

# تأثیر ارتفاع در توزیع انرژی در ساختمان‌های فولادی بهسازی شده با میراگرهای ویسکوز مایع در اثر ضربه

جواد واتقی امیری (استاد)

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

محمد پسندیده\* (کارشناس ارشد)

دانشکده مهندسی عمران، مؤسسه آموزش عالی پردیس

مهندسی عمران شریف، تابستان ۱۳۹۵  
د. ی. ۲ - ۲۲ - شماره ۱/۲ - ص. ۲۸-۳۹

هدف از این پژوهش ارزیابی تأثیر ارتفاع در توزیع انرژی در ساختمان‌های فولادی بهسازی شده با میراگرهای ویسکوز مایع در اثر ضربه است. بدین منظور ۳ مدل زوج قاب‌های دو بطنی ۸، ۶، ۱۲ طبقه ۳ و ۴ دهانه، مطابق آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ ایران (ویرایش سوم) طراحی و در نصف فاصله‌ی مجاز آیین‌نامه‌ی استاندارد ۲۸۰۰ ایران (۲۰۰۱) ارتفاع ساختمان کوتاه‌تر) در کنار یکدیگر قرار داده شده و در حالت با و بدون میراگر در مقابل ۷ زوج شتاب‌نگاشت با نرم‌افزار Perform-۳D تحلیل دینامیکی غیرخطی شده و انرژی اعضای اصلی سازه استخراج و بررسی شده است. با بررسی اثر ضربه این نتیجه حاصل شده است که با توجه به زیاد شدن ارتفاع و تشدید ضربه بین زوج قاب‌ها، بیشترین میزان اتلاف انرژی در سازه‌های بلندتر است و با قراردادن میراگر، بیشترین اتلاف انرژی به وسیله‌ی میراگر ویسکوز در سازه‌ی ۱۲ طبقه صورت گرفته است. وجود میراگر ویسکوز در میان قاب‌ها همواره موجب کاهش چشم‌گیر اثر ضربه و میزان انرژی اتلاف شده‌ی خمیری در المان‌های اصلی سازه شده است.

واژگان کلیدی: ضربه، میراگر ویسکوز مایع، اتلاف انرژی، تحلیل دینامیکی غیرخطی، Perform-۳D.

vaseghi@nit.ac.ir  
pasandideh58@yahoo.com

## ۱. مقدمه

به مقدار انرژی مستهلک شده به وسیله‌ی میراگر الحاقی است. [۱] ساده‌ترین شیوه در حذف ضربه، ایجاد فاصله‌ی کافی میان دو سازه‌ی موردنظر است، به طوری که در اثر ارتعاش غیرهم‌فاز به یکدیگر برخورد نکنند. اما این شیوه همیشه قابل اجرا نیست و یک روش غیراقتصادی است. تاکنون شیوه‌های مختلفی توسط پژوهشگران پیشنهاد و بررسی شده است. به عنوان مثال، در پژوهشی در سال ۱۹۹۸، پاسخ‌های دو ساختمان را در حالتی که فاصله‌ی میانی آنها توسط مواد شوک‌گیر پُر شده باشند، تحلیل شده است. [۲] همچنین در پژوهش دیگری در سال ۱۹۸۹، حالتی مورد بررسی قرار گرفته است که در آن دو ساختمان به وسیله‌ی تیری با سختی زیاد و به صورت دو مفصل در تراز طبقات به یکدیگر متصل می‌شوند. [۳] یکی از مدرن‌ترین شیوه‌های تأمین مقاومت لازم در برابر نیروهای جانبی زلزله، به کارگیری میراگرهایی است که انرژی وارده به سازه را در خود مستهلک و سازه را حفظ می‌کند، که به میراگرهای انرژی معروف هستند. در میان میراگرها، میراگرهای ویسکوز مایع به عنوان سیستم‌های کنترل غیرفعال اتلاف انرژی در بهسازی لرزه‌ی ساختمان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. برخلاف میراگرهای متداول، این میراگرها همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، منحنی هیستریزس متقارن دارند. در این میراگرها با استفاده از حرکت مایع لزج درون سیلندر انرژی مستهلک می‌شود. میراگرهای ویسکوز به دلیل سادگی در نصب، قابلیت انطباق و هماهنگی با سایر اعضا و

با بررسی زلزله‌های گذشته درمی‌یابیم که یکی از پدیده‌هایی که در اثر زلزله به وجود آمده و موجب تشدید خسارت شده است، پدیده‌ی ضربه است. آسیب‌های ناشی از ضربه زدن ساختمان‌ها به یکدیگر در اثر زلزله برای ساختمان‌های مجاور هم که فاصله‌ی کافی ندارند، می‌تواند بیشتر در مناطق پُر جمعیت و شلوغ شهری، که فاصله‌ی مابین ساختمان‌ها به اندازه‌ی نیست که از ضربه زدن ممانعت کند، اتفاق بیفتد. پژوهشگران همواره به دنبال روشی برای حذف و یا کاهش خسارت ناشی از این پدیده بوده‌اند. در حین زلزله، انرژی زیادی به سازه اعمال می‌شود. این انرژی به دو صورت جنبشی و پتانسیل (کرنشی) بر سازه اعمال می‌شود، که به طریقی جذب یا مستهلک می‌شود. اگر سازه فاقد میرایی باشد، ارتعاش آن پیوسته خواهد بود؛ اما به دلیل وجود میرایی در مصالح، ارتعاش کاهش می‌یابد. انرژی وارد بر سازه در اثر زلزله، مطابق رابطه‌ی ۱ محاسبه می‌شود:

$$E_i = E_k + E_g + E_s + E_h \quad (1)$$

که در آن،  $E_i$  انرژی ورودی،  $E_k$  انرژی جنبشی،  $E_s$  انرژی کرنشی قابل بازگشت در محدوده‌ی کشسان،  $E_h$  مقدار انرژی اتلاف شده به واسطه‌ی تغییر شکل غیرکشسان‌ها،

\* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۲/۹/۱۹، اصلاحیه ۱۳۹۲/۴/۲۵، پذیرش ۱۳۹۳/۷/۱.

مجاور با تعداد طبقات متفاوت پرداخته شده است. در این پژوهش دو ساختمان ۳ و ۴ طبقه توسط پلی در یکی از طبقات به یکدیگر متصل هستند و میراگر بین پلی و ساختمان کوتاه‌تر قرار گرفته است. ساختمان‌ها تحت دو رکورد نزدیک میدان قرار گرفته و از اندرکنش خاک و سازه صرف نظر شده است.<sup>[۱۲]</sup>

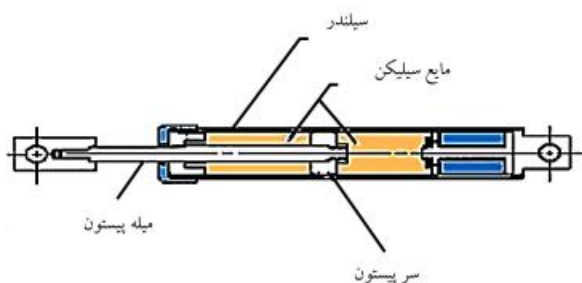
## ۲. اجزاء تشکیل‌دهنده و مقاطع میراگرهای ویسکوز مایع

اساس کار این نوع میراگرها، استهلاک انرژی توسط عبور پُر فشار مایع<sup>(۱)</sup> از درون روزنه‌ی تعبیه‌شده در کلاهک پیستون به هنگام وقوع ارتعاشات دینامیکی است. به طوری که عبور مایع با فشار زیاد از درون روزنه‌ی پیستون سبب ایجاد اختلاف فشار در دو طرف کلاهک پیستون و در نتیجه‌ی آن نیروی میراگر تولید 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 مقاوم‌سازی پیدا کرده‌اند. البته از معایب میراگرهای ویسکوز مایع این است که میراگرهای مذکور در انحصار شرکت‌های خصوصی قرار دارند و ساختن و نصب آنها نسبت به سایر میراگرها به دقت بیشتری نیاز دارد. همچنین، هزینه‌های بالای به کارگیری این سیستم میراگر در بهسازی لرزه‌ی سازه‌ها، همیشه توجیه اقتصادی قابل قبولی ندارد. اجزاء تشکیل‌دهنده‌ی میراگر ویسکوز در شکل ۲ نشان داده شده است.

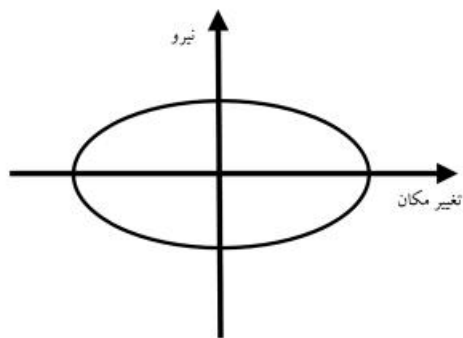
رابطه‌ی نیرو-سرعت برای میراگر ویسکوز به صورت رابطه‌ی ۲ نوشته می‌شود:

$$F = CV^n \quad (2)$$

که در آن،  $F$  نیروی میراگر،  $V$  سرعت نسبی پیستون، و  $C$  ضریب میرایی است.  $n$  نیز مقدار ثابتی است که می‌تواند مقداری در حد ۰٫۴ تا ۱٫۹۵ داشته باشد. مقدار  $n$  برای کاربردهای سازه‌ی در حد ۰٫۳ تا ۰٫۷ پیشنهاد شده است. میراگر با  $n = ۱$  دمپر ویسکوز خطی نامیده می‌شود، که در این حالت نیروی دمپر با سرعت نسبی متناسب است. میراگرهای با  $n$  بزرگتر از ۱، در کاربردهای عملی به کار نمی‌روند و میراگرهای با  $n$  کوچکتر از ۱، دمپر ویسکوز غیرخطی نامیده می‌شوند. شکل ۳، رابطه‌ی سرعت-نیرو را برای ۳ نوع مختلف از میراگرهای ویسکوز نشان می‌دهد. از المان‌های میله‌ی ویسکوز برای مدل‌کردن میراگرهای سیال مایع استفاده می‌شود. هر المان، دو گره را به هم متصل می‌کند و شامل یک جزء مرکب است و هر جزء مرکب باید یک جزء میراگر ویسکوز مایع و در امتداد آن یک جزء میله‌ی کشسان داشته باشد (مطابق شکل ۲). المان‌های میله‌ی ویسکوز فقط در مقابل نیروی محوری مقاومت می‌کنند. همچنین اثرات پی-دلتا می‌تواند در نظر گرفته شود.<sup>[۱۳]</sup>



شکل ۲. جزئیات تیپ سیستم میراگر ویسکوز.<sup>[۴]</sup>



شکل ۱. منحنی هیستریسیس میراگرهای ویسکوز مایع.<sup>[۴]</sup>

همچنین تنوع در ابعاد و اندازه‌های آنها، کاربرد بسیاری در طراحی و مقاوم‌سازی پیدا کرده‌اند.

در سال ۲۰۰۸ نیز در مورد ضربه‌ی ناشی از حرکات جانبی دو ساختمان مجاور، که در نزدیکی گسل‌های فعال قرار گرفته‌اند پژوهشی انجام گرفت و در آن، افزایش ظرفیت میرایی ضربه بین دو ساختمان به وسیله‌ی سیستم‌های اتلاف انرژی و یا بهبود تجهیزات لرزه بر ساختمان بیان شده است.<sup>[۵]</sup> همچنین در پژوهش دیگری (۲۰۰۵) پاسخ‌های دو ساختمان در حالتی که فاصله‌ی میانی آنها توسط مواد خردشونده پُر شده است، تحلیل شده است.<sup>[۶]</sup> برخی پژوهشگران نیز در پژوهش خود (۲۰۰۶) به بررسی تأثیر اتصال دو ساختمان مجاور توسط میراگر سیال پرداخته و پاسخ سازه را بررسی کرده‌اند.<sup>[۷]</sup> در پژوهش دیگری (۱۹۹۰) نیز فرمول‌بندی و حل معادلات سیستم‌های چند درجه آزادی برای یک نوع از ضربه‌زدن سازه‌ی ارائه شده و ضربه‌زدن مابین ساختمان موردنظر با ساختمان مجاور صلب در یک ارتفاع خاص مورد بررسی قرار گرفته است.<sup>[۸]</sup> پژوهشگری نیز (۲۰۰۸) ضربه‌ی بین دو ساختمان ۳ طبقه با ارتفاع طبقات یکسان، ولی با جرم‌های مختلف را مطالعه و به منظور مدل‌سازی رفتار ساختمان‌ها از مدل‌های سه بعدی با جرم متمرکز در سقف‌ها و رابطه‌ی نیرو-تغییر مکان کشسان‌خمیری کامل برای برش طبقات استفاده کرده است. طبق نتایج به دست آمده، بعد از اولین ضربه، در ساختمان سبک‌تر تغییر شکل‌های زیاد تا حد تسلیم و تغییر شکل‌های دائمی به وجود آمده است، ولی ساختمان سنگین‌تر تغییر مکان قابل توجهی نداشته است. همانند تغییر مکان، برش طبقات نیز در ساختمان سنگین‌تر نسبت به حالت منفرد تغییر محسوسی نداشته است، اما در ساختمان سبک‌تر و شکل‌پذیرتر افزایش برش ایجاد شده است.<sup>[۹]</sup> همچنین برخی پژوهشگران (۲۰۰۸)، مقایسه‌ی میان دو مدل هرتز با میراگر ویسکوکشسان انجام داده و برای مقایسه، ۳ نوع آزمایش در نظر گرفته‌اند. در آزمایش اول، یک گوی فولادی از ارتفاع خاصی بر روی یک تیر مربعی شکل سقوط کرده و مدت زمان ضربه ثبت شده است. در آزمایش دوم، دو قاب فولادی یک درجه آزادی در مجاورت یکدیگر بر روی میز لرزان تحت امواج هارمونیک مختلف قرار گرفته‌اند. در آزمایش سوم، بر اساس مدل‌سازی دو ساختمان یک درجه آزادی با بسامدهای طبیعی متفاوت و قراردادن المان‌های هرتز و ویسکوکشسان میان آنها به عنوان المان ضربه انجام شده است.<sup>[۱۰]</sup> در پژوهش دیگری (۲۰۰۵) نیز به بررسی تأثیر اتصال میراگر ویسکوز میانی در ساختمان‌های مجاور با جداگر پایه پرداخته شده است. در این پژوهش دو حالت مورد ارزیابی قرار گرفته است: در حالت اول، هر دو ساختمان مجاور با جداگر پایه ولی با خصوصیات دینامیکی متفاوت هستند؛ و در حالت دوم، یک ساختمان با جداگر و ساختمان مجاور با فونداسیون ثابت است.<sup>[۱۱]</sup>

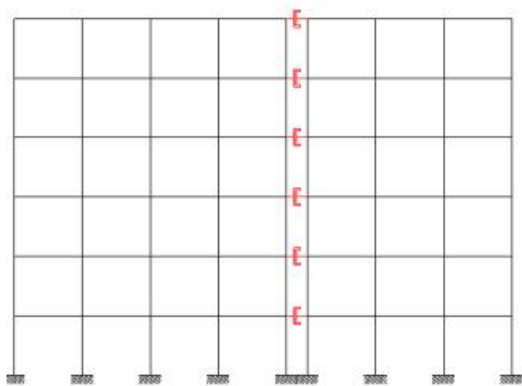
همچنین در پژوهشی (۲۰۰۶) به چگونگی تأثیر میراگر ویسکوز در دو ساختمان



از نوع مقاطع HEB در نظر گرفته شده‌اند. [۱۷] با توجه به نشریه‌ی ۳۶۰ و سازه‌ی موردنظر، تیرها در برش و خمش کنترل‌شونده توسط نیرو هستند. همچنین ستون‌ها در برابر برش کنترل‌شونده توسط نیرو و در برابر نیروی محوری فشاری کنترل‌شونده توسط نیرو و نیروی محوری کششی کنترل‌شونده توسط تغییرشکل هستند و مهاربدها نیز تحت نیروی محوری فشاری و کششی کنترل‌شونده توسط تغییرشکل هستند. [۱۸] در جدول ۲، مشخصات مصالح فولادی بیان شده است.

#### ۱.۱.۴. مبانی طراحی

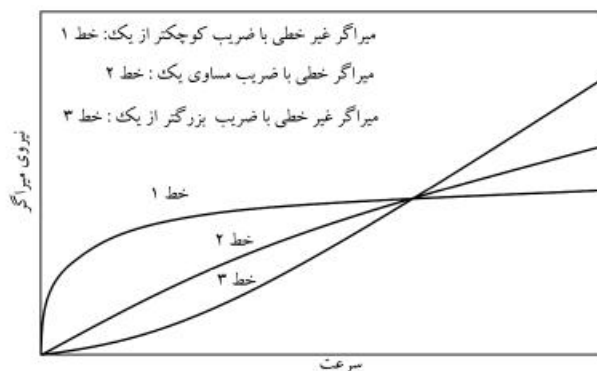
در طراحی سازه‌ها و عناصر باربر آنها، باید معیارهایی را در نظر گرفت. میزان اهمیت این معیارها به نوع سازه، اجزاء تشکیل‌دهنده‌ی ماده‌ی که سازه از آن ساخته می‌شود، و نحوه‌ی استفاده و سرویس‌گیری از آن بستگی دارد. معیارهای کلی که در طرح یک سازه می‌توان در نظر گرفت، شامل: معیارهای مقاومت، تسلیم خمیری یا خمیری‌شدن، پایداری، تغییرمکان، رفتار دینامیکی، ترد و شکنندگی، و خستگی هستند. در سازه‌هایی نظیر میراگر ویسکوز مایع، که وقوع کماتش یا ناپایداری در آنها عامل اصلی خرابی است، معیار کنترل‌کننده‌ی طراحی، پایداری خواهد بود. میراگرهای ویسکوز مایع، خاصیت اتلاف انرژی بسیار زیادی دارند. به همین دلیل در دسته‌ی دمیرهای هیستریک هستند.



شکل ۴. نمونه‌ی مدل سازه‌ی ۶ طبقه

جدول ۱. مشخصات مقاطع قاب‌ها.

مقاطع ستون‌ها	مقاطع تیرها
HEB ۶۰۰	$B_1$ IPE ۵۰۰
HEB ۵۰۰	$B_2$ IPE ۴۵۰
HEB ۴۵۰	$B_3$ IPE ۴۰۰
HEB ۴۰۰	$B_4$ IPE ۳۶۰
HEB ۳۲۰	$B_5$ IPE ۳۳۰
HEB ۳۰۰	$B_6$ IPE ۳۰۰
HEB ۲۸۰	$B_7$ IPE ۲۷۰
HEB ۲۶۰	
HEB ۲۴۰	
HEB ۲۲۰	
HEB ۲۰۰	
HEB ۱۸۰	
HEB ۱۶۰	
HEB ۱۴۰	



شکل ۳. رابطه‌ی سرعت - نیرو برای میراگرهای ویسکوز. [۱۹]

### ۳. بررسی مدل‌ها

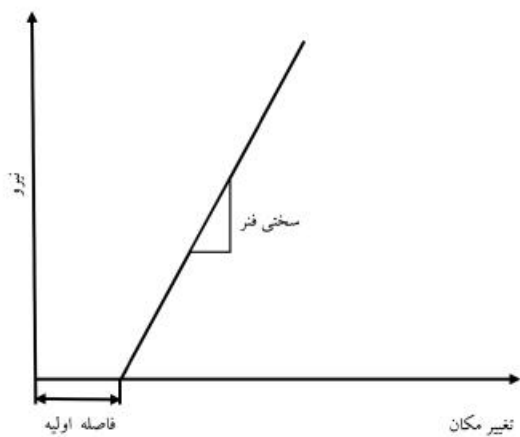
در این نوشتار، برای ارزیابی تأثیر ارتفاع در توزیع انرژی از ۳ ساختمان فولادی با پلان مشترک و تعداد طبقات ۶، ۸ و ۱۲ استفاده شده است. همچنین مقاطع موجود برای تیرها، IPE و برای ستون‌ها از نوع مقاطع HEB در نظر گرفته شده‌اند. این تذکر لازم است که در سربرگ‌های نرم‌افزار ۳D Perform، المان fluid damper برای طراحی موجود است و در این نوشتار از المان‌های مذکور (تیر و ستون و میراگر) در نرم‌افزار ۳D Perform، که طبق دستورالعمل FEMA نوشته شده‌اند، استفاده شده است. علت استفاده از نرم‌افزار قدرتمند ۳D Perform برای تحلیل قاب‌های دو بعدی، می‌توان به سرعت بالای آن در انجام تحلیل‌های غیرخطی اشاره کرد و دقیق‌بودن نتایج خروجی انرژی و همچنین مدل‌کردن آسان میراگر ویسکوز مایع در سربرگ ذکر شده در بالاست.

### ۴. معرفی مدل‌های سازه‌ی مورد بررسی

همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است، ارتفاع طبقات ۳ متر و طول هر دو دهانه‌ی قاب مساری و برابر ۴ متر است. قاب فلزی ۳ دهانه با جرم هر طبقه ۷۶۸۰ کیلوگرم و قاب فلزی ۴ دهانه با جرم هر طبقه ۱۰۲۴۰ کیلوگرم در نظر گرفته شده است. بارگذاری گسترده‌ی بار مرده در تراز طبقات قاب به مقدار ۲۴۰۰ کیلوگرم بر متر و بارگذاری گسترده‌ی زنده در تراز طبقات قاب به مقدار ۸۰۰ کیلوگرم بر متر است. در جدول ۱، مشخصات مقاطع قاب‌های مدل شده نشان داده شده است.

#### ۱.۴. طراحی مدل‌های مورد بررسی

در این پژوهش طراحی ساختمان براساس استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم انجام، [۱۲] و هر کدام از دو قاب در کنار هم در فاصله‌ی مجاز آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ قرار داده شده‌اند و پس از ایجاد ضربه بین دو قاب، یکبار بدون میراگر ویسکوز و یکبار با میراگر (میان‌قاب)، توزیع انرژی آنها به کمک نرم‌افزار ۳D-Perform بررسی شده است. [۱۵] که مشخصات در نظر گرفته شده بدین شرح است: منطقه از نظر پهنه‌بندی خطر نسبی زلزله در پهنه با خطر نسبی زیاد و همچنین نوع زمین از نوع III فرض شده است. در نتیجه نمودار ضریب بازتاب ساختمان و طیف پاسخ طراحی برای انجام بارگذاری جانبی زلزله براساس استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش سوم) با توجه به مقدار شتاب مبنای طرح (۰/۳۵ = A) به دست می‌آید. [۱۶] سیستم سازه‌ی قاب دو بعدی، قاب خمشی متوسط است. همچنین مقاطع موجود برای تیرها IPE و برای ستون‌ها



شکل ۶. رابطه‌ی نیرو - تغییر مکان فنر خطی. [۲۱]

فقط نیروی ضربه را منتقل و از انرژی هدررفته حین برخورد چشم‌پوشی می‌کند. [۲۱]

$$F_p = \begin{cases} K_L (u_1 - u_2 - g_p) & u_1 - u_2 - g_p > 0 \\ 0 & u_1 - u_2 - g_p \leq 0 \end{cases} \quad (2)$$

که در آن،  $u_1$  و  $u_2$  تغییر مکان هر یک از قاب‌ها،  $g_p$  فاصله‌ی اولیه بین دو قاب، و  $K_L$  سختی فنر مورد استفاده برای مدل‌سازی است و مقدار آن به جنس مصالح به‌کاررفته در سازه، شکل هندسی سطوح برخورد و سرعت برخورد بستگی دارد. به منظور مدل‌سازی المان Gap در نرم‌افزار Perform 3D نیاز به تعریف پارامترهایی شامل سختی فنر، سطح مقطع، و مقدار فاصله میان دو سازه که به یکدیگر ضربه می‌زنند، است. در این پژوهش، سختی المان Gap در هر طبقه ۲۰ برابر سختی خمشی آن طبقه در قاب کوتاه‌تر در نظر گرفته شده است. [۲۲]

## ۵. روش‌های تحلیل و بررسی نتایج

در این پژوهش از تحلیل دینامیکی<sup>۱</sup> غیرخطی برای تأثیر ارتفاع در توزیع انرژی در ساختمان‌های فولادی به‌سازی شده با میراگرهای ویسکوز مایع در اثر ضربه استفاده و روند انجام این تحلیل‌ها به همراه نتایج حاصل در ادامه ارائه شده است.

### ۱.۵. تحلیل دینامیکی غیرخطی

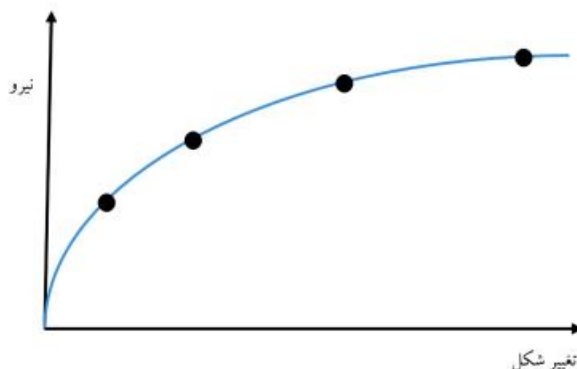
برای ارزیابی رفتار سازه‌هایی که تحت اثر زلزله قرار می‌گیرند، از تحلیل دینامیکی غیرخطی استفاده می‌شود. در این پژوهش از روش تاریخچه‌ی زمانی استفاده شده است. برای انجام این تحلیل در نرم‌افزار Perform 3D، مطابق با ضوابط ارائه شده در آیین‌نامه‌ی ۲۸۰۰ ایران، از ۷ زوج شتاب‌نگاشت نیوزلند، لوماپریتا، کاپه، نورث‌ریج، کوبه، طیس، و منجیل با دو نوع ترکیب بارگذاری ثقلی استفاده شده است. ترکیب بارگذاری ثقلی در نظر گرفته شده برای تحلیل براساس نشریه‌ی ۳۶۰ شامل این ۲ مورد است، که در این نوشتار استفاده شده است (رابطه‌ی ۴):

$$Q_G = 1/1 [Q_D + Q_L] \\ Q_G = 0/9 [Q_D] \quad (4)$$

که در آن،  $Q_D$  بار مرده و  $Q_L$  بار زنده براساس استاندارد ۵۱۹ است، که برابر ۲۵٪ بار زنده‌ی طراحی در نظر گرفته شده است. [۱۹]

جدول ۲. مشخصات مصالح فولادی.

$F_{ye} = 2400 \text{ kg/cm}^2$	مقاومت تسلیم مورد انتظار فولاد
$F_{yLB} = 2250 \text{ kg/cm}^2$	مقاومت تسلیم کرانه‌ی پایین فولاد
$E_s = 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$	مدول کشسانی مصالح فولادی



شکل ۵. نمودار شماتیک نیرو - تغییر شکل میراگر ویسکوز مایع. [۲۰]

جدول ۳. پارامترهای طراحی میراگر. [۲۱]

پارامترهای موجود در رابطه‌ی ۱	مقدار عددی	واحد
Force at last segment	۲۵۰	کیلو نیوتن
Rate at last segment	۰/۳	میلی متر بر ثانیه
Exponent, n	۰/۴	-
Coefficient, CO	۶۶۶۷	کیلو نیوتن ثانیه بر متر

### ۲.۱.۴. طراحی و مدل‌کردن میراگر ویسکوز مایع

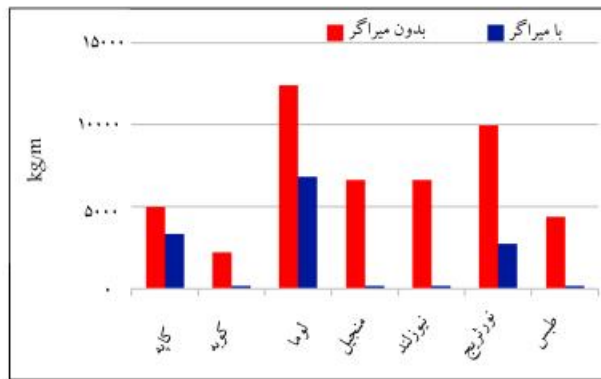
با استفاده از شبیه‌سازی رایانه‌ی و کالیبره کردن نتایج براساس کارهای آزمایشگاهی، مدل‌های ریاضی به منظور پیش‌بینی رفتار سازه‌های با میراگر توسعه یافته است. برای مدل‌کردن هر نوع میراگر وابسته به سرعت، کافی است تا منحنی نیرو-تغییر مکان آنها کاملاً در مدل‌سازی در نظر گرفته شود، که در شکل ۵ می‌توان مشاهده کرد. [۱۹]

در این راستا با استفاده از نرم‌افزار Perform 3D نسبت به مدل‌سازی میراگر ساده به صورت دو بُعدی و متقارن اقدام شده است. برای این منظور از مدل fluid damper این نرم‌افزار استفاده و فرض شده است که میراگر با سیال نیوتنی پر شده است. در جدول ۳، پارامترهای طراحی میراگر بیان شده است. ضمناً برای طراحی میراگر ویسکوز مایع از نتایج آزمایشگاهی استفاده شده است، که جهت استفاده ارائه شده است. [۲۰] مقدار  $F$  (نیروی وارد در اثر ضربه به میراگر) طبق فرمول  $F = CV^n$  به دست می‌آید. با توجه به گزینه‌ی Generate Coefficients در نرم‌افزار Perform 3D، داده‌های آزمایشگاهی با نرم‌افزار محاسبه شده است.

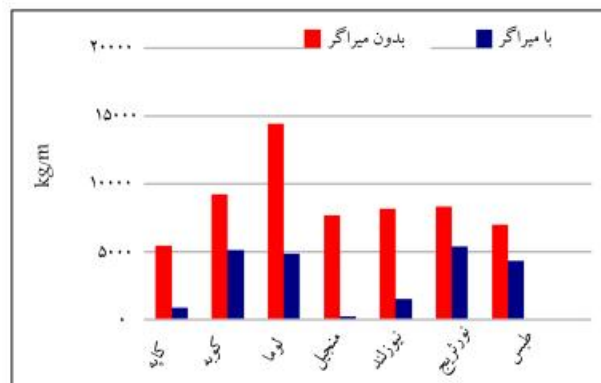
### ۳.۱.۴. المان فنر خطی (Gap)

در این پژوهش برای مدل‌کردن ضربه میان ۲ قاب فولادی ۳ و ۴ دهانه از المان Gap استفاده و در تمامی طبقات، میان دو قاب مجاور قرار داده شده است. این المان ساده‌ترین روش برای مدل‌سازی ضربه است. [۲۲] المان وقتی که دو سازه با یکدیگر تماس پیدا کنند و نیروی فشاری باشد، فعال می‌شود. مقدار نیروی حاصل با توجه به شکل ۶، به صورت خطی نسبت به تغییر مکان تغییر می‌کند. این المان،

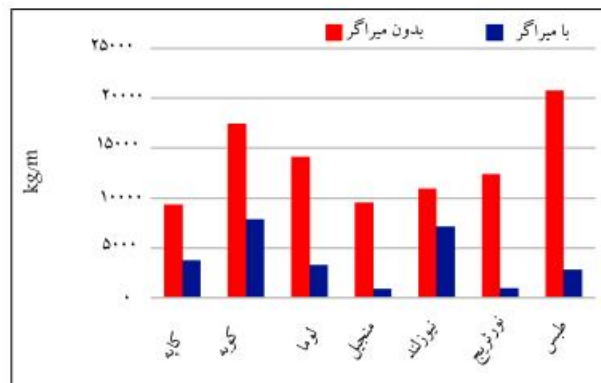




شکل ۷. مقایسه‌ی سهم اتلاف کل انرژی خمیری در سازه‌ی ۶ طبقه در فاصله‌ی ۹ سانتی متری. [۱۸]



شکل ۸. مقایسه‌ی سهم اتلاف کل انرژی خمیری در سازه‌ی ۸ طبقه در فاصله‌ی ۱۲ سانتی متری. [۱۸]



شکل ۹. مقایسه‌ی سهم اتلاف کل انرژی خمیری در سازه‌ی ۱۲ طبقه در فاصله‌ی ۱۸ سانتی متری. [۱۸]

ساختمان‌های ۸، ۶ و ۱۲ طبقه و توزیع کل انرژی خمیری در کل سازه توضیح داده شده است. لذا در این بخش به چگونگی جذب انرژی در اعضا اصلی پرداخته شده است.

مطابق شکل ۱۰، در فاصله‌ی ۹ سانتی متر، در ساختمان ۶ طبقه بیشترین توزیع انرژی خمیری طبق شکل در ستون‌ها و تیرهای قاب یک (۴ دهانه) است و سهم اتلاف انرژی در تیرهای قاب دو (۳ دهانه) کمتر بوده است. با قراردادن میراگر در میان قاب‌ها اثر تشدید ضربه به طور قابل ملاحظه‌ی کاهش یافته و طبق نمودار شکل ۱۰، توزیع انرژی در تیر و ستون‌های قاب ۴ دهانه تحت زمین لرزه‌ی

۱.۱.۵. مقایسه‌ی سهم اتلاف انرژی خمیری در کل المان‌های سازه قبل از بهسازی با بعد از به‌کارگیری میراگر و اسکوز مایع در اثر ضربه در این قسمت مقدار کل انرژی اتلاف شده‌ی خمیری در نصف فاصله‌ی مجاز آیین‌نامه، در اثر تأثیر ضربه، یکبار با میراگر و یکبار بدون میراگر توسط تحلیل دینامیکی غیرخطی در نرم‌افزار Perform ۳D انجام و نتایج به دست آمده در شکل‌های ۷ الی ۹ نشان داده شده است.

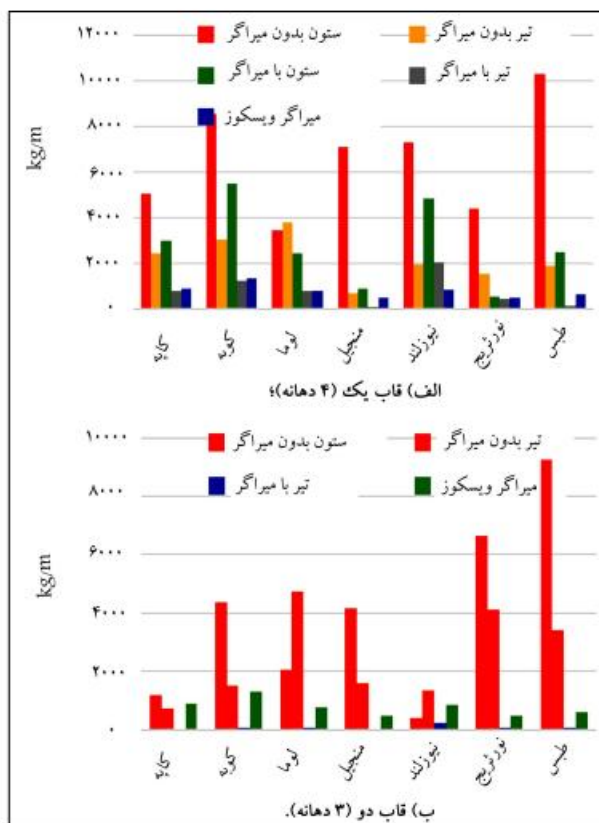
مطابق شکل ۷، در فاصله‌ی ۹ سانتی متری در ساختمان ۶ طبقه، نمودار آیین‌نامه مقدار اتلاف کل انرژی خمیری در اثر ضربه را نشان می‌دهد، که اعضاء اصلی سازه کل انرژی وارد شده در اثر ضربه که در طبقات بیشتر رخ داده است، را جذب کرده و با قراردادن میراگر در میان قاب‌ها نیز که با رنگ قرمز نشان داده شده است، اثر ضربه در تراز طبقات کاهش و جذب انرژی در اعضا اصلی به مقدار قابل توجهی کاهش یافته است. به طوری که تحت زمین لرزه‌ی کاپه ۳۳٪، تحت زمین لرزه‌ی کوبه ۹۵٪، تحت زمین لرزه‌ی نیوزلند ۹۷٪، تحت زمین لرزه‌ی نوزریج ۷۲٪، تحت زمین لرزه‌ی منجیل ۹۹٪، تحت زمین لرزه‌ی طیس ۹۸٪ و تحت زمین لرزه‌ی لوما پریتا ۴۴٪ کاهش داشته است.

مطابق شکل ۸، در فاصله‌ی ۱۲ سانتی متر در ساختمان ۸ طبقه، با زیاد شدن ارتفاع مشاهده شده است که اثر ضربه نسبت به ساختمان ۶ طبقه بیشتر شده است و با تشدید شدن ضربه در ارتفاع طبقات و مقدار جذب انرژی بیشتر توسط اعضاء اصلی سازه نسبت به ساختمان ۶ طبقه این مهم حاصل می‌شود که بیشترین جذب انرژی در اعضا اصلی در طبقات بالاتر رخ داده است، لذا با قراردادن میراگر در میان قاب، اثر ضربه در تراز طبقات به مقدار قابل توجهی، همان‌طور که در نمودارهای قرمز رنگ نشان داده شده است، کاهش چشم‌گیری داشته است. به طوری که تحت زمین لرزه‌ی کاپه ۸۳٪، تحت زمین لرزه‌ی کوبه ۴۴٪، تحت زمین لرزه‌ی نیوزلند ۸۱٪، تحت زمین لرزه‌ی نوزریج ۳۵٪، تحت زمین لرزه‌ی منجیل ۹۷٪، تحت زمین لرزه‌ی طیس ۳۸٪، و تحت زمین لرزه‌ی لوما پریتا ۶۶٪ کاهش داشته است.

مطابق شکل ۹، در فاصله‌ی ۱۸ سانتی متر در ساختمان ۱۲ طبقه، نسبت به ساختمان‌های ۶ و ۸ طبقه با زیاد شدن ارتفاع مشاهده شده است که اثر ضربه بیشتر شده است و با تشدید ضربه در ارتفاع طبقات و مقدار جذب انرژی بیشتر توسط اعضاء اصلی سازه نسبت به ساختمان ۶ و ۸ طبقه این مهم حاصل می‌شود که به مراتب اثر تشدید ضربه در ارتفاع ساختمان باعث جذب بیشتر انرژی در اعضا و همچنین باعث ایجاد خسارت در طبقات پایین‌تر و از دست دادن کل سازه می‌شود. لذا با قراردادن میراگر در میان قاب، اثر ضربه در تراز طبقات بالاتر به مقدار قابل توجهی، همان‌طور که در نمودارهای قرمز رنگ نشان داده شده است، کاهش چشم‌گیری داشته است و با ایجاد تیر ضعیف و ستون قوی می‌توان از جذب انرژی بالا توسط ستون‌ها جلوگیری کرد. همچنین اثر ضربه در اعضا اصلی به مقدار قابل توجهی کاهش پیدا کرده است. به طوری که تحت زمین لرزه‌ی کاپه ۵۹٪، تحت زمین لرزه‌ی کوبه ۵۴٪، تحت زمین لرزه‌ی نیوزلند ۳۴٪، تحت زمین لرزه‌ی نوزریج ۹۱٪، تحت زمین لرزه‌ی منجیل ۹۰٪، تحت زمین لرزه‌ی طیس ۸۶٪، و تحت زمین لرزه‌ی لوما پریتا ۷۶٪ کاهش داشته است.

### ۲.۱.۵. مقایسه‌ی سهم اتلاف انرژی خمیری در هر یک از اعضا اصلی سازه در اثر ضربه

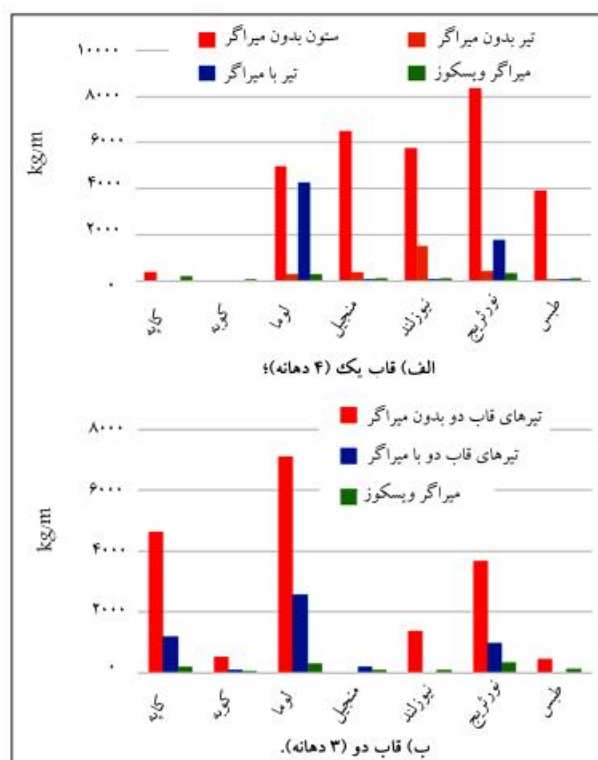
در این قسمت مقایسه‌ی توزیع انرژی در اعضا اصلی سازه یعنی تیر و ستون‌های دو قاب، که در مجاورت یکدیگر قرار دارند، قبل و بعد از قراردادن میراگر در نصف فاصله‌ی مجاز آیین‌نامه در شکل‌های ۱۰ الی ۱۲ نشان داده شده است. با توجه به اینکه در بخش ۱.۱.۵، در رابطه با تشدید ضربه با توجه به ازدیاد ارتفاع در



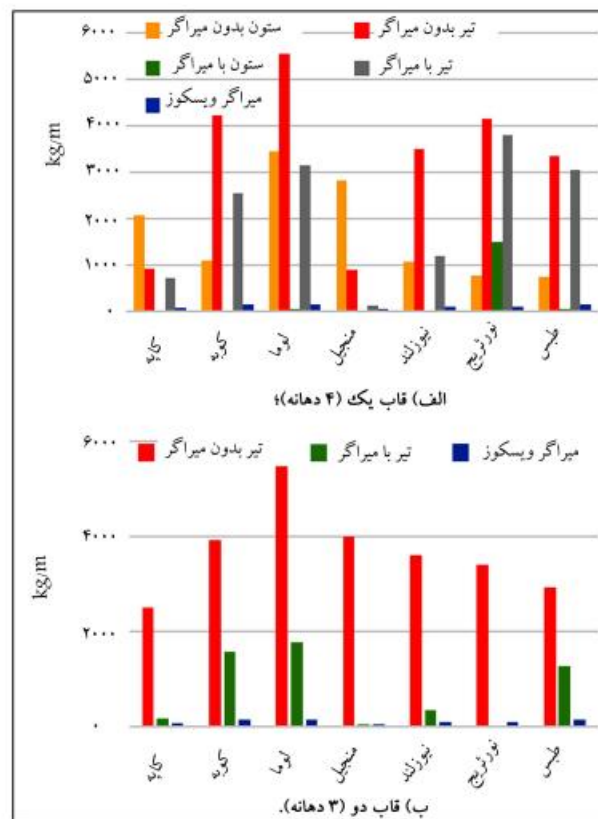
شکل ۱۲. توزیع انرژی المان‌های سازه ۱۲ طبقه در فاصله ۱۸ سانتی‌متر در حالت ضربه و ضربه با وجود میراگر.

کاپه ۱۰٪، تحت زمین‌لرزه نیوزلند ۹۸٪، تحت زمین‌لرزه نورث‌ویج ۷۲٪، تحت زمین‌لرزه منبجیل ۹۹٪، تحت زمین‌لرزه طیس ۹۹٪، و تحت زمین‌لرزه لوما پریتا ۱۹٪ کاهش داشته است. مقدار توزیع انرژی در تیر و ستون‌های قاب ۳ دهانه تحت زمین‌لرزه کاپه ۷۴٪، تحت زمین‌لرزه کوبه ۷۹٪، تحت زمین‌لرزه نیوزلند ۱۰۰٪، تحت زمین‌لرزه نورث‌ویج ۷۸٪، تحت زمین‌لرزه منبجیل ۱۰۰٪، تحت زمین‌لرزه طیس ۱۰۰٪ و تحت زمین‌لرزه لوما پریتا ۶۴٪ کاهش داشته است. مطابق شکل ۱۱، در فاصله ۱۲ سانتی‌متری، با افزایش ارتفاع در ساختمان ۸ طبقه نسبت به ساختمان ۶ طبقه در اثر تشدید ضربه در ارتفاع، بیشترین توزیع انرژی خمیری طبق شکل در ستون‌ها و تیرهای قاب یک (۴ دهانه) است، اما تیرهای قاب دو (۳ دهانه) به‌طور قابل ملاحظه‌ای انرژی جذب کرده‌اند. با قراردادن میراگر در میان قاب‌ها اثر تشدید ضربه به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته و طبق نمودار شکل ۱۱، توزیع انرژی در تیر و ستون‌های قاب ۴ دهانه تحت زمین‌لرزه کاپه ۷۵٪، تحت زمین‌لرزه کوبه ۵۲٪، تحت زمین‌لرزه نیوزلند ۷۴٪، تحت زمین‌لرزه نورث‌ویج ۷۵٪، تحت زمین‌لرزه منبجیل ۹۶٪، تحت زمین‌لرزه طیس ۲۵٪ و تحت زمین‌لرزه لوما پریتا ۶۵٪ کاهش داشته است. مقدار توزیع انرژی در تیر و ستون‌های قاب ۳ دهانه تحت زمین‌لرزه کاپه ۹۳٪، تحت زمین‌لرزه کوبه ۶۰٪، تحت زمین‌لرزه نیوزلند ۹۰٪، تحت زمین‌لرزه نورث‌ویج ۱۰۰٪، تحت زمین‌لرزه منبجیل ۹۸٪، تحت زمین‌لرزه طیس ۵۷٪ و تحت زمین‌لرزه لوما پریتا ۶۸٪ کاهش داشته است.

مطابق شکل ۱۲، در ساختمان ۱۲ طبقه برخلاف ساختمان‌های ۶ و ۸ طبقه، با افزایش ارتفاع طبقات بر اثر جابه‌جایی بیشتر در طبقات و تشدید ضربه اعضا

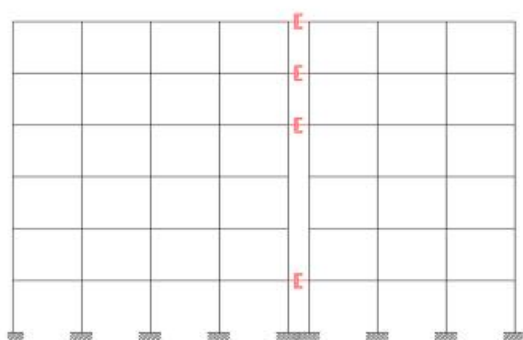


شکل ۱۰. توزیع انرژی المان‌های سازه ۶ طبقه در فاصله ۹ سانتی‌متری، در حالت ضربه و ضربه با وجود میراگر و بیسکوز.

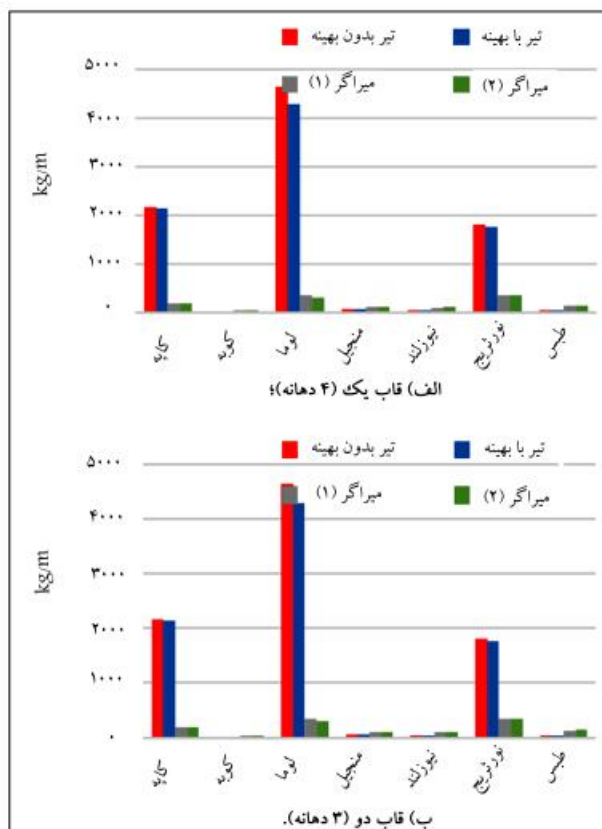


شکل ۱۱. توزیع انرژی المان‌های سازه ۸ طبقه در فاصله ۱۲ سانتی‌متری در حالت ضربه و ضربه با وجود میراگر.

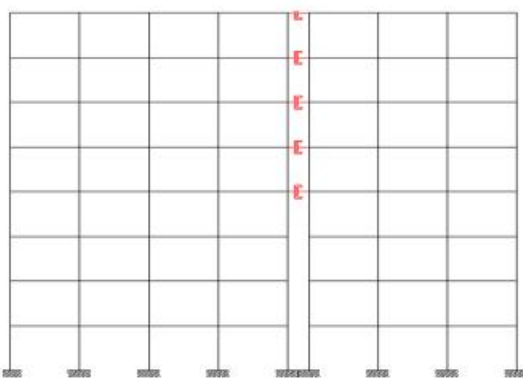




شکل ۱۳. قرارگیری قاب‌های ۶ طبقه‌ی ۳ و ۴ دهانه در مجاورت یکدیگر.



شکل ۱۴. توزیع انژی المان‌های سازی ۶ طبقه در حالت ضربه با وجود میراگر ویسکوز قبل و بعد از حذف میراگر.



شکل ۱۵. قرارگیری قاب‌های ۸ طبقه‌ی ۳ و ۴ دهانه در مجاورت یکدیگر.

هر دو قاب ۳ و ۴ دهانه به‌طور قابل ملاحظه‌ی جذب انژی داشته‌اند و بیشترین جذب انژی در ارتفاع بالاتر صورت گرفته است و با قراردادن میراگر در میان قاب‌ها اثر تشدید ضربه به‌طور قابل ملاحظه‌ی کاهش یافته و طبق شکل ۱۲، توزیع انژی در تیر و ستون‌های قاب ۴ دهانه تحت زمین‌لرزه‌ی کابه ۴۹٪، تحت زمین‌لرزه‌ی کوبه ۴۱٪، تحت زمین‌لرزه‌ی نیوزلند ۲۵٪، تحت زمین‌لرزه‌ی نورث‌ریج ۸۳٪، تحت زمین‌لرزه‌ی منجیل ۸۸٪، تحت زمین‌لرزه‌ی طیس ۲۵٪، و تحت زمین‌لرزه‌ی لوما پریتا ۵۵٪ کاهش داشته است. مقدار توزیع انژی در تیر و ستون‌های قاب ۳ دهانه تحت زمین‌لرزه‌ی کابه ۹۳٪، تحت زمین‌لرزه‌ی کوبه ۹۷٪، تحت زمین‌لرزه‌ی نیوزلند ۸۲٪، تحت زمین‌لرزه‌ی نورث‌ریج ۹۹٪، تحت زمین‌لرزه‌ی منجیل ۱۰۰٪، تحت زمین‌لرزه‌ی طیس ۹۷٪ و تحت زمین‌لرزه‌ی لوما پریتا ۹۸٪ کاهش داشته است.

### ۶. بهینه‌کردن نحوه‌ی آرایش میراگرها در تراز طبقات

با استفاده از نرم‌افزار قدرتمند Perform ۳D، که توانایی ارائه‌ی مقدار انژی اتلاف‌شده در هر طبقه برای هر المان را دارد، با توجه به میزان جذب انژی میراگر در تراز طبقات تعداد میراگرها نیز بهینه شده است، به‌طوری که میراگری که در تراز طبقه میان قاب انژی جذب نکرده است، حذف و نتایج آن با حالت اول (میراگر در تمام طبقات) مقایسه شده است. در نمودارهای مربوط، هر پاسخ نشان داده شده است.

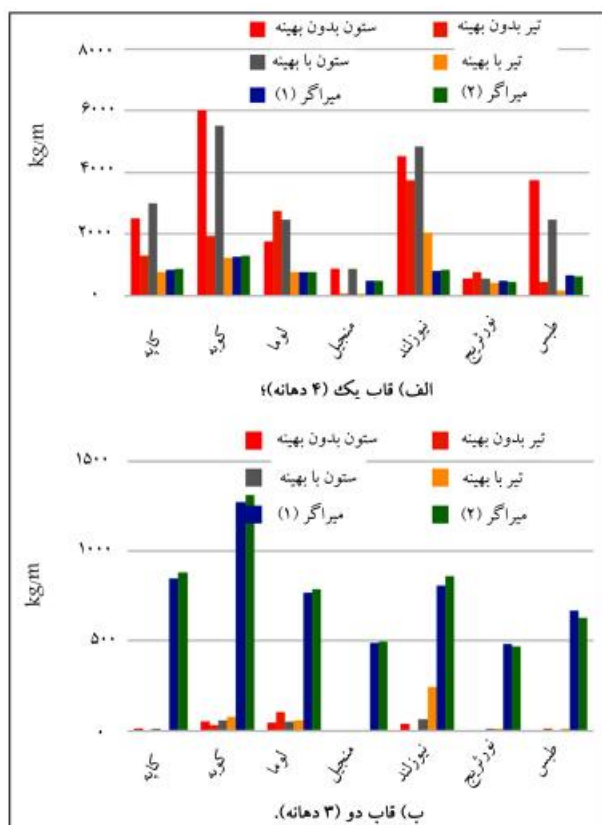
### ۱.۶. مقایسه‌ی سهم اتلاف انژی خمیری در هر یک از اعضا

#### اصولی سازه در اثر ضربه ۱.۱.۶. ساختمان ۶ طبقه

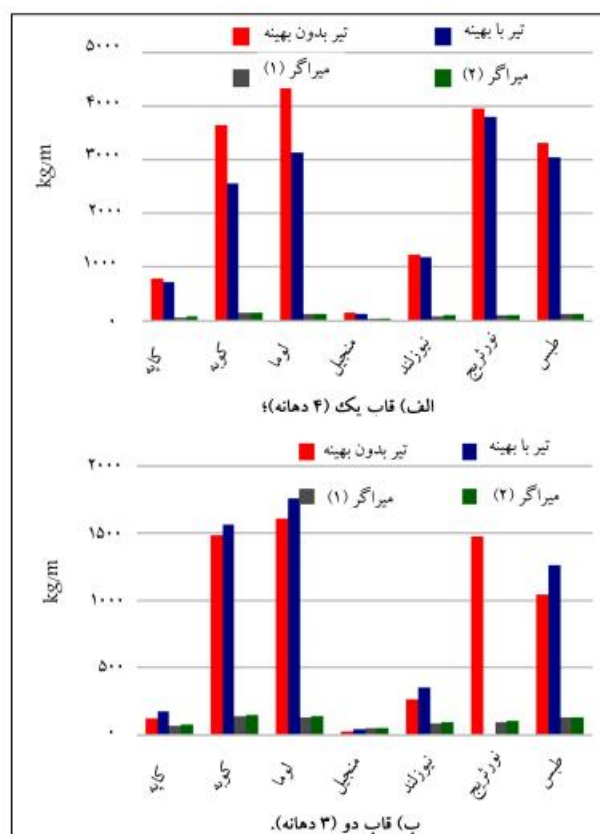
مطابق شکل ۱۳ و ۱۴، می‌توان دریافت که توزیع انژی در تیر و ستون‌های ساختمان ۶ طبقه با حذف میراگر در طبقه‌ی دوم و سوم افزایش ناچیزی داشته است، حتی در زمین‌لرزه‌ی کوبه هیچگونه تغییری مشاهده نشده است. مقدار توزیع انژی در تیر و ستون‌های قاب ۶ طبقه (۴ دهانه) تحت زمین‌لرزه‌ی کابه ۱۳٪ و تحت زمین‌لرزه‌ی نیوزلند تغییری نداشته است، تحت زمین‌لرزه‌ی نورث‌ریج ۲٪، تحت زمین‌لرزه‌ی منجیل ۱۱٪، تحت زمین‌لرزه‌ی طیس ۱۱٪ و تحت زمین‌لرزه‌ی لوما پریتا ۷٪ افزایش داشته است. مقدار توزیع انژی در تیر و ستون‌های قاب ۶ طبقه (۳ دهانه) تحت زمین‌لرزه‌ی کابه ۱۹٪ افزایش و تحت زمین‌لرزه‌ی کوبه تغییری نداشته است، تحت زمین‌لرزه‌ی نورث‌ریج ۱۶٪ و تحت زمین‌لرزه‌ی لوما پریتا ۱۵٪ در تیرها کاهش داشته است.

#### ۲.۱.۶. ساختمان ۸ طبقه

مطابق شکل ۱۵ و ۱۶ می‌توان دریافت، توزیع انژی در تیر و ستون‌های ساختمان ۸ طبقه با حذف میراگر در طبقات اول الی سوم افزایش ناچیزی داشته است. مقدار توزیع انژی در تیر و ستون‌های قاب ۸ طبقه (۴ دهانه) تحت زمین‌لرزه‌ی کابه ۷٪، تحت زمین‌لرزه‌ی کوبه ۳۰٪، تحت زمین‌لرزه‌ی نیوزلند ۳٪، تحت زمین‌لرزه‌ی نورث‌ریج ۳٪ افزایش در تیرها و ۱۰۰٪ کاهش در ستون‌ها، تحت زمین‌لرزه‌ی منجیل ۱۳٪، تحت زمین‌لرزه‌ی طیس ۸٪ و تیرها تحت زمین‌لرزه‌ی لوما پریتا ۲۷٪ افزایش داشته است. مقدار توزیع انژی در تیر و ستون‌های قاب ۴ طبقه (۳ دهانه) تحت زمین‌لرزه‌ی کابه ۲۹٪ در تیرها کاهش داشته است، تحت زمین‌لرزه‌ی کوبه ۵٪، تحت زمین‌لرزه‌ی نیوزلند ۲۶٪ در تیرها کاهش داشته است، تحت زمین‌لرزه‌ی نورث‌ریج ۱۰۰٪ افزایش در تیرها داشته است، تحت زمین‌لرزه‌ی منجیل ۳۱٪ در تیرها کاهش داشته، تحت زمین‌لرزه‌ی طیس ۱۷٪ کاهش و تحت زمین‌لرزه‌ی لوما پریتا ۸٪ افزایش داشته است.



شکل ۱۸. توزیع انرژی المان‌های سازه ۱۲ طبقه در حالت ضربه با وجود میراگر ویسکوز قبل و بعد از حذف میراگر.



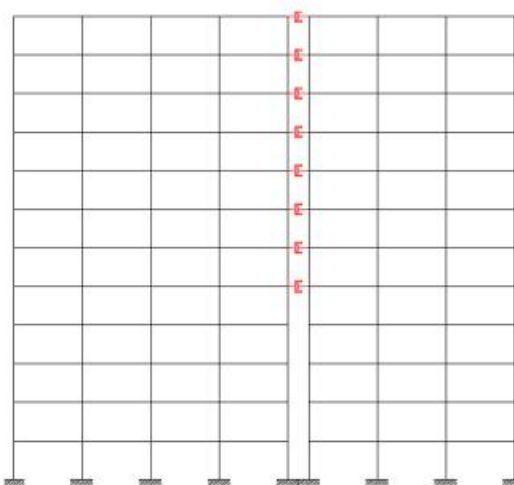
شکل ۱۶. توزیع انرژی المان‌های سازه ۸ طبقه در حالت ضربه با وجود میراگر ویسکوز قبل و بعد از حذف میراگر.

دهانه) تحت زمین‌لرزه‌ی کوبه ۵٪، تحت زمین‌لرزه‌ی لوما پریتا ۲۶٪ افزایش داشته است.

## ۷. نتیجه‌گیری

۱. نتایج حاکی از آن است که در سازه‌های مورد بررسی با ازدیاد ارتفاع طبقات در اثر ضربه تمامی اتلاف انرژی ناشی از رفتار غیرخطی اعضاء در تیرها و ستون‌ها افزایش یافته و باعث افزایش جذب انرژی شده است. در حالی که بعد از قراردادن میراگر ویسکوز بین تراز طبقات، قسمت عمده‌ی اتلاف انرژی ناشی از رفتار غیرخطی اعضاء در تیرها و ستون‌ها به‌طور چشم‌گیری کاهش داشته‌اند.

۲. در ساختمان ۶ طبقه، بیشترین توزیع انرژی خمیری در ستون‌ها و تیرهای قاب یک (۴ دهانه) است و سهم اتلاف انرژی در تیرهای قاب دو (۳ دهانه) کمتر بوده است. با قراردادن میراگر در میان‌قاب‌ها، اثر تشدید ضربه به‌طور قابل ملاحظه‌ی کاهش یافته است. در ساختمان ۸ طبقه نسبت به ساختمان ۶ طبقه، بیشترین توزیع انرژی خمیری در ستون‌ها و تیرهای قاب یک (۴ دهانه) است؛ اما تیرهای قاب دو (۳ دهانه) به‌طور قابل ملاحظه‌ی انرژی جذب کرده‌اند. با قراردادن میراگر در میان‌قاب‌ها، اثر تشدید ضربه به‌طور قابل ملاحظه‌ی کاهش یافته است؛ در ساختمان ۱۲ طبقه برخلاف ساختمان‌های ۶ و ۸ طبقه، اعضاء هر دو قاب ۳ و ۴ دهانه به‌طور قابل ملاحظه‌ی جذب انرژی داشته‌اند و مشاهده شده است که با ازدیاد



شکل ۱۷. قرارگیری قاب‌های ۱۲ طبقه‌ی ۳ و ۴ دهانه در مجاورت یکدیگر.

### ۳.۱.۶. ساختمان ۱۲ طبقه

مطابق شکل ۱۷ و ۱۸، می‌توان دریافت که توزیع انرژی در تیر و ستون‌های ساختمان ۱۲ طبقه با حذف میراگر افزایش ناچیزی داشته است. مقدار توزیع انرژی در تیر و ستون‌های قاب ۱۲ طبقه (۴ دهانه) تحت زمین‌لرزه‌ی کاپه ۳٪، تحت زمین‌لرزه‌ی کوبه ۱۵٪، تحت زمین‌لرزه‌ی نیوزلند ۱۶٪، تحت زمین‌لرزه‌ی نورث‌ریج ۲۶٪، تحت زمین‌لرزه‌ی طیس ۳۶٪ و تیرها تحت زمین‌لرزه‌ی لوما پریتا ۲۷٪ افزایش داشته است. مقدار توزیع انرژی در تیر و ستون‌های قاب ۱۲ طبقه (۳



و تشدید ضربه بین زوج قاب‌ها، بیشترین میزان اتلاف انرژی در سازه‌های بلندتر بوده و با قراردادن میراگر، بیشترین اتلاف انرژی توسط میراگر ویسکوز در سازه‌ی ۱۲ طبقه صورت گرفته است.

۶. توزیع انرژی در قاب ۴ دهانه، که سختی بیشتری نسبت به قاب ۳ دهانه داشته است، در اثر ضربه افزایش پیدا کرده و بیشترین جذب انرژی توسط تیر و ستون‌های قاب ۴ دهانه بوده است، در صورتی که بعد از قراردادن میراگر ویسکوز در بین تراز طبقات، ضمن اینکه میراگر هم در جذب انرژی سهمیم بوده است، بیشترین اتلاف انرژی توسط تیرهای هر دو قاب ۳ و ۴ دهانه صورت گرفته است، و میزان جذب انرژی در ستون‌های قاب ۴ دهانه به میزان کمینه رسیده و در بیشتر شتاب‌نگاشت‌ها توزیع انرژی برای ستون‌های قاب ۳ دهانه در سازه‌های ۶ و ۸ طبقه ثابت بوده است، ولی در سازه‌ی ۱۲ طبقه در هر دو قاب به‌طور چشمگیری کاهش یافته است.

۷. با بهینه قراردادن تعداد میراگرها در تراز طبقات مشاهده شده است که تأثیر آن در جذب انرژی برای ساختمان‌های بلندتر ناچیز بوده، که بهترین نتیجه در ساختمان ۶ و ۸ طبقه به‌دست آمده است.

۸. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، بهترین آرایش قرارگرفتن میراگرها، در تمام تراز طبقات است؛ که این امر از نظر اقتصادی چندان مطلوب نیست، ولی کمترین جذب انرژی را به‌دنبال دارد.

ارتفاع، بیشترین جذب انرژی در ارتفاع بالاتر صورت گرفته و با قراردادن میراگر در میان قاب‌ها، اثر تشدید ضربه به‌طور قابل ملاحظه‌یی کاهش یافته است.

۳. در مدل‌های استفاده‌شده در این پژوهش، بعد از قراردادن میراگر ویسکوز در تراز طبقات، ضمن جلوگیری از ایجاد ضربه بین دو سازه، توزیع انرژی در اعضا سازه کاهش پیدا کرده و این کاهش انرژی به‌صورتی بوده است که در برخی از اعضا سازه مانند ساختمان ۱۲ طبقه نسبت به ساختمان‌های ۶ و ۸ طبقه، میزان انرژی به میزان کمینه رسیده است؛ ولی برخی از اعضا اصلی که قبلاً هیچ‌گونه انرژی توسط آنها اتلاف نمی‌شده است، بعد از قرارگرفتن میراگر در جذب انرژی مشارکت داشته‌اند، ولی این بدان معنا نیست که باعث افزایش جذب انرژی در سازه باشد، بلکه به نوعی بالاتس انرژی در اعضا اصلی سازه صورت گرفته و در نهایت با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، کاهش توزیع انرژی مشاهده شده است.

۴. بهترین نتایج در اثر اتصال میراگرهای میانی در زوج قاب ۸ و زوج قاب ۱۲ طبقه به‌دست آمده و تقریباً میزان توزیع انرژی در هر دو قاب ۳ و ۴ دهانه از مدل‌ها نسبت به حالت ضربه‌ی بدون میراگر کاهش چشمگیری یافته است.

۵. با بررسی اثر ضربه این نتیجه به‌دست آمده است که با توجه به زیادشدن ارتفاع

## پانوشت‌ها

1. silicon oil
2. nonlinear-dynamic analysis

## منابع (References)

1. Technical Department Technical Affairs, *Guide to Methods and Techniques for Seismic Retrofit of Existing Buildings and Administrative Details*, Issue No. 524 (2009).
2. Anagnostopoulos, S.A. "Pounding of buildings in series during earthquake", *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*, **16**(3), pp. 443-456 (1998).
3. Westermo, B.D. "The dynamics of interstructural connection to prevent pounding", *Earthquake Eng. and Struct. Dyn.*, **18**(5), pp. 687-699 (1989).
4. Muthukumar, S. "A contact element approach with hysteresis damping for the analysis and design of pounding in bridges", Phd Thesis, Georgia Institute of Technology (2003).
5. Jankowski, R. "Non - Linear modeling of earthquake induced pounding of building" published on ICTAM 15-20 (August 2004).
6. Karayannis, C. and Favvata, M. "Earthquake-induced pounding between adjacent reinforced concrete structures with non-equal heights", *Earthquake Engng. And Struct. Dyn.*, **34**, pp. 1-20 (2005).
7. Bhaskararo, A.V. and Jangid, R.S. "Harmonic response of adjacent structures dependent dampers", *Constructional Steel Research*, **63**, pp. 628-638 (2006).
8. Masion, B.F. and Kasai, K. "Analysis for type of structural pounding", *Struct. Eng., ASCE*, **116**(4), pp. 957-977 (1990).
9. Jankowski, R. "Earthquake-induced pounding between equal height buildings with substantially different dynamics properties", *Engineering Structures Engineering Structures*, **22**, pp. 479-471 (2008).
10. Sayed, M., Chen, X. and Jankowski, R. "Structural pounding models with hertz spring and nonlinear damper", *Journal of Applied Sciences*, **8**(10), pp. 1850-1858 (2008).
11. Matsagar, V. and Jangid, R. "Viscoelastic damper connected to adjacent structures involvg seismic isolation", *Journal of Civil Engineering And Management*, **11**(4), pp. 309-322 (2005).
12. Goerguelue, U. and Chouw, N. "Measures for reducing the effect of pounding between adjacent buildings during near-source earthquakes", Macedonia, Institute of Earth, Eng and Eng Seismology (2003).

13. Muthukumar, S. and DesRoches, R. "A hertz contact model with nonlinear damping for pounding simulation", *Earthquake Engng. And Struct. Dyn.*, **35**(7), pp. 811-828 (2006).
14. Building and Housing Research Center, *Iran Earthquake Resistant Design of Buildings Regulations, 2800*, 3ed Edition (2005).
15. The 6th Issue of National Building Regulations, Building Loads, Second Edition (2006).
16. Design and Construction of Steel- Ten Topics, an Office Building Developed and Promoted by National Regulations (2008).
17. Ou, J.P., long, X. and Li, Q.S. "Seismic response analysis of structures with velocity dependent dampers", *Journal of Constructional Steel Research*, **63**(5), pp. 628-638 (2007).
18. Department of Technical Affairs, Technical Standards and Develop Earthquake Risk Reduction Guidelines in Improving the Rigor of Existing Buildings, 360 (2006).
19. Chen, X.-W., Li, J.-X. and Cheng, J. "Seismic performance analysis of wenchuan hospital structure with viscous dampers", *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, **19**(4), pp. 397-419 (2010).
20. MAURER Tuned Mass and Viscous Dampers, Technical Information and Products- Tuned Mass and Viscous Dampers.
21. Perform-3D, *Nonlinear Analysis and Performance Assessment for 3D Structures*, V.4.0.3, Computers and Structures, Inc., (CSI). Berkeley, CA (2007).
22. Uang, C.-M. and Bertero, V.V. "Evaluation of seismic energy in structures", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **19**(1), pp. 77-90 (1990).
23. Pakniat, S., *Analysis of the Seismicrehabilitation of Structures Required, According to Iran in 2800 and 360* Publications, Printing, Publishing Thoughtful (2011).