Journal of Structural and Construction Engineering, 8(2), 2021, pp. 87-105

Journal of Structural and Construction Engineering

www.jsce.ir

Evaluation of effect of tuned liquid dampers and modified tuned liquid dampers on seismic response of steel moment resisting frames

Nader Hoveidae[*1], Meysam Mirzapoor[2], Nazila Kardan[3]

1- Assistant professor, Faculty of Technology and Engineering, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran
2 Azarbaijan Shahid Madani University
3 Department of Civil Engineering, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran

ABSTRACT

Severe damages of structures during large earthquakes and the loss of national wealth has made it extremely important to reduce the vibrations of structures against wind and earthquake. One of the efficient ways to reduce these vibrations, is to use the tuned liquid damper (TLD). The tuned liquid damper is the passive control system of the structure, which is made up of several fluid-containing reservoirs placed at the highest point of the building. The vibrational energy entangled to the structure is dissipated due to the turbulence of the liquid inside tanks. This system is used to control the vibrations of structures that have one or more degrees of freedom. In this research, the modified passive structural control system is used for checking the effects of the volumetric tuned liquid damper out and its results are compared with the traditional one. In this regard, three buildings including 4, 8 and 20 story moment resisting frames with three different mass ratio of 1, 2 and 3 percent were designed in ETABS software. Finally, Pushover analysis and nonlinear time history analyses were conducted in OPENSEES software results of the analysis show that the use of these dampers greatly reduces the peak drifts and peak residual drift demands of structures. On the other hand, the ability of the modified tuned liquid damper (MTLD) to reduce the residual and inter-story drift is greater in comparison to TLD

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

ARTICLE INFO

Receive Date: 07 January 2019
Revise Date: 02 May 2021
Accept Date: 23 April 2019

Keywords:
Tuned Liquid Damper, Modified Tuned Liquid Damper, Vibration Reduction, Pushover Analysis, Time History Analysis

doi: 10.22065/JSCE.2019.165876.1756

*Corresponding author: Nader Hoveidae
Email address: hoveidaei@azaruniv.ac.ir

نشریه مهندسی سازه و ساخت
(علمی - پژوهشی)
www.jsce.ir

ارزیابی اثر میراگرهای مایع تنظیم شده(TLD) و تنظیم شده‌ی اصلاحی(MTLD) بر رفتار لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی

نادر هویدایی[1*]، میثم میرزاپور[2]، نازیلا کاردان[3]

۱- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان

۳- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان

چکیده

آسیب دیدن سازه ها در مقابل زلزله های بزرگ و از دست رفتن ثروت های ملی موجب گردیده است که کاهش ارتعاشات سازه ها در مقابل باد و زلزله از اهمیت ویژه ای برخوردار باشد. یکی از روش های موثر برای کاهش این ارتعاشات استفاده از سیستم میراگر مایع تنظیم شده می باشد. میراگر مایع تنظیم شده سیستم کنترل غیر فعال سازه می باشد که از تعدادی مخازن حاوی سیال تشکیل شده و در بالاترین نقطه ساختمان قرار داده می شود. انرژی ارتعاشی وارده به سازه از طریق تلاطم مایع درون مخازن مستهلک می گردد. این سیستم برای کنترل ارتعاشات سازه هایی که به صورت سیستم یک یا چند درجه آزادی هستند به کار گرفته شده است. در پژوهش حاضر از نوع اصلاح شده ی سیستم کنترل غیر فعال سازه ای برای بررثرات میراگر مایع حجمی تنظیم شونده استفاده شده و نتایج آن با داده‌های موجود برای نوع سنتی مقایسه گردیده است. در این راستا سه ساختمان ۴، ۸ و ۲۰ طبقه با سه نسبت جرمی میراگر ۱، ۲ و ۳ درصد در نرم افزار ETABS طراحی شدند. در نهایت تحلیل های استاتیکی بار افزون (Pushover) و تاریخچه زمانی بر روی آنها در نرم افزار OPENSEES انجام شده است. نتایج تحلیل ها نشان می دهد که استفاده از این میراگرها جابه جایی پسماند سازه های با سیستم قاب خمشی را تا حد زیادی کاهش می دهد. همچنین عملکرد میراگر مایع تنظیم شده ی اصلاحی در مقایسه با نوع سنتی خود به لحاظ کاهش پاسخ سازه مطلوب تر می باشد.

کلمات کلیدی: میراگر مایع تنظیم شده، میراگر مایع تنظیم شونده ی اصلاحی، کاهش ارتعاشات، تحلیل پوش آور، تحلیل تاریخچه زمانی

سابقه مقاله:					
دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	شناسه دیجیتال:
۱۳۹۷/۱۰/۱۷	۱۴۰۰/۰۲/۱۲	۱۳۹۸/۰۲/۰۳	۱۳۹۸/۰۲/۰۳	۱۴۰۰/۰۲/۳۰	doi: 10.22065/JSCE.2019.165876.1756
					https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2019.165876.1756

*نویسنده مسئول: نادر هویدایی

پست الکترونیکی: hoveidaei@azaruniv.ac.ir

۱- مقدمه

کمبود فضا، رشدجمعیت و الزامات زیرساختی ما را به سمت احداث ساختمان‌های بلندتر هدایت می‌کند. بلندتر شدن سازه‌ها و استفاده از مصالح با مقاومت بالا و وزن کمتر از یکسو و آسیب دیدن سازه‌ها در مقابل زلزله‌های بزرگ و از دست رفتن ثروت‌های ملی از سوی دیگر سبب شده کاهش ارتعاشات سازه‌ها در مقابل باد و زلزله از اهمیت ویژه‌ای برخوردار گردد. روش‌های زیادی برای کنترل ارتعاشات سازه‌های بلند مرتبه‌ای که تحت حرکت لرزه‌ای زمین و یا اثرتند بادها قراردارند وجود دارد: یکی از این روش ها میراگر مایع تنظیم شده می باشد که در آن از نوسانات و تلاطم آب در یک تانک برای کنترل ارتعاشات سازه استفاده می شود و از این رو به آن سیستم میراگر مایع تنظیم شده[1] (TLD) گویند. میراگر مایع تنظیم شده، مخزن محتوی یک مایع (معمولا آب) است که در اثر یک تحریک دینامیکی، شتاب ایجاد شده در مایع باعث ایجاد نیروی اینرسی در آن شده و این نیرو نیز سبب بالا و پایین رفتن سطح آب در دیواره‌های مخزن می شود. این میراگرها کاهش پاسخی ایجاد می کنند که شبیه کاهش پاسخ ناشی از افزایش میرایی سازه است. سیستم TLD یک سیستم تقریبا سنتی بوده، که امروزه در کشورهای پیشرفته نوع اصلاح شده‌ی آن مورد استفاده قرار می گیرد، در نوع اصلاح شده‌ی[2] آن که به MTLD مشهور است، نحوه اتصال مخزن به سقف ساختمان متفاوت بوده و این اتصال با استفاده از یک فنر پیچشی رخ می‌دهد.

ایده استفاده از میراگرهای مایع تنظیم شده برای کاهش نوسانات در سازه‌های مهندسی عمران از اواسط دهه ۱۹۸۰ میلادی شروع شد. Kaneko و Ishikawa در سال ۱۹۹۹، اندرکنش بین سازه و TLD را با مدل عددی و آزمایشگاهی برای یک سازه سه طبقه برشی با یک درجه آزادی انجام دادند. آنها به مدل کردن TLD در حالتی که عمق آب نسبت به بعد آن زیاد باشد، اقدام کردند؛ در مخرن مورد مطالعه آنها شبکه‌های سیمی میانی که باعث افزایش استهلاک انرژی می شود، غوطه‌ور شده بود. آنها تحقیق خود را برای سازه‌های بلند پریود انجام دادند و با درنظر گرفتن اثر مقاومت هیدرولیکی شبکه سیمی میانی، از نظریه امواج با دامنه محدود استفاده کرده و به کمک روش گالرکین معادلات حاکم بر سیستم را حل کردند. نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی حاصل شده برهم تطابق داشته و نشان می دهد با استفاده از شبکه سیمی میانی، میرایی تا اندازه ای افزایش می یابد [۱]. Toshihiro و Jin در سال ۱۹۹۹ میراگر مایع هماهنگ شده را با میراگر جرم هماهنگ شده معادل، با سختی غیر خطی و میرایی، مدل‌سازی کردند. مدل معادل براساس تناسب در پراکندگی انرژی حاصل شد. پارامترهای سختی و میرایی از آزمایش مخازن تحت دامنه‌های بزرگ بدست آمدند. نتایج حاصل از میراگر هماهنگ شده معادل با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شد و نتایج به‌طور قابل ملاحظه‌ای با هم مطابقت داشتند [۲]. برزگری و صباغ یزدی در سال ۱۳۹۳ برروی عملکرد میراگر مایع تنظیم شده (TLD) با شکل مخزن استوانه‌ای، مخروطی ناقص و مربع با عمق آب ثابت تحت تحریک هارمونیک مطالعاتی انجام داده‌اند، مدل عددی برای میراگر مایع تنظیم شده (TLD) در محیط نرم افزار ABAQUS طراحی شده و تحلیل‌های انجام شده به صورت سه بعدی می باشند. در بررسی عملکرد میراگر مایع تنظیم شده با شکل مخزن متفاوت مانند شکل استوانه‌ای، مربعی و مخروطی ناقص در شرایط یکسان با طول مخزن و عمق مایع درون مخزن یکسان تحت تحریک هارمونیک مشخص شد ماکزیمم جابه جایی سازه در حالت بدون میراگر مایع تنظیم شده برابر ۶۳/۸ میلی‌متر می باشد که به ترتیب مخزن مخروطی ناقص با کاهش جابه جایی سازه به میزان ۳۳/۷۰ درصد و مخزن استوانه‌ای شکل با کاهش جابه جایی سازه به میزان ۹۴/۴۹ درصد و مخزن مربعی شکل با کاهش جابه‌جایی سازه به میزان ۱۹ درصد نسبت به حالت بدون میراگر مایع تنظیم شده بهترین عملکرد را دارند [۳]. رضایی و همکاران درسال ۱۳۹۳درمورد طراحی میراگر مایع تنظیم شده برای کاهش ارتعاشات سازه‌های نیمه مرتفع عمرانی مطالعاتی انجام داده اند، مدلسازی میراگر مایع تنظیم شده که به یک سازه یک درجه آزادی ساده (TLD) نصب شده انجام گرفته است. سازه با استفاده از روش اجزای محدود و حرکت سیال درون TLD با روش حجم محدود مدل گردیده است. پس از اطمینان از صحت مدلسازی انجام گرفته، سازه یک درجه آزادی ساده به میراگرهای مختلفی که براساس اصول طراحی بهینه طراحی شده اند، متصل شده است و برای سازه های متعارف بین سه تا ۲۰ طبقه براساس فرکانس طبیعی سازه یک سری جداول طراحی بدست آمده است که می تواند در زمینه TLD استفاده گردد [۴].

[1] Tuned Liquid Damper
[2] Modify Tuned Liquid Damper

Li و همکاران در سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ استفاده از چند میراگر مایع تنظیم شده (Multi TLD) را بدون استفاده از شبکه سیمی میانی را به منظور کنترل پاسخ لرزه‌ای سازه‌های بلند در دستور کار خود قرار دادند؛ در مدلسازی آنها فشار دینامیکی مایع درون مخزن در حال نوسان با استفاده از روش حجم سیال و پاسخ سازه براساس حل معادلات حالت به دست می آمد. آنها از مدل نظری و مدل آزمایشگاهی TLD تحت تاثیر چند شتاب نگاشت متفاوت، کاهش پاسخ به میزان ۴۰ درصد تغییر مکان سازه را بدست آوردند [۵]. نتایج تحقیقات Conner در سال ۲۰۰۳ نشان می‌دهد که میرایی میراگر مایع تنظیم شونده (ξTLD) از جمله عوامل موثر بر کارایی TLD می-باشد ولی متاسفانه میرایی داخل 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 دوسیستم TLD وTMD[3]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) به صورت تابعی از نسبت جرم TMD به جرم سازه، به صورت شکل زیر است که با توجه به شباهت‌های TMD, TLD می‌توان برای محاسبه میرایی مورد نیاز TLD نیز به صورت تقریبی از آن استفاده کرد [۶]. Tait و همکاران مدلی پیشنهاد کرده‌اند که در آن مدل نیز مبنای به دست آوردن خصوصیات TMD معادل[4]، انرژی مستهلک شده در TLD واقعی است. در مدل مذکور با استفاده از نتایج آزمایشات انجام شده بر روی سیستم‌های TLD، و مساوی قرار دادن انرژی مستهلک شده در آن با انرژی قابل استهلاک در سیستم TMD، خصوصیات مکانیکی TMD معادل به صورت پارامترهای وابسته به شدت تحریک به دست می‌آید. به همین دلیل و باتوجه به اینکه مدل‌سازی میراگر با مخزن و آب برروی سازه در تقریبا هیچکدام از نرم‌افزارهای ماکرو وجود ندارد محققین برای ساده سازی شبیه سازی در روابط غیر خطی مایع درون مخزن، میراگر TLD را به صورت میراگر جرمی معادل مدل سازی می‌نمایند [۷].

Nanad در سال ۲۰۱۰ مطالعه‌ای با هدف بررسی اثر بخشی TLD در کنترل ارتعاش سازه انجام داده است. یک الگوریتم عددی مجهز به یک TLD برای بررسی پاسخ از مدل قاب توسعه داده شده است. مدل TLD خطی در نظر گرفته شده در مجموع شش شرایط بارگذاری در پایه سازه اعمال شد. نتایج نشان می دهد که TLD زمانی در موثر ترین حالت است که در طبقه بالای سازه قرار داده شود [۸]. Samanta و Banerji در سال ۲۰۱۱ میراگر ترکیبی جرمی مایع را درکنترل ارتعاش لرزه‌ای سازه‌ها استفاده کردند. برای بدست آوردن بهترین حالت کارایی میراگر ترکیبی مایع، مقدار بهینه سختی فنر دوم مورد توجه قرار گرفت. نتایج کار نشان داد میراگر ترکیبی نسبت به سیستم میراگر تک مایع، بیشینه شتاب را بیشتر کم می کند و کارایی سیستم ترکیبی تحت زلزله‌های مختلف، متفاوت است [۹]. Monda و همکاران (۲۰۱۴) به‌صورت تجربی به بررسی میراگر مایع تنظیم شده پرداخته و برای مدل‌های راه اندازی آزمایشی ساختمان، از پرتوهای Pasco تیرها و خرپاها استفاده نموده و یک پی قابل حرکت توسط یک موتور برای شبیه سازی زلزله طراحی شده است. سنسور مورد استفاده در این آزمایش یک شتاب سنج است که شتاب را در بالای ساختمان (زمانی که در معرض ارتعاش می باشد) در صورت حضور و عدم حضور TLD اندازه‌گیری می کند. انجام این آزمایش، اثر TLD در کاستن شتاب و تغییر مکان سازه زمانی که تحت تحریک قرار گرفت را نشان داد، از نتایج نظری و تجربی بدست آمده تایید شد که TLD زمانی در مؤثرترین حالت است که ساختار در فرکانس تشدید تحت تحریک باشد [۱۰] . Jans و همکاران در سال ۲۰۱۵ در مورد بررسی اجمالی دمپر مایع تنظیم شده و راه‌های ممکن برای بهبود خواص نوسانات میرایی مطالعاتی انجام داده اند. در این مقاله به یکی از معایب اصلی اکثر TLDها که تنها به یک فرکانس اصلی نوسان، میراست پرداخته شده و دو راه حل پیشنهاد شده است [۱۱]. Ashasi و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از شبیه‌سازی ترکیبی به مطالعه جامع در مورد اثر بخشی پارامترهای TLD پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که تعاملات پارامترها با ساختار و هم‌چنین طراحی درست TLD منتج به کارایی بهتر این میراگر در کاهش پاسخ های سازه میشود [۱۲]. Saha و Debbarma در سال ۲۰۱۷ اثرات همزمان چندین میراگر TLD را در کاهش پاسخ سازه‌ی تحت بارگذاری دینامیکی (تحریک هارمونیک)، مورد بررسی قرار دادند. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد زمانیکه نوسانات مایع میراگر زیاد باشد، میزان اثر بخشی میراگر TLD منفرد نسبت به استفاده از چندین میراگر (Multi TLD) در کاهش پاسخ

[3] Tuned Mass Damper
[4] Equivalent TMD

سازه بیشتر است [۱۳] . Chang و همکاران در سال ۲۰۱۸ یک سیستم سازه‌ای MTLD را با استفاده از مدل تحلیلی لو مورد بررسی قرار دادند. شبیه‌سازی آزمایش به صورت ترکیبی بوده و نتایج تحلیلی و آزمایشگاهی نشان می‌دهد زمانیکه طراحی میراگر به نحو صحیحی انجام شده باشد، اثرات MTLD در کاهش ارتعاشات سازه بهتر از TLD می‌باشد [۱۴].

هدف این مقاله مقایسه کارایی دو سیستم TLD با نوع اصلاح شده آن MTLD می باشد. در سیستم MTLD به لحاظ استفاده از یک فنر دورانی – انتقالی در محل اتصال مخزن به سقف سازه، میراگر هر دوی حرکتهای انتقالی و دورانی را تجربه مینماید. در اثر اضافه شدن حرکتهای دورانی در اتصال، میزان حرکت و برخورد سیال به جداره[5] مخزن افزایش می یابد و منجر به کاهش بیشتر پاسخ های سازه ای میگردد. برای مطالعه اثر این نوع از میراگرهای سیال تنظیمی، از نرم افزار ETABS برای طراحی و از نرم افزار OPENSEES برای تحلیل سازه استفاده شده و اثرات لرزه‌ای در سه ساختمان ۴، ۸ و ۲۰ طبقه با سه نسبت جرمی ۱، ۲ و ۳ درصد با و بدون حضور TLD و MTLD بررسی و نتایج حاصله برای دریفت، دریفت پسماند، برش پایه، ضریب رفتار و نمودارهای بار-جابه‌جایی مقایسه گردیده‌اند.

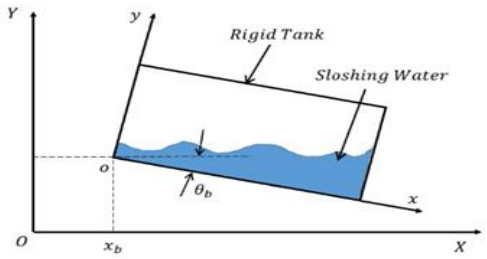
۲- مفاهیم و مدلسازی

۲-۱- طراحی میراگر مایع تنظیمی و تنظیم شده‌ی اصلاحی

سیستم‌های TLD جهت طراحی بهینه، باید براساس فرکانس مد اول سازه تنظیم شوند. یعنی فرکانس نوسانات آب در داخل ظرف باید معادل فرکانس طبیعی مد اول سازه باشد. بنابراین مشخصات میراگر نظیر ابعاد ظرف و عمق آب داخل آن باید به گونه‌ای تنظیم شود که فرکانس تلاطم مایع درون میراگر با فرکانس ارتعاش سازه هماهنگ شود. فرکانس طبیعی تلاطم آب در میراگرهای مایع با استفاده از تئوری امواج خطی از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$f_w = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{\pi g}{L}\tanh\left(\pi\varepsilon\right)} \qquad (۱)$$

که در آن ε نسبت عمق آب بوده و از رابطه $\varepsilon = h_0 / L$ به دست می آید، f_w فرکانس طبیعی تلاطم آب در میراگر مایع، h_0 عمق ساکن آب در داخل تانک و L طول تانک در جهت تحریک می‌باشد.



شکل ۱ : سیستم TLD همراه با حرکتهای انتقالی و دوران

میراگرهای مورد استفاده در این مقاله به‌صورت میراگرهای وزنی TMD معادل سازی شده‌اند. هر میراگر از یک سختی (k) و میرایی (c) تشکیل شده است، تفاوت میراگر TLD با MTLD در نوع اتصال مخزن به سقف می‌باشد، به‌صورتیکه در نوع TLD اتصال مخزن به سقف به صورت کاملاً صلب بوده لیکن در میراگر نوع MTLD اتصال مخزن به سقف با استفاده از یک فنر پیچشی که از میرایی (c_θ) و سختی دورانی (k_θ) تشکیل شده است، انجام می‌شود. در طراحی مخزن‌های میراگر، پارامترهای k, c از روابط زیر بدست می‌آیند.

[5] Sloshing

$$k = w_n^2 m\alpha_{opt}, \quad c = 2mw_n\zeta_{opt}$$
$$f_n = \frac{1}{T}, \quad T = \frac{2\pi}{w_n}, \quad w_n = f_n 2\pi \qquad (۲)$$

$$\zeta_{opt} = \sqrt{\frac{\mu\left(1+{}^{3\mu}/_{4}\right)}{4(1+\mu)\left(1+{}^{\mu}/_{2}\right)}} \qquad (۳)$$

$$\alpha_{opt} = \frac{1}{1+\mu} \qquad (۴)$$

$$N = \frac{\mu m_s}{m_f}, \quad m_f = \rho h_f bL \qquad (۵)$$

که در آن w_n فرکانس طبیعی سازه، m_s جرم سازه، m جرم مخزن، ρ چگالی مایع، μ درصد جرمی سازه h_f ارتفاع مایع درون مخزن، N تعداد مخازن، b, L طول و عرض مخزن و m_f جرم مایع می‌باشد. اتصال میراگر MTLD به سقف توسط فنر پیچشی انجام می‌شود. پارامترهای سختی دورانی و میرایی فنر دورانی در محل اتصال مخزن به سقف بر اساس روابط ۶ و ۷ محاسبه شده‌است [۱۴] .

$$k_\theta = \frac{k_r . L_s^{\,2}}{2} \qquad (۶)$$

$$\zeta = \frac{c_\theta}{2\sqrt{mk_\theta}} \qquad (۷)$$

۲-۲- جزییات مدلسازی

در پژوهش حاضر سه ساختمان ۴، ۸ و ۲۰ طبقه، با پلان منظم (چهار دهانه ۵ متری) و ارتفاع هر طبقه ۳/۱ متر طراحی شده-است. بارگذاری ساختمان و همچنین پارامترهای مورد نیاز جهت بارگذاری جانبی به صورت زیر می‌باشند. سیستم باربر ثقلی از نوع سقف کامپوزیت می‌باشد. سازه‌های مورد بررسی در شهر تبریز با خطر لرزه‌خیزی "خیلی زیاد" و بر روی خاک نوع ۳ طراحی شده‌اند.

بارمرده طبقات: ۳۱۳ kg/m2 — بار زنده بام: ۱۵۰ kg/m2

بار زنده طبقات: ۲۰۰ kg/m2 — بار معادل تیغه‌ها: ۱۱۶ kg/m2

بار مرده بام: ۴۴۸ kg/m2 — بار برف: ۱۴۰ kg/m2

وزن واحد سطح برای دیوارهای پیرامونی دارای نما ۴۰۰ kg/m^2 ، وزن واحد سطح دیوار جان پناه دارای نما ۳۳۵ kg/m^2 می‌باشد. جدول ۱ به عنوان نمونه مشخصات مقاطع تیر و ستون برای ساختمان ۴ طبقه ارائه شده است و در جدول ۲ پارامترهای مورد استفاده در بارگذاری لرزه ای مدلهای سازه‌ای آورده شده است. برای سازه ۲۰ طبقه از سیستم قاب خمشی ویژه و برای سایر سازه ها از سیستم قاب خمشی متوسط استفاده شده است. در این پژوهش میراگرهای TLD و MTLD به قاب‌های خمشی طراحی شده بر اساس ضوابط آیین نامه اضافه شده‌اند و طراحی مجدد بر روی این قابها انجام نگرفته است. پس از طراحی ساختمان‌ها در نرم افزار ETABS، قاب‌های ساختمانی بصورت دوبعدی در نرم افزار OPENSEES مدلسازی شده‌اند.

جدول ۱ : مشخصات مقاطع تیر و ستون ساختمان چهار طبقه

طبقه	ستون	تیر
1	W12X79	W12X35
2	W12X79	W10X88
3	W12X79	W10X45
4	W10X49	W10X22

جدول ۲ : پارامترهای مورد استفاده در بارگذاری جانبی ساختمان‌ها

نوع سازه	ارتفاع سازه (متر)	نوع خاک	نسبت شتاب مبنای طرح (A)	ضریب رفتار سازه (R)	ضریب اهمیت ساختمان (I)	ضریب بازتاب سازه (B)	زمان تناوبی (T) تحلیلی حاصل از نرم افزار (sec)
٤طبقه	١٢/٤	III	٠/٣٥	٥	١	٢/٧٥	٠/٨٩٥
٨طبقه	٢٤/٨	III	٠/٣٥	٥	١	١/٨٦	١/٢٦
٢٠طبقه	٦٢	III	٠/٣٥	٧/٥	١	١/١٩	٢/٨٥

المان مورد استفاده برای مدلسازی تیرها و ستون‌ها از نوع Nonlinear-Beam-Column می‌باشد. مصالح مورد استفاده مصالح کالیبره شده از نوع steel02 با تنش تسلیم ۲۴۰۰ کیلوگرم بر سانتیمترمربع، مدول الاستیسیته $۲/۱\times۱۰^{۶}$ کیلوگرم بر سانتیمترمربع ، و ضرایب سخت شدگی کینماتیک و ایزوتروپیک ۰/۰۰۸، ۱۵، ۰/۹۲۵، ۰/۱۵، ۰/۰۶۵، ۱، ۰/۰۴۵ و ۱ می‌باشد. با توجه به اینکه سیستم سازه ای مورد استفاده در این پژوهش از نوع قاب خمشی بوده است اتصالات تیر به ستون و هم‌چنین نوع تکیه‌گاه‌ها گیردار می‌باشد. برای مدلسازی میراگرهای TLD و MTLD از المان zerolength استفاده شده است. با این تفاوت که در میراگر MTLD یک فنر پیچشی با استفاده از همین المان مدل شده است و در نهایت تحلیل‌های استاتیکی Push-over و تاریخچه زمانی بر روی مدل ها انجام شده است.

۲-۳- انتخاب رکوردهای زلزله

در پژوهش حاضر، برای بررسی پاسخ‌های سازه‌ای ساختمان کنترل شده و کنترل نشده توسط میراگرهای TLD و MTLD از تحلیل تاریخچه زمانی استفاده شده است. در این تحلیل با اثر دادن شتاب زمین، به صورت تابعی از زمان در تراز پایه ساختمان، و به کارگیری معادلات متعارف دینامیکی پاسخ‌های سازه به‌دست می‌آید. اساس تحلیل تاریخچه زمانی بر اعمال رکورد حرکت زمین بر سازه استوار است، بنابراین انتخاب و مقیاس نمودن رکورد زلزله یکی از مهم‌ترین مسایل در این نوع تحلیل‌ها است. در این تحقیق از ۲۲ شتاب نگاشت توصیه شده در ATC63 که از سایت PEER استخراج شده مطابق جدول ۳ استفاده شده است[۱۵]. لازم به ذکر است که تمامی این شتاب نگاشت ها مطابق با آیین نامه زلزله ایران (استاندارد ۲۸۰۰) برای زلزله طرح و در در نرم افزار Seismomatch مقیاس گردیده‌اند[۱۶].

جدول ۳ : شتاب نگاشت‌های مورد استفاده

شماره	نام شتاب نگاشت	سال وقوع	بزرگا (ریشتر)	$PGA(g)$	$PGV(m/s)$
١	Northridge	١٩٩٤	٦/٧	٠/٥٢	٦٣
٢	Northridge	١٩٩٤	٦/٧	٠/٤٨	٤٥
٣	Duzce, Turkey	١٩٩٩	٧/١	٠/٨٢	٦٢
٤	Hector Mine	١٩٩٩	٧/١	٠/٣٤	٤٢
٥	Imperial Valley	١٩٧٩	٦/٥	٠/٣٥	٣٣
٦	Imperial Valley	١٩٧٩	٦/٥	٠/٣٨	٤٢
٧	Kobe, Japan	١٩٩٥	٦/٩	٠/٥١	٣٧
٨	Kobe, Japan	١٩٩٥	٦/٩	٠/٢٤	٣٨
٩	Kocaeli, Turkey	١٩٩٩	٧/٥	٠/٣٦	٥٩
١٠	Kocaeli, Turkey	١٩٩٩	٧/٥	٠/٢٢	٤٠
١١	Landers	١٩٩٢	٧/٣	٠/٢٤	٥٢
١٢	Landers	١٩٩٢	٧/٣	٠/٤٢	٤٢
١٣	Loma Prieta	١٩٨٩	٦/٩	٠/٥٣	٣٥
١٤	Loma Prieta	١٩٨٩	٦/٩	٠/٥٦	٤٥
١٥	Manjil, Iran	١٩٩٠	٧/٤	٠/٥١	٥٤
١٦	Superstition Hills	١٩٨٧	٦/٥	٠/٣٦	٤٦
١٧	Superstition Hills	١٩٨٧	٦/٥	٠/٤٥	٣٦
١٨	Cape Mendocino	١٩٩٢	٧/٠	٠/٥٥	٤٤
١٩	Cape Mendocino	١٩٩٩	٧/٦	٠/٤٤	١١٥
٢٠	Chi-Chi, Taiwan	١٩٩٩	٧/٦	٠/٥١	٣٩
٢١	San Fernando	١٩٧١	٦/٦	٠/٢١	١٩
٢٢	Friuli, Italy	١٩٧٦	٦/٥	٠/٣٥	٣١

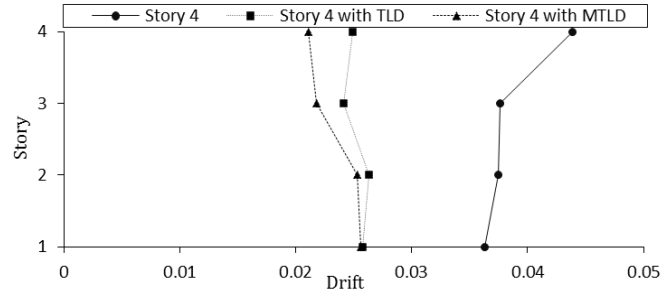
۳- نتایج تحلیل ها

۳-۱- تغییرات جابجایی نسبی بین طبقه ای (دریفت)

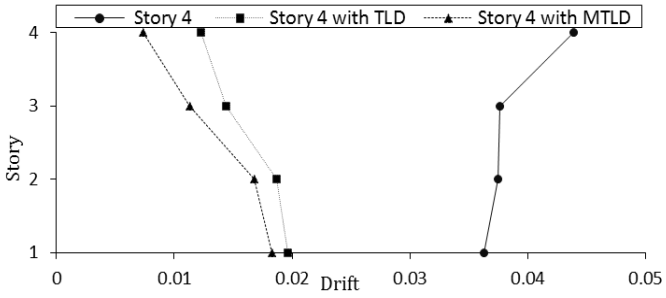
شکل‌های ۲ تا ۴ نمودار تغییرات دریفت در قاب‌های ۴، ۸ و ۲۰ طبقه با و بدون حضور میراگرهای TLD و MTLD با سه نسبت جرمی ۱، ۲ و ۳ درصد را نشان می‌دهند. همانطور که در شکل ۲ قابل ملاحظه است، حضور این نوع میراگرها دریفت سازه را تا حدود قابل قبولی کاهش می‌دهند. میزان این کاهش در میراگر MTLD بیشتر از میراگر TLD بوده و همچنین این مقدار کاهش در طبقات بالاتر به دلیل حضور میراگرها در طبقه بالای ساختمان بیشتر بوده است. میزان کاهش مقدار دریفت در نسبت‌های جرمی ۲ و ۳ درصد نزدیک به‌هم بوده و می‌توان نتیجه گرفت که نسبت جرمی ۲ درصد نسبت بهینه‌ای برای طراحی این نوع میراگرها می‌باشد.

در شکل ۳ مجددا شاهد عملکرد مثبت این نوع از میراگرها بوده و این عملکرد مثبت در طبقات بالاتر ساختمان بیشتر دیده می‌شود. میراگر MTLD به دلیل تفاوت در نحوه‌ی اتصال به سقف، عملکرد مطلوب‌تری علی الخصوص در طبقات بالای ساختمان داشته است.

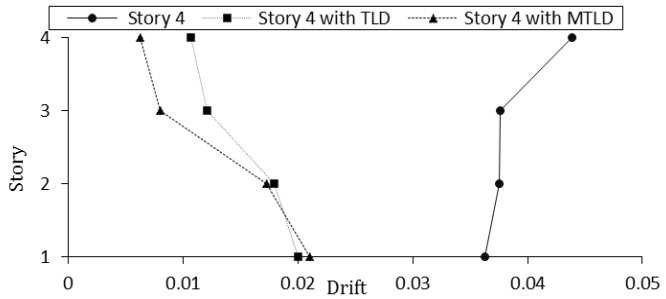
شکل ۴ تغییرات دریفت ساختمان ۲۰ طبقه با و بدون حضور میراگرهای TLD و MTLD را نشان می‌دهد. فرمت تغییرات دریفت در این نوع ساختمان اندکی با فرمت تغییرات دریفت ساختمان ۴ و ۸ طبقه متفاوت بوده است. به طوریکه عملکرد میراگرهای TLD و MTLD در نسبت‌های جرمی ۱و۲ درصد نزدیک به هم بوده و در نسبت جرمی ۳ درصد کارایی این دو میراگر تا حدودی مختل شده است. با توجه به نتایج بدست آمده از تغییرات دریفت در ساختمان ۲۰ طبقه، نسبت جرمی ۳ درصد نسبت بهینه‌ای برای طراحی این نوع از میراگرها نمی باشد.



(الف)

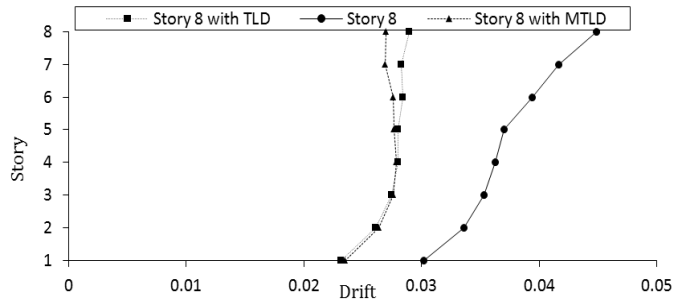


(ب)

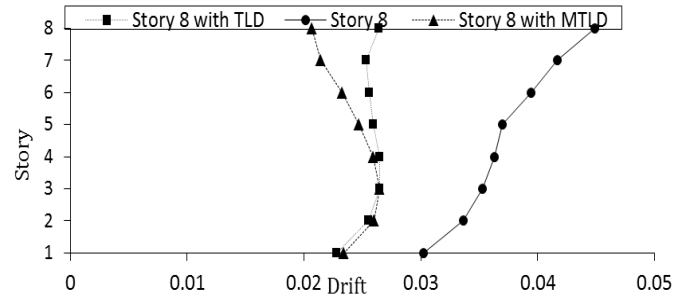


(ج)

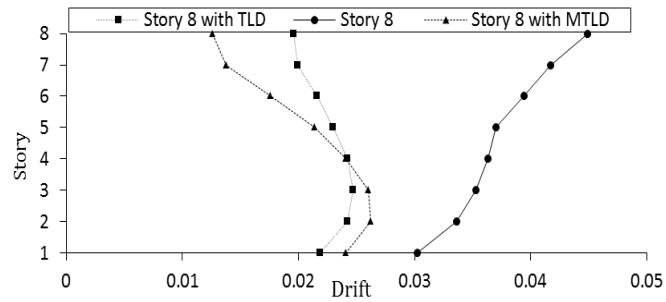
شکل ۲ : تغییرات دریفت در قاب چهارطبقه طبقه با و بدون حضور میراگرهای TLD و MTLD با (الف) نسبت جرمی ۱٪ (ب) ۲٪ و (ج) ۳٪



(الف)

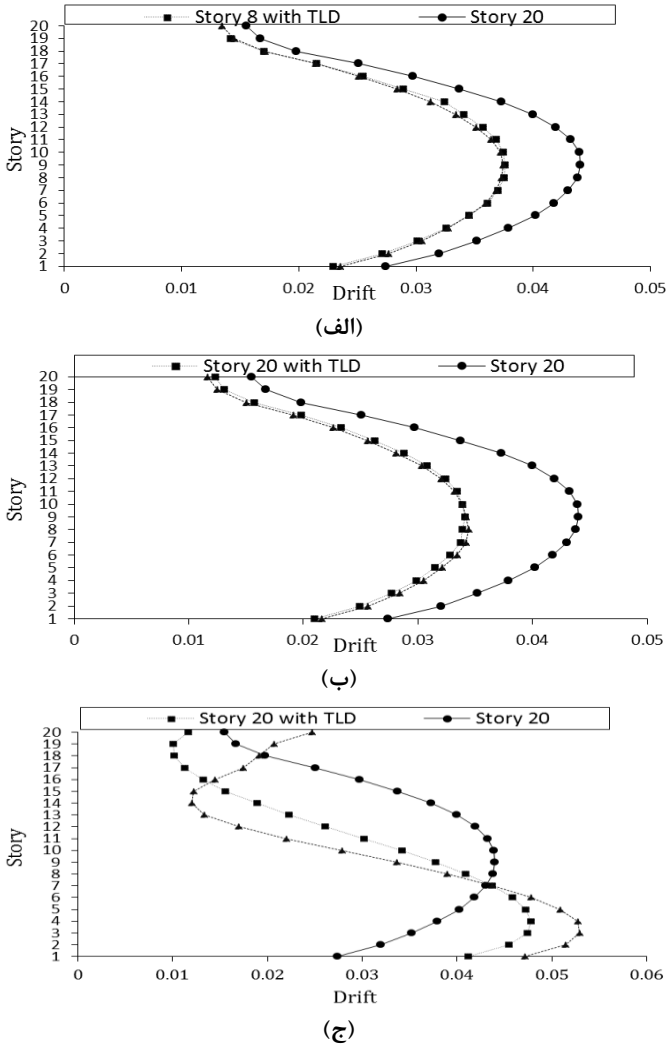


(ب)



(ج)

شکل ۳ : تغییرات دریفت در قاب هشت طبقه با و بدون حضور میراگرهای TLD و MTLD با (الف) نسبت جرمی ۱٪ (ب) ۲٪ و (ج) ۳٪

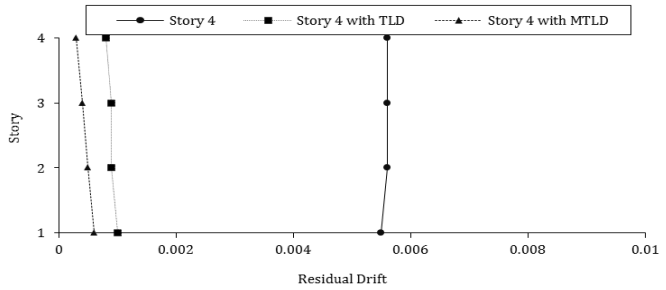


شکل ۴ : تغییرات دریفت در قاب بیست طبقه با و بدون حضور میراگرهای TLD و MTLD با (الف) نسبت جرمی ۱٪ (ب) ۲٪ و (ج) ۳٪

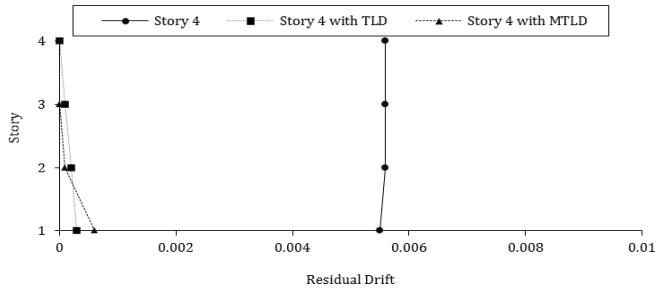
با توجه به نتایج تحلیل‌ها، میراگرهای TLD و MTLD دریفت قابهای خمشی فولادی را تا حدود قابل قبولی کاهش می‌دهند، تاثیرات این مقدار کاهش با نزدیک شدن به طبقات بالاتر سازه بیشتر قابل مشاهده است. این مقدار کاهش در قابها با نسبت‌های جرمی مختلف، متفاوت می‌باشد، بطوریکه مقدار کاهش ماکزیمم دریفت در قاب چهار طبقه در نسبت جرمی ۱ درصد، میراگر TLD، ۴۳ درصد و میراگر MTLD، ۵۱ درصد، در نسبت جرمی ۲ درصد میراگر TLD، ۷۱ درصد و میراگر MTLD، ۸۳ درصد، در نسبت جرمی ۳ درصد میراگر TLD، ۷۴ و میراگر MTLD، ۸۵ درصد دریفت قاب را کاهش می‌دهند. در قاب هشت طبقه با نسبت جرمی ۱ درصد، میراگر TLD، ۳۴ و میراگر MTLD، ۳۹ درصد، در نسبت جرمی ۲ درصد میراگر TLD، ۴۱ درصد و میراگرMTLD، ۵۴ درصد، در نسبت جرمی ۳ درصد میراگر TLD، ۵۶ و میراگر MTLD ۷۱ درصد دریفت قاب را کاهش می‌دهند. در قاب بیست طبقه با نسبت جرمی ۱ درصد، میراگر TLD، ۱۴ درصد و میراگر MTLD ۱۵ درصد، در نسبت جرمی ۲ درصد میراگر TLD ۲۱ درصد و میراگر MTLD ۲۲ درصد، در نسبت جرمی ۳ درصد میراگر TLD ۲۲ و میراگر MTLD به مقدار ۳۶ درصد دریفت قاب را کاهش می‌دهند.

۳-۲- تغییرات جابجایی نسبی بین طبقه ای (دریفت) پسماند

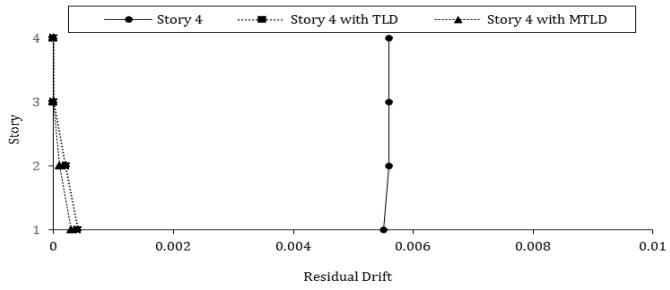
در شکل‌های ۵ تا ۷، نمودار تغییرات دریفت پسماند برای قاب‌های ۴، ۸ و ۲۰ طبقه با و بدون حضور میراگرهای TLD و MTLD که از تحلیل‌های تاریخچه زمانی بدست آمده‌اند نمایش داده شده است. با توجه به نمودارها، بیشینه مقدار کاهش دریفت پسماند در طبقات بالای قاب دیده شده است که این امر به دلیل حضور میراگرها در طبقه بام می‌باشد. همانطور که در شکل ۵ دیده می‌شود تفاوت مقدار دریفت پسماند در نسبت جرمی ۲ و ۳ ناچیز بوده است. این موضوع بیانگر این است که با روند افزایش نسبت جرمی، مقدار کاهش پاسخ همیشه مثبت نبوده و کاهش پاسخ در مقداری بهینه از نسبت جرمی امکان پذیر است. کاهش دریفت پسماند در طبقات با حضور میراگرهای TLD و MTLD مشهود می‌باشد، با این تفاوت که این مقدار کاهش در میراگر MTLD بیشتر از میراگر TLD می باشد، علت این تفاوت نحوه اتصال میراگر MTLD می‌باشد که باعث بهبود عملکرد این میراگر شده است.



(الف)



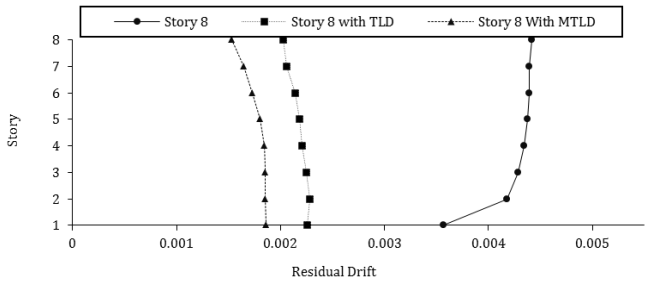
(ب)



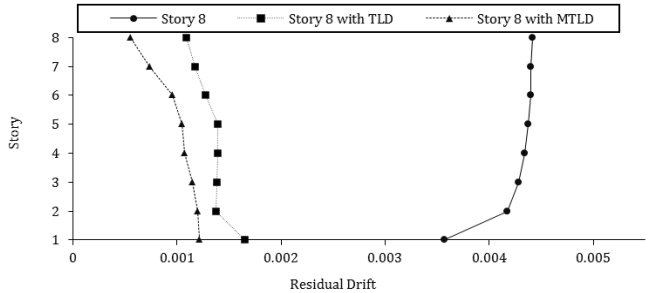
(ج)

شکل ۵ : تغییرات دریفت پسماند در ساختمان چهار طبقه با و بدون حضور میراگرهای TLD و MTLD با (الف) نسبت جرمی ۱٪ (ب) ۲٪ و (ج) ۳٪

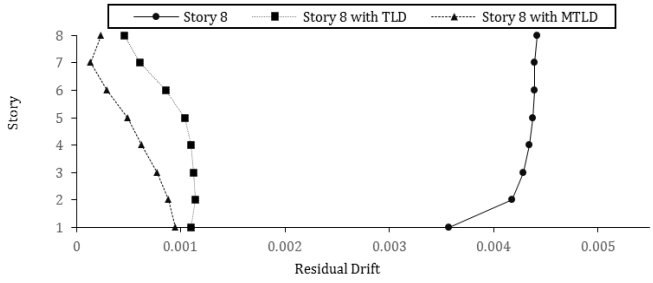
همانطور که در شکل ۶ دیده می‌شود الگوی کاهش دریفت پسماند در قاب ۸ طبقه مشابه با قاب چهار طبقه می‌باشد با این تفاوت که این مقدار کاهش به نسبت کمتر می‌باشد، افزایش ارتفاع ساختمان یکی از علل این موضوع می‌باشد. در این مدلها مجددا تاثیرات مثبت میراگر MTLD نسبت به میراگر TLD مشهود است.



(الف)



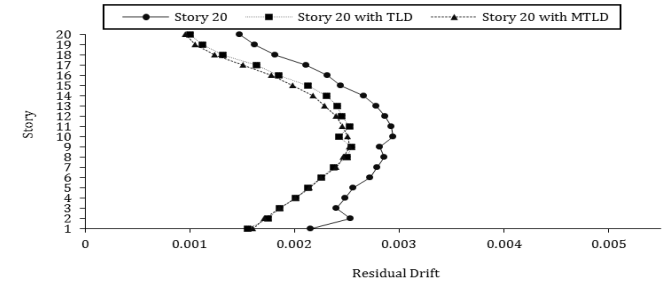
(ب)



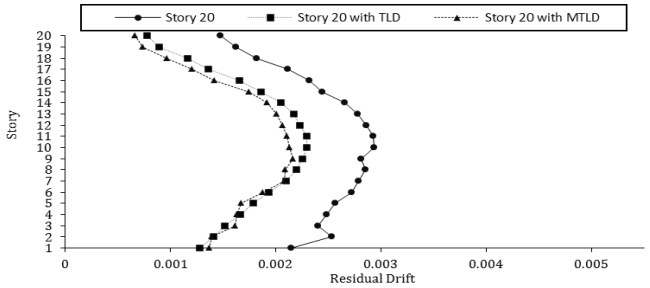
(ج)

شکل ۶ : تغییرات دریفت پسماند در ساختمان هشت طبقه با و بدون حضور میراگرهای TLD و MTLD با (الف) نسبت جرمی ۱٪ (ب) ۲٪ و (ج) ۳٪

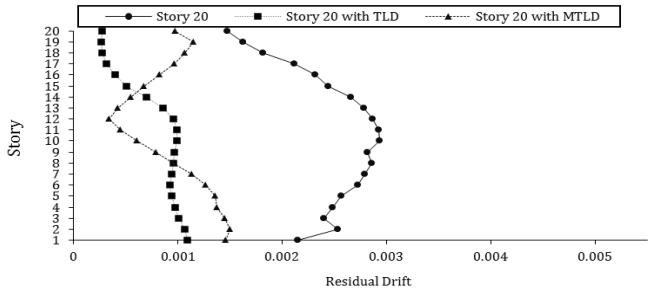
با توجه به نتایج، با افزایش تعداد طبقات تاثیرات میراگرها به نسبت سازه با تعداد طبقات کم، کمتر می باشد. این تفاوت را در سازه ۲۰ طبقه و مقایسه ی آن با سازه ۴ طبقه می‌توان به وضوح دید. هم چنین در سازه ۲۰ طبقه با نسبت جرمی ۳ درصد عملا کارایی سیستم MTLD مختل شده است. با توجه به نمودارها و مقایسه نسبت‌های جرمی، عملا میراگر MTLD در کاهش دریفت پسماند به نسبت میراگر TLD موثرتر بوده و همچنین نسبت جرمی ۲ درصد، نسبتی بهینه شناخته شده است. پاسخ‌ها در نسبت جرمی ۳ درصد با اختلاف ناچیزی مشابه با پاسخ سازه در نسبت جرمی ۲ درصد می‌باشد و یا اینکه پاسخ در نسبت جرمی ۳ درصد پاسخی غیر قابل قبول می‌باشد.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۷ : تغییرات دریفت پسماند در ساختمان بیست طبقه با و بدون حضور میراگرهای TLD و MTLD با (الف) نسبت جرمی ۱٪ (ب) ۲٪ و (ج) ۳٪

نتایج بدست آمده نشان می دهد که استفاده از میراگرهای TLD و MTLD دریفت پسماند سازه ها را تا حد زیادی کاهش می دهد و منجر به رفتار مطلوب‌تر سازه به هنگام زلزله می‌شود. مقدار کاهش دریفت پسماند قاب چهار طبقه با نسبت جرمی ۱ درصد، در میراگر TLD، ۸۲ درصد و میراگر MTLD ۸۹ درصد، در نسبت جرمی ۲ درصد در میراگر TLD، ۸۹ درصد و میراگر MTLD برابر ۹۱ درصد، و در نسبت جرمی ۳ درصد، در میراگرهای TLD و MTLD به ترتیب ۹۲ و ۹۴ درصد می‌باشد. در قاب هشت طبقه با نسبت جرمی ۱ درصد، میراگر TLD به میزان ۴۸ درصد و میراگر MTLD به میزان ۵۸ درصد، در نسبت جرمی ۲ درصد میراگر TLD به مقدار ۶۲ درصد و میراگر MTLD، ۷۲ درصد، در نسبت جرمی ۳ درصد میراگر TLD، ۷۴ و میراگر MTLD، ۷۸ درصد دریفت پسماند قاب را کاهش می‌دهند. در ساختمان بیست طبقه با نسبت جرمی ۱ درصد، میراگر TLD ۱۴ درصد و میراگر MTLD به مقدار ۱۷ درصد، در نسبت جرمی ۲ درصد میراگر TLD، ۲۱ درصد و میراگر MTLD به مقدار ۲۷درصد، در نسبت جرمی ۳ درصد میراگر TLD، ۶۶ درصد و میراگر MTLD، ۷۹ درصد دریفت پسماند قاب را کاهش می‌دهند.

۳-۳- تغییرات برش پایه

در جدول ۴ مقادیر برش پایه میانگین برای ساختمان ۴، ۸ و ۲۰ طبقه ناشی از تحلیلهای تاریخچه زمانی ارائه شده است. همانطور که از نتایج قابل مشاهده است، کاهش برش پایه در طبقات با حضور میراگرهای TLD و MTLD در سازه‌ها و نسبت‌های جرمی مختلف متغیر است، بطوریکه در نسبت‌های جرمی ۱و ۲ درصد میزان کاهش برش پایه مشهود می‌باشد. در کاهش برش پایه عملکرد میراگرهای TLD و MTLD تقریبا یکسان بوده و به یک میزان برش پایه را کاهش می‌دهند. نکته‌ی قابل تامل در این جدول این است که به نسبت در تمام سازه‌ها با حضور هر دونوع میراگر، در نسبت جرمی ۳ درصد، میزان کاهش برش پایه به نسبت میزان کاهش در نسبت جرمی ۱و۲ درصد کمتر می باشد و یا اینکه حضور این نوع میراگر با این نسبت جرمی منجر به تاثیر منفی در کاهش پاسخ (برش پایه) می‌شود. این نکته بیانگر این است که نسبت جرمی ۳ درصد عملا تاثیر زیادی در کاهش پاسخ سازه ندارد و نسبت جرمی نامناسبی برای استفاده از این نوع میراگرها می‌باشد. به عنوان نمونه جدول ۵ تغییرات کاهش برش پایه را در ساختمان ۸ طبقه نمایش نمی‌دهد.

با توجه به نتایج جدول ۵، با افزایش درصد جرمی سازه مجهز به میراگر TLD، میزان برش پایه کاهش می‌یابد. این کاهش از مقدار ۶/۱۸ درصد در نسبت جرمی ۱ درصد، تا مقدار ۶/۰۲ درصد در نسبت جرمی ۳ درصد است. در سازه‌ی مجهز به میراگر MTLD، روند کاهشی در درصد جرمی ۱ تا ۳ مشابه روند مشاهده شده در حالت استفاده از میراگر TLD بوده و از مقدار ۵/۹۰ تا ۳/۳۵ درصد تغییر می‌کند، لیکن میزان کاهش برش پایه در سازه مجهز به MTLD اندکی کمتر از سازه‌ی مجهز به TLD است.

جدول ۴ : مقادیر میانگین ماکزیم برش پایه برای ساختمان ۴، ۸ و ۲۰ طبقه

نوع سازه / پارامتر	چهار طبقه		هشت طبقه			بیست طبقه		
	---	با TLD	با MTLD	---	با TLD	با MTLD	---	با TLD	با MTLD
نسبت جرمی (درصد)	---	۱	۱	---	۱	۱	---	۱	۱
برش پایه (ton)	٦٠٢/٦٢	٥١٤/٥٥	٥٠٩/٩٢	١٨٧١	١٧٥٥/٣٠	١٧٦٠/٦٠	٣٤٠٤	٣٢١٦/٨٠	٣٢٢٤/٨٠
نسبت جرمی (درصد)	---	۲	۲	---	۲	۲	---	۲	۲
برش پایه (ton)	---	٥٠٠	٥١٩	---	١٧٥٦/٦٠	١٧٨٦/٤٠	---	٣١٤٣/٦٠	٣١٣٣/٥٠
نسبت جرمی (درصد)	---	۳	۳	---	۳	۳	---	۳	۳
برش پایه (ton)	---	٥٥٧/٨٠	٦٠٩/١١	---	١٧٥٨/٣٦	١٨٠٨/٢٠	---	٣٧٨١/٧٥	٣٨٨٥/٩٠

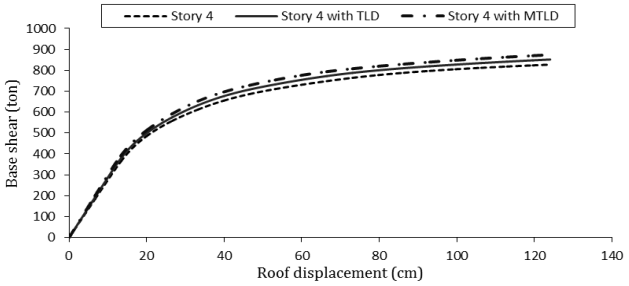
جدول ۵ : تغییرات میانگین ماکزیمم برش پایه سازه ۸ طبقه تحت ۲۲ رکورد زلزله

سازه	نسبت جرمی (درصد)	برش پایه (ton)	درصد کاهش
هشت طبقه (مرجع)	---	١٨٧١	---
هشت طبقه با میراگر TLD	۱	١٧٥٥/٣٠	٪ ٦/١٨
هشت طبقه با میراگر MTLD	۱	١٧٦٠/٦٠	٪ ٥/٩٠
هشت طبقه با میراگر TLD	۲	١٧٥٦/٦٠	٪ ٦/١١
هشت طبقه با میراگر MTLD	۲	١٧٨٦/٤٠	٪ ٤/٥٢
هشت طبقه با میراگر TLD	۳	١٧٥٨/٣٦	٪ ٦/٠٢
هشت طبقه با میراگر MTLD	۳	١٨٠٨/٢٠	٪ ٣/٣٥

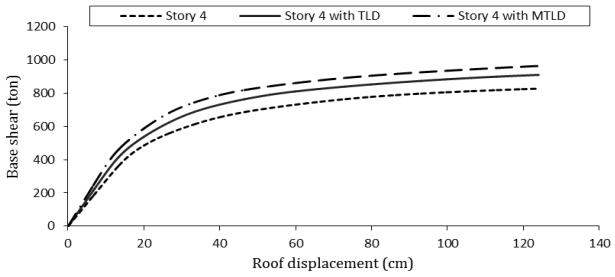
۴-۳- نتایج تحلیل بار افزون

شکل‌های ۸ تا ۱۰ نشان دهنده‌ی نمودارهای بار- جابجایی سه قاب ۴، ۸ و ۲۰ طبقه با سه نسبت جرمی ۲،۱و۳ درصد می‌باشد. قابهای مذکور در ۱۰ درصد ارتفاع خود پوش داده شده‌اند و همانطور که دیده می‌شود نمودار بار- جابجایی قاب مجهز به MTLD در تمامی نسبت‌های جرمی بالاتر از قاب مجهز به میراگر TLD و قاب بدون میراگر می‌باشد. این موضوع عملکرد مطلوب‌تر این نوع میراگر را به دلیل استفاده از فنر در نحوه‌ی اتصال آن به ساختمان، بیان می‌کند. نحوه‌ی اتصال به این صورت بوده که یک فنر پیچشی با سختی و میرایی محاسبه شده در زیر مخزن به سقف متصل شده و در راستای مخزن در جهت ارتعاش سازه آزاد بوده، که این آزادی عمل فنر موجب عملکرد مطلوب‌تر میراگر شده است. در تمامی نمودارهای بار-جابه‌جایی، مقادیر برش پایه در قابهای با و بدون حضور میراگر، متفاوت بوده و این تفاوت در نسبت جرمی ۳ درصد بیشتر دیده می‌شود. علت این تفاوت در رابطه شماره (۲) بررسی می‌شود، با توجه به این رابطه افزایش نسبت جرمی رابطه مستقیمی با میرایی و سختی دارد، به همین دلیل در نسبت جرمی ۳ درصد میرایی و سختی بیشتر، عامل تفاوت در مقدار برش پایه است.

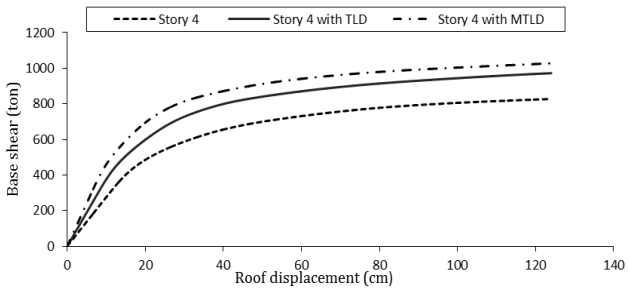
در قاب ۴ و ۸ طبقه در تمامی نسبت‌های جرمی تفاوت قابل رویت می‌باشد و عملکرد مطلوبی از این نوع میراگر (MTLD) مشاهده شده است، لیکن در ساختمان ۲۰ طبقه این تفاوت در نسبت جرمی ۱و۲ درصد که نسبت جرمی بهینه می باشد، به صورت واضح دیده نمی شود و نمودار بار- جابجایی قاب ۲۰ طبقه با و بدون میراگرها تقریبا هم پوشانی داشته است. بنابراین با توجه به این استدلال می‌توان گفت که کارایی این نوع از میراگرها در ساختمان‌های کوتاه و میان مرتبه مشهودتر می‌باشد.



(الف)

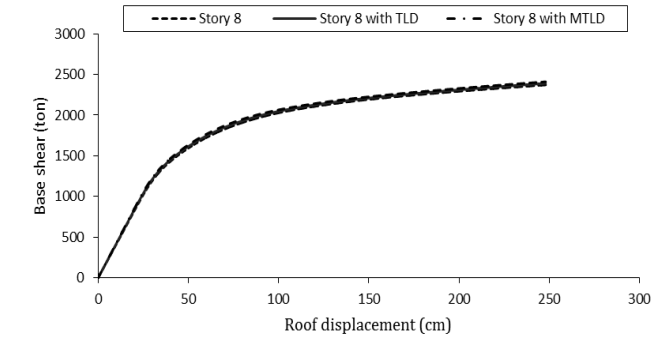


(ب)

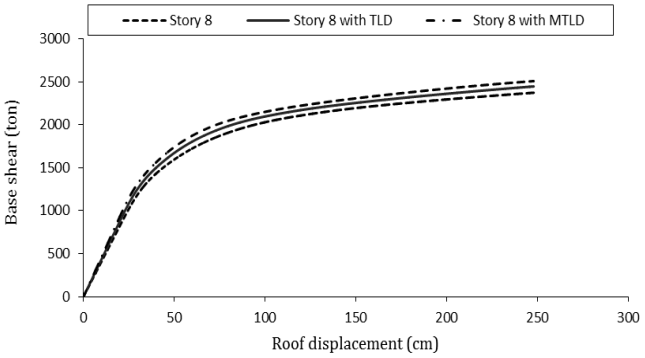


(ج)

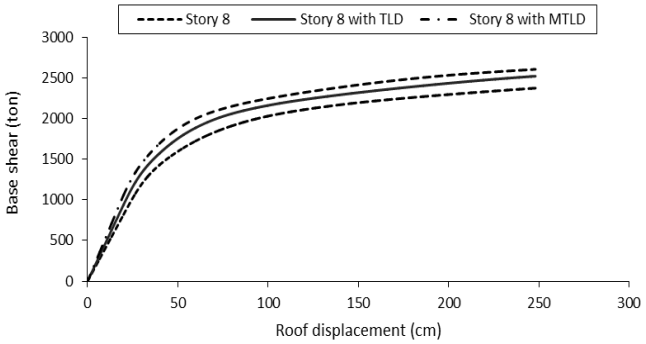
شکل ۸ : نمودار پوش آور در ساختمان چهارطبقه طبقه با و بدون حضور میراگرهای TLD و MTLD با (الف) نسبت جرمی ۱٪ (ب) ۲٪ و (ج) ۳٪



(الف)

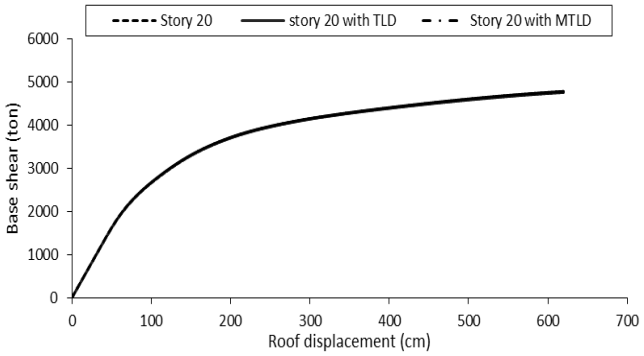


(ب)

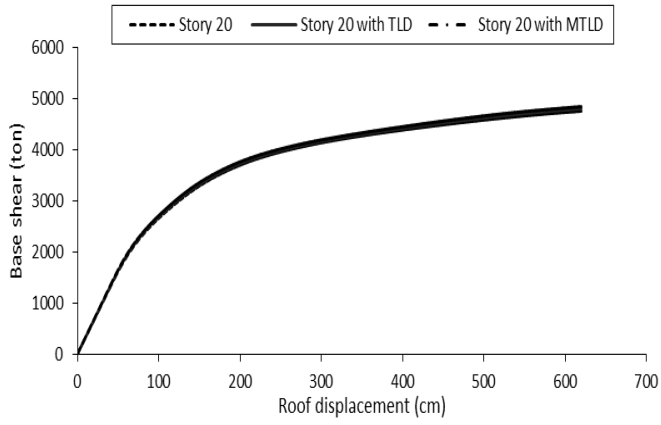


(ج)

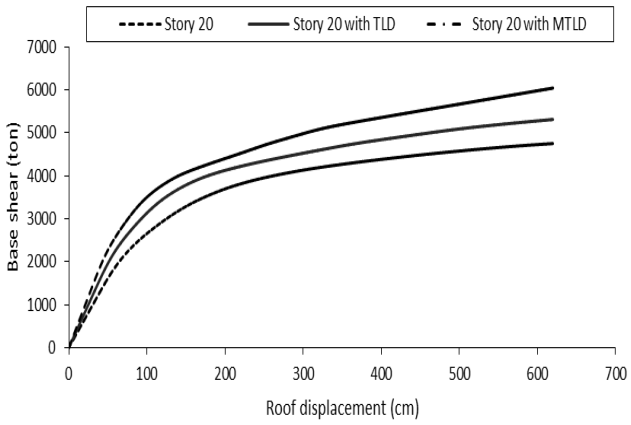
شکل ۹ : نمودار پوش آور در ساختمان هشت طبقه با و بدون حضور میراگرهای TLD و MTLD با (الف) نسبت جرمی ۱٪ (ب) ۲٪ و (ج) ۳٪



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱۰ : نمودار پوش آور در ساختمان بیست طبقه با و بدون حضور میراگرهای TLD و MTLD با (الف) نسبت جرمی ۱٪ (ب) ۲٪ و (ج) ۳٪

۵-۳- ضریب رفتار R

استفاده از این نوع میراگر موجب کاهش پاسخ سازه می شود. بنابراین به دنبال کاهش پاسخ سازه طبیعتا ضریب رفتار این نوع سازه‌ها دچار تغییراتی می‌شود. در این پژوهش از روش پرایستلی و پائولی برای دوخطی کردن نمودار پوش استفاده شده است[۱۷]. نمودار بار- جابجایی در سه قاب ۴، ۸، و ۲۰ طبقه در نسبت جرمی ۲ درصد (به دلیل اینکه ۲ درصد نسبت جرمی بهینه می‌باشد) دو خطی گردیده و ضرایب رفتار و پارامترهای وابسته به آن استخراج شده است. با توجه به آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم، ضرایب رفتار در قابهای ۴، ۸ و ۲۰ طبقه بایستی به ترتیب ۵، ۵ و ۷/۵ باشد. با توجه به جدول ۶ ، نتایج حاکی از آن است که در تمامی قابها استفاده از این میراگرها باعث افزایش ضریب رفتار سازه شده و این افزایش ضریب رفتار در قاب مجهز به میراگر MTLD بیشتر از قاب با میراگر TLD می‌باشد. طبیعتا با افزایش ضریب رفتار شکل پذیری سازه نیز بیشتر می‌شود. در قاب چهار طبقه که بیشترین کارایی میراگر در این ساختمان بوده است با حضور میراگرهای TLD و MTLD شکل پذیری افزایش یافته است. در قاب هشت طبقه میزان شکل پذیری سازه مجهز به میراگر MTLD کمتر از سازه مجهز به میراگر TLD می باشد، در عوض ضریب اضافه مقاومت سازه مجهز به این نوع میراگر بیشتر از ضریب اضافه مقاومت قاب مجهز به میراگر TLD می‌باشد. همانطور که دیده می‌شود با افزایش تعداد طبقات اختلاف ضریب رفتار دو میراگر TLD و MTLD کمتر می‌شود. پارامترهای مربوط به ضریب رفتار μ، R_μ و R_S به ترتیب ضریب شکل‌پذیری، ضریب شکل‌پذیری و ضریب اضافه مقاومت می‌باشند.

جدول ۶ : ضریب رفتار و سایر پارامتر هایه مربوط به ضریب رفتار سازه

	نوع سازه	نسبت جرمی (درصد)	μ	R_μ	R_S	R
چهار طبقه	چهار طبقه	---	۲/۷۰	۲/۵٤	۲/۰۲	۵/۱٦
	چهار طبقه با TLD	۲	۲/۷۰	۲/٦۱	۲/۱۱	۵/۵۳
	چهار طبقه با MTLD	۲	۳/۰۳	۲/۸۷	۱/۹۹	۵/۷٤
هشت طبقه	هشت طبقه	---	۲/۸۷	۲/۵۹	۱/۸۸	٤/۹۰
	هشت طبقه با TLD	۲	۳/۰٦	۲/٦۹	۱/۸۸	۵/۰۸
	هشت طبقه با MTLD	۲	۲/۹۱	۲/٦۵	۱/۹٤	۵/۱۵
بیست طبقه	بیست طبقه	---	۲/۵٦	۲/٦۰	۲/۹۱	۷/۵۸
	بیست طبقه با TLD	۲	۲/۵٦	۲/٦۰	۲/۹۳	۷/٦۵
	بیست طبقه با MTLD	۲	۲/۵٦	۲/٦۱	۲/۹٤	۷/٦۸

۴- نتیجه گیری کلی

در این مقاله تاثیر میراگرهای مایع تنظیم شده (TLD) و تنظیم شده‌ی اصلاحی (MTLD) بر رفتار لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی در نواحی دور از گسل مورد مطالعه قرار گرفته است. سه سازه با پلان یکسان و منظم، با تعداد طبقات ۴، ۸ و ۲۰ و با نسبت جرمی میراگر مایع ۱، ۲ و ۳ درصد برای این مطالعه در نظر گرفته شده است. مدلسازی و تحلیل خطی این سازه‌ها با نسبت‌های جرمی نامبرده در نرم افزار ایتبس انجام شده است. در ادامه قاب مرجع به صورت دو بعدی در نرم افزار اپنسیس مدلسازی شده و تحلیلهای بار افزون و تاریخچه زمانی تحت ۲۲ رکورد دور از گسل بر روی آنها انجام شده است. نتایج کلی این مطالعه در ذیل خلاصه شده است:

- براساس نتایج، میراگرهای TLD و MTLD دریفت قابهای خمشی فولادی را تا حدود قابل قبولی کاهش می‌دهند، تاثیرات این مقدار کاهش با نزدیک شدن به طبقات بالاتر ساختمان بیشتر قابل مشاهده است.
- نتایج بدست آمده نشان می دهد که استفاده از میراگرهای TLD و MTLD دریفت پسماند سازه ها را تا حد زیادی کاهش می دهد و منجر به رفتار مطلوب‌تر سازه به هنگام زلزله می‌شود.
- بررسی ها نشان می دهد که استفاده از این میراگرها در ساختمان‌های کوتاه و میان مرتبه موثرتر می باشد و عملا تاثیرات استفاده از این میراگرها در ساختمان‌های بلند مرتبه به نسبت سازه‌های کوتاه و میان مرتبه کم‌تر می باشد.
- با مقایسه‌ی نتایج در نسبت‌های جرمی استفاده شده در این پژوهش مشخص گردید که همواره با افزایش نسبت جرمی پاسخ‌های سازه کاهش نمی‌یابند. با توجه به نتایج، توانایی میراگر در کاهش پاسخ سازه ها در نسبتهای جرمی ۱ و ۲ درصد مطلوبتر بوده و نسبت جرمی دو درصد به عنوان نسبت جرمی بهینه پیشنهاد می‌شود.
- براساس نتایج تحلیلهای تاریخچه زمانی، دو میراگر TLD و MTLD تقریبا به یک میزان مقدار برش پایه حداکثر میانگین را در قابهای خمشی کاهش می‌دهند، بنابراین مزیت اصلی سیستم MTLD نسبت به TLD توانایی بیشتر آن در کاهش دریفت و بخصوص دریفت پسماند می‌باشد. این توانایی بیشتر به دلیل نحوه‌ی اتصال میراگر MTLD به سقف سازه میباشد که منجر به افزایش اثر برخورد و ضربه سیال به دیواره مخزن و به تبع آن استهلاک بیشتر نوسانات سازه میگردد.

منابع

[1] Kaneko, S. and Ishikawa, M. 1999, "Modeling of Tuned Liquid Damper with Submerged Nets," Journal of Pressure Vessel Technology, ASME, 121: 334-343.

[2] Jin, k, Toshihiro, w, 1999, " A Non-Linearing Numerical Model of the Tuned Liquid Damper" Journal of Eaerthquake Engineering and Stractural Dynamics, Vol. 28, pp. 671-686.

[۳]. برزگری، ب. صباغ یزدی، س.ر. (۱۳۹۳)، بررسی عددی تاثیر شکل مخازن میراگرهای TLD بر عملکرد آنها، نهمین سمپوزیوم پیشرفت‌های علوم و تکنولوژی، مشهد.

[۴]. رضایی، س. علمی، م. منتظری نمین، م. زهرایی، م. (۱۳۹۳)، طراحی میراگر TLD برای کاهش ارتعاشات سازه‌های نیمه مرتفع عمرانی، هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران، بابل.

[5] Li, H.N. Jia,Y. and Wang, S.Y. 2004, "Theoretical and Experimental Studies on Reduction of Multi-Modal Seismic Response of High-Rise Structures by Tuned Liquid Dampers," Journal of Vibration and Control, (10): 1041-1056.

[6] Conner, J. J, 2003, "Introduction to Structural Motion Control", Journal of Prentice Hall Pearson Education. Pp 528-541.

[7] Tait, M, El Damatty, A, Isyumov, 2004, "Testing of Tuned Liquid Damper with Screens and Development of Equivalent TMD Model" , Wind and Structures, Vol. 7, No. 4, pp. 215-234.

[8] Nanda, B. 2010, "Application of Tuned Liquid Damper for Controlling Structural Vibration" PhD diss.

[9] Banerji, P. and Samanta, A. 2011, "Earthquake Vibration Control of Structure Using Hybrid Mass Liquid Damper", Engineering Structure, 33(4): 1291-1301.

[10] Mondal, J. H. Nimmala, Sh. Abdulla, R.T. 2014, Tuned Liquid Damper, International Conference on Mechanical Engineering and Mechatronics, 14-15.

[11] Veļičko, J. Gaile, L. 2015, "Overview of Tuned Liquid Dampers and Possible Ways of Oscillation Damping" International Scientific and Practical Conference, 233-238.

[12] Ashasi, A. Malekghasemi, H. Ghaemmaghami, A. Mercan, O. 2016, "Experimental Investigations of Tuned Liquid Damper-Structure Interactions in Resonance Considering Multiple Parameters" Journal of Sound and Vibration, 136.1 (1990): 1-15.

[13] Saha, S. Debbarma, R. 2017, "An Experimental study on Response Control of Structures Using Multiple Tuned Liquid Dampers Under Dynamic Loading" International Journal of Advanced Structural Engineering, 9(1), 27-35.

[14] Chang, Y. Noormohamed, A. Mercan, O. 2018, " Analytical and Experimental Investigations of Modified Tuned Liquid Dampers (MTLD)" Journal of Sound and Vibration, 428, 179-194.

[۱۵]. نشریه شماره ۳۶۰، ۱۳۹۲، دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، تهران، جمهوری اسلامی ایران.

[16] Seismosoft, 2013, Seismomatch v2. 1—A computer program for spectrum matching of earthquake records.

[۱۷]. حسینی بای، س.م. غلامزاده، م. دو خطی کردن منحنی پوش آور و تعیین ضریب رفتار به روش چوپرا، سومین کنفرانس سالانه پژوهش‌های معماری، شهرسازی و مدیریت شهری، شیراز، ۱۳۹۶.