

مقاومسازی ساختمانهای فلزی موجود با میراگرهای ADAS

رضا سلیمانپور^۱، محمود یحیایی^{۲*}، مصطفی برقی^۳

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد زلزله، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲- استادیار دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳- استادیار دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

* تهران، صندوق پستی ۴۴۱۶ - ۱۵۸۷۵

yahyai@kntu.ac.ir

(دریافت مقاله: شهریور ۱۳۸۳، پذیرش مقاله: آبان ۱۳۸۵)

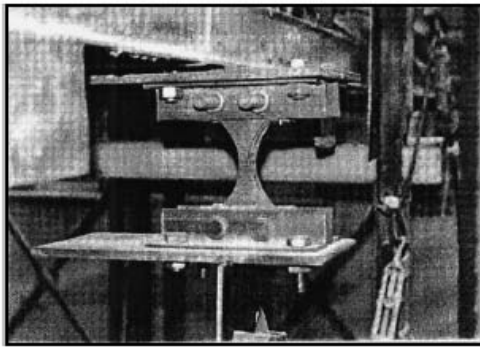
چکیده- با توجه به افزایش روزافزون دانش لرزه‌خیزی و به تبع آن نیاز به اصلاح ضوابط و مقررات آیین‌نامه‌ای و از طرف دیگر انبوه سازه‌هایی که بر اساس ضوابط آیین‌نامه‌های قدیمی طراحی و اجرا شده‌اند، بررسی رفتاری و تحقیق در بارهٔ نیاز این سازه‌ها به مقاومسازی لازم و ضروری به نظر می‌رسد. از طرفی مقاومسازی ساختمانهای مذکور با روشهای معمول مانند استفاده از بادبند، مستلزم مصرف هزینه‌های بالا و در نوع خود دارای مشکلات اجرایی است که باعث کاهش انگیزه‌های مقاومسازی در جامعه خواهد شد. در این مقاله بررسی مشکلات موجود در ساختمانهای طراحی شده با آیین‌نامه ۲۸۰۰ قدیم و مقاومسازی آنها با استفاده از میراگرهای ADAS (سختی و میرایی افزوده) یک بار دیگر با استفاده از مهاربند و سپس مقایسه رفتاری قابهای مقاومسازی شده با این دو روش انجام شده است. به منظور بررسی دقیق عملکرد لرزه‌ای قابها، تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی انجام و ضریب رفتار قابهای مقاومسازی شده با میراگرهای ADAS محاسبه شده است. قابهای مورد مطالعه از نوع قاب ساده همراه با مهاربندی با تعداد دهانه و طبقات متفاوت است. پس از انجام مطالعات و تحلیلها، بهبود چشمگیری در عملکرد لرزه‌ای قابهای مورد مطالعه نسبت به قابهای اولیه مشاهده شد و نتایج حاصل حاکی از برتری روش استفاده از میراگرهای ADAS نسبت به روش تقویت به وسیله مهاربند است.

کلید واژگان: میراگر ADAS، مقاومسازی، عملکرد لرزه‌ای، قاب ساده همراه با مهاربندی.

۱- مقدمه

تفکر کنترل ارتعاش ورودی به سازه و پاسخ آن، تغییراتی اساسی را در روند معمول مقاومسازی سازه‌ها در برابر زلزله ایجاد کرده است. در این تفکر به جای مقاومسازی سازه به عنوان تنها راه، وسایل و امکانات جنبی نصب می‌شوند تا همراه با سازه و به صورت یک مجموعه در برابر زلزله مقاومت کنند. این وسایل و امکانات با رفتار خاص خود باعث بهبود پاسخ سازه به هنگام زمین لرزه می‌شوند.

سیستمهای کنترل ارتعاش که برای بهبود پاسخ و کنترل خرابی سازه طراحی و نصب شده‌اند، به دو دسته کنترل غیر فعال و کنترل فعال تقسیم می‌شوند. هدف از این روشها افزایش ایمنی سازه در هنگام زلزله‌های شدید و کاهش خسارتهای سازه‌ای و غیر سازه‌ای در زلزله‌های متوسط و به طور کلی دستیابی به عملکرد مطلوب است. از خاصیت جاری شدن فلزها در روشهای مختلفی برای افزایش کارایی سازه در مقابل زلزله استفاده شده است که از آن جمله می‌توان استفاده از سیستم میراگرهای ADAS



شکل ۱ میراگر ADAS [۶]

اضافه کردن سیستم ADAS همراه با بادبندها به روشنی نشان داد که این المانها باعث افزایش سختی و میرایی و افزایش ظرفیت اتلاف انرژی و کاهش تغییر مکان نسبی طبقات در حدود ۵۰ تا ۷۰ درصد می‌شوند [۲]. در سال ۱۹۸۹ ویتاکر تحقیقات خود را در زمینه میراگرهای ADAS در دانشگاه برکلی کالیفرنیا کامل کرد [۳]. او در سال ۱۹۹۳ ساختمان ده طبقه اداری را که در نزدیکی پارک آلامدا در مرکز شهر مکزیکوسیتی واقع شده و در زلزله ۱۹۵۰ به دلیل پدیده تشدید با خاک محل خسارت دید، بررسی کرد. او یک بار سازه را با مهاربندهای اضافی به غیر از مهاربندهای موجود و بار دیگر با استفاده از میراگرهای ADAS مقاوم‌سازی کرد و نتیجه گرفت که استفاده از سیستم المانهای ADAS رفتار دینامیکی بهتری را نتیجه می‌دهد و جذب کننده‌های انرژی، سازه را به تغییر شکلهای مناسب و کم شدن میزان نیرو در اعضای اصلی سازه در حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد سوق می‌دهند و پاسخهای غیرخطی عموماً در المانهای ADAS ایجاد می‌شود که تحت تغییر شکلها و نیروهایی که در حد تحمل آنها است قرار دارند [۴]. در سال ۱۹۹۲ نیز تحقیقات کاملی توسط Tsai بر روی میراگرهای ADAS صورت گرفت [۵]. در تحقیقی دیگر که توسط محسن تهرانی‌زاده در دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران انجام شد تأثیر میراگرهای ADAS بر رفتار اتصالات خورجینی بررسی شد. نتایج حاصل از این تحقیق نیز نشان‌دهنده

را نام برد. در حقیقت با استفاده از این سیستم، تخریب بر نقطه‌ای مشخص از سازه متمرکز شده و موجب بروز خرابی موضعی می‌شود. به طور کلی اساس میراگرهای تسلیمی بر رفتار غیر الاستیک استوار است. در این روش از استهلاک انرژی پسماند برای افزایش میرایی سیستم استفاده می‌شود. سطح زیر منحنی نیرو- تغییر مکان معرف مقدار انرژی مستهلک شده است.

در زلزله‌های با شدت کم یا متوسط، سطح زیر این منحنی به دلیل سختی بالای اعضا کم است؛ اما با افزایش شدت زلزله تشکیل حلقه‌ها وسعت یافته و میرایی اضافه می‌شود. در این میراگرها از خاصیت تغییر شکل فولاد نرمه یا سرب برای جذب انرژی استفاده می‌شود. بدین ترتیب با افزودن قطعه‌ای فلزی به سیستم و انتقال نیروی حساب شده به آن، موجب جاری شدن آن در هنگام زلزله و در نتیجه مستهلک کردن مقدار زیادی از انرژی ورودی به سازه می‌شود. لذا عمل تخریب بر روی اسکلت روی نمی‌دهد؛ بلکه بر روی قطعه‌ای از پیش تعیین شده روی می‌دهد که پس از زلزله نیز قابل تعویض است. سیستم ADAS معمولاً به عنوان بخشی از عضو بادبندی طراحی می‌شود و به گونه‌ای نصب می‌شود که تغییر مکان طبقه باعث ایجاد تغییر مکان نسبی در دستگاه شود. نمونه‌ای از این سیستم در شکل ۱ نشان داده شده است. استهلاک انرژی در این سیستم از طریق تغییر شکل خمیری ورقهای فولاد نرمه در خمش انجام می‌شود. میراگرهای ADAS در قالب استفاده از ورقهای فولادی برای اولین بار در یک نیروگاه هسته‌ای در آمریکا به کار رفت [۱]. در تحقیقی که شرکت‌های بکتل پاول و کانتر کوپک در سال ۱۹۹۱ انجام دادند، یک قاب سه طبقه با اتصالات خمشی در جهت بارگذاری و بادبندی در جهت دیگر و یک قاب سه طبقه که با المانهای ADAS بازسازی شده بود، مطالعه و خواص مکانیکی سه نوع میراگر با ورقهای X شکل بررسی شد.

بر اساس آیین‌نامه بارگذاری استاندارد ۵۱۹ ایران [۹] انجام شده است، لذا بر اساس این استاندارد بار مرده سقف که از نوع تیرچه بلوک است برابر با 650 kg/m^2 و بار زنده واردشونده بر سطح طبقات برای طبقات برابر 200 kg/m^2 و برای بام برابر 150 kg/m^2 در نظر گرفته شده است. همچنین بار دیوارهای جانبی طبقات با در نظر گرفتن سطوح بازشوها و کسر آنها برابر 600 kg/m و برای جان‌پناه برابر 250 kg/m فرض شده است. سیستم سقفها از نوع صلب بوده، لذا تمامی نقاط روی یک طبقه با یکدیگر حرکت می‌کنند و در نتیجه هیچ‌گونه نیرو و تغییر شکل محوری در آنها ایجاد نخواهد شد. مقاطع مورد استفاده در ستونها و مهاربندها از نوع قوطی و برای تیرها از نوع IPE در نظر گرفته شده است. فولاد مصرف شده در ساختمانها از نوع فولاد نرمه ساختمانی با تنش تسلیم 2400 kg/cm^2 و مدول الاستیسیته 210000 kg/cm^2 است. طراحی مدلها نیز بر اساس آیین‌نامه سازه‌های فولادی ایران و بر اساس روش تنشهای مجاز انجام شده است.

۳- روش تحقیق

روش انتخاب شده برای بررسی عملکرد لرزه‌ای مدلها، روش طیف ظرفیت و معیارهای ارائه شده در آیین‌نامه‌های FEMA-273 و ATC40 ملاک بررسی عملکرد لرزه‌ای مدلها بوده است [۱۰، ۱۱]. تراز عملکرد انتخابی سطح عملکرد ایمنی جانی و طیف نیاز استفاده شده طیف طرح آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران است. سپس با توجه به نتایج حاصل، مقاوم‌سازی مدلها به دو روش تقویت به وسیله مهاربند و تقویت به وسیله میراگرهای ADAS شده و در نهایت مدلهای تقویت شده به روش تحلیل دینامیکی غیرخطی تحت سه رکورد نرمالیزه شده طبس و ناغان و الاسترو بررسی شده است.

بهبود رفتار سازه‌های مورد آزمایش بود؛ به طوری که وجود این المانها باعث رسیدن عملکرد سازه‌ها به سطح مطلوب شد [۶].

۲- مدل‌های مورد مطالعه

در این بخش چندین مدل سازه‌ای با سیستم قاب ساختمانی ساده انتخاب و بر اساس آیین‌نامه زلزله ۲۸۰۰ ویرایش اول [۷] طراحی و بررسی شده است. فلسفه انتخاب سیستم قاب ساختمانی ساده این بوده است که بیشتر ساختمانهای ساخته شده و در حال ساخت در ایران، این نوع سیستم سازه‌ای را دارند. چند مدل ساختمانی مختلف (از ۳ تا ۱۰ طبقه) از نظر تعداد طبقات و دهانه بررسی شده که همگی بر اساس ضوابط این آیین‌نامه (ویرایش اول) طراحی شده است. سپس عملکرد آنها بر اساس طیف طرح آیین‌نامه ویرایش دوم [۸] به روش طیف ظرفیت بررسی شده است. ابعاد سقف برای مدلها، سه مدل مختلف و به صورت متقارن در نظر گرفته شده که هر مدل از نظر تعداد طبقه به سه دسته تقسیم می‌شود. از آنجا که استفاده از میراگرهای ADAS در بادبندهای شورون (۷ یا ۸) معمول است، سیستم سازه‌ای در جهت اصلی قاب ساده به علاوه مهاربند ۸ و در جهت عمود بر آن که بررسی عملکرد لرزه‌ای مورد نظر نبوده و محدودیتی از لحاظ سیستم سازه‌ای وجود نداشته نیز، از قاب ساده به علاوه مهاربند ۸ استفاده شده است. جدول ۱ خلاصه‌ای از خصوصیات مدلها نشان می‌دهد. مدل‌های مذکور به صورت سه‌بعدی طراحی شده و نوع کاربری ساختمانها از نوع مسکونی و با اهمیت متوسط فرض شده است. همچنین ساختمانهای مورد مطالعه در منطقه با خطر لرزه‌خیزی بالا و خاک نوع یک فرض شده است. ارتفاع تمامی طبقات یکسان و برابر $3/00$ متر و همچنین نوع اتصالات ستونها به پی از نوع مفصلی در نظر گرفته شده است. سیستم سقفی تمامی مدلها از نوع تیرچه بلوک است. بارگذاری ثقلی ساختمانها

جدول ۱ مشخصات مدل‌های ساختمانی مورد مطالعه

نام مدل	شماره مدل	تعداد طبقه	تعداد دهانه	سیستم سازه‌ای در جهت طولی	سیستم سازه‌ای در جهت عرضی
BF3-2BAY	۱	۳	۲	قاب ساده + مهاربند ۸	قاب ساده + مهاربند ۸
BF4-1BAY	۲	۴	۱	قاب ساده + مهاربند ۸	قاب ساده + مهاربند ۸
BF4-3BAY	۳	۴	۳	قاب ساده + مهاربند ۸	قاب ساده + مهاربند ۸
BF5-2BAY	۴	۵	۲	قاب ساده + مهاربند ۸	قاب ساده + مهاربند ۸
BF6-1BAY	۵	۶	۱	قاب ساده + مهاربند ۸	قاب ساده + مهاربند ۸
BF7-3BAY	۶	۷	۳	قاب ساده + مهاربند ۸	قاب ساده + مهاربند ۸
BF8-2BAY	۷	۸	۲	قاب ساده + مهاربند ۸	قاب ساده + مهاربند ۸
BF9-3BAY	۸	۹	۳	قاب ساده + مهاربند ۸	قاب ساده + مهاربند ۸
BF10-1BAY	۹	۱۰	۱	قاب ساده + مهاربند ۸	قاب ساده + مهاربند ۸



$$\Sigma M = 0 \rightarrow M_y = \frac{1}{2} \times V_y \quad (2)$$

از طرفی ظرفیت خمشی پلاستیک مقطع برابر است با حاصلضرب اساس مقطع پلاستیک در مقدار تنش تسلیم:

$$M_y = Z \times \sigma_y \quad (3)$$

با در نظر گرفتن شکل مقطع به صورت مستطیلی می‌توان نوشت:

$$Z = \frac{1}{4} b t^2 \quad (4)$$

جابجایی نسبی ارتفاع صفحه نیز برابر است با:

$$\Delta_y = \frac{3 \sigma_y l^2}{4 E t} \quad (5)$$

مقاومت برشی مقطع چنین به دست می‌آید:

$$V_y = \frac{2 M_y}{l} = \frac{\sigma_y b t^2}{2 l} \quad (6)$$

با توجه به روابط حاصل، سختی صفحه المان فولادی را می‌توان به صورت زیر به دست آورد:

$$K_e = \frac{2 n b E}{3} \left(\frac{t}{l}\right)^2 \quad (7)$$

روابط فوق برای میراگر ADAS که مجموعه‌ای از صفحات فولادی است، عبارت است از:

۴- پارامترهای مرتبط با خصوصیات فیزیکی میراگرهای ADAS

هر صفحه میراگر ADAS با سه پارامتر طول و عرض و ارتفاع مشخص می‌شود. مشخصات مکانیکی این میراگرها، مقاومت برشی و سختی الاستیک و همچنین جابه‌جایی تسلیم است. بنابر اصول مقاومت مصالح داریم:

$$\Delta_y = \frac{V_y}{K_e} \quad (1)$$

که در آن Δ_y جابه‌جایی تسلیم و V_y مقاومت برشی و K_e سختی الاستیک است. اگر شکل هندسی صفحات به صورت ضربدری در نظر گرفته شود یا به بیان دیگر از ضخامت موجود در وسط المان صرف‌نظر شود (حداقل ضخامت به منظور انتقال تنش برشی در المان در نظر گرفته می‌شود) و همچنین از تغییر شکل‌های محوری و برشی که بسیار کم است صرف‌نظر شود و با فرض شرایط تکیه‌گاهی دو انتهای آن به صورت گیردار و همچنین در نظر گرفتن رفتار منحنی نیرو-تغییر شکل به صورت الاستو-پلاستیک با سخت‌شدگی می‌توان برای هر صفحه از ورقهای فولادی با در نظر گرفتن تعادل لنگر در مقطع نوشت:

مهاربندی و به دلیل سختی بالای آن و نیز کماتش زود هنگام مهاربندهای فولادی - که منجر به تسلیم و کماتش ستونها می‌شود- قابهای مورد مطالعه تحمل طیف زلزله طرح آیین‌نامه جدید ایران را با شتاب مؤثر ۰/۳۵g در محدوده ایمنی جانی نخواهند داشت. به بیان دیگر حداکثر شتاب مؤثر قابل تحمل آنها کمتر از شتاب مؤثر مورد انتظار است. لذا مدل‌های مورد بررسی از نظر مقاومت توانایی لازم را ندارند. در برخی موارد برای اطمینان بیشتر مشاهده شد که اعضای سازه‌های مورد مطالعه در نقطه عملکرد خود، تغییر شکل‌های غیر مجاز در محدوده ایمنی جانی از خود نشان می‌دهند. همچنین تغییر مکان نسبی طبقات این قابها در نقطه عملکرد بیش از حد مجاز تعیین شده در آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران ویرایش دوم بوده و سختی لازم را ندارند. در نتیجه ساختمانهای مورد مطالعه برای بررسی پارامترهای فوق مقاوم‌سازی شد.

۶- تقویت مدل‌های مورد مطالعه

قابهای مورد مطالعه با استفاده از مهاربند و میراگرهای ADAS، مقاوم‌سازی و سعی شد با انجام مراحل سعی و خطا طرح تقویت، به وسیله مهاربند کاملاً بهینه و اقتصادی شده و با توجه به حداقل مقدار فولاد به دست آمده برای این طرح، با مقدار فولاد کمتری مقاوم‌سازی به وسیله المانهای ADAS انجام و در نهایت مقایسه‌ای بین این دو روش مقاوم‌سازی از نظر فولاد مصرفی و مقدار حداکثر شتاب مؤثر قابل تحمل انجام شود. به طور کلی هدف مقاوم‌سازی سازه‌ها برای رسیدن به سطح عملکرد ایمنی جانی است. در هر مورد پس از تقویت سازه، مقایسه عملکرد لرزه‌ای هر دو روش تقویت انجام شده است. در مورد روش تقویت به وسیله ADAS موارد زیر به عنوان اصول کلی و لازم‌الاجرا در طرح تقویت در نظر گرفته شده است:

۱- اولین اعضایی که به حد تسلیم می‌رسند اعضای ADAS هستند. بدین ترتیب منحنی ظرفیت سازه دارای

$$\Delta_y = \frac{\sqrt{3} n \sigma_y l^2}{4 E t} \quad (8)$$

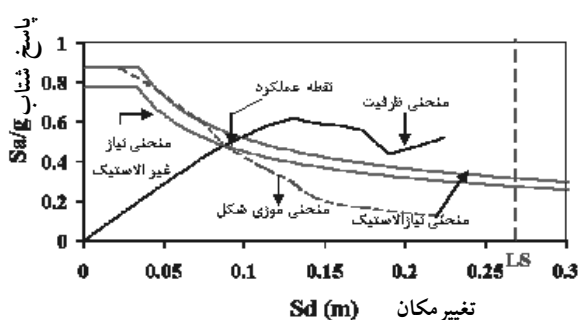
$$V_y = \frac{n \sigma_y b t^2}{\sqrt{3} l} \quad (9)$$

$$K_e = \frac{\sqrt{3} n b E}{3} \left(\frac{t}{l}\right)^3 \quad (10)$$

که در آن Δ_y تغییر مکان تسلیم میراگر، l ارتفاع میراگر، σ_y کرنش تسلیم، t ضخامت هر یک از ورق‌های فولادی، b عرض صفحات فولادی، σ_y تنش تسلیم صفحه، E مدول ارتجاعی مصالح و n تعداد صفحه‌های فولادی موجود در میراگر است.

۵- تحلیل استاتیکی

پس از طراحی قابها، به منظور بررسی عملکرد آنها تحلیل غیرخطی استاتیکی قابها به وسیله نرم‌افزار Sap2000 انجام شده است. روش طیف ظرفیت برای بررسی عملکرد قابها در نظر گرفته شده، لذا لازم است که هر دو منحنی طیف نیاز و ظرفیت در فرمت ADRS (طیف منحنی شتاب- تغییر مکان) ترسیم شده و محل تلاقی هر دو منحنی به دست آید. سپس با توجه به ضوابط ارائه شده در آیین‌نامه‌های FEMA-273 و ATC40 کفایت مقاومت و سختی مدلها بررسی شده است. برای نمونه، این منحنی برای یکی از قابها در شکل ۲ نشان داده شده است.

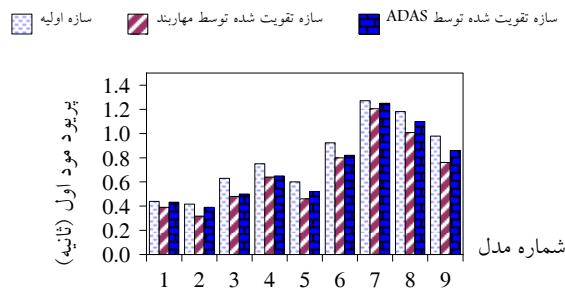


شکل ۲ طیف نیاز و ظرفیت مدل BF9-3BAY

سازه‌های مورد بررسی از نظر کفایت مقاومت و سختی بررسی شده است. پس از تحلیل غیرخطی استاتیکی مدلها نتیجه گرفته شد که به دلیل شکل‌پذیری کم سیستم

همان طور که ملاحظه می شود مدل های تقویت شده به وسیله میراگر به دلیل ظرفیت بالای جذب انرژی و تحمل تغییر مکانهای بزرگتر در محدوده ایمنی جانی، توانایی تحمل زلزله هایی با حداکثر شتاب مؤثر بالاتر را نسبت به سازه تقویت شده به وسیله مهاربند دارد.

به عنوان مثال برای مدل شماره ۶ بیشینه شتاب مؤثر قابل تحمل به وسیله سازه تقویت شده با میراگر بیش از دو برابر بیشینه شتاب مؤثر قابل تحمل به وسیله سازه تقویت شده با مهاربند است. مقایسه بین پرید مد اول سازه تقویت نشده و تقویت شده به وسیله مهاربند و میراگر در شکل ۴ آورده شده است.



شکل ۴ مقایسه بین پرید مد اصلی ارتعاش سازه ها

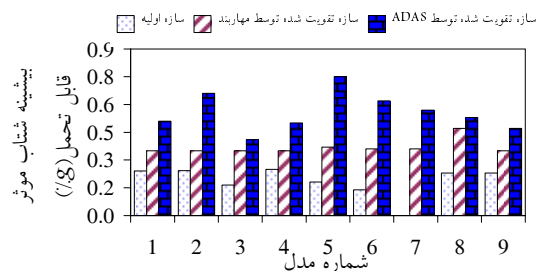
با توجه به این شکل، از آنجا که تعداد مهاربندها و ستونهایی که در مدل تقویت شده به وسیله مهاربند تقویت شده اند، از مدل تقویت شده با میراگر بیشتر است و در نتیجه سازه تقویت شده با مهاربند، سخت تر از سازه تقویت شده با میراگر و دارای مقاطع قوی تری است. لذا پرید سازه تقویت شده با مهاربند در تمامی حالتها کمتر از سازه تقویت شده با میراگر است. همچنین ملاحظه می شود که قرار دادن میراگرها در سازه، کاهش قابل توجهی را در پرید سازه ایجاد نخواهد کرد. در شکل ۵ مقایسه حداکثر تغییر مکان مجاز سازه تقویت نشده و تقویت شده با مهاربند و میراگر انجام شده است. از آنجا که سازه تقویت شده با میراگر شکل پذیری بیشتری دارد، لذا می بینیم که قابلیت تغییر مکان مجاز بیشتری در

دو شکستگی خواهد بود که اولین شکستگی مربوط به تسلیم اعضای میراگر و دومین شکستگی مربوط به تسلیم سایر اعضا است.

۲- مهاربندهایی که میراگرها به آنها متصل شده اند به اندازه ای قوی طراحی شده اند که بعد از اینکه میراگرها به حد ایمنی جانی خود برسند، تسلیم شوند تا اعضای میراگر به وظیفه اصلی خود که استهلاک انرژی ورودی است ادامه دهند.

۳- تناسب بین مقاطع طراحی شده میراگرها طوری حفظ شود که همه میراگرها در تمام طبقات در یک زمان تسلیم شوند تا در هیچ یک از طبقات، سازوکار طبقه نرم اتفاق نیافتد.

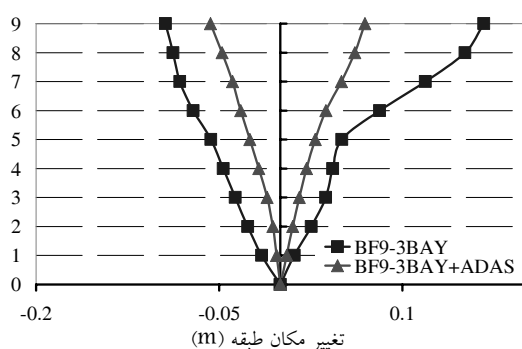
پس از انجام تقویت و تحلیل غیرخطی استاتیکی مدلها از آنجا که احتمال کماتش ستونها در سازه تقویت شده به وسیله میراگر بسیار کم است، مشاهده شد که سازه تقویت شده به وسیله میراگر با مقدار فولاد مصرفی یکسان و حتی کمتری قابلیت تحمل زلزله با بیشینه شتاب مؤثر بیشتری را نسبت به سازه تقویت شده به وسیله مهاربند دارد. از آنجا که سازه تقویت شده به وسیله میراگر به مراتب سختی کمتر و شکل پذیری بیشتری در مقایسه با سازه تقویت شده به وسیله مهاربند دارد، لذا قابلیت تغییرشکل های بزرگتری را نسبت به سازه تقویت شده به وسیله مهاربند دارد. در شکل ۳ مقایسه حداکثر شتاب مؤثر قابل تحمل مدل های تقویت نشده و تقویت شده به وسیله مهاربند و میراگر آورده شده است.



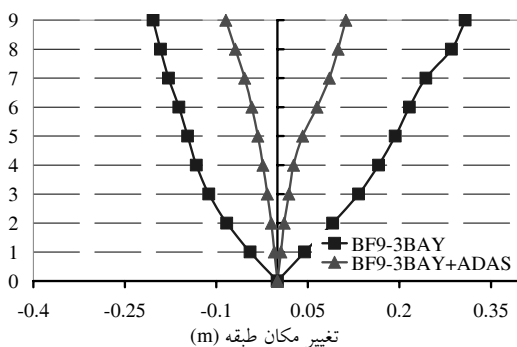
شکل ۳ مقایسه بین حداکثر شتاب مؤثر قابل تحمل قابها

السترو انجام شده است. رکوردهای مورد استفاده باید منطبق بر طیف زلزله طرح آیین‌نامه ایران باشند. لذا برطبق توصیه، در محدوده $T_m-0.5$ و $T_m+0.5$ به مقیاس $0.35g$ در آورده شده‌اند؛ که T_m پریود مودهایی است که جرم مؤثر آنها حداقل ۹۰ درصد باشد [۱۲].

پس از تحلیل تاریخچه زمانی مدلها، نتیجه گرفته شد که مدل‌های اولیه مقاومت کافی در مقابل رکورد نرمالیزه شده ندارند، اما مدل‌های تقویت شده به وسیله ADAS نسبت به مدل تقویت نشده، حداکثر تغییر مکان طبقات کمتری دارند (شکل‌های ۷-۹). همچنین تغییر شکل‌های به وجود آمده در اعضای مدل‌های تقویت شده در محدوده ایمنی جانی قرار دارد.

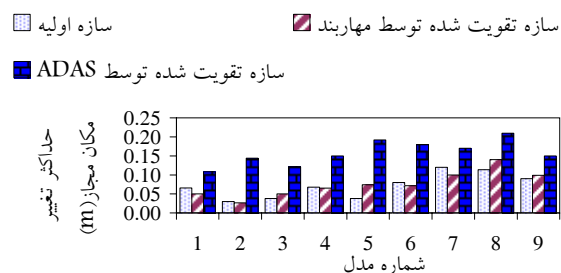


شکل ۷ مقایسه حداکثر تغییر مکان طبقات برای رکورد نرمالیزه شده السترو



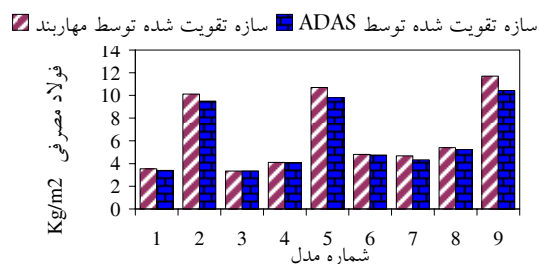
شکل ۸ مقایسه حداکثر تغییر مکان طبقات برای رکورد نرمالیزه شده ناغان

محدوده ایمنی جانی دارد. به عنوان مثال برای مدل شماره ۲ تغییر مکان مجاز سازه تقویت شده با میراگر حدود پنج برابر تغییر مکان مجاز سازه تقویت شده با مهاربند است.



شکل ۵ مقایسه بین حداکثر تغییر مکان مجاز مدلها

لذا ملاحظه می‌شود که سازه تقویت شده به وسیله میراگر از دو جنبه مقاومت و سختی، عملکرد لرزه‌ای بسیار بهتری نسبت به روش تقویت به وسیله مهاربند دارد. مقایسه فولاد مصرفی برای دو روش مقاوم‌سازی، در شکل ۶ ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود در تمامی موارد، فولاد مصرفی برای طرح تقویت با ADAS کمتر از فولاد مصرفی در طرح تقویت با مهاربند است.



شکل ۶ مقایسه فولاد مصرفی مدلها

۷- تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی قابها

به منظور بررسی دقیق عملکرد لرزه‌ای مدلها، تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی مدلها با استفاده از نرم‌افزار Drain-2dx برای رکورد نرمالیزه شده طبس، ناغان و

۸- محاسبه ضریب رفتار

به منظور بررسی ظرفیت جذب انرژی مدلها، تحلیل استاتیکی غیرخطی قابهای اولیه و قابهای تقویت شده با ADAS به وسیله نرم افزار drain2dx انجام شده و سپس ضریب رفتار آنها بر مبنای روش توصیه شده به وسیله ناسار و کراوینکلر محاسبه شده است.

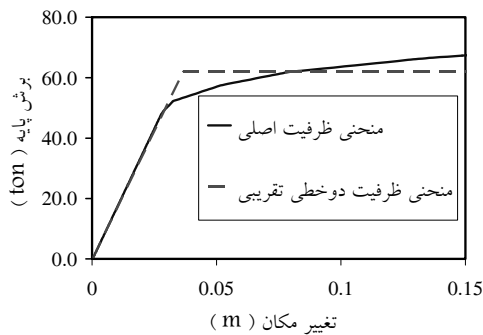
ضریب رفتار سازه با ترسیم منحنی دوخطی الاستوپلاستیک تغییر مکان-برش پایه سازه (شکل ۱۱) و محاسبه ضرایب کاهش نیرو (R_{μ})، شکل پذیری کلی (μ)، تنش مجاز (Y) و اضافه مقاومت (Ω) با استفاده از روابط زیر تعیین می شود:

$$\mu = \frac{\Delta_{Max}}{\Delta_y} \quad (11)$$

$$\Omega = \frac{V_y}{V_s} \quad (12)$$

بر اساس مطالعات این دو محقق، روابط زیر برای تخمین ضریب کاهش نیرو به دست آمده است [۱۳].

$$R_{\mu} = [c(\mu - 1) + 1]^{\frac{1}{c}} \quad (13)$$



شکل ۱۱ منحنی الاستوپلاستیک مدل BF3-2BAY+ADAS

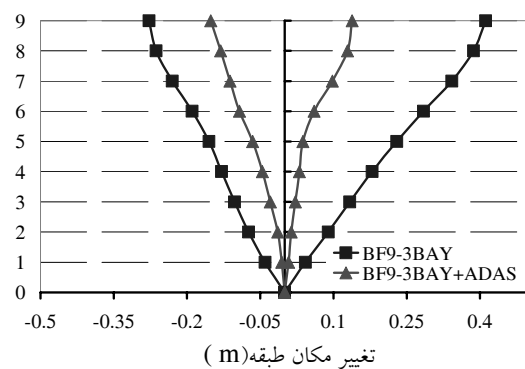
در تحلیل غیرخطی استاتیکی

$$c(T, \alpha) = \frac{T^a}{1 + T^a} + \frac{b}{T} \quad (14)$$

با توجه به روابط فوق ضریب رفتار سازه - که برای تبدیل نیروی اعمال شده به سازه به نیروی طراحی به کار می رود - از رابطه زیر محاسبه می شود.

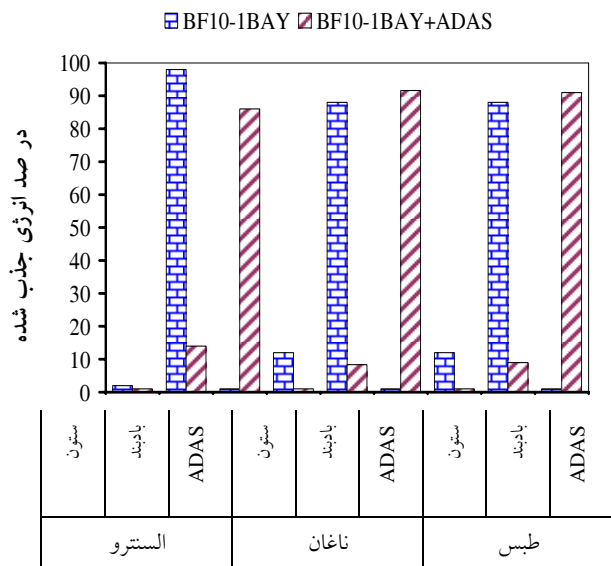
$$R_w = R_{\mu} \times \Omega \times Y \quad (15)$$

با توجه به نتایج حاصل ملاحظه می شود که در سازه تقویت نشده بیشتر انرژی حاصل از زلزله به وسیله اعضای مهاربندی و ستونها جذب شده است در صورتی که در سازه تقویت شده به وسیله ADAS، درصد انرژی جذب شده به وسیله ستونها، به صفر و انرژی جذب شده به وسیله مهاربندها به صفر تا ۲۰ درصد تقلیل یافته و بیشتر انرژی وارد شده به وسیله اعضای میراگر جذب شده است (شکل ۱۰).



شکل ۹ مقایسه حداکثر تغییر مکان طبقات

برای رکورد نرمالیزه شده طبس



شکل ۱۰ درصد انرژی جذب شده به وسیله

اعضای مختلف در دو مدل

۹- نتیجه گیری

با توجه به محاسبات و تحلیل‌های انجام شده و نتایج حاصل برای محدوده مدل‌های مورد مطالعه، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از میراگرهای ADAS در سازه باعث بهبود عملکرد لرزه‌ای سازه خواهد شد. بر طبق نتایج حاصل بیشینه شتاب مؤثر قابل تحمل به وسیله سازه‌های مقاوم‌سازی شده با میراگرهای ADAS، حدود دو تا سه برابر بیشینه شتاب قابل تحمل قابهای مقاوم‌سازی نشده یا مقاوم‌سازی شده با مهاربند است. حداکثر تغییر مکان مجاز قابهای مقاوم‌سازی شده با ADAS نیز می‌تواند تا پنج برابر مقدار تغییر مکان مجاز برای قاب مقاوم‌سازی نشده یا مقاوم‌سازی شده با مهاربند افزایش یابد. همچنین حداکثر تغییر مکان قابهای مقاوم‌سازی شده با ADAS برای رکورد زلزله‌های مختلف می‌تواند تا ۲۰ درصد مقدار تناظر برای قاب مقاوم‌سازی نشده کاهش یابد. نتایج حاصل از تحلیل غیرخطی مدل‌ها نیز نشان می‌دهد که انرژی جذب شده به وسیله اعضای اصلی در قابهای مجهز به میراگرهای ADAS، صفر تا بیست درصد از کل انرژی ورودی است، در صورتی که در قابهای مقاوم‌سازی نشده، تمامی انرژی ورودی به وسیله اعضای اصلی قابها جذب می‌شود. در کل با استفاده از روش طرح تقویت به وسیله میراگرهای ADAS، با مصرف فولاد برابر و حتی کمتری نسبت به طرح تقویت به وسیله مهاربند، می‌توان به یک سطح عملکرد مطلوب یا حتی بالاتر از حد انتظار رسید.

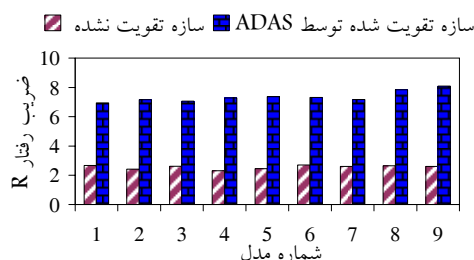
۱۰- منابع

[1] Stierner S.F.; Godden W.G.; "Shaking Table Tests of Piping Systems with Energy-Absorbing Restrainers"; Report No. UCB/ERC-80/33; Earthquake Engineering Research Center; University of California Berkeley, 1981.

[2] Whittaker A.S.; Bertero V.V.; Alonso L.J.; Thompson C.L.; "Earthquake Simulator Tests

در روابط فوق:

Δ_{max} تغییر مکان حداکثر بام، Δ_v تغییر مکان تسلیم در منحنی دوخطی (شکل ۱۱)، μ ضریب شکل‌پذیری کلی سازه، V_v نیروی برشی تسلیم، V_s نیروی برشی متناظر با اولین مفصل پلاستیک، Ω ضریب اضافه مقاومت، a و b ضرایب ثابتی که بر اساس جداول ارائه شده به وسیله ناسار و کراوینکلر با توجه به خواص فولاد محاسبه می‌شود، c ضریبی است که با توجه به پرید سازه و ضرایب a و b محاسبه می‌شود، T پرید سازه، α نسبت سخت شونده‌گی فولاد، Y ضریب تنش مجاز که بر اساس نحوه برخورد آیین‌نامه‌های مصالح با تنشهای طراحی (بار مجاز و یا بار نهایی) تعیین می‌شود، R_{μ} ضریب کاهش نیرو و R_w نیز ضریب رفتار سازه است. مقایسه ضریب رفتار محاسبه شده برای مدل‌های اولیه و مدل تقویت شده در شکل ۱۲ ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود مدل تقویت شده به وسیله ADAS ضریب رفتار به مراتب بالاتری نسبت به مدل تقویت نشده (دو تا سه برابر) دارد. این مسأله از آنجا ناشی می‌شود که سازه‌های مهاربندی به دلیل کماتش زود هنگام مهاربندها و به دنبال آن کماتش ستونها- به سرعت دچار افت مقاومت شده و توانایی تحمل سیکل‌های کمتری را در ناحیه غیرخطی دارد، اما در سازه تقویت شده با ADAS به دلیل ظرفیت بالای جذب انرژی در این اعضا- سازه انرژی بیشتری را به وسیله رفتار غیر خطی اعضا می‌تواند جذب کند.



شکل ۱۲ ضریب رفتار محاسبه شده برای قابهای تقویت نشده و تقویت شده به وسیله میراگر

[۸] کمیته دائمی بازنگری آیین‌نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن؛ آیین‌نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله؛ استاندارد ۲۸۰۰؛ ویرایش دوم؛ انتشارات مرکز؛ ۱۳۷۸.

[۹] آیین‌نامه حداقل بار وارده بر ساختمانها و ابنیه فنی (تجدید نظر در استاندارد ۵۱۹)؛ ۱۳۷۹.

[10] ATC.; "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings"; ATC - 40 Report; Applied Technology Council; Redwood City; California; 1996.

[11] ATC. "NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings", FEMA273 Report; Washington; Federal Emergency Management Agency.

[۱۲] آقا کوچک علی اکبر؛ شرحی بر آیین‌نامه ۲۸۰۰؛ ویرایش دوم؛ ۱۳۷۹.

[13] Uang C.M.; "Establishing of R (RC) and cd Factor For Building Seismic Provisions"; Journal of Structural Engineering; ASCE, Vol. 117, No.2; PP. 19 – 25. 1991.

[۱۴] سلیمانپور رضا؛ «بررسی میراگرهای ADAS در قابهای فولادی»؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی؛ ۱۳۸۳.

of Steel Plate Added Damping and Stiffness Elements"; Report No. UCB/EERC-89/0, Earthquake Engineering Research Center; University of California, Berkeley, January; 1989.

[3] Andrew S.; Whittaker Vitelme V.; Bertero Christopher L.; Thompson L.; Javier Alonso; "Earthquake Simulator Tests of Steel Plate Added Damping and Stiffness Elements;" Vol.3; 1993.

[4] Whittaker A.S.; Bertero V.V.; Alonso L.J.; Thompson C.L.; "Seismic Testing of Steel Plate Energy Dissipation Devices"; Earthquake Spectra; Vol.7, No.4, , pp. 563-604. 1991

[5] Tsai K.C.; Hong C.O.; Su Y.F.; "Experimental Study of Steel Triangular Plate Energy Absorbing Device for Seismic-Resistant Structures"; Report No. CEER/R81-08; Center for Earthquake Engineering Research; National Taiwan University; 1992.

[6] Tehranizadeh M.; "Behavior of Friction Damping on Semi-Rigid "Khoorjinee" Steel Framing Connection"; 12WCEE, 2000; New Zealand.

[۷] کمیته دائمی بازنگری آیین‌نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن؛ آیین‌نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله؛ استاندارد ۲۸۰۰؛ ویرایش اول؛ انتشارات مرکز؛ ۱۳۶۶.