



طراحی و مدل سازی سیستم نوین جذب انرژی زلزله با استفاده از هیبرید اصطکاک-تسلیم فولاد در قابهای فولادی مهاربندی شده (۱)

سید بهرام بهشتی اول^۱، حمید رضا ماه بانویی^۲
(دریافت: ۸۹/۷/۷، پذیرش: ۸۹/۹/۲۲)

چکیده

در این مقاله ترکیب جدیدی از میراگرهای اصطکاک-تسلیم فولاد و روش طراحی آن در مرکز یک سیستم مهاربندی متقاطع برای استهلاک انرژی ورودی زلزله معرفی میشود. به علت داشتن مکانیزمهای ساده و عدم نیاز به مصالح و تکنولوژی خاص در مقایسه با دیگر سیستمهای استهلاک انرژی، سیستم پیشنهادی می تواند به عنوان یکی از روشهای مناسب و کارا برای بهبود عملکرد لرزه ای سازه های موجود محسوب گردد. مزیت تمرکز خرابی در حلقه، امکان کاربرد آن را در بهسازی ساختمانهای بادبندی لاغر موجود که بر اساس نیروهای کششی طراحی شده اند، ممکن می سازد. امکان تعویض ساده و سریع آن پس از تحمل خرابی در یک زلزله بزرگ از دیگر مزایای این سیستم می باشد.

کلمات کلیدی

میراگر حلقوی، میراگر اصطکاک، تحلیل دینامیکی غیر خطی

Design & Modeling of a Novel Energy Dissipated Device Using Hybrid Friction-Yielding Damper in the Steel Braced Frames

S. B. Beheshti-Aval, H.R. Mahbanoui.

ABSTRACT

In this paper, the hybrid friction-yielding damper in the center of X-braced steel frame for dissipating seismic energy and its design methodology are introduced. Due to their relative simplicity and easy application with no need for any special material or technology, this high performance system have gained more attention compared to other means of energy dissipation devices. The advantage of failure localization at circular damper cause this system can be used for rehabilitation of existing building whose slender braces designed based on tension forces only. Possibility of Prompt installation of new ones after strong earthquake is another advantage of this simple system.

Key words

Circular Damper, Friction Damper, Nonlinear Dynamic Analysis

۱. استاد یار دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی، beheshti@kntu.ac.ir

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



وقوع زلزله اقدام به جذب و اتلاف انرژی می‌کنند. این جذب انرژی با استفاده از روشهای مختلفی نظیر میرایی ویسکوز ناشی از لزجت سیال، جاری شدن یک فلز نرم، اصطکاک دو فلز روی هم و... صورت می‌گیرد. استفاده از سیستمهایی که به المانهای جذب انرژی مجهز هستند؛ کارایی بسیار مناسب و مؤثری در کنترل پاسخ لرزه‌ای سازه‌های قابی نشان می‌دهند.

یکی از معروف ترین مکانیسمهای اتلاف انرژی داخلی یک سازه از طریق تسلیم مواد فلزی است. پژوهش‌های انجام یافته منجر به ارائه سیستمهای مختلفی شده است [۱-۳]. دستگاههای معروف در این مجموعه شامل دستگاه ADAS به شکل ساعت شنی [۴] و نوع دیگر آن TADAS به شکل مثلث [۵]، و مهاربند مقاوم در برابر کماتش می باشد [۶]. این وسایل به طور عمده برای به هم پیوستگی و یکپارچگی سیستم مهاربندی قابهای سازه‌ای طراحی می شوند. سیستمهای دیگری برای اتصال بین تیرها و ستونها در سازه ابداع گردیدند [۷].

از جمله سیستم های نوین کنترل غیر فعال، ترکیب دستگاه کنترل غیر فعال (HPCD) می‌باشد که شامل میراگر لاستیکی بوده که به صورت سری با مهاربند مقاوم در برابر کماتش نصب می شود [۸]. همچنین نتایج آزمایشگاهی سیستم HPCD بیانگر قابلیت بالای اتلاف انرژی سیستم مورد نظر می باشد [۹].

۲- میراگرهای تسلیمی مرکزی با اتصال صلب به مهاربند (YDBF)

یکی از روشهای مناسب و مؤثر به منظور کاهش خسارات ناشی از زلزله، استفاده از میراگرهای جاری شونده میانی در اعضای مهاربندی است. در هنگام وقوع زلزله، این میراگرها به صورت «فیوز» عمل نموده و از خسارت به المانهای اصلی سازه نظیر ستونها جلوگیری می کنند. از آنجا که رفتار غیرخطی YDBF بر پایه فولاد شکل پذیر است؛ میراگر تسلیمی میانی منحنی‌های هیستریزس را بهبود می بخشد و حلقه هیستریزس آنها نسبتاً پهن و پایدار است. شکل (۱-الف) به صورت شماتیک، یک قاب یک طبقه را نشان می‌دهد که در تقاطع بادبندها، یک قاب داخلی

پژوهش و گسترش کنترل غیر فعال سازه در برابر تحریکات زلزله در سه دهه گذشته پیشرفت قابل توجهی داشته است. سیستم‌های کنترل غیر فعال همیشه به عنوان سیستم‌های اتلاف انرژی شناخته شده، روشی ارزان و مؤثر برای کاهش خطر زلزله به سازه در نظر گرفته شده اند. با تخصیص دستگاه های اتلاف انرژی در سازه قسمت زیادی از انرژی داخلی ناشی از باد و یا زلزله اتلاف میشود. بدین سان خرابی سازه حداقل می‌گردد.

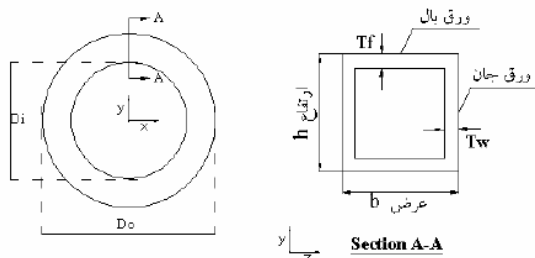
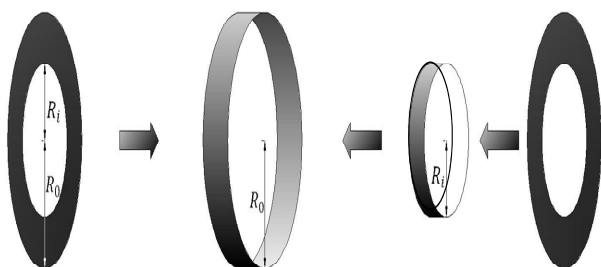
در روشهای مرسوم، ساختمان با استفاده از ترکیبی از سختی و قابلیت شکل پذیری در برابر زلزله از خود مقاومت نشان می‌دهد. مقدار میرایی در این قبیل ساختمانها بسیار کم است؛ از این رو انرژی تلف شده در محدوده رفتار الاستیک سازه بسیار ناچیز است. در هنگام زلزله های قوی، این ساختمانها بعد از محدوده رفتار الاستیک، تغییر مکانهای زیادی متحمل می‌شوند و فقط بواسطه چگونگی قابلیت تغییر مکان غیرالاستیک خود پایدار باقی می‌مانند. این تغییر مکانهای شدید موجب بوجود آمدن مفاصل پلاستیک به صورت موضعی در نقاطی از سازه می‌گردند؛ که خود موجب افزایش شکل پذیری و همچنین افزایش جذب انرژی می‌گردد. از آنجایی که بسیاری از این تخریبهها، در اعضای اصلی سازه، مانند ستونها و تیرها رخ می‌دهد؛ لذا هزینه تعمیر بالایی به سازه تحمیل می‌گردد.

در دو دهه اخیر، به منظور رفع مشکلات روشهای رایج، مطالعات وسیعی در زمینه سیستمهای کنترل غیرفعال سازه ها انجام شده و طرحهای متنوعی نیز ارائه شده است. یکی از روشهایی که با اقبال خوبی مواجه شده است، استفاده از اعضای ویژه با قابلیت جذب انرژی بالا در سیستمهای مهاربندی می باشد تا با روشی مؤثر، انرژی ورودی به سازه را کنترل نماید. عملکرد این سیستمها به گونه‌ای است که با انجام تغییرشکل‌های ویژه و اعمال مکانیکی خاص، موجب اتلاف انرژی زیادی شده و در نتیجه به اعضای اصلی سازه نیروی زیادی وارد نمی‌شود. در این روش سیستمهای مکانیکی خاصی در سازه جاسازی می‌گردد که در هنگام

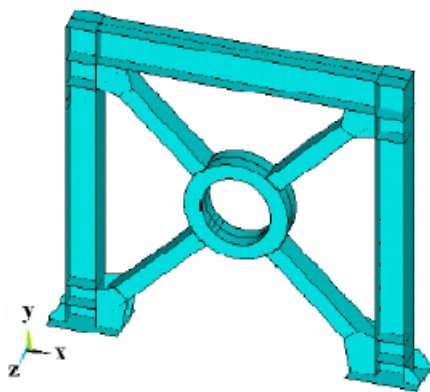


فراهم می‌آورد. گو اینکه با کنترل سطح مقطع و قطر حلقه می‌توان مقاومت خمشی آنرا نسبت به نیاز تغییر داد.

نحوه ساخت حلقه و شکل هندسی میراگر و پارامترهای معرف مشخصات آن در شکل (۳) نشان داده شده است. بطوریکه مشاهده می‌شود، این میراگر از دو لوله تو در تو تشکیل یافته که توسط دو ورق حلقه ای سوراخدار به یکدیگر جوش شده‌اند. در اصطلاح دو ورق لوله‌ای شکل را ورق های بال، و ورقهای حلقه‌ای سوراخدار را جان میراگر می‌نامیم. نحوه قرارگیری میراگر در داخل قاب در شکل (۴) نشان داده شده است [۱۱].



شکل (۳): میراگر حلقوی [۱۱]



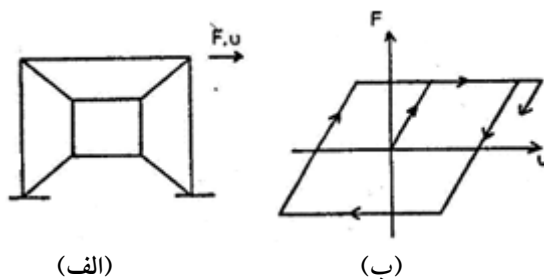
شکل (۴): نحوه قرارگیری میراگر در داخل قاب [۱۱]

۴- ترکیب میراگرهای اصطکاکی و حلقوی پیشنهادی

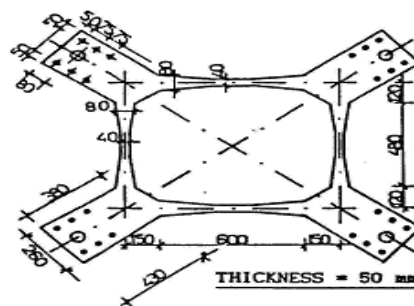
سیستم نوین پیشنهادی ترکیبی از میراگرهای حلقوی و اصطکاکی است. که ضعف عدم کارکرد سیستم تسلیم

مستطیلی قرار گرفته است. در حقیقت این قاب داخلی، یک اتلافگر انرژی است که برای تسلیم در برابر زلزله‌های متوسط و بالا طراحی می‌گردد [۱۰].

وقتی که تغییر شکل در چهار اتصال قاب مرکزی متمرکز می‌گردد؛ در سیکل بعد بارگذاری یک فرآیند جلوگیری کننده (نیروی کششی) روی مهاربند فشاری عمل می‌کند و باعث می‌شود این بادبند را که احتمالاً کمانش یافته، راست نموده و آماده تحمل کشش در سیکلهای بعدی نماید و در نتیجه تغییر چندانی در شکل کلی پاسخ هیستریزس سازه ایجاد نشود. پاسخ هیستریزس ایده‌آل شده این سیستم در شکل (۱-ب) نشان داده شده است. چگونگی قابلیت این سیستم با مدل‌های آزمایشگاهی و عددی تأیید گردیده است. نمونه‌هایی از این نوع میراگر (تسلیمی مرکزی) در شکل (۲) آورده شده است [۱۰].



شکل (۱): میراگر تسلیمی مرکزی با اتصال صلب به مهاربند [۱۰]

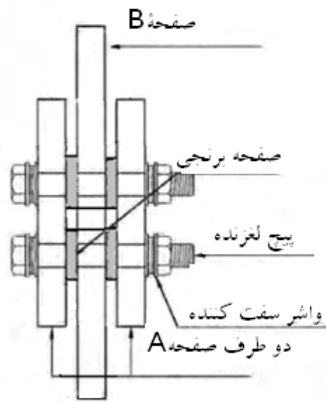


شکل (۲): نمونه‌هایی از سیستم YDBF [۱۰]

۳- سیستم میراگر حلقوی

میراگر حلقوی برای افزایش مقاومت کمانشی از یک حلقه با سطح مقطع قوطی و از ورقهای فولادی ساخته می‌شود. شکل دایره‌ای این میراگر امکان تسلیم یکنواخت و امکان بهره‌گیری از قابلیت تسلیم کل مقطع را به سبب آنکه تنشهای حاصل از نیروهای محوری قالب می‌گردند را



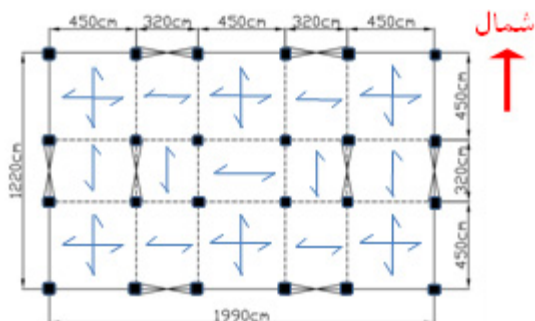


ج) مقطع عرضی میراگر اصطکاکی

شکل (۵): میراگر اصطکاکی و حلقوی (سیستم هیبرید اصطکاکی-تسلیم فلز)

۵- طراحی سیستم قاب ساده مهاربندی به همراه میراگر حلقوی و اصطکاکی

در اینجا فرآیند طراحی سیستم ترکیبی فوق در قالب طراحی یک ساختمان پنج طبقه فولادی با پلان نشان داده شده در شکل (۶) که ابعاد آن $19.90m \times 12.20m$ بوده و ارتفاع طبقات $3.2m$ است، توضیح داده می‌شود. سیستم باربر جانبی، سیستم ترکیبی مهاربند-میراگر حلقوی و اصطکاکی است که به اختصار FYDBF نامیده می‌شود و محل قرارگیری آن در شکل (۶) نشان داده شده است. بطوریکه مشاهده می‌شود، در هر راستا چهار عدد از سیستم مذکور قرار گرفته است که در اینجا به عنوان نمونه، سیستم واقع در طبقه همکف را طرح می‌نماییم.

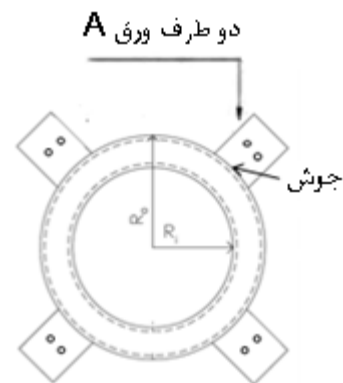


شکل (۶): پلان سازه

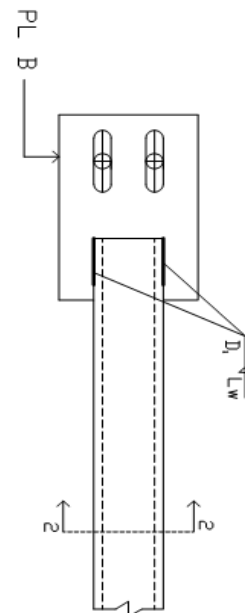
قاب ساده مهاربندی برای بارثقلی و ۲۵ درصد بار زلزله

شونده را در زلزله های کوچک تا متوسط مرتفع می‌نماید. این سیستم شامل میراگر حلقوی بخش (۳)، در مرکز یک قاب ساده مهاربندی شده قرار گرفته و توسط اتصال اصطکاکی به مهاربند متصل می‌گردد. به عبارت دیگر سیستم ترکیبی میراگرهای اصطکاکی و حلقوی همان سیستم شکل (۳) بوده که بجای حلقه مربعی، حلقه با مشخصات بخش (۳) و بجای اتصال مفصلی حلقه مربعی به بادبند، از اتصال اصطکاکی استفاده می‌شود.

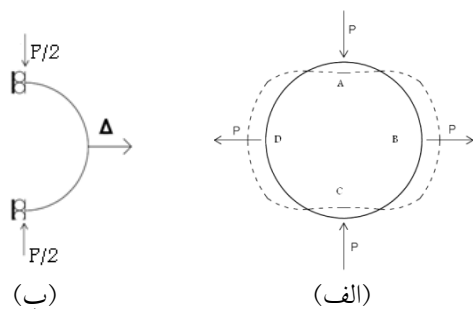
شکل (۵) اجزاء سیستم میراگر حلقوی و اصطکاکی را نشان می‌دهد.



الف) نمای صفحه‌ای اتصال



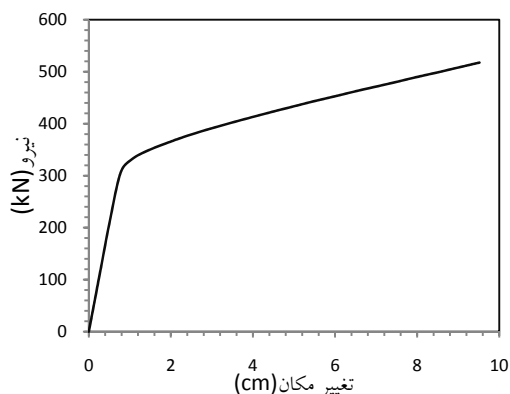
ب) اتصال میراگر اصطکاکی به مهاربندها



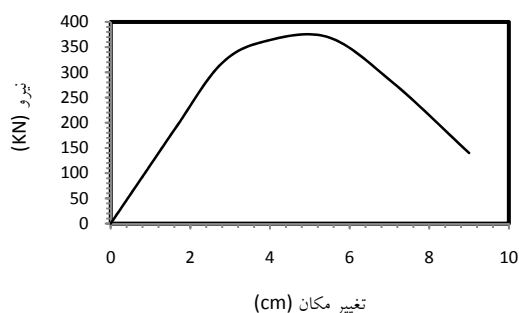
شکل (۷): نیروهای وارد شده و شرایط تکیه گاهی میراگر با استفاده از تقارن

جدول (۱): ابعاد میراگر حلقوی

قطر میراگر (cm)			سطح مقطع (cm ²)	ممان اینرسی (cm ⁴)
داخلی	متوسط	خارجی		
۷۰	۸۰	۹۰	۴۸۸	۸۰۰.۲۷



شکل (۸): منحنی نیرو- تغییر مکان حلقه در جهت تغییر مکان کششی



شکل (۹): منحنی نیرو- تغییر مکان حلقه در جهت تغییر مکان فشاری

طرح می‌نماییم. تحلیل و طراحی اولیه توسط نرم افزار SAP 2000 ver 11 انجام گرفته است. بر اساس نتایج حاصل از تحلیل مدل، ستونها از پروفیل IPB240، تیر از پروفیل IPB180 و برای بادبند ها از پروفیل BOX180×100×5.6 با سطح مقطع $A = 30\text{cm}^2$ استفاده می شود. در ضمن تحلیل دینامیکی و استاتیکی غیر خطی توسط نرم افزار ANSYS(ver.12) انجام می‌شود. در یک طراحی ارتجاعی اولیه انتخاب سختی حلقه بر اساس انتخاب نسبت سختی آن به بادبند می‌تواند باعث تسریع در انتخاب مشخصات حلقه گردد. در اعضاء فلزی سختی و مقاومت در یک راستا می‌باشند. سختی میراگر حلقوی باید به نحوی تعیین شود تا میراگر قبل از سایر اعضاء اصلی وارد ناحیه غیر خطی شود در بسیاری از مراجع نسبت سختی مهاربند به میراگر برابر ۲ پیشنهاد می‌شود [۱۱]. با توجه به سختی مهاربند ها ($K_b = 139073\text{ kN/m}$) و با در نظر گرفتن مقدار $K_b/K_d = 2$ ، مقدار K_d (سختی میراگر حلقوی) $K_d = 69537\text{ kN/m}$ انتخاب می‌شود.

۵-۱- طرح میراگر حلقوی

برای محاسبه سختی و مقاومت میراگر حلقوی می‌توان از تقارن همانطور که در شکل (۷) نشان داده شده، استفاده نمود همچنین با اعمال تغییر مکان واداشته فشاری مقاومت کمانش حلقه محاسبه می‌شود. اشکال (۸) و (۹) به ترتیب منحنی نیرو- تغییر مکان حلقه با اعمال تغییر مکان واداشته کششی و فشاری را نشان می‌دهند. و جدول (۱) ابعاد انتخابی متناظر با سختی میراگر حلقوی را معرفی میکند. 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 [۱۲]. با توجه به شکل (۸) و (۹) مقاومت تسلیم و مقاومت کمانشی حلقه به ترتیب 320kN و 370kN انتخاب می‌شوند.



شعاع حلقه نسبت عکس دارد. همچنین با توجه به محاسبه لنگر ماکزیمم در حلقه طبق رابطه (۲) با توجه 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 (P) باید برابر بارلغزش (F_S) باشد، بنابراین لنگر ماکزیمم در رابطه (۲) به صورت رابطه (۴) بیان میشود.

$$M_{max} = f_s R / 2 \quad (4)$$

با توجه به محاسبه لنگر ماکزیمم و استفاده از رابطه تنش می توان اساس مشخصه مقطع حلقه (S) را طبق رابطه (۵) محاسبه نمود و از آن ابعاد حلقه را بدست آورد.

$$S = M_{max} / \sigma_y \quad (5)$$

با توجه به رابطه (۴) و (۵) می توان ابعاد حلقه را با آزمون و خطا محاسبه نمود.

۵-۲- محاسبه بار لغزش بهینه :

۵-۲-۱- مدل سازی المان اصطکاکی :

در این قسمت برای اضافه نمودن میراگر اصطکاکی در اتصال حلقه به بادبند ها از المان تماسی COMBIN-40 استفاده می شود نمودار نیرو-تغییر مکان المان اصطکاکی مورد نظر در شکل (۱۱) نشان داده می شود .

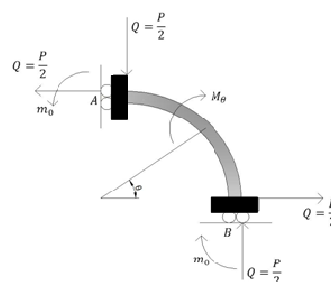
است که همراه با درز به صورت سری جفت می شود.

ترکیب المان در شکل (۱۲) نشان داده می شود. المان با دو گره تعریف می شود، دو ثابت فنر K_1 و K_2 ، ضریب میرایی C، جرم M، اندازه درز، و محدودیت بار لغزش FSLIDE (Force) [۱۳].

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

در شکل (۱۳) رفتار پارامتری نشان داده شده است.

لازم به ذکر است برای محاسبه سختی حلقه دایروی به شعاع R کافی است با توجه به تعریف سختی که عبارت است از نیروی لازم در یک نقطه از سازه برای ایجاد تغییر مکان واحد متناظر با نیرو در آن نقطه از سازه استفاده نمود. با توجه به تغییر شکل حلقه همانطور که در شکل (۷) نشان داده می شود چرخش نقاط C, B, A و D صفر می- باشد. با استفاده از تقارن سازه و بارگذاری می توان لنگر در این نقاط را همانطور که در شکل (۱۰) نشان داده می شود مطابق رابطه (۱) محاسبه نمود. با صرف نظر از تغییر شکل محوری سختی حلقه در نقطه B در راستای افق به کمک قضیه دوم کاستیگلیانو به شکل رابطه (۳) برآورد می گردد.



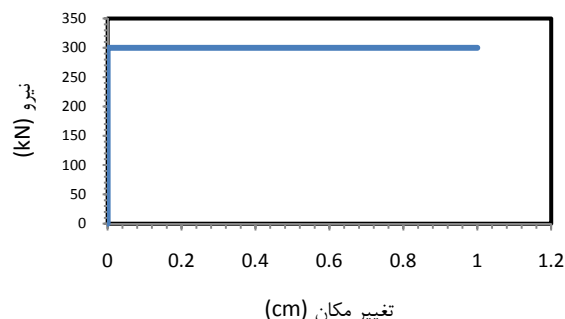
شکل (۱۰): عکس العمل های تکیه گاهی

$$M_\theta = \frac{P}{2} \times R \sin \theta + \frac{P}{2} \times R (1 - \cos \theta) - m_0 \quad (1)$$

$$m_0 = PR/2 \quad (2)$$

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

همانطور که از رابطه (۳) مشاهده می شود سختی حلقه با مدول الاستیسیته و ممان اینرسی نسبت مستقیم و با مکعب



شکل (۱۱): نمودار نیرو-تغییر مکان اتصال اصطکاکی

این المان ترکیب فنر-لغزنده و میراگر به صورت موازی

ایی

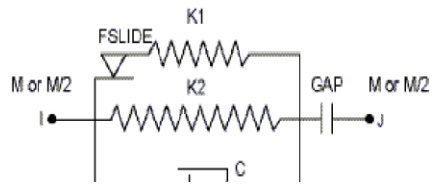
۵-۲-۲- انتخاب بار لغزش بهینه

با انجام چند تحلیل دینامیکی غیر خطی سیستم قاب FYDBF و 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.

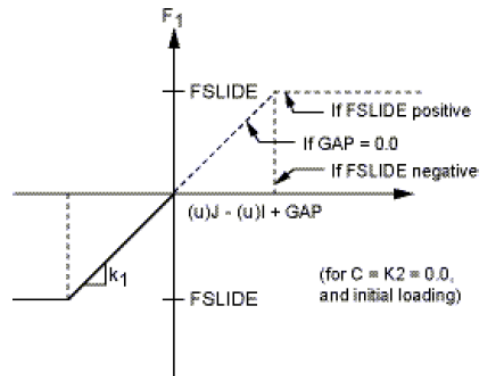
قبل از انجام تحلیل دینامیکی باید توجه کرد بار لغزش از مقاومت تسلیم حلقه کمتر نشود تا حلقه تسلیم شده و هردو سیستم اصطکاکی و حلقوی با هم کار کنند بنابراین در این مرحله کنترل میشود بار لغزش از مقاومت تسلیم حلقه بیشتر باشد. همانطور که در جدول (۳) مشاهده میشود مقدار بار لغزش بهینه 600KN بوده که از مقاومت تسلیم حلقه که با توجه به شکل (۱۲) 320KN می باشد بزرگ تر است.

در این تحقیق از آنجا که هدف توضیح فرآیند طراحی می- باشد فقط از رکوردهای ۳ زلزله مختلف جهت انجام تحلیل تاریخیچه زمانی غیر خطی مطابق جدول (۲) مورد استفاده قرار گرفته اند.

کلیه شتاب نگاشت ها در ایستگاه های با خاک سخت از نوع B با بزرگا و فاصله تا ایستگاه مشابه با توجه به دسته بندی آیین نامه NEHRP انتخاب شده اند

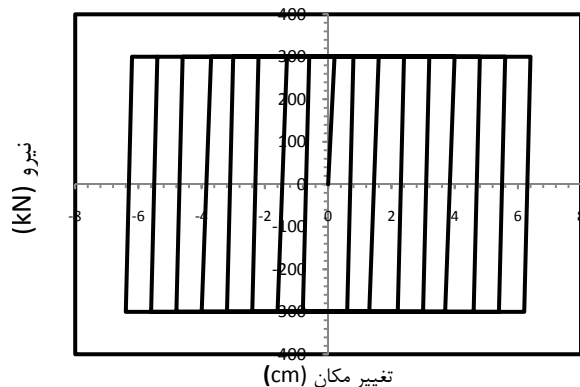


شکل (۱۲): مشخصات combin40 [۱۳]



شکل (۱۳): رفتار combin40 [۱۳]

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 میراگر اصطکاکی در سیستم مورد نظر دارد (شکل ۱۴).



شکل (۱۴): نمودار نیرو-تغییر مکان بار گذاری چرخه

جدول (۲): مشخصات رکوردهای مورد استفاده

NO	Earthquake	Year	Magnitude	Duration(s)	PGA(g)	Station	Scale
1	El Centro	1940	6.95	40	0.313	El Centro Array#9	1.118
2	Tabas	1978	7.4	32	0.688	Tabas	0.51
3	Gazli,USSR	1976	6.8	16.3	0.608	Karakyr	0.576

جدول (۳): محاسبه بار لغزش بهینه (تغییر مکان (cm) و بار لغزش (kN))

زلزله السسترو		زلزله Gazli		زلزله طبس	
بار لغزش	تغییر مکان	تغییر مکان	تغییر مکان	تغییر مکان	تغییر مکان
300	5.3	5.03	5.2	5.2	5.2
350	4.8	4.9	4.8	4.8	4.8
400	4	4.1	4.3	4.3	4.3
450	3.5	3.42	3.6	3.6	3.6
500	2.86	2.1	2	2	2
550	1.98	1.2	1	1	1
600	1.5	0.9	1.24	1.24	1.24
650	1.2	1.3	1.4	1.4	1.4
700	1.8	1.6	1.81	1.81	1.81
750	3.6	3.4	3.7	3.7	3.7
800	4.1	4.5	4.3	4.3	4.3
850	4.76	5	4.9	4.9	4.9
900	4.91	5.01	5.2	5.2	5.2
950	5.7	5.43	5.6	5.6	5.6
1000	5.9	5.5	5.8	5.8	5.8

قاب (A) نامگذاری می شود و قاب دوم با دهانه ۴.۵ متر و ارتفاع ۳ متر به عنوان قابی با نسبت ارتفاع به دهانه $(H/L < 1)$ که در شکل (۱۵-ب) نشان داده می شود و قاب (B) نامیده می شود، انتخاب می شوند.

۶- طراحی اولیه مدل های سازه ای جهت مطالعه پارامتریک دو نوع قاب، قاب اول با دهانه ۴ متر و ارتفاع ۴.۵ متر به عنوان نماینده گروه قاب ها با نسبت ارتفاع به دهانه $(H/L > 1)$ که در شکل (۱۵-الف) نشان داده می شود و



برابر IPB200، IPB180 و برای مهاربندها از $40 \times 40 \times 4$ BOX استفاده می شود.

طراحی قاب ها به گونه ای انجام شده که المان تسلیم شونده (میراگر حلقوی) با بروز زلزله های متوسط و شدید قابلیت ورود به ناحیه غیر ارتجاعی را داشته باشند.

گام ۲- محاسبه (K_b) :

سطح مقطع مهاربند ها برای هر دو قاب (A) و (B) برابر $A = 60 \text{ cm}^2$ می باشد. رابطه (۷) سختی مهاربند را بیان میکند.

$$K_b = \frac{2EA}{L} \cos^2 \alpha \quad (۷)$$

K_b توسط رابطه (۷) برای قاب (A) و (B) به ترتیب برابر 94853 KN/m و 60465 KN/m محاسبه میشود.

گام ۳- محاسبه (K_d) :

با در نظر گرفتن مقدار $B/D = 2$ ، مقدار K_d برای قاب (A) و (B) به ترتیب برابر 47426 KN/m و 30232 KN/m محاسبه میشوند.

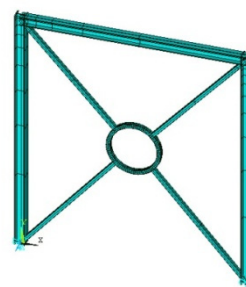
با روش سعی و خطا ابعاد میراگر حلقوی قاب (A) و (B) به ترتیب در جدول (۴) و (۵) که برابر سختی 49276 KN/m و 39160 KN/m می باشد، نشان داده می شود.

جدول (۴): ابعاد میراگر حلقوی قاب (A)

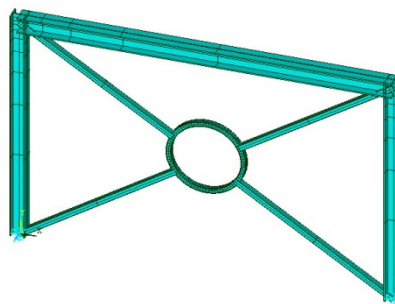
ضخامت (cm)			بعدمقطع (cm)		قطر میراگر (cm)	
بال	جان	عرض	ارتفاع	خارجی	متوسط	داخلی
۰.۵	۰.۶	۷	۷	۹۷	۹۰	۸۳

جدول (۵): ابعاد میراگر حلقوی قاب (B)

ضخامت (cm)			بعد قطع (cm)		قطر میراگر (cm)	
بال	جان	عرض	ارتفاع	خارجی	متوسط	داخلی
۰.۶	۰.۸	۶	۶	۹۶	۹۰	۸۴



الف) نوع (A)



ب) نوع (B)

شکل (۱۵) شمای قاب های مورد مطالعه

گام اول- بارگذاری و طراحی اولیه

طول بارگیر هرکدام از قابها ۵ متر و میزان بار زنده و مرده کف طبقات مطابق مبحث ۶ مقررات ملی ساختمان به ترتیب 200 kg/m^2 و 550 kg/m^2 انتخاب می شود [۱۴]. سیستم سازه ای انتخاب شده از نوع قاب خمشی مهاربندی شده می باشد. بار گذاری لرزه ای قابها مطابق ویرایش سوم آیین نامه ۲۸۰۰ ایران با پارامترهای $I=1, A = 0.35, R = 7, B=2.5$ انجام شده است.

ضریب زلزله توسط رابطه (۶) محاسبه می شود :

$$C = \frac{ABI}{R} = \frac{0.35 \times 2.5 \times 1}{7} = 0.125 \quad (۶)$$

طراحی قابها AISC-ASD89 توسط نرم افزار SAP 2000 ver 11 انجام می شود

با توجه به طراحی انجام شده مقاطع تیر و ستونها و بادبند ها برای قاب (A) به ترتیب برابر IPB160، IPB180 و برای مهاربندها از $40 \times 40 \times 4$ BOX و برای قاب (B)



گام ۴- محاسبه بار لغزش بهینه :

قاب (A) و (B) که با توجه به اشکال (۱۶) و (۱۷) به ترتیب 380KN و 330KN محاسبه می‌شوند بیشتر و از مقاومت تسلیم و کمانشی بادبندها کمتر می‌باشند [۱۶].

برای محاسبه بار لغزش بهینه رکورد زلزله السنترو به سازه اعمال میشود و بار لغزش بهینه مطابق جدول (۶) برای قاب (A) و (B) به ترتیب برابر 400KN و 350KN انتخاب می‌شوند. که این مقدار از مقاومت تسلیم حلقه

جدول (۶): محاسبه بار لغزش بهینه (تغییر مکان (cm) و بار لغزش (kN))

زلزله السنترو		
قاب (A)		قاب (B)
بار لغزش	تغییر مکان	تغییر مکان
50	4.51	4.1
100	4.33	3.76
150	3.54	3.21
200	2.75	2.67
250	1.95	1.98
300	1.54	1.34
350	1.21	1.12
400	0.942	1.56
450	1.34	1.89
500	1.47	2.12
550	2.43	2.56
600	2.76	2.96
650	3.65	3.67
700	4.23	3.85
750	4.9	4.6
800	5.01	4.93
850	5.2	5.27
900	5.32	5.34
950	5.35	5.48
1000	5.43	5.51

نسبت به مشخصات مقطع بر سختی حلقه دارد.

۲- کاربرد همزمان اصطکاک و تسلیم فلز در سیستم FYDBF نسبت به سیستم تنها جذب انرژی توسط تسلیم فلز (YDBF)، امکان کاربرد آنرا در زلزله های ضعیف تا متوسط و عدم کمانش بادبند را تضمین می نماید.

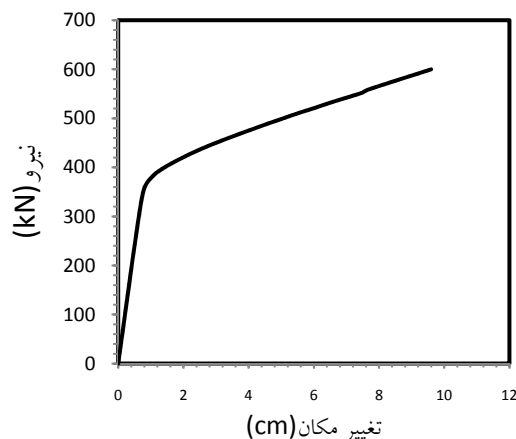
۳- این سیستم نه تنها برای طراحی ساختمانهای جدید مناسب می - باشد بلکه به جهت تمرکز خرابی در حلقه و امکان تعویض آن پس از یک زلزله قوی برای بهسازی ساختمانهای موجود نیز مناسب می باشد.

۴- ضعف بسیاری از ساختمانهای موجود بادبندی شده که بر اساس فرض تحمل کشش در اعضا مهاربندی طراحی شده اند، می تواند با کاربرد این سیستم مرتفع شود.

۵- سهولت اجرا و هزینه پایین سیستم پیشنهادی، امکان کاربرد وسیع آن را در کشور فراهم می آورد.

۹-مراجع

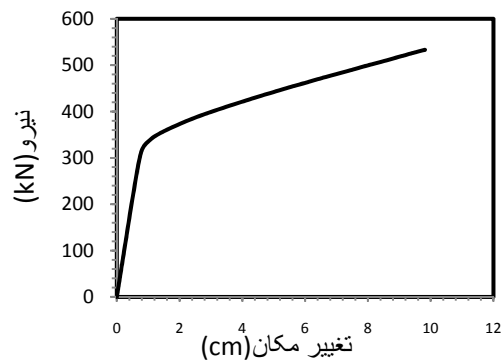
1. Boardman PR, Wood BJ, Carr AJ. Union House-A cross braced structure with energy dissipaters. Bulletin of the new Zealand Nation Society for Earthquake Engineering 1983;16(2).
2. Martines-Romero E. Experience on the use of supplemental energy dissipaters on building structures. Earthquake spectra 1993;9(3):581-625.
3. perry CL, Fierro EA, Sedarat H, Scholl RE. Seismic upgrade in San Francisco using energy dissipation devices. Earthquake spectra 1993;9(3):559-79.
4. Bergman DM, Goel SC. Evaluation of cyclic testing of steel plate devices for added damping and stiffness. Report no. UMCE87-10. Ann Arbor (MI,USA): The University of Michigan; 1987.
5. Tsai K, Chen H, Hong C, Su Y. Design of steel triangular plate energy absorbers for seismic-resistant construction. Earthquake Spectra 1993;9(3)505-28.
6. Clark PW, Aieken ID, Tajirian F, Kasai K, Ko E, Kimura I. Design procedures for building incorporating hysteretic damping devices. In: Proc. Int. post-Smi RT conf. seminar on seismic isolation. Passive energy dissipation and active control of structures, 1999.
7. Koetaka Y, Chuship P, Zhang Z, Ando M, Suita K, Inoue K, et al. Mechanical property of beam-to-column moment connection with hysteretic dampers for column weak axis. Engineering Structures 2005; 27:109-17.
8. Justin D. Marshall , Finley A. Charney , “ A



شکل (۱۶) منحنی نیرو-تغییر مکان حلقه قاب (A)

سختی و مقاومت حلقه ها با انجام آنالیز کششی و فشاری تک آهنگ بر حلقه ها قابل برآورد می باشد.

همانطور که از شکل (۱۶) مشاهده می شود سختی میراگر برابر 47427KN/m و مقاومت تسلیم حلقه 380KN انتخاب می شوند.



شکل (۱۷) منحنی نیرو-تغییر مکان حلقه قاب (B)

همانطور که از شکل (۱۷) مشاهده می شود سختی میراگر برابر 30232KN/m و مقاومت تسلیم حلقه 330KN انتخاب می شوند.

۹-نتیجه

۱- شعاع میراگر حلقوی تاثیر بسیار بیشتری (با توان سوم)

hybrid Passive control device for steel structures, I: Development and analysis, ” Journal Of Construction Steel Research 66(2010) 1278-1286.

9. Justin D. Marshall , Finley A. Charney , “ A hybrid Passive control device for steel structures, II: Physical testing, ” Journal Of Construction Steel Research 66(2010) 1278-1294.

10. Ciampi, V., Ferretti, SA. 1990. ‘Energy dissipation in building using special bracing systems,’ Proceeding of 9th European Conference on Earthquake Engineering, Vol. 3, Moscow, 9-1

۱۱- 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.

۱۲- مقررات ملی ساختمان ، مبحث دهم : طرح و اجرای ساختمانهای فولادی ، ۱۳۸۷

13. Ansys Documentation

۱۴- مقررات ملی ساختمان، مبحث ششم: بارهای وارد بر ساختمان ، ۱۳۸۰

۱۵- آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله، استاندارد ۸۴-۲۸۰۰ ، ویرایش سوم ، ۱۳۸۴

۱۶- بهشتی اول، سید بهرام و ماه بانویی، حمیدرضا؛ طراحی معرفی و کاربرد سیستم نوین جذب انرژی زلزله با استفاده از هیبرید اصطکاک-تسلیم فولاد. اولین کنفرانس ملی سازه و فولاد و دومین کنفرانس کاربرد فولادهای پر استحکام در صنعت سازه.

