

ارزیابی لرزه‌ای سازه فلزی با استفاده از ترکیب بادبند‌های ویسکوز و بادبند‌های همگرا تحت زلزله حوزه نزدیک

فریده شاهی

دانشجو دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، تهران، ایران
St.sh-shahi@riau.ac.ir

رضا اسماعیل آبادی

عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن، تهران، ایران
Esmaeilabadi@riau.ac.ir

کلید واژه‌ها: کنترل پاسخ سازه، تحلیل تاریخچه زمانی، کنترل غیرفعال، منحنی‌های شکنندگی

چکیده

در چند دهه اخیر استفاده از میراگرها بعنوان روشی برای مقاوم سازی لرزه‌ای سازه‌های موجود و یا طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های جدید مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند. در این مطالعه که بر روی قاب‌های مهاربندی شده ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه صورت گرفته، تاثیر افزودن میراگر ویسکوز در عملکرد سازه‌های در معرض زلزله‌های حوزه نزدیک بررسی شده است. از آنجایی که رفتار لرزه‌ای سازه مورد توجه می‌باشد از تحلیل دینامیکی و نیز شتاب نگاشت‌های مختلف زلزله‌های حوزه نزدیک استفاده شده است. نتایج نشان دهنده تاثیر مناسب میراگرهای ویسکوز در کاهش پاسخ سازه‌ها و همچنین تقاضایشان برای شکست، بخصوص سازه‌های با ارتفاع بیشتر می‌باشد. همچنین نتایج قابل ملاحظه‌ای در نحوه تشکیل مفاصل پلاستیک در حالت سازه با میراگر ویسکوز نسبت به سازه بدون میراگر مشاهده شده است. بنابراین میراگرهای ویسکوز می‌توانند در بسیاری از مناطق که خطر نسبی زلزله بالاتری دارند، هم برای ساختمان‌های نوساز و هم برای مقاوم سازی ساختمان‌های موجود مورد استفاده قرار گیرند.

مقدمه

با توجه به تحقیقات صورت گرفته بر روی رکوردهای ثبت شده جنبش قوی زمین در نواحی نزدیک گسل و تاثیر این نوع رکوردها بر روی سازه‌ها، نیاز توجه به این رکوردها و آثار آنها بر روی سازه‌ها، در چند دهه اخیر اهمیت بیشتری را به خود اختصاص داده است. وجود حرکت پالس گونه با پریود بلند در ابتدای رکوردها، بزرگتر بودن مولفه عمود بر جهت گسل نسبت به مولفه موازی گسل، تجمع انرژی و انتقال آن در مدت زمان کوتاه، اعمال نیروی ضربه گونه به سازه‌ها در مسیر پیشرو گسیختگی و وجود بیشینه شتاب و سرعت و جابجایی بالاتر، از تفاوت‌های حائز اهمیت رکوردهای زلزله‌های نزدیک گسل می‌باشد.

میراگرهای ویسکوز جزء وسایل اتلاف انرژی می‌باشند که در روش‌های نوین طراحی لرزه‌ای مورد توجه قرار گرفته‌اند، تحقیقات نشان داده‌اند که استفاده از میراگرهای ویسکوز می‌تواند نقش موثری در کنترل پاسخ سازه‌ها در برابر نیروهای دینامیکی نظیر زلزله داشته باشد. اکثر سازه‌ها هنگام زلزله‌های شدید با کمک سختی و شکل‌پذیری اعضا با آن مقابله می‌نمایند، که موجب آسیب‌های اساسی و بعضاً غیر قابل جبرانی به اعضای سازه‌ای می‌گردد. استفاده از میراگرهای ویسکوز می‌تواند موجب شود که تغییر مکان‌ها و شتاب‌های زیاد سازه و به تبع آن نیاز به شکل‌پذیری کاهش یابد.

هدف از این مطالعه بررسی اثرات میراگرهای ویسکوز روی عملکرد و پاسخ سازه‌های در معرض زلزله‌های نزدیک گسل می‌باشد.

میراگر ویسکوز

این نوع از میراگر بر اساس میرایی ویسکوز ناشی از حرکت جسم متحرک درون یک سیال، طراحی شده است. میراگر ویسکوز عملکردی مشابه جک‌های هیدرولیکی دارد، و تشکیل شده از یک پیستون به همراه یک کلاهد سوراخدار، که با حرکت رفت و برگشتی در داخل یک سیلندر، سیال لزج وارد روزه‌ها شده و تولید نیرو می‌کند، این نیرو طبق رابطه (۱) به سرعت حرکت وابسته است.
(Shin . ۱۳۸۵). نشریه ۳۶۰-۲۰۰۲-FEMA 356 . ۲۰۰۲)



$$F_D = C|\dot{u}| \operatorname{sgn}(\dot{u}) \quad (1)$$

که در این رابطه، F_D نیروی میراگر، C ضریب میرایی، سرعت نسبی بین دو سر میراگر، توان سرعت یا تابع نمایی سرعت می باشد. میراگر ویسکوز با $\alpha=1$ یک میراگر ویسکوز خطی نامیده می شود. در این مطالعه نیز با بررسی های انجام شده در روند طراحی میراگر ویسکوز، از آنجایی که میراگرهای ویسکوز خطی تأثیر بیشتری در میزان کاهش پاسخ سازه ها داشتند، از میراگرهای ویسکوز خطی استفاده کرده ایم. با توجه به شکل (۱) حلقه هیستریزیس میراگر ویسکوز خطی یک بیضی می باشد، عدم حضور سختی مازاد مربوط به میراگر، فرکانس طبیعی سازه و میراگر را یکسان می سازد و در نتیجه طراحی یک سازه با میراگر ویسکوز خطی ساده می شود.



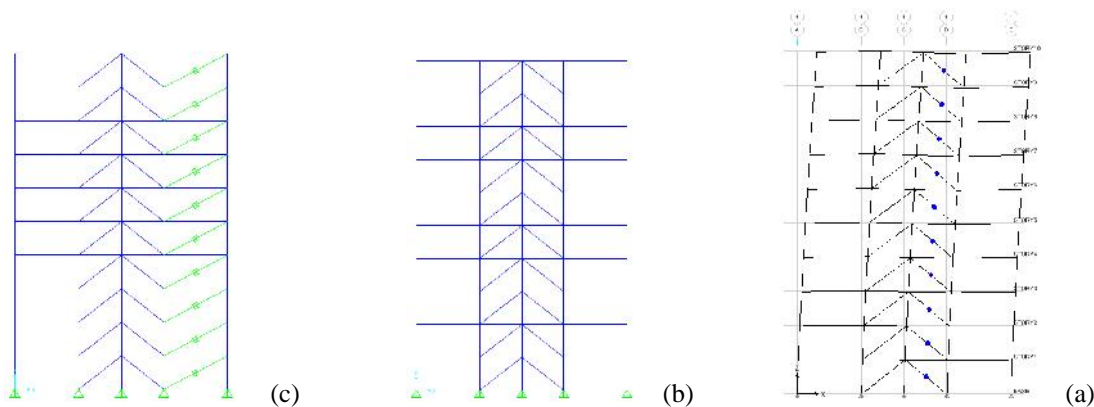
شکل ۱: (a) حلقه هیستریزیس میراگر با رفتار ویسکوز خالص (Shin. / (b) رفتار نیرو- تغییر مکان میراگر ویسکوز (Baldo et al., hysteresis loop)

مشخصات مدل های تحلیلی

در این مطالعه از سه مدل قاب ساختمانی فولادی ساده با مهاربندی همگرا بصورت دو بعدی با تعداد طبقات ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه، با ارتفاع طبقات ۳.۲ متر استفاده شده است. به طوری که مقدار بار مرده برای طبقات ۲۴۰۰ kg/m و مقدار بار زنده برای طبقات ۸۰۰ kg/m در نظر گرفته شده است، همچنین ضریب اهمیت برای سازه ها (I) برابر یک و زمین انتخابی از نوع II و در ناحیه ای با خطر لرزه ای خیلی زیاد در نظر گرفته شده و بر مبنای مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان و آیین نامه ۲۸۰۰ و با فرض $F_y = 2400 \text{ kg/cm}^2$ طراحی شده اند، و از مقاطع IPB برای ستونها، IPE برای تیرها و General برای مهاربند ها استفاده شده است.

علت استفاده از قاب های دو بعدی به جای قاب های سه بعدی، این است که سازه های ما دارای پلان منظم هستند و از دیافراگم صلب برای سقف ها استفاده شده است، که در این صورت می توان از مدل دو بعدی برای تحلیل های غیر خطی استفاده نمود. (۱۳۸۵، نشریه ۳۶۰- FEMA 356.۲۰۰۰) سازه های مطرح شده بصورت دینامیکی طیفی طراحی شده اند، و از آنجا که طیف آیین نامه ۲۸۰۰ اثرات حوزه نزدیک را در خود ندیده، طیف طراحی با در نظر گرفتن اثرات نزدیک گسل تعیین شده است که برای این منظور از ضرایب افزایشده N_a برای قسمت های پریود کوتاه (شتاب ثابت) و N_v برای قسمت پریود متوسط تا بلند (سرعت ثابت)، ارائه شده توسط UBC97، استفاده شده است. (۱۳۸۵، نشریه ۳۶۰- BC97.1997)

بعد از تحلیل و طراحی به روش دینامیکی طیفی، الگوی بار جانبی طیفی حاصل از تحلیل استخراج و در تحلیل بار افزون مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت با استفاده از ضوابط مندرج در سند Fema356 و با اعمال مشخصات غیر خطی مصالح و الگوی بار جانبی طیفی، مقاطع لرزه بر جانبی، جهت بهینه کردن طراحی طوری انتخاب شده اند تا مفاصل پلاستیک در مهاربند ها به طور همزمان تشکیل شوند و سیستم از حداکثر ظرفیت خود بهره کافی را ببرد، همانند شکل (۲).



شکل ۲: (a) تشکیل همزمان مفاصل پلاستیک در قاب ۱۰ طبقه، (b) نمونه قاب بدون میراگر ویسکوز، (c) نمونه قاب با میراگر ویسکوز

بعنوان نمونه مدل سازه ای ۱۰ طبقه با و بدون میراگر الحاقی ویسکوز مطابق شکل (۲)، (c b) نشان داده شده است. طراحی میراگر های ویسکوز نیز بر اساس رابطه (۲) (Shin. -FEMA356.2) ارائه شده در سند FEMA356 و با استفاده از شکل مودی اول سازه ها، جهت رسیدن به حداکثر مقدار تغییر مکان جانبی نسبی 0.005H در هر طبقه برای زلزله طرح، بعنوان هدف این مطالعه صورت گرفته است. در همین راستا با سعی های انجام شده مقادیر نسبت های میرایی برای سازه های ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه به ترتیب برابر ۱۰٪، ۱۵٪ و ۲۰٪ بدست آمده است.

$$eff = + \frac{T \sum_j C_j \cos^2 \theta_j \phi_{rj}^2}{4\pi \sum_i (\frac{M_i}{g}) \phi_i^2} \quad (2)$$

که در این رابطه، : میرایی قاب سازه ای برابر 0.05 T: زمان تناوب اصلی سازه، C_j: ثابت میرایی میراگر زام، z : زاویه شیب میراگر زام با افق، z_j : تغییر مکان نسبی بین دو انتهای وسیله زام در مود اول در جهت افق، i : تغییر مکان طبقه i ام در مود اول، W_i: وزن موجود طبقه iام می باشد.

روش تحلیل مدل ها

دقیق ترین روش تحلیل در حال حاضر روش دینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی است، که به علت ارتباط مستقیم نتایج آن با انتخاب رکورد زمین لرزه، چندان مورد توجه قرار نگرفته است. در همین راستا پژوهشگران در پی روش هایی برای حل این مشکل بوده اند که منجر به ارائه روش تحلیل جدیدی گردیده است که پاسخ های عمومی تری در اختیار ما می گذارد. این روش بعنوان تحلیل دینامیکی افزایشی معرفی شده است. روش تحلیل دینامیکی افزایشی شامل اثر دادن یک یا چند رکورد زمین لرزه بر روی سازه است، که هر یک از رکوردها برای رسیدن به یک شدت خاصی مقیاس شده اند، که یکی از ویژگی های آن پاسخ طبیعی سازه به افزایش تدریجی شدت زمین لرزه است. در این مطالعه برای احتراز از مسایل مربوط به اثر زلزله در محل ساختمان مورد مطالعه که به مطالعات ژئوفیزیکی و ژئوتکنیکی نیاز دارد، پاسخ دینامیکی سازه تحت شدت های زلزله ای (0.2g, 0.3g, 0.4g, ... 1.0g) مورد مطالعه قرار گرفته است. جهت انجام تحلیل های دینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی به صورت افزایشی، زلزله های ارائه شده در جدول (۱) که دارای ویژگی های زلزله های حوزه نزدیک می باشند به شتاب ثقل زمین مقیاس و در ضرایب مناسب ضرب شده اند تا مقادیر فوق حاصل شوند.

جدول ۱: مشخصات زلزله های استفاده شده در این مطالعه (Alavi & Krawinkler)

Earthquake	station	Mw	R(km)
Erzincan 1992	Erzincan	6.7	2
Imperial Valley 1979	Elcentro - A6	6.5	1.2
Kobe 1995	JMA	6.9	0.6
Morgan Hill 1984	Anderson D	6.2	4.5
Landers 1992	Lucerne	7.3	1.1
Northridge 1994	Sepulveda	6.7	8.9
Northridge 1994	Olive View	6.7	6.4

پاسخ لرزه ای قاب ها

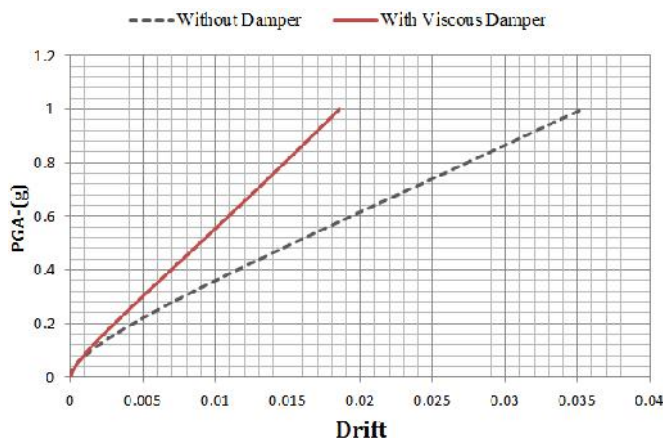
جهت بررسی کلی و منطقی تر نتایج و نه موردی، از میانگین ماکزیمم پاسخ های بست آمده از تحلیل با هفت زوج شتابنگاشت استفاده شده است.

حداکثر جابجایی نسبی

شکل (۳) یک نمونه ارائه دهنده ی حداکثر جابجایی نسبی در برابر شدت های مختلف شتاب زمین هستند. از مقایسه نمودارهای جابجایی نسبی ارائه شده برای سازه های با و بدون میراگر ویسکوز، با در نظر گرفتن نیاز ما به حد استفاده بی وقفه، در صورتی که شتاب مبنای طرح در حدود 0.30g تا 0.35g در نظر گرفته شود، می توان چنین استنتاج نمود که سازه های با میراگر ویسکوز الحاقی می توانند این نیاز را پاسخ گو



باشند. در حالی که سازه های بدون میراگر ویسکوز در محدوده شتاب عنوان شده، برای سازه ۵ طبقه جابجایی نسبی $0.008H$ ، برای سازه ۱۰ طبقه جابجایی نسبی $0.009H$ و برای سازه ۱۵ طبقه $0.01H$ را تجربه خواهد کرد، که بیشتر از هدف مورد نظر یعنی $0.005H$ می باشد.



شکل ۳: حداکثر جابجایی نسبی برای سازه ۱۰ طبقه

درصد کاهش پاسخ جابجایی

از مشاهده جدول (۲) می توان دریافت که به طور متوسط حدود 10% کاهش پاسخ جابجایی را برای سازه پنج طبقه، 30% برای سازه ده طبقه و 40% برای سازه پانزده طبقه را در صورت استفاده از میراگر ویسکوز خواهیم داشت.

جدول ۲: درصد های کاهش جابجایی بام برای سازه های ۵ طبقه و ۱۰ طبقه و ۱۵ طبقه

Roof Displacement (cm) – Ave.									
story sc	Without Damper			With Viscous Damper			Reduction (%)		
	5story	10story	15story	5story	10story	15story	5story	10story	15story
0.1g	1.77	4.61	7.98	1.51	3.42	4.96	14.69%	25.81%	37.84%
0.2g	3.53	9.21	15.96	3.01	6.84	9.93	14.73%	25.73%	37.78%
0.3g	6.84	15.29	24.56	5.77	10.27	14.91	15.64%	32.83%	39.29%
0.4g	9.24	22.75	38.49	8.46	15.76	20.31	8.44%	30.73%	47.23%
0.5g	11.38	36.72	44.12	10.65	21.08	28.62	6.41%	42.59%	35.13%
0.6g	13.13	38.03	67.37	12.05	25.05	36.25	8.23%	34.13%	46.19%

درصد کاهش برش پایه

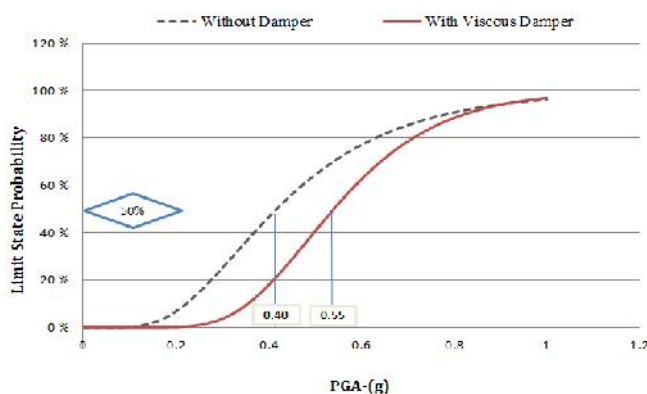
از مشاهده جدول (۳) می توان دریافت که، برش های پایه، تا زمانی که سازه ها در ناحیه الاستیک قرار دارند، با الحاق میراگرهای ویسکوز روند کاهش برش پایه را خواهیم داشت، اما با وارد شدن سازه به ناحیه غیر الاستیک به سبب تغییر در فرکانس و مود ارتعاشی سازه، نسبت پاسخها تغییر می کند و برش های پایه افزایش می یابند. در زمین لرزه های حوزه نزدیک به سبب جابجایی های بزرگ عمدتا با افزایش تقاضای شکل پذیری یا رفتار غیر الاستیک، افزایش شتاب طیفی را خواهیم داشت که موجب افزایش برش پایه خواهد شد. (MacRae et al. ۲۰۰۱)

جدول ۳: درصد های کاهش برش پایه برای سازه های ۵ طبقه و ۱۰ طبقه و ۱۵ طبقه

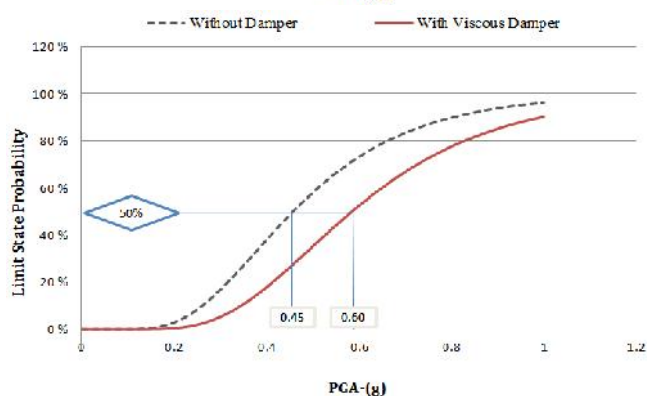
Base Shear (ton) – Ave.									
story sc	Without Damper			With Viscous Damper			Reduction (%)		
	5story	10story	15story	5story	10story	15story	5story	10story	15story
0.1g	34.75	41.14	46.27	30.91	31.24	33.55	11.05%	37.84%	27.49%
0.2g	69.51	82.12	91.31	62.83	62.48	67.11	9.61%	23.92%	26.50%
0.3g	96.85	103.46	126.89	90.93	92.45	100.66	6.11%	10.64%	20.67%
0.4g	102.93	113.82	136.96	109.91	116.23	131.66	-6.78%	-2.12%	3.87%
0.5g	107.11	125.35	152.16	115.72	138.76	161.51	-8.04%	-10.70%	-6.14%
0.6g	110.17	177.84	161.13	122.34	199.81	185.55	-11.05%	-12.35%	-15.16%

منحنی های شکنندگی

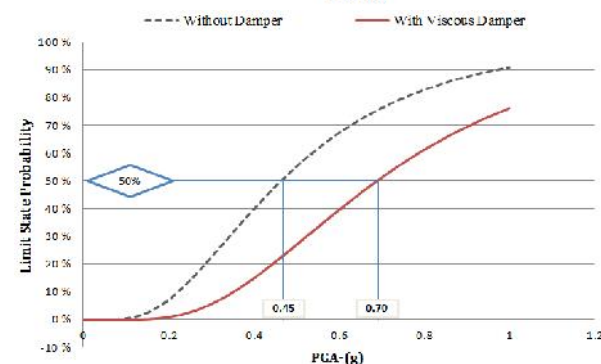
یکی از مهم ترین خروجی های بدست آمده از تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیر خطی به روش افزایشی، منحنی های شکنندگی سازه ها می باشند. این منحنی ها میزان احتمال شکست سازه را برای یک سطح عملکرد مورد نظر، در شدت های مختلف شتاب زمین نشان می دهند. در این مطالعه منحنی های شکنندگی بر اساس عبور پاسخ جابجایی نسبی هر طبقه از مقدار $0.005H$ ، در شتاب های مختلف، تحت هفت زوج شتاب نگاشت مورد استفاده، ارائه شده اند. از شکل های (6) مشاهده می شود اگر میزان 50% را بعنوان معیاری برای شکست سازه ها در نظر بگیریم، سازه پنج طبقه بدون میراگر در $PGA=0.40g$ و سازه با میراگر در $PGA=0.55g$ ، سازه ده طبقه بدون میراگر در $PGA=0.45g$ و سازه با میراگر در $PGA=0.60g$ ، سازه پانزده طبقه بدون میراگر در $PGA=0.45g$ و سازه با میراگر در $PGA=0.70g$ خواستار شکست هستند. منحنی های شکنندگی مشاهده شده برای حد استفاده بی وقفه ارائه شده اند و منظور از شکست، عبور از این مرز می باشد.



(a)



(b)



(c)

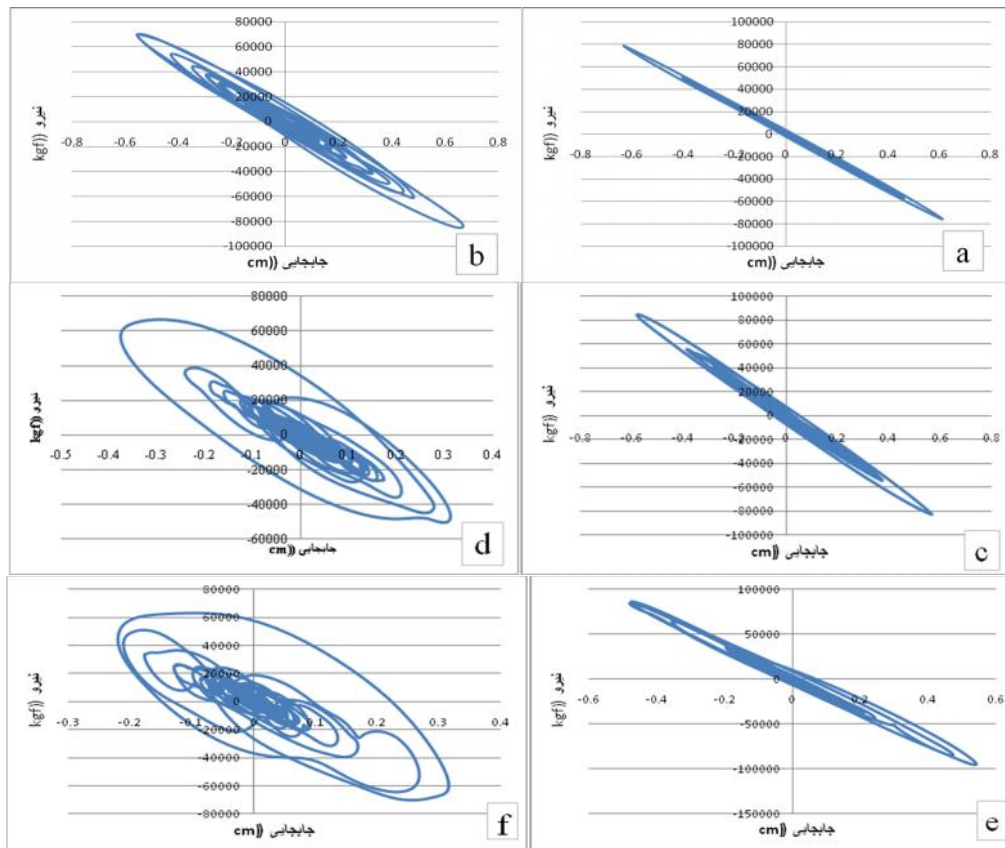
شکل 4: منحنی های شکنندگی برای سازه های 5 طبقه (a)، سازه های 10 طبقه (b) و سازه های 15 طبقه (c)

نمودارهای نیرو - تغییر مکان سازه

در تصاویر زیر، منحنی نیرو - تغییر مکان بر اساس برش پایه و تغییر مکان طبقه اول برای سازه های بدون میراگر و سازه های با میراگر ویسکوز تحت رکورد زلزله مرگان هیل ۱۹۸۴ مولفه Anderson 250 بعنوان نماینده ای از زلزله های مورد استفاده در این مطالعه، قابل مشاهده هستند. این منحنی ها نشان دهنده میزان جذب و اتلاف انرژی ورودی به سازه می باشند، همانطور که در منحنی های نیرو-تغییر مکان ارائه شده



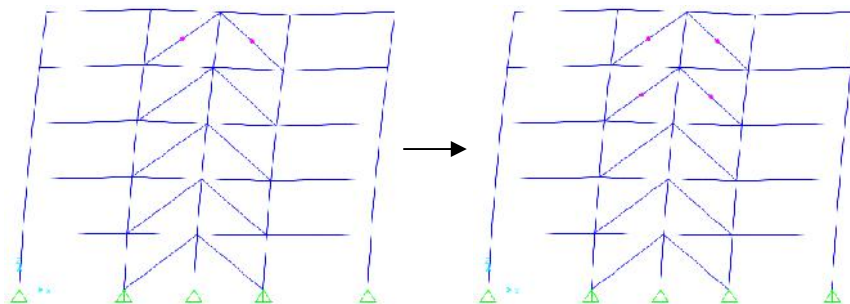
مشاهده می شود، منحنی های مربوط به سازه های مجهز به میراگر و اسکوز از سطح بیشتر و حلقه های چاق تری نسبت به سازه های بدون میراگر برخوردار هستند، که این رفتار بهتر و اتلاف انرژی بیشتر سازه های مجهز به میراگر و اسکوز را نشان می دهد.



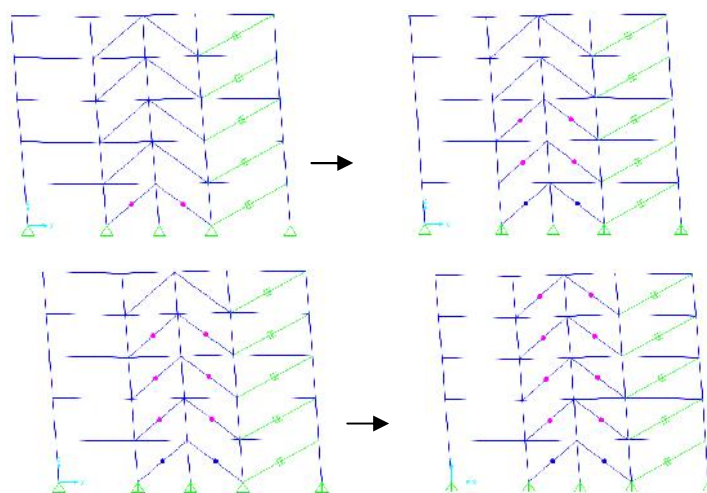
شکل ۵: (a) منحنی هیستریزیس ۵ طبقه بدون میراگر، (b) منحنی هیستریزیس ۵ طبقه با میراگر، (c) منحنی هیستریزیس ۱۰ طبقه بدون میراگر، (d) منحنی هیستریزیس ۱۰ طبقه با میراگر، (e) منحنی هیستریزیس ۱۵ طبقه بدون میراگر، (f) منحنی هیستریزیس ۱۵ طبقه با میراگر

روند تشکیل مفاصل پلاستیک در سازه ها

در شکل های ارائه شده در زیر روند شکل گیری مفاصل پلاستیک در سازه های بدون میراگر و سازه های با میراگر و اسکوز، تحت رکورد زلزله السنترو ۱۹۷۹ برای شدت $PGA=0.50g$ با یکدیگر مقایسه شده اند. مشاهده می شود روند شکل گیری مفاصل پلاستیک در سازه های بدون میراگر تحت زلزله نزدیک گسل از طبقات بالاتر به سمت طبقات پایین می باشد، اما در سازه هایی که میراگر های و اسکوز به آنها الحاق شده این روند از پایین به سمت بالا می باشد. در نتیجه می توان گفت سازه های با میراگر و اسکوز الحاقی روند مناسبتری را در استفاده بهینه از اعضای سازه ای در پیش دارند و سازه عملکرد مطلوبتری در برابر نیروها از خود به نمایش می گذارد. علت تشکیل مفاصل پلاستیک از طبقات بالاتر در سازه های بدون میراگر و اسکوز آن است که سازه های تحت زلزله های نزدیک گسل، دارای نیاز شکل پذیری بیشتری در طبقات بالاتر می باشند، که علت این مسئله در توزیع نیروی برشی الاستیک طبقات می باشد، زیرا که عمدتاً در طبقات بالاتر نیروی برشی طبقه از نیروی برشی الاستیک بیشتر شده و موجب جاری شدن زود هنگام طبقه می گردد. (Alavi, 2004)



شکل ۶: روند شکل گیری مفاصل پلاستیک در سازه ۵ طبقه بدون میراگر



شکل ۷: روند شکل‌گیری مفاصل در سازه ۵ طبقه با میراگر ویسکوز

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مطالعه میراگر ویسکوز خطی را در مقایسه با نوع غیر خطی آن، یک گزینه خوب و مناسب تر برای مقاوم سازی لرزه‌ای سازه‌ها معرفی می‌کند. از مقایسه نتایج برش‌های پایه در شدت‌های مختلف شتاب زمین، نتیجه شد که بعد از وارد شدن سازه مجهز به میراگر ویسکوز به ناحیه غیر الاستیک، البته در زمین لرزه‌های حوزه نزدیک به سبب جابجایی‌های بزرگ عمدتاً با افزایش تقاضای شکل‌پذیری یا رفتار غیر الاستیک، افزایش شتاب طیفی را خواهیم داشت که موجب افزایش برش پایه خواهد شد. از مقایسه منحنی‌های شکنندگی، به وضوح پیداست که میراگرهای ویسکوز باعث کاهش چشمگیری در احتمال شکست سازه‌ها (عبور از مرزهای تعیین شده) خواهند شد.

نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهند، میراگر ویسکوز در سازه‌های مرتفع‌تر تاثیر بیشتری در کاهش پاسخ‌های سازه دارد، و دلیل این موضوع می‌تواند این باشد که، میراگر ویسکوز با سازه‌های بلندتر به دلیل نرمی بیشتر اینگونه سازه‌ها نسبت به سازه‌های سخت و کوتاه، سازگارتر است. سازه‌هایی که میراگرهای ویسکوز به آنها الحاق شده است، یک روند مناسب‌تر و مطلوب‌تری را در مقابله با نیروهای جانبی پیش می‌گیرند، و عملکرد سازه در برابر نیروهای جانبی، بخصوص زلزله‌های حوزه نزدیک که محور اصلی این تحقیق بوده، بهینه خواهد شد. میراگرهای ویسکوز در جذب بخش زیادی از انرژی نیروی خارجی و جلوگیری از رسیدن این نیرو به اجزای اصلی سازه و کاهش ارتعاشات لرزه‌ای بسیار موثر بوده و باعث افزایش نرمی و شکل‌پذیری سازه می‌شوند. میراگرهای ویسکوز به سبب جذب انرژی بالایی که دارند، باعث کاهش در پاسخ‌های سازه‌ها شده که موجب کاهش خسارت‌های وارده و افزایش اطمینان سازه می‌شوند.

مراجع

- محرمی ح (اردیبهشت ۱۳۹۰) ششمین کنفرانس بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، بررسی مولفه قائم زلزله بر روی پل‌های راه آهن دو دهانه در نواحی نزدیک گسل
- نشریه ۳۶۰ - دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود- سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور- دفتر امور فنی تدوین معیارها و کاهش خطر پذیری ناشی از زلزله- ۱۳۸۵

Alavi B and Krawinkler H (2004) *Behavior of moment-resisting frame structures subjected to near-fault ground motions- Stanford University- Earthquake Engineering And Structural Dynamics*

Baldo P, Tomaselli F and Pimenta F (2004) *LOUREIRO VIADUCT SEISMIC PROTECTION: TESTING OF NON-LINEAR VISCOUS DAMPERS*

FEMA 356-Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings-November 2000

Jenn-Shin (2002) *Hwang-Seismic Design of Structures with Viscous Dampers-International Training Programs for Seismic Design of Building Structures*

MacRae GA, Morrow DV and Roeder CW (2001) *Near Fault Ground Motions Effects on Simple Structures-Journal of Structural Engineering*

UBC97-UNIFORM BUILDING CODE-1997-Volume 2-Chapter 16-STRUCTURAL DESIGN REQUIREMENTS

