مطالعات علوم کاربردی در مهندسی
Online ISSN: ٢٤٧٦-٤٥٠٧
دوره ۹، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲
Print ISSN: ٢٥٣٨-٢٠٥٥
صفحات ۲۳۸-۲۱۶
www.irijournals.com

بررسی تاثیر استفاده از میراگر ویسکوز برای افزایش مقاومت ساختمان

حسین نژادیان
کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش سازه دانشگاه سارویه

چکیده
افزایش مقاومت ساختمان و کنترل ارتعاش سازه‌های مهندسی، تحت برخی از بارها همانند زلزله و باد و ... در دهه‌های اخیر به‌طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است. این موضوع، در بسیاری از سازه‌ها مانند ساختمان‌های بلند، پل‌ها، توربین‌های بادی، فونداسیون‌های دارای ارتعاش اضافی در صنعت و حتی سازه‌های معمولی به‌منظور حفظ نمودن رفتار یک سازه در محدوده مجاز استفاده می‌شود. استفاده از میراگرها به‌عنوان وسیله‌ای برای مستهلک کردن انرژی ناشی از زلزله یکی از مطرح‌ترین روش‌هاست که در این میان میراگر ویسکوز طرفداران بیشتری دارد. مطالعات انجام شده در این تحقیق به‌منظور بررسی میزان تاثیر میراگرهای ویسکوز در کاهش آسیب‌پذیری سازه‌های بلند تحت زلزله وهم چنین انتخاب حالت بهینه در آرایش این میراگرها درسازه است. هدف از انجام این پژوهش بررسی تاثیر استفاده از میراگر ویسکوز برای افزایش مقاومت ساختمان می‌باشد. نتایج تحقیق نشان داد، ازلحاظ معماری طرح تقویت با میراگر ویسکوز برتری دارد. چون این روش تأثیری بر دسترسی‌های موجود ساختمان و عملکرد اجزای غیر سازه‌ای نخواهند داشت. ازلحاظ کاهش تغییر مکان، میراگر ویسکوز بهترین عملکرد را دارا بوده و سطح عملکرد مطلوبی را ارائه می‌نماید. نتایج این مطالعه بینش بسیار دقیقی در مورد استفاده از میراگر ویسکوز برای افزایش مقاومت ساختمان ارائه می‌دهد و می‌تواند برای توسعه استراتژی‌های مؤثر برای افزایش مقاومت و کاهش تأثیر رویدادهای لرزه‌ای بر سازه‌های ساخته شده استفاده شود.

کلمات کلیدی: مقاومت ساختمان، ویسکوز، میراگر، میراگر ویسکوز

مقدمه

استفاده از میراگرها به‌عنوان وسیله‌ای برای مستهلک کردن انرژی ناشی از زلزله یکی از مطرح‌ترین روش‌هاست که در این میان میراگر ویسکوز طرفداران بیشتری دارد. مطالعات انجام شده در این تحقیق به‌منظور بررسی میزان تاثیر میراگرهای ویسکوز در کاهش آسیب‌پذیری سازه‌های بلند تحت زلزله وهم چنین انتخاب حالت بهینه در آرایش این میراگرها درسازه است. بهسازی در لغت به مفهوم اصلاح، بهتر کردن یا بهبود بخشیدن به شرایط یا وضعی است. مطابق تعریف بهسازی در صنعت ساختمان، ایجاد قابلیت انجام وظیفه یا وظائفی است در ساختمان، سازه ساختمان یا اجزا (Components) و عناصر (Elements) آن که در وضع موجود قادر به انجام تمام و کمال آن وظیفه یا وظائف نیستند. دلایل بهسازی، ممکن است ناشی از نارسائی طرح، نامناسب بودن اجرا، بهره‌برداری بی‌ضابطه یا فروپایگی ساختمان، سازه ساختمان یا اجزا و عناصر آن در اثر از دست رفتن مشخصه‌های مصالح و تجهیزات به دلایل مختلف از جمله اثر فرساینده زمان، سانحه، حادثه یا عوامل دیگر، یا حاصل تغییر و تحول در شرایط زیست و کار و سنگین‌تر شدن وظائف مورد انتظار از ساختمان باشد.

با توجه به لرزه خیز بودن اکثر مناطق ایران، مقابله با این پدیده ی طبیعی به دلیل خسارت عمده ی مالی و جانی ناشی از آن، امری غیر قابل اجتناب است، بنابراین، محققین تلاش گسترده ای را جهت طراحی و مقاوم سازی سازه ها در برابر زلزله به کار گرفته اند. اغلب سازه‌هایی که با آیین نامه های مرسوم طراحی می شوند، پس از رخداد زلزله های شدید اگرچه ممکن است سطح عملکرد ایمنی جانی را تامین کنند اما شاهد تغییر مکآنهای نسبی ماندگاری خواهیم بود که بهره برداری از ساختمآن ها را غیرممکن کرده و همچنین بازسازی آنها نیاز به صرف هزینه های اقتصادی و زمانی زیادی دارد. در سالهای اخیر محققین سازه و زلزله، به معرفی سیستم های لرزه‌ای مرکزگرا پرداختند که علاوه بر قابلیت استهلاک انرژی، سبب کاهش و محدود کردن خسارتهای وارد بر سازه در نقاط خاص شده و تغییر شکل های ماندگار کمتری را به سازه تحمیل می کنند. جهت مقاوم‌سازی سازه از دو روش کلی می‌توان استفاده نمود. اولاً اضافه کردن سیستم سازه‌ای جدید و ثانیاً تقویت اعضای سازه‌ای موجود. اضافه کردن سیستم سازه‌ای جدید مانند: استفاده از دیوار برشی، مهاربند هم‌محور، میانقاب بنایی مسلح، اضافه کردن قاب خمشی، مهاربند فولادی کمانش تاب، میراگر ویسکوز و... . برای تقویت اعضای سازه‌ای موجود هم روش‌های مختلفی مطرح گردیده است. از آن جمله می‌توان به مقاوم‌سازی با ژاکت بتنی، صفحات فولادی، ورق‌های FRP (مواد پلیمری مسلح به الیاف) و... اشاره کرد.

هرکدام از روش‌های فوق مزایا و معایب خاص خودش را دارد. محدودیت ابعادی، معماری، افزایش باربری، زمانی و محدودیت‌های بهره‌برداری از مهمترین عوامل مؤثر در انتخاب روش تقویت هستند که با بررسی تمامی جوانب و محدودیت‌های موجود باید مناسب‌ترین و بهینه‌ترین روش انتخاب گردد.

دلایل مقاوم‌سازی سازه

در زیر دلایل مختلف مقاوم‌سازی سازه‌ها به علت خطاهای انسانی و اشتباهات مهندسی بطور خلاصه معرفی می‌گردد:

خطای طراحی: فرضیات اشتباه در ارتباط با شرایط ساختمان، فراموش کردن بندهایی از آیین نامه و ... از عوامل مؤثر در خطای طراحی می‌باشند.

استفاده از آیین‌نامه‌های قدیمی: استفاده از آیین‌نامه‌های ساختمانی قدیمی که تا قبل از انتشار آیین‌نامه جدید ایمن محسوب می‌شد ممکن است دیگر از ایمنی کافی برخوردار نبوده و نیاز به ارتقا در شکل‌پذیری و مقاومت داشته باشد.

مشکلات اجرایی: با توجه به اینکه در مراحل اجرای ساختمان امکان خطای نیروی انسانی وجود دارد و این خطا می‌تواند در قالب‌بندی، آرماتوربندی، بتن‌ریزی، عمل‌آوری، اندازه‌گذاری‌ها و ... اتفاق افتد؛ بنابراین یکی از خطاهای محتمل در سازه، خطاهای اجرایی در مرحله ساخت می‌باشد.

متفاوت بودن مقادیر محاسبه شده با مشخصات مصالح اجرا شده: از جمله خطاهای ممکن در طول ساخت سازه، متفاوت بودن مقادیر طراحی شده با مشخصات مصالح بکار رفته در ساختمان می‌باشد و در هر دو نوع سازه بتنی و فولادی رواج دارد. البته

از آنجاییکه فولاد ماده‌ای همگن بوده و مقاطع فولادی در کارگاه و تحت کنترل بالا تولید شوند بین مقادیر مشخصات طرح و واقعی خطای کمتری رخ می‌دهد. برخلاف فولاد، بتن از مصالح ناهمگنی تشکیل داده شده و عملیات اختلاط، حمل، بتن‌ریزی و نگه‌داری سبب تولید مصالحی با مشخصات مکانیکی پراکنده می‌شود.

خوردگی و نابودی مصالح: از جمله مشکلات مصالح فولادی که در سازه‌ها بکار برده می‌شوند، خوردگی مصالح فولادی و زنگ زدگی آن می‌باشد که سازه را وادار به بهسازی می‌کند.

تغییر میزان بار وارده بر ساختمان: در طول عمر یک ساختمان ممکن است افزایش بارگذاری اتفاق بیفتد که این امر ممکن است به شکل‌های مختلفی ایجاد گردد.

تغییر کاربری ساختمان: تغییر کاربری ساختمان مانند تبدیل واحد مسکونی به انباری و ... از جمله مواردی است که باعث انجام عملیات مقاوم‌سازی می‌گردد.

نصب تجهیزات بر روی سازه: تعبیه تجهیزات مخابراتی یا مکانیکی، نصب ماشین‌آلات بر روی ساختمان و... .

ارزیابی ساختمان بتنی

در هنگام وقوع زمین‌لرزه، اجزای سازه در اثر تغییر مکان سازه تحت تأثیر تغییر شکل‌هایی قرار می‌گیرند. تغییرشکل‌های اجزا و پاسخ سازه در زمین‌لرزه‌های خفیف در محدوده خطی و الاستیک باقی مانده، ولی در زمین‌لرزه‌های شدید تغییر شکل‌های اجزاء و پاسخ سازه از محدوده ارتجاعی فراتر می‌رود و در نهایت می‌تواند سبب خرابی اجزای سازه شود.

سازه می‌بایست نیروهای ناشی از زمین‌لرزه را در سطح عملکرد مورد نظر تحمل نماید. رفتار سازه تحت اثر نیروهای ناشی از زمین-لرزه به پارامترهایی وابسته می‌باشد که این پارامترها عبارت است از: جرم، مقاومت، پیکربندی و هندسه، میرایی، شکل‌پذیری اجزای سازه، سختی و پارامترهای جنبش زمین [۳۱].

بررسی آسیب‌پذیری لرزه‌ای، اولین گام در بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود می‌باشد. در سال‌های اخیر برای بررسی میزان آسیب‌پذیری سازه‌ها روش‌های مختلفی مبتنی بر ارزیابی‌های کیفی و کمی سازه‌ها ارائه شده است. در روش‌های کیفی جهت برآورد تقریبی و اولیه مقاومت لرزه‌ای ساختمان، فرم‌های ویژه‌ای تهیه می‌شوند که در آن با توجه به شرایط لرزه‌خیزی منطقه و بر مبنای تجربیات ناشی از زمین‌لرزه‌های گذشته، اطلاعات و معایب موجود در اعضا و سیستم سازه مثل سیستم باربر جانبی و قائم، شکل‌پذیری اجزا، آسیب‌های وارد شده بر سازه و عملکرد اجزای مختلف، جمع‌آوری و استفاده می‌شود.

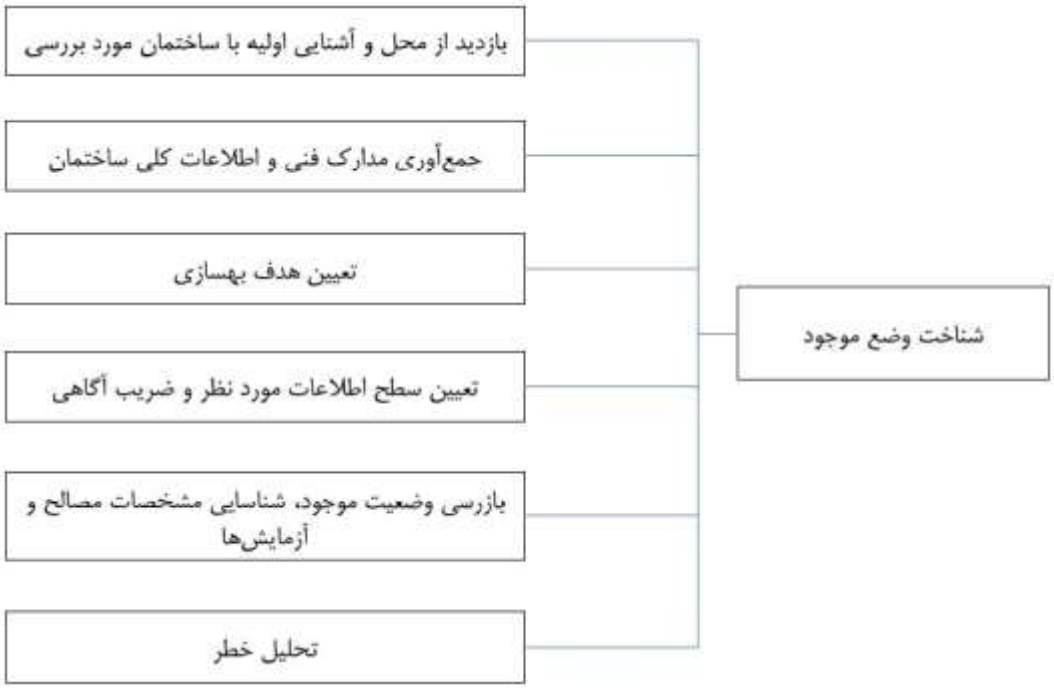
سپس بعد از گردآوری و تشکیل بانک اطلاعاتی در مرحله ارزیابی کیفی، در روش‌های کمی مشخصات سازه با دقت بالاتر و جزییات بیشتری مطالعه و ارزیابی شده و با توجه به شرایط فعلی سازه و با کمک روش‌های متداول بررسی آسیب‌پذیری لرزه‌ای سازه‌ها، مدلسازی آن انجام می‌پذیرد.

هدف از شناخت وضع موجود ساختمان، جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز جهت مدلسازی، تحلیل و ارزیابی رفتار لرزه‌ای سازه می‌باشد. این عمل می‌تواند با دقت‌های متفاوت و صرف زمان و هزینه متناسب انجام شود. بدین صورت انجام مطالعات شناخت وضع کنونی در سطوح متفاوت، بر مبنای گستره‌ی اطلاعاتی که گردآوری می‌شود، میسر خواهد بود. این سطوح به ترتیب افزایش دقت و گستره، به سطح اطلاعات حداقل، سطح اطلاعات متعارف و سطح اطلاعات جامع تقسیم‌بندی می‌شوند.

هدف اصلی ارائه راهکارهایی جهت ارزیابی و بهبود عملکرد ساختمان‌های متداول موجود در برابر زلزله و کاهش تلفات جانی ناشی از آن می‌باشد.

مطالعات شناخت وضع موجود، مطابق مراحل شکل (۱) صورت می‌گیرد.

دوره ۹، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، صفحات ۲۳۸-۲۱۶



شکل ۱- مراحل شناخت وضع موجود [۳۱].

معرفی پروژه مقاوم‌سازی

یکی از دلایلی که باعث ایجاد لزوم مقاوم‌سازی در سازه می‌شود، بروز نبودن آیین‌نامه‌ها و طراحی سازه با دستورالعمل‌های قدیمی آن می‌باشد که باعث می‌گردد سازه مطابق با آیین‌نامه جدید مقاوم نبوده و نیاز به بهسازی پیدا کند. در این پروژه این عامل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در این تحقیق یک ساختمان بتنی ۵ طبقه با سیستم قاب خمشی، بر مبنای زلزله طرح استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش دوم طراحی شده است. ساختمان در مرحله بعد توسط دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای نشریه ۳۶۰ و استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم، مورد بررسی قرار می‌گیرد [۲]. نوع کاربری ساختمان، مسکونی و در دسته اهمیت متوسط می‌باشد. براساس استاندارد ۲۸۰۰، این ساختمان در منطقه با خطر لرزه‌ای زیاد و خاک نوع II در نظر گرفته شده است. ارتفاع طبقات ۴ متر و طول دهانه‌ها و فاصله قاب‌ها از هم ۵ متر می‌باشد. بارگذاری ثقلی براساس دستورالعمل مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، صورت گرفته است. مدلسازی سازه نیز توسط نرم‌افزار اجزاءمحدودی SAP2000 انجام می‌گیرد.

معرفی نرم‌افزار SAP2000

نرم‌افزار SAP2000، یکی از پرکاربردترین نرم‌افزارهای تحلیل و طراحی سازه‌های ساختمانی و غیرساختمانی در مهندسی عمران می‌باشد. حدود ۲۵ سال پیش در دانشگاه برکلی کالیفرنیا اولین تحلیل کامپیوتری SAP به روش اجزاء محدود بنا گردید.

این نرم‌افزار رابط گرافیکی بسیار قوی داشته و در عین حال استفاده از آن بسیار آسان می‌باشد. در محیط SAP2000 می‌توان سازه‌ی فولادی یا بتنی را به صورت دو یا سه‌بعدی مدلسازی نمود. با پشتیبانی از طیف گسترده‌ای از المان‌ها، مقاطع و انواع بارگذاری‌ها، امکان مدلسازی پیچیده‌ترین سازه‌ها فراهم شده است. از جمله این المان‌ها می‌توان به المان‌های سازه‌ای Shell و Frame و المان‌های غیرخطی فنر و اتصالات اشاره نمود. در این نرم‌افزار کاربر می‌تواند از قاب‌های کوچک دوبعدی تا قاب‌های بزرگ سه‌بعدی را براحتی تحلیل و طراحی کند.

نرم‌افزار SAP2000 در صنایع نفت و گاز هم به کار گرفته می‌شود. تحلیل المان‌های کابلی با تغییرمکان‌های بزرگ، اعمال بار ناشی از حمل و نقل‌های دریایی و آتش‌سوزی و تحلیل پایداری از جمله قابلیت‌های SAP2000 در این حوزه است. از دیگر شاخصه‌های این نرم‌افزار، امکان برقراری ارتباط با سایر نرم‌افزارهای CSI می‌باشد.

این نرم‌افزار قابلیت‌های تحلیلی گسترده‌ای داشته و گستره‌ی زیادی از انواع تحلیل‌ها را پوشش می‌دهد. از جمله آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تحلیل استاتیکی
- تحلیل دینامیکی
- تحلیل تاریخچه زمانی
- تحلیل Push Over
- تحلیل طیفی
- تحلیل مودال
- تحلیل غیرخطی
- تحلیل P-Delta

داشتن این قابلیت‌ها کمک فراوانی در تحلیل سازه می‌کند.

تعاریف مقدماتی

سطح عملکرد

شرایط مطلوب ساختمان پس از وقوع زمین‌لرزه می‌باشد که میزان آسیب و تلفات ناشی از زمین لرزه را نمایش می‌دهد. سطوح عملکرد به دو دسته سازه‌ای و غیر سازه‌ای تقسیم‌بندی می‌شوند، که در ادامه شرح داده خواهد شد [۳].

سطح عملکرد ساختمان

ترکیب سطح عملکرد سازه‌ای و سطح عملکرد غیر سازه‌ای که تشریح کامل و جامعی از خرابی کلی را بدست می‌دهد [۳].

هدف بهسازی

هدف اصلی بهسازی عبارت است از تقویت اعضای سازه‌ای و غیر سازه‌ای بر مبنای سطح عملکرد [۳].

سیستم های میراگر ویسکوز

سیستم های میراگر ویسکوز مایع[1] یا همان دمپر ویسکوز، تجهیزاتی هیدرولیکی هستند که جهت استهلاک انرژی جنبشی ناشی از ارتعاشات لرزه‌ای یا مقابله با ضربات بین سازه ها، به کار می روند. این تجهیزات متنوع اند و می توانند به گونه ای طراحی شوند که بار مورد نظر (مثلاً بار زلزله و باد) را مستهلک نموده، ولی در برابر باقی شرایط مانند حرکات ناشی از حرارت، اجازه ی حرکت آزادانه را به سازه بدهند.

این میراگر، که بسیار شبیه به جذب کننده ضربه در اتومبیل است، شامل یک استوانه است که با یک مایع با لزجت بالا پر می‌شود. پیستون از یک سمت به مایع فشار وارد می‌کند و مایع از سمت دیگر به تدریج خارج می‌شود. اتلاف انرژی به وسیله اصطکاک داخلی (لزجت) مایع صورت می‌گیرد. نیروی مقاومی که این وسیله فراهم می‌کند متناسب با جابجایی و سرعت نسبی دو طرف آن است. این نوع میراگر جهت انواع ارتعاشات با دامنه زیاد مانند زلزله یا کم مانند باد یا ارتعاشات پل مناسب و کارآمد است.

میراگر ویسکوز اولین بار در قرن نوزدهم به‌منظور خنثی سازی اثرات ضربه توپ در کشتی ها مورد استفاده قرار گرفت. بعدها استفاده از این وسایل در صنعت هوا فضا برای پرتاب موشک و صنایع نظامی گسترش زیادی یافت. تا اینکه در نیمه اول قرن بیستم

[1] Viscous Fluid Damper

از این تکنولوژی در کارخانه های خودروسازی نیز استفاده شد. ورود میراگر ویسکوز به صنعت ساختمان با انجام آزمایشاتی در دانشگاه بوفالو آغاز شد. در واقع می توان با استفاده از سیالات به شکل مؤثری برای دستیابی به سطح مطلوب کنترل ارتعاشات دست یافت. تلاش‌های اصلی برای توسعه میراگرهای ویسکوز جهت مصارف سازه‌ای در طی سال‌های گذشته، با بهره‌گیری از تجارب صنایع سنگین و نظامی صورت گرفت. یک روش طراحی سهل الوصول بر اساس الگوی پیستون کلاسیک می‌باشد. در این مورد استهلاک انرژی با تبدیل انرژی مکانیکی به حرارت، از طریق ایجاد تغییرشکل در یک ماده ضخیم و بسیار لزج به واسطه یک پیستون، به انجام می رسد(کامگار و همکاران ۲۰۲۰).

میراگر ویسکوز مایع شامل سیلندر روغن، مایع ویسکوز، پیستون، میله پیستون، پوشش محافظ داخلی و سایر بخش های اصلی است. پیستون باید حرکتی متقابل را در سیلندر روغن ایجاد نماید. پیستون محاط در ساختار میراگر بوده و سیلندر روغن پر از مایع میراکننده است.

میراگر ویسکوز اولین بار در قرن نوزدهم به‌منظور خنثی سازی اثرات ضربه توپ در کشتی ها مورد استفاده قرار گرفت. بعدها استفاده از این وسایل در صنعت هوا فضا برای پرتاب موشک و صنایع نظامی گسترش زیادی یافت. تا اینکه در نیمه اول قرن بیستم از این تکنولوژی در کارخانه های خودروسازی نیز استفاده شد. ورود میراگر ویسکوز به صنعت مقاوم سازی ساختمان با انجام آزمایشاتی در دانشگاه بوفالو آغاز شد. در واقع می توان با استفاده از سیالات به شکل مؤثری برای دستیابی به سطح مطلوب کنترل ارتعاشات دست یافت. تلاش‌های اصلی برای توسعه میراگرهای ویسکوز جهت مصارف سازه‌ای در طی سال‌های گذشته، با بهره‌گیری از تجارب صنایع سنگین و نظامی صورت گرفت. یک روش طراحی سهل الوصول بر اساس الگوی پیستون کلاسیک می‌باشد. در این مورد استهلاک انرژی با تبدیل انرژی مکانیکی به حرارت، از طریق ایجاد تغییرشکل در یک ماده ضخیم و بسیار لزج به واسطه یک پیستون، به انجام می رسد.

عملکرد میراگر ویسکوز

وقتی سازه با محرکی خارجی (مانند ارتعاش باد و زلزله) مواجه شود، دچار تغییر شکل شده و دمپر (میراگر) را به حرکت وا می دارد. در این حالت در بین دو سر پیستون در دمپر، اختلاف فشار ایجاد می‌شود. در این شرایط مایع ویسکوز میان پیستون و محفظه دمپر ویسکوز حرکت کرده و به واسطه لزجت خود، موجب میرایی و تبدیل انرژی مکانیکی به حرارتی (استهلاک انرژی) می‌شود. این امر موجب کاهش ارتعاشات در سازه می‌شود. در واقع وقتی دو سر دمپر با سرعت نسبت به هم از یکدیگر دور یا به هم نزدیک شوند، پیستون مرکزی بین یک محفظه پر شده از سیال سیلیکونی حرکت می کند. با حرکت پیستون، سیال برای ثابت ماندن حجم در دو طرف پیستون مجبور است از روزنه‌هایی که در اطراف و مرکز پیستون تعبیه شده است، عبور کند. به دلیل ریز بودن روزنه‌های پیستون سرعت سیال در سمت خروجی بسیار زیاد است؛ بنابراین تقریباً تمام فشار بالادستی به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود(خدابنده لو، ۲۰۲۱).

میراگر ویسکوز مایع، امروزه به شکل گسترده ای در مهندسی سازه به‌عنوان راه حلی بسیار مؤثر در استهلاک انرژی، به کار می رود:

- ساختمان‌های مسکونی، اداری، مجتمع های بزرگ تجاری و ساختمان‌های بلندمرتبه و با دهانه های بزرگ.
- مراکز مدیریت بحران مانند بیمارستان ها، مدارس، ساختمان‌های مهم دولتی، مراکز آتشنشانی، ساختمان‌های نظامی و انتظامی و...
- مصارف صنعتی مانند استفاده در سازه ی کارخانه ها، تجهیزات صنعتی و...
- پل های راه و راه آهن.
- مصارف نظامی.

- نیروگاه ها، پتروشیمی و ...

سطوح هدف عملکرد ساختمان

با توجه به تعاریف سطوح عملکرد سازه‌ای و غیرسازه‌ای که انجام گردید، سطح عملکرد کلی ساختمان از ترکیب سطوح عملکرد سازه‌ای (عدد) و غیر سازه‌ای (حرف) حاصل می‌گردد. از اینرو هر سطح عملکرد ساختمانی شامل ترکیب یک عدد-حرف می‌باشد که عدد آن نشان دهنده سطح عملکرد سازه‌ای و حرف نشان دهنده سطح عملکرد غیر سازه‌ای می‌باشد. در جدول (۱) چهار سطح عملکرد ساختمان طبقه بندی گردیده‌اند [۳].

جدول ۱- اصطلاحات به کار رفته در FEMA-356 و دستورالعمل بهسازی برای سطوح عمکرد ساختمان [۳]

اصطلاح به کار رفته در FEMA	اصطلاح معادل FEMA دردستورالعمل بهسازی
Operational performance level (1-A)	سطح عملکرد خدمات رسانی بی وقفه
Immediate occupancy performance level (1-B)	سطح عملکرد قابلیت استفاده بی وقفه
Life safety performance level (3-C)	سطح عملکرد ایمنی جانی
Collapse preventation performance level (5-E)	سطح عملکرد آستانه فروریزش

سطح عملکرد خدمت رسانی بی‌وقفه (1-A)

سطح عملکرد خدمت‌رسانی بی‌وقفه که با علامت (1-A) نمایش داده می‌شود شامل ساختمانی است که اجزای سازه‌ای آن دارای سطح عملکرد ۱ (قابلیت استفاده بی‌وقفه) و اجزای غیر سازه‌ای آن دارای سطح عملکرد A (خدمت‌رسانی بی‌وقفه) باشند. بهترین حالت عملکردی ممکن سازه در حالت عملکردی خدمت‌رسانی بی‌وقفه می‌باشد که در آن دریفت سازه (تغییر مکان جانبی نسبی) بر اثر ترک خوردگی یا رفتار خمیری در سازه باقی نمی‌ماند. اساساً سختی و مقاومت اعضای سازه‌ای تغییری نکرده و ترک‌های خیلی جزیی در اعضای سازه‌ای، تیغه‌ها، نما و سقف ایجاد می‌گردد.

همه‌ی سیستم‌های مورد نیاز برای عملکرد ساختمان اکتیو باقی مانده و آسیب‌های جزئی ایجاد شده و سیستم‌های تاسیساتی و برق‌رسانی بدون آسیب و فعال می‌باشند.

ساختمان در این سطح عملکرد احتمال وقوع تلفات انسانی نزدیک به صفر بوده و خرابی‌های خیلی کمتری نسبت به ساختمان‌های طراحی‌شده بر مبنای آیین‌نامه‌های طرح از ابتدا می‌بینند.

سطح عملکرد قابلیت استفاده بی‌وقفه (1-B)

سطح عملکرد قابلیت استفاده بی‌وقفه که با علامت (1-B) نمایش داده می‌شود شامل ساختمانی است که اجزای سازه‌ای آن سطح عملکرد ۱ (قابلیت استفاده بی‌وقفه) داشته و اجزای غیر سازه‌ای آن سطح عملکرد B (قابلیت استفاده بی وقفه) داشته باشند. عملکردی اعضا سازه‌ای در حالت قابلیت استفاده بی وقفه (Immediate Occupancy)، همانند سطح عملکرد قابلیت خدمت‌رسانی بی وقفه بوده و تغییرشکل‌های نسبی ماندگاری نخواهد داشت ولی در بحث اجزاء و ملحقات غیرسازه‌ای، تاسیسات ساختمان دچار آسیب‌های مکانیکی ناچیز شده و امکان دارد درست کار نکنند بطوریکه با تعمیر جزیی آسیب‌ها برطرف گردند.

ترک‌های بسیار ریز و جزیی بر روی تیغه‌ها، نما و سقف‌ها دیده می‌شود. استفاده از آسانسور دچار اختلال نشده و تجهیزات اطفاء حریق نیز به درستی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. در این حالت عملکردی سازه نیز از سازه‌های متعارف طراحی شده با آیین‌نامه‌های طراحی از ابتدا به مراتب نقص کمتری دچار می‌شود.

به‌طور کل در سطح عملکرد B-1 خسارت و آسیب‌های کلی ساختمان کم است.

سطح عملکرد ایمنی جانی (C-3)

سطح عملکرد ایمنی جانی که با علامت (C-3) نمایش داده می‌شود شامل ساختمانی است که اجزای سازه‌ای آن دارای سطح عملکرد ۳ (ایمنی جانی) و اجزای غیر سازه‌ای آن نیز سطح عملکرد C (ایمنی جانی) را دارا باشند. در حالت سوم یعنی ایمنی جانی (Life Safety)، در تمامی طبقات میزانی از سختی و مقاومت از دست خواهد رفت. المان‌های باربر ثقلی عمل کرده و گسیختگی خارج از صفحه دیوار اتفاق نخواهد افتاد ولی تغییرشکل نسبی ناشی از رفتار خمیری در سازه دیده می‌شود.

به احتمال زیاد بدون انجام یک رشته تعمیرات، ادامه بهره‌برداری از ساختمان میسر نخواهد بود. تعمیرات مورد نیاز هزینه بر بوده و سقوط اشیا محتمل نخواهد بود ولی بسیاری از تاسیسات مکانیکی، الکتریکی و عناصر معماری دستخوش آسیب خواهند شد. در این سطح عملکرد سازه صدمه بیشتری از سازه‌های طراح از ابتدا خواهد دید و خطر تلفات جانی اندکی بیشتر خواهد بود.

به‌طور کل در سطح عملکردی C-3 خسارت کلی ساختمان متوسط است.

سطح عمکرد آستانه فروریزش (E-5)

سطح عملکرد آستانه فروریزش که با علامت (E-5) نمایش داده می‌شود شامل ساختمانی است که اجزای سازه‌ای آن دارای سطح عملکرد ۵ (آستانه فرو ریزش) می‌باشند. برای سطح عملکرد اجزای غیرسازه‌ای در این حالت محدودیتی وجود ندارد (سطح عملکرد لحاظ نشده E). در سطح عملکرد چهارم یعنی آستانه فروریزش (Collapse Prevention)، سختی و مقاومت ناچیزی برای تحمل بارهای جانبی در اعضای سازه‌ای باقی مانده، اما ستون‌ها و دیوارهای باربر ثقلی عملکرد خود را حفظ می‌کنند. تغییر شکل‌های نسبی ماندگار فراوان می‌باشد و برخی از خروجی‌ها انسداد پیدا خواهند کرد و احتمال فرو ریختن سازه در اثر پس‌لرزه‌ها وجود دارد، از اینرو می‌بایست تحت هر شرایطی از سکنه خالی شود.

دیوارهای مهارنشده گسیخته شده و یا حداقل دچار شکست اولیه می‌شود. همچنین آسیب‌های گسترده‌ای در اعضای غیرسازه‌ای ایجاد می‌شود. خرابی‌های به وجود آمده و خطر تلفات جانی به طرز قابل توجهی بیشتر از سازه‌های طرح از ابتدا خواهد بود.

به‌طور کل می‌توان گفت خسارت کلی ساختمان در سطح عملکرد E-5 شدید است.

هدف بهسازی

بهسازی مطلوب

انتظار می‌رود که در بهسازی مطلوب، هدف بهسازی مبنا تامین شود و همچنین در زمین‌لرزه سطح خطر-۲ ساختمان دچار فرو ریزش نشود [۳].

بهسازی ویژه

در هنگام وقوع زمین‌لرزه برای ساختمان‌های پر اهمیت مانند نیروگاه‌ها، بیمارستان‌ها و... عملکرد بهتری نسبت به ساختمان‌های عادی در نظر گرفته می‌شود، به این علت که در اینگونه ساختمان‌ها نیاز است خدمت‌رسانی پس از زمین‌لرزه بدون وقفه صورت بپذیرد. برای نیل به این هدف می‌بایست سطوح عملکرد بالاتری برای ساختمان در نظر گرفته شود. در بهسازی ویژه عملکرد بالاتری برای ساختمان نسبت به بهسازی مطلوب مد نظر قرار می‌گیرد. از اینرو سطح عملکرد بالاتری برای ساختمان تحت همان سطح خطر زمین‌لرزه مورد استفاده در بهسازی مطلوب در نظر گرفته شده یا با حفظ سطح عملکرد مشابه با بهسازی مطلوب سطح خطر زمین‌لرزه بالاتری مد نظر قرار گرفته می‌شود [۳].

بهسازی محدود

اگر به علت محدودیت‌های اقتصادی یا اجرایی امکان بهسازی مبنا میسر نباشد ممکن است بهسازی در سطح عملکرد پائین‌تری در نظر گرفته شده یا به جای سطح عملکرد مورد نظر زمین‌لرزه ضـعیف‌تری انتخاب گردد. در بهسـازی محدود عملکرد پائین‌تری از بهسـازی مبنا در نظرگرفته می‌شود، بصورتیکه دست کم یکی از اهداف زیر محقق گردد:

ایمنی جانی افراد تحت زمین‌لرزه‌ای خفیف‌تر از زمین‌لرزه سطح خطر ۱ تأمین گردد. (سطح عملکرد C-3)

سطوح عملکرد، D-4، C-4،E-5،D-5، C-5، E-4 یا D-6، تحت زمین‌لرزه‌ای برابر یا خفیف‌تر از زمین‌لرزه سطح خطر ۱ تأمین گردد [۳].

بهسازی موضعی

به دلایلی در شرایط موجود بخشی از یک طرح بهسازی کلی در بهسازی موضعی صورت می‌پذیرد. در این حالت بهسازی باید به گونه‌ای طرح و اجرا گردد که هدف بهسازی بخش‌های دیگر در مراحل بعدی محقق شود [۳].

بهسازی موضعی قسمتی از ساختمان نباید سبب پائین آمدن سطح عمکرد کل ساختمان شود.

بهسازی موضعی نباید سبب نامنظم شدن یا افزایش بی‌نظمی سازه گردد.

در اعضایی که وضعیت بحرانی تحت زمین‌لرزه دارند، بهسازی موضعی نباید سبب افزایش نیروهای ناشی از زمین‌لرزه گردد [۳].

پیشینه تحقیق

ریاض و همکاران[۲] (۲۰۲۳) پژوهشی با عنوان " افزایش مقاومت لرزه‌ای ساختمان‌های بتن مسلح موجود با استفاده از میراگرهای چسبناک غیرخطی: مطالعه تطبیقی" انجام دادند. پس از ویرانی فاجعه بار زلزله اکتبر ۲۰۰۵ کشمیر، اولین آیین نامه ساختمانی پاکستان در سال ۲۰۰۷ تدوین شد. تنها هدف آیین نامه ساختمانی پاکستان (BCP) ترکیب پیشرفت ها در طراحی مقاوم در برابر زلزله برای تقویت سازه ها و تضمین ایمنی بود. این مطالعه عملکرد لرزه‌ای یک ساختمان بتن مسلح موجود با و بدون میراگرهای چسبناک غیرخطی و تحت یک تحلیل دینامیکی غیر خطی را مقایسه می‌کند. عملکرد ساختمان از نظر جابجایی طبقه، رانش طبقه، شتاب داستان و مکانیسم های اتلاف انرژی ارزیابی می‌شود. افزودن میراگرهای چسبناک سیال غیرخطی در سازه باعث کاهش رانش بین طبقاتی در حدود ۳۱,۱۶٪ و جابجایی سقف حدود ۳۶,۵۸٪ کاهش یافت. علاوه بر آن، در یک ساختار کنترل شده، بیش از ۷۰ درصد انرژی توسط دمپرهای ویسکوز سیال تلف می‌شود. این نتایج نشان می‌دهد که افزودن میراگرهای چسبناک سیال غیر خطی به ساختار موجود به‌طور قابل توجهی عملکرد ارتعاشی سیستم را در برابر ارتعاشات نامطلوب بهبود می بخشد.

مورنو و همکاران[۳] ۲۰۲۳ مقاله تحت عنوان " مقایسه بین طراحی ساختاری سنتی کلمبیایی و استفاده از سیستم‌های میرایی انرژی از نوع ویسکوز " انجام دادند. این مقاله یک طراحی ساختاری سنتی کلمبیایی را با همان سازه با میراگرهای انرژی از نوع چسبناک مقایسه می‌کند، هم رفتار ساختاری و هم هزینه‌های ساخت را در نظر می‌گیرد. برای این منظور، یک ساختمان طراحی شد: اول، مطابق با مقررات ساخت و ساز مقاوم در برابر لرزه کلمبیا (NSR-10)؛ و سپس با توجه به توصیه های جامعه مهندسین عمران آمریکا در خصوص سیستم های میرایی. در نهایت مقادیر و هزینه های ساخت محاسبه شد. در نتیجه، یک ساختار غیر متعارف به دست آمد که گرانتر از یک ساختمان با طراحی سنتی بود. با این حال، سازه مذکور دارای سطح مقطع، تنش و جابجایی کمتری بود. موارد فوق نشان می‌دهد که در حالی که هزینه اولیه این روش ممکن است بیشتر باشد، هزینه اضافی را می توان در هنگام وقوع زلزله جبران کرد، زیرا ساختمان مقاومت بهتری در برابر زلزله دارد.

[2] Riaz, R. D., Malik, U. J., Shah, M. U., Usman, M., & Najam, F. A.

[3] Moreno, W. A. P., Ceron, A. L. S., & Ruiz, A. F. O.

کیو و همکاران[4] (۲۰۲۳) پژوهشی با عنوان " طراحی لرزه‌ای قاب های مهاربندی شده هیبریدی با مهاربندهای خود محور و مهاربندهای میرایی ویسکوز سیال" انجام دادند. ترکیب مهاربندهای خودمرکز (SCB) و مهاربندهای میرایی چسبناک سیال (FVDBs) به صورت موازی به‌عنوان یک استراتژی امیدوارکننده مقاوم در برابر لرزه ظاهر می‌شود، زیرا پتانسیل کنترل همزمان تغییر شکل اوج، شتاب اوج، برش پایه اوج و تقریباً حذف تغییر شکل را دارد. نتایج تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی نشان داد که قاب‌های مهاربندی‌شده ترکیبی طراحی شده می توانند به خوبی اهداف عملکرد را برآورده کنند. روش طراحی قوی بود، اگرچه مقادیر ξv در محدوده وسیعی متفاوت بودند. روش طراحی همچنین ممکن است انواع دیگر سیستم های هیبریدی با مهاربندهای میرایی وابسته به جابجایی و سرعت را روشن کند.

رحیم زاده اسکوئی و همکاران (۱۴۰۲) مقاله ای در " نشریه علمی-پژوهشی انجمن مهندسی سازه‌ایران" با عنوان " تاثیر استفاده از سیستم میراگر غیرفعال بر روی پاسخ لرزه‌ای سازه‌های بتنی بلند مرتبه جداسازی شده توسط جداساز لاستیکی هسته سربی در پی " چاپ کردند. با توجه به گسترش روزافزون استفاده از جداسازهای لرزه‌ای در کشور که باعث کاهش نیروی وارده بر اعضای سازه و افزایش کلی جابجایی سازه در هنگام وقوع زلزله می‌شوند، ایجاد روشی بهینه برای استفاده از این سیستم همراه با کاهش جابجایی کلی سازه امری ضروری است. همچنین استفاده از سیستم‌های میراگر باعث کاهش جابجایی کلی و بین طبقاتی سازه در هنگام وقوع زلزله می‌شوند؛ بنابراین بررسی اثر استفاده ازسیستم‌های میراگر جهت بهینه‌سازی جداسازهای لرزه‌ای امری ضروری است. از طرفی استفاده بهینه از ترکیب دو سیستم میراگر و جداگر می‌تواند در کاهش هزینه ساخت و هزینه‌های تعمیر حاصل از وقوع زلزله مؤثر بوده و سازه‌های با عملکرد مطلوب را فراهم می‌آورد؛ بنابراین در این مقاله برای بررسی این مهم از دو میراگر ویسکوز و اصطکاکی و همچنین جداکننده در سازه‌های ۱۵ و ۲۰ طبقه بتنی بلند مرتبه استفاده شد و ترکیب این دو سیستم‌ها در رفتار سازه مورد ارزیابی قرار گرفت. سازه‌ها توسط جداساز لاستیکی هسته سربی جداسازی شده‌اند. نتایج تحت سه رکورد زلزله حوزه نزدیک مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان دهنده تاثیر مثبت میراگرها و جداکننده در رفتار سازه بودند که بسته به رکوردهای لرزه‌ای مورد استفاده در مقاله، نتایج معقولی به دست آمد. این نتایج نشان دهنده تاثیر مثبت ترکیب مراگر ها با جداکننده در کاهش میزان جابجایی نسبی، جابجایی بام و برش پایه بودند. استفاده همزمان میراگر و جداساز در سازه‌ها باعث کاهش ۳۵ درصدی برش پایه سازه‌ها، ۴۷ درصدی ماکزیمم جابجایی نسبی و ۲۹ درصد جابجایی نقطه بام شد.

قائمی فرد و قنادی اصل ۱۴۰۲ پژوهشی درباره " رویکردهای بهینه سازی برای کنترل سازه ها" انجام دادند. در این مقاله، برخی از مطالعات اخیر در زمینه کنترل بهینه سازه ها بررسی شده است سعی گردیده تا مروری جامع بر مقالات مطرح شده در زمینه طراحی بهینه سیستم های کنترل شناخته شده از جمله میراگر جرمی تنظیم شونده (فعال، غیر فعال و نیمه فعال)، میراگر ویسکو الاستیک و جدا سازی پایه (غیرفعال و نیمه فعال)، میراگر ویسکوز مایع (غیر فعال و نیمه فعال) و تاندون فعال با توجه ویژه به مطالعات انجام شده در دهه‌های گذشته، انجام پذیرد. همچنین با توجه به قابلیت میراگر های اصطکاکی به دلیل سادگی، قابلیت اطمینان و حداکثر اتلاف انرژی، به‌عنوان یک دستگاه اتلاف انرژی، به‌ویژه برای تقویت لرزه‌ای سازه‌های مهندسی، مروری مختصر بر بهینه سازی میراگر های اصطکاکی انجام پذیرفته است.

پلویی و همکاران (۱۴۰۲) مقاله ای با عنوان " بررسی استفاده از شاخص عملکرد مبتنی بر انرژی در طراحی میراگر اصطکاکی پال و ویسکوز و جداساز لرزه‌ای در سازه بتن‌آرمه " انجام دادند. روش‌های مختلفی برای طراحی اتلاف کننده‌های انرژی وجود دارد. با توجه به نوع عملکرد این المان‌ها بهتر است روش طراحی متناسب با انرژی مستهلک‌شده اتخاذ شود تا مشخص شود چه باری برای المان‌های اتلاف کننده‌ی انرژی باید به‌عنوان بار طرح در نظر گرفته شود تا این المان‌ها بهترین عملکرد لرزه‌ای را داشته باشند. یکی از این روش‌ها استفاده از شاخص عملکرد مبتنی بر انرژی است. این روش معمولاً برای طراحی میراگرهای اصطکاکی پال استفاده می‌شود. در این تحقیق سعی شده است تا با استفاده از این روش برای یک سازه ۱۲ طبقه بتن‌آرمه میراگرهای اصطکاکی

[4] Qiu, C., Cheng, L., & Du, X

پال، ویسکوز و جداساز لرزه‌ای از نوع تکیه‌گاه لاستیکی سربی طراحی و عملکرد آن‌ها با یکدیگر بررسی شود. بر این اساس برای رکوردهای زلزله‌ی طرح شاخص عملکرد مبتنی بر انرژی محاسبه و بار طرح بهینه برای این سه اتلاف کننده‌ی انرژی محاسبه‌شده است. سازه‌ها با بار بهینه طرح تحت بارهای دینامیکی قرارگرفته و مواردی مانند سهم المان‌ها در اتلاف انرژی و منحنی شکنندگی آن‌ها مورد ارزیابی قرارگرفته است. نتایج نشان می‌دهد در یک شتاب طیفی ثابت (Sa) احتمال فرا گذشت از سطح عملکرد مشخص سازه‌ی دارای میراگر اصطکاکی پال که بر این اساس طراحی‌شده است کمتر از سایر سازه‌هاست. همچنین در شتاب طرح جداساز لرزه‌ای مقدار انرژی بیشتری را نسبت به دو سازه‌ی دیگر تلف کرده است.

ارکوازی و همکاران (۱۴۰۱) پژوهشی با عنوان " ارزیابی خسارت لرزه‌ای قاب‌های خمشی ویژه فولادی مجهز به میراگر ویسکوز سوپرالاستیک " انجام دادند. میراگر ویسکوز سوپر الاستیک (SVD) در واقع یک سیستم دوگانه غیر فعال می‌باشد که از ترکیب میراگرویسکو الاستیک و آلیاژ حافظه دار (SMA) به صورت موازی تشکیل شده است. این میراگر در واقع یکی از به روزترین میراگر ها در استهلاک انرژی می‌باشد که با افزایش خاصیت ارتجاعی و ظرفیت اتلاف انرژی بالا به‌عنوان یک میراگر کاربردی مطرح شده است. در این مقاله سعی گردید میزان خسارت لرزه‌ای قاب‌های فولادی خمشی مجهز به میراگر ویسکوز سوپرالاستیک در مقایسه با سیستم قاب خمشی ویژه فولادی و قاب مهاربندی کمانش ناپذیر مورد ارزیابی قرار گیرد. تحلیل غیرخطی دینامیکی افزاینده(IDA) سازه‌ها توسط نرم افزارOpensees انجام گردید. در این تحقیق قاب‌های ۵ و ۹ طبقه در سه حالت قاب خمشی ویژه، قاب مهاربندی کمانش ناپذیر و قاب خمشی مجهز به میراگر ویسکوز سوپر الاستیک مورد تحلیل و ارزیابی خسارت لرزه‌ای قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهد نرخ فراگذشت سالیانه به ازاء حداکثر جابجایی نسبی ماندگار (MRD) معادل ٪۰/۲و ٪۰/۵در قاب‌های ۹ طبقه برای سازه‌های دارای بادبند کمانش‌تاب (BRB) و میراگر ویسکوز سوپر الاستیک (SMA) به‌طور قابل توجهی کمتر از قاب‌های خمشی ویژه دارای مقطع کاهش‌یافته (RBS) می‌باشد و عملکرد لرزه‌ای سازه‌های مذکور با استفاده از بادبند BRB و میراگر SMA ارتقاء می‌یابد. مقادیر احتمال شکست ناشی از جابجایی ماندگار در سازه‌هایSMA، BRB و RBS در قاب ۹ طبقه به ترتیب ۱/۴۵، ۱/۷۵ و۱/۰۵ برابر مقادیر احتمال متناظر در قاب‌های ۵ طبقه می‌باشد.

میناگوا و همکاران[5] ۲۰۲۲ پژوهشی با عنوان " تحقیق و توسعه میراگرهای سیال ویسکوز برای بهبود مقاومت لرزه‌ای نیروگاه های حرارتی " انجام دادند. این مقاله به اندازه‌گیری ارتعاش بلندمدت پاسخ لرزه‌ای یک نیروگاه حرارتی واقعی با سوخت زغال سنگ در ژاپن می‌پردازد. اندازه‌گیری بلندمدت ارتعاش همچنین برای تشخیص زودهنگام آسیب‌های ناشی از پیری یا زلزله مؤثر است. سیستم اندازه گیری ارتعاش و نمونه ای از نتایج اندازه گیری در این مقاله گزارش خواهد شد.

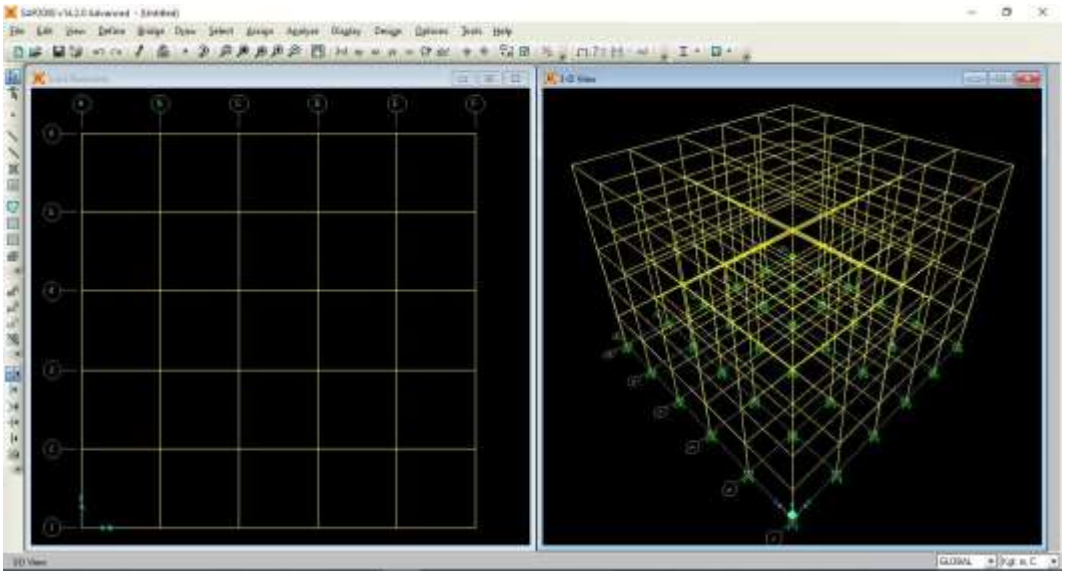
خدابنده لو و همکاران در سال ۱۳۹۹ پژوهشی با عنوان " بهبود رفتار دینامیکی ساختمان‌های مجاور با میراگرهای ویسکوز سیال " انجام داده است. میراگرهای ویسکوز سیال به دلیل وجود مقاومت بالای سیال آن‌ها، اجازه می‌دهد تا پاسخ لرزه‌ای ساختمان‌های مجاور کاهش یابد. در این مقاله اثر میراگرهای ویسکوز بر کاهش جابهجایی طبقه بالا و هم‌چنین بهبود رفتار دینامیکی ساختمان‌های مجاور مورد بررسی قرار گرفته است. هدف اصلی در این پژوهش، استفاده از سیستم‌های کنترلی در دو ساختمان مشابه مجاور برای کاهش پاسخ کل سیستم می‌باشد. به‌منظور تحلیل مدلسازی برای بهبود رفتار دینامیکی ساختمان‌های مجاور متفاوت متصل شده با میراگرها، تعداد دو مدل از نمونه‌های اصلی در این مقاله بررسی شده است که برای استخراج آنالیز پاسخ و تاریخچه زمانی از نرم افزار SAP 2000 استفاده بهره‌جویی می‌شود. نتیجه‌ها نشان می‌دهند که اثر میراگرهای ویسکوز سیال برای ساختمان بلندتر نسبت به ساختمان کوتاه‌تر، کم رنگ‌تر است. هم‌چنین این میراگرها برای ساختمان‌های مجاور با ارتفاع‌های مختلف نسبت به ساختمان‌های با ارتفاع یکسان اثر بخشی بیشتری دارند.

[5] Minagawa, K., Aida, K., & Fujita, S

دوره ۹، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، صفحات ۲۳۸-۲۱۶

مدلسازی

سازه بتنی مورد نظر ابتدا براساس زلزله طرح ویرایش دوم استاندارد ۲۸۰۰ طراحی می‌گردد. پس از مدلسازی هندسه سازه در نرم افزار SAP2000 (شکل ۲)، مطابق با مبحث ششم مقررات ملی ساختمان، بارگذاری ثقلی صورت می‌گیرد که در جدول (۴-۱) آورده شده است. در ادامه تحلیل و طراحی مطابق دستورالعمل‌های ویرایش دوم استاندارد ۲۸۰۰ انجام گرفته که نتایج طراحی آن شامل مقاطع تیرها و ستون‌های بدست آمده از طراحی (با ضریب زلزله ۰/۰۹۴) در جدول (۳) نشان داده شده است.



شکل ۲- هندسه سازه در نرم افزار.SAP2000

جدول ۲- مقادیر بارهای ثقلی وارد بر سازه

بار مرده	**۶۰۰ Kg/m^2**
بار زنده	**۲۰۰ Kg/m^2**
بار تیغه‌بندی داخلی	**۱۰۰ Kg/m^2**
بار دیوار پیرامونی	**۹۰۰ Kg/m**
بار جان‌پناه بام	**۳۰۰ Kg/m**

جدول ۳- مقاطع تیرها و ستون‌های ساختمان بتنی ۵ طبقه طراحی شده مطابق ویرایش دوم استاندارد ۲۸۰۰

مقاطع ستون‌ها		**مقاطع تیرها**	
مقطع	**طبقه**	**مقطع**	**طبقه**
$35 \times 35 - 12\phi16$	**۵**	**35×35**	**۵**
$40 \times 40 - 16\phi16$	**۴**	**40×40**	**۴**
$45 \times 45 - 16\phi16$	**۳**	**40×45**	**۳**

$45 \times 45 - 20\phi20$	۲	40×45	۲
$50 \times 50 - 24\phi20$	۱	40×50	۱

تحلیل

بعد از طراحی سازه مطابق با ویرایش دوم استاندارد ۲۸۰۰ و تعیین مقاطع مورد استفاده، سازه بتنی با همین مقاطع و مشخصات بدست آمده را مطابق با ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ مورد تحلیل غیر خطی قرار داده تا سطح عملکرد این سازه که مطابق ویرایش دوم استاندارد ۲۸۰۰ طراحی شده است را بدست آوریم.

همپایه سازی زلزله‌ها

جهت مقیاس‌سازی زمین‌لرزه برای اعمال به مدل‌های عددی روش‌های متعددی وجود دارد. از جمله این روش‌ها، روش مقیاس-سازی بر اساس طیف می‌باشد (که اشاره‌ای به آن توسط آیین‌نامه ۲۸۰۰ شده است که با آیین‌نامه ASCE 41-06 تفاوت‌هایی دارد). اکثر محققین از این روش به دلیل منطقی‌تر بودن اساس آن استفاده می‌کنند. جهت متوسط‌گیری و رسم طیف‌های پاسخ ترکیبی شتابنگاشت‌ها مطابق آیین نامه ۲۸۰۰ از سه شتابنگاشت حداکثر یا از هفت شتابنگاشت متوسط باید استفاده شود.

رکوردهای استخراج شده از دستگاه شتاب‌سنج، پس از انجام مراحلی به شکل دیجیتال تبدیل شده و با اعمال اصلاحات و کنترل-هایی، بر روی سایت قرار می‌گیرند. ولی همچنان این رکوردها اصطلاحاً خام بوده و برای استفاده از آن‌ها در مدل‌های عددی و نمونه‌های آزمایشگاهی می‌بایست اصلاحات بیشتری بر روی آن‌ها صورت پذیرد. در ادامه چند نمونه از اصلاحات و مشکلات در زمینه اصلاح رکوردهای زلزله که دارای اهمیت بیشتری می‌باشند ارائه می‌شوند:

۱.Base Line Correction:

سیگنال شتاب در بسیاری از رکوردها یک عرض از مبدا دارد. این بدین معناست که یک شتاب ثابت بر روی سیگنال شتاب سوار می‌باشد؛ بنابراین رابطه (۱) نشان می‌دهد:

$$A(t) = a_0 + A_{corrected}(t) \qquad V(t) = a_0 t + V_{corrected}(t) \qquad D(t) = 0.5 a_0 t^2 + D_{corrected}(t) \tag{۴-۱}$$

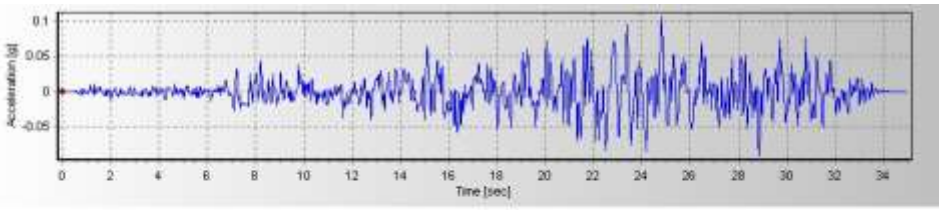
۲.Filtering:

رکوردهای زلزله محتوای فرکانسی مشخصی دارند که در یک بازه معینی جای گرفته می‌شوند. بدین صورت که اگر تبدیل فوریه سیگنال شتاب محاسبه شود، در هر رکورد قله یا قله‌هایی نمایش داده خواهد شد که می‌توانند بصورت هموار یا نوک تیز باشند. محتوای فرکانسی در بازه 0.1 Hz تا حداکثر 30.0 Hz (برای زمین سنگی) بوده و جدا از دقت داده در حوزه زمان (که تابع دقت دستگاه ثبات می‌باشد و اصولاً بین 0.002 sec تا 0.02تغییر دارد) می‌باشد. همچنین به دلیل ارتعاشات محیطی و یا خطای دستگاه، نویزهایی با فرکانس‌های خارج از این بازه بوجود می‌آید و معمولاً سبب می‌شود که محتوای فرکانسی رکوردهایی خام با آنچه گفته شد، فاصله زیادی پیدا نماید. از اینرو می‌بایست سیگنال‌ها در خارج از این بازه حذف گردند. در این بحث سیگنال‌های با فرکانس‌های ناخواسته که در یک رکورد قوی نسبت آن‌ها به نسبت سیگنال‌های مطلوب در محدوده فرکانسی فوق‌الذکر معمولاً ناچیز باشد، بعنوان نویز معرفی می‌گردند. لازم به ذکر است عمدتاً نویزهای با فرکانس‌های ناچیز بر روی شکل و دامنه‌های تاریخچه زمانی جابجایی و سیگنال‌های با فرکانس‌های بالا بر روی تاریخچه زمانی شتاب تأثیر دارند. فیلترهای زیادی بسته به کاربرد آن‌ها، برای حذف این نویزها وجود دارد. فیلترها توابعی می‌باشند که در تبدیل فوریه سیگنال اصلی ضرب شده و برخی از فرکانس‌های آن را حذف می‌کنند.

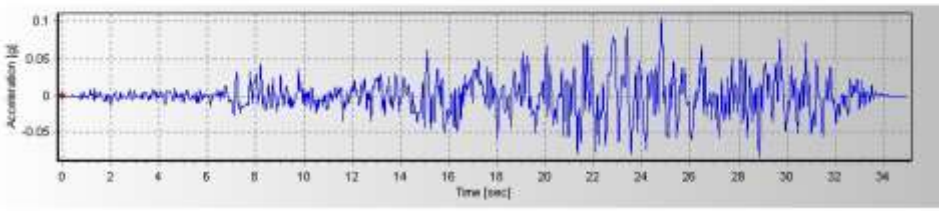
برای اصلاح رکوردهای زلزله مطابق مطالبی که در بالا ذکر گردید، می‌توان از نرم‌افزارهایی مانند ماژول Signal Processing، برنامه Matlab، DaDisp 2002 و Seismosignal استفاده نمود که در اینجا با کمک برنامه SeismoSignal سه شتابنگاشت برای تحلیل مدل‌های ایجاد شده، اصلاح و آماده گردید.

شرکت seismosoft نرم‌افزار SeismoSignal را در بحث زلزله طراحی نموده است (شکل ۴-۳). این نرم‌افزار ساده ولی بسیار کاربردی و قدرتمند در زمینه پردازش داده‌های مربوط به لرزش‌های قوی زمین می‌باشد. از جمله امکانات و قابلیت‌های این نرم‌افزار شامل موارد زیر می‌شود:

- ترسیم انواع طیف های سرعت، شتاب و...
- محاسبه و استخراج پارامترهای شدت، تداوم و...
- اصلاح و فیلتر نمودن شتابنگاشت.
- قابلیت حذف و فیلتر سیگنال‌های ناخواسته از میان سیگنال‌های.
- قابلیت خواندن شتاب‌نگاشت در دو حالت تعریف شده مقادیر تکی و مقادیر چندگانه برای فرمت‌های خطی.
- اعمال اصلاحات پایه‌ای و فیلتراسیون پیش از انتگرال‌گیری از سیگنال
- محاسبه طیف پاسخ الاستیک و انعطاف‌پذیری دائم غیر الاستیک، طیف فشار و فوریه، شدت آریاس (Ia) و شدت مشخصه و...



الف) شتابنگاشت طبس قبل از اعمال فیلتر

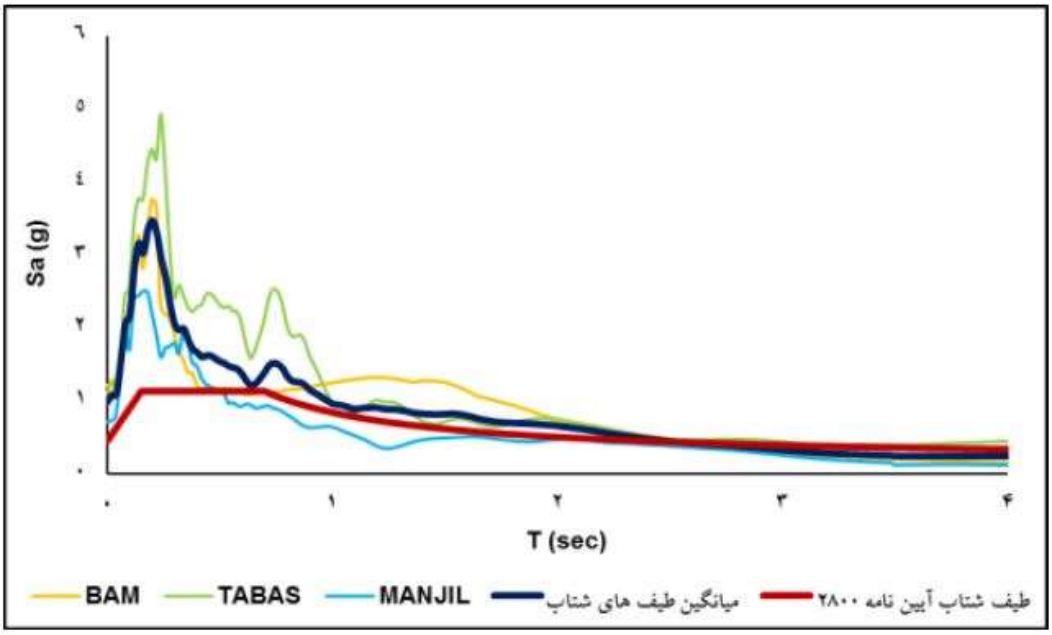


ب) شتابنگاشت طبس بعد از اعمال فیلتر

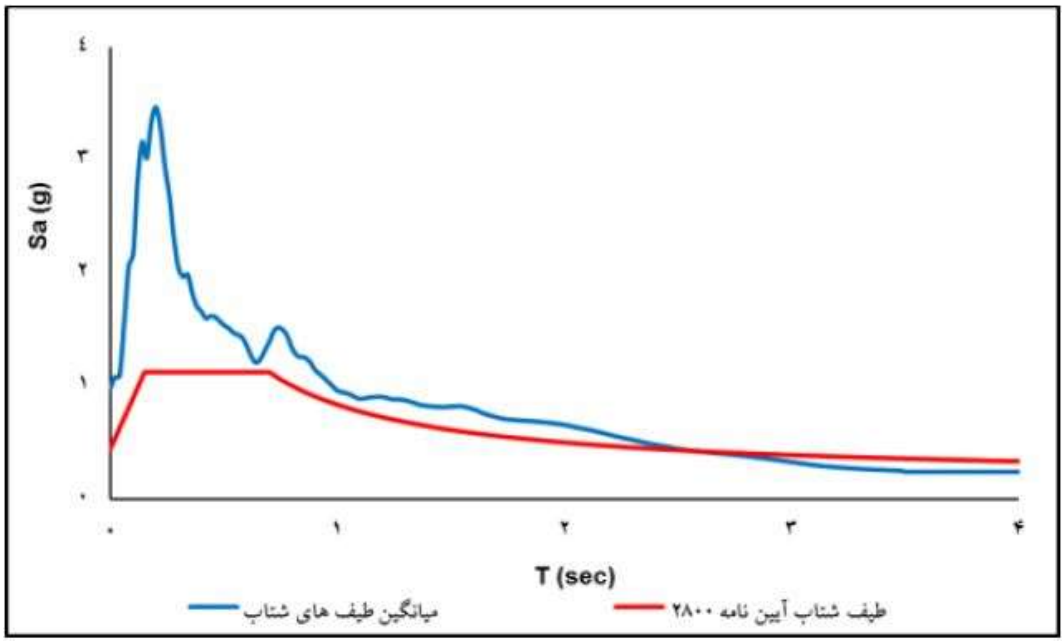
شکل ۳ اصلاح شتابنگاشت در نرم‌افزارSeismoSignal

همانطور که گفته شد سه زلزله نزدیک گسل معروف ایران بم، طبس و منجیل انتخاب گردیده که در نمودارهای شکل‌های (۴) تا (۶) مراحل مقیاس کردن زلزله‌ها نشان داده شده است.

دوره ۹، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، صفحات ۲۳۸-۲۱۶

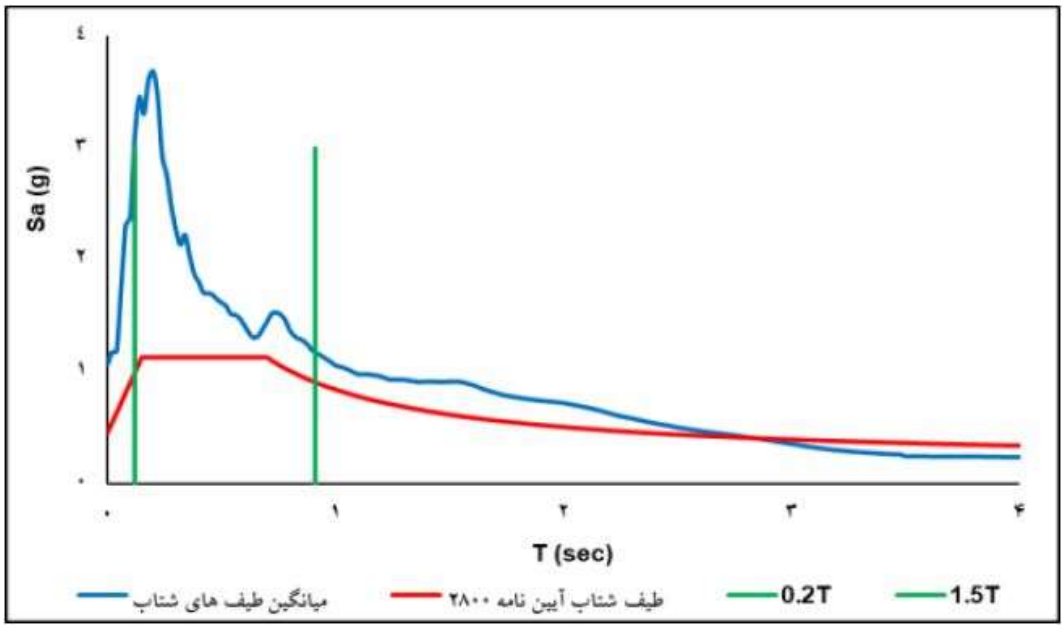


شکل ۴- طیف‌های سه زلزله و ۱/۳ برابر طیف.



شکل ۵- میانگین طیف‌های سه زلزله و ۱/۳ برابر طیف.

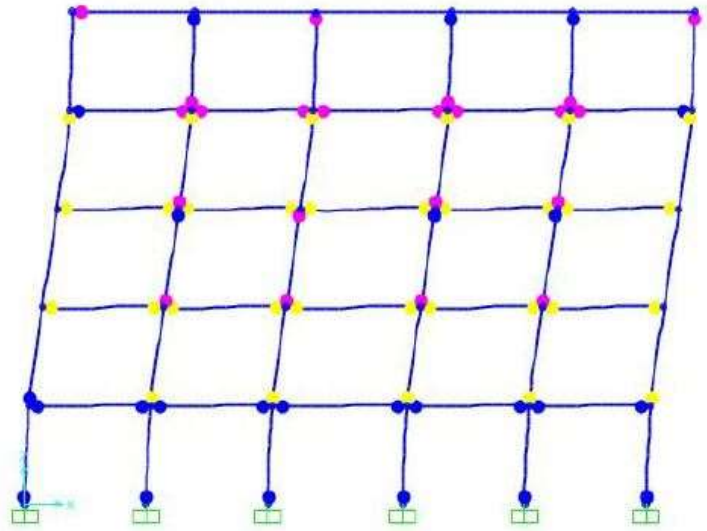
دوره ۹، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، صفحات ۲۳۸-۲۱۶



شکل ۶- همپایه کردن زلزله‌ها.

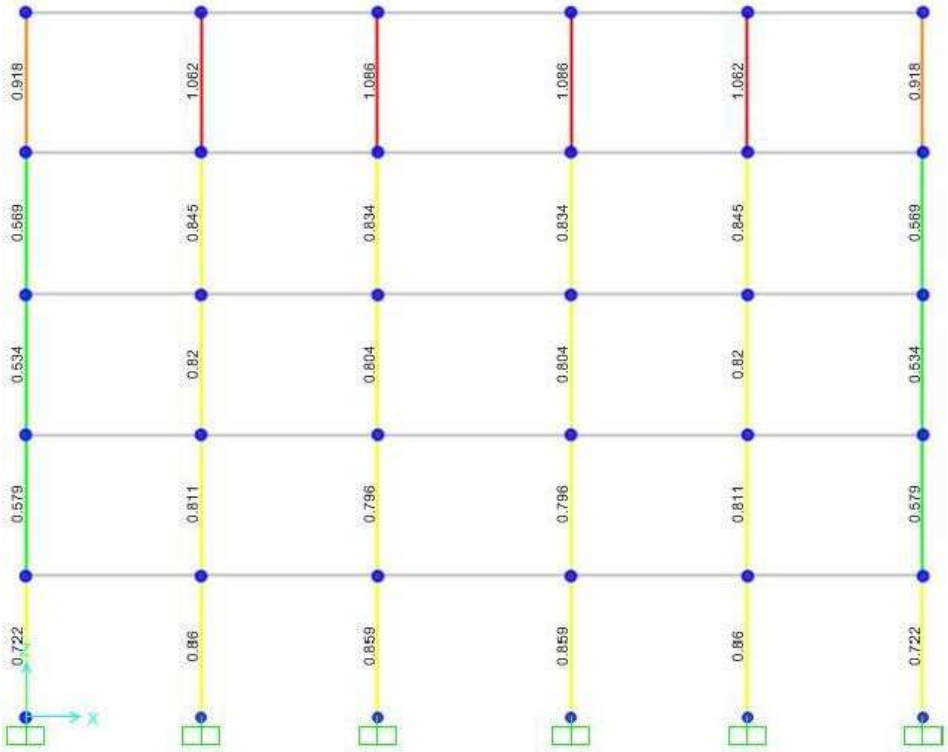
بررسی نتایج تحلیل

در بخش قبل، همانطور که شرح داده شد، سازه بتنی طراحی شده مطابق با ویرایش دوم استاندارد ۲۸۰۰ مورد تحلیل غیر خطی مطابق با ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ قرار گرفت. همانطور که در شکل (۷) ملاحظه می‌شود، بعد از انجام تحلیل غیرخطی مشخص شده که ساختمان ۵ طبقه بتنی طراحی شده با ویرایش دوم استاندارد ۲۸۰۰، سطح عملکرد ایمنی جانی را ندارد و تغییر مکان بام آن مقدار ۱۷ سانتی‌متر می‌باشد.

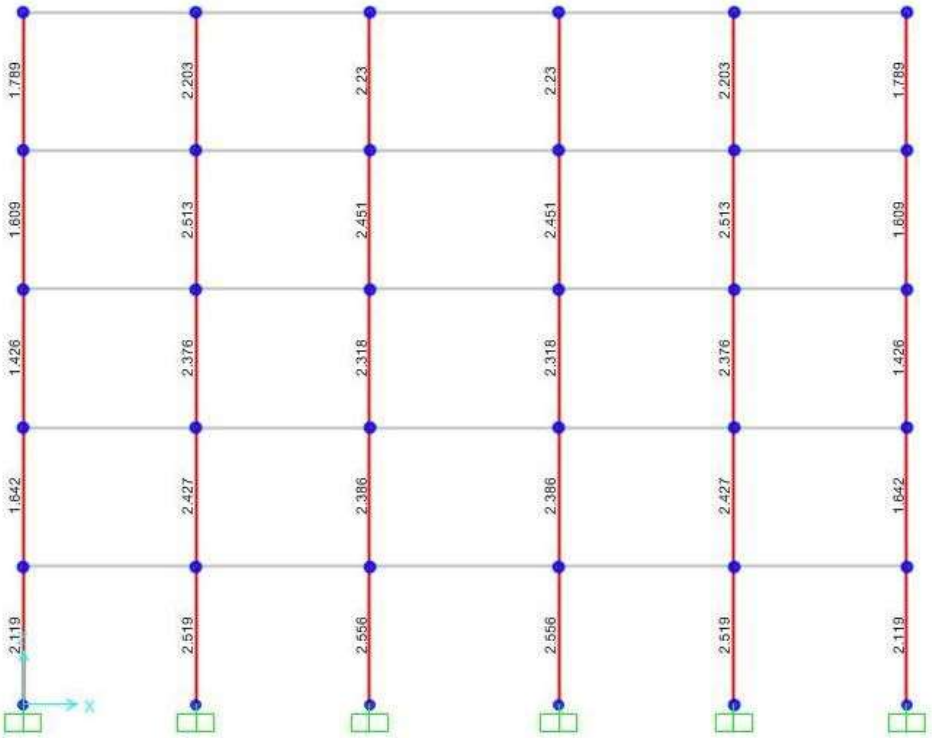


شکل ۷- سطح عملکرد لرزه‌ای ساختمان بتنی ۵ طبقه.

در اشکال (۸) و (۹) به ترتیب تنش اعضاء طراحی شده بر مبنای زلزله ویرایش دوم و ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ نشان داده شده است. همانطور که انتظار می‌رود، در ویرایش چهارم (شکل ۹) نسبت تنش بسیار بالایی را داریم که لزوم نیاز به مقاوم‌سازی دیده می‌شود.



شکل ۸- نسبت تنش اعضا در ویرایش دوم استاندارد ۲.



شکل ۹- نسبت تنش اعضاء در ویرایش چهارم استاندارد ۲۸.

در نهایت در جدول (۴) مقاطع طراحی شده برای تیرها و ستون‌های این سازه برای تأمین سطح خطر ایمنی جانی بر مبنای زلزله ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ آورده شده است. مقایسه آن با جدول (۲) ضعف مقاطع طراحی شده مطابق با ویرایش دوم استاندارد ۲۸۰۰ را نشان می‌دهد.

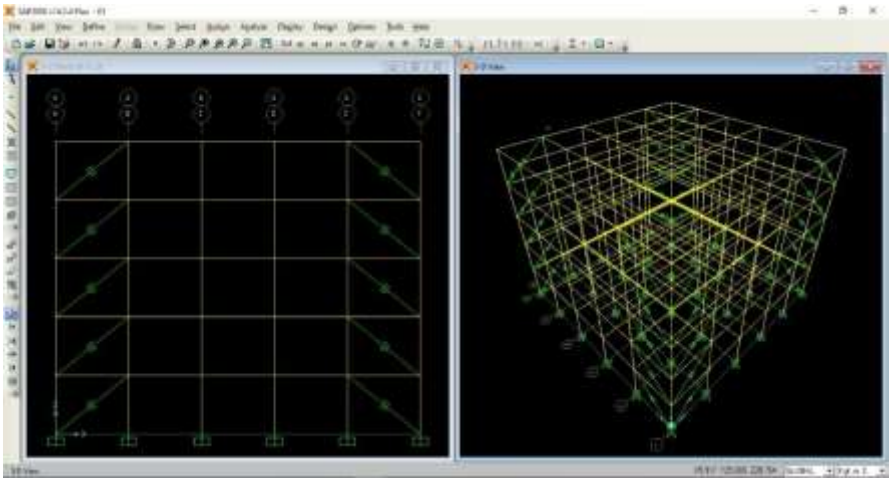
جدول ۴- مقاطع تیرها و ستون‌های ساختمان بتنی ۵ طبقه طراحی شده مطابق ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰

مقاطع ستون‌ها		مقاطع تیرها	
مقطع	طبقه	مقطع	طبقه
$40 \times 40 - 16\phi20$	۵	40×40	۵
$45 \times 45 - 20\phi20$	۴	45×45	۴
$50 \times 50 - 24\phi20$	۳	50×50	۳
$50 \times 50 - 24\phi20$	۲	50×50	۲
$55 \times 55 - 28\phi20$	۱	50×55	۱

طرح تقویت با میراگر ویسکوز

روش مقاوم‌سازی ساختمان مورد بررسی دراین پژوهش، استفاده از میراگر ویسکوز می‌باشد. در این طرح مطابق شکل (۱۰) میراگر در دهانه‌های مشخص شده، جایگذاری گردید. برای طراحی میراگر ویسکوز از آیین‌نامه بارگذاری لرزه‌ای آمریکا استفاده شده است [۳۲]. جدول (۵) مشخصات طراحی میراگر ویسکوز را نشان می‌دهد.

دوره ۹، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، صفحات ۲۳۸-۲۱۶



شکل ۱۰- طرح تقویت با میراگر ویسکوز

جدول ۵- مشخصات طراحی میراگر ویسکوز

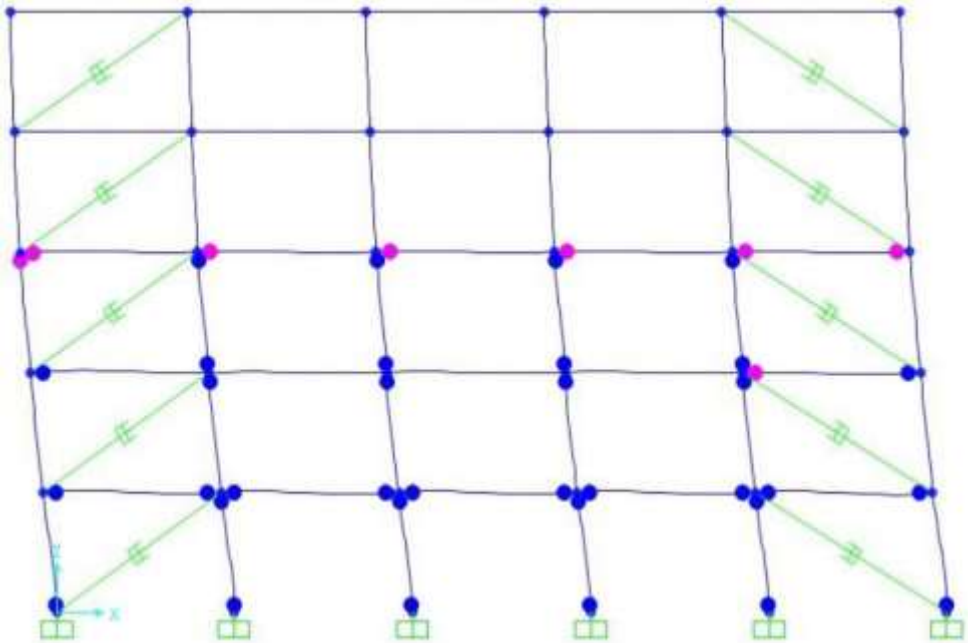
جرم لرزه‌ای طبقه	1,200,000
دوره تناوب تحلیلی مود اول T	0/78
کسینوس زاویه میراگر با افق Cos θ	0/8423
نسبت میرایی میراگر ζ_d	0/15
تعداد میراگر نصب شده در هر طبقه n	4
ضریب میرایی میراگر C	8868224
سختی میراگر K	62605675908
مجموع حاصلضرب جرم لرزه‌ای در مجذورتغییرمکان طبقات $\sum m \times (\Delta)^2$	2504132/23
مجموع مجذور حاصلضرب دریفت طبقات در کسینوس زاویه میراگر با افق	0/149506102

استفاده از میراگر ویسکوز برای تقویت، به نسبت دو روش قبلی ازلحاظ عدم ایجاد مشکلات معماری سازه عملکرد بهتری دارد. همچنین این روش مشکل خاصی برای تأسیسات ساختمان، دسترسی‌های موجود ساختمان و عملکرد اجزای غیر سازه‌ای ایجاد نمی‌کند و فونداسیون نیز تحت تأثیر مشکلات کمتری قرار می‌گیرد.

در این گزینه نسبت به دو گزینه دیوار برشی و مهاربند هم‌محور، تجهیزات، ماشین‌آلات و سطح مهارت بیشتری را بواسطه طراحی و اجرای آن می‌طلبد. در عین حال در این روش حجم تخریب محدود به تخریب تیغه‌ها و دیوارها می‌باشد. مراحل اجرای این روش،

بهره‌برداری از ساختمان را بطور کامل مختل نکرده و می‌توان به گونه‌ای عمل کرد که تنها بخش محدودی از ساختمان قابلیت بهره‌برداری نداشته باشد.

در شکل (۱۱) سطح عملکرد ساختمان بعد از مقاوم‌سازی نشان داده شده است. با این روش تغییر مکان بام ساختمان ۵/۶ سانتی-متر بدست آمده است.



شکل ۱۱- سطح عملکرد ساختمان بعد از مقاوم‌سازی توسط میراگر ویسکوز.

بحث و نتیجه گیری

استفاده از میراگر ویسکوز برای بهبود عملکرد لرزه‌ای ساختمان ها یکی از ابزارهای نوین در طراحی و بهسازی ساختمان ها است. سیستم‌های کنترل غیرفعال به دلیل عدم نیاز به منبع انرژی خارجی، هزینه کم، نصب آسان و طراحی ساده همواره در سازه‌های عمرانی به کار برده شده‌اند. میراگر ویسکوز یکی از توسعه یافته‌ترین ابزار کنترل غیرفعال است که از طریق تبدیل انرژی مکانیکی به حرارت، انرژی ورودی به سازه را مستهلک می‌کند. در روش‌های متداول طراحی میراگر ویسکوز، میرایی مورد نیازی که لازم است توسط میراگرهای ویسکوز در سازه تامین شود به سختی سازه بستگی دارد. با توضیحاتی که ارائه گردید و نتایج حاصل از خروجی مدلسازی نرم‌افزار SAP2000 و آنالیز آن می‌توان به نتایج زیر رسید:

- ازلحاظ معماری طرح تقویت با میراگر ویسکوز برتری دارد. چون این روش تأثیری بر دسترسی‌های موجود ساختمان و عملکرد اجزای غیر سازه‌ای نخواهند داشت.
- تجهیزات، ماشین‌آلات و سطح مهارت بالایی برای اجرای طرح میراگر ویسکوز مورد نیاز می‌باشد.
- در این روش با اجرای مرحله مرحله روش‌ها، می‌توان به گونه‌ای عمل نمود که تنها بخش محدودی از ساختمان قابلیت بهره‌برداری نداشته باشد.
- ازلحاظ کاهش تغییر مکان، میراگر ویسکوز بهترین عملکرد را دارا بوده و سطح عملکرد مطلوبی را ارائه می‌نماید.

-

ارائه پیشنهادات

پیشنهادات زیر جهت ادامه کار این پژوهش ارائه می‌شود:

- بررسی روش‌های نسبتاً جدیدتر مقاوم‌سازی سازه مانند کامپوزیت‌های FRP.
- بررسی و آنالیز پروژه‌های بهسازی ساختمان‌های دولتی و عمومی مانند مدارس.
- بررسی روش‌های مقاوم‌سازی سازه‌های بنایی با توجه به گستردگی استفاده در ایران.

منابع

۱. ابوسعیدی، علی، (۱۳۹۱)، "بهسازی و مقاوم سازی لرزه‌ای ساختمان‌های بتنی"، اولین کنفرانس ملی صنعت بتن، کرمان، مرکز بین المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی.

۲. ارکوازی، فاطمه، قاسمی، عباس، & شکیب، حمزه. (۱۴۰۱). ارزیابی خسارت لرزه‌ای قاب‌های خمشی ویژه فولادی مجهز به میراگر ویسکوز سوپرالاستیک. مهندسی سازه و ساخت،10.22065/jsce.2022.339015.2795 doi: -. ()

۳. آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، ویرایش چهارم، مرکز تحقیقات، راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۲.

۴. بابا. حسین.، میرشفیعی. احمد، ۱۳۹۳، "تقویت سازه‌های بتنی مسلح با FRP"، انتشارات نوآور، تهران.

۵. پلویی حامد، رحیمی سپیده، حسین زاده محمد، حسینعلی بیگی مرتضی. بررسی استفاده از شاخص عملکرد مبتنی بر انرژی در طراحی میراگر اصطکاکی پال و ویسکوز و جداساز لرزه‌ای در سازه بتن‌آرمه. مهندسی عمران مدرس. ۱۴۰۲; ۲۳ (۳).

۶. پورنمازیان، حبیب الله و عرفان جابرزاده، (۱۳۹۳)، "مدیریت ساخت در مقاوم‌سازی ستون‌های بتن آرمه به کمک کامپوزیت‌های FRP و ژاکت‌های فولادی"، کنفرانس مصالح و سازه‌های نوین در علم مهندسی عمران، شیراز، شرکت پندار اندیش رهپو.

۷. تجربیات و درس‌های بهسازی لرزه‌ای، شرکت خدمات مدیریت ایرانیان، انتشارات علم و ادب، تهران، ۱۳۸۹.

۸. چراغی، حسین؛ محمد صافی و محمد رییسی، (۱۳۹۵)، "بررسی افزایش شکل پذیری ستون بتن مسلح موجود با ژاکت بتنی"، چهارمین کنگره علمی پژوهشی افق‌های نوین در حوزه مهندسی عمران، معماری، فرهنگ و مدیریت شهری ایران، تهران، انجمن توسعه و ترویج علوم و فنون بنیادین- انجمن علمی تخصص عمران و معماری.

۹. خدابنده لو، یعقوب زاده، & شکری سلطان آبادی. (۲۰۲۱). بهبود رفتار دینامیکی ساختمان‌های مجاور با میراگرهای ویسکوز سیال. مهندسی سازه و ساخت، ۷(۴), ۱۲۹-۱۴۷.

۱۰. خیرالدین، ع.، (۱۳۹۷)، "مقاوم‌سازی سازه‌های بتن آرمه به کمک ورق و پروفیل فولادی و کامپوزیت‌های FRP"، کتاب، دانشگاه سمنان.

۱۱. دستورالعمل ارزیابی و بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های بتنی متداول موجود، نشریه ۷۴۱، سازمان برنامه و بودجه کشور، ۱۳۹۶.

۱۲. دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود (نشریه ۳۶۰)، ۱۳۸۵، انتشارات سازمان مدیریت برنامه ریزی کشور.

۱۳. دشتی رحمت آبادی، محمدعلی؛ نسیم کردی؛ فاطمه فقیه خراسانی و نرگس توفیقی محمدی، (۱۳۹۲)، "بررسی رفتار ستون بتنی تقویت شده به دو روش ژاکت بتنی و الیاف cfrp به روش اجزاء محدود"، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

۱۴. راهنمای روش‌ها و شیوه‌های بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود و جزئیات اجرایی (نشریه ۵۲۴)، ۱۳۸۹، انتشارات سازمان مدیریت برنامه ریزی کشور.

۱۵. رحیم زاده اسکوئی، محسن، ملکی، احمد، & روشنگر، کیومرث. (۱۴۰۲). تاثیر استفاده از سیستم میراگر غیرفعال بر روی پاسخ لرزه‌ای سازه‌های بتنی بلند مرتبه جداسازی شده توسط جداساز لاستیکی هسته سربی در پی. مهندسی سازه و ساخت،10.22065/jsce.2023.360106.2922 :doi -.

۱۶. قائمی فرد، سعیده، & قنادی اصل، امین. (۱۴۰۲). رویکردهای بهینه سازی برای کنترل سازه ها. مهندسی سازه و ساخت، ۱۰(۱), ۴۳-۷۵ .doi: 10.22065/jsce.2022.336919.2773

۱۷. کامگار، دهقان، & رهگذر. (۲۰۲۰). عملکرد جداگرهای لاستیکی با هسته‌ی سربی و میراگر ویسکوز در سازه‌های فولادی. فصلنامه علوم و مهندسی زلزله، ۷(۳), ۱۱۵-۱۳۳.

۱۸. نرماشیری، کامبیز؛ علیرضا صادقی و سیدمحمدمرتضی هاشمی، (۱۳۹۱)، "بررسی و مقایسه روش‌های افزایش مقطع بتنی و ژاکت فولادی برای مقاوم‌سازی ستون‌های بتن مسلح"، اولین کنفرانس ملی صنعت بتن، کرمان، مرکز بین‌المللی علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی.

19. Belouar, A., Laraba, A., Benzaid, R and Chikh, N. (2013), “Structural Performance of Square Concrete Columns Wrapped with CFRP Sheets”. Procedia Engineering. 54:232–240.
20. Dahiya, V. S., Panwar, R., & ur Rehman, R. A REVIEW ON EARTHQUAKE RESISTANT CONSTRUCTION TECHNIQUES.
21. FEMA (1997), FEMA-273, NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of buildings,Federal Emergency Management Agency,Washington,D.C.,USA.
22. FEMA (2000), FEMA-356, Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings Federal Emergency Management Agency, Washington,D.C.,USA.
23. Garzón-Roca, J., Adam, J. M., Calderón, P. A., & Valente, I. B. (2012), “Finite element modelling of steel-caged RC columns subjected to axial force and bending moment”, Engineering Structures, 02, 128-182.
24. Julio, E. Branco, F and Silva,V. (2005), “Structural Rehabilitation Of Columns With Reinforced Concrete Jacketing,” Struct. Engineering Master.
25. Maheri, M., and Kousari, R., 2003, Poushover tests on steel x-braced and knee-braced RC frames, International Journal of Earthquake Engineering, 10, 10, 833-854.
26. Mahmoudi, R. and Ghaffarzadeh, H., 2008, Connection overstrength in steel-braced RC frames, International Journal of Engineering Structures, 26, 6, 617-636.
27. Minagawa, K., Aida, K., & Fujita, S. (2022, July). Research and Development of Viscous Fluid Dampers for Improvement of Seismic Resistance of Thermal Power Plants: Part 12 Vibration Measurement of Existing Boiler Structure. In Pressure Vessels and Piping Conference (Vol. 86199, p. V005T08A008). American Society of Mechanical Engineers.
28. Moreno, W. A. P., Ceron, A. L. S., & Ruiz, A. F. O. (2023). Comparison between a traditional Colombian Structural Design and the Use of Viscous-Type Energy Damping Systems (2021). Ingeniería e Investigación, 43(1), e99281-e99281.
29. Nasr Z.Hassan., Alaa G. Sherif, Amal H.Zamarawy, (2017), “Finite element analysis of reinforced concrete beams with opening strengthened using FRP”, Ain Shams Engineering Journal, Volume 8, Issue 4, Pages 531-537.

30. NEHRP, (2014), Recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.
31. Obaidat, Y., Heyden, S. and Dahlblom, O, (2010), "The effect of CFRP and CFRP/concrete interface models when modeling retrofitted RC beams with FEM," Composite Structures, 92(6), pp. 1391-1398.
32. Penelis, G. and Kappos, A.J, (1997), "Earthquake- resistance concrete structures", E&FN Spon Published.
33. Qiu, C., Cheng, L., & Du, X. (2023). Seismic design of hybrid braced frames with self-centering braces and fluid viscous damping braces. Engineering Structures, 280, 115728.
34. resisting frames. International Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 132, 1, 46-53.
35. Riaz, R. D., Malik, U. J., Shah, M. U., Usman, M., & Najam, F. A. (2023, April). Enhancing Seismic Resilience of Existing Reinforced Concrete Building Using Non-Linear Viscous Dampers: A Comparative Study. In Actuators (Vol. 12, No. 4, p. 175). MDPI.
36. Sadjadi, R a.nd Kianoush, M., 2007, Seismic performance of reinforced concerete moment
37. Shaban, A. (2014), "Partial strengthening of R.C square columns using CFRP", HBRC Journal. 10: 279-286.
38. Sokkary, E., and Galal, K., 2009, Analytical investigation of the seismic performance of RC frames rehabilitated using different rehabilitation techniques. International Journal of Earthquake Engineering, 25, 4, 408-415.
39. Teng, J.G and chen, J.F, (2001), "FRP strengthened rc structures". LTD, New York.
40. Vandoros, K. G., & Dritsos, S. E. (2006), "Concrete jacket construction detail effectiveness when strengthening RC columns", Construction and Building Materials, 22(2), 220-222.
41. Warburton, G. B., 1992, Optimum absorber parameters for various combinations of response and excitation parameters, Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 10, 3, 381-401.
42. Wroblewski. Laura., Hristozov. Dimo., Pedram Sadeghian, (2017), "Durability of bond between concrete beams and FRP composites made of flax and glass fibers", Construction and Building Materials, Volume 126, Pages 800-811.
43. www.nisee.com
44. Yalcin,C and Kaya,O. (2004), "An Experimental Study On The Behavior Of reinforced Concrete Columns Using CFRP Material." The 13th world conference on earthquake engineering, Vancouver, Canada.