

# بررسی تاثیر المان جاذب انرژی در عملکرد لرزه‌ای قاب‌های فولادی دارای مهاربند دروازه‌ای متقارن

سید سعید سمائی<sup>۱\*</sup>، مرتضی نقی پور<sup>۲</sup>، محسن بزرگ نسب<sup>۳</sup>

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران، سازه، دانشگاه شمال، آمل

۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی، بابل

۳- استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مازندران، بابلسر

saeed\_samaee71@yahoo.com

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۳/۱۱/۲۹]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۳/۲/۲۰]

**چکیده-** مهاربند دروازه‌ای از جمله بادبندهای ابتکاری رایج است که در کشور ما مورد استفاده قرار می‌گیرد. این بادبند در مقایسه با مهاربندهای هم محور ضربداری به دلیل فضای بازتر معماری مورد توجه بیشتر قرار گرفته است، ولی این نوع مهاربندها از سختی کمتری برخوردار هستند و تمایل بیشتری به کمانش خارج از صفحه دارند. استفاده از میراگرهای جاری شونده به علت قابلیت بالا در اتلاف انرژی زلزله و نیز جلوگیری از خسارات لرزه‌ای در اخیر روبرو شده است. با توجه به پیشرفت های فاحش روش‌های کنترل غیرفعال برای استهلاک انرژی زلزله و نیز جلوگیری از خسارات لرزه‌ای در اعضای اصلی سازه، این مقاله یک سیستم جدید اصلاحی مناسب به خصوص برای بهسازی لرزه‌ای سازه‌های فولادی دارای مهاربند دروازه‌ای پیشنهاد کرده است. اساس کارکرد این المان پیشنهادی، عملکرد آن به عنوان یک المان فیوز و ایجاد رفتار بهتر در المان‌های مهاربندی است. در این پژوهش المان جاذب انرژی در دو قسمت مختلف در مهاربند جایگذاری شده است. رفتار المان قبل از قرارگیری در قاب با استفاده از برنامه ANSYS مورد ارزیابی قرار گرفته و ابعاد مناسبی برای آن در نظر گرفته شده است. در ادامه، سه قاب دو بعدی ۴، ۶ و ۸ طبقه در نرم افزار SAP2000 مدل شده و با استفاده از مهاربندهای معمولی و مهاربندهای دارای المان پیشنهادی، مهاربندی شده و تحت تحلیل دینامیکی غیرخطی تاریخچه زمانی با کمک رکوردهای حوزه نزدیک و دور از گسل قرار گرفته‌اند. نتایج بررسی‌ها از مدلسازی میزان شکل‌پذیری قابل قبول المان پیشنهادی و بهبود عملکرد المان‌های مهاربندی در هر دو مدل نسبت به قاب مهاربندی شده معمولی را نشان می‌دهد. از دیگر مزایای استفاده از المان پیشنهادی، کاهش برش پایه، کاهش تغییر مکان ماندگار در طبقات بعد از اتمام زلزله و افزایش شکل‌پذیری در سازه است. در مجموع المان پیشنهادی این مقاله باعث بهبود عملکرد لرزه‌ای قاب شده است.

**واژگان کلیدی:** مهاربند دروازه‌ای، استهلاک انرژی، کنترل لرزه‌ای، مقاوم سازی، شکل پذیری

## ۱- مقدمه

از انجام آزمایش‌های مختلف و تحلیل دقیق به وسیله‌ی پژوهشگران انجام می‌شود و هنوز در کشور ما با اینکه تعداد آزمایش‌های اندکی انجام گرفته، بدون پشتوانه تحلیل دقیق، انواع مختلفی از مهاربندهای ابتکاری رواج یافته است که هیچگونه ضابطه‌ای در مورد برخی از آنها وجود ندارد [۱]. یکی از این مهاربندها، مرسوم به مهاربند دروازه‌ای است. مساله دیگری که در مورد این مهاربندها مطرح است رفتار اتصالات اعضای مهاری در آنها است. به این دلیل که انواع

یکی از روش‌های رایج برای مقابله با زلزله در سازه‌های فولادی، استفاده از انواع مهاربندها است. در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها، اهداف اصلی، تامین مقاومت، سختی و پایداری است. به ویژه در ایده‌های جدید طراحی شکل‌پذیری مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. یکی از عوامل مهم در انتخاب نوع مهاربند جدا از مسائل سازه‌ای ملاحظات مربوط به معماری است. پذیرش هرگونه از مهاربندها به وسیله‌ی آیین‌نامه پس

می‌دهد، استفاده از آن در طرح‌های مقاوم سازی لرزه‌ای روز به روز بیشتر می‌گردد. افزایش شکل پذیری مهاربندها با استفاده از المان شکل پذیر در محلی از مهاربند، موجب افزایش میزان جذب انرژی مخرب زلزله و کنترل کماتش مهاربند می‌شود. جذب انرژی به وسیله‌ی المان شکل پذیر باعث کاهش اثر زلزله بر ساختمان و محدود کردن خرابی‌ها به المان شکل پذیر می‌شود. کمتر بودن ظرفیت المان از بار کماتش مهاربند، موجب بهبود رفتار المان مهاربند می‌شود. این امر باعث می‌شود که المان شکل پذیر علاوه بر افزایش شکل پذیری مهاربند، به عنوان یک فیوز و کنترل کننده کماتش آن نیز تلقی شود.

پژوهش‌های گذشته بیشتر مربوط به بررسی پایداری و کماتش در بادبندهای دروازه‌ای بوده است. مقدم و استکانچی [۴]، رفتار نیرو تغییر مکان سیستم مهاربند دروازه‌ای را با یک الگوی سخت شوندگی سختی غیر خطی با دو نقطه تسلیم معرفی کردند. همچنین با تحلیل دینامیکی و لرزه‌ای سیستم یک طبقه و چند طبقه، نشان دادند که این سیستم می‌تواند طوری طراحی شود که به عنوان یک جداساز لرزه‌ای عمل کند و مقاومت کافی تحت زلزله سطح فروریزش را تامین کند.

صفاری و یزدی [۹]، در پژوهشی به تهیه گراف‌های طراحی و محاسبه بار بحرانی کماتش اینگونه بادبندها پرداختند.

زمانی و همکاران [۱۰]، در پژوهشی به بررسی رفتار لرزه‌ای بادبندهای دروازه‌ای و مقایسه آن با بادبند ضربدری پرداختند. نتایج نشان می‌دهد هر چه نقطه تلاقی مهاربندها به وسط دهانه قاب انتقال یابد، سختی الاستیک قاب و بار کماتشی افزایش می‌یابد. از دیگر نتایج این پژوهش کاهش میزان پدیده Uplift در ستون‌های قاب با مهاربند دروازه‌ای نسبت به قاب با مهاربند ضربدری است.

زمانی و همکاران [۱۱]، در پژوهشی به بررسی رفتار لرزه‌ای اینگونه مهاربندها و مقایسه آن با مهاربند شورون پرداختند. نتایج نشان می‌دهد در مهاربندهای دروازه‌ای با وجود مقاطع مختلف به کار رفته و جزئیات مختلف در اتصالات آنها به یکدیگر، کماتش خارج از صفحه مد غالب رفتاری است. در

سیستم‌های مهاربندی در ایران در قاب‌هایی با اتصالات مفصلی به کار می‌روند، بخش اصلی سازه برای جذب انرژی زلزله و تامین پایداری، مهاربندها خواهند بود. نکته جالب در مورد مهاربند دروازه‌ای آن است که بر اثر اعمال بار جانبی به سمت راست، سه عضو مهاربندی سمت چپ به همراه ستون سمت راست در فشار و سه عضو مهاربندی سمت راست به همراه ستون سمت چپ در کشش قرار می‌گیرند، که خلاف انتظار در نگاه اول است [۲-۴]. در این سیستم با از دست رفتن مقاومت سه عضو فشاری در یک سمت، تیر به طور ناگهان تحت اثر نیروی شدیدی قرار گرفته و ناپایدار می‌شود. شکل‌های متداول مهاربندهای همگرا مشکلات زیادی را در تامین فضای بازشوهای ساختمان بوجود می‌آورند، از اینرو در بعضی مواقع برای تامین فضای کافی برای بازشوها از مهاربند دروازه‌ای شکل استفاده می‌شود. مهاربندهای دروازه‌ای به لحاظ تامین فضای بازتر معماری بر مهاربندهای قطری یا ضربدری ارجحیت دارد، ولی سختی آن کمتر و تمایل بیشتری به کماتش خارج از صفحه دارند. به همین دلیل، اعضای سازه‌ای و غیرسازه‌ای حتی اگر خود سازه سالم باقی بماند، ممکن است متحمل آسیب‌های قابل توجهی در اثر یک زلزله شوند. در سال‌های اخیر پژوهش‌های زیادی برای مقاوم‌سازی ساختمان‌ها در برابر زلزله انجام شده است. مقاومت ساختمان در برابر زلزله را می‌توان با افزودن میراگرها به ساختمان افزایش داد. بنابراین یکی از روش‌های مورد توجه برای کم کردن جابه‌جایی نسبی و شتاب طبقات، استفاده از سیستم‌های جاذب انرژی است؛ چون این عناصر قسمتی از انرژی ورودی زلزله را به تنهایی جذب و مستهلک می‌نمایند. روش‌های کنترل بر مبنای نیاز به انرژی ورودی به سه دسته عمده کنترل غیرفعال، فعال و نیمه فعال تقسیم می‌شوند [۵-۸]. استفاده از سیستم‌های کنترل غیرفعال یکی از روش‌های کنترل پاسخ دینامیکی سازه‌ها است. این سیستم‌ها با توجه به مشخصات فیزیکی خود از طریق اتلاف انرژی باعث کاهش پاسخ سازه در برابر نیروهای دینامیکی خارجی می‌شود. از آنجا که این نوع کنترل نیازی به منبع انرژی خارجی نداشته و به حرکات موضعی سازه حساس است و پاسخ مناسبی بدان

کنترل نیروی وارد بر سازه، مقاوم و محدود کردن آن در سطح پایین تری از سطح آسیب پذیری سازه، با استفاده از تجهیزات هیسترتیک که عملکردی فیوز مانند دارد و متمرکز کردن تغییر شکل‌ها در سیستم اتلاف گر انرژی برای استهلاک بخش عمده انرژی در این اعضا.

### ۳- معرفی المان پیشنهادی

المان مورد نظر [۱۴] مطابق شکل (۱) از یک قوطی و دو نیم حلقه که به وسیله صفحات اتصال به یکدیگر متصل شده اند تشکیل شده است. در این مقاله ۷ مدل با مشخصات هندسی متفاوت مطابق جدول ۱ در نرم افزار ANSYS ساخته شده است. با استفاده از سعی و خطا ابعاد مناسب که از لحاظ شکل پذیری و ظرفیت باربری مناسب باشد انتخاب می‌شود. مصالح مورد استفاده در مدلسازی و ساخت المان، فولادی با نام تجاری مانیسمان است. همچنین مدل رفت و پسماند آن سینماتیک سخت شونده دو خطی است. ضمن آنکه طراحی المان پیشنهادی به گونه‌ای خواهد بود که قبل از تشکیل مفصل در عضو مهاربند، المان پیشنهادی تسلیم شده و ضمن جذب انرژی مناسب، از عملکرد نامناسب مهاربند جلوگیری می‌کند.

جدول ۱: ابعاد هندسی المان پیشنهادی

D (cm)	t (cm)	L (cm)
۳۰	۰/۸	۱۰
۳۰	۱	۱۰
۳۰	۱/۲	۱۰
۳۰	۱/۴	۱۰
۳۲	۱/۶	۱۰
۳۲	۱/۸	۱۰
۳۲	۲	۱۰

مطابق جدول ۱ ستون دوم معرف ضخامت قوطی و ستون سوم معرف عرض مقطع است. بعد از تحلیل در نرم افزار ANSYS، قوطی به طول ۱۵، عرض ۱۰ و ضخامت ۴/۱ سانتی‌متر و دو نیم حلقه به شعاع ۱۵ و ضخامت ۲/۱ سانتی‌متر و دو صفحه اتصال به ضخامت ۲ سانتی‌متر و به طول ۱۰ سانتی‌متر، به عنوان بهترین مدل از لحاظ شکل پذیری و ظرفیت باربری مناسب انتخاب شده است.

نمونه مهاربندی دروازه‌ای با ورق‌های اتصال تکی چرخش‌های پلاستیک قابل ملاحظه‌ای به وجود می‌آید. استفاده از ورق‌های دوپل اتصال نتوانستند مانعی برای کمانش خارج از صفحه قاب باشند.

هدف از این مقاله بهبود رفتار مهاربند دروازه‌ای است. برای این منظور یک المان شکل پذیر در قاب تعبیه شده است و این المان طوری طراحی می‌شود که قبل از آنکه مهاربند به بار بحرانی خود برسد، دچار تسلیم می‌شود و از این طریق بتواند با تشکیل مفصل پلاستیک، جذب انرژی نماید و از ورود اعضای سازه‌ای به مرحله غیرخطی جلوگیری کند.

### ۲- معرفی نوع عملکرد و انواع مختلف

#### میراگرهای هیسترتیس

در سیستم‌های اتلاف گر انرژی بر مبنای رفتار هیسترتیس مواد، انرژی تلف شده عبارت است از سطح محصور بین حلقه‌های ایجاد شده بر اثر سیلان رابط لرزه‌ای. به عبارت دیگر مبنای اتلاف انرژی در این سیستم‌ها رفتار غیر خطی مصالح تشکیل دهنده آنها است که به این رفتار، رفتار هیسترتیس مواد گفته می‌شود [۱۲ و ۱۳].

میراگرهای هیسترتیک، به علت سهولت اجرا و عدم وابستگی به تکنولوژی پیچیده تولید از زمره سازوکارهایی است که در صورت اجرای صحیح و مناسب نه تنها با شرایط ساخت و ساز در ایران همساز کاملی دارند، بلکه دارای مزایایی مانند عدم نیاز به بازرسی و نگهداری، قابلیت اتلاف انرژی قابل توجه، عدم وابستگی به فناوری پیچیده تولید و اجرا و تامین مصالح اقتصادی و اجرایی نیز است.

از نمونه‌های معمول و آشنای میراگرهای هیسترتیک می‌توان به میراگرهای ADAS، میراگرهای TADAS و میراگرهای پانل برشی و ... اشاره کرد. میراگرهای هیسترتیک نه تنها به وجه قابل توجهی پاسخ سازه در برابر بارهای لرزه‌ای را کاهش می‌دهند، بلکه تبعات اقتصادی استفاده از آن بعضاً هزینه‌های اسکلت را حتی تا حدود ۴۰ درصد کاهش می‌دهد که قابل توجه است [۱۲].

مزیت‌های عمده این سیستم‌ها را در دو نوع عمده می‌توان خلاصه کرد:

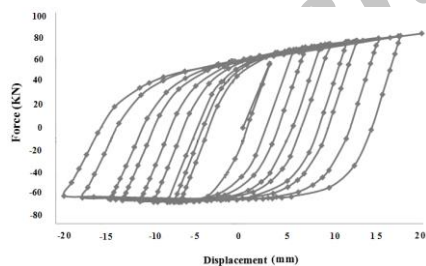
### ۳-۱- سنجش درستی مدل عددی

برای اطمینان از نتایج نرم افزار ANSYS، یک حلقه فولادی با قطر خارجی ۲۲، ضخامت ۱/۲ و طول ۱۰ سانتی‌متر در نرم‌افزار ANSYS ساخته شده و تحت بارگذاری چرخه‌ای مطابق با آیین‌نامه ATC40 قرار گرفته است. در شکل (۴) نمودار هیسترسیس نمونه مدلسازی شده حلقه فولادی و نمونه آزمایشگاهی نشان داده شده است. همان‌گونه که از شکل (۴-الف) مشاهده می‌شود حلقه فولادی توانسته در آخرین چرخه بارگذاری نیرویی معادل ۸/۲ تن را تحمل کند. مقدار بیشینه تغییر قطر حلقه برابر ۲ سانتی‌متر است. نتایج تئوری با نتایج آزمایشگاهی مرجع [۱۵] هماهنگی دارد.

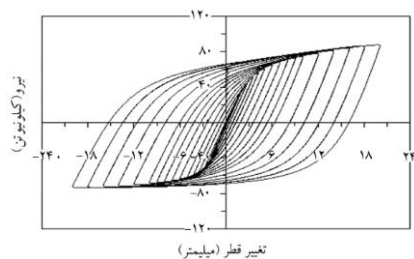
### ۳-۲- مدلسازی و مطالعه عملکرد المان

به منظور بررسی عملکرد المان پیشنهادی تحت اثر بارهای رفت و برگشت زلزله، مدل پیشنهادی با مشخصات گفته شده و به صورت سه بعدی در نرم افزار ANSYS مدل شد.

از المان Solid95 برای مدلسازی استفاده شده است. رفتار مواد، غیرخطی مدل شده و از قانون سخت‌شدگی (Kinematic Hardening Plasticity) که سینماتیک چندخطی اثر پوشینگر در آن در نظر گرفته شده است، پیروی می‌کند. برای تسلیم، معیار فون مایسز در نظر گرفته شده است. برای



(الف)

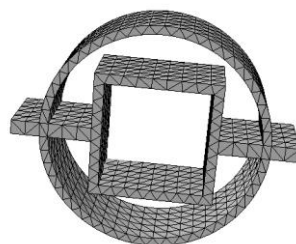


(ب)

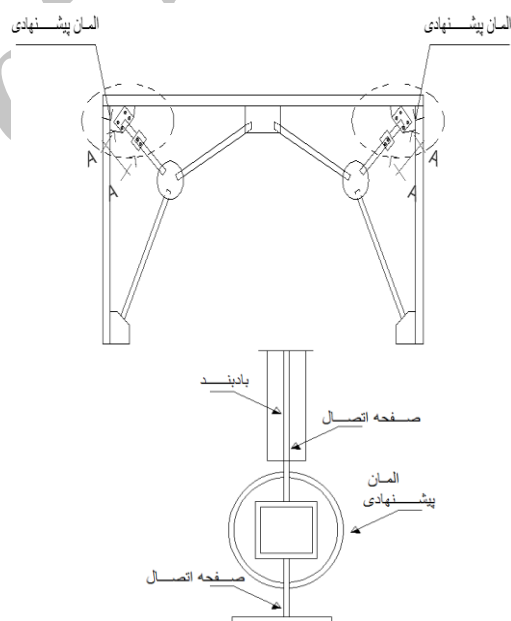
شکل (۴) منحنی هیسترسیس حلقه

الف: مدلسازی در نرم افزار ANSYS ب: نتایج آزمایشگاهی [۱۵]

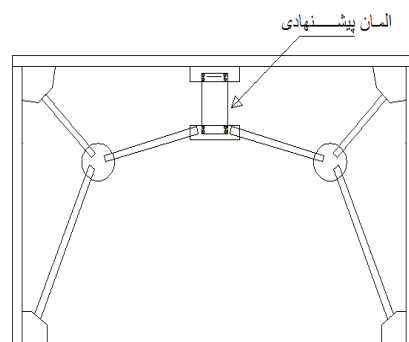
هدف از مدلسازی، انتخاب ابعاد مناسب و به دست آوردن اطلاعات مورد نیاز برای طراحی المان پیشنهادی در نرم افزار SAP است. در این مقاله المان پیشنهادی در دو قسمت مختلف قاب (مدل های ۱ و ۲) قرار گرفته است. شکل (۲) و (۳) چگونگی قرارگیری میراگر را به ترتیب در مدل ۱ و مدل ۲ نشان می‌دهد. در مدل ۱ بار به صورت محوری به میراگر وارد می‌شود و در مدل ۲ بار به صورت برشی به میراگر وارد می‌شود.



شکل (۱) المان پیشنهادی با مش‌بندی

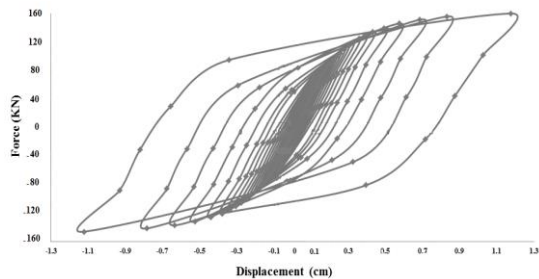


شکل (۲) چگونگی قرارگیری المان پیشنهادی در قاب در مدل ۱

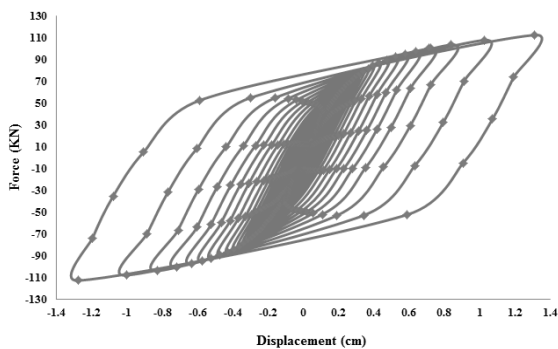


شکل (۳) چگونگی قرارگیری المان پیشنهادی در قاب در مدل ۲

با توجه به توضیحات قسمت‌های قبل و مشخص شدن ویژگی‌های المان پیشنهادی، در این مرحله آثار اضافه نمودن این عضو به قاب‌های مهاربندی دروازه‌ای در ساختمان‌ها، به وسیله نتایج به دست آمده از مدل‌سازی و تحلیل نشان داده می‌شود.



شکل (۶) منحنی هیسترسیس المان پیشنهادی در مدل ۱



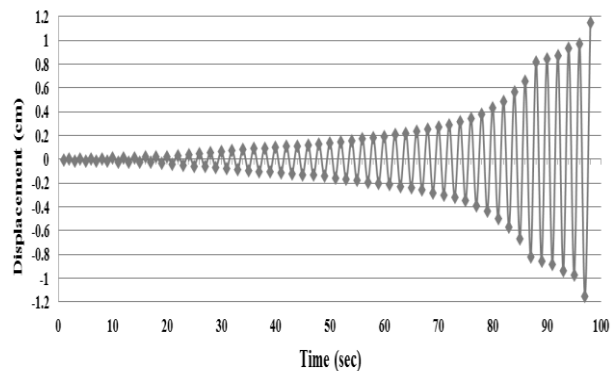
شکل (۷) منحنی هیسترسیس المان پیشنهادی در مدل ۲

#### ۴- معرفی مدل‌های مورد مطالعه

در این مقاله، سه قاب دو بعدی ۴، ۶ و ۸ طبقه با سه دهانه مورد مطالعه قرار می‌گیرد. همه ساختمان‌ها از نوع اسکلت فولادی دارای مهاربند دروازه‌ای است که ارتفاع همه طبقات ۳/۲ متر است و محل ساختمان شهر تهران است. سازه‌ها در منطق ای با لرزه‌خیزی خیلی زیاد قرار دارند و خاک از نوع دو است. کاربری سازه‌ها مسکونی و سازه‌های یاد شده براساس آیین‌نامه‌های ملی ایران طراحی شده‌اند. کلیه اتصالات تیر به ستون و همچنین مهاربند به تیر و ستون مفصلی است. در طراحی مدل‌ها برای تیرها از تیر ورق با مقاطع I شکل و برای ستون‌ها از مقاطع IPB و برای بادبندها از دوپل ناودانی استفاده شده است. در شکل (۸) پلان ساختمان نشان داده شده است.

ارزیابی کمانش موضعی و کاهش مقاومت ناشی از آن و سنجش میزان اتلاف انرژی، رفتار سیستم در ناحیه غیرخطی و اثر بارگذاری و باربرداری مکرر بر نمونه از تحلیل چرخه‌ای استفاده می‌شود. تحلیل به صورت غیرخطی هندسی با در نظر گرفتن تغییر شکل‌های بزرگ انجام شده است. در شکل (۵) نمودار بارگذاری اعمالی که براساس آیین‌نامه 40 ATC [۱۴] است و از مقادیر کم جابه‌جایی شروع می‌شود، نشان داده شده است.

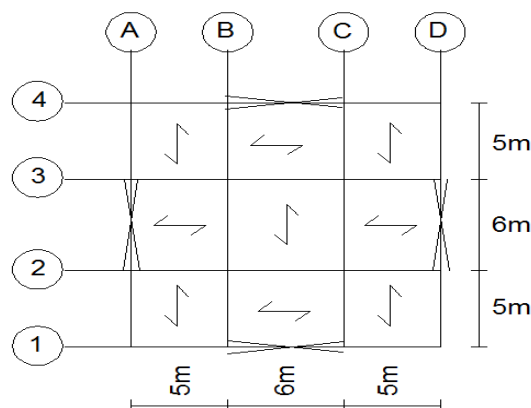
مهمترین هدف از طراحی و مدل‌سازی در نرم افزار ANSYS علاوه بر دستیابی به ابعاد مناسب المان پیشنهادی، به دست آوردن خواص و پارامترهایی از قبیل سختی و نیروی تسلیم است. نمودار نیرو جابه‌جایی به دست آمده از نرم افزار، بیانگر این پارامترها می‌تواند باشد. المان پیشنهادی در این مقاله به علت قرارگیری در دو قسمت مختلف که به ترتیب با مدل های ۱ و ۲ نامگذاری می‌شود، تحت دو بارگذاری مختلف قرار می‌گیرد. المان مربوطه در مدل ۱ تحت بارگذاری محوری و در مدل ۲ تحت بارگذاری برشی است. المان پیشنهادی در مدل یک در تغییر مکان ۱/۱۵ سانتی متر دچار شکست می‌شود و بیشینه ظرفیت باربری المان پیشنهادی ۱۵۳۴۰ کیلوگرم است و در مدل دو در تغییر مکان ۱/۳ سانتی متر دچار شکست می‌شود و بیشینه ظرفیت باربری المان پیشنهادی ۱۱۳۰۰ کیلوگرم است. در شکل‌های (۶) و (۷) منحنی هیسترسیس المان پیشنهادی به ترتیب در مدل ۱ و ۲ نشان داده شده است.



شکل (۵) تاریخچه بارگذاری [۱۴]

## ۵- مدل‌سازی و آنالیز در SAP

برای این منظور ابتدا قاب در نرم افزار SAP مدل شده و پس از طراحی با آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش سوم، مقاطع اعضا به دست آمده است. در ادامه قاب مورد نظر در نرم افزار SAP به همراه مهاربند معمولی و مهاربند با المان پیشنهادی این پژوهش مدل شده و تحت سه شتاب نگاشت کوبه، نورتریج و لوماپرتیا تحت تحلیل دینامیکی غیر خطی (تاریخچه زمانی غیر خطی) قرار گرفته است. برای مدل‌سازی المان پیشنهادی در انتهای مهاربند، از لینک غیر خطی چند خطی سینماتیک استفاده شده است. محاسبات یاد شده برای دو حالت از قاب انجام پذیرفته است. حالت اول قاب بدون المان پیشنهادی و حالت دوم، قاب با المان پیشنهادی در نظر گرفته شده است.



شکل (۸) پلان ساختمان‌های طراحی شده و نمایش محل قرارگیری بادبندها

جدول ۲: مشخصات رکوردهای دور از گسل [۱۷]

Earthquake	Far Field		
	Kobe	Lomaprieta	Northrige
Magnitude	6.9	6.93	6.69
Station	0 MZH	58219 APEEL 3E	90040 Carson
Distance	69.04 (km)	52.39(km)	46.5 (km)
PGA (g)	0.07	0.078	0.087

جدول ۳: مشخصات رکوردهای نزدیک گسل [۱۷]

Earthquake	Near Field		
	Kobe	Lomaprieta	Northrige
Magnitude	6.9	6.93	6.69
Station	0 Nishi-Akashi	57007 Corralitos	5081 Topanga
Distance	7.08 (km)	0.15 (km)	10.31 (km)
PGA (g)	0.509	0.644	0.364

## ۶- بررسی نتایج

پس از تحلیل مدل‌های بدون سیستم‌های مستهلک کننده و قاب‌های با سیستم‌های مستهلک کننده انرژی به وسیله نرم افزار SAP2000، تغییر مکان‌ها، برش پایه، تغییر مکان بام و منحنی هیستریسیس در سازه مشخص شده‌اند. در ادامه به بررسی نتایج تحلیل خواهیم پرداخت.

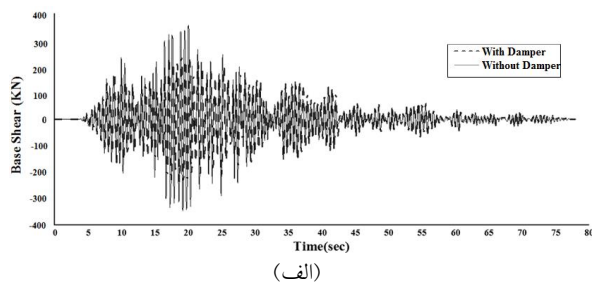
شکل‌های (۹) و (۱۰) برش پایه طبقات با کمک رکوردهای حوزه نزدیک و دور از گسل در زلزله کوبه در مدل (۱) را نشان می‌دهند. همان‌گونه که از اشکال (۹) و (۱۰) مشاهده می‌شود، برش پایه در قاب دارای مهاربند همراه با المان پیشنهادی نسبت به قاب با مهاربند معمولی در هر سه قاب ۴، ۶ و ۸ طبقه کاهش یافته است.

برای بررسی بیشتر، در اشکال (۱۱) و (۱۲)، برش پایه را در حوزه نزدیک و دور گسل تحت سه شتاب‌نگاشت مختلف مورد بررسی قرار می‌دهیم. همان‌گونه که از شکل (۱۱) مشاهده می‌شود، برش پایه در قاب چهار طبقه به طور میانگین ۴۰ درصد کاهش پیدا کرده است و در قاب‌های ۶ و ۸ طبقه به ترتیب ۴۹ و ۵۱ درصد کاهش یافته است که بیانگر رفتار مناسب قاب با میراگر است. در حوزه دور از گسل کاهش در قاب‌های ۴، ۶ و ۸ طبقه به ترتیب برابر ۳۰، ۴۲ و ۴۴ درصد خواهد شد.

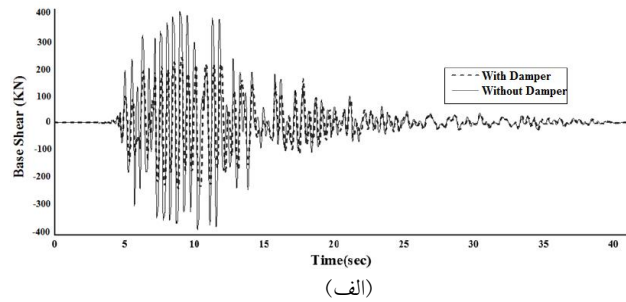
## ۴-۱- انتخاب شتاب نگاشت‌ها

به منظور انجام تحلیل دینامیکی غیر خطی تاریخچه زمانی، نیاز به انتخاب رکوردهای زلزله است. بدین منظور ۳ رکورد حوزه نزدیک به گسل و ۳ رکورد حوزه دور از گسل انتخاب شده است [۱۷]. انتخاب رکوردهای حوزه نزدیک گسل به خاطر ویژگی‌های متفاوت این رکوردها نسبت به رکوردهای دور از گسل بوده است (جدول ۲ و ۳). هم پایه کردن شتاب نگاشت‌ها بر اساس روش ارزیابی شده در ویرایش سوم استاندارد ۲۸۰۰ استفاده شده است.

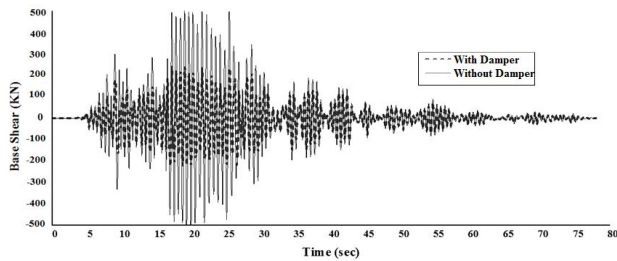




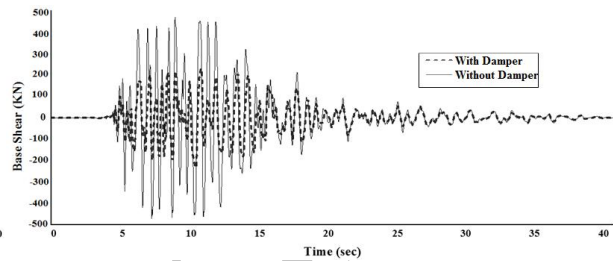
(الف)



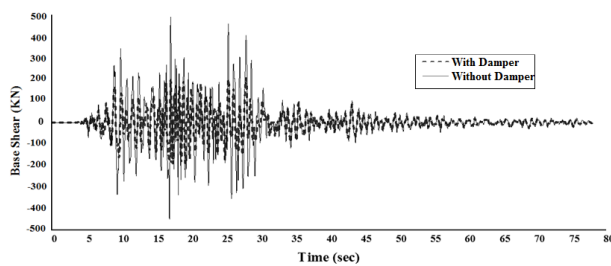
(الف)



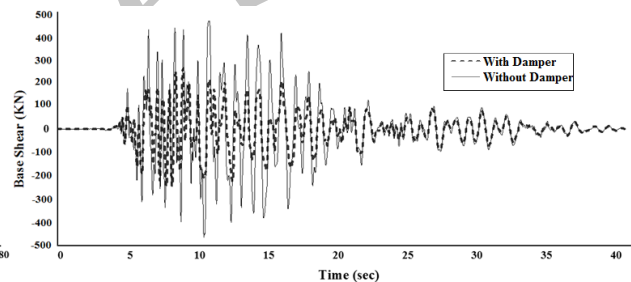
(ب)



(ب)



(ج)



(ج)

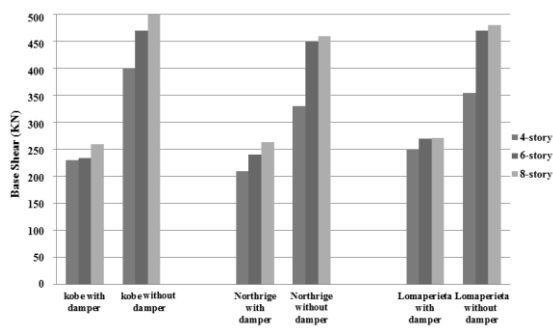
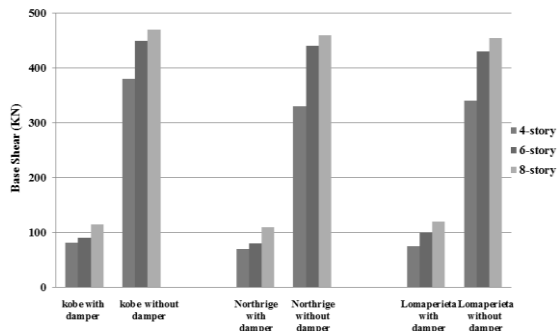
شکل (۱۰) مقایسه برش پایه طبقات در مدل (۱) دور از گسل زلزله کوبه  
الف: قاب چهار طبقه ب: قاب شش طبقه ج: قاب هشت طبقه

شکل (۹) مقایسه برش پایه طبقات در مدل (۱) زلزله کوبه نزدیک گسل  
الف: قاب چهار طبقه ب: قاب شش طبقه ج: قاب هشت طبقه

در مدل ۲ است. المان پیشنهادی استفاده شده میراگر تسلیمی است که با سیلان فلز باعث جذب انرژی می شود عملکرد میراگرهای تسلیمی از نوع کنترل غیر فعال، و یکی از مزایای میراگرهای غیر فعال کاهش برش پایه است. در مدل ۱، بیشینه کاهش برش پایه حدود ۵۰ درصد، و در مدل ۲ این کاهش تا ۸۰ درصد رسیده است. در مدل ۲ زمان تناوب مدل اول نوسان با میراگر تا ۸۰ درصد افزایش می یابد که باعث کاهش شدید برش پایه شده و سازه انعطاف پذیر می شود و در مقایسه با کارهای مشابه مانند مرجع ۱۸ آن میراگر در بادبند قطری مورد استفاده قرار گرفته است، برش پایه کاهش بیشتری داشته است. در ادامه به بررسی تغییر مکان طبقات خواهیم پرداخت:

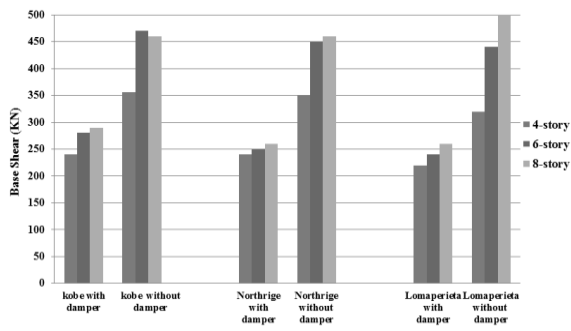
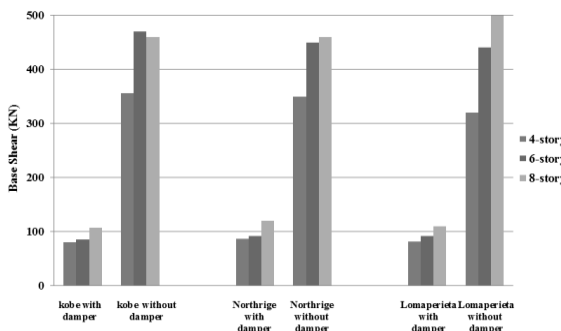
در شکل های (۱۳) و (۱۴) برش پایه طبقات در حوزه نزدیک و دور از گسل در مدل (۲) نشان داده شده است. همان گونه که از شکل های (۱۳) و (۱۴) مشاهده می شود، برش پایه در قاب با المان پیشنهادی نسبت به قاب با مهاربند معمولی در هر سه قاب ۴، ۶ و ۸ طبقه به شدت کاهش یافته است. همانطور که از شکل (۱۳) مشاهده می شود، برش پایه در قاب چهار طبقه به طور میانگین ۷۵ درصد کاهش پیدا کرده است و در قاب های ۶ و ۸ طبقه به ترتیب ۷۹ و ۸۰ درصد کاهش یافته است که بیانگر رفتار مناسب قاب با میراگر می باشد.

در حوزه دور از گسل نیز رفتار قاب با میراگر باعث کاهش برش پایه خواهد شد. کاهش برش پایه در مدل ۲ بیشتر از مدل ۱ است که بیانگر شکل پذیری بیشتری قاب با مهاربند



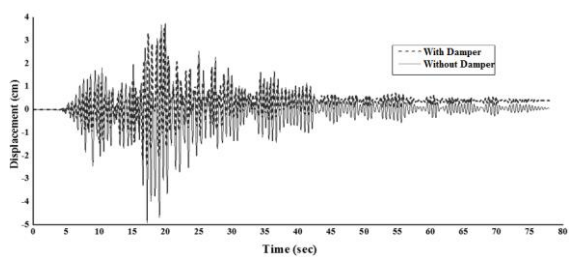
شکل (۱۳) مقایسه برش پایه طبقات در مدل (۲) نزدیک گسل

شکل (۱۱) مقایسه برش پایه طبقات در مدل (۱) نزدیک گسل

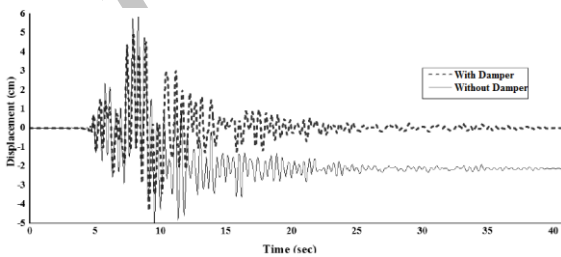


شکل (۱۴) مقایسه برش پایه طبقات در مدل (۲) دور از گسل

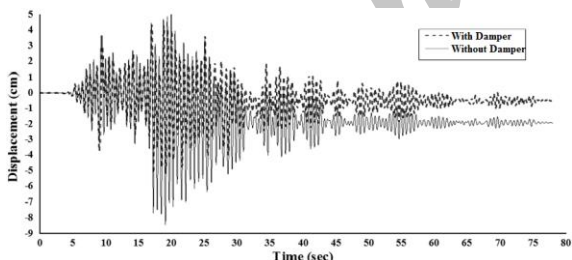
شکل (۱۲) مقایسه برش پایه طبقات در مدل (۱) دور از گسل



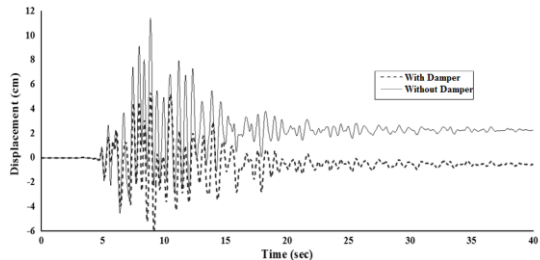
(الف)



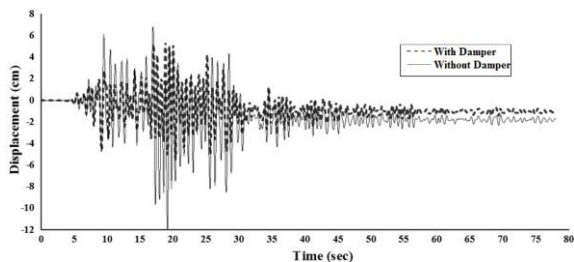
(الف)



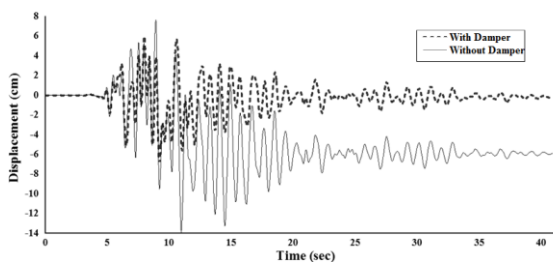
(ب)



(ب)



(ج)



(ج)

شکل (۱۶) بیشینه تغییر مکان بام در مدل ۱ زلزله کوبه دور از گسل

شکل (۱۵) بیشینه تغییر مکان بام در مدل ۱ زلزله کوبه نزدیک گسل

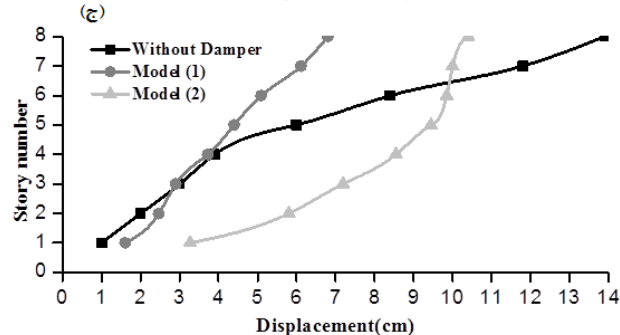
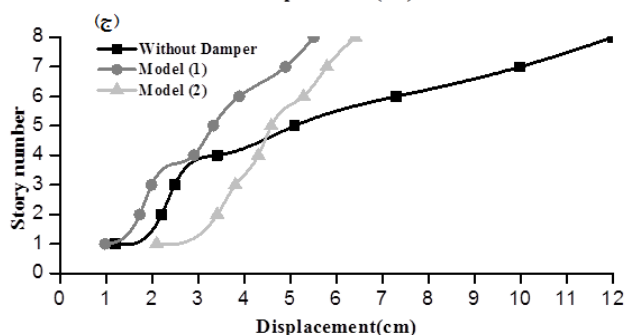
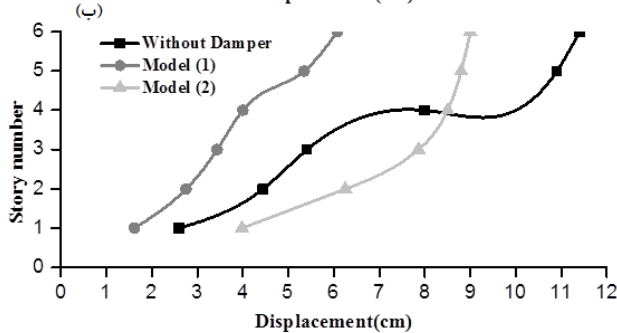
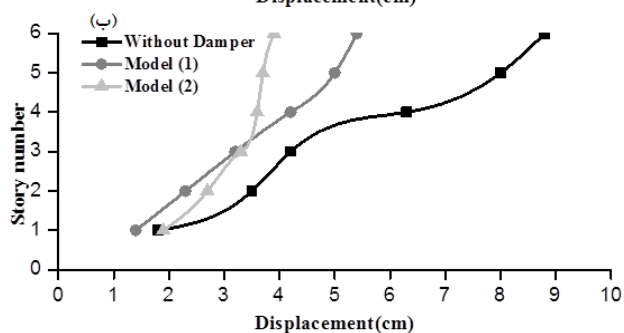
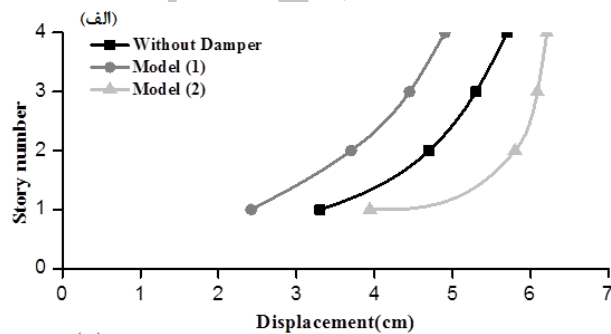
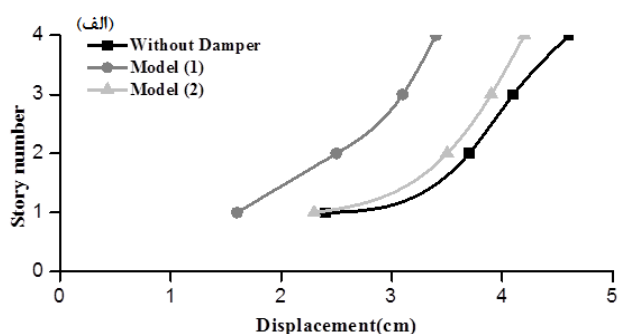
(الف: قاب چهار طبقه ب: قاب شش طبقه ج: قاب هشت طبقه)

(الف: قاب چهار طبقه ب: قاب شش طبقه ج: قاب هشت طبقه)



نسبت به قاب با مهاربند معمولی در هر سه قاب ۴، ۶ و ۸ طبقه در حوزه دور و نزدیک گسل کاهش یافته است. نکته مهم دیگر کاهش تغییر مکان ماندگار در قاب‌های با میراگر در مدل ۱ است. همان‌گونه که در شکل‌های (۱۵) و (۱۶) مشاهده می‌شود، سازه‌های با میراگر به صورت الاستیک باقی مانده‌اند که نشان می‌دهد خرابی‌ها در المان پیشنهادی متمرکز شده و اعضای سازه‌ای به حالت الاستیک باقی مانده‌اند و در قاب‌های بدون میراگر تغییر مکان ماندگار در طبقات پس از اتمام اثر رکورد زلزله تشکیل شده است.

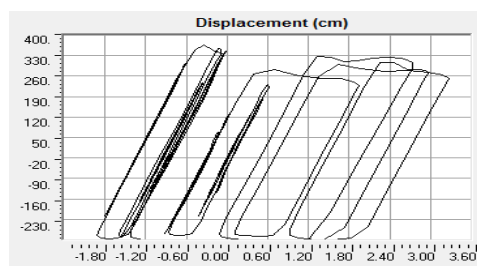
معیارهای سطح عملکرد اجزای سازه‌ای با توجه به نوع سیستم سازه‌ای و اصلی یا غیر اصلی بودن عضو و همچنین تغییر مکان جانبی گذرا و ماندگار تقسیم می‌شوند. منظور از تغییر مکان جانبی ماندگار بیشینه تغییر مکان جانبی طبقات است که پس از وقوع زلزله در طبقات سازه باقی می‌ماند. در شکل‌های (۱۵) و (۱۶) بیشینه تغییر مکان بام در حوزه نزدیک و دور از گسل در اثر زلزله کوبه در مدل (۱) نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، بیشینه تغییر مکان طبقات در قاب با المان پیشنهادی



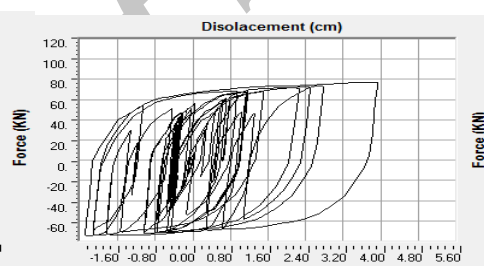
شکل (۱۷) بیشینه تغییر مکان طبقات تحت زلزله کوبه در حوزه نزدیک گسل  
 شکل (۱۸) بیشینه تغییر مکان طبقات تحت زلزله کوبه در حوزه دور از گسل  
 (الف: قاب چهار طبقه ب: قاب شش طبقه ج: قاب هشت طبقه)

وجود المان پیشنهادی، باعث افزایش در میزان حداکثر تغییر مکان طبقات در طبقات پایین و باعث کاهش آن در طبقات بالا شده است. به نظر می‌رسد وجود المان پیشنهادی در مدل ۲، اندکی از سختی سیستم کاسته است و الگوی تغییر مکان طبقات را به سمت یک سیستم قاب خمشی نزدیک کرده است. آنچنان که می‌دانیم، در مورد قاب‌های خمشی، الگوی تغییر مکان طبقات، شکل برشی دارد. بدین معنا که در طبقات پایین بیشتر است و با افزایش طبقات، شیب افزایش تغییر مکان کاهش می‌یابد. در مجموع در مدل (۲) در حوزه دور و نزدیک گسل رفتار قاب با مهاربند رضایت بخش است. در ادامه به بررسی منحنی هیسترسیس مهاربند طبقه همکف در مدل (۲) و در حالت بدون المان پیشنهادی پرداخته خواهد شد.

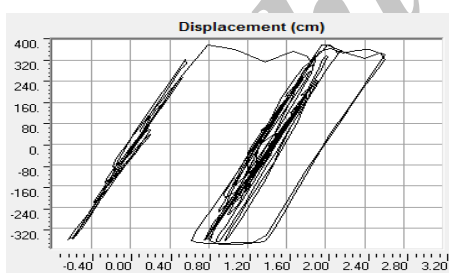
در شکل‌های (۱۷) و (۱۸) بیشینه تغییر مکان طبقات در حوزه نزدیک و دور از گسل در مدل (۱) و (۲) نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل (۱۷) و (۱۸) مشاهده می‌شود، بیشینه تغییر مکان طبقات در قاب با المان پیشنهادی در مدل (۱) نسبت به قاب با مهاربند معمولی در هر سه قاب ۴، ۶ و ۸ طبقه در حوزه نزدیک و دور از گسل کاهش یافته است؛ همچنین همان‌گونه که در اشکال (۱۷) و (۱۸) مشاهده می‌شود، بیشینه تغییر مکان طبقات در قاب با المان پیشنهادی در مدل (۲) نسبت به قاب با مهاربند معمولی در قاب ۴ طبقه در حوزه نزدیک گسل اندکی افزایش یافته است؛ لیکن تغییر مکان بیشینه بام در سایر حالات شامل قاب‌های ۶ و ۸ طبقه، روندی کاهشی یافته دارد و مقدار کاهش در حوزه دور از گسل بیشتر است. در خصوص تغییر مکان بیشینه طبقات میانی نیز،



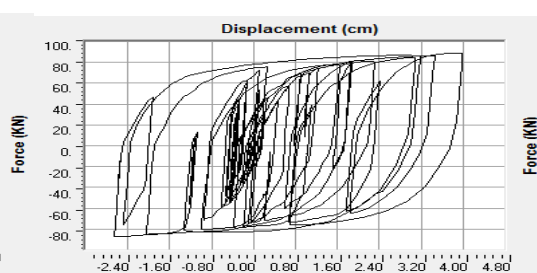
(الف)



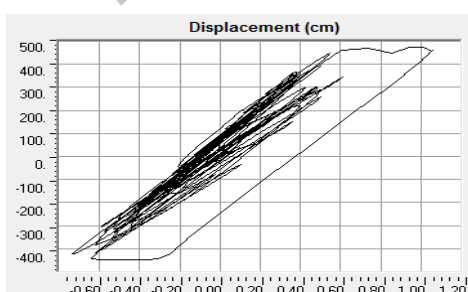
(الف)



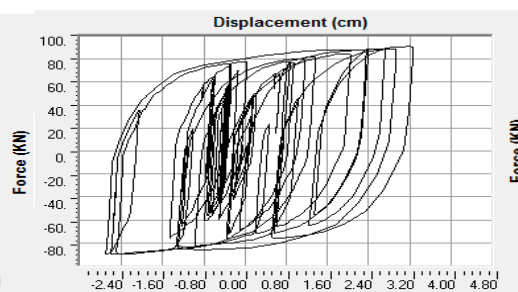
(ب)



(ب)



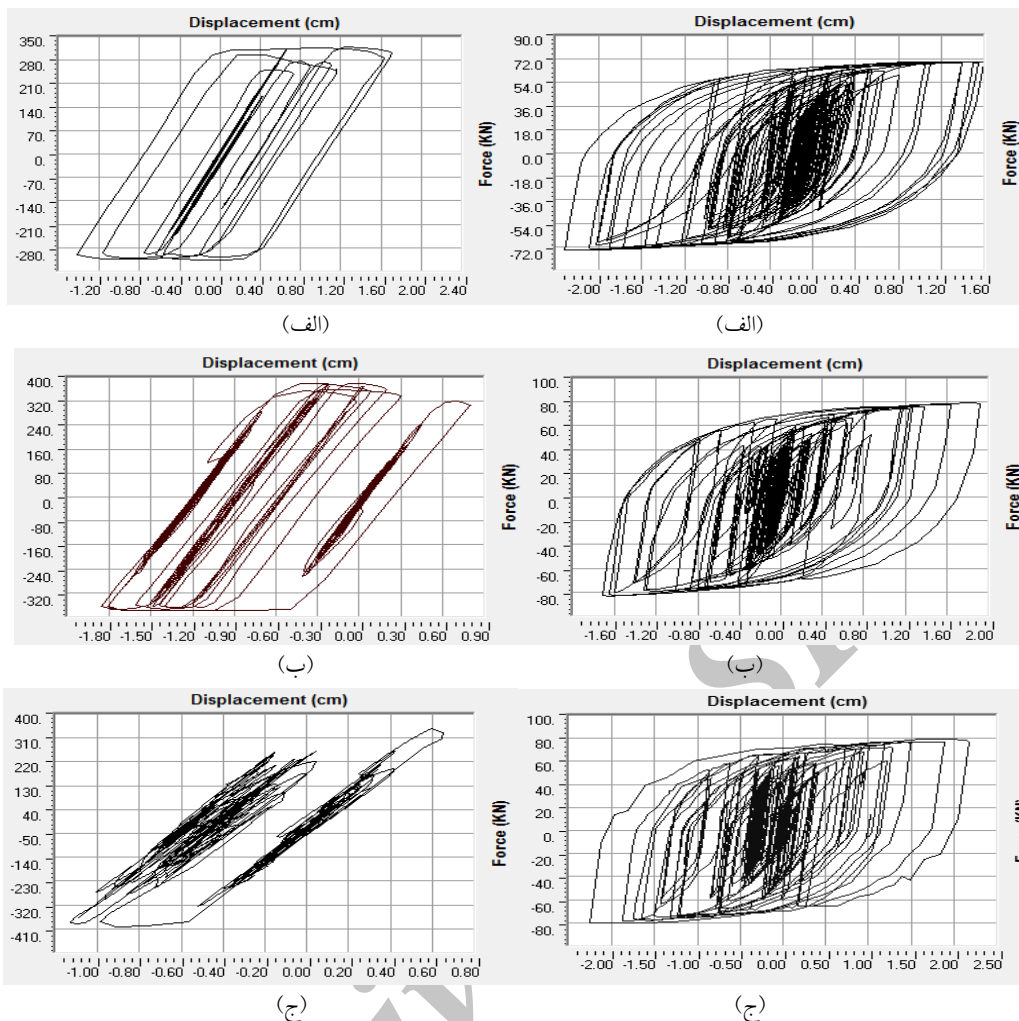
(ج)



(ج)

شکل (۲۰) منحنی هیسترسیس مهاربند طبقه همکف تحت زلزله کوبه در حوزه نزدیک گسل (بدون المان پیشنهادی)  
(الف: قاب چهار طبقه ب: قاب شش طبقه ج: قاب هشت طبقه)

شکل (۱۹) منحنی هیسترسیس مهاربند طبقه همکف تحت زلزله کوبه در حوزه نزدیک گسل در مدل ۲  
(الف: قاب چهار طبقه ب: قاب شش طبقه ج: قاب هشت طبقه)

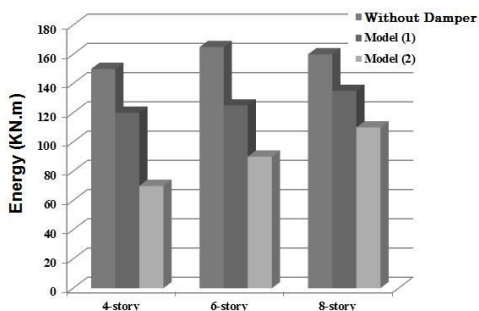


شکل (۲۲) منحنی هیسترسیس مهاربند طبقه همکف زلزله کوبه در حوزه دور از گسل (بدون المان پیشنهادی) (الف: قاب چهار طبقه ب: قاب شش طبقه ج: قاب هشت طبقه)

شکل (۲۱) منحنی هیسترسیس مهاربند طبقه همکف زلزله کوبه در حوزه دور از گسل در مدل ۲ (الف: قاب چهار طبقه ب: قاب شش طبقه ج: قاب هشت طبقه)

بهبود رفتار لرزه‌ای قاب‌های با مهاربند دروازه‌ای تحت زلزله‌های حوزه دور و نزدیک گسل و استهلاک بیشتر انرژی ورودی به سازه شده است. در ادامه به بررسی انرژی ورودی به قاب می پردازیم.

شکل های (۱۹) و (۲۰) منحنی هیسترسیس قاب با المان پیشنهادی در مقایسه با مهاربند معمولی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود نمودارهای هیسترسیس مهاربند با المان پیشنهادی بسیار پهن است که نشان دهنده استهلاک انرژی خوب این مهاربندها است؛ لیکن در قاب‌های بدون میراگر، منحنی‌های هیسترسیس نامنظم، نشان دهنده جذب کم انرژی است. شکل‌های (۲۱) و (۲۲) نیز منحنی هیسترسیس المان مهاربندی را تحت رکورد زلزله در حوزه دور از گسل نشان می‌دهند. در این اشکال نیز منحنی هیسترسیس برای قاب با المان پیشنهادی دارای سطح مناسب بوده که بیانگر اتلاف انرژی مناسب در حالت استفاده از این المان است. در مجموع به کارگیری المان پیشنهادی باعث



شکل (۲۳) حداکثر انرژی ورودی به سازه تحت زلزله کوبه در حوزه نزدیک گسل

میراگر نشانگر جذب انرژی بالای قاب‌های دارای المان پیشنهادی است. در مدل (۱) و (۲) تغییر مکان باقیمانده در تمامی نمونه‌ها در حوزه نزدیک و دور از گسل کاهش یافته است که از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. حداکثر تغییر مکان طبقات در قاب با المان پیشنهادی در مدل (۱) نسبت به قاب با مهاربند معمولی در حوزه نزدیک و دور از گسل کاهش یافته است؛ در مورد مدل ۲ نیز، تغییر مکان حداکثر بام تقریباً در تمام حالات کاهش نشان می‌دهد. همچنین الگوی تغییر مکان بیشینه طبقات در مدل ۲ به صورت برشی است. بدین معنا که در طبقات پایین این تغییر مکان بیشتر است و با افزایش طبقات، شیب افزایش تغییر مکان کاهش می‌یابد.

از دیگر نتایج که نشانگر بهبود عملکرد لرزه‌ای قاب است، کاهش برش پایه در هر دو مدل همراه با المان پیشنهادی است. در مدل ۱ برش پایه در قاب چهار طبقه در حوزه نزدیک گسل به طور میانگین ۴۰ درصد کاهش پیدا کرده است و در قاب‌های ۶ و ۸ طبقه به ترتیب ۴۹ و ۵۱ درصد کاهش یافته است که بیانگر رفتار مناسب قاب با میراگر می‌باشد. در حوزه دور از گسل کاهش در قاب‌های ۶، ۸ و ۱۰ طبقه به ترتیب برابر ۳۰، ۴۲ و ۴۴ درصد کاهش یافته است که نشان می‌دهد در مدل ۱ در حوزه نزدیک گسل کاهش برش پایه بیشتر است. در مدل ۲ بیشینه کاهش برش پایه در حدود ۸۰ درصد است که نسبت به مدل ۱ بیشتر است. با توجه به انرژی مستهلک شده به وسیله المان پیشنهادی در مدل ۱ و ۲، می‌توان این ادعا را داشت که در صورت طراحی صحیح المان پیشنهادی، در یک زلزله اعضای سازه در حالت الاستیک باقی می‌مانند و رفتار غیر خطی سازه به میراگرها منتقل می‌شود. نتایج این فعالیت پژوهشی می‌تواند در طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زلزله نقش موثری داشته باشد.

## ۸- مراجع

[۱] موسی پور؛ موسی؛ "بررسی عملکرد بادبندهای دروازه‌ای در برابر زلزله"؛ پایان نامه کارشناسی ارشد؛ دانشگاه صنعتی شریف؛ ۱۳۸۰.

انرژی ورودی به سازه، به سختی سازه، نوع زمین و فرکانس‌های غالب زلزله بستگی دارد. افزودن میراگر به سازه معمولاً باعث مستهلک شدن انرژی و کاهش انرژی ورودی است [۱۹].

شکل (۲۳) بیشینه انرژی ورودی به سازه در حوزه نزدیک گسل در زلزله کوبه را در مدل‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل (۲۳) مشاهده می‌شود، مقدار زیادی از انرژی ورودی به سازه به وسیله المان پیشنهادی مستهلک می‌شود. حال اگر در قابی میراگر وجود نداشته باشد، کل انرژی که به وسیله میراگر مستهلک شده بود، به سازه وارده شده و خسارت بسیار زیادی را به بار خواهد آورد. با توجه به شکل (۲۳) می‌توان مشاهده کرد که انرژی ورودی به سازه در هر دو مدل قاب با میراگر کاهش یافته است و این کاهش در مدل ۲ بیشتر از مدل یک است. کاهش انرژی ورودی به سازه در مدل دو در مقایسه با ساختمان‌های بدون میراگر در قاب‌های ۴، ۶ و ۸ طبقه به ترتیب ۲۲، ۲۶ و ۲۰ درصد است. نتیجه آنکه میزان تاثیر اضافه شدن المان پیشنهادی در کاهش میزان انرژی ورودی، در مدل ۲ بیشتر از مدل ۱ می‌باشد. ضمناً در مدل مورد اشاره، میزان کاهش، در سازه‌ها با تعداد طبقات کمتر بیشتر است.

## ۷- نتیجه گیری

با توجه به نتایج به دست آمده، رفتار مناسب و کارکرد خوب المان پیشنهادی و تسلیم شدن همزمان آنها در همه نمونه‌ها، بیانگر عملکرد قابل قبول المان پیشنهاد شده است. تسلیم شدن میراگرها در هر دو مدل باعث اتلاف و جذب انرژی شده و از افت ناگهانی مقاومت در اعضای سازه ای جلوگیری می‌کند که گامی مثبت در ارتقای رفتار این نوع مهاربندها است. همچنین عدم تشکیل تغییر مکان ماندگار در سازه‌های با میراگر نشان می‌دهد که تمام خرابی‌ها در المان پیشنهادی این مقاله متمرکز شده است.

منحنی‌های هیسترسیس پایدار و بدون افت چشمگیر مهاربند با المان پیشنهادی در مقایسه با منحنی هیسترسیس قاب بدون

[11] Zamani S.M., Vafai A., Aghakouchak A.A. and Kazemi, M.T., Experimental investigation of steel frames with single bays of symmetrical y-shaped concentric bracings, *Scientia Iranica*, 19 (2), 2012, 195-210.

[۱۲] تجملیان؛ ح.؛ "مطالعه پارامتریک رفتار لرزه ای قاب های یک طبقه مهاربندی شده فلزی مجهز به المان های میراگر جاری شونده"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف؛ ۱۳۸۶.

[13] Dorka, U.E. and Gleim, S., "A Design Method For Hysteretic Devise System", *The 14<sup>st</sup> World Conference on Earthquake Engineering October 12-17, Beijing, china, 2008.*

[۱۴] سمائی؛ س.س؛ "بهبود عملکرد لرزه ای قاب های با مهاربند دروازه ای با استفاده از سیستم های جاذب انرژی"؛ پایان نامه کارشناسی ارشد؛ دانشگاه شمال، ۱۳۹۲.

[۱۵] کافی، م-ع؛ "بررسی آزمایشگاهی و تحلیلی تاثیر حلقه بر شکل پذیری مهاربندی هم محور"، پایان نامه دکتری، دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۷.

[16] ATC40."Guidelines for Seismic Testing of Components of Steel Structures", 1992, Washington (DC),

[17] Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER), 2000, *Strong Motion Database*, University of California, Berkeley.

[۱۸] میرزا آقایی، ی؛ "رائه مهاربندهای دارای رفتار یکسان در کشش و فشار برای سازه های فولادی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، ۱۳۹۰.

[۱۹] حسینی سرجو، پ؛ "بررسی رفتار لرزه ای قابهای فولادی با میراگر اصطکاکی اصلاح شده پال"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۰.

[۲] صفاری؛ ح.؛ مسلمان یزدی، ح؛ "تعیین بار کمناشی سیستم مهاربندی دروازه ای"؛ اولین کنگره ملی مهندسی عمران؛ ۱۳۸۳.

[۳] صفاری؛ ح.، فدایی، م. ج. و محسنی، ا؛ "تعیین ضریب رفتار بادبندهای دروازه ای تحت بارهای دینامیکی زلزله"؛ دومین کنفرانس سازه های جدار نازک، دانشگاه شهید باهنر کرمان؛ ۱۳۸۴.

[4] Moghaddam, H.A. and Estekanchi, H.E., "Seismic behavior of off-centrebracing systems", *Journal of Constructional Steel Research*, 51(2), 1999, pp. 177-196

[5] Chan, W.K. and Albermani, F., "Experimental study of steel slit damper for passive energy dissipation", *Engineering Structures*, 30(4), 2008, pp.1058-1066.

[۶] کاظمی؛ ر. و کافی؛ م.ع.، "بررسی امکان استفاده از المان شکل پذیر و جاذب انرژی در نقطه اتصال مهاربند به صفحه اتصال گوشه"؛ ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان؛ ۱۳۹۰.

[7] RaquibulHossain, M.D, Ashraf, M. and Albermani, A., "Numerical modelling of yielding shear panel device for passive energy dissipation", *Thin-Walled Structures*, 49, 2011, pp.1032-1044

[8] Chan, W.K, Albermani, F and Kitipornchai, S, "Experimental study of perforated yielding shear panel device for passive energy dissipation", *Journal of Constructional Steel Research*, 91, 2013, pp. 14-25

[9] Saffari, H. and Yazdi, H.M., "An efficient and direct method for out-of-plane buckling analysis of Y-braced steel frames", *Journal of Constructional Steel Research*, 66(8-9),2010, pp. 1107-1111 .

[10] Zamani S.M., Vafai A., Aghakouchak A.A. and Desai, Ch., "Experimental Investigation of Steel Frames Braced with Symmetrical Pairs of y-shaped Concentric Bracings", *International Journal of Steel Structures*, 11(2), 2011, 117-131.

# Study of the effect of energy absorbing element in seismic performance of steel frames with symmetric y-shape concentric bracings

Seyyed Saeed Samaee<sup>1\*</sup>, Morteza Naghipour<sup>2</sup>, Mohsen Bozorgnasab<sup>3</sup>

1- Department of civil engineering, Shomal university, Amol

2- Department of civil engineering, Noushivani university of Technology, Babol

3- Department of civil engineering, Mazandaran university, Babolsar

saeed\_samaee71@yahoo.com

## Abstract:

One of the common bracing systems in our country is Y-shaped bracing system. Because of architectural advantages, it attracts more attention in comparison to x shape concentric braced frame (CBF). But, its stiffness is less and it has more potential for out of plane buckling. One of the extensively used methods for improving the seismic behavior of the structural systems is using the passive control systems. By reducing seismic demand and increasing ductility, this control way can reduce the rate of seismic damage. Yielding dampers are one of the elements to achieve this kind of control in the structures. Because of good ability of yielding dampers in earthquake energy dissipation, the use of these dampers is increased through recent decade in passive control of structures. Due to development of passive control methods for earthquake energy dissipation and for preventing the structures from earthquake losses, this paper proposes a new improved dissipating element for Y shape bracing systems which could be used for structural rehabilitation of steel structures. The basis of the proposed element operation is its operation as a fuse element to improve the bracing elements behavior. The operation of the proposed element is in such a way that before formation of a hinge in bracing element, the presented element is yielded and by absorbing appropriate energy, prevents the bracing elements from inappropriate performance. Before inserting the proposed element in the bracing frames, using the ANSYS software, the element performance is studied for different dimensions and appropriate dimensions are determined. The energy absorbing element is inserted into two different positions in the bracing systems of interest. 2D steel frames with three different number of stories (4, 6 and 8 story frames) are modeled in SAP 2000 software, using conventional braced frames and their behavior is compared to braced frames with the proposed energy absorbing element. The frames are analyzed through nonlinear time history analysis, using appropriate time history records from near source and far source locations. The results show the appropriate ductility of the proposed element, the improvement of bracing elements behavior and also, the higher energy dissipation of the new bracing system, which can be shown through comparison of the hysteresis loops of the bracing frames, solely and those with proposed elements. It could be shown that the ductility of the system is affected by the position of the proposed element. Reducing the base shear due to earthquake records and also decreasing the permanent displacement of the structural stories after earthquake occurrence are some of other advantageous of the presented element. Inserting the new proposed elements in bracing system can also reduce the input energy of the system, during the earthquake. In general view, it can be concluded that by appropriate design of the proposed element, the other structural elements behave elastically and the inelastic behavior is happened in the presented elements, which is resulted in improving the seismic structural performance of the new system. The results of this study can be used in seismic design of earthquake resistant structures.

**Keywords:** Y-shape bracing frame, Energy dissipation, Seismic control, Rehabilitation, Ductility