



Babol Noshirvani University of Technology
Faculty of Civil Engineering
May 7 - 8 , 2014
Babol - Iran

بسمه تعالی

هشتمین کنگره ملی
مهندسی عمران

8th National Congress on
Civil Engineering



دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
دانشکده مهندسی عمران
۱۷ و ۱۸ اردیبهشت ۱۳۹۳
بابل - ایران

گواهی ارائه مقاله

گواهی می شود مقاله با مشخصات ذیل در هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران به صورت شفاهی ارائه شده و در مجموعه مقالات درج گردیده است.

نویسندگان: هاشم شریعتمدار و سیدحمید عاقل بابکی

عنوان مقاله: بررسی رفتار و تعیین ضریب رفتار پیشنهادی قاب های خمشی فولادی مجهز به میراگر فلزی جاری شونده

با آرزوی بهروزی و موفقیت مؤلفین در گشودن ناکشوده های دانش و فن کشور عزیزمان ایران.

دکتر مرتضی تقی پور
رئیس هیئت مدیره
دیرکنگره

بررسی رفتار و تعیین ضریب رفتار پیشنهادی قاب های خمشی فولادی

مجهز به میراگر فلزی جاری شونده

هاشم شریعتمدار¹، سیدحمیدعادل بایگی²

1-دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

2- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه فردوسی مشهد

s.hamidaghel@gmail.com

خلاصه

در این مقاله تأثیر گونه ای از سیستم های اتلاف انرژی غیرفعال یعنی میراگرهای فلزی جاری شونده 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 استاتیکی غیرخطی و نیز تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی خطی و غیرخطی با استفاده از شتاب نگاشت های مقیاس شده ی زلزله های واقعی ال سنترو، منچیل، ناغان و طیس انجام گرفت. بر مبنای تحلیل های به انجام رسیده، ضریب رفتار R برای سازه ها و ضریب رفتار R 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. در ضمن تطابق بسیار خوبی میان نتایج حاصل از تحلیل های استاتیکی و دینامیکی غیرخطی مشاهده شد. نتایج تحلیل دینامیکی غیرخطی انجام شده در مجموع نشان دهنده رفتارهای مناسبی در سازه های مجهز به میراگر همچون شکل پذیری بیشتر، رفتار توأمان برشی و خمشی در سازه های با زمان تناوب بالا، توزیع مناسب تر انرژی هیستریزس در ارتفاع سازه و کاهش مقادیر پاسخ لرزه ای سیستم بود.

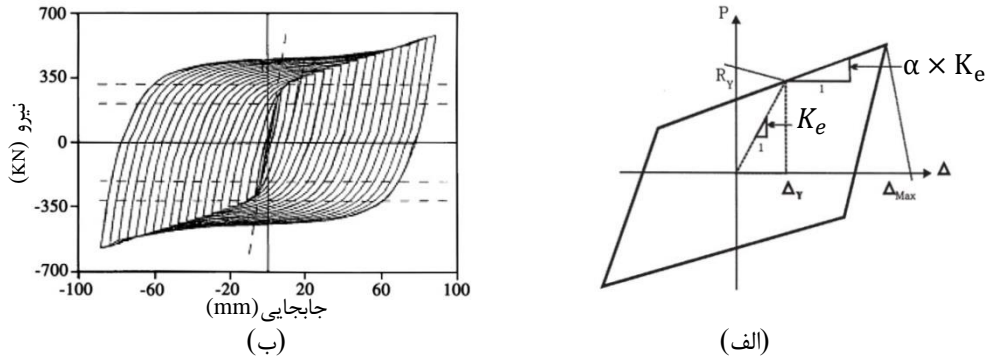
کلمات کلیدی: میراگر فلزی جاری شونده، ضریب رفتار، پاسخ لرزه ای، تحلیل استاتیکی غیرخطی، تحلیل دینامیکی تاریخچه ی زمانی غیرخطی

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 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. استفاده از سیستم های جذب کننده ی انرژی اولین بار پس از زلزله Loma Prieta (1989) 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 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 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: *FEMA356*، *ATC19* و *ATC34* ارائه گردیدند [2-6].

یکی از موثرترین مکانیزم های موجود برای استهلاک انرژی وارد بر سازه به هنگام زلزله، بهره گیری از تغییر شکل غیرکشسان مواد فلزی می باشد. ایده ی بکارگیری میراگرهای فلزی جاری شونده به صورت مجزا به عنوان جاذب بخش بزرگی از انرژی لرزه ای، با کار پژوهشی و آزمایشگاهی *Kelly* و همکاران (1972) و نیز *Skinner* و همکاران (1975) شکل گرفت [1]. میراگر های فزاینده سختی و میرایی (ADAS) فزاینده سختی و میرایی مثلثی (TADAS) دو گونه ی رایج و متداول میراگرهای تسلیم فلزی می باشند، که اولین بار توسط *Tsai* و همکاران مورد بررسی قرار گرفتند [7]. یکی از مهم ترین پارامترهای مؤثر در رفتار قاب های مجهز به میراگرهای فلزی جاری شونده، مستقل بودن رفتار هیستریزیک آنها نسبت به سرعت است که می تواند رفتار چرخه ای پایداری رادری داشته باشد. نمونه ی رفتار چرخه ای این میراگر تحت آزمایش و نیز رفتار چرخه ای ایده آل آن بر مبنای مطالعه ی تهرانی زاده در شکل (1) نشان داده شده است [8].

در این مقاله تأثیر استفاده از میراگرهای ADAS بر روی ضریب کاهش پاسخ و نیز رفتار لرزه ای قاب های خمشی فلزی باشکل پذیری متوسط بررسی می شود. بدین منظور، از تحلیل استاتیکی غیرخطی و نیز دینامیکی غیرخطی تاریخچه ی زمانی به صورت مشروح در بخش های بعد بهره جویی شده است.



شکل 1 - (الف) منحنی رفتاری ایده آل میراگر فلزی جاری شونده (ب) نمونه منحنی هیستریزس حاصل از آزمایش [8]

2. ضریب رفتار (R)

آیین نامه های ATC19 و ATC34 از روش ساده ای به صورت حاصل ضرب سه پارامتر اصلی زیر برای تعیین ضریب رفتار بهره می جویند [5,6]:

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

در رابطه ی فوق ، R_{μ} ضریب مقاومت شکل پذیری ، نشان گر ظرفیت شکل پذیری سازه در محدوده ی غیرخطی مصالح و Ω_0 ضریب مقاومت افزون است که به طور کلی تابعی از دوره ی تناوب سیستم، درجه نامعینی، مقاومت واقعی مصالح و مقاومت طراحی است R_Y نیز ضریب مربوط به تنش مجاز بر مبنای طراحی انجام شده به روش تنش مجاز و برای مقاطع I شکل برابر 1/44 می باشد. ضریب مقاومت افزون از رابطه ی زیر بدست می آید:

$$\Omega_0 = \Omega_01 \times F_1 \times F_2 \times F_3 \quad (2)$$

در رابطه ی بالا، Ω_01 مقاومت افزون واقعی ، Ω_01 مقاومت افزون اولیه بر مبنای رابطه ی 2، F_1 ضریب اضافه مقاومت سیستم ، F_2 ضریب اضافه مقاومت مصالح ، و F_3 ضریب اضافه مقاومت طراحی می باشد. 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.

با انجام تحلیل استاتیکی غیرخطی، پارامترهای فوق به صورت زیر بدست می آیند:

$$R_{\mu} = \frac{V_e}{V_y} = \frac{D_e}{D_y} , \quad \Omega_01 = \frac{V_y}{V_p} = \frac{D_y}{D_p} , \quad \mu = \frac{D_{in}}{D_y} \quad (3)$$

که در آن، V_p و D_p به ترتیب مقاومت برش پایه ی طرح (مقاومت مناظر باتشکیل اولین مفصل خمیری) و تغییر مکان طرح ، V_y و D_y به ترتیب مقاومت تسلیم و تغییر مکان تسلیم تعیین شده توسط دو خطی کردن نمودار، V_e و D_e بیشینه ی مقاومت کشسان و بیشینه ی تغییر مکان کشسان مورد نیاز، و μ ضریب شکل پذیری است.

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. بهره جویی 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:

$$\mu = \frac{|\Delta_{max}^+| + |\Delta_{max}^-|}{(|\Delta_y^+| + |\Delta_y^-|)} \quad (4)$$

$$R_{\mu} = \frac{\mu}{C_1} \quad (5)$$

$$\Omega_01 = \frac{|\Delta_y^+| + |\Delta_y^-|}{|\Delta_s^+| + |\Delta_s^-|} \quad (6)$$

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، Ω_01 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 [9]:

$$R = R_{\mu} \Omega \cdot R_{\gamma} R_{\xi} \quad (7)$$

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

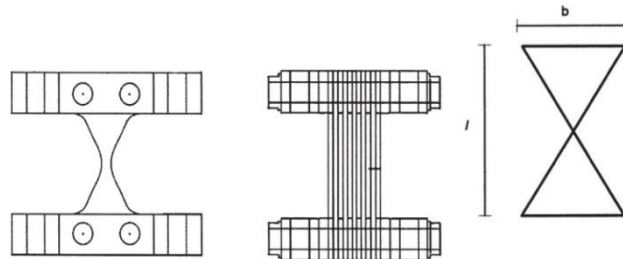
در این مقاله از سه مدل قاب خمشی فولادی متوسط دوبعدی دو، شش و ده طبقه با تعداد سه دهانه به عرض پنج متر و ارتفاع 3/6 متر استفاده شده است. برای بارگذاری ثقلی سازه مورد نظر از میخ ششم مقررات ملی ساختمان ایران و برای بارگذاری لرزه ای از آیین نامه 2800 ویرایش سوم و از روش تنش مجاز برای طراحی استفاده شده است. 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 [10]. المان به کار رفته برای مدل سازی المان های تیروستون از نوع فیبری 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

3.2. مدل تحلیلی میراگر فلزی

به منظور طراحی سازه با میراگرهای فلزی ابتدا مهاربند از نوع شورون توسط نرم افزار معتبر طراحی می شود. جهت بهترین نمایان ساختن تأثیر میراگرها، مقاطع تیروستون مشابه قبل در نظر گرفته می شود. رفتار میراگر فلزی در یک سازه ی خاص تحت تأثیر چهار پارامتر کلیدی می باشد که عبارتند از: نیروی جاری شدن P_y ، تغییر مکان مربوط به جاری شدن میراگر Δy_p ، نسبت های سختی SR و B/D ، که تنها سه پارامتر مستقل می باشند. مقادیر SR و نیز نسبت B/D برابر با 2 مدنظر قرار گرفته و بر اساس سختی طبقات قاب تقویت نشده و روابط موجود، سختی مورد نیاز میراگرهای فلزی برای سازه های مذکور محاسبه شده و بر اساس شکل و روابط زیر میراگرها برگزیده شده اند. به صورت نمونه میراگرهای بکار رفته در سازه ی دو طبقه در جدول (2) آمده است.



شکل 2- نمای شماتیک میراگر فلزی جاری شونده ADAS

سختی الاستیک و نیروی جاری شدن هر ورق میراگر فلزی ADAS به ترتیب از روابط زیر بدست می آید [8]:

$$K_{eADAS} = \frac{2}{3} \times \frac{Et^3 b l e q}{l^3} \quad (8)$$

$$P_{yADAS} = \frac{\sigma_y t^2 b}{2 l_0} \quad (9) P_{yADAS} =$$

$$\frac{3}{4} \times \frac{\sigma_y l^2}{E t} K_{eADAS} \quad (10)$$

که در این روابط t, b, E و l به ترتیب عرض، ضخامت، ارتفاع ورق و مدول الاستیسیته فولادی باشد.

جدول 2- مشخصات میراگرهای فلزی مورد استفاده برای سازه ی 2 طبقه

طبقه	مشخصات	نوع ورق	تعداد ورق	k_e (kgf/cm)	P_y (kgf)
اول		PL 15×10×1 *	8	33185.19	6400
دوم		PL 15×10×1 *	4	16592.59	3200

* ورق به ارتفاع 15cm، عرض 10cm و ضخامت 1cm

4. مشخصات شتابنگاشت های انتخاب شده

برای تحلیل دینامیکی سازه مورد نظر از چهار شتاب نگاشت مربوط به زلزله های ال سنترو، ناغان، منجیل و طبس استفاده شده است از 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. به عنوان حداکثر شتاب در نظر گرفته می شود. خصوصیات هر زلزله در جدول 3 ذکر شده است.

جدول 3 - خلاصه اطلاعات مربوط به هر زلزله

مشخصات	زلزله	ال سنترو	ناغان	منجیل	طبس
سال وقوع (هجری شمسی)		1319	1356	1369	1357
زمان تداوم زلزله (S)		31/18	5/02	46/22	32/84
زمان مربوط به حداکثر شتاب (S)		2/04	2/12	10/92	11/06
مقدار حداکثر شتاب (PGA) (m/s^2)		3/128	7/095	5/048	8/356
نوع زلزله		میدان دور	میدان نزدیک	میدان دور	میدان نزدیک

5. نتایج تحلیل استاتیکی غیر خطی

برای انجام تحلیل استاتیکی به منظور یافتن مشخصات لرزه ای، از الگوی بار جانبی استاتیکی فزاینده بر مبنای آیین نامه 2800 استفاده شده است. تغییر مکان های هدف نیز مطابق روش FEMA356 و مشخصات دینامیکی سازه ها، با استفاده از رابطه ی زیر محاسبه شده اند که نتایج در جدول (4) ذکر شده اند [4]:

$$\delta_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} \cdot g \quad (11)$$

که در این رابطه، C_0 نشان دهنده ی ضریب اصلاح تغییر مکان سیستم یک درجه ی آزادی به تغییر مکان بام در سیستم چند درجه آزادی است که برابر ضریب مشارکت مودال می باشد. C_1 ضریب اصلاح تبدیل تغییر مکان طیفی به تغییر مکان پیشینه ی غیر خطی است. C_2 ضریب آثار کاهش سختی و مقاومت اعضای سازی بوده و برای دوره های تناوب بزرگ تر از 0/7 ثانیه برابر 1/0 است. مقدار ضریب C_3 برای سازه هایی که پس از تسلیم دارای سختی مثبت هستند، برابر 1/0 می باشد. T_e و S_a نیز به ترتیب دوره ی تناوب اصلی مؤثر و طیف شتاب استاندارد می باشند.

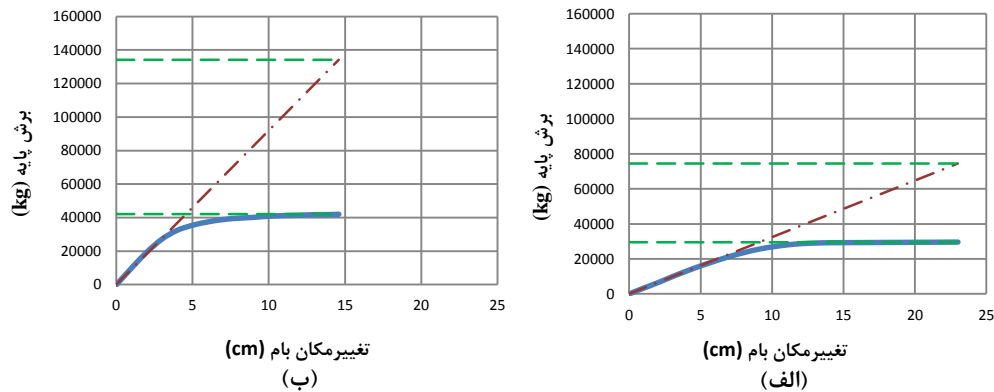
جدول 4- تغییر مکان های هدف

سازه	زمان تناوب ارتعاشی (ثانیه)	تغییر مکان هدف (سانتیمتر)
2S-MRF*	0/93	23
2S-ADAS**	0/61	14/56
6S-MRF	1/1	31/44
6S-ADAS	0/72	20/02
10S-MRF	1/79	65/32
10S-ADAS	1/23	51/65

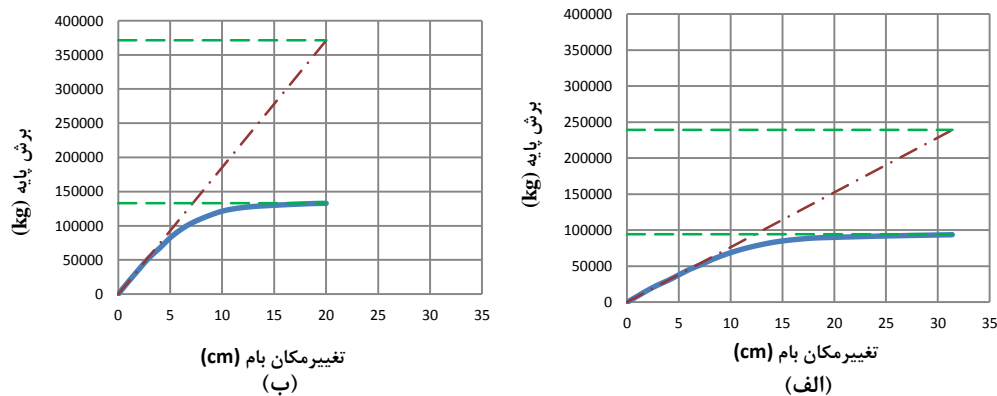
* قاب خمشی دو طبقه بدون میراگر ** قاب خمشی دو طبقه مجهز به میراگر فلزی

بر این اساس، منحنی های Pushover و مدل های دو خطی حاصل در شکل های (3) الی (5) ارائه شده اند. مشاهده می شود که با به کار بردن میراگرهای فلزی جاری شونده به واسطه ی افزایش سختی سیستم، منحنی ها در مجموع به سمت بالا و چپ سوق پیدا می کنند. به عبارت دیگر میراگرهای فلزی،

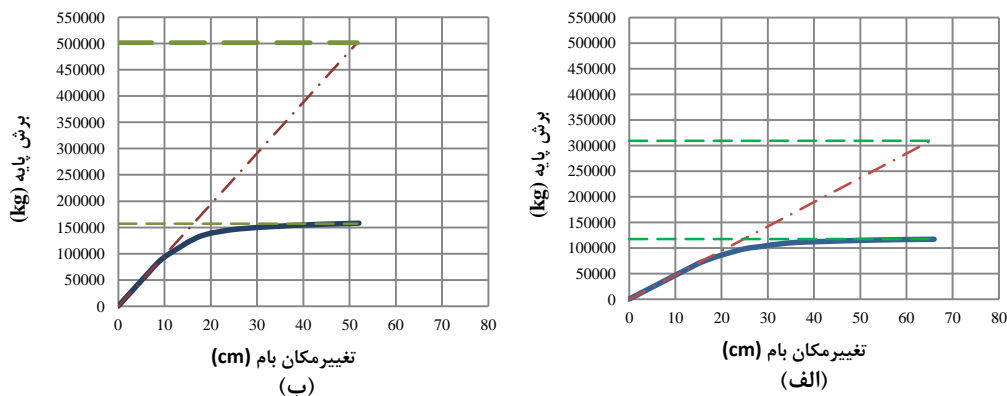
منجر به افزایش مقاومت تسلیم، نسبت سختی غیرارجاعی به ارتجاعی و کاهش تغییرمکان تسلیم سیستم می شوند.



شکل 3- منحنی برش پایه- تغییرمکان بام برای سازه (الف) 2S-MRF (ب) 2S-ADAS



شکل 4 - منحنی برش پایه- تغییرمکان بام برای سازه (الف) 6S-MRF (ب) 6S-ADAS



شکل 5 - منحنی برش پایه- تغییرمکان بام برای سازه (الف) 10S-MRF (ب) 10S-ADAS

بر مبنای شکل های (3) الی (5) و استفاده از روابط (1) تا (3) ضریب رفتار سازه ها محاسبه شده است، که نتایج در جدول (5) آمده است. میانگین ضریب رفتار سازه های با میراگر فلزی جاری شونده 8/58، در حالی که میانگین ضریب رفتار قاب های خمشی 6/84 است. ملاحظه می شود که ضریب رفتار سازه در قاب های مجهز به میراگرهای فلزی جاری شونده 26٪ نسبت به قاب های خمشی بدون میراگر افزایش دارد. این افزایش باعث طراحی سازه برای برش پایه کمتر و در نتیجه اقتصادی تر شدن طرح خواهد شد. ملاحظه می شود که مقدار ضریب کاهش ناشی از شکل پذیری، R_{μ} ، با بهره جویی از میراگرهای فلزی حدود 20 درصد افزایش یافته است.



بنابراین قابلیت استهلاک انرژی در سازه‌های با میراگر بیشتر از سازه‌های بدون میراگر است. این خصوصیت، در بارگذاری‌های ارتعاشی مانند زلزله، بهبود رفتار سازه و کاهش خسارات را در پی دارد. همچنین با بهره جویی از میراگرهای فلزی شکل پذیری قاب خمشی بین 15٪ تا 22٪ افزایش یافته است. در ادامه نتایج بدست آمده، با انجام تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه‌ی زمانی کنترل و بررسی خواهد شد.

جدول 5- محاسبه مقدار ضریب رفتار برای سازه‌های مختلف با استفاده از تحلیل استاتیکی غیرخطی

نام سازه	V_e (kg)	V_y (kg)	V_p (kg)	μ	R_μ	Ω_0	R_y	R	R_ξ
2S-MRF	74563.17	29554.43	18870.8	2.54	2.52	1.8	1.44	6.54	-
2S-ADAS	134242.72	42067.86	26300.0	2.93	3.19	1.84	1.44	8.45	1.29
6S-MRF	239220.32	97570.32	55481.9	2.45	2.45	2.02	1.44	7.14	-
6S-ADAS	371249.08	129349.32	68970.4	2.86	2.87	2.16	1.44	8.91	1.25
10S-MRF	309450.44	117246.85	78550.2	2.63	2.72	1.75	1.44	6.84	-
10S-ADAS	501508.80	156997.55	99067.3	3.21	3.19	1.82	1.44	8.38	1.23
MRF	207744.64	81457.20	50967.63	2.54	2.56	1.86	1.44	6.84	-
ADAS	335666.87	109471.58	64779.23	3.00	3.08	1.94	1.44	8.58	1.26

6. نتایج تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی

6.1. تعیین ضریب رفتار ناشی از میراگرهای الحاقی

پس از انجام این تحلیل‌های دینامیکی خطی و غیرخطی و ترسیم منحنی هیستریزس کلی قاب‌ها به صورت نموداری از برش پایه نسبت به تغییر مکان بام برای هر رکورد زلزله، مطابق روش مشروح در بخش دوم، نسبت به محاسبه‌ی ضریب رفتار قاب‌های خمشی با و بدون میراگر فلزی اقدام شد. نتایج حاصل از انجام محاسبات ضریب رفتار توسط چهار شتاب نگاشت مذکور برای سازه‌ی شش طبقه در جدول 6 و نیز مقادیر متوسط حاصل برای کل سازه‌های تحلیل شده در جدول 7 آمده است.

جدول 6- محاسبه مقدار ضریب رفتار برای قاب 6 طبقه با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی

R_ξ	R	Ω_0	R_μ	μ	Δ_s^- (cm)	Δ_s^+ (cm)	Δ_y^- (cm)	Δ_y^+ (cm)	Δ_{max}^- (cm)	Δ_{max}^+ (cm)	C_1	بیشینه تغییر مکان		سازه	رکورد زلزله
												مکان ارتجاعی (cm)	بیشینه تغییر مکان غیرارتجاعی (cm)		
-	6.76	1.74	2.70	2.14	2.75	3.37	4.71	4.52	9.58	10.14	0.79	12.84	10.14	6S-MRF	آر سترو
1.25	8.42	1.94	3.01	2.43	1.83	1.95	3.31	3.08	7.96	7.60	0.81	9.83	7.96	6S-ADAS	
-	6.81	1.79	2.64	2.22	2.88	2.53	5.79	2.63	11.08	7.60	0.84	13.19	11.08	6S-MRF	منجیل
1.28	8.74	1.93	3.15	2.58	1.60	1.09	2.61	1.89	6.56	5.07	0.82	8.00	6.56	6S-ADAS	
-	6.47	1.98	2.28	2.23	1.09	1.64	1.37	3.33	4.38	6.08	0.98	6.21	6.08	6S-MRF	ناغان
1.36	8.80	2.24	2.73	2.53	0.72	0.80	1.14	1.82	3.00	4.50	0.93	4.84	4.50	6S-ADAS	
-	7.03	1.90	2.56	2.03	2.88	2.29	4.66	3.90	9.01	8.32	0.79	11.40	9.01	6S-MRF	طبرس
1.28	9.01	2.15	2.91	2.36	1.67	1.27	2.96	2.53	6.40	6.55	0.81	8.09	6.55	6S-ADAS	
-	6.77	1.85	2.55	2.15	2.40	2.46	4.13	3.59	8.51	8.04	0.85	10.91	9.08	6S-MRF	موسس
1.29	8.74	2.06	2.95	2.48	1.45	1.28	2.51	2.33	5.98	5.93	0.84	7.69	6.39	6S-ADAS	

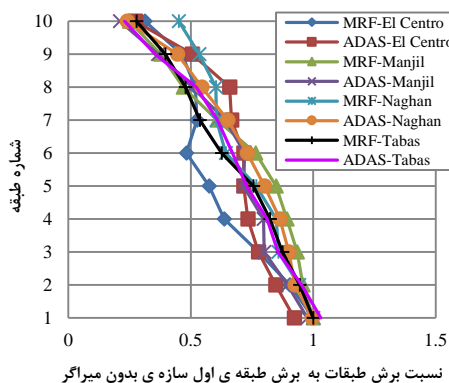
نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل تاریخچه‌ی زمانی غیرخطی نشان دهنده‌ی تطبیق بسیار خوب آن با نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل استاتیکی غیرخطی می‌باشد؛ به گونه‌ای که بر مبنای این نتایج افزودن میراگرهای فلزی جاری شونده باعث افزایش ضریب رفتار سازه به میزان 30٪ خواهد شد. این بدین معناست که تفاوت مقادیر حاصل از دوروش برابر 3/7٪ می‌باشد. نتایج مربوط به ضریب مقاومت شکل پذیری و مقاومت افزون نیز از دوروش سازگار بوده و حداکثر اختلاف در حدود 8 درصد می‌باشد.

جدول 7- متوسط ضریب رفتار سازه ها و میراگرهای الحاقی

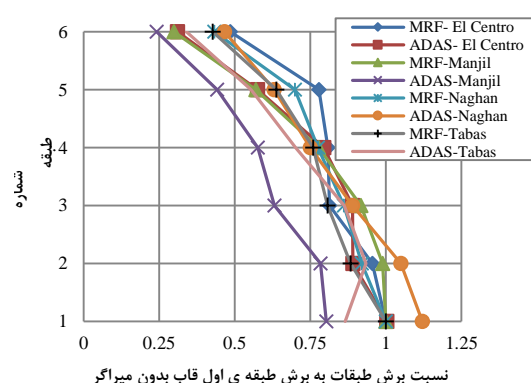
سازه	نوع سازه	R	R_{ξ}
دو طبقه	بدون میراگر	6.46	-
	مجهز به میراگر فلزی	8.60	1.33
شش طبقه	بدون میراگر	6.77	-
	مجهز به میراگر فلزی	8.74	1.29
ده طبقه	بدون میراگر	6.70	-
	مجهز به میراگر فلزی	8.56	1.28
مقادیر متوسط	بدون میراگر	6.65	-
	مجهز به میراگر فلزی	8.63	1.30

2.6. بررسی و مقایسه برش ماکزیمم طبقات در سازه ها

در شکل ها MRF بیانگر قاب خمشی بدون میراگر و ADAS بیانگر قاب مجهز به میراگر فلزی جاری شونده است. تغییرات برش طبقات سازه های مجهز به میراگر فلزی در مقایسه با قاب های بدون میراگر از قاعده ی خاصی پیروی نکرده و در بعضی موارد حتی برش طبقات را اندکی افزایش داده است. علت این امر را می توان افزایش سختی سازه به میزان قابل توجه به واسطه ی به کاربردن این سیستم دانست. در این سازه ها، تنها تحت زلزله ی منجیل برای سازه ی 6 طبقه کاهش محسوسی مشاهده می شود، که این مقدار برابر 18٪ می باشد. مقادیر برش طبقات سازه های 6 و 10 طبقه تحت اثر چهار شتاب نگاشت، به ترتیب در شکل های 7 و 8 آمده است.



شکل 8 - مقایسه برش طبقات سازه 10



شکل 7 - مقایسه برش طبقات سازه 6 طبقه

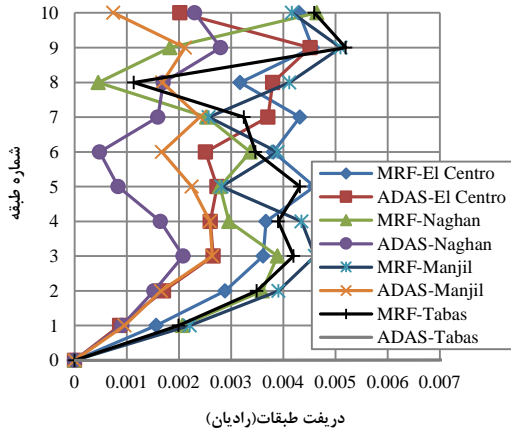
3.6. بررسی و مقایسه جابجایی جانبی و دررفت طبقات در سازه ها

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. بر مبنای شکل ها، حداکثر کاهش جابجایی ها در سازه های 2، 6 و 10 طبقه با بکارگیری میراگرهای فلزی جاری شونده به ترتیب برابر 46٪، 54٪ و 60٪ می باشد. در مجموع میراگرهای فلزی جابجایی هارا 27٪ تا 60٪ کاهش داده اند. همچنین نمودار تغییر مکان سازه های مجهز به میراگر، ترکیبی از رفتار برشی و خمشی را به نمایش می گذارد به عنوان نمونه جابه جایی و دررفت طبقات سازه ی 10 طبقه با وبدون میراگر فلزی تحت اثر چهار شتاب نگاشت ال سنترو، منجیل، ناغان و طیس، به ترتیب در شکل های 9 و 10 آمده است.

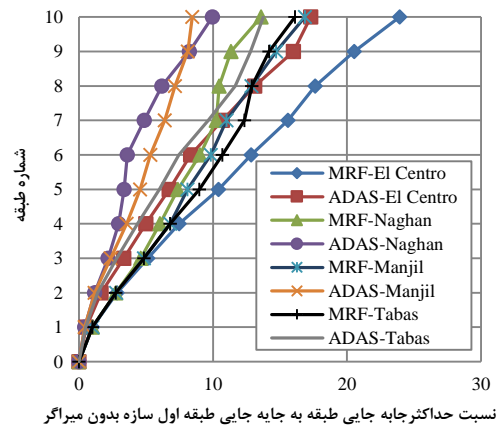
4.6. بررسی و مقایسه توزیع انرژی هیستریزیس طبقات در سازه ها

مقدار انرژی هیستریزیس در هر طبقه با محاسبه مساحت زیر منحنی « نیروی برشی - تغییر مکان مرکز جرم طبقه » به دست می آید. 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 6 و 10 طبقه، انرژی مستهلک شده کمتر از 25٪ مقدار نظیر در طبقه اول می باشد. تفاوت معنادار میان سازه های مجهز به میراگر فلزی وبدون میراگر این است که در طبقات بالایی سازه ها با میراگر، شاهد افزایش جذب انرژی نسبت به طبقات زیرین هستیم. از دیدگاه دیگری می توان دید که چنانچه از میراگرهای فلزی 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

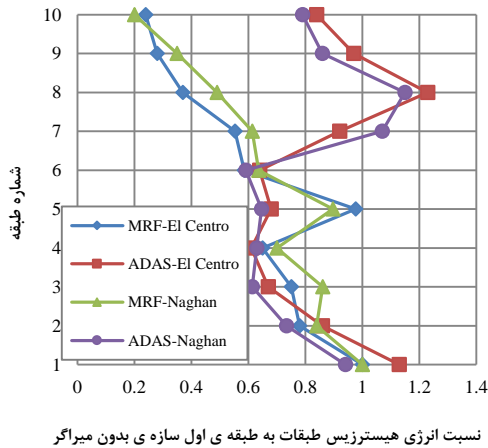
ویامیدان دورمی باشد. مقادیرنسبی انرژی جذب شده طبقات سازه های 2و10 طبقه تحت اثرزلزله های مذکوربه ترتیب درشکل های 11 و 12 آمده است.



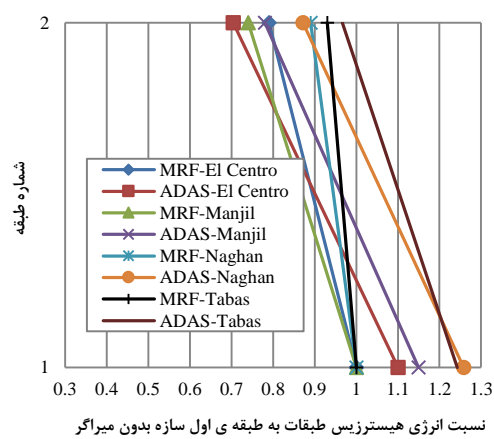
شکل 10- مقایسه دریفت طبقات سازه 10 طبقه



شکل 9- مقایسه حداکثر جابجایی ماکزیمم طبقات سازه 10 طبقه



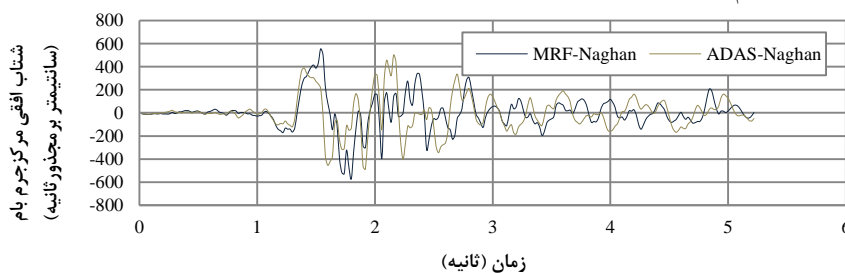
شکل 12- مقایسه انرژی هیستریزس در ارتفاع سازه 10 طبقه



شکل 11- مقایسه انرژی هیستریزس در ارتفاع سازه 2 طبقه

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

در سازه های مجهز به میراگرهای فلزی، تاریخچه شتاب وارد بر مرکز جرم طبقات گاهی بیش تر و گاهی اندکی کم تر از سازه ی بدون میراگر مشاهده شد. در مجموع میانگین نسبت حداکثر شتاب در سازه های 2 طبقه مجهز به میراگر فلزی به سازه های بدون میراگر برای چهار زلزله مورد نظر 0/94 می باشد، که حداقل این نسبت برابر 0/71 تحت زلزله ی ناغان و حداکثر آن برابر 1/24 تحت زلزله ی ال سنترو می باشد. این نسبت با افزایش تعداد طبقات کاهش می یابد. به گونه ای که برای سازه های 6 طبقه و 10 طبقه مجهز به میراگر فلزی به ترتیب برابر 0/84 و 0/91 بود. این روند کاهش نشان دهنده تأثیر کمتر شتاب در سازه های بلندتر مجهز به میراگر فلزی می باشد. همچنین میراگر فلزی سبب یکنواخت تر شدن دامنه ی سیکل ها شد. به عنوان نمونه تاریخچه ی شتاب افقی وارد بر مرکز جرم سازه ی 6 طبقه تحت زلزله ناغان در شکل 13 آمده است.



شکل 13- مقایسه تاریخچه شتاب افقی وارد بر مرکز جرم سازه 6 طبقه تحت اثر زلزله ی ناغان



7. خلاصه و نتیجه گیری

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 به میراگر فلزی جاری شونده و در نتیجه تعیین ضریب کاهش مقاومت ناشی از میراگرهای الحاقی فلزی با بهره جویی از تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه ی زمانی و نیز تحلیل استاتیکی غیرخطی اقدام شده است. همچنین پاسخ لرزه ای سازه هادرقالب برش، جابجایی، دررفت، انرژی مستهلک شده در طبقات و نیز شتاب اعمالی به سازه بررسی شده که نتایج به شرح زیر می باشد:

- بر مبنای تحلیل استاتیکی غیرخطی، متوسط ضریب رفتار قاب های خمشی بدون میراگر 6/84 و متوسط ضریب رفتار قاب های مجهزه به میراگر، 8/58 بدست آمد. با بکارگیری میراگرهای فلزی جاری شونده، به طور متوسط 26٪ ضریب رفتار سازه ها افزایش یافت. در نتیجه مقدار ضریب R_E مربوط به میراگر فلزی برابر با 1/26 بر آورده شده است. نتایج تحلیل دینامیکی غیر خطی سازگاری بسیار خوبی با تحلیل استاتیکی غیرخطی داشته است؛ به گونه ای که بر مبنای این نتایج افزودن میراگرهای فلزی جاری شونده باعث افزایش ضریب رفتار سازه به میزان 30٪ خواهد شد. این بدین معناست که تفاوت مقادیر حاصل از دوروش برابر 3/7٪ می باشد.

- مقدار ضریب کاهش نیرو ناشی از شکل پذیری، R_{II} ، با بهره جویی از میراگرهای فلزی به طور متوسط 20٪ افزایش یافت. همچنین با بهره جویی از میراگرهای فلزی شکل پذیری قاب خمشی بین 15٪ تا 22٪ افزایش یافته است. بنابراین قابلیت استهلاک انرژی در سازه های با میراگر بیشتر از سازه های بدون میراگر است.

- میراگرهای فلزی، منجر به افزایش مقاومت تسلیم، نسبت سختی غیر ارتجاعی به ارتجاعی و کاهش تغییر مکان تسلیم سیستم می شوند.

- در مجموع میراگرهای فلزی جابجایی هارا 27٪ تا 60٪ کاهش داده اند. همچنین نمودار تغییر مکان سازه های مجهزه به میراگر، ترکیبی از رفتار برشی و خمشی را به نمایش می گذارد. بهره گیری از میراگرهای فلزی منجر به کاهش و یکنواخت تر شدن سطوح دررفت 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 فلزی، سبب یکنواخت تر شدن انرژی مستهلک شده در طبقات و در نتیجه توزیع خسارت یکسان شده است. می توان گفت تقریباً استهلاک انرژی در ارتفاع طبقات مستقل از نوع زلزله میدان نزدیک و یا میدان دور می باشد.

- میراگرهای فلزی استفاده شده، حداکثر شتاب وارد بر مرکز جرم بام سازه ها را تا میزان حدود 20٪ کاهش دادند.

8. 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] Tsai, K. C., Chen, H. W., Hong, C. P. and Su, Y. F. (1993), "Design of Steel Triangular Plate Energy Absorbers for Seismic-Resistant Construction", Earthquake Spectra, 9(3), pp.505-528.
- [8] M. Tehranizadeh (2000), "Passive energy dissipation device for typical steel frame building in Iran", Engineering Structures 23 (2001), pp.643-655
- [9] Whittaker, A.S., Bertero V.V., Thompson C.L., Alonso L.J., (1999), "Seismic Testing of Steel Plate Energy Dissipation Devices", Earthquake Spectra, 7 (4), pp 563-604.
- [10] OpenSees 2.4.2, from Open System for Earthquake Engineering Simulation: <http://opensees.berkeley.edu/>