

# تأثیر میراگرهای لزج بر بهبود رفتار لرزه‌ی سازه و تعیین بهترین دهانه برای قرارگیری میراگر در یک قاب خمشی فولادی

جعفر کیوانی\* (استادیار)

مهدی رحیمی اصل (کارشناس ارشد)

دانشکده‌ی مهندسی عمران، دانشگاه خوارزمی تهران

در این نوشتار برای ارزیابی رفتار میراگرها به‌منزله‌ی سیستم اتلاف انرژی تحت اثر نیروی جانبی در ساختمان‌های مقاوم در برابر زلزله و بهسازی لرزه‌ی ساختمان‌های موجود، یک قاب خمشی فولادی ۵ دهانه با ارتفاع متوسط (حدوداً ۵۰ متر) مجهز به میراگر، با استفاده از نرم‌افزار مدل‌سازی Perform-3D و با روش تاریخچه‌ی زمانی شتاب‌نگاشت تحلیل شده و نتایج آن در ۴ زمینه بررسی و مقایسه شده است. ابتدا قاب فولادی از حیث تعداد میراگرها در یک تراز بررسی و سپس محل قرارگیری میراگرها در دهانه‌های مختلف هر تراز از قاب خمشی فیزی ارزیابی شده است. در مرحله‌ی سوم پژوهش، بر روی تأثیر پراکندگی میراگرها بر رفتار لرزه‌ی سازه‌ها بحث و در نهایت با در نظر گرفتن نتایج و توصیه‌های حاصل از تحلیل پژوهش‌های انجام‌شده، طرح پیشنهادی برای بهسازی و تقویت سازه ارائه شده است.

واژگان کلیدی: میراگر لزج، بهسازی لرزه‌ی، تحلیل دینامیکی غیرخطی، سطوح بهره‌برداری و هدف، تغییرشکل غیرکشسانی.

## ۱. مقدمه

وقتی سازه‌ی مجهز به میراگر تغییرشکل می‌دهد، با کمترین ارتعاش به موقعیت اولیه‌ی خود برمی‌گردد. این ساختمان‌ها تحت تأثیر نیروهای دینامیکی قوی نظیر زلزله، با گذر از محدوده‌ی کشسانی تغییرمکان‌های زیادی می‌دهند و به واسطه‌ی قابلیت تغییرمکان غیرکشسانی خود پایدار باقی می‌مانند. این تغییرمکان‌های غیرکشسانی موجب به‌وجود آمدن مفاصل خمیری در نقاطی از سازه، افزایش شکل‌پذیری سازه و نیز افزایش استهلاک انرژی لرزه‌ی می‌شود. در نتیجه، مقدار زیادی از انرژی زلزله به دلیل تخریب‌های موضعی در سیستم مقاوم جانبی سازه مستهلک می‌شود. در سال‌های اخیر محققان و مهندسان به این نتیجه رسیده‌اند که رویکرد سنتی طراحی ساختمان‌ها مبتنی بر تأمین سختی و مقاومت، جای خود را به رویکرد نوینی داده است که جذب و اتلاف انرژی در آن نقش تعیین‌کننده‌ی دارد. روش‌های نوین با به‌کارگیری وسایل مناسب اتلاف‌کننده‌ی انرژی در سازه، مصالح مصرفی را به‌نحو چشمگیری کاهش می‌دهند و علاوه بر کاهش هزینه‌های مربوط به مصالح ساختمانی، رفتار سازه و معیارهای فنی آن را نیز بهبود می‌بخشند. در این میان میراگر لزج ابزاری است که به‌علت ویژگی میرایی عالی و از همه مهم‌تر قابلیت اتلاف انرژی بسیار بالا و حلقه‌ی هیسترتیک چاق و نصب راحت کاربرد گسترده‌ی پیدا کرده است.<sup>[۱]</sup>

\* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۸۸/۱۲/۱۷، اصلاحیه ۱۳۸۹/۱۰/۱۸، پذیرش ۱۳۹۰/۲/۵.

jkeyvani@tmu.ac.ir  
mehdi\_rahimiasl@tmu.ac.ir

انرژی ورودی به دو صورت جنبشی و پتانسیل (کرنشی) در سازه پدیدار می‌شود که باید به طریقی جذب یا مستهلک شود. اگر هیچ نوع میرایی در سازه نباشد، سازه تا بی‌نهایت به ارتعاش خود ادامه می‌دهد، اما عملاً به واسطه‌ی خصوصیات سازه مقداری میرایی در آن وجود دارد که موجب بروز عکس‌العمل در مقابل ارتعاش سازه و میرا کردن آن می‌شود. کارایی ساختمان را می‌توان با افزودن جاذب‌های انرژی (میراگر الحاقی) به ساختمان افزایش داد، بدین صورت که این وسایل قسمتی از انرژی ورودی زلزله را به تنهایی جذب و مستهلک می‌کنند. میزان انرژی وارده به سازه در حین زلزله به زمان تناوب سازه و نسبت آن به دوره‌ی تناوب غالب حرکت زمین ارتباط مستقیم دارد. همچنین میزان خرابی سازه نیز بستگی به میزان انرژی پسماند جذب‌شده در قالب رفتار غیرارتجاعی اعضای سازه‌ی دارد.<sup>[۱]</sup>

چنانکه پیش از این عنوان شد، طراحی سازه‌های معمولی به‌نحوی که در حین زلزله‌ی قوی بدون هیچ‌گونه خرابی باقی بمانند، غیراقتصادی است. لذا بیشتر آیین‌نامه‌های مدرن طراحی ساختمان، فلسفه‌ی طراحی لرزه‌ی مبتنی بر مفهوم تغییرشکل‌پذیری را ارائه کرده‌اند. بر این اساس یک سازه به‌نحوی باید طراحی شود که تغییرشکل‌پذیری مورد نیاز هر عضو با تغییرشکل‌پذیری ظرفیتی آن در تعادل باشد تا در حین زلزله، انرژی در عضو به‌صورت قابل اطمینانی مستهلک شود. بر همین اساس، این ضوابط در آیین‌نامه‌های مختلف توصیه شده است.

اتلاف انرژی بسیار بالا در این سیستم است، کاهش چشمگیری در نیروهای وارد بر فونداسیون، دیافراگم‌های کف، تیرها و ستون‌ها پدید می‌آورد و در نتیجه باعث کاهش هزینه‌ی سازه می‌شود.

۵) از آنجا که میراگرهای لزوج به کمانش‌های موضعی و تمرکز تنش حساس هستند، در به‌کارگیری آن‌ها باید کنترل‌های محاسباتی لازم با دقت کافی انجام شود.<sup>[۴]</sup>

## ۲. روند انجام پژوهش

در این پژوهش ابتدا یک قاب میانی از یک ساختمان فولادی ۱۵ طبقه با اتصالات گیردار برای بار ثقلی بر مبنای مبحث ششم مقررات ملی ساختمان و ۷۰٪ نیروی زلزله طراحی شده است. اکثر ساختمان‌های فولادی متداول و قدیمی در ایران متأسفانه برای نیروی زلزله طراحی نشده‌اند و این سازه می‌تواند نمونه‌یی از ساختمان‌های موجود به‌شمار آید. چنانکه انتظار داشتیم، بعد از طراحی برای کل نیروی زلزله، مشخص شد که سازه‌ی مورد نظر سازه‌ی ضعیف است و المان‌های سازه مقاومت مورد نیاز را ندارند. پس از آن در سیستم مذکور به‌منظور بهسازی لرزه‌ی، میراگر لزوج تعبیه و تحلیل شد و برای تحلیل سازه از ۱۰ سری شتاب‌نگاشت استفاده شد. سپس پارامترهای پاسخ قاب مذکور در برابر زلزله برای چیدمان‌های مختلف آن بررسی و مقایسه شد. در ادامه، تأثیر میراگرهای لزوج در جذب و اتلاف انرژی وارد شده به سازه و مقایسه‌ی آن در چیدمان‌های مختلف برای تعیین حالت بهینه بررسی شد.<sup>[۵-۶]</sup>

## ۳. ساختمان مورد مطالعه

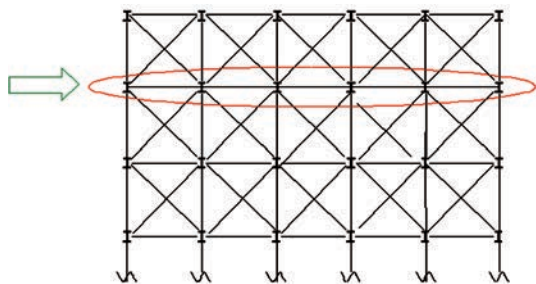
### ۱.۳. مدل‌سازی قاب ساختمان

در این نوشتار، بهسازی یک قاب میانی ساختمان مسکونی ۱۵ طبقه با سیستم سازه‌ی قاب خمشی فولادی، در مرکز تهران بررسی و نمای ساختمان در شکل ۲ نشان داده شده است.

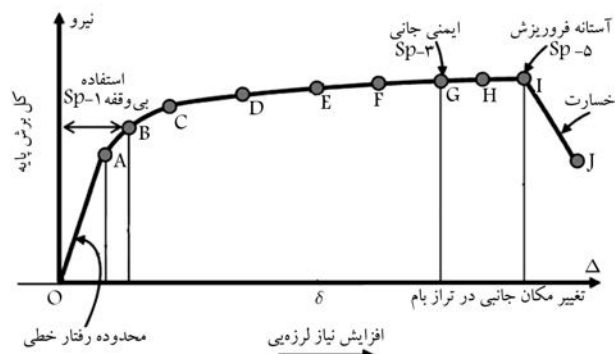
برای تحلیل، یک قاب میانی که نسبت به قاب‌های کناری بار سطحی بیشتری متحمل می‌شود، انتخاب و براساس آیین‌نامه‌ی مبحث ۱۰ و آیین‌نامه‌ی ۵۱۹ بارگذاری نقلی شد، سپس این قاب برای ۷۰٪ نیروی زلزله‌ی وارد به سازه طراحی و بعد از اتمام طراحی، قاب موجود برای کل نیروی جانبی تحلیل شد. بدیهی است که قاب المان‌های ضعیف و تغییر مکان‌های غیرمجاز دارد. (جدول ۱)

### ۲.۳. مقیاس و اصلاح شتاب‌نگاشت

برای تعیین بارگذاری زلزله در تحلیل‌های دینامیکی به روش تاریخچه‌ی زمانی شتاب‌نگاشت، ابتدا شتاب‌نگاشت‌ها مطابق آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ اصلاح و سپس



شکل ۲. نمای سازه.



شکل ۱. منحنی ظرفیت و سطوح عملکرد.<sup>[۳]</sup>

زلزله‌های کوچک نباید سبب بروز هیچ‌گونه خرابی در اعضای سازه‌ی بی غیرسازه‌ی شوند. زلزله‌های متوسط باید مبنای طراحی قرار گیرند و ساختمان به‌نحوی طراحی شود که بتواند به‌راحتی در برابر زلزله‌ی متوسط مقاومت کند، بدون آنکه خرابی زیادی در آن پدید آید. زلزله‌های قوی ممکن است سبب بروز تخریب جدی در ساختمان شوند، اما نباید سبب فروپاشی ساختمان و از دست رفتن جان ساکنان آن شود. منحنی ظرفیت و سطوح عملکرد در شکل ۱ نشان داده شده است.

ضابطه‌ی یاد شده برای اکثر ساختمان‌های معمولی مناسب به‌نظر می‌رسد، ولی می‌توان برای طراحی ساختمان‌های مهم و یا ساختمان‌هایی که پس از زلزله باید خدماتی را ارائه بدهند، معیار ایمن‌تری را در نظر گرفت. همان‌گونه که بیان شد، ساختمان می‌تواند در اثر قابلیت شکل‌پذیری، انرژی زیادی را در حین زلزله مستهلک کند؛ ولی بروز شکل‌پذیری زیاد در ساختمان، تشکیل مفاصل خمیری در برخی از اعضای سازه‌ی را به‌همراه خواهد داشت. استفاده از سیستم‌های مستهلک‌کننده‌ی انرژی در ساختمان‌ها سبب دوام رفتار ارتجاعی اعضای سازه‌ی در حین زلزله می‌شود و در نتیجه از بروز خرابی جلوگیری می‌کند. یکی دیگر از دلایل استفاده از میراگرهای لزوج اثر آن‌ها در کاهش تغییر مکان‌های سازه در برابر نیروی باد است.<sup>[۴]</sup>

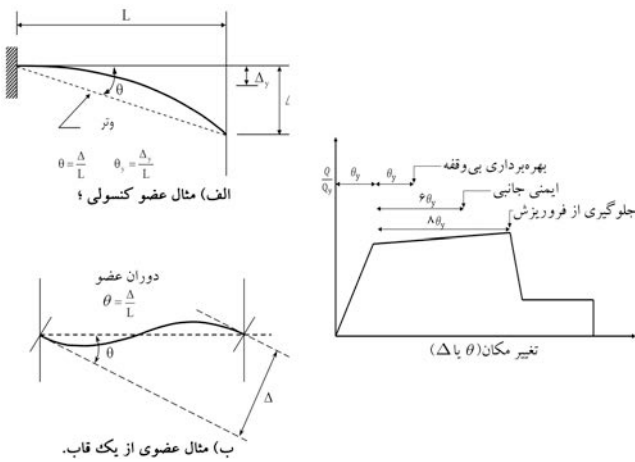
مزیت میراگرهای لزوج نسبت به سایر سیستم‌های متعارف قاب خمشی و مهاربندهای همگرا و واگرا به شرح زیر است:

(الف) میراگرهای لزوج، کمانش نامطلوب و خرابی زودرس مهاربندها را در زلزله‌های شدید کنترل می‌کنند؛ بنابراین، اتلاف انرژی پایدارتر و بزرگ‌تری را در زلزله‌های شدید ممکن می‌سازند.

(ب) عملکرد میراگرها، به‌منزله‌ی یک فیوز سازه‌ی، وارد شدن خسارت به دیگر المان‌ها را کمینه می‌سازد و در آن‌صورت میراگرهای خسارت‌دیده بعد از زلزله باید تعویض شوند.

(ج) میراگرها هم در کشش و هم در فشار عملکرد مثبتی دارند. در نتیجه، ضوابط آیین‌نامه در مورد جابجایی نسبی با وجود میراگرها بهتر اجرا می‌شود و شرایط عملکردی در سطح زلزله‌ی بهره‌برداری به‌خوبی برقرار می‌شود.

(د) برای ساختمان‌های جدید، میراگرهای ویسکوز اغلب از سیستم مهاربندی و دیوار برشی اقتصادی‌تر به‌نظر می‌رسد، زیرا نبود شکل‌پذیری و لزوم رعایت ضوابط طراحی براساس ظرفیت برای سازه با مهاربندهای متعارف به تعبیه‌ی ستون و اجرای فونداسیون گران‌قیمت و دیافراگم کف قوی منجر می‌شود. در صورتی‌که به‌کارگیری میراگرها در طراحی براساس ظرفیت، که نتیجه‌ی شکل‌پذیری بالا و



شکل ۴. تعریف چرخش عضو و مدل‌سازی و معیارهای پذیرش [۹]

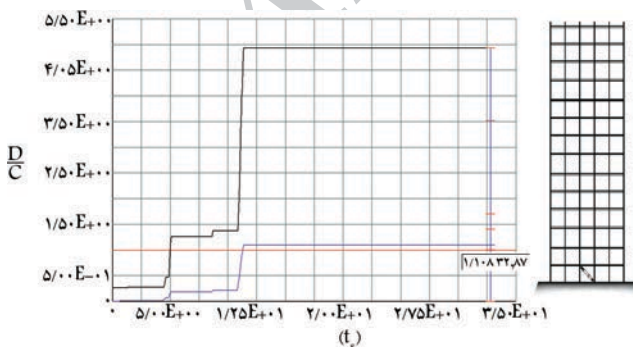
پارامترهای پاسخ قاب ۲ بعدی فولادی ۱۵ طبقه در ۲ حالت آورده شده است:  
 ۱. قرارگیری تک میراگر در یک تراز، ۲. قرارگیری میراگر در کلیه دهنه‌های یک تراز. همچنین تأثیر میراگرهای لزج بر رفتار لرزه‌ی سازه در این دو حالت بررسی شد. این سری از تحلیل برای کلیه ترازها به صورت مجزا انجام شد تا تأثیر افزایش میراگرها بر رفتار لرزه‌ی سازه در کلیه ترازها به صورت مستقل بررسی شود.

#### ۴. نتایج تحلیل

##### ۱.۴. پژوهش ۱

هدف این پژوهش، مقایسه‌ی رفتار قاب با تعبیه‌ی یک میراگر و قاب با میراگرهای متعدد در یک تراز است. این تحلیل برای کلیه تراز طبقات انجام شد و نتایج بسیار به دست آمد که در جدول ۳ جمع‌بندی و ارائه شده است. نمودار سطح بهره‌برداری CP و ضریب D/C (نسبت تقاضا به ظرفیت) برای ستون‌های قاب در سطح بهره‌برداری برای چیدمان ۱-۱-C=۰ در دو حالت چیدمان در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است.

با مقایسه‌ی بین تحلیل شماره‌ی ۱ و ۲ می‌توان به این فرضیه رسید که افزایش تعدد میراگرهای لزج در هر طبقه تأثیر مثبتی در بهبود رفتار سازه و رسیدن به



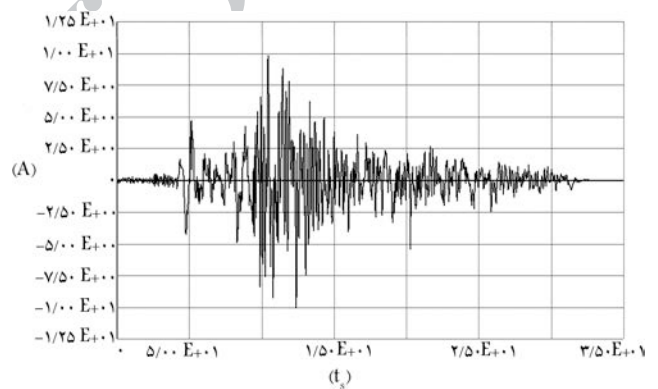
شکل ۵. شماتیک قاب مورد بررسی در چیدمان ۱-۱-C=۰ و نمودار ضریب D/C به زمان برای سطح بهره‌برداری CP ستون‌های قاب در سطح بهره‌برداری مربوط به چیدمان ۱-۱-C=۰.

جدول ۱. تغییر مکان نسبی طبقات.

بیشینه‌ی تغییر مکان نسبی	
برای کل نیروی جانبی	۰٫۰۱۳۲
برای ۷۰٪ نیروی جانبی	۰٫۰۰۴۵

جدول ۲. شتاب‌نگاشت‌های مورد استفاده.

شتاب‌نگاشت	بیشینه‌ی شتاب‌نگاشت قبل از مقیاس شدن (برحسب g)
ChiChi Taiwan (y)	۰٫۷۵۶
ELCENTRO (x)	-۰٫۳۰۵
ELCENTRO (y)	-۰٫۲۱۷
Northridge (x)	۰٫۳۴۹
Northridge (y)	۰٫۳۰۱
Tabas (x)	۰٫۸۲۱
Tabas (y)	۰٫۸۹۸
Bam (x)	۰٫۸۵۶
Bam (y)	۰٫۵۵۳۱
ChiChi Taiwan (x)	۰٫۹۶۳



شکل ۳. نمونه‌ی شتاب‌نگاشت مقیاس شده طبق دستورالعمل بهسازی لرزه‌ی آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (ویرایش سوم) TABAS-X.

مقیاس شده‌اند که نتایج حاصله در جدول ۲ و نمونه‌ی شتاب‌نگاشت مقیاس شده نیز در شکل ۳ نشان داده شده است. [۹]

#### ۳.۳. مدل‌سازی رفتار غیرخطی اعضای قاب در نرم افزار Perform

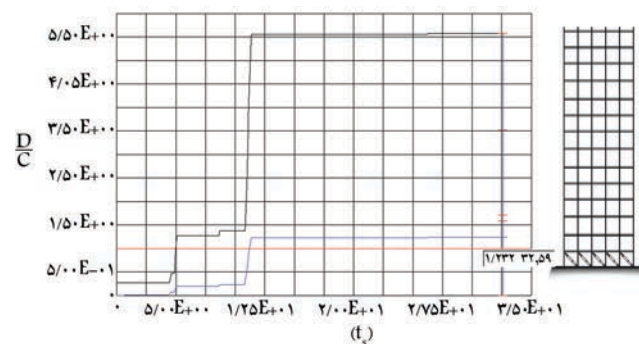
چون مقادیر تغییر شکل‌ها و نیروهای اجزا با رفتار کنترل‌شونده توسط تغییر شکل و نیرو از آنالیز غیرخطی محاسبه شده است؛ باید در اجزای با رفتار کنترل‌شونده توسط نیرو، نیروهای حاصل از تحلیل باید از کرانه‌ی پایین مقاومت تلاش مورد نظر کمتر باشد و در اجزای با رفتار کنترل‌شونده توسط تغییر شکل، تغییر شکل‌های حاصل از تحلیل از تغییر شکل مجاز داده‌شده در شکل ۴ و جدول ۳ برای سطح عملکرد انتخابی ارائه شده است.

با توجه به شکل ۴ و جدول ۳، ضرایب سطح‌های بهره‌برداری IO، IS، و CP برای المان‌های طولی که باید در این نوشتار به نرم‌افزار وارد می‌شود، به ترتیب ۷، ۲ و ۹ در نظر گرفته شد.

هدف بهسازی موردنظر ندارد. بررسی‌های بعدی به اثبات این قضیه کمک شایانی می‌کند.

این سری از تحلیل‌ها در هر ۱۵ طبقه انجام و نتایج مشابهی در کلیه‌ی طبقات به‌دست آمد و نمونه‌ی نقضی مشاهده نشد. نتایج در دو چیدمان تک‌ی و چیدمان گسترده در تمامی دهه‌ها، در ۱۵ طبقه در جدول ۴ درج شده است. برای مقایسه‌ی نتایج تحلیل‌ها، معیار کنترل شوننگی تغییرشکل را برای ستون‌ها در سطح بهره‌برداری CP، برای سطح خطر ۱ در نظر گرفته‌ایم.

همچنین با تأمل در نتایج این تحلیل‌ها، با توجه به عدم کاهش عدیده‌ی نسبت تقاضا به ظرفیت در حین افزایش تعداد میراگرها، می‌توان به این نتیجه رسید که افزودن بیش از یک میراگر ویسکوز در هر طبقه، تأثیری در بهبود رفتار لرزه‌ی سازه نخواهد داشت. بنابراین، در ادامه‌ی پژوهش با تعبیه‌ی فقط یک میراگر در هر طبقه بررسی‌های بعدی انجام می‌شود.



شکل ۶. شماتیک قاب موردبررسی در چیدمان ۱-Total-C و نمودار ضریب D/C به زمان برای سطح بهره‌برداری CP ستون‌های قاب در سطح بهره‌برداری مربوط به چیدمان ۱-Total-C.

جدول ۳. پارامترهای مدل‌سازی و معیارهای پذیرش در روش‌های غیرخطی-اجزای سازه‌ی فولادی در دستورالعمل بهسازی لرزه‌ی [۱۰]

معیارهای پذیرش					پارامترهای مدل‌سازی			
زاویه‌ی چرخش خمیری، رادیان					نسبت تنش پس‌ماند	زاویه‌ی چرخش خمیری، رادیان		جزء/تلاش
اعضای اصلی <sup>۱۴</sup>		اعضای غیراصلی		پس‌ماند		a	b	
CP	LS	CP	LS	IO	c	b	a	
تیرها - ستون‌ها								
۱۱0 <sub>y</sub>	۹0 <sub>y</sub>	۸0 <sub>y</sub>	۶0 <sub>y</sub>	0 <sub>y</sub>	۰/۶	۱۱0 <sub>y</sub>	۹0 <sub>y</sub>	الف: $\frac{h}{t_w} \leq \frac{2185}{\sqrt{F_{ye}}}$ و $\frac{b_f}{t_f} \leq \frac{440}{\sqrt{F_{ye}}}$

جدول ۴. مقایسه‌ی ضریب D/C برای ستون‌های قاب در سطح بهره‌برداری CP برای قاب با حالت‌های تک میراگر در هر تراز و حالتی که تمام دهه‌ها در یک تراز دارای میراگر باشند.

طبقه	C-X-۳	C-T-X	X
	ضریب D/C برای ستون‌های قاب در سطح بهره‌برداری CP	ضریب D/C برای ستون‌های قاب در سطح بهره‌برداری CP	مرحله‌ی انهدام*
۱	بدون انهدام*	۱/۲۳۷	بدون انهدام
۲	۲/۳۵۴	۲/۳۵۴	۶۸۲
۳	۲/۳۵۴	۲/۳۱۹	۵۵۶
۴	۲/۰۹۲	۲/۱۲۳	۶۷۸
۵	۱/۵۶۳	۱/۵۷	۶۸۳
۶	۱/۳۹	۱/۴	۶۹۰
۷	۱/۳۶	۱/۳۷	۶۹۷
۸	۱/۴۱۱	۱/۴۱۱	۷۰۰
۹	۱/۵۶۹	۱/۵۶۹	۷۰۱
۱۰	۱/۵۶۹	۱/۵۹۲	۷۰۴
۱۱	۱/۹۲	۱/۹۲	۷۰۲
۱۲	۱/۵۸۱	۱/۵۸۱	۷۰۲
۱۳	۱/۴۶۵	۱/۴۶۵	۶۹۸
۱۴	۱/۴۴	۱/۴۴	۶۹۹
۱۵	۱/۴۶	۱/۴۶	۶۹۹

\* شتاب‌نگاشت‌ها در ۳۲/۸ ثانیه اعمال می‌شود که هر مرحله از تحلیل در بازه‌های زمانی ۰/۲ ثانیه انجام می‌شود. بنابراین، کل تحلیل در ۱۶۴۱ مرحله انجام می‌شود.

### ۲.۴. پژوهش ۲

برای ارزیابی هر دهانه برای تعبیهی میراگر در هر تراز، میراگر را در دهانه‌های متفاوت در آن تراز قرار داده و مقدار و ضریب  $D/C$  را برای ستون‌های قاب در سطح بهره‌برداری آستانه‌ی فروریزش به دست آورده‌اند. برای به دست آوردن بهترین دهانهی هر طبقه برای تعبیهی میراگر، نتایج برای هر تراز به صورت مجزا مقایسه و به صورت گرافیکی در شکل ۷ آورده شده‌اند. بدیهی است دهانه‌ی که نسبت  $D/C$  کمتری دارد، برای قراردادن میراگر مناسب‌تر است.

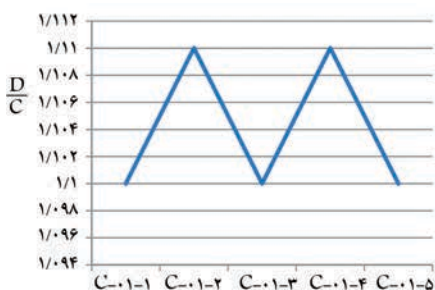
با توجه به تحلیل‌های مربوط در هر سری از چیدمان‌ها و مقایسه‌ی آن‌ها با یکدیگر می‌توان به این نتیجه رسید که در طبقات پایین سازه، دهانه‌ی میانی قاب بهترین محل برای قرارگیری میراگر است. اما در طبقات بالای طبقه‌ی میانی، محل قرارگیری میراگر در دهانه‌های مختلف هر طبقه تأثیری در رفتار لرزه‌ی سازه و کارایی میراگرها ندارد. این نتیجه با رفتار مود برشی قاب خمشی قابل توجیه است. لازم به ذکر است که در قاب‌های متقارن، با تعبیهی میراگر در دهانه‌های متقارن، رفتار لرزه‌ی یکسانی مشاهده شد.

### ۳.۴. پژوهش ۳

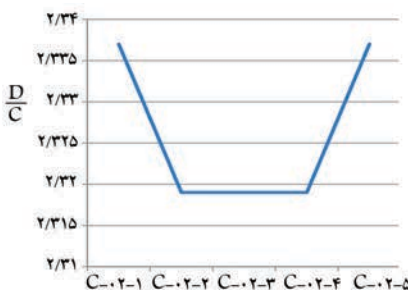
این پژوهش ابتدا با چیدمان یکنواخت میراگرها بدون در نظر گرفتن حالت قرارگیری میراگر انجام شده بود، که پس از انجام یافتن پژوهش ۴ با تلفیق نتایج به دست آمده از آن، برای بهینه‌ی قرارگیری میراگر در هر دهانه تصحیحات لازم انجام و مجدداً تحلیل‌ها تکرار شد. هدف از این تحلیل‌ها بررسی تأثیر پراکندگی میراگرها بر روی رفتار لرزه‌ی سازه‌ی مورد نظر است.

در تحلیل  $S-1$  سعی شد تا حد ممکن یک قاب با بیشینه‌ی پراکندگی در قرارگیری میراگرها مفروض باشد (شکل ۸). در این پژوهش از نتایج تحلیل‌های قبل استفاده و چیدمان‌های جدید یک میراگر در هر تراز تعبیه‌ی تک شده است.

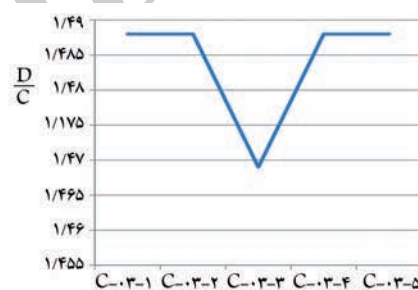
در چیدمان  $S-2$ ، پراکندگی میراگرها نسبت به چیدمان  $S-1$  کاهش داده شده است (شکل ۹). از مقایسه‌ی نتایج این دو تحلیل مشاهده می‌شود که با کاهش پراکندگی میراگرها در قاب، از تغییر شکل‌های خمیری در انتهای آنالیز کاسته می‌شود. در تحلیل  $S-3$  سعی شد چیدمان میراگرها در قاب دارای پراکندگی منظم‌تری باشند (شکل ۱۰).



طبقه اول  
( $t_1$ )



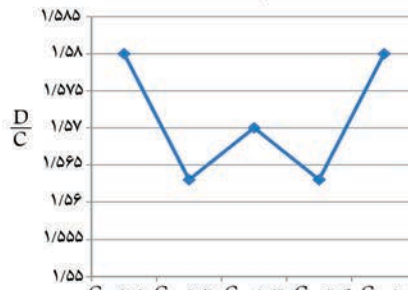
طبقه دوم  
( $t_2$ )



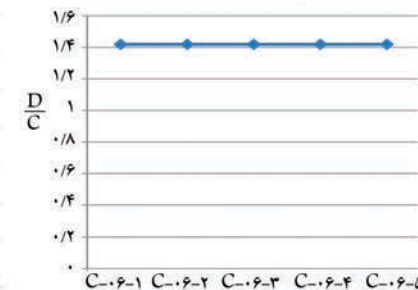
طبقه سوم  
( $t_3$ )



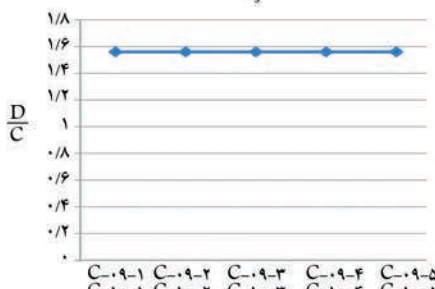
طبقه چهارم  
( $t_4$ )



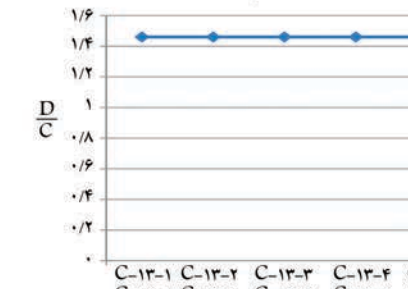
طبقه پنجم  
( $t_5$ )



طبقات ششم، هفتم، هشتم  
( $t_6$ )

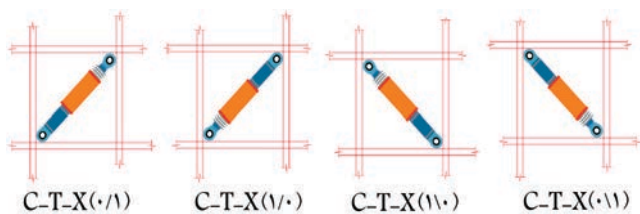


طبقات نهم، دهم، یازدهم، دوازدهم  
( $t_7$ )

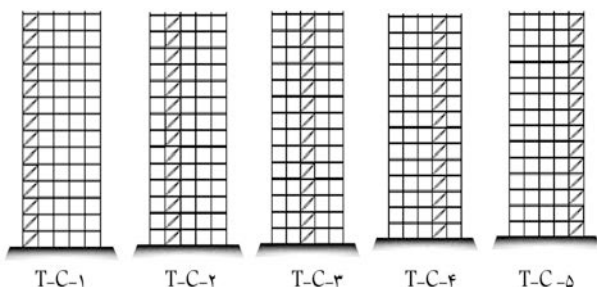


طبقات سیزدهم، چهاردهم، پانزدهم  
( $t_8$ )

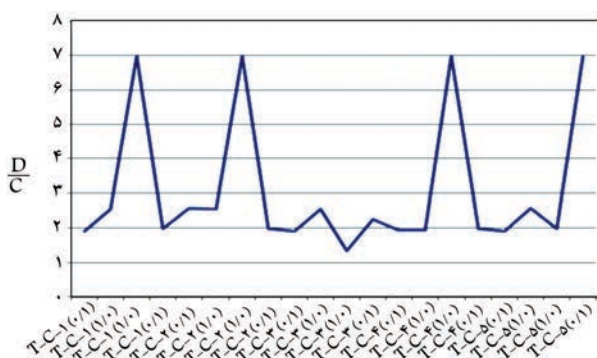
شکل ۷. نمودار تغییرات ضریب  $D/C$  در سطح بهره‌برداری آستانه‌ی فروریزش برای ستون‌های قاب نسبت به تغییر دهانه‌ی قرارگیری میراگر، در طبقات.



شکل ۱۱. حالت‌های مختلف قرارگیری میراگر در یک دهانه [۱۱]



شکل ۱۲. شماتیک چیدمان‌ها.



شکل ۱۳. نمودار تغییرات ضریب  $D/C$  برای سطح بهره‌برداری خدمت‌رسانی بی‌وقفه برای ستون‌های قاب نسبت به تغییرات چیدمان و جهت میراگرها.

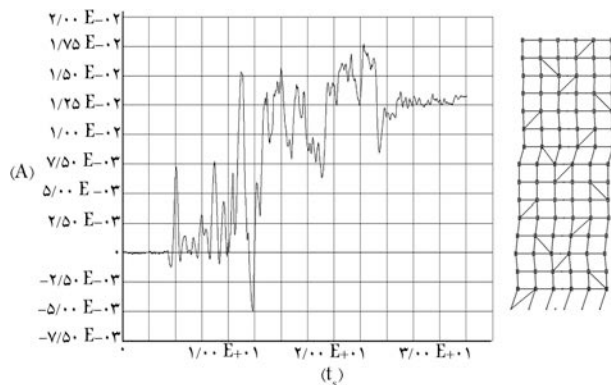
برای بررسی این موضوع در تمامی دهانه‌ها، هر ۴ حالت نشان داده‌شده در شکل ۱۱ در نظر گرفته شد.

از تلفیق حالت قرارگیری میراگر در یک دهانه مطابق شکل ۱۱ و چیدمان‌های اصلاح شده مطابق شکل ۱۲ در فضای احتمالاتی، ۲۰ حالت ممکن رخ خواهد داد که در این پژوهش همگی این ۲۰ حالت مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. چکیده‌ی نتایج این ۲۰ تحلیل در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

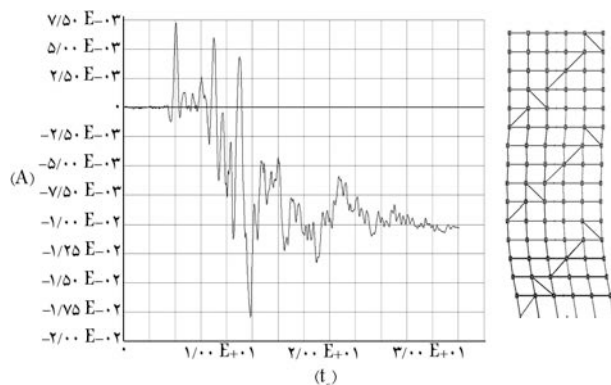
با مطالعه و مقایسه‌ی نتایج حاصل از این سری تحلیل‌ها، می‌توان به این نتیجه رسید که میراگر در حالتی بیشترین کارایی خود را دارد که در دهانه‌ی میانی تعبیه شود. با دقت در نمودار مربوط به شکل ۱۳، چیدمان  $T-C-3(1/0)$  به‌منزله‌ی چیدمان بهینه و طرح مقاوم سازه در برابر نیروهای جانبی برای قاب مورد بررسی و موارد مشابه انتخاب و توصیه می‌شود.

## ۵. کنترل اهداف بهسازی مطلوب طرح پیشنهادی

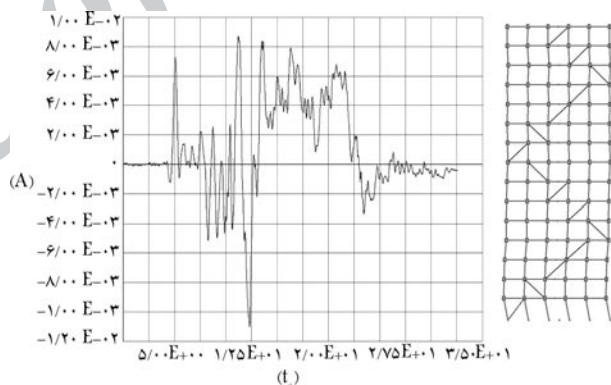
برای کنترل نسبت شتاب مبنای طرح به  $g/5$  تغییر داده شد. همچنین معیار کنترل تغییرشکل از LS به CP برای کل المان‌های سازه تغییر یافت که طبق نمودار



شکل ۸. چیدمان S-۱ و تاریخچه‌ی زمانی تغییر مکان قاب.



شکل ۹. چیدمان S-۲ و تاریخچه‌ی زمانی تغییر مکان قاب.



شکل ۱۰. چیدمان S-۳ و تاریخچه‌ی زمانی تغییر مکان قاب.

با مقایسه‌ی نتایج این تحلیل با تحلیل‌های مشابه قبل، رفتار لرزه‌ی قابل قبول‌تری از قاب مشاهده می‌شود، به طوری که در انتهای تحلیل، قاب از تغییرشکل‌های خمیری و برگشت‌ناپذیر مصون مانده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت، چیدمان‌های منظم‌تر نسبت به چیدمان‌های پراکنده و نامنظم رفتار لرزه‌ی قابل قبول‌تری دارند.

## ۴.۴. پژوهش ۴

هدف اساسی این پژوهش بررسی تأثیر نحوه‌ی قرارگیری میراگرهای لزوج در یک دهانه بر سطح عملکرد لرزه‌ی سازه است. این سری از تحلیل‌ها، با در نظر گرفتن نتایج پژوهش ۱، از تک میراگر در هر تراز استفاده شد و با در نظر گرفتن نتیجه‌ی پژوهش ۲ از پراکندگی میراگرها در ارتفاع قاب خودداری به عمل آمد.

CP بر مبنای بهسازی مطلوب در مقابل سطح زلزله‌ی موردانتظار بررسی شد. این نتایج به دست آمد:

الف) افزایش تعداد میراگرهای و بسکوز در هر طبقه تأثیر معناداری بر بهبود رفتار لرزه‌یی سازه و رسیدن به هدف بهسازی موردنظر ندارد (با مقایسه‌ی بین تحلیل  $C=1-1$  و  $C=1-Total$  و مشاهده‌ی نتایج مشابه در کلیه‌ی تحلیل‌ها و عدم مشاهده‌ی نمونه‌ی نقض‌کننده در سایر تحلیل‌ها).

ب) برای قرارگیری میراگر در هر دهانه، تغییرات عمده‌ی در نتایج تحلیل به وجود می‌آورد (با مقایسه‌ی نتایج دو تحلیل مربوط به چیدمان‌های  $C=1-3$  و  $C=1-1$  و  $C=1-3/1-3$ ، به‌وضوح مشاهده می‌شود که در تحلیل  $(C=1-3)$  تجزیه و تحلیل تا انتهای بارگذاری دینامیکی ادامه پیدا کرده، ولی در تحلیل  $(C=1-3/1-3)$  این نتیجه اتفاق نیفتاد و سازه منهدم و تحلیل در مرحله‌ی  $1051$  متوقف شد).

ج) در قاب مقارن با تعبیه‌ی میراگر در دهانه‌های مقارن نتایج یکسانی به دست آمد (با مقایسه‌ی رفتار بین دو تحلیل  $C=1-2$  و  $C=1-4$  و همچنین  $C=1-5$  و  $C=1-1$  و مشاهده‌ی نتایج نظیر در سایر تحلیل‌ها در دهانه‌های مقارن و عدم مشاهده‌ی نمونه‌ی نقض‌کننده در سایر تحلیل‌ها).

د) با قراردادن میراگر در دهانه‌ی طبقه‌ی پایین‌تر، اصلاح رفتار سازه بسیار چشمگیرتر نسبت به طبقه‌ی فوقانی‌اش است (با مقایسه‌ی تحلیل  $C=1-1$  با تحلیل  $C=1-2$  و همچنین تحلیل‌های  $C=1-2$  با  $C=2-2$  و دیگر تحلیل‌ها).

ر) محل قرارگیری میراگر در دهانه‌های مختلف هر طبقه تأثیری در رفتار لرزه‌یی سازه و کارایی میراگرها در تراز بالای طبقات میانی ندارد (شکل ۷). این نتیجه با رفتار مود برشی قاب خمشی قابل توجیه است.

ز) ترکیب غیریکنواخت میراگرها، واکنش سازه و هارمونی رفتاری و عکس‌العمل سازه را در نیروی جانبی به هم می‌ریزد (با مقایسه‌ی نتایج پژوهش ۳ و همچنین با مقایسه‌ی بین نتایج چیدمان S-1 با T-C-1 و یا دیگر چیدمان‌های ستونی). بنابراین توصیه می‌شود تا حد ممکن از یکنواختی میراگرها در سازه خودداری شود.

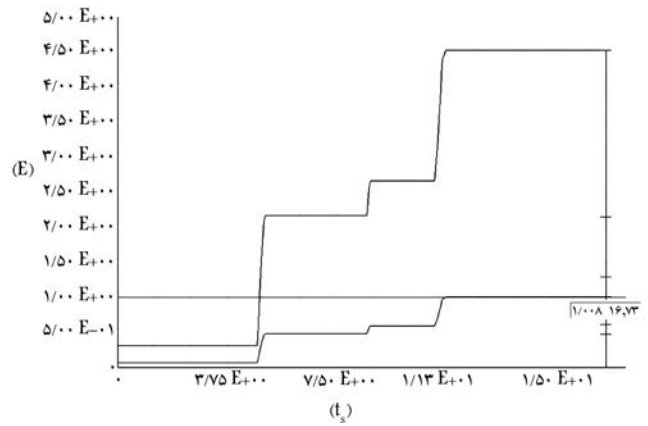
ه) میراگر در حالتی دارای بالاترین کارایی و عملکرد بهتر است که در دهانه‌ی میانی تعبیه شود (نتایج حاصل از پژوهش ۴، شکل ۱۳).

## پانویس

۱. برای هر حالت چیدمان میراگر در قاب، نامگذاری بر اساس ماتریس قرارگیری میراگر در قاب انجام شده است. (برای مثال  $C=1-2$  یعنی استقرار میراگر در طبقه‌ی اول دهانه‌ی دوم و  $C=1-Total$  یعنی قاب با تعبیه میراگر در تمام دهانه‌های طبقه‌ی اول).

## منابع (References)

1. Applied Technology Council, FEMA- 440 (ATC- 55), *Improvement Of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C. (2005).



شکل ۱۴. نمودار سطح بهره‌برداری برای طراحی سطح خطر «بیشینه زلزله محتمل» (MPE).

خروجی از نرم‌افزار Perform-3D، ارائه شده در شکل ۱۴ نسبت CP سازه‌ی مقاوم‌سازی شده برای ستون‌ها  $0.64$  و برای تیرها  $1.08$  بود. از این رو چیدمان بهینه‌ی پیشنهادی برای بهسازی مطلوب کنترل و مشاهده شد که برای سطح خطر ۲ نیز قابل اعتماد است.

## ۶. نتیجه‌گیری

در این پژوهش سعی شد با مدل‌سازی غیرخطی و بارگذاری و تحلیل به روش تاریخچه‌ی زمانی شتاب‌نگاشت، تأثیر میراگرها بر رفتار لرزه‌یی یک سازه، تابعی از چند پارامتر همچون تعداد میراگرها و محل آن‌ها در سازه بررسی شود. به گونه‌ی که در انتها، یک سازه‌ی بسیار ضعیف با ارتفاع متوسط  $50$  متر را با تدابیر درست بر مبنای دستورالعمل بهسازی لرزه‌یی و آئین‌نامه‌ی طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله‌ی استاندارد  $2800$  تحلیل و با به‌کارگیری نتایج این پژوهش با الحاق میراگر برای سطح خطر ۱ برای سطح بهره‌برداری LS و برای سطح خطر ۲ برای سطح بهره‌برداری

2. Chia-ming, asayoshi Nakashima and Keh-chyuan 'Tsai, *Research and Application of Buckling-Restrained Braced Frames, Steel Structures 4*, pp.301-313 (2004).
3. Butterworth.J.J and Clifton.C.G. Performance of Hierarchical Friction Dissipating Joints in Moment Resisting Steel Frames, 12th World conf.on Earthquake Engineering 718, (2000).
4. Kelly, L.M.; Skinner, R.I. and Heine, A.J. "Mechanisms of energy absorption in special devices for use in earthquake - resistant structure", *Bull. N.Z. Nat. Soc. for Earthquake Eng.*, 5(3), (1972).
5. Dihong Shao. "Viscous Damper versus Friction Damper for Retrofit of a Non-Ductile Reinforced Concrete Build-

# IMPROVEMENT OF SEISMIC PERFORMANCE OF STRUCTURE BEHAVIOR UTILIZING VISCOUS DAMPERS AND OPTIMAL VISCOUS DAMPER ARRANGEMENTS IN STEEL FRAMES

**J. Keyvani\***

jkeyvani@tmu.ac.ir

**M. Rahimiasl**

mehdi\_rahimiasl@tmu.ac.ir

**Dept. of Civil Engineering  
Kharazmi University**

Sharif Civil Engineering Journal

Volume 28, Issue 2, Page 81-88, Original Article

© Sharif University of Technology

## Abstract

In this study, the behavior of viscous dampers as energy absorbing devices in structures subjected to seismic excitations is investigated. Perform-3D software is used to numerically model a typical 5-span steel frame of, approximately, a 50 meter building. The model is representative of an existing building which incorporates viscous dampers to improve seismic performance. The frame model was analyzed using different acceleration

time series. An evaluation was performed to examine effects of various damper arrangements on the seismic performance of the building; the number of dampers at each level, damper locations in various spans of the steel frame, and the distribution of various dampers in spans and levels of the frame. Based on the results of the current study and a meta-analysis of the findings of previous research, an optimal arrangement of dampers for improving the seismic performance of the structure is proposed. The most significant research results are as follows:

1. Increasing the number of viscous dampers at each level has no considerable effect on the seismic behavior of the structures.
2. Changing the direction of the dampers at each span has a considerable effect on analysis results.
3. Locating dampers at lower levels is more efficient than at higher levels.
4. Locating dampers at the middle span of each level is better for improvement of the seismic behavior of the structure.

**Key Words:** viscous damper, seismic rehabilitation, nonlinear dynamic analysis, performance based seismic design, inelastic deflection.

---

\* corresponding author

Received 08 March 2010; received in revised form 08 January 2011; accepted 25 April 2011