

## مطالعه تحلیلی کاربرد میراگر TADAS در طراحی و بهسازی ساختمانهای بتن آرمه

سید مهدی زهرائی\* و بهزاد راد\*\*

قطب علمی مهندسی و مدیریت زیر ساختها، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تهران

(دریافت مقاله: ۸۳/۷/۱۴ - دریافت نسخه نهایی: ۸۵/۳/۲۸)

**چکیده** - در سالهای اخیر، زلزله های مخرب شدت آسیب پذیری ساختمانهای موجود در مقابل این دسته از نیروهای ناشی از طبیعت را به خوبی نشان داده اند. یکی از مؤثرترین مکانیزمها برای استهلاک انرژی زلزله توسط تغییر شکل‌های غیر الاستیک قطعات فولادی انجام می‌گیرد. هدف از این تحقیق، بررسی کاربرد میراگرهای TADAS<sup>۱</sup>، استفاده از آنها در استهلاک انرژی زلزله وارد بر ساختمانهای بتنی و بررسی رفتار سازه‌های مجهز به این میراگرهاست. در این مقاله ابتدا میراگرهای TADAS و رفتار سازه دارای چنین میراگرهایی بررسی می‌شود. سپس از یک نوع میراگر در چهار ساختمان نمونه بتنی با خصوصیات مختلف استفاده می‌شود. همچنین با اعمال زلزله های گوناگون سعی شده نتایج جامعتری به دست آید. در این رابطه میراگرهای لازم طراحی شده و عملکرد لرزه‌ای ساختمانهای نمونه به کمک تحلیل دینامیکی غیر خطی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

در اثر نصب میراگرها، پارامترهایی نظیر جابه‌جایی نسبی و مطلق طبقات، شاخص آسیب طبقات و همچنین کل سازه و تشکیل مفاصل پلاستیک به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته و نیز استهلاک انرژی هیسترتیک توسط اعضای سازه‌ای کاهش چشمگیری می‌یابند. علی‌رغم کاهش نیروهای داخلی اعضای سازه‌ای، به علت افزودن سیستم مهاربندی برش طبقات کمی افزایش می‌یابند، ولی قسمت عمده این نیروها در میراگرها متمرکز می‌شوند. در این مقاله همچنین ترکیب سیستم قاب خمشی و دیوار برشی به همراه میراگر TADAS نیز مطالعه شده است که به‌طور مشابه کاهش قابل ملاحظه‌ای در پارامترهای فوق به خصوص جابه‌جایی نسبی و مطلق طبقات و نیز استهلاک انرژی هیسترتیک در اعضای سازه‌ای را نشان می‌دهد.

واژگان کلیدی: میراگر هیسترتیس، بهسازی لرزه‌ای، ساختمان بتنی، شکل‌پذیری، تحلیل دینامیکی غیر خطی

# Analytical Investigation of TADAS Damper Applied in Seismic Rehabilitation & Design of Concrete Structures

S. M. Zahrai and B. Rad

Center of Excellence in Infra structural Engineering and Management,  
School of Civil Engineering, the University of Tehran

**Abstract:** *In recent years, destructive earthquakes have shown the deficiencies of the existing buildings. One of the most effective mechanisms for dissipating the earthquake energy is inelastic deformation of the steel components. The objective of this research is to study the application of metallic dampers for dissipation of the earthquake energy and to investigate the behavior of concrete structures incorporating these dampers. Therefore, the metallic dampers and the behavior of concrete structures having these dampers are studied first. Afterwards, a typical metallic damper is used in four different types of concrete structure. The required dampers are designed and nonlinear earthquake analysis is applied to investigate the behavior of the structures. Finally, the buildings are subjected to various earthquakes to generalize the results. The results show that the incorporation of the metallic dampers significantly decreases the relative and absolute drift, the structure and the stories damage indices and, finally, the number of plastic hinges. Furthermore, the hysteretic energy dissipation demand also decreases in structural components. Despite the reduction in the inner forces of structural components, story shear forces slightly increase due to increase of lateral stiffness, but much of these forces will concentrate in dampers. Moreover, the combination of moment resisting frame, shear wall, and metallic dampers are studied. The results show a similar trend in the stated parameters- especially the drift and the hysteresis energy dissipation demand.*

**Keywords:** *Hysteresis damper, Seismic rehabilitation, Concrete structures, Ductility, Dynamic nonlinear analysis*

## ۱- مقدمه

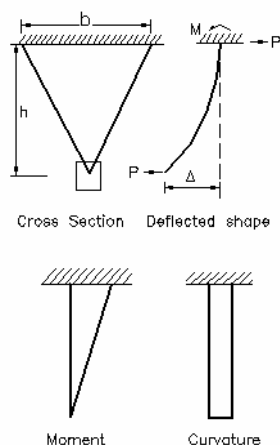
در کشور ما که آئین نامه های طراحی ساختمانها در برابر زلزله اخیراً در دو نوبت دچار ویرایش قابل توجهی شده و به خصوص شرایط ساخت و ساز ساختمانهای موجود چندان مطلوب نیست و تعداد ساختمانهایی که به صورت غیر مهندسی ساخته شده زیاد است [۲]، با توجه به لرزه خیزی غالب نقاط پرجمعیت کشور لزوم تقویت این سازه ها بر هیچ کس پوشیده نیست. در این رابطه استفاده از مفهوم کنترل سازه ها و به کارگیری قطعات مستهلک کننده انرژی، یکی از ساده ترین روشها در جهت مقاوم سازی سازه های موجود است. هدف از این مقاله، مطالعه تحلیلی قطعات میراگرهای TADAS به عنوان یک روش موثر کنترل نافع در استهلاک انرژی زلزله وارد بر ساختمانهای بتنی مسلح جدید و نیز بهسازی رفتار لرزه ای موارد موجود است.

## ۲- میراگرهای هیستریزیس یا جاری شونده

یکی از موثرترین مکانیزمهای موجود برای اتلاف انرژی ورودی به سازه به هنگام زمین لرزه تغییر شکلهای غیرالاستیک ماده فلزات است. در سازه های فولادی متداول، طراحی لرزه ای

به استثنای سازه هایی که به هر دلیلی قرار است الاستیک رفتار کنند، طراحی مناسب اکثر سازه ها در برابر زلزله باید به گونه ای باشد که سازه بتواند تسلیم شود و رفتار غیر الاستیک را تجربه کند بدون اینکه به نحوی تخریب شود. در روشهای جدید طراحی سازه ها در برابر زلزله ابداعات زیادی مبنی بر اعتماد کردن به ابزارهایی برای جذب انرژی در سازه به وجود آمده است. این ابزارها برای نجات سازه از ویرانی به وسیله هدایت جذب انرژی در آنها به جای اعضای سازه ای استفاده می شوند. این ابزارها بعد از یک زلزله قوی در دسترس اند و در صورت لزوم تعویض می شوند. دستاورد بسیار مهم دیگر این است که باربری قائم سازه می تواند جدا از سیستم جذب انرژی و در حقیقت باربری جانبی سازه باشد [۱].

به طور کلی هدف کاربرد این ابزارها این است که جذب انرژی به وسیله رفتارهای خاص در محلهایی که برای این منظور طراحی شده اند اتفاق بیافتد و از رفتار غیر خطی عناصر اصلی سیستم مقاوم باربر جانبی حتی الامکان جلوگیری به عمل آید.



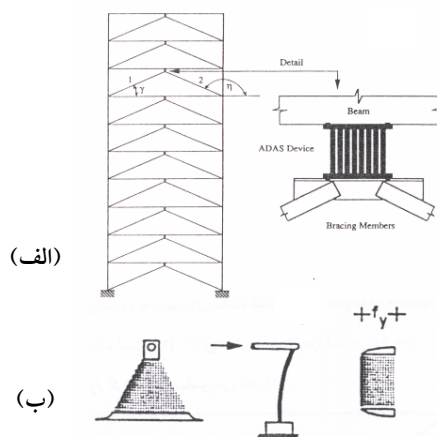
شکل ۲- رفتار پایه یک صفحه مثلثی تحت بار [۸]

زیادی از انرژی را در حین زلزله مستهلک می‌کنند [۴]. آزمونهای مختلف بر روی قطعات TADAS و قابهایی که در آنها از این قطعات استفاده شده، نشان می‌دهد که این قطعات برای جذب انرژی بسیار قابل اطمینان‌اند که بر اساس تحقیقات آزمایشگاهی انجام شده، رفتار هیسترتیک پایدار در تغییر مکانهای حدود  $14\Delta y$  (نسبت تغییر مکان تسلیم قطعه) یا حتی بالاتر از خود نشان می‌دهند و برای ساختمانهایی که در منطقه با خطر لرزه‌ای نسبی بالا قرار گرفته‌اند بسیار مناسب‌اند [۶]. همچنین بهترین تغییر شکل نسبی که در آن بیشترین جذب انرژی توسط این قطعات صورت می‌گیرد مطابق نتایج آزمایشگاهی حدود ۲٪ الی ۴٪ است [۷].

همان‌طور که در شکل (۲) ملاحظه می‌شود، هنگامی که یک تغییر مکان محدود به صورت عمود بر صفحه یک صفحه مثلثی با انتهای گیردار و به رأس آن وارد می‌شود، انحنای خمشی به صورت یکنواخت پخش شده و تسلیم می‌تواند در یک زمان در تمام ارتفاع ورق اتفاق افتد بدون اینکه تمرکز در انحنا به وجود آید. فرض کنید انتهای ورق مثلثی کاملاً گیردار باشد و از تغییر شکل برشی نیز صرف نظر کنید. سختی الاستیک جانبی نظری قطعه TADAS عبارت است از:

$$K_d = \frac{NEbt^3}{6h^3} \quad (1)$$

که E مدول یانگ، N تعداد صفحات مثلثی، t ضخامت ورق



شکل ۱- مکانیزم استهلاک انرژی توسط قطعات TADAS

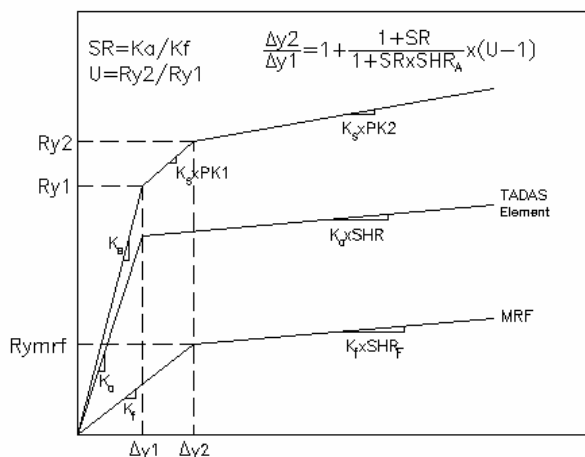
(الف) قاب با قطعات TADAS و اعضای بادبندی [۴]

(ب) نیرو و تغییر مکان قطعه TADAS [۵]

برای فراهم آوردن اتلاف انرژی مورد نیاز بر شکل پذیری بعد از تسلیم اعضای سازه اتکا می‌کند.

از خاصیت جاری شدن فلزات در روشهای دیگری نیز برای افزایش کارایی سازه در مقابل زلزله استفاده می‌شود. از جمله می‌توان به استفاده از سیستم بادبندهای خارج از مرکز اشاره کرد که با به وجود آمدن مفاصل پلاستیک در تیر باعث ایجاد استهلاک انرژی می‌شوند. در حقیقت با استفاده از این سیستم بادبندی، جذب انرژی در طول مشخصی از سازه متمرکز شده و موجب بروز خرابی موضعی می‌شود. اما روشهای دیگری نیز وجود دارد که بر پایه جاری شدن فلزات نرم است. بدین صورت که با افزودن قطعه‌ای فلزی به سیستم و انتقال نیروی حساب شده به آن، موجب جاری شدن آن در هنگام وقوع بارگذاری و در نتیجه مستهلک کردن مقدار زیادی از انرژی ورودی به سازه می‌شود [۳].

قطعات TADAS وسایلی‌اند که سختی و میرایی اضافی به سیستم اعمال می‌کنند. این وسایل شامل صفحات مثلثی شکل فولادی‌اند که برای قرارگیری داخل یک قاب طراحی شده‌اند به طوری که تغییر مکان نسبی طبقات باعث تغییر شکل نسبی رأس این قطعات نسبت به قاعده آنها می‌شود شکل (۱) که در نتیجه با تسلیم حجم زیادی از فولاد، قطعات TADAS مقادیر



شکل ۴- رابطه سه خطی نیرو تغییر مکان قاب TADAS [۸]

است. اگر نسبت  $K_a$  به سختی قاب بدون وجود قطعات TADAS،  $K_f$  را بنامیم آن‌گاه خواهیم داشت:

$$SR = \frac{K_a}{K_f} \quad (6)$$

$$K_a = \frac{K_b K_d}{K_b + K_d} \quad (7)$$

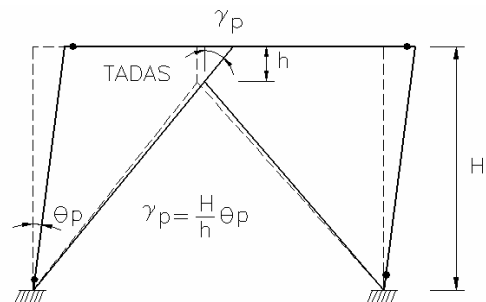
به دلیل اینکه عموماً تسلیم قطعه TADAS زودتر از اینکه قاب وارد ناحیه غیر خطی شود اتفاق می‌افتد رابطه نیرو تغییر مکان قاب را می‌توان به صورت یک مدل ۳ خطی در نظر گرفت [۴]، شکل (۴). در این شکل سختی الاستیک کل قاب TADAS ( $K_s$ ) عبارت است از:

$$K_s = K_a + K_f \quad (8)$$

$\Delta y_1$  و  $\Delta y_2$  عبارت‌اند از تغییر مکان تسلیم سیستم TADAS و تغییر مکان تسلیم قاب تنها بدون سیستم TADAS و بالاخره  $Ry_1$  و  $Ry_2$  عبارت‌اند از مجموع کل نیروهای وارد به قاب برای رسیدن به تغییر مکانهای  $\Delta y_1$  و  $\Delta y_2$ .  $\Delta y_2$  عبارت است از نسبت بین سختی سیستم TADAS بعد از تسلیم و در ناحیه سخت شدگی به سختی اولیه آن، که در نتیجه سختی پس از تسلیم سیستم TADAS عبارت است از  $K_a \times SHR_A$ ، همچنین:

$$U = \frac{Ry_2}{Ry_1} \quad (9)$$

با توجه به روابط موجود رابطه بین  $\Delta y_1$ ،  $\Delta y_2$ ،  $SR$ ،  $U$  و



شکل ۳- مکانیزم استهلاک انرژی [۸]

مثلثی،  $h$  و  $b$  نیز به ترتیب عرض پایه و ارتفاع ورق مثلثی‌اند. مقاومت تسلیم و مقاومت پلاستیک قطعه عبارت‌اند از:

$$P_y = \frac{F_y N b t^2}{6h} \quad (2)$$

$$P_p = \frac{F_y N b t^2}{4h} \quad (3)$$

و نیز تغییر شکل تسلیم  $\Delta y$  عبارت است از:

$$\Delta y = \frac{F_y h^2}{Et} \quad (4)$$

که  $F_y$  تنش تسلیم کششی است.

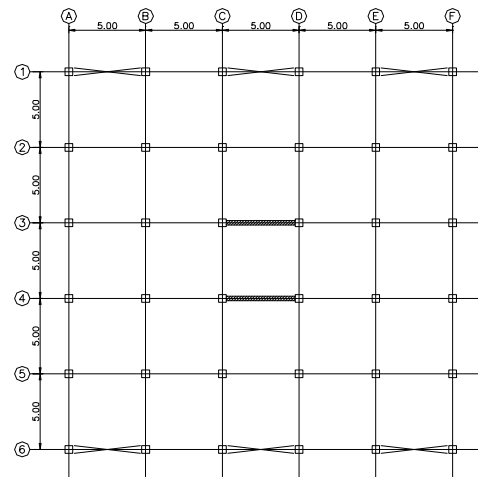
یک قاب TADAS عبارت است از قابی که در آن از قطعات TADAS استفاده شده باشد. شکل (۳) مکانیزم استهلاک انرژی قاب TADAS را نشان می‌دهد. با توجه به هندسه قاب خواهیم داشت:

$$p = \frac{H}{h} p \quad (5)$$

که  $p$  چرخش پلاستیک TADAS،  $p$  زاویه تغییر مکان نسبی طبقه و  $H$  ارتفاع طبقه است [۸].

### ۳- پاسخ قاب TADAS یک درجه آزادی و روش طراحی

برای روشن شدن بحث، یک سیستم TADAS عبارت است از قطعه TADAS و باد بندی شورون که لازمه آن است و یک قاب TADAS که از یک قاب به همراه سیستم TADAS تشکیل شده است. سختی افقی سیستم اضافه شده TADAS،  $K_a$  تابع سختی بادبندیها  $K_b$  و سختی قطعه TADAS،  $K_d$



شکل ۵- معرفی پلان ساختمان مفروض

- و برای پیوندهای بزرگ کمتر از ۲ در نظر گرفته شود.
- ۳- قاب بدون میراگر باید بتواند ۲۵٪ نیروی زلزله را تحمل کند. بدین ترتیب سختی جانبی  $K_f$  و تغییر مکان تسلیم  $\Delta y_2$  در هر طبقه محاسبه می‌شود.
- ۴- با  $SR$  انتخابی و داشتن مقدار نسبت سخت شدگی پس از تسلیم  $SHR_A$  و نسبت مقاومت  $U$  می‌توان سختی میراگر  $K_a$  و تغییر مکان تسلیم میراگر  $\Delta y_1$  را طبق معادلات (۱۱) و (۱۶) به دست آورد.
- ۵- تحلیل نیروی جانبی سازه مجهز به قطعات میراگر برای زمین لرزه طرح انجام شده و گامهای ۳ و ۴ برای برآورده شدن نیازهای طراحی تکرار شود.

- ۶- کنترل طراحی ظرفیت برای تمام اعضا و با فرض آنکه نیروی نهایی ایجاد شده در میراگرهای TADAS برابر  $1.5P_p$  باشد انجام گیرد [۸].

در این مقاله اثر افزودن میراگر TADAS در سیستم مهاربندی بر سازه‌های متعارف بتنی مورد بررسی قرار گرفته و با تغییر پارامترهای مختلف اثرگذار بر آن مانند خصوصیات سازه، ویژگیهای میراگر مورد استفاده و نوع زلزله‌های تحمیلی جامعیت لازم به تحقیق داده می‌شود. به دلیل اینکه هدف از کاربرد این میراگرها کاهش پاسخ غیر خطی سازه است و نیز به این دلیل که این قطعات با تغییر شکلهای غیر الاستیک باعث اتلاف انرژی ورودی زلزله می‌شوند انجام تحلیل غیرخطی دینامیکی اجتناب ناپذیر است. به همین منظور از نرم افزار IDARC 4.0 [۹] برای تحلیل دینامیکی غیر خطی استفاده شده است.

#### ۴- معرفی مدل تحلیلی

پلان ساختمان بتنی نمونه در شکل (۵) معرفی شده است. به منظور بررسی اثر پارامترهای مختلف بر روی نتایج و همچنین حذف وابستگی جوابها به شکل پلان، در تمامی حالات پلان مورد نظر ثابت فرض شده است. به این معنی که حتی در بررسی اثر پارامتر ارتفاع ساختمان بر نتایج تحلیل، سه ساختمان چهار، هفت و ده طبقه که در شکل پلان کاملاً با یکدیگر

$SHR_A$  عبارت است از [۸]

$$\frac{\Delta y_2}{\Delta y_1} = 1 + \frac{1 + SR}{1 + SR \times SHR_A} \times (U - 1) \quad (10)$$

بر اساس مطالعات انجام شده مشاهده می‌شود که مهم‌ترین پارامترهایی که بر پاسخ لرزه‌ای قاب TADAS تاثیر می‌گذارند عبارت‌اند از: نسبت سختی،  $SR$ ، نسبت مقاومت تسلیم جاری شدن (نقطه متناظر با جاری شدن قاب به صفحات TADAS)،  $U$  و تغییر مکان جانبی قاب وقتی که قطعه TADAS تسلیم می‌شود؛  $\Delta y_1$ . شایان ذکر است که افزودن سیستم TADAS، با تابعی از پارامتر  $SR$ ، پیوند ارتعاشی قاب تنها را کاهش می‌دهد که نشان دهنده افزایش سختی آن است. به منظور درک چگونگی تاثیر پارامتر  $SR$  بر پیوند ارتعاشی، قطعات میراگر TADAS مختلفی در یک قاب مشخص وارد می‌شود و پاسخ قاب با وجود این قطعات بررسی می‌شود. از آنجایی که سیستم قطعات میراگر ممکن است به صورت اساسی پیوند ارتعاشی قاب را تغییر دهند؛ تاثیر  $SR$  بر پاسخ لرزه‌ای یک قاب TADAS نسبت به محتوای فرکانسی تحریک زلزله حساس است.

- بر پایه مطالعات انجام شده بر روی چنین قطعات میراگرهای هیستریزیس روش زیر برای طراحی بیان شده است:
- ۱- زلزله طراحی مربوط به حد سرویس محل ساختمان مشخص شود.
- ۲- مقدار  $SR$  برای پیوندهای کوتاه و متوسط کمتر از ۴

جدول ۱- مشخصات ابعاد المانهای ساختمان چهار طبقه قاب خمشی

| طبقه | ابعاد ستون (cm × cm) | ابعاد تیر (cm × cm) |
|------|----------------------|---------------------|
| ۱-۲  | ۴۰ × ۴۰              | ۴۰ × ۴۰             |
| ۳-۴  | ۳۰ × ۳۰              | ۳۰ × ۳۰             |

جدول ۲- مشخصات ابعاد المانهای ساختمان چهار طبقه قاب خمشی و دیوار برشی

| طبقه | ضخامت دیوار (cm) | ابعاد ستون (cm × cm) | ابعاد تیر (cm × cm) |
|------|------------------|----------------------|---------------------|
| ۱-۲  | ۲۰               | ۴۰ × ۴۰              | ۴۰ × ۴۰             |
| ۳-۴  | ۱۵               | ۳۰ × ۳۰              | ۳۰ × ۳۰             |

جدول ۳- مشخصات ابعاد المانهای ساختمان هفت طبقه قاب خمشی

| طبقه | ابعاد ستون (cm × cm) | ابعاد تیر (cm × cm) |
|------|----------------------|---------------------|
| ۱-۲  | ۴۵ × ۴۵              | ۴۵ × ۴۵             |
| ۳-۴  | ۴۰ × ۴۰              | ۴۰ × ۴۰             |
| ۵-۶  | ۳۵ × ۳۵              | ۳۵ × ۳۵             |
| ۷    | ۳۵ × ۳۵              | ۳۵ × ۳۵             |

زلزله‌های طبس، ناغان، السسترو، کرن کانتی و سان فرناندو استفاده شده است.

با توجه به آنکه تحلیل دینامیکی در این مجموعه به صورت روش تاریخچه زمانی غیرخطی انجام شده است، به منظور حذف اثر پارامتر حداکثر شتاب زمین (PGA) در شتاب نگاشتها برای بررسی بهتر و ارزیابی دقیقتر نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی، کلیه شتاب نگاشتها در تمامی حالات بر اساس حداکثر شتاب زمین برابر با ۰/۳۵g، ۰/۴۵g و ۰/۵۵g همپایه شده‌اند.

## ۶- پارامترهای پاسخ

به منظور ارزیابی نتایج حاصل از تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی، از شاخصهای مختلفی می‌توان بهره برد. اما شاخصهای معمول که در حقیقت تفسیر نتایج برپایه آنها صورت می‌گیرد عبارت‌اند از:

۱- توزیع حداکثر تغییر مکان جانبی نسبی طبقات که بر حسب درصدی از ارتفاع هر طبقه بیان می‌شود.

مشابه‌اند، در نظر گرفته شده است. ارتفاع تمامی طبقات ۳/۳ متر است و قابها همگی منظم‌اند. در این مقاله سازه قاب خمشی، سازه مجهز به TADAS و همچنین سیستم دوگانه قاب خمشی و دیوار برشی برای ساختمان چهار طبقه بررسی و این حالات با یکدیگر مقایسه شده‌اند. ابعاد اعضا از جمله تیرها، ستونها و دیوارها برای ساختمانهای نمونه در جداول زیر ارائه شده‌اند.

قاب بدون مهاربند حداقل ۲۵٪ نیروی زلزله تعیین شده را باید تحمل کند. محاسبات مربوط به میراگرها به روش فوق، به طور نمونه برای ساختمانهای چهار طبقه قاب خمشی در جدول (۵) ارائه شده است. همچنین مهاربندها باید قادر به تحلیل نیروی 1.5Pp باشند که مهاربندهای معرفی شده در جداول فوق از این جهت کنترل شده‌اند. ستون مربوط به  $K_{eq}$  به دلیل محدودیت موجود در نرم‌افزار به این جدول اضافه شده است.

## ۵- شتاب نگاشتهای انتخابی و طیفهای مربوطه

به منظور ارزیابی بهتر نتایج، از پنج شتاب نگاشت مربوط به

جدول ۴- مشخصات ابعاد المانهای ساختمان ده طبقه قاب خمشی

| طبقه | ابعاد ستون (cm × cm) | ابعاد تیر (cm × cm) |
|------|----------------------|---------------------|
| ۱-۲  | ۵۵ × ۵۵              | ۵۵ × ۵۵             |
| ۳-۴  | ۵۰ × ۵۰              | ۵۰ × ۵۰             |
| ۵-۶  | ۴۵ × ۴۵              | ۴۵ × ۴۵             |
| ۷-۸  | ۴۰ × ۴۰              | ۴۰ × ۴۰             |
| ۹-۱۰ | ۳۵ × ۳۵              | ۳۵ × ۳۵             |

جدول ۵- طراحی میراگرها (ساختمان چهار طبقه قاب خمشی)

| LEVEL | Fi (tonf) | Hi (m) | Dy2 (cm) | V (tonf) | Kf=V/D (tonf/cm) | SR   | U    | Ka (tonf/cm) | Dy1 (cm) | BRACE | Kb (tonf/cm) |
|-------|-----------|--------|----------|----------|------------------|------|------|--------------|----------|-------|--------------|
| ۴     | ۱۹/۸۳     | ۱۳/۲۰  | ۱/۹۸     | ۱۵۸/۲۸   | ۸۰/۰۶            | ۲/۰۰ | ۲/۰۰ | ۱۶۰/۱۲       | ۰/۵۳     | ۲L۱۰۰ | ۱۰۱۷/۳۰      |
| ۳     | ۱۰/۳۶     | ۹/۹۰   | ۲/۳۲     | ۲۴۰/۹۸   | ۱۰۴/۰۵           | ۲/۰۰ | ۲/۰۰ | ۲۰۸/۱۰       | ۰/۶۲     | ۲L۱۰۰ | ۱۰۱۷/۳۰      |
| ۲     | ۷/۶۹      | ۶/۶۰   | ۱/۲۶     | ۳۰۲/۳۸   | ۲۳۹/۹۸           | ۲/۰۰ | ۲/۰۰ | ۴۷۹/۹۷       | ۰/۳۴     | ۲L۱۲۰ | ۱۴۵۷/۰۸      |
| ۱     | ۱/۵۱      | ۳/۳۰   | ۰/۹۷     | ۳۴۶/۳۵   | ۳۵۶/۳۳           | ۲/۰۰ | ۲/۰۰ | ۷۱۲/۶۵       | ۰/۲۶     | ۲L۱۵۰ | ۲۲۷۸/۳۴      |

جدول ۵ (ادامه)- طراحی میراگرها (ساختمان چهار طبقه قاب خمشی)

| Kd (tonf/cm) | FORCE IN BRACE | Pp (tonf) | Keq (tonf/cm) | b (cm) | t (cm) | h (cm) | N    | Dy1 (final) (cm) | Kd (final) (tonf/cm) |
|--------------|----------------|-----------|---------------|--------|--------|--------|------|------------------|----------------------|
| ۱۹۰/۰۳       | ۲۱/۹۴          | ۱۲۴/۵۹    | ۲۳۱/۷۶        | ۳۵/۰۰  | ۲/۵۰   | ۲۸/۰۰  | ۴/۰۰ | ۰/۵۴             | ۲۰۹/۲۶               |
| ۲۶۱/۶۲       | ۳۴/۶۸          | ۱۸۴/۷۵    | ۲۸۰/۳۷        | ۳۵/۰۰  | ۲/۵۰   | ۳۱/۰۰  | ۷/۰۰ | ۰/۶۶             | ۲۶۹/۸۵               |
| ۷۱۷/۷۳       | ۵۳/۴۱          | ۲۲۵/۳۶    | ۶۲۱/۲۶        | ۳۵/۰۰  | ۲/۵۰   | ۲۳/۰۰  | ۸/۰۰ | ۰/۳۶             | ۷۵۵/۱۲               |
| ۱۰۳۷/۰۳      | ۶۱/۴۳          | ۲۶۲/۲۲    | ۹۵۶/۰۰        | ۳۵/۰۰  | ۲/۵۰   | ۲۰/۰۰  | ۸/۰۰ | ۰/۲۷             | ۱۱۴۸/۴۴              |

شده است:

۱- در این مطالعه به منظور تحلیل و طراحی ساختمانهای در نظر گرفته شده از برنامه SAP2000-8.2.3 استفاده شده است. دلیل استفاده از این نرم افزار سادگی استفاده از آن، به خصوص در توزیع نیروی جانبی زلزله به صورت استاتیکی می باشد که در تحلیل اولیه قابها در نظر گرفته شده است.

۲- به منظور تحلیل غیرخطی استاتیکی و دینامیکی بر روی سازه های مفروض از برنامه غیرخطی IDARC2D-4.0 استفاده شده است [۹] که نرم افزاری مختص قابهای بتنی دارای قاب خمشی و یا دیوار برشی است. برنامه فوق قابلیت تحلیل به صورت دوبعدی را داراست، اما از طریق تعریف المانهای تیر عرضی می توان کل ساختمان را در جهت X و یا Y به صورت قابهای به هم متصل مدل کرد.

از میان کلیه المانهای موجود در برنامه، از المانهای ستون، تیر، دیوار برشی، تیر عرضی و میراگر هیستریزیس استفاده شده است. در برنامه مذکور شکل منحنیهای رفتاری را می توان به

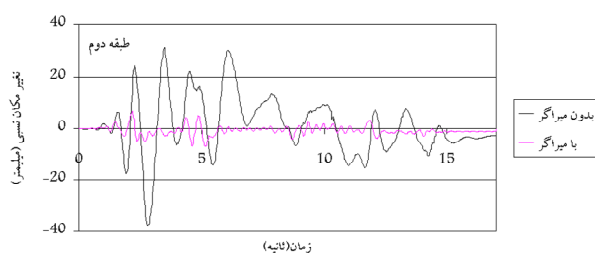
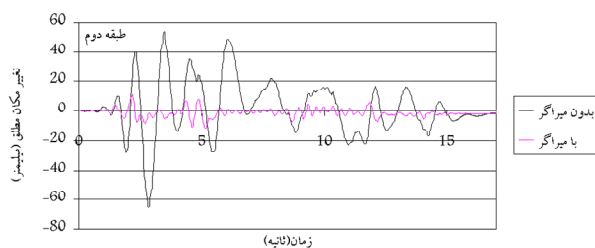
۲- توزیع حداکثر تغییر مکان مطلق طبقات

۳- توزیع حداکثر خرابی در المانهای سازه در هر یک از طبقات و کل سازه

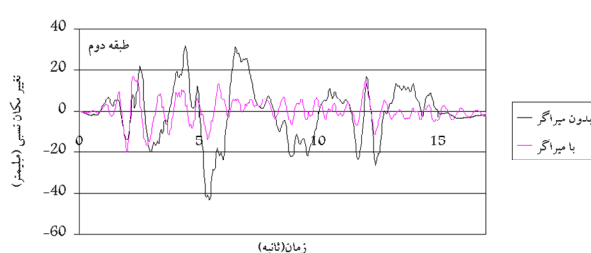
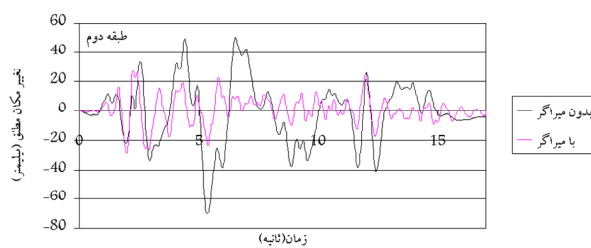
۴- انرژی مستهلک شده توسط رفتار هیستریزیس اعضای سازه. در این تحقیق از معیار خرابی پارک و انگ استفاده شده است. با استفاده از معیار خرابی پارک و انگ قادر به محاسبه شاخصهای مختلفی از خرابی نظیر خرابی المانها، خرابی در طبقات و خرابی کل سازه خواهیم بود. به منظور تعیین خرابی طبقات و خرابی کل سازه به پارامترهای مختلفی از قبیل تغییر شکل نهایی هر طبقه، تغییر مکان هدف، برش تسلیم هر طبقه و برش پایه تسلیم نیاز است. در تخمین شاخصهای خرابی طبقات و کل سازه ضرایب وزنی معرفی خواهد شد که بر پایه فلسفه جذب انرژی در المانها و یا طبقات مختلف یک سازه تعیین می شوند [۱۰].

## ۷- نرم افزارهای تحلیلی برای مطالعه عددی

به منظور پیشبرد اهداف این تحقیق از دو نرم افزار استفاده



شکل ۷- تاریخچه زمانی تغییر مکان مطلق و نسبی طبقه دوم ساختمان چهار طبقه قاب خمشی و دیوار برشی تحت زلزله الاسترو (PGA=0.35g)



شکل ۶- تاریخچه زمانی تغییر مکان مطلق و نسبی طبقه دوم ساختمان چهار طبقه قاب خمشی تحت زلزله الاسترو (PGA=0.35g)

ماتریس سختی اعضا در نظر گرفته می شود. به دلیل محدودیتی که در برنامه وجود دارد استفاده از بادبند شورون، شکل (۸) جوابهای نادرست می دهد. بنابراین باید از مدل قطری استفاده شود. سختی بادبند قطری معادل به صورت زیر به دست می آید [۱۱]:

$$K_{eq} = \frac{K_d \cdot K_b}{K_d + K_b \cdot \cos^2} \quad (11)$$

که در این معادله  $K_{eq}$  سختی معادل قطری،  $K_b$  سختی بادبند ۸ شکل،  $K_d$  سختی میراگر TADAS و زاویه بادبند قطری با افق است.

### ۸- ارزیابی نتایج به دست آمده

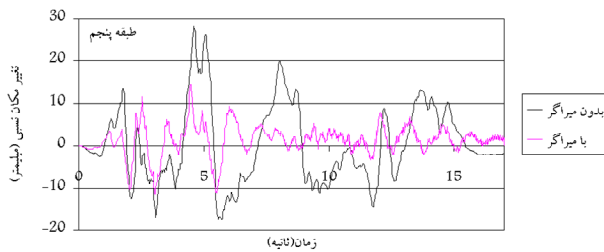
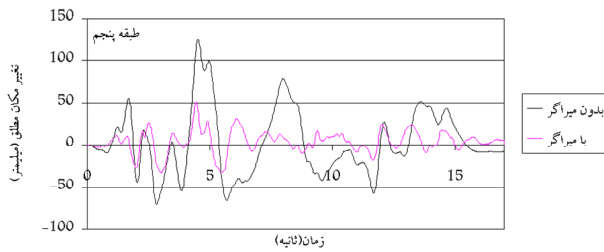
در شکل (۶)، تغییر مکان مطلق و نسبی طبقه دوم سازه چهار طبقه قاب خمشی در حالات با میراگر و بدون میراگر تحت زلزله الاسترو برای  $PGA = 0.35g$  مشاهده می شود. نمودار اول مربوط به تغییر مکان مطلق طبقه دوم و نمودار دوم مربوط به تغییر مکان نسبی طبقه دوم است. به همین ترتیب شکل (۷) مربوط به طبقه دوم سازه چهار

یکی از صورتهای مدل سه پارامتری پارک، مدل سه خطی فولادی، مدل دوخطی هیستریزیس، مدل کلین، مدل ماکسول و یا مدل هموار شده هیستریزیس به کار برد.

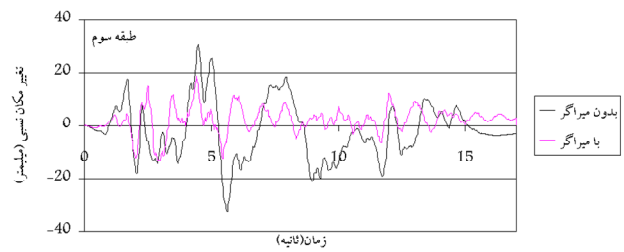
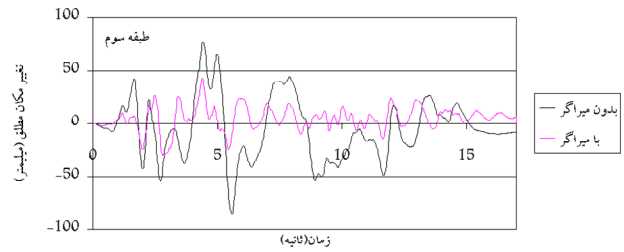
بایستی به این نکته توجه داشت که هر یک از مدل های رفتاری فوق را می توان برای المانهای خاصی در سازه به کار برد. ستونها، دیوارهای برشی، تیرها و فنرهای دورانی را صرفاً می توان با یکی از مدل های رفتاری سه پارامتری پارک، سه خطی و دو خطی هیستریزیس مدل کرد و میراگرهای هیستریزیس توسط منحنی هموار شده هیستریزیس مدل می شوند.

به دلیل اینکه هدف اصلی در این مقاله نشان دادن تاثیر افزودن میراگرهای TADAS است، برای مدلسازی رفتار سازه از مدل دو خطی استفاده می شود. همچنین در مورد پارامترهای کنترل کننده رفتاری مانند زوال سختی، زوال مقاومت و باریک شدگی منحنی رفتاری سازه بدون تاثیر این پارامترها در نظر گرفته شده است. برای مدلسازی میراگرهای هیستریزیس از مدل هموار شده هیستریزیس بدون تاثیر پارامترهای کنترل کننده رفتاری استفاده شده است. اثرات P- $\delta$  نیز با اضافه کردن یک ماتریس سختی هندسی به





شکل ۹- تاریخچه زمانی تغییر مکان مطلق و نسبی طبقه پنجم ساختمان ده طبقه قاب خمشی تحت زلزله السترو (PGA=0.35g)



شکل ۸- تاریخچه زمانی تغییر مکان مطلق و نسبی طبقه سوم ساختمان هفت طبقه قاب خمشی تحت زلزله السترو (PGA=0.35g)

کوچک‌اند عملکرد میراگرها نیز به خوبی قابل مشاهده نیست ولی در ادامه و با افزایش تغییر شکل نسبی طبقات تاثیر میراگرها نیز نمایان می‌شود.

با دقت در شکل (۷) که مربوط به سازه چهار طبقه قاب خمشی و دیوار برشی است مشاهده می‌شود که با اضافه شدن میراگر به این سازه میزان پاسخ تا حدود زیادی کاسته می‌شود. می‌توان نتیجه گرفت با ترکیب این دو سیستم مقاوم جانبی می‌توان تا حدود بسیار زیادی رفتار لرزه‌ای سازه را بهبود بخشید.

در جدول (۶) متوسط پاسخهای حداکثر تغییر مکان مطلق و نسبی در سازه چهار طبقه قاب خمشی و نیز سازه چهار طبقه قاب خمشی و دیوار برشی و تحت زلزله های مختلف ارائه شده است که تفسیر نتایج بر پایه این مقادیر راحت تر قابل ارائه است.

همان‌طور که در جداول فوق مشاهده می‌شود بیشینه جابه‌جایی مطلق و نسبی در تمامی حالات کاهش پیدا کرده است (با وجود افزایش موضعی تغییر مکان در ابتدای تاریخچه زمانی). میزان کاهش بیشینه تغییر مکان تا ۹۲ درصد که به معنی نجات سازه از انهدام است در جدول (۶) دیده می‌شود. به طور

طبقه با سیستم دیوار برشی و قاب خمشی، شکل (۸) مربوط به طبقه سوم سازه هفت طبقه با سیستم قاب خمشی و شکل (۹) مربوط به طبقه پنجم سازه ده طبقه با سیستم قاب خمشی است. همان‌طور که مشاهده می‌شود وجود میراگر در تمامی حالات از میزان پاسخ کلی و نسبی طبقات کاسته است. تغییر مکان نسبی طبقات با میزان خسارت سازه‌ای رابطه مستقیم دارد که با کاسته شدن از میزان تغییر مکان نسبی می‌توان انتظار کاهش میزان تخریب سازه‌ای را داشت که این اثر در قسمتهای بعدی بحث می‌شود.

با بررسی تاریخچه زمانی تغییر مکانهای نسبی و مطلق طبقات مختلف با میراگر و بدون آن مشاهده می‌شود که تعداد نوسانات سازه با میراگر نسبت به سازه بدون میراگر افزایش یافته که این مسئله نشان دهنده کاهش پریود ارتعاش و در واقع افزایش سختی سازه با میراگر (به خاطر وجود سیستم مهاربندی شکل ۸) است.

در بعضی موارد به‌خصوص در ابتدای تاریخچه زمانی وجود میراگر باعث افزایش تغییر مکان می‌شود که می‌توان دلیل اصلی این مسئله را وابسته بودن عملکرد میراگرها به تغییر شکل دانست که در ابتدای تاریخچه زمانی که هنوز تغییر شکلهای

جدول ۶- متوسط حداکثر تغییر مکان مطلق و نسبی (میلیمتر)

| تغییر مکان مطلق                 | تغییر مکان نسبی | ۰/۳۵g       |           |          |          | ۰/۴۵g4      |           |          | ۰/۵۵g       |           |          |
|---------------------------------|-----------------|-------------|-----------|----------|----------|-------------|-----------|----------|-------------|-----------|----------|
|                                 |                 | بدون میراگر | با میراگر | کاهش (%) | کاهش (%) | بدون میراگر | با میراگر | کاهش (%) | بدون میراگر | با میراگر | کاهش (%) |
|                                 |                 | طبقه        | طبقه      | طبقه     | طبقه     | طبقه        | طبقه      | طبقه     | طبقه        | طبقه      | طبقه     |
| چهار طبقه قاب خمشی              | تغییر مکان مطلق | ۱           | ۲۹/۴۳     | ۱۴/۴۸    | ۵۰/۸۰    | ۵۲/۴۵       | ۲۰/۷۳     | ۶۰/۴۸    | ۶۵/۵۵       | ۲۶/۰۸     | ۶۰/۲۰    |
|                                 |                 | ۲           | ۶۰/۸۲     | ۳۰/۸۵    | ۵۵/۱۷    | ۱۱۹/۲۶      | ۴۳/۸۵     | ۶۳/۲۳    | ۱۵۵/۲۳      | ۵۷/۱۳     | ۶۳/۲۰    |
|                                 |                 | ۳           | ۱۳۶/۶۵    | ۵۸/۷۸    | ۵۶/۹۸    | ۲۱۵/۹۹      | ۷۹/۸۴     | ۶۳/۰۳    | ۲۵۸/۷۶      | ۹۷/۹۳     | ۶۲/۱۵    |
|                                 |                 | ۴           | ۱۶۹/۸۸    | ۷۳/۴۰    | ۵۶/۸۰    | ۲۷۰/۰۹      | ۱۰۰/۳۷    | ۶۲/۸۴    | ۳۳۸/۰۸      | ۱۲۲/۰۲    | ۶۳/۹۱    |
| چهار طبقه قاب خمشی و دیوار برشی | تغییر مکان مطلق | ۱           | ۲۹/۴۳     | ۱۴/۴۸    | ۵۰/۸۰    | ۵۲/۴۵       | ۲۰/۷۳     | ۶۰/۴۸    | ۶۵/۵۵       | ۲۶/۰۸     | ۶۰/۲۰    |
|                                 |                 | ۲           | ۴۰/۵۷     | ۱۷/۹۱    | ۵۵/۸۵    | ۶۹/۵۰       | ۲۵/۵۳     | ۶۳/۲۶    | ۹۲/۱۴       | ۳۲/۹۹     | ۶۴/۲۰    |
|                                 |                 | ۳           | ۸۲/۶۸     | ۳۳/۳۳    | ۵۹/۶۹    | ۱۱۸/۲۴      | ۴۲/۳۵     | ۶۴/۱۸    | ۱۳۳/۲۱      | ۵۱/۴۳     | ۶۱/۳۹    |
|                                 |                 | ۴           | ۴۸/۴۷     | ۱۹/۵۴    | ۵۹/۶۹    | ۶۶/۱۶       | ۲۶/۰۹     | ۶۰/۵۶    | ۱۰۵/۸۱      | ۲۹/۲۱     | ۷۲/۴۰    |
| چهار طبقه قاب خمشی و دیوار برشی | تغییر مکان نسبی | ۱           | ۱۵/۲۵     | ۵/۳۰     | ۶۵/۲۶    | ۲۴/۹۰       | ۸/۷۳      | ۶۴/۹۳    | ۱۵۸/۷۷      | ۱۲/۸۴     | ۹۱/۹۱    |
|                                 |                 | ۲           | ۳۷/۴۰     | ۱۲/۸۵    | ۶۵/۶۳    | ۶۰/۷۴       | ۲۰/۴۲     | ۶۶/۳۹    | ۳۱۰/۰۲      | ۳۳/۲۰     | ۸۹/۲۹    |
|                                 |                 | ۳           | ۶۱/۵۲     | ۲۱/۴۹    | ۶۵/۰۷    | ۹۶/۷۱       | ۳۴/۹۵     | ۶۳/۸۶    | ۲۵۱/۵۰      | ۵۵/۱۲     | ۷۸/۰۸    |
|                                 |                 | ۴           | ۸۵/۹۶     | ۳۱/۳۱    | ۶۳/۵۷    | ۱۳۰/۲۷      | ۵۱/۵۰     | ۶۰/۴۷    | ۲۸۰/۸۴      | ۷۶/۴۶     | ۷۲/۷۷    |
| چهار طبقه قاب خمشی و دیوار برشی | تغییر مکان نسبی | ۱           | ۱۵/۲۵     | ۵/۳۰     | ۶۵/۲۶    | ۲۴/۹۰       | ۸/۷۳      | ۶۴/۹۳    | ۱۵۸/۷۷      | ۱۲/۸۴     | ۹۱/۹۱    |
|                                 |                 | ۲           | ۲۲/۹۷     | ۷/۶۰     | ۶۶/۹۱    | ۳۷/۱۴       | ۱۱/۸۹     | ۶۷/۹۷    | ۱۶۲/۷۲      | ۲۰/۴۸     | ۸۷/۴۱    |
|                                 |                 | ۳           | ۲۵/۴۱     | ۱۰/۱۸    | ۵۹/۹۴    | ۳۹/۰۱       | ۱۶/۲۴     | ۵۸/۳۶    | ۱۵۸/۷۸      | ۲۳/۰۰     | ۸۵/۵۲    |
|                                 |                 | ۴           | ۲۶/۸۱     | ۱۰/۱۶    | ۶۲/۱۱    | ۴۰/۷۵       | ۱۷/۳۹     | ۵۷/۲۹    | ۲۹۰/۱۲      | ۲۳/۶۲     | ۹۱/۸۶    |

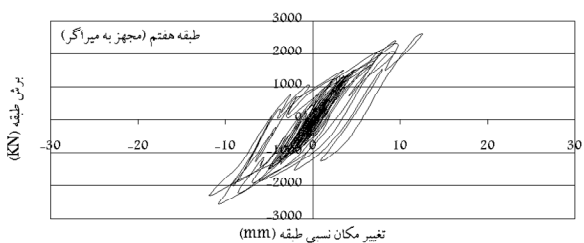
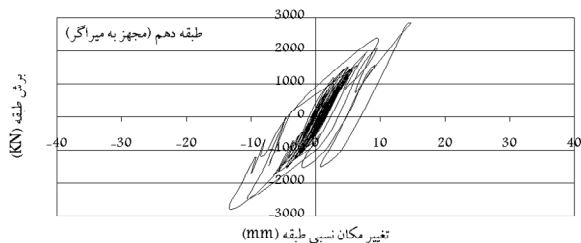
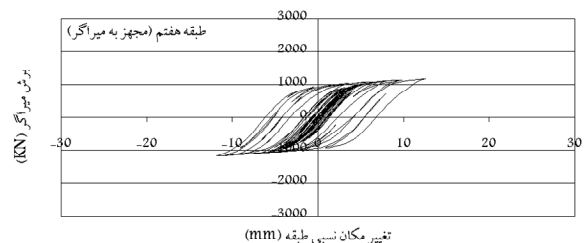
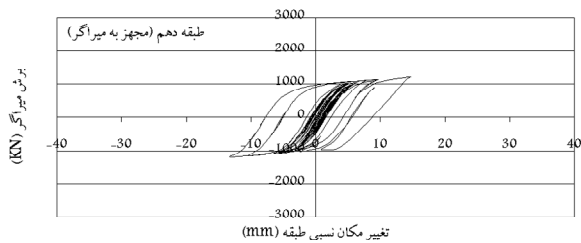
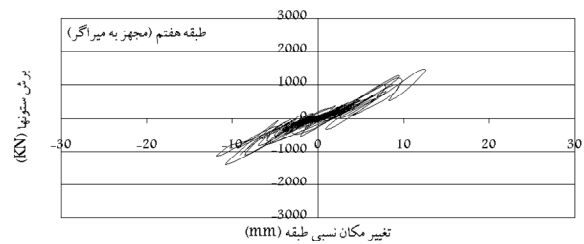
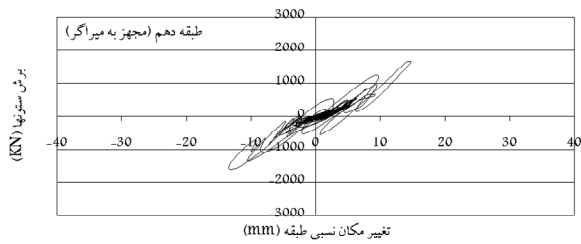
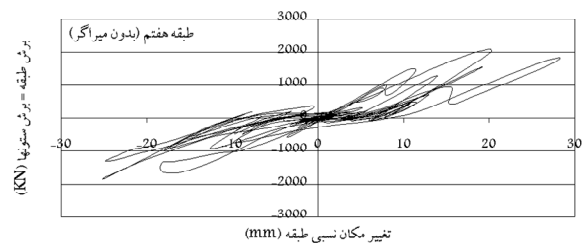
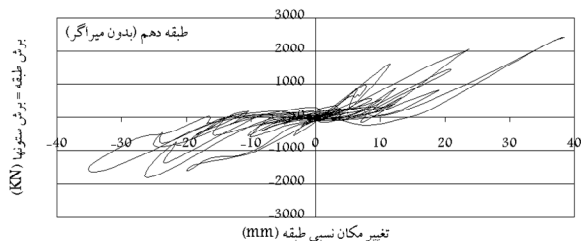
اختلاف فاحشی در میزان کاهش تغییر مکان در طبقات مختلف مشاهده نمی‌شود که دلیل این مطلب طراحی میراگرها براساس سختی طبقه است.

یکی از مهمترین شاخصهای مقایسه، میزان انرژی هیسترتیک اعضاست که دلیل اصلی وقوع خرابی در المانهای سازه‌اند. در بررسی سازه از دیدگاه انرژی عنوان شد که اگر به طریقی بتوان انرژی مستهلک شده توسط اعضای اصلی سازه را کاهش داده و این انرژی را در مکانهای مخصوص مثل میراگرهای متالیک مستهلک کنیم، آسیب وارد به سازه تا حد زیادی کاسته می‌شود. در این قسمت هدف نشان دادن اثر میراگرهای طراحی شده بر کاهش انرژی مستهلک شده توسط اعضای سازه است.

در شکل (۱۰) نمودارهای نیرو تغییر مکان طبقه هفتم سازه هفت طبقه قاب خمشی، برای برش طبقه، برش ستونها و نیروی برش میراگر تحت زلزله الاسترو با  $PGA = 0.35g$  رسم شده‌اند. در این شکل نحوه عملکرد میراگر در کاهش آسیب وارد به عضوهای سازه به خوبی مشخص می‌شود. نمودار اول نیروی برش طبقه در مقابل تغییر مکان نسبی طبقه در حالت بدون میراگر است. به دلیل عدم وجود میراگر برش طبقه معادل برش ستونهاست. در نمودار دوم مجموع برش ستونها در مقابل

معمول افزایش تاثیر کاهش جابه‌جایی در سازه‌های دارای میراگر با افزایش سطح شتاب افزایش می‌یابد، به‌خصوص در  $PGA = 0.55g$  که در بعضی موارد سازه به مرحله تغییر شکلهای خیلی بزرگ می‌رسد که وجود میراگر باعث کاهش قابل ملاحظه‌ای در بیشینه تغییر مکان می‌شود. دلیل این امر وابستگی عملکرد میراگرها به تغییر مکان نسبی است که با افزایش آن تاثیر میراگرها نیز افزایش می‌یابد.

برخلاف انتظار در سازه چهار طبقه قاب خمشی و دیوار برشی مشاهده می‌شود که وجود میراگرها به خوبی باعث کاهش حداکثر تغییر مکان مطلق و نسبی می‌شود و میزان تاثیر میراگرها در این مدل از بقیه مدلها بیشتر بوده است. این مسئله نشان دهنده این است که اگر این میراگرها به درستی طراحی شوند در سازه دارای دیوار برشی نیز بسیار موثرند. با دقت در جدول طراحی میراگرها مربوط به ساختمان چهار طبقه قاب خمشی و دیوار برشی در قسمت گذشته مشاهده می‌شود که با وجود کاهش تغییر مکان نسبی طبقات، میراگرهای طراحی شده برای این ساختمان نیز دارای تغییر مکان تسلیم کوچک‌اند و همچنین قطعات TADAS نیز بزرگ بوده و احتیاج به بادبندهای همراه قوی دارند. با وجود نرمتر شدن طبقات بالاتر نسبت به طبقات پایین،



شکل ۱۱- نمودارهای نیروی برشی - تغییر مکان نسبی طبقه دهم ساختمان ده طبقه قاب خمشی تحت زلزله السترو (PGA=0.35g)

شکل ۱۰- نمودارهای نیروی برشی - تغییر مکان نسبی طبقه هفتم ساختمان هفت طبقه قاب خمشی تحت زلزله السترو (PGA=0.35g)

ده طبقه قاب خمشی اند. با مشاهده نمودارهای فوق مشخص می‌شود که تغییر شکلهای غیرالاستیک و اتلاف انرژی هیسترتیک در ستونها که باعث آسیب دیدگی آنها می‌شود، در سازه مجهز به میراگر، کمتر از قاب بدون میراگر بوده و رفتار ستونها پس از نصب میراگرها به رفتار خطی نزدیک می‌شود.

نکته جالب توجه این است که وجود میراگرها تاثیر زیادی بر حداکثر برش ستونها نگذاشته و مقدار حداکثر برش ستونها

تغییر مکان نسبی طبقه در حالت دارای میراگر ارائه شده است. نمودار سوم نشان دهنده برش میراگر در مقابل تغییر مکان نسبی طبقه در حالت دارای میراگرست و آخرین نمودار برش طبقه در مقابل تغییر مکان نسبی طبقه در حالت دارای میراگرست. در این حالت برش طبقه برابر با مجموع برش ستونها و میراگرهاست.

شکل (۱۱) مشابه نمودار فوق و مربوط به طبقه دهم سازه

در حالات با میراگر و بدون آن نزدیک به هم است و حتی در بعضی موارد برش ستونها در حالت با میراگر بیشتر از حالت بدون میراگر است. ولی وجود میراگر باعث تغییر در شکل منحنی هیستریزس برش ستونها شده و سطح زیر منحنی این نمودارها که معادل انرژی مستهلک شده توسط ستونهاست در حالت با میراگر بسیار کمتر از حالت بدون میراگر است. همانطور که مشاهده می‌شود برش طبقه در حالت با میراگر بیشتر از برش طبقه در حالت بدون میراگر است که نشان دهنده افزایش سختی طبقه در اثر وجود میراگر است، ولی قسمت عمده این برش در میراگر متمرکز می‌شود. یعنی با توجه به افزایش قابل توجه برش طبقه، برش ستونها در اکثر موارد کاهش می‌یابد.

شکل منحنی هیستریزس میراگر به خوبی نشان دهنده استهلاک قسمت عمده انرژی در این المانهاست، تا جایی که شکل منحنی هیستریزس طبقه تقریباً شبیه به منحنی هیستریزس میراگر است.

در جدول (۷) اثر میراگرهای طراحی شده بر روی شاخص خرابی به تفکیک برای تیرها، ستونها و دیوارها و همچنین برای کل سازه ارائه می‌شود. متوسط نتایج حاصل از شتاب نگاشتهای مختلف برای کلیه مدلها و همچنین سطوح مختلف شتاب در این جدول قابل مشاهده است.

همانطور که قابل پیش بینی بود افزایش سطح شتاب، باعث افزایش شاخص خرابی می‌شود. همچنین افزایش سطوح شتاب به طور معمول باعث افزایش تاثیر میراگرها در کاهش میزان خرابی می‌شوند، که به دلیل وابسته بودن رفتار میراگرها به تغییر مکان و افزایش تغییر مکان بر اثر افزایش سطح شتاب است.

در سازه چهار طبقه قاب خمشی در طبقات اول و دوم خسارت وارده به تیرها بیشتر از ستونها و در طبقات سوم و چهارم خسارت وارد بر ستونها بیشتر از تیرهاست. این امر بدین معنی است که در طبقات اول و دوم فلسفه تیر ضعیف، ستون قوی به خوبی رعایت شده ولی در طبقات سوم و چهارم این مسئله رعایت نشده است.

در سازه چهار طبقه دیوار برشی و قاب خمشی در تمامی طبقات خسارت وارده به ستونها و دیوارها بیشتر از تیرها بوده است که به نظر می‌رسد دیوارها تا حدی ضعیف‌اند. در سازه هفت طبقه قاب خمشی در طبقات اول تا پنجم خسارت وارده به تیرها بیشتر از ستونها و در طبقات ششم و هفتم خسارت وارده به ستونها بیشتر از تیرهاست و در ساختمان ده طبقه قاب خمشی در طبقات اول تا هشتم خسارت وارده به تیرها بیشتر از ستونها و در طبقات نهم و دهم خسارت وارده به ستونها بیشتر از تیرهاست.

## ۹- نتیجه گیری

طراحی مناسب قطعات TADAS باعث کنترل مؤثر پاسخ غیرخطی سازه می‌شود. در طراحی قاب با قطعات میراگرهای فوق بسیار مهم است که مقادیر پارامترهای آنها مانند نیروی تسلیم قطعه، تغییر مکان تسلیم آن و نسبت سختی المان به سختی قاب، (SR) و همچنین مقاطع بادبندهای همراه این قطعات به درستی انتخاب شوند. مطالعات انجام شده بر مدل‌های انتخابی در این مقاله نشان داده است که وجود این قطعات می‌تواند به طور رضایت بخشی نیاز به استهلاک انرژی در اعضای سازه‌ای را کاهش دهند. زیرا بدین ترتیب اتلاف انرژی هیستریزس در المانهای قاب کاهش می‌یابد و قسمت عمده انرژی ورودی در این قطعات مستهلک می‌شوند.

وجود این قطعات در سازه های بتنی نمونه در نظر گرفته شده باعث کاهش تغییر مکان مطلق و نسبی طبقات می‌شوند. همچنین افزودن میراگرهای مزبور باعث کاهش خرابی و نیز کاهش تشکیل مفاصل پلاستیک می‌شوند. همچنین در مواردی که سازه به حد تخریب می‌رسد وجود میراگرها باعث نجات سازه از تخریب شده است. با ازدیاد سطوح شتاب، میزان تاثیر میراگر در کاهش شاخصهای مطالعه شده افزایش می‌یابد.

با توجه به مدل ساختمان چهار طبقه نمونه، در صورت طراحی درست میراگرها، این قطعات حتی در سازه های دارای دیواربرشی نیز که دارای تغییر شکل نسبی کمتری در طبقات اند،

جدول ۷- متوسط شاخص خرابی

| چهار طبقه قاب خمشی | BEAM-SLAB                       | /۳۵g        |           |          | /۴۵g        |           |          | /۵۵g        |           |          |       |      |
|--------------------|---------------------------------|-------------|-----------|----------|-------------|-----------|----------|-------------|-----------|----------|-------|------|
|                    |                                 | بدون میراگر | با میراگر | کاهش (%) | بدون میراگر | با میراگر | کاهش (%) | بدون میراگر | با میراگر | کاهش (%) |       |      |
|                    |                                 | طبقه        |           |          |             |           |          |             |           |          |       |      |
| چهار طبقه قاب خمشی | BEAM-SLAB                       | ۱           | ۰/۰۷۸     | ۰/۰۳۸    | ۵۱/۰        | ۰/۱۴۱     | ۰/۰۵۰    | ۶۴/۶        | ۰/۱۶۳     | ۰/۰۶۰    | ۶۳/۴  |      |
|                    |                                 | ۲           | ۰/۱۱۶     | ۰/۰۶۰    | ۴۸/۳        | ۰/۲۱۰     | ۰/۰۸۰    | ۶۱/۸        | ۰/۲۶۰     | ۰/۰۹۲    | ۶۴/۷  |      |
|                    |                                 | ۳           | ۰/۰۳۲     | ۰/۰۱۲    | ۶۳/۳        | ۰/۰۴۳     | ۰/۰۲۰    | ۵۴/۰        | ۰/۰۶۴     | ۰/۰۱۹    | ۷۰/۸  |      |
|                    |                                 | ۴           | ۰/۰۰۶     | ۰/۰۰۰    | ۱۰۰/۰       | ۰/۰۰۵     | ۰/۰۰۱    | ۸۸/۰        | ۰/۰۰۶     | ۰/۰۰۰    | ۹۲/۹  |      |
|                    | COL-WALL                        | ۱           | ۰/۰۸۱     | ۰/۰۵۰    | ۳۸/۵        | ۰/۱۳۵     | ۰/۰۷۲    | ۴۷/۰        | ۰/۱۶۶     | ۰/۰۸۸    | ۴۶/۸  |      |
|                    |                                 | ۲           | ۰/۰۲۱     | ۰/۰۰۹    | ۵۵/۲        | ۰/۰۲۵     | ۰/۰۱۵    | ۴۱/۱        | ۰/۰۳۶     | ۰/۰۲۲    | ۳۸/۵  |      |
|                    |                                 | ۳           | ۰/۱۹۸     | ۰/۰۸۷    | ۵۶/۰        | ۰/۲۸۷     | ۰/۰۹۹    | ۶۵/۶        | ۰/۳۱۴     | ۰/۱۲۱    | ۶۱/۵  |      |
|                    |                                 | ۴           | ۰/۱۶۵     | ۰/۰۷۳    | ۵۵/۷        | ۰/۲۲۷     | ۰/۰۹۰    | ۶۰/۴        | ۰/۲۰۱     | ۰/۱۰۴    | ۷۴/۲  |      |
|                    | OVERALL                         |             | ۰/۱۸۵     | ۰/۰۸۶    | ۵۳/۶        | ۰/۲۸۸     | ۰/۱۱۲    | ۶۱/۲        | ۰/۳۶۴     | ۰/۱۳۳    | ۶۳/۴  |      |
|                    | چهار طبقه قاب خمشی و دیوار برشی | BEAM-SLAB   | ۱         | ۰/۰۱۱    | ۰/۰۰۱       | ۹۲/۹      | ۰/۰۱۹    | ۰/۰۰۴       | ۷۸/۷      | ۰/۰۵۲    | ۰/۰۰۷ | ۸۷/۲ |
|                    |                                 |             | ۲         | ۰/۰۳۳    | ۰/۰۱۱       | ۷۳/۲      | ۰/۰۸۲    | ۰/۰۱۸       | ۷۸/۰      | ۰/۰۷۹    | ۰/۰۳۸ | ۵۱/۱ |
|                    |                                 |             | ۳         | ۰/۰۱۷    | ۰/۰۰۰       | ۱۰۰/۰     | ۰/۰۲۱    | ۰/۰۰۲       | ۸۹/۳      | ۰/۳۸۷    | ۰/۰۰۷ | ۹۸/۱ |
| ۴                  |                                 |             | ۰/۰۱۱     | ۰/۰۰۰    | ۱۰۰/۰       | ۰/۰۱۴     | ۰/۰۰۳    | ۸۱/۹        | ۰/۰۲۹     | ۰/۰۰۴    | ۸۴/۹  |      |
| COL-WALL           |                                 | ۱           | ۰/۲۱۶     | ۰/۰۹۶    | ۵۵/۷        | ۰/۳۵۵     | ۰/۱۴۲    | ۶۰/۰        | ۲/۵۰۶     | ۰/۲۰۶    | ۹۱/۸  |      |
|                    |                                 | ۲           | ۰/۰۳۶     | ۰/۰۲۲    | ۴۰/۳        | ۰/۰۳۵     | ۰/۰۲۷    | ۲۲/۳        | ۲/۷۴۸     | ۰/۰۳۳    | ۹۸/۸  |      |
|                    |                                 | ۳           | ۰/۰۸۷     | ۰/۰۸۱    | ۶/۷         | ۰/۱۹۴     | ۰/۱۱۲    | ۴۲/۳        | ۲/۶۸۱     | ۰/۱۱۲    | ۹۵/۸  |      |
|                    |                                 | ۴           | ۰/۰۷۹     | ۰/۰۲۷    | ۶۵/۳        | ۰/۱۰۰     | ۰/۰۴۸    | ۵۲/۱        | ۲/۲۹۵     | ۰/۰۶۳    | ۹۷/۳  |      |
| OVERALL            |                                 |             | ۰/۱۷۵     | ۰/۰۹۶    | ۲۵/۴        | ۰/۲۸۰     | ۰/۱۳۴    | ۵۲/۲        | ۲/۲۰۰     | ۰/۱۸۳    | ۹۴/۰  |      |
| هفت طبقه قاب خمشی  |                                 | BEAM-SLAB   | ۱         | ۰/۰۶۹    | ۰/۰۲۲       | ۳۹/۵      | ۰/۱۰۱    | ۰/۰۴۸       | ۵۲/۲      | ۰/۱۸۶    | ۰/۰۵۶ | ۶۹/۹ |
|                    |                                 |             | ۲         | ۰/۱۱۷    | ۰/۰۶۴       | ۴۴/۹      | ۰/۱۸۴    | ۰/۰۸۹       | ۵۱/۷      | ۰/۳۱۵    | ۰/۱۰۴ | ۶۷/۱ |
|                    |                                 |             | ۳         | ۰/۱۰۱    | ۰/۰۶۱       | ۴۰/۰      | ۰/۱۶۹    | ۰/۰۷۴       | ۵۵/۹      | ۰/۲۵۸    | ۰/۰۹۴ | ۶۳/۴ |
|                    | ۴                               |             | ۰/۱۱۴     | ۰/۰۵۵    | ۵۱/۴        | ۰/۱۵۴     | ۰/۰۶۸    | ۵۶/۱        | ۰/۳۰۰     | ۰/۰۸۵    | ۷۱/۶  |      |
|                    | ۵                               |             | ۰/۱۲۸     | ۰/۰۴۹    | ۶۱/۳        | ۰/۱۶۵     | ۰/۰۵۱    | ۶۸/۹        | ۰/۲۰۸     | ۰/۰۵۱    | ۷۵/۳  |      |
|                    | ۶                               |             | ۰/۰۶۷     | ۰/۰۱۸    | ۷۳/۳        | ۰/۰۷۳     | ۰/۰۲۱    | ۷۰/۹        | ۰/۱۲۲     | ۰/۰۲۲    | ۸۱/۶  |      |
|                    | ۷                               |             | ۰/۱۰۵     | ۰/۰۰۱    | ۹۰/۴        | ۰/۰۱۸     | ۰/۰۰۵    | ۷۳/۹        | ۰/۰۱۶     | ۰/۰۰۹    | ۴۵/۷  |      |
|                    | COL-WALL                        | ۱           | ۰/۰۸۰     | ۰/۰۳۵    | ۵۵/۸        | ۰/۱۱۲     | ۰/۰۵۶    | ۵۰/۲        | ۰/۱۷۹     | ۰/۰۷۳    | ۵۸/۰  |      |
|                    |                                 | ۲           | ۰/۰۰۵     | ۰/۰۰۱    | ۷۶/۹        | ۰/۰۱۰     | ۰/۰۰۴    | ۶۲/۷        | ۰/۰۲۰     | ۰/۰۰۹    | ۵۷/۰  |      |
|                    |                                 | ۳           | ۰/۰۲۸     | ۰/۰۱۴    | ۲۸/۶        | ۰/۰۲۱     | ۰/۰۲۰    | ۵۰/۵        | ۰/۰۴۲     | ۰/۰۲۵    | ۳۳/۷  |      |
|                    |                                 | ۴           | ۰/۰۲۰     | ۰/۰۱۲    | ۴۱/۴        | ۰/۰۲۵     | ۰/۰۱۸    | ۲۸/۲        | ۰/۰۴۶     | ۰/۰۲۱    | ۵۳/۳  |      |
|                    |                                 | ۵           | ۰/۰۵۴     | ۰/۰۲۸    | ۴۸/۰        | ۰/۰۷۶     | ۰/۰۳۸    | ۴۹/۶        | ۰/۱۱۲     | ۰/۰۴۳    | ۶۱/۴  |      |
| OVERALL            |                                 | ۰/۱۱۰       | ۰/۰۴۵     | ۵۹/۴     | ۰/۱۴۰       | ۰/۰۵۲     | ۶۲/۹     | ۰/۲۰۶       | ۰/۰۶۰     | ۷۰/۹     |       |      |
| ده طبقه قاب خمشی   | BEAM-SLAB                       | ۱           | ۰/۰۵۲     | ۰/۰۳۰    | ۴۲/۰        | ۰/۰۶۴     | ۰/۰۳۴    | ۴۷/۲        | ۰/۰۷۹     | ۰/۰۴۰    | ۵۰/۰  |      |
|                    |                                 | ۲           | ۰/۱۰۲     | ۰/۰۴۸    | ۵۳/۳        | ۰/۱۳۸     | ۰/۰۶۱    | ۵۶/۱        | ۰/۱۷۷     | ۰/۰۸۱    | ۵۴/۳  |      |
|                    |                                 | ۳           | ۰/۱۲۰     | ۰/۰۴۸    | ۶۰/۲        | ۰/۱۵۷     | ۰/۰۶۶    | ۵۸/۱        | ۰/۲۲۵     | ۰/۰۸۷    | ۶۱/۱  |      |
|                    |                                 | ۴           | ۰/۱۲۵     | ۰/۰۵۴    | ۵۶/۸        | ۰/۱۷۴     | ۰/۰۷۴    | ۵۷/۴        | ۰/۲۶۲     | ۰/۰۹۵    | ۶۳/۷  |      |
|                    |                                 | ۵           | ۰/۱۲۳     | ۰/۰۵۷    | ۵۳/۳        | ۰/۱۷۲     | ۰/۰۸۳    | ۵۲/۱        | ۰/۲۴۶     | ۰/۰۹۶    | ۶۱/۰  |      |
|                    |                                 | ۶           | ۰/۱۲۳     | ۰/۰۵۷    | ۵۳/۵        | ۰/۱۴۰     | ۰/۰۸۰    | ۴۲/۸        | ۰/۲۳۹     | ۰/۱۰۱    | ۵۷/۷  |      |
|                    |                                 | ۷           | ۰/۱۰۸     | ۰/۰۳۹    | ۶۳/۷        | ۰/۱۵۴     | ۰/۰۴۹    | ۶۷/۹        | ۰/۲۲۶     | ۰/۰۵۸    | ۷۴/۴  |      |
|                    |                                 | ۸           | ۰/۰۹۸     | ۰/۰۴۰    | ۵۸/۹        | ۰/۱۷۷     | ۰/۰۳۶    | ۷۹/۷        | ۰/۲۵۰     | ۰/۰۳۶    | ۸۵/۸  |      |
|                    |                                 | ۹           | ۰/۰۵۷     | ۰/۰۱۵    | ۷۳/۵        | ۰/۱۰۴     | ۰/۰۱۶    | ۸۴/۲        | ۰/۱۰۵     | ۰/۰۱۷    | ۸۴/۱  |      |
|                    |                                 | ۱۰          | ۰/۰۱۰     | ۰/۰۰۲    | ۸۴/۶        | ۰/۰۱۵     | ۰/۰۰۳    | ۷۹/۲        | ۰/۱۰۳     | ۰/۰۰۴    | ۷۲/۷  |      |
|                    | COL-WALL                        | ۱           | ۰/۰۴۹     | ۰/۰۲۲    | ۵۴/۷        | ۰/۰۷۴     | ۰/۰۳۴    | ۵۴/۰        | ۰/۱۱۴     | ۰/۰۵۷    | ۴۹/۶  |      |
|                    |                                 | ۲           | ۰/۰۰۳     | ۰/۰۰۰    | ۸۷/۵        | ۰/۰۰۹     | ۰/۰۰۱    | ۸۶/۰        | ۰/۰۲۷     | ۰/۰۰۳    | ۹۰/۳  |      |
| OVERALL            |                                 | ۰/۱۳۳       | ۰/۰۶۰     | ۵۵/۱     | ۰/۲۰۶       | ۰/۰۷۶     | ۶۲/۰     | ۰/۲۸۵       | ۰/۰۹۵     | ۶۶/۸     |       |      |

## قدردانی

در خاتمه نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از معاونت پژوهشی دانشگاه تهران بابت حمایت از این تحقیق که در قالب یک طرح پژوهشی مصوب این دانشگاه انجام شده است تشکر و قدر دانی به عمل آورند.

کارایی خوبی از خود نشان می‌دهند. در سازه های مطالعه شده تفاوت قابل ملاحظه‌ای در میزان تاثیر میراگرها در طبقات مختلف مشاهده نمی‌شود.

با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از این میراگرها می‌تواند یک روش مؤثر و مدرن برای مقاوم سازی سازه‌های موجود و همچنین طراحی سازه‌های جدید باشد.

## واژه نامه

### 1. triangular-plate added damping & stiffness

## مراجع

1. راد، ب.، "بررسی تحلیلی کاربرد میراگرهای متالیک در بهسازی لرزه‌ای ساختمانهای بتنی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، ۱۳۸۲.
2. زهرائی، س. م.، "بررسی علل ضعف اجرای ساختمانهای فولادی در کشور"، پژوهشنامه، پژوهشگاه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، سال ۶، شماره ۲، تابستان ۱۳۸۲.
3. ناطقی الهی، ف.، میراگرهای انرژی در مقاوم سازی لرزه ای ساختمانها، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله
4. Xia, C., and Hanson, R.D., "Influence of ADAS Element Parameters on Building Seismic Response," *Journal of structural Engineering*, Vol. 118, No. 7, pp. 1903-1918, 1992
5. ناطقی الهی، ف.، و کامروا، م.، "استفاده از مستهلک کننده‌های انرژی در مقاوم سازی لرزه‌ای سازه‌های فولادی"، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۷۸.
6. Whittaker, A.S., "Earthquake Simulator Testing of Steel Plate Added Damping & Stiffness Elements," UBC/EERC-89-02, 1982.
7. Zahrai, S., M., and Bruneau, M., "Cyclic Testing of Ductile End Diaphragms for Slab-on-Girder Steel Bridges," *Journal of Structural Engineering*, Vol. 125, No. 9, 1998.
8. Tsai, K.C., Chen, H.W., Hong, C.P., and Su, Y.F., "Design of Steel Triangular Plate Energy Absorbers for Seismic-Resistant Construction," *Earthquake Spectra*, Vol. 9, No. 3, pp. 505-528, 1993.
9. Valles, R.E., Reinhorn, A.M., Kunnath, S.K., Li, C., and Madan, A., "IDARC 2D Version 4.0: A Program for the Inelastic Damage Analysis of R/C Buildings," *Technical Report No. NCEER-96-0010*, National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo, 1996.
10. Hamburger, R., *State of Performance-Based Engineering in the United States*, EQE International Inc. San Francisco, CA., 2000.
11. Ramirez, O.M., Constantinou, M.C., Kircher, A.C., Whittaker, A.S., Johnson, M.W., and Gomez, J.D., "Development and Evaluation of Simplified Procedures for Analysis and Design of Buildings with Passive Energy Dissipation Systems," *Technical Report MCEER 00-0010*, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, University at Buffalo, State University of New York, Buffalo, N.Y., December 2000.