
شناخت و ارزیابی اولیه سیستم میراگرهای لرزه ای

شناسه سند: HIC.RDE.RP.ST.150.V1.0

تعداد صفحات: ۳۳



شرکت گروه —رمایه گذاری مسکن
(—هوامی عام)

<http://www.hic-iran.com>

معاونت توسعه فناوری و ساخت

مدیریت تحقیق و توسعه

تابستان ۹۵

فهرست مطالب

۱. مقدمه	۵
۱.۱. انواع میرایی در سازه ها.....	۵
1.2 انواع سیستم های کنترل پاسخ دینامیکی سازه	۶
۲. کنترل فعال.....	۷
2.1. نحوه کار سیستم های کنترل فعال در مورد زلزله	۹
۲.۲. معایب سیستم های کنترل فعال	۹
۳. کنترل غیرفعال	۱۰
۱.۳. مزایای سیستم های کنترل غیرفعال.....	۱۰
۲.۳. انواع میراگرهای غیر فعال	۱۱
۱.۲.۳. میراگرهای وابسته به جابه جایی.....	۱۲
۲.۲.۳. میراگرهای وابسته به سرعت.....	۱۴
۴. میراگرهای فلزی تسلیم شونده	۱۷
۵. مزایای استفاده از میراگرهای فلزی	۱۸

۱۸.....	۱.۵. کاهش خرابی در المان های اصلی سازه.....
۱۹.....	2. 5. کاهش زمان توقف در بهره برداری از سازه پس از وقوع زلزله.....
۱۹.....	3. 5. کاهش هزینههای ترمیم سازه پس از زلزله.....
۱۹.....	۴. ۵. بهبود عملکرد سازه.....
۱۹.....	5. 5. کاهش در هزینه های ساخت سازه.....
۲۰.....	۶. ۵. کاهش در ابعاد المان های سازه (به عنوان مثال کاهش مقدار آویزها در سازه بتنی و کاهش ابعاد ستون ها و ...)
۲۱.....	۶. معرفی یک مطالعه موردی.....

۲۳.....	۱.۶. بیان خروجی های طرح اولیه.....
۲۶.....	۲.۶. سازه مسلح به میراگرهای فلزی(تدس).....
۲۷.....	3. 6. طراحی سازه با میراگر.....
۲۷.....	۳. ۱. ۶. المانهای سیستم باربر جانبی سازه تسلیم و پلاستیک شونده در اثر زلزله طرح.....
۳۱.....	۳. ۲. ۶. المانهای سیستم باربر جانبی سازه الاستیک و بدون تسلیم در اثر زلزله طرح.....
۳۲.....	۴. ۶. جمع بندی.....
۳۲.....	1. 4. 6 مقایسه هزینه ای دو سازه.....
۳۳.....	۴. ۲. ۶. مقایسه عملکردی دو سازه.....
۳۳.....	3. 4. 6 جمع بندی و مقایسه دو سازه بدون میراگر و سازه با میراگر با سیستم باربر جانبی الاستیک.....

فهرست اشکال

شکل ۱: اتلاف انرژی ناشی از نیروی دینامیکی	۶
شکل ۲: عملکرد میراگرهای جرمی فعال	۸
شکل ۳: عملکرد دستگاه های تغییر دهنده سختی فعال	۹
شکل ۴: تفاوت سازهی کنترل شده (تصویر سمت چپ) و سازهی کنترل نشده (تصویر سمت راست)	۱۱
شکل ۵: اثر اضافه کردن همزمان میرایی و سختی به سازه (میراگرهای فلزی، اصطکاکی و ویسکوالاستیک)	۱۳
شکل ۶: اثر اضافه کردن میرایی بدون اضافه کردن سختی به سازه (میراگر ویسکوز)	۱۵
شکل ۷: انواعی از میراگرهای ویسکوز	۱۶
شکل ۸: نوعی از میراگرهای فلزی	۱۷

فهرست جداول

جدول ۱: مشخصات طبقات مختلف ساختمان هشت طبقه اسکلت فلزی	۲۲
جدول ۲: وزن مقاطع مختلف به کار رفته در طرح اولیه (بدون میراگر)	۲۳
جدول ۳: وزن اسکلت فلزی به تفکیک نوع المان و طبقه و جمع کل در طرح اولیه (بدون میراگر)	۲۴
جدول ۴: پاسخ جابهجایی سازه در طرح اولیه (بدون میراگر) و مقایسه آن با مقدار مجاز (۲,۵ درصد ارتفاع طبقه)	۲۵
جدول ۵: مشخصات میراگرهای مورد استفاده در طرح اولیه ساختمان ۸ طبقه اسکلت فلزی	۲۸
جدول ۶: مقادیر دریافت نهایی طبقات در طرح با میراگر در حالت سیستم باربر جانبی تسلیم شونده در اثر زلزله طرح	۲۸
جدول ۷: وزن نرم افزاری اسکلت سازه مسلح به میراگر با سیستم باربر جانبی تسلیم شونده در اثر زلزله طرح	۲۹
جدول ۸: وزن اسکلت سازه به تفکیک طبقات در سازه ۸ طبقه با میراگر با سیستم باربر جانبی تسلیم شونده در اثر زلزله طرح	۳۰
جدول ۹: مقادیر دریافت نهایی طبقات در طرح با میراگر در حالت سیستم باربر جانبی الاستیک در اثر زلزله طرح	۳۱

۱. مقدمه

به منظور طراحی سازه ها در برابر نیروهای دینامیکی روشهای مختلفی به کار گرفته می شود. یک سازه با ترکیبی از قابلیت شکل پذیری، سختی و همچنین استهلاک انرژی مقاومت خود را حفظ می کند. میزان میرایی در حالت عادی در سازه ها بسیار کم است، بنابراین انرژی مستهلک شده در محدوده رفتار الاستیک سازه بسیار ناچیز می باشد. ولی هنگامی که نیروهای دینامیکی زیادی به سازه وارد می گردد، تغییر مکان های بزرگی در سازه ایجاد می شود. در این حالت سازه فقط به دلیل قابلیت تغییر مکان غیر الاستیک به وجود آمده در آن پایدار باقی می ماند. چنین تغییر مکانهایی موجب به وجود آمدن مفصل پلاستیک به صورت موضعی در نقاطی از سازه می گردد که خود موجب افزایش شکل پذیری و همچنین افزایش استهلاک انرژی می شود. در این حالت مقدار زیادی از انرژی وارد شده به واسطه تخریب های موضعی در سیستم مقاوم جانبی سازه مستهلک می گردد.

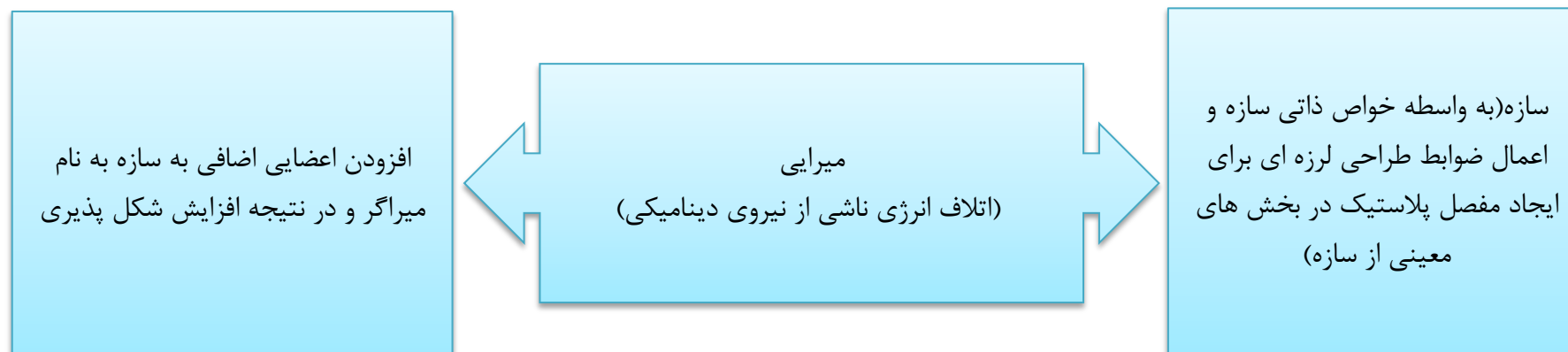
ایمنی یک سازه می تواند با کاهش وزن، تعویض اعضای ضعیف یا افزایش سختی سازه به طوری که فرکانس طبیعی ارتعاش سازه از فرکانس شدید دور گردد تامین شود، اما این روش ها در بسیاری از مواقع هزینه های زیادی همراه است و یا ممکن است اساساً مقدور نباشد. از جمله روشهایی که در سالهای اخیر برای مقاوم سازی سازه ها مورد توجه قرار گرفته است، استفاده از سیستمهای جاذب انرژی می باشد، که کاهش میزان جا به جایی سازه را در حد مطلوبی فراهم می کند.

۱.۱. انواع میرایی در سازه ها

- ۱- اصطکاک داخلی بین ذرات مصالح سازه ای.
- ۲- باز و بسته شدن ترک های میکروسکوپی در اعضای بتنی.
- ۳- اصطکاک در اجزای اتصالات سازه های فولادی.
- ۴- درگیری و اصطکاک بین عناصر سازه ای و غیر سازه ای (میانقاب).

۵- پلاستیسیته در تعدادی از کریستال های مصالح بدلیل تمرکز تنش، در حالی که تنش متوسط هنوز در ناحیه الاستیک خطی قرار دارد.

۶- ورود اعضای سازه ای به ناحیه رفتار خمیری یا پلاستیک.



شکل ۱: اتلاف انرژی ناشی از نیروی دینامیکی

۲.۱. انواع سیستم های کنترل پاسخ دینامیکی سازه

از اهداف کنترل پاسخ دینامیکی سازه ها، کاهش پاسخ های سازه شامل سرعت، شتاب و جابجایی و یک استراتژی مناسب جهت اتلاف انرژی لرزه ای و محافظت سازه در برابر زلزله می باشد.

کنترل سازه ها مجموعه عملیاتی است که به جهت بهبود رفتار سازه های تحت بارهای دینامیکی انجام می شود. این مجموعه عملیات، گستره ی وسیعی را از تغییرات ساده در ابعاد تیرها و ستون ها و سایر المان های سازه تا استفاده از ابزارها و الگوریتم های پیچیده در بر می گیرد. در برخی از مراجع انگیزه های پیدایش بحث کنترل سازه ها در افزایش پریود سازه های افقی و عمودی، پیشرفت مصالح و تولید مصالح پرمقاومت و همچنین ظهور سازه هایی با تجهیزات داخلی حساس به ارتعاش دیده شده است.

کنترل سازه ها از منظر نحوه کارکرد سیستم کنترلی معمولاً به چهار دسته تقسیم بندی می شود:

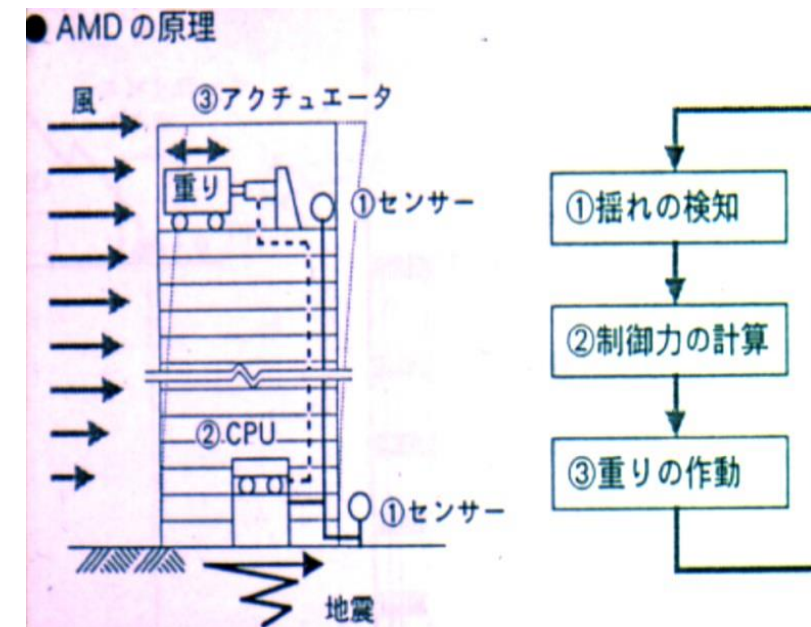
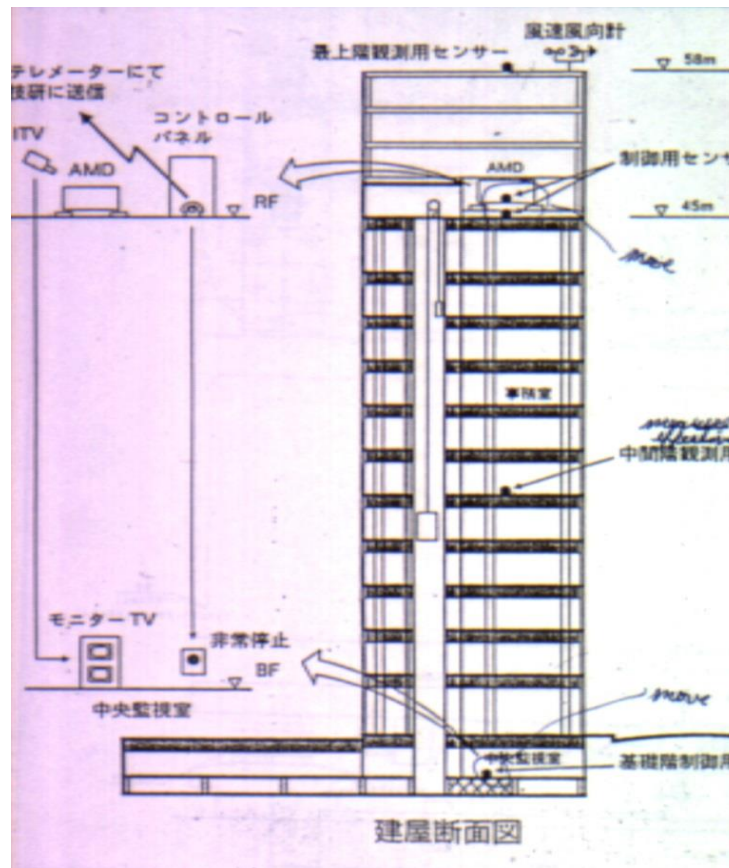
- کنترل فعال
- کنترل غیر فعال
- کنترل نیمه فعال
- کنترل ترکیبی

که در متن پیش رو بر کنترل **غیر فعال** تاکید شده است.

۲. کنترل فعال

در این سیستم ها کنترل پاسخ سازه توسط اعمال نیروهایی در نقاط مختلف آن به صورت همزمان و با توجه به شرایط لحظه ای سازه صورت پذیرفته و همواره آماده برای شروع فعالیت و کنترل ارتعاشات هستند. همچنین تعیین پاسخ سازه در هر لحظه با استفاده از یک الگوریتم مشخص و تعیین نیروی کنترلی مورد نیاز انجام می گیرد. نیروهای کنترلی محاسبه شده با استفاده از یک منبع انرژی خارجی به سازه، تا زمان کاهش پاسخ به حد مورد نظر، اعمال می گردند.

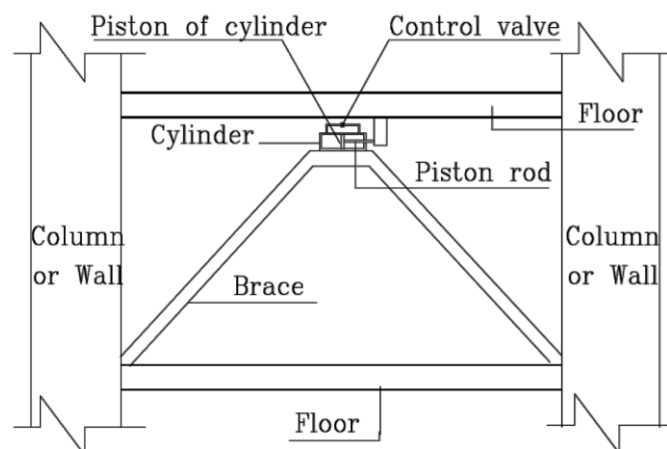
این گروه شامل میراگرهای جرمی فعال (A.M.D.)^۱ (شکل ۲) و دستگاه های تغییر دهنده سختی فعال (A.V.S.)^۲ (شکل ۳) هستند.



شکل ۲: عملکرد میراگرهای جرمی فعال

^۱ Active Mass Damper

^۲ Active Variable Stiffness



شکل ۳: عملکرد دستگاه های تغییر دهنده سختی فعال

۱.۲. نحوه کار سیستم های کنترل فعال در مورد زلزله

با قرارگیری حسگرهای دریافت کننده پاسخ سازه و یا ارتعاشات زمین (متصل به CPU) در فاصله ای از سازه و در طبقاتی از سازه، ارتعاشات زمین و سازه به پردازنده مرکزی منتقل شده و پردازش می شوند. شروع فعالیت سیستم کنترلی لحظه ای است که دامنه ارتعاشات و یا ورودی زلزله ثبت شده توسط حسگر ها برابر یا بیش تر از مقدار تعریف شده برای آن باشد.

۲.۲. معایب سیستم های کنترل فعال

- هزینه اولیه زیاد و عملیات تعمیر و نگهداری سنگین آنها برای ایجاد امکان استفاده در هر لحظه
- وجود مساله تاخیر زمانی در ارسال فرمان به محرک ها

- بروز برخی اشکالات در تخمین صحیح نیروی کنترلی که می تواند سبب تقویت پتانسیل ناپایدار کردن سیستم باشد

۳. کنترل غیرفعال

در سیستم های کنترل غیرفعال سازه ها 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 می - گردند اتلاف می شود و در نتیجه تقاضای جذب انرژی سازه کاهش می یابد. در این نوع کنترل، نیروی کنترلی که از طریق وسایل و ابزار کنترلی به کار رفته در سازه تولید و به سازه اعمال می شود، بر اساس پاسخ خود سازه ایجاد می گردد و بدین ترتیب نیازی به دریافت انرژی الکتریکی مانند انرژی برق یا باتری نمی باشد. 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.

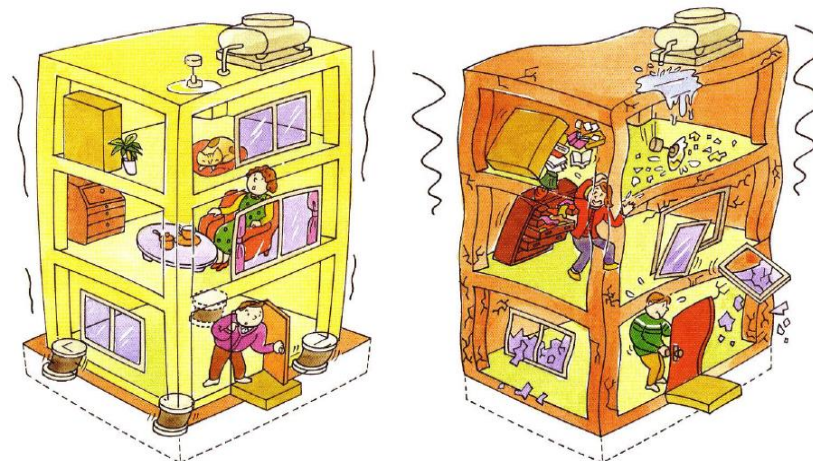
۱.۳. مزایای سیستم های کنترل غیرفعال

با شروع تحریک، سیستم کنترلی به کار افتاده و با خاتمه آن به حالت غیر فعال بر می گردد. عملکرد کنترلی از طریق تغییر در سختی، دوره تناوب و میرایی صورت می پذیرد. تکنیک معروف و موسوم جداسازی پایه، میراگر های اصطکاکی، میراگر های فلزی تسلیم شونده، میراگر های ویسکو الاستیک، میراگرهای سیال لزج، میراگر جرمی تنظیم شده و میراگرهای مایعی تنظیم شده از انواع این سیستم ها هستند.

از مزایای سیستم کنترل غیرفعال می توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- 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



شکل ۴: تفاوت سازه‌ی کنترل شده (تصویر سمت چپ) و سازه‌ی کنترل نشده (تصویر سمت راست)

۲.۳. انواع میراگرهای غیر فعال

میراگرهای غیرفعال دسته‌ای از ابزارهای کنترل غیرفعال به شمار می روند، این میراگرها را می توان از نظر وابستگی پاسخ نیرو در آنها به جابه جایی یا سرعت نسبی دو سر میراگر به دو

دسته تقسیم نمود:

۱.۲.۳. میراگرهای وابسته به جابه جایی

مقدار پاسخ نیرو در این میراگرها در درجه اول تابعی از میزان جابه جایی نسبی دو سر آن میراگر می باشد. انواع میراگرهای اصطکاکی مانند میراگر اصطکاکی با مکانیزم کرنش اجباری، میراگر اصطکاکی پال^۳، میراگر اصطکاکی پیچی^۴ و میراگر اصطکاکی سامیتومو^۵؛ انواع میراگرهای فلزی^۶ یا چرخه ای^۷ مانند میراگرهای ادس^۸، تدس^۹ و میراگر قطری مرکب^{۱۰}، میراگرهای جرمی تنظیم شونده^{۱۱} در این دسته جای می گیرند. در این میراگرها پاسخ نیرو عمدتاً مستقل از مقدار سرعت نسبی دو سر میراگر و یا فرکانس بار خارجی می باشد.

در مورد مزایای انواع میراگرهای اصطکاکی می توان گفت که ساخت این میراگرها معمولاً به سادگی و با صرف هزینه ی کمی انجام می پذیرد، همچنین میزان نیروی ایجاد شده در این میراگرها به مقداری مشخص محدود می گردد. از طرفی ایراد بزرگ این میراگرها در وابستگی عملکرد آنها به ضریب اصطکاک بین سطوح مختلف میراگر می باشد که ممکن است به مرور زمان تغییر نموده و عملکرد میراگر را به میزان قابل ملاحظه ای تحت تاثیر قرار دهد؛ همچنین این نوع میراگرها معمولاً قبل از آغاز لغزش سطوح بر روی یکدیگر سختی اولیه ی زیادی به سازه اضافه می نمایند که می تواند در صورت عدم طراحی مناسب، شتاب و در نتیجه برش پایه را در ابتدای کار تا حد زیادی افزایش دهد، در نهایت آنکه با استفاده از این میراگرها ممکن است پس از پایان تحریک خارجی مانند زلزله، در سازه تغییرشکل های پسماند ایجاد شود.

در مورد مزایای انواع میراگرهای فلزی می توان گفت که ساخت این میراگرها معمولاً با صرف هزینه ی کمی انجام می پذیرد، همچنین میزان نیروی ایجاد شده در این میراگرها به مقداری مشخص محدود می گردد. این میراگرها نیز ممکن است پس از پایان تحریک خارجی مانند زلزله، در سازه تغییرشکل های پسماند ایجاد نمایند؛ از طرف دیگر ممکن است پس از پایان یک

³ Pall Cross- Bracing Friction Damper

⁴ Slotted-Bolted Damper

⁵ Sumitomo Friction Damper

⁶ Metallic Yield Damper

⁷ Hysteretic Damper

⁸ ADAS Damper

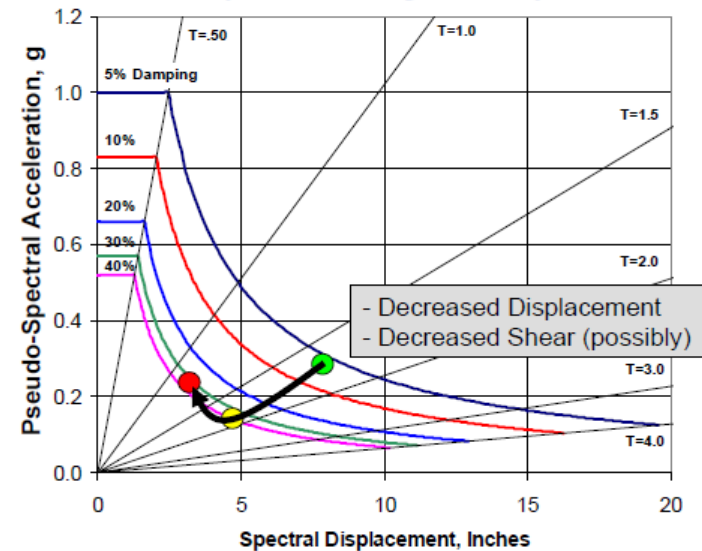
⁹ TADAS Damper

¹⁰ Unbonded Brace Damper

¹¹ Tuned Mass Damper

تحریک خارجی بزرگ نیاز به تعویض این میراگرها وجود داشته باشد. لازم به ذکر است علی‌رغم اینکه میراگرهای فلزی به سازه سختی اضافه می‌نمایند، اما مقدار این سختی معمولاً در مقایسه با میرایی اضافه شده به سازه عدد کوچکی بوده به نحوی که در نهایت استفاده از این میراگر منجر به کاهش در برش پایه ناشی از زلزله خواهد گردید.

Effect of Added Damping and Stiffness (ADAS System)



شکل ۵: اثر اضافه کردن همزمان میرایی و سختی به سازه (میراگرهای فلزی، اصطکاکی و ویسکوالاستیک)

۲.۲.۳. میراگرهای وابسته به سرعت

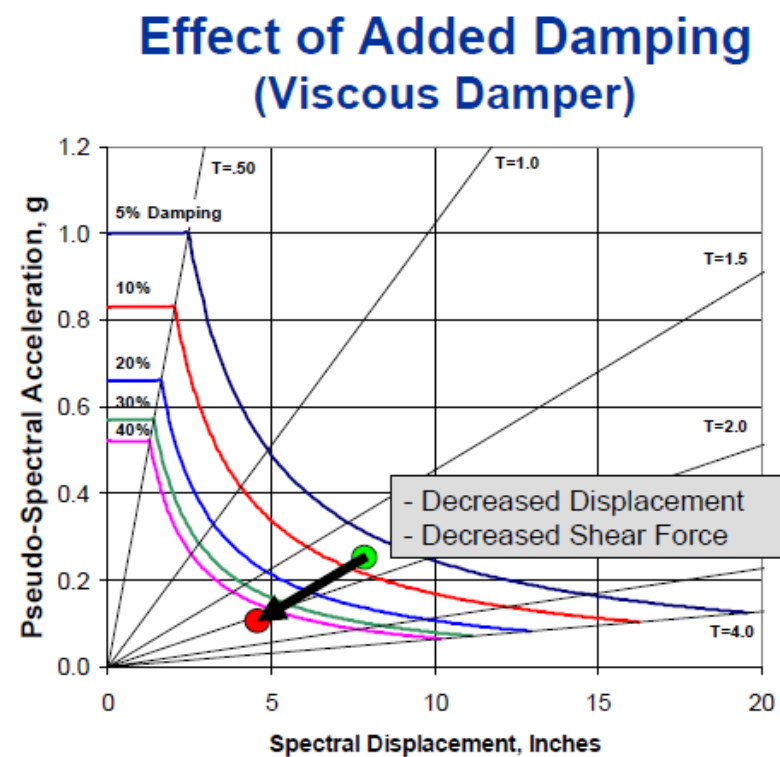
مقدار پاسخ نیرو در این نوع میراگرها در درجه اول وابسته به سرعت نسبی دو سر میراگر و یا فرکانس بار خارجی است؛ میراگرهای ویسکوز^{۱۲} و میراگرهای ویسکوالاستیک^{۱۳} در این دسته جای می گیرند. پاسخ نیرو در اینگونه میراگرها ممکن است وابستگی به جابه جایی نیز داشته باشند.

بزرگترین مزیت میراگرهای ویسکوز در ظرفیت بالای جذب انرژی آنها و کاهش قطعی برش پایه است. در این میراگرها با توجه به اینکه سرعت، زمانی حداکثر است که جابه جایی صفر باشد بیشینه نیروی ایجاد شده در میراگر با بیشینه نیروی الاستیک ایجاد شده در سازه ۹۰ درجه اختلاف فاز خواهد داشت و در نتیجه نیروی میراگر منجر به افزایش نیرو در المانهای سازه نسبت به حالتی که میراگر در سازه حضور ندارد نخواهد گردید؛ همچنین این میراگرها در فرکانسهای بارگذاری پایین سختی بسیار کمی دارند؛ اما این میراگرها رفتار غیرخطی شدیدی دارند، در نمونه های خطی آنها نیرو محدودیت ندارد و هرچقدر سرعت بیشتر شود، نیرو نیز افزایش خواهد یافت که ممکن است منجر به ایجاد نیروهای بزرگ در برخی المانهای سازه – مخصوصا در اطراف میراگر – شود، در نهایت آنکه به دلیل شرایط خاص در ساخت قیمت این میراگرها بالا می باشد.

در مورد میراگرهای ویسکوالاستیک می توان همان مزایا و معایب میراگرهای ویسکوز را برشمرد با این تفاوت که این میراگرها به سازه سختی نیز اضافه می نمایند و کمی ارزان تر از میراگرها ویسکوز ولی گران تر از میراگرهای فلزی و اصطکاکی می باشند.

¹² Viscous Damper

¹³ Visco-Elastic Damper



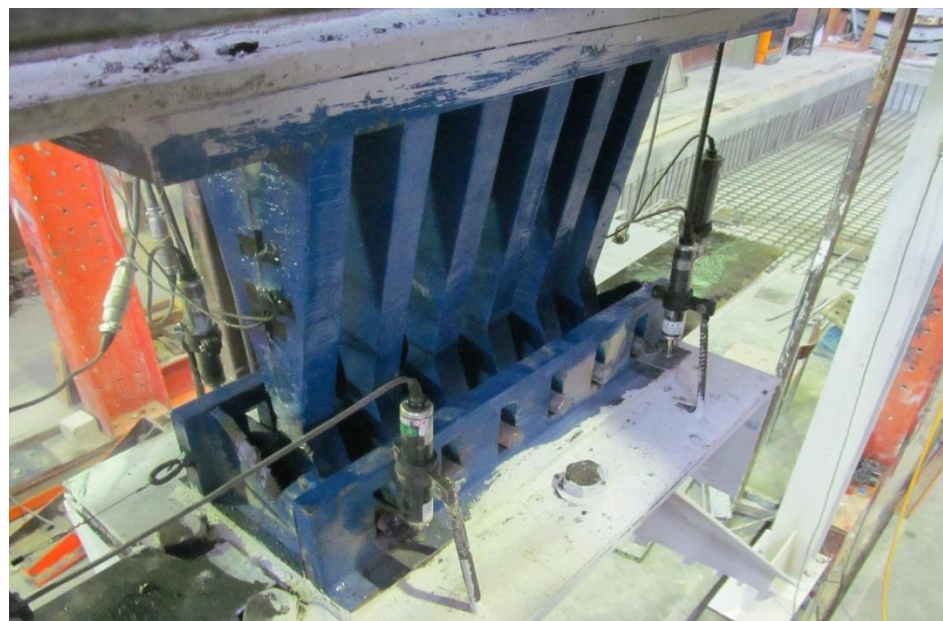
شکل ۶: اثر اضافه کردن میرایی بدون اضافه کردن سختی به سازه (میراگر ویسکوز)



شکل ۷: انواعی از میراگرهای ویسکوز

۴. میراگرهای فلزی تسلیم شونده

این میراگرها از گروه میراگرهای غیرفعال و دسته ای از ابزارهای کنترل غیرفعال به شمار می روند. انرژی منتقل شده به سازه صرف تسلیم و رفتار غیر خطی در قطعات به کار رفته در میراگر گردیده و از تغییر شکل غیر الاستیک فلزات شکل پذیری مانند فولاد و سرب جهت اتلاف انرژی استفاده می شود. این میراگرها به عنوان فیوز در سازه عمل نموده و با تمرکز رفتار غیر خطی در خود، مانع از بروز رفتار غیر خطی و آسیب در سایر اجزای سازه ای و غیر سازه ای می شوند. فلز به کار رفته برای ساخت این میراگرها عموماً بایستی دارای رفتار مناسب تغییر هیستریزیس، دامنه خستگی بالا، استحکام نسبی بالا و عدم حساسیت زیاد نسبت به تغییرات درجه حرارت باشند.



شکل ۸: نوعی از میراگرهای فلزی

مکانیزم میراگری انرژی در میراگر تدس بدین گونه است که قبل از تسلیم المان های سازه ای، پره های مثلثی شکل این میراگرها تسلیم می شوند و پس از تسلیم انرژی تحریک خارجی را به صورت گرما اتلاف می نمایند و بدین ترتیب انرژی کمتری از تحریک خارجی به المان های سازه می رسد؛ از منظر سازه ای میرایی سازه ی مسلح به میراگر افزایش می یابد. در نهایت آنکه با توجه به افزایش خطی مقدار لنگر خمشی ایجاد شده از پایین به بالای پرها، مثلثی بودن پره های این میراگر سبب می شود که مقدار ممان اینرسی مقطع به صورت خطی از پایین به بالا افزایش یابد؛ بدین ترتیب میزان تنش محوری ناشی از خمش در تمام مقاطع ورق های مثلثی شکل تقریباً میزان ثابتی خواهد داشت و به عبارت دیگر از تمام ظرفیت فلز به کار رفته در پرها در اتلاف انرژی استفاده خواهد شد و چرخه های هیسترتیک بزرگتری را شاهد خواهیم بود.

۵. مزایای استفاده از میراگرهای فلزی

۱.۵. کاهش خرابی در المان های اصلی سازه.

همانطور که می دانیم بر اساس آیین نامه های مرسوم بارگذاری از جمله استاندارد ۲۸۰۰، مبحث ششم مقررات ملی ساختمان ایران، آیین نامه ی ASCE/SEI 7-10 و ... بر اساس ملاحظات اقتصادی، خرابی در اثر زلزله ی طرح تا حدی مجاز شمرده می شود؛ که این خرابی معمولاً در محل تشکیل مفصل پلاستیک آغاز شده و سپس با پلاستیک شدن احتمالی سایر مناطق گسترش می یابد. خرابی المان های اصلی سازه خود می تواند مشکلات عدیده ای را در حین تحریک و پس از آن ایجاد نماید. با استفاده از میراگر تدس این پلاستیک شدگی که راهی برای جذب انرژی تحریک خارجی می باشد معمولاً در پره های میراگر اتفاق می افتد و المان های سازه خرابی کمتری خواهند داشت.

۲.۵. کاهش زمان توقف در بهره برداری از سازه پس از وقوع زلزله.

با کاهش خرابی در المان های اصلی سازه و تمرکز خرابی در میراگرها زمان تعویض المان های آسیب دیده بسیار کاهش خواهد یافت و در نتیجه زمان توقف در بهره برداری از سازه کاهش خواهد یافت. از طرف دیگر با توجه به اینکه بر اساس آیین نامه های طراحی سازه های مسلح به میراگر تیرهای فوقانی میراگر نباید آسیب ببینند و آنکه میراگرهای تدس اتصال پیچی دارند تعویض آنها بسیار سریع و راحت می باشد.

۳.۵. کاهش هزینه های ترمیم سازه پس از زلزله.

با کاهش خرابی در المان های اصلی سازه و تمرکز خرابی در میراگرها هزینه تعویض المان های آسیب دیده کاهش خواهد یافت. در صورتی که المان آسیب دیده یک تیر باشد تعویض آن نیاز به استفاده از راهکارهای نسبتا دشوار و زمان بر و تحمل دشواری های فراوان دارد؛ در ستون ها پیچیدگی و دشواری تعویض دوچندان خواهد بود.

۴.۵. بهبود عملکرد سازه.

از آنجایی که افزایش میرایی در سازه ها منجر به کاهش پاسخ شتاب و همچنین جابه جایی سازه می گردد، بنابر این استفاده از میراگرها باعث بهبود عملکرد سازه ها خواهد شد.

۵.۵. کاهش در هزینه های ساخت سازه.

یکی از مهم ترین عوامل تعیین کننده در تصمیم گیری ها برای سازندگان و سرمایه گذاران مسایل اقتصادی پروژه می باشد. بر اساس آیین نامه های مختلف و با توجه به تحمل بخشی از انرژی تحریک خارجی توسط میراگرها می توان المان های سازه را برای تحمل سهم کوچکتری از انرژی تحریک خارجی طراحی نمود. این به معنای کوچکتر شدن مقاطع و در نتیجه سبک شدن

اسکلت خواهد شد. بررسی ها نشان می دهند که بسته به مورد در حدود ۱۵ تا ۲۵ درصد از وزن اسکلت سازه را می توان با استفاده از میراگرها کاهش داد که این به معنای کاهش قابل توجه در هزینه های ساخت سازه است.

به عنوان مثال در پروژه فلزی صنعتی کوره احیای گل گهر مدول II با ارتفاع ۱۱۰ متر که به سفارش شرکت فن آور معادن و فلزات بازطراحی گردید وزن آهن مورد نیاز از ۲۶۰۰ تن به ۲۱۰۰ تن تقلیل یافت؛ همچنین در سازه ای مسکونی با اسکلت بتنی با زیربنای تقریبی ۳۰۰۰۰ متر مربع وزن میلگردهای مورد نیاز از ۵۰ کیلوگرم به ۳۵ کیلوگرم به ازای هر متر مربع کاهش یافت. در این زمینه در فصل های آتی به صورت مفصل تر بحث خواهد شد.

۶.۵. کاهش در ابعاد المان های سازه (به عنوان مثال کاهش مقدار آویزها در سازه بتنی و کاهش ابعاد ستون ها و ...).

این مسئله نیز یکی از مسایل بسیار مهم برای سازندگان می باشد؛ کاهش ابعاد ستون ها منجر به افزایش بنای مفید در طبقات و نیز تامین فضای بیشتر برای عبور پارکینگ ها خواهد شد و کاهش ابعاد تیرها منجر به افزایش ارتفاع موثر طبقات و کاهش ضخامت سقف خواهد شد.

به عنوان مثال در پروژه ی سازه بتنی 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؛ این مسئله به جهت مسایل اجرایی بسیار حایز اهمیت می باشد.

۶. معرفی یک مطالعه موردی

این پروژه مربوط به ساختمان هشت طبقه با اسکلت فلزی و متراژ تقریبی زیربنای کل ۲۸۳۲ متر مربع واقع در شهرستان تهران می باشد. همچنین شکل سه بعدی ساختمان در نرم افزار ETABS مدل شده و مساحت کف های طبقات مختلف و ارتفاع طبقات در جدول شماره ۱ آورده شده است. لازم به ذکر است با توجه به آنکه دو طبقه زیرین دارای دیوار حایل بتن آرمه متصل به سازه اصلی میباشد، در محاسبات زلزله از این دو طبقه صرف نظر می گردد. در نتیجه با توجه به آنکه وزن خرپشته ها بسیار کمتر از ۲۵٪ وزن بام است؛ ارتفاعی که لازم است برای محاسبات لرزه ای سازه در نظر گرفته شود برابر با ۲۱،۲۸ متر می باشد. در واقع برای محاسبات زلزله این سازه دارای شش طبقه از روی تراز پایه می باشد.

مدلی که محاسبات اولیه بر روی آن انجام گرفته است سازه اسکلت فولادی با استفاده از فولاد نرمه ST37 با مقاومت تسلیم برابر با ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع میباشد. سقف سازه از نوع عرشه فولادی با ورقهای دوزنقه ای گالوانیزه و بتن مورد استفاده بر روی آن دارای مقاومت فشاری نمونه ی ۲۸ روزه استوانه ای برابر با ۲۵۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع میباشد. سیستم باربر جانبی سازه در طرح بدون میراگر در جهت بلند مهاربندی هم محور ویژه فولادی و در راستای کوتاه قاب خمشی فلزی با شکل پذیری متوسط در نظر گرفته شده است. تیرهای اصلی از نوع تیر ورق I شکل و ستونها به صورت قوطیهای ساخته شده از ورق میباشد. برای تیرهای فرعی و تیرهای با دو انتهای ساده نیز از مقاطع I شکل نورد شده و یا تیر ورق I شکل استفاده شده است؛ همچنین برای مهاربندها نیز مقاطع دابل ناودانی به کار رفته است. با توجه به اینکه در پیشنهادیه حاضر تمرکز بر روی میراگرهای پروژه است توضیحات بیشتر و طرح دقیق سازه ی مسلح به میراگر و نیز طرح سیستم میراگری در طراحی انجام خواهد شد.

نسبت شتاب مبنای طرح برابر ۰،۳۵ و خاک از نوع تیپ سه و ضریب اهمیت ساختمان متوسط می باشد.

جدول ۱: مشخصات طبقات مختلف ساختمان هشت طبقه اسکلت فلزی

نام طبقه	ارتفاع طبقه (متر)	مساحت کف (مترمربع)
طبقه اول	۳/۴۰	۱۹۴/۱
طبقه دوم	۳/۰۰	۳۵۸/۲
طبقه سوم	۴/۱۸	۳۷۲/۰
طبقه چهارم	۳/۴۲	۳۷۲/۰
طبقه پنجم	۳/۴۲	۳۷۲/۰
طبقه ششم	۳/۴۲	۳۷۲/۰
طبقه هفتم	۳/۴۲	۳۷۲/۰
طبقه هشتم	۳/۴۲	۳۷۲/۰
خرپشته اول	۴/۱۰	۲۳/۸
خرپشته دوم	۲/۶۳	۲۳/۸
مجموع	۳۴/۴۱	۲۸۳۲/۰

لازم به ذکر است که به جهت تحلیل و طراحی سازه مسلح به میراگر از نرم افزار Etabs 9.7.4 و آییننامه ی ASCE/SEI7-10 استفاده شده است.

۱.۶. بیان خروجی های طرح اولیه

در طرح اولیه که توسط طراح آن انجام گرفته است وزن اسکلت سازه برابر با ۲۵۸,۱۸ تن میباشد که در جدول شماره ۲ آمده است. جدول شماره ۳ به تفکیک المان، مقاطع به کار رفته و طبقه آورده شده است. با توجه به آنکه مساحت زیربنای کل سازه که قبلاً محاسبه گردید برابر با ۲۸۳۲ متر مربع میباشد بر این اساس وزن نرم افزاری و اولیه اسکلت سازه برابر با ۹۱ / ۱۶ کیلوگرم به ازای هر متر مربع از زیربنای سازه میباشد.

جدول ۲: وزن مقاطع مختلف به کار رفته در طرح اولیه (بدون میراگر)

Section	Element Type	Num Pieces	Total Length	Total Weight
IPE200	Beam	79	254.59	5667.849
IPE270	Beam	151	595.534	20794.088
35X3	Column	36	124.43	37508.179
30X1.5	Column	66	225.72	30299.524
30X2	Column	21	72.46	12741.366
B6	Beam	10	63.24	7877.499
B2	Beam	59	314.693	15882.85
30X2.5	Column	21	74.06	15987.703
B3	Beam	29	171.94	12414.681
B4	Beam	26	159.26	13971.791
B5	Beam	31	203.06	21764.087
30X3	Column	19	67.3	17117.082
IP24	Beam	82	418.577	12847.6
B7	Beam	4	28.72	4412.564
2UNP80	Brace	12	58.039	1004.162
2UNP10	Brace	8	49.428	1044.522
2UNP12	Brace	22	121.84	3248.075
2UNP14	Brace	18	111.455	3562.665
2UNP16	Brace	12	77.751	2932.096
B1	Beam	67	342.16	15338.586
20X1.5	Column	6	20.19	1759.256

جدول ۳: وزن اسکلت فلزی به تفکیک نوع المان و طبقه و جمع کل در طرح اولیه (بدون میراگر)

Story	Element Type	Material	Total Weight	Floor Area	Unit Weight
APP-1	Column	STEEL	3065.857	23.76	129.0344
APP-1	Beam	STEEL	1125.914	23.76	47.3869
APP	Column	STEEL	4779.473	8.97	532.8286
APP	Beam	STEEL	1466.388	8.97	163.4769
STORY8	Column	STEEL	10897.197	340.414	32.0116
STORY8	Beam	STEEL	15997.097	340.414	46.9931
STORY8	Brace	STEEL	1379.243	340.414	4.0517
STORY7	Column	STEEL	10897.197	340.414	32.0116
STORY7	Beam	STEEL	15800.838	340.414	46.4165
STORY7	Brace	STEEL	1652.402	340.414	4.8541
STORY6	Column	STEEL	10897.197	340.414	32.0116
STORY6	Beam	STEEL	17594.593	340.414	51.6859
STORY6	Brace	STEEL	1850.404	340.414	5.4357
STORY5	Column	STEEL	12019.402	340.414	35.3082
STORY5	Beam	STEEL	18182.454	340.414	53.4128
STORY5	Brace	STEEL	2095.725	340.414	6.1564
STORY4	Column	STEEL	13874.53	340.414	40.7578
STORY4	Beam	STEEL	18873.754	340.414	55.4435
STORY4	Brace	STEEL	2237.737	340.414	6.5736
STORY3	Column	STEEL	21528.609	352.994	60.9886
STORY3	Beam	STEEL	19154.737	352.994	54.2636
STORY3	Brace	STEEL	2576.009	352.994	7.2976
STORY2	Column	STEEL	15451.155	333.806	46.2878
STORY2	Beam	STEEL	15080.551	333.806	45.1776
STORY1	Column	STEEL	12002.493	175.217	68.5007
STORY1	Beam	STEEL	7695.269	175.217	43.9185
SUM	Column	STEEL	115413.11	2596.817	44.4441
SUM	Beam	STEEL	130971.594	2596.817	50.4354
SUM	Brace	STEEL	11791.52	2596.817	4.5408

در نهایت بر اساس طراحی انجام شده میزان جابه جایی های نهایی سازه بدست می آید که در جدول شماره ۴ آورده شده است. لازم به ذکر است که دریافت طبقه از اختلاف جابه جایی نسبی بین یک طبقه و طبقه ی زیرین آن بدست می آید. همچنین برای تبدیل دریافت حالت الاستیک به دریافت نهایی می توان از ضریب Cd استفاده نمود. بدین ترتیب که از ضرب دریافت الاستیک در ضریب Cd دریافت نهایی بدست خواهد آمد. با یک حساب ساده، با استفاده از تحلیل انجام گرفته و به صورت تقریبی مشخص می گردد میزان جابه جایی طبقات در اثر زلزله طرح در حدود ۲٫۵ درصد ارتفاع طبقه و با توجه به فلسفه استاندارد 2800 ویرایش چهارم عملکرد کلی سازه، حد عملکردی ایمنی جانی می باشد. در سازه بدون میراگر بسیاری از المانهای سیستم باربر جانبی سازه در اثر زلزله طرح وارد محدوده ی غیرخطی خود خواهند شد. لازم به ذکر است برای محاسبه جابه جایی ها از زمان تناوب دینامیکی استفاده شده است و نه تجربی که بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ این کار مجاز است.

جدول ۴: پاسخ جابه جایی سازه در طرح اولیه (بدون میراگر) و مقایسه آن با مقدار مجاز (۲٫۵ درصد ارتفاع طبقه)

جابه جایی کل	جابه جایی کل	دریافت	دریافت	بیشینه نسبت دریافت به ارتفاع طبقه برای
الاستیک X	الاستیک Y	نهایی X	نهایی Y	دو راستای اصلی
(میلی متر)	(میلی متر)	(میلی متر)	(میلی متر)	
۱۶/۸	۵/۱	۶۷/۲	۲۵/۵	۰/۰۱۶
۳۲/۱	۱۰/۵	۶۱/۲	۲۷/۰	۰/۰۱۸ (معادل ایمنی جانی)
۴۷/۴	۱۶/۵	۶۱/۲	۳۰/۰	۰/۰۱۸
۶۱/۸	۲۳/۱	۵۷/۶	۳۳/۰	۰/۰۱۷
۷۳/۶	۲۹/۵	۴۷/۲	۳۲/۰	۰/۰۱۴
۸۱/۲	۳۵/۳	۳۰/۴	۲۹/۰	۰/۰۰۹

۲.۶. سازه مسلح به میراگرهای فلزی (تدس)

لازم به ذکر است سازه مسلح به میراگر در دو حالت محاسبه گردیده است. در هر دو حالت سیستم باربر جانبی سازه در هر دو راستای اصلی به سیستم قاب خمشی فولادی با شکل پذیری متوسط تغییر داده شده است. در واقع در این دو طرح پیشنهادی، سیستم مهاربندی حذف و سختی سازه کاهش داده شده است و از طرف دیگر با افزودن میراگر به سازه میرایی افزایش داده خواهد شد تا هم پاسخ سازه کنترل گردد و هم با کاهش در برش پایه نیاز به مقاطع بزرگ و سنگین در سیستم باربر جانبی وجود نداشته باشد. دو حالت عبارتند از:

المانهای سیستم باربر جانبی سازه تسلیم و پلاستیک شونده در اثر زلزله طرح

در حالت اول سازه به نحوی محاسبه گردیده است که در اثر زلزله طرح المانهای سیستم باربر جانبی همانند یک سازه بدون میراگر رفتار نمایند و وارد محدوده غیرخطی خود شوند. در این حالت همانند سازه بدون میراگر سطح عملکرد سازه ایمنی جانی خواهد بود. در این حالت در اثر استفاده از میراگرها در سازه وزن اسکلت سازه کاهش خواهد یافت و از لحاظ اقتصادی این حالت هزینه ساخت اسکلت کمتری خواهد داشت.

المانهای سیستم باربر جانبی سازه الاستیک و بدون تسلیم در اثر زلزله طرح

در حالت دوم سازه به نحوی محاسبه گردیده است که تقریباً هیچ یک از المانهای سیستم باربر جانبی سازه در اثر زلزله طرح وارد محدوده غیرخطی خود نشوند؛ هر چند که اسکلت سازه نسبت به طرح حالت اول کمی سنگینتر خواهد بود.

۳.۶. طراحی سازه با میراگر

۱.۳.۶. المانهای سیستم باربر جانبی سازه تسلیم و پلاستیک شونده در اثر زلزله طرح

در این پروژه و در طراحی و بررسی اولیه از میراگرهای ۶ پره تدس با ضخامت پره ای ۳۰ میلیمتر و ارتفاع پره های ۳۰ سانتیمتر محاسبات طرح اولیه انجام شده است. مشخصات میراگرهای مورد استفاده در طرح اولیه سازه در جدول شماره ۵ قرار داده شده است. مدلسازی میراگرها در سازه نیز بر اساس استاندارد ASCE/SEI7-10 انجام خواهد شد؛ در این پروژه برای تحلیل هر دو طرح با میراگر از روش تحلیل طیف پاسخ استفاده میگردد. بر این اساس لازم است سختی میراگرها و سایر المانهای سیستم میراگری در مدل وارد شود. برای المانهای سیستم میراگری به جز خود میراگرها (مانند قطریهای نگهدارنده میراگرها) باید سختی الاستیکشان در مدل وارد گردد و خود میراگرها باید با سختی موثرشان در جابهجایی طراحی در مدل وارد شوند. این سختی موثر بر اساس منحنیهای آزمایشگاهی و روابط تئوری قابل تعیین است که در اینجا با توجه به انجام آزمایش در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی از منحنیهای آزمایشگاهی که دقیق و منطبق بر واقعیت هستند استفاده شده است. در طرح با میراگر سازه در هر دو حالت در مجموع از تعداد ۲۴ میراگر ۶ پره تدس در شش طبقه بهره گرفته شده است که این میراگرها در ۲۴ دهانه از سازه به شرح زیر تعبیه شده اند:

در تمام طبقات سازه از ۴ میراگر (دو میراگر در هر راستا) استفاده شده است. بدین ترتیب در این طبقات با توجه به مسایل فنی و معماری ۴ دهانه انتخاب می شود (دو دهانه در هر راستا) و در هر دهانه یک میراگر نصب خواهد شد. مقدار میرایی اضافه شده به سازه در اثر میراگرها با استفاده از تئوری دینامیک سازه ها که در آیین نامه های مختلف همانند استاندارد ASCE/SEI7-10 نیز ذکر گردیده است محاسبه می گردد.

همانگونه که در بخشهای قبل ذکر گردید، روش محاسبات برش پایه و جابهجایی طبقات روش تحلیل طیف پاسخ میباشد که از روش نیروی جانبی معادل دقیقتر است. برای استفاده از این روش محدودیتی برای ارتفاع سازه، منظم بودن یا نبودن سازه و صلب بودن یا نبودن دیافراگم کف طبقات وجود ندارد و تنها باید دقت نمود که در هر طبقه حداقل ۴ میراگر وجود داشته باشند و نیز میرایی کلی مود اول بیش از ۲۵٪ میرایی بحرانی نباشد.

جدول ۵: مشخصات میراگرهای مورد استفاده در طرح اولیه ساختمان ۸ طبقه اسکلت فلزی

تعداد پره ها	ضخامت پره ها	ارتفاع پره ها	وزن هر میراگر	ظرفیت آزمایش شده میراگر
۶ پره	۳۰ میلی متر	۳۰ سانتی متر	حدود ۱۸۰ کیلوگرم	۱۶ سانتی متر

جدول ۶: مقادیر دررفت نهایی طبقات در طرح با میراگر در حالت سیستم باربر جانبی تسلیم شونده در اثر زلزله طرح

دررفت طبقات در تقاضای شکل پذیری ۱/۶۶۷			
طبقه مورد نظر	جهت Y	جهت X	نسبت بیشینه دررفت به ارتفاع طبقه
طبقه سوم	0.05901763	0.064321944	0.015388
طبقه چهارم	0.059687674	0.06213833	0.018169
طبقه پنجم	0.056318813	0.058301578	0.017047
طبقه ششم	0.051871487	0.052771619	0.01543
طبقه هفتم	0.043076549	0.043446425	0.012704
طبقه هشتم	0.032983923	0.031474419	0.009644

آنطور که از جدول مشخص است در طرح اول با میراگر نیز مقادیر دریفت سازه در حد دریفت مجاز سطح عملکرد ایمنی جانی در اثر زلزله طرح میباشد و بیشینه نسبت دریفت سازه نسبت به ارتفاع همانند سازه بدون میراگر برابر همان ۰,۰۱۸ میباشد. هر چند بیشینه مقدار جابه جایی بام (مجموع دریفتهای نهایی طبقات) در سازه با میراگر برابر با ۳۱۲ میلیمتر و برای سازه بدون میراگر برابر با ۳۲۵ میلیمتر میباشد.

همین میزان کاهش در جابه جایی میتواند به کاهش در خرابیهای سازه ای و غیرسازه ای منجر شود.

در این حالت سازه بر اساس نیروهای اینرسی محاسبه شده بازطراحی گردیده است. در این حالت وزن اسکلت سازه از حدود ۲۵۸,۲ تن در طرح اولیه بدون میراگر به حدود ۲۱۴ تن در طرح اول با میراگر تقلیل یافته است که این وزن شامل وزن قطری های نگهدارنده میراگرها و آهن آلات مورد نیاز برای اتصال آنها نیز می باشد؛ این مسئله نشان دهنده ی کاهش وزنی در حدود ۴۴ تن معادل حدود ۱۷ درصد وزن اولیه می باشد. (جدول ۷ و ۸)

جدول ۷: وزن نرم افزاری اسکلت سازه مسلح به میراگر با سیستم باربر جانبی تسلیم شونده در اثر زلزله طرح

Element Type	Material	Total Weight	Num Pieces
Column	STEEL	84702.69	169
Beam	STEEL	124335.5	538
Bracing For Dampers	STEEL	6000	48
Total		215000	

جدول ۸: وزن اسکلت سازه به تفکیک طبقات در سازه ۸ طبقه با میراگر با سیستم باربر جانبی تسلیم شونده در اثر زلزله طرح

Story	Element Type	Material	Total Weight	Floor Area	Unit Weight
APP-1	Column	STEEL	1374.99	23.76	57.87
APP-1	Beam	STEEL	854.441	23.76	35.9613
APP	Column	STEEL	2143.521	8.97	238.9656
APP	Beam	STEEL	856.78	8.97	95.5162
STORY8	Column	STEEL	8215.182	340.414	24.1329
STORY8	Beam	STEEL	14424.474	340.414	42.3733
STORY7	Column	STEEL	8215.182	340.414	24.1329
STORY7	Beam	STEEL	14696.062	340.414	43.1711
STORY6	Column	STEEL	8859.51	340.414	26.0257
STORY6	Beam	STEEL	16881.532	340.414	49.5912
STORY5	Column	STEEL	9181.674	340.414	26.9721
STORY5	Beam	STEEL	18306.458	340.414	53.777
STORY4	Column	STEEL	10588.457	340.414	31.1046
STORY4	Beam	STEEL	18854.413	340.414	55.3867
STORY3	Column	STEEL	15904.461	352.994	45.0559
STORY3	Beam	STEEL	19393.724	352.994	54.9407
STORY2	Column	STEEL	11414.685	333.806	34.1956
STORY2	Beam	STEEL	13249.112	333.806	39.6911
STORY1	Column	STEEL	8805.031	175.217	50.2521
STORY1	Beam	STEEL	6818.553	175.217	38.9149
SUM	Column	STEEL	84702.693	2596.817	32.6179
SUM	Beam	STEEL	124335.548	2596.817	47.88

۲.۳.۶. المانهای سیستم باربر جانبی سازه الاستیک و بدون تسلیم در اثر زلزله طرح

در این حالت از ضریب تقاضای شکل پذیری Ductility Demand برابر با واحد با توجه به استاندارد ASCE/SEI7-10 استفاده گردیده است. بر این اساس در ابتدا برش پایه ی مودهای مختلف با توجه به خصوصیات آن مود و جرم لرزه ای آن مود محاسبه شده است و سپس با توجه به شکل هر مود توزیع آن برش پایه در طبقات صورت پذیرفته است. سپس با استفاده از روش SRSS توزیع نهایی نیروی برش پایه در ارتفاع بدست آمده است

آنطور که از جدول ۹ مشخص است در طرح دوم با میراگر نیز مقادیر دررفت سازه در حد دررفت مجاز سطح عملکرد ایمنی جانی در اثر زلزله طرح میباشد و بیشینه نسبت دررفت سازه نسبت به ارتفاع برابر حدود ۰,۰۱۷ میباشد. هر چند بیشینه مقدار جابه جایی بام (مجموع دررفت های نهایی طبقات) در این طرح برابر با ۲۹۰ میلیمتر است که در مقایسه با طرح اول سازه با میراگر - ۳۱۲ میلیمتر - حدود ۷ درصد و در مقایسه با سازه بدون میراگر - ۳۲۵ میلیمتر - حدود ۱۱ درصد کاهش نشان می دهد که خود این مسئله امر مهمی در کاهش خرابی - های سازه ای و غیرسازه ای خواهد داشت.

جدول ۹: مقادیر دررفت نهایی طبقات در طرح با میراگر در حالت سیستم باربر جانبی الاستیک در اثر زلزله طرح

دررفت طبقات در تقاضای شکل پذیری ۱			
طبقه مورد نظر	جهت Y	جهت X	نسبت بیشینه دررفت به ارتفاع طبقه
طبقه سوم	0.054602133	0.059926943	0.014336589
طبقه چهارم	0.055027433	0.057704293	0.0168726
طبقه پنجم	0.051709831	0.053939939	0.015771912
طبقه ششم	0.04752402	0.048732674	0.01424932
طبقه هفتم	0.039500818	0.040160218	0.011742754
طبقه هشتم	0.030397969	0.029225469	0.008888295

۴.۶. جمع بندی

۱.۴.۶. مقایسه هزینه ای دو سازه

همانگونه که بررسی ها نشان داد وزن مورد نیاز در واحد زیربنای سازه برای سازه بدون میراگر برابر با حدود ۹۱,۱۶ کیلوگرم و برای سازه مسلح به میراگر در طرح سیستم باربر جانبی پلاستیک شونده در اثر زلزله طرح برابر با حدود ۷۵,۹ کیلوگرم میباشد که **کاهش حدود ۱۷ درصدی را نشان می دهد**. لازم به ذکر است که شرایط بارگذاری، مقاطع مورد استفاده، طرح و محاسبه و روند تیپ بندی مقاطع در دو حالت کاملاً یکسان و مشابه است.

ضمن اینکه در طرح سازه با میراگر تغییری در تیرهای فرعی که تنها بار ثقلی را تحمل مینمایند داده نشده است. از لحاظ قیمت و هزینه در حدود ۴۴۰۰۰ کیلوگرم در وزن تیرهای اصلی و ستونها صرفه جویی می شود. وزن تیرهای فرعی با توجه به اینکه تنها بار ثقلی را متحمل می شوند تغییر داده نشده است که با توجه به ردیفهای ۰۹۰۱۰۶ و نیز ۰۹۰۲۱۵ از فهرست بهای واحد رشته ابنیه سال ۱۳۹۵ قیمت تهیه، ساخت و نصب تیر اصلی و ستون قوطی شکل از ورق برابر با حدود ۳۱۰۰ تومان به ازای هر کیلوگرم می باشد. در صورتی که یک ضریب برابر با ۱,۲ به عنوان ضریب بالاسری در نظر گرفته شود. قیمت واحد تهیه، ساخت و نصب حدود ۳۷۰۰ تومان لحاظ گردد که عدد معقولی برای ساختمان هشت طبقه به نظر می رسد قیمت تهیه، ساخت و نصب این ۴۴۰۰۰ کیلوگرم برابر با حدود ۱۶۳,۰۰۰,۰۰۰ تومان (یکصد و شصت و سه میلیون تومان) خواهد بود. علاوه بر این مبلغ با توجه به آنکه نرخ محاسبات سازه فوق در حدود ۷۷۳۰ تومان به ازای هر متر مربع در سال ۱۳۹۵ می باشد هزینه طراحی نیز برابر با حدود ۲۱,۸۹۰,۰۰۰ تومان خواهد بود که جمعا مبلغ ۱۸۴,۹۰۰,۰۰۰ تومان خواهد بود.

از طرفی تمامی هزینه های مربوط به طراحی سازه مسلح به میراگر و پی، تهیه نقشه های اجرایی، تهیه دفترچه محاسبات سازه مسلح به میراگر، طراحی میراگرها، ساخت و تولید میراگرها، حمل و نصب میراگرها تقریباً مبلغ ۱۲۰ میلیون تومان خواهد بود؛ بدین ترتیب تقریباً مبلغ ۶۵ میلیون تومان در پروژه از لحاظ اقتصادی صرفه جویی خواهد گردید.

۲.۴.۶. مقایسه عملکردی دو سازه

برش پایه در سازه با میراگر نسبت به سازه بدون میراگر حدود ۲۸ درصد کاهش داشته است؛ این مقدار کاهش در برش پایه که از افزایش میرایی سازه در درجه اول و نیز افزایش در زمان تناوب سازه در مرحله بعدی ناشی می شود به معنای کاهش در مقدار شتاب طیفی سازه میباشد. کاهش در مقدار شتاب طیفی به معنای افزایش آسایش و آرامش ساکنین و کاهش احساس ترس و اضطراب آنان در حین زلزله میباشد.

در سازه با میراگر مقدار بیشینه جابه جایی بام (مجموع دریافت های نهایی طبقات) برابر با ۳۱۲ میلیمتر شده است در حالی که برای سازه بدون میراگر این مقدار برابر با ۳۲۵ میلیمتر می باشد. همین میزان کاهش در جابه جایی می تواند به کاهش در خرابی های سازه ای و غیرسازه ای منجر شود. **در صورتی که کاربری سازه مسکونی و اداری است و یا به طور کلی اهمیت بالاتر از متوسط دارد، استفاده از این طرح در عین افزایش ایمنی و عملکرد، اقتصادی نیز می باشد.**

۳.۴.۶. جمع بندی و مقایسه دو سازه بدون میراگر و سازه با میراگر با سیستم باربر جانبی الاستیک

این دو سازه از لحاظ اقتصادی تفاوت کمی دارند به نحوی که **سازه با میراگر حدود ۳ تا ۴ درصد از سازه بدون میراگر سبکتر است** اما از لحاظ عملکردی تفاوت قابل ملاحظه ای دارند؛ به نحوی که پس از وقوع زلزله ای با مشخصات زلزله ی طرح استاندارد ۲۸۰۰، المانهای سیستم باربر جانبی سازه با میراگر وارد ناحیه ی غیرخطی خود نخواهند شد و الاستیک باقی خواهند ماند که این به معنای افزایش چشمگیر ایمنی و عملکرد سازه با میراگر نسبت به سازه بدون میراگر خواهد بود. توصیه می گردد در صورتی که سازه کاربری مهم و خاصی دارد طرح با میراگر با سیستم باربر جانبی الاستیک تحت زلزله طرح انتخاب شود.