معرفی یک میراگر ابتکاری غیرفعال انرژی با مکانیزم برشی

محمد قاسم وتر[1*]، علی قمری[2]

۱- استادیار، مهندسی عمران، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران

۲- استادیار، مهندسی عمران، دانشگاه علوم و توسعه پایدار آریا، تهران

* تهران، صندوق پستی ۴۴۹۸-۱۵۸۷۵، aghamari@cmps2.iust.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۰۹، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۰۵)

چکیده

میراگرهای غیر فعال انرژی به عنوان یک سیستم کارا در برابر بارهای لرزه‌ای شناخته شده‌اند. در میان انواع میراگرهای غیرفعال، میراگرهای فولادی به دلیل سهولت اجرا، اقتصادی بودن و در دسترس بودن امکانات ساخت از مقبولیت بیشتری برخوردار است. از طرفی این نوع میراگرها، عملکرد مناسبی در آزمایشگاه‌ها و زلزله‌های گذشته داشته‌اند. هر چند این نوع میراگرها نسبت به سایر میراگرها اقتصادی‌تر هستند اما استفاده از آنها در سازه‌های معمول در مقایسه با سایر سیستم‌های مرسوم باربر جانبی، اقتصادی نمی‌باشد. لذا در این مقاله یک میراگر ابتکاری دارای مکانیزم تسلیم برشی معرفی شده که هزینه بسیار اندکی به ساخت می‌افزاید و علاوه بر آن سهولت بالایی در ساخت و اجرا برخوردار است. این میراگر پیشنهادی پس از زلزله‌های شدید براحتی قابل تعویض است. از طرفی، معمولاً افزایش سختی و شکل پذیری در سازه به راحتی میسر نمی‌شود اما نتایج نشان می‌دهد میراگر پیش نهادی باعث افزایش سختی و شکل پذیری سازه می‌گردد. همچنین با افزایش میرایی در ناحیه غیر خطی باعث اتلاف انرژی اعمالی به سازه می‌گردد. روابط لازم طراحی این میراگر پیشنهاد شده است.

واژگان کلیدی

میراگر، شکل پذیری، سختی، انرژی لرزه‌ای

Introduce an Innovative Passive Energy Damper in Shear Mechanism

M.G. Vetr, A. Ghamari

Abstract

Passive energy dampers are as an effective lateral load resistance systems comparison to other lateral load resistance systems. The metallic passive energy dampers are acceptable among other damper because of simplicity in putting up, availability of the equipment and materials. In other hand, these dampers had a good performance in laboratories and last earthquakes. However these dampers excel from other ones but it does not applicable for general buildings. Therefore, an innovative passive energy damper have introduced that the main feature of its performance is shear yielding of the proposed damper. It has a high simplicity in installation and good capability for repairing after strong earthquake. Numerical results showed that the proposed damper enhances the seismic parameters of the structures. The proposed damper increases ductility, capacity, stiffness, damping ratio. Also, in this article required equations for designing of the damper have been introduced.

Keywords

Damper, Ductility, Stiffness, Seismic energy

[Downloaded from journalisss.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.1735515.1395.1395.20.3.6]

۱- مقدمه

جاذب‌های غیر فعال انرژی، تکنولوژی جدید، پیشرفته و موثر در مهندسی سازه هستند که باعث بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه می‌شوند. بهبود و منقوش کردن این ابزارها، سازه را به سوی فلسفه طراحی بر اساس اتلاف انرژی و کاهش نیاز لرزه‌ای با تکیه بر افزایش شکل پذیری و میرایی سوق می‌دهد. پایداری سازه‌ها تحت بارهای جانبی لرزه‌ای و قابلیت بهره برداری آنها و تعمیر یا تعویض برخی قطعات سازه پس از زلزله در مناطق شهری از مسائل مهمی است که با کنترل خسارت در برخی قطعات نظیر میراگرهای انرژی قابل حل است.

علاوه بر عملکرد لرزه‌ای سیستم های مقاوم در برابر بارهای لرزه ای، صحت و سادگی روش اجرای آن، تضمین کننده عملکرد قابل انتظار سیستم خواهد بود. از طرفی ملاحظات اقتصادی، جنبه‌های معماری، سهولت تعمیر و تعویض برخی قطعات پس از زلزله از مسائل مهمی است که نباید دور از نظر قرار گیرند. هر چند میراگرهای غیر فعال فلزی نسبت به سایر میراگرهای متناظر اقتصادی‌تر بوده، اما همچنان جز در برخی سازه‌ها، مقرون به صرفه نبوده و اجرای آنها مهارت و امکانات خاصی را می‌طلبد. با توجه به امکانات موجود و دانش مهندسی ایران، طراحان و مجریان را با مشکل مواجه می‌کنند.

در میان میراگرها و جاذب‌های انرژی، میراگرهای فلزی از مقبولیت و کارایی بیشتری برخوردارند. عموما تسلیم میراگرهای فلزی مکانیزم اصلی جذب انرژی تحت بارهای لرزه‌ای است. اولین ایده استفاده از میراگرهای فلزی توسط کلی درسال ۱۹۷۲ شروع شد [۱]. همانطور که قبلاً ذکر شد در میان میراگرهای انرژی، میراگرهای غیرفعال فلزی استفاده وسیع‌تری نسبت به سایر انواع را دارا هستند. در این میان میراگرهای غیرفعال فلزی با مکانیزم برشی، مزایای بهتری دارند. در ادبیات فنی اولین میراگر با مکانیزم برشی بر اساس تحقیقات گسترده بر روی قابهای با مهاربند واگرا (EBF) دهۀ ۱۹۷۰ [۲-۶] شروع شد. اولین دسته از ساختمان‌های بزرگ که قاب‌های EBF را بعنوان قسمتی از سیستم مقاوم در برابر بارهای جانبی زلزله بکار گرفتند در اوایل دهۀ ۱۹۸۰ در تعدادی از ساختمان‌ها از این بادبند استفاده شد. پس از آن کاربرد عملی قاب‌های EBF در آیین نامه ها بصورت دستورالعمل وارد شد. بدین ترتیب انجمن مهندسین ساختمان کالیفرنیا (SEAOC) [۷] نسبت به توسعه مقررات طراحی برای قاب‌های (EBF) اقدام و با تجدید نظر مختصر، در سال ۱۹۸۸ در آئین نامه UBC مبادرت به درج ضوابط نمودند.

به موازات این اقدام، شورای ایمنی ساختمان در برابر زلزله (BSSC) در نشریه "برنامه ملی کاهش خطر زلزله" (NEHRP) [۸] در سال ۱۹۸۵ دستورالعمل کوتاه برای طراحی قاب‌های EBF در ساختمان‌های جدید جهت توسعه مقررات لرزه‌ای ارائه نمود که در زمان کوتاهی از سوی آژانس مدیریت اضطراری فدرال (FEMA) [۹] این مقررات از قسمت ضمیمه به قسمت اصلی منتقل گردید. لازم به توضیح است که شورای ایمنی ساختمان در برابر زلزله (BSSC) از مدارک به روز شورای تکنولوژی کاربردی (ATC- 3-06) [۱۰] استفاده نموده و با انتشار مقررات NEHRP برای توسعه مقررات زلزله‌ای ساختمان‌های جدید اقدام کرده است.

مستقل از فعالیت‌های فوق، انستیتوی ساختمان فولاد آمریکا (AISC) [۱۱] در چندین سال بطور وسیع پیرامون توسعه ضوابط طراحی به روش ضریب بار و مقاومت (LRFD) برای ساختمان‌های فولادی که شامل مقررات لرزه‌ای نیز می‌باشد در حال به تحقیق بوده است. این آئین نامه مقررات مفصلی برای قاب‌های (EBF) ارائه کرده است. مقررات طراحی موجود در آئین نامه‌های UBC 88, SEAOC کاملاً یکسان هستند و برمبنای روش طراحی تنش مجاز پایه گذاری شده‌اند، در حالیکه آئین نامه‌های AISC 85, BSSC بر مبنای روش طراحی ضریب بار و مقاومت به ارائه ضوابط پرداخته‌اند.

تحقیقات Rai و Wallance [۱۲ و ۱۳] ایده استفاده از میراگر برشی با استفاده از فولاد با حد تسلیم پایین (LYP) و آلومینیوم را معرفی نمودند. نتایج مطالعات آنان رفتار مناسب این میراگر را تصدق نمود. Harries و همکارانش [۱٤] مطالعات گسترده در زمینه میراگرهای هیبرید انجام داد نتایج آن را منتشر نمود. وتر و باوکمپ در تحقیقات خود بر روی لینک برشی قائم معادلات لازم را جهت طراحی این سیستم ارائه نمودند. Ghobra و همکارانش [۱۵ و ۱٦] بر روی مقاوم سازی ساختمان با استفاده از لینک بررشی مطالعات عددی و آزمایشگاهی انجام و نتایج حاصل را منتشر نمودند. آنان استفاده از لینک برشی قائم در سازه بتنی را ایده موثر در بهسازی لرزه‌ای معرفی و ضوابط اجرائی لازم را ارائه نمودند. Ricles و Popov [۵] مفصل پلاستیک برشی و ضوابط محاسباتی را بررسی و اندرکنش آن را با سایر نیروها منتشر نمودند. در حال حاضر در نقاط مختلف دنیا تحقیقات بر روی لینک برش در حال انجام می‌باشد.

در تحقیق حاضر، یک میراگر غیرفعال فلزی معرفی می‌گردد که علاوه بر حصول محاسن عملکردی سایر میراگرها از قبیل پایداری لوپ هیسترزیس، کنترل تخریب و تسلیم هدایت شده،

[Downloaded from journalisss.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.1735515.1395.1395.20.3.6]

شکل پذیری و .... قابلیت نصب سریع و سهولت اجرا و تعویض پس از زلزله را داراست.

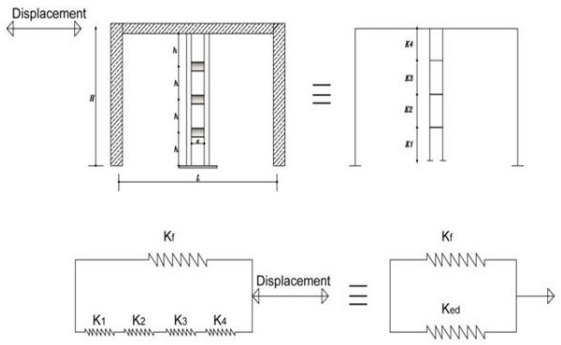
۲- میراگر پیشنهادی

پس از زلزله نورتریج و کوبه [۱] علیرغم طراحی مناسب سازه‌های فولادی، بسیاری از سازه‌های فولادی متحمل خساراتی شدند ولی هیچ سازه‌ها فولادی تخریب نشد. پس از در آئین نامه‌ها ضوابط سخت گیرانه‌تری برای بهبود عملکرد سازه‌ها توصیه شد. که می‌توان به اصلاح اتصالات قاب‌های خمشی، معرفی سازه‌های جدید، ارائه دستورالعمل‌های جوشکاری و... اشاره نمود. پس از آن رویکرد محققان به معرفی میراگرهای فلزی سازه‌ای جدید با رفتار لرزه‌ای مناسب را نتیجه داد. لذا در این مقاله نوع خاصی از میراگرهای غیرفعال انرژی پیشنهاد شده که هدف اصلی از عملکرد لرزه‌ای افزایش شکل پذیری، سختی و کنترل خسارت در لینک برشی می‌باشد. این المان به قاب خمشی متصل شده و با تسلیم برشی و عملکرد آن به عنوان یک فیوز شکل پذیر تحت بارهای لرزه‌ای، مانع از رفتار غیرخطی قاب خمشی می‌شود. با توجه به اینکه این المان مستقل از قاب محیطی است لذا پس از زلزله براحتی قابل تعویض یا تعمیر بوده و خللی در بهره برداری سازه ایجاد نمی‌کند.

عملکرد مناسب هر المان سازه‌ای مستلزم اجرای صحیح آن در عمل خواهد بود. با توجه به عملکرد اجرایی ضعیف مجریان در ایران، اجرای بسیاری از سازه‌ها (علیرغم عملکردی مناسب در برابر بارهای لرزه‌ای) ممکن نیست. اصلاح روند و توان اجرایی کشور نیاز به زمان داشته لذا پیشنهاد سیستم‌ها ساده از نظر اجرا گامی مهم در رشد و اعتلای دانش مملکت خواهد بود. با توجه به هندسه المان از نظر اجرایی هیچ گونه پیچیدگی نداشته و بدون نیاز به نیروهای ماهر قابل اجرا است.

۲-۱- نحوه مش بندی

در شکل (۱) هندسه میراگر پیشنهادی نمایش داده شده است. تمام تیرهای پیوند در این میراگر به نحوی اجرا خواهند شد که تیر پیوند به المان‌های قائم به صورت مفصلی متصل گردد. برای این منظور می‌توان اتصال را با استفاده از نبشی و یا جفت نبشی جان اجرا نمود. ساخت این میراگر می‌تواند خارج از کارگاه تحت نظارت لازم انجام شود سپس در حین اجرای سایر اجزای سازه نصب گردد. از این نظر با توجه به عدم نیاز به جوش‌های سربالا و سقفی، جوش‌ها از کیفیت بالا برخوردار خواهند بود. از طرفی در هر مرحله از ساخت قاب خمش ساختمان، می‌توان میراگر را نصب نمود خللی در پیشرفت ساخت و نصب ایجاد نخواهد کرد. علاوه بر آن می‌توان در مطالعات بهسازی لرزه‌ای از این میراگر براحتی استفاده نمود.



شکل ۱- هندسه میراگر پیشنهادی

۲-۲- کنترل معیار سختی

سختی کل سازه شامل ترکیب موازی فنر معادل قاب و میراگر می‌باشد. فنر معادل سختی قاب از اصول روابط تحلیل سازه‌ها قاب محاسبه می‌باشد و فنر معادل سختی میراگر از ترکیب سری اصول فنرها تبعیت می‌کند. لذا سختی معادل میراگر برابر است با:

$$\frac{1}{K_e}=\frac{1}{K_1}+\frac{1}{K_2}+\frac{1}{K_3}+\frac{1}{K_4} \qquad (۱)$$

$$K_1=K_4, K_2=K_3 \rightarrow K_3=4K_1 \qquad (۲)$$

$$\frac{1}{K_e}=\frac{1}{2K_1}+\frac{1}{2K_2} \rightarrow K_e=\frac{8}{5}K_1 \qquad (۳)$$

با بررسی روابط فوق، افزایش سختی سیستم ناشی از میراگر قابل وضوح است.

طراحی مطلوب آنست که میراگر قبل از قاب تسلیم شود. لذا لازم است نیروی بیشتری جذب کند بر این اساس با توجه به اینکه بار جانبی به نسبت سختی توزیع می‌گردد لذا:

$$\begin{cases} K_f < K_e \\ K_f=\dfrac{V_c.h^3}{12EI_c}+\dfrac{V_b.L^2.h}{12EI_b} \\ K_e=\dfrac{V_{bd}.e^2.(h/4)}{12EI_{bd}} \end{cases} \qquad (٤)$$

با استفاده از اصول تحلیل سازه‌ها و با فرض نقطه عطف در وسط تیر و ستون، رابطه فوق بصورت زیر ساده می‌گردد.

$$\frac{V_c}{I_c}+\frac{V_b}{I_b}.(\frac{L}{h})^2<\frac{V_{cd}}{40I_{cd}}+\frac{V_{bd}}{20I_{bd}}.(\frac{e}{h})^2 \qquad (۵)$$

۲-۳- کنترل معیار مقاومت

[Downloaded from journalisss.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.1735515.1395.1395.20.3.6]

در طراحی لرزه‌ای، علاوه بر سختی، معیارهای مقاومت و شکل پذیری نیز از اهمیت بالایی برخوردارند. تسلیم برشی میراگر یک رفتار شکل پذیر را نتیجه خواهد داد. پیکربندی و هندسه میراگر باعث می‌شود که مد حاکم، تسلیم برشی لینک افقی باشد. هنگام وقوع یک زلزله شدید تغییر شکل غیر ارتجاعی محدود به تیر پیوند شده و نهایتاً این جزء تیر باید طوری طرح شود که بتواند تغییر شکل‌های بزرگ غیر ارتجاعی را بدون کاهش مقاومت تحمل کنند.

تشکیل مفصل برشی تشکیل شده و می‌تواند با ترکیبی از سخت شدگی‌های کینماتیک و ایزوتروپیک به حداکثر ظرفیت باربری خود برسد. با توجه به رفتار مفصل‌های برشی در پیوندهای افقی که به علت سخت شوندگی کرنشی، مقدار برش و خمش در تیر پیوند به ترتیب به $۱/۵Vp$ و $۱/۲Mp$ می‌رسد و با نوشتن معادله تعادل تیر پیوند، طول تیر پیوند برای تضمین رفتار برشی به صورت رابطه (٦) است.

$$\frac{V_c}{I_c}+\frac{V_b}{I_b}.(\frac{L}{h})^2<\frac{V_{cd}}{40I_{cd}}+\frac{V_{bd}}{20I_{bd}}.(\frac{e}{h})^2 \qquad (٦)$$

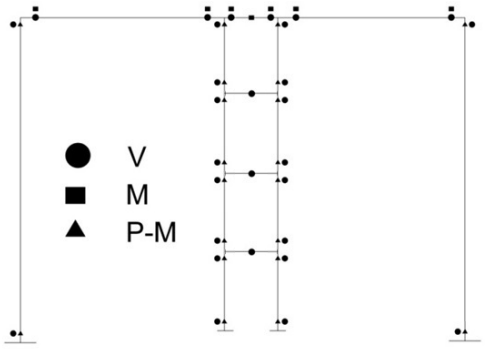
در رابطه فوق M_p و V_p به ترتیب ظرفیت خمشی پلاستیک و ظرفیت برشی پلاستیک هر مقطع می‌باشند. این رابطه در بسیاری از آئین نامه‌های زلزله دنیا و همچنین مطالعات آزمایشگاهی و عددی اثبات شده است.

۳- مدل‌سازی عددی

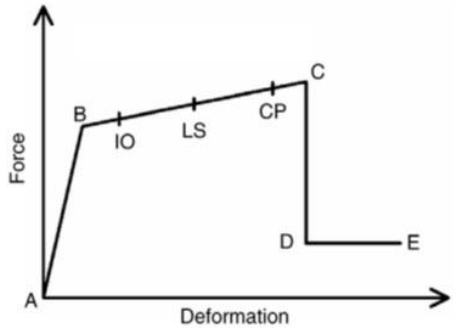
۳-۱- نحوه مدل‌سازی

نرم افزارهای متعددی برای انجام تحلیل غیرخطی میراگر پیشنهادی در دسترس هستند. اما تنها برخی از آنها قابلیت در نظر گرفتن و لحاظ کردن مفصل پلاستیک بر اساس آئین نامه را دارا هستند. بنابراین در این مقاله، تحلیل‌های غیرخطی با استفاده از نرم افزار المان محدودی SAP2000 ver 17 انجام شده است که دارای چنین قابلیتی است. در این نرم افزار برای مدل‌سازی المان‌های میله‌ای قابلیت تعریف المان میله‌ای غیرخطی با لحاظ کردن مفصل پلاستیک وجود دارد. لذا برای تحلیل غیرخطی، مفاصل پلاستیک متمرکز معرفی شده است. در شکل (۲) نوع مفاصل پلاستیک و نوع آنها نمایش داده شده است. در این شکل *P-M*، *M* و *V* به ترتیب معرف مفصل پلاستیک خمشی-محوری، خمشی و برشی است.

در معرفی مشخصات مفصل پلاستیک، همانند شکل (۳)، از تعریف مفصل پلاستیک FEMA356 استفاده شده است.



شکل ۲- محل و نوع اختصاص مفاصل پلاستیک



شکل ۳- مفصل پلاستیک

۳-۲- مدل‌های عددی

در جدول (۱) مدل‌های عددی جهت انجام تحلیل غیرخطی لیست شده‌اند. در این نمونه‌ها M و DM به ترتیب معرف قاب خمشی و قاب دارای میراگر بوده و قسمت سوم اسم نمونه‌ها معرف نوع تیرآهن تیر می‌باشد. ابتدا یک مدل قاب خمشی با استفاده از الزامات آئین نامه طراحی ساختمان در مقابل زلزله -استاندارد ۲۸۰۰- ویرایش سوم طراحی گردید که این مدل با نام M-1-22 معرفی شده است. سپس تحلیل‌های غیر خطی با تغییر تیر طبقه انجام گرفت. لذا چند مدل با تیر طبقه قوی‌تر و چند مدل با تیر طبقه ضعیف‌تر جهت بررسی میراگر در سازه‌های قاب خمشی با تغییرات سختی قاب خمشی، تحت تحلیل غیرخطی ارزیابی شد. پس از آن، به قاب‌های خمشی، میراگر اضافه گردید و مجدداً مدل‌ها تحلیل شدند. در مدل‌های دارای میراگر پیشنهادی، لینک برشی میراگر به نحوی طراحی شده که مفصل پلاستیک برشی قبل از مفصل پلاستیک خمشی در میراگر تشکیل گردد. برای این منظور، طول لینک برشی بر اساس رابطه (٦) در نظر گرفته شد است.

[Downloaded from journalisss.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.1735515.1395.1395.20.3.6]

جدول ۱– مدل‌های عددی مورد بررسی

مدل	تیر: IPE	نسبت ممان اینرسی تیر قاب به ستون	e (cm)
DM-1-20	۲۰۰	۰/۵۱	۵۰
DM-1-22	۲۲۰	۰/۷۲	۵۰
DM-1-24	۲٤۰	۱/۰۱	۵۰
DM-1-27	۲۷۰	۱/۵۱	۵۰
M-1-20	۲۰۰	۰/۵۱	۵۰
M-1-22	۲۲۰	۰/۷۲	۵۰
M-1-24	۲٤۰	۱/۰۱	۵۰
M-1-27	۲۷۰	۱/۵۱	۵۰
مدل با تغییر مشخصات میراگر			
مدل	تیر: IPE	مقطع لینک: IPE	e (cm)
D-1-27-B22	۲۲۰	۲۷۰	۵۰
D-1-24-B22	۲۲۰	۲٤۰	۵۰
D-1-22-B22	۲۲۰	۲۲۰	۵۰
D-1-20-B22	۲۲۰	۲۰۰	۵۰
D-1-18-B22	۲۲۰	۱۸۰	۵۰
D-1-16-B22	۲۲۰	۱٦۰	۵۰
D-1-14-B22	۲۲۰	۱٤۰	۵۰

٤- بررسی نتایج

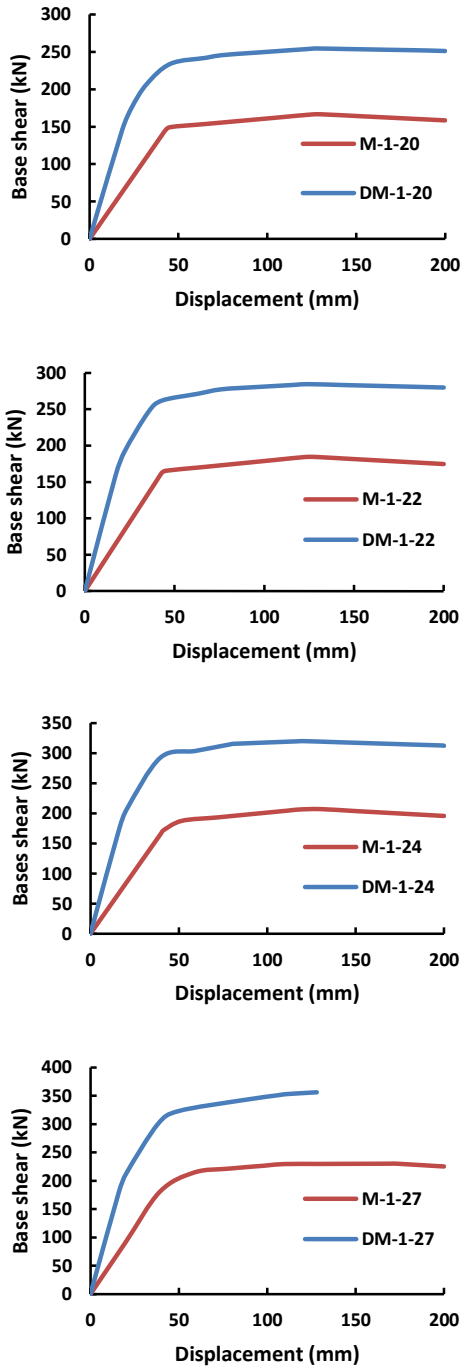
٤-۱- دیاگرام بار-تغیر مکان

نمودار بار-تغییر مکان ناشی از تحلیل بار افزون (پوش آور) سازه‌ها حاوی اطلاعات ارزشمندی است که پس از تحلیل غیرخطی در اختیار محققان قرار می گیرد. بنابراین در شکل (٤) نمودارهای بار-تغییر مکان مدل‌های تحلیل شده برای سازه‌های مورد بررسی ترسیم شده است. مقایسه نمودارهای بار-تغییر مکان سازه‌های دارای میراگر و بدون میراگر نتایج نشان می‌دهد که میراگر پیشنهادی باعث افزایش سختی، مقاومت و جذب انرژی سازه می‌گردد. این وضعیت در تمام حالات با تغییرات نسبت سختی تیر به ستون صادق است.

٤-۲- زمان تناوب و میرایی سازه

رابطه حاکم بر ارتعاش سیستم تحت تحریک لرزه ای با شتاب معلوم برابر است با:

$$\ddot{u} + 2\xi\omega_n\dot{u} + \omega_n^2 u = -\ddot{u}_g(t) \qquad (۷)$$

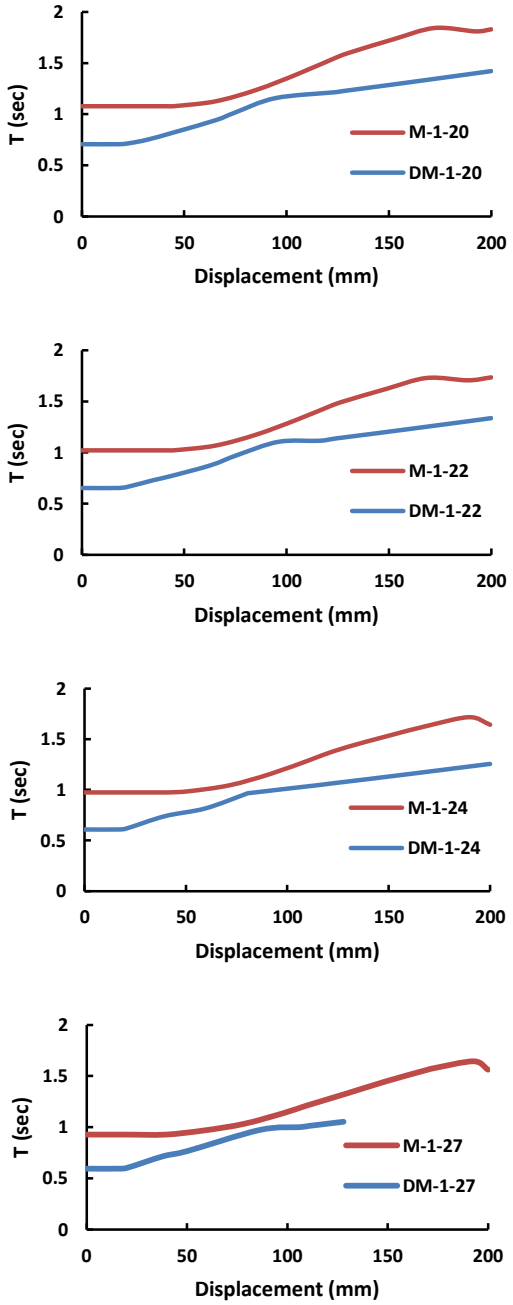


شکل ٤– مقایسه دیاگرام بار-تغیر مکان مدل‌ها

روشن است که برای $\ddot{u}_g(t)$ معلوم پاسخ تغییر شکلی سیستم فقط بستگی به فرکانس طبیعی ω_n و نسبت میرایی دارد. پس هر دو سیستمی که فرکانس طبیعی (یا زمان تناوب) و نسبت میرایی یکسانی داشته باشند، دارای پاسخ تغییر شکلی یکسانی خواهند بود حتی اگر جرم و سختی جانبی آنها با هم متفاوت باشد. لذا بررسی میرایی و زمان تناوب سازه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با ایجاد مفصل پلاستیک در سازه،

[Downloaded from journalisss.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.1735515.1395.1395.20.3.6]

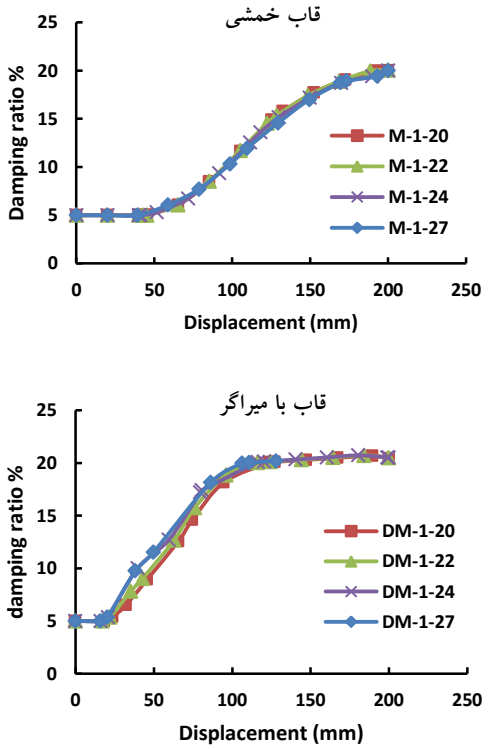
کمانش، تسلیم و سایر عوامل سختی سازه تغییر می‌کند. لذا زمان تناوب آن ثابت نبوده و تحت بارهای جانبی در حال تغییر خواهد بود. در شکل (۵) زمان تناوب سازه ها در مقابل تغییر مکان ترسیم شده است.



شکل ۵– نمودار زمان تناوب غیرخطی

نتاج نشان می‌دهد میراگر باعث کاهش زمان تناوب سازه می‌گردد. این کاهش ناشی از افزایش سختی می‌باشد. لذا استفاده از این میراگر در سازه‌های بلند از برتری بیشتری برخوردار است.

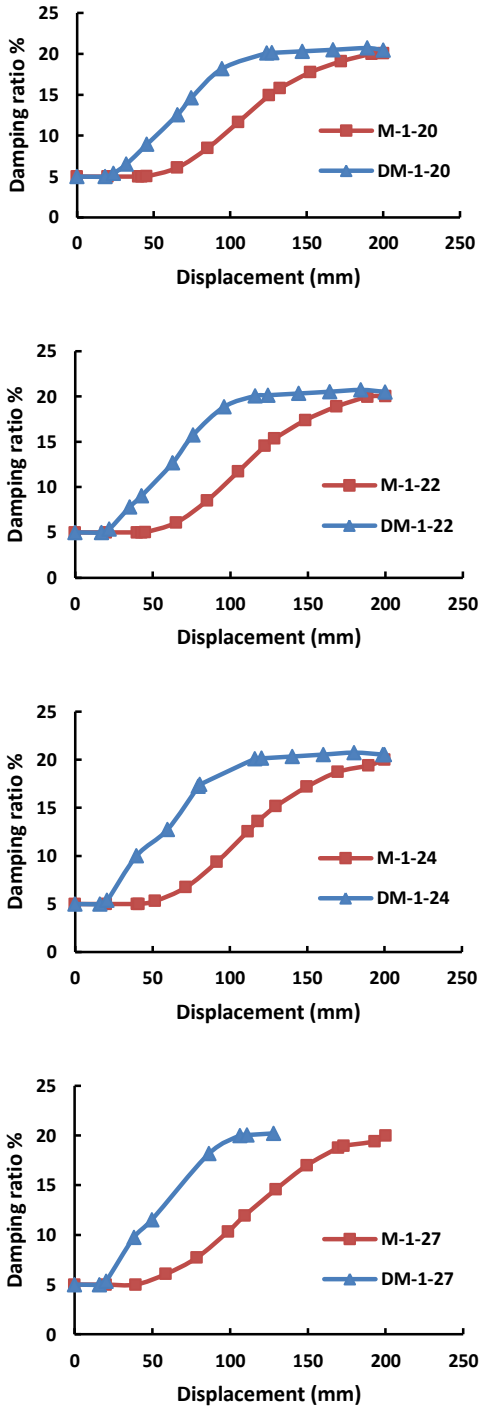
هر چند در اکثر آیین نامه و تحقیقات محققان اثر میرایی بر رفتار سازه‌ها به ناحیه خطی محدود شده است و تاثیر آن در ناحیه غیرخطی به صورت کلی مورد بحث قرار گرفته است، اما میرایی تاثیر بسزایی در پاسخ لرزه‌ای سازه در ناحیه غیرخطی خواهد داشت. بدین منظور نمودار میرایی سازه‌ها در مقابل تغییر مکان در شکل (٦) و (۷) ترسیم شده است. مقایسه نتاج نمودارها در این اشکال نشان می‌دهد که میرایی سازه به چهار برابر مقدار پیشنهادی آئین نامه‌های زلزله از جمله آئین نامه ۲۸۰۰ خواهد رسید.



شکل ٦– نمودار نسبت میرایی–تغییر مکان قاب با میراگر

مقایسه نتایج نشان می‌دهد که تغییرات نسبت سختی تیر به ستون تاثیری بر میرایی سازه (میرایی ویسکوز معادل) در ناحیه غیرخطی ندارد. اما مقایسه نظیر به نظیر نمونه‌ها قاب خمشی و قاب با میراگر به یک نسبت میرایی میل می‌کنند. میراگر ابتکاری باعث افزایش میرایی سازه در فاز غیرخطی می‌گردد. اما در لحظه گسیختگی سازه نسبت میرایی هر دو سیستم قاب خمشی و سیستم پیشنهادی به یکدیگر میل می‌کنند.

[Downloaded from journalisss.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.1735515.1395.1395.20.3.6]



شکل ۷– مقایسه میرایی نمونه‌های مورد بررسی

٤-۳- پارامترهای لرزه‌ای طراحی سازه

در جدول (۲) و (۳) نتایج حاصل از تحلیل غیر خطی استخراج شده است. نتایج این جداول نشان می‌دهد که میراگر ابتکاری عملکرد مطلوبی داشته و باعث بهبود رفتار لرزه‌ای قاب خمشی می‌شود. در تمامی نمونه ضریب کاهش نیرو در اثر شکل پذیری ($R\mu$) بیش از ۳/۵ برابر افزایش می‌یابد. افزایش این پارامتر کاهش قابل ملاحظه‌ای در بارهای لرزه‌ای اعمالی به سایر اجزا سازه‌ای را در پی خواهد داشت. علاوه بر آن طراحی سازه در حالت حدی بهره برداری نیز از ایمنی بالایی برخوردار خواهد بود. زیرا برشی پایه تسلیم سازه حدوداً ٤٠٪ افزایش می‌یابد. در مقابل مقاومت نهایی سازه در حدود ٦٠٪ افزایش داشته است.

جدول ۲– پارامترهای لرزه‌ای

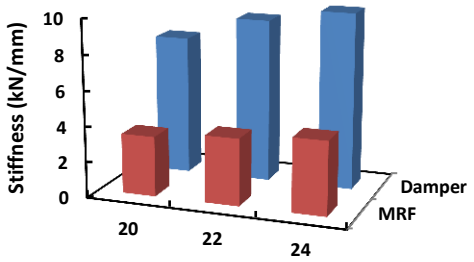
مدل	$R\mu$	Vy (kN)	Vu (kN)	Dy (mm)
DM-20	۳/۹۷	۲۲٤/٦۰	۲٥۱/۰۳	۲۸/۳٦
DM-22	۳/۸۳	۲٥۲/۳۸	۲۷۹/۸٥	۲۷/۲۲
DM-24	۳/۷۰	۲۸۰/۸۷	۳۱۲/۲۰	۲٦/۲٤
DM-27	۳/٦٤	۲۹۲/۱۷	۲۲٥/۱۷	٤٦/۸۸
M-20	۳/٦۸	۱٥۸/۸۱	۱٥۸/٤۳	٤٦/٦٤
M-22	۳/٥۲	۱۷٥/۲۳	۱۷٤/٦۸	٤٦/۱۹
M-24	۳/۲۹	۱۹٦/٤۳	۱۹٥/٥۷	٤۷/۰۸
M-27	۳/۱٥	۲۱٥/٦۲	۱۲۸/۰۱	۲٦/۰۸

جدول ۳– مقایسه نسبت پارامترهای لرزه‌ای

DM/M	$R\mu$	Vy (kN)	Vu (kN)	K (kN/mm)	Dy (mm)
۲۰	۳/۹۷	۱/٤۱	۱/٥۸	۲/۳۲	۰/٦۱
۲۲	۳/۸۳	۱/٤٤	۱/٦۰	۲/٤٥	۰/٦۰
۲٤	۳/۷۰	۱/٤۳	۱/٦۰	۲/٥۷	۰/٥۷
۲۷	۳/٦٤	۱/۳٦	۱/۸۰	۲/٤۳	۰/٥۷

دیگر مقایسه سیستم میراگر ابتکاری با قاب خمشی مقایسه سختی الاستیک می باشد که در شکل (۸) و جدول (۲) قابل بررسی است. میراگر ابتکاری باعث افزایش سختی بیش از ۲/۳۲ برابر می‌گردد. البته با افزایش نسبت ممان اینرسی تیر به ستون این نسبت سیر صعودی داشته و به ۲/٥۷ برابر می‌رسد. نکته قابل ملاحظه آن است که در اغلب سازه‌های معمول، افزایش سختی تقریباً باعث کاهش شکل پذیری می‌شود اما در سیستم پیشنهادی هر دو پارامتر سختی و شکل پذیری افزایش می‌یابد. برای تصدیق این مساله می‌توان به مقایسه تغییر مکان حد تسلیم سازه پرداخت که میراگر باعث کاهش آن در حدود٤٠٪ درصد می‌شود. این بدان معناست که شکل پذیری سازه در حدود ٤٠٪ افزایش می‌یابد.

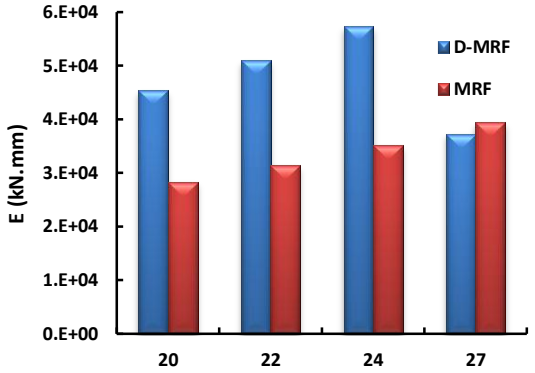
[Downloaded from journalisss.ir on 2024-04-19]
[DOR: 20.1001.1.1735515.1395.1395.20.3.6]



شکل ۸- نمودار میله سختی

٤-٤- جذب انرژی

در شکل (۹) نمودار میله‌ای جذب انرژی سیستم ترسیم شده است. نتایج این نمودار حاکی جذب انرژی بالای سیستم میراگر ابتکاری است. مقایسه نتایج افزایش ٦٠ درصدی در جذب انرژی با نصب میراگر در قاب خمشی را نشان می‌دهد.



شکل ۹- نمودار میله جذب انرژی

٥- نتیجه گیری

در این مقاله یک میراگر با مکانیزم بررشی معرفی و مورد تحلیل غیرخطی هندسی و مصالح قرار گرفت. این سیستم از مزایای زیادی برخوردار است که در متن به آنها اشاره شده است. در زیر نتایج تحلیل خلاصه شده که عبارتند از:

- میراگر ابتکاری باعث کاهش زمان تناوب سیستم در ناحیه خطی و غیرخطی می‌گردد.
- با استفاده از میراگر ابتکاری، میرایی سیستم افزایش یافته و به حدود ۲۰٪ می‌رسد. نرخ افزایش آن نسبت به قاب خمشی فولادی بیشتر بوده، اما در لحظه گسیختگی به یک عدد میل می‌کند.
- میراگر ابتکارب باعث بهبود و افزایش سختی، مقاومت و شکل پذیری سیستم شده و حدودا ٦٠٪ جذب انرژی را بهبود می‌بخشد.
- تغییرات نسبت سختی تیر در قاب خمشی و المان برشی در پارامترهای لرزه‌ای سیستم دخیل بوده و با افزایش این نسبت عملکرد میراگر بهبود یافته و پس از نقطه اوج سیر نزولی خواهد داشت.
- هر چند المان الحاقی پارامترهای لرزه‌ای را افزایش می‌دهد اما حد تسلیم سازه را کاهش، و با تمرکز خسارت در آن مانع ایجاد رفتار غیر خطی قاب محیطی در حد مجاز می‌شود.

٦- مراجع

[1] Oh, S.H., Kim, Y.J. and Ryu, H.S (2009), "Seismic Performance of Steel Structures with Slit Dampers", International Journal of Engineering Structures, Vol. 31, No. 12, pp. 1997-2008.

[2] Kasai, K. and Popov, E.P. (1986), "General Behavior of Wf Steel Shear Link Beams", Journal of Structural Engineering-ASCE, Vol. 112, No. 2, pp. 362-382.

[3] Roeder, C.W. and Popov, E.P. (1978), "Eccentrically Braced Steel Frames for Earthquakes", Journal of the Structural Division-ASCE, Vol. 104, No. 3, pp. 391-412.

[4] Roeder, C.W. and Popov, E.P. (1977), "Inelastic Behavior of Eccentric Braced Frames", Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.

[5] Ricles, J.M. and Popov, E.P. (1987), "Dynamic Analysis of Seismically Resistant Eccentrically Braced Frames", Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.

[6] Hjelmstad, K.D. and Popov, E.P. (1983), "Cyclic Behavior and Design of Link Beams", Journal of Structural Engineering-ASCE, Vol. 109, No. 10, pp. 2387-2403.

[7] SEAOC, (2005), Seismic Design Factors and Coefficients in Seismic-Force Resisting Systems, Seismology & Structural Standards Committee, Sacramento, CA.

[8] FEMA, (2001), NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.

[9] FEMA 369, (2001), NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.

[10] ATC-17-1, (1993), Proceeding of Seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation, and Active Control, Redwood City, California: Applied Technology Council.

[11] AISC, (2002), Seismic Provisions for Structural Steel Buildings, Chicago (IL): American Institute of Steel Construction.

[12] Rai, D.C. and Wallace, B.J. (1998), "Aluminium Shear-Links for Enhanced Seismic Resistance", Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Vol. 27, No. 4, pp. 315-342.

[13] Rai, D.C. and Wallace, W.J. (1998), "Aluminium Shear-Links for Enhanced Seismic Resistance", Journal of Earthquake Engineering and. Structural. Dynamics, Vol. 27, No. 1, pp. 315-342.

[14] Harries, K.A., Mitchell, D., Cook, W.D. and Redwood, R.G. (1993), "Seismic Response of Steel Beams Coupling Concrete Walls", Journal of Structural Engineering-ASCE, Vol. 119, No. 12, pp. 3611-3629.

[Downloaded from journalisss.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.1735515.1395.1395.20.3.6]

[15] Ghobarah, A. and Elfath, H.A. (2001), "Rehabilitation of a Reinforced Concrete Frame Using Eccentric Steel Bracing", Engineering Structures, Vol. 23, No. 7, pp. 745-755.

[16] Ramadan, T. and Ghobarah, A. (1995), "Analytical Model for Shear-Link Behavior", Journal of Structural Engineering-ASCE, Vol. 121, No. 11, pp. 1574-1580.

[Downloaded from journalisss.ir on 2024-04-19]

[DOR: 20.1001.1.1735515.1395.1395.20.3.6]