

چکیده

مقدار تغییر مکان‌های پسماند مهم‌ترین عامل تصمیم‌گیری در مورد ایمنی و اقتصادی بودن بهسازی سازه‌ها یا ساخت دوباره آنها بعد از زلزله است. در این مطالعه اثرات استفاده از میراگرهای ویسکوز خطی و غیرخطی و نحوه توزیع ضرایب میرایی متناظر با آنها بر روی پاسخ دررفت پسماند سازه‌های با سیستم قاب خمشی ویژه مجزئ شده به میراگرهای ویسکوز مورد بررسی قرار گرفت. بر این اساس، مقادیر ظرفیت متناظر با سطوح مختلف دررفت پسماند بین طبقه‌های سازه‌ها با استفاده از تحلیل‌های دینامیکی افزاینده (IDA) محاسبه شد. پس از آن، مقادیر میانگین فراوانی سالیانه عبور از حدود مختلف دررفت پسماند (λ_{RD}) محاسبه شد. نتایج به دست آمده نشان داد که مقادیر λ_{RD} برای سازه‌های با میراگرهای ویسکوز خطی بین ۶/۸۷ تا ۸۰/۲۴ درصد کمتر از مقادیر λ_{RD} برای سازه‌های با میراگرهای ویسکوز غیرخطی متناظر با آنهاست. همچنین بررسی‌های انجام شده بر روی اثر نحوه توزیع ضرایب میرایی در ارتفاع نشان داد که با وجود طبقه نرم در سازه، عملکرد سازه‌های دارای توزیع ضرایب میرایی در ارتفاع متناسب با دررفت بین طبقه‌های متناظر با شکل مود اول سازه (IDPD) نسبت به سازه‌های دارای توزیع ضرایب میرایی به صورت یکنواخت از لحاظ کمتر بودن مقدار λ_{RD} بهتر است.

واژگان کلیدی: میراگر ویسکوز، حداکثر نسبت دررفت پسماند بین طبقه‌ای، تحلیل دینامیکی افزاینده، توزیع ضرایب میرایی در ارتفاع.

ارزیابی احتمالاتی دررفت پسماند در سازه‌های خمشی فولادی با میراگرهای ویسکوز خطی و غیرخطی

علی یحیی‌زاده

کارشناس ارشد مهندسی زلزله، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

منصور یخچالیان (نویسنده مسئول)

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران،
 yakhchalian@eng.ikiu.ac.ir

۱- مقدمه

پسماند و توزیع آنها در ارتفاع در سازه‌های خمشی فولادی انجام دادند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که تقاضای تغییر مکان پسماند به شدت به سختی بعد از تسلیم و سختی باربرداری وابسته است. بویورکوئز و روئیز گارسیا [۳] تقاضای تغییر مکان پسماند در قاب‌های خمشی فولادی تحت زلزله‌های با باند باریک را مورد بررسی قرار دادند و متوجه شدند که سازه‌های فولادی که فقط برای دررفت حداکثر طراحی می‌شوند، وقتی در معرض زلزله‌ها با باند باریک قرار می‌گیرند تغییر مکان‌های دائمی بزرگی را متحمل می‌شوند و بهتر است تخریب شده و دوباره از نو ساخته شوند. در سال‌های اخیر، استفاده از سیستم‌های میرایی تکمیلی برای دستیابی به سطوح عملکرد بالاتر در طراحی سازه‌های جدید و نیز بهسازی سازه‌های موجود بسیار گسترش یافته است [۴].

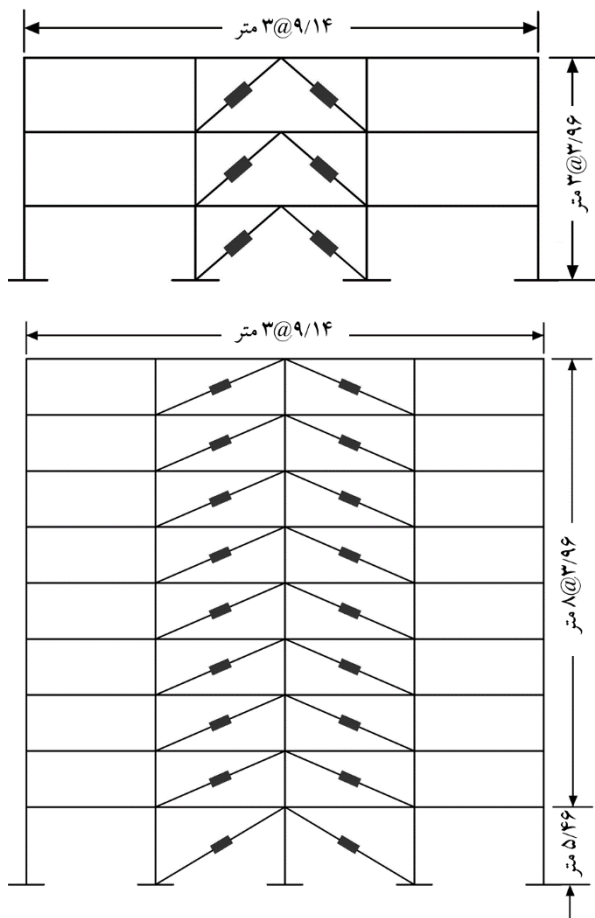
در گذشته وقوع زلزله‌های شدید منجر به خسارات جبران‌ناپذیر مالی و جانی شده است. بررسی مطالعات انجام شده در زمینه پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها نشان می‌دهد که در اکثر این مطالعات حداکثر تغییر مکان‌های ایجاد شده در سازه مورد توجه قرار گرفته است. با این وجود کنترل تغییر مکان‌های پسماند برای بررسی وضعیت و عملکرد ساختمان‌ها بعد از زلزله بسیار مهم است، زیرا تصمیم‌گیری در مورد تعمیر ساختمان یا ساخت دوباره آن بر این اساس انجام می‌شود. به عنوان نمونه، در شهر مکزیکوسیتی چندین و چند ساختمان بتنی که در اثر زلزله میچوکان (۱۹۸۵) آسیب دیده بودند، به دلیل تغییر شکل‌های پسماند به شدت زیادی که داشتند تخریب شدند [۱]. روئیز گارسیا و میراندا [۲] مطالعه‌ای بر روی مقادیر دررفت

از موارد مهم در استفاده از رویکرد PEER PBEE انتخاب پارامتر تقاضای مهندسی مناسب است. این پارامتر یکی از مهم ترین عوامل در ارزیابی خسارت های ناشی از زلزله می باشد. پارامتر تقاضای مهندسی می تواند شامل پاسخ هایی مانند نیرو، شتاب طبقه، دررفت بین طبقه ای و یا دررفت پسماند بین طبقه ای باشد. دالاسا و همکاران [۱۲] تأثیر رفتار غیرخطی میراگرهای ویسکوز بر عملکرد اجزای سازه ای و غیر سازه ای را مورد بررسی قرار دادند. آنها نشان دادند که میانگین های فراوانی سالیانه عبور از مقادیر مختلف تقاضای دررفت بین طبقه ای به ازای مقادیر پایین تر دررفت بین طبقه ای برای سازه های با میراگر ویسکوز غیرخطی کمتر از مقادیر متناظر برای سازه های با میراگرهای ویسکوز خطی است. درحالی که به ازای مقادیر بالاتر دررفت بین طبقه ای این روند معکوس می شود. دررفت پسماند بین طبقه ای یکی از این پارامترهای تقاضای مهندسی است که در سال های اخیر مورد توجه محققان قرار گرفته است. کیتایاما و کنستانتینو [۱۳] دررفت پسماند بین طبقه ای سازه های مجهز شده به میراگرهای سیال مرکز گرا را به صورت احتمالاتی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که مهم ترین عاملی که بر منحنی شکنندگی دررفت پسماند تأثیر می گذارد، افزایش ظرفیت نهایی سیستم میراگر سیال مرکز گرا و افزایش مقاومت سازه می باشد.

اگرچه تعدادی از محققان مطالعاتی را در زمینه محاسبه میانگین سالیانه عبور از حدود مختلف دررفت پسماند انجام داده اند [۲-۳]، ولی چنین مطالعاتی بر روی سازه های مجهز شده به میراگرهای ویسکوز بسیار کم و اندک می باشد. هدف از این مطالعه بررسی اثرات استفاده از میراگرهای ویسکوز خطی و غیرخطی و نحوه توزیع ضرایب میرایی متناظر با آنها بر روی پاسخ دررفت پسماند سازه های فولادی با سیستم قاب خمشی ویژه مجهز شده به میراگرهای ویسکوز می باشد. برای محاسبه مقادیر نسبت میرایی ویسکوز تکمیلی سازه ها از روش پیشنهاد شده توسط لندی و همکاران [۱۴] استفاده شده است. به علاوه، برای این منظور دو نوع توزیع ضرایب میرایی در ارتفاع (توزیع ضرایب میرایی به طور یکنواخت (UD)^۱ و توزیع ضرایب میرایی بر اساس دررفت بین

از میان سیستم های میرایی تکمیلی، میراگرهای ویسکوز (FVDs)^۱ که شامل میراگرهای ویسکوز خطی و غیرخطی می شوند، بیشتر مورد توجه قرار گرفته اند [۵]. از جمله مزایای مهم میراگرهای ویسکوز که موجب شده است استفاده از آنها محبوبیت بیشتری نسبت به سایر میراگرها پیدا کند، روند طراحی نسبتاً ساده آنهاست [۶]. بهناسی و لاوان [۷] عملکرد لرزه ای میراگرهای ویسکوز خطی و غیرخطی را از نقطه نظر لرزه ای مورد مطالعه قرار دادند، نتایج مطالعه آنها نشان داد که در تمامی موارد با کاهش توان سرعت میراگر (α)، دررفت پسماند افزایش می یابد و همچنین با کاهش مقدار α نیروی موجود در میراگر کاهش می یابد.

مهندسی زلزله بر اساس عملکرد (PBEE)^۲ یک رویکرد جدید در مهندسی زلزله است که توانایی ارزیابی لرزه ای سازه های موجود و طراحی سازه های جدید را دارد. پس از زلزله ۱۹۹۴ نورتریج^۳ که منجر به زیان های اقتصادی بزرگی شد، توسعه رویکرد PBEE آغاز گردید. طی دهه های گذشته محققان مرکز تحقیقات مهندسی زلزله اقیانوس آرام (PEER)^۴ رویکرد PBEE را توسعه داده اند [۸-۱۱]. این رویکرد توسعه یافته، PEER PBEE نامیده می شود. هدف این رویکرد کمی سازی عملکرد و ریسک لرزه ای سازه ها با استفاده از معیارهای ملموس و قابل درک برای مهندسان و مالکان است. این رویکرد شامل چهار مرحله می باشد که عبارتند از: (الف) تحلیل خطر لرزه ای، (ب) تحلیل پاسخ سازه، (پ) برآورد خسارت ایجاد شده در سازه و (ت) برآورد هزینه های ناشی از خسارت ها. نتیجه هر یک از این مراحل به وسیله یک متغیر واسطه بیان می شود. این متغیرها عبارتند از: (الف) سنجح شدت (IM)^۵، (ب) پارامتر تقاضای مهندسی (EDP)^۶، (پ) سنجح خسارت (DM)^۷ و (ت) متغیر تصمیم گیری (DV)^۸. تحلیل خطر لرزه ای و تحلیل پاسخ سازه دو قسمت مهم از این رویکرد هستند. از تحلیل خطر لرزه ای منحنی خطر ساختگاه و از تحلیل پاسخ سازه منحنی شکنندگی سازه مورد نظر به دست می آید. از ترکیب منحنی های خطر و شکنندگی، میانگین فراوانی سالیانه عبور (MAF)^۹ از حدود مختلف پاسخ سازه محاسبه می شود. یکی



شکل (۱): مشخصات هندسه سازه‌های اصلی و محل قرار گرفتن میراگرهای ویسکوز در سازه‌ها.

به میراگرهای ویسکوز با توان‌های سرعت میراگر (α) برابر با ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ مجهز شده‌اند.

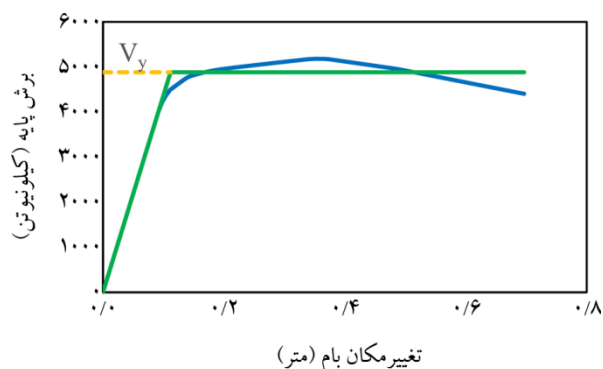
به منظور مدل‌سازی سازه و انجام تحلیل‌های مورد نظر از نرم‌افزار اپنسیس [۱۸] استفاده شده است. رفتار غیرخطی در ستون‌ها به صورت پلاستیسیته گسترده و با استفاده از المان تیر-ستون با فرمولاسیون نیرویی مدل‌سازی شده است تا اندرکنش نیروی محوری و لنگر خمشی در ستون‌ها در نظر گرفته شود. پنج مقطع انتگرال‌گیری در طول المان تیر-ستون در نظر گرفته شده است. در هر یک از این مقاطع انتگرال‌گیری، فایرها دارای منحنی تنش- کرنشی با رفتار دو خطی (مدل‌سازی شده با مصالح Steel02)، مدول الاستیسیته $E=200$ GPa و نسبت سخت‌شوندگی کرنشی^{۱۴} کوچک ۰/۰۰۲ می‌باشد؛ بنابراین، زوال سختی و مقاومت در ستون‌ها در نظر گرفته نشده است. لازم به ذکر است که مقدار

طبقه‌ای متناظر با شکل مود اول (IDPD)^{۱۱} برای سازه‌های فولادی مجهز شده به میراگرهای ویسکوز مدنظر قرار گرفته است. سپس مقادیر ظرفیت سازه‌های فولادی مجهز شده به میراگرهای ویسکوز خطی و غیرخطی متناظر با عبور از سطوح مختلف دررفت پسماند محاسبه شده و منحنی‌های شکنندگی متناظر با آنها ترسیم شده است. با داشتن منحنی‌های خطر ساختگاه و شکنندگی دررفت پسماند، مقادیر میانگین فراوانی سالیانه عبور از حدود مختلف دررفت پسماند (λ_{RD}) برای سازه‌های در نظر گرفته شده محاسبه شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که عملکرد سازه‌های با میراگرهای ویسکوز خطی بهتر از عملکرد سازه‌های با میراگرهای ویسکوز غیرخطی است.

۲- سازه‌های در نظر گرفته شده

سازه‌های استفاده شده در این مطالعه، شامل دو ساختمان اصلی ۳ و ۹ طبقه با سیستم قاب خمشی ویژه می‌باشد که بر اساس ضوابط طراحی لرزه‌ای پس از زلزله نورثریج و برای شهر لس‌آنجلس طراحی شده و دارای پلان منظم و سیستم باربر جانبی قاب‌های خمشی محیطی می‌باشد. این سازه‌ها، ساختمان‌های مینا در مطالعات پروژه سک^{۱۲} [۱۵] است. جزئیات کامل مربوط به سازه‌های ۳ و ۹ طبقه در گزارش FEMA-355C [۱۶] آورده شده است. در این مطالعه برای مجهز کردن سازه‌ها به میراگرهای ویسکوز و همچنین ارزیابی ریسک دررفت پسماند سازه‌ها ساختگاهی در شهر لس‌آنجلس با طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ۱۱۸/۱۶۲ درجه غربی و ۳۳/۹۹۶ درجه شمالی با خاک نوع D استاندارد ASCE 7-10 [۱۷] که پارامترهای طیف $MCE_R^{۱۳}$ آن برابر با $SM_S = 2.167$ g و $SM_I = 1.124$ g می‌باشد، برای سازه‌های مورد نظر فرض شده است. به منظور بررسی عملکرد سازه‌های با طبقه نرم، با اعمال تغییراتی بر روی سازه سه طبقه، سازه جدیدی ایجاد شد. به عبارت دیگر در سازه سه طبقه، ارتفاع طبقه اول با ضریب ۱/۴ افزایش یافت و سازه 3-Story-h1-1.4 ساخته شد. شکل (۱) مشخصات هندسه سازه‌های اصلی و محل قرار گرفتن میراگرهای ویسکوز در سازه‌ها را نشان می‌دهد. این سازه‌ها

برش پایه- تغییر مکان به یک منحنی الاستوپلاستیک ایده آل مقدار برش پایه تسلیم محاسبه می شود. به منظور محاسبه منحنی برش پایه- تغییر مکان ایده آل از روش ارائه شده در آیین نامه ایتالیا [۲۳] استفاده شده است که استفاده از آن توسط لندی و همکاران [۱۴] توصیه شده است. به علاوه، سطح عملکرد هدف در نظر گرفته شده برای تجهیز سازه‌ها به میراگرهای ویسکوز رسیدن سازه به حداکثر نسبت دررفت بین طبقه‌های ۰/۱۵ در زلزله طرح استاندارد ASCE 7-10 [۱۷] می باشد؛ بنابراین، پس از به دست آوردن منحنی‌های برش پایه- تغییر مکان سازه‌های مورد نظر، مقدار تغییر مکان هدف بام متناظر با رسیدن دررفت یکی از طبقات به نسبت دررفت هدف فوق به دست می آید. لازم به ذکر است طبقه‌ای که زودتر به نسبت دررفت هدف ۰/۱۵ می رسد مبنای تعیین تغییر مکان هدف بام می باشد. شکل (۲) منحنی برش پایه- تغییر مکان و منحنی دو خطی الاستوپلاستیک ایده آل متناظر با آن را برای سازه ۳ طبقه نشان می دهد.



شکل (۲): منحنی برش پایه- تغییر مکان و منحنی دوخطی الاستوپلاستیک ایده آل متناظر با آن برای سازه ۳ طبقه.

روش به کار گرفته شده برای محاسبه ضرایب میرایی ویسکوز تکمیلی بر اساس استفاده از طیف طرح و طیف ظرفیت در مختصات ADRS استوار است. به طور کلی نسبت میرایی مؤثر سازه‌های مجهز شده به سیستم میراگرهای غیرفعال از رابطه (۱) به دست می آید:

$$\xi_{eff} = \xi_i + \xi_h + \xi_v \quad (1)$$

که در آن ξ_i نسبت میرایی ویسکوز ذاتی، ξ_h نسبت میرایی ویسکوز معادل با رفتار هیستریتیک و ξ_v نسبت میرایی ویسکوز

نسبت سخت شوندگی کرنشی ۰/۰۰۲ در بسیاری از مطالعات مانند سئو و همکاران [۱۹] و کیتایاما و کنستانینو [۱۳] استفاده شده است. برای مدل سازی رفتار غیرخطی تیرها از روش پلاستیسیته متمرکز [۲۰-۲۱] استفاده شده و هر تیر با استفاده از یک المان تیر- ستون الاستیک و دو فنر دورانی غیرخطی در ابتدا و انتهای آن شبیه سازی شده است. برای مدل سازی رفتار غیرخطی فنرهای دورانی، مدل اصلاح شده ایبارا-کراوینکلر [۲۲] مورد استفاده قرار گرفته است. اثرات مرتبه دوم (P-delta) مربوط به ستون‌های ثقلی، با استفاده از یک ستون تکیه گاهی^{۱۵} که در کنار قاب قرار گرفته است، در نظر گرفته شده است. ستون تکیه گاهی، با استفاده از المان‌های تیر- ستون با ممان اینرسی و سطح مقطع بزرگ (صد برابر ممان اینرسی و سطح مقطع بزرگ ترین ستون ثقلی) شبیه سازی شده است که به وسیله فنرهای دورانی با سختی بسیار کم به گره‌هایی در تراز طبقات متصل شده‌اند. زمان تناوب‌های مودهای اول تا سوم سازه‌ها در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱): مقادیر زمان تناوب‌های مودهای اول تا سوم سازه‌ها.

سازه	با در نظر گرفتن اثر P-delta (ثانیه)		
	مود سوم	مود دوم	مود اول
3-Story	۰/۱۴	۰/۳۰	۰/۹۵
3-Story-h ₁ -1.4	۰/۱۵	۰/۳۶	۱/۲
9-Story	۰/۴۴	۰/۷۸	۲/۰۸

۳- مجهز کردن سازه‌ها به میراگرهای ویسکوز

در این مطالعه، برای به دست آوردن مقادیر نسبت میرایی ویسکوز تکمیلی سازه‌ها از روش ارائه شده توسط لندی و همکاران [۱۴] استفاده شده است. برای استفاده از این روش، نیاز به محاسبه برش پایه تسلیم (V_y) و تغییر مکان بام متناظر با سطح عملکرد در نظر گرفته شده برای سازه می باشد. برای محاسبه برش پایه تسلیم سازه‌های مورد مطالعه، لازم است که منحنی برش پایه- تغییر مکان هر سازه با استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی و با فرض توزیع بار جانبی متناسب با شکل مود اول سازه تا تغییر مکان متناظر با ۸۵ درصد برش پایه ماکزیمم به دست آید. سپس با تبدیل منحنی

هنگامی که مقدار B محاسبه شد، مقدار ξ_{eff} بر اساس جدول موجود در گزارش رامیرز و همکاران [۲۴] محاسبه می‌شود. تعیین نسبت میرایی ویسکوز تکمیلی لازم، نیازمند در نظر گرفتن رفتار واقعی سازه به خصوص ارزیابی نسبت میرایی ویسکوز معادل با رفتار هیسترتیک سازه، ξ_h ، می‌باشد. پارامتر ξ_h نماینده استهلاک انرژی ناشی از رفتار هیسترتیک سازه می‌باشد و به صورت رابطه (۶) بیان می‌شود:

$$\xi_h = \frac{2q_h}{\pi} \left(1 - \frac{1}{\mu} \right) \quad (۶)$$

که در آن μ تقاضای شکل‌پذیری، و q_h ضریبی است که برابر با نسبت مساحت واقعی چرخه هیسترسز سازه به مساحت چرخه هیسترسز سیستم الاستوپلاستیک می‌باشد. بر اساس مطالعه رامیرز و همکاران [۲۴]، q_h می‌تواند با استفاده از رابطه زیر محاسبه شود:

$$0.5 \leq q_h = 0.67 \frac{T_s}{T_1} \leq 1.0 \quad (۷)$$

که در آن T_1 و T_s به ترتیب زمان تناوب نقطه انتقال بین محدوده‌های شتاب ثابت و سرعت ثابت طیف طرح و زمان تناوب مود اول سازه می‌باشند. با داشتن مقدار ξ_h ، و با فرض $\xi_i = 0.05$ نسبت میرایی ویسکوز تکمیلی مورد نیاز از رابطه (۸) به دست می‌آید:

$$\xi_v = \xi_{eff} - \left(\xi_i + \frac{2q_h}{\pi} \left(1 - \frac{1}{\mu} \right) \right) \quad (۸)$$

اگر سازه‌ای در سطح عملکرد هدف خود رفتار غیرخطی داشته باشد، ξ_v به عنوان تابعی از نسبت میرایی ویسکوز تکمیلی الاستیک، ξ_{ve} ، مقدار تقاضای شکل‌پذیری هدف (μ) و ضریب توان سرعت میراگر (α) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\xi_v = \xi_{ve} \cdot (\mu)^{1-\frac{\alpha}{2}} \quad (۹)$$

بنابراین، با داشتن مقدار ξ_v مورد نیاز می‌توان مقدار ξ_{ve} مورد نیاز را محاسبه کرد. با توجه به روش پیشنهاد شده توسط رامیرز و همکاران [۲۴]، با داشتن ضرایب میرایی میراگرهای ویسکوز اضافه شده به سازه نسبت میرایی ویسکوز تکمیلی الاستیک، ξ_{ve} ، با استفاده از رابطه (۱۰) به دست می‌آید:

تکمیلی است. به منظور محاسبه نسبت میرایی ویسکوز تکمیلی، باید طیف تقاضا و طیف ظرفیت سازه در مختصات ADRS که منحنی برش پایه- تغییر مکان ایده‌آل حاصل از تحلیل استاتیکی غیرخطی به دست می‌آید، به دست آیند. تبدیل منحنی برش پایه- تغییر مکان ایده‌آل به طیف ظرفیت از طریق روابط زیر صورت می‌گیرد:

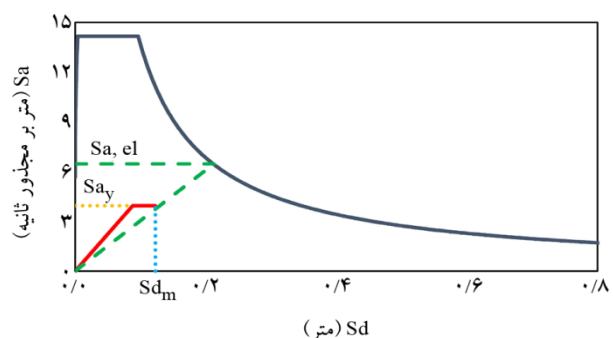
$$S_a = \frac{V_b}{M_1} \quad (۲)$$

$$S_d = \frac{D_{roof}}{\varphi_{roof} \Gamma_1} \quad (۳)$$

$$M_1 = \Gamma_1 \left(\sum_{i=1}^N m_i \varphi_{i1} \right) \quad (۴)$$

در روابط بالا V_b برش پایه، D_{roof} تغییر مکان بام و φ_{roof} مؤلفه شکل مود اول در تراز بام است، و Γ_1 و M_1 به ترتیب ضریب مشارکت مودی و جرم مؤثر مودی مود اول سازه می‌باشند. در رابطه (۴) متغیرهای φ_{i1} و m_i به ترتیب مؤلفه شکل مود اول در طبقه i ام و جرم طبقه i ام می‌باشد. هنگامی که طیف ظرفیت سازه در مختصات ADRS به صورت دوخطی ایده‌آل به دست آمد، این طیف تا نقطه متناظر با تغییر مکان هدف بام، تغییر مکان S_{dm} ، به همراه طیف تقاضا رسم می‌شود (شکل ۳). با داشتن طیف ظرفیت، مؤلفه طیف شتاب متناظر با تسلیم سازه، S_{ay} ، موجود می‌باشد. تقاضای الاستیک شتاب ($S_{a,el}$) برابر با مؤلفه قائم نقطه محل تقاطع منحنی تقاضا و خط رسم شده از مبدأ که از نقطه متناظر با S_{dm} می‌گذرد، می‌باشد. محاسبه نسبت میرایی مؤثر (ξ_{eff}) وابسته به پارامتر B است، که از رابطه (۵) به دست می‌آید:

$$B = \frac{S_{a,el}}{S_{ay}} \quad (۵)$$



شکل (۳): منحنی‌های طیف ظرفیت و طیف تقاضا.

جدول (۲): مقادیر نسبت میرایی ویسکوز تکمیلی، شکل پذیری و تغییر مکان هدف بام سازه‌ها.

سازه	ξ_v	μ	D_{roof} (cm)
3-Story	۰/۱۳۸	۱/۴۶۶	۶/۱۳۰
3-Story-h ₁ -1.4	۰/۲۳۸	۱/۱۰۶	۶/۳۴۳
9-Story	۰/۱۳۹	۱/۳۶۲	۱۴/۸۸۲

۴- روش به کار گرفته شده برای تحلیل احتمالاتی پاسخ دررفت پسماند سازه‌ها

در این مطالعه به منظور به دست آوردن ظرفیت دررفت پسماند سازه‌ها، در سطوح مختلف دررفت پسماند از تحلیل‌های دینامیکی افزاینده (IDA) [۲۶] استفاده شده است. برای انجام تحلیل‌ها، حداکثر نسبت دررفت پسماند بین طبقه‌ای به عنوان پارامتر تقاضای مهندسی در نظر گرفته شده و سنجش شدت $Sa(T_1)$ مورد استفاده قرار گرفته است. چهار سطح ۰/۲، ۰/۵، ۱ و ۲ درصد برای حداکثر نسبت دررفت پسماند بین طبقه‌ای در نظر گرفته شده است و مقادیر ظرفیت دررفت پسماند سازه‌ها، $SARD$ ، متناظر با سطوح دررفت پسماند فرض شده با انجام تحلیل‌های دینامیکی افزاینده با استفاده از ۶۷ شتاب‌نگاشت حوزه دور به کار گرفته شده در مطالعات یخچالیان و همکاران [۲۷-۲۹] و جمشیدیها و همکاران [۳۰] به دست آمده است. لازم به ذکر است که در این مطالعه به منظور محاسبه مقادیر دررفت پسماند طبقات به زمان هر تحلیل دینامیکی غیرخطی به اندازه ۱۰ ثانیه اضافه شده است تا سازه پس از پایان اعمال زلزله ارتعاش آزاد کند و در نتیجه دررفت پسماند با دقت مناسبی محاسبه شود. به علاوه، اگر قبل از رسیدن حداکثر دررفت پسماند بین طبقه‌ای سازه به مقدار مورد نظر مقدار حداکثر نسبت دررفت بین طبقه‌ای از ۱۵ درصد عبور کرده باشد تحلیل متوقف شده و مقدار $Sa(T_1)$ متناظر با آن به عنوان $SARD$ در نظر گرفته شده است. شکل (۴) منحنی‌های IDA به دست آمده متناظر با مقادیر دررفت پسماند ۰/۵ و ۰/۲ درصد را برای سازه 3-Story (UD) که در آن توزیع ضرایب میرایی در ارتفاع به صورت یکنواخت فرض شده، به ازای $\alpha=0/75$ نشان می‌دهد.

$$\xi_{ve} = \frac{\sum_{j=1}^{N_d} f_j^{1+\alpha} \varphi_{rj1}^{1+\alpha} D_{roof}^{\alpha-1} (2\pi)^{\alpha} T_1^{2-\alpha} \lambda_j C_j}{8\pi^3 \sum_{i=1}^{N_s} (m_i) \varphi_{i1}^2} \quad (10)$$

در رابطه فوق N_s و N_d به ترتیب تعداد میراگرهای ویسکوز و تعداد طبقات ساختمان می‌باشند. T_1 زمان تناوب مود اول ارتعاش سازه، D_{roof} تغییر مکان هدف بام، C_j ضریب میرایی میراگر α توان سرعت میراگر، f_j کسینوس زاویه بین محور افق و راستای میراگر و φ_{rj1} تغییر مکان نسبی بین دو انتهای میراگر متناسب با شکل مود اول می‌باشد. m_i و φ_{i1} به ترتیب مؤلفه شکل مود اول و جرم در طبقه i هستند. لازم به ذکر است که مؤلفه‌های شکل مود اول باید به مؤلفه شکل مود اول در بام نرمال شوند. λ_j ضریبی است که تابعی از α می‌باشد و با استفاده از رابطه موجود در مطالعه انجام شده توسط رامیرز و همکاران [۲۴] محاسبه می‌شود، و مقدار آن در حالت استفاده از میراگر ویسکوز خطی برابر با π می‌باشد. در این مطالعه از دو روش توزیع ضرایب میرایی در ارتفاع به صورت یکنواخت و متناسب با دررفت بین طبقه‌ای متناظر با شکل مود اول سازه [۲۵] استفاده شده است. برای محاسبه ضریب میرایی تمامی طبقات در حالت توزیع ضرایب میرایی به صورت یکنواخت (UD)، C ، و ضرایب میرایی طبقات در حالت توزیع ضرایب میرایی متناسب با دررفت بین طبقه‌ای متناظر با شکل مود اول سازه ($IDPD$)، C_k ، به ترتیب از روابط (۱۱) و (۱۲) استفاده شده است.

$$C = \frac{\xi_{ve} 8\pi^3 \sum_{i=1}^{N_s} (m_i) \varphi_{i1}^2}{\sum_{j=1}^{N_d} (2\pi)^{\alpha} T_1^{2-\alpha} \lambda_j D_{roof}^{\alpha-1} f_j^{1+\alpha} \varphi_{rj1}^{1+\alpha}} \quad (11)$$

$$C_k = \frac{\gamma_k \xi_{ve} 8\pi^3 \sum_{i=1}^{N_s} (m_i) \varphi_{i1}^2}{\sum_{j=1}^{N_d} (2\pi)^{\alpha} T_1^{2-\alpha} \lambda_j \gamma_j D_{roof}^{\alpha-1} f_j^{1+\alpha} \varphi_{rj1}^{1+\alpha}} \quad (12)$$

در رابطه (۱۲) γ_k دررفت بین طبقه‌ای طبقه k ام متناظر با شکل مود اول سازه می‌باشد. مقادیر نسبت میرایی ویسکوز تکمیلی، ξ_v ، شکل‌پذیری، μ ، و تغییر مکان هدف بام، D_{roof} ، به دست آمده برای سازه‌های مورد نظر در جدول (۲) ارائه شده است.

$$\sigma_{\ln Sa_{RD}} = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\ln Sa_{RD_i} - \ln \bar{Sa}_{RD})^2 \right]^{0.5} \quad (15)$$

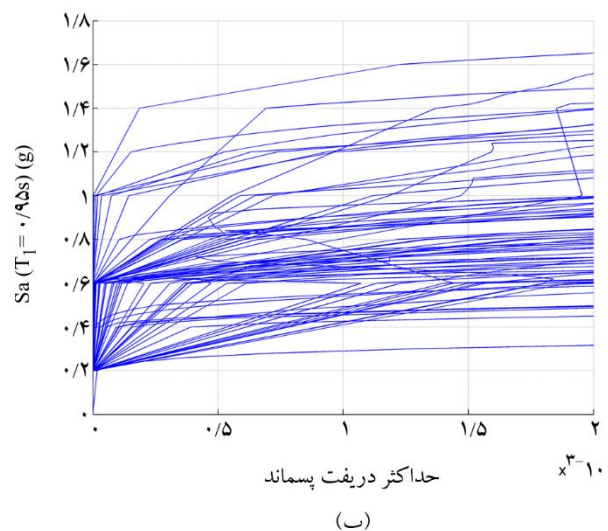
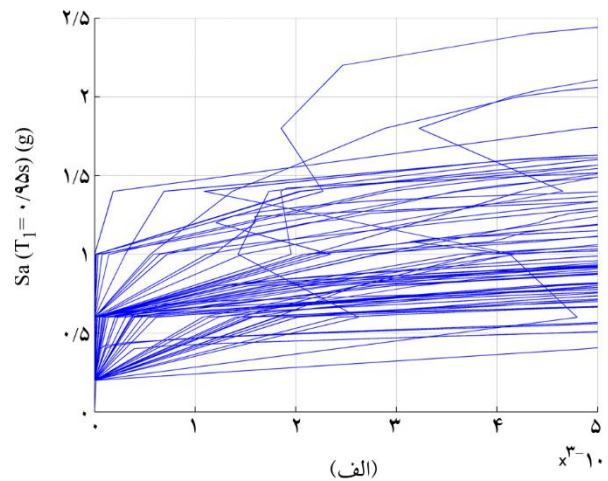
در روابط فوق $\ln \bar{Sa}_{RD}$ و $\sigma_{\ln Sa_{RD}}$ به ترتیب میانگین و انحراف معیار لگاریتمی مقادیر Sa_{RD} می‌باشند. $\ln Sa_{RD_i}$ لگاریتم طبیعی مقدار Sa_{RD} است که با استفاده از شتاب‌نگاشت i ام به دست آمده است، و n تعداد رکوردهای به کار گرفته شده برای انجام تحلیل‌ها می‌باشد. نسبت حاشیه ایمنی دررفت پسماند (RDMR) از تقسیم میانه ظرفیت دررفت پسماند سازه (Median $Sa_{RD}(T_1)$) بر مؤلفه طیف MCER در زمان تناوب مود اول سازه، $Sa_{MCER}(T_1)$ ، با استفاده از رابطه (17) می‌شود.

$$RDMR = \frac{\text{Median} Sa_{RD}(T_1)}{Sa_{MCER}(T_1)} \quad (16)$$

در این مطالعه از میانگین فراوانی سالیانه عبور از یک حد مشخص دررفت پسماند (λ_{RD}) برای ارزیابی ریسک دررفت پسماند سازه‌ها استفاده شده است. برای محاسبه λ_{RD} ، منحنی خطر ساختگاه مورد نظر و منحنی شکنندگی متناظر با سطح دررفت پسماند فرض شده مورد نیاز می‌باشد. با توجه به ساختگاه فرض شده برای سازه‌ها و زمان تناوب مود اول هر سازه، منحنی‌های خطر به ازای زمان تناوب‌های (0.75، 1، 2 و 3 ثانیه) از وب‌سایت USGS [31] به دست می‌آید. با توجه به اینکه زمان تناوب‌های مود اول سازه‌های مورد نظر با زمان تناوب‌های متناظر با منحنی‌های خطر گرفته شده از وب‌سایت USGS متفاوت می‌باشد، باید برای به دست آوردن منحنی‌های خطر متناظر با زمان تناوب‌های سازه‌های مورد نظر درون‌یابی صورت گیرد. برای این منظور، از روش ارائه شده در مطالعه انجام شده توسط ایدس [32] استفاده شده است. محاسبه میانگین فراوانی سالیانه عبور از یک حد مشخص دررفت پسماند (λ_{RD}) با استفاده از منحنی شکنندگی دررفت پسماند سازه و منحنی خطر ساختگاه طبق رابطه زیر انجام می‌گیرد [13]:

$$\lambda_{RD} = \int_0^{\infty} P(RD | Sa) \times d\lambda_{Sa}(Sa) \quad (17)$$

که در آن $P(RD | Sa)$ احتمالی است که سازه به حد دررفت پسماند مورد نظر رسیده باشد، زمانی که در معرض زلزله‌ای با



شکل (4): منحنی‌های IDA سازه 3-Story (UD) به ازای $\alpha=0.75$ متناظر با مقادیر دررفت پسماند (الف) 0.5 درصد و (ب) 0.2 درصد.

با فرض توزیع نرمال لگاریتمی برای مقادیر Sa_{RD} ، احتمال فراگذشت پاسخ سازه از سطح دررفت پسماند مورد نظر، α به ازای مقدار سنججه شدت برابر با Sa را می‌توان با استفاده از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$P(RD | Sa) = P[RD \geq \alpha | Sa_{RD} = Sa] = \Phi\left(\frac{\ln Sa - \ln \bar{Sa}_{RD}}{\sigma_{\ln Sa_{RD}}}\right) \quad (13)$$

در رابطه فوق $\Phi()$ تابع توزیع تجمعی توزیع نرمال استاندارد می‌باشد و پارامترهای $\ln \bar{Sa}_{RD}$ و $\sigma_{\ln Sa_{RD}}$ به ترتیب با استفاده از روابط (14) و (15) محاسبه می‌شوند.

$$\ln \bar{Sa}_{RD} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\ln Sa_{RD_i}) \quad (14)$$

خطی است و در بین سازه‌های با میراگر ویسکوز غیرخطی هر چه مقدار α افزایش می‌یابد مقدار ظرفیت دررفت پسماند سازه نیز افزایش پیدا می‌کند. بر اساس نتایج به‌دست آمده برای سازه 3-Story (UD) در بدترین حالت مقدار RDMR متناظر با $\alpha=0.25$ ، به‌ازای دررفت پسماند ۱ درصد، برابر مقدار RDMR متناظر با $\alpha=1$ می‌باشد، و در بهترین حالت مقدار RDMR متناظر با $\alpha=0.25$ ، به‌ازای دررفت پسماند ۰/۲ درصد، برابر مقدار RDMR متناظر با $\alpha=1$ می‌باشد. به‌علاوه، برای سازه 3-Story-h1-1.4 (UD) در بدترین حالت مقدار RDMR متناظر با $\alpha=0.25$ ، به‌ازای دررفت پسماند ۲ درصد، برابر مقدار RDMR متناظر با $\alpha=1$ می‌باشد، و در بهترین حالت مقدار RDMR متناظر با $\alpha=0.25$ ، به‌ازای دررفت پسماند ۰/۶۶۳ درصد، برابر مقدار RDMR متناظر با $\alpha=1$ می‌باشد، و در بهترین حالت مقدار RDMR متناظر با $\alpha=0.25$ ، به‌ازای دررفت پسماند ۰/۵ درصد، برابر مقدار RDMR متناظر با $\alpha=1$ می‌باشد. در سازه 9-Story (UD) در بدترین حالت مقدار RDMR متناظر با $\alpha=0.25$ ، به‌ازای دررفت پسماند ۲ درصد، برابر مقدار RDMR متناظر با $\alpha=1$ می‌باشد، و در بهترین حالت مقدار RDMR متناظر با $\alpha=0.25$ ، به‌ازای دررفت پسماند ۰/۲ درصد، برابر با ۰/۸۱۶ مقدار RDMR متناظر با $\alpha=1$ می‌باشد.

برای مقایسه نتایج به‌دست آمده با استفاده از دو توزیع در نظر گرفته شده برای ضرایب میرایی، به عنوان نمونه مقادیر RDMR به‌ازای سطح دررفت پسماند ۲ درصد برای سازه‌های 3-Story (UD) مجهز شده به میراگرهای ویسکوز با مقادیر α برابر با ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ به ترتیب برابر با ۱/۶۲، ۱/۷۰، ۱/۸۶ و ۲/۰۳ می‌باشد، در صورتی که همین مقادیر برای سازه 3-Story (IDPD) به ترتیب برابر با ۱/۶۱، ۱/۶۹، ۱/۷۶ و ۱/۹۶ می‌باشد. بنابراین، مقادیر RDMR برای سازه 3-Story (UD) در اکثر موارد تا حدی بیشتر از مقادیر متناظر برای سازه 3-Story (IDPD) می‌باشد. لازم به ذکر است که این امر برای سازه‌های ۹ طبقه معکوس است، به‌طوری که مقادیر RDMR سازه 9-Story (IDPD) در اکثر موارد بیشتر از مقادیر RDMR سازه 9-Story (UD) می‌باشد. برای توجیه این موضوع می‌توان به نتایج به دست آمده برای سازه 3-Story-h1-1.4 رجوع کرد. همان‌طور که از مقایسه مقادیر RDMR به‌دست آمده برای

شدت Sa قرار گرفته است. با تقسیم کردن قسمت سمت راست رابطه (۱۷) بر $d(Sa)$ و ضرب کردن آن در $d(Sa)$ ، این رابطه به صورت زیر بازنویسی می‌شود:

$$\lambda_{RD} = \int_0^{\infty} P(RD | Sa) \times \left| \frac{d\lambda_{Sa}(Sa)}{d(Sa)} \right| \times d(Sa) \quad (18)$$

که در آن $\frac{d\lambda_{Sa}(Sa)}{d(Sa)}$ شیب منحنی خطر ساختگاه می‌باشد. محاسبه انتگرال رابطه (۱۸) معمولاً به صورت عددی و با استفاده از رابطه (۱۹) انجام می‌شود.

$$\lambda_{RD} = \sum_{i=1}^{\infty} P(RD | Sa_i) \times \left| \frac{d\lambda_{Sa}(Sa_i)}{d(Sa)} \right| \times \Delta Sa \quad (19)$$

۵- ارزیابی نسبت حاشیه ایمنی و شکنندگی حداکثر دررفت پسماند بین طبقه‌ای سازه‌ها

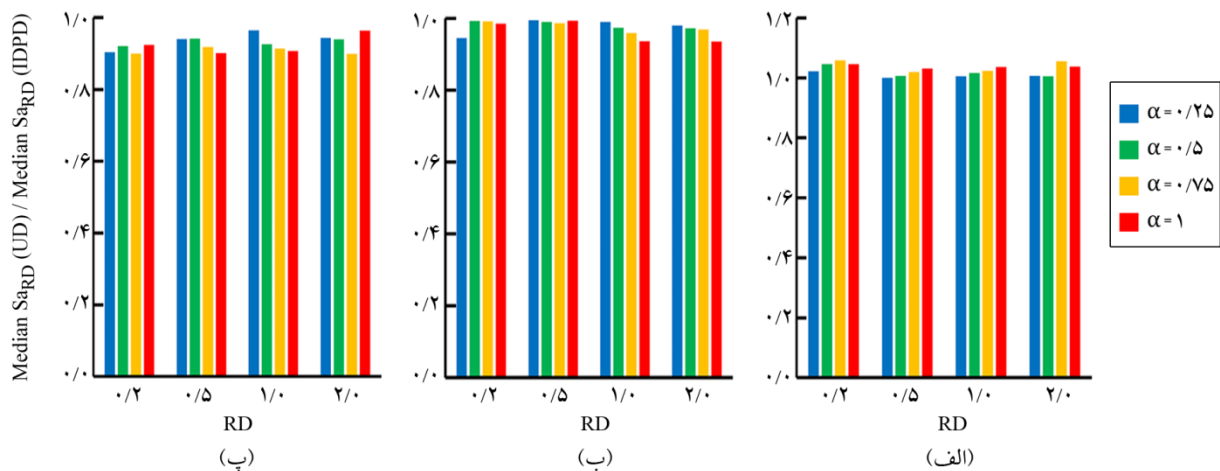
در این بخش نتایج به‌دست آمده از تحلیل‌های دینامیکی افزایش یافته انجام شده بر روی سازه‌های خمشی فولادی مجهز شده به میراگرهای ویسکوز خطی و غیرخطی در قالب نسبت‌های حاشیه ایمنی حداکثر دررفت پسماند بین طبقه‌ای، RDMR و منحنی‌های شکنندگی دررفت پسماند ارائه شده است. سپس به‌ازای سطوح مختلف دررفت پسماند، مقایسه‌ای میان عملکرد سازه‌های دارای توزیع ضرایب میرایی در ارتفاع به صورت یکنواخت و IDPD صورت می‌گیرد. جدول (۳) مقادیر RDMR سطوح مختلف حداکثر نسبت دررفت پسماند بین طبقه‌ای و انحراف معیار لگاریتمی ظرفیت دررفت پسماند متناظر با آن را برای سازه‌های در نظر گرفته شده، با فرض دو روش توزیع ضرایب میرایی در ارتفاع UD و IDPD را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این جدول مشخص است، برای تمامی سازه‌ها بیشترین مقدار RDMR به‌ازای تمامی سطوح دررفت پسماند متعلق به توان سرعت میراگر برابر با ۱ است، و هرچه توان سرعت میراگر (α) کاهش می‌یابد مقدار RDMR متناظر با آن نیز کاهش می‌یابد. به‌عبارت دیگر، در مقایسه بین سازه‌های مجهز شده به میراگرهای ویسکوز خطی و غیرخطی، بیشترین ظرفیت دررفت پسماند سازه‌ها متعلق به سازه‌های با میراگر ویسکوز

جدول (۳): مقادیر نسبت حاشیه ایمنی دررفت پسماند و انحراف معیار لگاریتمی ظرفیت دررفت پسماند سازه‌های مورد نظر.

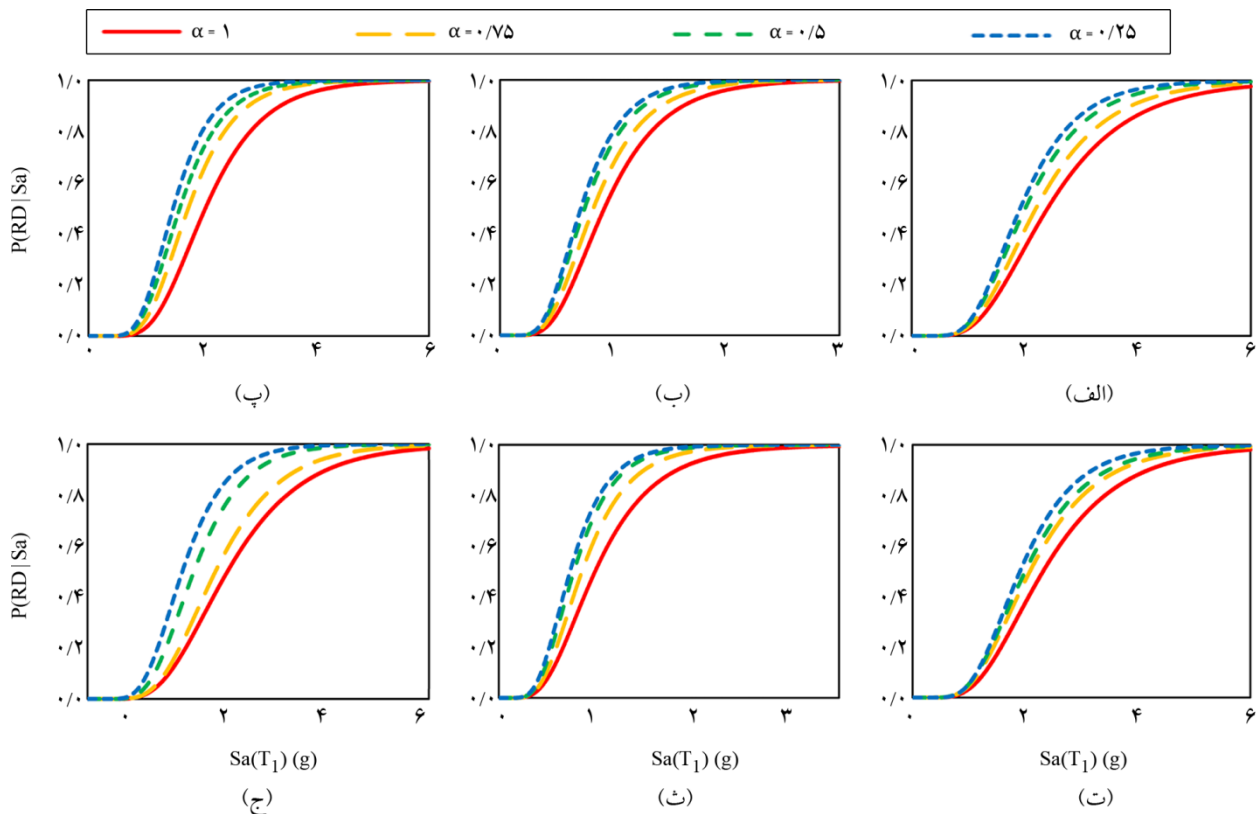
مقادیر RDMR و (σ_{lnSaRD})				توان سرعت میراگر (α)	سازه
RD = %۲	RD = %۱	RD = %۰/۵	RD = %۰/۲		
۱/۶۲۴ (۰/۴۰۲)	۱/۱۱۶ (۰/۴۷۲)	۰/۷۹۴ (۰/۴۱۰)	۰/۵۶۲ (۰/۳۰۹)	۰/۲۵	3-Story (UD)
۱/۷۰۰ (۰/۴۲۲)	۱/۱۹۲ (۰/۴۸۰)	۰/۸۳۲ (۰/۴۵۰)	۰/۵۹۴ (۰/۳۲۷)	۰/۵	
۱/۸۶۰ (۰/۴۴۱)	۱/۲۷۸ (۰/۴۹۲)	۰/۸۹۹ (۰/۴۷۷)	۰/۶۲۸ (۰/۳۳۴)	۰/۷۵	
۲/۰۳۴ (۰/۴۶۲)	۱/۴۳۶ (۰/۵۰۵)	۰/۹۹۷ (۰/۴۹۲)	۰/۶۵۵ (۰/۳۴۵)	۱	
۱/۶۱۳ (۰/۴۰۲)	۱/۱۱۰ (۰/۴۷۵)	۰/۷۹۴ (۰/۴۷۵)	۰/۵۵۰ (۰/۲۸۱)	۰/۲۵	3-Story (IDPD)
۱/۶۹۲ (۰/۴۳۱)	۱/۱۷۳ (۰/۴۸۴)	۰/۸۲۶ (۰/۴۸۴)	۰/۵۶۷ (۰/۳۰۸)	۰/۵	
۱/۷۶۳ (۰/۴۴۱)	۱/۲۴۹ (۰/۴۹۲)	۰/۸۸۳ (۰/۴۸۹)	۰/۵۹۴ (۰/۳۳۳)	۰/۷۵	
۱/۹۶۱ (۰/۴۶۱)	۱/۳۸۶ (۰/۴۹۹)	۰/۹۶۷ (۰/۴۹۹)	۰/۶۲۶ (۰/۳۶۹)	۱	
۱/۶۷۳ (۰/۳۵۵)	۱/۲۸۲ (۰/۳۹۶)	۰/۹۸۵ (۰/۴۲۴)	۰/۷۰۲ (۰/۳۴۵)	۰/۲۵	3-Story-h1-1.4 (UD)
۱/۸۶۹ (۰/۳۶۷)	۱/۳۸۶ (۰/۳۹۷)	۱/۰۶۶ (۰/۴۲۳)	۰/۷۷۷ (۰/۴۰۵)	۰/۵	
۲/۱۵۳ (۰/۳۸۳)	۱/۵۶۱ (۰/۳۹۸)	۱/۱۴۲ (۰/۴۳۰)	۰/۸۴۸ (۰/۴۳۷)	۰/۷۵	
۲/۵۲۴ (۰/۴۱۲)	۱/۷۷۰ (۰/۳۹۹)	۱/۲۱۵ (۰/۴۳۶)	۰/۹۰۹ (۰/۴۵۹)	۱	
۱/۷۷۴ (۰/۳۵۹)	۱/۲۴۹ (۰/۳۹۱)	۱/۰۴۸ (۰/۴۳۰)	۰/۷۷۵ (۰/۳۸۲)	۰/۲۵	3-Story-h1-1.4 (IDPD)
۱/۹۹۰ (۰/۳۶۳)	۱/۴۹۷ (۰/۳۹۴)	۱/۱۳۲ (۰/۴۳۲)	۰/۸۴۵ (۰/۴۲۷)	۰/۵	
۲/۳۹۴ (۰/۳۹۰)	۱/۷۰۹ (۰/۳۹۶)	۱/۲۴۳ (۰/۴۳۵)	۰/۹۴۲ (۰/۴۳۷)	۰/۷۵	
۲/۶۱۹ (۰/۴۲۱)	۱/۹۵۱ (۰/۴۰۱)	۱/۳۴۷ (۰/۴۴۲)	۰/۹۸۴ (۰/۴۵۵)	۱	
۱/۳۳۱ (۴۰۱)	۱/۰۲۸ (۰/۴۳۴)	۰/۷۳۳ (۰/۳۹۲)	۰/۴۹۲ (۰/۳۰۶)	۰/۲۵	9-Story (UD)
۱/۳۹۲ (۰/۴۱۴)	۱/۱۲۲ (۰/۴۳۸)	۰/۷۸۵ (۰/۴۲۳)	۰/۵۴۰ (۰/۳۲۵)	۰/۵	
۱/۵۳۷ (۰/۴۲۸)	۱/۲۰۸ (۰/۴۴۲)	۰/۸۵۲ (۰/۴۴۷)	۰/۵۷۹ (۰/۳۴۲)	۰/۷۵	
۱/۷۱۷ (۰/۴۴۱)	۱/۳۲۳ (۰/۴۴۴)	۰/۹۳۵ (۰/۴۶۷)	۰/۶۰۳ (۰/۳۴۷)	۱	
۱/۳۵۸ (۰/۴۰۹)	۱/۰۲۹ (۰/۴۳۴)	۰/۷۳۷ (۰/۳۸۹)	۰/۵۲۰ (۰/۳۱۹)	۰/۲۵	9-Story (IDPD)
۱/۴۳۱ (۰/۴۱۳)	۱/۱۵۴ (۰/۴۳۹)	۰/۷۹۲ (۰/۴۲۰)	۰/۵۴۴ (۰/۳۱۴)	۰/۵	
۱/۵۸۷ (۰/۴۳۵)	۱/۲۵۸ (۰/۴۳۷)	۰/۸۶۳ (۰/۴۴۵)	۰/۵۸۳ (۰/۳۳۴)	۰/۷۵	
۱/۸۳۹ (۰/۴۸۱)	۱/۴۱۲ (۰/۴۴۶)	۰/۹۴۱ (۰/۴۶۲)	۰/۶۱۴ (۰/۳۴۲)	۱	

توجه به شکل (۵) در سازه 3-Story مقادیر نرمال شده میانه ظرفیت دررفت پسماند اندکی بیشتر از یک و در محدوده ۱/۰۰۱ تا ۱/۰۵۸ می‌باشد، در حالیکه در سازه 9-Story مقادیر نرمال شده میانه ظرفیت دررفت پسماند کمتر از یک و بین ۰/۹۳۴ تا ۰/۹۹۴ می‌باشد. همچنین در سازه 3-Story-h1-1.4 مقادیر نرمال شده میانه ظرفیت دررفت پسماند کمتر از یک و بین ۰/۸۹۹ تا ۰/۹۶۴ می‌باشد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که در سازه‌های 9-Story و 3-Story-h1-1.4، که دارای طبقه نرم هستند، استفاده از توزیع IDPD در مقایسه با توزیع یکنواخت مناسب‌تر می‌باشد.

سازه‌های 3-Story-h1-1.4 (UD) و 3-Story-h1-1.4 (IDPD) مشخص است سازه‌های 3-Story-h1-1.4 نیز رفتاری مشابه سازه‌های 9 طبقه از خود نشان داده‌اند. بنابراین، می‌توان گفت که ارتفاع بیشتر طبقه اول در سازه‌های 9-Story و 3-Story-h1-1.4 عامل عملکرد بهتر توزیع IDPD در مقایسه با توزیع یکنواخت می‌باشد. برای مقایسه بهتر عملکرد سازه‌ها به ازای این دو نوع توزیع ضرایب میرایی در ارتفاع، در شکل (۵) مقادیر میانه ظرفیت دررفت پسماند سازه با توزیع یکنواخت به مقدار متناظر میانه ظرفیت دررفت پسماند سازه در حالت IDPD نرمال شده‌اند. با



شکل (۵): مقادیر Median SaRD (UD)/ Median SaRD (IDPD) به ازای سطوح مختلف دررفت پسماند (RD) برای سازه‌های (الف) 3-Story، (ب) 9-Story و (پ) 3-Story-h1-1.4



شکل (۶): منحنی‌های شکنندگی به ازای دررفت پسماند ۲ درصد برای سازه‌های (الف) 3-Story (UD)، (ب) 9-Story (UD)، (پ) 3-Story-h1-1.4 (UD)، (ت) 3-Story (IDPD)، (ث) 9-Story (IDPD) و (ج) 3-Story-h1-1.4 (IDPD)

بیشتری به سازه دارای میراگرهای ویسکوز خطی نسبت به سازه دارای میراگرهای ویسکوز غیر خطی وارد شود. به عبارت دیگر، به ازای یک مقدار $Sa(T_1)$ مشخص، سازه‌های با میراگرهای ویسکوز خطی نسبت به سازه‌های با میراگرهای ویسکوز غیر خطی

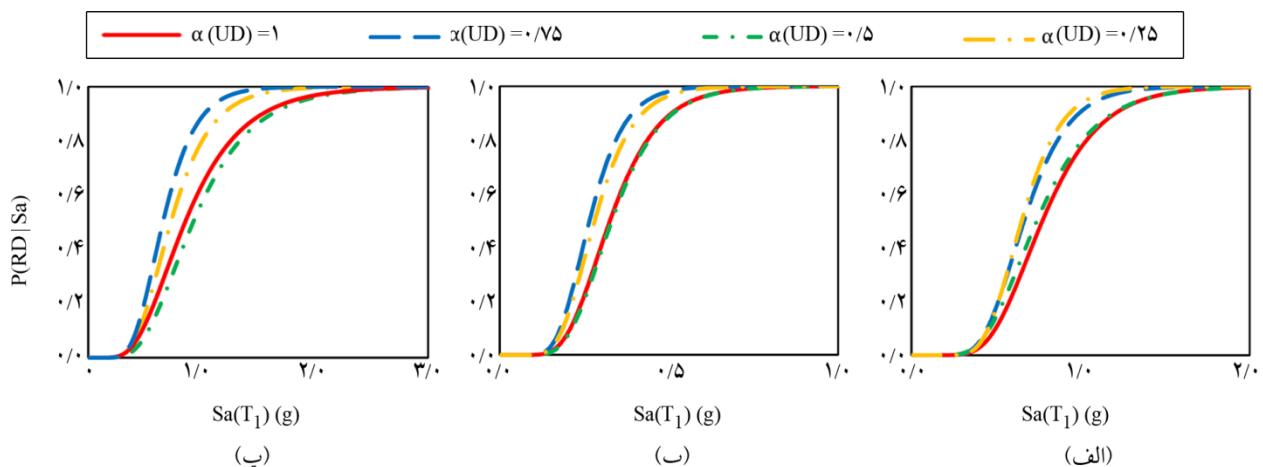
در شکل (۶) برای نمونه منحنی‌های شکنندگی دررفت پسماند سازه‌های در نظر گرفته شده به ازای سطح دررفت پسماند ۲ درصد ارائه شده است. همانطور در این شکل مشخص است، برای تمامی سازه‌ها، برای عبور از سطح دررفت پسماند مورد نظر باید شتاب

IDPD می‌باشد. لازم به ذکر است که این اختلاف برای سازه ۹ طبقه با میراگرهای ویسکوز خطی ناچیز می‌باشد. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که با وجود طبقه نرم در سازه، مقادیر احتمال عبور از حدود مختلف دررفت پسماند در سازه‌های با توزیع یکنواخت تا حدی نسبت به مقادیر متناظر در سازه‌های با توزیع IDPD بیشتر می‌باشند.

۶- ارزیابی میانگین فراوانی سالیانه عبور از حدود مختلف حداکثر دررفت پسماند بین طبقه‌ای

به دلیل تعیین کننده بودن مقدار حداکثر نسبت دررفت پسماند بین طبقه‌ای سازه در تصمیم‌گیری مالکان برای تخریب و ساخت مجدد و یا بهسازی سازه‌های آسیب دیده در زلزله، و همچنین تعیین هزینه بیمه سازه توسط شرکت‌های بیمه، می‌توان با استفاده از چارچوب مهندسی زلزله بر اساس عملکرد ریسک عبور از حدود مختلف دررفت پسماند را مورد ارزیابی قرار داد. مقادیر میانگین فراوانی سالیانه عبور از حدود مختلف دررفت پسماند (λ_{RD}) برای سازه‌های در نظر گرفته شده در این تحقیق در جدول (۴) ارائه شده است. همان‌طور که در این جدول مشخص است، برای تمامی سازه‌ها کمترین مقدار λ_{RD} به‌ازای تمامی سطوح دررفت پسماند متعلق به توان سرعت میراگر برابر با ۱ است، و هرچه توان سرعت میراگر کاهش می‌یابد مقدار λ_{RD} متناظر با آن نیز افزایش می‌یابد.

دارای احتمال عبور کمتری از حد دررفت پسماند مورد نظر می‌باشند. در میان سازه‌های با میراگرهای ویسکوز غیرخطی (با توان‌های سرعت میراگر برابر با ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵) هر چه توان سرعت میراگر بیشتر شود، احتمال عبور از حد دررفت پسماند مورد نظر کاهش می‌یابد. باید خاطر نشان کرد که منحنی‌های شکنندگی به دست آمده برای مقادیر دیگر دررفت پسماند نیز روند مشابهی دارند. در شکل (۷) مقایسه‌ای میان منحنی‌های شکنندگی دررفت پسماند سازه‌های دارای توزیع ضرایب میرایی در ارتفاع به صورت یکنواخت و توزیع IDPD آورده شده است. قابل ذکر است که در این شکل مقایسه تنها برای دررفت پسماند ۰/۲ درصد و توان‌های سرعت میراگر $\alpha=1$ و $\alpha=0.25$ انجام شده است، و نتایج به دست آمده برای مقادیر دیگر دررفت پسماند نیز روند مشابهی دارند. با توجه به شکل (۷)، برای سازه 3-Story با توزیع ضرایب میرایی در ارتفاع بصورت یکنواخت در یک $Sa(T_1)$ مشخص، مقادیر احتمال عبور از مقدار دررفت پسماند مورد نظر نسبت به مقادیر متناظر در سازه 3-Story با توزیع IDPD با اختلافی جزئی کمتر می‌باشند، ولی در سازه‌های 3-Story-h1-1.4 و 9-Story این روند معکوس است. به‌طوری که مقادیر احتمال عبور از مقدار دررفت پسماند مورد نظر در سازه‌های با توزیع ضرایب میرایی در ارتفاع بصورت یکنواخت در یک $Sa(T_1)$ مشخص تا حدی بیشتر از مقادیر متناظر در سازه‌های دارای توزیع



شکل (۷): مقایسه منحنی‌های شکنندگی متناظر با دررفت پسماند ۰/۲ درصد برای سازه‌های (الف) 3-Story، (ب) 9-Story و (پ) 3-Story-h1-1.4، با توزیع ضرایب میرایی در ارتفاع به صورت یکنواخت و IDPD.

جدول (۴): مقادیر میانگین فراوانی سالیانه عبور از حدود مختلف دریافت پسماند.

مقادیر میانگین فراوانی سالیانه عبور از یک حد مشخص دریافت پسماند (λ_{RD})				توان سرعت میراگر (α)	سازه
RD = ٪۲	RD = ٪۱	RD = ٪۰/۵	RD = ٪۰/۲		
$1/524 \times 10^{-4}$	$5/930 \times 10^{-4}$	$1/230 \times 10^{-3}$	$2/371 \times 10^{-3}$	۰/۲۵	3-Story (UD)
$1/418 \times 10^{-4}$	$5/095 \times 10^{-4}$	$1/199 \times 10^{-3}$	$2/145 \times 10^{-3}$	۰/۵	
$1/142 \times 10^{-4}$	$4/365 \times 10^{-4}$	$1/055 \times 10^{-3}$	$1/894 \times 10^{-3}$	۰/۷۵	
$9/307 \times 10^{-5}$	$3/283 \times 10^{-4}$	$8/463 \times 10^{-4}$	$1/743 \times 10^{-3}$	۱	
$1/557 \times 10^{-4}$	$6/083 \times 10^{-4}$	$1/231 \times 10^{-3}$	$2/403 \times 10^{-3}$	۰/۲۵	3-Story (IDPD)
$1/492 \times 10^{-4}$	$5/387 \times 10^{-4}$	$1/229 \times 10^{-3}$	$2/231 \times 10^{-3}$	۰/۵	
$1/364 \times 10^{-4}$	$4/657 \times 10^{-4}$	$1/140 \times 10^{-3}$	$2/169 \times 10^{-3}$	۰/۷۵	
$1/046 \times 10^{-4}$	$3/561 \times 10^{-4}$	$9/318 \times 10^{-4}$	$2/020 \times 10^{-3}$	۱	
$1/735 \times 10^{-4}$	$3/194 \times 10^{-4}$	$7/318 \times 10^{-4}$	$1/482 \times 10^{-3}$	۰/۲۵	3-Story-h ₁ -1.4 (UD)
$8/362 \times 10^{-5}$	$2/524 \times 10^{-4}$	$5/868 \times 10^{-4}$	$1/285 \times 10^{-3}$	۰/۵	
$5/355 \times 10^{-5}$	$1/746 \times 10^{-4}$	$4/953 \times 10^{-4}$	$1/115 \times 10^{-3}$	۰/۷۵	
$3/428 \times 10^{-5}$	$1/154 \times 10^{-4}$	$4/229 \times 10^{-4}$	$9/833 \times 10^{-4}$	۱	
$9/736 \times 10^{-5}$	$2/821 \times 10^{-4}$	$6/385 \times 10^{-4}$	$1/237 \times 10^{-3}$	۰/۲۵	3-Story-h ₁ -1.4 (IDPD)
$6/542 \times 10^{-5}$	$2/089 \times 10^{-4}$	$5/125 \times 10^{-4}$	$1/098 \times 10^{-3}$	۰/۵	
$3/733 \times 10^{-5}$	$1/282 \times 10^{-4}$	$3/968 \times 10^{-4}$	$8/908 \times 10^{-4}$	۰/۷۵	
$3/126 \times 10^{-5}$	$8/321 \times 10^{-5}$	$3/207 \times 10^{-4}$	$7/588 \times 10^{-4}$	۱	
$2/719 \times 10^{-4}$	$5/707 \times 10^{-4}$	$1/145 \times 10^{-3}$	$2/312 \times 10^{-3}$	۰/۲۵	9-Story (UD)
$2/483 \times 10^{-4}$	$4/653 \times 10^{-4}$	$1/037 \times 10^{-3}$	$1/963 \times 10^{-3}$	۰/۵	
$1/947 \times 10^{-4}$	$3/914 \times 10^{-4}$	$9/041 \times 10^{-4}$	$1/752 \times 10^{-3}$	۰/۷۵	
$1/466 \times 10^{-4}$	$3/079 \times 10^{-4}$	$7/621 \times 10^{-4}$	$1/614 \times 10^{-3}$	۱	
$2/624 \times 10^{-4}$	$5/711 \times 10^{-4}$	$1/127 \times 10^{-3}$	$2/101 \times 10^{-3}$	۰/۲۵	9-Story (IDPD)
$2/283 \times 10^{-4}$	$4/355 \times 10^{-4}$	$1/005 \times 10^{-3}$	$1/955 \times 10^{-3}$	۰/۵	
$1/816 \times 10^{-4}$	$3/643 \times 10^{-4}$	$8/723 \times 10^{-4}$	$1/721 \times 10^{-3}$	۰/۷۵	
$1/373 \times 10^{-4}$	$2/598 \times 10^{-4}$	$7/428 \times 10^{-4}$	$1/55 \times 10^{-3}$	۱	

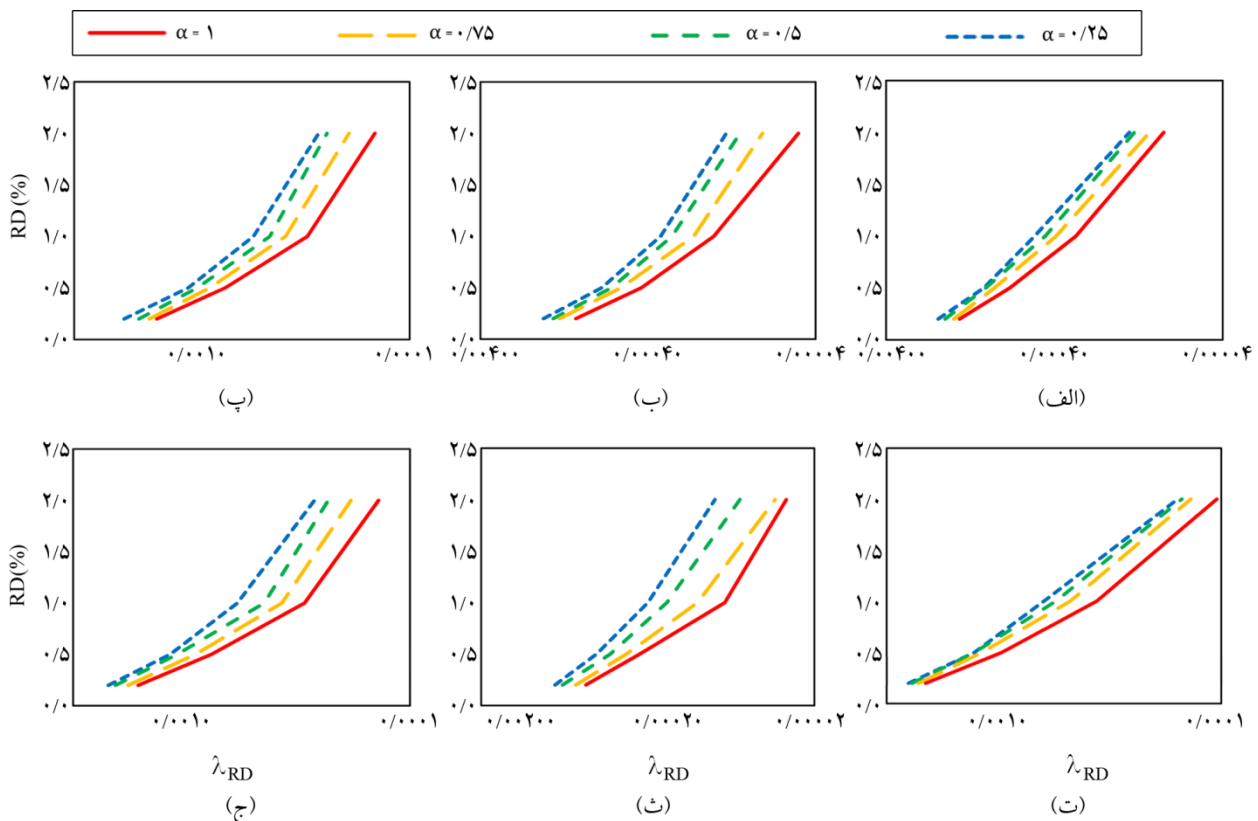
به طور خلاصه، مقادیر λ_{RD} برای سازه‌های با میراگرهای ویسکوز خطی بین ۶/۸۷ تا ۸۰/۲۴ درصد کمتر از مقادیر λ_{RD} برای سازه‌های با میراگرهای ویسکوز غیرخطی متناظر با آنهاست. برای مقایسه بهتر نتایج، در شکل (۸) مقادیر λ_{RD} تمامی سازه‌ها متناظر با مقادیر α برابر با ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ و ۱ در مقابل سطوح مختلف دریافت پسماند (RD) ارائه شده است. با مقایسه شکل‌های (۸-الف) و (۸-ب) که مربوط به سازه‌های 3-Story (UD) و 3-Story-h₁-1.4 (UD) می‌باشد، می‌توان تفاوت آنها را در مقدار نسبت میرایی ویسکوز تکمیلی (ξ_v) جستجو کرد. لازم به ذکر است که مقادیر ξ_v این دو سازه به ترتیب برابر با ۰/۱۳۸ و ۰/۲۳۸ می‌باشد. با توجه به این که نسبت میرایی ویسکوز تکمیلی سازه 3-Story-h₁-1.4 (UD) بیشتر از مقدار متناظر برای سازه 3-Story (UD) می‌باشد، اختلاف مقادیر λ_{RD} به‌ازای توان‌های مختلف سرعت میراگر (α)

به طور خلاصه، مقادیر λ_{RD} برای سازه‌های با میراگرهای ویسکوز خطی بین ۶/۸۷ تا ۸۰/۲۴ درصد کمتر از مقادیر λ_{RD} برای سازه‌های با میراگرهای ویسکوز غیرخطی متناظر با آنهاست. برای مقایسه بهتر نتایج، در شکل (۸) مقادیر λ_{RD} تمامی سازه‌ها متناظر با مقادیر α برابر با ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ و ۱ در مقابل سطوح مختلف دریافت پسماند (RD) ارائه شده است. با مقایسه شکل‌های (۸-الف) و (۸-ب) که مربوط به سازه‌های 3-Story (UD) و 3-Story-h₁-1.4 (UD) می‌باشد، می‌توان تفاوت آنها را در مقدار نسبت میرایی ویسکوز تکمیلی (ξ_v) جستجو کرد. لازم به ذکر است که مقادیر ξ_v این دو سازه به ترتیب برابر با ۰/۱۳۸ و ۰/۲۳۸ می‌باشد. با توجه به این که نسبت میرایی ویسکوز تکمیلی سازه 3-Story-h₁-1.4 (UD) بیشتر از مقدار متناظر برای سازه 3-Story (UD) می‌باشد، اختلاف مقادیر λ_{RD} به‌ازای توان‌های مختلف سرعت میراگر (α)

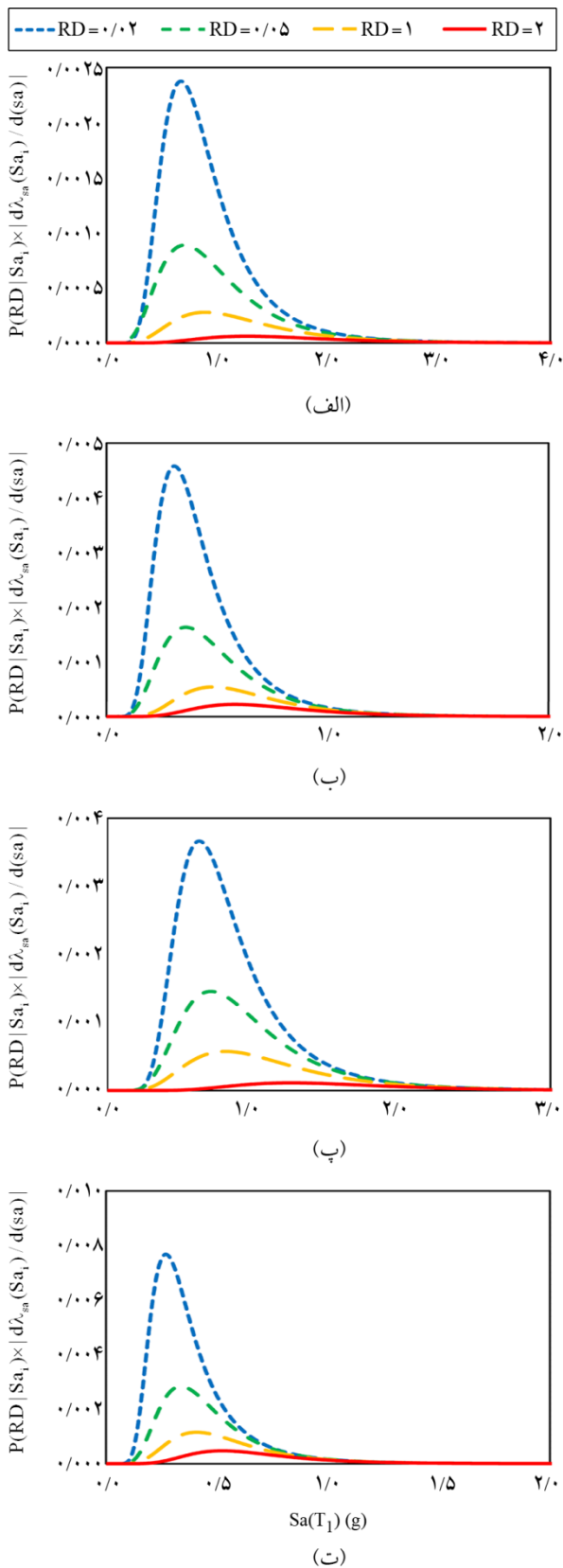
در ۰/۲ درصد در سازه‌های 9-Story (UD) مجهز شده به میراگرهای ویسکوز با مقادیر α برابر با ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ و ۱ به ترتیب برابر با $۲/۳۱۲ \times 10^{-3}$ ، $۱/۹۶۳ \times 10^{-3}$ ، $۱/۷۵۲ \times 10^{-3}$ و $۱/۶۱۴ \times 10^{-3}$ می‌باشند، در صورتی که همین مقادیر برای سازه‌های 9-Story (IDPD) به ترتیب برابر با $۲/۱۰۱ \times 10^{-3}$ ، $۱/۹۵۵ \times 10^{-3}$ ، $۱/۷۲۱ \times 10^{-3}$ و $۱/۵۵ \times 10^{-3}$ می‌باشد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر ریسک عبور از حد دررفت پسماند مورد نظر برای سازه‌های ۹ طبقه دارای توزیع ضرایب میرایی به صورت یکنواخت بیشتر از سازه‌های ۹ طبقه با توزیع IDPD می‌باشند. در سازه‌های 3-Story-h1-1.4 (UD) مجهز شده به میراگرهای ویسکوز با مقادیر α برابر با ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ و ۱، مقادیر λ_{RD} به ترتیب برابر با $۱/۷۸۲ \times 10^{-3}$ ، $۱/۲۸۵ \times 10^{-3}$ ، $۱/۱۱۵ \times 10^{-3}$ و $۹/۸۳۳ \times 10^{-4}$ می‌باشند، در صورتی که همین مقادیر برای سازه‌های 3-Story-h1-1.4 (IDPD) به ترتیب برابر با $۱/۲۳۷ \times 10^{-3}$ ، $۱/۰۹۸ \times 10^{-3}$ ، $۸/۹۰۸ \times 10^{-4}$ و $۷/۵۸۸ \times 10^{-4}$ می‌باشند.

در سطوح بالاتر دررفت پسماند برای سازه 3-Story-h1-1.4 (UD) بیشتر از سازه 3-Story (UD) می‌باشد.

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول (۴) می‌توان مقایسه‌ای بین دو نوع توزیع ضرایب میرایی در ارتفاع (UD و IDPD) انجام داد. برای نمونه، مقادیر λ_{RD} متناظر با دررفت پسماند ۰/۲ درصد برای سازه‌های 3-Story (UD) مجهز شده به میراگرهای ویسکوز با مقادیر α برابر با ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ و ۱ به ترتیب برابر با $۲/۳۷۱ \times 10^{-3}$ ، $۲/۱۴۵ \times 10^{-3}$ ، $۱/۸۹۴ \times 10^{-3}$ و $۱/۷۴۳ \times 10^{-3}$ می‌باشند، در صورتی که همین مقادیر برای سازه‌های 3-Story (IDPD) به ترتیب برابر با $۲/۴۰۳ \times 10^{-3}$ ، $۲/۳۲۱ \times 10^{-3}$ ، $۲/۱۶۹ \times 10^{-3}$ و $۲/۰۲۰ \times 10^{-3}$ می‌باشند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر ریسک عبور از حد دررفت پسماند مورد نظر برای سازه‌های ۳ طبقه دارای توزیع ضرایب میرایی به صورت یکنواخت کمتر از سازه‌های ۳ طبقه دارای توزیع IDPD می‌باشند. مقادیر λ_{RD} متناظر با دررفت پسماند



شکل (۸): تغییرات λ_{RD} در مقابل دررفت پسماند (RD) برای سازه‌های (الف) 3-Story (UD)، (ب) 3-Story-h1-1.4 (UD)، (پ) 9-Story (UD)، (ت) 3-Story (IDPD)، (ث) 3-Story-h1-1.4 (IDPD) و (ج) 9-Story (IDPD)



شکل (۹): منحنی‌های تفکیک خطر دریافت پسماند برای سازه‌های ۹-Story (UD, $\alpha = 1$) (ب)، 3-Story (UD, $\alpha = 1$) (الف) و 3-Story (UD, $\alpha = 0.25$) (پ) و 9-Story (UD, $\alpha = 0.25$) (ت)

بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر ریسک عبور از حد دریافت پسماند مورد نظر برای سازه‌های ۳ طبقه با افزایش ارتفاع در طبقه اول، دارای توزیع ضرایب میرایی به صورت یکنواخت بیشتر از سازه‌های ۳ طبقه با افزایش ارتفاع در طبقه اول دارای توزیع IDPD می‌باشد. لازم به ذکر است که روندهای شرح داده شده در فوق برای سایر سطوح دریافت پسماند نیز صدق می‌کنند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد سازه‌های با طبقه نرم در (9-Story و 3-Story-h1-1.4) دارای توزیع ضرایب میرایی در ارتفاع بصورت IDPD بهتر از عملکرد این سازه‌ها با توزیع ضرایب میرایی در ارتفاع بصورت یکنواخت می‌باشد، در حالی که این روند برای سازه 3-Story که ارتفاع تمام طبقات آن یکسان و فاقد طبقه نرم است، معکوس می‌باشد. در شکل (۹) برای نمونه منحنی‌های تفکیک خطر دریافت پسماند به ازای $\alpha = 1$ و $\alpha = 0.25$ برای سازه‌های 9-Story (UD) و 3-Story (UD) آورده شده است. قابل ذکر است که سطح زیر هر یک از این منحنی‌ها برابر با مقدار λ_{RD} می‌باشد. با توجه به این شکل، هر چه سطح دریافت پسماند مورد نظر افزایش می‌یابد، شتاب‌های طیفی بزرگتر سهم عمده‌تری در سطح زیر نمودار، که بیانگر مقدار λ_{RD} می‌باشد، بازی می‌کنند. به عبارت دیگر، هر چه مقدار حد در نظر گرفته شده برای دریافت پسماند کمتر باشد (برای مثال $RD = 0.02$) شتاب‌های طیفی کمتری مورد نیاز است تا سازه از آن حد دریافت پسماند عبور نماید.

۷- نتیجه گیری

در این مطالعه به ارزیابی احتمالاتی دریافت پسماند در سازه‌های خمشی فولادی با میراگرهای ویسکوز خطی و غیرخطی پرداخته شد. به همین منظور، سه سازه فولادی با سیستم قاب خمشی ویژه و دو نوع توزیع ضرایب میرایی در ارتفاع در نظر گرفته شد. این دو توزیع شامل، توزیع ضرایب میرایی در ارتفاع به صورت یکنواخت (UD) و توزیع ضرایب میرایی متناسب با دریافت بین طبقه‌ای متناظر با شکل مود اول سازه (IDPD) می‌باشد. پس از مدل‌سازی، این سازه‌ها به میراگرهای ویسکوز خطی

توزیع در نظر گرفته شده برای ضرایب میرایی در ارتفاع می‌توان نتیجه گرفت که در سازه‌هایی که طبقه اول آنها دارای ارتفاع بیشتری می‌باشد، مقادیر ظرفیت دررفت پسماند سازه با توزیع ضرایب میرایی به صورت IDPD نسبت به مقادیر ظرفیت دررفت پسماند سازه دارای توزیع یکنواخت بیشتر می‌باشند. این در حالی است که این روند برای سازه سه طبقه که ارتفاع طبقات آن یکسان است معکوس می‌باشد.

- با بررسی مقادیر λ_{RD} به‌ازای هر دو توزیع در نظر گرفته شده برای ضرایب میرایی در ارتفاع می‌توان نتیجه گرفت که با وجود طبقه اول با ارتفاع بیشتر، عملکرد توزیع IDPD نسبت به توزیع یکنواخت بهتر می‌باشد. لازم به ذکر است که این روند برای سازه سه طبقه که ارتفاع طبقات آن یکسان است معکوس می‌باشد.

مراجع

- Rosenblueth, E. and Meli, R. (1986) The 1985 Mexico earthquake. *Concrete International*, **8**(5), 23-34.
- Ruiz-Garcia, J. and Miranda, E. (2008) Probabilistic seismic assessment of residual drift demands in existing buildings. *Proc. 14th World Conference on Earthquake Engineering*.
- Bojórquez, E. and Ruiz-García, J. (2013) Residual drift demands in moment-resisting steel frames subjected to narrow-band earthquake ground motions. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **42**(11), 1583-1598.
- Soong, T.T. and Spencer, B.F. (2002) Supplemental energy dissipation: state-of-the-art and state-of-the-practice. *Engineering Structures*, **24**(3), 243-259.
- Seleemah, A.A. and Constantinou, M.C. (1997) *Investigation of Seismic Response of Buildings with Linear and Nonlinear Fluid Viscous Dampers*. Buffalo, NY: National Center for Earthquake Engineering Research.
- Constantinou, M.C. and Symans, M.D. (1992) *Experimental and Analytical Investigation of Seismic Response of Structures with Supplemental Fluid Viscous Dampers*. Buffalo, NY: National

و غیرخطی با ضرایب توان سرعت میراگر برابر با ۱، ۰/۷۵، ۰/۵ و ۰/۲۵ مجهز شدند. همچنین چهار سطح دررفت پسماند ۰/۲، ۰/۵، ۱ و ۲ درصد برای انجام تحلیل‌های دینامیکی افزاینده (IDA) در نظر گرفته شد. به این ترتیب با انجام تحلیل‌های دینامیکی افزاینده مقادیر ظرفیت‌های متناظر با سطوح مختلف دررفت پسماند برای این سازه‌ها محاسبه شد، و در ادامه مقادیر میانگین فراوانی سالیانه عبور از حدود مختلف دررفت پسماند (λ_{RD}) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج به دست آمده از این مطالعه عبارتند از:

- سازه‌های با میراگرهای ویسکوز خطی ظرفیت دررفت پسماند بیشتری نسبت به سازه‌های با میراگرهای ویسکوز غیرخطی دارند. همچنین، در میان سازه‌های با میراگرهای ویسکوز غیرخطی با توان‌های سرعت میراگر برابر با ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ هر چه توان سرعت میراگر (α) بیشتر شود، ظرفیت عبور از حد دررفت پسماند مورد نظر افزایش می‌یابد. به عنوان نمونه، بر اساس نتایج به دست آمده برای سازه 3-Story-h1-1.4 (UD) در بدترین حالت مقدار RDMR متناظر با $\alpha = 0/25$ ، به‌ازای دررفت پسماند ۲ درصد، برابر مقدار RDMR متناظر با $\alpha = 1$ می‌باشد.

- برای تمامی سازه‌های در نظر گرفته شده، کمترین مقدار میانگین فراوانی سالیانه عبور از یک حد مشخص دررفت پسماند (λ_{RD}) به‌ازای تمامی سطوح دررفت پسماند ۰/۲، ۰/۵، ۱ و ۲ درصد (متعلق به سازه با میراگر ویسکوز خطی $\alpha=1$) می‌باشد، و هر چه توان سرعت میراگر کاهش می‌یابد مقادیر λ_{RD} سازه متناظر با آن نیز افزایش می‌یابد. به‌طور خلاصه، مقادیر λ_{RD} برای سازه‌های با میراگرهای ویسکوز خطی بین ۶/۸۷ تا ۸۰/۲۴ درصد کمتر از مقادیر λ_{RD} برای سازه‌های با میراگرهای ویسکوز غیرخطی متناظر با آنهاست.

- در سازه 3-Story-h1-1.4 با نسبت میرایی ویسکوز تکمیلی (ξ) بیشتر نسبت به بقیه سازه‌ها، اختلاف مقادیر λ_{RD} به‌ازای توان‌های مختلف سرعت میراگر (α) در سطوح بالاتر دررفت پسماند به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیشتر می‌باشد.

- با بررسی مقادیر ظرفیت دررفت پسماند سازه‌ها به‌ازای دو

- Subject to Earthquake Ground Shaking*. Prepared for the SAC Joint Venture, Published by the Federal Emergency Management Agency, FEMA-355 C, Washington, DC.
17. American Society of Civil Engineers (2010) Minimum design loads for buildings and other structures. Amer Society of Civil Engineers (Vol 7).
 18. McKenna, F., Fenves, G.L. and Scott, M.H. (2015) *Open System for Earthquake Engineering Simulation*. Pacific Earthquake Engineering Research Center, Berkeley.
 19. 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 and Structural Dynamics*, **43**(14), 2135-2154.
 20. Ibarra, L.F. and Krawinkler, H. (2005) *Global Collapse of Frame Structures under Seismic Excitations*. Berkeley, CA: Pacific Earthquake Engineering Research Center.
 21. Haselton, C.B. and Deierlein, G.G. (2007) *Assessing Seismic Collapse Safety of Modern Reinforced Concrete Moment Frame Buildings*. Doctoral Dissertation, Stanford University.
 22. Lignos, D.G. and Krawinkler, H. (2010) Deterioration modeling of steel components in support of collapse prediction of steel moment frames under earthquake loading. *Journal of Structural Engineering*, **137**(11), 1291-1302.
 23. Min, L.L.P.P. (2008) *Norme Tecnica per le Costruzioni*. Italian building code, adopted with D.M. 14/01/2008, published on S.O. n. 30 G.U.
 24. Ramirez, O.M., Constantinou, M.C., Kircher, C.A., Whittaker, A.S., Johnson, M.W., Gomez, J.D. and Chrysostomou, C.Z. (2001) *Development and Evaluation of Simplified Procedures for Analysis and Design of Buildings with Passive Energy Dissipation Systems-Revision 01*.
 25. 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*, **100**, 79-93.
 - Center for Earthquake Engineering Research.
 7. Bahnasy, A. and Lavan, O. (2013) Linear or nonlinear fluid viscous dampers? A seismic point of view. *Proc. International Structures Congress 2013: Bridging Your Passion with Your Profession*, pp. 2253-2264.
 8. Cornell, C.A. and Krawinkler, H. (2000) *Progress and Challenges in Seismic Performance Assessment*. PEER center news, 3.
 9. Krawinkler, H. (2002) A general approach to seismic performance assessment. *Proc. International Conference on Advances and New Challenges in Earthquake Engineering Research*, 19-20.
 10. Porter, K.A. (2003) An overview of PEER's performance-based earthquake engineering methodology. *Proc. International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering*.
 11. Moehle, J. and Deierlein, G.G. (2004) A framework methodology for performance-based earthquake engineering. *Proc. The 13th World Conference on Earthquake Engineering*, pp. 3812-3814.
 12. Dall'Asta, A., Tubaldi, E. and Ragni, L. (2016) Influence of the nonlinear behavior of viscous dampers on the seismic demand hazard of building frames. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **45**(1), 149-169.
 13. Kitayama, S. and Constantinou, M.C. (2016) Probabilistic collapse resistance and residual drift assessment of buildings with fluidic self-centering systems. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **45**(12), 1935-1953.
 14. Landi, L., Lucchi, S., and Diotallevi, P.P. (2014) A procedure for the direct determination of the required supplemental damping for the seismic retrofit with viscous dampers. *Engineering Structures*, **71**, 137-149.
 15. SAC Joint Venture (1994) *Proc. The Invitational Workshop on Steel Seismic Issues*. Report No. SAC 94-01, Los Angeles, CA.
 16. Krawinkler, H. (2000) *State of the Art Report on Systems Performance of Steel Moment Frames*

- | | | |
|---|---|---|
| Damage Measure (DM) | ۷- سنجه خسارت | 26. Vamvatsikos, D. and Cornell, C.A. (2002) Incremental dynamic analysis. <i>Earthquake Engineering and Structural Dynamics</i> , 31 (3), 491-514. |
| Decision Variable (DV) | ۸- متغیر تصمیم‌گیری | 27. Yakhchalian, M., Ghodrati Amiri, G. and Nicknam, A. (2014) A new proxy for ground motion selection in seismic collapse assessment of tall buildings. <i>The Structural Design of Tall and Special Buildings</i> , 23 (17), 1275-1293. |
| Mean Annual Frequency of Exceedance (MAF) | ۹- میانگین فراوانی سالانه عبور | 28. Yakhchalian, M., Ghodrati Amiri, G. and Eghbali, M. (2017) Reliable seismic collapse assessment of short-period structures using new proxies for ground motion record selection. <i>Scientia Iranica</i> , 25 (5), 2283-2293. |
| Uniform Distribution (UD) | ۱۰- میرایی به‌طور یکنواخت | 29. Yakhchalian, M., Nicknam, A. and Amiri, G.G. (2015) Optimal vector-valued intensity measure for seismic collapse assessment of structures. <i>Earthquake Engineering and Engineering Vibration</i> , 14 (1), 37-54. |
| Interstorey Drift Proportional Distribution Determined on the Basis of the First Mode Deformations (IDPD) | ۱۱- توزیع ضرایب میرایی بر اساس در یافت بین طبقه‌ای
متناظر با شکل مود اول | 30. Jamshidiha, H.R., Yakhchalian, M., and Mohebi, B. (2018) Advanced scalar intensity measures for collapse capacity prediction of steel moment resisting frames with fluid viscous dampers. <i>Soil Dynamics and Earthquake Engineering</i> , 109 , 102-118. |
| SAC | ۱۲- پروژه سک | 31. U.S. Geological Survey [Online] Available: http://geohazards.usgs.gov/hazardtool/application.php [2016, December 30]. |
| MCE Risk Targeted Spectrum | ۱۳- طیف MCE_R | 32. Eads, L. (2013) <i>Seismic Collapse Risk Assessment of Buildings: Effects of Intensity Measure Selection and Computational Approach</i> . Doctoral Dissertation, Stanford University. |
| Strain Hardening Ratio | ۱۴- نسبت سخت‌شوندگی کرنشی | |
| Leaning Column | ۱۵- ستون تکیه‌گاهی | |
| Residual Drift Margin Ratio (RDMR) | ۱۶- نسبت حاشیه ایمنی در یافت پسماند | |

واژه‌نامه

- ۱- میراگرهای ویسکوز Fluid Viscous Dampers (FVDs)
- ۲- مهندسی زلزله بر اساس عملکرد Performance Based Earthquake Engineering (PBEE)
- ۳- زلزله نورثریج Northridge Earthquake
- ۴- مرکز تحقیقات مهندسی زلزله Pacific Earthquake Engineering Research (PEER)
اقیانوس آرام
- ۵- سنجه شدت Intensity Measure (IM)
- ۶- پارامتر تقاضای مهندسی Engineering Demand Parameter (EDP)

Probabilistic Evaluation of Residual Drift Demands in Steel Moment Resisting Frames Equipped with Linear and Nonlinear Fluid Viscous Dampers

Ali Yahyazadeh¹ and Mansoor Yakhchalian^{2*}

M.Sc. Graduate in Earthquake Engineering, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran,

*Corresponding Author, email: yakhchalian@eng.ikiu.ac.ir

Maximum interstory drift ratio is a useful engineering demand parameter for predicting damage and structural collapse. In recent decades, some research studies have focused on Maximum Residual Interstory Drift Ratio (MRIDR) of structures as another engineering demand parameter. MRIDR plays a key role in assessing the seismic performance of structure after seismic events, because it indicates that if structure is safe or not, and if the repair of structure is economical or not. Nowadays, passive control systems are employed for designing new structures and improving the seismic performance of existing structures. Among them, the use of Fluid Viscous Dampers (FVDs) has become very common because of their remarkable energy dissipation capacity, negligible maintenance cost and the possibility of being used in multiple earthquakes. Linear FVDs have a velocity exponent of $\alpha=1.0$ and nonlinear FVDs have velocity exponents of $\alpha \neq 1.0$. This study evaluates the effects of employing linear and nonlinear FVDs and different vertical distributions of damping coefficients on the MRIDR response of steel Special Moment Resisting Frames (SMRFs) with FVDs. For this purpose, low- and mid-rise steel SMRFs including the 3- and 9-story SMRFs designed for Los Angeles as part of SAC steel project are considered. Moreover, the height of the first story in the 3-story SMRF is increased by a factor of 1.4 to generate a 3-story SMRF with a soft story. Each of these three structures is equipped with FVDs to limit maximum interstory drift ratio under the design earthquake to 0.015. Two types of vertical distributions of damping coefficients that include uniform distribution and Interstorey Drift Proportional Distribution determined on the basis of the first mode deformations (IDPD) are assumed for each of the structures. Moreover, four values of $\alpha=0.25, 0.5, 0.75$ and 1.0 are considered for FVDs. OpenSees software is applied to model the structures. Concentrated plasticity approach is used for modeling beams. In this approach, each beam is modeled by an elastic beam-column element and two zero-length elements simulating inelastic response. However, columns are modeled using nonlinear beam-column elements, which are based on the concept of distributed plasticity. The P-Delta effects of gravity columns are accounted for by a leaning column. Four MRIDR values of 0.002, 0.005, 0.01 and 0.02 are assumed as limit states, and Incremental Dynamic analyses (IDAs) are performed on the structures using a set of far-field ground motion records considering each of these limit states. For performing the IDAs, 5% damped pseudo spectral acceleration at the fundamental period of structure, $S_a(T_1)$, is selected as ground motion intensity measure. Using the results of the IDAs median MRIDR capacity, i.e., median S_{aRD} , and its corresponding logarithmic standard deviation are calculated for each of the structures. Then, assuming lognormal distribution for S_{aRD} , residual drift fragility curves are obtained for the structures given each of the MRIDR limit states. The results indicate that given each of these limit states, the structure equipped with linear FVDs has higher median S_{aRD} compared with its corresponding structure equipped with nonlinear FVDs. Furthermore, reducing α causes reduction in median S_{aRD} . Residual drift fragility curves corresponding to all the limit states for each of the structures are combined with the seismic hazard curve for the site assumed to calculate the mean annual frequencies of exceeding these MRIDR limit states (λ_{RD}). According to the results, the values of λ_{RD} for the structures with linear FVDs are between 6.87% to

80.24% lower than those for the structures with nonlinear FVDs. Comparing the results obtained using the two height-wise distributions of damping coefficients shows that when first story height is greater than typical story height, using IDPD leads to higher median S_{ARD} and lower λ_{RD} .

Keywords: Fluid Viscous Damper; Maximum Residual Interstory Drift Ratio; Incremental Dynamic Analysis; Vertical Distribution of Damping Coefficients.