

مدل سازی میراگر ضربه ای در قاب های ساختمانی به کمک المان GAP

سید مهدی زهرائی^۱، علیرضا حیصمی^{۲*}

۱- استاد، دانشکده مهندسی عمران، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران، ایران
 ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سازه، گروه مهندسی عمران، جهاد دانشگاهی خوزستان، اهواز، ایران

چکیده

عامل اصلی تأثیرگذار در میراگرهای ضربه ای جهت کنترل نوسانات، ایجاد اغتشاش در دامنه نوسانات سازه با شکل گیری نیروهای کوچک ایجاد شده توسط جرم های کمکی است که موجب کاهش نوسانات شدید می گردند. مدل سازی های انجام شده در حوزه میراگر ضربه ای تا به حال صرفاً از طریق نرم افزار متلب صورت گرفته است که طبعاً جنبه های کاربردی این نرم افزار در کارهای تحقیقاتی و مهندسی نسبت به نرم افزارهای معمول عمران همچون SAP2000 و ETABS محدودتر می باشد. در این مقاله ابتدا به مدل سازی سیستم یک درجه آزاد تحت بارگذاری هارمونیک با بیشینه دامنه 0.4g در نرم افزار SAP2000 و مقایسه نتایج حاصل با مدل عددی پرداخته شده و در نهایت بعد از صحت سنجی مدل ساخته شده، سیستم یک درجه آزاد مجهز به میراگر ضربه ای تحت رکورد دو زلزله بررسی می شود. بر اساس نتایج عددی مشخص شد که سیستم مجهز به میراگر ضربه ای تحت شتاب نگاشت زلزله های کوبه و نرتریج برای سازه های مدنظر در این مطالعه، به ترتیب منجر به کاهش ۶٪ و ۳۳٪ بیشینه دامنه ارتعاش می گردد. هم چنین در مدلسازی میراگر ضربه ای در سازه چهار طبقه با مهاربند همگرا باعث کاهش تغییر مکان نسبی طبقه تا ۱۲٪ گردیده است.

کلمات کلیدی: میراگر غیر خطی، میراگر ضربه ای، سیستم یک درجه آزاد، نرم افزار SAP2000.

* نویسنده مسئول: علیرضا حیصمی

پست الکترونیکی: heisamialireza@gmail.com

DOI: 10.22065/jsce.2017.44359

شناسه دیجیتال

<http://dx.doi.org/10.22065/jsce.2017.44359>

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۱۷، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۲۵

۱- مقدمه

میراگر ضربه‌ای جزو کنترل‌کننده‌های غیرفعال محسوب می‌شود. تحقیقات آزمایشگاهی و تحلیلی نشان می‌دهد که این گروه از میراگرهای غیرخطی جهت کاهش نوسانات سازه‌ها عملکرد بهتری نسبت به خنثی‌کننده‌های ارتعاشی خطی دارند. عامل اصلی تأثیرگذار در این نوع میراگرها جهت کنترل نوسانات، این است که نیروهای کوچک ایجادشده توسط جرم‌های کمکی، با ایجاد بی‌نظمی در دامنه نوسانات سازه، موجب کاهش این نوسانات شدید می‌گردد. به‌طور کلی میراگر ضربه‌ای به جرم کوچک و آزادی اطلاق می‌گردد که درون یک محفظه‌ی متصل به یک سیستم نوسان‌کننده قرار گرفته و می‌توان از آن برای کنترل ارتعاشات آزاد و اجباری سیستم استفاده نمود. در یک نگاه کلی می‌توان میراگرهای ضربه‌ای را به سه نوع میراگر ضربه‌ای یک جرمی، میراگر ضربه‌ای ذره‌ای و میراگر ضربه‌ای سیال ضربه تقسیم نمود.

میراگر ضربه‌ای معمولاً شامل یک توده‌ی جرم است که امکان حرکت به‌صورت آزاد بین دو ایستگاه تعریف‌شده را دارد و بین مرزهای یک محفظه صلب محصور است. وقتی که این میراگر متصل به یک سیستم نوسانی باشد امکان کاهش دامنه لرزش را از طریق انتقال حرکت را دارد. کاهندگی مؤثر در نوسانات سیستم پیوسته و کاهش دامنه فرکانس پاسخ، از مطالعات تجربی در پارامترهای خاص قابل اثبات می‌باشد. مدل‌های زنجیره‌ای میراگر ضربه‌ای، روش ساده و قابل اطمینانی را برای کاهش لرزش در اثر باد در سازه‌های بلند مثل آنتن‌ها و دودکش‌ها ارائه می‌دهند. در تئوری مطرح‌شده توسط مسری به تأثیر پارامترهای مهم میراگر لرزه‌ای در سیستم‌های چند درجه آزادی پرداخته و نتایج این تحقیق با مطالعات تجربی و مدل‌های مکانیکی مقایسه شده و نتایج خوبی از آن استنتاج شده است. در سال ۱۹۶۵ در مؤسسه یکنولوژی کالیفرنیا، مسری به‌عنوان موضوع رساله دکتری، به‌طور جدی بحث میراگر ضربه‌ای را مطرح کرد [۱]. از آن تاریخ به بعد محققین متعددی بر روی این مبحث کار کرده‌اند. در سال ۱۹۷۳ مسری مطالعاتی را بر روی تأثیر یک سری از میراگرهای ضربه‌ای که به‌طور مؤثری در کاهش ارتعاشات ناشی از باد روی سازه‌های بلند تأثیر داشتند، انجام داد [۲]. در سال ۱۹۷۴ تحقیقی توسط سمپل انجام شد که تئوری ارتعاش ورق با استفاده از جرم ناپیوسته غیرخطی متصل شده در نقاط دلخواه را مطرح نمود [۳]. این تئوری قابل تعمیم به نمونه‌هایی از سیستم‌های پیوسته مثل پوسته‌ها و تیرها می‌باشد. از دیگر نمونه‌های بررسی‌شده می‌توان به کاهش ارتعاش در اثر برخورد جرم میراگر ضربه‌ای هنگامی که به یک سیستم ارتعاشی مکانیکی متصل باشد، برخورد جرم آزاد میراگر با دیواره‌های اطراف باعث کاهش دامنه ارتعاشات خواهد شد که در نوامبر ۱۹۷۵ توسط رانجیت و همکاران مورد بررسی قرار گرفته است [۴].

صالح مطالعاتی را بر روی ارتعاشات آزاد یک سیستم ارتعاشی با وجود میراگر ضربه‌ای در سال ۱۹۸۷ انجام داد [۵]. در سال ۱۹۹۱ چالمرز و سمرسیجل چنین اظهار داشتند که با طراحی صحیح میراگر ضربه‌ای می‌توان تأثیر بیشتری روی کاهش نوسانات سازه ایجاد کرد و هم‌چنین حساسیت آن را نسبت به تغییرات در نیروی خارجی و پارامترهای سیستم، کاهش داد [۶]. در سال ۱۹۹۴، بات تحقیق نمود که میراگر ضربه‌ای اگر به‌طور صحیحی بکار برده شود در کاهش ارتعاشات یک سیستم پیوسته نقش مهمی را دارد و مؤثر بودن آن بستگی به پارامترهای جرم آزاد میراگر دارد [۷]. اکل و بات در سال ۱۹۹۵ [۸] به تحلیل رگراسیون خطی چندگانه با نرم‌افزار Stat view پرداختند. مشاهده گردید که جهت بهتر مشخص شدن فعال بودن میراگر بایستی آزمون سازه را به بخش‌های معینی از ارتعاش تقسیم نمود به‌طوری‌که اصطکاک ایجادشده بین میراگر و مسیر حرکت آن ناچیز در نظر گرفته شود. آنها به این نتیجه رسیدند که میراگر ضربه‌ای در افزایش ضریب میرایی سازه‌های انعطاف‌پذیر با میرایی کم مؤثر بوده که دلیل آن را می‌توان در معادله حرکت سیستم مشاهده نمود.

چنگ و ونگ در سال ۲۰۰۳ [۹]، به بررسی رفتار میراگر ضربه‌ای سیستم تحت ارتعاش بدون میرایی ذاتی پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که کاهش دامنه پاسخ سیستم در حال ارتعاش به تعداد میراگر ضربه‌ای بستگی ندارد بلکه در درجه اول به نوع برخورد وابسته است؛ بدین معنا که، جهت حرکت جرم میراگر در هنگام برخورد در مقابل جرم سیستم در حال ارتعاش قرار گرفته باشد. هم‌چنین نتایج به‌وضوح نشان داد که در صورتیکه سیستم در حال ارتعاش بنحوی تنظیم شده باشد که با جابجایی اولیه تحریک شود، جهت کارایی بهتر میراگر ضربه‌ای باید برای دو برابر جابجایی اولیه سیستم در حال ارتعاش عمل نماید. فرانیتسک در سال ۲۰۰۳ [۱۰]، مطالعه دینامیکی میراگر ضربه‌ای مورد استفاده در شبیه‌سازی کامپیوتری آنالوگ را مورد بررسی قرار داد که با جرم ناچیز توانست دامنه رزونانس سیستم در حال ارتعاش را تحت اثر ضربات پی‌درپی کاهش دهد. او به این نتیجه رسید که سیستم یک درجه آزاد مجهز به یک میراگر ضربه‌ای قادر به از بین بردن

رزونانس ارتعاش اصلی سیستم می‌باشد. داری و لی در سال ۲۰۰۵ [۱۱]، به بررسی میراگر ضربه‌ای در جرم در حال حرکت پرداختند و نتیجه گرفتند که میانگین تأثیر میراگر ضربه‌ای حساسیت کمتری به نوع ارتعاش و طول مسیر حرکت و جرم میراگر دارد. افزایش ضریب جبران به‌دست‌آمده از طریق تحلیل خطی میراگر ضربه‌ای باعث افزایش معادله حرکت و افزایش انرژی جنبشی از سازه به جرم میراگر می‌باشد. تحقیق انجام‌شده توسط نیری و همکاران در سال ۲۰۰۷ را می‌توان از آخرین نمونه‌های تحقیقاتی در این خصوص نام برد که نقش مجموعه‌ای از میراگرهای ضربه‌ای را در یک سیستم تحت تأثیر نیروی تصادفی مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج این تحقیقات، بر تأثیر میراگر ضربه‌ای در کاهش ارتعاشات دلالت دارند [۱۲].

افشاری فرد در پایان‌نامه کارشناسی ارشد، به بررسی فاصله بین ضربه‌گیرها، نسبت جرمی و ضریب بازگشت ضربه‌گیرها که سه پارامتر اصلی مؤثر بر عملکرد میراگر ضربه‌ای هستند، پرداخته و اثرات این عوامل بر کارایی سیستم در حال ارتعاش را نشان داده است. همچنین ایشان در نهایت کارایی مواد هوشمند و اثرات استفاده از این مواد در ضربه‌گیرهای میراگرهای ضربه‌ای را مورد بررسی قرار داده طوری که عملکرد مثبت آن بر کارایی این سیستم‌ها نشان داده شده است [۱۳]. زهرائی و راد در سال ۲۰۰۹ [۱۴]، به ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه یک درجه آزاد تقویت‌شده با میراگر ضربه‌ای تحت اثر بار ضربه و هارمونیک پرداخته‌اند. در این پژوهش به این نتیجه رسیدند که با اندکی تغییر در پارامترهای میراگر ضربه‌ای شاهد تغییرات گوناگون در پاسخ سازه می‌باشند. در نهایت، مقادیر بهینه پارامترهای میراگر ضربه‌ای تحت بارهای ضربه و هارمونیک به‌دست‌آمده است.

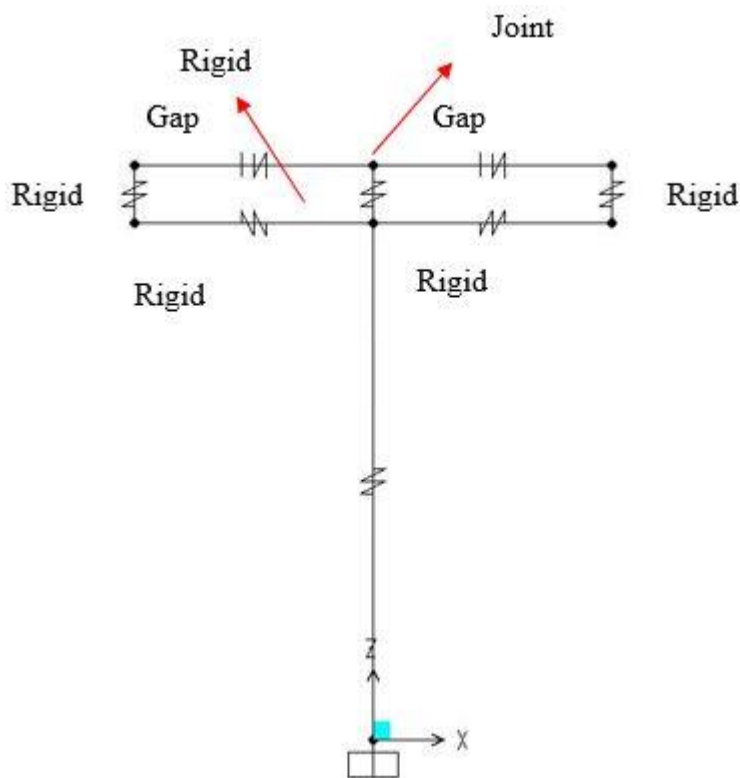
دهقان نیری و همکاران در سال ۲۰۱۲ [۱۵]، به ارزیابی تأثیر پارامترهای میراگر ضربه‌ای در عملکرد بهینه میراگر پرداختند. همچنین با بررسی عملکرد بهینه میراگر ضربه‌ای در هر دو حالت رزونانس و خارج از رزونانس نتیجه گرفتند که میراگر ضربه‌ای طراحی‌شده برای دامنه‌های بالا عملکرد خوبی نسبت به دامنه‌های پایین‌تر دارد. در نهایت آسیب‌پذیری میراگر ضربه‌ای بهینه در برابر پارامترهای سازه به‌وضوح روشن گردید به‌نحوی که مشاهده شد سیستم با عملکرد کارآمدتر از پایداری کمتری برخوردار است. زهرائی و راد در سال ۲۰۱۵ [۱۶]، به ارزیابی عملکرد لرزه‌ای سازه یک درجه آزاد تحت میز لرزان پرداختند. در این پژوهش سازه یک درجه آزاد را تحت زلزله کوبه و هارمونیک با دامنه 0.4g با اعمال لرزش از طریق میز لرزان در دو حالت با و بدون میراگر ضربه‌ای قراردادند. در نهایت با تغییر پارامترهای میراگر ضربه‌ای به این نتیجه رسیدند که اثر افزایش ضریب جرمی در کاهش دامنه ارتعاش وارد به سیستم بیشتر خواهد بود.

هدف از این مقاله، مدل‌سازی میراگر ضربه‌ای در سیستم یک درجه آزاد با نرم‌افزار معمول و متداول مهندسی عمران SAP2000 (شکل ۱) و در سازه با قاب مهاربندی همگرا می‌باشد که نخست عملکرد میراگر ضربه‌ای یک جرمی در سیستم یک درجه آزاد و بعد در یک قاب ۴ طبقه ارزیابی می‌گردد. در این پژوهش ابتدا سیستم یک درجه آزادی تحت بارگذاری هارمونیک با دامنه شتاب 0.4g قرار می‌گیرد. نحوه قرارگیری میراگر ضربه‌ای در سیستم مزبور طبق شکل ۲ می‌باشد. میراگر ضربه‌ای به متغیرهایی همچون ضریب جرمی (μ)، ضریب بازگشت (e) و طول مسیر حرکت میراگر (d) وابسته می‌باشد. برای رسیدن به نتیجه بهتر و مقایسه دقیق‌تر پاسخ سازه در دو حالت با میراگر و بدون میراگر ضربه‌ای در نظر گرفته می‌شود. جهت تعیین میزان دقت مدل ساخته‌شده با میراگر ضربه‌ای واقعی، نتایج حاصل از این نرم‌افزار با مدل عددی میراگر ضربه‌ای مقایسه شده و سپس روی قابهای ۴ طبقه مطالعه می‌شود. در مطالعات قبلی، میراگر ضربه‌ای صرفاً از طریق نرم‌افزار نسبتاً پیچیده Matlab مورد بررسی قرار می‌گرفت و با نتایج حاصل از مدل عددی مقایسه می‌شد. لذا نتایج حاصل از چنین نرم‌افزاری همانند نرم‌افزار SAP2000 متداول نبوده و گستردگی کاربرد را ندارد. بنابراین در صورت مطابقت نتایج مدل‌سازی حاصل از نرم‌افزار SAP2000 با مدل عددی، می‌توان بسادگی به نتایج و منحنی‌های نسبتاً دقیق با گستردگی بیشتری نسبت به پژوهش‌های پیشین دست یافت.

۲- مدلسازی عددی

۱-۲ مدلسازی سیستم یک درجه آزاد جهت صحت سنجی

همان‌طور که از مطالعه آزمایشگاهی زهرائی و راد [۱۶] پیداست، اجزاء اصلی میراگر شامل گوی فلزی که دارای جرمی به نسبت جرم کل سیستم یک درجه آزاد و دو ایستگاه جهت برخورد گوی فلزی در هنگام ارتعاش و در فاصله معینی از گوی مذکور نیز می‌باشد. در مطالعه مزبور با تغییر محل قرارگیری دو ایستگاه (طول مسیر آزاد) و نسبت جرمی گوی فلزی، اثر میراگر ضربه‌ای در سیستم یک درجه آزاد مورد بحث و بررسی قرار گرفته است و در نهایت حالت بهینه مشخصات میراگر ضربه‌ای برای سیستم یک درجه آزاد به دست آمده است. از آنجاکه در نرم‌افزار SAP2000 جهت مدل‌سازی میراگر ضربه‌ای لینک بخصوصی قرار داده نشده لذا به ساخت میراگر در نرم‌افزار پرداخته شده است. از بین لینک‌های موجود، لینک GAP این ویژگی را دارد که نقش دو ایستگاه را در ساخت مدل میراگر ضربه‌ای را داشته باشد. لذا با وارد نمودن میزان طول مسیر حرکت در مشخصات لینک GAP به عنوان طول مسیر آزاد و وارد نمودن سختی بی‌نهایت که به معنای محل برخورد گوی فلزی و بازگشت آن، ایستگاه‌ها مدل‌سازی شده است. جهت تعریف گوی فلزی از المان Joint و در بین دو لینک GAP استفاده شده است. هم‌چنین جهت ارضای جرم گوی فلزی که نسبتی از جرم کل سیستم یک درجه آزاد می‌باشد، در نرم‌افزار و قسمت خصوصیات Joint، میزان جرم آن را به صورت نسبتی از کل جرم سیستم که از قبل جرم سیستم هم در بخش مشخصات Joint مربوط به المان یک درجه آزاد وارد شده، اعمال می‌گردد. لازم به ذکر است تاکنون روشی جهت مدل‌سازی میراگر ضربه‌ای در نرم‌افزارها وجود نداشته و در صورت مطابقت نتایج این مدل با مطالعات آزمایشگاهی، می‌توان از این مدل به عنوان اولین مدل ساخته شده از میراگر ضربه‌ای در نرم‌افزار SAP2000 نام برد. در ساخت مدل سیستم یک درجه آزاد با میراگر ضربه‌ای از چهار لینک Rigid و دو لینک Gap استفاده گردیده است (شکل ۱).



شکل ۱: مدل ساخته شده در نرم‌افزار SAP2000

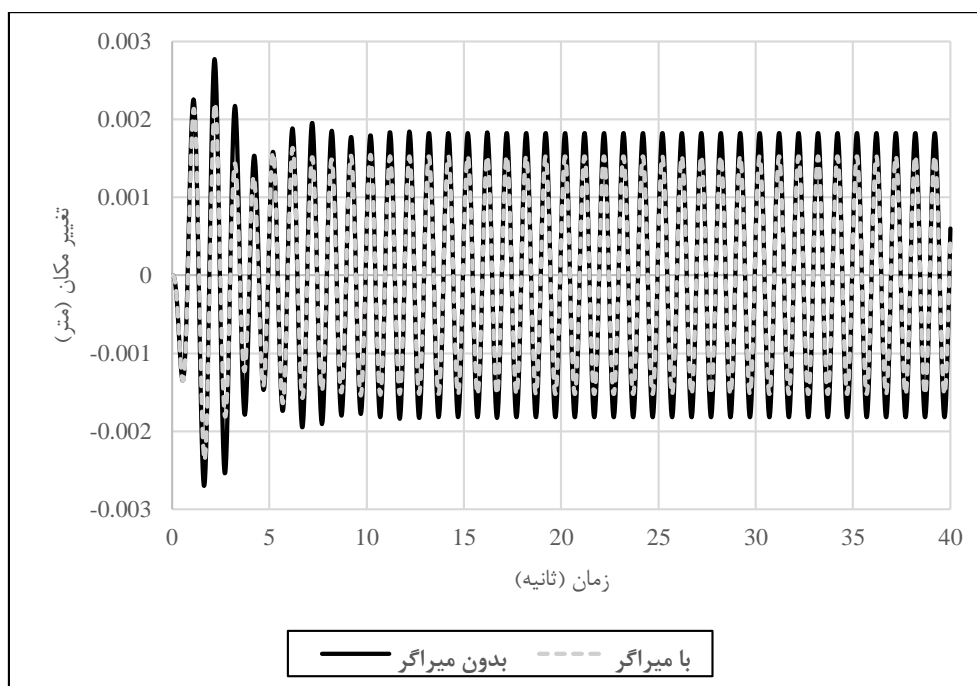
مطابق مطالعات آزمایشگاهی زهرائی و راد [۱۶] در ساخت میراگر ضربه‌ای؛ یک گوی فلزی در فاصله آزاد به طول L حرکت می‌کند (شکل ۲). در لینک Gap از نرم‌افزار SAP2000 این ویژگی را می‌توان به صورت Opening و دیواره‌ای که گوی بدن برخورد می‌نماید با وارد

نمودن سختی بی‌نهایت در بخش Stiffness لینک مذکور مدل‌سازی نمود. در مدل‌سازی گوی میراگر، از آنجا که جرم آن بر اساس نسبتی از جرم سیستم سازه‌ای به دست آمده و با ضریب جرمی (μ) مشخص می‌شود؛ در مدل ساخته شده نیز به صورت نقطه در حفاصل دو لینک Gap ساخته شده قرار داده می‌شود. لازم به ذکر است جهت مدل‌سازی، مقادیر بهینه طول آزاد حرکت (L) و ضریب جرمی (μ) اعمال شده است.

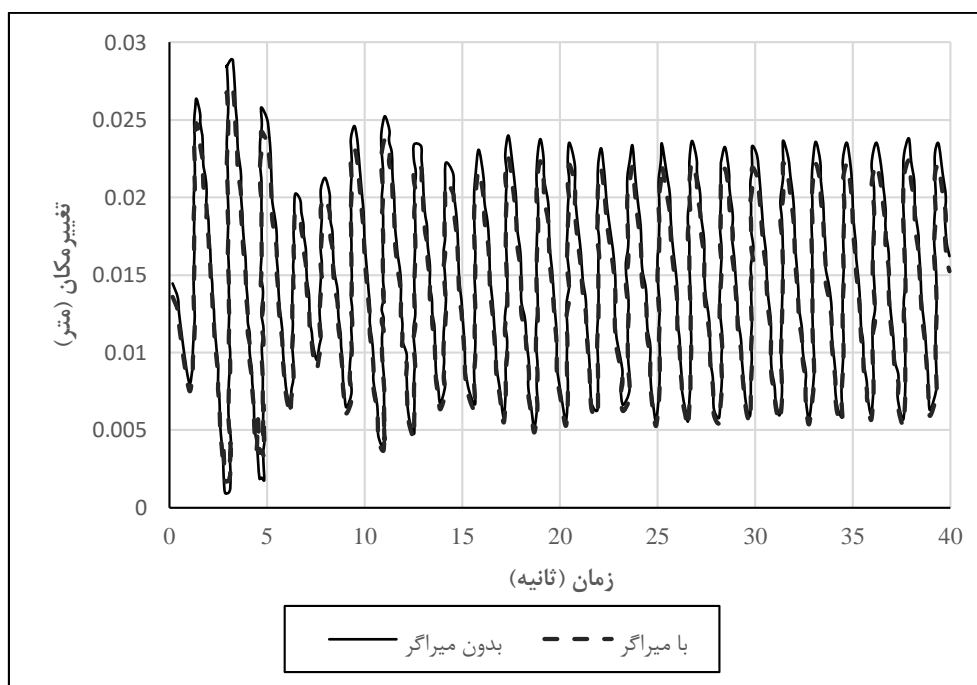


شکل ۲: مدل قبلی ساخته شده در آزمایشگاه سازه دانشگاه تهران [۱۶].

در مدل ساخته شده، سیستم یک درجه آزاد دارای جرم $m=1$ (kg) و سختی $k=10$ (kN/m) می‌باشد. سیستم یک درجه آزاد با و بدون میراگر ضربه‌ای تحت بار هارمونیک به تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی پرداخته شده است. نتایج حاصل از تحلیل مدل ساخته شده در نرم‌افزار SAP2000 در (شکل ۳) آمده است. در مقایسه با نتایج مدل عددی میراگر ضربه‌ای (شکل ۴) مشاهده می‌شود که اختلاف نتایج کمتر از ۶٪ می‌باشد. لذا می‌توان به مدل ساخته شده با نرم‌افزار SAP2000 اطمینان کرده و نتایج حاصل از آن را قابل قبول تلقی نمود. از جمله نتایج حائز اهمیت خروجی از نرم‌افزار SAP می‌توان به مقادیر حداکثر تغییر مکان بام، حداکثر برش پایه، تعیین معیار عملکرد و نیروی مستهلک شده سیستم با و بدون میراگر ضربه‌ای اشاره نمود که با تائید نتایج مدل ساخته شده نرم‌افزار SAP با مدل عددی می‌توان به نتایج قابل اعتماد دست پیدا نمود.



شکل ۳: نتایج حاصل از مدل ساخته شده در نرم افزار SAP2000.

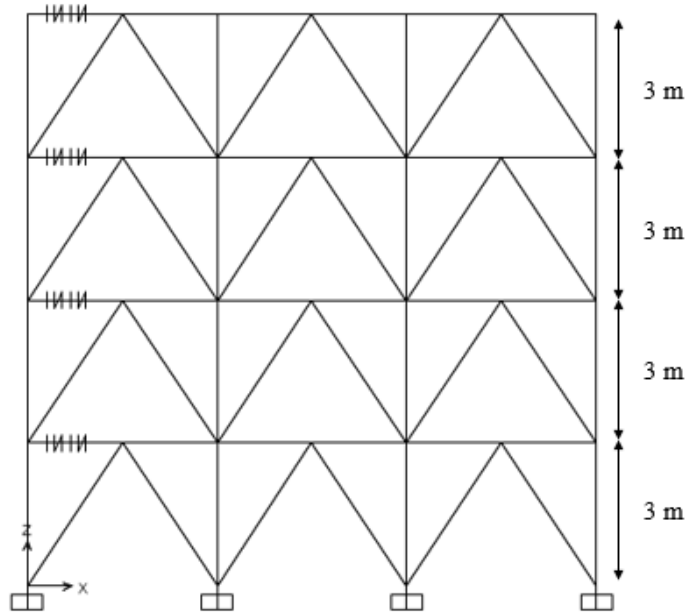


شکل ۴: نتایج حاصل از مدل عددی توسط زهرائی و راد [۱۴].

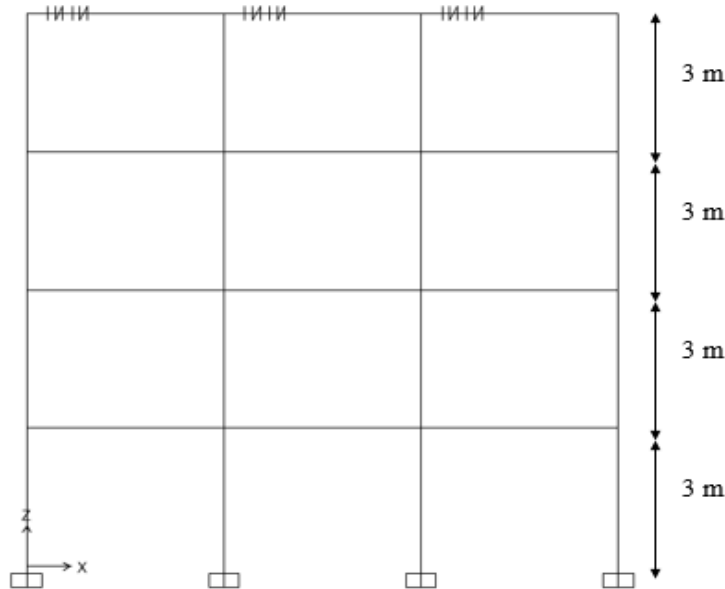
۲-۲ مدلسازی قاب ۴ طبقه

در این بخش، دو مدل قاب چهار طبقه مهاربندی و قاب خمشی به طول دهانه ۴ متر و ارتفاع طبقه ۳ متر در نظر گرفته شده است. بارگذاری ثقلی از دو نوع بارهای مرده و زنده می باشد که مقادیر هر کدام به ترتیب 3250 kg/m و 1250 kg/m نیز می باشد. سیستم قابها

از نوع قاب ساده با مهاربندی همگرای ویژه (شکل ۵ و جدول ۱) و قاب خمشی ویژه فولادی (شکل ۶ و جدول ۲) مطابق آئین نامه AISC-10 طراحی شده است.



شکل ۵: مدل قاب ساده با مهاربندی همگرا چهار طبقه با دهانه های ۴ متری مجهز به میراگر ضربه ای.



شکل ۶: مدل قاب خمشی ویژه چهار طبقه با دهانه های ۴ متری مجهز به میراگر ضربه ای.

جدول ۱: مشخصات مقاطع بکار برده شده در مدل قاب ساده با مهاربندی همگرا ۴ طبقه

شماره طبقه	مقطع ستون	مقطع مهاربند	مقطع تیر
۱	2IPE300	2UNP120	IPE220
۲	2IPE270	2UNP120	IPE220
۳	2IPE240	2UNP120	IPE220
۴	2IPE240	2UNP120	IPE220

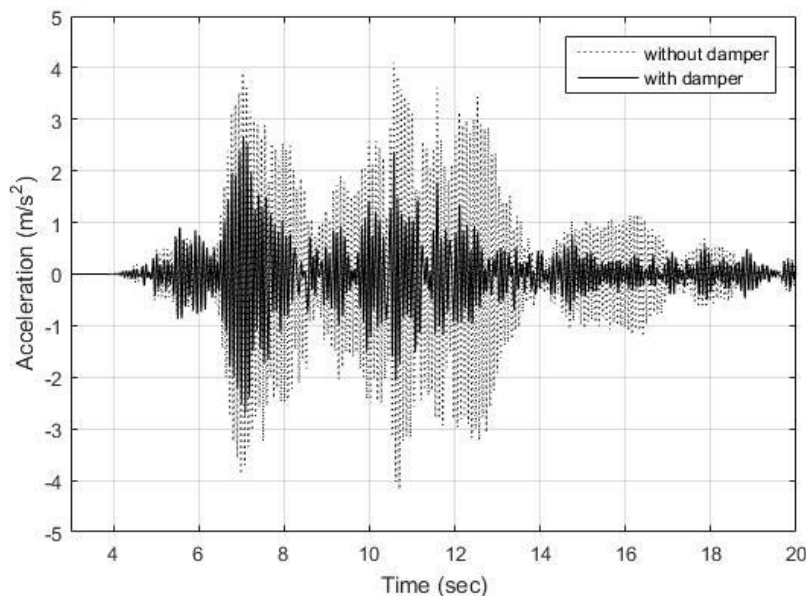
جدول ۲: مشخصات مقاطع بکار برده شده در مدل قاب خمشی ویژه ۴ طبقه

شماره طبقه	مقطع ستون	مقطع تیر
۱	2IPB340	IPE330
۲	2IPB300	IPE330
۳	2IPB280	IPE300
۴	2IPB260	IPE300

۳- بررسی نتایج عددی حاصل

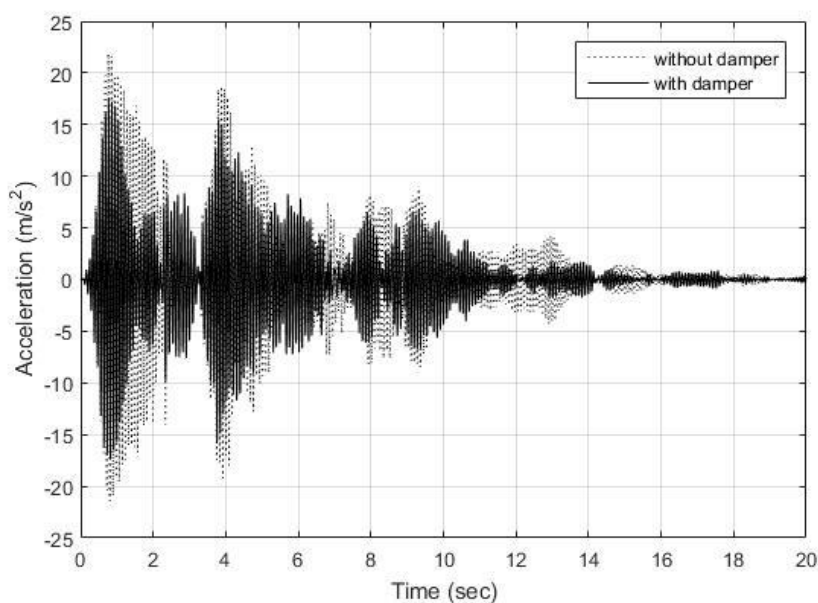
۳-۱ رفتار لرزه ای سیستم یک درجه آزاد

در ادامه، به بررسی سیستم یک درجه آزاد تحت زلزله‌های واقعی کوبه و نرتریج پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است زلزله‌های وارده، مقیاس شده به طیف زلزله شهر تهران طبق استاندارد ۲۸۰۰ می‌باشند. ضمناً توجه شود که رفتار غیرخطی سیستم در هر دو حالت منظور شده است. جهت بررسی عملکرد میراگر ضربه ای در دو حوزه دور و نزدیک گسل، شتاب نگاشت‌های زلزله کوبه از ایستگاه حوزه نزدیک و زلزله نرتریج از ایستگاه حوزه دور از گسل مورد استفاده قرار گرفته است. در مقایسه سیستم با و بدون میراگر ضربه‌ای مشاهده می‌شود (شکل ۷) که میراگر ضربه‌ای در کاهش تغییر مکان سیستم در حال ارتعاش ناشی از زلزله کوبه تأثیر بسزایی داشته است.



شکل ۷: منحنی شتاب سیستم یک درجه آزاد با و بدون میراگر ضربه‌ای تحت زلزله کوبه.

میراگر ضربه‌ای همچنین در کاهش بیشینه دامنه‌های دیگر ارتعاشی و تداوم در کاهش اثر زلزله بر سیستم یک درجه آزاد مؤثر بوده است. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، اثر میراگر ضربه‌ای از شروع منحنی به صورت محسوس پیداست. میراگر ضربه‌ای تحت اثر زلزله نرتریج نیز تأثیر قابل توجهی گذاشته و باعث کاهش دامنه ارتعاش سیستم یک درجه آزاد می‌گردد. به نحوی که از ثانیه ۲ شاهد کاهش دامنه ارتعاش سیستم می‌باشد و این اثر در ۵ ثانیه اول ارتعاش تأثیر بسزایی گذاشته است (شکل ۸). لذا می‌توان نتیجه گرفت، میراگر ضربه‌ای در کاهش دامنه ارتعاش اوج زلزله‌های تأثیر مستقیم گذاشته و طبعاً باعث کاهش قابل توجه سیستم در حال ارتعاش یک درجه آزاد می‌گردد.



شکل ۸: منحنی شتاب سیستم یک درجه آزاد با و بدون میراگر ضربه‌ای تحت زلزله نرتریج.

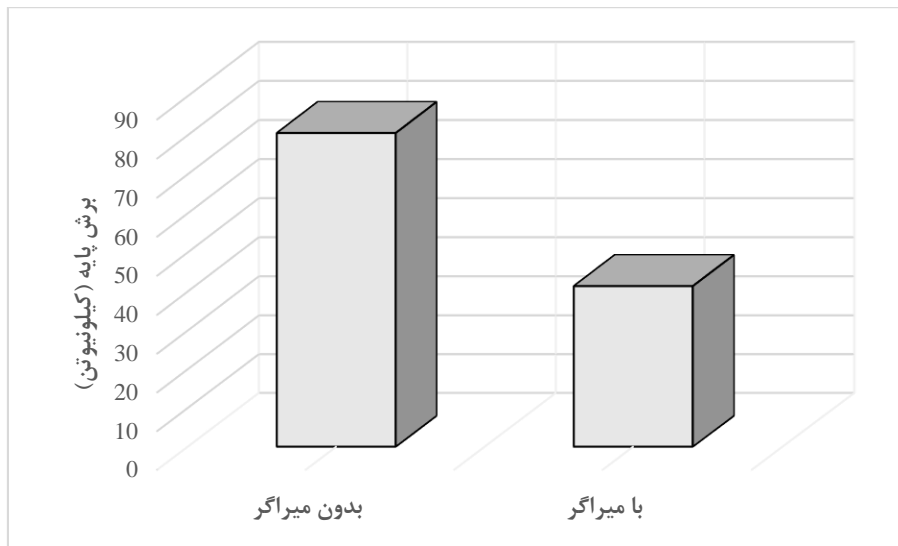
در مقایسه نتایج سیستم با و بدون میراگر ضربه‌ای تحت اثر زلزله‌های کوبه و نرتریج، میراگر ضربه‌ای در هر دو شتاب‌نگاشت به خوبی عمل کرده است. بنحوی که شتاب وارده بر سیستم یک درجه آزاد تقویت شده با میراگر ضربه‌ای تحت اثر زلزله کوبه حدود ۴۰٪ و تحت اثر شتاب ناشی از زلزله نرتریج حدود ۴۵٪ کاهش یافته است. با توجه به سهم زیاد جذب انرژی زلزله توسط میراگر، لذا می‌توان به کاهش ارتعاش در سیستم یک درجه آزاد تقویت شده با میراگر پی برد.

۲-۳ رفتار لرزه‌ای قاب ۴ طبقه

همان‌طور که در بخش قبل ذکر گردید، سیستم سازه‌ای قاب مهاربندی ساده با مهاربند همگرای ویژه و قاب خمشی می‌باشد. مدل بکار برده شده تحت زلزله کوبه (حوزه دور از گسل) مورد تحلیل تاریخچه زمان غیر خطی صورت پذیرفته است. جهت عملکرد یکسان اعضا باربر جانبی، میراگر ضربه‌ای نیز همچون مهاربندها در یک دهانه و در تمام طبقات قرار گرفته است. مکانیزم ساخت و عملکردی میراگر تعبیه شده در قاب مورد نظر از نوع لینک بکار برده شده در سیستم یک درجه آزاد می‌باشد.

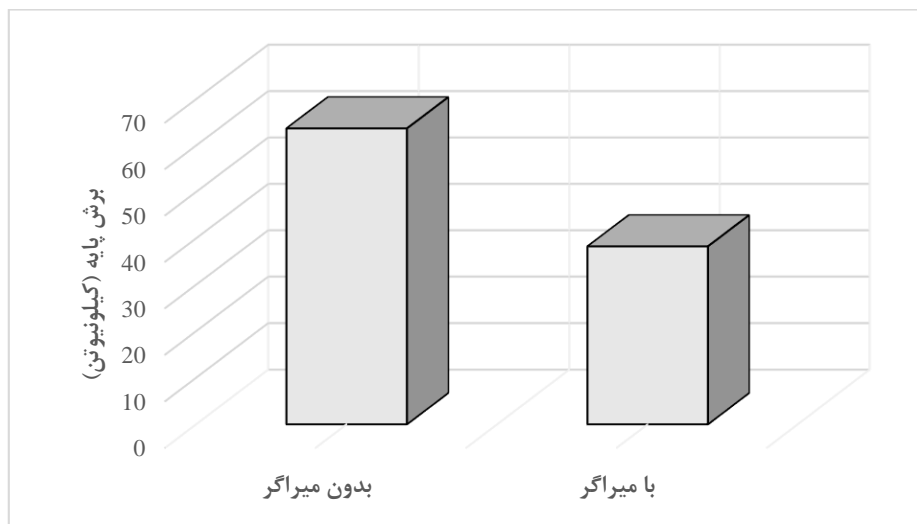
نتایج حاصل از مدلسازی میراگر ضربه‌ای در سازه قاب ساده با مهاربندی همگرا بشرح شکل ۹ است:

با توجه به شکل ۹، مشاهده می‌شود با اتلاف انرژی ناشی از زلزله به کمک میراگر ضربه‌ای، برش پایه در مدل تقویت شده با میراگر تا ۳۸٪ کاهش یافته است. عملکرد میراگر ضربه‌ای به شتاب وارده وابسته است و هرچه شتاب ورودی به میراگر افزایش یابد تعداد ضربات و در نهایت اثر آن در خنثی نمودن ارتعاش سازه افزایش می‌یابد. در ادامه با مقایسه تغییرمکان نسبی طبقه در جدول ۲ و شتاب طبقه ناشی از زلزله در شکل ۹ به تأثیر میراگر ضربه‌ای در کاهش پارامترهای مربوط پرداخته می‌شود.



شکل ۹: بیشینه برش پایه مدل قاب مهاربندی چهار طبقه با و بدون میراگر ضربه ای تحت زلزله کوبه.

در مقایسه عملکرد میراگر ضربه ای در قاب خمشی در شکل ۱۰ نسبت به مدل با قاب مهاربندی (شکل ۹) مشاهده می شود، میراگر ضربه ای باعث کاهش ۵۰٪ برش پایه ناشی از زلزله کوبه گردیده است. لذا میراگر ضربه ای در قاب خمشی عملکرد بهتری در کاهش برش پایه داشته است.



شکل ۱۰: بیشینه برش پایه مدل قاب خمشی چهار طبقه با و بدون میراگر ضربه ای تحت زلزله کوبه.

جدول ۳: تغییر مکان نسبی طبقات قاب ساده با مهاربند همگرا در حالات با و بدون میراگر ضربه ای تحت زلزله کوبه

شماره طبقه	بدون میراگر (cm)	با میراگر (cm)
۱	۰/۲۶۵	۰/۱۳۶
۲	۰/۲۸۲	۰/۱۶۱
۳	۰/۳۰۴	۰/۱۹۸
۴	۰/۳۵۹	۰/۲۱

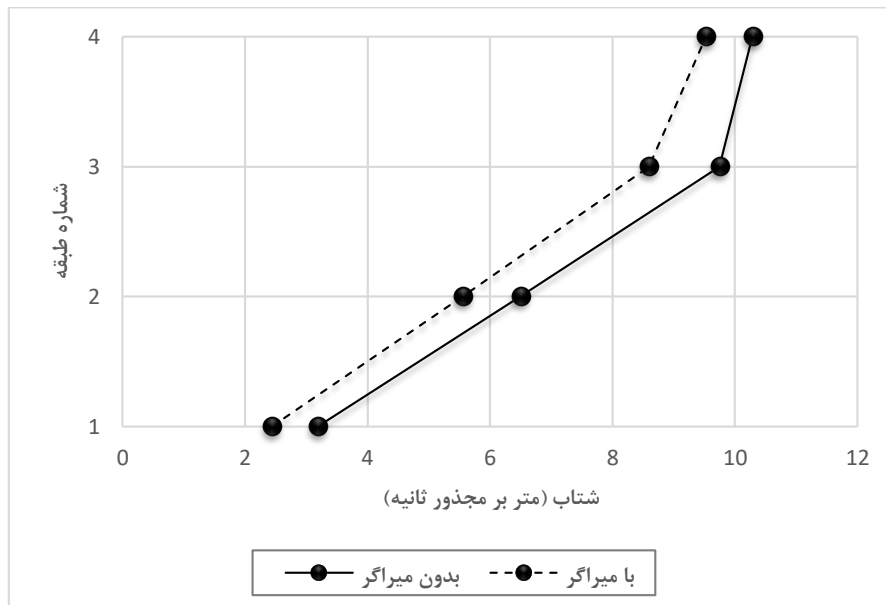
در مقایسه تغییرمکان نسبی طبقه دو حالت با و بدون میراگر، بطور متوسط ۴۸٪ کاهش تغییرمکان نسبی صورت پذیرفته است. در این مدل خاص تحت زلزله حوزه دور، تاثیر میراگر ضربه ای را می توان در سازه های کوتاه مرتبه که عموماً دارای دوره تناوب کوتاه بوده و در برابر زلزله های حوزه دور (دارای دوره تناوب پایین) در خطر هستند نیز به وضوح مشاهده نمود.

در ادامه، تغییرمکان نسبی قاب خمشی تقویت شده با میراگر ضربه ای در جدول ۴ نشان می دهد که عملکرد میراگر ضربه ای در کاهش دامنه ارتعاش بهتر بوده است. با توجه به مقادیر حاصل تغییرمکان نسبی طبقات طبق جدول ۴، مشاهده می شود که تغییرمکان نسبی از حد مجاز استاندارد ۲۸۰۰ $(\Delta = 0.025 * 300 = 7.5 \text{ cm})$ تجاوز ننموده و طراحی لرزه ای مدلهای بکار برده شده مطابق آیین نامه می باشد. میزان کاهش تغییرمکان نسبی قاب خمشی با میراگر ضربه ای ۶۱٪ بدست آمده است. لذا عملکرد بهتر میراگر ضربه ای در قاب خمشی نسبت به قاب با مهاربند مشاهده می گردد.

جدول ۴: تغییرمکان نسبی طبقات قاب خمشی در حالات با و بدون میراگر ضربه ای تحت زلزله کوبه

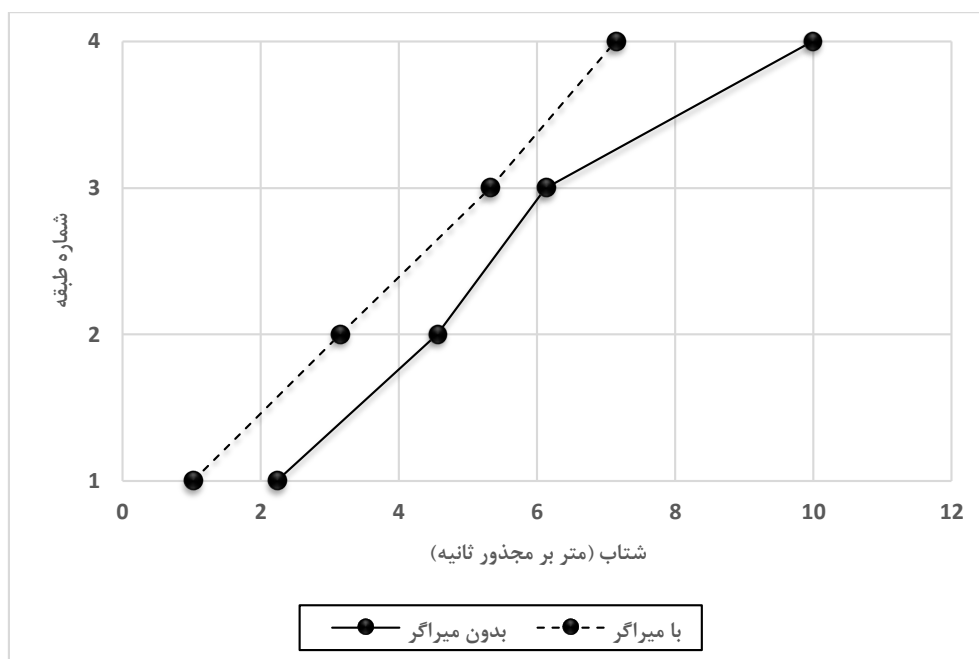
شماره طبقه	بدون میراگر (cm)	با میراگر (cm)
۱	۳/۷۴	۱/۴۴
۲	۳/۹۲	۱/۵۹
۳	۴/۱۹	۱/۶۸
۴	۴/۶۱	۱/۸۵

با توجه به منحنی شکل ۱۱، مدل تقویت شده با میراگر ضربه ای باعث کاهش ۱۰٪ شتاب طبقه گردیده است. از آنجا که میراگر ضربه ای به شتاب تحریک پذیر است لذا شتاب وارده به سازه را جذب کرده و علاوه بر کاهش دامنه پاسخ سیستم از طریق اتلاف انرژی باعث کاهش قابل توجه شتاب وارده می گردد. البته در صورتیکه میراگر سختی سازه را افزایش دهد، منجر به کاهش شتاب طبقه نخواهد شد.



شکل ۱۱: منحنی شتاب طبقه سازه قاب ساده با مهاربندی همگرا با و بدون میراگر ضربه ای تحت زلزله کوبه.

منحنی شتاب - زمان (شکل ۱۲) قاب خمشی تقویت شده با میراگر ضربه ای، شاهد کاهش ۳۰٪ شتاب وارد بر سازه بوده است. در مقایسه با قاب مهاربندی کاهش دامنه پاسخ بیشتر بوده، لذا در قاب خمشی که شتاب وارده بیشتر است میراگر ضربه ای عملکرد بهتری داشته است. بطور کلی هرچه شتاب ناشی از زلزله وارد بر سیستم افزایش یابد، عملکرد میراگر ضربه ای در کاهش دامنه پاسخ سیستم بهتر بوده است.



شکل ۱۲: منحنی شتاب طبقه سازه قاب خمشی با و بدون میراگر ضربه ای تحت زلزله کوبه.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش دو مدل سیستم یک درجه آزاد و سازه ۴ طبقه در دو حالت مهاربندی همگرای ویژه و قاب خمشی ویژه تحت دو زلزله نوتریج و کوبه مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. در هر دو مدل سیستم در حال ارتعاش تقویت شده با میراگر ضربه ای، دامنه پاسخ سیستم ناشی از زلزله دچار کاهش شده که نتایج عمده به شرح ذیل است:

- در مقایسه نتایج حاصل از سازه یک درجه آزادی تقویت شده با میراگر ضربه ای مدل سازی شده با نرم افزار SAP2000 نسبت به مدل عددی میراگر، اختلاف حاصل کمتر از ۶٪ می باشد. لذا نتایج حاصل از مدل میراگر ضربه ای در نرم افزار SAP2000 قابل استفاده بوده و می توان از تمام نتایج تحلیل با آن بهره برد.
- در سیستم یک درجه آزاد تحت ارتعاش زلزله های کوبه و نوتریج مجهز به میراگر ضربه ای به ترتیب ۶٪ و ۳۳٪ بیشینه مقادیر شتاب کاهش یافته است. لذا می توان نتیجه گرفت که میراگر ضربه ای تحت زلزله های حوزه دور از گسل نسبت به حوزه نزدیک گسل عملکرد بهتری دارد.
- در مدل سازه قاب ساده با مهاربندی همگرا مجهز به میراگر ضربه ای، تغییر مکان نسبی طبقه ۴۸٪ و نیروی برش ناشی از زلزله نیز حدود ۳۸٪ کاهش یافته است. هم چنین با افزودن میراگر ضربه ای بدلیل تحریک پذیری بسیار تحت تاثیر شتاب ناشی از زلزله، شتاب وارده بر طبقه نیز ۴۵٪ کاهش یافته است، در حالیکه در مدل قاب خمشی تغییر مکان نسبی طبقه در حالت تقویت مدل با میراگر ضربه ای ۶۱٪ کاهش یافته است. لذا عملکرد میراگر ضربه ای در مدل قاب خمشی در کاهش جابجایی نسبت به مدل قاب ساده با مهاربند همگرا ۱۳٪ بهتر بوده است. باتوجه به مطالعات انجام شده در دو سیستم سازه ای قاب مهاربندی و قاب خمشی در این پژوهش، عملکرد میراگر ضربه ای در قاب خمشی بیش از ۵۰٪ در کاهش دامنه ارتعاش وارد بر سیستم نقش بسزایی داشته است. لذا کاربرد میراگر ضربه ای در قاب خمشی نسبت به قاب ساده مهاربندی شده عملکرد بهتری در کاهش تغییر مکان نسبی طبقات خواهد داشت.

- از طرف دیگر در مدل قاب خمشی تقویت شده با میراگر ضربه ای کاهش در برش پایه معادل ۵۰٪ و در شتاب وارده بر سازه به میزان ۳۰٪ مشاهده شده است. یعنی میراگر ضربه ای تاثیر بیشتری در کاهش شتاب برای قاب مهاربندی همگرای ویژه در مقایسه با قاب خمشی داشته است.

مراجع

- [1] Masri, S.F and Butt, A. S (1965), "Analytical and Experimental Studies of Impact Dampers", Dissertation (Ph.D.), California Institute of Technology.
- [2] Masri, S.F, (1973), "steady-State Response of a Multi-degree System with an Impact Damper", Journal of Applied Mechanics., March 1973, pp 127-132.
- [3] Cempel, Cz, (1974), "The Multi-Unit Impact Damper: Equivalent Continuous Force Approach", Journal of Sound and Vibration, Vol. 34, pp.199-209.
- [4] Ranjit, K.R, Richards, D.R, Foster, J.E (1975), "The Application of Impact Dampers to Continuous Systems", Journal of engineering for Industry, Nov. 97, pp 1317 1324.
- [5] Saleh, Y.A.J, (1987), "Effect of Impact Dampers on the Forced Vibration of a free Standing Stack", Dissertation (MS), Ohio University, Civil Engineering.
- [6] Chalmers, R and Semercigl, S.E, (1991), "Impact Damping the Second Mode of a Cantilevered, Beam", Journal of Sound and vibrations, Vol. 146. pp 157-161.
- [7] Butt, A.S, (1994), "Application of Impact Dampers in Vibration Control of Flexible Structures", NASA cigl, Structures and Mechanics Division, August 1994.
- [8] Akl, F.A, Butt, A.S, (1995), "Application of Impact Dampers in Vibration Control of Flexible Structures", NASA Johnson space center, Louisiana Tech University, Rustan, LA 71272.
- [9] Cheng, C.C and Wang, J.Y, (2003), "Free Vibration Analysis of a resilient impact damper", International Journal of Mechanical Sciences, Vol. 45, Page No.589 - 604.
- [10] Frantisek, P, (2003), "More detail view on the dynamics of impact damper", Mechanics, Automatic control and Robotics, Vol. 3, Page No.907 - 920.
- [11] Durby, A.P, Li, K, (2005), "An Experimental Investigation into the use of a buffered impact damper", Department of Architecture and Civil Engineering, University of Bath, Bath, BA2 7AY, UK.
- [12] Nayeri, R.D, Masri, S.F, Caffrey, J.P, (2007), "Studies of the performance of Multi-Unit Impact Dampers under Stochastic Excitation", Journal of Vibration and Acoustics, April 2007. Vol. 129. PP239-251.
- [13] Afshari fard, A, (2007). "Application of impact dampers to reduce vibrations of structures", M.Sc. thesis, Mechanical engineering group, Ferdowsi University, Mashhad, Iran.
- [14] Zahrai, S.M and Rod, A.F, (2009), "Effect of Impact Damper on SDOF System Vibration under Harmonic and Impulsive Excitations", Journal of Physics: Conference Series 181.
- [15] Dehghan-Niri, E, Zahrai, S.M and Rod, A.F, (2012). "Numerical studies of the conventional impact damper with discrete frequency optimization and uncertainty considerations", Scientia Iranica, 19 (2), pp. 166-178.
- [16] Zahrai, S.M., Rod, A.F. (2015). "Shake Table Tests of Using Single-Particle Impact Damper to Reduce Seismic Response", Asian Journal of Civil Engineering, Vol. 16, No. 3, pp. 471-487.