



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

هاشم شریعتمدار¹، سیدحمیدعادل بایگی²

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

shariatmadar@um.ac.ir

2- 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 لژی 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 طبس انجام گرفت. بر مبنای تحلیل دینامیکی به انجام رسیده، ضریب رفتار R برای سازه ها و ضریب رفتار R_p برای میراگرهای الحاقی محاسبه و دیده شد که مطابق انتظار سازه های مجهز به میراگرهای لژی 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 لژی، ضریب رفتار، پاسخ لرزه ای، تحلیل دینامیکی تاریخچه ی زمانی غیرخطی

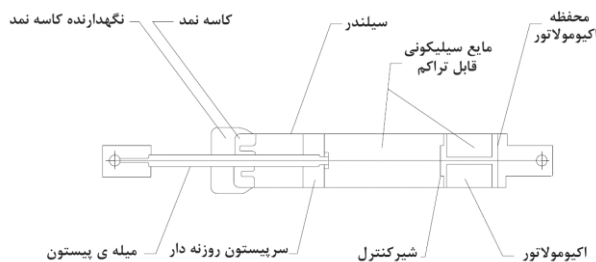
1. مقدمه

به طور کلی ساختمان ها دارای میرایی ذاتی کمی بوده و تحت نیروی زلزله وارد محدوده ی غیر ارتجاعی شده و آسیب پذیری می باشند. برای اتلاف انرژی زلزله و کاهش ارتعاشات سازه ها و در نتیجه ی آن کاهش خسارات مالی و جانی، وسایل کنترلی در سازه ها به کار گرفته اند. این ابزارهای کنترلی را می 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 جانی سازه مستهلک می شود. میزان انرژی وارد 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 (1989) *Loma Prieta* مطرح شد. در سال 1997 *Soong و Dargush* تاریخچه ای از انواع سیستم های جاذب انرژی ارائه نمودند [1]. در سال 1998، *Soong و Constantinou* نحوه ی طراحی المان های به کاررفته در این سیستم ها را برای مقابله بانیزوهای 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 1992 در خصوص استفاده از روش غیرخطی در سازه های مجهز به سیستم های جاذب انرژی، گزارش انجمن SEAOC در سال 1994 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 356*، *ATC 19* و *ATC 34* ارائه گردیدند [2-6].

در میان سیستم های جاذب انرژی، میراگر لژی ابرازی 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 1 نشان داده شده است.



شکل (1): میراگر لژی مایع

هنگامی که این میراگرها اولین بار برای استفاده های عمرانی تولید شد، تکنولوژی آن ها بیش از 35 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 1990، 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 و Constantinou (1992)*، *Makris و Constantinou (1995)* و *Symans و Constantinou (1993)* 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. *Symans و Constantinou (1993)* آزمایشاتی را بر روی میراگرهای لژی مایع خطی روزه دار به انجام رساندند [9]. آزمایشات بر روی یک قاب فولادی سه طبقه با مقیاس 1:4 و تحت 66 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. *Symans و Constantinou (1993)*



نتیجه گرفتند که بهره‌جویی از میراگرهای لزجی مایع، منجر به کاهش 30 تا 70 درصدی دریافت طبقات می‌گردد [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 40 تا 70 درصد می‌گردد. آزمایشات بعدی انجام شده توسط Miyamoto و Singh در سال 2002 نشان دادند که در صورتی که سازه وارد محدوده‌ی رفتاری غیرکشسان شود، نتایج گرفته شده پیشین در خصوص کاهش برش طبقات صادق نخواهد بود. Reinhorn و همکاران (1995) آزمایش مشابهی را بر روی قاب بتنی مسلح سه طبقه (با فولاد اندک) با مقیاس 1:3 تحت تحریک‌های لرزه‌ای مقیاس شده به انجام رساندند [10]. افزودن میراگرهای مایع منجر به افزایش چشم‌گیری درصد میرایی از 3 تا 16 درصد تحت تحریک‌های کم دامنه گردید. Chopra و Lin (2002) 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]. Romero و Rodrigo (2003) 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 باشکل‌پذیری متوسط بررسی می‌شود. بدین منظور، از تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه‌ی زمانی به صورت مشروح در بخش‌های بعد بهره‌جویی شده است.

2. ضریب رفتار (R)

آیین‌نامه‌های ATC19 و ATC34 از روش ساده‌ای به صورت حاصل ضرب سه پارامتر اصلی زیر برای تعیین ضریب رفتار بهره‌می‌جویند [5,6]:

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

در رابطه‌ی فوق، R_{μ} ضریب مقاومت شکل‌پذیری، نشان‌گر ظرفیت شکل‌پذیری 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_F 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_{01} ضریب مقاومت افزون واقعی، Ω_{01} ضریب مقاومت افزون اولیه بر مبنای رابطه‌ی 2، 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 قاب های خمشی فلزی به ترتیب برابر با $1/05$ ، $1/1$ و 1 در نظر گرفته می شود.

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 هر رکورد زلزله، ضریب رفتار تعیین خواهد شد. بابت جوی از روش پیشنهادی توسط Lu و Chen، می توان نقاط مربوط به تغییر مکان های مورد نظر بر روی منحنی هیستریزس را تعیین نمود. پارامترهای مورد نیاز به صورت زیر تعیین می شوند:

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

$$\Omega_{\circ 1} = \frac{|\Delta_y^+| + |\Delta_y^-|}{|\Delta_s^+| + |\Delta_s^-|} \quad (4)$$

که در این روابط، C_1 نسبت بیشینه ی تغییر مکان غیر ارتجاعی حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی 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، Δ_y^+ تغییر مکان بیشینه ی مثبت تسلیم کلی قاب و Δ_y^- تغییر مکان بیشینه ی منفی تسلیم کلی قاب، Δ_s^+ تغییر مکان مثبت مربوط به تشکیل اولین مفصل خمیری و Δ_s^- تغییر مکان منفی مربوط به تشکیل اولین مفصل خمیری هستند.

Whittaker در سال 1999، 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]:

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

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

3. مشخصات مدل های تحلیلی سازه ها

3.1. 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 متر و ارتفاع 3/6 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 2800 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 5 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 گرفته برای مدل سازی المان های تیروستون از نوع فیری است و جنس مصالح فلزی به صورت تک محوری دوخطی با نسبت سخت

شوندگی مجدد 3 درصد تعیین شده است. در جدول 1، مشخصات دینامیکی مدل های سازه ای شامل دوره ی تناوب، جرم مؤثر مودی و ضریب مشارکت مودی برای موداول آورده شده است.

جدول (1): مشخصات دینامیکی موداول قاب های سازه ای

نوع سازه	دوره تناوب (ثانیه)	ضریب مشارکت مودی	جرم مؤثر مودی
قاب 2 طبقه	0/87	1/23	0/88
قاب 6 طبقه	1/10	1/35	0/77
قاب 10 طبقه	1/79	1/47	0/70

2.3. مدل تحلیلی میراگرلژی

میراگرهای لزجی مایع دارای رفتار ویسکوالاستیک می باشد. این رفتار با مدل ماکسول (Bird و همکاران، 1987) به بهترین شکل قابل پیش بینی می باشد. نیروی ایجاد شده در میراگرلژی در صورتی که محتوای فرکانس ارتعاش کم تر از $0/5 f_1$ (فرکانس اصلی سازه ی تقویت شده) باشد، تنها وابسته به سرعت میراگر بوده و از رابطه ی زیر بدست می آید. در غیر این صورت باید سختی میراگر نیز لحاظ شود [4].

$$F_d = C \dot{U}^\alpha \text{sgn}(\dot{U}) \quad (6)$$

در این رابطه، F_d نیروی میراگر، C ضریب میرایی لزجی، \dot{U} مشتق زمانی تغییر مکان (سرعت)، α توان سرعت

sgn تابع علامت و برابر با ± 1 است. برای میراگرلژی خطی که در این نوشتار به کار رفته است، α برابر یک می باشد.

در این نوشتار بر مبنای افزایش 20 درصدی میرایی با بهره جویی از میراگرهای لزجی و با فرض مشابه بودن میراگرهای طبقات هر سازه، با استفاده از رابطه ی (30-9) آیین نامه FEMA356، ضرایب میرایی لزجی به ترتیب برای سازه های 2، 6 و 10 طبقه برابر با $\frac{N.S}{mm}$ 449/441، $\frac{N.S}{mm}$ 2899/049، $\frac{N.S}{mm}$ 6206/065 محاسبه و در نظر گرفته شده است. برای مدل کردن میراگر لزجی نیز از متریا ل Viscous Damper که رابطه ی نیرو-جابجایی آن بر مبنای مدل ماکسول تعریف شده بهره جسته و با اتخاذ المان Link دو نقطه ای، میراگرلژی به صورت قطری مدل شده است.

4. مشخصات شتابنگاشت های انتخاب شده

برای تحلیل دینامیکی سازه مورد نظر از چهار شتاب نگاشت مربوط به زلزله های ال سنتر و، ناغان، منجیل و طبس استفاده شده استاز آن جایی که مقدار حداکثر شتاب در هر کدام از این زلزله ها مقدار متفاوتی است و همچنین به این خاطر که در این پژوهش تأثیر محتوای فرکانسی زلزله ها در پاسخ سازه مورد توجه قرار گرفته است؛ لذا تمامی شتابنگاشت ها به یک مقدار معینی هم پایه می شوند تا بتوان مقایسه معناداری بین زلزله ها انجام داد. در این پژوهش مقدار 35g/3. به عنوان حداکثر شتاب در نظر گرفته می شود. خصوصیات هر زلزله در جدول 2 ذکر شده است.

جدول (2): خلاصه اطلاعات مربوط به هر زلزله

مشخصات	زلزله	ال سنتر و	ناغان	منجیل	طبس
سال وقوع (هجری شمسی)		1319	1356	1369	1357

32/84	46/22	5/02	31/18	زمان تداوم زلزله (S)
11/06	10/92	2/12	2/04	زمان مربوط به حداکثر شتاب (S)
8/356	5/048	7/095	3/128	مقدار حداکثر شتاب (PGA) (m/s^2)
میدان	میدان دور	میدان نزدیک	میدان دور	نوع زلزله

5. نتایج تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی

1.5. 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 3 و نیز مقادیر متوسط حاصل برای کل سازه های تحلیل شده در جدول 4 آمده است.

جدول (3) : محاسبه مقدار ضریب رفتار برای قاب 6 طبقه با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی

R_{ξ}	R	Ω_0	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*	ال 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 ناغان
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	طیس
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	متوسط
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 20 درصدی میرایی ناشی از میراگرهای الحاقی، به طور متوسط 36٪ 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 هرچه بزرگتر باشد، نشان دهنده قابلیت استهلاک انرژی بیشتر سازه در برابر نیروهای ناشی از زلزله می باشد. به عبارت دیگر با افزایش تغییر شکل -

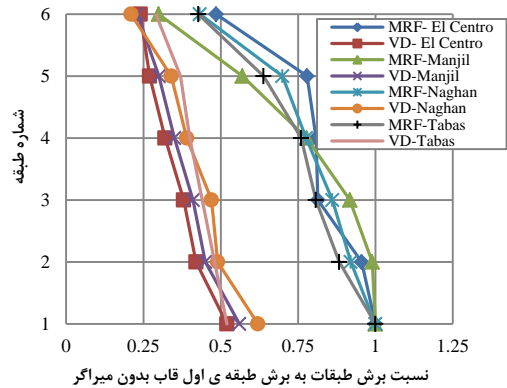
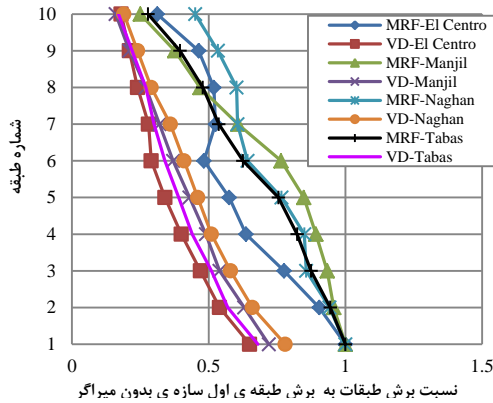
نهایی سازه، انهدام نیز به تأخیر می افتد و از این نظر بر حاشیه ایمنی سازه افزوده می شود. مقدار ضریب شکل پذیری با بهره جویی از میراگرهای لرزی به طور متوسط 24٪ افزایش یافت. بنابراین قابلیت استهلاک انرژی در سازه های با میراگر بیش تراز سازه های بدون میراگر است. این خصوصیت، در بارگذاری های ارتعاشی مانند زلزله، بهبود رفتار سازه و کاهش خسارات را در پی دارد.

جدول (4): متوسط ضریب رفتار سازه ها و میراگرهای الحاقی

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

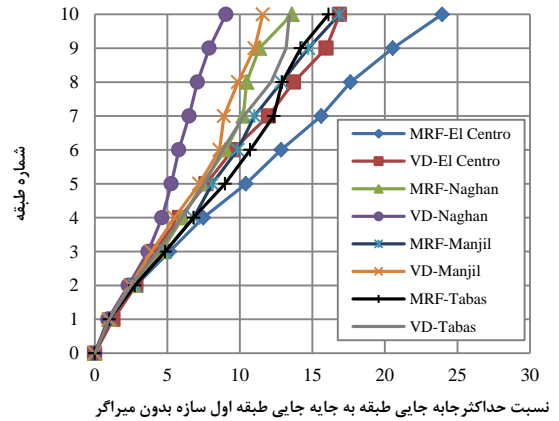
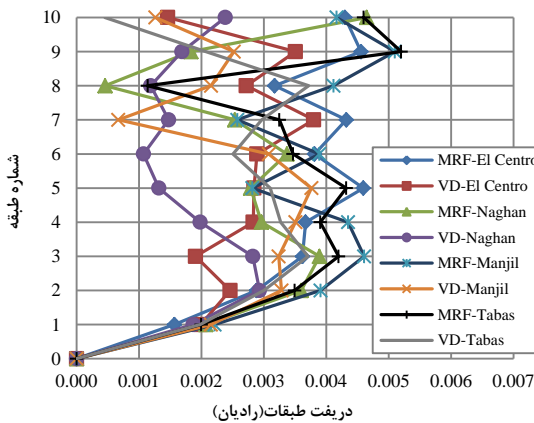
2.5. بررسی و مقایسه برش ماکزیمم طبقات در سازه ها

در این بخش توزیع برش ماکزیمم در ارتفاع سازه های 2، 6 و 10 طبقه تحت اثر 4 شتاب نگاشت مذکور، مورد بررسی قرار می گیرد. به منظور راحت تر شدن مقایسه بین سازه های بدون میراگر و مجهز به میراگر، برش های طبقات مختلف به شکل مناسبی بی بعد می شوند. 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 می شوند. در شکل ها MRF بیانگر قاب خمشی بدون میراگر و VD بیانگر قاب مجهز به میراگر لرزی است. همان گونه که مشاهده می شود، مقدار برش طبقات در سازه های با میراگر لرزی کمتر از مقدار نظیر در سازه های بدون میراگر می باشد، در نتیجه سازه برای برش کمتری باید طرح شود. در سازه های 2 طبقه میانگین درصد کاهش برش پایه در سازه های با میراگر لرزی برای چهار زلزله مورد نظر، 25٪ بوده است. این درصد کاهش برش پایه برای سازه های 6 طبقه و 10 طبقه به ترتیب 44٪ و 35٪ می باشد. به طور کلی میانگین درصد کاهش برش پایه برای سازه های با میراگر لرزی نسبت به سازه های معمولی 36٪ 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، 34٪ کم شده است. مقادیر برش طبقات سازه های 6 و 10 طبقه تحت اثر چهار شتاب نگاشت، به ترتیب در شکل های 2 و 3 آمده است.



3.5. بررسی (2): مقایسه جابجایی جانبی و دررفت طبقات در سازه 10 طبقه (3): مقایسه برش طبقات سازه 10 طبقه

در این بخش جابجایی جانبی طبقات در سازه های 2 و 6 و 10 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 سازه ها و تحت همه ی زلزله ها مقدار جابجایی ماکزیمم در سازه های با میراگر کم تر از سازه های بدون میراگر می باشد. حداکثر کاهش جابه جایی ها در سازه های 2، 6 و 10 طبقه با بهره گیری از میراگرهای لزجی به ترتیب برابر با 36٪، 41٪ و 41٪ می باشد. در مجموع میراگرهای لزجی مقادیر جابه جایی طبقات را 19٪ تا 41٪ 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 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 10 طبقه با و بدون میراگر لزجی تحت اثر چهار شتاب نگاشت ال سنترو، منجیل، ناغان و طبس، به ترتیب در شکل های 4 و 5 آمده است.

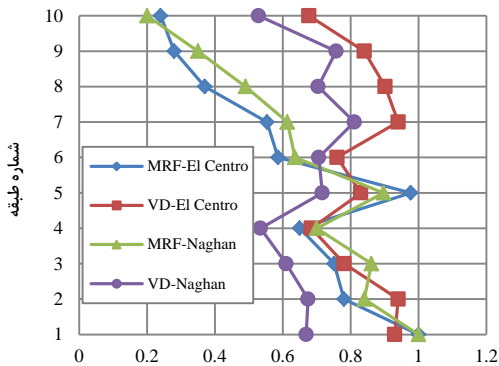


شکل (5): مقایسه دررفت طبقات سازه 10 طبقه

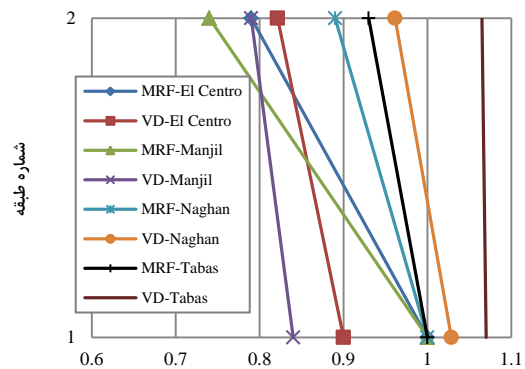
شکل (4): مقایسه جابجایی ماکزیمم طبقات سازه 10 طبقه

3.5. 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 8 تا 10 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 کمتر می شود. تا جایی که در طبقه آخر، سازه های 6 و 10 طبقه، انرژی مستهلک شده کمتر از 25٪ 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 2 و 10 طبقه تحت اثر زلزله های مذکور به ترتیب در شکل های 6 و 7 آمده است.



شکل (7): مقایسه انرژی هیستریزس طبقات به طبقه ی اول سازه ی بدون میراگر

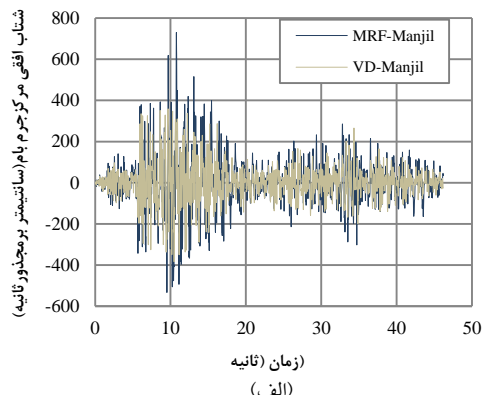
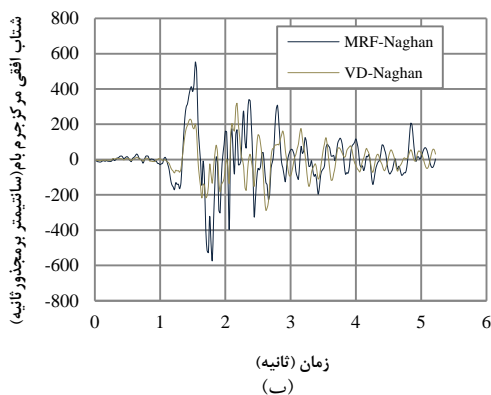


شکل (6): مقایسه انرژی هیستریزس طبقات به طبقه ی اول سازه بدون میراگر

شکل (6): مقایسه انرژی هیستریزس در ارتفاع سازه 2 طبقه
شکل (7): مقایسه انرژی هیستریزس در ارتفاع سازه 10 طبقه

4.5. 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 2 طبقه مجهز به میراگر لزجی به سازه های بدون میراگر برای چهار زلزله مورد نظر 0/68 می باشد. این نسبت با افزایش تعداد طبقات کاهش می یابد. به گونه ای که برای سازه های 6 طبقه و 10 طبقه به ترتیب برابر 0/55 و 0/56 می باشد. این روند کاهش نشان دهنده تأثیر کمتر شتاب در سازه های بلندتر 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 6 طبقه تحت زلزله های منجیل و ناغان به ترتیب در شکل های (8 = الف) و (8- ب) آمده است.



شکل 8: **خلاصه و نتیجه گیری** شتاب افقی وارد بر مرکز جرم بام سازه 6 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 دوبعدی 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 میراگر لژی و در نتیجه تعیین ضریب کاهش مقاومت ناشی از میراگرهای الحاقی لژی با بهره جویی از تحلیل دینامیکی غیر خطی تاریخچه ی زمانی اقدام شده است. همچنین پاسخ لرزه ای سازه هادرقاب برش ، جابجایی، دررفت، 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 6/65 و متوسط ضریب رفتار قاب های مجهز به میراگر 9/03 بدست آمد. با بکارگیری میراگرهای لژی به ازای افزایش 20 درصدی میرایی ناشی از میراگرهای الحاقی، به طور متوسط 36٪ ضریب رفتار سازه ها افزایش یافت. در نتیجه مقدار ضریب R_{ξ} مربوط به میراگر لژی برابر با 1/36 برآورد شده است.
- مقدار ضریب شکل پذیری با بهره جویی از میراگرهای لژی به طور متوسط 24٪ 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 لژی نسبت به سازه های معمولی 34٪ 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، 34٪ کم شده است.
- در مجموع میراگرهای لژی مقادیر جابجایی طبقات را 19٪ تا 41٪ 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 لژی 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.

- 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 45٪ کاهش دادند.

7. 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/>