهش پاسخ‌هایی همچون جابجایی و دررفت طبقات می‌شود.

### کلمات کلیدی

میراگر ویسکوز، درز انقطاع، تحلیل دینامیکی غیرخطی، جذب انرژی.



# Study of using Effects of Viscous Dampers in the Distance of Expansion Joint between Two Concrete Frames with Different Insets

Sajjad Mohammadian Abi <sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup> Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

(sajjadmohammadian90@yahoo.com)

(Date of received: 28/06/2020, Date of accepted: 03/12/2020)

## ABSTRACT

The distance between two buildings in urban areas is called expansion joint. The lack of this distance or lack of proper noticing about this distance makes the clash of two buildings when a terrible earthquake happens. In such cases, using viscous dampers are effective. Two 8-4floor frames with normal concrete moment system were chosen. The left-hand structure is usually modeled with two insets and the right – hand structure is modeled with 3, 4, 5 insets. Models were designed with existing regulations. Once, all models are modeled with expansion joint and next time with viscose dampers in the middle of expansion joint. Then non-linear dynamic analysis with seven accelerometers is achieved on all structures and acquired results from this analysis were compared with each other. Finally, it was cleared that the existing of dampers caused the reduction of answers like movement and drift of floors.

## Keywords:

Viscous damper, Expansion joint, Nonlinear dynamic analysis, Energy absorption.



## ۱- مقدمه

ساختمان‌ها به دلایل کمبود فضا و مسائل اقتصادی در کنار هم با ارتفاع‌ها و سیستم‌های باربر جانبی متفاوت و سختی‌های مختلف و مسائل دیگر ساخته می‌شوند و همین امر باعث شده که ساختمان‌ها، پرپودها و رفتارهای متفاوتی در هنگام وقوع زلزله داشته باشند، که این امر با کم بودن فاصله ساختمان‌ها از هم اهمیت پیدا می‌کند. جلوگیری یا کنترل رفتار ساختمان‌ها در هنگام زلزله، با این به این مطلب که احتمال نداشتن رفتاری یکسان و هم‌جهت و برخورد سازه‌ها و پدیده **Pounding** بسیار زیاد است، اهمیت قابل توجهی پیدا می‌کند. یکی از نقص‌های موجود که در اغلب ساختمان‌های شهرهای کشور دیده می‌شود، عدم رعایت فاصله کافی میان دو ساختمان همسایه می‌باشد. گاهی این مسئله به دلیل استفاده حداکثر از زمین بوجود می‌آید، لذا در هنگام زلزله‌های شدید پدیده ضربه زدن ساختمان‌های مجاور به یکدیگر در مورد ساختمان‌های شهری که عموماً فاصله کافی از یکدیگر ندارند، رخ می‌دهد. این پدیده باعث اعمال نیرویی چندین برابر بارگذاری زلزله آیین‌نامه‌ای شده و در نتیجه موجب تخریب‌های موضعی یا کلی در هر یک از سازه‌های مجاور می‌گردد. علت اصلی پدیده ضربه ارتعاش غیرهم‌فاز سازه‌های مجاور هم، ناشی از اختلاف بین مشخصات دینامیکی و هندسی (جرم، سختی و ارتفاع) سازه‌ها می‌باشد. با فرض فاصله مشخص ساختمان‌ها از یکدیگر هرچه این اختلاف در شکل ارتعاش بیشتر باشد، احتمال ضربه زدن آن‌ها به یکدیگر بیشتر خواهد بود. با پدید آمدن شهرهای بزرگ و نوین بعد از دوره صنعتی، و اهمیت حفظ سرمایه‌های انسانی، اجتماعی و مادی در شهرها و دسترسی بشر به مصالح مقاوم و رواج روش‌های مهندسی در ساخت و ساز و پدیداری روش‌های نوین طراحی سازه‌ها به عنوان مثال طراحی براساس احتمالات و لرزه‌سنجی و ارائه روش‌های نوین و موثر در مقاوم‌سازی و انباشت تجارب علمی در مقاوم‌سازی، عملاً بخش مهمی از مفاهیم و مبانی توسعه شهری به مقاوم‌سازی، استحکام بخشی و دوام و کارایی زیرساخت‌ها و عناصر سکونت‌گاه‌ها اختصاص یافت، لذا در این مطالعه به بررسی کاربرد یکی از ابزارهای نوین مقاوم‌سازی با عنوان میراگر ویسکوز در جلوگیری و کاهش اثرات مخرب ناشی از برخورد دو سازه پرداخته خواهد شد. در این پژوهش سازه‌های طراحی شده توسط آیین‌نامه مبحث نهم استفاده شده است، برای انجام تحلیل غیرخطی و مشاهده اثر واقعی زلزله بر روی این سازه‌ها از نشریه ۳۶۰ و استاندارد ۲۸۰۰ استفاده شده است [۱] و [۲] و [۳]. در این تحقیق دو قاب ۴، ۸ طبقه با سیستم خمشی بتنی متوسط انتخاب می‌شود. ارتفاع طبقات در تمامی مدل‌ها ۳ متر در نظر گرفته شده است. جهت ایجاد رفتار نامتقارن سازه سمت چپ همواره با ۲ دهانه و سازه سمت راست با تعداد دهانه‌های ۳ و ۴ و ۵ مدل می‌شود. مدل‌ها با توجه به آیین‌نامه‌های بارگذاری (مبحث ۶ و استاندارد ۲۸۰۰) تحلیل و با توجه به آیین‌نامه طراحی سازه‌های بتنی طراحی می‌گردد. در نهایت مدل ۲ دهانه در سمت چپ و مدل‌های ۳ و ۴ و ۵ دهانه در سمت راست مدل می‌شوند. کلیه مدل‌ها یکبار با درز انقطاع و بار دیگر با میراگر ویسکوز در وسط درز انقطاع مدل می‌شوند. سپس تحلیل دینامیکی غیرخطی با هفت شتابنگاشت بر روی تمامی سازه‌ها صورت می‌گیرد و نتایج بدست آمده از این تحلیل با هم مقایسه می‌گردد. باید توجه کرد که در انتخاب نوع شتاب‌نگاشت‌ها نوع خاک، مدت زمان لرزه شدید و دیگر پارامترهای مهم نیز به دقت مورد بررسی قرار گیرد زیرا حساسیت این تحلیل در انتخاب شتاب‌نگاشت‌ها می‌باشد.

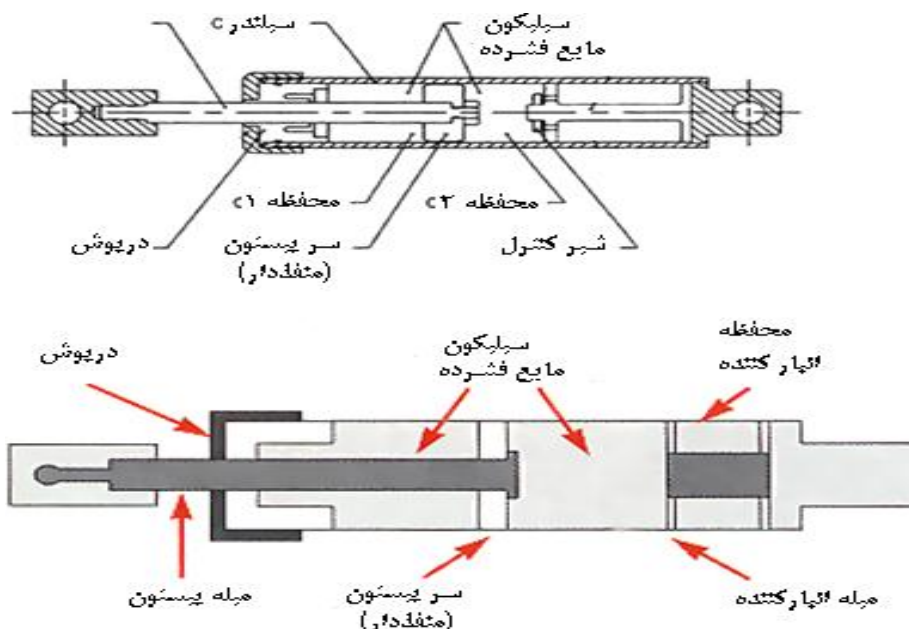


## ۲- میرایی ویسکوز

در بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها یکی از روش‌های کاهش نیروی جانبی ناشی از زلزله استفاده از میراگرها می‌باشد. در طی زلزله، انرژی زیادی به سازه اعمال می‌گردد. این انرژی به دو صورت جنبشی و پتانسیل (کرنشی) بر سازه اعمال می‌گردد که به طریقی جذب یا مستهلک می‌گردد. اگر سازه فاقد میرایی باشد ارتعاش آن پیوسته خواهد بود اما به دلیل وجود میرایی در مصالح، ارتعاش کاهش می‌یابد. انرژی ورودی ناشی از زلزله به سازه به صورت‌های معرفی شده در رابطه ۱ تبدیل می‌شود:

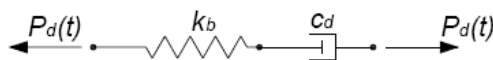
$$E = E_K + E_S + E_h + E_d \quad (1)$$

در رابطه فوق  $E$  انرژی ورودی زلزله،  $E_K$  انرژی جنبشی،  $E_S$  انرژی کرنشی قابل بازگشت در محدوده الاستیک،  $E_h$  مقدار انرژی اتلاف شده به واسطه تغییرشکل‌های غیرالاستیک و  $E_d$  مقدار انرژی مستهلک شده به وسیله میراگر الحاقی می‌باشد [۴]. در این میراگرها با استفاده از حرکت مایع لزج درون یک سیلندر، انرژی مستهلک می‌شود. میراگرهای ویسکوز به دلیل سادگی در نصب، قابلیت انطباق و هماهنگی با سایر اعضا و همچنین تنوع در ابعاد و اندازه‌های آن‌ها، کاربرد بسیاری در طراحی و مقاوم سازی پیدا کرده اند.



شکل ۱: جزئیات تیپ سیستم میراگر ویسکوز.

در سازه‌های با چند درجه آزادی (MDOF) بکار رفته از مدل تحلیلی ماکسول که در آن سختی و میرایی میراگر بصورت سری با یکدیگر مدل می‌شود استفاده شده است (شکل ۲)، که فنر نماینده سختی بوده که  $K_b$  مقدار سختی آن محسوب شده و  $C_d$  هم مقدار میرایی می‌باشد.



شکل ۲: مدل تحلیلی میراگر ویسکوز.

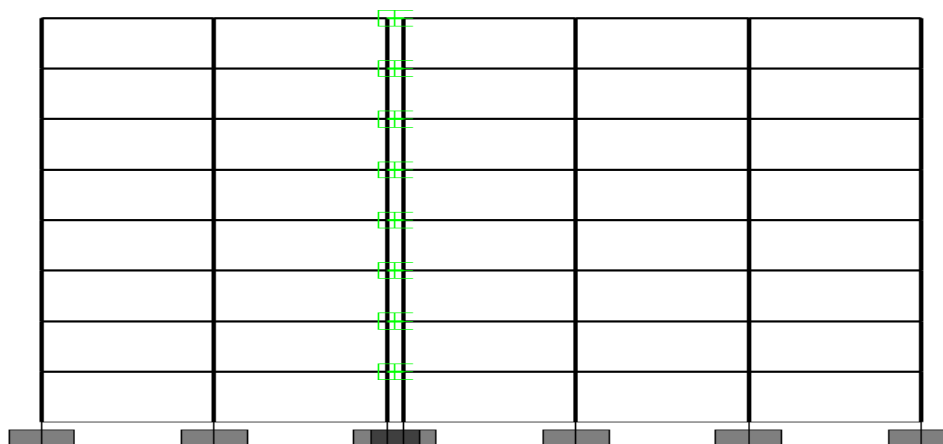
$K_b$ : مقدار سختی بادبندی  $C_d$ : مقدار میرایی  $P_d(t)$ : نیروی میراگر نیروی جذب شده توسط دمپر طبق رابطه زیر برابر است

با:

$$F = C \cdot V^N + K_b \Delta$$

(۲)

$F$ : نیروی میرایی است و  $C$ : یک ثابت اختیاری ( $C$  در طول بازه سرعت ثابت باقی می ماند) و  $V$ : سرعت می باشد  $\Delta$  جابجایی دو سر میراگر است.  $N$ : توانی است که می تواند بین  $0/3$  تا  $1/95$  تغییر کند ( $N$  در طول بازه سرعت ثابت باقی می ماند). یکی از موارد مهم در تحلیل دینامیکی غیرخطی رفتار چرخه‌ای مفاصل پلاستیک می باشد. از آنجایی که میراگر ویسکوالاستیک در سازه نیروی ناشی از زلزله را مستهلک می کند، اهمیت رعایت رفتار چرخه‌ای در آن دو چندان می شود. بنابراین از قابلیت N-LINK نرم افزار برای مدل سازی میراگرها استفاده می شود. در شکل (۳) قرار دادن میراگر ویسکوالاستیک در سازه در نرم افزار SAP به نمایش گذاشته شده است.



شکل ۳: قرار دادن میراگر ویسکوز در نرم افزار SAP.

جهت صحت سنجی در قسمت manual مربوط به نرم افزار SAP در example 6-007 نمونه‌ای از تست آزمایشگاهی مربوط به دانشگاه بوفالو است که این آزمایش در نرم افزار sap مدل شده و صحت انجام آن کنترل شده است. میرایی  $C$  برابر ۲۲۰ نیوتن ثانیه بر میلیمتر و سختی میراگر عددی بزرگ برابر ۱۰۰۰۰۰۰ نیوتن بر میلیمتر فرض می شود تا ترم جابجایی ناشی از سختی آن حذف شود و تنها لزجت میراگر در جذب انرژی آن نقش داشته باشد [۵].



### ۳- فرضیات مدلسازی و طراحی

در این تحقیق دو قاب ۴، ۸ طبقه با سیستم خمشی بتنی متوسط انتخاب می‌شود. فواصل بین دهانه‌ها ۵ متر می‌باشد. ارتفاع طبقات در تمامی مدل‌ها ۳ متر در نظر گرفته شده است. جهت ایجاد رفتار نامتقارن سازه سمت چپ همواره با ۲ دهانه و سازه سمت راست با تعداد دهانه‌های ۳ و ۴ و ۵ مدل می‌شود. مدل‌ها به صورت دوبعدی در نظر گرفته شده و وزن قاب با توجه به چشمه باربر آن محاسبه شده است. بار مرده و زنده گسترده بر روی تیرها مطابق مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ایران به ترتیب ۷۰۰ کیلوگرم بر متر مربع و ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مربع محاسبه شده است. سقف طبقات صلب فرض شده است. برای تیرها مقطع بتنی مستطیلی و برای ستون‌ها از مقاطع مربعی استفاده می‌شود و میلگرد مورد نیاز توسط نرم‌افزار طراحی می‌شودخواهد شد. ضریب رفتار قاب خمشی بتنی متوسط مطابق استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش برابر ۵ و ۷ است. خاک ساختگاه از نوع ۳ فرض شده است. ضریب بازتاب در ویرایش ۴ از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$B = B_1 N \quad (۳)$$

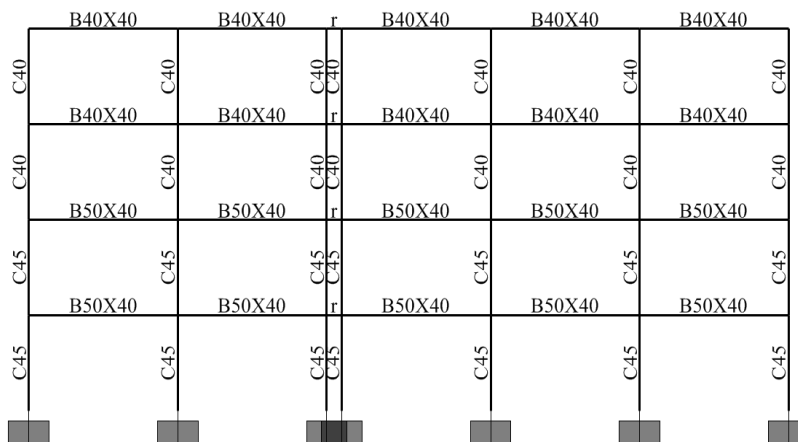
که در آن  $B_1$  ضریب بازتاب طبق ویرایش چهارم و  $N$  ضریب اصلاح بازتاب برابر مقدار زیر است:

$$\begin{aligned} N_{MAX} &= 1 & T < 0.5 \text{sec} \\ N_{MAX} &= \frac{0.7}{4 - T_s} (T - T_s) + 1 & 0.5 \text{sec} < T < 4 \text{sec} \\ N_{MAX} &= 1.7 & T > 4 \text{sec} \end{aligned} \quad (۴)$$

برای توزیع نیروی برش پایه  $V$  در ارتفاع، استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم به جای استفاده از نیروی شلاقی از پارامتر  $k$  مطابق رابطه زیر استفاده می‌کند:

$$F_i = \frac{W_i h_i^k}{\sum_{j=1}^n W_j h_j^k} V \quad (۵)$$

که در آن مقدار  $k$  برابر  $0.5T + 0.75$  فرض می‌شود. برای طراحی به روش حدی انجام می‌شود. برای طراحی مدل‌ها در از آیین‌نامه ACI-2005 و مبحث نهم مقررات ملی ساختمان مبحث استفاده شده است. کنترل تغییر مکان جانبی نسبی طبقات انجام می‌شود. ضوابط لرزه‌ای در طراحی اعضای بتنی رعایت می‌شود. ضریب ترک خوردگی تیرها و ستون‌ها به ترتیب ۰/۳۵ و ۰/۷ فرض می‌شود. در تمام مدل‌ها، کنترل نسبت تنش اعضا انجام شده و سازه‌ها تا حد امکان بهینه طراحی شده‌اند. در شکل ۴ به عنوان نمونه مقاطع طراحی شده برای مدل ۴ طبقه نشان داده شده است.

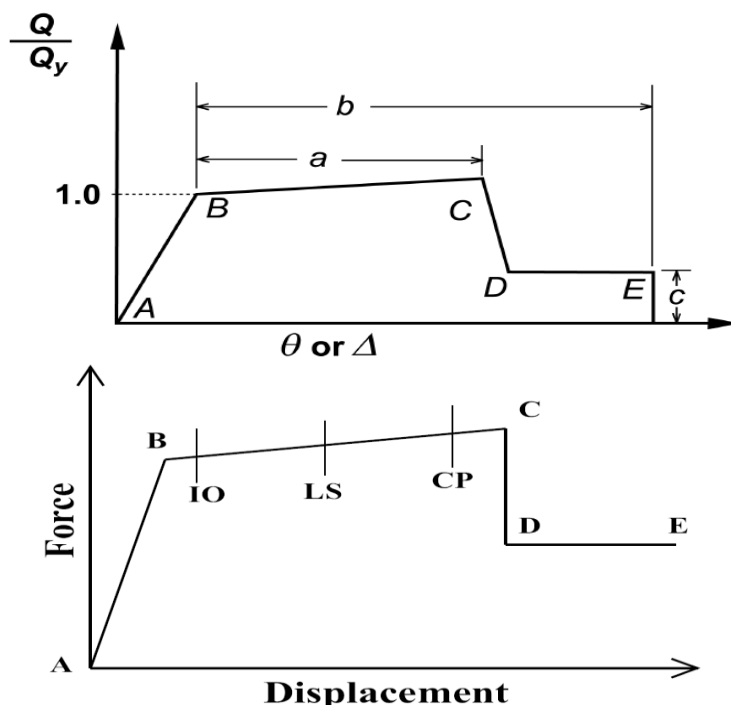


شکل ۴: نمونه‌ای از مقاطع طراحی شده.

جهت سهولت در نامگذاری مدل‌ها از علائم اختصاری زیر استفاده می‌شود. که در این نامگذاری: st مخفف کلمه Story به معنای طبقه است. 2-3-4-5 معرف تعداد دهانه است. L یا R مخفف چپ و راست است. به عنوان مثال عبارت 5-2-8st به معنای ساختمان ۸ طبقه با ۲ دهانه سمت چپ و ۵ دهانه سمت راست می‌باشد.

#### ۴- فرضیات تحلیل غیر خطی

روند مربوط به تحلیل استاتیکی غیرخطی بر اساس نشریه ۳۶۰ ویرایش جدید سال ۱۳۹۲ انجام شده است [۶]. برای انجام تحلیل‌های غیرخطی همواره نیاز به تعریف و اختصاص مفاصل پلاستیک به اعضا است. در اعضای شکل‌پذیر، نمودار نیرو تغییر مکان همانند شکل ۵ است. در حد فاصل نقطه A تا نقطه B رفتار عضو خطی است. تغییر شکل پلاستیکی که عضو از نقطه B تحمل می‌کند تا به نقطه C برسد با مقدار a مشخص می‌شود. مطابق دستورالعمل بهسازی اثرات سخت‌شدگی کرنشی با در نظر گرفتن شیبی برابر ۳٪ شیب قسمت ارتجاعی در نظر گرفته می‌شود. در نقطه C عضو دچار افت مقاومت می‌شود. عضوی با شکل‌پذیری زیاد محسوب می‌شود که مقدار a زیادی داشته باشد. از نقطه C تا نقطه D عضو دچار کاهش مقاومت می‌شود. مقدار مقاومت باقیمانده در عضو بستگی به مقدار c دارد. از نقطه D تا نقطه E عضو هنوز مقاومت کمی از خود نشان می‌دهد. مقدار تغییر شکل عضو از نقطه تسلیم B تا نقطه E با مقدار b مشخص می‌شود. در شکل ۵ سطوح عملکرد برای مفاصل پلاستیک اعضا مشخص شده است. در این شکل به عنوان یک قاعده کلی سطح عملکرد IO کمترین تغییر شکل و سطح عملکرد CP بیشترین تغییر شکل را دارد. در تیرها و ستونها برای بدست آوردن ضرایب a و b و c و همچنین سطوح عملکرد IO و LS و CP می‌توان از جداول مربوط به فصل پنجم دستورالعمل بهسازی استفاده نمود. مفاصل پلاستیک مربوط به تیرها و ستونها در ۰/۰۵ و ۰/۹۵ طول عضو اختصاص داده می‌شود.



شکل ۵: مفصل پلاستیک در دستورالعمل بهسازی.

### ۵- انتخاب شتابنگاشت‌ها

شتاب‌نگاشت‌هایی که برای طراحی انتخاب می‌شوند باید از نظر محتوای فرکانسی و پاسخ طیفی و دوام (مدت زمان) جنبش شدید زمین، مشابه جنبش‌های شدید زمین باشند که امکان رویداد آنها در منطقه مورد مطالعه جود دارد. در این پژوهش از ۷ زوج شتاب‌نگاشت مقیاس شده استفاده شده و سازه‌ها تحت تحلیل دینامیکی غیرخطی قرار می‌گیرند. برای بدست آوردن پاسخ نهایی، از پاسخ هر هفت شتاب‌نگاشت میانگین‌گیری می‌شود. در جدول (۱) رکوردهای مورد استفاده در این مقاله نشان داده شده است [۷].

جدول ۱: رکوردهای مورد استفاده.

No	Earthquake name	Date	PGA(g)
۱	Elsentro	1976/05/17	۰/۶۴۳۸
۲	Tabas	1978/09/16	۰/۸۳۶
۳	Superstition Hills	1987/11/24	۰/۶۸۲
۴	Manjil	1990/06/20	۰/۵۱۰
۵	Northridge	1994/01/17	۰/۶۶۱۵
۶	Kobe	1995/01/16	۰/۷۰۶۹
۷	Loma Prieta	1989/10/18	۰/۷۸۳۵

### ۶- حداکثر جابجایی، دررفت و شتاب طبقات

با میانگین‌گیری از ماکزیمم جابجایی، دررفت و شتاب طبقات در ۷ شتاب‌نگاشت مختلف، میانگین حداکثر این مقادیر بدست می‌آید. از شکل ۶ تا شکل ۱۱ میانگین حداکثر جابجایی و دررفت و شتاب طبقات رسم شده است. همچنین میزان اختلاف پاسخ





سازه با میراگر و بدون میراگر در قالب پارامتر Error% به معنای درصد اختلاف مقادیر سازه با میراگر و بدون میراگر مشخص شده است. است که در ساختمان بدون میراگر به دلیل وجود المان صلب بین دو ساختمان، هر دو ساختمان نسبت به هم دیافراگم و صلب هستند و در نتیجه حرکت آن‌ها در چپ و راست ساختمان همانند هم می‌باشد. ولی در ساختمان با میراگر به دلیل عملکرد محوری میراگر ویسکوز این دو ساختمان می‌توانند آزادانه نسبت به هم حرکت کنند و در نتیجه جابجایی سمت چپ و راست آن‌ها متفاوت باشد. اما همانطور که در بخش‌های بعدی خواهیم دید تفاوت رفتار سمت چپ و راست ساختمان زیاد نیست. با دقت در این شکل‌ها می‌توان گفت:

- در تمامی مدل‌ها وجود میراگر باعث کاهش حداکثر جابجایی، دریافت و شتاب شده است. میزان کاهش جابجایی طبقات از ۲۰٪ تا ۳۳٪ و کاهش دریافت طبقات از ۲۰٪ تا ۵۰٪ و کاهش شتاب طبقات از ۵٪ تا ۲۰٪ در مدل‌های مختلف متفاوت است.

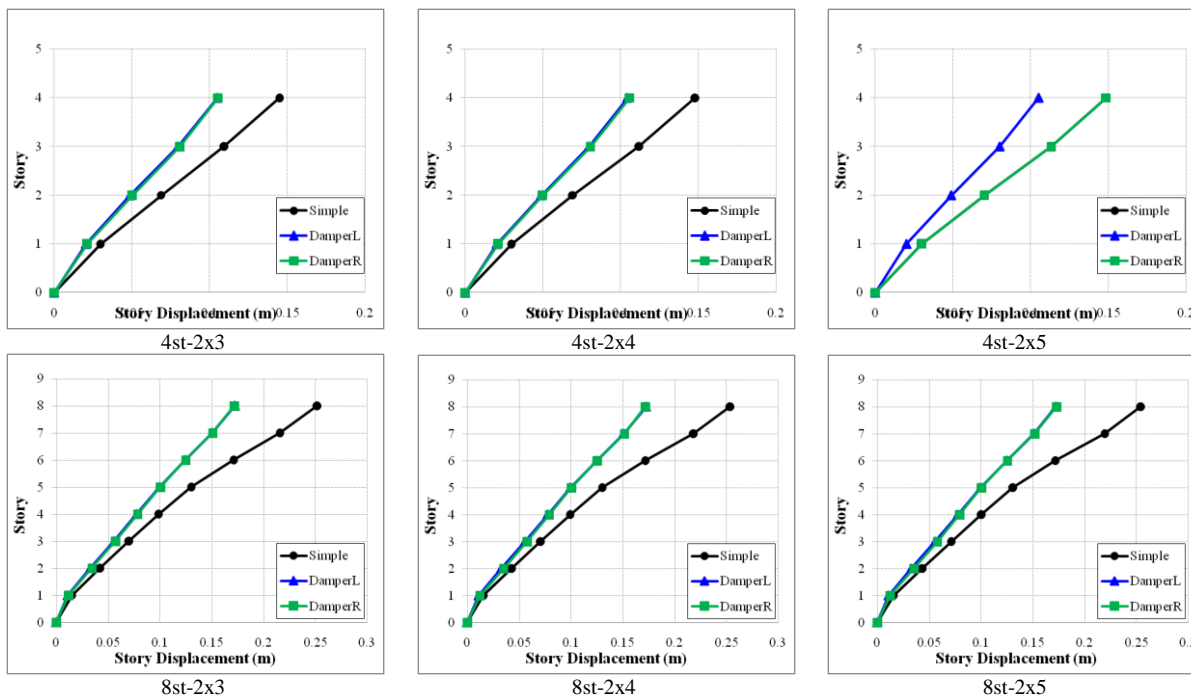
- جابجایی و دریافت طبقات با افزایش تعداد دهانه سمت راست از ۳ دهانه تا ۵ دهانه، تا حدودی به ویژه در سمت چپ سازه کاهش می‌یابد. این بدان معنی است که با افزایش تعداد دهانه از طرفی وزن سازه بیشتر می‌شود در صورتی که تعداد میراگر ثابت است. اما از طرفی با افزایش تعداد دهانه سمت راست، تفاوت جرم دو طرف ساختمان بیشتر می‌شود و در نتیجه تفاوت در جابجایی دو طرف ساختمان نسبت به هم بیشتر شده و این تفاوت جابجایی است که باعث می‌شود میراگر ویسکوز به کار بیفتد و هرچه این تفاوت بیشتر شود نقش میراگر ویسکوز و میرایی آن نیز بیشتر خواهد شد. در نتیجه عامل منفی اضافه وزن و عامل مثبت افزایش نقش میراگر ویسکوز با هم ترکیب شده و عامل دوم موفقیت بیشتری دارد.

- اختلاف جابجایی و دریافت طبقات سمت چپ و راست سازه با افزایش تعداد دهانه‌های سمت راست افزوده می‌شود. پاسخ سمت چپ سازه به دلیل وجود تعداد دهانه کمتر بیشتر کاهش می‌یابد. این بدان معنی است که عملکرد سمت چپ سازه با افزایش تعداد دهانه بهبود می‌یابد.

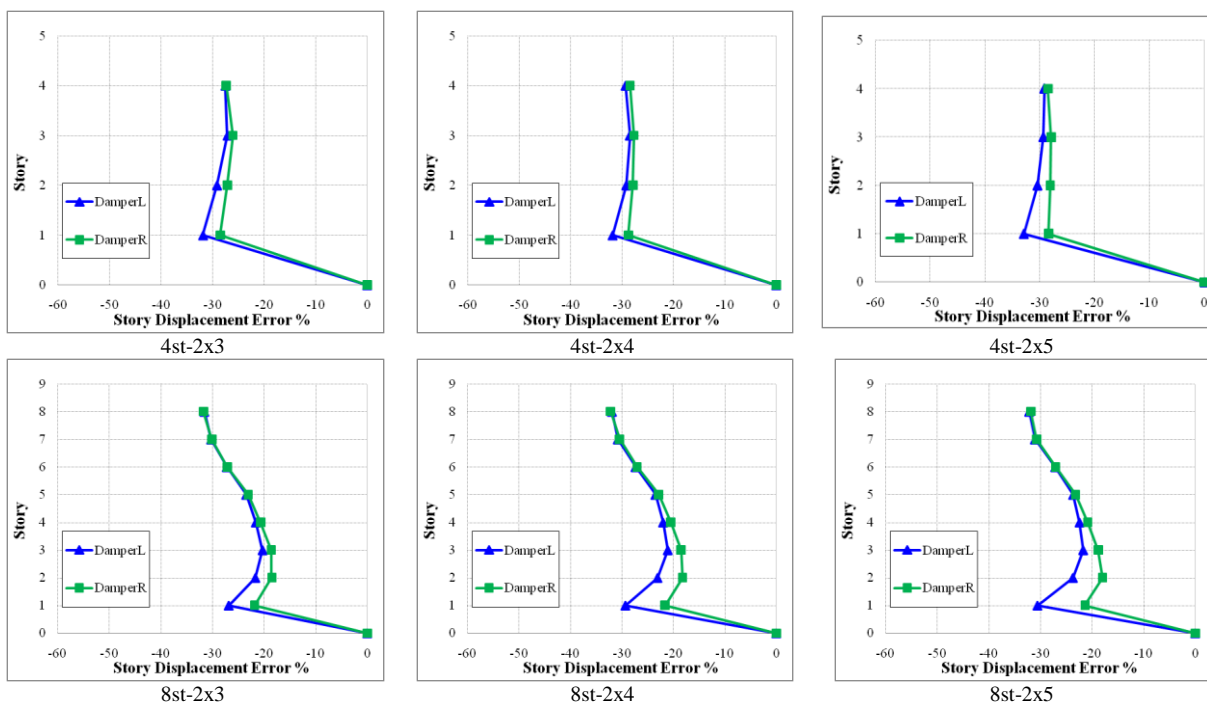
- در مدل ۴ طبقه میزان کاهش جابجایی و دریافت طبقات، در طبقات مختلف تقریباً یکسان است. ولی در مدل ۸ طبقه طبقات بالا کاهش بیشتری را تجربه می‌کنند. این بدان معنی است که در ساختمان‌های بلند نقش میراگرهای ویسکوز طبقات بالایی مهمتر می‌شود. اما در مورد درصد کاهش شتاب طبقات باید گفت در تمام طبقات این کاهش تقریباً یکسان است.

- درصد کاهش جابجایی و دریافت و شتاب طبقات در مدل ۸ طبقه بیش از مدل ۴ طبقه است و این نشان می‌دهد که وجود میراگر در ساختمان ۸ طبقه موثرتر بوده است.

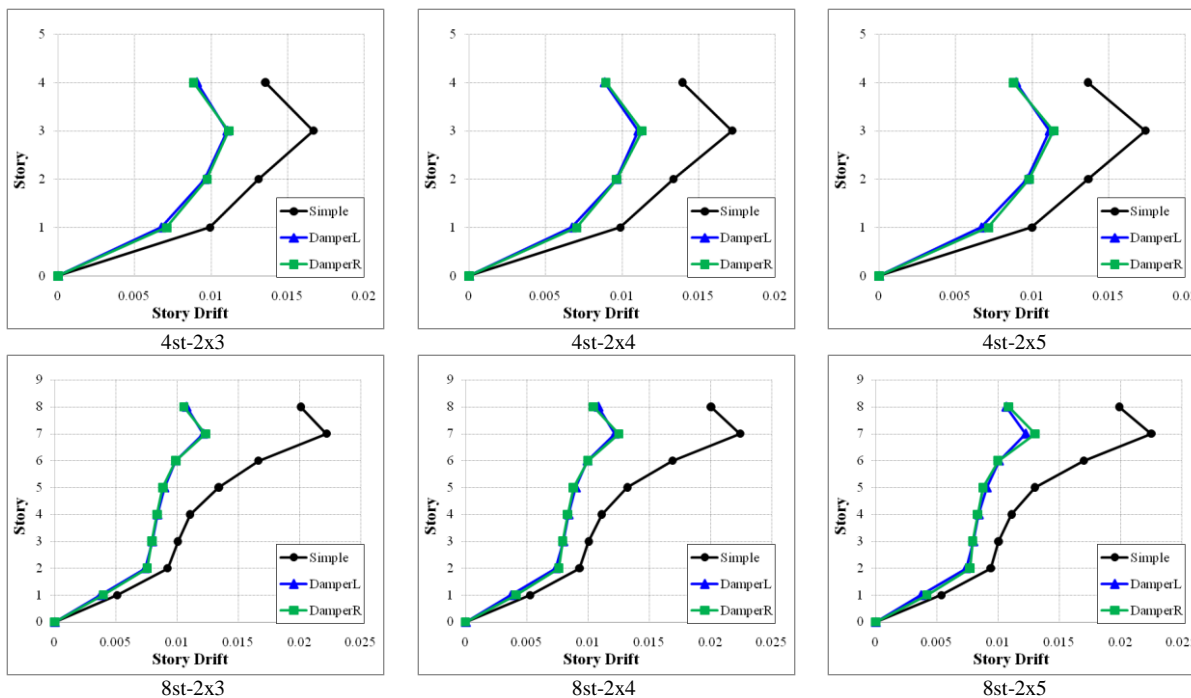
- دریافت طبقات در حالت بدون میراگر نزدیک ۲٪ یعنی عملکرد L.S ایمنی جانی می‌باشد. در حالی که در مدل‌های با میراگر مقدار آن به نزدیک ۱٪ یعنی قابلیت استفاده بی‌وقفه است.



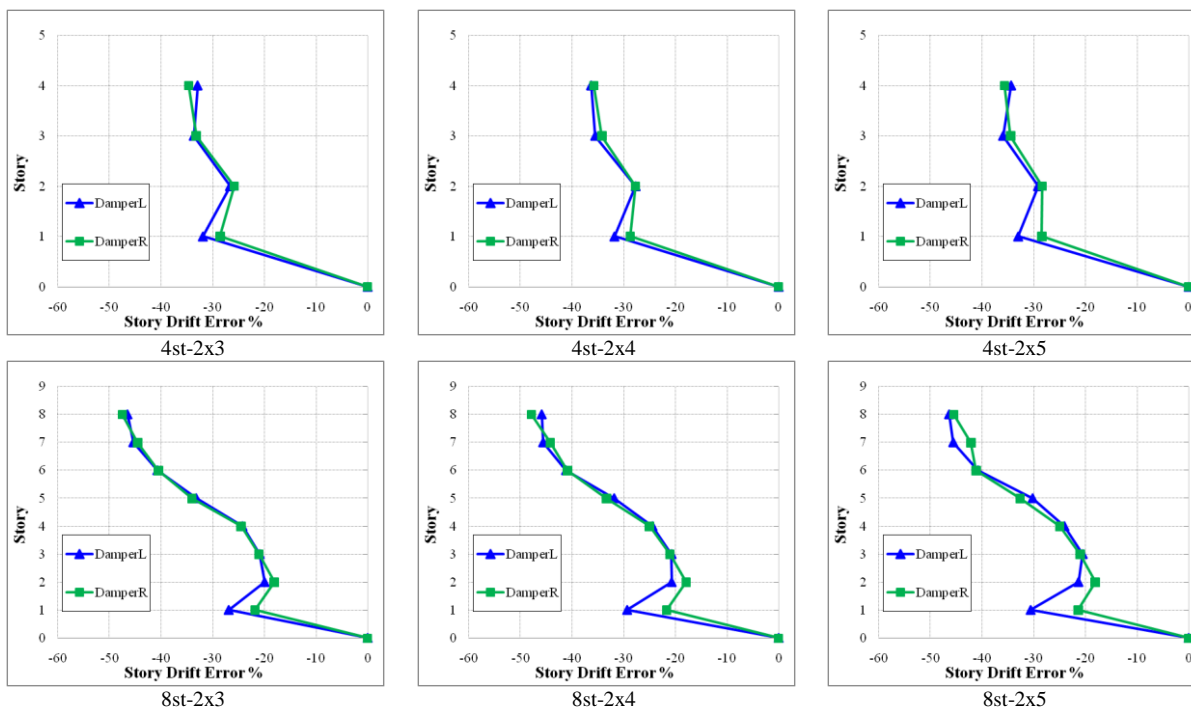
شکل ۶: تاثیر وجود میراگر در کاهش جابجایی طبقات.



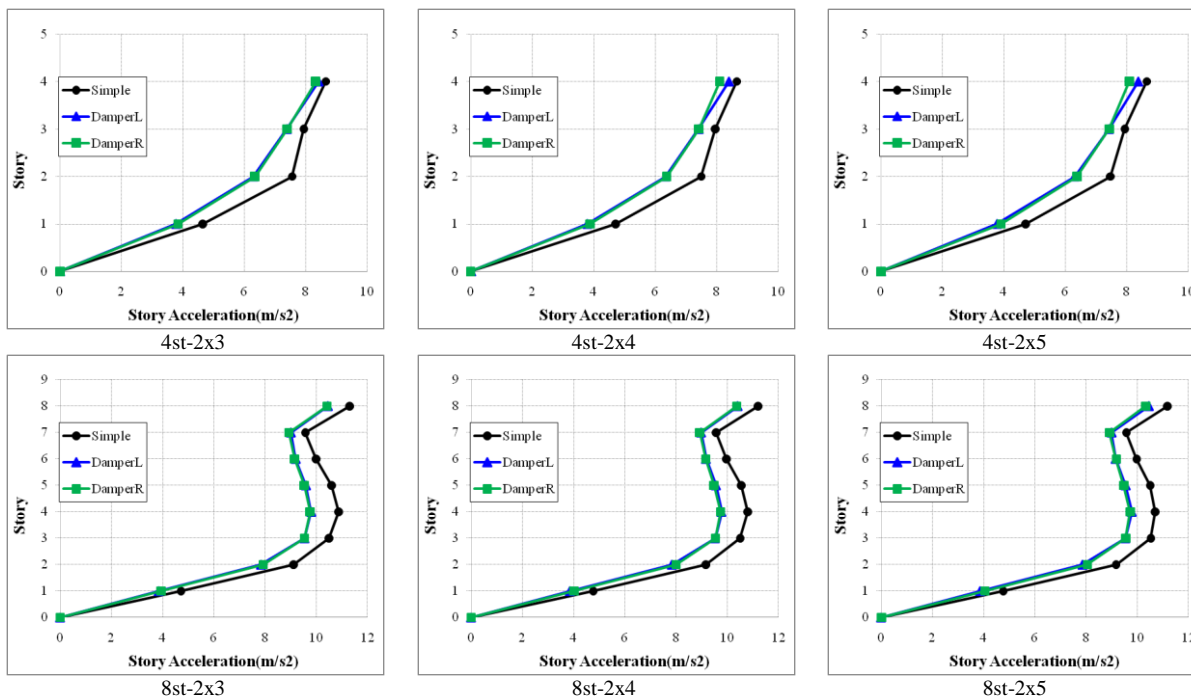
شکل ۷: درصد کاهش جابجایی طبقات به دلیل وجود میراگر.



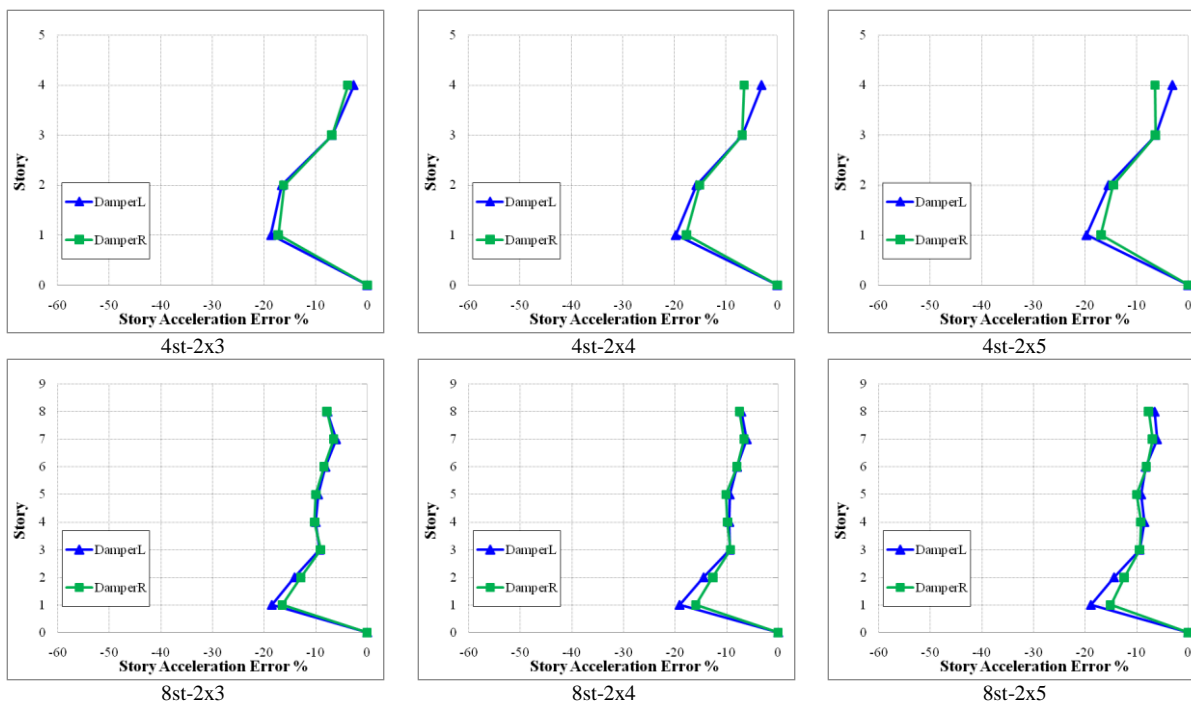
شکل ۸: تاثیر وجود میراگر در کاهش دررفت طبقات.



شکل ۹: درصد کاهش دررفت طبقات به دلیل وجود میراگر.



شکل ۱۰: تاثیر وجود میراگر در کاهش شتاب طبقات.

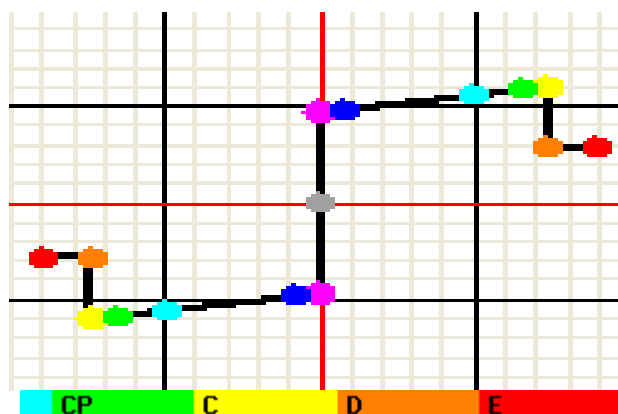


شکل ۱۱: درصد کاهش شتاب طبقات به دلیل وجود میراگر.



## ۷- عملکرد مفاصل پلاستیک

با شروع تحریک پایه توسط زلزله، سازه دچار تغییر شکل‌هایی می‌شود که پس از پایان زلزله ممکن است این تغییر شکل‌ها به صورت ماندگار باشد. در صورتی که تمام اعضای سازه پس از زلزله خطی باقی بمانند تغییر شکل ماندگاری وجود نخواهد داشت. اما در صورت ایجاد مفاصل سازه تغییر شکل‌های ماندگار و نیروهای پسماند در سازه باقی خواهد ماند. رنگ‌بندی مفاصل در نرم‌افزار SAP نشان می‌دهد که هر مفصل در چه سطح عملکرد و وضعیتی می‌باشد. در تعاریف مربوط به این رنگ‌بندی برای بادبند مشخص شده است.



شکل ۱۲: درصد کاهش شتاب طبقات به دلیل وجود میراگر.

در این شکل رنگ بنفش (نقطه B به بعد) معرف تشکیل مفصل پلاستیک است. رنگ آبی پررنگ معرف گذشتن مفصل از سطح I.O است. رنگ آبی کم‌رنگ معرف گذشتن مفصل از سطح L.S است. رنگ سبز کم‌رنگ معرف گذشتن مفصل از سطح C.P است. رنگ زرد و نارنجی (نقطه C و D به بعد) معرف خرابی موقت عضو و مقاومت کم باقیمانده برای آن است. رنگ قرمز (نقطه E به بعد) معرف خرابی کامل عضو و رسیدن مقاومت به صفر مقاومت است. در شکل ۱۳ مفاصل پلاستیک ماندگار ایجاد شده پس از زلزله السنترو در مدل‌های مختلف با و بدون میراگر نشان داده شده است. با دقت در این شکل‌ها می‌توان گفت:

- در تمامی حالات وجود میراگرها باعث کاهش و بهبود سطح عملکرد مفاصل پلاستیک شده‌اند.
- در بعضی از حالات که در مدل بدون میراگر عملکرد مفاصل L.S را رد کرده است، وجود میراگر باعث می‌شود عملکرد مفاصل پلاستیک به I.O محدود شود.
- در بعضی زلزله‌ها وجود میراگر باعث شده است سازه وارد فاز غیرخطی نشود و در ناحیه الاستیک باقی بماند.

## ۸- رفتار هیستریزیس میراگرها

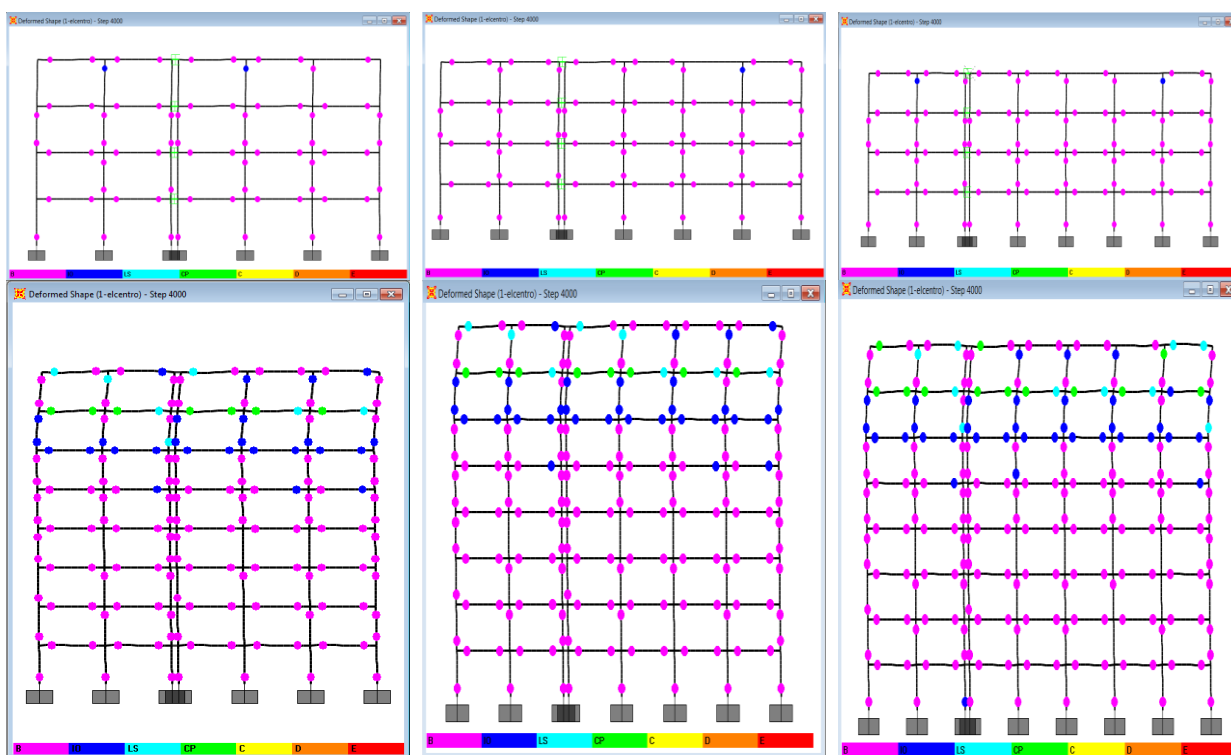
جذب انرژی توسط میراگرها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مساحت داخل چرخه‌های هیستریزیک در هر میراگر بیانگر انرژی جذب شده میراگر می‌باشد. لازم به ذکر است که به دلیل حجم بالای خروجی‌ها به نمایش چرخه هیستریزیس میراگر در زلزله السنترو اکتفا شده است. در شکل ۱۴ و ۱۵ چرخه هیستریزیس بالاترین و پایین‌ترین میراگر طبقه در مدل‌های ۴ و ۸ طبقه با تعداد دهانه‌های مختلف نشان داده شده است. با دقت در این شکل‌ها می‌توان گفت:

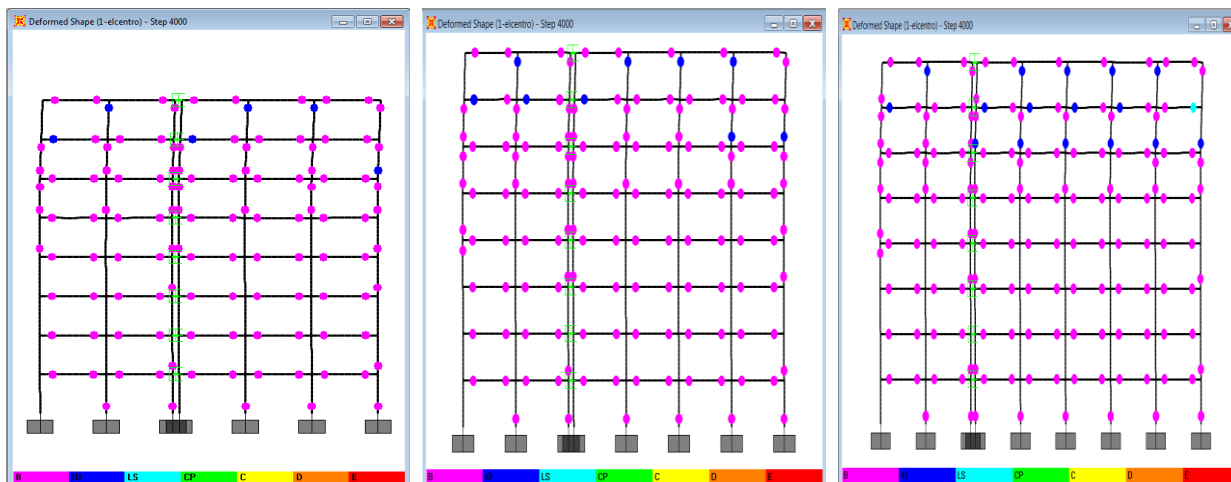


- در مدل ۴ و ۸ طبقه با افزایش شماره طبقه بر میزان جذب انرژی میراگرها افزوده می‌شود. این بدان معنی است که کاربرد میراگرها در طبقات فوقانی از اهمیت بیشتری برخوردار است و می‌توان از میراگرهای طبقات پایین کاست و به میراگرهای طبقات فوقانی افزود.

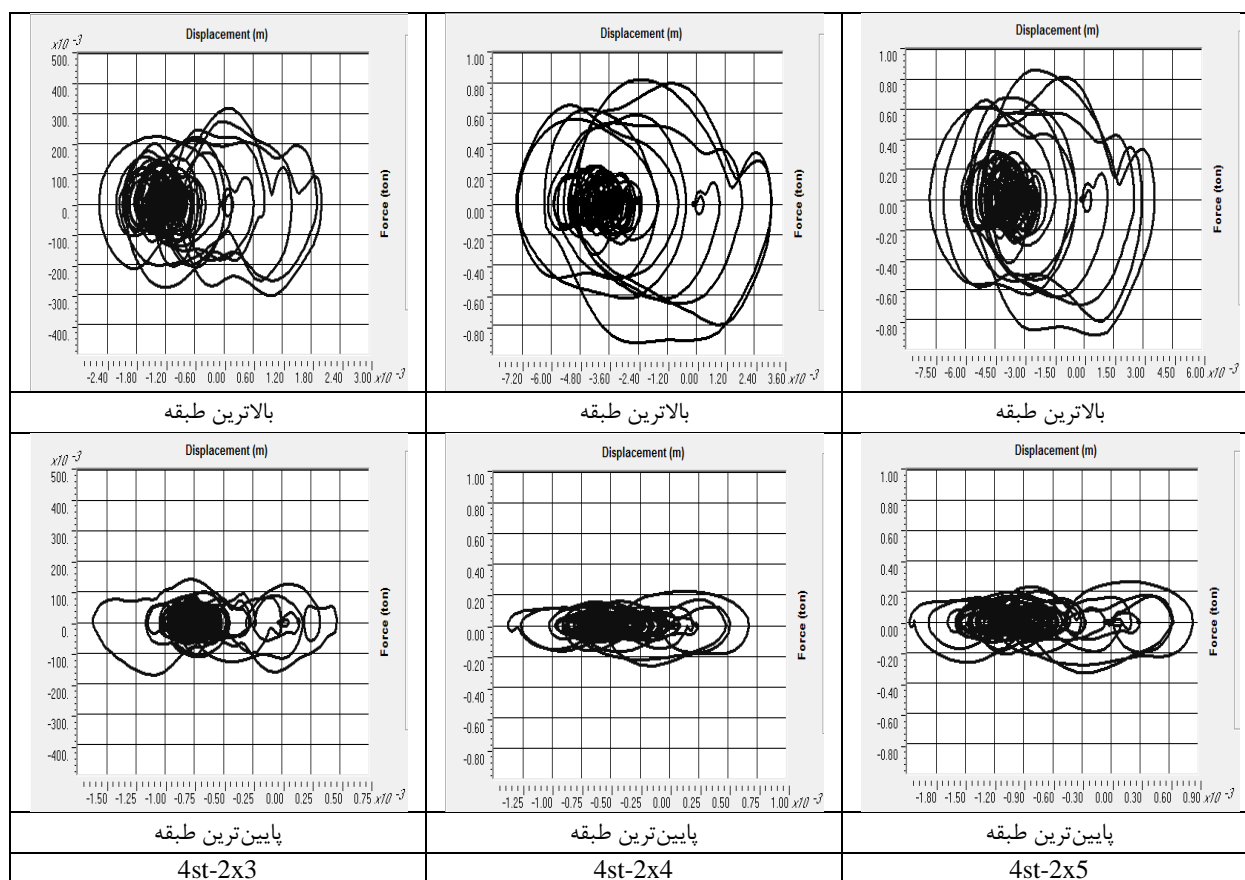
- به دلیل تفاوت جرم مدل‌های با دهانه بیشتر و تفاوت رفتار سمت چپ و راست سازه، در مدل‌های با تعداد دهانه بیشتر میزان جذب انرژی میراگرهای ویسکوز بیشتر می‌شود. زیرا از طرفی وزن سازه افزایش پیدا می‌کند و از طرفی اختلاف جابجایی دوطرف ساختمان نسبت به هم بیشتر می‌شود که باید توسط میراگرها جبران شود.

- میراگرها در ساختمان ۸ طبقه تقریباً دو برابر ساختمان ۴ طبقه جذب انرژی دارند. از آنجاییکه وزن ساختمان ۸ طبقه دو برابر ۴ طبقه و تعداد میراگرهای آن نیز دو برابر است، این موضوع نشان می‌دهد که نقش میراگر ویسکوز در ساختمان ۸ طبقه بیشتر است.

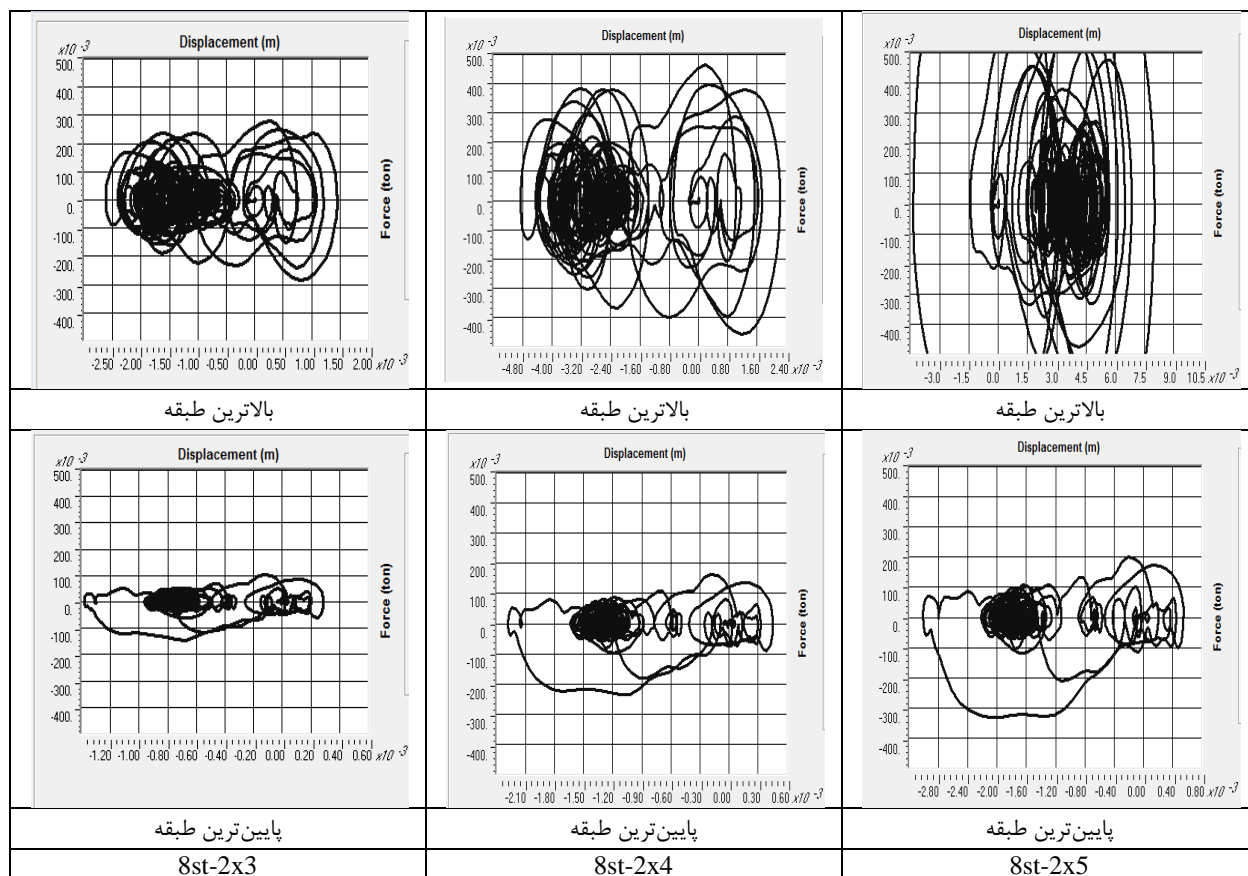




شکل ۱۳: مفاصل پلاستیک ماندگار ایجاد شده پس از زلزله السنترو در مدل‌های مختلف.



شکل ۱۴: رفتار هیستریزس میراگرهای بالاترین و پایین‌ترین طبقه سازه ۴ طبقه با تعداد دهانه‌های مختلف.



شکل ۱۵: رفتار هیستریزیس میراگرهای بالاترین و پایین ترین طبقه سازه ۸ طبقه با تعداد دهانه‌های مختلف.

## ۹- جمع بندی و نتیجه گیری

در این پژوهش تاثیر میراگر ویسکوز بر درز انقطاع دو ساختمان بتنی مجاور بررسی شد و مدل‌ها تحت تحلیل دینامیکی غیرخطی قرار گرفتند. در این قسمت به صورت مختصر نتایج مهم و اصلی خلاصه می‌شوند.

- در تمامی مدل‌ها وجود میراگر باعث کاهش پاسخهای سازه می‌شود. میزان کاهش جابجایی طبقات از ۲۰٪ تا ۳۳٪، میزان کاهش دررفت طبقات از ۲۰٪ تا ۵۰٪ و میزان کاهش شتاب طبقات از ۵٪ تا ۲۰٪ متفاوت است. بنابراین بیشترین تاثیر وجود میراگر در دررفت طبقات قابل مشاهده است.

- جابجایی و دررفت طبقات با افزایش تعداد دهانه سمت راست از ۳ دهانه تا ۵ دهانه، تا حدودی و به ویژه در سمت چپ سازه کاهش می‌یابد.

- اختلاف جابجایی و دررفت طبقات سمت چپ و راست سازه با افزایش تعداد دهانه‌های سمت راست افزوده می‌شود.

- در مدل ۴ طبقه میزان کاهش جابجایی و دررفت طبقات، در طبقات مختلف تقریباً یکسان است. ولی در مدل ۸ طبقه طبقات بالا کاهش بیشتری را تجربه می‌کنند. این بدان معنیست که در ساختمان‌های بلند نقش میراگرهای ویسکوز طبقات بالایی مهمتر می‌شود. از طرفی بیشترین کاهش شتاب طبقات در طبقه اول و به میزان ۲۰ درصد قابل مشاهده است.





- درصد کاهش جابجایی و دررفت طبقات در مدل ۸ طبقه بیش از مدل ۴ طبقه است و این نشان می‌دهد که وجود میراگر در ساختمان ۸ طبقه موثرتر بوده است.
- در تمامی حالات وجود میراگرها باعث کاهش و بهبود سطح عملکرد مفاصل پلاستیک شده‌اند.
- در بعضی از حالات که در مدل بدون میراگر عملکرد مفاصل L.S را رد کرده است، وجود میراگر باعث می‌شود عملکرد مفاصل پلاستیک به I.O محدود شود.
- در بعضی زلزله‌ها وجود میراگر باعث شده است سازه وارد فاز غیرخطی نشود و در ناحیه الاستیک باقی بماند.
- در مدل ۴ و ۸ طبقه با افزایش شماره طبقه بر میزان جذب انرژی میراگرها افزوده می‌شود. این بدان معنی است که کاربرد میراگرها در طبقات فوقانی از اهمیت بیشتری برخوردار است.
- به دلیل تفاوت جرم مدل‌های با دهانه بیشتر و تفاوت رفتار سمت چپ و راست سازه، در مدل‌های با تعداد دهانه بیشتر میزان جذب انرژی میراگرهای ویسکوز بیشتر می‌شود.

#### ۱۰- مراجع

- [۱]- مقررات ملی ساختمان، مبحث نهم، ۱۳۸۷، طرح و اجرای ساختمان‌های بتنی، دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، تهران، معاونت نظام مهندسی و اجرای ساختمان وزارت مسکن و شهرسازی، تهران، ایران.
- [۲]- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن و شهرسازی، ۱۳۸۴، آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰ ایران، ویرایش سوم، تهران، ایران.
- [۳] - نشریه ۳۶۰، ۱۳۸۵، دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود، معاونت امور فنی سازمان مدیریت و برنامه ریزی.
- [4] - Robert, D., Hanson, and TSU, T., Soong, 2010, **Seismic design with supplemental energy dissipation devices**, published by Earthquake Engineering Research Institute.
- [5] - Computers and Structures SAP2000, 2000, **Three Dimensional Static and Dynamic Finite Element Analysis and Design of Structures**, Computers and Structures Inc., Berkeley, California, U.S.A.
- [۶]- میرزاگل تبار، ع.، وحدت هولاری، ب.، جلالی، ق.، ۱۳۹۲، ارزیابی روش بهسازی لرزه ای سازه های فولادی با استفاده از کاهش سختی و میراگرهای ویسکوز در ساختمانها در ارتفاع، اولین همایش ملی ساختمان آینده، تهران، ایران
- [7]- <http://peer.berkeley.edu/nga/search.html>