



ارزیابی عملکرد ساختمان‌های فولادی مجهز

به میراگر اصطکاکی پال

سید مهدی زهرائی^۱، آرش خیرالهی^۲

(تاریخ دریافت: ۸۹/۶/۱، تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۲/۴)

چکیده

در این مقاله عملکرد سازه ای ساختمان فولادی دارای سیستم قاب خمشی بادبندی شده در دو حالت با و بدون میراگر اصطکاکی پال مورد مقایسه قرار گرفته است. سازه موجود، قاب پنج طبقه فولادی است که بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش دوم طراحی شده و ارزیابی عملکرد بر اساس دستور العمل بهسازی صورت گرفته است. در مرحله طراحی میراگر مشاهده شده است که بازای بار لغزش ۲۰ تن بعنوان بار بهینه لغزش، نزدیک به ۱۰۰ درصد انرژی تلف شده در سازه، توسط سیستم میراگر مستهلک می گردد. همچنین تحت زلزله طراحی، معیار های پذیرش تعریف شده در دستورالعمل برای سطح عملکرد استفاده بی وقفه در قاب های مذکور ارضا شده اند. با بررسی نسبت نیرو به ظرفیت (DCR) در عضوهای کنترل شونده توسط تغییر مکان در سیستم بدون میراگر، تحت زلزله طراحی، مشاهده شده که حدود ۲۰ درصد از اعضا وارد ناحیه غیر خطی شده اند و معیارهای پذیرش برای تلاش های کنترل شونده توسط نیرو بسختی ارضا می شوند. اما همه عضوهای قاب مجهز به میراگر در محدوده الاستیک هستند و معیار های پذیرش برای این تلاش ها، با حاشیه ایمنی حدود ۱۶ درصد برقرار می باشد. نتایج مطلوب مشابهی تحت زلزله بزرگتر از زلزله طراحی حاصل شده است.

کلمات کلیدی

میراگر اصطکاکی پال، بار بهینه لغزش، ارزیابی عملکرد سازه ای، سطوح عملکرد سازه ای، بهسازی لرزه ای

Performance Evaluation of the Steel Frames with Pall Friction Damper Device

S.M. Zahrai; A. Khairollahi

ABSTRACT

In this paper, the structural performance of steel rigid frame with pall friction damper is compared with a braced moment resisting frame as existing structure. The existing structure is a 5-story steel frame which is designed based on the 2nd edition of the No. 2800 standard and the performance evaluation is based on seismic retrofit guideline. It is observed that when the slip force reaches to 20 tons, about 100 percent of the total dissipated energy in the structure is dissipated by damper devices, which makes 20 tons be the optimum slip force. Also, under the design basic earthquake, the acceptance criteria for immediate occupancy performance level are satisfied in both frames. Investigating the demand to capacity ratio, DCR, in deformation - controlled actions reveals that in the existing frame about 20 percent of the elements reached nonlinear region and the acceptance criteria for force - controlled actions are hardly satisfied, while all members of the frame with damper remained in elastic behavior and the acceptance criteria for these actions are satisfied with 16 percent safety margin. Similar desirable results are obtained under an earthquake stronger than the basic design earthquake.

KEYWORDS

Pall friction damper, optimum slip force, Performance evaluation, structural performance level, seismic retrofit.

۱- دانشیار، قطب علمی مهندسی و مدیریت زیر ساختها، دانشکده عمران دانشگاه تهران، mzahrai@ut.ac.ir (نویسنده مسئول)

۲- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد واحد رامهرمز، arash.khairollahi@yahoo.com



به هنگام وقوع زلزله‌های شدید، مقدار زیادی انرژی جنبشی به سازه وارد می‌شود و آنرا با دامنه‌ای متناسب با انرژی اعمالی به عقب و جلو می‌کشاند. تمام آیین‌نامه‌های ساختمانی تصدیق می‌نمایند که از لحاظ اقتصادی استفاده از ظرفیت الاستیک مصالح جهت مقابله با انرژی لرزه‌ای امکان‌پذیر نیست، مگر آنکه سازه مورد نظر دارای اهمیت فوق‌العاده‌ای باشد، که تعداد این نوع سازه‌ها نیز اندک می‌باشد. اگر بتوان به طریقی بخش اعظمی از انرژی لرزه‌ای را بصورت مکانیکی مستهلک کرد، پاسخ سازه بدون بوجود آمدن خسارات سازه‌ای، قابل کنترل است. یکی از روشهای نبل به این هدف، استفاده از میراگرهای اصطکاکی است. فلسفه استفاده از این نوع وسایل، تبدیل انرژی جنبشی اعمالی به سازه به انرژی حرارتی (که طی غلبه بر نیروی اصطکاک بوجود می‌آید) و انرژی هیستریزس ناشی از منحنی نیرو - تغییر مکان در میراگر می‌باشد [1].

مهمترین مرحله از طراحی سیستم اصطکاکی تعیین بار بهینه لغزش است. بر همین اساس روش های مختلفی برای طراحی سیستم های اصطکاکی توسط محققین مختلف ارائه شده است. Filiatrault و Cherry در سال ۱۹۸۷ شاخص کارایی نسبی را به عنوان معیار پاسخ سازه جهت این مقایسه معرفی نمودند. بطوری که با رسم نمودار شاخص کارایی نسبی برای بارهای لغزش مختلف، می توان بار متناظر با کمترین پاسخ را به عنوان بار بهینه لغزش در نظر گرفت [2]. در سال ۱۹۹۳، این محققین توانستند طیفی را به عنوان طیف طرح لغزش پیشنهاد نمایند که می توان از روی آن برش لغزش بهینه کل سازه را تعیین، و با توزیع آن در ارتفاع، بار لغزش هر میراگر را بدست آورد [3].

در سال ۱۹۹۵، Vulcano توانست طیف های لغزش مشابهی را پیشنهاد نماید. اما در روش Vulcano به جای سازه اصلی از سیستمی یک درجه آزادی و معادل استفاده

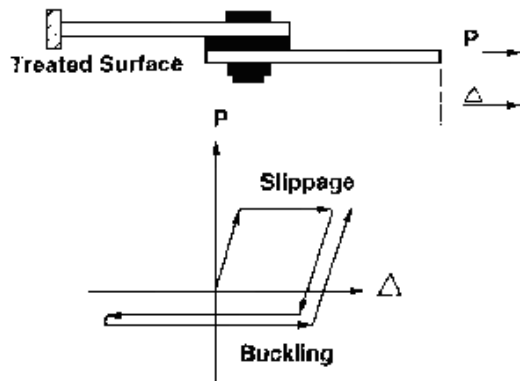
می‌شود [4]. این روش برخی محدودیت‌های روش قبلی را نیز برطرف نمود. اما یکی از جدیدترین و در عین حال ساده‌ترین روشها در سال ۲۰۰۰ توسط Fu و Cherry ارائه شد که از روش استاتیکی معادل استفاده شده است؛ با این تفاوت که ضریب اصلاح نیرو (R) طوری تعیین می‌شود که علاوه بر اثر رفتار غیرالاستیک، در برگیرنده اثر افزایش میرایی و سختی ناشی از الحاق میراگرهای اصطکاکی نیز باشد [5].

بر اساس روش پیشنهادی Pall و March (۱۹۸۶)، برای مدل سازی میراگر اصطکاکی پال، پس از معرفی تنش جاری شدن مجازی بابدند در کشش، که معادل تنش ایجاد شده در بابدند تحت بار لغزش است، پاسخ دینامیکی غیر خطی سازه محاسبه می شود. (تغییر مکان حداکثر طبقات به عنوان معیار پاسخ قاب در نظر گرفته شده است). این عمل برای مقادیر مختلف تنش تسلیم در کشش (بار لغزش) تکرار می شود. بر اساس نتایج بدست آمده، بار طراحی لغزش متناظر با کمترین پاسخ، به عنوان بار بهینه لغزش میراگر انتخاب می گردد. البته باید دو مطلب را به صورت پیش زمینه در نظر داشت. اول این که باید انرژی تلف شده توسط میراگر (بابدنها در سیستم FBMRF)، بیشترین و توسط اعضای دیگر سازه کم ترین مقدار را داشته باشد. دوم اینکه، با تغییر ۲۰ درصد در مقدار بار بهینه لغزش، تغییر قابل ملاحظه ای در پاسخ کلی سازه رخ نخواهد داد [6].

در سال ۲۰۰۲، Mualla و Belev نیز یک میراگر اصطکاکی جدید با مکانیزم اصطکاکی ساده‌ای را پیشنهاد و مورد آزمایش قرار داده اند. این میراگر از سه ورق فولادی و یک پیچ پیش تنیده تشکیل شده است. در میان ورق های فولادی دو بالشتک اصطکاکی وجود دارد برای جلوگیری از کمانش، بابدنها بصورت پیش کشیده استفاده شده اند. با اعمال نیروی جانبی، بر اثر بوجود آمدن تغییر مکان بین طبقه ای، پیچشی در وسیله اصطکاکی (پیچ) ایجاد می شود که بوسیله نیروهای اصطکاکی بین بالشتک ها مقابله می شود [7]. Lee و همکاران در سال ۲۰۰۸ با انجام آنالیزهای عددی روی ۵ ساختمان چند طبقه با پربودها و طبقات



دیگر به هنگام تغییر جهت نیروی بادبند از کششی به فشاری، بادبند دچار کمانش می‌شود و اتصال اصطکاکی نمی‌تواند به عقب بلغزد. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است اتصال اصطکاکی تا وقتی که بادبند بیش از مقدار افزایش طول قبلی خود کشیده نشود، نمی‌لغزد و در نتیجه جذب انرژی نسبتاً ضعیف می‌شود.



شکل (۱): اتصال اصطکاکی شیاردار ساده و حلقه هیستریزس مربوطه [2]

ولی با استفاده از مکانیزم میراکننده اصطکاکی پال، امکان بهبود جذب انرژی وجود دارد. با اتصال این مکانیزم در محل تقاطع بادبندها این قابلیت بوجود می‌آید که بادبندها همزمان در کشش و فشار بلغزند. مطابق شکل ۲ بادبندها به یک مکانیزم میراکننده اصطکاکی متصل می‌شوند. هنگامی که در یکی از بادبندها کشش بوجود آید، اتصال می‌لغزد و چهار عنصر رابط را فعال می‌کند و در نتیجه این امر، اتصال موجود در بادبند دیگر نیز، مجبور به لغزش می‌شود.

متفاوت، روش قابل قبولی برای تعداد میراگرهای اصطکاکی، محل نصب و چگونگی توزیع بار لغزش لغزش بین آنها ارائه داده اند. همچنین رابطه ای تجربی برای بهینه سازی تعداد میراگر پیشنهاد داده اند [8].

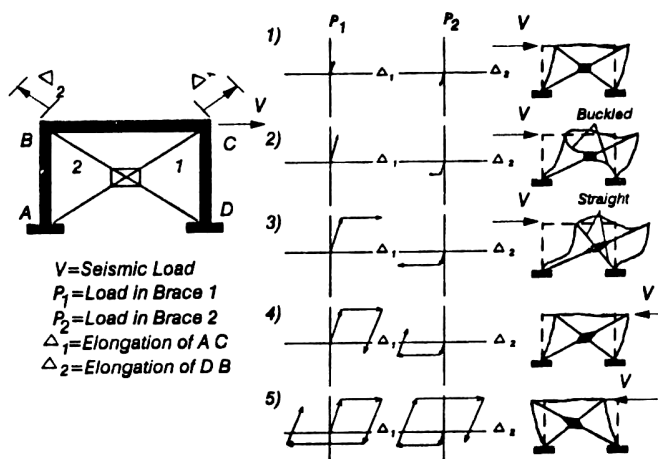
در این مقاله از میراگر اصطکاکی پال استفاده شده است. در ابتدا طریقه عملکرد این میراگر و مراحل پنجگانه آن و مدل هیستریزیسی که می‌توان برای این میراگر استفاده کرد، آورده شده و سپس به مدل استفاده شده برای بادبند این میراگر در نرم افزار RAMPerform، مشخصات قاب و زلزله مورد استفاده پرداخته شده است. بعد از طراحی میراگر براساس روش پیشنهادی پال، ارزیابی عملکرد سازه ای قاب مجهز به میراگر اصطکاکی، $FBMRF^1$ ، با قاب دارای سیستم باربر جانبی قاب خمشی بادبندی شده، $BMRF^2$ ، مورد مقایسه قرار گرفته است. ارزیابی عملکرد بر اساس دستورالعمل بهسازی، یکبار برای زلزله ای که قاب برای آن طراحی شده است یعنی تحت سطح خطر یک با بیشینه شتاب $0.35g$ و یکبار برای زلزله سطح خطر ۲ با بیشینه شتاب $0.5g$ انجام شده است.

۲- چگونگی عملکرد میراگر پال

اگر بادبندهای یک سازه قاب‌بندی شده معمولی طوری طراحی شوند که در فشار کمانش نکنند، یک اتصال اصطکاکی شیاردار ساده^۳ (منظور از اتصال ساده، اتصالی بدون هر گونه مکانیزم اضافه، مثل اعضای رابط در میراگرپال است) را می‌توان در هر بادبند قطری نصب کرد تا بتواند بواسطه اصطکاک مقداری از انرژی ورودی را مستهلک نماید. در این صورت هر اتصال لغزشی مستقل از دیگری عمل خواهد کرد. بار لغزش اتصال بایستی کمتر از بار جاری شدن اعضا باشد. اما این روش برای طراحی بادبندهای فشاری اقتصادی نیست، از طرفی اگر بادبندها ضعیف (لاغر) بوده و تنها برای اینکه در کشش مؤثر باشند طراحی گردند، اتصال اصطکاکی شیاردار ساده تنها در کشش می‌لغزد. به عبارت



فشاری به شکل صاف و مستقیم درآید. البته برای اینکه در عمل بتوان به چنین رفتاری دست یافت، لازم است عناصر رابط، اعضای بسیار سختی باشند بطوریکه دچار کمانش یا تسلیم نشوند. برای این که پس از لغزش میراگر و تغییر شکل مکانیزم از حالت مستطیل به لوزی، بادبندهای فشاری از حالت کمانش یافتگی خارج شوند، بایستی این تغییر شکل به طور کامل به بادبندهای فشاری منتقل شود.

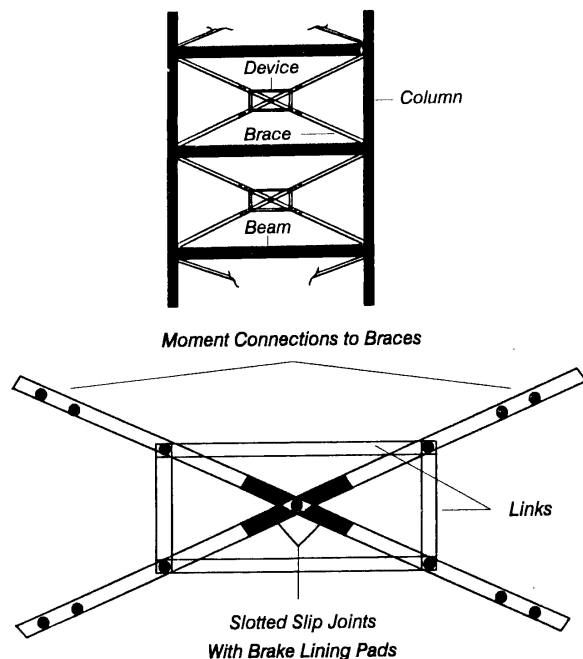


شکل (۳): رفتار ایده آل قاب یک طبقه مجهز به میراگر پال [2]

مساله مهمی که باید در این مرحله به آن توجه شود، این است که با رسیدن نیروی بادبند کششی به بار لغزش، میراگر عمل نموده و بالشتک‌های اصطکاکی می‌لغزند. در این لحظه بدون آنکه نیروی بادبند افزایش یابد، بادبند کششی شروع به افزایش طول می‌کند. این افزایش طول در نتیجه لغزش بالشتک‌های اصطکاکی در مرکز سیستم پال و تغییر شکل مجموعه اعضای رابط از مستطیل به لوزی و نه جاری شدن بادبند حاصل می‌گردد.

مرحله چهارم - با تغییر جهت بار، بادبندی که به شکل صاف و مستقیم درآمده است، به کشش می‌افتد و بلافاصله شروع به جذب انرژی می‌کند.

مرحله پنجم - نیروی بادبند شماره ۱، که در این حالت تحت فشار است، به P_{cr} می‌رسد و رفتاری مشابه مرحله دوم در



شکل (۲): جزئیات میراگر اصطکاکی پال و نحوه بکارگیری آن در سازه [2]

در سال ۱۹۸۶، Pall و Marsh الگوی تغییر شکل این مکانیزم را برای آنکه به رفتار واقعی نزدیک شود، مطابق شکل ۳ در پنج مرحله اصلی تشریح نمودند.

مرحله اول - در اوایل سیکل بارگذاری هر دو بادبند فعال بوده و تحت فشار و کشش، در محدوده الاستیک قرار دارند. مرحله دوم - در این مرحله در حالی که هنوز بار وارده چندان قابل ملاحظه نیست، بادبند فشاری کمانش می‌کند و این در حالی است که بادبند کششی هنوز در محدوده الاستیک کشیده می‌شود (شایان ذکر است که از کمانش بادبندها در صفحه عمود بر قاب باید جلوگیری شود).

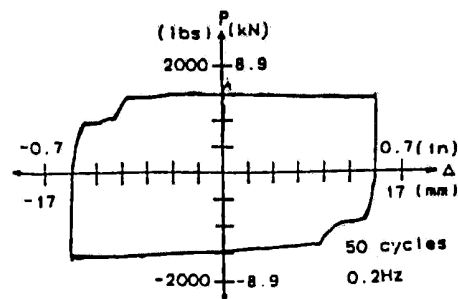
مرحله سوم - سیستم طوری تنظیم می‌شود که قبل از جاری شدن بادبند کششی، بار لغزش در وسیله حاصل شود. در نتیجه چهار عنصر رابط مکانیزم، فعال شده و به شکل لوزی در می‌آیند و طی این عمل، شکل کمانه شده بادبند فشاری از بین می‌رود به گونه ای که پس از لغزش انتظار می‌رود بادبند



سیستم بوجود می‌آید و سپس با افزایش بار مرحله سوم تکرار شده و چرخه بارگذاری تکمیل خواهد شد.

تاکنون آزمایشهای چرخه ای متعددی بر روی این مکانیزم اصطکاکی، با استفاده از وسایل آزمایشگاهی استاندارد، انجام شده است. در این آزمایش ها، یک طرف اعضای رابط قطری مکانیزم اصطکاکی به کف صلب آزمایشگاه و طرف دیگر به جکهای هیدرولیکی متصل می‌شوند. شکل ۴ نمونه‌ای از منحنی بار تغییر مکان بدست آمده از این آزمایشها را نشان می‌دهد [2].

حلقه هیستریزیس بدست آمده در شکل ۴، که مربوط به ۵۰ چرخه بارگذاری است، خیلی شبیه به مستطیل کامل است و نقص موجود در گوشه‌های مقابل هم، در نتیجه خطاهای ساخت وسیله اصطکاکی است که با کاستن خطاهای ساخت می‌توان به مستطیل کامل دست یافت. این حلقه شبیه حلقه هیستریزیس مستطیلی مواد الاستوپلاستیک کامل است به طوری که نیروی لغزش را می‌توان به عنوان نیروی جاری شدن مصنوعی در نظر گرفت [9].



شکل (۴): منحنی هیستریزیس بدست آمده از آزمایش میراگر پال

تحت ۵۰ سیکل بارگذاری با فرکانس ۰.۲ HZ [2]

۳- مدل سازی میراگر اصطکاکی پال

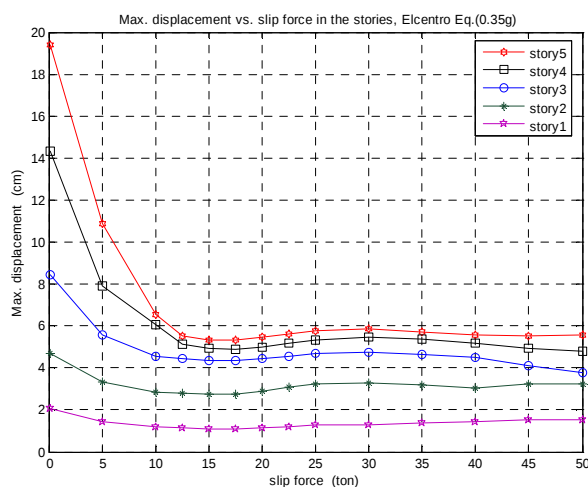
برای مدلسازی میراگر اصطکاکی پال و چگونگی تولید حلقه هیستریزیس آن، از مدل رفتاری ارائه شده توسط آقای Cherry و Filiatrault در مرجع [2] استفاده شده است.

شکل ۳ مراحل انجام مکانیزم میراگر اصطکاکی پال (پیشنهاد شده توسط Cherry و Filiatrault) را نشان می‌دهد. در این شکل مشاهده می‌شود که بر اثر اعمال نیروی افقی V به قاب، نیروی کششی P_1 در بادبند ۱ و نیروی فشاری P_2 در بادبند ۲ بوجود می‌آید. در مرحله ۵ام، منحنی هیستریزیس هر کدام از ۲ بادبند این میراگر مشاهده می‌شود. به عبارت دیگر رفتار هیستریزیس توام این دو بادبند، منحنی هیستریزیس میراگر اصطکاکی پال را تولید می‌کند. در این تحقیق برای رفتار هیستریزیس بادبند های دارای میراگر از منحنی هیستریزیس شکل ۳ استفاده شده است. برای بدست آوردن بار بهینه لغزش روش پیشنهادی Pall و March (مرجع [6]) استفاده شده است. بر این اساس بار بهینه لغزش باری است که به ازای آن، مقدار پاسخ تغییرمکانی سازه کمتر شود. جهت انجام آنالیزهای دینامیکی غیرخطی از نرم افزار RAMPerform استفاده شده است. برای مدل کردن بادبند مجهز به میراگر اصطکاکی از عنصر Simple bar و برای رفتار غیر خطی آن از مولفه Inelastic bar استفاده شده است [10]. یک نمونه از نمودار نیرو-تغییرمکان بادبندی که مجهز به میراگر اصطکاکی است در شکل ۵ نشان داده شده است. قاب مورد بررسی دارای سیستم باربر جانبی قاب خمشی بادبندی شده می‌باشد که بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ طراحی شده است. مشخصات عضوهای این قاب در جدول ۱ آورده شده است.

است [11] ولی به دلیل محدودیت در تعداد صفحات مقاله، در متن آورده نشده است.

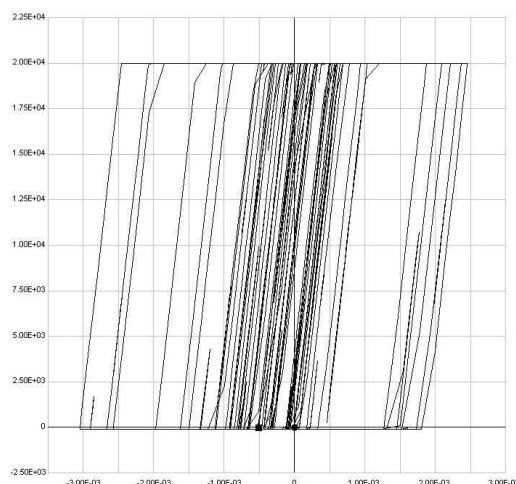
۴- طراحی میراگر اصطکاکی پال

شکل ۶ حداکثر تغییر مکان جانبی طبقات قاب را به ازای بارهای لغزش مختلف (تنش های تسلیم مجازی متفاوت در کشش) تحت زلزله السنترو با $PGA=0.35g$ نشان می دهد. بارهای لغزش از صفر تا ۵۰ تن تغییر کرده اند. نیروی جاری شدن بادبندها در کشش برابر $41/040$ تن می باشد (بادبندها دارای سطح مقطع $9/4$ و $17/1$ سانتیمتر مربع و تنش تسلیم 2400 کیلوگرم بر سانتیمتر مربع می باشند). با توجه به شکل ۶ مشاهده می شود که با افزایش نیروی لغزش میراگر، تغییر مکان ها کاهش، ولی نیروهای وارد بر سازه کمی افزایش می یابد. مشاهده می شود که بعد از اینکه نیروی لغزش به مقدار ۲۰ تن رسید، دیگر تغییر محسوسی در تغییر مکان طبقات دیده نمی شود.



شکل (۶): حداکثر تغییر مکان جانبی طبقات قاب به ازای بارهای لغزش مختلف تحت زلزله السنترو با $PGA=0.35g$

به کمک شکل ۷، می توان تبادل انرژی را در اعضای قاب مورد نظر مشاهده کرد. از آنجا که مقدار بار لغزش در فاصله بین بار لغزش صفر و ۵ تن کم می باشد در نتیجه مساحت



شکل (۵): نمودار نیرو- تغییر مکان بادبند دارای میراگر اصطکاکی پال

جدول (۱): مشخصات قاب مورد بررسی

ستون کناری	ستون میانی	تیرها IPE	بادبندها (نبشی)	قاب خمشی بادبندی شده
HEB	HEB			
160	100	300	70X70X7	طبقه ۵
160	140	300	70X70X7	طبقه ۴
180	160	300	70X70X7	طبقه ۳
180	200	300	90X90X10	طبقه ۲
180	240	330	90X90X10	طبقه ۱

از رکورد زلزله السنترو (NS,1940) در تحلیل های تاریخیچه زمانی استفاده شده است. طیف پاسخ این شتابنگاشت با طیف طراحی استاندارد 2800 که همان سطح خطر یک طبق تعریف دستورالعمل بهسازی می باشد سازگار شده است. در این مطالعه علاوه بر زلزله السنترو، از رکورد زلزله های طیس و ناغان نیز استفاده شده است که برای آنها نتایجی مشابه با موارد ذکر شده در این مقاله بدست آمده



Perform این قابلیت را فراهم می آورد که با تعریف حالات حدی برای اعضای سازه نتایج را به صورت نسبت های کاربرد (Usage Ratios) خلاصه کرد. بواسطه این نسبت های کاربرد، می توان برآورده شدن یا نشدن حالات حدی و معیارهای پذیرش را در هر سطح عملکردی نشان داد. در تلاش های کنترل شونده توسط تغییرشکل که رفتار غیر الاستیک انتظار می رود، کفایت عضو با شکل پذیری آن مشخص می گردد. در تلاش های کنترل شونده توسط نیرو کفایت عضو با مقاومت آن مشخص می شود.

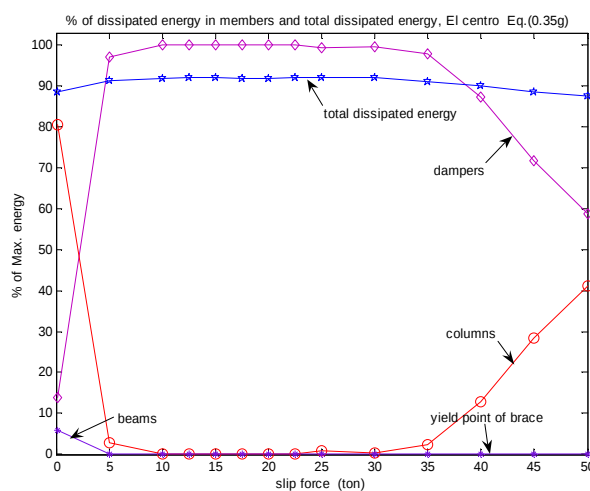
شکل های ۸ تا ۱۱، بزرگ ترین نسبت محاسبه شده برای نیرو به ظرفیت (DCR) را در هر لحظه از تحلیل نشان می دهد. با توجه به شکل ۸ دیده می شود که در سیستم BMRF، تلاش های کنترل شونده توسط نیرو بسختی می توانند معیارهای پذیرش را ارضا کنند. در حالی که با توجه به شکل ۹، معیارهای پذیرش برای تلاش های کنترل شونده توسط نیرو در قاب مجهز به میراگر با حاشیه ایمنی حدود ۱۶ در صد برقرار می باشد.

DCR در عضوهای کنترل شونده توسط تغییرمکان در سیستم BMRF، مشاهده شد که حدود ۲۰ درصد از اعضا وارد مرحله غیر خطی شده اند. در حالی که با توجه به شکل ۱۱ همه عضوهای قاب مجهز به میراگر در محدوده الاستیک واقع اند ($\theta = (2 \times 0.4439)\theta_y \Rightarrow \theta < \theta_y$).

با مقایسه شکل های ۱۰ و ۱۱ دیده می شود که حداکثر نسبت نیرو به ظرفیت در BMRF در ستون ها رخ داده است ولی در FBMRF، این وضعیت در تیرها اتفاق افتاده است.

نمودار نیرو- تغییرمکان مقدار کوچکی می باشد و انرژی تلف شده توسط میراگر کم می باشد. دیده می شود که با افزایش بار لغزش در مقدار ۲۰ تن، سهم میراگرها از کل انرژی تلف شده در سیستم برابر با ۹۹/۶ درصد می باشد و فقط ۰/۴ درصد در دیگر اعضا تلف شده است. با توجه به شکل ۷ کل انرژی تلف شده در سیستم برابر با ۹۱/۹ درصد انرژی ورودی است.

با افزایش بار لغزش از مقدار ۳۰ تن، هم مقدار انرژی تلف شده توسط کل سازه کاهش یافته است و هم انرژی تلف شده در میراگرها کاهش می یابد (شکل ۷). این موضوع می تواند مبین این باشد که با افزایش بار لغزش میراگرها، یا نیروی زلزله برای لغزاندن همه میراگرها کافی نیست و یا اینکه در همه یا تعدادی از میراگرها لغزش به مقدار کمی صورت گرفته است. در هر دو صورت مقدار انرژی ای که به ازای لغزش میراگر تلف می شود کمتر شده است.



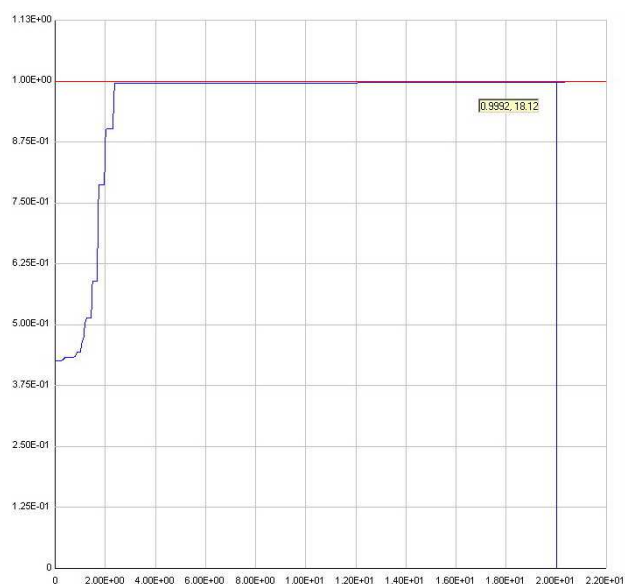
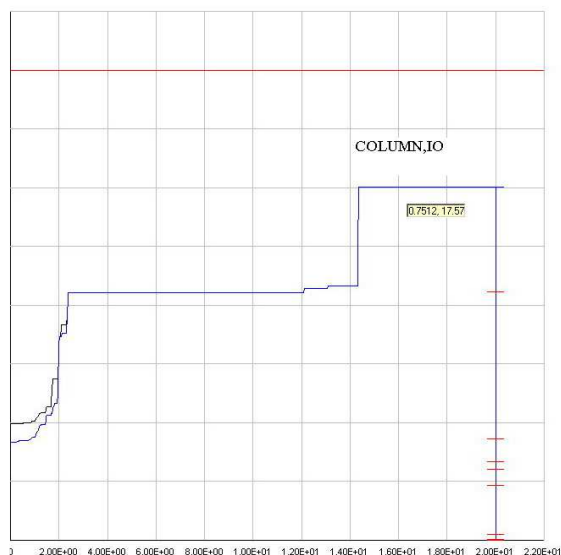
شکل (۷): تبادل انرژی در سازه تحت زلزله السترو با
PGA=0.35g

۵- ارزیابی قاب ها در سطح عملکرد استفاده بی وقفه و سطح خطر یک (السترو با PGA=0.35g)

در یک تحلیل غیر خطی، حجم بسیار بزرگی از نتایج برای گام های زمانی مختلف بدست می آید. برنامه RAM

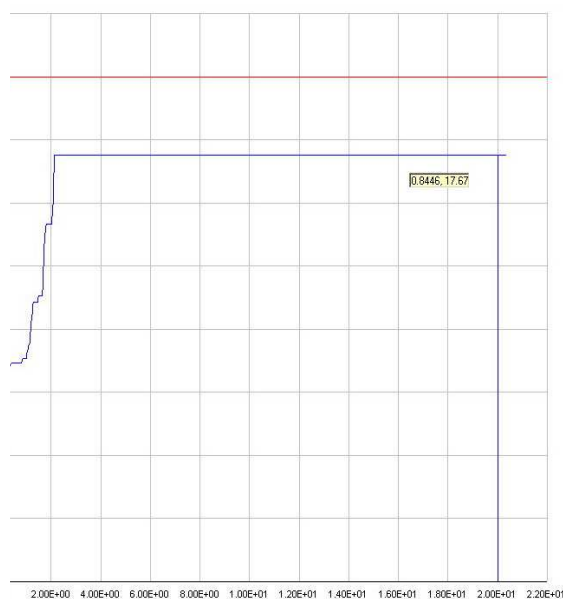


می توان گفت که با وارد عمل شدن میراگرها از مقدار نیروی ورودی به ستون ها (Demand) کاسته می شود و در نتیجه مقدار DCR در ستون ها پایین آمده تا جایی که از مقدار آن در تیرها کمتر شده است. این موضوع می تواند بیانگر بهتر شدن عملکرد قاب باشد وقتی به میراگر مجهز شده است.



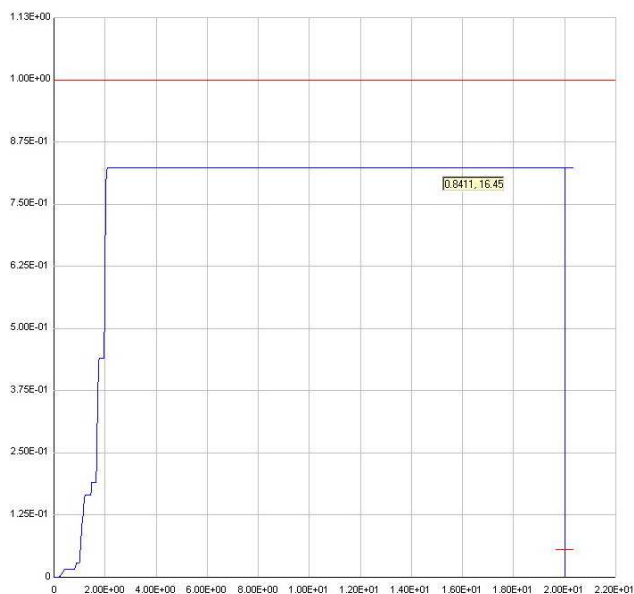
شکل (۸): حداکثر DCR در تلاش های کنترل شونده توسط نیرو در قاب BMRF تحت السسترو 0.35g

شکل (۱۰): حداکثر DCR در تلاش های کنترل شونده توسط تغییر مکان قاب BMRF تحت السسترو 0.35g

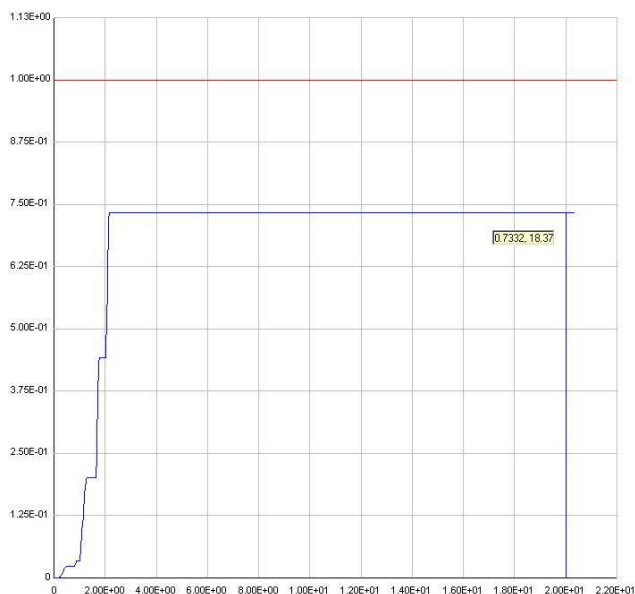


شکل (۹): حداکثر DCR در تلاش های کنترل شونده توسط نیرو در قاب FBMRF تحت السسترو 0.35g

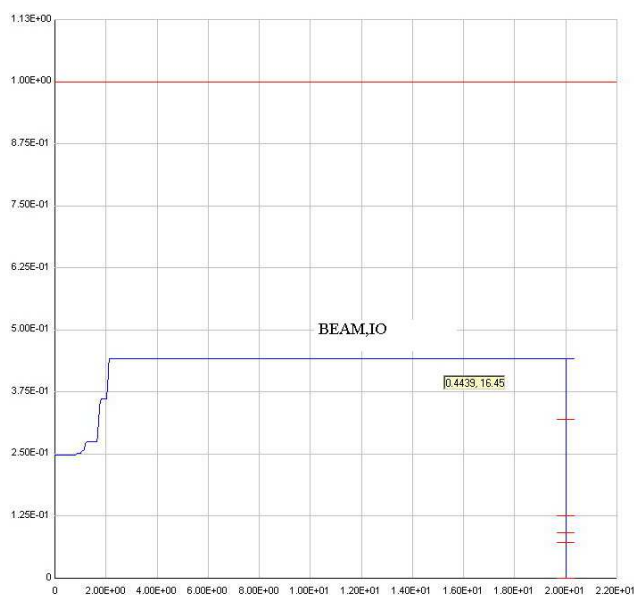




شکل (۱۲): نسبت حداکثر تغییر مکان کلی بام به ارتفاع کل
قاب *BMRF* تحت السسترو $0.35g$



شکل (۱۳): نسبت حداکثر تغییر مکان کلی بام به ارتفاع کل
قاب *FBMRF* تحت السسترو $0.35g$



شکل (۱۱): حداکثر *DCR* در تلاش های کنترل شونده توسط
تغییر مکان قاب *FBMRF* تحت السسترو $0.35g$

در ارزیابی کل قاب *BMRF* مشاهده می شود که عملکرد آن در سطح استفاده بی وقفه قرار دارد. این قاب بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ برای $PGA=0.35g$ و به روش استاتیکی معادل، طراحی شده است. با توجه به نتایج بدست آمده، قاب مذکور می تواند سطح عملکرد استفاده بی وقفه (تعریف شده بر اساس دستورالعمل بهسازی) را تحت سطح خطر یک ارضا کند.

با ارزیابی کل قاب *FBMRF* مشاهده می شود که عملکرد آن حتی بالاتر از سطح استفاده بی وقفه است. با توجه به مقادیر *DCR* بدست آمده در تلاش های کنترل شونده توسط نیرو و تغییر مکان می توان گفت استفاده از میراگر در سیستم *BMRF* توانسته است بطور میانگین حدود ۲۳ درصد مقدار حداکثر *DCR* را در آن کاهش دهد.

شکل های ۱۲ و ۱۳ مقدار نسبت حداکثر تغییر مکان کلی بام به ارتفاع کل قاب را در هر لحظه از آنالیز نشان می دهند. مشاهده می شود که با بکار بردن میراگر در سیستم *BMRF*، مقدار این نسبت، حدود ۱۳ درصد (تحت $PGA=0.35g$) بهبود یافته است.



۶- ارزیابی قاب ها در سطح عملکرد استفاده بی وقفه و

سطح خطر یک (السترو با $PGA=0.5g$)

قاب های مورد نظر تحت زلزله السترو با $PGA=0.5g$ نیز مورد ارزیابی قرار گرفته اند. در ادامه نتایج بدست آمده از این ارزیابی آورده شده است. مشاهده شد که مقدار DCR برای تلاش های کنترل شونده توسط تغییرمکان در سیستم $FBMRF$ نسبت به $BMRF$ حدود ۴۸ درصد بهبود یافته است. در قاب $BMRF$ ستون های کناری طبقه پنجم از سطح عملکرد استفاده بی وقفه خارج شده اند ولی سطح عملکرد ایمنی جانی را ارضا می کنند. بقیه تیرها و ستون ها نیز در همین سطح عملکرد هستند. ولی حدود ۵۰ درصد از اعضاها وارد محدوده غیر خطی شده اند.

در سیستم $BMRF$ معیار های پذیرش تلاش های کنترل شونده توسط نیرو بسختی ارضا می شوند. در حالی که معیارهای پذیرش برای تلاش های کنترل شونده توسط نیرو در سیستم $FBMRF$ با حاشیه ایمنی حدود ۷ درصد برقرار می باشد. با توجه به مقادیر حداکثر DCR در تلاش های کنترل شونده توسط نیرو و تغییرمکان، استفاده از میراگر توانسته است بطور متوسط حدود ۲۷ درصد مقدار ماکزیمم نسبت نیرو به ظرفیت (DCR) را کاهش دهد. درصد بهبود نسبت حداکثر تغییرمکان کلی بام به ارتفاع کل قاب، حدود ۲۱ درصد می باشد. در تکمیل تحقیق از رکورد زلزله های طیس و ناغان نیز استفاده شده است که برای آنها نتایجی مشابه با موارد ذکر شده در این مقاله بدست آمده است [11].

۷- نتیجه گیری

ارزیابی های انجام شده، نشان دهنده بهتر بودن عملکرد سازه ای قاب مجهز به میراگر اصطکاکی نسبت به قاب خمشی بادبندی شده تحت هر دو زلزله $0.35g$ و $0.5g$ بوده اند. به تبع این که این سیستم بیشتر انرژی ورودی را جذب و مستهلک می کند، مقدار نسبت نیرو به ظرفیت در عضوهای قاب مجهز به میراگر اصطکاکی نسبت به قاب خمشی بادبندی شده کاهش یافته است. این مقادیر کاهش تحت زلزله السترو با $PGA=0.35g$ بطور متوسط حدود ۲۳ درصد و همان زلزله با $PGA=0.5g$ حدود ۲۷ درصد بوده اند. با بکار گیری میراگر اصطکاکی می توان معیارهای پذیرش را برای سطوح عملکرد سازه ای بالاتر نسبت به سازه بدون میراگر ارضا کرد. در اینجا دیده شده که سیستم مجهز به میراگر، تحت زلزله با $PGA=0.35g$ حتی می تواند سطح عملکردی بالاتر از استفاده بی وقفه را ارضا کند.

علاوه بر این، میراگر اصطکاکی پال به علت سادگی در مکانیزم ساخت، عدم احتیاج به مصالح خاص و گران قیمت و قابلیت تولید و آزمایش این وسایل می تواند به عنوان یکی از بهترین روش های کنترل ارتعاشات لرزه ای به ویژه سازه های فولادی در ایران به شمار آید. لازم به ذکر است که نتایج بیان شده در این مقاله نیز بر اساس مطالعات انجام شده در این مطالعه می باشد و طبعاً برای نتیجه گیری های کلی تر مطالعات گسترده تری نیاز خواهد بود.



Force Procedure" , Earthquake Engineering and Structural Dynamics , Volume 29 , Number 11, pp. 989-1010.

[6] Pall, A.S. (1986)," Energy Dissipation Devices for Aseismic Design of Buildings" ,ATC-17, pp.241-250.

[7] Mualla, I. H., and Belev, B.(2002), "Performance of steel frames with a new friction damper device under earthquake excitation". Engrg. Structures, Elsevier Science, Vol. 24, pp. 365-371

[8] Lee, S.H., Park, J.H., Lee, S.K., Min, K.W.. (2008), Engineering Structures, Volume 30, Issue 4, Pages 930-940

[9] Aiken I.D. Kelly J. M. and pall A.S. (1988), " Seismic Response of Nine-Story Steel Frame with Friction Damped Cross-Bracing" ,Report No..UCB/EERC-88/17, Earthquake engineering research Center, University of California, Berkeley.

[10] RAM Perform-3D. (2003), User Guide Version 2.00 Addendum, Graham H. Powell

University of Tehran under the supervision of Zahrai, S.M., in Farsi.

[1] Friedriechs, B. (1997) , " Dampers Do the Job At Davis" ,http://www.vesolutions.net/article1.html.

[2] Filiatrault, A., and Cherry, S. (1987). "Performance evaluation of friction damped braced steel frames under simulated earthquake loads." Earthquake Spectra, Vol. 3(1, pp. 57-78. Feb.).

[3] Cherry, S., and Filiatrault, A. (1993). "Seismic response control of buildings using friction dampers.", Earthquake Spectra, Vol. 9 Number 3, pp. 447-466.

[4] Vulcano, A. (1995)," Design of Damped Steel Bracing System for Seismic Control of Framed Structures" , Proceeding of 10th European Conference on Earthquake Engineering , Duma(ed), Rotterdam , pp. 1567-1572.

[5] Fu, Y. and Cherry, S. (2000),"Design of friction Damped Structures Using Lateral

[11] Kheyrollahi, A. (2008), Using Pall Friction Dampers for a Five-Story Steel Building, M.Sc. thesis submitted to the

زیر نویس ها

۱- Friction Braced Moment Resisting Frame

۲- Braced Moment Resisting Frame

۳- Simple Slotted friction Joint