

## تأثیر روش‌های مختلف تعیین سختی طبقات بر عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی کنترل شده با میراگر ویسکوز

مازیار فهیمی فرزاد<sup>۱\*</sup>، طاهره دهقان کلجاهی<sup>۲</sup>، علی سلطانی<sup>۳</sup>

۱- دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه مراغه، مراغه

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه مراغه، مراغه

۳- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز

\*مراغه، صندوق پستی ۵۵۱۸۷۷۹۸۴۰، m.farzam@maragheh.ac.ir

### چکیده

سیستم‌های کنترل غیرفعال به دلیل عدم نیاز به منبع انرژی خارجی، هزینه کم، نصب آسان و طراحی ساده همواره در سازه‌های عمرانی به کار برده شده‌اند. میراگر ویسکوز لزج یکی از توسعه یافته‌ترین ابزار کنترل غیرفعال است که از طریق تبدیل انرژی مکانیکی به حرارت، انرژی ورودی به سازه را مستهلک می‌کند. در روش‌های متداول طراحی میراگر ویسکوز، میرایی مورد نیازی که لازم است توسط میراگرهای ویسکوز در سازه تامین شود به سختی سازه بستگی دارد. در این مقاله به منظور توزیع میرایی ویسکوز در ارتفاع ساختمان، روش توزیع متناسب با دریافت بین طبقه‌ای بر اساس تغییر شکل‌های مد اول (IDPD) به کار برده شده است و جهت محاسبه میرایی کل میراگرها از پنج روش مختلف تعیین سختی طبقات استفاده شده است. در نهایت از میان این پنج روش، روشی که در آن پاسخ‌های ساختمان کنترل شده با میراگر ویسکوز انطباق بیشتری با هدف طراحی داشته باشند روش مطلوب خواهد بود. همچنین به منظور ارزیابی هزینه طراحی جهت انتخاب روش مناسب، مقایسه‌ای از نظر میرایی کل مورد نیاز (به عنوان معیار هزینه) برای رسیدن به هدف طراحی مورد نظر انجام شده است. سازه‌های مورد بررسی، ساختمان‌های ۳، ۹ و ۲۰ طبقه معیار پروژه سک می‌باشند. به منظور تحلیل تاریخچه زمانی ساختمان‌ها از چهار رکورد معیار حوزه نزدیک با اثر پرتابی و چهار رکورد معیار حوزه دور استفاده شده است. نتایج نشان‌دهنده تأثیر متفاوت روش‌های مختلف محاسبه سختی طبقات در انطباق با هدف طراحی می‌باشد و به همین دلیل لازم است برای دستیابی به هدف طراحی مورد نظر از بین روش‌های تعیین سختی مختلف روش سختی مناسب انتخاب گردد.

### واژگان کلیدی

میراگر ویسکوز لزج، روش توزیع IDPD، هزینه طراحی، ساختمان‌های سک، تحلیل تاریخچه زمانی

## The effect of different methods of determining the stiffness of stories on seismic performance of steel structures controlled by viscous dampers

M. Fahimi Farzam, T. Dehghan Kalajahi, A. Soltani

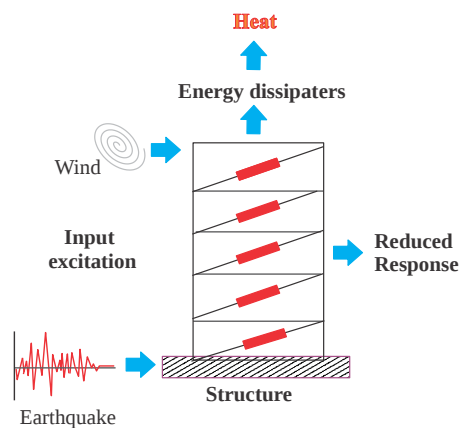
### Abstract

Passive control systems have always been used in civil structures due to the lack of external energy source, low cost, easy installation and simple design. The fluid viscous damper is one of the most advanced passive control devices that dissipate the energy input to the structure by converting mechanical energy into heat. In conventional viscous damping design methods, the required damping required to be provided by viscous dampers in the structure depends on the stiffness of the structure. In this paper, in order to distribute the viscous damping at the height of the building, the distribution method is used in proportion to the inter-story drift proportional distribution determined on the basis of the first mode deformations and five different methods for determining the stiffness of the stories are used to calculate the total damping. Finally, of the five methods, the one in which the responses of the controlled building to the viscous damper are more in line with the design goal would be the preferred method. Also, in order to evaluate the design cost to choose the appropriate method, a comparison has been made based on the total damping required (as a cost criterion) to achieve the desired design goal. The studied structures are 3, 9 and 20 story benchmark buildings of SAC project. In order to analyze the time history of buildings, four benchmark near field records with the effect of Fling Step and four benchmark field far records have been used. The results show the different effects of different methods of calculating the stiffness of floors in accordance with the design goal and therefore it is necessary to choose the appropriate stiffness method from different methods to determine the desired design goal.

### Keywords

Fluid viscous dampers, IDPD distribution method, Design cost, SAC buildings, Time history analysis

به منظور حفاظت از سازه‌ها در برابر ارتعاشات دینامیکی، راهکارهای زیادی وجود دارد که روش اتلاف انرژی کنترل غیرفعال یکی از آنها می‌باشد. در یک فرایند کنترل سازه، عملکرد سیستم کنترلی به عوامل مختلفی از جمله نوع تحریک (زلزله یا باد)، ویژگی‌های سازه (درجه آزادی، میرایی، فرکانس طبیعی در مدهای مختلف و رفتار غیرخطی سازه)، ماهیت و طراحی سیستم کنترلی بستگی دارد. انجمن کمیته مهندسی عمران آمریکا<sup>۱</sup> میراگرهای غیرفعال را به پنج گروه اصلی طبقه بندی کرده است، که شامل (میراگرهای وابسته به سرعت) (۱) میراگر ویسکوز مایع<sup>۲</sup> (۲) میراگر ویسکوالاستیک<sup>۳</sup> و (میراگرهای مستقل از سرعت) (۳) میراگر مهاربندی کماتش تاب<sup>۴</sup>، (۴) میراگر اصطکاکی<sup>۵</sup> و (۵) میراگر خودمحرور<sup>۶</sup> [۱] می‌باشند. سیستم‌های کنترل غیرفعال از ابزارهای کمکی جهت اتلاف انرژی ناشی از اثرات زمین لرزه‌ها و بادهای شدید استفاده می‌کنند و جهت کارکرد در سازه نیازی به منبع انرژی خارجی ندارند. فرایند اتلاف انرژی توسط سیستم کنترل غیرفعال در شکل (۱) ارائه شده است. مطابق شکل، یک سیستم کنترل غیرفعال بدون نیاز به منبع انرژی خارجی تنها با پاسخ سازه تحریک شده، انرژی ورودی سازه را به صورت گرما مستهلک می‌کند و نهایتاً پاسخ سازه را کاهش می‌دهد [۲].



شکل ۱- سازه با ابزار کنترل غیرفعال

میراگرهای ویسکوز مایع از ابزارهای اتلاف انرژی غیرفعال هستند که به طور گسترده جهت حفاظت لرزه‌ای سازه‌ها استفاده شده‌اند، به طوریکه طراحی، قرارگیری و سایندهی مطلوب این میراگرها در طی چهار دهه گذشته به طور وسیعی مورد بررسی قرار گرفته است. امروزه استفاده از میراگرهای ویسکوز به دلیل مزایایی همچون قابلیت افزایش عملکرد لرزه‌ای از طریق اتلاف

قابل توجه انرژی، قابلیت ایجاد نیروی خارج از فاز با جابجایی و امکان افزایش نسبت میرایی یک سازه بدون ایجاد تغییر زیادی در خصوصیات سختی آن در بین سایر میراگرهای غیرفعال گسترش یافته است [۳].

مطالعات بسیاری در زمینه استفاده از میراگرهای ویسکوز در سازه‌های عمرانی در ادبیات فنی موجود می‌باشد، از جمله این مطالعات می‌توان به بررسی یک ساختمان ۳۹ طبقه مجهز به میراگرهای ویسکوز توسط Duflo<sup>۷</sup> و همکارانش اشاره کرد. نتایج این بررسی، نشان‌دهنده کاهش ۳۵ درصدی در پاسخ ساختمان تحت اثر بار باد بود که روشی مقرون به صرفه بوده است [۴]. Zhang<sup>۸</sup> برج حفی<sup>۹</sup> مجهز به میراگرهای ویسکوز را جهت کاهش ارتعاش ناشی از باد مورد مطالعه قرار داد و به کاهش ۴۳/۴ درصدی شتاب در بالای ساختمان رسید [۵]. Hwang<sup>۱۰</sup> و همکارانش با ارائه دو روش توزیع ضرایب میرایی غیرتکراری پیشنهادی، به بررسی مقایسه‌ای بر روی سایر روش‌های مختلف توزیع ضرایب میرایی میراگر ویسکوز در طول ارتفاع سه قاب دو بعدی پرداختند [۶].

Xing<sup>۱۱</sup> و همکارانش در یک مطالعه، ترکیب دو نوع سیستم مهار بازویی اتلاف انرژی را به منظور کنترل پاسخ‌های لرزه‌ای یک ساختمان بسیار بلند ۹ طبقه را بررسی کردند. نتایج نشان داد که هنگامی که از دو سیستم مهار بازویی اتلاف انرژی استفاده شده بود، ترکیبی از OBRB<sup>۱۲</sup> به علاوه OVD<sup>۱۳</sup> عملکرد لرزه‌ای بهتری را در مقایسه با سایر پیکربندی مهار بازوی دبل نشان داده است [۷]. همچنین Roy<sup>۱۴</sup> و Matsagar<sup>۱۵</sup> در سال ۲۰۲۰ با بررسی اثرات چند خطر بر روی ساختمان‌های فولادی مجهز به میراگرهای ویسکوز و ویسکوالاستیک تحت نیروهای جانبی، مقادیر پاسخ‌های لرزه‌ای ساختمان‌ها را از جهت توزیع آماری در حالت‌های کنترل شده و نشده مقایسه کردند. نهایتاً آن‌ها به تاثیر شرایط خاص محل سازه و احتمال وقوع هر خطر، در انتخاب و طراحی سیستم کنترل غیرفعال مطلوب به منظور کاهش پاسخ سازه‌ها اشاره کردند [۸]. بیرقی در طی تحقیقی، رفتار قاب بلند مرتبه ساده دارای سیستم مهاربندی کماتش تاب را با و بدون میراگرهای ویسکوز تحت اثر زلزله‌های حوزه دور و نزدیک مورد بررسی قرار داد. نتایج حاصل از تحقیق نشان‌دهنده کاهش ۳۰ درصدی در دریافت نسبی طبقات در سازه دارای میراگر نسبت به سازه بدون میراگر تحت زلزله‌های حوزه دور و کاهش متناظر ۱۵ درصدی تحت زلزله‌های حوزه نزدیک بود [۹]. مطالعات جامعی بر روی کاربرد میراگر ویسکوز به منظور کنترل ارتعاشات ناشی از زلزله به چاپ رسیده است که برای

بررسی کامل ادبیات موضوع می‌توان به این مقالات نیز مراجعه نمود [۳ و ۱۰-۱۲].

مطابق با نظر Beniof، از سال ۱۹۵۵ زلزله‌ها بر اساس فاصله ایستگاه اندازه‌گیری تا گسل فعال به دو نوع زلزله‌های حوزه نزدیک و حوزه دور تقسیم شدند. به طوریکه زلزله‌هایی که در فاصله کمتر از ۱۰ کیلومتری از گسل رخ می‌دهند، زلزله‌های حوزه نزدیک و زلزله‌هایی که در فاصله بیشتر از ۲۰ کیلومتری از گسل رخ می‌دهند، زلزله‌های حوزه دور نامیده شدند [۱۳]. همچنین بر اساس نظر Hudson، بعد از رخداد زلزله‌هایی همچون پارکفیلد کالیفرنیا<sup>۱۱</sup> (۱۹۶۶) و پاکویما سانفرناندو<sup>۱۲</sup> (۱۹۷۱) عبارت نزدیک گسل برای نخستین بار مطرح شد [۱۴]، ولی پس از رخداد زلزله‌هایی نظیر لندرز<sup>۱۳</sup> (۱۹۹۲)، نورث‌ریچ<sup>۱۴</sup> (۱۹۹۴)، کوبه<sup>۱۵</sup> (۱۹۹۵) و چی چی<sup>۱۵</sup> (۱۹۹۹) به ضرورت بررسی زلزله‌های حوزه نزدیک و اثرات مخرب آن بر روی سازه‌های عمرانی پی برده شد [۱۵].

در این مطالعه بر رویکرد طراحی میراگرهای ویسکوز تمرکز شده است. از آنجا که برای محاسبه سختی جانبی طبقات در یک قاب خمشی روش‌های مختلفی وجود دارد، اثر انتخاب هر یک از این روش‌ها بر عملکرد میراگر طراحی شده به صورت آماری مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور توزیع میرایی ویسکوز در ارتفاع ساختمان‌ها، روش توزیع IDPD<sup>۱۶</sup> (توزیع متناسب با دررفت بین طبقه‌ای بر اساس تغییر شکل‌های مد اول) به کار گرفته شده است و جهت تعیین میرایی سازه از پنج روش مختلف تعیین سختی طبقات استفاده شده است. در ادامه و در بخش‌های بعد به شرح روش‌های مختلف تعیین سختی طبقات پرداخته خواهد شد. مواردی که این پژوهش را از سایر مقالات ارائه شده در زمینه بررسی عملکرد میراگر ویسکوز متمایز می‌کند عبارتند از: (۱) به منظور توزیع میرایی ویسکوز در ارتفاع ساختمان، روش توزیع IDPD به کار برده شده است و جهت محاسبه میرایی کل میراگرها از پنج روش مختلف تعیین سختی طبقات استفاده شده است تا روش سختی که هدف طراحی را بهتر تامین می‌کند، مشخص گردد و مبنای طراحی قرار گیرد. (۲) در این مطالعه به منظور ارزیابی اثر انتخاب روش محاسبه سختی طبقات بر عملکرد لرزه‌ای میراگر ویسکوز در ساختمان‌های با ارتفاع مختلف از سه نوع ساختمان کوتاه، متوسط و بلند مرتبه معیار استفاده شده است. (۳) چهار شاخص ارزیابی عملکرد مختلف بیشینه و نرم پاسخ (شتاب مطلق و جابجایی) که به ترتیب معرف بهترین عملکرد و متوسط عملکرد میراگر در کل طول رکورد است بررسی شده است. (۴) ۸ رکورد

با مشخصات مختلف (۴ عدد دور و ۴ عدد نزدیک با اثر پرتابی) جهت مطالعه آماری استفاده شده که بتوان به صورت آماری اثر انتخاب روش محاسبه سختی طبقات را بر پاسخ سازه‌ها مورد ارزیابی قرار داد.

## ۲- صحت‌سنجی و مطالعه‌ی عددی

### ۲-۱- صحت‌سنجی سازه‌های مورد بررسی

سازه‌های مورد مطالعه در این پژوهش، قاب‌های ساختمانی دو بعدی ۳، ۹ و ۲۰ طبقه پروژه سک می‌باشند. برای دسترسی به مشخصات کامل قاب‌های مذکور به مقاله Ohtori و همکارانش رجوع شود [۱۶]. در جدول (۱) اختلاف موجود بین نتایج تحلیل مقاله اوتهوری و نتایج مدل‌سازی تحت اثر ۵۰ درصد از شتاب‌های زلزله هاجینوهه<sup>۱۷</sup> (۱۹۶۸) ارائه شده است.

جدول ۱- مقایسه درصد اختلاف بین پاسخ‌های بام این مطالعه و مقاله Ohtori و همکارانش [۱۶]

| سازه | درصد اختلاف | مقدار پارامتر |           | پاسخ بام                 |
|------|-------------|---------------|-----------|--------------------------|
|      |             | محاسبه شده    | مرجع [۱۶] |                          |
| ۳    | ۱/۴۲        | ۰/۰۹۱         | ۰/۰۹      | جابجایی (m)              |
|      | ۰/۳۷        | ۰/۵۳۵         | ۰/۵۳۷     | سرعت (m/s)               |
|      | ۱/۸۵        | ۴/۰۰۴         | ۳/۹۳      | شتاب (m/s <sup>2</sup> ) |
| ۹    | ۱/۰۶        | ۰/۱۸۸         | ۰/۱۸۶     | جابجایی (m)              |
|      | ۴/۴۲        | ۰/۶۲۷         | ۰/۶۵۶     | سرعت (m/s)               |
|      | ۵/۸         | ۲/۷۵          | ۲/۵۹      | شتاب (m/s <sup>2</sup> ) |
| ۲۰   | ۴/۷         | ۰/۱۶۶         | ۰/۱۷۴     | جابجایی (m)              |
|      | ۶/۷         | ۰/۴۲۴         | ۰/۴۵۱     | سرعت (m/s)               |
|      | ۰/۱۱        | ۱/۸۳۲         | ۱/۸۳      | شتاب (m/s <sup>2</sup> ) |

### ۲-۲- ساختمان‌های مورد مطالعه و مقیاس رکوردهای انتخابی

در این پژوهش ساختمان‌های ۳، ۹ و ۲۰ طبقه پروژه سک [۱۶]، با تحلیل تاریخیچه زمانی در حالت کنترل شده با میراگر و کنترل شده با میرایی ذاتی ۲۰ درصد (میرایی هدف) مورد مطالعه آماری قرار گرفته‌اند. طبق گزارش SAC خاک نوع D برای ساختمان‌های معیار انتخاب شده است. بدین منظور از ۸ رکورد زمین‌لرزه معیار استفاده شده که ۲ دسته‌ی ۴ تایی از رکوردهایی با ویژگی‌های متنوع می‌باشند. این دسته بندی شامل رکوردهای حوزه نزدیک با اثر پرتابی و حوزه دور می‌باشد. مشخصات این

بوده و دارای خاصیت اثر پرتابی می‌باشند. همچنین رکوردهای شماره ۵ تا ۸ را نیز رکوردهای حوزه دور از گسل تشکیل می‌دهند. شکل طیف پاسخ برای هر سه نوع ساختمان ۳، ۹ و ۲۰ طبقه در شکل (۲) رسم شده است.

رکوردها در جدول (۲) ارائه شده است. با توجه به این جدول اطلاعاتی از قبیل بزرگای (Mw)، بیشینه شتاب (PGA)، مولفه زلزله‌ها به همراه نزدیک‌ترین فاصله تا صفحه شکست (Rrup) ارائه شده است. رکوردهای شماره ۱ تا ۴ از نوع حوزه نزدیک

جدول ۲- مشخصات رکوردهای حوزه نزدیک و دور از گسل

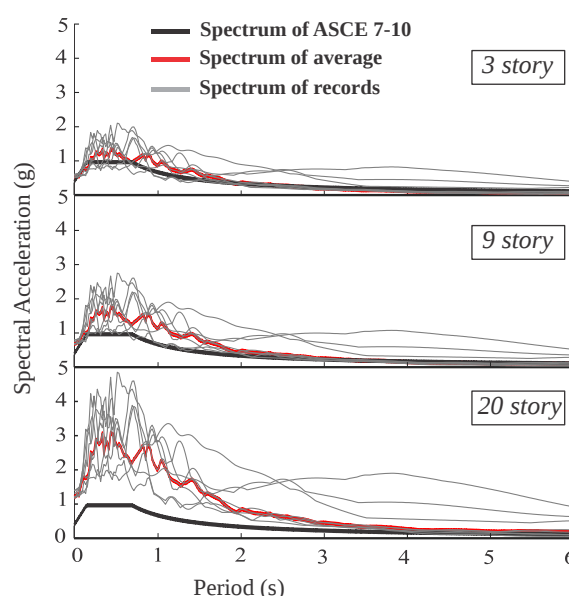
| شماره | سال  | زلزله           | Mw  | ایستگاه      | مولفه زلزله | R <sub>rup</sub><br>(km) | PGA<br>(g) |
|-------|------|-----------------|-----|--------------|-------------|--------------------------|------------|
| ۱     | ۱۹۹۹ | Kocaeli         | ۷/۴ | Yarimca(YPT) | EW          | ۴/۸۳                     | ۰/۲۳       |
| ۲     | ۱۹۹۹ | Chi-Chi         | ۷/۶ | TCU052       | NS          | ۰/۶۶                     | ۰/۴۴       |
| ۳     | ۱۹۹۹ | Chi-Chi         | ۷/۶ | TCU068       | EW          | ۰/۳۲                     | ۰/۵۰       |
| ۴     | ۱۹۹۹ | Chi-Chi         | ۷/۶ | TCU074       | EW          | ۱۳/۴۶                    | ۰/۵۹       |
| ۵     | ۱۹۵۲ | Kern County     | ۷/۵ | Taft         | ۱۱۱         | ۸۹/۳۸                    | ۰/۱۸       |
| ۶     | ۱۹۷۹ | Imperial Valley | ۶/۵ | Calexico     | ۲۲۵         | ۱۰/۴۵                    | ۰/۲۷       |
| ۷     | ۱۹۸۹ | Loma Perieta    | ۷/۰ | Presidio     | ۰۰          | ۷۷/۴۳                    | ۰/۱۰       |
| ۸     | ۱۹۹۴ | Northridge      | ۶/۷ | Century CCC  | ۹۰          | ۲۳/۴۱                    | ۰/۲۶       |

محاسبه میرایی کل مورد نیاز لازم است سختی کل ساختمان محاسبه شود. در این پژوهش به منظور تعیین اثر روش محاسبه سختی طبقات ساختمان بر طراحی میراگر ویسکوز از پنج روش مختلف محاسبه سختی طبقات استفاده شده است. نهایتاً روشی که در آن پاسخ‌های ساختمان کنترل شده با میراگرهای ویسکوز انطباق بیشتری با میرایی هدف ۲۰ درصد داشته باشند، روش مطلوبی خواهد بود. در مورد روش‌های تعیین سختی طبقات در بخش بعدی توضیح داده خواهد شد.

$$C = \frac{(\xi_e - \xi) \times T_0 \times K}{\pi} \quad (1)$$

در این رابطه، ضرایب  $C$ ،  $\xi_e$  و  $\xi$  به ترتیب معرف ضریب میرایی، نسبت میرایی هدف (۲۰ درصد در نظر گرفته شده است) و نسبت میرایی ذاتی سازه می‌باشند.  $T_0$  و  $K$  نیز بیانگر پریود مد اول و سختی سازه می‌باشند.

جهت طراحی مناسب و زیربینه<sup>۲۰</sup> میراگر ویسکوز لازم است مقدار میرایی کل لازم محاسبه شده و برای رسیدن به هدف طراحی (میرایی هدف، در این مطالعه ۲۰ درصد) به صورت مناسبی در ارتفاع توزیع شود. این موضوع، یکی از موضوعات فعال پژوهشی در زمینه طراحی بهینه میراگر ویسکوز است. روش شکل مد اول یکی از روش‌های مناسب به منظور توزیع میرایی بهینه در ارتفاع ساختمان می‌باشد. در این روش جهت یافتن میرایی طبقات از طرحی ساده بر اساس توزیع متناسب با دریافت بین طبقه‌ای بر اساس تغییر شکل‌های مد اول



شکل ۲- طیف طرح ASCE7-10، طیف‌های پاسخ شبه شتاب و طیف پاسخ میانگین زلزله‌های مقیاس شده برای سازه‌های ۳، ۹ و ۲۰ طبقه معیار

### ۳- طراحی میراگرهای ویسکوز و معرفی روش‌های مختلف تعیین سختی

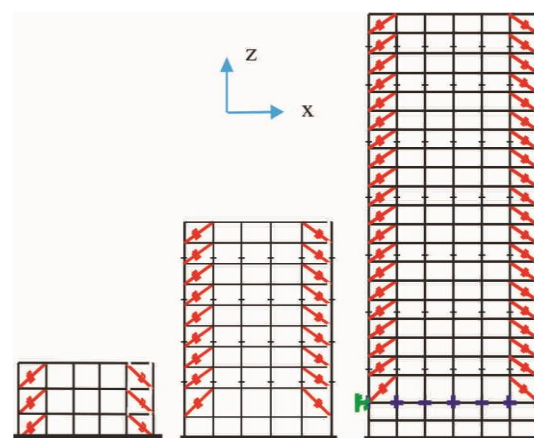
#### ۳-۱- طراحی میراگرهای ویسکوز

در این پژوهش به منظور یافتن میرایی مورد نیاز ساختمان‌ها توسط میراگرهای ویسکوز از رابطه‌ی سمیلارو<sup>۱۸</sup> - رتامالس<sup>۱۹</sup> (رابطه (۱)) استفاده شده است [۱۷]. در این رابطه، جهت



(IDPD) استفاده می‌شود [۱۸].

میراگرهای به کار رفته در هر ۳ ساختمان به صورت قطری بوده و در هر طبقه ۲ عدد میراگر جای گرفته است. آرایش قرارگیری و نحوه توزیع میراگرهای ویسکوز در قاب‌های ساختمانی ۳، ۹ و ۲۰ طبقه معیار سک در شکل (۳) ارائه شده است.



شکل ۳- آرایش قرارگیری میراگر ویسکوز در ساختمان‌های ۳، ۹ و ۲۰ طبقه ساختمان‌های معیار

### ۳-۲- روش‌های محاسبه سختی طبقات و طراحی سازه

در سال ۲۰۱۳ Tena-Colunga طی تحقیقی اظهار کرد که محاسبه‌ی سختی متأثر از ابزار تحلیل می‌باشد [۱۹]. روش‌های تقریبی و محاسباتی جهت تعیین سختی طبقات سازه‌ها وجود دارند که در این بخش از پژوهش به معرفی روش‌های محاسباتی مرسوم موجود در جامعه مهندسين عمران پرداخته می‌شود.

روش اول: در این روش یک نیرو به مرکز جرم بام سازه اعمال شده و بدون ایجاد تغییری در مشخصات اصلی سازه، سختی طبقات سازه از نسبت برش هر طبقه به تغییرمکان آن طبقه بدست می‌آید.

روش دوم: در این روش نیرو به مرکز سختی هر طبقه به صورت مجزا اعمال شده و بدون ایجاد تغییری در مشخصات اصلی سازه، سختی طبقات سازه از نسبت نیروی هر طبقه به تغییرمکان آن طبقه بدست می‌آید.

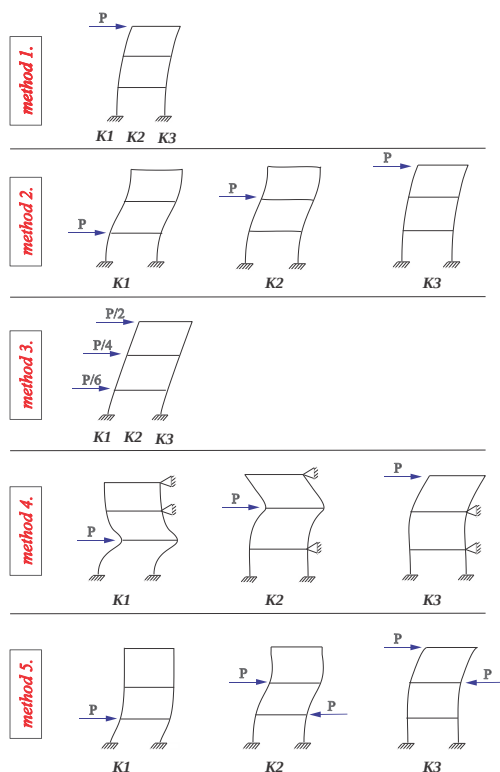
روش سوم: در این روش نیروهایی با توزیع مثلی همانند نیروی زلزله، به ساختمان اعمال شده و بدون ایجاد تغییری در مشخصات اصلی سازه، سختی هر طبقه از نسبت برش به تغییرمکان نسبی آن طبقه بدست می‌آید.

روش چهارم: در این روش جابجایی افقی طبقات فوقانی و تحتانی حذف شده (از طریق تکیه‌گاه مفصلی و بستن جابجایی

طبقات در راستای افقی قاب) و نیرو در مرکز سختی طبقه مورد نظر اعمال می‌شود و سختی طبقات سازه از نسبت نیروی هر طبقه به تغییرمکان آن طبقه محاسبه می‌شود.

روش پنجم: در این روش نیز با اعمال نیرویی در یک طبقه، سختی هر طبقه از نسبت نیرو به تغییرمکان آن طبقه بدست می‌آید. به نحویکه نیرویی دیگر برابر و غیرهم جهت با آن در مرکز سختی طبقه تحتانی آن طبقه اعمال می‌شود [۲۰].

جهت تعیین سختی طبقات ساختمان‌های معیار، به طور نمونه نحوه توزیع بار جانبی در یک قاب ساختمانی ۳ طبقه به صورت شماتیک و به هر پنج روش مذکور در شکل (۴) ارائه شده است. بعد از تعیین سختی به روش‌های مختلف برای هر سه ساختمان، در هر حالت میرایی کل محاسبه شده و از طریق روش IDPD در ارتفاع توزیع می‌شود، و در ادامه تحلیل تاریخیچه زمانی برای بررسی عملکرد طراحی‌های مختلف انجام می‌شود.



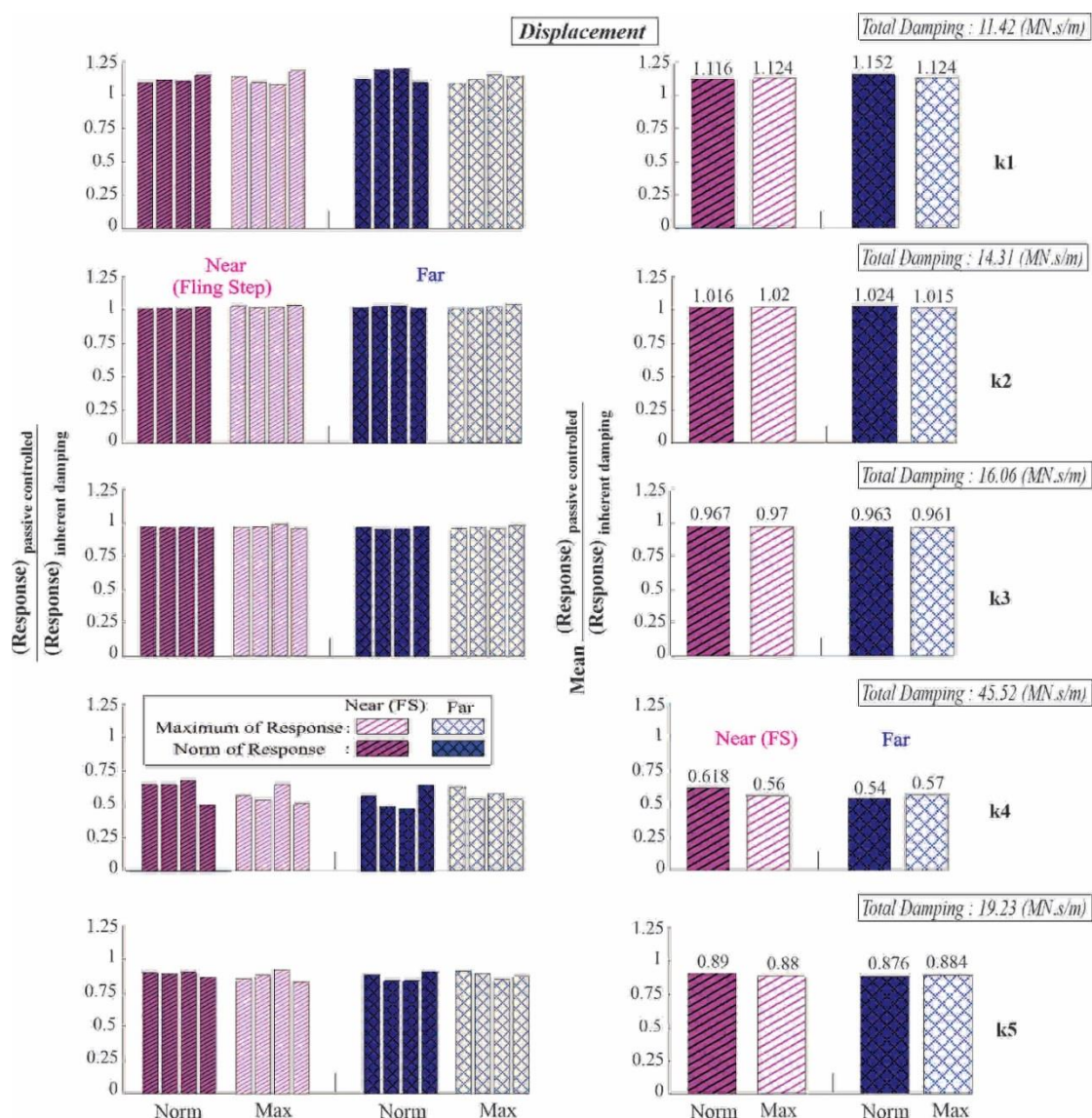
شکل ۴- نحوه‌ی توزیع بار جانبی در قاب ساختمانی ۳ طبقه به ۵ روش تعیین سختی

### ۴- تحلیل پاسخ‌های سازه

در این پژوهش ۴ شاخص عملکرد میانگین نرم و بیشینه پاسخ‌های جابجایی و شتاب مطلق بام ساختمان‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است. منظور از نرم پاسخ، محاسبه جذر میانگین

است. در این مطالعه روش تعیین سختی که منجر به انطباق بیشتری با طراحی هدف (میرایی هدف ۲۰ درصد) شود، روش مطلوبی خواهد بود. البته به‌منظور ارزیابی هزینه طراحی، مقایسه‌ای نیز بین میرایی کل مورد نیاز (به عنوان معرف هزینه کنترل) برای رسیدن به هدف طراحی مورد نظر انجام شده است. در شکل‌های (۵) تا (۸) مقادیر بیشینه و نرم پاسخ‌های جابجایی و شتاب ساختمان‌های ۳، ۹ و ۲۰ طبقه به صورت بی بعد ارائه شده است. به دلیل محدودیت صفحات نمودارهای ستونی برای ساختمان ۹ طبقه ارائه نشده است، اما نتایج آن در جدول (۳) و شکل (۹) و (۱۰) ارائه شده است.

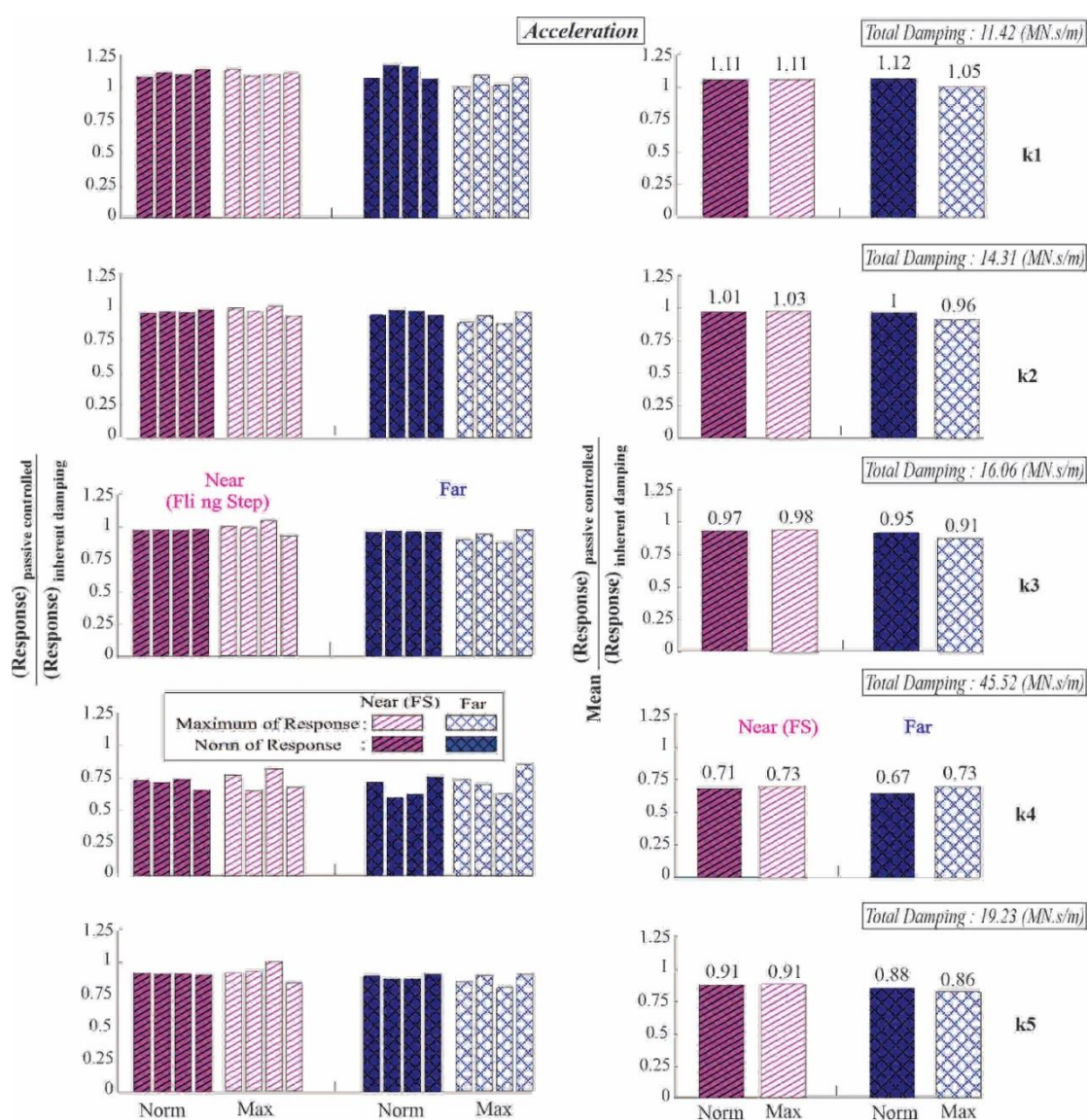
مربعات یک پاسخ مشخص (مثلاً جابجایی) در کل طول تاریخچه پاسخ می‌باشد و به نوعی میانگین کل پاسخ سازه تحت رکورد اعمالی می‌باشد. از آنجا که در بررسی بیشینه پاسخ، تنها پاسخ بیشینه مد نظر قرار می‌گیرد و اطلاعاتی از نحوه عملکرد میراگر در طول مدت زمان تحریک وجود ندارد، به‌منظور ارزیابی عملکرد میراگر در کل زمان تحریک از این شاخص عملکرد استفاده شده است. به‌منظور بررسی روش تعیین سختی طبقات، از پنج روش مختلف تعیین سختی طبقات برای رسیدن به یک میرایی هدف مشخص جهت توزیع میرایی در ارتفاع ساختمان‌ها با استفاده از روش IDPD استفاده شده



شکل ۵- مقادیر نسبت میانگین بیشینه و نرم پاسخ جابجایی ساختمان ۳ طبقه در حالت کنترل شده با میراگر به کنترل شده با میرایی ذاتی ۲۰ درصد

در این شکل‌ها مقادیر پاسخ‌ها در قالب نمودارهای ستونی و به صورت نسبت پاسخ کنترل شده با میراگرهای ویسکوز به کنترل شده با میرایی ذاتی ۲۰ درصد گزارش شده‌اند. رنگ‌های آبی و بنفش به ترتیب بیانگر نتایج زلزله‌های دور از گسل و نزدیک گسل می‌باشند. بلوک‌های هاشور خورده توپر، مقادیر نرم پاسخ‌ها و بلوک‌های هاشور خورده توخالی، مقادیر بیشینه پاسخ ساختمان‌ها را نشان می‌دهند. همچنین مقادیر میرایی کل بدست آمده تحت هر پنج روش تعیین سختی در گوشه سمت چپ شکل‌ها گزارش شده است. شکل (۵) مربوط به نتایج ساختمان ۳ طبقه می‌باشد. با توجه به این شکل میانگین بیشینه پاسخ جابجایی تحت اثر رکوردهای حوزه نزدیک در پنج روش تعیین سختی طبقات (روش ۱-۵) به ترتیب برابر با مقادیر ۱/۱۲۴،

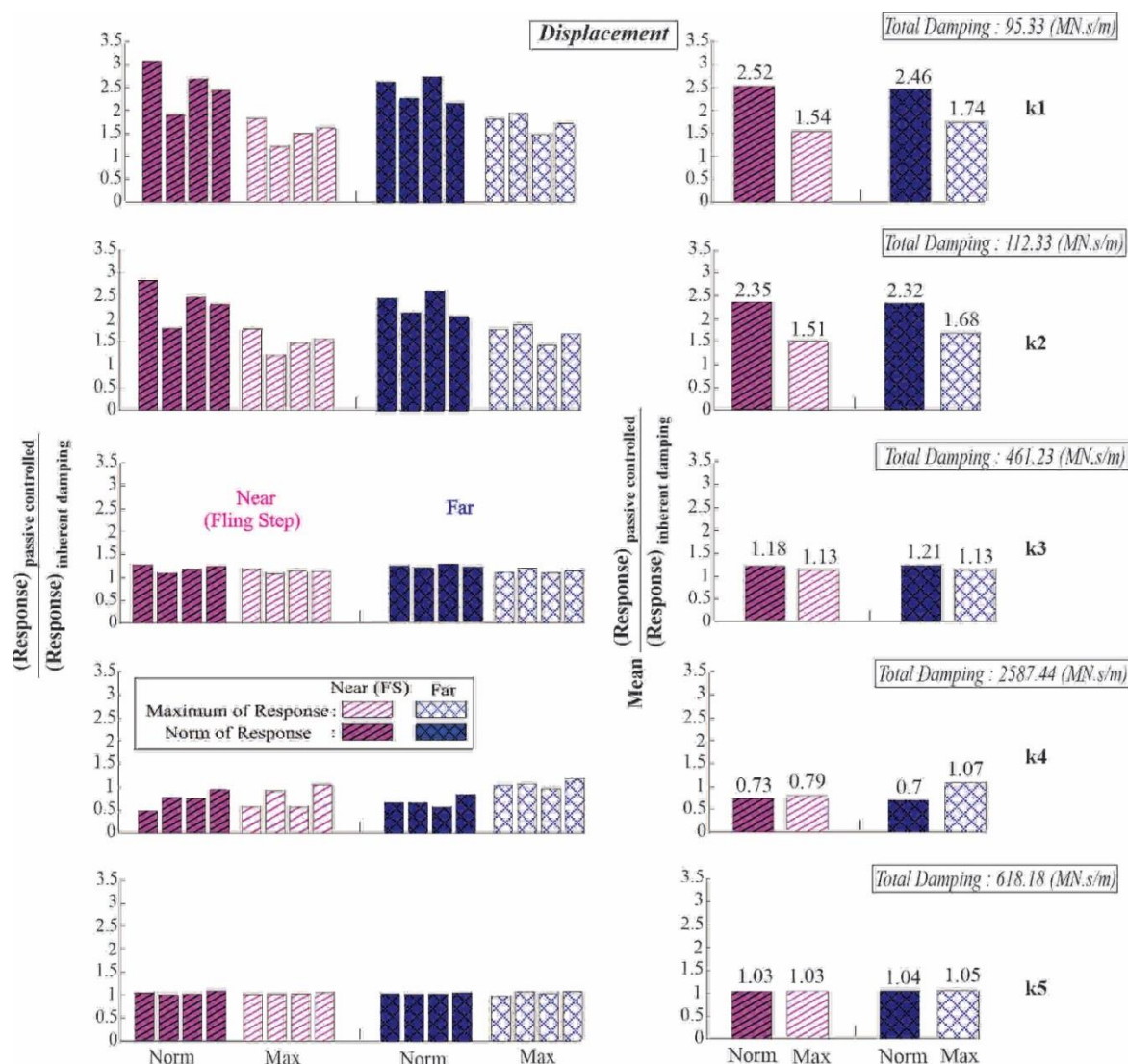
۱/۰۲، ۰/۹۷، ۰/۵۶ و ۰/۸۸ می‌باشد، بدین معنی که میزان درصد اختلاف بین مقادیر پاسخ در این روش‌ها با پاسخ‌های میرایی ۲۰ درصد در هر پنج روش به ترتیب برابر بر با ۱۲/۴، ۲، ۳، ۴۴ و ۱۲ درصد بوده است. به صورت مشابه این مقادیر تحت رکوردهای حوزه دور ۱۲/۴، ۱/۵، ۳/۹، ۴۳ و ۱۱/۶ درصد می‌باشد، که مشاهده می‌شود روش دوم تعیین سختی، انطباق بیشتری با میرایی هدف درصد داشته است. در رابطه با میانگین نرم پاسخ جابجایی نیز می‌توان اظهار کرد، بیشترین میزان مقادیر انطباق تحت هر دو نوع رکورد حوزه دور و نزدیک به ترتیب برابر با ۱/۰۲۴، ۱/۰۱۶ بوده است، که این مقادیر برابر با درصد اختلاف‌های ۲/۴ و ۱/۶ می‌باشند و مربوط به روش دوم از روش‌های تعیین سختی هستند.



شکل ۶- مقادیر نسبت میانگین بیشینه و نرم پاسخ شتاب ساختمان ۳ طبقه در حالت کنترل شده با میراگر به کنترل شده با میرایی ذاتی ۲۰ درصد

میزان انطباق مربوط به روش سوم بوده و مقادیر آن تحت رکوردهای حوزه دور و نزدیک به ترتیب برابر با ۱/۰۴ و ۱ می‌باشد. همچنین از نظر شاخص نرم پاسخ‌ها، این مقادیر تحت هر دو نوع رکوردهای حوزه دور و نزدیک برابر با مقدار ۱ هستند. به عبارت دیگر در ساختمان ۹ طبقه پاسخ مربوط به جابجایی تقریباً انطباق ۱۰۰ درصدی با پاسخ ساختمان با میرایی هدف داشته است.

با توجه به شکل (۶) از نظر شاخص عملکردی شتاب ساختمان نیز می‌توان بیان کرد، مطلوب‌ترین مقادیر میانگین نرم پاسخ‌ها تحت رکوردهای حوزه دور و نزدیک مربوط به روش دوم بوده و به ترتیب برابر با مقادیر ۱ و ۱/۰۱ می‌باشند و مقادیر متناظر با آن‌ها از نظر بیشینه پاسخ برابر با ۰/۹۸ در روش سوم و ۰/۹۶ در روش دوم هستند. در رابطه با نتایج ساختمان ۹ طبقه، از نظر شاخص عملکرد میانگین بیشینه پاسخ جابجایی، بیشترین



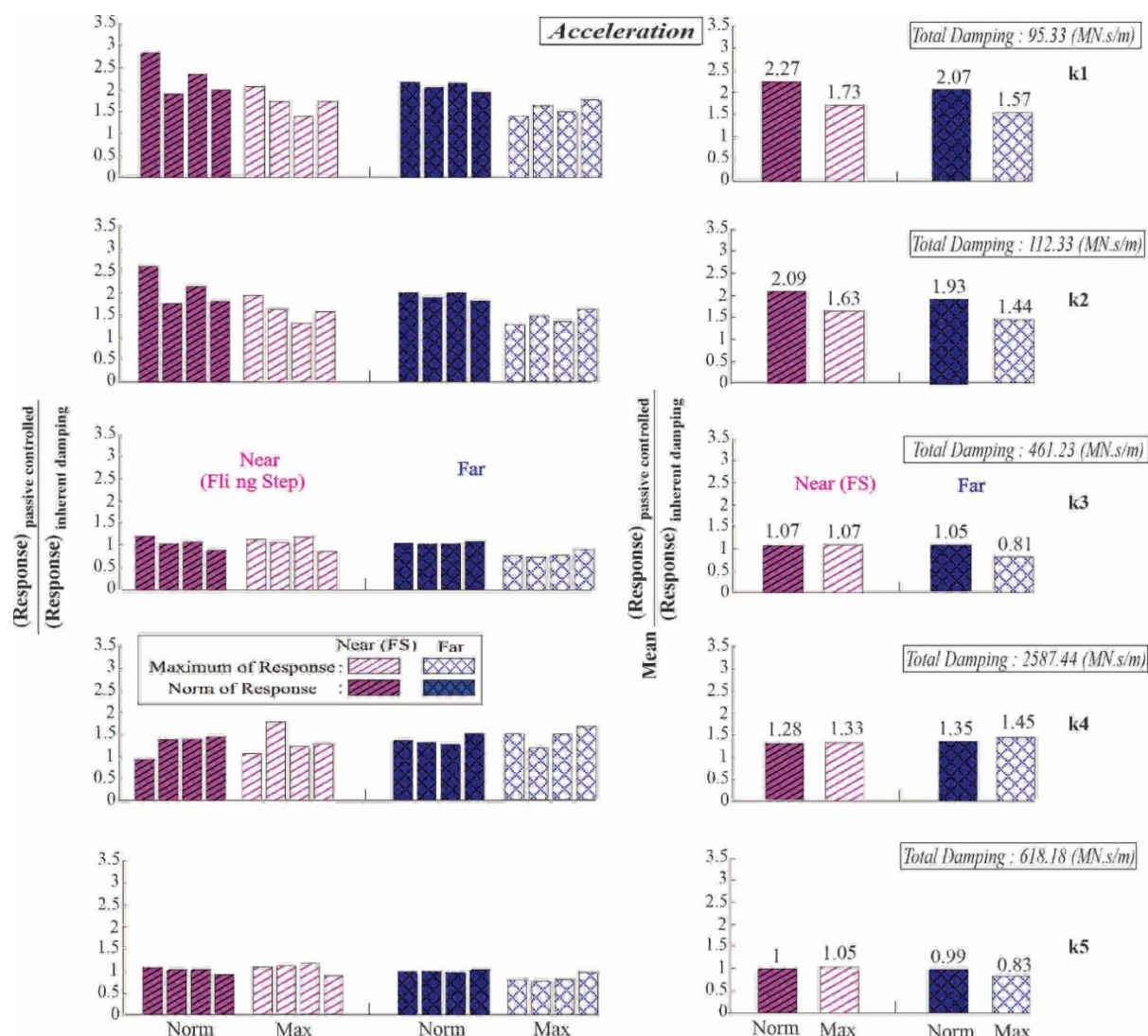
شکل ۷- مقادیر نسبت میانگین بیشینه و نرم پاسخ جابجایی ساختمان ۲۰ طبقه در حالت کنترل شده با میراگر به کنترل شده با میرایی ذاتی ۲۰ درصد

۱/۰۵ در روش اول و نهایتاً ۰/۹۵ در روش چهارم بوده است. در یک ارزیابی کلی از ساختمان ۹ طبقه از نظر دو شاخص عملکردی میانگین بیشینه و نرم پاسخ جابجایی، روش سوم تعیین سختی منجر به انطباق بسیار خوبی با میرایی هدف شده

در رابطه با دو شاخص عملکردی میانگین بیشینه و نرم شتاب ساختمان ۹ طبقه، بیشترین میزان انطباق در رکوردهای حوزه نزدیک به ترتیب برابر با مقادیر ۰/۹۲ در روش چهارم، ۰/۹۵ در روش سوم و در رکوردهای حوزه دور به ترتیب برابر با

(۸)، در ساختمان ۲۰ طبقه نیز با بررسی هر ۴ شاخص عملکردی مذکور می‌توان به انطباق بسیار خوب با میرایی هدف در روش پنجم تخمین سختی تحت رکوردهای حوزه دور و نزدیک اشاره کرد.

است، ولی از نظر دو شاخص عملکرد دیگر (میانگین بیشینه و نرم پاسخ شتاب ساختمان)، نمی‌توان به روش خاصی بسنده کرد، اما می‌توان گفت به صورت کلی روش چهارم عملکرد بهتری نسبت به ۴ روش دیگر دارد. با توجه به شکل‌های (۷) و



شکل ۸- مقادیر نسبت میانگین بیشینه و نرم پاسخ شتاب ساختمان ۲۰ طبقه در حالت کنترل شده با میراگر به کنترل شده با میرایی ذاتی ۲۰ درصد

می‌توان به ترتیب به میزان درصد اختلاف‌های ۵ و ۰ درصد تحت رکوردهای حوزه نزدیک و ۱۷ و ۱ درصد تحت رکوردهای حوزه دور بر اساس روش پنجم اشاره کرد. در شکل‌های (۵) تا (۸) مقادیر میرایی کل بدست آمده تحت هر ۵ روش تعیین سختی نیز ارائه شده است. این مقادیر میرایی در ساختمان ۳ طبقه در هر ۵ روش (روش ۱ تا ۵) به ترتیب برابر با ۱۱/۴۲، ۱۴/۳۱، ۱۶/۰۶، ۴۵/۵۲ و ۱۹/۲۳

در شکل (۷) میزان درصد اختلاف میانگین بیشینه و نرم جابجایی در بین ساختمان کنترل شده با میراگرهای ویسکوز و ساختمان با میرایی هدف ۲۰ درصد تحت رکوردهای حوزه نزدیک در هر دو مورد برابر با مقدار ۳ درصد در روش پنجم و تحت رکوردهای حوزه دور به ترتیب برابر با ۵ درصد در روش پنجم و ۲۱ درصد در روش سوم می‌باشد. به صورت مشابه و در شکل (۸)، در مورد بیشینه و نرم پاسخ شتاب ساختمان نیز

به روش اول و بیشترین میرایی مربوط به روش چهارم بوده است. در ساختمان ۳ طبقه با اینکه روش دوم از تعیین سختی بهترین انطباق را داشته است، ولی در این روش ۲/۸۹ مگانیوتن ثانیه بر مترمقدار میرایی نسبت به روش اول بیشتر است. در صورتی که تنها تامین هدف طراحی در نظر گرفته شده باشد، روش دوم و سپس سوم می‌تواند روش مناسبی باشد.

مگانیوتن ثانیه بر متر است. کمترین مقدار میرایی مربوط به روش اول و بیشترین مقدار آن مربوط به روش چهارم تعیین سختی می‌باشد. همچنین شایان ذکر است که استفاده از دو روش اول و چهارم جهت طراحی، به ترتیب منجر به طرح‌هایی غیر محافظه کارانه و محافظه کارانه می‌شوند. در بین روش‌های مورد بررسی در هر سه ساختمان کمترین مقدار میرایی مربوط

جدول ۳- مقادیر میانگین بیشینه و نرم پاسخ‌ها در حالت کنترل شده با میراگر به کنترل شده با میرایی ذاتی ۲۰ درصد در ساختمان‌های ۳، ۹ و ۲۰ طبقه

| $\zeta = \%$<br>۲۰ | سازه | روش‌ها | CT<br>(MN.s/m) | میانگین جابجایی |       |       |       | میانگین شتاب |      |      |      |
|--------------------|------|--------|----------------|-----------------|-------|-------|-------|--------------|------|------|------|
|                    |      |        |                | بیشینه          |       | نرم   |       | بیشینه       |      | نرم  |      |
|                    |      |        |                | FS              | Far   | FS    | Far   | FS           | Far  | FS   | Far  |
| ۳                  | —    | K1     | ۱۱/۴۲          | ۱/۱۲۴           | ۱/۱۲۴ | ۱/۱۱۶ | ۱/۱۵۲ | ۱/۱۱         | ۱/۰۵ | ۱/۱۱ | ۱/۱۲ |
|                    |      | K2     | ۱۴/۳۱          | ۱/۰۲            | ۱/۰۱۵ | ۱/۰۱۶ | ۱/۰۲۴ | ۱/۰۳         | ۰/۹۶ | ۱/۰۱ | ۱    |
|                    |      | K3     | ۱۶/۰۶          | ۰/۹۷            | ۰/۹۶۱ | ۰/۹۶۷ | ۰/۹۶۳ | ۰/۹۸         | ۰/۹۱ | ۰/۹۷ | ۰/۹۵ |
|                    |      | K4     | ۴۵/۵۲          | ۰/۵۶            | ۰/۵۷  | ۰/۶۱۸ | ۰/۵۴  | ۰/۷۳         | ۰/۷۳ | ۰/۷۱ | ۰/۶۷ |
|                    |      | K5     | ۱۹/۲۳          | ۰/۸۸            | ۰/۸۸۴ | ۰/۸۹  | ۰/۸۷۶ | ۰/۹۱         | ۰/۸۶ | ۰/۹۱ | ۰/۸۸ |
| ۹                  | —    | K1     | ۴۹/۵           | ۱/۴۲            | ۱/۵۲  | ۱/۵۹  | ۱/۵۸  | ۱/۳۴         | ۱/۰۵ | ۱/۴۸ | ۱/۳۶ |
|                    |      | K2     | ۵۴/۸۷          | ۱/۴             | ۱/۵   | ۱/۵۵  | ۱/۵۴  | ۱/۳۴         | ۱/۳۵ | ۱/۴۵ | ۱/۳۵ |
|                    |      | K3     | ۱۴۶/۵۸         | ۱               | ۱/۰۴  | ۱     | ۱     | ۰/۹          | ۰/۸  | ۰/۹۵ | ۰/۸۹ |
|                    |      | K4     | ۵۷۳/۲۷         | ۰/۵۵            | ۰/۶۲  | ۰/۵   | ۰/۵۲  | ۰/۹۲         | ۱/۲  | ۰/۸۱ | ۰/۹۵ |
|                    |      | K5     | ۱۷۸/۳۶         | ۰/۹۱            | ۰/۹۵  | ۰/۹   | ۰/۹۱  | ۰/۸۳         | ۰/۷۹ | ۰/۸۸ | ۰/۹۲ |
| ۲۰                 | —    | K1     | ۹۵/۳۳          | ۱/۵۴            | ۱/۷۴  | ۲/۵۲  | ۲/۴۶  | ۱/۷۳         | ۱/۵۷ | ۲/۲۷ | ۲/۰۷ |
|                    |      | K2     | ۱۱۲/۳۳         | ۱/۵۱            | ۱/۶۸  | ۲/۳۵  | ۲/۳۲  | ۱/۶۳         | ۱/۴۴ | ۲/۰۹ | ۱/۹۳ |
|                    |      | K3     | ۴۶۱/۲۳         | ۱/۱۳            | ۱/۱۳  | ۱/۱۸  | ۱/۲۱  | ۱/۰۷         | ۰/۸۱ | ۱/۰۷ | ۱/۰۵ |
|                    |      | K4     | ۲۵۸۷           | ۰/۷۹            | ۱/۰۷  | ۰/۷۳  | ۰/۷   | ۱/۳۳         | ۱/۴۵ | ۱/۲۸ | ۱/۳۵ |
|                    |      | K5     | ۶۱۸/۱۸         | ۱/۰۳            | ۱/۰۵  | ۱/۰۳  | ۱/۰۴  | ۱/۰۵         | ۰/۸۳ | ۱/۰۰ | ۰/۹۹ |

هزینه مطرح هست، روش اول بهتر بوده است. زمانیکه علاوه بر هزینه، بحث انطباق مناسب با میرایی هدف نیز مد نظر باشد با کمی عدم سختگیری در هزینه، روش سوم به عنوان طرحی محافظه کارانه، بهترین گزینه برای طراحی میراگرهای ویسکوز خواهد بود. بدین ترتیب در ساختمان ۲۰ طبقه نیز می‌توان گفت، بیشترین و کمترین مقادیر میرایی کل بدست آمده به ترتیب مربوط به روش‌های اول و چهارم بوده و برابر با مقادیر ۹۵/۳۳ و ۲۵۸۷/۴۴ مگانیوتن ثانیه بر متر می‌باشند، و به ترتیب دارای محدوده درصد اختلاف‌هایی بین ۵۴ تا ۱۵۲ و ۷ تا ۴۵ هستند. در این ساختمان مقادیر میرایی بدست آمده از دو روش سوم و پنجم نیز به ترتیب برابر با ۴۶۱/۲۳ و ۶۱۸/۱۸ مگانیوتن

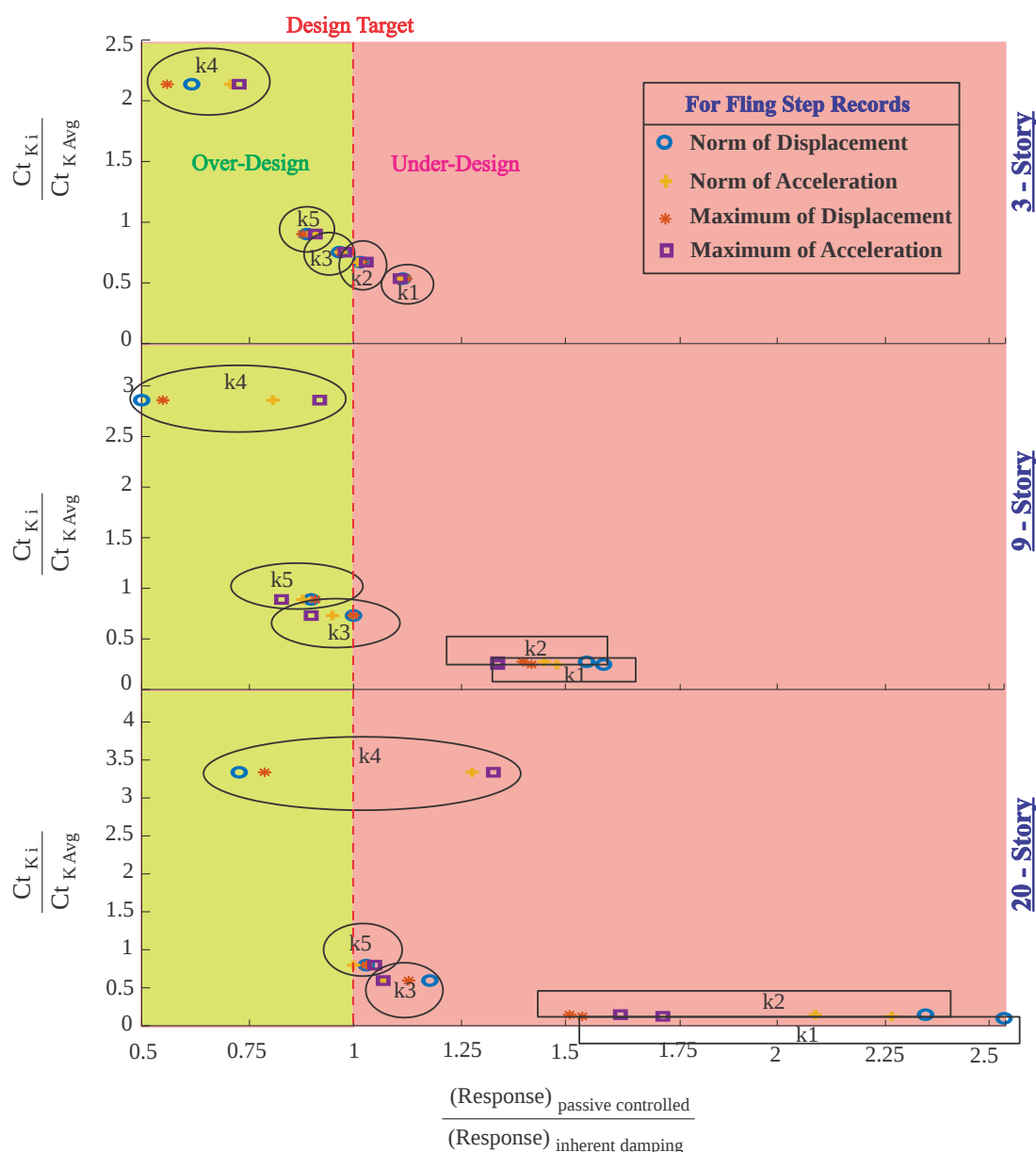
به صورت مشابه در دو ساختمان ۹ و ۲۰ طبقه نیز مقادیر میرایی کل بدست آمده از ۵ روش به ترتیب در بازه بین ۴۹/۵ تا ۵۷۳/۲۷ و ۹۵/۳۳ تا ۲۵۸۷/۴۴ می‌باشند. در ساختمان ۹ طبقه کمترین مقدار میرایی کل بدست آمده از روش اول و برابر با ۴۹/۵ مگانیوتن ثانیه بر متر و میزان درصد اختلاف بین پاسخ‌ها در بازه ۵ تا ۵۹ درصد است و بیشترین مقدار میرایی بدست آمده از روش چهارم و برابر با ۵۷۳/۲۷ مگانیوتن ثانیه بر متر و به ترتیب میزان درصد اختلاف بین ۵ تا ۳۸ درصد بوده است. همچنین مقدار میرایی بدست آمده از روش سوم ۱۴۶/۵۸ مگا نیوتن ثانیه بر متر بوده که دارای درصد اختلاف‌هایی بین ۰ تا ۲۰ درصد بوده است. بنابراین می‌توان اظهار کرد زمانی که بحث



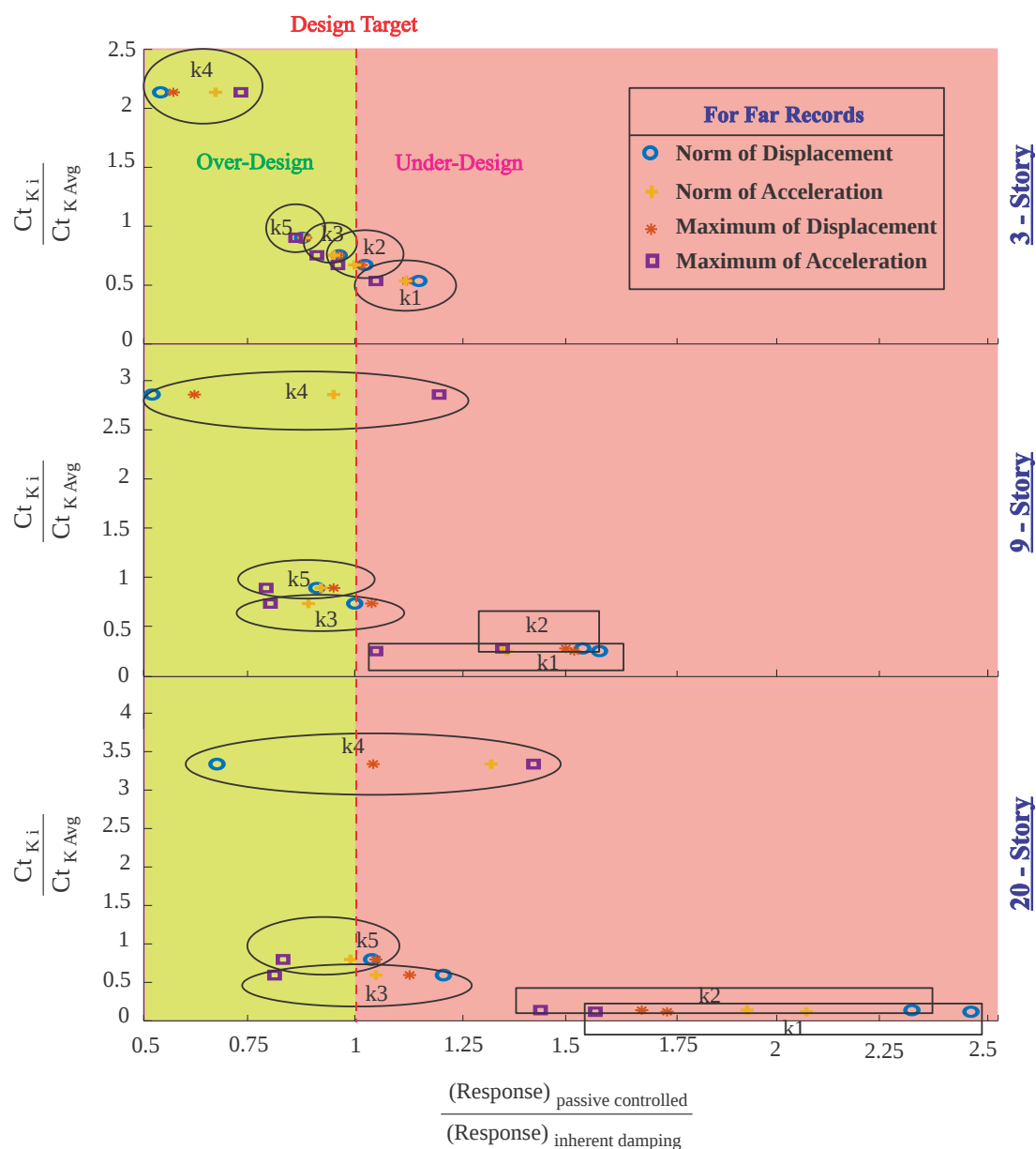
نزدیک بین ۱ تا ۳ درصد و تحت رکوردهای حوزه دور بین ۰ تا ۴ درصد است. به صورت مشابه و در دو ساختمان ۹ و ۲۰ طبقه نیز این محدوده درصد اختلاف بین پاسخ‌ها به ترتیب در روش سوم و پنجم از تعیین سختی تحت رکوردهای حوزه نزدیک (در ساختمان ۹ طبقه) بین ۰ تا ۱۰ و (در ساختمان ۲۰ طبقه) ۰ تا ۵ درصد و تحت رکوردهای حوزه دور بین ۰ تا ۲۰ و ۱ تا ۱۷ درصد می‌باشند. در حالت کلی عملکرد میراگرها در انطباق با هدف طراحی تحت رکوردهای حوزه نزدیک نسبت به رکوردهای حوزه دور بهتر بوده است.

ثانیه بر متر شده است که این دو روش به ترتیب دارای محدوده درصد اختلاف‌هایی بین ۵ تا ۲۱ و ۰ تا ۱۷ درصد می‌باشند، ذکر این نکته حائز اهمیت است که در این ساختمان برای بحث انطباق مناسب، روش پنجم و در صورت اضافه شدن بحث هزینه‌ها روش سوم بهترین گزینه برای طراحی خواهد بود.

در رابطه با بررسی تفاوت رکوردهای حوزه دور و نزدیک با توجه به جدول (۳) می‌توان بیان کرد که در ساختمان ۳ طبقه و در روش دوم (روشی که بهترین انطباق را داده است) محدوده درصد اختلاف بین میانگین پاسخ‌ها تحت رکوردهای حوزه



شکل ۹- نمودار نسبت هزینه با کاهش پاسخ ساختمان‌های ۳، ۹ و ۲۰ طبقه تحت رکوردهای حوزه نزدیک



شکل ۱۰- نمودار نسبت هزینه با کاهش پاسخ ساختمان‌های ۳، ۹ و ۲۰ طبقه تحت رکوردهای حوزه دور

نیز روش پنجم بهترین انطباق را با میرایی هدف داشته است.

در طراحی میراگرهای ویسکوز، دو پارامتر هزینه و انطباق با میرایی هدف هر دو به طور جداگانه فاکتوری مهم محسوب می‌شوند، که بسته به هدف طراحی مورد نظر باید مورد بررسی قرار گیرند. در این تحقیق جهت تصمیم‌گیری آسان برای مهندسین سازه در طراحی این میراگرها، نموداری در شکل‌های (۹) و (۱۰) ارائه شده است، که در آن‌ها محور افقی نسبت میانگین پاسخ‌های سازه تحت میرایی کل بدست آمده از روش‌های سختی متفاوت به میانگین پاسخ‌های سازه تحت

در جدول (۳) مقادیر نسبت میانگین بیشینه و نرم پاسخ‌ها در حالت کنترل شده با میراگر ویسکوز به کنترل شده با میرایی ذاتی ۲۰ درصد برای هر پنج روش در هر ۳ ساختمان تحت رکوردهای حوزه دور و نزدیک مشاهده می‌شود. در مورد ساختمان ۳ طبقه، استفاده از روش دوم تعیین سختی منجر به انطباق بهتری در هر دو پاسخ جابجایی و شتاب نسبت به سایر روش‌ها شده است. در رابطه با ساختمان ۹ طبقه در مورد پاسخ جابجایی، روش سوم انطباق خوبی داشته و در رابطه با پاسخ شتاب، روش چهارم تقریباً (در دو مورد) و سپس روش سوم نسبت به سایر روش‌های بهتر بوده است. در ساختمان ۲۰ طبقه

میرایی هدف می‌باشد و معرف میزان انطباق با هدف طراحی است. محور عمودی این نمودار، نسبت میرایی‌های کل از ۵ روش مختلف سختی به متوسط میرایی‌ها را نشان می‌دهد و معرف میزان هزینه معیار می‌باشد. همچنین در این شکل، پاسخ هر سه ساختمان در قالب هر ۴ شاخص عملکرد ارائه شده است. با توجه به شکل‌های (۹) و (۱۰) که به ترتیب تحت رکوردهای حوزه نزدیک و دور و برای هر سه ساختمان ۳، ۹ و ۲۰ طبقه رسم شده است می‌توان بیان کرد با استفاده از ۵ روش مختلف تعیین سختی، ۵ میرایی کل (۵ هزینه‌ی مختلف) بدست آمده است. در این نمودار بیشترین و کمترین میزان هزینه به ترتیب مربوط به روش چهارم و اول از روش‌های تعیین سختی می‌باشد که بدین ترتیب بیشترین و کمترین مقدار در کاهش پاسخ ساختمان‌ها نیز به ترتیب مربوط به این دو روش است. در هر ۳ نمودار، خط چین قرمز رنگ نشان‌دهنده‌ی مرز انطباق کامل می‌باشد، این نمودارها به دو ناحیه قرمز و سبز کم‌رنگ تقسیم شده‌اند. ناحیه سبز رنگ معرف هزینه‌ی بالا و طرح محافظه کارانه و ناحیه قرمز نمودار معرف هزینه پایین و طرح غیرمحافظه کارانه است. یعنی هر چه از بالا به پایین و به سمت راست نمودار کشیده می‌شود، این روش‌ها منجر به کاهش هزینه و افزایش پاسخ‌های ساختمان‌ها می‌شوند. در این نمودارها همچنین می‌توان به این نکته پی برد که با افزایش تعداد طبقات ساختمان‌ها، پراکندگی پاسخ‌ها بیشتر شده، و به عبارت دیگر عرض بیضی‌ها افزایش یافته است.

در نمودار مربوط به ساختمان ۳ طبقه، روش K1 کمترین هزینه را داشته است ولی این روش غیر محافظه کارانه می‌باشد، اما با قبول ۲۵ درصد افزایش در هزینه می‌توان به بهترین انطباق با میرایی هدف رسید که مربوط به روش K2 است. در روش K3 نیز پاسخ‌ها به میزان ۱۰ درصد نسبت به پاسخ‌های با میرایی هدف کمتر شده‌اند که عملکردی محافظه کارانه در این روش مشاهده می‌شود به نحویکه با افزایش ۴۰ درصدی در هزینه می‌توان به عملکردی محافظه کارانه رسید. به صورت کلی روش K3 بهترین انتخاب بوده است. دو روش K4 و K5 نیز به همین ترتیب با افزایش میزان هزینه، کاهش پاسخ قابل توجهی در پاسخ‌ها را منجر شده است. به طور مشابه در دو ساختمان ۹ و ۲۰ طبقه نیز به نتایج مشابهی می‌توان رسید، با این تفاوت که در ۹ طبقه بهترین انطباق مربوط به روش K3 و در ۲۰ طبقه مربوط به روش K5 است. با کمی عدم سختگیری در معیار هزینه، روش K3 عملکرد محافظه کارانه‌تری را بدست می‌دهد. بنابراین در حالت کلی بر اساس معیار طراحی مورد نظر و تعداد طبقات

سازه در مواردی از قبیل محافظه کارانه بودن، بهترین انطباق با هدف طراحی، کم هزینه‌ترین طرح و.... می‌توان بر اساس نتایج بدست آمده، روش سختی مناسب در طراحی میراگر ویسکوز را انتخاب نمود.

## ۵- نتیجه گیری

■ در ساختمان ۳ طبقه بهترین میزان درصد انطباق (بین پاسخ‌های ساختمان کنترل شده با میراگرهای ویسکوز به کنترل شده با میرایی ذاتی ۲۰ درصد) تقریباً در بازه‌ی ۱۰۰ تا ۹۶ درصد بوده است، که مربوط به روش دوم از روش‌های تعیین سختی طبقات است. به صورت مشابه و در ساختمان‌های ۹ و ۲۰ طبقه بهترین بازه‌ی انطباق بین پاسخ‌ها به ترتیب در محدوده‌ی ۱۰۰ تا ۸۰ درصد (۹ طبقه) و ۱۰۰ تا ۸۷ درصد (۲۰ طبقه) می‌باشد که این مقادیر به ترتیب از روش‌های سوم و پنجم هستند.

■ در حالت کلی می‌توان اظهار کرد زمانی که در طراحی میراگرهای ویسکوز بحث انطباق با میرایی هدف مد نظر باشد، در سه نوع ساختمان ۳، ۹ و ۲۰ طبقه به ترتیب روش‌های دوم، سوم و پنجم از روش‌های تعیین سختی طبقات موثر خواهد بود.

■ به دلیلی که در طراحی بحث هزینه‌ها معیار مهمی می‌باشد، علاوه بر بررسی میزان انطباق پاسخ‌ها، باید به مقادیر میرایی کلی که از ۵ روش تعیین سختی به دست می‌آید نیز توجه شود. به این صورت در ساختمان‌های ۳، ۹ و ۲۰ طبقه مقادیر میرایی کل توزیع یافته در ارتفاع ساختمان در حالت بهترین میزان انطباق، به ترتیب از روش‌های دوم، سوم و پنجم برابر با مقادیر ۱۴/۳۱، ۱۴۳/۵۸ و ۶۱۸/۱۸ مگا نیوتن ثانیه بر متر هستند. همانطور که ذکر شد در ساختمان‌های ۳، ۹ و ۲۰ طبقه به ترتیب بهترین میزان درصد انطباق بین محدوده‌های ۱۰۰ تا ۹۶، ۱۰۰ تا ۸۰ و ۱۰۰ تا ۸۷ درصد و مربوط به روش‌های دوم، سوم و پنجم بوده است، ولی به‌منظور کاهش هزینه (مقدار میرایی کل) در هر سه نوع ساختمان با در نظر گرفتن مقدار جزئی عدم سخت‌گیری در انطباق، روش سوم تعیین سختی روشی با نتایج محافظه کارانه و بهترین گزینه برای طراحی میراگرهای ویسکوز خواهد بود. به طور مثال در ساختمان ۲۰ طبقه با قبول تقریباً ۸۵ درصد میزان انطباق با میرایی هدف، با روش سوم ۱۵۶/۹۵ مگا نیوتن ثانیه بر متر، نسبت به روش پنجم به

- [1] Wu, X., Guo, W., Hu, P., Bu, D., Xie, X. and Hu, Y., (2020), "Seismic performance evaluation of building-damper system under near-fault earthquake", *Shock and Vibration*, Vol. 2020.
- [2] Parulekar, Y.M. and Reddy, G.R. (2009), "Passive response control systems for seismic response reduction: A state-of-the-art review", *International Journal of Structural Stability and Dynamics*, Vol. 9, pp. 151-177.
- [3] De Domenico, D., Ricciardi, G. and Takewaki, I. (2019), "Design strategies of viscous dampers for seismic protection of building structures: A review", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 118, pp.144-165.
- [4] McNamara, R.J., Taylor, D.P. and Duflo, P. (2005), "Fluid viscous dampers to reduce wind-induced vibrations in tall buildings", *Tech. Rep., Taylor Devices Europe, Brussels*.
- [5] Zhang, Z., Li, A., He, J. and Wang, J. (2009), "Wind-induced vibration control of Hefei TV tower with fluid viscous damper", *Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China*, Vol. 3, pp.249-254.
- [6] Hwang, J.-S., Lin, W.-C. and Wu, N.-J. (2013), "Comparison of distribution methods for viscous damping coefficients to buildings", *Structure and Infrastructure Engineering*, Vol. 9, pp. 28-41.
- [7] Xing, L., Zhou, Y. and Aguaguña, M. (2019), "Optimal vertical configuration of combined energy dissipation outriggers", *Structural Design of Tall and Special Buildings*, Vol. 28, pp. e1579.
- [8] Roy, T. and Matsagar, V. (2020), "Probabilistic assessment of steel buildings installed with passive control devices under multi-hazard scenario of earthquake and wind", *Structural Safety*, Vol. 85, pp. 101955.
- [9] بیرقی، ح. (۱۳۹۷)، "پاسخ لرزه‌ای سازه‌های فولادی دارای مهاربند کمناش تاب با و بدون میراگر مایع لزج تحت زلزله حوزه نزدیک و دور"، مجله سازه و فولاد، شماره بیست و پنجم بهار، صص. ۵۷-۶۷.
- [10] Singh, T., Kalra, M. and Misra, A.K. (2020), "Simplified probabilistic seismic assessment of dampers in tall and braced structures in buildings", *Journal of Engineering, Design and Technology*, Vol. 18, pp. 1037-1052.
- [11] Huergo, I.F., Hernández-Barrios, H. and Patlán, C.M. (2020), "A continuous-discrete approach for pre-design of flexible-base tall buildings with fluid viscous dampers," *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol. 131, pp. 106042.
- [12] Basu, B., Bursi, O.S., Casciati, F., Casciati, S., Del Grosso, A.E., Domaneschi, M., Faravelli, L., Holnicki-Szulc, J., Irschik, H., Krommer, M., Lepidi, M., Martelli, A., Ozturk, B., Pozo, F., Pujol, G., Rakicevic, Z. and Rodellar, J. (2014), "A European association for the control of structures joint perspective. Recent studies in civil structural control across Europe," *Structural Control and Health Monitoring*, Vol. 21, pp. 1414-1436.
- [13] Benioff, H. (1955), "Mechanism and strain characteristics of the White Wolf fault as indicated by the aftershock sequence", *Bull., Calif. Div. Mines*, Vol. 171, pp.199-202.
- [14] Hudson, D.E. and Housner, G.W. (1958), "An analysis of strong-motion accelerometer data from the San Francisco earthquake of March 22, 1957", *Bulletin of the seismological society of America*, Vol. 48, pp.253-268.
- [15] Bolt, B.A. (2004), "Seismic input motions for nonlinear structural analysis", *ISET journal of earthquake technology*, Vol. 41, pp. 223-232.

■ در رابطه با بررسی تفاوت رکوردهای حوزه دور و نزدیک چنین مشهود است که در ساختمان ۳ طبقه و در روش دوم (روشی که بهترین انطباق را داده است) محدوده درصد اختلاف بین میانگین پاسخها تحت رکوردهای حوزه نزدیک بین ۱ تا ۳ درصد و تحت رکوردهای حوزه دور بین ۰ تا ۴ درصد است. به صورت مشابه و در دو ساختمان ۹ و ۲۰ طبقه نیز این محدوده درصد اختلاف بین پاسخها به ترتیب در روش سوم و پنجم از تعیین سختی تحت رکوردهای حوزه نزدیک (در ساختمان ۹ طبقه) بین ۰ تا ۱۰ و (در ساختمان ۲۰ طبقه) ۰ تا ۵ درصد و تحت رکوردهای حوزه دور بین ۰ تا ۲۰ و ۱ تا ۴۳ درصد می‌باشند. در حالت کلی عملکرد میراگرها در انطباق با هدف طراحی تحت رکوردهای حوزه نزدیک نسبت به رکوردهای حوزه دور بهتر بوده است.

## ۶- محدودیت‌های مقاله و پیشنهادات

در این بخش محدودیت‌های مطالعه حاضر مورد توجه قرار گرفته است. این محدودیت‌ها همچنین پیشنهاداتی برای مطالعات آتی خواهند بود که می‌توانند در مطالعات آتی مورد توجه قرار گیرند. در این مقاله عملکرد میراگرهای ویسکوز تحت رکوردهای حوزه نزدیکی که تنها دارای اثر پرتابی هستند مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر اثر پرتابی رکوردهای نزدیک گسل می‌توانند دارای جهت‌پذیری نیز باشند که لازم است اثر این مشخصه نیز بر عملکرد ساختمان‌های کنترل شده با میراگر ویسکوز مورد بررسی قرار گیرد. در این مطالعه از تعداد محدودی رکورد برای ارزیابی عملکرد میراگر ویسکوز استفاده شده است و لازم است در تحقیقات آتی تعداد رکوردها افزایش یابد تا بتوان به صورت کامل اثر محتوای فرکانسی و عدم قطعیت رکورد به رکورد را در نتایج در نظر گرفت.

همچنین مدل‌سازی سازه به صورت سه‌بعدی و با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی سازه و میراگر و اعمال رکوردهای زلزله در دو جهت افقی و در راستای قائم به صورت همزمان از جمله پیشنهادات است که در مطالعات آتی می‌تواند مورد توجه قرار گیرد. در انتها از آنجا که در این مقاله تنها به توزیع بهینه میرایی در ارتفاع توجه شده است، لازم است برای تکمیل این مطالعه چینش و پیکره‌بندی بهینه میراگرهای ویسکوز در دهانه‌های مختلف و ارتفاع سازه نیز مورد توجه قرار گیرد.



- [16] Ohtori, Y., Christenson, R., Spencer Jr, B. and Dyke, S. (2004), "Benchmark control problems for seismically excited nonlinear buildings", *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 130, pp. 366-385.
- [17] Cimellaro, G.P. and Retamales, R. (2007), "Optimal softening and damping design for buildings", *Structural Control and Health Monitoring: The Official Journal of the International Association for Structural Control and Monitoring and of the European Association for the Control of Structures*, Vol. 14, pp. 831-857.
- [18] Landi, L., Conti, F. and Diotallevi, P.P. (2015), "Effectiveness of different distributions of viscous damping coefficients for the seismic retrofit of regular and irregular RC frames", *Engineering Structures*, Vol. 100, pp. 79-93.
- [19] Tena-Colunga, A. (2013), "Review of the soft first story irregularity condition of buildings for seismic design," *The Open Civil Engineering Journal*, Vol. 4, pp.1-15.

[۲۰] نوری فرد، آ. و تابش پور، م.ر. (۱۳۹۵)، "مروری تحلیلی و مقایسه‌ای بر روش‌های تعیین سختی طبقات"، آنالیز سازه-زلزله، شماره اول بهار، ص. ۳۲-۳۳.

## پی نوشت

- <sup>1</sup> ASCE: American Society of Civil Engineering
- <sup>2</sup> Viscous damper
- <sup>3</sup> Viscoelastic damper
- <sup>4</sup> Buckling-restrained brace damper
- <sup>5</sup> Friction damper
- <sup>6</sup> Self-centering damper
- <sup>7</sup> Hefei
- <sup>8</sup> Outriggers with buckling-restrained brace
- <sup>9</sup> Outriggers with viscous damper
- <sup>10</sup> Parkfield, California
- <sup>11</sup> Pacoima, San Fernando
- <sup>12</sup> Landers
- <sup>13</sup> Northridge
- <sup>14</sup> Kobe
- <sup>15</sup> Chi-Chi
- <sup>16</sup> IDPD: interstorey drift proportional distribution determined on the basis of the first mode deformations
- <sup>17</sup> Hachinohe
- <sup>18</sup> Cimellaro
- <sup>19</sup> Retamales
- <sup>20</sup> Suboptimal