

# ارزیابی رفتار قاب‌های بلند با میراگر ضربه‌ی تحت زلزله‌های حوزه‌های نزدیک و دور

سیده‌هدی زهرایی (استاد)

دانشکده‌ی مهندسی عمران، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

علیرضا حیصمی\* (کارشناس ارشد)

دانشکده‌ی مهندسی عمران، جهاد دانشگاهی خوزستان، اهواز

مهندسی عمران شریف، زمستان ۱۳۹۷ (دوره ۲ - شماره ۱/۴، ص. ۲۷-۳۵)

در نوشتار حاضر، جهت مقایسه‌ی عملکرد میراگر ضربه‌ی در سازه‌های بلند به کمک نرم‌افزار SAP۲۰۰۰، رفتار لرزه‌ی قاب‌های بلند با میراگر ضربه‌ی بررسی شده است. هدف از پژوهش حاضر، بررسی عملکرد میراگر ضربه‌ی در ساختمان‌های بلند و تعیین بهترین محل قرارگیری میراگر در کاهش دامنه‌ی پاسخ سیستم در حال ارتعاش است. تحلیل مورد استفاده در پژوهش حاضر از نوع تحلیل تاریخچه‌ی زمانی غیرخطی بوده و جهت طراحی المان‌های سازه، تحت آیین‌نامه‌ی AISC۳۶۰-۱۰ بررسی شده است. جهت رسیدن به نتایج مطلوب‌تر ساختمان بلند تحت ارتعاش، زلزله‌های اعمالی به قاب‌های بلند از هر دو حوزه‌ی نزدیک و دور انتخاب شده است. از جمله نتایج حاصل در نوشتار حاضر می‌توان به کاهش ۱۴٪ و ۱۶٪ دامنه‌ی پاسخ قاب‌های ۱° و ۲۵° طبقه در حال ارتعاش در اثر قرارگیری میراگر ضربه‌ی در طبقه‌ی بام به ترتیب تحت زلزله‌های حوزه‌های دور و نزدیک اشاره کرد.

واژگان کلیدی: میراگر غیرخطی، میراگر ضربه‌ی، سیستم چنددرجه آزاد، نرم‌افزار SAP۲۰۰۰

## ۱. مقدمه

به‌طور کلی سازه‌ی راکه از نقطه‌ی نظر ارتفاع باعث می‌شود تا از جنبه‌ی طراحی، ساخت و استفاده با سایر ساختمان‌ها متفاوت باشد، ساختمان بلند گویند. علت افزایش ساختمان‌های بلند را می‌توان به دلیل محدودیت در زمین‌های با کاربری شهری، تقاضای رو به رشد در زمینه‌های تجاری و مسکونی، پیشرفت اقتصادی، پیشرفت تکنولوژی، نوآوری در سیستم‌های سازه‌ی، ایجاد زیبایی در فضاهای شهری، مباحث فرهنگی و بالندگی شهرها از نظر ساخت سازه‌های بلند و رویای انسان جهت رسیدن به ساختمان‌های بلند دانست. ساختمان‌های بلند براساس نسبت  $\frac{H}{D}$  به دو دسته طبقه‌بندی می‌شوند (رابطه‌ی ۱):<sup>[۱]</sup>

و سائروفیوژهاست که دستاوردهای مهمی در پژوهش‌های مشترک توسط سازمان هوایی - فضایی آمریکا (NASA) و دانشگاه نگراس و مؤسسه‌ی فضایی اوهایو براساس آنالیز عددی و نتایج تجربی به‌دست آمده است. کاهندگی مؤثر در نوسان‌های سیستم پیوسته، با استفاده از روش‌های تحلیل عددی و آزمایشگاهی در پارامترهای خاص قابل اثبات است. کاهندگی ارتعاش، یکی از مهم‌ترین موارد در طراحی سازه‌های متحرک، مانند شناورها و اپراتورهای مورد استفاده در فضاست (منظور دستگاه‌ها و تجهیزات است که در کارهای پژوهشی فضایی به‌کار برده می‌شوند) و یکی از ایده‌های کنترل حرکت سازه‌های مذکور، استفاده از ایده‌های میراگر ضربه‌ی است که در شکل ۱ نمونه‌هایی از آن‌ها نشان داده شده‌اند.

ایده‌ی اولیه‌ی اتصال یک جرم ناپیوسته به یک ورق در حال نوسان، با هدف کاهش ارتعاش ورق به حدود ۷۰ سال پیش بر می‌گردد که در سال ۱۹۴۵،<sup>[۲]</sup> در مطالعات تجربی و تحلیلی جهت کنترل هواپیما در قطعات ناپیوسته‌ی مرتبط با بال که قابلیت نوسان آزاد داشتند، انجام شده است. مدل‌های زنجیره‌ی میراگر ضربه‌ی، روش ساده و قابل اطمینانی را برای کاهش لرزش در اثر باد در سازه‌های بلند، مثل آنتن‌ها و دودکش‌ها ارائه می‌دهند. در تئوری مطرح شده توسط مسری<sup>[۱]</sup> به تأثیر پارامترهای مهم میراگر لرزه‌ی در سیستم‌های چند درجه آزادی پرداخته شده و نتایج پژوهش مذکور با مطالعات تجربی و مدل‌های مکانیکی مقایسه و نتایج خوبی از آن استنتاج شده است. در یک پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد در سال ۲۰۰۷، فاصله‌ی

$$\begin{cases} 3.14 \leq \frac{H}{D} \leq 4.7 \rightarrow Tall\text{Building} \\ \frac{H}{D} > 4.7 \rightarrow Super\text{Tall}\text{Building} \end{cases} \quad (1)$$

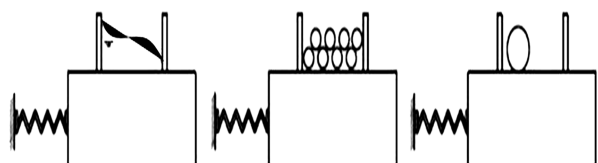
میراگر ضربه‌ی در ساختارهای متعددی استفاده شده است، مانند پره‌های توربین، بال‌های هواپیما، روبات‌های منعطف، پایه‌های چراغ‌های برق، آنتن‌های رادار و غیره که ممکن است به‌عنوان یک تیر ساده‌ی طره‌ی مدل شود. یکی دیگر از موارد کاربرد میراگر ضربه‌ی، کاهش لرزش و افزایش ظرفیت خستگی در توربوماشین‌ها

\* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۵/۷/۷، اصلاحیه ۱۳۹۵/۱۰/۲۸، پذیرش ۱۳۹۵/۱۱/۱۷

DOI:10.24200/J30.2019.1427

mzahrai@ut.ac.ir  
heisamialireza@gmail.com



الف) شکل شماتیک میراگر

ضربه بی تک جرمی؛ (ب) میراگر ضربه بی ذره بی؛ (ج) میراگر ضربه بی سیال ضربه.

شکل ۱. نمونه‌هایی از میراگر ضربه‌بی. [۲]

بین ضربه‌گیرها، نسبت جرمی، و ضریب بازگشت ضربه‌گیرها که ۳ پارامتر اصلی مؤثر در عملکرد میراگر ضربه‌بی هستند، بررسی و آثار عوامل ذکر شده در کارایی سیستم در حال ارتعاش نشان داده شده است. همچنین در نهایت کارایی مواد هوشمند و آثار استفاده از آن‌ها در ضربه‌گیرهای میراگرهای ضربه‌بی بررسی و عملکرد مثبت آن در کارایی سیستم‌های مذکور نشان داده شده است. [۳]

برخی پژوهشگران نیز در سال ۲۰۰۹، [۵] به ارزیابی عملکرد لرزه‌بی سازه‌ی یک درجه آزاد تقویت شده با میراگر ضربه‌بی تحت اثر بار ضربه و هارمونیک پرداخته و به این نتیجه رسیده‌اند که با اندکی تغییر در پارامترهای میراگر ضربه‌بی، تغییرات گوناگونی در پاسخ سازه روی می‌دهد؛ و در نهایت، مقادیر بهینه‌ی پارامترهای میراگر ضربه‌بی تحت بارهای ضربه و هارمونیک را به دست آورده‌اند.

همچنین از جمله مهم‌ترین نتایج بررسی کنترل ارتعاش وارده بر سیستم یک درجه آزاد به کمک میراگر ضربه‌بی (۲۰۱۰)، [۶] می‌توان به کاهش دامنه‌ی پاسخ شتاب و نیروی برش پایه در مدل شبیه‌سازی شده در آزمایشگاه اشاره کرد. در سال ۲۰۱۱، [۷] نیز تأثیر ارتعاش وارده ناشی از زلزله‌ی نزدیک گسل به قاب فولادی با مهاربند و مجهز به دستگاه اتلاف انرژی بررسی و از میراگر تسلیمی به عنوان دستگاه اتلاف انرژی استفاده شده است. از مهم‌ترین نتایج به دست آمده می‌توان به افزایش انرژی میرایی و کاهش آثار مخرب سازه در سیستم قاب فولادی تقویت شده با میراگر تسلیمی اشاره کرد.

همچنین در پژوهشی در سال ۲۰۱۲، [۸] ضمن ارزیابی تأثیر پارامترهای میراگر ضربه‌بی در عملکرد بهینه‌ی میراگر در هر دو حالت رزونانس و خارج از رزونانس نتیجه گرفته شده است که میراگر ضربه‌بی طراحی شده برای زلزله‌های با دامنه‌ی ارتعاش بالا، عملکرد خوبی نسبت به زلزله‌های با دامنه‌ی ارتعاش پایین تر دارد. در نهایت آسیب‌پذیری میراگر ضربه‌بی بهینه در برابر پارامترهای سازه به وضوح روشن شد؛ به نحوی که مشاهده شد سیستم با عملکرد کارآمدتر، استقامت و پایداری کمتری دارد. در سال ۲۰۱۲، [۹] نیز به طراحی میراگر ضربه‌بی غیرخطی براساس رفتار آکوستیک و میرایی پرداخته شد، که هدف از آن دستیابی به مقادیر بهینه‌ی میراگر از جمله: ضریب جرمی، ضریب بازگشت و طول مسیر آزاد<sup>۲</sup> بوده است. همچنین برخی پژوهشگران (۲۰۱۳)، [۱۰] به کمک میراگر ضربه‌بی موفق به کاهش ارتعاش وارده در ربات شدند، به نحوی که با مقادیر بهینه‌ی پارامترهای میراگر ضربه‌بی، ضریب جرمی، و طول مسیر آزاد، شاهد عملکرد بالای ربات‌های در حال ارتعاش بودند.

در یک مطالعه‌ی آزمایشگاهی میراگر ضربه‌بی تحت بار هارمونیک (۲۰۱۴)، [۱۱] نیز دستاوردهای مناسبی به دست آمد، که از جمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به دست‌یابی به رابطه‌ی بین بسامد زلزله و پارامترهای میراگر (ضریب جرمی و ضریب بازگشت) اشاره کرد. همچنین در پژوهش دیگری در همان سال، [۱۲] به بررسی رفتار دینامیکی میراگر ضربه‌بی در سیستم ۳ درجه آزادی پرداخته شد که در آن کاهش ارتعاش سیستم مجهز به میراگر ضربه‌بی تحت تحریک طیف وسیعی از زلزله‌ها با بسامدهای متفاوت مشاهده شد. در بررسی کاربرد میراگر ضربه‌بی در افزایش اتلاف انرژی و کاهش

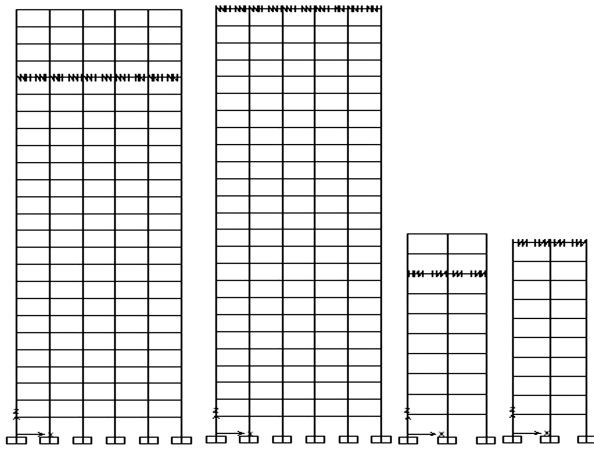
ارتعاش در سیستم یک درجه آزادی (۲۰۱۴)، [۱۳] نیز در روش طراحی براساس انرژی و طراحی براساس ارتعاش نتیجه گرفته شد. همچنین در یک مطالعه‌ی آزمایشگاهی میراگر ضربه‌بی چند جرمی<sup>۳</sup>، [۴] یک میراگر ضربه‌بی تحت بار هارمونیک و ارتعاشات مختلف به طور تصادفی قرار گرفت و نتیجه‌ی آن، کاهش ارتعاش وارد بر سیستم تقویت شده با میراگر ضربه‌بی بود. در پژوهش دیگری (۲۰۱۴) نیز نسبت میرایی میراگر ویسکوز در قاب فولادی با مهاربندی مطالعه شده است. [۱۴]

یکی از مهم‌ترین اهداف نوشتار حاضر، محاسبه‌ی نسبت میرایی براساس تعداد طبقات سازه است. همچنین در سال ۲۰۱۵، [۱۵] ضمن بررسی عملکرد لرزه‌بی سیستم پیوسته‌ی تقویت شده با میراگر ضربه‌بی تحت ارتعاش محوری نتیجه گرفته شد که کاهش دامنه‌ی ارتعاش به طور مشخص به ضریب جرمی، بسامد ارتعاش وارده، و طول مسیر آزاد حرکت توده‌ی جرمی میراگر بستگی دارد. در ارزیابی عملکرد لرزه‌بی سازه‌ی یک درجه آزاد تحت میز لرزان (۲۰۱۵)، [۱۶] سازه‌ی مذکور تحت زلزله‌ی کوبه و هارمونیک با دامنه‌ی ۰/۴g با اعمال لرزش از طریق میز لرزان در دو حالت با و بدون میراگر ضربه‌بی قرار گرفت و در نهایت، با تغییر پارامترهای میراگر ضربه‌بی نتیجه گرفته شد که اثر افزایش ضریب جرمی در کاهش دامنه‌ی ارتعاش وارد به سیستم بیشتر خواهد بود. همچنین در پژوهش دیگری در همان سال، [۱۷] به عملکرد لرزه‌بی نوع توسعه یافته‌ی از میراگر ضربه‌بی به نام میراگر ضربه‌بی LPC<sup>۴</sup> در سیستم چند درجه آزاد پرداخته شد و نتایج آزمایشگاهی به وضوح نشان داد که میراگر مذکور در کاهش دامنه‌ی ارتعاشات مؤثر است. در یک ارزیابی عملکرد میراگر ضربه‌بی در سیستم یک درجه آزاد تحت ارتعاش مؤلفه‌ی قائم ناشی از حرکت بر روی سقف سازه (۲۰۱۶)، [۱۸] نیز عملکرد میراگر مذکور با ضریب جرمی ۳ الی ۴ درصد نسبت به کل سازه، منجر به کاهش ارتعاش قائم در سقف سیستم شد. همچنین در ارزیابی عملکرد لرزه‌بی قاب با سیستم دوگانه‌ی مجهز به میراگر ویسکوز تحت زلزله‌های حوزه‌های نزدیک و دور از گسل (۲۰۱۶)، [۱۹] نتیجه گرفته شد که بیشینه‌ی تغییر مکان طبقات تحت زلزله‌ی حوزه‌ی نزدیک گسل در طبقه‌ی ابتدایی در مدل‌های ۴ و ۶ طبقه و طبقه‌ی بام در مدل‌های ۶ و ۸ طبقه ایجاد شده و نیز نیروی برش پایه‌ی حاصل از تحلیل تاریخچه‌ی زمانی غیرخطی تحت زلزله‌ی حوزه‌ی نزدیک نسبت به زلزله‌ی حوزه‌ی دور از گسل بیشتر شده است.

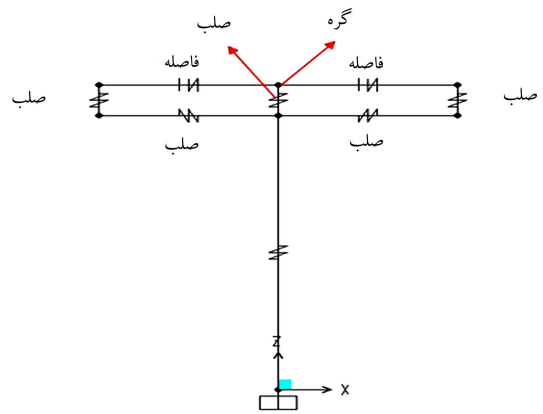
در پژوهش دیگری (۲۰۰۹)، [۵] نیز میراگر ضربه‌بی به کمک نرم‌افزار متلب<sup>۵</sup> در سیستم یک درجه آزاد، مدل‌سازی و ارزیابی شده است. در پژوهش حاضر، برای اولین بار مدل‌سازی میراگر ضربه‌بی با نرم‌افزار SAP۲۰۰۰ با اختلاف نتایج حاصل کمتر از ۰/۶٪ نسبت به مدل عددی انجام شده است. بررسی عملکرد لرزه‌بی ساختمان بلند تقویت شده با میراگر ضربه‌بی در نوشتار حاضر براساس هندبوک عملکرد لرزه‌بی ساختمان بلند تحت رکوردهای زلزله‌ی اخذ شده از پایگاه زلزله‌شناسی PEER، انجام شده است. [۲۰] پس از صحت‌سنجی مدل‌سازی قاب‌های بلند مجهز به میراگر ضربه‌بی با نرم‌افزار SAP۲۰۰۰، تحلیل قاب‌های مذکور تحت زلزله‌های حوزه‌های دور و نزدیک صورت گرفته است.

## ۲. مدل‌سازی و صحت‌سنجی

با توجه به مطالعه‌ی آزمایشگاهی انجام شده‌ی در سال ۲۰۱۵، [۶] اجزاء اصلی میراگر شامل گوی فلزی با جرمی برابر ۰/۱ جرم کل سیستم یک درجه آزاد و دو ایستگاه جهت برخورد گوی فلزی در هنگام ارتعاش در فاصله‌ی معینی است. در مطالعه‌ی مذکور با تغییر محل قرارگیری دو ایستگاه (طول مسیر آزاد) و نسبت جرمی گوی فلزی،



شکل ۳. نمایی از مدل‌های به‌کار برده شده در نرم‌افزار.



شکل ۲. مدل ساخته شده در نرم‌افزار SAP2000.

جدول ۱. مشخصات مقاطع به‌کار برده شده در مدل ۱۰ طبقه.

| مقطع ستون<br>(طرح جعبه) | مقطع تیر | طبقات   |
|-------------------------|----------|---------|
| C60 × 3                 | IPE300   | ۵ تا ۱  |
| C50 × 2,5               | IPE300   | ۱۰ تا ۶ |

جدول ۲. مشخصات مقاطع به‌کار برده شده در مدل ۲۵ طبقه.

| مقطع ستون<br>(طرح جعبه) | مقطع تیر | طبقات    |
|-------------------------|----------|----------|
| C80 × 3,5               | IPE400   | ۵ تا ۱   |
| C70 × 3                 | IPE400   | ۱۰ تا ۶  |
| C65 × 2,5               | IPE400   | ۱۵ تا ۱۱ |
| C65 × 2                 | IPE400   | ۲۰ تا ۱۶ |
| C60 × 2                 | IPE400   | ۲۵ تا ۲۱ |

ثقلی در مدل‌ها از دو نوع بارهای مرده و زنده با مقادیر به ترتیب  $(kg/m)$  ۳۲۵۰ و  $(kg/m)$  ۱۲۵۰ بوده است. مشخصات مقاطع به‌کار برده شده در مدل‌ها در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

مطابق ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ مقرر شد که در تعیین تغییرمکان جانبی نسبی طبقات، جابه‌جایی در محل مرکز جرم طبقات ملاک عمل قرار گیرد. به عبارت دیگر، تغییرمکان نسبی هر طبقه عبارت از جابه‌جایی کل مرکز جرم آن طبقه نسبت به جابه‌جایی کل مرکز جرم طبقه‌ی تحتانی آن است. همچنین مقرر شد که تغییرمکان جانبی نسبی واقعی طرح یا تغییرمکان جانبی نسبی غیرارتجاعی طرح در هر طبقه، تغییرمکانی است که در صورت منظورداشتن رفتار واقعی سازه، رفتار غیرخطی در تحلیل آن به‌دست می‌آید.

تغییرمکان نسبی طبقات در دو حالت با و بدون میراگر به شرح جدول‌های ۳ و ۴ است. با توجه به مقادیر حاصل تغییرمکان نسبی طبقات طبق جدول‌های ۳ و ۴، مشاهده می‌شود که تغییرمکان نسبی از حد مجاز استاندارد  $(\Delta = 0,02 \times 3 = 280)$  (۰,۰۶ m) تجاوز نکرده و طراحی لرزه‌ی مدل‌های استفاده شده مطابق آیین‌نامه بوده است. در مدل ساخته شده، سیستم یک درجه آزاد با جرم  $m = 1 kg$  و سختی  $k = 10 kN/m$  بوده است. سیستم یک درجه آزاد با و بدون میراگر

اثر میراگر ضربه‌ی در سیستم یک درجه آزاد بحث و بررسی شده و در نهایت، مقادیر بهینه‌ی پارامترهای میراگر ضربه‌ی برای سیستم یک درجه آزاد به‌دست آمده است. لذا در مدل‌های سیستم چند درجه آزاد از مقادیر بهینه‌ی میراگر ضربه‌ی حاصل در سیستم یک درجه آزاد استفاده شده است. بهینه‌ترین مقادیر میراگر ضربه‌ی مطابق مطالعات پیشین، برابر با  $d = 0,5 m$  و  $\mu = 0,1$  است که ضرایب مذکور به ترتیب طول مسیر آزاد و ضریب جرمی میراگر ضربه‌ی هستند. از آنجا که در نرم‌افزار SAP2000 جهت مدل‌سازی میراگر ضربه‌ی، لینک به‌خصوصی قرار داده نشده است، لذا به ساخت میراگر در نرم‌افزار پرداخته شده است. از بین لینک‌های موجود، لینک GAP این ویژگی را دارد که نقش دو ایستگاه را در ساخت مدل میراگر ضربه‌ی در نظر داشته است. با وارد کردن میزان طول مسیر حرکت در مشخصات لینک GAP به‌عنوان طول مسیر آزاد و وارد کردن سختی بی‌نهایت، که به معنای محل برخورد گوی فلزی و بازگشت آن است، ایستگاه‌ها مدل‌سازی شده‌اند. جهت تعریف گوی فلزی از المان Joint و در بین دو لینک GAP استفاده شده است. همچنین جرم گوی فلزی، که نسبتی از جرم کل سیستم یک درجه آزاد است، در نرم‌افزار و قسمت خصوصیات Joint اعمال می‌شود. در ساخت مدل سیستم یک درجه آزاد با میراگر ضربه‌ی از ۴ لینک Rigid و دو لینک GAP استفاده شده است (شکل ۲). در لینک GAP از نرم‌افزار SAP2000، ویژگی ذکر شده را می‌توان به صورت Opening و دیواره‌ی که گوی بدان برخورد می‌کند، با وارد کردن سختی بی‌نهایت در بخش Stiffness لینک مذکور مدل‌سازی کرد. در مدل‌سازی گوی جرمی، چون جرم آن براساس نسبتی از جرم سیستم سازه‌ی به‌دست می‌آید و با ضریب جرمی ( $\mu$ ) مشخص می‌شود؛ در مدل ساخته شده نیز به‌صورت گره ۶ در حد فاصل دو لینک GAP ساخته شده قرار داده می‌شود. این تذکر لازم است که برای مدل‌سازی، مقادیر مناسب طول آزاد حرکت ( $L$ ) و ضریب جرمی ( $\mu$ ) اعمال شده است.

در پژوهش حاضر، از مدل‌های ۱۰ و ۲۵ طبقه ۲ و ۵ دهانه استفاده شده است که طبق رابطه‌ی  $4,7 < \frac{H}{D} < 3,14$  در گروه ساختمان‌های بلندمرتبه قرار می‌گیرند.<sup>[۲۱]</sup> میراگر ضربه‌ی در ۳ حالت طبقات بام، ۲ طبقه و ۳ طبقه پایین‌تر از بام مطابق (شکل ۳) در هر یک از مدل‌های مذکور قرار گرفته است. در تمامی مدل‌ها، طول دهانه ۴ متر و ارتفاع طبقه ۳ متر در نظر گرفته شده است. سیستم قاب‌ها از نوع قاب خمشی فولادی بوده و مطابق آیین‌نامه‌ی ۱۰-۳۶۰ AISC.<sup>[۲۲]</sup> طراحی شده‌اند که بسته به تعداد طبقات و دهانه‌ها، نوع پروفیل به‌کار رفته متفاوت بوده است. نوع تحلیل مورد استفاده، تحلیل تاریخی‌ی زمانی غیرخطی و بارگذاری

جدول ۳. تغییر مکان نسبی طبقات مدل ۱۰ طبقه‌ی ۲ دهانه.

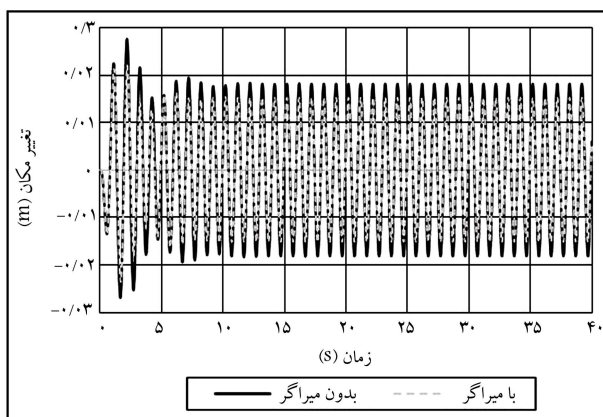
| طبقه | تغییر مکان نسبی (m) |           |
|------|---------------------|-----------|
|      | بدون میراگر         | با میراگر |
| ۱    | ۰/۰۲۱۵۶             | ۰/۰۱۰۱۵   |
| ۲    | ۰/۰۲۲۳۱             | ۰/۰۱۵۶۵   |
| ۳    | ۰/۰۲۳۲              | ۰/۰۲۱۴۴   |
| ۴    | ۰/۰۲۳۸۹             | ۰/۰۲۱۸۹   |
| ۵    | ۰/۰۲۴۱۲             | ۰/۰۲۲۴۷   |
| ۶    | ۰/۰۲۵۱۱             | ۰/۰۲۳۱۲   |
| ۷    | ۰/۰۲۶۱۳             | ۰/۰۲۴۱۶   |
| ۸    | ۰/۰۲۷۷۸             | ۰/۰۲۴۹۵   |
| ۹    | ۰/۰۲۸۱۲             | ۰/۰۲۵۸۸   |
| ۱۰   | ۰/۰۲۹۱              | ۰/۰۲۶۱۱   |

جدول ۴. تغییر مکان نسبی طبقات مدل ۲۵ طبقه‌ی ۵ دهانه.

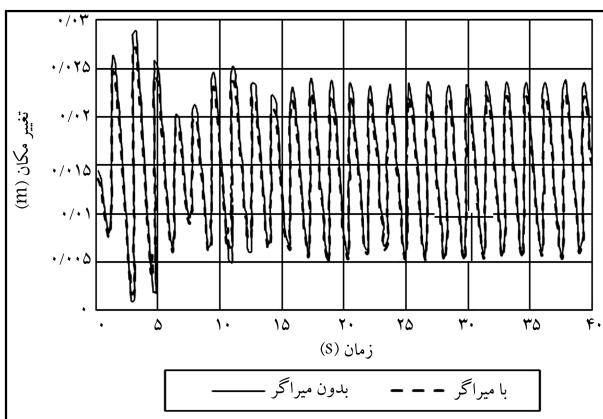
| طبقه | تغییر مکان نسبی (m) |           |
|------|---------------------|-----------|
|      | بدون میراگر         | با میراگر |
| ۱    | ۰/۰۳۵۴۴             | ۰/۰۱۹۸۹   |
| ۲    | ۰/۰۳۶۴۲             | ۰/۰۲۰۱۶   |
| ۳    | ۰/۰۳۷۸۵             | ۰/۰۲۱۵۵   |
| ۴    | ۰/۰۳۸۶۳             | ۰/۰۲۲۳۱   |
| ۵    | ۰/۰۳۹۱۱             | ۰/۰۲۳۱۴   |
| ۶    | ۰/۰۴۱۲              | ۰/۰۲۴۱۷   |
| ۷    | ۰/۰۴۲۹              | ۰/۰۲۵۸۱   |
| ۸    | ۰/۰۴۳۲۶             | ۰/۰۲۶۵۵   |
| ۹    | ۰/۰۴۴۵۲             | ۰/۰۲۷۸۱   |
| ۱۰   | ۰/۰۴۵۱۲             | ۰/۰۲۸۱۱   |
| ۱۱   | ۰/۰۴۶۵۲             | ۰/۰۲۹۴۵   |
| ۱۲   | ۰/۰۴۷۸۲             | ۰/۰۳۰۱۶   |
| ۱۳   | ۰/۰۴۸۳۱             | ۰/۰۳۱۲۲   |
| ۱۴   | ۰/۰۴۹۱۶             | ۰/۰۳۲۹۷   |
| ۱۵   | ۰/۰۵۰۱              | ۰/۰۳۳۱۷   |
| ۱۶   | ۰/۰۵۱۲۳             | ۰/۰۳۴۵۱   |
| ۱۷   | ۰/۰۵۲۴۷             | ۰/۰۳۵۲    |
| ۱۸   | ۰/۰۵۳۶۶             | ۰/۰۳۶۳۶   |
| ۱۹   | ۰/۰۵۴۷۹             | ۰/۰۳۷۱۸   |
| ۲۰   | ۰/۰۵۵۶۱             | ۰/۰۳۷۸۶   |
| ۲۱   | ۰/۰۵۶۲۲             | ۰/۰۳۸۴۱   |
| ۲۲   | ۰/۰۵۷۶۲             | ۰/۰۳۸۸۲   |
| ۲۳   | ۰/۰۵۸۶۴             | ۰/۰۳۹۱۰   |
| ۲۴   | ۰/۰۵۹۱              | ۰/۰۳۹۲۴   |
| ۲۵   | ۰/۰۶۰۱              | ۰/۰۳۹۲۵   |

ضربه‌ی تحت بار هارمونیک و تحلیل غیرخطی قرار گرفته است. نتایج حاصل از تحلیل مدل ساخته شده در نرم افزار SAP2000 در شکل ۴ مشاهده می شود. در مقایسه با نتایج مدل عددی میراگر ضربه‌ی با برنامه‌ی متلب در مرجع ۶ (شکل ۵) مشاهده می شود که اختلاف نتایج کمتر از ۶٪ است. لذا می توان به مدل ساخته شده با نرم افزار SAP2000 اطمینان و نتایج حاصل از آن را قابل قبول تلقی کرد. از جمله نتایج حائز اهمیت خروجی نرم افزار SAP2000، می توان به بیشینه‌ی تغییر مکان بام، بیشینه‌ی برش پایه، تعیین معیار عملکرد، و نیروی مستهلک شده‌ی سیستم با و بدون میراگر ضربه‌ی اشاره کرد، که با تأیید نتایج مدل ساخته شده‌ی نرم افزار SAP2000 با مدل عددی می توان به نتایج قابل اعتماد دست پیدا کرد.<sup>[۲۱]</sup>

زلزله‌های وارده در دو حوزه‌ی دور و نزدیک و مقیاس شده به طیف زلزله‌ی شهر تهران هستند. رکوردهای زلزله‌ی اعمالی همگی مقیاس شده به طیف طرح زلزله‌ی شهر تهران بودند. جهت دست یابی به طیف زلزله‌ی شهر تهران، از استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش ۴) استفاده شده است. بدین صورت که خاک منطقه‌ی مورد نظر از نوع خاک II و سطح خطر لرزه‌خیزی شهر تهران انتخاب شده و براساس آن ضریب بازتاب زلزله و نیز با حاصل ضرب ضریب  $N$  موجود در آیین نامه، ضریب طیف شتاب به دست آمده است. سپس به کمک نرم افزار Seismomath رکوردهای زلزله، براساس طیف زلزله‌ی شهر تهران مقیاس شده است.<sup>[۲۱]</sup> برای هر یک از زلزله‌های حوزه‌های دور و نزدیک، ۷ رکورد استفاده و مشخصات آن‌ها در جدول‌های ۵ و ۶، ارائه شده است.



شکل ۴. نتایج حاصل از مدل ساخته شده در نرم افزار SAP2000.



شکل ۵. نتایج حاصل از مدل عددی.<sup>[۵]</sup>

جدول ۵. مشخصات رکوردهای زلزله‌ی حوزه‌ی نزدیک.

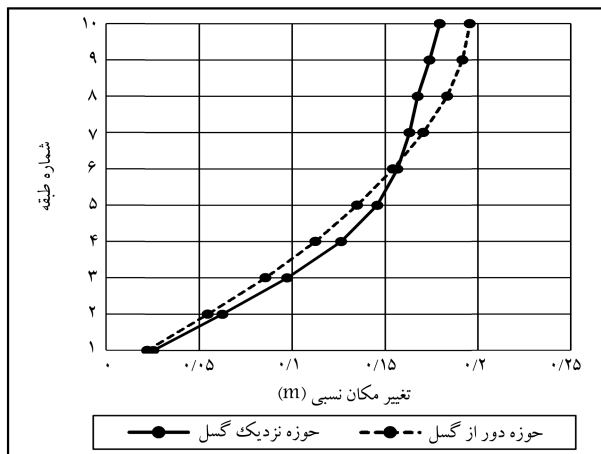
| ردیف | نام زلزله                | ایستگاه              | بزرگی (ریشتر) | فاصله از مرکز (کیلومتر) | PGA   |
|------|--------------------------|----------------------|---------------|-------------------------|-------|
| ۱    | نورث ریج <sup>۱</sup>    | Newhall (۹۰°۵۶)      | ۶٫۷           | ۷٫۱                     | ۰٫۴۵۵ |
| ۲    | چی چی <sup>۲</sup>       | WNT                  | ۷٫۶           | ۱٫۱۸                    | ۰٫۶۲۶ |
| ۳    | امپریال ولی <sup>۳</sup> | Bonds corner (۵۰°۵۴) | ۶٫۵           | ۲٫۵                     | ۰٫۵۸۸ |
| ۴    | پارک فیلد <sup>۴</sup>   | Cholame#۵            | ۶٫۱           | ۵٫۳                     | ۰٫۴۴۲ |
| ۵    | کبه <sup>۵</sup>         | KJMA                 | ۶٫۹           | ۰٫۶                     | ۰٫۸۲۱ |
| ۶    | نورث ریج                 | Arleta (۲۴°۸۷)       | ۶٫۷           | ۹٫۲                     | ۰٫۳۴۴ |
| ۷    | طبس <sup>۶</sup>         | Tabas                | ۷٫۳۵          | ۲٫۰۵                    | ۰٫۸۶۲ |

<sup>۱</sup> Northridge      <sup>۲</sup> Chi Chi  
<sup>۳</sup> Imperial Valley  
<sup>۴</sup> Parkfield      <sup>۵</sup> Kobe  
<sup>۶</sup> Tabas

جدول ۶. مشخصات رکوردهای زلزله‌ی حوزه‌ی دور.

| ردیف | نام زلزله                 | ایستگاه         | بزرگی (ریشتر) | فاصله از مرکز (کیلومتر) | PGA   |
|------|---------------------------|-----------------|---------------|-------------------------|-------|
| ۱    | دوزک <sup>۱</sup>         | Lamint (۱۰°۶۱)  | ۷٫۱           | ۱۵٫۶                    | ۰٫۱۰۷ |
| ۲    | نورث ریج                  | Hollywood Stor  | ۶٫۷           | ۲۵٫۵                    | ۰٫۳۵۸ |
| ۳    | کبه                       | Nishi-Akashi    | ۶٫۹           | ۱۱٫۱                    | ۰٫۵۰۹ |
| ۴    | امپریال ولی               | Elta            | ۶٫۵           | ۴۳٫۶                    | ۰٫۳۵۱ |
| ۵    | سن فرناندو <sup>۲</sup>   | Lake Hughes#۱۲  | ۶٫۶           | ۲۰٫۳                    | ۰٫۳۶۶ |
| ۶    | نورث ریج                  | Manhattan Beach | ۶٫۷           | ۴۲                      | ۰٫۲۰۱ |
| ۷    | کبه مندونیسو <sup>۳</sup> | Fortuna         | ۷٫۱           | ۲۳٫۶                    | ۰٫۱۱۶ |

<sup>۱</sup> Duzce      <sup>۲</sup> San Fernando      <sup>۳</sup> Cape Mendocino



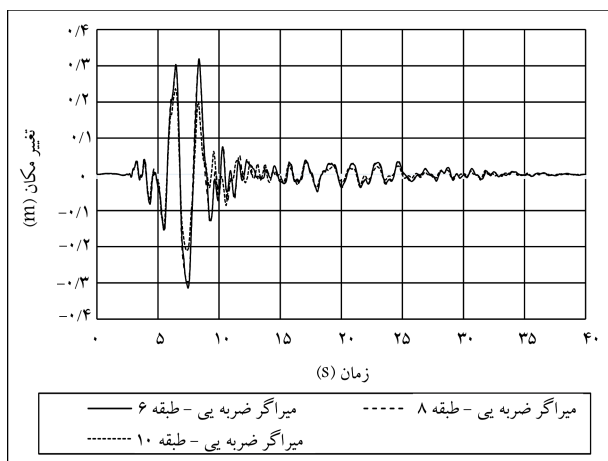
شکل ۶. میانگین بیشینه‌ی تغییرمکان طبقات مدل ۱۰ طبقه‌ی ۲ دهانه تحت زلزله‌های حوزه‌ی نزدیک و دور.

مدهای ارتعاشی، تعداد دهانه‌ها، و تعداد طبقات در نیروی برش پایه قابل توجیه است. در مقایسه‌ی نقطه به نقطه، حالت قرارگیری میراگر در طبقه‌ی دهم ۳۳٪ نسبت به دو حالت دیگر، در کاهش بیشینه‌ی برش پایه اثر بهتری داشته است، که نشان از عملکرد خوب میراگر در طبقه‌ی بام است. با توجه به شکل ۸، حالت‌های قرارگیری میراگر در طبقات ششم و هشتم عملکرد

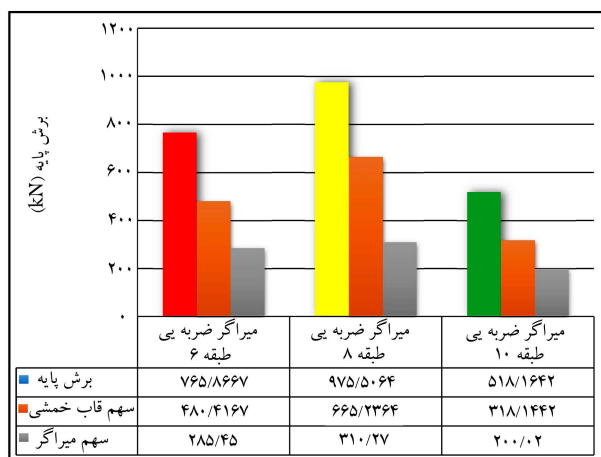
### ۳. نتایج عددی

همان‌طور که در بخش پیش ذکر شده است، در نوشتار حاضر، از تحلیل تاریخی زمانی غیرخطی استفاده شده و نتایج خروجی از آن، شامل: بیشینه‌ی برش پایه، بیشینه‌ی تغییرمکان بام و بیشینه‌ی تغییرمکان طبقات بوده است. برای آنکه در هر مدل با و بدون میراگر و در یک حوزه‌ی به خصوص (زلزله‌ی نزدیک یا دور از گسل) نتیجه‌ی قابل استناد گرفته شود، می‌توان از نتایج ۷ رکورد زلزله‌ی حوزه‌ی مورد نظر، میانگین گرفت.

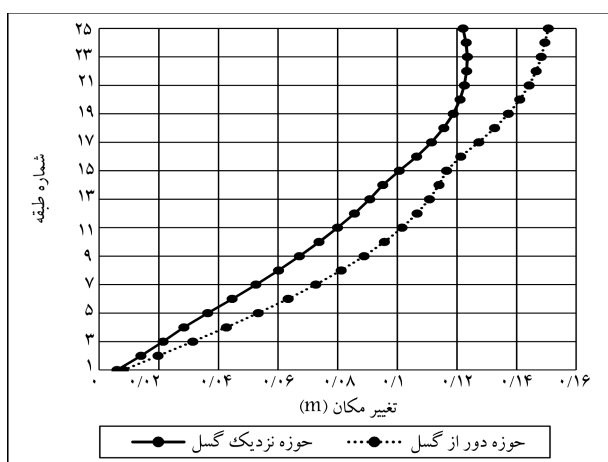
نتایج حاصل از تحلیل با و بدون میراگر ضربه‌ی در مدل ۱۰ طبقه‌ی ۲ دهانه، در شکل ۶ مشاهده می‌شود. البته این تذکر لازم است که ابتدا کنترل تغییرمکان نسبی طبقات در دو حوزه‌ی دور و نزدیک گسل انجام شده است (شکل ۶). مطابق آیین‌نامه‌ی زلزله‌ی استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش چهارم)، در قاب خمشی فولادی حدمجاز تغییرمکان نسبی طبقه،  $0.02h$  است. عملکرد میراگر ضربه‌ی در کاهش بیشینه‌ی برش پایه، همانند میراگر جرمی است. بدین معنا که هنگام اعمال بار جانبی به سازه، میراگر ضربه‌ی با ایجاد نیروی بازگرداننده (مقدار نیرو متناسب با ضریب جرمی توده‌ی میراگر) برخلاف جهت نیروی اعمالی به سازه عمل می‌کند و بدین طریق نیروی برش پایه وارد بر سازه را کاهش می‌دهد. با توجه به شکل ۷، سهم قاب خمشی در نیروی برشی نسبت به سهم میراگر در طبقه‌ی هشتم، ۸٪ افزایش یافته است. لذا میراگر ضربه‌ی تأثیری در کاهش بیشینه‌ی برش پایه نداشته و در نهایت، باعث افزایش دامنه‌ی پاسخ در حالت مذکور شده است. تأثیر عواملی نظیر ترکیب



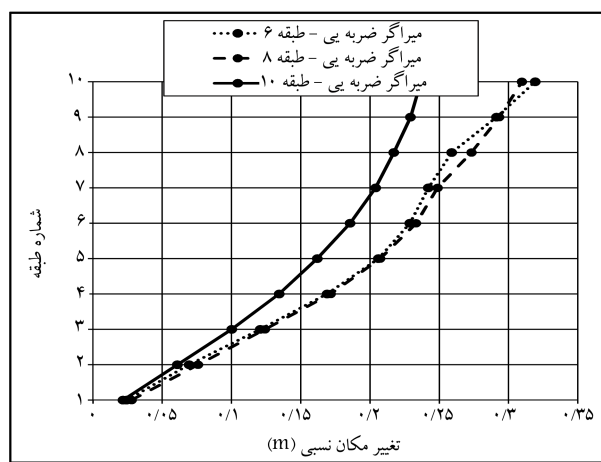
شکل ۹. میانگین بیشینه‌ی تغییرمکان بام مدل ۱۰ طبقه‌ی ۲ دهانه تحت زلزله‌های حوزی نزدیک.



شکل ۷. میانگین بیشینه‌ی برش پایه در مدل ۱۰ طبقه‌ی ۲ دهانه تحت زلزله‌های حوزی نزدیک.



شکل ۱۰. میانگین بیشینه‌ی تغییرمکان مدل ۲۵ طبقه‌ی ۵ دهانه تحت زلزله‌های حوزی نزدیک و دور.



شکل ۸. میانگین بیشینه‌ی تغییرمکان طبقات مدل ۱۰ طبقه‌ی ۲ دهانه تحت زلزله‌ی حوزی نزدیک.

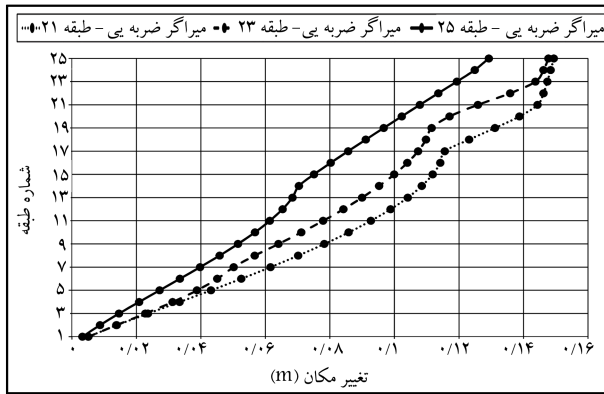
عملکرد میراگر ضربه‌ی به‌شتاب وارده وابسته است و هر چه شتاب ورودی به میراگر افزایش یابد، تعداد ضربات و در نهایت اثر آن در خشی کردن ارتعاش سازه افزایش می‌یابد. در پایان، در مدل ۱۰ طبقه‌ی ۲ دهانه تحت اثر زلزله‌های حوزی نزدیک می‌توان نتیجه گرفت که در صورت قرارگرفتن میراگر ضربه‌ی در طبقه‌ی بام، عملکرد بهتری در زلزله‌ی حوزی نزدیک خواهد داشت.

نتایج حاصل از تحلیل با و بدون میراگر ضربه‌ی مدل ۲۵ طبقه‌ی ۵ دهانه، در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود. البته این تذکر لازم است که همچون مدل قبل، کنترل تغییرمکان نسبی طبقات در دو حوزی دور و نزدیک انجام شده است. مطابق استاندارد زلزله‌ی ۲۸۰۰ (ویرایش چهارم)، در قاب خمشی فولادی حدمجاز تغییرمکان نسبی طبقه،  $0.2/h$  است.

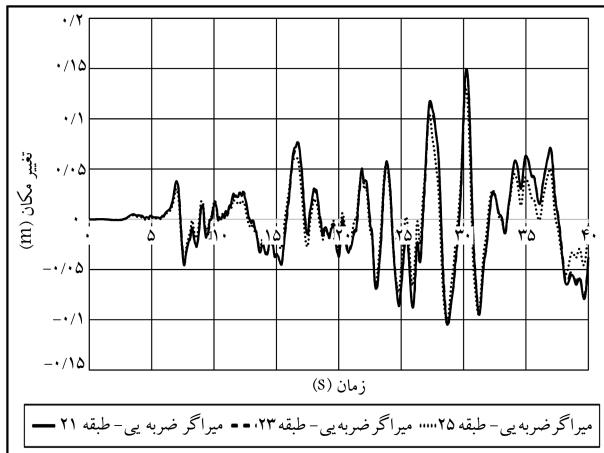
به نظر می‌رسد در مدل‌های تحت زلزله‌ی حوزی دور به دلیل مدت‌زمان زلزله‌ی بیشتر و به دنبال آن وقوع شتاب زلزله‌ی بیشتر، میراگر ضربه‌ی که با شتاب وارد عمل می‌شود، نسبت به زلزله‌ی حوزی نزدیک عملکرد بهتری دارد، اما هر چه تعداد طبقات بالاتر می‌رود، در میزان عملکرد میراگر اثر می‌گذارد. همچنین مشاهده می‌شود، هر چه محل قرارگیری میراگر ضربه‌ی به طبقات بالاتر انتقال یافته است، اثر آن در کاهش دامنه‌ی پاسخ تا  $20\%$  افزایش یافته است. علت این کاهش را می‌توان

یکسانی داشته‌اند، که علت آن را می‌توان در عدم تأثیر مثبت و قابل توجه ترکیب مدهای ارتعاشی نسبت به حالت ارتعاش زیاد در ارتفاع دانست، که در نهایت باعث شده است حالت قرارگیری میراگر در بالاترین نقطه‌ی سازه که بیشترین ارتعاش و شتاب وارده به سازه وارد می‌شود، به‌عنوان حالت کمیته در منحنی باشد. لذا می‌توان نتیجه گرفت که در مدل مذکور، اثر ارتعاش بالا، که در طبقه‌ی فوقانی رخ می‌دهد، نسبت به ترکیب مدهای ارتعاشی که عموماً در طبقات میانی وجود دارد، در عملکرد میراگر ضربه‌ی بیشتر است. همچنین در مقایسه‌ی نقطه‌به‌نقطه، کاهش دامنه‌ی ارتعاش سیستم در حالت قرارگیری میراگر در طبقه‌ی دهم  $16\%$  کمتر از دو حالت دیگر است. در ادامه، به بررسی عملکرد میراگر ضربه‌ی در کاهش دامنه‌ی پاسخ بیشینه‌ی تغییرمکان بام پرداخته شده است.

در شکل ۹، همانند منحنی‌های قبلی، هر سه حالت آزمایش شده، تأثیر مورد انتظار را در کاهش دامنه‌ی ارتعاش سیستم چند درجه‌آزاد دارند. در مقایسه‌ی نقطه‌ی، حالت قرارگیری میراگر در طبقه‌ی دهم  $33\%$  نسبت به دو حالت دیگر، عملکرد بهتری در کاهش بیشینه‌ی تغییرمکان بام دارد. طبق منحنی مذکور، اثر قرارگیری میراگر در طبقه‌ی دهم از ثانیه‌ی ۶ به بعد محسوس است که علت آن را می‌توان به دلیل افزایش شتاب زلزله در آن بازه‌ی زمانی دانست. زیرا همان‌طور که ذکر شد،

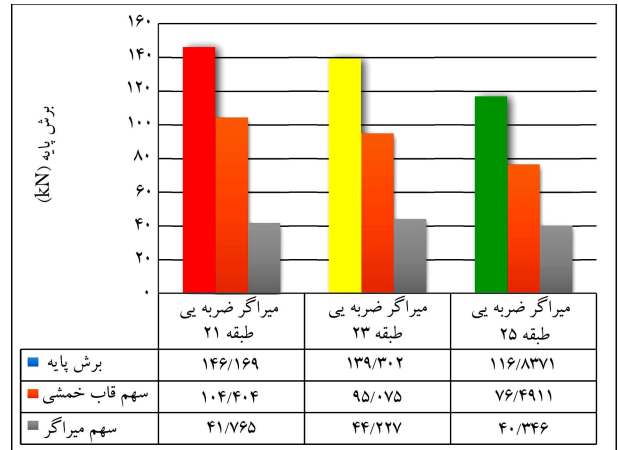


شکل ۱۲. میانگین بیشینه‌ی تغییرمکان طبقات مدل ۲۵ طبقه‌ی ۵ دهانه تحت زلزله‌ی حوزه‌ی دور.



شکل ۱۳. میانگین بیشینه‌ی تغییرمکان بام مدل ۲۵ طبقه‌ی ۵ دهانه تحت زلزله‌های حوزه‌ی دور.

۵ دهانه، حالت قرارگرفتن میراگر ضربه‌یی در طبقه‌ی بام نسبت به دیگر حالات، مناسب‌ترین روش در کاهش بیشینه‌ی تغییرمکان بام شده است. در شکل ۱۳، هر سه حالت مورد بررسی، تأثیر مورد انتظار را در کاهش دامنه‌ی ارتعاش سیستم چند درجه آزاد دارند. در مقایسه‌ی نقطه‌یی، حالت قرارگرفتن میراگر در طبقه‌ی بام، ۲۰٪ تغییرمکان بام نسبت به دو حالت دیگر کاهش یافته است. طبق منحنی ارائه شده، اثر قرارگرفتن میراگر در طبقه‌ی بام از ثانیه‌ی ۱۸ به بعد محسوس است که علت آن را می‌توان نزدیک شدن به پیک شتاب زلزله در آن بازه‌ی زمانی دانست. زیرا همان‌طور که ذکر شد، عملکرد میراگر ضربه‌یی به شتاب وارده وابسته است و هر چه شتاب ورودی به میراگر افزایش یابد، تعداد ضربات و درنهایت اثر آن در خنثی‌ساختن ارتعاش سازه افزایش می‌یابد. این تذکر لازم است که در مقایسه‌ی نتایج مدل مذکور با حالت قرارگرفتن سیستم تحت زلزله‌ی حوزه‌ی نزدیک گسل مشاهده می‌شود که زمان در مدار قرارگرفتن و تأثیر میراگر در کاهش تغییرمکان بام، کمی تأخیر دارد که می‌تواند به دلیل طولانی بودن زمان انتقال انرژی جنبشی به سازه در زلزله‌های حوزه‌ی دور نسبت به زلزله‌های نزدیک گسل باشد. همچنین به دلیل قرارگرفتن بیشینه‌ی شتاب زلزله در ثانیه‌های بام، میراگر ضربه‌یی نیز در همان ثانیه‌ها به بهترین عملکرد خود رسیده است؛ زیرا همان‌طور که اشاره شد، میراگر ضربه‌یی جهت تحریک وابسته به شتاب است. در پایان، با توجه به خروجی تحلیل مشاهده می‌شود که در مدل ۲۵ طبقه‌ی ۵ دهانه تحت زلزله‌های حوزه‌ی دور، قرارگرفتن میراگر ضربه‌یی در طبقه‌ی



شکل ۱۱. میانگین بیشینه‌ی برش پایه در مدل ۲۵ طبقه‌ی ۵ دهانه تحت زلزله‌های حوزه‌ی دور.

به دلیل افزایش ارتعاش سازه در ارتفاع و در نهایت کارایی بهتر میراگر ضربه‌یی دانست.

با توجه به شکل ۱۱، حالت قرارگرفتن میراگر ضربه‌یی در طبقه‌ی بام، ۲۱٪ بیشینه‌ی برش پایه را نسبت به حالت‌های قرارگیری میراگر در طبقات ۲۱ و ۲۳ کاهش داده است. در دو حالت قرارگیری میراگر ضربه‌یی در طبقات میانی (۲۱ و ۲۳) به دلیل قرارگرفتن در ناحیه‌ی ترکیب مدهای ارتعاشی، تغییرات یکسانی داشته‌اند؛ اما نسبت به حالت قرارگرفتن میراگر در طبقه‌ی بام، عملکرد خوبی نداشته‌اند. بدین معنا که سیستم به دلیل وجود اختلاف ارتفاعی بین دو حالت ذکر شده و به دنبال آن ایجاد ارتعاشات بیشتر در طبقه‌ی بام، شاهد کاهش نیروی برش پایه در حالت قرارگرفتن میراگر در طبقه‌ی بام است.

همچنین با توجه به شکل مذکور، هر سه حالت قرارگیری میراگر ضربه‌یی در کاهش بیشینه‌ی برش پایه تأثیر داشته‌اند؛ اما در مقایسه‌ی نقطه‌به‌نقطه‌ی حالت قرارگرفتن میراگر در طبقه‌ی بام نسبت به دو حالت دیگر، نیروی برش پایه تا ۲۱٪ کاهش یافته است که جهت تصمیم‌گیری نهایی باید نتایج دیگر حاصل از سیستم در حال ارتعاش (منحنی‌های بیشینه‌ی تغییرمکان بام و طبقات) را بررسی کرد. حالت‌های قرارگرفتن میراگر در طبقه‌ی بام طبق شکل ۱۲، نسبت به دو حالت دیگر در کاهش تغییرمکان طبقات، عملکرد بهتری داشته است. این امر را می‌توان به دلیل وجود ارتعاش بالا در طبقات بالاتر دانست. دو حالت قرارگرفتن میراگر در طبقات ۲۱ و ۲۳، سیر یکسانی در کاهش تغییرمکان طبقات داشته‌اند که نشان از ایجاد ترکیب مدهای ارتعاشی در ناحیه‌ی مذکور است. در مقایسه‌ی نتایج مدل‌های ۲۵ طبقه با تعداد دهانه‌های متفاوت مشاهده می‌شود که تعداد دهانه‌ها، تأثیر چندانی در افزایش ترکیب مدهای ارتعاشی در عملکرد میراگر ضربه‌یی نداشته است.

در واقع فقط با افزایش ارتفاع سازه، اثر ترکیب مدهای ارتعاشی نسبت به وجود ارتعاشات بالا در ارتفاع، سبب افزایش ۱۲ درصدی در کاهش دامنه‌ی پاسخ سیستم می‌شود. اما در طبقه‌ی بام به دلیل ارتعاش بالای سیستم چند درجه آزاد نسبت به دو حالت دیگر و تأثیر آن در عملکرد میراگر ضربه‌یی نسبت به اثر ترکیب مدهای ارتعاشی، افزایش ۱۴ درصدی در کاهش تغییرمکان طبقات در حالت مذکور مشهود است. لذا می‌توان نتیجه گرفت عملکرد میراگر ضربه‌یی در کاهش دامنه‌ی پاسخ سیستم چند درجه آزاد تحت اثر ارتعاش بالا در طبقه‌ی فوقانی نسبت به ترکیب مدهای ارتعاشی در طبقات میانی، ۱۲٪ کاهش یافته است. در مدل ۲۵ طبقه‌ی

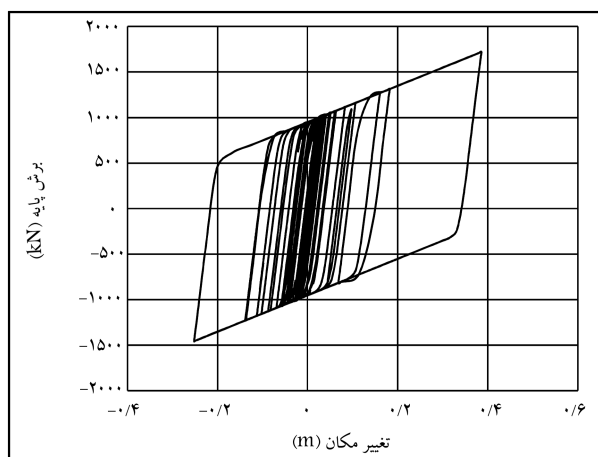
با توجه به شکل ۱۴، ظرفیت باربری سازه در حالت زلزله‌ی دور، ۱۴٪ نسبت به حوزه‌ی نزدیک افزایش یافته است. در مقایسه‌ی مقادیر تغییرمکان هر دو منحنی، میراگر ضربه‌یی در زلزله‌ی دور از گسل، عملکرد بهتری داشته است. همچنین در مقایسه‌ی مقادیر نیروی وارده به میراگر در دو حالت مذکور مشاهده می‌شود که سهم نیروی دریافتی در زلزله‌ی دور از گسل، ۱۴٪ بیشتر بوده است. لذا می‌توان به اتلاف انرژی بیشتر در حوزه‌ی زلزله‌ی دور برای سازه با ارتفاع متوسط و در نهایت عملکرد بهتر میراگر ضربه‌یی در کاهش دامنه‌ی پاسخ سیستم در حال ارتعاش رسید.

منحنی شکل ۱۵، در عملکرد میراگر ضربه‌یی در کاهش دامنه‌ی ارتعاش سیستم در نتایج پیشین،<sup>[۳]</sup> صحنه می‌گذارد. همان‌طور که در بررسی منحنی تغییرمکان تحت زلزله‌های نزدیک و دور از گسل مشاهده شد، میراگر ضربه‌یی به شتاب حساس است، لذا ۱۱٪ عملکرد بهتری در حوزه‌ی زلزله‌ی نزدیک نسبت به زلزله‌ی دور داشته است. علت اصلی آن را می‌توان به شدت شتاب زلزله‌ی بالا در مدت زمان اندک اعمال زلزله در زلزله‌ی نزدیک گسل دانست. در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود که برخلاف مدل ۱۰ طبقه‌ی ۵ دهانه (سازه با ارتفاع متوسط)، نیروی وارده بر میراگر در زلزله‌ی حوزه‌ی نزدیک نسبت به حوزه‌ی دور، ۱۱٪ افزایش یافته است. بدین معنا که سهم نیروی دریافتی بیشتری نسبت به حالت زلزله‌ی دور به میراگر ضربه‌یی رسیده و به دنبال آن، ظرفیت باربری در سیستم افزایش یافته است.

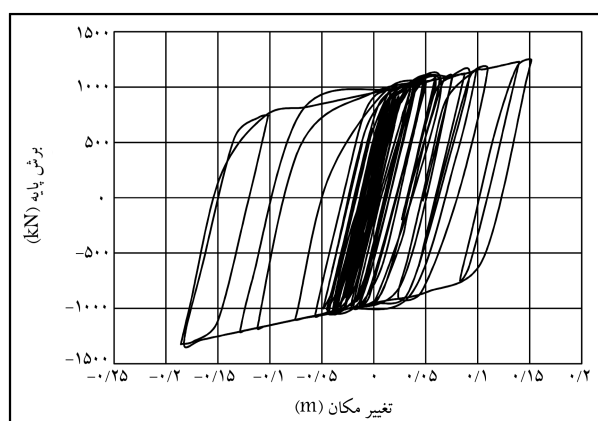
#### ۴. نتیجه‌گیری

براساس تحلیل‌های انجام‌شده بر روی سازه تحت زلزله‌ی حوزه‌ی نزدیک، عملکرد میراگر ضربه‌یی در ساختمان بلند، ۱۲٪ نسبت به ساختمان با ارتفاع متوسط بهتر بوده است. همچنین در مدل‌های با ارتفاع یکسان و تعداد دهانه‌های متفاوت، حالت قرارگرفتن میراگر در طبقات میانی، حدود ۸٪ نسبت به حالت طبقه‌ی بام در کاهش دامنه‌ی ارتعاش عملکرد بهتری داشته است. علت آن را می‌توان به دلیل وجود ترکیب مدهای ارتعاشی بیشتر در مدل‌های با تعداد دهانه‌ی بیشتر دانست.

در بررسی منحنی هیستریزیس سازه‌ی تقویت‌شده با میراگر ضربه‌یی تحت زلزله‌های دو حوزه‌ی نزدیک و دور مشاهده شد که ظرفیت باربری در مدل ۱۰ طبقه تحت زلزله‌های حوزه‌ی دور، حدود ۱۴٪ و در مدل ۲۵ طبقه، حدود ۱۱٪ بزرگ‌تر بوده است. بدین معنا که میراگر ضربه‌یی در ساختمان بلند تحت زلزله‌ی حوزه‌ی نزدیک و در ساختمان با ارتفاع متوسط تحت زلزله‌ی حوزه‌ی دور، عملکرد بهتری داشته است.



شکل ۱۴. منحنی هیستریزیس مدل ۱۰ طبقه‌ی ۲ دهانه تحت زلزله در دو حوزه‌ی دور و نزدیک.



شکل ۱۵. منحنی هیستریزیس مدل ۲۵ طبقه‌ی ۵ دهانه تحت زلزله در دو حوزه‌ی دور و نزدیک.

بام، عملکرد بهتری در زلزله‌ی دور از گسل داشته است. در ادامه، جهت مشخص کردن میزان تأثیر میراگر ضربه‌یی در ظرفیت باربری سیستم چند درجه آزاد در حال ارتعاش، منحنی هیستریزیس در دو حوزه‌ی دور و نزدیک بررسی شده است (شکل‌های ۱۴ و ۱۵). مدل‌های مورد بررسی شامل مدل ۱۰ طبقه‌ی ۲ دهانه، به‌منزله‌ی نمونه‌ی سازه با ارتفاع متوسط و مدل ۲۵ طبقه‌ی ۵ دهانه، به‌منزله‌ی سازه با ارتفاع بلند استفاده‌شده است.

#### پانویس‌ها

1. national aeronautics and space administration (NASA)
2. gap size
3. multiple-mass
4. linear particle chain
5. Matlab
6. joint

#### منابع (References)

1. Smith, S., B. and Coull, A. "Tall building structures: analysis and design", 1st edition, Wiley, (In Persian) (1991).
2. Egger, Ph. and Caracoglia, L. "Analytical and experimental investigation on a multiple-mass-element pendu-



- lum impact damper for vibration mitigation”, *Journal of Sound and Vibration*, **353**, pp. 38-57 (2014).
3. Lieber, P. and Jensen, D.P. “An acceleration damper: Development, design and some applications”, *Transactions of ASME*, **67**, pp. 523-530 (1945).
  4. Afsharfard, A. “Application of impact dampers to reduce vibrations of structures”, M.Sc. Thesis, Mechanical Engineering Group, Ferdowsi University, Mashhad, Iran (2007).
  5. Zahrai, S.M. and Rod, A.F. “Effect of impact damper on SDOF system vibration under harmonic and impulsive excitations”, *Journal of Physics: Conference Series 181*, doi:10.1088/1742-6596/181/1/012066 (2009).
  6. Lovely, S., Hara, S., Yamada, K. and et al. “Experiment of shock vibration control using active momentum exchange impact damper”, *Journal of Vibration and Control*, **16**(1), pp. 49-64 (2010).
  7. Bayat, M. “On the effect of the near field records on the steel braced frames equipped with energy dissipating devices”, *Latin American Journal of Solids and Structures*, **8**(4), pp. 429 -443 (2011).
  8. Dehghan-Niri, E.D., Zahrai, S.M. and Rod, A.F. “Numerical studies of the conventional impact damper with discrete frequency optimization and uncertainty considerations”, *Scientia Iranica*, **19**(2), pp. 166-178 (2012).
  9. Afsharfard, A. and Farshidianfar, A. “Design of nonlinear impact dampers based on acoustic and damping behavior”, *International Journal of Mechanical Sciences*, **65**(1), pp. 125-133 (2012).
  10. Jam, J.E. and Aref Afsharfard, A. “Application of single unit impact dampers to reduce undesired vibration of the 3R robot arms”, *International Journal of Aerospace Sciences*, **2**, pp. 49-54 (2013).
  11. Goel, V., Bhave, S.Y. and Razdan, S “An experimental study on impact dampers”, *International Journal of Science, Environment and Technology*, **3**(5), pp. 1738-1746 (2014).
  12. Lampart, M. and Zapoměl, J. “Dynamics and efficiency of an impact damper”, *Nostradamus: Prediction, Modeling and Analysis of Complex Systems*, 289 of the Series *Advances in Intelligent Systems and Computing*, pp. 355-364 (2014).
  13. Afsharfard, A. and Farshidianfar, A. “Application of single unit impact dampers to harvest energy and suppress vibrations”, *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, **25**, pp.246-256 (2014).
  14. Arefi, M.R. “A Study on the damping ratio of the viscous fluid dampers in the braced frames”, *European Online Journal of Natural and Social Sciences*, **3**(4), pp. 1223-1235 (2014).
  15. Sanap, S.B., Bhave, S.Y. and Awasare, P.J. “Impact damper for axial vibration of a continuous system”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, **230**(13) pp.2145-2157 (2015).
  16. Zahrai, S.M. and Rod, A.F. “Shake table tests of using single-particle impact damper to reduce seismic response”, *Asian Journal of Civil Engineering (BHRC)*, **16**(3), pp 471-487 (2015).
  17. Gharib, M. and Karkoub, M. “Passive multi-degree-of-freedom structural control using LPC impact dampers”, ASME 2015 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, 4B: Dynamics, Vibration, and Control Houston, Texas, USA (Nov. 13-19, 2015).
  18. Nakamura, Y. and Watanabe, K. “Effects of balanced impact damper in structures subjected to walking and vertical seismic excitations”, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, **45**(1), pp. 113-128 (2016).
  19. Ashrafi, H.R., Amiri, A.M., Dadgar, S. and et al. “Studying the effects of earthquakes near and far fault region on seismic behavior of dual frame equipped with viscous damper”, *Vibroengineering Procedia*, **9**, pp. 1748-1759 (2016).
  20. *Guidelines for Performance-Based Seismic Design of Tall Buildings*, Developed by the Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER) as part of the Tall Buildings Initiative (2017).
  21. Heysami, A. “Seismic evaluation of tall building with impact damper under near-field earthquake with nonlinear time-history analysis”, thesis of Msc. structure, ACECR of khuzestan, (In Persian) (2016).
  22. American Institute of Steel Construction (AISC 360-10) Regulations, One East Wacker Drive, Suite 700, Chicago, Illinois 60601-1802.