



## بهبود رفتار لرزه‌ای مهاربند دروازه‌ای با استفاده از المان شکل پذیر در حوزه نزدیک گسل

مرتضی نقی پور<sup>۱</sup>، محسن بزرگ نسب<sup>۲</sup>، سید سعید سمائی<sup>۳</sup>  
(تاریخ دریافت: ۹۲/۰۵/۱۶، تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۲/۰۱)

### چکیده

مهاربند دروازه‌ای یکی از انواع سیستم‌های مهاربندی رایج در تامین سختی مناسب برای مقابله با بارهای جانبی است که در طراحی و یا بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها مورد توجه قرار می‌گیرد. این نوع مهاربند، از منظر معماری نسبت به اکثر سیستم‌های مهاربندی هم محور دارای مزیت بوده و از سویی دیگر دارای سختی جانبی نسبتاً کم و نیز پتانسیل کماتش خارج از صفحه می‌باشد. لذا کاهش نقاط ضعف این نوع مهاربند با استفاده از یک المان جاذب انرژی از اهداف این پژوهش می‌باشد. المان پیشنهادی شامل یک قوطی و یک حلقه است که در محل اتصال یکی از اعضای مهاربندی به صفحه اتصال گوشه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این المان شکل پذیر در ابتدا در یک نرم افزار المان محدود مورد مطالعه قرار می‌گیرد. با تغییر ابعاد و مطالعه رفتار حاصله، ابعاد مناسب و نیز رفتار غیر خطی نظیر استخراج شده و در سایر مطالعات مورد استفاده قرار می‌گیرد. با استفاده از این نتایج، المان مورد مطالعه در تعدادی قاب دو بعدی دارای مهاربند دروازه‌ای مورد استفاده قرار گرفته و بهبود رفتار مهاربندی تحت تکانه‌های حوزه نزدیک گسل با کمک تحلیل‌های دینامیکی غیر خطی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. نتایج حاصله، تاثیر مناسب المان شکل پذیر پیشنهادی در بهبود رفتار لرزه‌ای مهاربند دروازه‌ای را نشان می‌دهد.

### کلمات کلیدی

مهاربند دروازه‌ای، استهلاک انرژی، کنترل سازه‌ای، بهسازی لرزه‌ای

## Improvement of the Seismic Behavior of Y-Shape Bracing using a Ductile Element, in Near Source Zone

M. Naghipour, M. Bozorgnasab, S.S. Samaee

### ABSTRACT

Y-shape bracing is one of the common bracing systems in providing appropriate stiffness against lateral loads which is used in design or seismic rehabilitation of structures. This type of bracing system has some architectural advantages in comparison to most of the concentric braced frames; on the other hand, these braced frames have relatively low lateral stiffness with the potential of out of plane buckling; so this paper aims at reducing these weak points by introducing an energy absorbing element. The proposed element consists of a box and a ring which is placed near the connection of one of bracing elements to the gusset plate. This ductile element is primarily studied in commercial finite element software. By changing in its dimensions and surveying the resulted behavior, appropriate dimensions and their related nonlinear behavior is extracted and applied in other studies. Using these results, the presented element is placed in some two-dimensional y-shape braced frames and the improvement in the behavior of the bracing system under near source earthquakes is investigated through nonlinear dynamic analysis. The results show the appropriate effect of the proposed ductile element in seismic behavior improvement of the y-shape bracing.

### KEYWORDS

Y-shape bracing, Energy dissipation, Structural control, Seismic rehabilitation

۱- دانشیار دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی، بابل

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

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشگاه شمال، آمل، saeed\_samaee71@yahoo.com (نویسنده مسئول)



در نتیجه از کماتش مهاربند جلو گیری شده و از ورود اعضای سازه‌ای به مرحله غیر خطی جلوگیری می‌گردد.

#### ۱-۱- سابقه تحقیق

تحقیقات گذشته عمدتاً مربوط به بررسی پایداری کماتش در مهاربندهای دروازه‌ای بوده است. Moghaddam و Estekanchi [۴] رفتار نیرو-تغییر مکان سیستم مهاربند دروازه‌ای را با یک الگوی سخت شونده‌ی 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 نماید.

Zamani و همکارانش [۵] پژوهشی در ارتباط با مهاربند دروازه‌ای با مقاطع و ورق‌های اتصال مختلف (ورق اتصال دوبل و تک) انجام دادند. نتایج آن پژوهش نشان می‌دهد که در بادبند دروازه‌ای، کماتش خارج از صفحه مد غالب رفتاری می‌باشد.

اولین مطالعات در زمینه میراگرهای فلزی در مطالعات Kelly و همکارانش [۶ و ۷] تشریح گردید؛ سپس Tsai و همکارانش [۸] المانی جدید تحت عنوان TADAS را معرفی کردند. عدم قابلیت استفاده این المان در مهاربندهای ضربردی و سختی ساخت از مشکلات استفاده از آن می‌باشد. در سال‌های اخیر، المان‌های شکل پذیر خمشی با دیدگاه‌های جدید مطرح شده است. Malek و همکارانش [۹] میراگر غیر فعال حلقوی با مقطع قوطی در محل تقاطع مهاربند ضربردی را مورد مطالعه قرار دادند؛ Molseghi و Vetr [۱۰] سیستم جدیدی تحت عنوان المان پیچشی را ارائه نمودند؛ سیستم ارائه شده در انتهای مهاربند قطری مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاصله نشان داد که المان پیچشی مورد استفاده از کماتش مهاربند جلوگیری کرده است. ایده استفاده از المان حلقه فولادی در نقطه اتصال یک عضو مهاربند به صفحه اتصال گوشه توسط کافی پیشنهاد گردید [۱۱]. نتایج آن پژوهش نشان داد حلقه

روش‌های مرسوم طراحی لرزه‌ای سازه‌ها بر مبنای تامین مقاومت و شکل پذیری است. بدین دلیل، در زلزله‌های شدید، با ایجاد مفاصل پلاستیک در عناصر سازه‌ای، تغییر مکان ماندگار در سازه ایجاد می‌شود که نتیجه آن تضعیف عملکرد سازه‌ای پس از زلزله خواهد بود. این در حالی است که امروزه با استفاده از علم کنترل سازه‌ها، ارتعاش در سازه می‌تواند با کمک سیستم‌های مستهلک کننده انرژی کنترل گردد. این امر منجر به کاهش پاسخ تغییر مکان یا شتاب سازه در برابر بارهای جانبی زلزله می‌گردد. در طراحی لرزه‌ای سازه‌ها با وسایل جاذب انرژی، معمولاً نیازهای مقاومت مورد نظر آئین نامه‌ها برای سازه بدون در نظر گرفتن این وسایل تامین شده و محدودیت تغییر مکان جانبی آنها بوسیله میرایی بهبود یافته توسط میراگرها تامین می‌گردد. با افزودن میراگرها، با عنایت به محدود شدن تغییر مکان، نیاز به استفاده از مقاطع قویتر کاهش خواهد یافت؛ همچنین با توجه به اتلاف انرژی توسط میراگرها، خرابی سازه در هنگام زلزله کاهش می‌یابد [۳-۱]. مطالعات انجام شده بر روی این وسایل، باعث ایجاد فلسفه طراحی جدیدی گردیده که بر افزایش ظرفیت استهلاک انرژی در سازه تاکید دارد و سازه به جای مقاومت در برابر زلزله، در مقابل آن کنترل می‌شود. به عبارت دیگر، انرژی زلزله به جای جذب شدن در اعضای سازه‌ای و در نتیجه خرابی احتمالی آنها، در این میراگرها جذب می‌شود. در حقیقت عملکرد این وسایل در سازه همانند یک فیوز خواهد بود. در این پژوهش برای کاهش مشکلات مربوط به مهاربند دروازه‌ای، از ایده فوق استفاده شده است. بدین معنا که سیستم مهاربندی به وسیله یک سیستم اتلاف انرژی غیرفعال نوین تجهیز می‌گردد تا تغییر مکان طبقات و سختی مورد نیاز قاب تامین شده و از کماتش زود هنگام مهاربند در زمان رخداد زلزله‌های شدید جلوگیری گردد. برای این منظور، یک المان شکل پذیر در انتهای مهاربند تعبیه می‌شود. طراحی این المان به نحوی است که قبل از رسیدن مهاربند به بار بحرانی، دچار تسلیم شده و با تشکیل مفصل پلاستیک، جذب انرژی می‌نماید.



$E_I$ : انرژی ورودی به سازه یا کار انجام شده توسط نیروی برش پایه بر اثر تغییر مکان پی؛  $E_K$ : انرژی جنبشی سازه؛  $E_S$ : انرژی تغییر شکل الاستیک یا کرنش خطی؛  $E_H$ : انرژی هیسترتیس یا کرنش غیر خطی و  $E_{\square}$ : انرژی تلف شده در سازه توسط میرایی لزج می‌باشد.

مجموع انرژی‌های محافظه کار در سازه معادل  $E_E = E_K + E_S$  می‌باشد که به نام انرژی ارتعاش الاستیک خوانده می‌شود. مجموع انرژی‌های غیر محافظه کار معادل  $E_A = E_H + E_{\square}$  می‌باشد که انرژی جذب شده در سازه نامیده می‌شود و قابل بازگشت نمی‌باشد. این انرژی صرف کار لازم جهت ایجاد تغییر مکان دائمی در اعضای سازه‌ای و یا صرف کار تلف شده توسط میرایی لزج در سیستم گردیده است. با این توصیف رابطه (۱) به صورت زیر قابل بازنویسی است:

$$E_I = E_A + E_E \quad (2)$$

بر این اساس چنانچه انرژی ورودی در سازه تحت یک زلزله مشخص مقدار ثابتی باشد، می‌توان با افزایش  $E_H$  به افزایش  $E_A$  و در نتیجه کاهش  $E_E$  دست یافت. به بیان واضح‌تر چنانچه در سازه‌های تحت تحریک لرزه‌ای، عناصری وجود داشته باشند که با افزایش میرایی طبیعی سازه و یا بروز رفتار غیر خطی، میزان انرژی مستهلک شده در سازه را افزایش دهند، باعث کاهش انرژی استهلاک الاستیک (که خود عامل ایجاد خرابی در سازه می‌باشد) خواهند گردید. در این مقاله با افزودن المان‌های میراگر جاری شونده به قاب‌های مهاربندی شده فلزی، تلاش شده تا مقدار  $E_H$  (انرژی کرنش غیر خطی) در سازه افزایش یابد.

## ۲-۲- معرفی المان پیشنهادی

المان مورد نظر مطابق شکل (۱) از یک قوطی و یک حلقه و دو صفحه اتصال تشکیل شده است [۱۳]. با مدل سازی المان مربوطه در نرم افزار المان محدود با در نظر گرفتن ابعاد مختلف انتخابی، ابعاد نهایی المان پیشنهادی مطابق مشخصات موجود در جدول (۱) می‌باشد. مصالح مورد

فولادی از شکل پذیری خوبی برخوردار است و می‌تواند مانند یک فیوز عمل کند.

## ۲- میراگرهای فلزی (تسلیمی)

در این میراگرها از تغییر شکل غیرالاستیک فلزات شکل پذیری مانند فولاد و سرب جهت اتلاف انرژی استفاده می‌شود. با استفاده از این نوع میراگر، انرژی منتقل شده به سازه صرف تسلیم و ایجاد رفتار غیر خطی در قطعات بکار رفته در میراگر می‌گردد. این در حالی است که در تمام سازه‌های فولادی مرسوم، اتلاف انرژی بر شکل پذیری اعضای فولادی پس از تسلیم متکی است. بنابراین استفاده از این نوع میراگرها می‌تواند اتلاف انرژی و رفتار شکل پذیر را از اعضای اصلی سازه به این میراگرها منتقل سازد. استفاده از میراگرهای فلزی تسلیمی در مهاربندها متداول‌تر از سایر اعضای سازه‌ای می‌باشد. این نوع میراگرها اغلب از چند ورق فولادی موازی تشکیل می‌شوند و در ترکیب با یک سیستم مهاربندی، نقش جذب و اتلاف انرژی را بر عهده می‌گیرند. این قسمت از مهاربند به عنوان یک فیوز در سازه عمل نموده و با تمرکز رفتار غیر خطی در خود، مانع از بروز رفتار غیر خطی و آسیب در سایر اجزای اصلی و فرعی سازه می‌گردد.

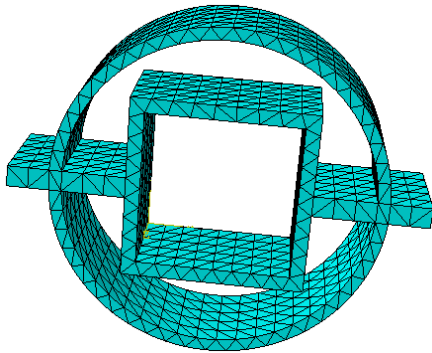
## ۲-۱- مکانیزم اتلاف انرژی در وسایل مستهلک کننده

### انرژی

ماهیت خرابی در سازه‌ها، به میزان انرژی ورودی به سازه و چگونگی توزیع این انرژی در المان‌های سازه‌ای وابسته می‌باشد. در سال‌های اخیر، بررسی رفتار سازه‌ها بر اساس انرژی، به منظور کاهش انرژی وارده به سازه یا اتلاف آن در اجزای مختلف سازه‌ای مورد توجه قرار گرفته است. چنانچه موازنه انرژی ورودی را مدنظر قرار دهیم، خواهیم داشت [۱۲]:

$$E_I = E_K + E_S + E_H + E_C \quad (1)$$

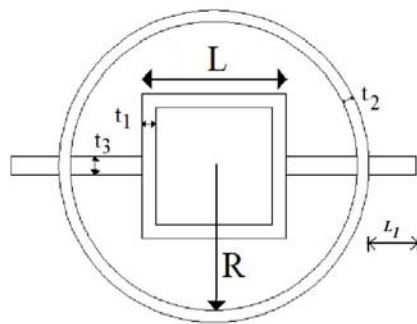
در معادله فوق:



شکل (۲): نمایش مش بندی المان پیشنهادی

از المان SOLID95 برای مدل سازی استفاده شده است. برای مدل سازی منحنی تنش- کرنش و نحوه سخت شوندگی اعضا مدل تنش کرنش چند خطی سینماتیک مورد استفاده قرار گرفت. برای بررسی رفتار المان، از تحلیل دینامیکی غیرخطی استفاده شده است. شکل (۳)، نمودار بارگذاری اعمالی که براساس آیین نامه ATC 40 [۱۴] اعمال شده را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود، بارگذاری بصورت رفت و برگشتی و از مقادیر اندک جابجایی آغاز شده و مقدار آن به تدریج افزایش می‌یابد. همانطور که از شکل (۳) مشاهده میشود بارگذاری از تغییر مکان کم تا شکست عضو ادامه می‌یابد. المان پیشنهادی در تغییر مکان ۰/۹۸ سانتی متر دچار شکست می‌گردد و حداکثر ظرفیت باربری آن ۱۲۳۴۰ کیلوگرم می‌باشد. منحنی نیرو-تغییر مکان المان پیشنهادی، میزان اتلاف انرژی و توزیع تنش فون میز به عنوان خروجی تحلیل در نظر گرفته شده است. منحنی نیرو-تغییر مکان المان پیشنهادی در شکل (۴) آمده است. این نمودار می‌تواند به عنوان ورودی برای نرم افزار SAP مورد استفاده قرار گیرد. منحنی هیستریزس المان پیشنهادی در شکل (۵) نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود المان پیشنهادی دارای شکل پذیری مناسبی می‌باشد.

استفاده در مدل سازی المان، فولاد ST37 با چگالی  $7850 \text{ kg/m}^3$ ، مدول الاستیسیته  $E=200 \text{ Gpa}$  و ضریب پواسون  $0/3$  می‌باشد. بعد عمود بر صفحه المان پیشنهادی ۱۰ سانتی متر بوده و توسط دو صفحه ۵ سانتی متری به سایر المان‌های سازه‌ای متصل می‌گردد. همچنین مدل رفت و پسماند آن سینماتیک سخت شونده دو خطی می‌باشد. ضمن آنکه طراحی المان پیشنهادی به گونه‌ای خواهد بود که قبل از وقوع کمانش در عضو فشاری مهاربند، المان پیشنهادی تسلیم شده و ضمن جذب انرژی مناسب، از کمانش مهاربند جلوگیری می‌کند.

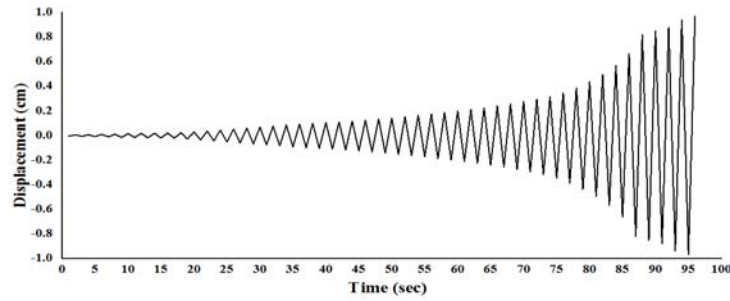


شکل (۱): المان پیشنهادی

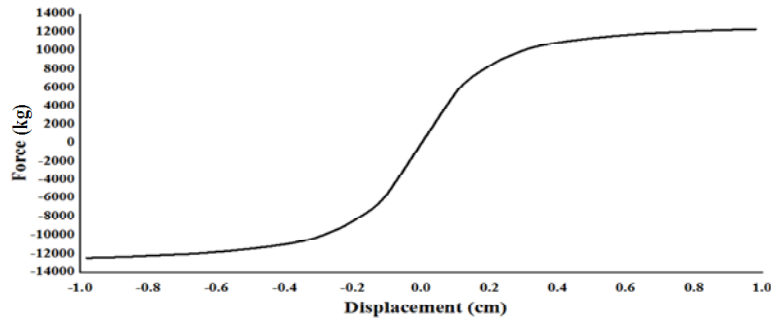
جدول (۱): مشخصات هندسی المان پیشنهادی

نوع فولاد	$t_1$ (cm)	$t_2$ (cm)	$t_3$ (cm)	R (cm)	L (cm)	$L_1$ (cm)
St37	۱/۴	۱/۲	۲	۱۵	۱۵	۵

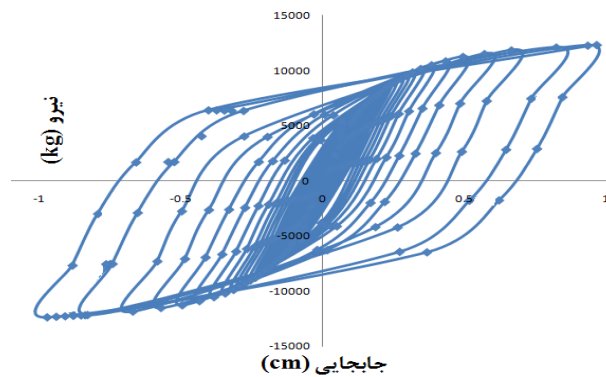
۲-۲-۱- مدل سازی و مطالعه عملکرد المان  
به منظور بررسی عملکرد المان پیشنهادی تحت اثر بارهای رفت و برگشت زلزله، مدل پیشنهادی با مشخصات ذکر شده و به صورت سه بعدی در نرم افزار ANSYS مدل گردید. همانطور که پیش‌تر بیان گردید، هدف از مدل سازی اجزای محدود، انتخاب ابعاد مناسب و بدست آوردن اطلاعات مورد نیاز ( همانند سختی و نیروی تسلیم) می‌باشد. برای استفاده از المان پیشنهادی در سیستم‌های سازه‌ای در نرم افزار SAP بوده است. شکل (۲)، المان پیشنهادی با مش بندی اجزای محدود را نشان می‌دهد.



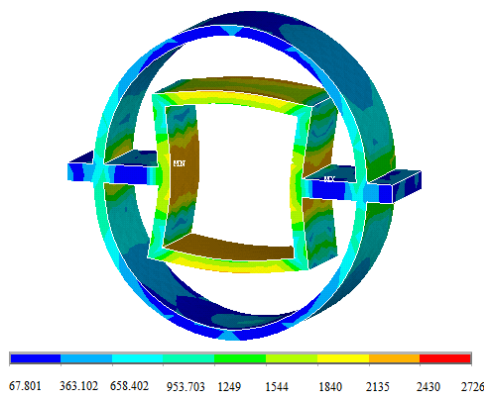
شکل (۳): تاریخچه بارگذاری



شکل (۴): منحنی نیرو-تغییر مکان المان پیشنهادی



شکل (۵): منحنی هیستریسیس المان پیشنهادی



شکل (۶): توزیع تنش فون میزز در المان پیشنهادی

توزیع تنش فون میزز در المان پیشنهادی تحت بارگذاری آیین نامه ATC40، در شکل (۶) ارائه شده است. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود تنش‌های محیطی داخل قوطی بزرگ‌تر از تنش‌های محیطی خارج آن بوده و بدین‌سان انتظار می‌رود شکست از داخل شروع و به محیط خارجی برسد. ضمناً به دلیل ظرفیت فلزات در فشار کمتر از کشش است، احتمالاً شکست هنگامی رخ می‌دهد که قوطی تحت فشار قرار دارد و سطح داخلی بیشترین تنش فشاری را تحمل می‌کند.

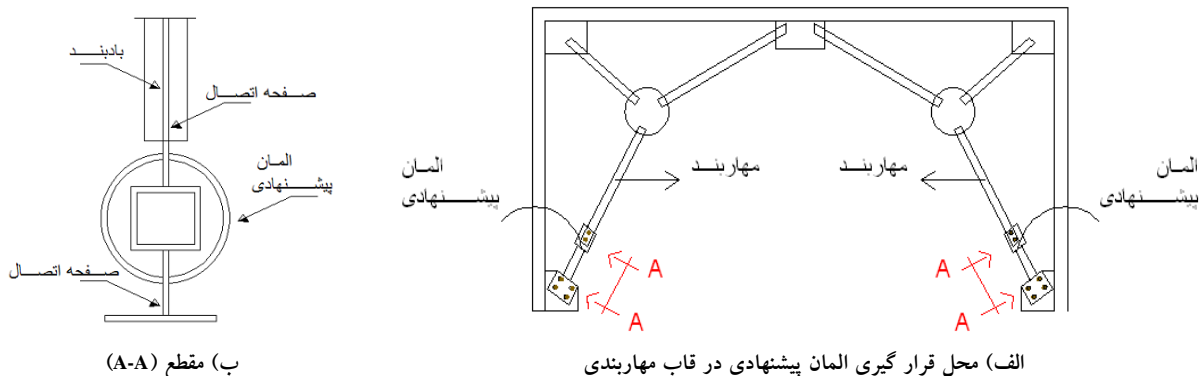
### ۳- مدل سازی و آنالیز در نرم افزار SAP

می‌باشد. چون در سیستم‌های سازه‌ای مهاربندی شده با توجه به سهم عمده مهاربندها در جذب نیروی جانبی در هنگام زلزله، قسمت عمده نیروی حاصل از زلزله توسط این اعضا تحمل می‌شود و در صورت گسیختگی این اعضا در زمان زلزله، ساختمان به طور حتم دچار خرابی‌های سازه‌ای فراوانی خواهد شد. دلیل این امر آن است که عملکرد مهاربندها با یکدیگر به صورت موازی است و با گسیختگی اولین مهاربند در یک طبقه خاص، نیروی‌های جانبی حاصل از زلزله در این طبقه متمرکز می‌گردد و باعث گسیخته شدن دیگر مهاربندهای این طبقه خواهد شد. این امر باعث می‌شود این طبقه نسبت به دیگر طبقات سازه نرم‌تر شود و سختی آن کاهش یابد که نتیجه آن تغییر مکان‌های جانبی بیشتر در یک طبقه خاص از سازه و در نهایت خرابی و گسیختگی کل سیستم سازه‌ای خواهد بود [۱۵].

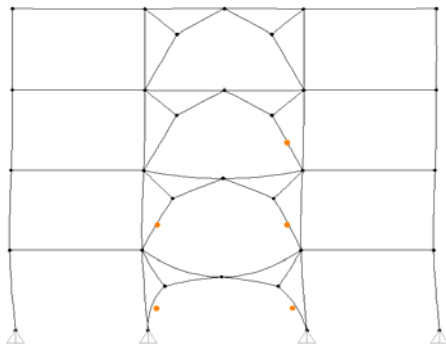
همانگونه که در شکل (۸) تا (۱۰) مشاهده می‌شود در قاب با مهاربند معمولی، مفاصل پلاستیک، در بسیاری از مهاربندها تشکیل شده است. بیشتر مفاصل تشکیل شده در مهاربندها به مرحله فروریزش رسیده است؛ در حالیکه در قاب با المان پیشنهادی تمام اعضا به حالت الاستیک باقی مانده و مفصل پلاستیک تشکیل نشده است و خرابی در المان پیشنهادی متمرکز شده است که بیانگر رفتار مناسب المان پیشنهادی می‌باشد.

با توجه به آنچه پیش‌تر بیان گردید، با عنایت به تعیین خصوصیات المان، در ادامه اثرات اضافه نمودن این عضو به قاب‌های مهاربندی دروازه‌ای، با کمک نتایج حاصل از مدل سازی و تحلیل در نرم افزار SAP نشان داده می‌شود. نحوه قرارگیری المان پیشنهادی در قاب در شکل (۷) نشان داده شده است. در این مقاله سه قاب دو بعدی ۴، ۶ و ۸ طبقه با سه دهانه مورد مطالعه قرار می‌گیرد. بارگذاری لرزه‌ای قاب‌ها مطابق ویرایش سوم آیین نامه زلزله ایران (استاندارد ۲۸۰۰) انجام پذیرفته است و مدل‌ها بر روی خاک نوع دو بر اساس همین آیین نامه بنا شده‌اند. برای این منظور، ابتدا قاب‌های مورد نظر در نرم افزار SAP مدل شده و پس از طراحی با استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم، مقاطع اعضا بدست آمده است. در ادامه هر یک از قاب‌های مورد نظر به همراه مهاربند در نرم افزار SAP در دو حالت مدل شده است: قاب مهاربندی بدون المان پیشنهادی و نیز قاب مهاربندی با المان پیشنهادی در انتهای مهاربند. قاب‌های مدل شده تحت سه شتاب نگاشت کوبه، نورتریج و لوماپرتیا و با کمک تحلیل دینامیکی غیر خطی (تاریخچه زمانی غیر خطی) مورد بررسی قرار گرفته‌اند (شکل‌های (۸) تا (۱۰)). برای مدل سازی المان پیشنهادی در انتهای مهاربند، از لینک غیر خطی چند خطی سینماتیک استفاده شده است.

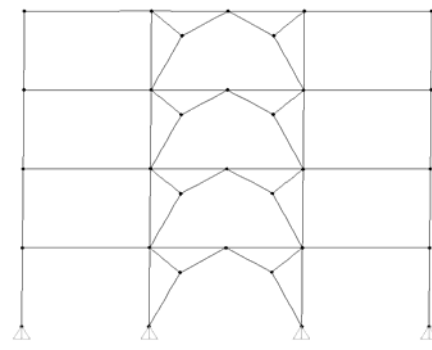
نکته بسیار مهم نحوه تشکیل مفصل پلاستیک در سازه



شکل (۷): نحوه قرارگیری المان پیشنهادی در قاب در مدل دو

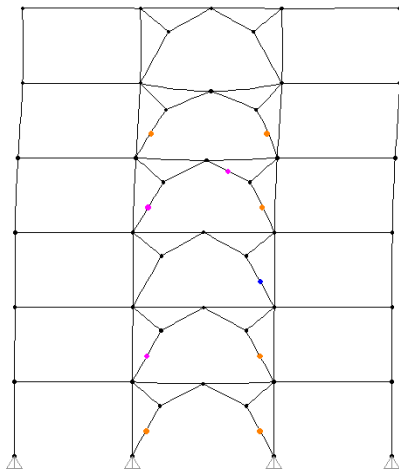


ب) قاب با مهاربند معمولی

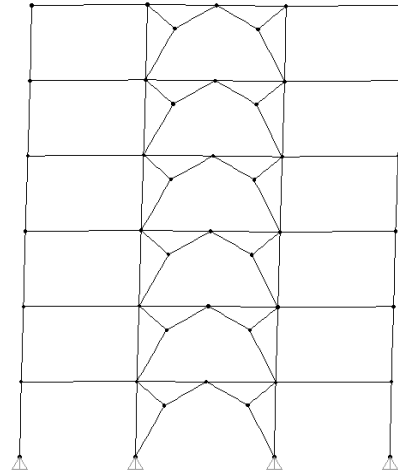


الف) قاب با المان پیشنهادی

شکل (۸): نحوه تشکیل مفصل پلاستیک در زلزله نورتریج (نزدیک گسل) در قاب چهار طبقه

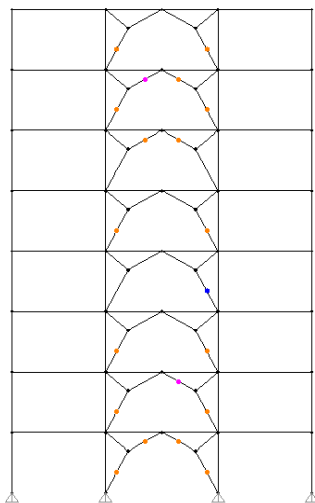


ب) قاب با مهاربند معمولی

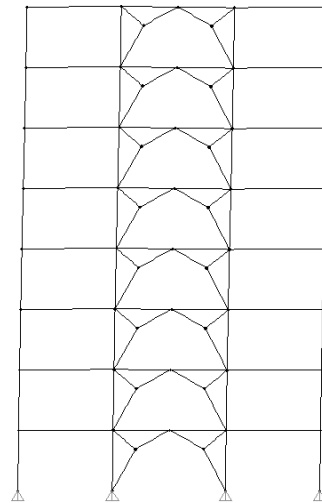


الف) قاب با المان پیشنهادی

شکل (۹): نحوه تشکیل مفصل پلاستیک در زلزله نورتریج (نزدیک گسل) در قاب شش طبقه



ب) قاب با مهاربند معمولی



الف) قاب با المان پیشنهادی

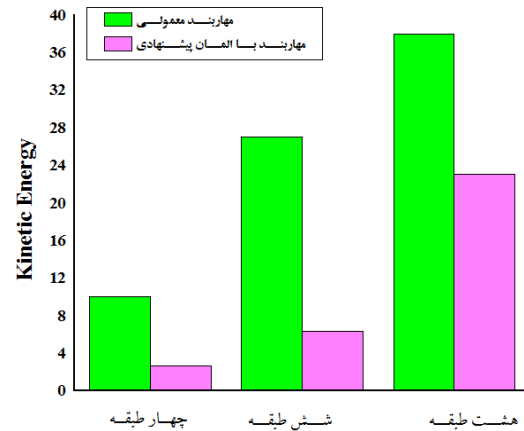
شکل (۱۰): نحوه تشکیل مفصل پلاستیک در زلزله نورتریج (نزدیک گسل) در قاب هشت طبقه

طبقات، ملموس تر است. (کاهش در قاب‌های ۴، ۶ و ۸ طبقه، به طور متوسط تحت اثر رکوردهای مختلف به ترتیب ۵۰، ۵۴ و ۶۰ درصد می‌باشد).

در شکل (۱۳) اثر تغییرات ارتفاع بر روی برش پایه تحت رکوردهای حوزه نزدیک گسل را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل (۱۳) مشاهده می‌شود، برش پایه در هر قاب‌های مهاربندی شده دارای میراگر بیش از ۶۰ درصد کاهش یافته است. نتایج نشان می‌دهد که برش پایه، به طور متوسط، در اثر زمین لرزه‌های مختلف به ترتیب ۶۰، ۶۷ و ۷۲ درصد برای قاب‌های ۴، ۶ و ۸ طبقه در حالت استفاده از المان پیشنهادی کاهش داشته که این موضوع، بیانگر رفتار بهتر قاب با المان جاذب انرژی به خصوص در قاب‌ها با ارتفاع بیشتر می‌باشد.

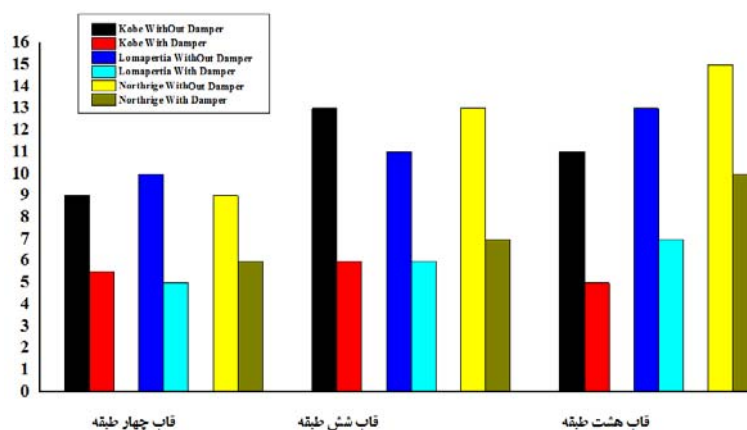
در شکل (۱۴) اثر بکارگیری المان پیشنهادی بر روی نیروی وارد به مهاربند در طبقه همکف تحت رکورد حوزه نزدیک گسل در زلزله نورتریج نشان داده شده است. همانطور که در شکل (۱۴) مشاهده می‌شود، نیروی ماکزیمم در قاب‌های مهاربندی در قاب‌های ۴، ۶ و ۸ طبقه در حالت استفاده از میراگر، بیش از ۷۰ درصد کاهش یافته است (به ترتیب ۷۲، ۷۸ و ۸۲ درصد کاهش برای قاب‌های ۴، ۶ و ۸ طبقه). این اعداد نشان از عملکرد مناسب المان پیشنهادی به خصوص در حالت افزایش ارتفاع دارد.

در شکل (۱۱) تغییرات انرژی جنبشی در مهاربند معمولی و مهاربند با المان پیشنهادی در طبقات نشان داده شده است. همانطور که در شکل (۱۱) مشاهده می‌شود، انرژی جنبشی در قاب با المان پیشنهادی نسبت به مهاربند معمولی کاهش یافته است که این موضوع از اهمیت خاصی برخوردار است؛ چراکه انرژی جنبشی سبب ایجاد خرابی در سازه می‌گردد.



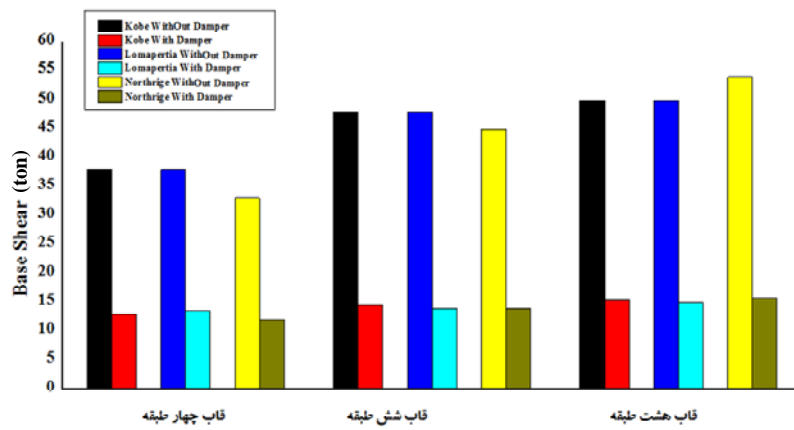
شکل (۱۱): مقایسه انرژی جنبشی در زلزله نورتریج

در شکل (۱۲)، اثر تغییرات ارتفاع بر روی شتاب وارد به بام تحت رکوردهای حوزه نزدیک گسل نشان داده شده است. همانطور که از شکل (۱۲) بر می‌آید، شتاب ماکزیمم در قاب‌های مهاربندی، در حالت استفاده از میراگر بیش از ۵۰ درصد کاهش یافته است. این کاهش با افزایش تعداد

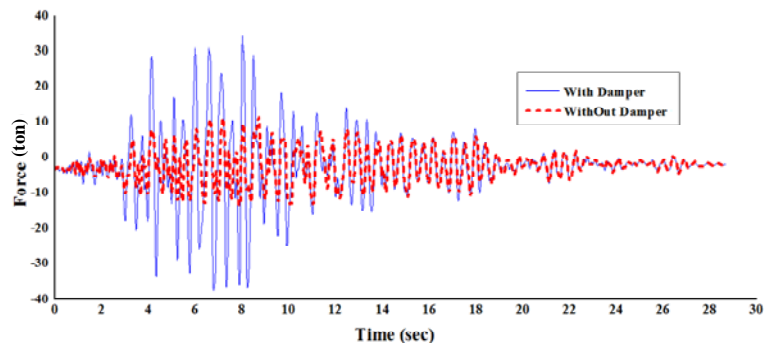


شکل (۱۲): مقایسه شتاب وارد به بام در طبقات مختلف در زلزله نزدیک گسل

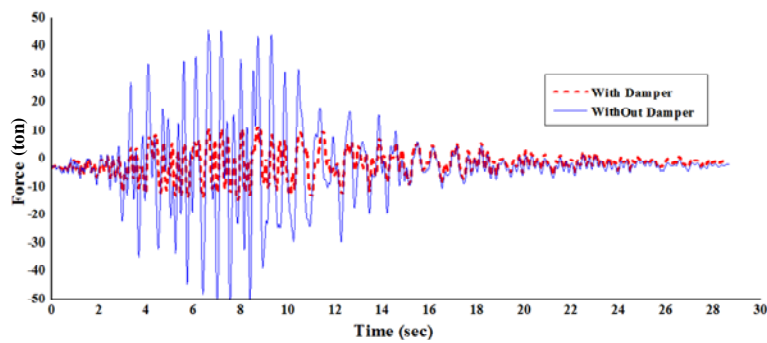




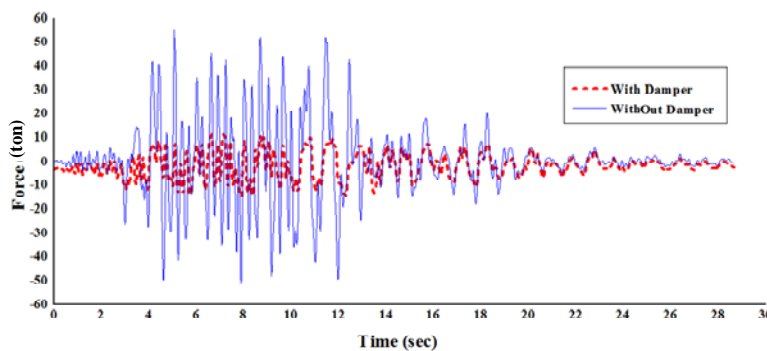
شکل (۱۳): مقایسه برش پایه در طبقات مختلف در زلزله نزدیک گسل



الف) قاب چهار طبقه



ب) قاب شش طبقه



ب) قاب هشت طبقه

شکل (۱۴): مقایسه نیروی وارد به مهاربند طبقه همکف در قاب های مختلف در زلزله نورتریج نزدیک گسل

## ۴- نتیجه گیری

المان پیشنهادی متمرکز گشته‌اند؛ لیکن در قاب با مهاربند معمولی، در بسیاری از مهاربندها مفصل پلاستیک از حالت ایمنی جانی نیز فراتر رفته است. این تحقیق نشان می‌دهد که می‌توان با طراحی دقیق و مبتنی بر واقعیت المان‌های شکل پذیر، جلوی کماتش مهاربند دروازه‌ای را گرفت و باعث ارتقای عملکرد لرزه‌ای آن شد.

## ۵- مراجع

[1] Chan, R.W. and Albermani, F. (2008), "Experimental Study of Steel Slit Damper for Passive Energy Dissipation", *Engineering Structures*, Vol. 30, No. 4, pp. 1058-1066.

[۲] معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، (۱۳۸۹)، "زاهنمای روش‌ها و شیوه‌های بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود و جزئیات اجرایی"، نشریه ۵۲۴.

[۳] زهرائمی، س.م. (۱۳۹۰)، "کنترل غیرفعال ارتعاشات"، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

[4] Moghaddam, H.A. and Estekanchi, H.E. (1999), "Seismic Behaviour of Offcentre Bracing Systems", *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 51, No. 2, pp. 177-196.

[5] Zamani, S.M., Vafai, A., Aghakouchak, A. and Kazemi, M. (2012), "Experimental Investigation of Steel Frames with Single Bays of Symmetrical Y-Shaped Concentric Bracings", *Scientia Iranica*, Vol. 19, No. 2, pp. 195-210.

[6] Kelly, J.M., Skinner, R. and Heine, A. (1972), "Mechanisms of Energy Absorption in Special Devices for Use in Earthquake Resistant Structures", *Bulletin of NZ Society for Earthquake Engineering*, Vol. 5, No. 3, pp. 63-88.

[7] Skinner, R., Kelly, J. and Heine, A. (1975), "Hysteretic Dampers for Earthquake-Resistant Structures", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 3, No. 3, pp. 287-296.

[8] Tsai, K.-C., Chen, H.-W., Hong, C.-P. and Su, Y.-F. (1993), "Design of Steel Triangular Plate Energy Absorbers for Seismic-Resistant Construction", *Earthquake Spectra*, Vol. 9, No. 3, pp.505-528.

[۹] مالک، ش.، پاپسنگ، پ. و لوح قلم، ا. (۱۳۸۵)، "معرفی یک سیستم میراگر غیر فعال نوین و مقایسه آن میراگر موسوم به TADAS"، اولین همایش بین المللی مقاوم سازی لرزه‌ای، تهران.

هدف از این پژوهش، افزایش شکل پذیری و جلوگیری از کماتش مهاربند دروازه‌ای توسط عضوی است که ضمن دارا بودن کارایی و قابلیت مناسب، تهیه و نصب آن به راحتی امکان پذیر باشد. مطالعات انجام شده بر روی سه شتاب نگاشت نزدیک گسل در قاب‌های دو بعدی با ۶،۴ و ۸ طبقه انجام شده است. با توجه به نتایج حاصل از تحلیل، بهبودی رفتار، شکل پذیری و جذب انرژی ناشی از زلزله توسط المان پیشنهادی کاملاً مشهود است. از جمله نتایج این تحقیق عبارتند از:

- المان پیشنهادی می‌تواند با رفتار شکل پذیر خود، زمان کماتش مهاربند را به تعویق بیاندازد تا مهاربند بدون رخداد کماتش مقدار زیادی از انرژی ورودی زلزله را مستهلک نماید.
- استفاده از المان پیشنهادی شکل پذیر، یک روش و ایده در طراحی قاب‌های مهاربندی شده می‌باشد و همچنین می‌تواند به عنوان یک روش آسان، کارا و مقرون به صرفه جهت مقاوم سازی سازه‌های موجود استفاده گردد.
- تعویض المان پیشنهادی در سازه‌هایی که با این سیستم اجرا شوند، پس از یک زلزله نسبتاً شدید در مقایسه با سایر سیستم‌های مهاربندی مرسوم آسان‌تر می‌باشد.
- نیروی برش پایه در قاب با المان پیشنهادی نسبت به برش پایه در قاب با مهاربند معمولی در تمام مدل‌ها کاهش یافته است. این کاهش در قاب‌های مورد بررسی به طور متوسط بیش از ۶۰ درصد بوده است.
- نیروی وارد به مهاربند طبقه همکف با افزایش ارتفاع در قاب با مهاربند جاذب انرژی نسبت به مهاربند معمولی دارای کاهش بیشتری می‌باشد. کاهش این نیرو تحت اثر رکورد حوزه نزدیک مورد بررسی، در قاب‌های مربوطه بیش از ۷۰ درصد بوده است.
- در قاب با المان پیشنهادی، تحت رکوردهای حوزه نزدیک مورد استفاده، در هیچ یک از اعضای سازه‌ای مفصل پلاستیک تشکیل نشده است و خرابی‌ها در



[۱۰] ملصقی، و. و وتر، م.ق. (۱۳۸۵)، "کاربرد المان‌های پیچشی شکل پذیر در مقاوم سازی قاب‌های مهاربندی شده هم مرکز"، اولین همایش بین المللی مقاوم سازی لرزه‌ای، تهران.

[۱۱] کافی، م.ع. (۱۳۸۷)، "بررسی آزمایشگاهی و تحلیلی تاثیر حلقه بر شکل پذیری مهاربندی هم محور"، رساله دکتری، دانشگاه علم و صنعت ایران.

[۱۲] مفید، م. و تجملیان، ح. (۱۳۸۷)، "بررسی رفتار لرزه‌ای قاب‌های مهاربندی شده مجهز به المان‌های میراگر جاری شونده"، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، تهران.

[۱۳] سمائی، س.س. (۱۳۹۲)، "بهبود عملکرد لرزه‌ای قاب‌های با مهاربند دروازه‌ای با استفاده از سیستم‌های جاذب انرژی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شمال.

[14] ATC. (1996), "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings", report ATC-40 Redwood City: Applied Technology Council.

[۱۵] تقی نژاد، ر. (۱۳۸۸)، "طراحی و بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها بر اساس سطح عملکرد با استفاده از تحلیل پوش آور"، نشر کتاب دانشگاهی، تهران.