



اولین کنفرانس ملی سازه و فولاد
و
دومین کنفرانس کاربرد فولادهای پر استحکام در صنعت سازه



معرفی و کاربرد سیستم ابداعی جذب انرژی زلزله با استفاده از هیبرید اصطکاک- تسلیم فولاد

* سید بهرام بهشتی اول^۱؛ حمید رضا ماه بانویی^۲

چکیده:

کاربرد سیستم ترکیبی اصطکاک و هیستریزیس دارای مزیت امکان اتلاف انرژی توسط اصطکاک در زلزله های کوچک تا متوسط و جذب انرژی حاصل از تسلیم تحت زلزله های بزرگ است. مهمترین مزیت این سیستم آن است که با یک طراحی هدفمند، خرابی می تواند در حلقه متمرکز شود و لذا پس از یک زلزله بزرگ، حلقه تعویض گردد. در ضمن میتوان از کماتش بادبند فشاری که از نقاط ضعف سیستم بادبندی است ممانعت شود. از آنجا که مدل سازی سیستم نوین پیشنهادی در یک ساختمان چند طبقه دشوار می باشد لذا میتوان از سیستم معادل آن که شامل فنر و استهلاک ویسکوز است استفاده نمود.

کلمات کلیدی:

میراگر حلقوی، میراگر اصطکاک، هیبرید اصطکاک-تسلیم فلز، تحلیل دینامیکی غیر خطی، بار لغزش

*۱. عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی - beheshti@kntu.ac.ir

۲. دانش آموخته کارشناسی ارشد، زلزله، دانشگاه خواجه نصیر الدین طوسی - mahbanoui@yahoo.com

۱- مقدمه

به کارگیری میراگرهای اصطکاکی و حلقوی در مرکز قاب مهاربندی شده، به علت داشتن مکانیزمهای ساده و عدم نیاز به مصالح و تکنولوژی خاص، می تواند به عنوان یکی از روشهای مناسب و کارا جهت بهبود عملکرد لرزه ای سازه های موجود محسوب گردد. شایان توجه است که سیستم های بادبندی موجود پتانسیل کمی جهت جذب انرژی زلزله دارند و کاربرد این سیستم به همراه بادبند می تواند ضعف های موجود را مرتفع نماید

یکی از معروف ترین مکانیسمهای اتلاف انرژی داخلی یک سازه از طریق تسلیم مواد فلزی است. پژوهش های انجام یافته منجر به ارائه سیستمهای مختلفی شده است [۱].

از آنجا که اصطکاک قابلیت اتلاف انرژی زیادی دارد، تحقیقات زیادی برای کاهش پاسخ لرزه ایی سازه ها با استفاده از میراگر اصطکاکی انجام شده است که خلاصه ایی از این مطالعات به شرح ذیل است [۲].

پال و مارش^۱ یک میراگر اصطکاکی در محل تقاطع مهاربند های متقاطع برای جلوگیری از کمانش مهاربندها پیشنهاد دادند [۳].

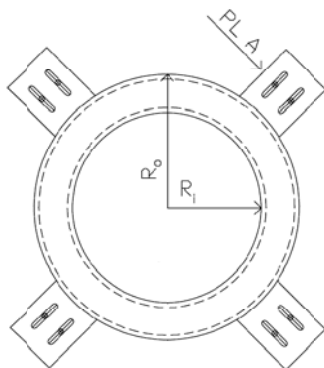
۲- ترکیب میراگرهای اصطکاکی و حلقوی پیشنهادی

میراگر حلقوی، یک حلقه با سطح مقطع قوطی شکل است که از ورقهای فولادی ساخته می شود [۴]

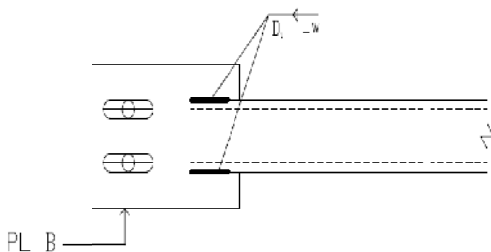
سیستم نوین پیشنهادی ترکیبی از میراگرهای حلقوی و اصطکاکی است. که ضعف عدم کارکرد سیستم تسلیم شونده را در زلزله های کوچک تا متوسط مرتفع می نماید. این سیستم شامل میراگر حلقوی در مرکز یک قاب ساده مهاربندی شده می باشد که توسط اتصال اصطکاکی به مهاربند متصل می گردد.

شکل (۱)، (۲) و (۳) به ترتیب سیستم هیبرید اصطکاک-

تسلیم فولاد، اتصال میراگر اصطکاکی به مهاربندها و مقطع عرضی میراگر اصطکاکی را نشان میدهند.



شکل (۱) نمای صفحه ای اتصال



شکل (۲) اتصال میراگر اصطکاکی به مهاربندها

¹ Pall and Marsh

به این که جهت امکان تسلیم حلقه، مقاومت تسلیم حلقه باید از بارلغزش کمتر باشد تا حلقه و سیستم اصطکاکی با هم در استهلاک انرژی زلزله سهیم باشند، بنابراین حداکثر مقدار بار وارده بر حلقه باید برابر بارلغزش (F_S) باشد، بنابراین لنگر ماکزیمم به صورت رابطه (۲) بیان میشود.

$$M_{\max} = F_S R / 2 \quad (2)$$

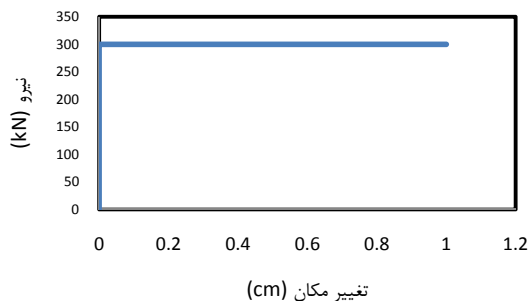
با توجه به محاسبه لنگر ماکزیمم و استفاده از رابطه تنش می‌توان اساس مقطع حلقه (S) را طبق رابطه (۳) محاسبه نمود و از آن ابعاد حلقه را بدست آورد.

$$S = M_{\max} / \sigma_y \quad (3)$$

با توجه به رابطه (۲) و (۳) می‌توان ابعاد حلقه را با آزمون و خطا محاسبه نمود.

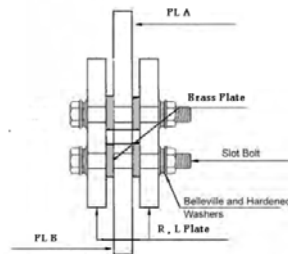
۳-۱- مدل سازی المان اصطکاکی به منظور محاسبه بار لغزش بهینه

در این قسمت برای اضافه نمودن میراگر اصطکاکی در اتصال حلقه به بادبندها از المان تماسی COMBIN-40 استفاده می‌شود نمودار نیرو-تغییر مکان اصطکاکی مورد نظر در شکل (۵) نشان داده می‌شود.



شکل (۵) نمودار نیرو-تغییر مکان اتصال اصطکاکی

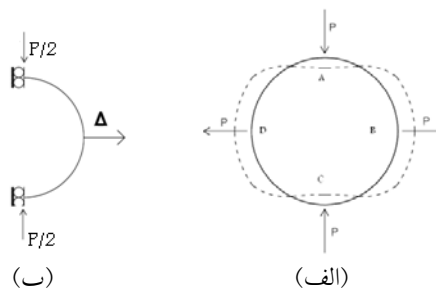
این المان ترکیب فنر-لغزنده و میراگر به صورت موازی است که همراه با درز به صورت سری جفت می‌شود. ترکیب المان در شکل (۶) نشان داده می‌شود. المان با دو گره تعریف می‌شود، دو ثابت فنر k_1 و k_2 ، ضریب میرایی C ، جرم M ، اندازه درز، و محدودیت بار لغزش



شکل (۳) مقطع عرضی میراگر اصطکاکی

۳- طرح هیبرید اصطکاکی-تسلیم فولاد

برای محاسبه سختی و مقاومت میراگر حلقوی می‌توان از تقارن همانطور که در شکل (۴) نشان داده شده، استفاده نمود.



شکل (۴) نیروهای وارد شده و شرایط تکیه گاهی میراگر با استفاده از تقارن

با دو بار استفاده از قضیه دوم کاستیگلیانو می‌توان سختی میراگر حلقوی را مطابق رابطه (۱) محاسبه نمود.

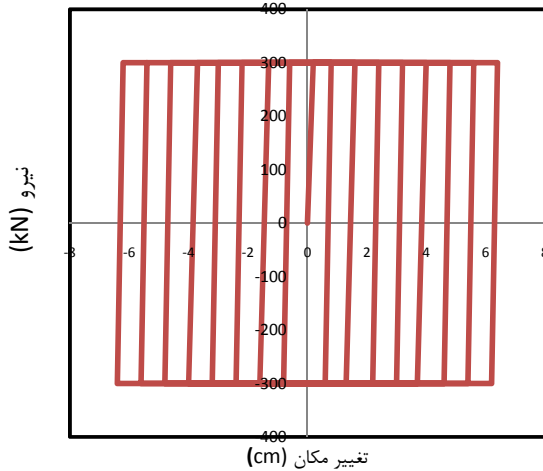
$$K_B^H = \frac{16 EI}{5\pi - 8 R^3} \quad (1)$$

به سبب ممانعت از کمانش موضعی و امکان جذب حداکثری انرژی توسط تسلیم فولاد مقاطع انتخابی باید مطابق مبحث دهم مقررات ملی ساختمان شرایط مقاطع فشرده را داشته باشد [۵].

همچنین با توجه به محاسبه لنگر ماکزیمم در حلقه با توجه

FSLIDE (Force) [۶]

میراگر اصطکاکی در سیستم مورد نظر دارد (شکل ۸).



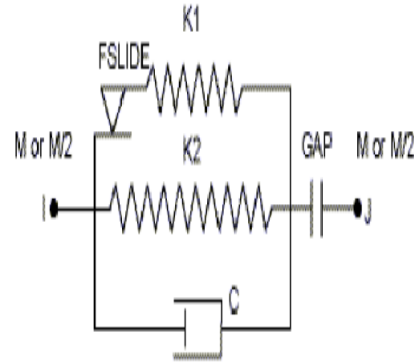
شکل (۸) نمودار نیرو-تغییر مکان بار گذاری چرخه ای

۳-۱-۱- انتخاب بار لغزش بهینه

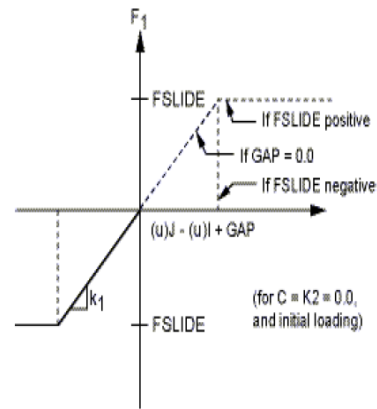
با انجام چند تحلیل دینامیکی غیر خطی سیستم قاب خمشی مهاربندی به همراه میراگر حلقوی و اصطکاکی^۱ که به اختصار MBCFD نامیده می شود با انتخاب مقادیر مختلف بار لغزش و مقایسه پاسخ تغییر مکان ها به طوری که بار لغزش از مقدار $300KN$ شروع و به مقدار $1000KN$ ختم شود، مقدار بار لغزش بهینه با آزمون و خطا محاسبه میشود. در اینجا این بار متناظر با کاهش حداکثر تغییر مکان بام انتخاب شده است که می تواند معیار مناسبی برای کاهش کنشهای داخلی قاب باشد. قبل از انجام تحلیل دینامیکی باید توجه کرد بار لغزش از مقاومت تسلیم حلقه کمتر نشود تا حلقه تسلیم شده و هردو سیستم اصطکاکی و حلقوی با هم کار کنند بنابراین در این مرحله کنترل میشود بار لغزش از مقاومت تسلیم حلقه بیشتر باشد.

با انتخاب $300KN$ برای بار لغزش ، و با توجه به بینهایت بودن سختی k_1 در میراگر اصطکاکی با تقریب، $K_2 = 0$ و $K_1 = 9 \times 10^8 \text{ kN/m}$ انتخاب می شوند .

در شکل (۷) رفتار پارامتری نشان داده شده است.



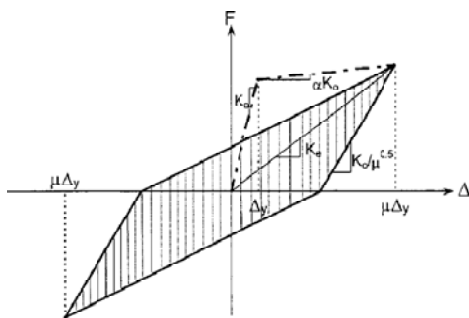
شکل (۶) مشخصات [۶]combin40



شکل (۷) رفتار [۶]combin40

برای آنکه از عملکرد المان اصطکاکی مورد نظر جهت استفاده در سیستم ترکیبی از میراگرهای اصطکاکی و حلقوی اطمینان حاصل شود، المان مذکور تحت بارگذاری جانبی چرخه ای قرار داده می شود که حلقه های پسماند بدست آمده نشان از انتخاب صحیح این المان به عنوان

¹ Moment braced frame with circular and friction damper



شکل (۹) سیکل های پسماند [۸]

کاربرد همزمان اصطکاک و تسلیم فلز در سیستم MBCFD نسبت به سیستم تنها، جذب انرژی توسط تسلیم فلز، امکان کاربرد آنرا در زلزله های ضعیف تا متوسط و عدم کماتش بادبند را تضمین می نماید.

این سیستم نه تنها برای طراحی ساختمانهای جدید مناسب می باشد بلکه به جهت تمرکز خرابی در حلقه و امکان تعویض آن پس از یک زلزله قوی برای بهسازی ساختمانهای موجود نیز مناسب می باشد [۷].

$$k_{eq} = k_0 \frac{(1+\alpha\mu-\alpha)}{\mu} \quad ۴$$

۴) مدل معادل برای سازه چند طبقه

از آنجا که مدل سازی سیستم نوین پیشنهادی در یک ساختمان چند طبقه دشوار می باشد لذا میتوان از سیستم معادل آن که شامل فنر و استهلاک ویسکوز است استفاده نمود.

$$\xi_{hyst} = \frac{1}{\pi} \left[1 - \frac{1}{\sqrt{\mu}} (1 + \alpha \mu - \alpha) \right] \quad ۵$$

۴-۱) محاسبه سختی و میرایی معادل جهت استفاده در

قاب چند درجه آزادی

برای محاسبه سختی و میرایی معادل در این روش همانطور که در شکل (۹) مشاهده می شود سختی و میرایی معادل به کمک روابط (۴) و (۵) محاسبه می شوند [۸].

۴-۲) مشخصات مدل های سازه ای مورد استفاده جهت

انجام تحلیل قاب چند درجه آزادی

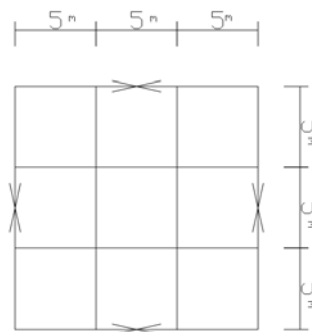
در این قسمت ۳ مدل سازه ای ۸،۴ و ۱۴ طبقه با ارتفاع 3.2m در هر طبقه، که به ترتیب نماینده سازه کوتاه، متوسط و بلند می باشند به منظور مقایسه نتایج سیستم قاب MBCFD با سیستم قاب خمشی به همراه فنر و میرایی معادل تحلیل و طراحی می شوند.

شکل (۱۰) پلان ساختمان را نشان می دهد. تمامی اتصالات تیر به ستون و اتصال پای ستون گیردار می باشند. جهت تعیین نیروی ناشی از زلزله از آیین نامه زلزله ایران استفاده می شود. نوع خاک محل تپ II بوده و مکان قرار گیری پروژه مسکونی تهران در پهنه خطر نسبی خیلی زیاد می باشد.

و بار زنده و مرده بام به ترتیب 150 kg/m^2 و

600 kg/m^2 انتخاب می شود [۹].

جدول (۲) مقادیر برش پایه در سازه های مختلف را نشان می دهد.



شکل (۱۰) پلان و محل قرارگیری مهاربندها در ساختمان

میزان بار زنده و مرده کف طبقات مطابق مبحث ۶ مقررات

ملی ساختمان به ترتیب 200 kg/m^2 و 550 kg/m^2

جدول (۲) مقادیر برش پایه

تعداد طبقات	ضریب زلزله	وزن کل ساختمان (ton)	نیروی برشی (ton)	f_i (ton)
4	0.124	768.5	95.29	0
8	0.114	1539.3	175.47	7
14	0.086	2695.4	231.8	14

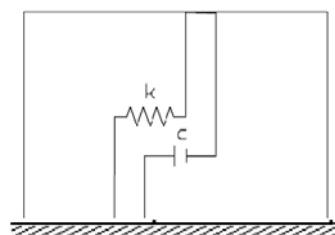
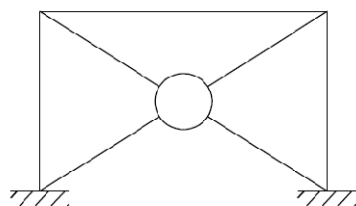
اعمال می شود و بارلغزش بهینه برای سازه کوتاه، متوسط و بلند ترتیب برابر 500 kN و 1200 kN و 1700 kN انتخاب می شوند.

سختی و میرایی مهاربند-میراگر حلقوی و اصطکاکی قاب MBCFD، با قرار دادن سختی و میرایی معادل در داخل قاب خمشی همانطور که در شکل (۱۱) نشان داده میشود نتایج تحلیل های دینامیکی قاب خمشی با سختی و میرایی معادل و قاب MBCFD با هم مقایسه می شوند.

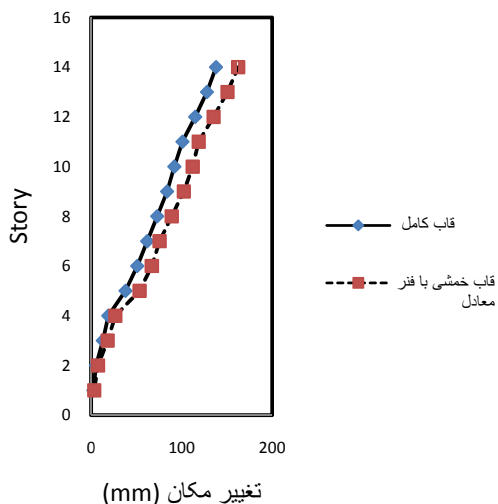
جهت طراحی از مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان استفاده شده [۵] و طراحی قابهای توسط نرم افزار SAP 2000 ver 11 انجام شده است.

پس از طراحی اعضای اصلی (تیر، ستون و بادبند) قاب های ۴، ۸ و ۱۴ طبقه با انتخاب نسبت $K_b/K_d = 2$ ابعاد میراگر حلقوی برای سازه کوتاه، متوسط و بلند محاسبه می شوند.

برای محاسبه بارلغزش بهینه رکورد زلزله السنتر و به سازه



شکل (۱۱) نحوه مدل سازی سختی و میرایی معادل در قاب MBCFD



شکل (۱۴) مقایسه پاسخ تغییر مکان قاب MBCFD و

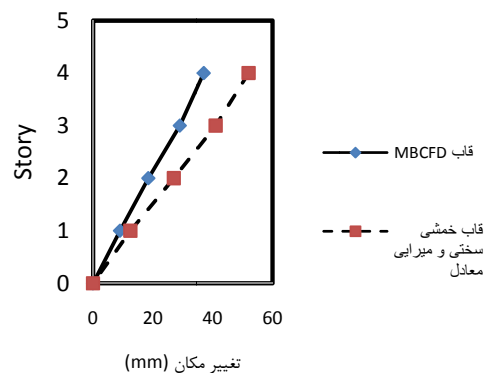
قاب خمشی با سختی و میرایی معادل در سازه بلند

همانطور که مشاهده می شود نتایج تحلیل تاریخچه زمانی قاب خمشی با سختی و میرایی معادل و قاب MBCFD به یکدیگر نزدیک می باشند و می توان جهت ساده سازی در مدل سازی از سیستم معادل استفاده نمود.

نتایج

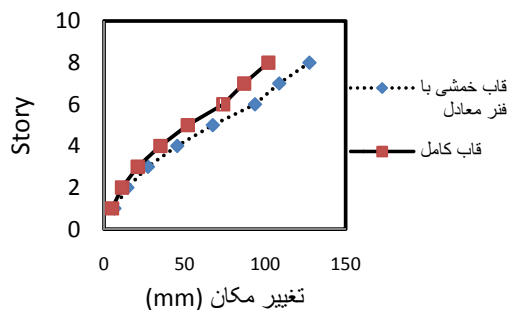
- ۱- شعاع میراگر حلقوی تاثیر بسیار بیشتری (با توان سوم) نسبت به مشخصات مقطع بر سختی حلقه دارد.
- ۲- ضعف بسیاری از ساختمانهای موجود بادبندی شده که بر اساس فرض تحمل کشش در اعضاء مهاربندی طراحی شده اند، می تواند با کاربرد این سیستم مرتفع شود.
- ۳- کاربرد همزمان اصطکاک و تسلیم فلز در سیستم MB CFD نسبت به سیستم تنها، جذب انرژی توسط تسلیم فلز، امکان کاربرد آنرا در زلزله های ضعیف تا متوسط و عدم کماتش بادبند را تضمین می نماید.

اشکال ۱۲، ۱۳ و ۱۴ به ترتیب مقایسه پاسخ تغییر مکان تحت اثر زلزله السترو سیستم قاب MBCFD و قاب خمشی با سختی و میرایی معادل در سازه کوتاه، متوسط و بلند را نشان می دهند.



شکل (۱۲) مقایسه پاسخ تغییر مکان قاب MBCFD و

قاب خمشی با سختی و میرایی معادل در سازه کوتاه



شکل (۱۳) مقایسه پاسخ تغییر مکان قاب MBCFD و

قاب خمشی با سختی و میرایی معادل در سازه متوسط

۴- این سیستم نه تنها برای طراحی ساختمانهای جدید مناسب می باشد بلکه به جهت تمرکز خرابی در حلقه و امکان تعویض آن پس از یک زلزله قوی برای بهسازی ساختمانهای موجود نیز مناسب می باشد.

۵- با محاسبه دقیق مقدار سختی و میرایی معادل مهاربند- میراگر حلقوی و اصطکاکی در سازه میتوان از سختی و میرایی معادل در سازه جهت سرعت بخشیدن به تحلیل ها استفاده نمود.

مراجع

- [1] Boardman PR, Wood BJ, Carr AJ. Union House-A cross braced structure with energy dissipaters. Bulletin of the new Zealand Nation Society for Earthquake Engineering 1983;16(2).
- [2] Sang-Hyun Lee, Ji-Hun park, Sung Lee , Kyung-Won Min .Allocation and slip load of friction dampers for a seismically excited building structure based on story shear force distribution. Engineering structures 30(2008) 930-940
- [3] Pall AS, Marsh C. Response of friction damped braced frames. Journal of Structural Engineering 1982; 108(9): 1313-23.
- [۴] مالک، شاهرخ؛ معرفی یک سیستم میراگر غیر فعال نوین و مقایسه آن با میراگر موسوم به TADAS. اولین همایش بین المللی مقاوم سازی لرزه ای.
- [۵] مقررات ملی ساختمان ، مبحث دهم : طرح و اجرای ساختمانهای فولادی ، ۱۳۸۷
- [6] Ansys Documentation
- [۷] ماه بانویی، حمید رضا ؛ جذب انرژی زلزله با استفاده از هیبرید اصطکاک-تسلیم فولاد در ساختمان های فولادی باد بندی شده، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی ، تهران ۱۳۸۹.
- [8] Sinan D. Akkar and Eduardo Miranda, "Statistical valuation of Approximate Methods for Estimating maximum Deformation Demands on Existing Structures," Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 131, No. 1, January 2005
- [۹] مقررات ملی ساختمان ، مبحث ششم : بارهای وارد بر ساختمان ، ۱۳۸۰