

ارزیابی دقت رابطه پیشنهادی FEMA-356 برای محاسبه نسبت میرائی مؤثر میراگرهای ویسکوز و ویسکوالاستیک

محمد ابراهیم کرباسچی*، سید احمد انوار
دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳ اردیبهشت ۱۳۹۵
بازنگری: ۲۸ بهمن ۱۳۹۵
پذیرش: ۱۸ اسفند ۱۳۹۵
ارائه آنلاین: ۲۷ اردیبهشت ۱۳۹۶

کلمات کلیدی:

میراگر ویسکوز
میراگر ویسکوالاستیک
FEMA-356
ارتعاش پایه هارمونیک
نسبت میرایی معادل
بی نظمی جرمی در ارتفاع

چکیده: به منظور بررسی دقت رابطه پیشنهادی FEMA-356 در مقایسه با رابطه تحلیلی محاسبه نسبت میرایی معادل سازه ها با میراگرهای ویسکوز و ویسکوالاستیک، معادله دینامیکی حرکت تحت ارتعاش پایه هارمونیک برای ساختمان های برشی با تعداد طبقات دو تا دوازده برای حالات منظم و نامنظم توزیع جرم در ارتفاع، با استفاده از روش های عددی حل شده است. افزون بر آن، حالت هائی نیز در نظر گرفته شده که میراگرها در طبقات محدودی از ساختمان قرار داده شده و ارزیابی دقت رابطه FEMA-356 در این حالات صورت گرفته است. نتایج این تحقیق نشان داده که خطای رابطه FEMA-356 در مقایسه با روش تحلیلی در ساختمانهای منظم برای میراگرهای ویسکوز در محدوده یک تا سه درصد و برای میراگرهای ویسکوالاستیک در محدوده یک تا ۱۷ درصد، با فرض نسبت سختی میراگر به سختی جانبی طبقه برابر ده درصد، می باشد که با کاهش این نسبت سختی به پنج درصد، خطای میراگرهای ویسکوالاستیک در کمترین حالت، به حدود دو درصد کاهش می یابد. همچنین نشان داده شده که بی نظمی جرمی سازه در ارتفاع برای میراگرهای ویسکوز تاثیر قابل ملاحظه ای بر دقت رابطه ندارد در حالی که برای میراگرهای ویسکوالاستیک موجب افزایش قابل ملاحظه خطا می گردد.

۱- مقدمه و پیشینه تحقیق

به طور معمول میراگرها به صورت جذب کننده انرژی در محل اتصال سازه به فونداسیون یا اعضای با عملکرد محوری در سازه های ساختمانی مورد استفاده قرار می گیرند. در مراجع، [۳-۱] راه حل محاسبه مقدار مورد نیاز میرائی و نحوه تاثیر میراگرها بر پاسخ سازه با روشی ساده ارائه شده است. سادک و همکارانش [۴] اصلاحات مورد نیاز در روند طراحی ساختمان های با میراگر مطابق با FEMA-273 [۵] را مورد بررسی قرار داده اند. در این تحقیق تلاش گردیده تا ضرابی برای اصلاح طیف پاسخ طراحی پس از اضافه نمودن میراگرها ارائه شوند. اگرچه در این تحقیق چرخه های نیرو-جابجایی برای مدلی با یک درجه آزادی با استفاده از روش حل عددی گام به گام تعیین شده اند ولی با توجه به هدف تحقیق، تنها حداکثر نیرو و جابجایی ایجاد شده در میراگرها در بارگذاری تناوبی سینوسی مورد بررسی قرار گرفته و انرژی جذب شده توسط میراگرها مورد توجه نبوده است. موسوی و قربانی تنها [۶] با استفاده از معادلات حرکت در حوزه فرکانس، محل بهینه

قرارگیری میراگرها را بر اساس کمینه نمودن جابجایی نسبی طبقات برای ساختمان های چند طبقه مورد بررسی قرار داده اند. آن ها نشان داده اند که محل بهینه مهاربندهای قطری بر اساس میرایی معادل مورد انتظار، تابعی از ضریب میرایی میراگرها، محتوای فرکانسی زلزله و توزیع جرم و سختی در سازه اصلی می باشد. طبقه بندی های بسیار متنوعی از میراگرهای ساختمانی توسط محققین مختلف انجام شده که در ادامه به برخی از آنها اشاره می شود. میراگر فلزی جاری شونده^۱ یکی از انواع میراگرهای ساختمانی است. در این سیستم به کمک صفحات قائم قرار داده شده در محل اتصال با تیر بالا و رفتار غیر خطی این صفحات، جذب انرژی و میرایی ارتعاشات تحت اثر نیروهای زلزله انجام می شود. میراگر جرم فعال^۲ که توسط شلر و استاروسک^۳ [۷] ارائه شده، برای کنترل سازه های بلند مرتبه طراحی شده اند. با این وجود کمتر در عمل مورد استفاده قرار گرفته اند. یکی از دلایل آن، نیاز به روشن و آماده به کار بودن دائمی موتور کنترل کننده چرخش جرم ها می باشد.

1 Added Damping And Stiffness (ADAS)

2 Active Mass Damper

3 Scheller and Starossek

*نویسنده عهده دار مکاتبات: ebrahim_karbaschi@shirazu.ac.ir

تحقیقات انجام شده توسط گوئل [۱۵] نشان داده میراگرهای مایعی لزج باعث بهبود رفتار سیستم‌های نامتقارن در پلان در حالت الاستیک و غیر الاستیک می‌شوند. در پژوهش‌های انجام شده نشان داده شده که استفاده از میراگرهای غیر خطی با ضریب توان کوچکتر از یک باعث کاهش قابل ملاحظه نیرو در میراگرها در سرعت‌های بالا می‌گردد. اثرات قرار دادن میراگرهای غیرخطی در مقایسه با میراگرهای ویسکو-الاستیک (ترکیب یک فنر و میراگر) در سیستم‌های ساختمانی نامتقارن در پلان نیز مورد بررسی قرار گرفته است. گوئل اثر ضریب توان میراگرهای غیر خطی برای سیستم‌های نامتقارن در پلان را نیز مورد بررسی قرار داده است.

در مراجع [۴ و ۶] با وجود آنکه بیضی‌های چرخه‌ای نیرو-جابجایی پس از نصب میراگرها ترسیم شده‌اند، محاسبه نسبت میرایی معادل بر اساس مقادیر حداکثر جابجایی و نیروی حاصل در میراگر بدست آمده و مقادیر محاسبه شده با مقدار بدست آمده از آئین نامه FEMA-356 [۱۶] مقایسه نشده است. در حالی که در تحقیق حاضر، محاسبه نسبت میرایی معادل بر اساس سطح محصور در بیضی‌های نیرو-جابجایی میراگرها انجام شده و مقادیر محاسبه شده بر این اساس با مقادیر ارائه شده در آئین نامه FEMA-356 مقایسه شده است.

از آنجا که در رابطه ارائه شده در آئین نامه FEMA-356، تفاوتی بین میراگرهای ویسکوز و ویسکو-الاستیک و منظم یا منظم بودن ساختمان در پلان و ارتفاع قائل نشده است، در این تحقیق دقت رابطه ارائه شده در آئین نامه برای میراگرهای ویسکوز و ویسکو-الاستیک و ساختمان‌های منظم و دارای بی‌نظمی جرم در ارتفاع مورد بررسی قرار گرفته است.

ساختمان‌های مورد بررسی در این تحقیق از نوع برشی فرض شده و از تغییر فرم‌های تیرهای افقی و دیافراگم کف صرفنظر شده است. ساختمان‌های فولادی با مهاربندهای ضربردی فرض شده و از سختی خمشی ستون‌ها در باربری جانبی صرفنظر گردیده است. به منظور تعیین پاسخ دینامیکی سازه و محاسبه انرژی جذب شده، از روش حل عددی گام به گام (روش شتاب متوسط) استفاده شده و به منظور بررسی اثر تعداد طبقات بر نتایج، تعداد طبقات ساختمان از دو تا دوازده طبقه در نظر گرفته شده است.

۲- کلیات و روش انجام تحقیق

پیش از پرداختن به نحوه محاسبه میرایی موثر میراگرها، به طور مختصر در مورد رابطه FEMA-356، کاربرد این رابطه در تحلیل پاسخ ساختمان‌ها به نیروی جانبی زلزله و روش تحلیلی محاسبه نسبت میرایی موثر توضیح داده می‌شود.

۲-۱- رابطه پیشنهادی FEMA-356

FEMA-356 به منظور محاسبه نسبت میرایی دو حالت استاتیکی و دینامیکی را معرفی نموده است. موضوع این تحقیق بررسی حالت استاتیکی رابطه می‌باشد که در ادامه توضیح داده خواهد شد. در حالت استاتیکی فرض

رفتار میراگرهای جرمی تنظیم شده قرار گرفته در بام توسط یحیی آبادی و زهرائی [۸] با استفاده از تحلیل‌های غیر ارتجاعی مورد بررسی قرار گرفته است. محبی و همکارانش [۹] رفتار میراگرهای جرمی نیمه‌فعال را با استفاده از آنالیزهای غیر خطی مورد بررسی قرار داده‌اند. کنگ و تاگواوا [۱۰] رفتار لرزه‌ای میراگرهای بالا و پائین رونده^۲ را به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار داده‌اند. این میراگرها ترکیبی از یک قسمت بالا و پائین رونده، میراگرهای ویسکوز سیال و اعضای قطری مهاربندی می‌باشد. آنالیزها و آزمایش‌های انجام شده نشان دهنده اثر قابل توجه این نوع میراگرها در بهبود پاسخ سازه می‌باشد.

زهرائی و موسوی [۱۱] انواع مختلف میراگرهای غیرفعال را مورد بررسی و مقایسه فنی قرار داده‌اند و نتیجه گرفته‌اند که میراگر ستون گاز-سیال تنظیم شده^۳ یکی از بهترین گزینه‌ها به منظور بهبود رفتار سازه‌های موجود در کشور ایران، می‌باشد و در ادامه روشی ساده به منظور تعیین نسبت میرایی معادل این نوع میراگرها ارائه نموده‌اند.

در تحقیقی که توسط کومار^۴ [۱۲] ارائه شده سیستم‌های با میرایی غیر فعال^۵ مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق اشاره شده که این میراگرها ممکن است به صورت سیستم‌های مهاربندی مانند مهاربند قطری یا هشتی یا به صورت دیوارهای پرکننده مورد استفاده قرار بگیرند. آیکن^۶ و همکارانش [۱۳] نیز به طور آزمایشگاهی رفتار میراگرهای غیرفعال را مورد بررسی قرار داده‌اند.

نوع دیگر میراگرهای ساختمانی، میراگرهای وابسته به سرعت^۷ می‌باشند که به طور گسترده‌ای در سازه‌های ساختمانی مورد استفاده می‌باشند و نوع مایع ویسکوز^۸ و جامد ویسکو-الاستیک^۹ در این تحقیق مورد توجه قرار گرفته‌اند [۱۴]. در نوع ویسکوز جابجایی نسبی دو سر میراگر باعث بوجود آمدن نیروی محوری در آن نمی‌گردد در حالی که در میراگرهای ویسکو-الاستیک این جابجایی موجب ایجاد نیروهای محوری افزون بر نیروی محوری ناشی از سرعت نسبی و هم جهت با آن می‌گردد.

رفتار کلی این میراگرها به صورت ضربی متناسب با سرعت دور و یا نزدیک شدن دو گره انتهایی آن‌ها می‌باشد که بر این اساس به دو نوع خطی و غیر خطی تقسیم بندی می‌شوند. رابطه معمول در این میراگرها در حالت خطی عبارت است از $F=CX$ که در این رابطه F ، نیروی محوری، C ، ضریب میرایی میراگر و X ، سرعت نسبی دو سر میراگر می‌باشند. در حالت غیرخطی توان سرعت نسبی عددی غیر از یک می‌باشد.

1 Kang and Tagawa

2 Seesaw

3 Tuned Liquid column-Gas Dampers (TLCGD)

4 Kumar

5 Passive Energy Dissipation

6 Aiken

7 Velocity dependent

8 Fluid viscous

9 Solid visco-elastic

مطابق رابطه ۱، با محاسبه سطح محصور در بیضی‌های چرخه‌ای و تعیین حداکثر جابجایی نسبی دو سر میراگر می‌توان نسبت میرایی معادل را محاسبه نمود که این موضوع با جزئیات بیشتری در قسمت ۳-۲ توضیح داده شده است.

۲-۳- روش انجام تحقیق

از آنجا که یکی از فرضیات رابطه FEMA-356 حاکم بودن مود اول بر پاسخ لرزه‌ای می‌باشد، به منظور بررسی اثر تغییر زمان تناوب و شکل مود اول ارتعاشی در ساختمان‌های نامنظم در مقایسه با حالت منظم، علاوه بر ساختمان‌های منظم دو نوع حالت نامنظم توزیع جرم در ارتفاع ساختمان نیز در نظر گرفته شده است. به منظور بررسی اثر افزایش تعداد طبقات بر پاسخ‌ها، ساختمان‌های دو، چهار، شش، هشت، ده و دوازده طبقه در نظر گرفته شده‌اند. فرض گردیده ساختمان‌ها از نوع برشی، با جرم متمرکز در تراز طبقات و از نوع مهاربندی فولادی باشند. در محاسبه سختی جانبی فرض گردیده که مهاربندها و میراگرها (حالت ویسکوالاستیک) تامین کننده این سختی باشند. فرض گردیده ارتفاع هر طبقه ۳ متر و سقف از نوع عرشه فولادی با بار مرده کل (شامل سازه سقف و کف سازی) ۲۵۰ کیلوگرم بر متر مربع و بار زنده ۲۰۰ کیلوگرم بر مترمربع باشد. با فرض ساختمان از نوع مسکونی و مشارکت بیست درصد بار زنده در بار جانبی زلزله مطابق مرجع [۱۹] و فرض ابعاد هر سقف به صورت مربعی به ضلع ۶ متر (شامل دو دهانه ۳ متری)، مقدار جرم هر طبقه ۱۰ تن در نظر گرفته شده است. سختی مهاربند و جرم متمرکز در تمام طبقات یکسان فرض گردیده و سختی طبقه به گونه‌ای انتخاب شده که برای ساختمان‌های دو تا دوازده طبقه، زمان تناوب اصلی ساختمان نزدیک به مقدار محاسبه شده از رابطه تجربی ارائه شده در مرجع [۱۹] باشد. بر این اساس سختی محوری مهاربند طبقات ۲۵۰۰۰ کیلونیوتن بر متر در نظر گرفته شده است (سختی فرض شده برای مهاربند، مجموع سختی ناشی از مهاربندهای هر طبقه می‌باشد). همچنین برای انتخاب ضریب میرایی میراگرها با توجه به توصیه در مراجع [۱۱] و [۲۰] مبنی بر مناسب بودن نسبت میرایی معادل ناشی از نصب میراگرها در حدود ده درصد و بررسی نتایج تحلیل ساختمان‌های مورد بررسی در این تحقیق، ضریب میرایی ۴۰۰ کیلونیوتن-ثانیه بر متر در نظر گرفته شده است. با انتخاب این نسبت میرایی نسبت میرایی ساختمان‌های دو تا دوازده طبقه مورد بررسی به طور میانگین حدود ده درصد می‌باشد. در حالتی که میراگرهای ویسکوالاستیک در طبقات قرار داده شده‌اند فرض گردیده که ده درصد سختی طبقه توسط میراگر تامین شود. به عبارت دیگر، سختی میراگر ۲۵۰۰ کیلونیوتن بر متر و سختی مهاربند طبقه ۲۲۵۰ کیلونیوتن بر متر در نظر گرفته شده است. بارگذاری سازه، بارافقی یکسان در تمام طبقات به صورت بارگذاری سینوسی در نظر گرفته شده است. در ادامه روش معادل‌سازی یک ساختمان برشی چند طبقه با میراگرها با سیستم چند درجه آزادی جرم-فنر-میراگر که در حل عددی معادله حرکت دینامیکی در این

بر این است که نیروی جانبی زلزله به صورت استاتیکی معادل بر سازه وارد شود. این نوع بارگذاری در روش بار-افزون^۱ تحلیل سازه‌ها به کار می‌رود. در تحلیل بار-افزون نیاز به تعیین جابجایی هدف^۲ در بام ساختمان می‌باشد که مطابق روش ارائه شده در مرجع [۱۶] این جابجایی هدف از برخورد منحنی پوش پاسخ با طیف طرح بدست می‌آید. در تعیین طیف طرح پاسخ یکی از موارد مهم، اعمال نسبت میرایی ساختمان می‌باشد که با قرار دادن میراگرها این نسبت میرایی تغییر می‌کند.

رابطه پیشنهادی جهت محاسبه میرایی ناشی از میرایی ذاتی و میراگرها در این حالت مطابق رابطه ۱ می‌باشد [۱۴، ۱۷، ۱۸]:

$$\xi_d = \xi_0 + W_j / (4\pi W_k) \quad (1)$$

ξ_0 درصد میرایی ذاتی سیستم و W_j مجموع انرژی تلف شده توسط میراگرها نصب شده در طبقات در یک دوره تناوب می‌باشد که به صورت $\sum_{i=1}^n W_i$ نشان داده میشود. در این رابطه n تعداد طبقات و W_k انرژی کرنشی جذب شده توسط سیستم در اثر جابجایی‌ها و برابر با $1/2 \sum_{i=1}^n F_i \Delta_i$ می‌باشد که F_i نیروی برشی طبقه و Δ_i جابجایی نسبی طبقه i ام در یک دوره تناوب ارتعاش می‌باشد. میرایی ذاتی مقداری ثابت و معمولاً اندک می‌باشد و در این تحقیق از آن صرف‌نظر شده و فرض شده تنها میرایی موثر مربوط به میراگرها باشد. با فرض بر اینکه مود اول ارتعاش بر پاسخ ساختمان حاکم باشد، روابط ۲ و ۳ از FEMA-356 ارائه شده اند.

$$W_j = (2\pi^2) / T \sum_{i=1}^n C_i \cos^2 \theta_i \phi_{ii}^2 \quad (2)$$

$$W_k = (2\pi^2) / T^2 \sum_{i=1}^n m_i \phi_i^2 \quad (3)$$

با جایگذاری روابط ۲ و ۳ در رابطه ۱، رابطه پیشنهادی محاسبه نسبت میرایی معادل به صورت رابطه ۴، رابطه FEMA-356، به دست می‌آید.

$$\xi_d = (T \sum_{i=1}^n C_i \cos^2 \theta_i \phi_{ii}^2) / (2\pi \sum_{i=1}^n m_i \phi_i^2) \quad (4)$$

در این رابطه ϕ_i جابجایی طبقه i ام در مود اول ساختمان، ϕ_{ii} جابجایی نسبی میراگر j ام در مود اول، T زمان تناوب مود اول پس از نصب میراگرها، m_i و C_i جرم و ضریب میرایی میراگرها در طبقه i ام می‌باشند. همچنین θ_i زاویه محور میراگر با افق می‌باشد.

۲-۲- محاسبه تحلیلی نسبت میرایی معادل

به طور کلی منحنی چرخه‌ای پاسخ جابجایی در مقابل نیروی محوری برای میراگرهای ویسکوز، بیضی‌های خوابیده و برای میراگرهای ویسکوالاستیک بصورت بیضی‌های مورب خواهند بود که شیب انحراف قطر اصلی آن‌ها نسبت به محور افقی، برابر سختی محوری میراگر می‌باشد.

- 1 Push-Over
- 2 Target Displacement

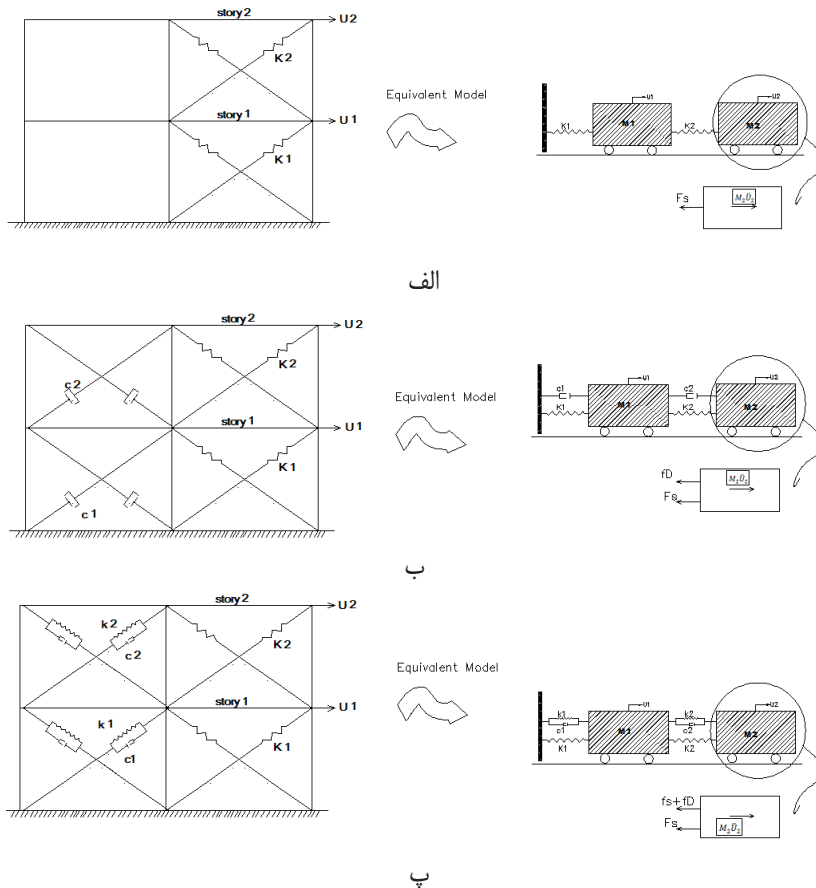
با توجه به رفتار غیرخطی و پیچیده میراگرهای ویسکوالاستیک سیال، مشابه مراجع [۴ و ۶]، در این تحقیق نیز نوع جامد میراگرهای ویسکوالاستیک در نظر گرفته شده است.

با فرض رفتار برشی برای ساختمان‌ها می‌توان میراگرهای ویسکوز و ویسکوالاستیک را مطابق شکل ۱ معادل با یک سیستم چند درجه آزادی تحت ارتعاش پایه هارمونیک در نظر گرفت (به جهت سادگی در این شکل یک ساختمان دو درجه آزادی در نظر گرفته شده است). نمودار جسم آزاد طبقه دوم برای حالت‌های مختلف در شکل ۱ نشان داده شده است. در این شکل m_1 و m_2 جرم متمرکز طبقات اول و دوم، K_1 و K_2 سختی محوری مهاربندها، k_1 و k_2 سختی محوری میراگرهای ویسکوالاستیک، f_s نیروی بوجود آمده در مهاربند یا میراگر ناشی از سختی محوری میراگر ویسکوالاستیک) و f_D نیروی ناشی از سرعت نسبی دو سر میراگر می‌باشند.

تحقیق مورد استفاده قرار گرفته و الگوهای بی‌نظمی جرم در نظر گرفته شده، توضیح داده شده است.

۲-۳-۱- معادل‌سازی قاب‌های برشی با سیستم جرم-فنر-میراگر

از آنجا که هدف مقایسه مقدار ξ بدست آمده از انتگرال گیری تاریخچه زمانی پاسخ سیستم بر اساس رابطه ۱ و رابطه FEMA-356 می‌باشد، نیاز به تعیین پاسخ دینامیکی و در دست بودن چرخه‌های پاسخ جابجایی-نیرو می‌باشد. به‌طور کلی به منظور مدل‌سازی میراگرهای ویسکوالاستیک دو نوع مدل کلونین^۱ (ترکیب سری میرایی و سختی محوری میراگر) و ماکسول^۲ (ترکیب موازی میرایی و سختی محوری میراگر) در مراجع در نظر گرفته شده است [۱۴ و ۲۱] که مدل کلونین معادل میراگرهای مایع^۳ و مدل ماکسول معادل میراگرهای جامد^۴ در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۱: سازه دو درجه آزادی معادل شده با سیستم جرم-فنر-میراگر (الف) بدون میراگر، (ب) میراگر ویسکوز و (پ) میراگر ویسکوالاستیک

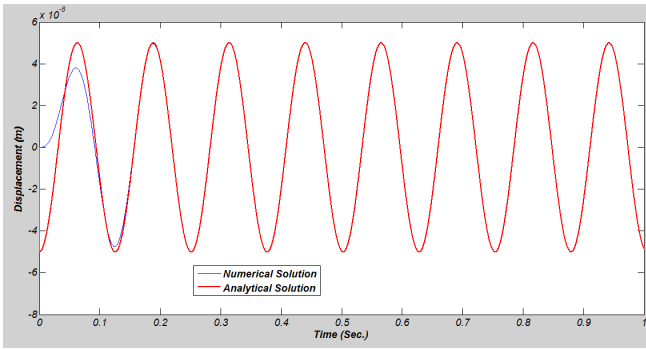
Fig. 1. Schematic view of two degree of freedom structure, including mass-spring damper parts, (a): without external damper, (b) with external viscous damper and (c) with external visco-elastic damper.

- 1 Kelvin
- 2 Maxwell
- 3 Visco-elastic fluid dampers
- 4 Visco-elastic solid dampers

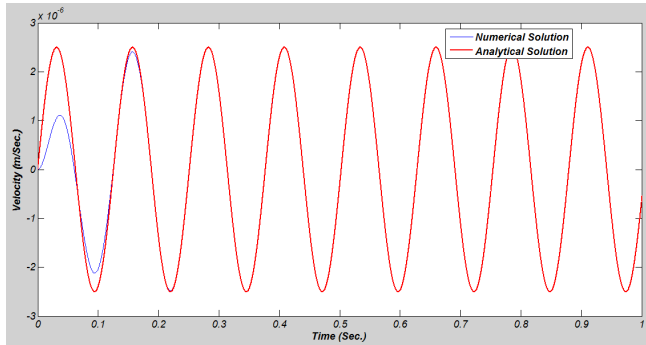
۲-۳-۲- الگوهای بی‌نظمی

الگوهای نامنظمی در ارتفاع به صورت نامنظمی جرم و با الگوی خطی تغییرات در ارتفاع در نظر گرفته شده‌اند. مطابق مرجع [۱۹] ساختمان‌های نامنظم به دو نوع نامنظم در پلان و ارتفاع تقسیم می‌شوند. با توجه به مدلسازی در نظر گرفته شده طبق تعریف، بی‌نظمی در ارتفاع در صورتی وجود دارد که جرم طبقه (یا طبقاتی) نسبت به طبقه زیرین خود بیش از پنجاه درصد تغییر داشته باشد. بر این اساس الگوی بی‌نظمی به گونه‌ای در نظر گرفته شده که جرم متناسب با ارتفاع تغییر کند.

با در نظر گرفتن ارتفاع یکسان برای طبقات و فرض یکسان بودن مجموع جرم ساختمان در حالت‌های نامنظم و منظم، در توزیع مثلی جرم متناسب با ارتفاع، جرم طبقات مشخص می‌باشند. در الگوی نامنظمی نوع اول جرم طبقات با افزایش ارتفاع طبقه، افزایش و در الگوی نامنظمی نوع دوم با افزایش ارتفاع طبقه کاهش می‌یابد. به عنوان نمونه برای ساختمان‌های دو طبقه با جرم کل ۲ تن همانگونه که در شکل ۲ نشان داده شده، در الگوی بی‌نظمی نوع اول نسبت جرم طبقه اول به جرم طبقه دوم ۲ به ۱ و در الگوی بی‌نظمی نوع دوم این نسبت ۱ به ۲ خواهد شد.



الف



ب

شکل ۳: مقایسه تاریخچه پاسخ بدست آمده از حل عددی و حل تحلیلی برای الف) جابجایی و ب) سرعت

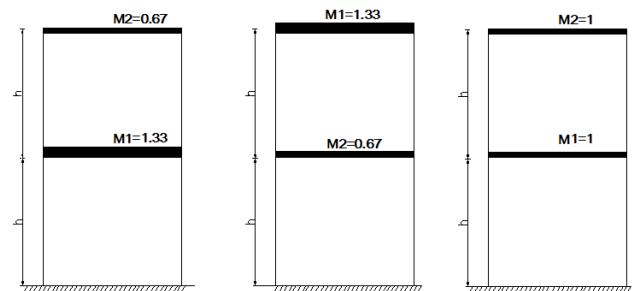
Fig. 3. displacement response of two degree of freedom structure for, a) first degree of freedom, b) second degree of freedom

به منظور بررسی نتایج و مقایسه دو حالت ویسکوز و ویسکوالاستیک ابتدا مدلی دو درجه آزادی (ساختمانی دو طبقه) در نظر گرفته شده است. در جدول ۱ فرکانس‌ها و ماتریس‌های جرم آن‌ها نشان داده شده‌اند (ماتریس‌های بردارهای مودی بر اساس ماتریس جرم همپایه شده‌اند). همانگونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود بی‌نظمی موجب تغییر مودها و فرکانس‌های ارتعاشی می‌گردد.

۳-۱- نتایج تحلیل دینامیکی

در شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب جابجایی و سرعت مطلق (نسبت به تکیه‌گاه) درجات آزادی یک و دو برای ساختمان‌های منظم و نامنظم دو طبقه نشان داده شده‌اند.

این نمودارها برای حالت ویسکوز و ویسکوالاستیک یکسان می‌باشند. در این شکل‌ها مشاهده می‌گردد که بی‌نظمی بر زمان تناوب ارتعاش و حداکثر پاسخ‌ها تاثیر دارد. همچنین در شکل ۶ بیضی‌های پاسخ نیرو-جابجایی میراگرها در حالت ویسکوز و ویسکوالاستیک نشان داده شده‌اند که در این شکل‌ها F_d نشان‌دهنده نیروی محوری در میراگر و P_0 مقدار حداکثر نیروی هارمونیک ارتعاش پایه می‌باشد. علی‌رغم شباهت ظاهری بیضی‌ها در سه فرم ساختمان در شکل ۶، مقدار قطر بیضی‌ها با یکدیگر متفاوت است.



پ

ب

الف

شکل ۲: حالت‌های الف) منظم، ب) نامنظم نوع اول و پ) نامنظم نوع دوم
Fig. 2. Schematic view of (a) regular, (b) irregular-type 1 and (c) irregular-type 2 two stories building

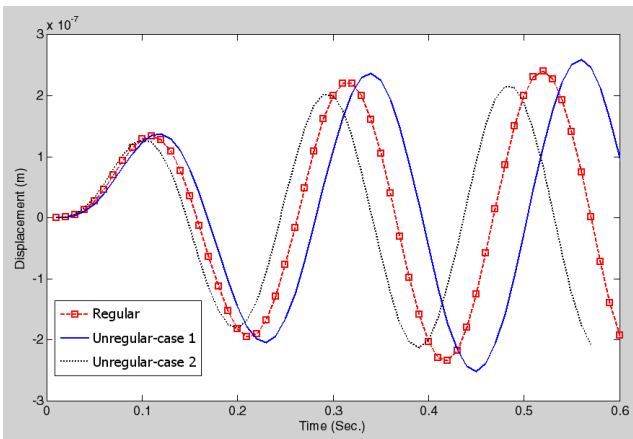
۳-۲ تحلیل و بحث در نتایج

به منظور صحت‌سنجی برنامه نوشته شده برای تعیین پاسخ دینامیکی سازه‌های چند درجه آزادی بر اساس روش عددی گام به گام زمانی، سازه‌ای با یک درجه آزادی با جرم ۱۰ تن، سختی ۲۵۰۰۰ کیلونیوتن بر متر و میرایی ۴۰۰ کیلونیوتن-ثانیه بر متر (مشخصات ساختمانی یک طبقه مطابق مدل‌های مورد بررسی در این تحقیق) تحت بار تناوبی سینوسی با فرکانس ۵۰ دور بر ثانیه در نظر گرفته شده است. تاریخچه پاسخ جابجایی و سرعت بدست آمده از حل عددی و پاسخ حالت ماندگار حل تحلیلی [۲۲] در شکل ۳ مقایسه شده‌اند که نشان دهنده انطباق حل عددی و تحلیلی پس اولین دوره تناوب می‌باشد.

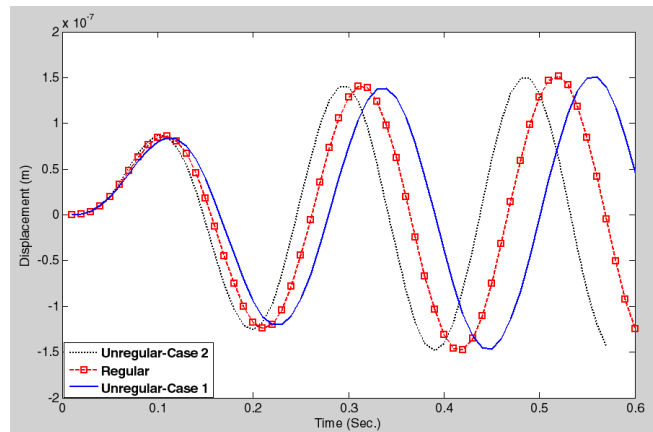
جدول ۱: ماتریس‌های جرم و خصوصیات دینامیکی

Table 1. Mass and dynamic characteristic matrixes

نوع نامنظمی	ماتریس جرم	ماتریس مودها	فرکانس‌ها
منظم	$\begin{bmatrix} 10000 & 0 \\ 0 & 10000 \end{bmatrix}$	$\Phi = \begin{bmatrix} -0.0052 & -0.0085 \\ -0.0085 & 0.0053 \end{bmatrix}$	$\omega^2 = \begin{bmatrix} 955 \\ 6545 \end{bmatrix}$
نا منظم نوع اول	$\begin{bmatrix} 6667 & 0 \\ 0 & 1333 \end{bmatrix}$	$\Phi = \begin{bmatrix} -0.0045 & -1.0114 \\ -0.0080 & 0.0032 \end{bmatrix}$	$\omega^2 = \begin{bmatrix} 822 \\ 8553 \end{bmatrix}$
نا منظم نوع دوم	$\begin{bmatrix} 1333 & 0 \\ 0 & 6667 \end{bmatrix}$	$\Phi = \begin{bmatrix} -0.0061 & -0.0061 \\ -0.0087 & 0.0087 \end{bmatrix}$	$\omega^2 = \begin{bmatrix} 1098 \\ 6402 \end{bmatrix}$



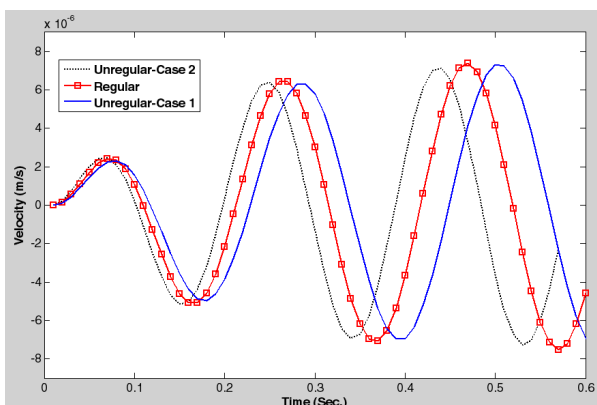
ب



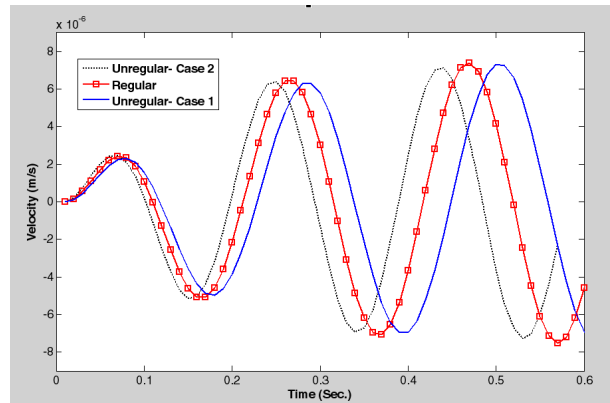
الف

شکل ۴: پاسخ جابجایی سازه دو درجه آزادی (الف) درجه آزادی اول، (ب) درجه آزادی دوم

Fig. 4. Displacement response of two degree of freedom structure, (a): first degree of freedom, (b) second degree of freedom



ب



الف

شکل ۵: پاسخ سرعت سازه دو درجه آزادی (الف) درجه آزادی اول، (ب) درجه آزادی دوم

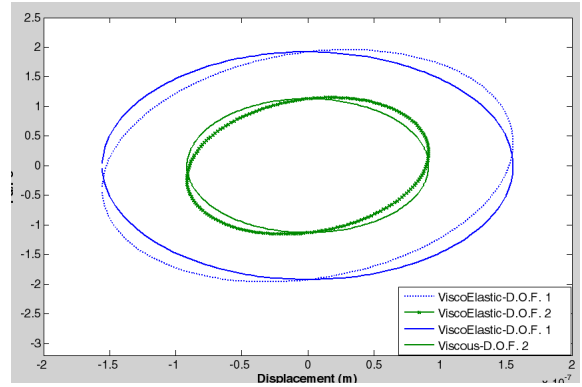
Fig. 5. Velocity response of two degree of freedom structure, (a): first degree of freedom, (b) second degree of freedom

روش تحلیلی قابل محاسبه می‌باشد. با توجه به این موضوع که جابجایی‌ها به طور فزاینده‌ای با افزایش زمان افزایش می‌یابند، بیضی‌های نیرو-جابجایی (که در شکل ۵ نشان داده شده‌اند) در چرخه‌های بعدی افزایش قطر دارند ولی بررسی انجام شده نشان داده که مقدار نسبت میرایی معادل محاسبه شده بر اساس بیضی‌های نیرو-جابجایی در دوره‌های تناوب مختلف، تفاوت قابل ملاحظه‌ای ندارد. همچنین بررسی انجام شده نشان داده که خطای حاصل از ناکامل بودن شکل بیضی‌ها در هر دوره تناوب در مقایسه با تقریب آن با یک بیضی کامل، مقدار بسیار کمی (در حدود ۰/۵ درصد) می‌باشد. در جدول ۲ تا ۴ نسبت میرایی محاسبه شده از رابطه ارائه شده در FEMA-356، که با استفاده از شکل مود اول ارتعاشی ساختمان محاسبه شده، به همراه نسبت میرایی حاصل از تعیین مساحت بیضی‌های چرخه‌ای پاسخ نیرو-جابجایی میراگرها برای میراگرهای ویسکوز و ویسکوالاستیک و در سه حالت منظم، نامنظم نوع اول و نامنظم نوع دوم برای ساختمان‌های دو تا دوازده طبقه ارائه شده‌اند. در این جداول درصد خطای نسبت میرایی به روش FEMA-356 نسبت به روش تحلیلی بر اساس رابطه ۵ محاسبه شده است.

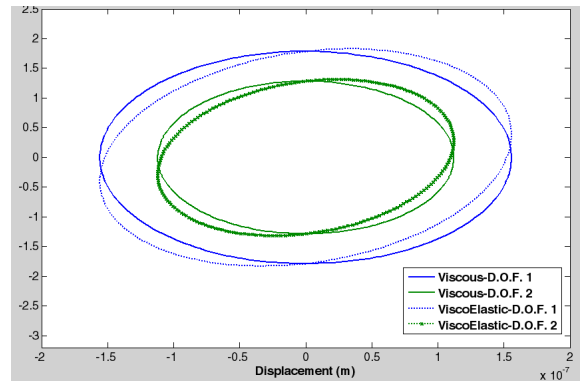
$$\text{میرایی FEMA} = \text{میرایی تحلیلی} \times \text{خطای تحلیلی} / 100 \quad (5)$$

از دقت در اعداد ارائه شده در جداول ۲ تا ۴ می‌توان نتایج زیر را استنباط نمود. لازم به یادآوری است کلیه نتایج فوق برای نسبت سختی میراگر به سختی طبقه ۰/۱ می‌باشد.

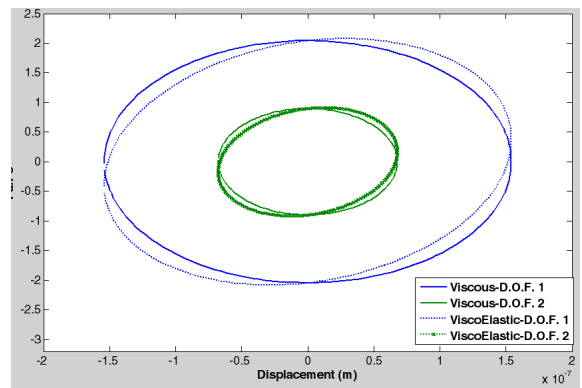
۱. خطای نسبت میرایی رابطه FEMA-356 در مقایسه با رابطه تحلیلی برای ساختمان‌های منظم در میراگرهای ویسکوز در محدوده یک تا سه درصد و در میراگرهای ویسکوالاستیک در محدوده یک تا ۱۷ درصد می‌باشد.
۲. منظم یا نامنظم بودن ساختمان تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر مقدار خطا در میراگرهای ویسکوز ندارد ولی در میراگرهای ویسکوالاستیک بی‌نظمی نوع دوم موجب افزایش خطا از ۱۷ درصد در حالت منظم به حدود ۵۷ درصد گردیده است.
۳. به طور کلی افزایش تعداد طبقات در ساختمانهای منظم، در میراگرهای ویسکوز موجب کاهش خطای رابطه FEMA-356 تا حدود نیم درصد و در میراگرهای ویسکوالاستیک موجب افزایش خطا تا حدود ۱۷ درصد می‌گردد.
۴. در میراگرهای ویسکوز مقدار نسبت میرایی رابطه FEMA-356 بزرگتر از مقدار تحلیلی می‌باشد. در حالی که در میراگرهای ویسکوالاستیک، برای حالت‌های منظم و نامنظم مقدار نسبت میرایی رابطه FEMA-356 در مقایسه با مقدار تحلیلی به ترتیب بزرگتر و کوچکتر می‌باشد.
۵. به طور کلی نسبت میرایی محاسبه شده از رابطه FEMA-356 و رابطه تحلیلی در میراگرهای ویسکوز و ویسکوالاستیک با افزایش طبقات کاهش می‌یابد.



الف



ب



پ

شکل ۶: چرخه پاسخ نیرو-جابجایی سازه دو درجه آزادی با میراگر ویسکوز و ویسکوالاستیک برای حالت‌های الف) منظم، ب) نامنظم نوع اول و پ) نامنظم نوع دوم

Fig. 6. Force-displacement hysteresis response for a two degree of freedom structure with viscous and viscoelastic dampers for (a): regular, (b) irregular-type 1 and (c): irregular-type 2 cases

۳-۲- محاسبه نسبت میرایی و درصد خطا

بر اساس رابطه ۱ مقدار میرایی معادل با استفاده از بیضی‌های چرخه‌ای پاسخ نیرو-جابجایی مطابق شکل ۶، W_1 با محاسبه سطح محصورشده و W_K با تعیین حداکثر جابجایی نسبی دو سر میراگر در یک دوره تناوب به

جدول ۲: مقایسه نسبت میرایی رابطه تحلیلی و FEMA-356 در حالت منظم ساختمان به ازای تعداد طبقات مختلف

Table 2. Comparison of damping ratio of FEMA-356 and theoretical formula for 2- to 12-story regular buildings

تعداد طبقات	زمان تناوب، ثانیه	نسبت میرایی FEMA	میراگر ویسکوز		میراگر ویسکوالاستیک	
			نسبت میرایی تحلیلی	درصد خطای FEMA	نسبت میرایی تحلیلی	درصد خطای FEMA
۲	۰/۲۰۳۳	۰/۲۴۷۲	۰/۲۴۰۲	۲/۹۳۷۱	۰/۲۴۵۲	۰/۸۴۰۹
۴	۰/۳۶۱۸	۰/۱۳۸۹	۰/۱۳۷۱	۱/۳۳۱۸	۰/۱۴۳۱	۲/۸۸۹۶
۶	۰/۵۲۱۳	۰/۰۹۶۴	۰/۰۹۵۳	۱/۲۳۷۹	۰/۱۰۲۲	۵/۶۴۲۵
۸	۰/۶۸۱	۰/۰۷۳۸	۰/۰۷۳۱	۰/۹۹۲	۰/۰۸۱۳	۹/۱۷۱۲
۱۰	۰/۸۴۰۸	۰/۰۵۹۸	۰/۰۵۹۳	۰/۷۵۶۳	۰/۰۶۸۸	۱۳/۱۲۸۷
۱۲	۱/۰۰۰۷	۰/۰۵۰۲	۰/۰۴۹۹	۰/۵۷۲۵	۰/۰۶۰۷	۱۷/۲۷۱۳

جدول ۳: مقایسه نسبت میرایی رابطه تحلیلی و FEMA-356 در حالت نامنظم نوع اول ساختمان به ازای تعداد طبقات مختلف

Table 3. Comparison of damping ratio of FEMA-356 and theoretical formula for 2- to 12-story type-1 irregular buildings

تعداد طبقات	زمان تناوب، ثانیه	نسبت میرایی FEMA	میراگر ویسکوز		میراگر ویسکوالاستیک	
			نسبت میرایی تحلیلی	درصد خطای FEMA	نسبت میرایی تحلیلی	درصد خطای FEMA
۲	۰/۲۱۹۱	۰/۲۲۹۴	۰/۲۲۶۱	۱/۴۳۹۶	۰/۲۳۲	۱/۱۳۷۹
۴	۰/۴۰۷۹	۰/۱۲۳۲	۰/۱۲۱۶	۱/۳۲۰۵	۰/۱۲۷۹	۳/۶۵۷
۶	۰/۵۹۷۷	۰/۰۸۴۱	۰/۰۸۳۲	۱/۱۱۵۸	۰/۰۹۰۷	۷/۲۷۷۴
۸	۰/۷۸۷۹	۰/۰۶۳۸	۰/۰۶۳۳	۰/۸۵۱۹	۰/۰۷۲۳	۱۱/۷۵۲۶
۱۰	۰/۹۷۸۲	۰/۰۵۱۴	۰/۰۵۱۱	۰/۶۰۶۵	۰/۰۶۱۶	۱۶/۶۴۳۱
۱۲	۱/۱۶۸۶	۰/۰۴۳	۰/۰۴۲۸	۰/۴۱۳۵	۰/۰۵۴۹	۲۱/۶۱۲۸

جدول ۴: مقایسه نسبت میرایی رابطه تحلیلی و FEMA-356 در حالت نامنظم نوع دوم ساختمان به ازای تعداد طبقات مختلف

Table 4. Comparison of damping ratio of FEMA-356 and theoretical formula for 2- to 12-story type-2 irregular buildings

تعداد طبقات	زمان تناوب، ثانیه	نسبت میرایی FEMA	میراگر ویسکوز		میراگر ویسکوالاستیک	
			نسبت میرایی تحلیلی	درصد خطای FEMA	نسبت میرایی تحلیلی	درصد خطای FEMA
۲	۰/۱۸۹۶	۰/۲۶۵۱	۰/۲۶۲۷	۰/۹۳۸۴	۰/۲۶۸۹	۱/۳۸۶۹
۴	۰/۵۹۹۹	۰/۰۸۳۸	۰/۰۸۲۸	۱/۱۹۴۸	۰/۰۹۰۲	۷/۰۷۲۹
۶	۱/۱۳۰۴	۰/۰۴۴۵	۰/۰۴۴۳	۰/۴۴۵۶	۰/۰۵۶۱	۲۰/۶۶۸۸
۸	۱/۷۵۹۷	۰/۰۲۸۶	۰/۰۲۸۶	۰/۰۰۴	۰/۰۴۴۴	۳۵/۷۰۳۱
۱۰	۲/۴۷۴۶	۰/۰۲۰۳	۰/۰۲۰۴	۰/۲۷۷۳	۰/۰۳۹۵	۴۸/۵۸۷۸
۱۲	۳/۲۶۵۸	۰/۰۱۵۴	۰/۰۱۵۵	۰/۴۶۲۶	۰/۰۳۷۱	۵۸/۴۵۸۳

مختلف مقایسه شده است. از مقایسه نتایج جدول ۵ چنین استنتاج می‌شود که با کاهش سهم سختی میراگر در مقایسه با سختی کل طبقه، خطا نیز کاهش می‌یابد. بدیهی است چنانچه این نسبت به صفر برسد میراگر ویسکوالاستیک به میراگر ویسکوز تبدیل می‌شود.

با توجه به نتیجه‌گیری شماره ۱ و از آنجا که خطای رابطه FEMA-356 در مورد میراگرهای ویسکوز بسیار کمتر از میراگرهای ویسکوالاستیک می‌باشد، انتظار می‌رود با کاهش سختی میراگر ویسکوالاستیک مقدار خطا نیز کاهش یابد. در جدول ۵ مقدار خطا به ازاء نسبت‌های مختلف سختی میراگر (K_d) به سختی کل طبقه (K_s) برای حالت منظم و برای تعداد طبقات

جدول ۵: نسبت میرایی رابطه انگرالی و FEMA-356 برای ساختمان منظم با تعداد طبقات و سختی های میراگر ویسکوالاستیک مختلف

Table 5. Comparison of damping ratio of FEMA-356 and theoretical formula regular buildings with various story numbers and different axial stiffness of visco-elastic dampers

تعداد طبقات	K_d/K_s	زمان تناوب، ثانیه	FEMA نسبت میرایی	نسبت میرایی تحلیلی	درصد خطای رابطه FEMA
۲	۱	۰/۲۰۳۳	۰/۲۴۷۲	۰/۳۸۶۷	۳۶/۰۷۱۵
	۰/۵			۰/۲۸۵۱	۱۳/۲۷۴۷
	۰/۱			۰/۲۴۵۲	۰/۸۴۰۹
	۰/۰۵			۰/۲۴۲۵	۱/۹۴۸۴
۴	۱	۰/۳۶۱۸	۰/۱۳۸۹	۰/۳۴۸۵	۶۰/۱۳۲۵
	۰/۵			۰/۲۱۱۹	۳۴/۴۵۲۸
	۰/۱			۰/۱۴۳۱	۲/۸۸۹۶
	۰/۰۵			۰/۱۳۹۸	۰/۶۶۲۲
۶	۱	۰/۵۲۱۳	۰/۰۹۶۴	۰/۳۳۶۵	۷۱/۳۴۳
	۰/۵			۰/۱۸۸۸	۴۸/۹۳۴۶
	۰/۱			۰/۱۰۲۲	۵/۶۴۲۵
	۰/۰۵			۰/۰۹۸۱	۱/۷۲۳

این بررسی نشان داد که عدم قرارگیری میراگرها در طبقاتی محدود موجب افزایش خطای رابطه FEMA-356 در میراگرهای ویسکوز تا حدود ۴۲ درصد و در میراگرهای ویسکوالاستیک تا حدود ۵۰ درصد می‌گردد.

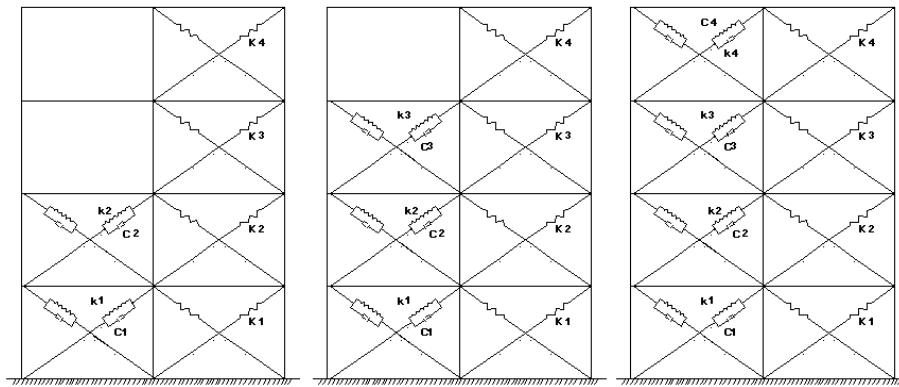
۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق دقت رابطه ارائه شده در FEMA-356 به منظور محاسبه نسبت میرایی معادل ناشی از قرار دادن میراگرها ویسکوز و ویسکوالاستیک در ساختمان‌های برشی مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس بررسی‌ها و تحلیل‌های انجام شده در این تحقیق نتایج زیر را می‌توان بیان نمود:

۱. منظم یا نا منظم بودن ساختمان در ارتفاع بر دقت رابطه FEMA-356 برای میراگرهای ویسکوز تاثیر قابل ملاحظه‌ای ندارد ولی برای میراگرهای ویسکوالاستیک موجب افزایش قابل ملاحظه خطای رابطه می‌گردد.

۳-۳- بررسی اثر قرار دادن میراگرها در طبقات محدود

از آنجا که این امکان وجود دارد که متناسب با نیاز طراحی، میراگرها در تمام طبقات قرار داده نشوند، در این قسمت حالتی که میراگرها در طبقات محدودی قرار گیرند مورد بررسی قرار گرفته است. فرض گردیده که میراگرها ابتدا در طبقات پائین و در صورت نیاز در طبقات بالاتر قرار داده شوند. به عنوان نمونه، نحوه آرایش میراگرها در ساختمانی چهار طبقه در شکل ۷ نشان داده شده است. در این بخش مطالعاتی، ساختمان‌های دو، چهار و شش طبقه در حالت منظم توزیع جرم و به ازاء میراگرهای ویسکوز و ویسکوالاستیک مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نتایج این بررسی در جدول ۶ ارائه شده‌اند. فرض گردیده نسبت سختی میراگرهای ویسکوالاستیک به سختی مهاربندهای طبقه یک دهم باشد. با توجه به تغییر سختی ساختمان ناشی از نصب میراگرهای ویسکوالاستیک در طبقات مختلف، و همانگونه که در جدول ۷ نیز مشاهده می‌گردد، زمان تناوب مود اول ارتعاشی تغییر نموده که بر مقدار نسبت میرایی محاسبه شده از رابطه FEMA-356 تاثیر دارد.



شکل ۷: روند اضافه کردن میراگرها در طبقات مختلف ساختمان چهار طبقه، (از چپ به راست)

Fig. 7. Adding external dampers in the limited stories (for a 4 stories building)

جدول ۶: درصد خطای رابطه FEMA-356 برای میراگرهای ویسکوز و ویسکوالاستیک اضافه شده در طبقاتی محدود از ساختمان های منظم دو، چهار و شش طبقه

Table 6. Error of FEMA-356 formula for added external viscous and visco-elastic dampers in the limited stories

تعداد درجات آزادی	طبقات دارای میراگر	زمان تناوب، ثانیه	میراگر ویسکوز			میراگر ویسکوالاستیک			درصد خطای FEMA
			نسبت میرایی FEMA	نسبت میرایی تحلیلی	درصد خطای FEMA	زمان تناوب، ثانیه	نسبت میرایی FEMA	نسبت میرایی تحلیلی	
۲	۱	۰/۲۰۳۳	۰/۲۳۸۶	۰/۱۷۸۹	۲۵/۰۲۱۵	۰/۲۰۶۵	۰/۲۴۱۸	۰/۱۶۹	۳۰/۱۰۱۶
	۲		۰/۲۴۰۲	۰/۲۴۷۲	۲/۹۳۷۱	۰/۲۰۳۳	۰/۲۴۵۲	۰/۲۴۷۲	۰/۱۴۰۹
۴	۲	۰/۳۶۱۸	۰/۱۳۷۵	۰/۱۰۶۲	۲۲/۷۹۷۳	۰/۳۶۶۶	۰/۱۴۱۲	۰/۱۰۱۵	۲۸/۱۶۲۱
	۳		۰/۱۳۷۱	۰/۱۳۱۷	۳/۹۶۹۲	۰/۳۶۲۹	۰/۱۴۲۴	۰/۱۳۰۴	۸/۴۱۰۴
	۴		۰/۱۳۷۱	۰/۱۳۸۹	۱/۳۳۱۸	۰/۳۶۱۸	۰/۱۴۳۱	۰/۱۳۸۹	۲/۸۸۹۶
	۲		۰/۰۹۵۹	۰/۰۵۵۲	۴۲/۴۵	۰/۵۳۳۶	۰/۱۰۰۲	۰/۰۵۰۹	۵۰/۰۶۸۴
	۳	۰/۵۲۱۳	۰/۰۹۵۶	۰/۰۷۵۳	۲۱/۲۳۹۵	۰/۵۲۷۶	۰/۱۰۱۹	۰/۰۷۲۲	۲۹/۱۷۱۹
	۴		۰/۰۹۵۴	۰/۰۸۸۳	۷/۳۷۰۷	۰/۵۲۳۷	۰/۱۰۲۲	۰/۰۸۶۹	۱۴/۹۰۱۵
۶	۵		۰/۰۹۵۳	۰/۰۹۴۷	۰/۵۶۵۵	۰/۵۲۱۸	۰/۱۰۲۱	۰/۰۹۴۴	۷/۵۲۹۸
	۶		۰/۰۹۵۳	۰/۰۹۶۴	۱/۲۳۷۹	۰/۵۲۱۳	۰/۱۰۲۲	۰/۰۹۶۴	۵/۶۴۲۵

ویسکوالاستیک خطای رابطه FEMA-356 افزایش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد.

با توجه به نتایج بدست آمده پیشنهاد می‌گردد کاربرد رابطه ارائه شده در FEMA-356 به فرم کنونی محدود به میراگرهای ویسکوز و میراگرهای ویسکوالاستیک با محدود نمودن نسبت سختی میراگر به مهاربندهای طبقه باشد. همچنین در صورتی که میراگرها با توجه به نیاز طراحی و یا مسائل اجرایی در طبقات محدودی نصب شوند، رابطه موجود نیاز به بازنگری دارد.

مراجع

[1] Z. Liang, G. C. Lee, G. F. Dargush, J. Song, Structural damping-application in seismic response modification,

۲. دقت رابطه FEMA-356 برای میراگرهای ویسکوز بسیار بیشتر از میراگرهای ویسکوالاستیک می‌باشد که البته با کاهش نسبت سختی محوری میراگر در مقایسه با سختی جانبی طبقه، خطای رابطه FEMA-356 برای میراگرهای ویسکوالاستیک کاهش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد.

۳. به طور کلی افزایش تعداد طبقات تا دوازده طبقه موجب کاهش خطا در میراگرهای ویسکوز و افزایش قابل ملاحظه خطا در میراگرهای ویسکوالاستیک می‌گردد.

۴. در حالتی که میراگرها در طبقات محدودی از ساختمان قرار داده شوند در ساختمان‌های تا شش طبقه، با میراگرهای ویسکوز و

- Engineering, 14(2) (2012) 131-143.
- [12] K. S. Kumar, C. A. Jeyasehar, K. Muthumania, A design methodology for supplemental damping for seismic performance enhancement of frame structures, *Asian Journal of Civil Engineering*, 13(5) (2012) 659-678.
- [13] I. D. Aiken, D. K. Nims, A. S. Whittaker, J. M. Kelly, Testing of passive energy dissipation systems, *Earthquake Spectra*, 9(3) (1993) 335-370.
- [14] ASCE, Pre-standard and Commentary for The Seismic Rehabilitation of Buildings, Prepared by the American Society of Civil Engineering, Published by the Federal Emergency Management Agency, FEMA 356 Report, Washington, DC., U. S. A., 2000.
- [15] R. K. Goel: Seismic response study of asymmetric systems with linear and nonlinear fluid viscous dampers, Report No. CP/SEAM-2002/06, California Polytechnic State University, U.S.A., 2002.
- [16] ATC-55, Improvement of Nonlinear Static Analysis Procedures, Prepared by the Applied Technology Council for the Building Seismic Safety Council, Published by the Federal Emergency Management Agency, FEMA 440 Report, Washington, DC., U. S. A., 2005.
- [17] J. L. Hummar: Dynamic of Structures, Second Edition, A.A.Balkema, Publisher, Tokyo, Japan, 2001.
- [18] A. K. Chopra: Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey, U.S.A. 1995.
- [19] Iranian code of practice for seismic resistant of buildings, standard No.2800-5 (Third edition), BHRC publication No. S-253, 2005.
- [20] M. S. Williams, A. Blakeborough, B. Wu, Static and real-time dynamic testing of passive dissipation devices, 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada (2004).
- [21] Y. C. Fung: Foundations of solid mechanics, Prentice-Hall, Englewood cliffs, N. J., U.S.A. 1965.
- [22] G. V. Berg: Elements of structural dynamics, Prentice-Hall, New Jersey, U.S.A., 1989.
- CRC Press, 2006.
- [2] R. D. Hanson, C. Xia, and Y. F. Su, Design of supplemental damping device for buildings, *Earthquake engineering, Tenth world conference*, Balkema, Rotterdam (1992).
- [3] J. S. Hiwang, Seismic design of structures with viscous dampers, International training programs for seismic design of structures by National center for research on earthquake engineering, Taiwan, 2002.
- [4] F. Sadek, B. Mohraz, M. Riley, Linear procedure for structures with velocity-dependent dampers, *Journal of Structural Engineering*, 126 (2000) 87-895.
- [5] Building Seismic Safety Council (BSSC), Prepared by the NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings, FEMA 273 Report, Washington, D.C., U. S. A., 1997.
- [6] S. A. Mousavi, A. Ghorbani-Tanha, Optimum placement and characteristics of velocity-dependent dampers under seismic excitation, *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 11(3) (2012) 403-414.
- [7] J. Scheller, U. Starossek, A versatile active mass damper for structural vibration control, *Proceedings of the 8th International Conference on Structural Dynamics*, Leuven, Belgium (2011).
- [8] A. Yahyaabadi, S. M. Zahrai, Studying rooftop damper frame in braced structures under near and far field earthquake excitations, *Amirkabir Journal of Science & Research (Civil & Environmental Engineering)*, 41(1) (2008) 1- 11
- [9] M. Mohebbi, H. Rasouli Dabbagh, S. Moradpour, Seismic vibration control of nonlinear structures using semi-active tuned mass dampers, *Amirkabir Journal of Science & Research (Civil & Environmental Engineering)*, 46(2) (2014) 41- 43
- [10] J. Kang, H. Tagawa, Seismic performance of steel structures with seesaw energy dissipation system using fluid viscous dampers, *Journal of Engineering Structures*, 56 (2013) 431-442.
- [11] S. M. Zahrai, S. A. Mousavi, Suitable energy dissipation device for private typical buildings with poor seismic performance”, *Journal of Seismology and Seismic*

Please cite this article using:

M. E. Karbaschi, S. A. Anvar, Evaluating Accuracy of FEMA-356 Proposed Equation for Effective Damping Ratio for Viscous and Visco-elastic Dampers, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 50(2) (2018) 303-314.

DOI: 10.22060/ceej.2017.11416.5045

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:



