



پنجمین کنفرانس ملی زلزله و سازه

کرمان - ۳ و ۴ اردیبهشت ماه ۱۳۹۳



شماره: ۹۲/۵۹/۲۱۱۲/ص

تاریخ: ۹۲/۱۱/۱۳

پیوست:

به نام خدا

گواهی پذیرش مقاله

پژوهشگر: کرامی

جناب آقایان هاشم شریعتدار، سید حمید عاقل با یکی

بنا بر اساس از تلاش شاد رسانی تحقیق و پژوهش در موضوع زلزله و سازه، بدینوسیله اعلام میدارم مقاله جنابعالی

با کد "۷۱۴۶۳" و با عنوان:

بررسی رفتار و تعیین ضریب رفتار پشته‌های قاب‌های خمشی فولادی

مجموعه میراگر لرزجی

مورد پذیرش جهت ارائه به صورت شفاهی در پنجمین کنفرانس ملی زلزله و سازه قرار گرفته است.

دکتر رضا کامیار مقدس

پنجمین کنفرانس ملی زلزله و سازه

واحد استان کرمان

5th national
Conference
On
Earthquake
&
Structure

23,24

April

2014

Kerman, Iran

برگزار کننده:

پژوهشگاه زلزله و سازه دانشگاه

با نامی:

دانشگاه شهید باهنر کرمان
انجمن سازه‌های فضاکار ایران
استانداری کرمان
وزارت راه و شهرسازی
بنیاد مسکن انقلاب اسلامی
شهرداری کرمان
مرکز تحقیقات راه، مسکن و
شهرسازی
سازمان مدیریت بحران کشور
شرکت مدنی و صنعتی گل کهر

بررسی رفتار و تعیین ضریب رفتار پیشنهادی قاب های خمشی فولادی مجهز به میراگر لزجی

هاشم شریعتمدار^۱، سیدحمید عاقل بایگی^۲

۱-دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

shariatmadar@um.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

s.hamidaghel@gmail.com

چکیده

در این مقاله تأثیر گونه ای از سیستم های اتلاف انرژی غیرفعال یعنی میراگرهای لزجی بر عملکرد لرزه ای قاب خمشی متوسط فولادی مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، سه نوع سازه مختلف به روش های معمول، طراحی و سپس در نرم افزار OpenSees مدل سازی شدند. در ادامه روی این مدل ها تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی خطی و غیرخطی با استفاده از شتاب نگاشت های مقیاس شده ی زلزله های واقعی ال سنترو، منجیل، ناغان و طیس انجام گرفت. بر مبنای تحلیل دینامیکی به انجام رسیده، ضریب رفتار R برای سازه ها و ضریب رفتار $R_{\text{ع}}$ برای میراگرهای الحاقی محاسبه و دیده شد که مطابق انتظار سازه های مجهز به میراگرهای لزجی ضریب رفتار بزرگ تری نسبت به سازه های بدون میراگر دارند. نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی انجام شده در مجموع نشان دهنده رفتارهای مناسبی در سازه های مجهز به میراگر همچون کاهش برش پایه، شکل پذیری بیشتر، رفتار توأمان برشی و خمشی در سازه های با زمان تناوب بالا، توزیع مناسب تر انرژی هیستریزس در ارتفاع سازه، کاهش تأثیر مولفه اینرسی بر پاسخ دینامیکی و کاهش مقادیر پاسخ لرزه ای سیستم بود.

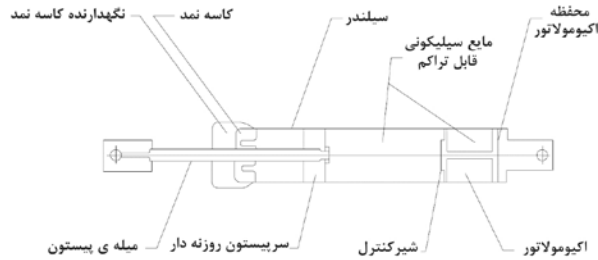
واژه های کلیدی: میراگر لزجی، ضریب رفتار، پاسخ لرزه ای، تحلیل دینامیکی تاریخچه ی زمانی غیرخطی

۱. مقدمه

به طور کلی ساختمان ها دارای میرایی ذاتی کمی بوده و تحت نیروی زلزله وارد محدوده ی غیر ارتجاعی شده و آسیب پذیری باشند. برای اتلاف انرژی زلزله و کاهش ارتعاشات سازه ها در نتیجه ی آن کاهش خسارات مالی و جانی، وسایل کنترلی در سازه ها به کاررفته اند. این ابزارهای کنترلی رامی توان بر اساس روش جذب انرژی به غیرفعال، فعال، نیمه فعال و ترکیبی (دوگانه) تقسیم کرد. عملکرد این گونه وسایل موجب می شود که انرژی دریافتی سایر اعضای سازه ای کاهش یافته و در نتیجه تغییر شکل زیادی در آن ها ایجاد نشده و مقدار زیادی از انرژی زلزله به دلیل تخریب های موضعی در سیستم مقاوم جانبی سازه مستهلک می شود. میزان انرژی وارده به سازه در حین زلزله به زمان تناوب سازه و نسبت آن به دوره ی تناوب غالب حرکت زمین ارتباط مستقیم دارد. همچنین میزان خرابی سازه نیز بستگی به میزان انرژی پسماند جذب شده در قالب رفتار غیر ارتجاعی اعضای سازه ای دارد. استفاده از سیستم های جذب کننده ی انرژی اولین بار پس از زلزله (۱۹۸۹) Loma Prieta مطرح شد. در سال ۱۹۹۷

Constantinou و Dargush تاریخچه ای از انواع سیستم های جاذب انرژی ارائه نمودند [1]. در سال ۱۹۹۸، Soong و Dargush نحوه ی طراحی المان های به کاررفته در این سیستم ها را برای مقابله بانبروهای جانبی زلزله ارائه نمودند. بر مبنای تلاش های به انجام رسیده و نتایج حاصل از کاربرد سیستم های جاذب انرژی، ضوابط معتبری چون: دستورالعمل ارائه شده توسط انجمن SEAONC در سال ۱۹۹۲ در خصوص استفاده از روش غیرخطی در سازه های مجهز به سیستم های جاذب انرژی، گزارش انجمن SEAOC در سال ۱۹۹۴ در خصوص کاربرد سیستم های جاذب انرژی در ساختمان های جدید، و نیز دستورالعمل های دیگری جهت ارزیابی سازه های مجهز به سیستم های جاذب انرژی نظیر: FEMA ۳۵۶، ATC ۱۹ و ATC ۳۴ ارائه گردیدند [2-6].

در میان سیستم های جاذب انرژی، میراگر لژی ابزارای است که به علت ویژگی میرایی عالی و از همه مهم تر قابلیت اتلاف انرژی بسیار بالا و حلقه ی هیسترتیک چاق و نصب راحت کاربرد گسترده ای پیدا کرده است. نمونه میراگر لژی در شکل انشان داده شده است.



شکل (۱): میراگر لژی مایع

هنگامی که این میراگرها اولین بار برای استفاده های عمرانی تولید شد، تکنولوژی آن ها بیش از ۳۵ سال توسعه یافته و کامل شده بود، اما در آن زمان میراگرها در واقع برای محافظت سیلوهای موشک از اصابت و امواج ضربه یک انفجار استفاده شده است. تحقیق و کاربرد میراگرهای ویسکوز در مهندسی عمران تقریباً همزمان با آخر جنگ سرد در سال ۱۹۹۰، با تمرکز روی متوسط کردن پاسخ سازه در یک تکان لرزه ای بود. خلاصه ای از مطالعات پیشینیان در ادامه ذکر شده است:

مطالعاتی همچون: Makris (۱۹۹۲)، Constantinou و Makris (۱۹۹۵) و Constantinou و Symans (۱۹۹۳) برای دست یابی به مدل ریاضی صحیح یک میراگر لژی، به انجام رسید [7-9]. این مطالعات همچنین برای تعیین برخی از پارامترهای مدل، آزمایشات بهره جویی نمودند. Constantinou و Symans (۱۹۹۳) آزمایشاتی را بر روی میراگرهای لژی مایع خطی روزنه دار به انجام رساندند [9]. آزمایشات بر روی یک قاب فولادی سه طبقه با مقیاس ۱:۴ و تحت ۶۶ تحریک ناشی از پنج زلزله به انجام رسید. ابتدا قاب فولادی به تنهایی و سپس به ترتیب با نصب دو، چهار و شش میراگر مورد آزمایش قرار گرفت. Constantinou و Symans (۱۹۹۳) نتیجه گرفتند که بهره جویی از میراگرهای لژی مایع، منجر به کاهش ۳۰ تا ۷۰ درصدی در یافت طبقات می گردد [9]. این میزان

کاهش در مقایسه با نتیجه حاصل از بکارگیری سایر سیستم‌های جاذب انرژی همچون ویسکوالاستیک، اصطکاکی و میراگرهای فلزی جاری شونده بکار رفته، قابل توجه بود. همچنین استفاده از میراگرهای لزجی برخلاف سایر سیستم‌های جذب کننده انرژی، منجر به کاهش برش طبقات به میزان ۴۰ تا ۷۰ درصد می‌گردد. آزمایشات بعدی انجام شده توسط Miyamoto و Singh در سال ۲۰۰۲ نشان دادند که در صورتی که سازه وارد محدوده رفتار غیرکشسان شود، نتایج گرفته شده پیشین در خصوص کاهش برش طبقات صادق نخواهد بود. Reinhorn و همکاران (۱۹۹۵) آزمایش مشابهی را بر روی قاب بتنی مسلح سه طبقه (با فولاد اندک) با مقیاس ۱:۳ تحت تحریک‌های لرزه‌ای مقیاس شده به انجام رساندند [10]. افزودن میراگرهای مایع منجر به افزایش چشم‌گیری درصد میرایی از ۳ تا ۱۶ درصد تحت تحریک‌های کم دامنه گردید. Lin و Chopra (۲۰۰۲) مساله‌ی کاهش برش پایه را با مطالعه‌ی پاسخ لرزه‌ای سیستم‌های کشسان یک درجه‌ی آزادی مجهز به میراگرهای لزج غیرخطی مطرح کردند. در این مطالعه، این محققین ضمن تعریف دو متغیر مستقل میراگرهای لزجی مایع غیرخطی یعنی نسبت و توان میرایی تکمیلی، نشان دادند که میراگرهای غیرخطی از میراگرهای خطی مفیدتر می‌باشند، چراکه منجر به افزایش میرایی مکمل و کاهش بیش تر برش پایه می‌شود [11]. Rodrigo و Romero (۲۰۰۳) در مطالعه‌ی تحلیلی با بکارگیری روشی جهت طراحی بهینه میراگرهای لزجی به مقایسه‌ی عملکرد میراگرهای لزجی خطی و غیرخطی در تقویت سازه‌های فولادی پرداختند [12].

در این نوشتار تأثیر استفاده از میراگرهای لزجی بر روی ضریب کاهش پاسخ و نیز رفتار لرزه‌ای قاب‌های خمشی فلزی باشکل پذیری متوسط بررسی می‌شود. بدین منظور، از تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه‌ی زمانی به صورت مشروح در بخش‌های بعد بهره‌جویی شده است.

۲. ضریب رفتار (R)

آیین نامه‌های ATC۱۹ و ATC۳۴ از روش ساده‌ای به صورت حاصل ضرب سه پارامتر اصلی زیر برای تعیین ضریب رفتار بهره‌می‌جویند [5,6]:

$$R = R_{\mu} \cdot \Omega_0 \cdot R_T \quad (1)$$

در رابطه‌ی فوق، R_{μ} ضریب مقاومت شکل پذیری، نشان‌گر ظرفیت شکل پذیری سازه در محدوده‌ی غیرخطی مصالح و Ω_0 ضریب مقاومت افزون است که به طور کلی تابعی از دوره‌ی تناوب سیستم، مقاومت واقعی مصالح و مقاومت طراحی است. R_T نیز ضریب مربوط به نامعینی ساختمان‌ها برای لحاظ میزان قابلیت اعتماد سیستم لرزه بر با توجه به تعداد قاب‌های مقاوم در هر راستا از ساختمان است. ضریب مقاومت افزون از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$\Omega_0 = \Omega_{01} \times F_1 \times F_2 \times F_3 \quad (2)$$

در رابطه‌ی بالا، Ω_0 مقاومت افزون واقعی، Ω_{01} مقاومت افزون اولیه بر مبنای رابطه‌ی ۲، F_1 ضریب اضافه مقاومت سیستم، F_2 ضریب اضافه مقاومت مصالح، و F_3 ضریب اضافه مقاومت طراحی می‌باشد. بر اساس مطالعات Elingwood مقادیر ضرایب F_1 ، F_2 و F_3 برای قاب‌های خمشی فلزی به ترتیب برابر با ۱/۰۵، ۱/۱ و ۱ در نظر گرفته می‌شود.

پس از انجام تحلیل های دینامیکی خطی، غیرخطی و ترسیم منحنی هیستریزس کلی قاب به صورت نموداری از برش پایه ی طبقه ی اول نسبت به تغییر مکان بام برای هررکورد زلزله ، ضریب رفتار تعیین خواهد شد. بابهه جویی از روش پیشنهادی توسط Lu و Chen، می توان نقاط مربوط به تغییر مکان های موردنظر بر روی منحنی هیستریزس را تعیین نمود. پارامترهای مورد نیاز به صورت زیر تعیین می شوند:

$$R_{\mu} = \frac{|\Delta_{\max}^+| + |\Delta_{\max}^-|}{c_1(|\Delta_{\bar{y}}^+| + |\Delta_{\bar{y}}^-|)} \quad (3)$$

$$\Omega_{\circ 1} = \frac{|\Delta_{\bar{y}}^+| + |\Delta_{\bar{y}}^-|}{|\Delta_{\bar{s}}^+| + |\Delta_{\bar{s}}^-|} \quad (4)$$

که در این روابط، C_1 نسبت بیشینه ی تغییر مکان غیر ارتجاعی حاصل از تحلیل دینامیکی غیر خطی به بیشینه ی تغییر مکان ارتجاعی حاصل از تحلیل دینامیکی خطی، $\Omega_{\circ 1}$ ضریب مقاومت افزون اولیه ، Δ_{\max}^+ تغییر مکان بیشینه ی مثبت و Δ_{\max}^- تغییر مکان بیشینه ی منفی، $\Delta_{\bar{y}}^+$ تغییر مکان بیشینه ی مثبت تسلیم کلی قاب و $\Delta_{\bar{y}}^-$ تغییر مکان بیشینه ی منفی تسلیم کلی قاب، $\Delta_{\bar{s}}^+$ تغییر مکان مثبت مربوط به تشکیل اولین مفصل خمیری و $\Delta_{\bar{s}}^-$ تغییر مکان منفی مربوط به تشکیل اولین مفصل خمیری هستند.

Whittaker در سال ۱۹۹۹، برای در نظر گرفتن آثار ناشی از کاربرد میراگرهای الحاقی بر روی سیستم های سازه ای، استفاده از پارامتر R_{ξ} رابه صورت رابطه ی زیر پیشنهاد کرد [13]:

$$R = R_{\mu} \Omega_{\circ} R_{\Gamma} R_{\xi} \quad (5)$$

در این رابطه R_{ξ} مربوط به میزان کاهش در نیروهای طراحی لرزه ای ناشی از به کار بردن سیستم میراگرهای الحاقی است.

۳. مشخصات مدل های تحلیلی سازه ها

۳.۱. مشخصات قاب های مورد استفاده

در این نوشتار از سه مدل قاب خمشی فولادی متوسط دوبعدی دو، شش و ده طبقه با تعداد سه دهانه به عرض پنج مترو ارتفاع ۳/۶ متر استفاده شده است. برای بارگذاری ثقلی سازه مورد نظر از مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ایران و برای بارگذاری لرزه ای از آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش سوم استفاده شده است. برای بارگذاری لرزه ای از روش استاتیکی معادل استفاده می شود. سازه های مورد نظر مسکونی و با اهمیت متوسط می باشد. همچنین خاک محل از نوع IV و منطقه با خطر پذیری خیلی زیاد است. نسبت میرایی بحرانی ذاتی برای قاب بدون میراگر الحاقی ۵ درصد انتخاب شده است. پس از انجام طراحی اولیه، قاب ها در نرم افزار OpenSees 2.4.2 برای تعیین زمان تناوب اصلی سازه و مودهای ارتعاشی مدل شدند [14]. در این مدل سازی از یک سیستم جرم متمرکز برای شبیه سازی خواص دینامیکی سازه های اصلی استفاده شده است. المان به کار رفته برای مدل سازی المان های تیروستون از نوع فیری است و جنس مصالح فلزی به صورت تک محوری دوخطی با نسبت سخت شوندگی مجدد ۳ درصد تعیین شده است. در جدول ۱، مشخصات دینامیکی مدل های سازه ای شامل دوره ی تناوب، جرم مؤثر مودی و ضریب مشارکت مودی برای مود اول آورده شده است.

میدان دور	میدان نزدیک	میدان دور	میدان دور	نوع زلزله
-----------	-------------	-----------	-----------	-----------

۵. نتایج تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی

۱.۵. تعیین ضریب رفتار ناشی از میراگرهای الحاقی

پس از انجام این تحلیل های دینامیکی خطی و غیرخطی و ترسیم منحنی هیستریزس کلی قاب ها به صورت نموداری از برش پایه نسبت به تغییر مکان بام برای هر رکورد زلزله، مطابق روش مشروح در بخش دوم، نسبت به محاسبه ی ضریب رفتار قاب های خمشی با و بدون میراگر لزجی اقدام شد. نتایج حاصل از انجام محاسبات ضریب رفتار توسط چهار شتاب نگاشت مذکور برای سازه ی شش طبقه در جدول ۳ و نیز مقادیر متوسط حاصل برای کل سازه های تحلیل شده در جدول ۴ آمده است.

جدول (۳): محاسبه مقدار ضریب رفتار برای قاب ۶ طبقه با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی

R _ξ	R	Ω _o	R _μ	Δ _s ⁻ (cm)	Δ _s ⁺ (cm)	Δ _y ⁻ (cm)	Δ _y ⁺ (cm)	Δ _{max} ⁻ (cm)	Δ _{max} ⁺ (cm)	C ₁	بیشینه تغییر مکان	بیشینه تغییر مکان	سازه	رکورد زلزله
											مکان ارتجاعی (cm)	غیر ارتجاعی (cm)		
-	6.76	1.74	2.70	2.75	3.37	4.71	4.52	9.58	10.14	0.79	12.84	10.14	6S-MRF*	آل سترو
1.33	8.97	2.02	3.09	2.04	2.22	3.93	3.53	9.00	8.51	0.76	11.84	9.00	6S-VD**	
-	6.81	1.79	2.64	2.88	2.53	5.79	2.63	11.08	7.60	0.84	13.19	11.08	6S-MRF	منجیل
1.31	8.92	1.91	3.24	1.90	1.53	3.51	2.19	8.08	6.88	0.81	9.97	8.08	6S-VD	
-	6.47	1.98	2.28	1.09	1.64	1.37	3.33	4.38	6.08	0.98	6.21	6.08	6S-MRF	ناغان
1.42	9.16	2.31	2.75	0.62	0.99	1.10	2.16	3.42	4.81	0.92	5.23	4.81	6S-VD	
-	7.03	1.90	2.56	2.88	2.29	4.66	3.90	9.01	8.32	0.79	11.40	9.01	6S-MRF	طیس
1.38	9.74	2.35	2.88	1.90	1.08	3.32	2.78	7.25	6.78	0.80	9.07	7.25	6S-VD	
-	6.77	1.85	2.55	2.40	2.46	4.13	3.59	8.51	8.04	0.85	10.91	9.08	6S-MRF	متوسط
1.36	9.20	2.15	2.99	1.62	1.45	2.97	2.66	6.94	6.74	0.82	9.03	7.29	6S-VD	

* قاب خمشی شش طبقه بدون میراگر
** قاب خمشی شش طبقه مجهز به میراگر لزجی

همان گونه که مشاهده می شود، با به کارگیری میراگرهای لزجی به ازای افزایش ۲۰ درصدی میرایی ناشی از میراگرهای الحاقی، به طور متوسط ۳۶٪ ضریب رفتار سازه ها افزایش یافت. پارامتر دیگری که در تعیین ضریب رفتار سازه استفاده می شود، ضریب کاهش شکل پذیری R_μ است. این ضریب هر چه بزرگتر باشد، نشان دهنده قابلیت استهلاک انرژی بیشتر سازه در برابر نیروهای ناشی از زلزله می باشد. به عبارت دیگر با افزایش تغییر شکل - نهایی سازه، انهدام نیز به تأخیر می افتد و از این نظر بر حاشیه ایمنی سازه افزوده می شود. مقدار ضریب شکل پذیری با بهره جویی از میراگرهای لزجی به طور متوسط ۲۴٪ افزایش یافت. بنابراین قابلیت استهلاک انرژی در سازه های با

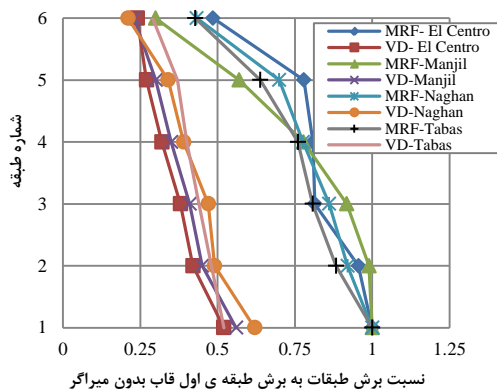
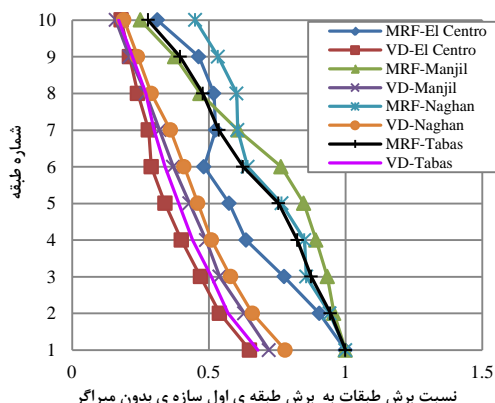
میراگریش ترازسازه‌های بدون میراگراست. این خصوصیت، در بارگذاری‌های ارتعاشی مانند زلزله، بهبود رفتار سازه و کاهش خسارات را در پی دارد.

جدول (۴): متوسط ضریب رفتار سازه‌ها و میراگرهای الحاقی

سازه	نوع سازه	R	R_{ξ}
دو طبقه	بدون میراگر	6.46	-
	مجهز به میراگرلژی	8.96	1.39
شش طبقه	بدون میراگر	6.77	-
	مجهز به میراگرلژی	9.20	1.36
ده طبقه	بدون میراگر	6.70	-
	مجهز به میراگرلژی	8.92	1.33
مقادیر متوسط	بدون میراگر	6.65	-
	مجهز به میراگرلژی	9.03	1.36

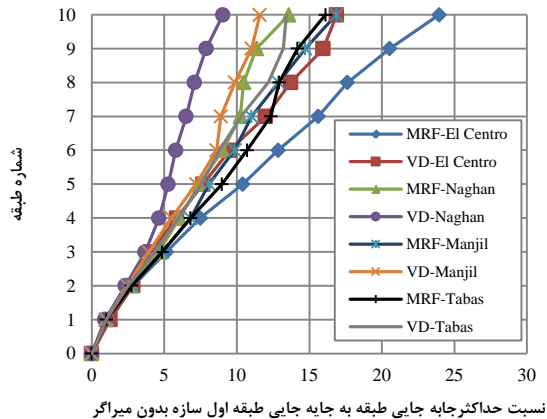
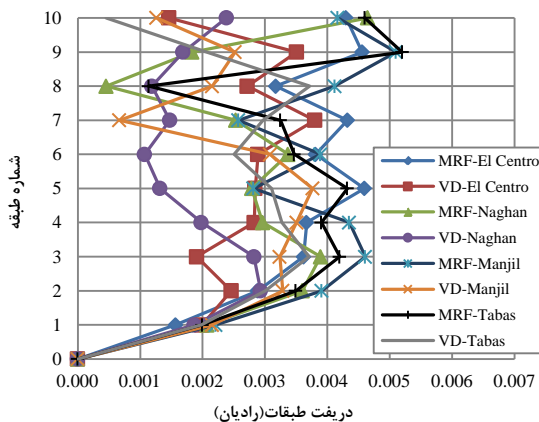
۲.۵. بررسی و مقایسه برش ماکزیمم طبقات در سازه‌ها

در این بخش توزیع برش ماکزیمم در ارتفاع سازه‌های ۲، ۶ و ۱۰ طبقه تحت اثر ۴ شتاب نگاشت مذکور، مورد بررسی قرار می‌گیرد. به منظور راحت‌تر شدن مقایسه بین سازه‌های بدون میراگر و مجهز به میراگر، برش‌های طبقات مختلف به شکل مناسبی بی‌بعد می‌شوند. به این منظور در یک زلزله مشخص، مقدار برش طبقات در هر دو سازه مذکور بر مقدار برش طبقه اول در سازه بدون میراگر به دست آمده از همان زلزله معلوم تقسیم می‌شوند. در شکل‌ها MRF بیانگر قابخمش بدون میراگر و VD بیانگر قاب مجهز به میراگرلژی است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مقدار برش طبقات در سازه‌های با میراگرلژی کمتر از مقدار نظیر در سازه‌های بدون میراگر می‌باشد، در نتیجه سازه برای برش کمتری باید طرح شود. در سازه‌های ۲ طبقه میانگین درصد کاهش برش پایه در سازه‌های با میراگرلژی برای چهار زلزله مورد نظر، ۲۵٪ بوده است. این درصد کاهش برش پایه برای سازه‌های ۶ طبقه و ۱۰ طبقه به ترتیب ۴۴٪ و ۳۵٪ می‌باشد. به طور کلی میانگین درصد کاهش برش پایه برای سازه‌های با میراگرلژی نسبت به سازه‌های معمولی ۳۶٪ می‌باشد. این عدد قابل توجه بوده و بیانگر این است که نیروی برش پایه وارد بر سازه به سبب ایجاد مکانیزم استهلاک انرژی و شکل‌پذیری در میراگر، ۳۴٪ کم شده است. مقادیر برش طبقات سازه‌های ۶ و ۱۰ طبقه تحت اثر چهار شتاب نگاشت، به ترتیب در شکل‌های ۲ و ۳ آمده است.



شکل (۳): مقایسه جابجایی جانبی و دررفت طبقات در سازه ۱۰ طبقه مقیاسه برش طبقات سازه ۱۰ طبقه

در این بخش جابجایی جانبی طبقات در سازه‌های ۲ و ۶ و ۱۰ طبقه با و بدون میراگر مورد بررسی قرار گرفته است. همانند بخش قبل جابه جایی ها نسبت به جابه جایی طبقه اول سازه بدون میراگر ارائه شده است. بر مبنای نتایج در تمام سازه‌ها و تحت همه ی زلزله ها مقدار جابجایی ماکزیمم در سازه‌های با میراگر کم تر از سازه‌های بدون میراگر می‌باشد. حداکثر کاهش جابه جایی ها در سازه های ۲، ۶ و ۱۰ طبقه با بهره گیری از میراگرهای لزجی به ترتیب برابر با ۳۶٪، ۳۲٪ و ۴۱٪ می باشد. در مجموع میراگرهای لزجی مقادیر جابه جایی طبقات ۱۹٫۱٪ تا ۴۱٪ کاهش داده اند. همچنین نمودار تغییر مکان سازه‌های مجهز به میراگر، ترکیبی از رفتار برشی و خمشی را به نمایش می گذارد. در مجموع بهره گیری از میراگرهای لزجی منجر به کاهش و یکنواخت تر شدن سطوح دررفت سازه شده و ضمن تحقق بهتر معیار آسایش، باعث کاهش خسارات وارده بر سازه و نیز افزایش قابلیت تعمیر پذیری آن می شود. به عنوان نمونه جابه جایی و دررفت طبقات سازه ی ۱۰ طبقه با و بدون میراگر لزجی تحت اثر چهار شتاب نگاشت ال سنترو، منجیل، ناغان و طیس، به ترتیب در شکل های ۴ و ۵ آمده است.

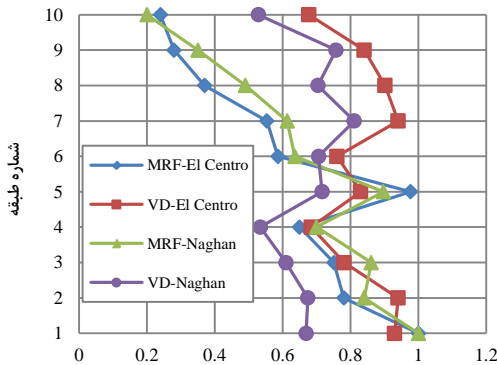


شکل (۵): مقایسه دررفت طبقات سازه ۱۰ طبقه

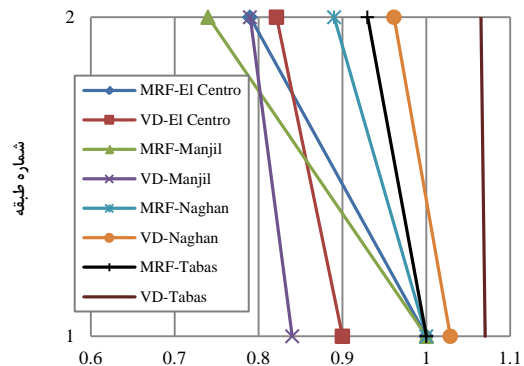
شکل (۴): مقایسه جابجایی ماکزیمم طبقات سازه ۱۰ طبقه

۳.۵. بررسی و مقایسه توزیع انرژی هیستریزس طبقات در سازه ها

مقدار انرژی هیستریزس در هر طبقه با محاسبه مساحت زیر منحنی « نیروی برشی - تغییر مکان مرکز جرم طبقه » به دست می آید. همان گونه که در شکل ۸ تا ۱۰ مشاهده می شود، استفاده از میراگرهای لزجی، سبب کاهش شیب نمودار توزیع انرژی و یا به عبارت دیگر سبب یکنواخت تر شدن انرژی مستهلک شده در طبقات شده است. در حالت کلی در سازه های مورد مطالعه، انرژی مستهلک شده در هر طبقه برای سازه های بدون میراگر از پایین به بالا کمتری می شود. تا جایی که در طبقه آخر، سازه های ۱۰ و ۶ طبقه، انرژی مستهلک شده کمتر از ۲۵٪ مقدار نظیر در طبقه اول می باشد. تفاوت معنادار دیگر میان سازه های مجهز به میراگر لزجی و بدون میراگر این است که در طبقات بالایی سازه ها با میراگر لزجی، شاهد افزایش جذب انرژی نسبت به طبقات زیرین هستیم. از دیدگاه دیگری می توان دید که چنانچه از میراگرهای لزجی استفاده شود، روند رفتاری مستقل از نوع زلزله بوده و می توان گفت تقریباً توزیع استهلاك انرژی در ارتفاع طبقات مستقل از نوع زلزله میدان نزدیک و یا میدان دور می باشد. مقادیر نسبی انرژی جذب شده طبقات سازه های ۲ و ۱۰ طبقه تحت اثر زلزله های مذکور به ترتیب در شکل های ۶ و ۷ آمده است.



نسبت انرژی هیستریزس طبقات به طبقه ی اول سازه ی بدون میراگر



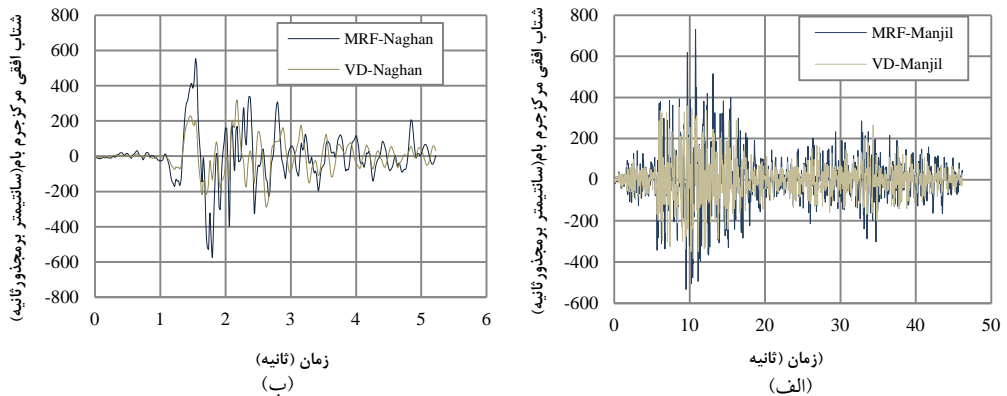
نسبت انرژی هیستریزس طبقات به طبقه ی اول سازه بدون میراگر

شکل (۷): مقایسه انرژی هیستریزس در ارتفاع سازه ۱۰ طبقه

شکل (۶): مقایسه انرژی هیستریزس در ارتفاع سازه ۲ طبقه

۴.۵. بررسی و مقایسه تاریخچه شتاب افقی مرکز جرم طبقات در سازه ها

در سازه های مجهز به میراگر لزجی، تاریخچه شتاب وارد بر مرکز جرم طبقات برای تمامی زلزله ها کم تر از سازه ی بدون میراگر می باشد. در مجموع میانگین نسبت حداکثر شتاب در سازه های ۲ طبقه مجهز به میراگر لزجی به سازه های بدون میراگر برای چهار زلزله مورد نظر ۰/۶۸ می باشد. این نسبت با افزایش تعداد طبقات کاهش می یابد. به گونه ای که برای سازه های ۶ طبقه و ۱۰ طبقه به ترتیب برابر ۰/۵۵ و ۰/۵۶ می باشد. این روند کاهشی نشان دهنده تأثیر کمتر شتاب در سازه های بلند تر مجهز به میراگر لزجی می باشد. به این ترتیب می توان دریافت که تأثیر عامل اینرسی در معادله تعادل دینامیکی سیستم های با میراگر لزجی کاهش می یابد. همچنین میراگر لزجی سبب یکنواخت تر شدن دامنه ی سیکل ها شد. به عنوان نمونه تاریخچه ی شتاب افقی وارد بر مرکز بام سازه ی ۶ طبقه تحت زلزله های منجیل و ناغان به ترتیب در شکل های (۸ = الف) و (۸- = ب) آمده است.



شکل ۸) (الف) و (ب) مقایسه طرز پاسخ طیفی وارد بر مرکز جرم بام سازه ۶ طبقه (الف) تحت اثر زلزله ی منجیل (ب) تحت اثر زلزله ی ناغان

در مطالعه ی محدود انجام شده که با استفاده از سه مدل سازه ای فولادی قاب خمشی دویعدی با تعداد طبقات مختلف و تعداد محدودی از رکوردهای زلزله انجام شد، نسبت به تعیین ضریبی به منزله ی ضریب رفتار قاب خمشی فولادی متوسط مجهزه به میراگر لزجی و در نتیجه تعیین ضریب کاهش مقاومت ناشی از میراگرهای الحاقی لزجی با بهره جویی از تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخیچه ی زمانی اقدام شده است. همچنین پاسخ لرزه ای سازه هادر قالب برش ، جابجایی، دریفت، انرژی مستهلک شده در طبقات و نیز شتاب اعمالی به سازه بررسی شده که نتایج به شرح زیر می باشد:

- متوسط ضریب رفتار قاب های خمشی بدون میراگر ۶/۶۵ و متوسط ضریب رفتار قاب های مجهز به میراگر ۹/۰۳، بدست آمد. با بکارگیری میراگرهای لزجی به ازای افزایش ۲۰ درصدی میرایی ناشی از میراگرهای الحاقی، به طور متوسط ۳۶٪ ضریب رفتار سازه ها افزایش یافت. در نتیجه مقدار ضریب R_{ξ} مربوط به میراگر لزجی برابر با ۱/۳۶ برآورد شده است.
- مقدار ضریب شکل پذیری با بهره جویی از میراگرهای لزجی به طور متوسط ۲۴٪ افزایش یافت. بنابراین قابلیت استهلاک انرژی در سازه های با میراگر بیشتر از سازه های بدون میراگر است.
- به طور کلی میانگین درصد کاهش برش پایه برای سازه های با میراگر لزجی نسبت به سازه های معمولی ۳۴٪ می باشد. این عدد قابل توجه بوده و بیانگر این است که نیروی برش پایه وارد بر سازه به سبب ایجاد مکانیزم استهلاک انرژی و شکل پذیری در میراگر، ۳۴٪ کم شده است.
- در مجموع میراگرهای لزجی مقادیر جابجایی طبقات را ۱۹٪ تا ۴۱٪ کاهش داده اند. همچنین نمودار تغییر مکان سازه های مجهز به میراگر، ترکیبی از رفتار برشی و خمشی را به نمایش می گذارد. در مجموع بهره گیری از میراگرهای لزجی منجر به کاهش و یکنواخت تر شدن سطوح دریفت سازه شده و ضمن تحقق بهر معیار آسایش، باعث کاهش خسارات وارده بر سازه و نیز افزایش قابلیت تعمیر پذیری آن می شود.

- استفاده از میراگرهای لزجی، سبب کاهش شیب نمودار توزیع انرژی و یا به عبارت دیگر سبب یکنواخت تر شدن انرژی مستهلک شده در طبقات و در نتیجه توزیع خسارت یکسان شده است. می توان گفت تقریباً استهلاك انرژی در ارتفاع طبقات مستقل از نوع زلزله میدان نزدیک و یا میدان دور می باشد.
- میراگرهای لزجی استفاده شده، حداکثر شتاب وارد بر مرکز جرم بام سازه ها را تا میزان ۰.۴۵٪ کاهش دادند.

۲. مراجع

- [1] Soong ,T.T.and Dargush,G.F.(1997), “*Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering*”, John Wiley & Ltd., London and New York.
- [2] SEAONC-Structural Engineers Association of Northern California, Recommended Lateral Force Requirements and Commentary, California, (1992).
- [3] SEAOC-Structural Engineers Association of California, Recommended Lateral Force Requirements and Commentary, Sacramento, CA. (1999).
- [4] FEMA 356, 2000, Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, prepared by the Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency, 2000, Washington, D.C.
- [5] ATC, Structural Response Modification Factors: ATC-19, Applied Technology Council, Redwood City, California, pp. 5-32 (1995).
- [6] ATC, A Critical Review of Current Approaches to Earthquake Resistant Design, ATC-34, Applied Technology Council, Redwood City, California (1995).
- [7] Makris, N. (1992), “*Theoretical and Experimental Investigation of Viscous Dampers in Applications of Seismic and Vibration Isolation*”, Ph.D. Dissertation, State University of New York at Buffalo, NY.
- [8] Makris, N., Dargush, G. F. and Constantinou, M. C. (1995), “*Dynamic Analysis of Viscoelastic Fluid Dampers*”, J. Engrg. Mech., ASCE, 121(10), 1114-1121.
- [9] Symans, M.D., Constantinou, M.C., Taylor, D.P, and Garnjost, K.D. (1993), “*Semi-active Fluid viscous Dampers for Seismic Response Control*”, First World Conference on Structural Control, Los Angeles, CA, FA4-3-FA4-12.
- [10] Reinhorn, A.M. and Li, C. (1995), “*Experimental and Analytical Investigation of Seismic Retrofit of Structures with Supplemental Damping*”, Technical Report NCEER-95-0013, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, NY.
- [11] Lin, W.H. and Chopra, A.K. (2002), “*Earthquake Response of Elastic SDF Systems with Non-Linear Fluid Viscous Dampers*”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 31, 9, pp. 1623-1642.
- [12] M. Martinez-Rodrigo, M.L. Romero (2003), “*An optimum retrofit strategy for moment resisting frames with nonlinear viscous dampers for seismic applications*”, Engineering Structures 25, pp. 913-925.
- [13] Whittaker, A.S., Bertero V.V., Thompson C.L., Alonso L.J., (1991), “*Seismic Testing of Steel Plate Energy Dissipation Devices*”, Earthquake Spectra, 7 (4), pp 563-604.



- [14] OpenSees 2.4.2, from Open System for Earthquake Engineering Simulation:
<http://opensees.berkeley.edu/>