

تحلیل لرزه‌ای احتمالاتی سازه‌های فولادی مجهز به میراگرهای ویسکوز غیر خطی

شاهرخ انوری زاده^۱، محمد بهمنی^{۲*}، سید افشین مجبی نودز^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد آبادان، دانشگاه آزاد اسلامی، آبادان

۲- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد آبادان، دانشگاه آزاد اسلامی، آبادان

۳- مربی، گروه مهندسی عمران، واحد آبادان، دانشگاه آزاد اسلامی، آبادان

*آبادان، صندوق پستی ۶۳۱۷۸۳۶۵۳۱، bahmani@iaubadan.ac.ir; bahmani.iaubadan@gmail.com

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۱۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۰)

چکیده

در دو دهه اخیر بسیاری از سازه‌ها به دلیل تغییر در ضوابط آیین‌نامه‌های لرزه‌ای یا تغییر کاربری ساختمان‌ها، نیازمند بهسازی لرزه‌ای می‌باشند. از طرفی استفاده از میراگرهای ویسکوز در بهسازی لرزه‌ای به دلیل نصب ساده، کمترین تداخل با سازه موجود و همچنین بهبود چشمگیر عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌ها به سرعت در حال افزایش است. هدف اصلی این مقاله ارائه یک روند طراحی جدید جهت ارزیابی لرزه‌ای احتمالاتی سازه‌های فولادی مجهز به میراگرهای ویسکوز غیر خطی می‌باشد. برای بررسی عددی از سه قاب خمشی فولادی ۳، ۹ و ۲۰ طبقه، به عنوان سازه محک استفاده شده است. این سازه‌ها به دلیل تفاوت محسوس مشخصات دینامیکی، بیانگر سازه‌های کوتاه، میان و بلندمرتبه می‌باشند. برای تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی از دو شتاب نگاشت حوزه نزدیک و دو شتاب نگاشت حوزه دور با شدت‌های مختلف (جمعاً ده شتاب نگاشت) استفاده شده است. همچنین تحلیل غیر ابعادی برای ارزیابی پارامتر عدم قطعیت توان سرعت میراگرهای ویسکوز غیرخطی صورت پذیرفته است. سپس به برآورد احتمالاتی خرابی سازه‌های محک و بررسی تاثیر عدم قطعیت پارامتر بی بعد ضریب میرایی و شدت توان میراگر بر پاسخ لرزه‌ای سازه پرداخته‌ایم. با ارزیابی نتایج تحلیل لرزه‌ای برای میراگرهای ویسکوز با شدت توان ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ مشخص گردید اگر چه بهسازی لرزه‌ای در همه‌ی ساختمان‌های محک منجر به بهبود چشمگیر عملکرد لرزه‌ای شده است، لیکن روند طراحی پیشنهادی در سازه‌های بلندمرتبه بهسازی شده با شدت توان ۰/۴ موثرتر می‌باشد.

واژگان کلیدی

میراگرهای ویسکوز، ساختمان‌های فولادی، ریسک لرزه‌ای، بهسازی لرزه‌ای، ارزیابی احتمالاتی، تابع چگالی بتا

Probabilistic seismic analysis of steel structures equipped with nonlinear viscous dampers

S. Anvarizadeh, M. Bahmani, S.A. Mohebi Nodex

Abstract

During the recent two decades, many structures have become in need for seismic retrofit due to changes in either requirements of relevant seismic codes or the building usage. Viscous dampers are increasingly employed for seismically retrofitting various structures thanks to their easy installation and minimum intervention into the existing structure while significantly improving the seismic performance of the building. The main objective of this paper is to present a new design procedure for the evaluation of probabilistic seismicity of steel structures equipped with nonlinear viscous dampers. For this purpose, numerical investigation was conducted on, as benchmark structures, three steel-made moment-resistant frames with 3, 9, and 20 stories. Due to significant differences in their dynamic characteristics, these three structures represented low-rise, mid-rise, and high-rise buildings, respectively. Nonlinear time history analysis was performed using two near-field and two far-field accelerograms at various intensities (making up a total of 10 accelerograms). Moreover, nondimensional analysis was done to evaluate the uncertainties associated with velocity exponent of the nonlinear viscous dampers. Next, probabilistic estimation of damages occurred to the benchmark structures was performed and the effect of the uncertainty associated with the dimensionless power intensity of the damper on the seismic response of the structure. Investigating the results of the seismic analysis for viscous dampers at power intensities of 0.2, 0.3, and 0.4, it was found that although the seismic retrofit had significantly improved the seismic performance in all model structures but the proposed design procedure was more effective in the retrofitted high-rise structures at the power intensity of 0.4.

Keywords

Viscous dampers, Steel structures, Seismic risk, Seismic retrofit, Probabilistic response, Beta density distribution function

در هنگام وقوع زلزله انرژی زیادی به سازه وارد می شود، فلسفه طراحی های مرسوم به دنبال جلوگیری از فرو ریختن ساختمان به واسطه تغییر شکل های غیرخطی سازه و جذب انرژی القایی زلزله می باشد. در این استراتژی برخی از خرابی ها در سازه اتفاق می افتد به نحوی که با گسترش این خرابی ها به سایر اجزای سازه ای، دیگر ساختمان قابل بهره برداری نخواهد بود. در چند دهه ای اخیر سیستم های کنترل جهت رسیدن به ایمنی بیشتر و کاهش خسارت های سازه در هنگام وقوع زلزله توسعه داده شده اند. کنترل سازه ها با هدف کنترل پاسخ لرزه ای سازه و کاهش نیاز لرزه ای اجزای سازه ای به کمک اصلاح مشخصات دینامیکی سازه مورد استفاده قرار گرفته است [۱]. سیستم های کنترل ممکن است فعال یا غیرفعال باشند. سیستم کنترل غیرفعال انرژی ورودی زلزله را مستهلک می کند و بنابراین نمی تواند باعث ناپایداری پاسخ شود ولی کنترل فعال، شامل یک منبع خارجی انرژی است که امکان ایجاد ناپایداری در سیستم وجود دارد. به طور کلی میراگرهای غیرفعال سه دسته هستند. میراگرهای وابسته به تغییر مکان، میراگر وابسته به سرعت و میراگرهای وابسته به شتاب. میراگر ویسکوز از جمله میراگرهای وابسته به سرعت می باشد. میراگرهای تسلیمی و اصطکاکی جزء انواع هسترزیس هستند، آنها دارای محدودیت نیرو و وابسته به جابجایی هستند و بر پایه سرعت تحریک، نیروی داخلی شان افزایش نمی یابد. ولی میراگرهای ویسکوز، محدود به جابجایی نیستند (با فرض رسیدن به حالت حدی دریافت) و نیروی داخلی آنها وابسته به سرعت تحریک است. این میراگرها نیرویی تأمین می کنند که همیشه در مقابل حرکت سازه مقاومت می کند، این نیرو متناسب با سرعت نسبی دو سر میراگر است. از سوی دیگر هر سیستم دارای سه بخش ورودی، سیستم سازه ای و خروجی است. در سازه ورودی به سیستم، بارهای وارد بر سازه مانند بارهای ثقلی، بار باد یا بار زلزله است. بخش سیستم سازه ای شامل مشخصات سازه اعم از ماتریس های جرم، میرایی و سختی می باشد و خروجی سازه شامل پاسخ های شتاب، سرعت و تغییر مکان می باشد. کمیت ورودی به سازه می تواند به صورت تعینی و یا احتمالاتی باشد. زلزله یک فرآیند نامعین و تصادفی محسوب می شود که عموماً در تحقیقات به صورت فرضی تعینی فرض می گردد. استفاده از میراگر ویسکوز مکمل به طور قابل توجهی عملکرد لرزه ای ساختمان ها را بهبود می بخشد، با این حال، یک روش طراحی که عدم قطعیت را در نظر بگیرد، ضروری است [۲ و ۳].

تحقیقات انجام شده در خصوص تحلیل احتمالاتی سازه به همراه میراگر ویسکوز را می توان به ۶ بخش عمده تقسیم بندی نمود:

۱. ارزیابی احتمالاتی تأثیر عدم قطعیت های ذاتی و شناختی بر عملکرد لرزه ای سازه های فولادی مجهز به میراگر
۲. بررسی احتمالاتی میزان خرابی قاب های بلند مرتبه مجهز به میراگر
۳. پاسخ احتمالاتی خطی سازه با میراگر الحاقی غیرخطی ویسکوز با استفاده از روش حل یکپارچه
۴. پاسخ احتمالاتی نامانا سیستم های سازه ای با میراگر ویسکوز الحاقی تحت تحریکات زلزله
۵. ارزیابی احتمالاتی ساده سازی شده عملکرد لرزه ای سازه های نامتقارن در پلان
۶. طراحی لرزه ای بهینه احتمالاتی میراگرها

Chen و همکارانش با تغییر روش طراحی از رویکردهای حوزه فرکانس به رویکرد حوزه زمان مستقیم اصلاح شده، یک روش موثر برای بررسی احتمالاتی میزان خرابی قاب های فولادی بلند مرتبه مجهز به میراگر ویسکوز با معادلات دیفرانسیل پیچیده، ارایه دادند [۴]. Landi و همکارانش تحقیقی با هدف مطالعه روش های احتمالاتی ساده شده برای ارزیابی لرزه ای سازه های غیر خطی مجهز به میراگرهای غیرخطی ویسکوز انجام دادند. هدف خاص تحقیق آنها ارزیابی همبستگی بین نتایج به دست آمده از طریق روش لرزه ای احتمالاتی برای سازه های با و بدون میراگر، با تأکید بر پراکندگی نتایج است. آنها مطالعه بدون اعمال عوامل مقیاس گذاری به رکوردهای زلزله انجام شد، اما با انتخاب مجموعه های مختلف از رکوردها برای افزایش مقادیر شدت زلزله. تمامی نتایج به دست آمده با در نظر گرفتن معیارهای مختلف، به منظور تعیین مجموعه ای از تحلیل های تاریخچه زمانی مورد استفاده برای ارزیابی احتمالی، مورد بررسی قرار گرفتند. سپس روش های مختلفی برای به دست آوردن پراکندگی تقاضای لرزه ای اعمال شد. تحقیق آنها با توجه به کاربرد روش FEMA^۱، تحلیل حساسیت نیز با در نظر گرفتن روش های مختلف درون یابی منحنی خطر انجام شده است [۵]. Barone و همکارانش، پاسخ احتمالاتی خطی سازه با میراگر الحاقی غیر خطی ویسکوز با استفاده از روش حل یکپارچه را مورد بررسی قرار دادند. مطالعه سیستماتیک آنها نشان می دهد که برای یک طیف وسیعی از پارامترها، تحلیل خطی احتمالاتی، نتایج رضایت بخشی از نظر واریانس دریافت و سرعت را ارائه می دهد، اما از لحاظ تابع چگالی احتمال چندان



مطلوب نیست [۶]. Peng و همکارانش تحلیل احتمالاتی پاسخ لرزه‌ای و ارزیابی میراگر غیرفعال سازه پرداختند. در تحقیق آنها، تحلیل پاسخ لرزه‌ای احتمالاتی و ارزیابی قابلیت اطمینان سازه‌های میرا شده غیرفعال از طریق بررسی‌های آزمایشگاهی و شبیه سازی عددی انجام شد [۷]. Dolšek و Fajfar ارزیابی احتمالاتی ساده سازی شده عملکرد لرزه‌ای سازه‌های نامتقارن در پلان پرداختند. در مقاله آنها یک رویکرد نسبتاً ساده برای ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه‌های نامتقارن در پلان پیشنهاد شده است. این روش بر اساس چارچوب احتمالی پیر است، که در آن بخش برآورد تقاضا، یعنی تحلیل دینامیکی فراینده، با تحلیل فزاینده ساده جایگزین شده است. کاربرد روش پیشنهادی با استفاده از مثالی از یک ساختمان بتن مسلح سه طبقه نشان داده شده است. در پایان نتایج روش پیشنهادی با نتایج یک رویکرد دقیق‌تر، بر اساس IDA^۲ مقایسه می‌شود [۸].

Dadpour و Banazadeh در تحقیق خود به ساده‌سازی ارزیابی خطر لرزه‌ای قاب‌های فولادی میان طبقه با میراگرهای سیال ویسکوز خطی با استفاده از مدل‌های احتمالاتی و تحلیل قابلیت اطمینان پرداخته‌اند. توسعه یک مدل پاسخ لرزه‌ای احتمالی برای پیش‌بینی پاسخ سازه بدون انجام محاسبات گسترده جز اصلی این روش است [۹]. Dimopoulos و همکارانش پتانسیل قاب‌های خمشی خود محور پس کشیده و میراگرهای ویسکوز الحاقی را برای کاهش خسارات لرزه‌ای اقتصادی در ساختمان‌های فولادی مورد ارزیابی قرار دادند. این ارزیابی براساس یک ساختمان نمونه اولیه فولادی طراحی شده با استفاده از چهار قاب مختلف مقاوم در برابر زلزله است [۱۰]. Seo و همکارانش عملکرد لرزه‌ای و ارزیابی مقاومت فروریزش اجزاء فولادی سازه با میراگر ویسکوز مایع را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از میرایی الحاقی می‌تواند عملکرد اجزاء فولادی سازه را با کاهش برش پایه طراحی بهبود ببخشد همچنین تحلیل دینامیکی فزاینده نشان می‌دهد که میرایی اضافه شده باعث کاهش احتمال فروپاشی اجزاء فولادی سازه می‌شود [۱۱]. Tubaldi و همکارانش به ارزیابی تاثیر خواص میراگر بر پاسخ لرزه‌ای احتمالاتی سیستم‌های سازه‌ای مجهز به میراگرهای غیر خطی ویسکوز پرداختند. برای این منظور، یک سیستم خطی تک درجه آزادی با یک میراگر ویسکوز خطی یا غیر خطی اضافه‌شده در نظر گرفته شد و آمارهای پاسخ برای مجموعه‌ای از رکوردهای طبیعی که عدم قطعیت حرکت زمین را توصیف می‌کنند، ارزیابی شد. در این تحقیق تحلیل ابعادی مساله لرزه‌ای ابتدا برای

شناسایی حداقل مجموعه پارامترهای مشخصه که سیستم را توصیف می‌کند و کنترل پاسخ لرزه‌ای انجام می‌شود. سپس یک مطالعه پارامتری گسترده برای برآورد تاثیر خواص میراگر بر روی کمیت‌های اصلی پاسخ مورد نظر (یعنی حداکثر جابجایی‌ها، شتاب‌ها و نیروهای میراگر)، برای محدوده وسیعی از مقادیر پارامترهای مشخصه انجام شده‌است [۱۲].

هدف اصلی این پژوهش ارایه یک روند طراحی جدید جهت ارزیابی لرزه‌ای احتمالاتی سازه فولادی مجهز به میراگرهای ویسکوز غیر خطی با لحاظ نمودن عدم قطعیت در محاسبات است. قیدهای در نظر گرفته‌شده در حین فرآیند بهینه‌سازی شامل محدوده‌هایی برای پارامترهای عدم قطعیت میراگر غیرخطی ویسکوز (ضریب میرایی و توان سرعت) با هدف یافتن مقادیر کمینه برای پارامتر حداکثر نسبت دریافت طبقات، تعیین ضریب کاهش حداکثر نسبت دریافت و بررسی احتمال خرابی سازه ۳، ۹ و ۲۰ طبقه است. حداکثر نسبت دریافت طبقات به عنوان شاخصی مهم در ارزیابی خرابی‌های اجزای سازه ای با استفاده از تابع چگالی احتمال بتا، گاما و تابع توزیع نرمال (گوسی) با ضریب پراکندگی متفاوت و با در نظر گرفتن عدم قطعیت شدت توان متفاوت (۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴) مورد بررسی قرار می‌گیرد.

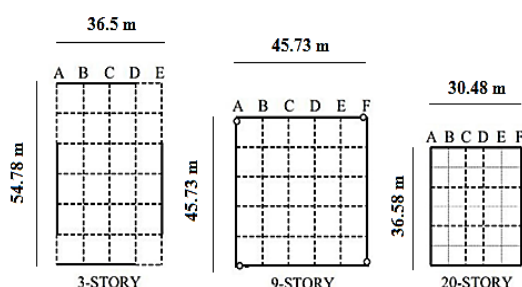
۲- روش تحلیل پیشنهادی برای ارزیابی احتمالاتی

در دو دهه ی اخیر روندهای طراحی متفاوتی توسط محققین و آیین نامه‌ها جهت طراحی ساختمان‌ها به همراه میراگر ویسکوز ارایه شده است که غالباً بدون بررسی عدم قطعیت در بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌ها بوده است و معمولاً این پروسه های طراحی شامل یک فرآیند سعی و خطا برای رسیدن به طرح نهایی می‌باشند [۱۳]. در این مقاله با اصلاح روندهای طراحی موجود و اضافه نمودن تحلیل احتمالاتی جهت ارزیابی اثربخشی بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی با میراگرهای ویسکوز الحاقی، یک روند تحلیلی جامع جدید برای ارزیابی احتمالاتی بهسازی لرزه‌ای سازه های فولادی موجود به کمک میراگر ویسکوز غیر خطی در شکل (۱) معرفی شده است.

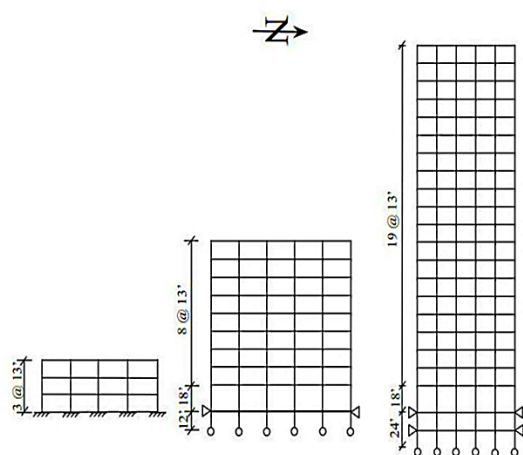
۲-۱- گام اول: انتخاب مدل‌های سازه‌ای

در این تحقیق برای ارزیابی تحلیل احتمالاتی سازه مجهز به میراگر ویسکوز، از سه سازه محک ۳، ۹ و ۲۰ طبقه که توسط Ohtori و همکارانش ارائه شده است، استفاده می‌گردد [۱۴]. در تحقیق حاضر با توجه به اینکه قاب‌های خمشی نقش اصلی را در تحمل بارهای زلزله بازی می‌کنند، قاب‌های پیرامونی

است در نظر گرفته شده‌اند. محل قرار گیری قاب‌های خمشی ویژه پیرامونی با خطوط پر رنگ و قاب‌های ساده ساختمانی با خط چین در پلان‌های زیر نشان داده شده است. پلان و نمای سازه‌های محک به ترتیب در شکل (۲) و (۳) نشان داده شده است. شرح کامل مشخصات سازه‌ها شامل ابعاد، اندازه اعضا، بارگذاری و نوع مصالح استفاده شده در مطالعه انجام شده توسط Ohtori و همکارانش موجود می‌باشد [۱۴].



شکل ۲- پلان سازه‌های محک

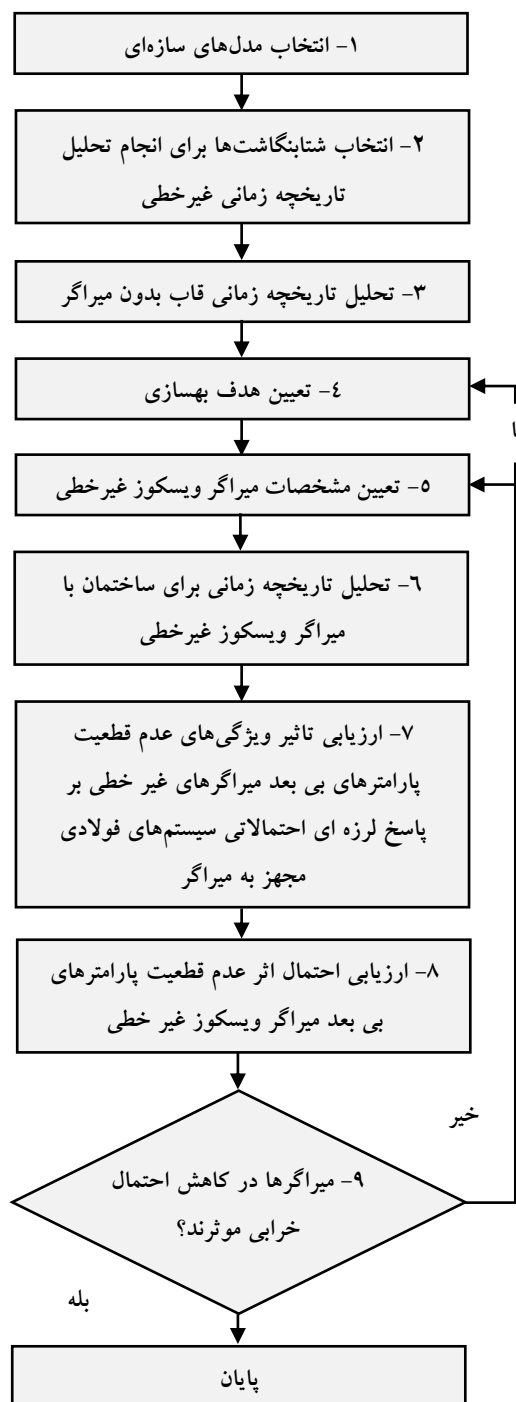


شکل ۳- نمای سازه‌های محک

۲-۲- گام دوم: انتخاب شتابنگاشت‌ها برای انجام تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی

برای انجام تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی از دو شتاب نگاشت حوزه دور السسترو و هاجینوهه با شدت متفاوت ۰/۵، ۱ و ۱/۵ و دو شتاب نگاشت حوزه نزدیک نورث ریچ و کوبه با سطوح شدت ۰/۵ و ۱ (جمعاً ده شتابنگاشت) که توسط Ohtori و همکارانش پیشنهاد شده است، استفاده می‌گردد.

۲-۳- گام سوم: تحلیل تاریخیچه زمانی قاب بدون میراگر
قبل از بهسازی سازه‌های ساختمانی موجود، جهت ارزیابی عملکرد لرزه‌ای کنونی قاب بدون میراگر، نیاز به مدل‌سازی



شکل ۱- روند تحلیل و طراحی پیشنهادی

سازه‌های محک که عمدتاً خمشی هستند در برنامه SAP2000 مدل‌سازی شده‌اند. به استثنای یک دهانه مفصلی در سازه ۳ طبقه و یک سوی دهانه‌ای مفصلی دیگر در سازه ۹ طبقه، این قاب‌ها در تمامی دهانه‌ها خمشی ویژه هستند و با اتصالات گیردار فرض شده‌اند. در سازه‌های ۹ و ۲۰ طبقه تکیه گاه‌های جانبی همان خاک اطراف سازه بوده که تراز پایه را ایجاد کرده است و در مدل‌سازی با قرار دادن قیدی که مانع حرکت در جهت افق

۲-۵- گام پنجم: تعیین مشخصات میراگر ویسکوز غیرخطی

برای قاب‌های برشی انرژی کرنشی برشی طبقه متناسب با $S_j \varphi_{mj}$ خواهد بود، بنابراین ضریب میرایی در هر طبقه از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$C_j = q S_j \varphi_{mj} \quad (1)$$

که در آن q نسبت تناسب و $S_j = \sum_{i=1}^{roof} m_i \varphi_i$ می‌باشد، بنابراین ضریب میرایی کل ساختمان برابر است با:

$$\sum_i C_i = q \sum_i \varphi_{mi} S_i \quad (2)$$

با استفاده از معادله‌های (۱) و (۲) ضریب میرایی در هر طبقه به صورت زیر به دست می‌آید:

$$C_i = \frac{\varphi_{mj} S_j}{\sum_i \varphi_{mi} S_i} \sum_i C_i \quad (3)$$

$$\xi_m = \frac{T_m \sum_j C_j \varphi_{mr,j}^2 f_j^2}{4\pi \sum_i m_i \varphi_{mi}^2} \quad (4)$$

با جایگذاری معادله (۳) در معادله (۴):

$$\xi_m = \frac{T_m \sum_j [\varphi_{mj} S_j (\sum_i C_i) (f_i \varphi_{mi})^2]}{4\pi (\sum_i m_i \varphi_i^2) (\sum_i \varphi_{mi} S_i)} \quad (5)$$

بنابراین برای میرایی کل سازه داریم:

$$\sum_i C_i = \frac{4\pi \xi_m (\sum_i m_i \varphi_i^2) (\sum_i \varphi_{mi} S_i)}{T_m \sum_i [\varphi_{mi} S_i (f_i \varphi_{mi})^2]} \quad (6)$$

با جایگذاری معادله (۶) در معادله (۳) ضریب میرایی در هر طبقه به صورت زیر خواهد بود:

$$C_i = \frac{4\pi \xi_m \varphi_{mj} S_j (\sum_i m_i \varphi_i^2)}{T_m \sum_i [\varphi_{mi} S_i (f_i \varphi_{mi})^2]} \quad (7)$$

با فرض اینکه میراگر ویسکوز غیر خطی در تحریک‌های لرزه‌ای یکسان، عملکردی مشابه با میراگرهای ویسکوز خطی دارد، برای تعیین ضریب میرایی میراگر ویسکوز غیر خطی با استفاده از رویکرد انرژی، فرض می‌کنیم میانگین انرژی مستهلک شده توسط میراگر ویسکوز غیر خطی و خطی در یک سیستم SDOF تحت اثر ارتعاش هارمونیک است یکسان می‌باشد.

اجزای محدود و بررسی رفتار لرزه‌ای سازه با استفاده از برنامه اجزای محدود می‌باشد. به عبارت بهتر پیش شرط انجام هرگونه عملیات بهسازی در ساختمان ارزیابی وضعیت کنونی عملکرد لرزه‌ای سازه می‌باشد. در این گام، ابتدا مفاصل پلاستیک در سازه فولادی ۳، ۹ و ۲۰ طبقه بدون میراگر، در فواصل ابتدایی و انتهایی تیرها و ستون‌های مدل، که با فاصله برابر با پنج درصد طول این المان‌ها می‌باشد، تعریف می‌گردند و سپس سازه را تحت اثر دو شتاب نگاشت حوزه دور السنترو و هاپچنوه با سطوح شدت متفاوت، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ و دو شتابنگاشت حوزه نزدیک نورث ریچ و کوبه با سطوح شدت ۰/۵، ۱ تحلیل غیر خطی می‌کنیم. در شکل‌های (۴) تا (۶) مقدار حداکثر نسبت دریافت بین طبقات حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی برای سازه‌های محک نشان داده شده است.

۲-۴- گام چهارم: تعیین هدف بهسازی

هدف بهسازی (سطح عملکرد سازه پس از بهسازی) بر مبنای فصل مشترک خواسته‌های مالک و ضوابط لرزه‌ای مورد پذیرش آیین‌نامه‌ها تعیین می‌شود. در این تحقیق برای بیان سطوح عملکرد سازه مطابق جدول (۱) از حالات حدی بیان شده توسط FEMA 227 استفاده می‌نماییم. همان گونه که در جدول (۱) مشاهده می‌شود از حداکثر درصد نسبت دریافت طبقه که از پارامترهای موثر پاسخ ساختمان است به عنوان شاخصی جهت تعیین سطح عملکرد سازه استفاده شده است. حالت حدی بهره‌برداری بی‌وقفه به این صورت تعریف می‌شود که حداکثر درصد دریافت طبقه Δ برای کل ساختمان کوچک‌تر از ۰/۷ درصد باشد. برای سطح عملکرد ایمنی جانی به این صورت تعریف می‌شود که $\Delta > ۰/۲$ و برای سطح عملکرد آستانه فرو ریزش $\Delta > ۰/۵$ می‌باشد [۱۳].

جدول ۱- حالات حدی و سطوح عملکرد متناظر

حالت حدی	شرح خرابی	نسبت دریافت حداکثر	سطوح عملکرد
۱	بدون خرابی	$\Delta < ۰/۲$	بهره برداری بی وقفه
۲	خیلی کم	$۰/۲ < \Delta < ۰/۴$	
۳	کم	$۰/۴ < \Delta < ۰/۷$	
۴	متوسط	$۰/۷ < \Delta < ۱/۵$	ایمنی جانی
۵	شدید	$۱/۵ < \Delta < ۲/۵$	
۶	خیلی شدید	$۲/۵ < \Delta < ۵/۰$	آستانه فرو ریزش
۷	تخریب کامل	$۵/۰ < \Delta$	

سازه‌ها استفاده می‌شوند، غالباً در محدوده‌ی ۰/۱۵ تا ۰/۵ می‌باشد و همچنین در صورت استفاده از میراگرهای ویسکوز غیرخطی برای مقابله سازه‌ها در برابر باد معمولاً در محدوده ۰/۵ تا ۱ است. در این پژوهش با توجه به اینکه هدف بهسازی لرزه‌ای می‌باشد، مقدار α برابر ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرد.

۶-۲- گام ششم: انجام تحلیل تاریخیچه زمانی برای ساختمان همراه با میراگر ویسکوز غیرخطی

با توجه به افزودن میراگرهای ویسکوز غیرخطی به سازه، برای انجام یک طراحی عملی نیازمند تحلیل تاریخیچه زمانی برای بررسی رفتار سازه به همراه میراگر ویسکوز غیرخطی هستیم. دو هدف اصلی از انجام تحلیل تاریخیچه زمانی در این مرحله عبارتند از:

- ۱) ارزیابی عملکرد سازه به همراه میراگر ویسکوز غیر خطی و مقایسه آن با هدف بهسازی انتخاب شده در گام چهارم
- ۲) ارزیابی میرایی مهیا شده توسط میراگر ویسکوز غیر خطی و مقایسه آن با میرایی هدف بیان شده در گام پنجم

در صورت عدم ارضا هدف عملکردی سازه، نیاز به تجدید نظر در اجرای گام‌های ۴ و ۵ می‌باشد. با فرض اینکه در هر طبقه از قاب پیرامونی سازه در جهت شمال-جنوب دو میراگر ویسکوز غیر خطی قرار گرفته است و نسبت میرایی هدف ۲۰٪ می‌باشد، ضریب میرایی میراگرهای هر طبقه برای α ها مختلف در جدول (۲) تا (۱۰) ارائه شده است. همچنین نتایج تحلیل تاریخیچه زمانی سازه‌های محک با میراگرها ویسکوز در شکل‌های (۴) تا (۶) نشان داده شده است.

۷-۲- گام هفتم: ارزیابی تاثیر عدم قطعیت پارامترهای بی بعد میراگرهای غیر خطی بر پاسخ لرزه‌ای احتمالاتی

با استفاده از رابطه پیشنهادی، توسط Bommer و همکارانش، ضریب کاهش در پاسخ لرزه‌ای ساختمان $\eta_{\Delta}(\xi)$ از تقسیم حداکثر درصد دریافت طبقه برای حالت بهسازی شده با میراگر ویسکوز بر حداکثر درصد دریافت طبقه برای ساختمان بدون میراگر (با میرایی ذاتی $\xi=0/05$) بدست می‌آید [۱۵]. میانگین حسابی، واریانس و ضریب تغییرات را به ترتیب با استفاده از

$$\frac{1}{u_0} \int_0^{u_0} W_{DN} du = \frac{1}{u_0} \int_0^{u_0} W_{DL} du \quad (8)$$

$$\frac{1}{u_0} \int_0^{u_0} \lambda C_N \left(\frac{2\pi}{T_m} \right)^{\alpha} u^{\alpha+1} du =$$

$$\frac{1}{u_0} \int_0^{u_0} \pi C_N \left(\frac{2\pi}{T_m} \right)^{\alpha} u^2 du$$

که در آن W_{DN} انرژی مستهلک شده توسط میراگر ویسکوز غیر خطی در یک چرخه ارتعاش هارمونیک و W_{DL} انرژی مستهلک شده توسط میراگر ویسکوز خطی در یک چرخه ارتعاش هارمونیک می‌باشد. با یکپارچه سازی معادله (۹) خواهیم داشت:

$$C = \frac{3\lambda C_N \left(\frac{2\pi}{T_m} \right)^{\alpha-1} u_0^{\alpha-1}}{\pi(2+\alpha)} \quad (10)$$

این معادله برای سیستم‌های یک درجه آزادی می‌باشد و برای سیستم‌های چند درجه آزادی با جایگذاری $u_{roof} \phi_{mr,j} f_j$ با u خواهیم داشت:

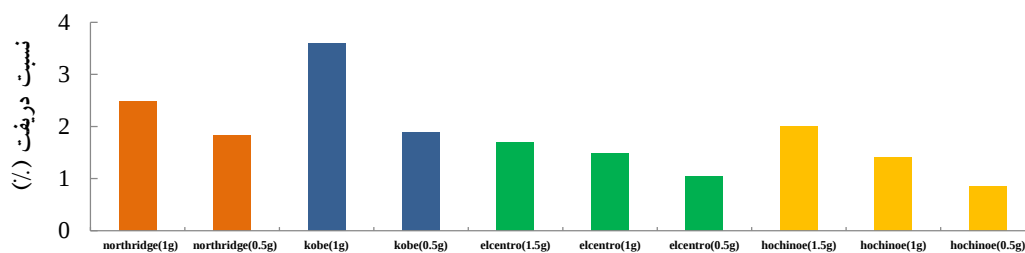
$$C = \frac{3\lambda_j C_{N,j} \left(\frac{2\pi}{T_m} \right)^{\alpha_j-1} (u_{roof} \phi_{mr,j} f_j)^{\alpha_j-1}}{\pi(2+\alpha_j)} \quad (11)$$

بنابراین نسبت میرایی مهیا شده توسط میراگر ویسکوز غیر خطی می‌تواند به صورت زیر با جایگذاری معادله (۱۱) در معادله (۴) به دست آید.

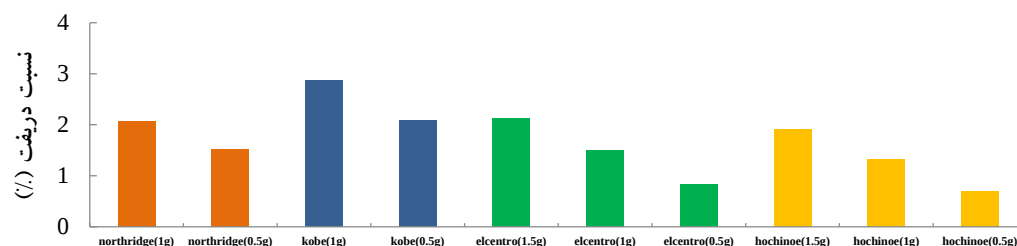
$$\xi_m = \frac{3 \sum_j \lambda_j C_{N,j} \left(\frac{2\pi}{T_m} \right)^{\alpha_j-2} u_{roof}^{\alpha_j+1} \phi_{mr,j}^{\alpha_j+1} f_j^{\alpha_j+1}}{2\pi \sum_i m_i \phi_{mi}^2} ; \quad (12)$$

$$\lambda = 2^{2+\alpha} \frac{\Gamma^2 \left(1 + \frac{\alpha}{2} \right)}{\Gamma(2+\alpha)}$$

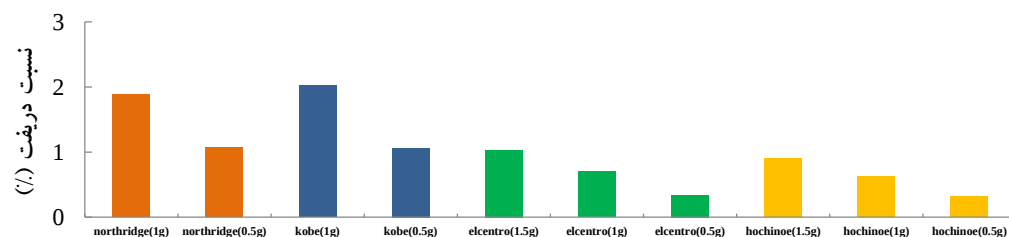
در این معادلات C_j ضریب میرایی برای میراگر ویسکوز خطی زام، T_m پریود ارتعاش مد اول، u_{roof} حداکثر تغییر مکان بام سازه، $\phi_{mr,j}$ تغییر مکان نسبی مودال در مد اول بین دو سر میراگر زام در جهت محور میراگر، f_j برای حالتی که مهاربند به صورت مورب باشد برابر $\cos \theta_j$ که در آن θ_j زاویه بین محور میراگر و راستای افق می‌باشد. m_i جرم کف سطح i ام و ϕ_{mi} تغییر مکان مودال در مد اول برای سطح طبقه i ام می‌باشد. مقدار α برای میراگرهای ویسکوز غیرخطی که در بهسازی لرزه‌ای



شکل ۴- حداکثر نسبت دریفت سازه ۳ طبقه بدون میراگر تحت اثر ده شتابنگاشت



شکل ۵- حداکثر نسبت دریفت سازه ۹ طبقه بدون میراگر تحت اثر ده شتابنگاشت



شکل ۶- حداکثر نسبت دریفت سازه ۲۰ طبقه بدون میراگر تحت اثر ده شتابنگاشت

جدول ۲- پارامترهای طراحی میراگرهای ویسکوز خطی و غیر خطی برای ساختمان ۳ طبقه با شدت توان $\alpha = 0.2$

طبقه	Modal Displacement (ϕ_i)	Modal Drift (ϕ_{mi})	Seismic Mass (mi)	Si	C i (MN.S/m)	ξ_m (%)	α	Cn j (MN.S/m)	Cn d (MN.S/m)
۱	۰/۳۳	۰/۳۳	۹۵۷۰۰۰	۲۲۴۰۱۸۳	۶۵/۹	۰/۲	۰/۲	۲/۵۲	۱/۲۶
۲	۰/۷۷	۰/۴۴	۹۵۷۰۰۰	۱۹۲۸۹۶۶				۳/۷۵	۱/۸۷
۳	۱/۱۵	۰/۳۸	۱۰۴۰۰۰۰	۱۱۹۶۰۰۰				۱/۸۱	۰/۹۱

جدول ۳- پارامترهای طراحی میراگرهای ویسکوز خطی و غیر خطی برای ساختمان ۳ طبقه با شدت توان $\alpha = 0.3$

طبقه	Modal Displacement (ϕ_i)	Modal Drift (ϕ_{mi})	Seismic Mass (mi)	Si	C i (MN.S/m)	ξ_m (%)	α	Cn j (MN.S/m)	Cn d (MN.S/m)
۱	۰/۳۳	۰/۳۳	۹۵۷۰۰۰	۲۲۴۰۱۸۳	۶۵/۹	۰/۲	۰/۳	۳/۹۷	۱/۹۹
۲	۰/۷۷	۰/۴۴	۹۵۷۰۰۰	۱۹۲۸۹۶۶				۵/۷۴	۲/۸۷
۳	۱/۱۵	۰/۳۸	۱۰۴۰۰۰۰	۱۱۹۶۰۰۰				۲/۸۲	۱/۴۱

جدول ۴- پارامترهای طراحی میراگرهای ویسکوز خطی و غیر خطی برای ساختمان ۳ طبقه با شدت توان $\alpha = 0.4$

طبقه	Modal Displacement (ϕ_i)	Modal Drift (ϕ_{mi})	Seismic Mass (mi)	Si	C i (MN.S/m)	ξ_m (%)	α	Cn j (MN.S/m)	Cn d (MN.S/m)
۱	۰/۳۳	۰/۳۳	۹۵۷۰۰۰	۲۲۴۰۱۸۳	۶۵/۹	۰/۲	۰/۴	۶/۲۶	۳/۱۳
۲	۰/۷۷	۰/۴۴	۹۵۷۰۰۰	۱۹۲۸۹۶۶	۶۵/۹	۰/۲	۰/۴	۸/۷۶	۴/۳۸
۳	۱/۱۵	۰/۳۸	۱۰۴۰۰۰۰	۱۱۹۶۰۰۰	۶۵/۹	۰/۲	۰/۴	۴/۳۶	۲/۱۸

جدول ۵- پارامترهای طراحی میراگرهای ویسکوز خطی و غیر خطی برای ساختمان ۹ طبقه با شدت توان $\alpha = 0.2$

طبقه	Modal Displacement (ϕ_i)	Modal Drift (ϕ_{mi})	Seismic Mass (mi)	ξ_m (%)	C j (MN.S/m)	α	Cn j (MN.S/m)	Cn d (MN.S/m)
۱	۰/۱۱۳	۰/۱۱۳	۱۰۱۰۰۰۰	۰/۲	۴۹/۶	۰/۲	۲/۳	۱/۱۷
۲	۰/۱۹۵	۰/۰۸۲	۹۸۹۰۰۰	۰/۲	۳۴/۹	۰/۲	۱/۳۵	۰/۶۷
۳	۰/۲۷۸	۰/۰۸۳	۹۸۹۰۰۰	۰/۲	۳۳/۶	۰/۲	۱/۳۰۸۵۵	۰/۶۵
۴	۰/۳۶۲	۰/۰۸۴	۹۸۹۰۰۰	۰/۲	۳۱/۴	۰/۲	۱/۲۳۴۵۵	۰/۶۲
۵	۰/۴۴۲	۰/۰۸	۹۸۹۰۰۰	۰/۲	۲۶/۶	۰/۲	۱/۰۰۸۴۸	۰/۵
۶	۰/۵۱۶	۰/۰۷۴	۹۸۹۰۰۰	۰/۲	۲۱	۰/۲	۰/۷۴۶۷	۰/۳۷
۷	۰/۵۹	۰/۰۷۴	۹۸۹۰۰۰	۰/۲	۱۶/۷	۰/۲	۰/۵۹۵۲۳۶	۰/۳
۸	۰/۶۶۱	۰/۰۷۱	۹۸۹۰۰۰	۰/۲	۱۱/۴	۰/۲	۰/۳۹۱۸	۰/۲
۹	۰/۷۱۸	۰/۰۵۷	۱۰۷۰۰۰۰	۰/۲	۴/۹	۰/۲	۰/۱۴۲۵	۰/۰۷

جدول ۶- پارامترهای طراحی میراگرهای ویسکوز خطی و غیر خطی برای ساختمان ۹ طبقه با شدت توان $\alpha = 0.3$

طبقه	Modal Displacement (ϕ_i)	Modal Drift (ϕ_{mi})	Seismic Mass (mi)	ξ_m (%)	C j (MN.S/m)	α	Cn j (MN.S/m)	Cn d (MN.S/m)
۱	۰/۱۱۳	۰/۱۱۳	۱۰۱۰۰۰۰	۰/۲	۴۹/۶	۰/۳	۴/۱	۲/۰۵
۲	۰/۱۹۵	۰/۰۸۲	۹۸۹۰۰۰	۰/۲	۳۴/۹	۰/۳	۲/۴۲	۱/۲۱
۳	۰/۲۷۸	۰/۰۸۳	۹۸۹۰۰۰	۰/۲	۳۳/۶	۰/۳	۲/۳۴۲۱	۱/۱۷
۴	۰/۳۶۲	۰/۰۸۴	۹۸۹۰۰۰	۰/۲	۳۱/۴	۰/۳	۲/۲۰۷	۱/۱
۵	۰/۴۴۲	۰/۰۸	۹۸۹۰۰۰	۰/۲	۲۶/۶	۰/۳	۱/۸۱۱۶۸	۰/۹۱
۶	۰/۵۱۶	۰/۰۷۴	۹۸۹۰۰۰	۰/۲	۲۱	۰/۳	۱/۳۵۱۹	۰/۶۸
۷	۰/۵۹	۰/۰۷۴	۹۸۹۰۰۰	۰/۲	۱۶/۷	۰/۳	۱/۰۷۷۶۷۶	۰/۵۴
۸	۰/۶۶۱	۰/۰۷۱	۹۸۹۰۰۰	۰/۲	۱۱/۴	۰/۳	۰/۷۱۲۲	۰/۳۶
۹	۰/۷۱۸	۰/۰۵۷	۱۰۷۰۰۰۰	۰/۲	۴/۹	۰/۳	۰/۲۶۴۹	۰/۱۳

جدول ۷- پارامترهای طراحی میراگرهای ویسکوز خطی و غیر خطی برای ساختمان ۹ طبقه با شدت توان $\alpha = 0.4$

طبقه	Modal Displacement (ϕ_i)	Modal Drift (ϕ_{mi})	Seismic Mass (mi)	ξ_m (%)	C j (MN.S/m)	α	Cn j (MN.S/m)	Cn d (MN.S/m)
۱	۰/۱۱۳	۰/۱۱۳	۱۰۱۰۰۰۰	۰/۲	۴۹/۶	۰/۴	۷/۱	۳/۵۷
۲	۰/۱۹۵	۰/۰۸۲	۹۸۹۰۰۰	۰/۲	۳۴/۹	۰/۴	۴/۳۲	۲/۱۶
۳	۰/۲۷۸	۰/۰۸۳	۹۸۹۰۰۰	۰/۲	۳۳/۶	۰/۴	۴/۱۸۴۰۶	۲/۰۹
۴	۰/۳۶۲	۰/۰۸۴	۹۸۹۰۰۰	۰/۲	۳۱/۴	۰/۴	۳/۹۳۸	۱/۹۷
۵	۰/۴۴۲	۰/۰۸	۹۸۹۰۰۰	۰/۲	۲۶/۶	۰/۴	۳/۲۴۸۴۳	۱/۶۲
۶	۰/۵۱۶	۰/۰۷۴	۹۸۹۰۰۰	۰/۲	۲۱	۰/۴	۲/۴۴۳	۱/۲۲
۷	۰/۵۹	۰/۰۷۴	۹۸۹۰۰۰	۰/۲	۱۶/۷	۰/۴	۱/۹۴۷۴۴۷	۰/۹۷
۸	۰/۶۶۱	۰/۰۷۱	۹۸۹۰۰۰	۰/۲	۱۱/۴	۰/۴	۱/۲۹۲۴	۰/۶۵
۹	۰/۷۱۸	۰/۰۵۷	۱۰۷۰۰۰۰	۰/۲	۴/۹	۰/۴	۰/۴۹۱۳	۰/۲۵



جدول ۸- پارامترهای طراحی میراگرهای ویسکوز خطی و غیر خطی برای ساختمان ۲۰ طبقه با شدت توان $\alpha = 0.2$

طبقه	Modal Displacement (ϕ)	Modal Drift (ϕ_{mi})	Seismic Mass (mi)	ξ_m (%)	C j (kN.S/m)	α	Cn j (kN.S/m)	Cn d (kN.S/m)
۱	۰/۰۵۵	۰/۰۵۵	۵۶۳۰۰۰	۰/۲	۵۱۳۴۱/۴۸	۰/۲	۲۰۲۸/۹	۱۰۱۴/۴
۲	۰/۰۹۷	۰/۰۴۲	۵۵۲۰۰۰		۳۸۹۲۲/۴۷		۱۳۶۴/۹	۶۸۲/۵
۳	۰/۱۳۷	۰/۰۴	۵۵۲۰۰۰		۳۶۶۰۱/۷۳		۱۲۳۴/۴	۶۱۷/۲
۴	۰/۱۷۷	۰/۰۴	۵۵۲۰۰۰		۳۵۹۴۱/۷۵		۱۲۱۲/۱	۶۰۶/۱
۵	۰/۲۱۷	۰/۰۴	۵۵۲۰۰۰		۳۵۰۸۹/۰۷		۱۱۸۳/۴	۵۹۱/۷
۶	۰/۲۵۵	۰/۰۳۸	۵۵۲۰۰۰		۳۲۳۴۱/۵۲		۱۰۴۶/۹	۵۲۳/۴
۷	۰/۲۹۳	۰/۰۳۸	۵۶۳۰۰۰		۳۱۱۷۴/۵		۱۰۰۹/۱	۵۰۴/۵
۸	۰/۳۲۹	۰/۰۳۶	۵۵۲۰۰۰		۲۸۲۳۸/۰۸		۸۷۵/۳	۴۳۷/۷
۹	۰/۳۶۳	۰/۰۳۴	۵۵۲۰۰۰		۲۵۳۲۲/۱۲		۷۴۹/۹	۳۷۴/۹
۱۰	۰/۳۹۵	۰/۰۳۲	۵۵۲۰۰۰		۲۲۴۳۳/۶۱		۶۳۲/۹	۳۱۶/۴
۱۱	۰/۴۲۷	۰/۰۲۳	۵۵۲۰۰۰		۲۰۹۱۱/۳۲		۵۸۹/۹	۲۹۵/۰
۱۲	۰/۴۵۷	۰/۰۳	۵۵۲۰۰۰		۱۸۰۶۱/۵۹		۴۸۳/۹	۲۴۱/۹
۱۳	۰/۴۸۶	۰/۰۲۹	۵۵۲۰۰۰		۱۵۸۶۳/۴۲		۴۱۳/۶	۲۰۶/۸
۱۴	۰/۵۱۳	۰/۰۲۷	۵۵۲۰۰۰		۱۳۱۸۹/۰۴		۳۲۴/۸	۱۶۲/۴
۱۵	۰/۵۳۸	۰/۰۲۵	۵۵۲۰۰۰		۱۰۶۶۷/۵		۲۴۷/۰	۱۲۳/۵
۱۶	۰/۵۶	۰/۰۲۲	۵۵۲۰۰۰		۷۹۶۱/۹۴		۱۶۶/۴	۸۳/۲
۱۷	۰/۵۸	۰/۰۲	۵۵۲۰۰۰		۵۸۸۹/۲۶		۱۱۴/۱	۵۷/۰
۱۸	۰/۵۹۷	۰/۰۱۷	۵۵۲۰۰۰		۳۸۱۸/۳۸		۶۴/۹	۳۲/۵
۱۹	۰/۶۱۱	۰/۰۱۴	۵۵۲۰۰۰		۲۱۳۷/۹۶		۳۱/۱	۱۵/۶
۲۰	۰/۶۲۱	۰/۰۱	۵۸۴۰۰۰		۷۹۱/۲۶		۸/۸	۴/۴

جدول ۹- پارامترهای طراحی میراگرهای ویسکوز خطی و غیر خطی برای ساختمان ۲۰ طبقه با شدت توان $\alpha = 0.3$

طبقه	Modal Displacement (ϕ)	Modal Drift (ϕ_{mi})	Seismic Mass (mi)	ξ_m (%)	C j (kN.S/m)	α	Cn j (kN.S/m)	Cn d (kN.S/m)
۱	۰/۰۵۵	۰/۰۵۵	۵۶۳۰۰۰	۰/۲	۵۱۳۴۱/۴۸	۰/۳	۸۵۹۷/۲	۴۲۹۸/۶
۲	۰/۰۹۷	۰/۰۴۲	۵۵۲۰۰۰		۳۸۹۲۲/۴۷		۵۸۷۰/۷	۲۹۳۵/۳
۳	۰/۱۳۷	۰/۰۴	۵۵۲۰۰۰		۳۶۶۰۱/۷۳		۵۳۳۵/۳	۲۶۶۷/۶
۴	۰/۱۷۷	۰/۰۴	۵۵۲۰۰۰		۳۵۹۴۱/۷۵		۵۲۳۹/۱	۲۶۱۹/۵
۵	۰/۲۱۷	۰/۰۴	۵۵۲۰۰۰		۳۵۰۸۹/۰۷		۵۱۱۴/۸	۲۵۵۷/۴
۶	۰/۲۵۵	۰/۰۳۸	۵۵۲۰۰۰		۳۲۳۴۱/۵۲		۴۵۴۸/۰	۲۲۷۴/۰
۷	۰/۲۹۳	۰/۰۳۸	۵۶۳۰۰۰		۳۱۱۷۴/۵		۴۳۸۳/۹	۲۱۹۱/۹
۸	۰/۳۲۹	۰/۰۳۶	۵۵۲۰۰۰		۲۸۲۳۸/۰۸		۳۸۲۳/۵	۱۹۱۱/۷
۹	۰/۳۶۳	۰/۰۳۴	۵۵۲۰۰۰		۲۵۳۲۲/۱۲		۳۲۹۴/۲	۱۶۴۷/۱
۱۰	۰/۳۹۵	۰/۰۳۲	۵۵۲۰۰۰		۲۲۴۳۳/۶۱		۲۷۹۷/۲	۱۳۹۸/۶
۱۱	۰/۴۲۷	۰/۰۲۳	۵۵۲۰۰۰		۲۰۹۱۱/۳۲		۲۶۰۷/۳	۱۳۰۳/۷
۱۲	۰/۴۵۷	۰/۰۳	۵۵۲۰۰۰		۱۸۰۶۱/۵۹		۲۱۵۲/۶	۱۰۷۶/۳
۱۳	۰/۴۸۶	۰/۰۲۹	۵۵۲۰۰۰		۱۵۸۶۳/۴۲		۱۸۴۶/۲	۹۲۳/۱
۱۴	۰/۵۱۳	۰/۰۲۷	۵۵۲۰۰۰		۱۳۱۸۹/۰۴		۱۴۶۰/۱	۷۳۰/۰
۱۵	۰/۵۳۸	۰/۰۲۵	۵۵۲۰۰۰		۱۰۶۶۷/۵		۱۱۱۹/۰	۵۵۹/۵
۱۶	۰/۵۶	۰/۰۲۲	۵۵۲۰۰۰		۷۹۶۱/۹۴		۷۶۳/۷	۳۸۱/۹
۱۷	۰/۵۸	۰/۰۲	۵۵۲۰۰۰		۵۸۸۹/۲۶		۵۲۸/۴	۲۶۴/۲
۱۸	۰/۵۹۷	۰/۰۱۷	۵۵۲۰۰۰		۳۸۱۸/۳۸		۳۰۵/۸	۱۵۲/۹
۱۹	۰/۶۱۱	۰/۰۱۴	۵۵۲۰۰۰		۲۱۳۷/۹۶		۱۴۹/۵	۷۴/۷
۲۰	۰/۶۲۱	۰/۰۱	۵۸۴۰۰۰		۷۹۱/۲۶		۴۳/۷	۲۱/۹

جدول ۱۰- پارامترهای طراحی میراگرهای ویسکوز خطی و غیر خطی برای ساختمان ۲۰ طبقه با شدت توان $\alpha = 0.4$

طبقه	Modal Displacement (ϕ_i)	Modal Drift (ϕ_{mi})	Seismic Mass (mi)	ξ_m (%)	C j (kN.S/m)	α	Cn j (kN.S/m)	Cn d (kN.S/m)
۱	۰/۰۵۵	۰/۰۵۵	۵۶۳۰۰۰	۰/۲	۵۱۳۴۱/۴۸	۰/۴	۳۶۳۶۰/۸	۱۸۱۸۰/۴
۲	۰/۰۹۷	۰/۰۴۲	۵۵۲۰۰۰	۰/۲	۳۸۹۲۲/۴۷	۰/۴	۲۵۲۰۲/۹	۱۲۶۰۱/۵
۳	۰/۱۳۷	۰/۰۴	۵۵۲۰۰۰	۰/۲	۳۶۶۰۱/۷۳	۰/۴	۲۳۰۱۶/۵	۱۱۵۰۸/۲
۴	۰/۱۷۷	۰/۰۴	۵۵۲۰۰۰	۰/۲	۳۵۹۴۱/۷۵	۰/۴	۲۲۶۰۱/۴	۱۱۳۰۰/۷
۵	۰/۲۱۷	۰/۰۴	۵۵۲۰۰۰	۰/۲	۳۵۰۸۹/۰۷	۰/۴	۲۲۰۶۵/۲	۱۱۰۳۲/۶
۶	۰/۲۵۵	۰/۰۳۸	۵۵۲۰۰۰	۰/۲	۳۲۳۴۱/۵۲	۰/۴	۱۹۷۲۱/۱	۹۸۶۰/۶
۷	۰/۲۹۳	۰/۰۳۸	۵۶۳۰۰۰	۰/۲	۳۱۱۷۴/۵	۰/۴	۱۹۰۰۹/۵	۹۵۰۴/۷
۸	۰/۳۲۹	۰/۰۳۶	۵۵۲۰۰۰	۰/۲	۲۸۲۳۸/۰۸	۰/۴	۱۶۶۶۹/۳	۸۳۳۴/۷
۹	۰/۳۶۳	۰/۰۳۴	۵۵۲۰۰۰	۰/۲	۲۵۳۲۲/۱۲	۰/۴	۱۴۴۴۴/۰	۷۲۲۲/۰
۱۰	۰/۳۹۵	۰/۰۳۲	۵۵۲۰۰۰	۰/۲	۲۲۴۲۳/۶۱	۰/۴	۱۲۳۳۹/۳	۶۱۶۹/۶
۱۱	۰/۴۲۷	۰/۰۲۳	۵۵۲۰۰۰	۰/۲	۲۰۹۱۱/۳۲	۰/۴	۱۱۵۰۲/۰	۵۷۵۱/۰
۱۲	۰/۴۵۷	۰/۰۳	۵۵۲۰۰۰	۰/۲	۱۸۰۶۱/۵۹	۰/۴	۹۵۵۷/۲	۴۷۷۸/۶
۱۳	۰/۴۸۶	۰/۰۲۹	۵۵۲۰۰۰	۰/۲	۱۵۸۶۳/۴۲	۰/۴	۸۲۲۵/۰	۴۱۱۲/۵
۱۴	۰/۵۱۳	۰/۰۲۷	۵۵۲۰۰۰	۰/۲	۱۳۱۸۹/۰۴	۰/۴	۶۵۵۱/۴	۳۲۷۵/۷
۱۵	۰/۵۳۸	۰/۰۲۵	۵۵۲۰۰۰	۰/۲	۱۰۶۶۷/۵	۰/۴	۵۰۵۹/۷	۲۵۲۹/۹
۱۶	۰/۵۶	۰/۰۲۲	۵۵۲۰۰۰	۰/۲	۷۹۶۱/۹۴	۰/۴	۳۴۹۷/۶	۱۷۴۸/۸
۱۷	۰/۵۸	۰/۰۲	۵۵۲۰۰۰	۰/۲	۵۸۸۹/۲۶	۰/۴	۲۴۴۳/۳	۱۲۲۱/۷
۱۸	۰/۵۹۷	۰/۰۱۷	۵۵۲۰۰۰	۰/۲	۳۸۱۸/۳۸	۰/۴	۱۴۳۷/۰	۷۱۸/۵
۱۹	۰/۶۱۱	۰/۰۱۴	۵۵۲۰۰۰	۰/۲	۲۱۳۷/۹۶	۰/۴	۷۱۶/۱	۳۵۸/۱
۲۰	۰/۶۲۱	۰/۰۱	۵۸۴۰۰۰	۰/۲	۷۹۱/۲۶	۰/۴	۲۱۶/۶	۱۰۸/۳

فرمول‌های زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (13)$$

$$s^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 \times \xi_i}{n} \quad (14)$$

$$Cv = \frac{s}{\bar{x}} \quad (15)$$

$$\eta_{\Delta}(\xi) = \frac{\Delta_{max}(\xi_d + \xi)}{\Delta_{max}(\xi = 0.05)} \quad (16)$$

۲-۷-۲- متغیر تصادفی

از آنجا که پارامترهای تصادفی مورد استفاده در این تحقیق از نوع توزیع نرمال پیروی می‌کنند روش تولید متغیر تصادفی توان سرعت میراگر ویسکوز غیر خطی با این نوع توزیع به اختصار توضیح داده می‌شود.

اگر u_i متغیر تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه ، باز [۰،۱] باشد متغیرهای تصادفی نرمال استاندارد Z_i با استفاده از روابط زیر تولید می‌شوند.

$$Z_i = \Phi_{(u_i)}^{-1} = -t + \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t^2 + d_3 t^3}, \quad u_i \leq 0.5$$

$$t = \sqrt{-\ln(u_i^2)} \quad (17)$$

$$\begin{cases} c_0 = 2.515517 \\ c_1 = 0.802853 \\ c_2 = 0.010328 \end{cases} \quad \begin{cases} d_1 = 1.432788 \\ d_2 = 0.189269 \\ d_3 = 0.001308 \end{cases}$$

برای مقادیر $(u_i > 0.5)$ به جای u_i ، $1-u_i$ در روابط فوق قرار داده می‌شود. متغیر تصادفی نرمال با میانگین u_x و انحراف معیار σ_x ، با در نظر گرفتن رابطه (۱۷) به دست می‌آید:

۲-۷-۱- تعیین پاسخ احتمالاتی سازه

در این مطالعه با اعمال عدم قطعیت در ضریب توان سرعت میراگر (α) به بررسی احتمالاتی پاسخ سازه پرداخته می‌شود. برای این منظور با ضرایب پراکندگی ۰/۵، ۰/۱، ۰/۱۵، ۰/۲۰، ۰/۲۵ پاسخ حداکثر نسبت دریافت بین طبقات تعیین شده است. در این گام به معرفی متغیر تصادفی، تابع چگالی احتمال بتا، تابع چگالی احتمال گاما و تابع چگالی نرمال می‌پردازیم.



$$x_i = \mu_x + z_i \sigma_x \quad (18)$$

۲-۷-۳- تابع توزیع بتا

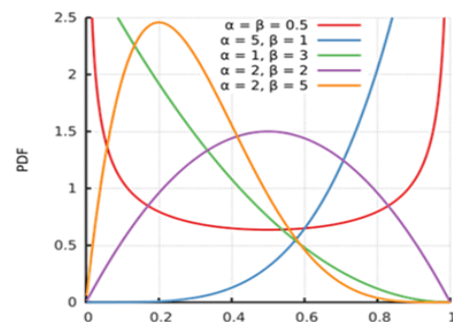
تابع توزیع بتا، یکی از توزیع‌های احتمالی است که روی فاصله ۰ تا ۱ تعریف شده است. پارامترهای این توزیع با α و β به عنوان پارامترهای شکل مشخص می‌شود. در بسیاری از موارد که باید مقدار متغیر تصادفی در فاصله ۰ تا ۱ باشد از توزیع بتا استفاده می‌شود. اگر متغیر تصادفی X دارای توزیع بتا باشد، آن را به صورت زیر نشان می‌دهیم:

$$X \sim \text{Beta}(\alpha, \beta) \quad (19)$$

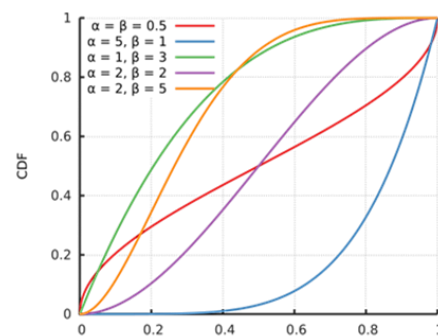
مشخص است که در این حالت پارامترهای این توزیع مثبت بوده و داریم $0 \leq X \leq 1$. شکل تابع چگالی احتمال برای این متغیر تصادفی به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{\Gamma(\alpha + \beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} = \frac{1}{\text{Beta}(\alpha, \beta)} x^{\alpha-1} (1-x)^{\beta-1} \quad (20)$$

تابع چگالی احتمال و تابع توزیع تجمعی این متغیر تصادفی به ترتیب در شکل (۷) و (۸) نمایش داده شده است.



شکل ۷- تابع چگالی احتمال توزیع بتا



شکل ۸- تابع توزیع احتمال توزیع بتا

۲-۷-۴- تابع توزیع گاما

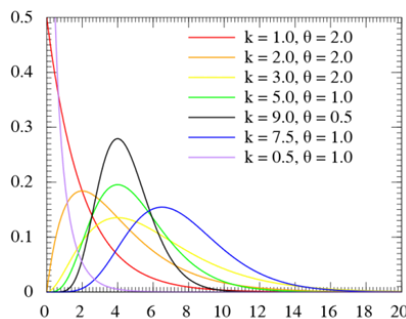
این تابع را می‌توان با پارامترهای شکل و معکوس-مقیاس نشان داد. در این حالت α را پارامتر شکل و β را معکوس-مقیاس می‌نامند. اگر X یک متغیر تصادفی با توزیع گاما باشد می‌نویسند: $X \sim \Gamma(\alpha, \beta)$ ، تابع چگالی احتمال، برای این متغیر تصادفی براساس پارامترهای α و β به صورت زیر است:

$$f(x; \alpha, \beta) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} (1-x)^{-\beta x} \quad (21)$$

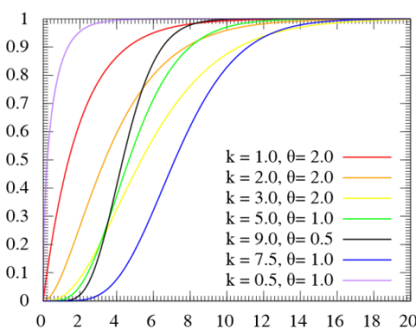
که در آن $X > 0$ و α و β مقدارهایی مثبت و $\Gamma(\alpha)$ نیز مقدار تابع گاما در نقطه α است. با توجه به این تعریف مشخص است که تکیه‌گاه این متغیر تصادفی مقدارهای مثبت خواهد بود. گاهی تابع چگالی این متغیر تصادفی را برحسب پارامترهای شکل (κ) و مقیاس (θ) بیان می‌کنند:

$$f(x; \kappa, \theta) = \frac{1}{\theta^\kappa \Gamma(\kappa)} x^{\kappa-1} e^{-\frac{x}{\theta}} \quad (22)$$

واضح است که در این حالت $\kappa = \alpha$ و $\beta = 1/\theta$ خواهد بود. براساس این تابع چگالی شکل (۹)، نشان دهنده تابع احتمال و شکل (۱۰) تابع تجمعی بر اساس مقدارهای مختلف پارامترهای شکل (κ) و مقیاس (θ) است.



شکل ۹- تابع چگالی احتمال توزیع گاما



شکل ۱۰- تابع توزیع احتمال توزیع گاما

۲-۷-۵- توزیع نرمال یا توزیع گوسی

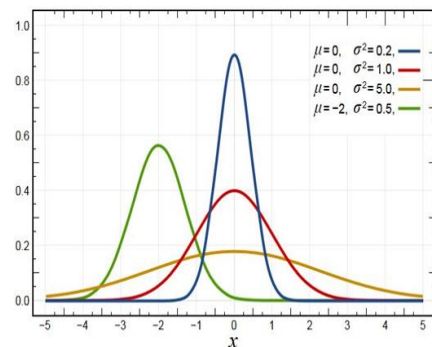
تابع چگالی احتمال برای توزیع نرمال بر حسب امید ریاضی (μ) و واریانس (σ^2) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(x-\mu)^2} \quad (23)$$

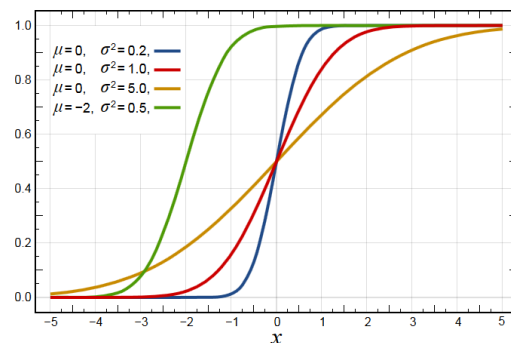
اگر در این رابطه (23) $\mu = 0$ و $\sigma^2 = 1$ باشد، در این صورت به آن تابع توزیع نرمال استاندارد گویند. در این حالت تابع توزیع به صورت زیر خواهد بود:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (24)$$

در شکل (۱۱) و (۱۲)، تابع احتمال و تابع توزیع تجمعی توزیع نرمال براساس مقادیرهای مختلف پارامترهای μ و σ^2 آمده است.



شکل ۱۱- تابع چگالی احتمال توزیع نرمال



شکل ۱۲- تابع توزیع احتمال توزیع نرمال

۲-۸- گام هشتم: نتایج ارزیابی احتمالاتی اثر عدم قطعیت پارامترهای بی بعد (α) میراگر ویسکوز غیرخطی بر ساختمان‌های محک

در این مطالعه با اعمال اثر عدم قطعیت در ضریب شدت توان میراگر ویسکوز غیرخطی ($\alpha = 0/2, 0/3, 0/4$)، به بررسی

احتمالاتی اثر عدم قطعیت شدت توان سرعت میراگر غیر خطی (α) برای تعیین میزان اثر بخشی بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی با میراگر ویسکوز غیر خطی می‌پردازیم. بدین منظور با ضرایب پراکندگی $0/2, 0/5, 0/10, 0/15, 0/20, 0/25$ ، پاسخ احتمالاتی حداکثر نسبت دررفت ساختمان، که به عنوان یک پارامتر موثر در ارزیابی ایمنی سازه پس از وقوع زلزله می‌باشد مورد بررسی قرار می‌گیرد. بر همین اساس در این مطالعه برای تعیین حالات حدی ساختمان از نسبت دررفت بین طبقات به عنوان شاخص خرابی استفاده شده است. در آیین نامه‌های مختلف آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در سطوح مختلف از عدم قطعیت خرابی تا فرو ریختگی کامل با استفاده از شاخص خرابی تعریف می‌شود. در این تحقیق از روش تابع چگالی احتمال بتا، تابع چگالی احتمال گاما، تابع چگالی توزیع نرمال برای بدست آوردن احتمال خرابی و عدم خرابی استفاده می‌شود. تابع چگالی احتمال پاسخ حداکثر نسبت دررفت بین طبقات با ضریب پراکندگی $0/2$ دارای توزیع بتا، ضریب پراکندگی $0/5$ و $0/10$ دارای توزیع گاما و برای $0/15, 0/20, 0/25$ دارای توزیع نرمال می‌باشد.

نتایج حاصل از بررسی احتمالاتی خرابی ساختمان ۳، ۹ و ۲۰ طبقه قبل و بعد از بهسازی با اثر عدم قطعیت شدت توان $0/2, 0/3, 0/4$ ، تحت اثر ده شتابنگاشت در جداول (۱۱) تا (۱۴) نمایش داده شده است.

در شکل‌های (۱۶) تا (۲۷) به عنوان نمونه، تابع توزیع تجمعی نرمال حداکثر درصد نسبت دررفت طبقات سازه‌های محک قبل از بهسازی و پس از بهسازی با شدت توان‌های مختلف تحت اثر شتابنگاشت نورث‌ریچ نمایش داده شده است. در کلیه شکل‌های محور افقی حداکثر درصد نسبت دررفت ساختمان و محور عمودی توزیع تجمعی نرمال می‌باشد.

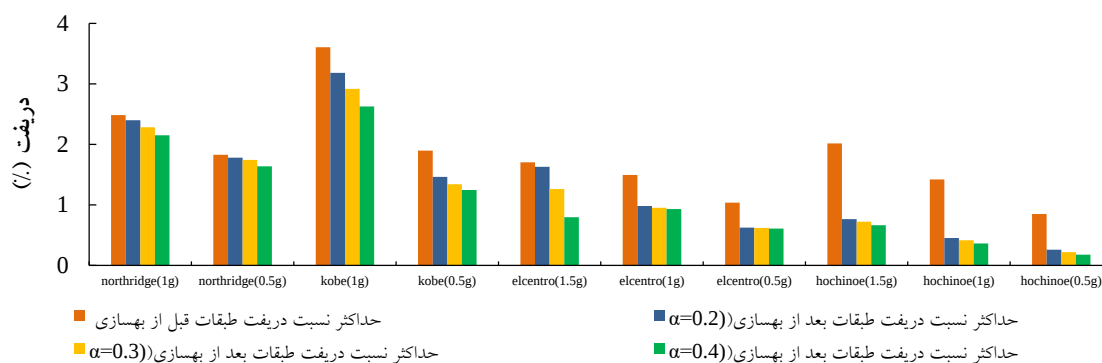
۳- بررسی و بحث بر روی نتایج

نتایج بهسازی لرزه‌ای ساختمان کوتاه مرتبه با میراگر ویسکوز غیر خطی، تحت اثر عدم قطعیت پارامتر بی بعد متفاوت $0/4, 0/3, 0/2, \alpha = 0/2$ که در شکل‌های (۱۳) تا (۱۵) نمایش داده شده است، حاکی از این است که بهسازی ساختمان کوتاه مرتبه تحت اثر عدم قطعیت شدت توان $0/4$ ، به میزان 39% کاهش در تغییرات میانگین حداکثر نسبت دررفت طبقات (میانگین ده رکورد شتابنگاشت)، در مقایسه با اثر عدم قطعیت شدت توان $0/2$ و $0/3$ بر ساختمان کوتاه مرتبه داشته‌ایم. سازه مورد مطالعه تحت شدت توان $0/4$ با رکوردهای الاسترو ($g = 0/5$)، هاچینوه ($g = 1/5$)، هاچینوه ($g = 1/0$) و هاچینوه ($g = 0/5$) در سطح عملکرد

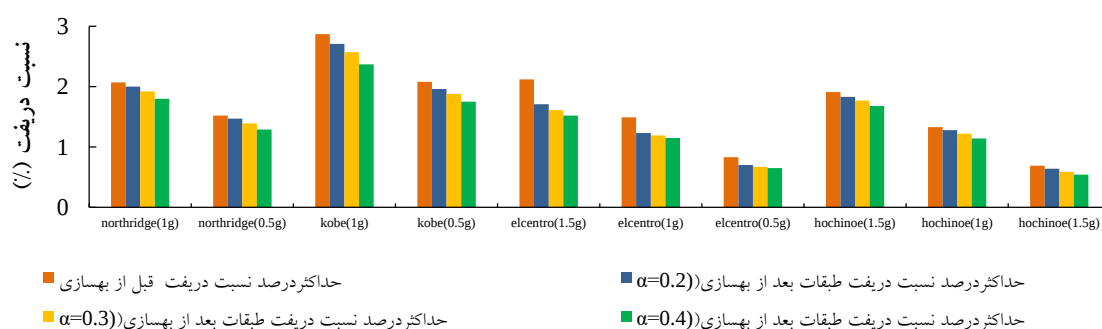


خدمت رسانی بی وقفه رفتار می کند. میانگین احتمال خرابی سازه (میانگین ده شتابنگاشت) با شدت توان $0/4$ به میزان $32/3\%$ کاهش درمقایسه با تغییرات میانگین احتمال خرابی سازه ۳ طبقه با پارامترهای بی بعد شدت توان $0/3$ و $0/2$ داشته ایم. همچنین نتایج بهسازی لرزه ای ساختمان میان مرتبه با میراگر ویسکوز غیر خطی، تحت اثر عدم قطعیت پارامتر بی بعد متفاوت

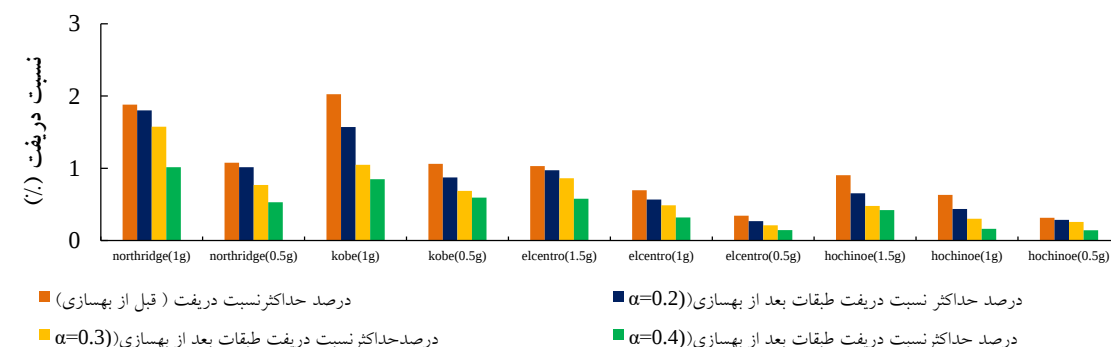
حاکمی از این است که بهسازی ساختمان میان مرتبه تحت اثر عدم قطعیت شدت توان $0/4$ به میزان $18/1\%$ کاهش در تغییرات میانگین حداکثر نسبت دریافت طبقات (میانگین ده رکورد شتابنگاشت)، در مقایسه با اثر عدم قطعیت شدت توان $0/2$ و $0/3$ بر ساختمان میان مرتبه داشته ایم.



شکل ۱۳- حداکثر درصد نسبت دریافت ساختمان ۳ طبقه با میراگر ویسکوز غیر خطی و پارامترهای توان و ضریب میرایی متفاوت



شکل ۱۴- حداکثر درصد نسبت دریافت ساختمان ۹ طبقه با میراگر ویسکوز غیر خطی و پارامترهای توان و ضریب میرایی متفاوت



شکل ۱۵- حداکثر درصد نسبت دریافت ساختمان ۲۰ طبقه با میراگر ویسکوز غیر خطی و پارامترهای توان و ضریب میرایی متفاوت

جدول ۱۱- احتمالات خرابی ساختمان ۳، ۹ و ۲۰ طبقه قبل از بهسازی بر مبنای حداکثر نسبت دریافت طبقات

شتابنگاشت	میانگین احتمال خرابی (μ)			انحراف معیار (S)			ضریب تغییرات ($C.V$)		
	۳ طبقه	۹ طبقه	۲۰ طبقه	۳ طبقه	۹ طبقه	۲۰ طبقه	۳ طبقه	۹ طبقه	۲۰ طبقه
Northridge (۱ g)	٪۱۵/۵۵	٪۱۲/۶۵	٪۱۱/۵۰	۸/۸۹	۷/۹۸	۷/۵۳	۰/۵۷	۰/۶۳	۰/۶۶
Northridge (۰/۵ g)	٪۱۱/۲۰	٪۹/۵۵	٪۷/۵۴	۷/۴۱	۶/۶۸	۵/۶۷	۰/۶۶	۰/۷۰	۰/۷۵
Kobe (۱ g)	٪۲۶/۸۹	٪۱۸/۷۹	٪۱۲/۳۷	۹/۴۳	۹/۵۵	۷/۸۷	۰/۳۵	۰/۵۱	۰/۶۴
Kobe (۰/۵ g)	٪۱۱/۵۹	٪۱۲/۷۳	٪۷/۴۸	۷/۵۷	۸/۰۰	۵/۶۴	۰/۶۵	۰/۶۳	۰/۷۵
Elcentro (۱/۵ g)	٪۱۰/۵۱	٪۱۳/۰۰	٪۷/۳۶	۷/۱۲	۸/۱۰	۵/۵۷	۰/۶۸	۰/۶۲	۰/۷۶
Elcentro (۱ g)	٪۹/۴۱	٪۹/۴۴	٪۶/۱۲	۶/۶۲	۶/۶۳	۴/۸۷	۰/۷۰	۰/۷۰	۰/۸۰
Elcentro (۰/۵ g)	٪۷/۳۸	٪۶/۵۸	٪۵/۰۱	۵/۵۹	۵/۱۴	۴/۱۹	۰/۷۶	۰/۷۸	۰/۸۳
Hochinoe (۱/۵ g)	٪۱۲/۳۲	٪۱۱/۶۷	٪۶/۸۶	۷/۸۵	۷/۶۰	۵/۳	۰/۶۴	۰/۶۵	۰/۷۷
Hochinoe (۱ g)	٪۹/۰۶	٪۸/۶۳	٪۵/۹۰	۶/۴۵	۶/۲۴	۴/۷۴	۰/۷۱	۰/۷۲	۰/۸۰
Hochinoe (۰/۵ g)	٪۶/۶۶	٪۶/۱۰	٪۴/۹۳	۵/۱۸	۴/۸۶	۴/۱۳	۰/۷۸	۰/۸۰	۰/۸۴

جدول ۱۲- میانگین احتمالات خرابی براساس حداکثر نسبت دریافت ساختمان ۳، ۹ و ۲۰ طبقه بعد از بهسازی با شدت توان ۰/۲

شتابنگاشت	میانگین احتمال خرابی (μ)			انحراف معیار (S)			ضریب تغییرات ($C.V$)		
	۳ طبقه	۹ طبقه	۲۰ طبقه	۳ طبقه	۹ طبقه	۲۰ طبقه	۳ طبقه	۹ طبقه	۲۰ طبقه
Northridge (۱ g)	٪۱۴/۹۲	٪۱۲/۲۴	٪۱۱/۰۰	۸/۷۲	۷/۸۲	۷/۳۴	۰/۵۸	۰/۶۴	۰/۶۷
Northridge (۰/۵ g)	٪۱۰/۹۳	٪۹/۲۸	٪۷/۳۰	۷/۳۰	۶/۵۶	۵/۵۴	۰/۶۷	۰/۷۱	۰/۷۶
Kobe (۱ g)	٪۲۱/۸۹	٪۱۷/۳۷	٪۹/۸۰	۹/۷۹	۹/۳۱	۶/۸۰	۰/۴۵	۰/۵۴	۰/۶۹
Kobe (۰/۵ g)	٪۹/۲۷	٪۱۱/۹۷	٪۶/۸۰	۶/۵۵	۷/۷۲	۵/۲۳	۰/۷۱	۰/۶۴	۰/۷۸
Elcentro (۱/۵ g)	٪۱۰/۱۱	٪۱۰/۵۴	٪۷/۱۰	۶/۹۴	۷/۱۳	۵/۴۵	۰/۶۹	۰/۶۸	۰/۷۶
Elcentro (۱ g)	٪۷/۱۷	٪۸/۲۰	٪۵/۷۰	۵/۴۷	۶/۰۲	۴/۶۱	۰/۷۶	۰/۷۳	۰/۸۱
Elcentro (۰/۵ g)	٪۵/۸۸	٪۶/۱۴	٪۴/۸۰	۴/۷۲	۴/۸۸	۴/۰۵	۰/۸۰	۰/۷۹	۰/۸۴
Hochinoe (۱/۵ g)	٪۶/۳۶	٪۱۱/۲۳	٪۶/۰۰	۵/۰۱	۷/۴۲	۴/۷۸	۰/۷۹	۰/۶۶	۰/۸۰
Hochinoe (۱ g)	٪۵/۳۳	٪۸/۴۱	٪۵/۳۰	۴/۳۹	۶/۱۳	۴/۳۶	۰/۸۲	۰/۷۳	۰/۸۲
Hochinoe (۰/۵ g)	٪۴/۷۷	٪۵/۹۲	٪۴/۹۰	۴/۰۹	۴/۷۵	۴/۰۸	۰/۸۴	۰/۸۰	۰/۸۴

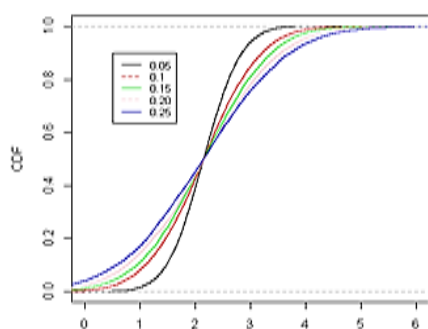
جدول ۱۳- میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات احتمالات خرابی ساختمان ۳، ۹ و ۲۰ طبقه بعد از بهسازی با شدت توان ۰/۳

شتابنگاشت	میانگین احتمال خرابی (μ)			انحراف معیار (S)			ضریب تغییرات ($C.V$)		
	۳ طبقه	۹ طبقه	۲۰ طبقه	۳ طبقه	۹ طبقه	۲۰ طبقه	۳ طبقه	۹ طبقه	۲۰ طبقه
Northridge (۱ g)	٪۱۴/۰۸	٪۱۱/۸۰	٪۹/۸۰	۸/۴۶	۷/۶۳	۶/۸۱	۰/۶۰	۰/۶۵	۰/۶۹
Northridge (۰/۵ g)	٪۱۰/۷۱	٪۸/۹۰	٪۶/۴۰	۷/۲۰	۶/۳۹	۵/۰۲	۰/۶۷	۰/۷۱	۰/۷۹
Kobe (۱ g)	٪۱۹/۲۵	٪۱۶/۲۰	٪۷/۴۰	۹/۶۱	۹/۰۵	۵/۶۱	۰/۵۰	۰/۵۶	۰/۷۶
Kobe (۰/۵ g)	٪۸/۸۶	٪۱۱/۵۰	٪۶/۱۰	۶/۲۷	۷/۵۲	۴/۸۵	۰/۷۲	۰/۶۶	۰/۸۰
Elcentro (۱/۵ g)	٪۸/۳۳	٪۱۰/۰۰	٪۶/۷۰	۶/۰۹	۶/۹۰	۵/۲۱	۰/۶۳	۰/۶۹	۰/۷۸
Elcentro (۱ g)	٪۷/۰۵	٪۸/۰۰	٪۵/۴۰	۵/۴۰	۵/۹۳	۴/۴۶	۰/۷۷	۰/۷۴	۰/۸۲
Elcentro (۰/۵ g)	٪۵/۸۶	٪۶/۰۰	٪۴/۶۰	۴/۷۱	۴/۸۲	۳/۹۳	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۸۵
Hochinoe (۱/۵ g)	٪۷/۲۱	٪۱۰/۹۰	٪۵/۴۰	۴/۹۲	۷/۲۸	۴/۴۴	۰/۷۹	۰/۶۷	۰/۸۲
Hochinoe (۱ g)	٪۵/۲۳	٪۸/۲۰	٪۴/۹۰	۴/۳۲	۶/۰۰	۴/۱۱	۰/۸۳	۰/۷۴	۰/۸۴
Hochinoe (۰/۵ g)	٪۴/۶۷	٪۵/۸۰	٪۴/۷۰	۳/۹۶	۴/۶۵	۴/۰۰	۰/۸۵	۰/۸۱	۰/۸۵

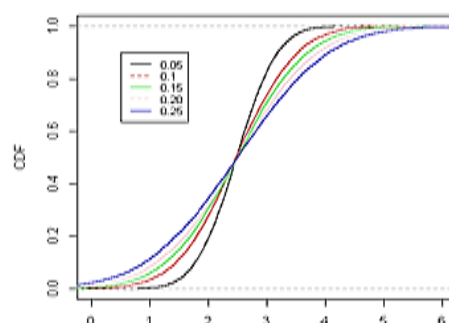


جدول ۱۴- میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات احتمالات خرابی ساختمان ۳، ۹ و ۲۰ طبقه بعد از بهسازی با شدت توان ۰/۴

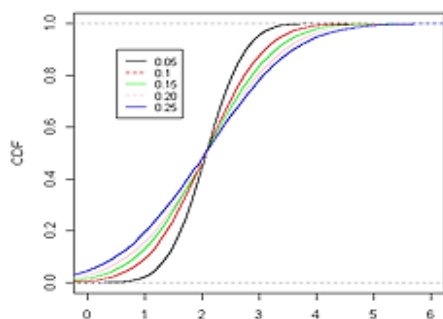
میانگین احتمال خرابی (μ)			انحراف معیار (S)			ضریب تغییرات (C.V)			شناختگاه
طبقه ۳	طبقه ۹	طبقه ۲۰	طبقه ۳	طبقه ۹	طبقه ۲۰	طبقه ۳	طبقه ۹	طبقه ۲۰	
۱۳/۱۹	۱۱/۰۴	۷/۲۹	۸/۱۷	۷/۳۴	۵/۵۴	۰/۶۲	۰/۶۷	۰/۷۶	Northridge (۱ g)
۱۰/۱۵	۸/۴۸	۵/۵۸	۶/۹۶	۶/۱۶	۴/۵۴	۰/۶۹	۰/۷۳	۰/۸۱	Northridge (۰/۵ g)
۱۶/۶۹	۱۴/۷۰	۶/۶۶	۹/۱۶	۸/۶۵	۵/۱۸	۰/۵۵	۰/۵۹	۰/۷۸	Kobe (۱ g)
۸/۲۶	۱۰/۷۴	۵/۷۸	۶/۰۵	۷/۲۲	۴/۶۶	۰/۷۳	۰/۶۷	۰/۸۱	Kobe (۰/۵ g)
۷/۴۶	۹/۵۶	۵/۷۳	۵/۰۷	۶/۶۹	۴/۶۳	۰/۷۸	۰/۷۰	۰/۸۱	Elcentro (۱/۵ g)
۴/۵۵	۵/۵۹	۴/۴۷	۳/۸۹	۴/۵۵	۳/۸۳	۰/۸۵	۰/۸۱	۰/۸۶	Elcentro (۱ g)
۵/۸۳	۵/۹۶	۴/۴۷	۴/۶۹	۴/۷۷	۳/۸۳	۰/۸۱	۰/۸۰	۰/۸۶	Elcentro (۰/۵ g)
۶/۰۱	۱۰/۳۷	۵/۲۴	۴/۸۰	۷/۰۵	۴/۳۳	۰/۸۰	۰/۶۸	۰/۸۳	Hochinoe (۱/۵ g)
۵/۰۷	۷/۸۱	۴/۵۲	۴/۲۲	۵/۸۲	۳/۸۶	۰/۸۳	۰/۷۴	۰/۸۶	Hochinoe (۱ g)
۴/۵۵	۵/۵۹	۴/۴۷	۳/۸۹	۴/۵۵	۳/۸۳	۰/۸۵	۰/۸۱	۰/۸۶	Hochinoe (۰/۵ g)



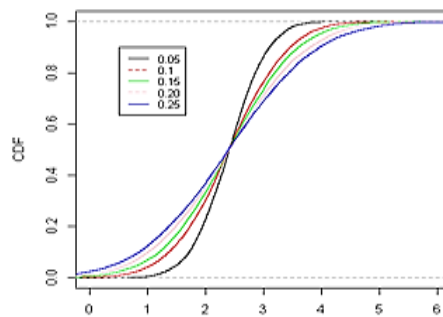
شکل ۱۶- سازه ۳ طبقه قبل از بهسازی



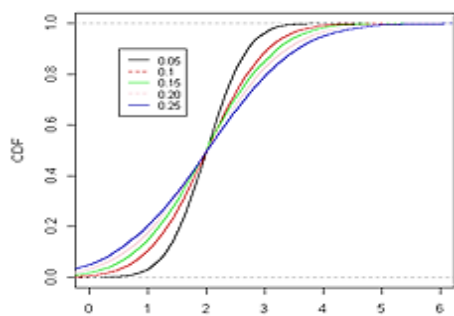
شکل ۱۷- سازه ۳ طبقه با میراگر شدت توان ۰/۲



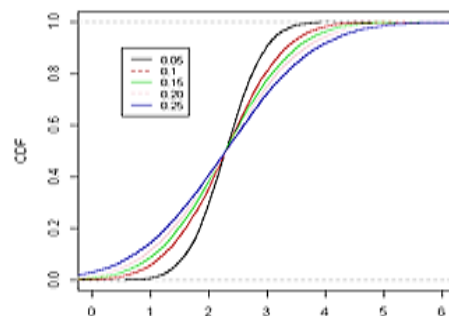
شکل ۱۸- سازه ۳ طبقه با میراگر شدت توان ۰/۳



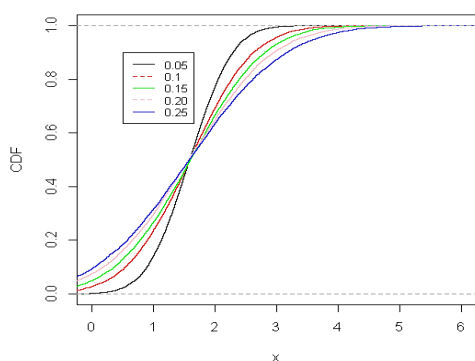
شکل ۱۹- سازه ۹ طبقه قبل از بهسازی



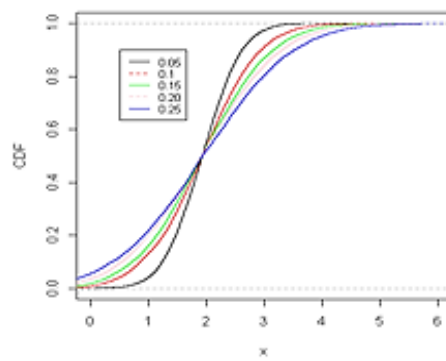
شکل ۲۰- سازه ۹ طبقه با میراگر شدت توان ۰/۲



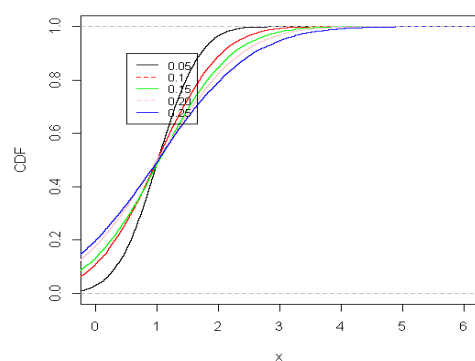
شکل ۲۱- سازه ۹ طبقه با میراگر شدت توان ۰/۲



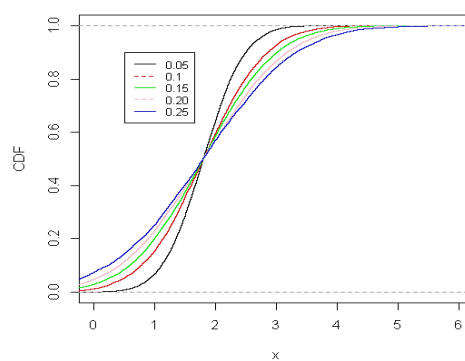
شکل ۲۶- سازه ۲۰ طبقه با میراگر شدت توان ۰/۳



شکل ۲۲- سازه ۹ طبقه با میراگر شدت توان ۰/۳

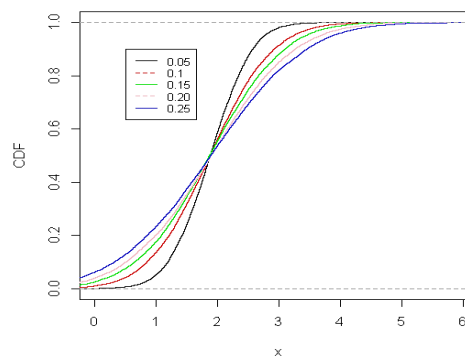


شکل ۲۷- سازه ۲۰ طبقه با میراگر شدت توان ۰/۴

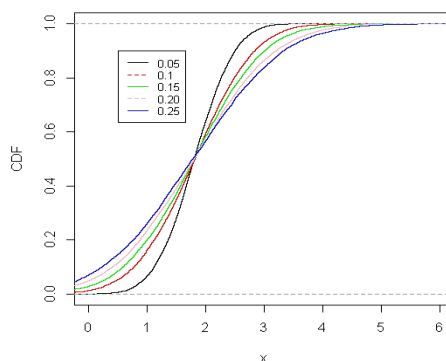


شکل ۲۳- سازه ۹ طبقه با میراگر شدت توان ۰/۴

سازه مورد مطالعه تحت شدت توان ۰/۴، با رکوردهای الاسترو (۰/۵ g)، و هاچینوه (۰/۵ g)، در سطح عملکرد خدمت رسانی بی وقفه رفتار و سازه تحت مابقی رکوردهای شتابنگاشت، در سطح ایمنی جانی با کاهش میانگین حداکثر نسبت دریافت طبقات ۲۰٪، رفتار می‌کند. میانگین احتمال خرابی سازه (میانگین ده رکورد شتابنگاشت) با شدت توان ۰/۴ به میزان ۱۶٪ کاهش در مقایسه با تغییرات میانگین احتمال خرابی سازه ۹ طبقه با پارامترهای بی بعد شدت توان ۰/۳ و $\alpha = 0.2$ داشته‌ایم. همچنین نتایج بهسازی لرزه‌ای ساختمان بلند مرتبه با میراگر ویسکوز غیر خطی، تحت اثر عدم قطعیت پارامترهای بی بعد متفاوت ۰/۴، ۰/۳، $\alpha = 0.2$ حاکی از این است که بهسازی ساختمان بلند مرتبه تحت اثر عدم قطعیت شدت توان ۰/۴ به میزان ۵۳٪ کاهش در تغییرات میانگین حداکثر نسبت دریافت طبقات (میانگین ده رکورد شتابنگاشت)، در مقایسه با اثر عدم قطعیت شدت توان سرعت ۰/۲ و ۰/۳ بر ساختمان بلند مرتبه داشته‌ایم. سازه مورد مطالعه، تحت شدت توان ۰/۴ با رکوردهای کوبه (۰/۵ g)،، نورث ریچ (۰/۵ g)، الاسترو (۱/۵ g)، الاسترو (۱/۰ g)، الاسترو (۰/۵ g)، هاچینوه (۱/۵ g)، هاچینوه (۱/۰ g)، و هاچینوه (۰/۵ g) در سطح عملکرد خدمت رسانی



شکل ۲۴- سازه ۲۰ طبقه قبل از بهسازی



شکل ۲۵- سازه ۲۰ طبقه با میراگر شدت توان ۰/۲



میراگر ویسکوز با شدت توان 0.4 موثرتر بوده اثر بخشی بیشتری از خود نشان داده است.

۵- مراجع

- [1] صادقیان، ع. (۱۳۹۳)، "مقاوم سازی ساختمان های بتنی مسلح با میراگرهای ویسکوز افقی و مهاربند شورون"، پایان نامه، دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی عمران.
- [2] هاشمی، م. (۱۳۹۳)، "کاربرد میراگرهای ویسکوز در ساختمان ها و بهینه یابی مکان آن در ساختمان ها"، پایان نامه، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی.
- [3] بهروش، ع.، ارمغانی، ا.، اکبرلو، و. و بالکانلو، و. (۱۳۹۰)، "ارزیابی تأثیر میراگرهای ویسکوز در عملکرد لرزه ای سازه ها"، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، سمنان.
- [4] Chen, J., Zeng, X. and Peng, Y. (2017), "Probabilistic analysis of wind-induced vibration mitigation of structures by fluid viscous dampers", Journal of Sound and Vibration, Vol. 409, pp.287-305.
- [5] Landi, L., Vorabbi, C., Fabbri, O. and Diotallevi, P.P. (2017), "Simplified probabilistic seismic assessment of RC frames with added viscous dampers", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 97, pp.277-288.
- [6] Barone, G., Navarra, G. and Pirrotta, A. (2008), "Probabilistic response of linear structures equipped with nonlinear damper devices (PIS method)", Probabilistic engineering mechanics, Vol. 23, pp.125-133.
- [7] Peng, Y., Mei, Z. and Li, J. (2014), "Stochastic seismic response analysis and reliability assessment of passively damped structures", Journal of Vibration and Control Vol. 20, pp. 2352-2365.
- [8] Dolšek, M. and Fajfar, P. (2007), "Simplified probabilistic seismic performance assessment of plan-asymmetric buildings", Earthquake engineering & structural dynamics, Vol. 36, pp. 2021-2041.
- [9] Dadpour, O. and Banazadeh, M. (2019), "Probabilistic seismic response models for risk assessment and design of steel moment frames with linear viscous dampers", Earthquake Spectra, Vol. 35, pp. 267-288.
- [10] Dimopoulos, A.I., Tzimas, A.S., Karavasilis, T.L. and Vamvatsikos, D. (2016), "Probabilistic economic seismic loss estimation in steel buildings using post-tensioned moment-resisting frames and viscous dampers", Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Vol. 45, pp.1725-1741.
- [11] Seo, C.Y., Karavasilis, T.L., Ricles, J.M. and Sause, R. (2014), "Seismic performance and probabilistic collapse resistance assessment of steel moment resisting frames with fluid viscous dampers", Earthquake engineering & structural dynamics, Vol. 43, pp.2135-2154.
- [12] Tubaldi, E., Ragni, L. and Dall'Asta, A. (2015), "Probabilistic seismic response assessment of linear systems equipped with nonlinear viscous dampers", Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Vol. 44, pp.101-120.
- [13] Bahmani, M. and Zahrai, S.M. (2019), "Application of a comprehensive seismic retrofit procedure for steel buildings using nonlinear viscous dampers", International Journal of Civil Engineering, Vol. 17, pp.1261-1279.

بی وقفه و سازه تحت رکورد های نورث ریچ ($1/0$ g)، و کوبه ($1/0$ g)، با کاهش میانگین حداکثر نسبت دریافت طبقات 47% بوده و در سطح عملکرد ایمنی جانی رفتار می کند. میانگین احتمال خرابی سازه بلند مرتبه (میانگین ده شتابنگاشت) با شدت توان 0.4 به میزان 37% کاهش در مقایسه با تغییرات میانگین احتمال خرابی سازه 20 طبقه با پارامترهای بی بعد شدت توان 0.3 و 0.2 داشته ایم.

نتایج این مطالعه حاکی از این است که با افزایش شدت توان سرعت میراگر ویسکوز غیر خطی از 0.2 به 0.4 و با فرض ثابت بودن نسبت میرایی (ξ) مقادیر ضریب میرایی غیر خطی و نیروی میراگر (نیروی مستهلک کننده شتاب زلزله به سازه) افزایش یافته است، بطوری که میزان نیروی میراگر، برای سازه های بلند مرتبه چندین برابر سازه های کوتاه و میان مرتبه می باشد. همچنین طبقات پایین ساختمان به دلیل انرژی کرنشی بیشتر، ضریب میرایی بزرگتری به خود اختصاص داده اند. با مقایسه نتایج حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی سازه بهسازی شده برای ساختمان های 3 ، 9 و 20 طبقه می توان دریافت که روند طراحی پیشنهادی در سازه های بلند مرتبه برای شدت توان 0.4 از عملکرد مناسبتری برخوردار است.

۴- نتیجه گیری

خسارت ناشی از زلزله های به وقوع پیوسته در سال های اخیر نیاز به طراحی بر مبنای عملکرد و بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود را آشکار می سازد یکی از روش های موثر در بهسازی لرزه ای سازه ها استفاده از میراگرهای ویسکوز غیر خطی می باشد. در این تحقیق جهت بررسی اثربخشی استفاده از میراگرهای ویسکوز در بهسازی لرزه ای سازه های فولادی برای مهندسين طراح حرفه ای به ارایه یک روند طراحی جامع جهت بهسازی لرزه ای سازه ها با استفاده از تحلیل غیر ابعادی برای شناسایی مجموعه حداقلی از پارامتر عدم قطعیت شدت توان سرعت میراگر ویسکوز غیر خطی پرداخته ایم. آنگاه به کنترل پاسخ لرزه ای و ارزیابی احتمالاتی خرابی سازه ها با مدل تابع چگالی بتا، گاما و توزیع نرمال با ضریب پراکندگی متفاوت برای توصیف رفتار غیر خطی به ارزیابی قابلیت اطمینان سازه 3 ، 9 و 20 پرداختیم. نتایج حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی سازه بهسازی شده حاکی از آن است که بهسازی لرزه ای در همه ساختمان ها محک منجر به بهبود عملکرد لرزه ای با شدت توان سرعت میراگر 0.2 ، 0.3 و 0.4 شده است ولی روند طراحی در بهبود عملکرد و کاهش احتمال خرابی در سازه بهسازی شده با



- [14] Ohtori, Y., Christenson, R.E., Spencer Jr, B.F. and Dyke, S.J. (2004), "Benchmark control problems for seismically excited nonlinear buildings", *Journal of engineering mechanics*, Vol. 130, pp. 366-385.
- [15] Bommer, J.J., Elnashai, A.S. and Weir, A.G. (2000), "Compatible acceleration and displacement spectra for seismic design codes", In *Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering*, Vol. 8.

پی نوشت

¹ Federal Emergency Management Agency

² Incremental dynamic analysis

