

## بهبود عملکرد لرزه‌ای سیستم قاب خمشی بتنی با استفاده از میراگر سیال تنظیم شونده (TLD)

علی سرمد

گروه مهندسی عمران، واحد اسلام‌آباد غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، اسلام‌آباد غرب، ایران

مهرداد موحدنیا\*

استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد اسلام‌آباد غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، اسلام‌آباد غرب، ایران

Mehrdad\_movahednia@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۶/۰۱ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۸/۰۷/۱۰

### چکیده:

در این مقاله تاثیر استفاده از میراگر سیال تنظیم شونده (TLD) بر رفتار لرزه‌ای قاب خمشی بتن آرمه بررسی شده است. در نرم‌افزار ANSYS مدل‌سازی انجام شده است. برای مدل‌سازی از المان‌های سازه‌ای شامل تیرها و ستون‌ها در قاب خمشی بتنی از المان Beam 189 و از تحلیل دینامیکی غیرخطی استفاده شد. رفتار لرزه‌ای سازه‌ها تحت زلزله‌های کوبه، چی چی و طبس بررسی شد. میراگر سیال تنظیم‌شونده در ساختمان‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ مدل و مقایسه گردید. تاثیر موقعیت مختلف میراگر در طبقات مختلف سازه‌ها بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد استفاده از میراگر می‌تواند باعث عدم وقوع مفصل پلاستیک در محل اتصالات شود. همچنین مشخص شد که موقعیت قرارگیری میراگر پارامتر موثری بر رفتار لرزه‌ای سازه‌های مورد مطالعه است. برای سازه ۱۵ طبقه استفاده از میراگر در طبقه پنجم سازه باعث کاهش جابجایی بام سازه به میزان ۱۰/۵٪، در طبقه دهم ۱۷٪، در طبقه پانزدهم ۵۳٪ درصد می‌شود. در سازه ده طبقه میراگر باعث کاهش جابجایی بام سازه به مقدار ۵۰٪ درصد می‌شود. در سازه ده طبقه موقعیت میراگر در طبقه ۵ باعث کاهش ۳۳٪ درصدی جابجایی بام می‌گردد. در سازه پنج طبقه، استفاده از میراگر در طبقه ۵ باعث کاهش ۶۴٪ درصدی بام، و موقعیت میراگر در طبقه سوم منجر به کاهش ۲۶٪ درصدی بام سازه می‌شود.

**کلید واژگان:** میراگر سیال تنظیم‌شونده، قاب خمشی بتنی، ارتفاع ساختمان، تحلیل دینامیکی غیر خطی.

## ۱-مقدمه

یکی از سیستم‌های رایج مورد استفاده در ساخت ساختمان‌ها قاب خمشی بتنی بوده که بدلیل مزایای اقتصادی آن در مقایسه با ساختمان‌های فولادی اغلب مورد توجه سازندگان زیادی بوده است. اما این سیستم بدلیل آن که باید هم در مقابل نیروهای ثقلی و هم نیروهای جانبی از مقاومت لازم برخوردار باشد لذا با افزایش بعد در مقاطع ستون‌ها و تیرها همراه خواهد بود که این امر، سبب ایجاد مشکلات معماری و نیز کاهش زیربنای مفید در طبقات خواهد شد.

از سوی دیگر وزن مخصوص نسبتاً زیاد بتن ( $2400 \text{ Kg/m}^3$ ) در ساختمان‌های بتنی باعث افزایش وزن اسکلت سازه خواهد شد که با افزایش نیروی زلزله همراه خواهد بود این امر نیز سبب افزایش ابعاد المان‌های سازه‌ای خواهد شد. به طور کلی دوروش برای رفع این مساله وجود دارد. روش اول مبتنی بر افزایش مقاومت بتن می‌باشد تا به این وسیله بتوان ابعاد المان‌ها را کاهش داد. روش دوم استفاده از دیوار برشی همراه با قاب خمشی به عنوان یک سیستم دوگانه و یا بکارگیری ابزارهای اتلاف انرژی زلزله همچون میراگرها می‌باشد. که در این کار تحقیقاتی به منظور کاهش وزن المان‌های سازه و نیز اثر نیروی زلزله بر سازه از میراگر مایع تنظیم‌شده (Tuned Liquid Damper) در قاب خمشی بتنی بهره گرفته شده است.

میراگر سیال تنظیم‌شونده تنظیم شده (TLD) یک روش برای کنترل غیرفعال ارتعاشات سازه‌ها می‌باشد که در آن از نوسانات و تلاطم آب در یک محفظه برای کنترل ارتعاشات سازه استفاده می‌شود. سیستم‌های (TLD) برای طراحی بهینه باید بر اساس فرکانس مود اول سازه تنظیم شوند؛ بنابراین مشخصات میراگر نظیر ابعاد محفظه و عمق آب داخل آن باید بگونه‌ای تنظیم شوند که فرکانس تلاطم مایع درون میراگر با فرکانس ارتعاش سازه هماهنگ شود. در شکل ۱ نمونه‌ای از یک سازه مجهز به این نوع میراگر نشان داده شده است.



شکل ۱- برج مسکونی One Rincon Hill (سانفرانسیسکو) مجهز به سیستم TLD (صوری، ۱۳۸۰)

سیستم TLD بعنوان یک روش کنترل غیرفعال برای اولین بار در سال ۱۹۰۹ به صورت دو مخزن که تا نیمه از آب پر شده بودند در یک کشتی مورد استفاده قرار گرفت [۲]. در سال ۱۹۸۹ به پیشنهاد Sakai و همکاران [۳] از سیستم مایع تنظیم‌شده بعنوان کنترل‌کننده نوسان در پل‌های کابلی استفاده شد. در سال‌های بعد سیستم TLD بعنوان یک میراکننده نوسان، در ماهواره‌ها و فضاییماها مورد مطالعه قرار داده شد. این میراگرهای TLD که به میراگرهای متغیر نیز معروف شدند،

بصورت یک حلقه پر از مایع به دور ماهواره‌ها و فضاییماها قرار می‌گرفتند تا چرخش ماهواره حول محور استوانه‌ای را کاهش دهند [۴]. به عنوان اولین کاربردهای میراگر مایع تنظیم‌شده در سازه‌های رویخشکی می‌توان به مطالعه Fujino و همکاران [۵] در سال ۱۹۹۲ اشاره نمود که از میراگر سیال تنظیم‌شونده تنظیم‌شده با اشکال مختلف هندسی همچون مکعب، استوانه و مخروط استفاده گردید. در ادامه Casciati و همکاران [۶] در سال ۲۰۰۳ از یک مخزن به شکل مخروط ناقص بعنوان TLD استفاده نمودند. همچنین تأثیر میراگر مایع ستونی تنظیم‌شده در اشکال U و V برای کنترل سازه‌ای و پارامترهای بهینه برای طراحی این نوع میراگر جهت حداکثر کاهش پاسخ سازه به تحریک هارمونیک توسط Gao و همکاران [۷] در سال ۱۹۸۷ مورد مطالعه قرار گرفت. در سال‌های بعد جهت تعیین تحریک تصادفی ناشی از امواج صوتی پارامترهای بهینه مشابهی برای میراگر سیال تنظیم‌شونده ستونی تنظیم‌شده در نظر گرفته شد [۸]. همچنین استفاده از میراگر سیال تنظیم‌شونده تنظیم‌شده با کف مخزن شیب‌دار توسط Olson و همکاران [۹] در سال ۲۰۰۱ مورد مطالعه قرار داده شد.

استفاده از چند میراگر مایع هماهنگ شده (MTLD) بدون استفاده از

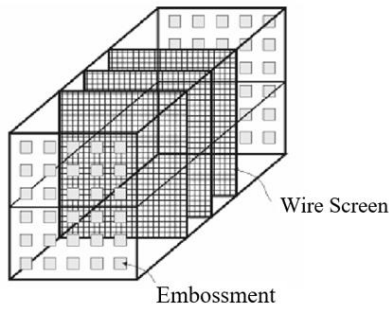
شبکه سیمی میانی به منظور کنترل پاسخ لرزهای سازه‌های بلند در سال ۲۰۰۴ توسط Li و همکاران [۱۰] مورد مطالعه قرار گرفت. میزان توانایی و تأثیر TLD در کاهش پاسخ سازه به عوامل متعددی از جمله اندازه TLD، نسبت جرم مخزن به جرم سازه، عمق مخزن، لزجت سینماتیکی مایع استفاده شده، شدت تحریک ایجاد شده در مخزن

و زبری کف مخزن بستگی دارد [۱۱]. با کاهش نسبت عمق مایع به طول مخزن، جرم مود اول نوسانات مایع درون مخزن به سمت جرم کل مایع درون مخزن میل می‌کند و استهلاک انرژی ناشی از بکارگیری TLD افزایش می‌یابد ولی از طرفی پدیده شکست امواج در مخازن با عمق کم حتی برای تحریکات کوچک نیز امکان‌پذیر است و این مسئله مهم‌ترین محدودیت برای استفاده از مخازن کم عمق برای کنترل ارتعاشات سازه‌هاست.

اصول حاکم بر حرکات نوسانی که باعث کاهش لرزش‌های سازه می‌شود بخصوص برای لرزش‌های شدید که با شکست امواج مایع درون مخزن همراه است، هنوز بصورت کامل شناخته نشده است و استفاده از تکنیک TLD همواره با ساده‌سازی‌هایی در طراحی همراه بوده است که این مسئله باعث شده مهندسين طراح تا حد زیادی در استفاده کارآمدتر از TLD دچار محدودیت شوند. بررسی رفتار TLDها بصورت آزمایشگاهی و عددی و بخصوص رفتار این سیستم‌ها در لرزه‌های شدید و رفتار مایع در درون خود مخزن همواره مورد توجه محققان قرار داشته و در محدوده وسیعی از فرکانس و شدت تحریک نقش آن در استهلاک انرژی مورد مطالعه قرار گرفته است [۱۲].

در این مقاله اثر بکارگیری میراگر (TLD) در رفتار لرزهای قاب خمشی بتن آرمه ۵ و ۱۰ و ۱۵ طبقه بررسی شده است.

## ۲-روش تحقیق و مدلسازی



شکل ۳- نحوه قرارگیری شبکه سیمی میانی در داخل مخزن [۲]

تفاوت میرایی موجود و میرایی مورد نیاز را می‌توان با افزایش لزجت سیال و یا کاهش ارتفاع آب جبران کرد ولی در عمل چنین کاری امکان پذیر نیست چون کاهش بیش از حد عمق مخزن تنها با استفاده از تعداد زیادی مخزن برای تأمین جرم مورد نیاز TLD امکان پذیر است و فضای زیادی مورد نیاز خواهد بود ضمن اینکه خصوصیات غیرخطی نوسانات آب درون TLD با کاهش نسبت ارتفاع آب به طول مخزن ( $h/L$ ) افزایش می‌یابد و باعث می‌شود شکست امواج در تحریکات خفیف‌تری اتفاق بیفتد. مقدار لزجت آب نیز ثابت است و در صورت استفاده از سیال دیگری با لزجت بالا مخزن ذخیره آب ساختمان قابل استفاده نخواهد بود و علاوه بر تحمیل هزینه‌های اضافی جرم سازه نیز افزایش می‌یابد. وجود شبکه‌های سیمی میانی، شکل ۳ در درون مخزن پاسخ دینامیکی آن را تغییر می‌دهد. آزمایش‌ها نشان داده است که با وجود این شبکه‌ها رفتار سخت شدگی فنری در سیال همچنان وجود دارد [۲]. البته باید توجه کرد که مدهای دیگر نوسانات آب غیر از مود اصلی در مقادیر فرکانسی چند برابر کمتر از فرکانس محاسباتی خود، تحریک می‌شوند و ممکن است در محدوده‌ای نزدیک به فرکانس مود اول نیز این مدها به میزان قابل ملاحظه‌ای تحریک شده و بنابراین با افزایش شدت تحریک مدهای بالاتر نوسانات آب سهم بیشتری در امواج ایجاد شده خواهند داشت [۱۴]. افزایش میرایی ایجاد شده با صفحات میرا کننده باعث کاهش شدت دامنه پاسخ نوسانی آب می‌شود و عبارتی رفتار غیرخطی نوسانات آب و همچنین اثرات مدهای بالاتر نوسان نیز کمتر می‌شود.

## ۲-۱- مدل‌سازی قاب خمشی بتنی

در ابتدا به کمک نرم‌افزار ETABS ابعاد منطقی و مناسب مقاطع المان‌های سازه‌ای طراحی و با کلیه ضوابط آیین‌نامه‌ای کنترل گردیده سپس مقادیر بدست آمده در نرم‌افزار اجزای محدود مدل‌سازی شده است. به منظور ارزیابی عملکرد سیستم میراگر TLD در ساختمان‌های بلند مرتبه، یک ساختمان ۱۵ طبقه بتنی به صورت دوبعدی و با تغییر موقعیت قرارگیری میراگر TLD در طبقات در نرم‌افزار اجزای محدود (ANSYS) مدل‌سازی و تحلیل دینامیکی غیرخطی بر روی آن انجام شده است.

## میرایی TLD ( $\xi_{TLD}$ ) از جمله عوامل مؤثر بر کارایی TLD

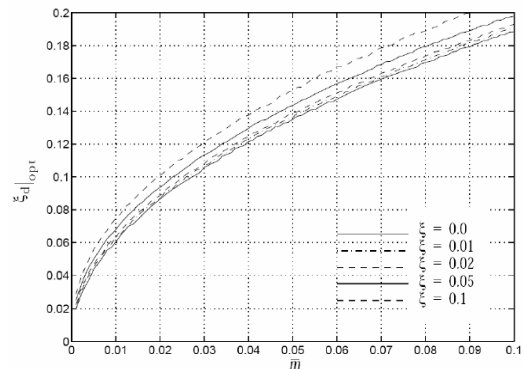
می‌باشد ولی متأسفانه میرایی داخلی مایع در حال نوسان از مقدار مورد نیاز برای کنترل ارتعاشات سازه‌ها در تحریکات شدید خیلی کمتر است و استفاده از شبکه‌های میانی روش مناسبی برای جلوگیری از حرکات سریع آب درون مخزن و ایجاد شکست امواج است که به میزان قابل توجهی میرایی درون مخزن آب در حال نوسان را افزایش می‌دهد. در دو سیستم TLD و TMD (میرایی جرمی) به دلیل اختلاف فاز نوسانات سیستم کنترلی نسبت به تحریک اعمال شده، انرژی مستهلک می‌شود و میزان انرژی مستهلک شده به خصوصیات جرم و فرکانس سیستم کنترلی وابسته است، میزان میرایی بهینه مورد نیاز میراگر جرمی تنظیم شده TMD بصورت تابعی از نسبت جرم TMD به جرم سازه، بصورت شکل ۲ است که با توجه به شباهت‌های TMD و TLD می‌توان برای محاسبه میرایی مورد نیاز TLD نیز بصورت تقریبی از آن استفاده کرد [۵]. این مقدار برای سیستم‌های یک درجه آزادی نامیرا بصورت زیر به دست آمده است:

$$\xi_{opt} = \sqrt{\frac{\mu(1+3\mu/4)}{4(1+\mu)(1+\mu/2)}} \quad (1)$$

که در آن  $\mu$  نسبت جرمی TMD به سیستم یک درجه آزاد است [۱۳]. در TLDها قسمت عمده میرایی داخلی مخزن ناشی از لزجت در لایه‌های مرزی سیال و جداره‌ها و سطح آزاد سیال است که بر اساس نظریه امواج خطی برای مخزن مستطیلی بدون صفحات میرا کننده، از رابطه (۲) به دست می‌آید [۲].

$$\xi_{TLD} = \frac{1}{2h} \sqrt{\frac{v_w}{\pi f_w}} \left[ 1 + \frac{h}{b} \right] \quad (2)$$

در این رابطه فوق  $v_w$  لزجت سینماتیکی آب،  $h$  ارتفاع آب،  $b$  عرض مخزن و  $f_w$  فرکانس نوسانات آب است. با توجه به رابطه (۲) میرایی مخزن بدون صفحات میرا کننده میانی برای مخزن مستطیلی معمولاً در حدود ۱۰٪ میرایی بهینه مورد نیاز است [۸].

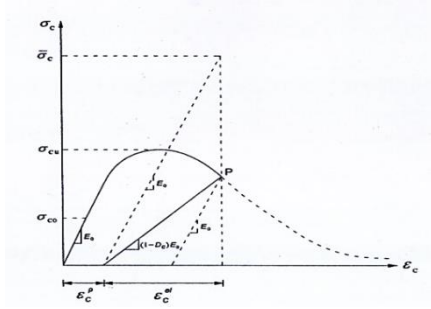


شکل ۲- میرایی بهینه مورد نیاز در میراگرهای جرمی هماهنگ شده

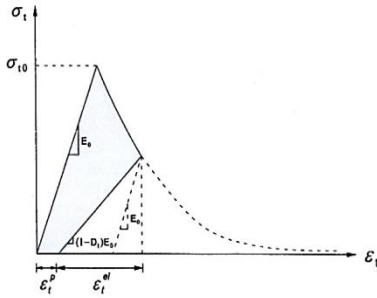
[۵]

۲-۲- انتخاب نوع المان

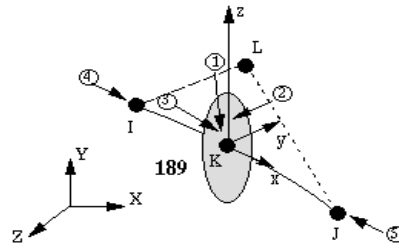
به منظور مدل کردن المان‌های سازه‌ای شامل تیرها و ستون‌ها در قاب خمشی بتنی از المان 189 بهره گرفته شده است. این المان یک المان خطی است که برای مدل کردن سازه‌ها با رفتار خطی و غیرخطی مناسب است. این المان دو گره‌ی است که هر گره دارای ۶ درجه آزادی است. این المان دارای قابلیت در نظر گرفتن پلاستیسیته، خزش و تغییر شکل‌های بزرگ می‌باشد و همچنین قابلیت انتقال برش را نیز دارا می‌باشد.



شکل ۶- نمودار رفتار بتن در فشار خالص



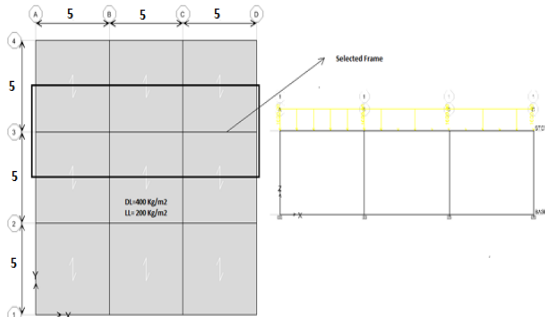
شکل ۷- نمودار رفتار بتن در کشش خالص



شکل ۴- المان 189

۲-۳- مشخصات مخزن TLD

در این مقاله مخزن به صورت بتنی سرباز بوده که ابعاد آن به صورت زیر در نظر گرفته شده است: طول مخزن ۵ متر، سطح بارگیر مطابق پلان نشان داده شده در شکل ۵ برای قاب مورد بررسی برابر ۵ متر و ارتفاع مخزن ۳ متر بوده که فرض شده میزان آب موجود در آن به ارتفاع ۲ متر باشد.



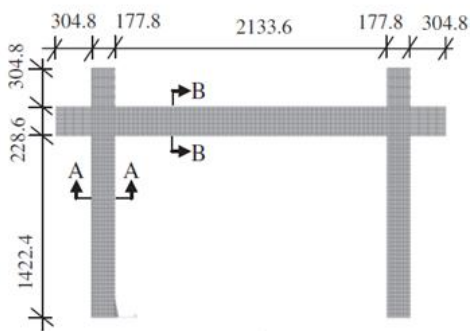
شکل ۵- انتخاب قاب دو بعدی

۲-۴- رفتار مصالح

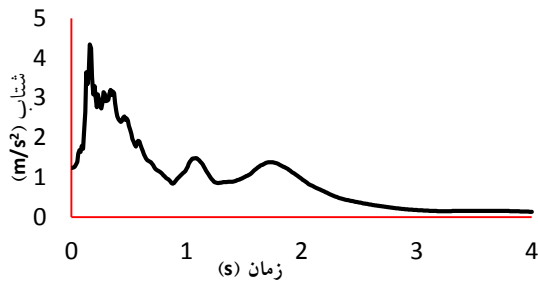
به منظور بررسی بهتر مدل در نرم‌افزار اجزای محدود، نمودار تنش - کرنش بتن به صورت غیرخطی در حالت کشش و فشار معرفی شده است. شکل ۶ نمودار رفتار بتن در فشار خالص و شکل ۷ نمودار رفتار بتن در کشش خالص را نشان می‌دهد.

۲-۵- صحت‌سنجی

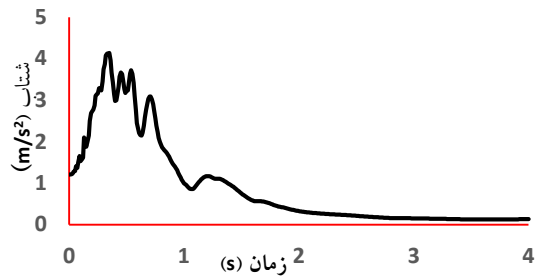
برای اطمینان از نتایج حاصله از نرم‌افزار انسیس یک نمونه از سیستم قاب خمشی بتنی از مقاله علیرضا محی‌الدین و همکاران [۱۴] انتخاب شده و با مدلسازی نمونه آزمایشگاهی به مقایسه نتایج پرداخته شده است. در نمودار مقایسه‌ای شاهد تطابق بالایی نتایج عددی و آزمایشگاهی هستیم. در شکل ۸ مقایسه نتایج نشان می‌دهد که مدلسازی انسیس از دقت قابل قبولی برخوردار می‌باشد. در این آزمایش صورت گرفته پایه‌ها با اتصال صلب به دیافراگم آزمایشگاه متصل شده است و برای اعمال بارگذاری لرزه‌ای با استفاده از جک هیدرولیکی در بالای ستون در نقطه اتصال تیر به ستون جابجایی اعمال شده است.



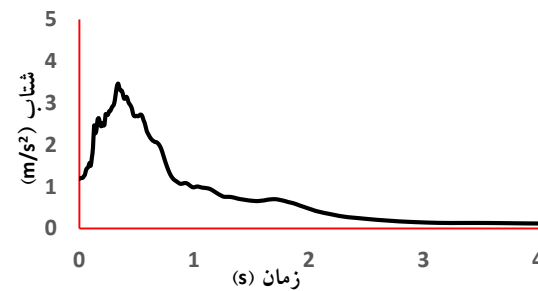
شکل ۸- مشخصات هندسی نمونه مدل آزمایشگاهی محی‌الدین و همکاران



شکل ۱۲- طیف پاسخ شتاب زلزله کوبه ترکیب شده به روش SRSS

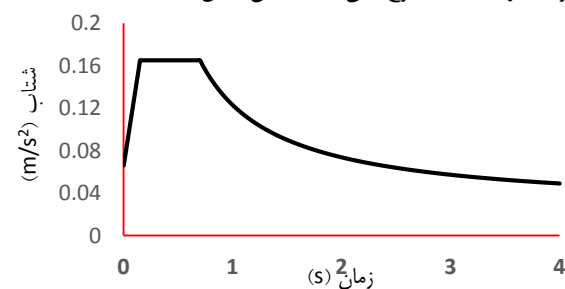


شکل ۱۳- طیف پاسخ شتاب زلزله طبس ترکیب شده به روش SRSS

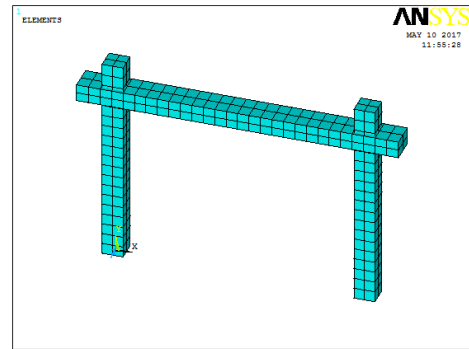


شکل ۱۴- طیف پاسخ میانگین شتاب مربوط به سه زوج شتاب‌نگاشت (چی‌چی، کوبه و طبس)

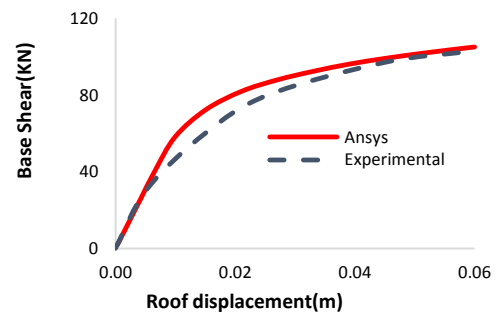
برای بدست آوردن طیف آیین‌نامه ابتدا ضریب بازتاب سازه را مطابق با نوع خاک منطقه از آیین‌نامه ۲۸۰۰ بدست آمده است. با توجه به مشخصات ساختمان مورد نظر که در شهر کرمانشاه و بر روی خاک تیپ ۳ واقع شده، مقدار شتاب مبنای طرح ۰/۳ بوده و مقادیر ضریب اهمیت و ضریب نامعینی سازه برابر یک فرض شده است. با استفاده از ضریب بازتاب طیف طرح آیین‌نامه مطابق شکل ۱۲ بدست آمده است.



شکل ۱۵- طیف طرح استاندارد خاک تیپ ۳ در شهر کرمانشاه



شکل ۹- مدل‌سازی نمونه آزمایشگاهی در نرم‌افزار

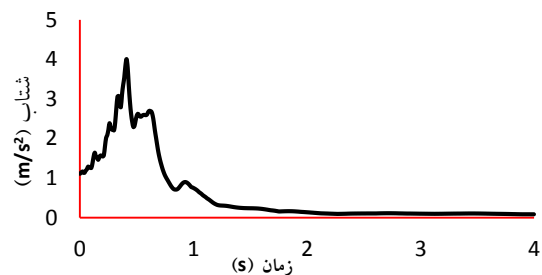


شکل ۱۰- مقایسه نتایج مدل آزمایشگاهی و المان محدود

با توجه به نمودار مقایسه‌ای حاصله از تحلیل عددی انجام شده تحقیق حاضر و نتایج آزمایشگاهی مشاهده می‌شود که سختی اولیه سیستم کاملاً برهم منطبق است که نشان از عملکرد سازه در فاز خطی کاملاً انطباق دارد. همچنین با مقایسه نتایج مشاهده می‌شود که مقادیر جذب انرژی و مقاومت نهایی سازه تفاوت بسیار کمی داشته لذا می‌توان نتیجه‌گیری کرد که مدل‌سازی به صورت صحیح انجام شده است.

## ۲-۶- بارگذاری

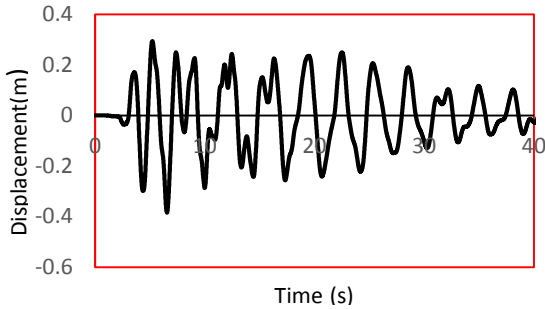
به منظور انجام تحلیل دینامیکی، در بارگذاری وارد شده از نمودار شتاب‌نگاشت سه زلزله چی‌چی، کوبه و طبس استفاده شده که با استفاده از روش SRSS مطابق آیین‌نامه ۲۸۰۰ برای هر رکورد زلزله زوج شتاب‌نگاشت‌ها در دو جهت متعامد با یکدیگر ترکیب و یک شتاب‌نگاشت واحد استخراج شده است.



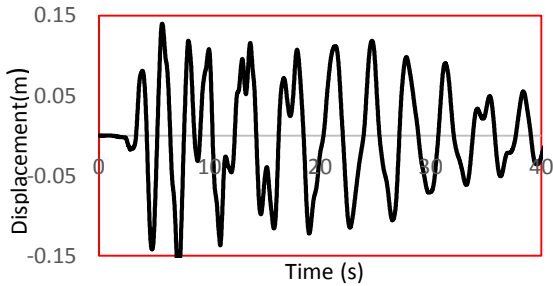
شکل ۱۱- طیف پاسخ شتاب زلزله چی‌چی ترکیب شده به روش SRSS

۱-۳- نتایج رفتار لرزه‌ای سازه ۱۵ طبقه

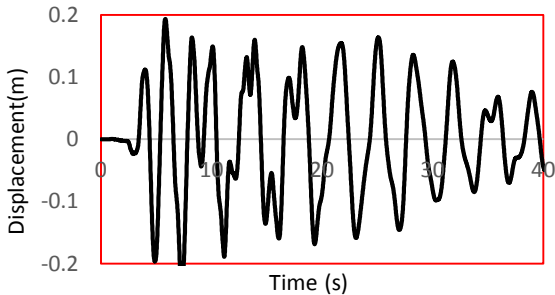
در ادامه نمودارهای تاریخچه زمانی برای سازه ۱۵ طبقه نشان داده شده است.



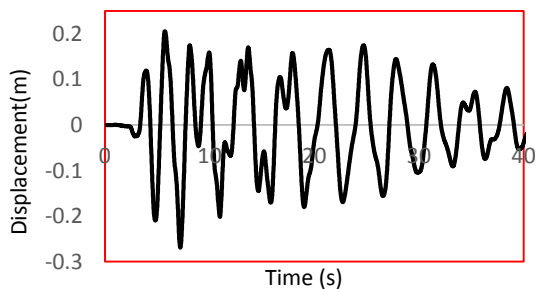
شکل ۱۸- نمودار جابجایی بام در مدل بدون میراگر



شکل ۱۹- نمودار جابجایی بام در مدل میراگر در طبقه ۱۵

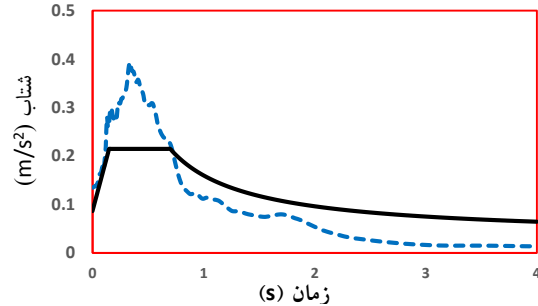


شکل ۲۰- نمودار جابجایی بام در مدل میراگر در طبقه ۱۰



شکل ۲۱- نمودار جابجایی بام در مدل میراگر در طبقه ۵

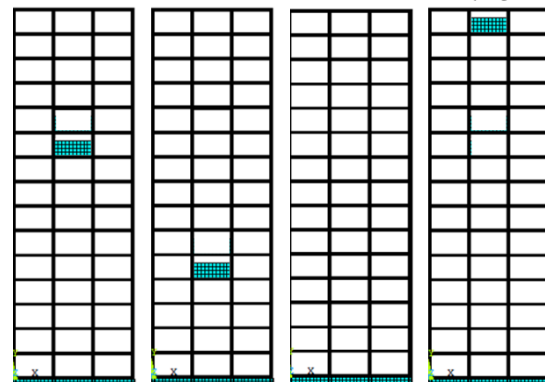
مطابق با آیین‌نامه ۲۸۰۰ ویرایش ۴ بند ۲-۵-۳-۳ می‌بایست ضریب مقیاسی پیدا شود که با اعمال آن در مقدار متوسط طیف، جذر مجموع مربعات مقدار این طیف در محدوده  $0.2T$  الی  $1/4T$  از  $1/3$  برابر مقادیر متناظر طیف طرح استاندارد کمتر نشود. شکل ۱۶ مقایسه طیف طرح بدست آمده را با طیف طرح استاندارد نمایش می‌دهد.



شکل ۱۶- دستیابی به شرط آیین‌نامه برای ضریب مقیاس دوم (ویرایش ۴ آیین‌نامه ۲۸۰۰)

۳- نتایج تحلیل

اثر بکارگیری میراگر (TLD) در رفتار لرزه‌ای قاب خمشی بتن آرمه مورد بحث و بررسی قرار گیرد. به منظور مقایسه عملکرد سیستم فوق در بین ساختمان‌های کوتاه، متوسط و بلند سعی شده از مدل‌سازی دو بعدی سه تپ سازه به صورت ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه همراه با میراگر (TLD) و تغییر موقعیت آن در طبقات مختلف قاب خمشی بتنی در نرم‌افزار اجزای محدود (ANSYS) استفاده و به صورت دینامیکی غیرخطی مورد تحلیل قرار داده شده است.



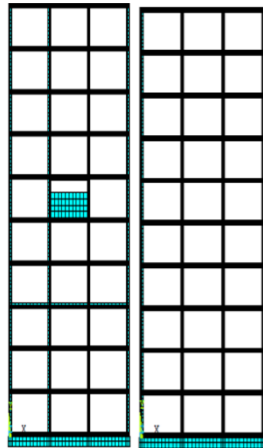
الف) میراگر در طبقه ۱۵ (ب) بدون میراگر (ج) میراگر در طبقه ۵ (د) میراگر در طبقه ۱۰

شکل ۱۷- مدل سازه ۱۵ طبقه همراه با میراگر سیال در طبقات مختلف و نیز مدل عدم وجود میراگر در نرم افزار Ansys

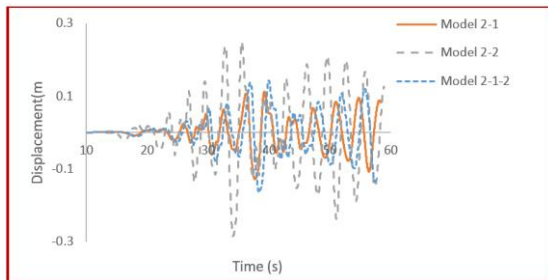
همانگونه که در شکل‌های ۲۳ و ۲۴ مشاهده می‌شود با استفاده از میراگر میزان تنش ماکزیمم در اعضا کاهش یافته است. نتیجه اینکه استفاده از میراگر در سازه ۱۵ طبقه مناسب می‌باشد.

**۲-۳- نتایج رفتار لرزه‌ای سازه ۱۰ طبقه**

در ادامه نمودارهای تاریخچه زمانی برای سازه ۱۰ طبقه سازه نشان داده شده است.

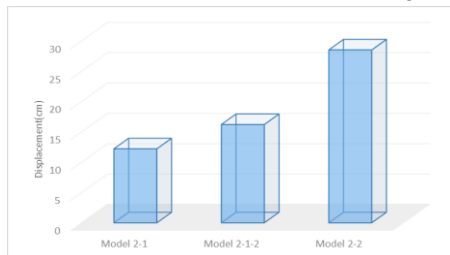


شکل ۲۵- مدل‌سازی مدل سازه ده طبقه بدون وجود میراگر



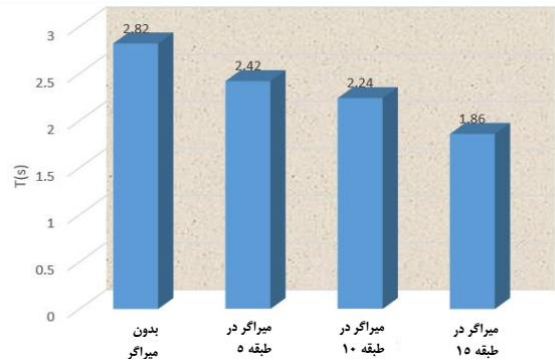
شکل ۲۶: نمودار تاریخچه زمانی جابجایی بام در سازه ۱۰ طبقه  
 Model 2-1 وجود میراگر در طبقه ۱۰  
 Model 2-1-2 وجود میراگر در طبقه ۵  
 Model 2-2 عدم استفاده از میراگر در طبقات

باتوجه به نمودار شکل ۲۶ مشاهده می‌شود که با بررسی سازه ده طبقه استفاده از میراگر سیال تنظیم‌شونده در طبقه دهم باعث کاهش جابجایی بام سازه را تا حدود ۵۰ درصد میشود. قرار دادن میراگر سیال تنظیم‌شونده در طبقه پنجم باعث می‌شود که جابجایی سازه را تا ۳۳ درصد کاهش یابد.



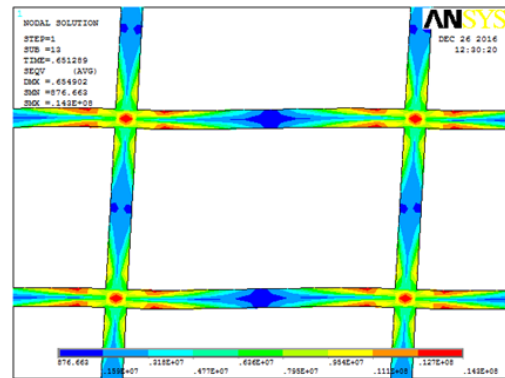
شکل ۲۷- نمودار میله‌ای مقایسه‌ای جابجایی بام سازه ده طبقه

با بررسی سازه پانزده طبقه با استفاده از میراگر سیال تنظیم‌شونده در طبقه ۱۵ میتوان جابجایی بام سازه را تا ۵۳ درصد کاهش داد. همچنین با استفاده از میراگر سیال تنظیم‌شونده در طبقه دهم میزان جابجایی تا ۱۷ درصد و با قراردادن همین میراگر در طبقه پنجم میزان جابجایی بام تا ۱۰/۵ درصد کاهش خواهد داشت.

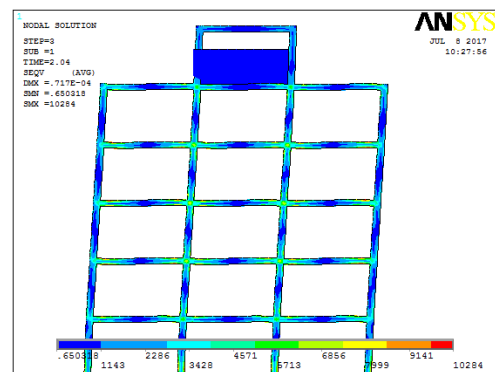


شکل ۲۲- نمودار میله‌ای مقایسه‌ای جابجایی بام سازه پانزده طبقه در مدل‌های در نظر گرفته شده

با توجه به مراحل شروع و توالی تسلیم سازه پانزده طبقه مشاهده می‌شود که شروع تسلیم از اتصالات سازه شروع شده و به تدریج به تیرها و سپس ستون‌ها منتقل شده و در نهایت کل سازه تسلیم شده است.



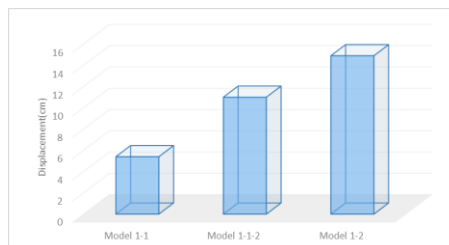
شکل ۲۳- مراحل شروع و توالی تسلیم در سازه پانزده طبقه بدون وجود میراگر مایع



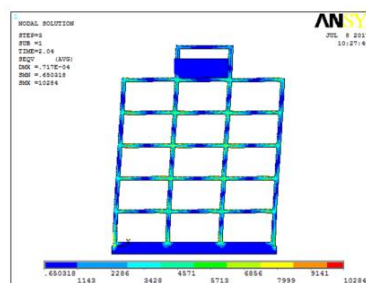
شکل ۲۴- مراحل شروع و توالی تسلیم در سازه پانزده طبقه با وجود میراگر مایع

### ۳-۳- نتایج رفتار لرزه‌ای سازه ۵ طبقه

با توجه به شکل ۲۸ مشاهده می‌شود که با بررسی سازه پنج طبقه استفاده از میراگر سیال تنظیم‌شونده در طبقه پنجم باعث کاهش جابجایی بام سازه را تا ۶۴ درصد می‌شود. همچنین استفاده از میراگر سیال تنظیم‌شونده در طبقه سوم جابجایی سازه را تا ۲۶ درصد کاهش می‌یابد.



شکل ۲۸- نمودار میله‌ای مقایسه‌ای جابجایی بام سازه پنج طبقه



شکل ۲۹- تغییر شکل سازه ۵ طبقه با میراگر

طبقه پنجم سازه تا حدود ۴۵ تناوب درصد افزایش می‌یابد. همچنین در حالت بار میراگر در طبقه سوم دوره تناوب حدود ۱۶ درصد افزایش می‌یابد. در تحلیل بدون میراگر مایع تنظیم‌شونده دوره تناوب سازه ۱۰ طبقه برابر ۱/۱ ثانیه بدست آمد، با افزودن میراگر به طبقه دهم سازه تا مقدار ۵۸ درصد تناوب افزایش نشان می‌دهد. با تغییر موقعیت میراگر به طبقه پنجم دوره تناوب حدود ۳۸ درصد به نسبت مدل بدون میراگر افزایش می‌یابد. در حالت بدون میراگر تناوب سازه ۱۵ طبقه برابر ۱/۷ ثانیه می‌باشد که با وجود میراگر در طبقه پانزدهم سازه تا حدود ۵۳ تناوب درصد افزایش می‌یابد. همچنین در حالت با میراگر در طبقه دهم دوره تناوب حدود ۱۰/۵ درصد افزایش می‌یابد.

بعنوان نتیجه‌گیری کلی، می‌توان چنین جمع‌بندی نمود که وجود میراگر مایع در طبقات مختلف علاوه بر کاهش چشمگیر جابجایی بام، باعث افزایش قابل توجه دوره تناوب سازه نیز می‌گردد. مکان بهینه برای قرارگیری میراگر، طبقات فوقانی سازه بوده به نحوی که هر چه میراگر مایع در طبقات بالاتر قرار داشته باشد سبب بهبود عملکرد رفتار لرزه‌ای سازه خواهد شد.

### مراجع

- [۱] صبوری، سعید. پاییز (۱۳۸۰). "سیستم‌های مقاوم در برابر بارهای جانبی، مقدمه‌ای بر دیوارهای برشی فولادی". انتشارات انگیزه.
- [2] Den Hartog, J.P. (1956), Mechanical vibration, 4th Edition, McGraw-Hill, New York, US.
- [3] Sakai, F., Takaeda, S., Tamaki, T. (1989), Tuned liquid column damper; new type device suppression building vibrations, International Conference on High-Rise Buildings, Nanjing, China.
- [4] Carrier, G.F., Miles, J.W. (1960), On the annular damper for a freely precessing gyroscope, Journal of Applied Mechanics, Vol. 27, 237-240.
- [5] Fujino, Y., Sun, L.M. (1992), Tuned liquid dampers (TLD) for suppressing horizontal motion of structures, ASCE Journal of Engineering Mechanics, Vol. 118, No. 10, 2017-2030.
- [6] Casciati, F., De Stefano, F., Matta, E. (2003), Simulating a conical tuned liquid damper, Simulation Modeling Practice and Theory, Vol. 11, 353-370
- [7] Gao, H., Kwok, K.C.S. (1987), Optimization of tuned liquid column dampers, Engineering Structures, Vol. 19, No. 6, 476-486.
- [8] Yalla, S.K., Kareem A. (2000), Optimum absorber parameters for tuned liquid column dampers, ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 125, No. 8, 906-915.
- [9] Olson, D.E., Reed, D.A. (2001), A nonlinear numerical model for sloped-bottom tuned liquid dampers, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 30, 731-743.
- [10] Li, S.J., Tang, j., and Li, Q.S, (2002). "Shallow Rectangular TLD for Structural Control Implementation," Applied Acoustics, Vol. 63, Issue 10, pp. 1125-1135.
- [11] Sun, L. M., and Fujino. Y. (1994), "A Semi-Analytical Model for Tuned Liquid Damper (TLD)

با توجه به مراحل شروع و توالی تسلیم سازه پنج طبقه مشاهده می‌شود که شروع تسلیم از اتصالات سازه شروع و به تدریج به تیرها و سپس ستون‌ها منتقل و در نهایت کل سازه تسلیم شده است. همچنین با توجه به توالی تسلیم اعضاء لزوم دقت بیشتر به چشمه اتصال سازه به صورت کامل احساس می‌شود.

### ۴- بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله تاثیر میراگر مایع تنظیم‌شونده بر رفتار سازه‌های ۵ و ۱۰ طبقه با سیستم باربر قاب خمشی بتنی بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که در سازه‌های مختلف مورد بررسی، میراگر باعث کاهش جابجایی بام و بهبود رفتار سازه می‌گردد. بطوریکه با قرار دادن میراگر در سازه ۵ طبقه در بالاترین طبقه می‌توان جابجایی بام سازه را تا ۶۴ درصد کاهش داد. با قرار دادن میراگر در طبقه سوم در همین ساختمان میزان جابجایی بام تا ۲۶ درصد کاهش می‌یابد. در سازه ۱۰ طبقه وجود میراگر در بام باعث کاهش جابجایی ۵۰ درصدی سازه می‌گردد. وجود میراگر در طبقه ۵ در همین سازه جابجایی بام را تا ۳۳ درصد کاهش می‌دهد. همچنین نتایج بررسی در سازه ۱۵ طبقه نشان می‌دهد وجود میراگر در طبقات ۱۵ و ۱۰ و ۵ به صورت مجزا، جابجایی بام را به ترتیب به میزان ۵۳، ۱۷ و ۱۰/۵ درصد کاهش خواهد داد.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که وجود میراگر باعث تغییر رفتار سازه و خصوصیات دینامیکی سازه می‌گردد. وجود میراگر میتواند دوره تناوب سازه را تغییر می‌دهد. در حالت بدون وجود میراگر مایع تنظیم‌شونده تناوب سازه ۵ طبقه برابر ۰/۵۳ می‌باشد که با وجود میراگر در



with Wave Breaking,” *Fluids and Structures*, Vol. 8, No. 5, pp. 471-488.

[12] Sadek, F., and Mohraz, B. (1998), “Single and Multiple Tuned Liquid Column Dampers for Seismic Applications,” *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 27, pp. 439-463.

[12] Warburton, G. B. (1980), “Optimum Absorbers for Simple Systems,” *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 8, pp. 197-217.

[13] Olson, D.E., Reed, D.A. (2001), A nonlinear numerical model for sloped-bottom tuned liquid dampers, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 30, 731-743.

[14] Mohyeddin, Alireza. , Helen M. Goldsworthy, Emad F. Gad, (2013), “FE modelling of RC frames with masonry infill panels under in-plane and out-of-plane loading”, *Engineering Structures* 51, 73–87.

## Improve seismic performance of Concrete Moment Frame Structures using TLD damper

Ali Sarmad

Department of civil engineering, Eslamabad-E- Gharb Branch, Islamic Azad University, Eslamabad-E-Gharb, Iran.

Mehrdad Movahednia\*

Department of civil engineering, Eslamabad-E- Gharb Branch, Islamic Azad University, Eslamabad-E-Gharb, Iran.

### Abstract:

In this paper, the effect of using a (TLD) damper on the seismic behavior of the Concrete Moment Frame Structures is investigated. Modeling ANSYS software is done. Modeling with structural elements including beams and columns in a concrete framing frame of Beam 189 and a nonlinear dynamic analysis was used. The seismic behavior of the structures was investigated under the earthquakes of Kobe, Chichi and Tabas. The TLD Damper in the 5, 10 and 15 buildings were compared and compared. The effect of different damper positions on different structures of the structures was investigated. The effect of different damper positions on different structures of the structures was investigated. Using of a damper can cause plastic joint failure in the joints. It was also found that depression position is an effective parameter on the seismic behavior of the studied structures. For the 15th floor structure, the use of a damper on the fifth floor of the structure reduces the roof structure displacement by 10.5, in the fifth floor, 17 percent, and 53 percent in the fifth floor. In the structure of the ten floors of the dam, it reduces the displacement of the roof structure by 50%. In the 10-story structure, the dampers in the 5-day delay reduce the roof's displacement by 33%. In the five-story structure, the use of a barrier on the 5th floor decreases the roof by 64%, and the position of the damper on the third floor leads to a 26% decrease in the structure's roof.

**Keywords:** TLD Damper, Concrete Moment Frame, Building height, Nonlinear Dynamic Analysis