

## مزایای استفاده از میراگرهای تدسی در سازه‌ها

رضا کرمی محمدی<sup>۱</sup>

هادی قمری<sup>۲</sup>

دانشیار دانشگاه خواجه نصیر طوسی

دانشجوی دکترای تخصصی مهندسی زلزله

محاسب، ناظر و مجری از ۱۳۷۳ تاکنون

دانشگاه خواجه نصیر طوسی



دانشکده عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

### چکیده

در سال‌های اخیر استفاده از سیستم‌های کنترل سازه‌ها، گسترش سریعی در کشورهای صنعتی و حتی در حال توسعه-ی جهان داشته است. علت این گسترش سریع، مزایای فراوان این سیستم‌ها می‌باشد؛ این مزایا به گونه‌ای غیر قابل چشم‌پوشی بوده است که امروزه آیین‌نامه‌های معتبر بسیاری ضوابط استفاده از سیستم‌های کنترل سازه‌ها را بیان نموده‌اند تا استفاده از این سیستم‌ها به صورت نظام‌مند انجام گردد. از جمله‌ی این مزایا می‌توان به افزایش ایمنی و

---

<sup>۱</sup> rkarami@kntu.ac.ir

<sup>۲</sup> hghamari@mail.kntu.ac.ir

بهبود عملکرد سازه اشاره نمود؛ یکی دیگر از مزایای بسیار مهم سیستم‌های کنترل سازه‌ها از جمله میراگر تدس کاهش نیروهای وارد به سازه و در نتیجه سبکتر شدن اسکلت سازه می‌باشد.

## معرفی

کنترل سازه‌ها مجموعه عملیاتی است که به جهت بهبود رفتار سازه‌های تحت بارهای دینامیکی انجام می‌شود. این مجموعه عملیات، گستره‌ی وسیعی را از تغییرات ساده در ابعاد تیرها و ستون‌ها و سایر المان‌های سازه تا استفاده از ابزارها و الگوریتم‌های پیچیده در بر می‌گیرد.

در برخی از مراجع انگیزه‌های پیدایش بحث کنترل سازه‌ها در افزایش پریود سازه‌های افقی و عمودی، پیشرفت مصالح و تولید مصالح پرمقاومت و همچنین ظهور سازه‌هایی با تجهیزات داخلی حساس به ارتعاش دیده شده است.

کنترل سازه‌ها از منظر نحوه کارکرد سیستم کنترلی معمولاً به چهار دسته تقسیم بندی می‌شود: ۱- کنترل غیرفعال. ۲- کنترل فعال. ۳- کنترل نیمه فعال. ۴- کنترل ترکیبی که در مقاله‌ی پیش‌رو بر کنترل غیر فعال تاکید شده است. در سیستم‌های کنترل غیرفعال سازه‌ها انرژی ورودی به سازه که در اثر اعمال یک تحریک دینامیکی به سازه وارد گردیده است توسط وسایل و تجهیزات اضافی که در سازه نصب می‌گردند اتلاف می‌شود و در نتیجه تقاضای جذب انرژی سازه کاهش می‌یابد. در این نوع کنترل، نیروی کنترلی که از طریق وسایل و ابزار کنترلی به کار رفته در سازه تولید و به سازه اعمال می‌شود، بر اساس پاسخ خود سازه ایجاد می‌گردد و بدین ترتیب نیازی به دریافت انرژی الکتریکی مانند انرژی برق یا باتری نمی‌باشد. در واقع مقدار و

جهت نیروی کنترلی در سیستم های کنترل غیرفعال به مقدار و جهت پاسخ سازه در محل نصب وسایل و ابزار کنترلی بستگی دارد.

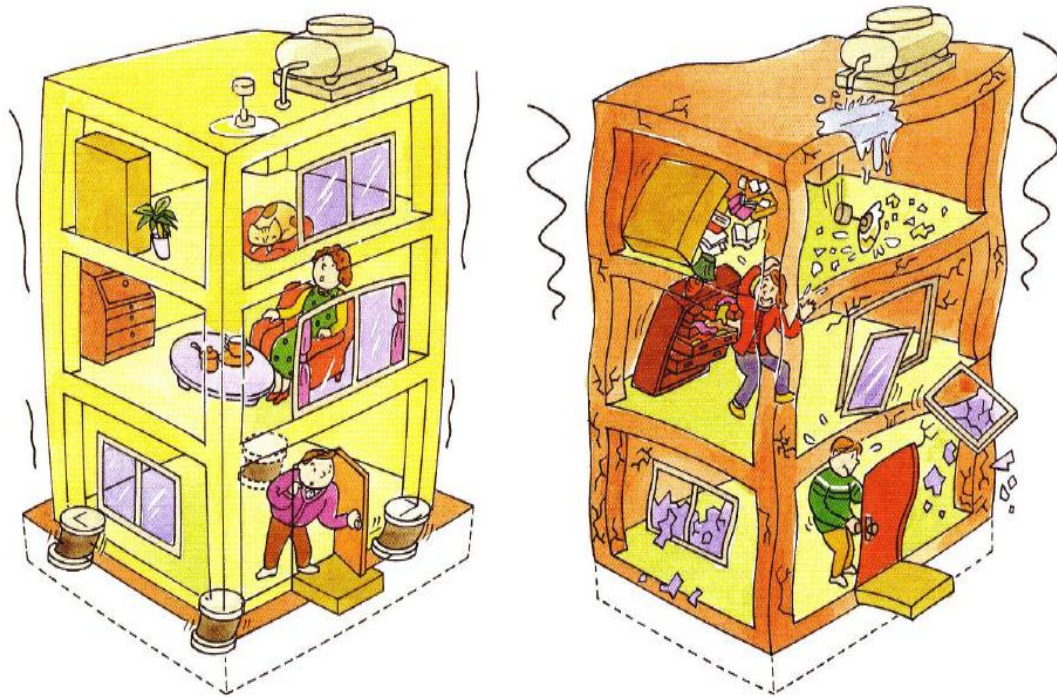
از جمله ابزارهایی که در کنترل غیرفعال مورد استفاده قرار می گیرند می توان به انواع میراگرهای غیرفعال و سیستم های جدایش از پی غیرفعال اشاره نمود. از مزایای کنترل غیرفعال می توان به:

عدم نیاز این سیستم ها به انرژی برق یا باتری،

پیشرفت فراوان در زمینه این نوع کنترل و پیدایش آیین نامه های طراحی،

تولید انبوه تجهیزات این نوع کنترل،

ارزان بودن نسبی آنها نسبت به سایر سیستم های کنترلی اشاره نمود.



شکل شماره ۱- تفاوت سازه‌ی کنترل شده (تصویر سمت چپ) و سازه‌ی کنترل نشده (تصویر سمت راست)

میراگرهای غیرفعال دسته‌ای از ابزارهای کنترل غیرفعال به شمار می‌روند؛ این میراگرها را می‌توان از نظر وابستگی پاسخ نیرو در آنها به جابه‌جایی یا سرعت نسبی دو سر میراگر به دو دسته تقسیم نمود:

الف) میراگرهای وابسته به جابه‌جایی: مقدار پاسخ نیرو در این میراگرها در درجه اول تابعی از میزان جابه‌جایی نسبی دو سر آن میراگر می‌باشد. انواع میراگرهای اصطکاکی مانند میراگر اصطکاکی با مکانیزم کرنش اجباری، میراگر اصطکاکی پال<sup>۳</sup>، میراگر اصطکاکی پیچی<sup>۴</sup> و میراگر اصطکاکی سامیتومو<sup>۵</sup>؛ انواع میراگرهای فلزی<sup>۶</sup> یا چرخه‌ای<sup>۷</sup> مانند میراگرهای ادس<sup>۸</sup>، تدس<sup>۹</sup> و میراگر قطری مرکب<sup>۱۰</sup> در این دسته جای می‌گیرند. در این میراگرها پاسخ

<sup>۳</sup> Pall Cross- Bracing Friction Damper

<sup>۴</sup> Slotted-Bolted Damper

<sup>۵</sup> Sumitomo Friction Damper

<sup>۶</sup> Metallic Yield Damper

<sup>۷</sup> Hysteretic Damper

<sup>۸</sup> ADAS Damper

نیرو عمدتاً مستقل از مقدار سرعت نسبی دو سر میراگر و / یا فرکانس بار خارجی می باشد. این میراگرها معمولاً به صورت همزمان به سازه سختی و میرایی اضافه می کنند.

ب) میراگرهای وابسته به سرعت: مقدار پاسخ نیرو در این نوع میراگرها در درجه اول وابسته به سرعت نسبی دو سر میراگر و / یا فرکانس بار خارجی است؛ میراگرهای ویسکوز<sup>۱۱</sup> و میراگرهای ویسکوالاستیک<sup>۱۲</sup> در این دسته جای می گیرند. پاسخ نیرو در اینگونه میراگرها ممکن است وابستگی به جابه جایی نیز داشته باشند. برخی از این میراگرها

مانند



شکل شماره ۲- میراگر ویسکوز

---

TADAS Damper<sup>۹</sup>

Unbonded Brace Damper<sup>۱۰</sup>

Viscous Damper<sup>۱۱</sup>

Visco-Elastic Damper<sup>۱۲</sup>



شکل شماره ۳- میراگر تدس

میراگرهای ویسکوز تنها به سازه میرایی اضافه می نمایند و دسته‌ای دیگر مانند میراگر ویسکوالاستیک هم سختی و هم میرایی اضافی برای سازه تامین می نمایند.

میراگر تدس از تعدادی پرهی مثلثی شکل تشکیل شده است که به صورت موازی در کنار هم قرار گرفته‌اند. (شکل شماره ۳) مکانیزم میراگری انرژی در میراگر تدس بدین گونه است که معمولاً قبل از آغاز تسلیم المان‌های سازه-ای، پره‌های مثلثی شکل این میراگرها تسلیم می‌شوند و پس از تسلیم در طی چرخه‌های هیسترتیک خود (رجوع کنید به شکل شماره ۵) انرژی تحریک خارجی را به صورت گرما اتلاف می نمایند و بدین ترتیب انرژی کمتری از تحریک خارجی به المان‌های سازه می‌رسد؛ از منظر سازه‌ای میرایی سازه‌ی مسلح به میراگر افزایش می‌یابد (رجوع کنید به شکل شماره ۴) و این افزایش میرایی منجر به کاهش نیروی وارد به المان‌های سازه می‌گردد. به عنوان مثال در بارگذاری زلزله افزایش میرایی به معنای کاهش شتاب طیفی و نیروی برش پایه‌ی زلزله می‌باشد و در

نتیجه نیروی وارد بر المان‌های سیستم باربر جانبی سازه کاهش می‌یابد. بدین ترتیب می‌توان سازه را برای نیروی زلزله‌ی کوچکتری طراحی نمود.

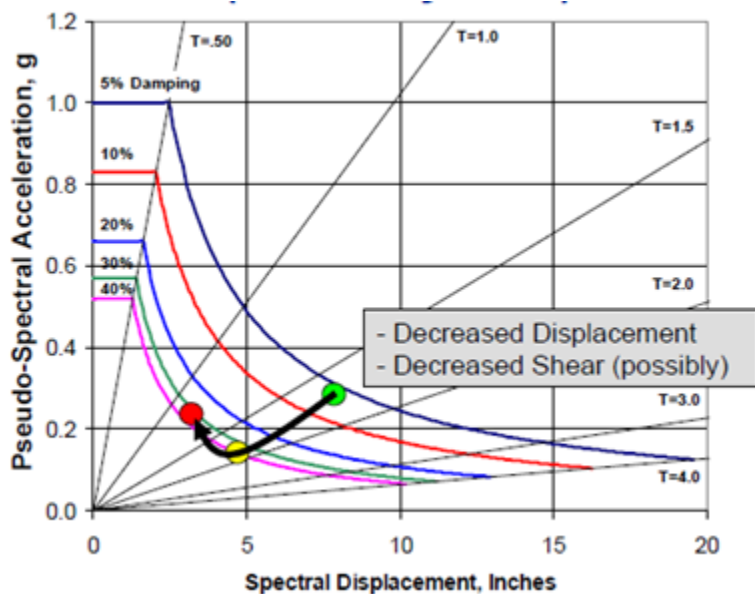
## مزایای استفاده از میراگر تدس

آنچه در ادامه می‌آید بخشی از مزایای استفاده از میراگرهای تدس در سازه‌ها می‌باشد:

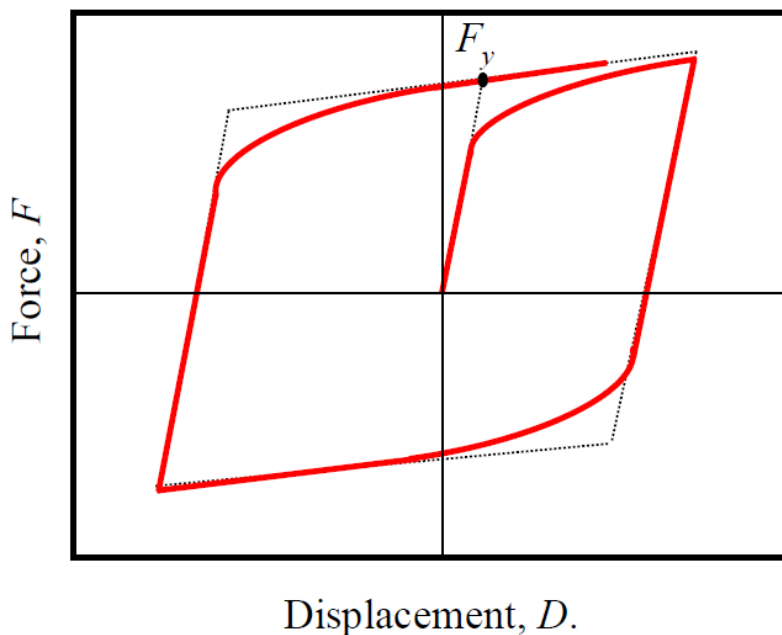
۱- کاهش خرابی در المان‌های اصلی سازه.

همانطور که می‌دانیم بر اساس آیین‌نامه‌های مرسوم بارگذاری از جمله استاندارد ۲۸۰۰، مبحث ششم مقررات ملی

ساختمان ایران، آیین‌نامه‌ی ASCE/SEI 7-10 و ... بر اساس ملاحظات اقتصادی، خرابی در اثر زلزله‌ی طرح تا



شکل شماره ۴- اثر اضافه کردن همزمان میرایی (دایره‌ی سبز به زرد) و سختی (دایره‌ی زرد به قرمز) به سازه که در میراگر تدس اتفاق می‌افتد.



شکل شماره ۵- منحنی رفتاری میراگر تدس

حدی مجاز شمرده می‌شود؛ که این خرابی معمولاً در محل تشکیل مفصل پلاستیک آغاز شده و سپس با پلاستیک شدن احتمالی سایر مناطق گسترش می‌یابد. خرابی المان‌های اصلی سازه خود می‌تواند مشکلات عدیده‌ای را در حین تحریک و پس از آن ایجاد نماید. با استفاده از میراگر تدس این پلاستیک‌شدگی که راهی برای جذب انرژی تحریک خارجی می‌باشد معمولاً در پره‌های میراگر اتفاق می‌افتد و المان‌های سازه خرابی کمتری خواهند داشت.

۲- کاهش زمان توقف در بهره‌برداری از سازه پس از وقوع زلزله.

با کاهش خرابی در المان‌های اصلی سازه و تمرکز خرابی در میراگرها زمان تعویض المان‌های آسیب دیده بسیار کاهش خواهد یافت و در نتیجه زمان توقف در بهره‌برداری از سازه کاهش خواهد یافت. از طرف دیگر با توجه به اینکه بر اساس آیین‌نامه‌های طراحی سازه‌های مسلح به میراگر تیرهای فوقانی میراگر نباید آسیب ببینند و آنکه میراگرهای تدس اتصال پیچی دارند تعویض آنها بسیار سریع و راحت می‌باشد.



۳- کاهش هزینه‌های ترمیم سازه پس از زلزله.

با کاهش خرابی در المان‌های اصلی سازه و تمرکز خرابی در میراگرها هزینه تعویض المان‌های آسیب دیده کاهش خواهد یافت. در صورتی که المان آسیب دیده یک تیر باشد تعویض آن نیاز به استفاده از راهکارهای نسبتاً دشوار و زمان‌بر و تحمل دشواری‌های فراوان دارد؛ در ستون‌ها پیچیدگی و دشواری تعویض دوچندان خواهد بود.

۴- بهبود عملکرد سازه.

از آنجایی که افزایش میرایی در سازه‌ها منجر به کاهش پاسخ شتاب و همچنین جابه‌جایی سازه می‌گردد، بنابراین استفاده از میراگرها باعث بهبود عملکرد سازه‌ها و خدمت‌رسانی بهتر آنها خواهد شد.

۵- کاهش در هزینه‌های ساخت سازه.

یکی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده در تصمیم‌گیری‌ها برای سازندگان و سرمایه‌گذاران، مسایل اقتصادی پروژه می‌باشد. بر اساس آیین‌نامه‌های مختلف و با توجه به تحمل بخشی از انرژی تحریک خارجی توسط میراگرها می‌توان المان‌های سازه را برای تحمل سهم کوچکتري از انرژی تحریک خارجی طراحی نمود. این به معنای کوچکتري شدن مقاطع و در نتیجه سبک شدن اسکلت خواهد شد. بررسی‌ها نشان می‌دهند که بسته به مورد در حدود ۱۵ تا ۲۵ درصد از وزن اسکلت سازه را می‌توان با استفاده از میراگرها کاهش داد که این به معنای کاهش قابل توجه در هزینه‌های ساخت سازه است.

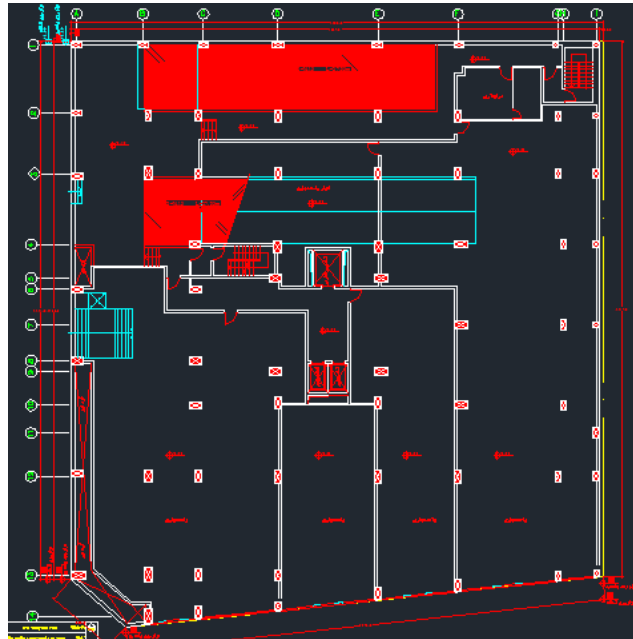
به عنوان مثال در یک سازه‌ی فلزی صنعتی با کارکرد احیای فلزات با ارتفاع ۱۱۰ متر که با استفاده از ترکیب میراگرهای ویسکوز و تدس بازطراحی گردید وزن آهن مورد نیاز اسکلت از ۲۶۰۰ تن به ۲۱۰۰ تن تقلیل یافت

شمای کلی این سازه در ادامه آورده شده است؛ همچنین در سازه‌ای مسکونی با اسکلت بتنی با زیربنای تقریبی ۳۰۰۰۰ متر مربع وزن میلگردهای مورد نیاز از ۵۰ کیلوگرم به ۳۲ کیلوگرم به ازای هر متر مربع کاهش یافت. شکل پلان این سازه در ادامه قرار داده شده است.

۶- کاهش در ابعاد المان‌های سازه (به عنوان مثال کاهش مقدار آویزها در سازه بتنی و کاهش ابعاد ستون‌ها و ...). این مسئله نیز یکی از مسایل مهم برای سرمایه‌گذاران بخش ساختمان می‌باشد؛ کاهش ابعاد ستون‌ها منجر به افزایش بنای مفید در طبقات و نیز تامین فضای بیشتر برای پارکینگ‌ها خواهد شد و کاهش ابعاد تیرها منجر به افزایش ارتفاع موثر طبقات و کاهش ضخامت سقف خواهد شد.



شکل شماره ۶ - شمای کلی سازه‌ی فلزی صنعتی با کارکرد احیای فلزات



شکل شماره ۷ - پلان سازه‌ی مسکونی با اسکلت بتنی با زیربنای تقریبی ۳۰۰۰ متر مربع

به عنوان مثال در سازه مسکونی با اسکلت بتنی که در بخش قبل ذکر گردید آویزهای طبقات در حالت طراحی با میراگرها در تمام طبقات حدود ۱۰ سانتی متر کاهش یافته است؛ به صورتی که در طبقات پایین آویز ۳۰ سانتی متر مورد نیاز بوده است و در طبقات بالا آویزها به طور کلی حذف گردیده و ارتفاع کلی تیرهای بتنی به ۳۰ سانتی متر محدود گردیده است؛ در حالی که در طراحی بدون میراگر آویزها در طبقات پایین ۴۰ سانتی متر و در طبقات بالا ۱۰ سانتی متر بوده است؛ از طرف دیگر ابعاد بزرگترین ستون‌ها در پایین‌ترین طبقه از ۷۰×۱۴۰ سانتی متر به ۶۰×۱۲۰ سانتی متر کاهش یافته است که این مسایل بسیار حایز اهمیت می باشند.

**نتیجه گیری**

در این متن ابتدا مقدمه‌ای در مورد مباحث کنترل سازه‌ها و میراگرهای مختلف ساختمانی ارائه گردید و سپس مزایایی که استفاده از میراگر تدس برای یک سازه به همراه خواهد داشت عنوان گردید. از جمله‌ی این مزایا می‌توان به کاهش خرابی در المان‌های اصلی سازه و در نتیجه افزایش ایمنی آن، بهبود عملکرد و افزایش خدمت‌رسانی سازه، کاهش مدت زمان توقف در بهره‌برداری از سازه پس از وقوع زلزله و نیز کاهش هزینه‌های ترمیم آن، کاهش وزن اسکلت سازه و نیز ابعاد المان‌های اصلی سازه و در نتیجه صرفه‌جویی اقتصادی حدود ۱۵ تا ۲۵ درصدی در اسکلت سازه.

## مراجع

- T. T. Soong and G. F. Dargush, Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering, UK: John Wiley & Sons Ltd., ۱۹۹۷.
- J. J. Connor, Introduction to Structural Motion Control, Massachusetts Institute of Technology: Prentice Hall, ۲۰۰۳.
- M. D. Symans, F. A. Charney, A. S. Whittaker, M. C. Constantinou, C. A. Kircher, M. W. Johnson and R. J. McNamara, "Energy Dissipation Systems for

Seismic Applications: Current Practice and Recent Developments," *JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING*, pp. 3-21, 2008.

- FEMAP-750, NEHRP Recommended Seismic Provisions, Building Seismic Safety Council, 2009.
  
- ASCEV, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, 2010.
  
- Website of Part Saze Company, [www.partsazeco.com](http://www.partsazeco.com).