



# 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<sup>\*1</sup>, Meysam Mirzapoor<sup>2</sup>, Nazila Kardan<sup>3</sup>

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

### 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

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: 10.22065/JSCE.2019.165876.1756

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

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

نادر هویدایی<sup>۱\*</sup>، میثم میرزاپور<sup>۲</sup>، نازیلا کاردان<sup>۳</sup>

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 سازه‌ها در مقابل زلزله‌های بزرگ و از دست رفتن ثروت‌های ملی موجب گردیده است که کاهش ارتعاشات سازه‌ها در مقابل باد و زلزله از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد. یکی از روش‌های موثر برای کاهش این ارتعاشات استفاده از سیستم میراگر مایع تنظیم شده می‌باشد. میراگر مایع تنظیم شده سیستم کنترل غیر فعال سازه می‌باشد که از تعدادی مخازن حاوی سیال تشکیل شده و در بالاترین نقطه ساختمان قرار داده می‌شود. انرژی ارتعاشی وارده به سازه از طریق تلاطم مایع درون مخازن مستهلک می‌گردد. این سیستم برای کنترل ارتعاشات سازه‌هایی که به صورت سیستم یک یا چند درجه آزادی هستند به کار گرفته شده است. در پژوهش حاضر از نوع اصلاح شده‌ی سیستم کنترل غیر فعال سازه‌ای 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 تحلیل‌های استاتیکی بار افزون (Pushover) و تاریخچه زمانی بر روی آنها در نرم افزار OPENSEES انجام شده است. نتایج تحلیل‌ها نشان می‌دهد که استفاده از این میراگرها جابه‌جایی پسماند سازه‌های با سیستم قاب خمشی را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. همچنین عملکرد میراگر مایع تنظیم شده‌ی اصلاحی در مقایسه با نوع سنتی خود به لحاظ کاهش پاسخ سازه مطلوب‌تر می‌باشد.

کلمات کلیدی: میراگر مایع تنظیم شده، میراگر مایع تنظیم شونده‌ی اصلاحی، کاهش ارتعاشات، تحلیل پوش آور، تحلیل تاریخچه

زمانی

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	10.22065/JSCE.2019.165876.1756	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2019.165876.1756	۱۴۰۰/۰۲/۳۰	۱۳۹۸/۰۲/۰۳	۱۳۹۸/۰۲/۰۳	۱۴۰۰/۰۲/۱۲	۱۳۹۷/۱۰/۱۷
				نویسنده مسئول* پست الکترونیکی:		
				نادر هویدایی hoveidaei@azaruniv.ac.ir		

## ۱- مقدمه

کمیود فضا، رشد جمعیت 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 اثرند بادها قرار دارند وجود دارد: یکی از این روش‌ها میراگر مایع تنظیم شده می‌باشد که در آن از نوسانات و تلاطم آب در یک تانک برای کنترل ارتعاشات سازه استفاده می‌شود و از این رو به آن سیستم میراگر مایع تنظیم شده<sup>۱</sup> (TLD) گویند. میراگر مایع تنظیم شده، مخزن محتوی یک مایع (معمولاً 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 می‌شود. این میراگرها کاهش پاسخی ایجاد می‌کنند که شبیه کاهش پاسخ ناشی از افزایش میرایی سازه است. سیستم TLD یک سیستم تقریباً سنتی بوده، که امروزه در کشورهای پیشرفته نوع اصلاح شده‌ی آن مورد استفاده قرار می‌گیرد، در نوع اصلاح شده‌ی آن<sup>۲</sup> 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 مخزن مورد مطالعه آنها شبکه‌های سیمی میانی که باعث افزایش استهلاک انرژی می‌شود، غوطه‌ور شده بود. آنها تحقیق خود را برای سازه‌های بلند پریرود انجام دادند و با در نظر 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 می‌دهد با استفاده از شبکه سیمی میانی، میرایی تا اندازه‌ای افزایش می‌یابد [۱]. Jin و Toshihiro در سال ۱۹۹۹ میراگر مایع هماهنگ شده را با میراگر جرم هماهنگ شده معادل، با سختی غیر خطی و میرایی، مدل سازی 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 بر روی 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 می‌باشند. 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 می‌باشد 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 جابه جایی سازه به میزان ۱۹ درصد نسبت به حالت بدون میراگر مایع تنظیم شده بهترین عملکرد را دارند [۳]. رضایی و همکاران در سال ۱۳۹۳ در مورد طراحی میراگر مایع تنظیم شده برای کاهش ارتعاشات سازه‌های نیمه مرتفع عمرانی مطالعاتی انجام داده‌اند، مدل سازی 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 مدل سازی انجام گرفته، سازه یک درجه آزادی ساده به میراگرهای مختلفی که براساس اصول طراحی بهینه طراحی شده‌اند، متصل شده است و برای سازه‌های متعارف بین سه تا ۲۰ طبقه براساس فرکانس طبیعی سازه یک سری جداول طراحی بدست آمده است که می‌تواند در زمینه TLD استفاده گردد [۴].

<sup>1</sup> Tuned Liquid Damper<sup>2</sup> 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 می‌آمد. 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 (TLD) از جمله عوامل موثر بر کارایی TLD می‌باشد 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 و TMD<sup>۳</sup> 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<sup>۴</sup>، 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 بر روی سازه در تقریباً 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 می‌دهد که TLD زمانی در موثرترین حالت است که در طبقه بالای سازه قرار داده شود [۸]. Samanta و Banerji در سال ۲۰۱۱ میراگر ترکیبی جرمی مایع را در کنترل ارتعاش لرزه‌ای سازه‌ها استفاده کردند. برای بدست آوردن بهترین حالت کارایی میراگر ترکیبی مایع، مقدار بهینه سختی فدر دوم مورد توجه قرار گرفت. نتایج کار نشان داد میراگر ترکیبی نسبت به سیستم میراگر تک مایع، بیشینه شتاب را بیشتر کم می‌کند و کارایی سیستم ترکیبی تحت زلزله‌های مختلف، متفاوت است [۹]. Monda و همکاران (۲۰۱۴) به صورت تجربی به بررسی میراگر مایع تنظیم شده پرداخته و برای مدل‌های راه اندازی آزمایشی ساختمان، از پرتوهای Pasco تیرها و خریاها 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 می‌باشد) در صورت حضور و عدم حضور TLD اندازه‌گیری می‌کند. 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 داده‌اند. 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 پاسخ‌های 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

<sup>3</sup> Tuned Mass Damper

<sup>4</sup> Equivalent TMD

سازه بیشتر است [۱۳]. Chang و همکاران در سال ۲۰۱۸ یک سیستم سازه‌ای MTLT 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 صحیح انجام شده باشد، اثرات MTLT در کاهش ارتعاشات سازه بهتر از TLD می‌باشد [۱۴].

هدف این مقاله مقایسه کارایی دو سیستم TLD با نوع اصلاح شده آن MTLT می‌باشد. در سیستم MTLT 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 ۵ مخزن افزایش می‌یابد و منجر به کاهش بیشتر پاسخ‌های 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 MTLT بررسی و نتایج حاصله برای دریافت، دریفت پسماند، برش پایه، ضریب رفتار و نمودارهای بار-جابجایی مقایسه گردیده‌اند.

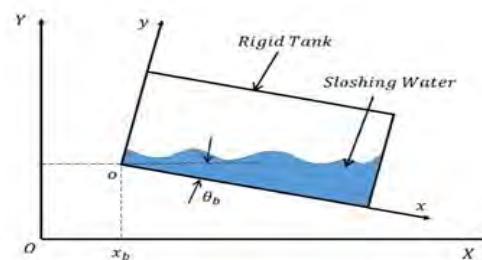
## ۲- مفاهیم و مدلسازی

### 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.

$$f_w = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi g}{L} \tanh(\pi \varepsilon)} \quad (1)$$

که در آن  $\varepsilon$  نسبت عمق آب بوده و از رابطه  $\varepsilon = h_0 / L$  به دست می‌آید،  $f_w$  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 دورانی

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

<sup>5</sup> Sloshing

$$k = w_n^2 m \alpha_{opt}, \quad c = 2 m w_n \zeta_{opt} \quad (2)$$

$$f_n = \frac{1}{T}, \quad T = \frac{2\pi}{w_n}, \quad w_n = f_n 2\pi$$

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

$$\alpha_{opt} = \frac{1}{1+\mu} \quad (4)$$

$$N = \frac{\mu m_s}{m_f}, \quad m_f = \rho h_f b L \quad (5)$$

که در آن  $w_n$  فرکانس طبیعی سازه،  $m_s$  جرم سازه،  $m$  جرم مخزن،  $\rho$  چگالی مایع،  $\mu$  درصد جرمی سازه ارتفاع مایع درون مخزن،  $N$  تعداد مخازن،  $b, L$  طول و عرض مخزن و  $m_f$  جرم مایع می باشد. اتصال میراگر MTLD به سقف توسط فنر پیچشی انجام می شود. پارامترهای سختی دورانی و میرایی فنر دورانی در محل اتصال مخزن به سقف بر اساس روابط ۶ و ۷ محاسبه شده است [۱۴].

$$k_\theta = \frac{k_r \cdot L_s^2}{2} \quad (6)$$

$$\zeta = \frac{c_\theta}{2\sqrt{mk_\theta}} \quad (7)$$

## ۲-۲- جزئیات 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 می باشند. سیستم باربر ثقلی از نوع سقف کامپوزیت می باشد. سازه های مورد بررسی در شهر تبریز با خطر لرزه خیزی "خیلی زیاد" و بر روی خاک نوع ۳ طراحی شده اند.

بارمرده طبقات:	۳۱۳ kg/m <sup>2</sup>	بار زنده بام:	۱۵۰ kg/m <sup>2</sup>
بار زنده طبقات:	۲۰۰ kg/m <sup>2</sup>	بار معادل تیغه ها:	۱۱۶ kg/m <sup>2</sup>
بار مرده بام:	۴۴۸ kg/m <sup>2</sup>	بار برف:	۱۴۰ kg/m <sup>2</sup>

وزن واحد سطح برای دیوارهای پیرامونی دارای نما ۴۰۰ kg/m<sup>2</sup>، وزن واحد سطح دیوار جان پناه دارای نما ۳۳۵ kg/m<sup>2</sup> می باشد. 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 مدل های سازه ای 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 قاب های خمشی طراحی شده بر اساس ضوابط آیین نامه اضافه شده اند و طراحی مجدد بر روی این قابها انجام نگرفته است. پس از طراحی ساختمان ها در نرم افزار ETABS، قاب های ساختمانی بصورت دوبعدی در نرم افزار OPENSEES مدلسازی شده اند.

جدول ۱: مشخصات مقاطع تیر و ستون ساختمان چهار طبقه

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

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)
۴ طبقه	۱۲/۴	III	۰/۳۵	۵	۱	۲/۷۵	۰/۸۹۵
۸ طبقه	۲۴/۸	III	۰/۳۵	۵	۱	۱/۸۶	۱/۲۶
۲۰ طبقه	۶۲	III	۰/۳۵	۷/۵	۱	۱/۱۹	۲/۸۵

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  $۲/۱ \times ۱۰^۶$  کیلوگرم بر سانتیمترمربع، و ضرایب سخت شدگی کینماتیک و ایزوتروپیک ۰/۰۸، 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 MTLT از المان zerolength استفاده شده است. با این تفاوت که در میراگر MTLT یک فنر پیچشی با استفاده از همین المان مدل شده است و در نهایت تحلیل‌های استاتیکی Push-over و تاریخچه زمانی بر روی مدل‌ها 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 MTLT 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 به دست 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 نگاشت‌ها 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)
۱	Northridge	۱۹۹۴	۶/۷	۰/۵۲	۶۳
۲	Northridge	۱۹۹۴	۶/۷	۰/۴۸	۴۵
۳	Duzce, Turkey	۱۹۹۹	۷/۱	۰/۸۲	۶۲
۴	Hector Mine	۱۹۹۹	۷/۱	۰/۳۴	۴۲
۵	Imperial Valley	۱۹۷۹	۶/۵	۰/۳۵	۳۳
۶	Imperial Valley	۱۹۷۹	۶/۵	۰/۳۸	۴۲
۷	Kobe, Japan	۱۹۹۵	۶/۹	۰/۵۱	۳۷
۸	Kobe, Japan	۱۹۹۵	۶/۹	۰/۲۴	۳۸
۹	Kocaeli, Turkey	۱۹۹۹	۷/۵	۰/۳۶	۵۹
۱۰	Kocaeli, Turkey	۱۹۹۹	۷/۵	۰/۲۲	۴۰
۱۱	Landers	۱۹۹۲	۷/۳	۰/۲۴	۵۲
۱۲	Landers	۱۹۹۲	۷/۳	۰/۴۲	۴۲
۱۳	Loma Prieta	۱۹۸۹	۶/۹	۰/۵۳	۳۵
۱۴	Loma Prieta	۱۹۸۹	۶/۹	۰/۵۶	۴۵
۱۵	Manjil, Iran	۱۹۹۰	۷/۴	۰/۵۱	۵۴
۱۶	Superstition Hills	۱۹۸۷	۶/۵	۰/۳۶	۴۶
۱۷	Superstition Hills	۱۹۸۷	۶/۵	۰/۴۵	۳۶
۱۸	Cape Mendocino	۱۹۹۲	۷/۰	۰/۵۵	۴۴
۱۹	Cape Mendocino	۱۹۹۹	۷/۶	۰/۴۴	۱۱۵
۲۰	Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹	۷/۶	۰/۵۱	۳۹
۲۱	San Fernando	۱۹۷۱	۶/۶	۰/۲۱	۱۹
۲۲	Friuli, Italy	۱۹۷۶	۶/۵	۰/۳۵	۳۱

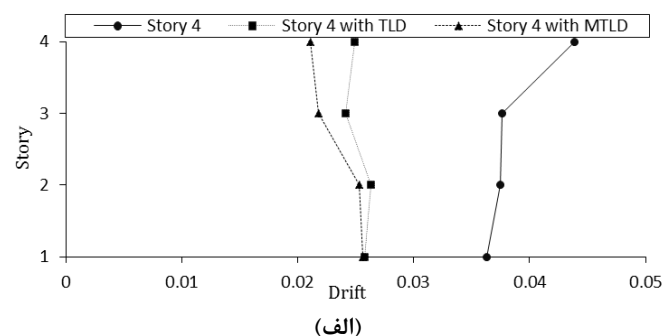
### ۳- نتایج تحلیل ها

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

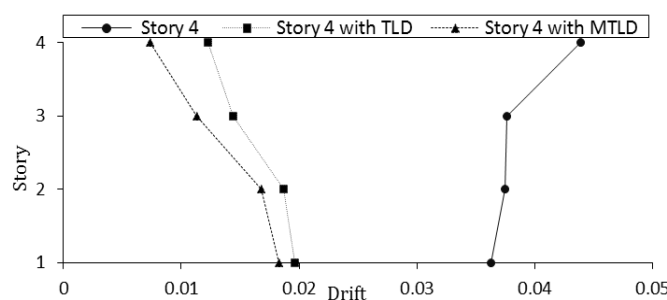
شکل های ۲ تا ۴ نمودار تغییرات دریفت در قاب های ۴، ۸ و ۲۰ طبقه با و بدون حضور میراگرهای TLD و MTLT با سه نسبت جرمی ۱، ۲ و ۳ درصد را نشان می دهند. همانطور که در شکل ۲ قابل ملاحظه است، حضور این نوع میراگرها دریفت سازه را تا حدود قابل قبولی کاهش می دهند. میزان این کاهش در میراگر MTLT بیشتر از میراگر TLD 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 نسبت های جرمی ۲ و ۳ درصد نزدیک به هم بوده و می توان نتیجه گرفت که نسبت جرمی ۲ درصد نسبت بهینه ای برای طراحی این نوع میراگرها می باشد.

در شکل ۳ مجددا شاهد عملکرد مثبت این نوع از میراگرها بوده و این عملکرد مثبت در طبقات بالاتر ساختمان بیشتر دیده می شود. میراگر MTLT به دلیل تفاوت در نحوه ی اتصال به سقف، عملکرد مطلوب تری علی الخصوص در طبقات بالای ساختمان داشته است.

شکل ۴ تغییرات دریفت ساختمان ۲۰ طبقه با و بدون حضور میراگرهای TLD و MTLT را نشان می دهد. 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 MTLT در نسبت های جرمی ۱ و ۲ 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 بهینه ای برای طراحی این نوع از میراگرها نمی باشد.

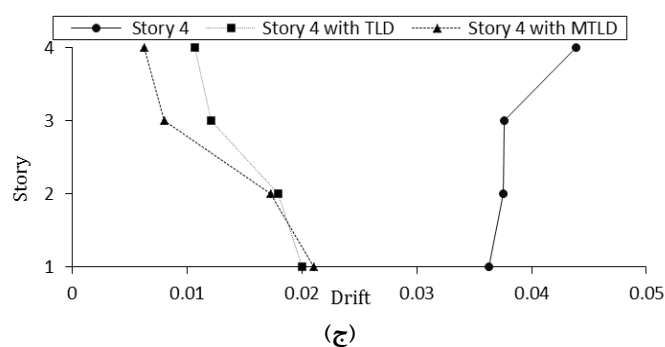


(الف)

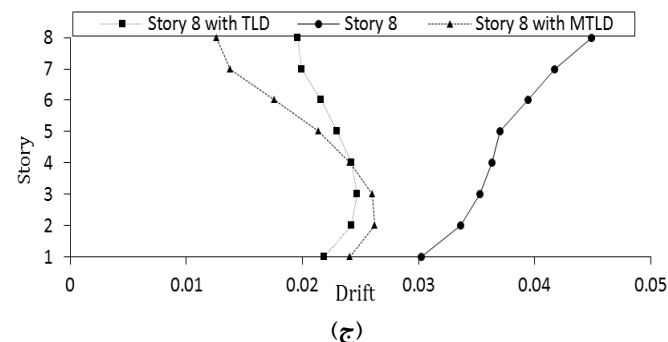
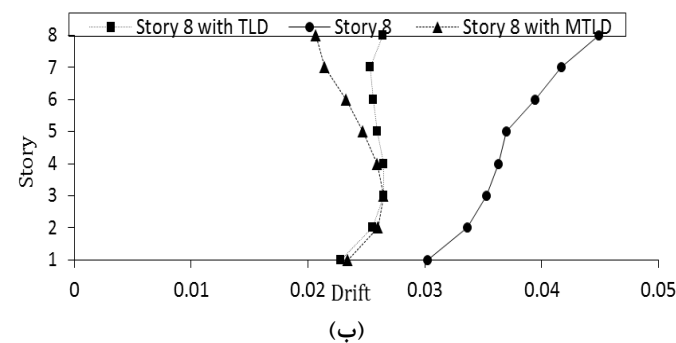
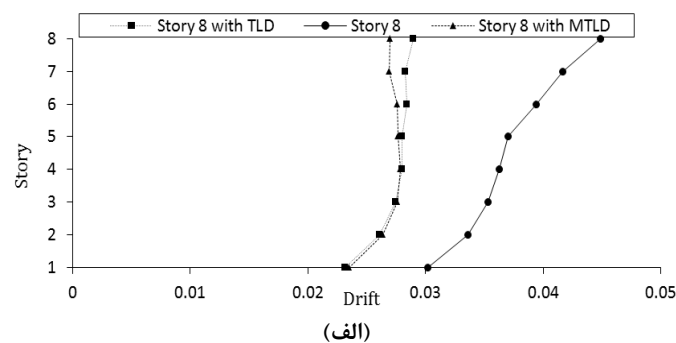


(ب)

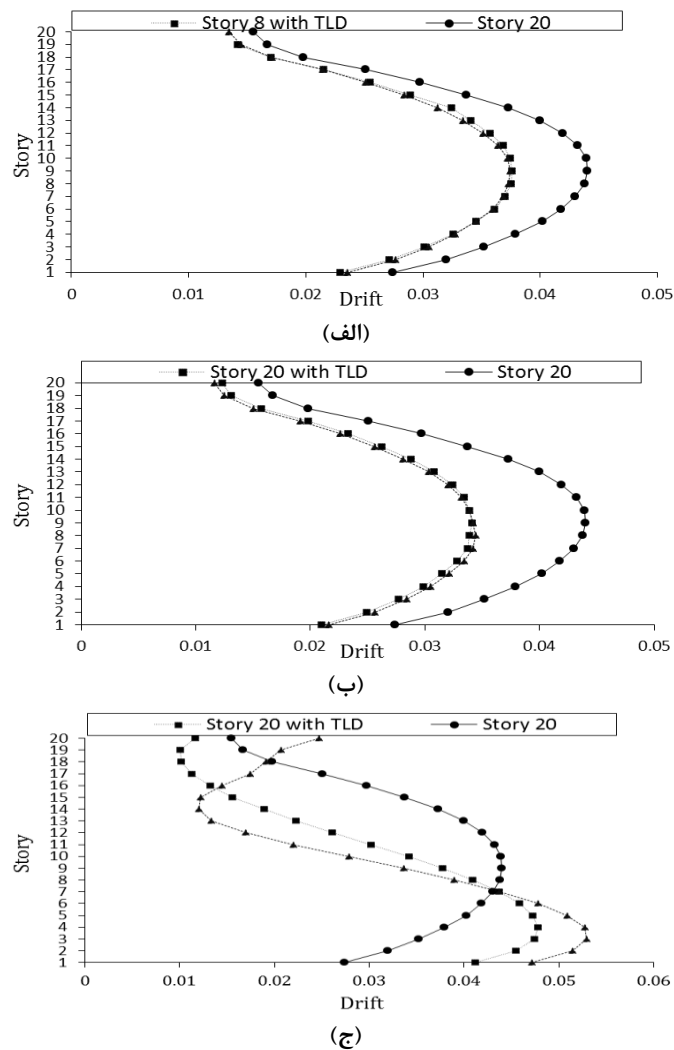




شکل ۲: تغییرات دررفت در قاب چهار طبقه طبقه با و بدون حضور میراگرهای TLD و MTLD با (الف) نسبت جرمی ۱٪ (ب) ۲٪ و (ج) ۳٪



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

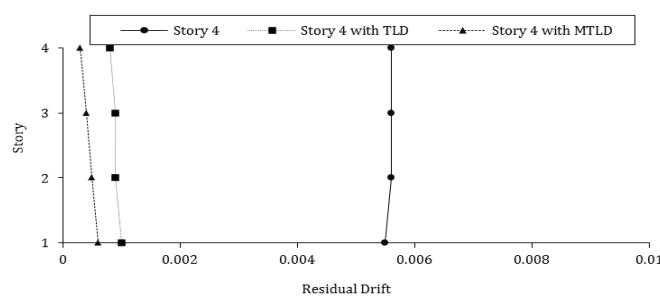


شکل ۴: تغییرات دررفت در قاب بیست طبقه با و بدون حضور میراگرهای TLD و MTLT با (الف) نسبت جرمی ۱٪ (ب) ۲٪ و (ج) ۳٪

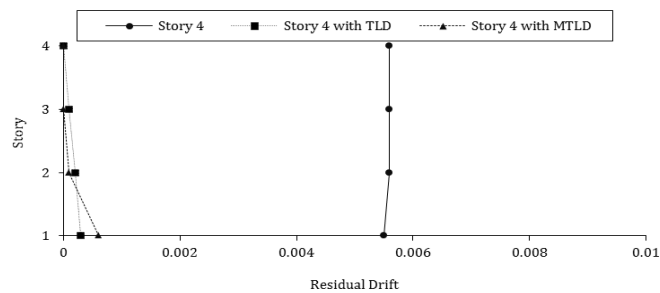
با توجه به نتایج تحلیل‌ها، میراگرهای TLD و MTLT دررفت قابهای خمشی فولادی را تا حدود قابل قبولی کاهش می‌دهند، تاثیرات این مقدار کاهش با نزدیک شدن به طبقات بالاتر سازه بیشتر قابل مشاهده است. این مقدار کاهش در قابها با نسبت‌های جرمی مختلف، متفاوت می‌باشد، بطوریکه مقدار کاهش ماکزیمم دررفت در قاب چهار طبقه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

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

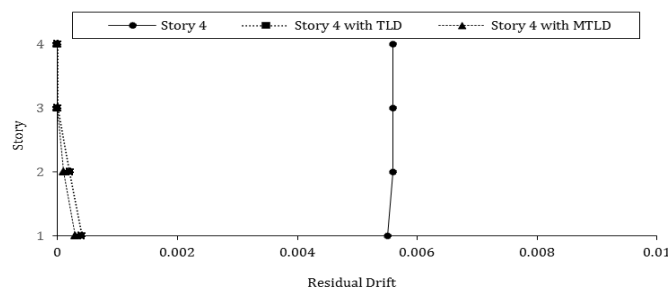
در شکل‌های ۵ تا ۷، نمودار تغییرات دریفت پسماند برای قاب‌های ۴، ۸ و ۲۰ طبقه با و بدون حضور میراگرهای TLD و MTLT که از تحلیل‌های تاریخچه زمانی بدست آمده‌اند نمایش داده شده است. با توجه به نمودارها، بیشینه مقدار کاهش دریفت پسماند در طبقات بالای قاب دیده شده است که این امر به دلیل حضور میراگرها در طبقه بام 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 MTLT مشهود می‌باشد، با این تفاوت که این مقدار کاهش در میراگر MTLT بیشتر از میراگر TLD می‌باشد، علت این تفاوت نحوه اتصال میراگر MTLT می‌باشد که باعث بهبود عملکرد این میراگر شده است.



(الف)



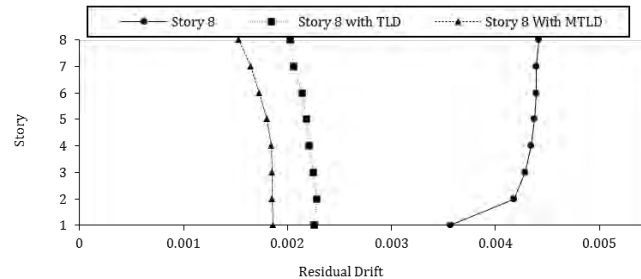
(ب)



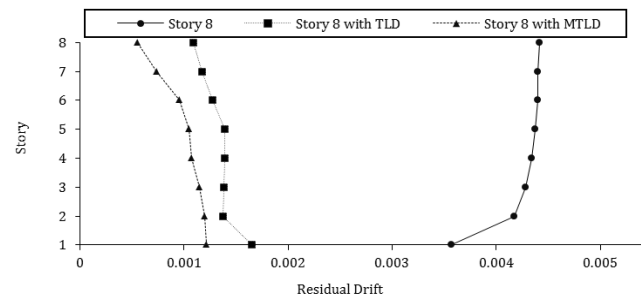
(ج)

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

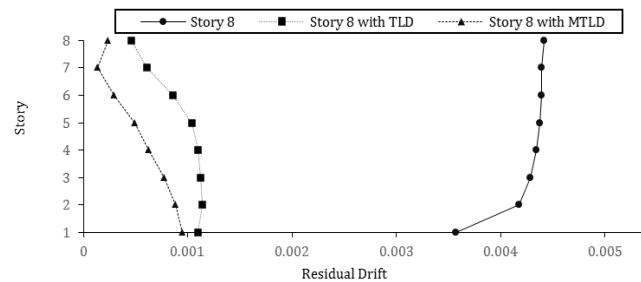
همانطور که در شکل ۶ دیده می شود الگوی کاهش دریفت پسماند در قاب ۸ طبقه مشابه با قاب چهار طبقه می باشد با این تفاوت که این مقدار کاهش به نسبت کمتر می باشد، افزایش ارتفاع ساختمان یکی از علل این موضوع می باشد. در این مدلها مجددا تاثیرات مثبت میراگر MTLD نسبت به میراگر TLD مشهود است.



(الف)



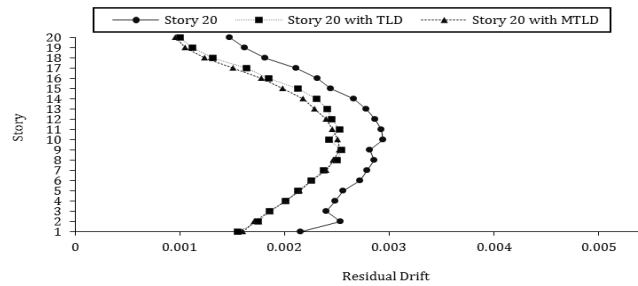
(ب)



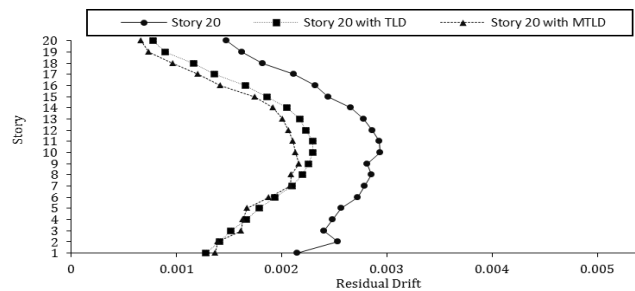
(ج)

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٪

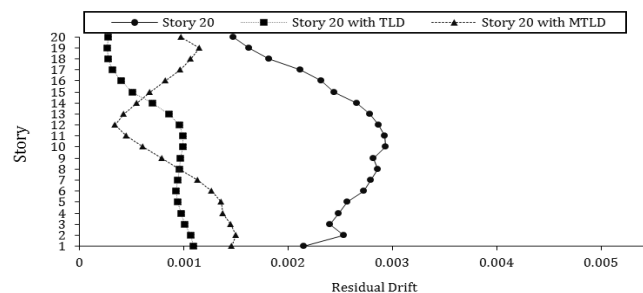
با توجه به نتایج، با افزایش تعداد طبقات تاثیرات میراگرها به نسبت سازه با تعداد طبقات کم، کمتر می باشد. این تفاوت را در سازه ۲۰ طبقه و مقایسه ی آن با سازه ۴ طبقه می توان به وضوح دید. هم چنین در سازه ۲۰ طبقه با نسبت جرمی ۳ درصد عملا کارایی سیستم MTLD مختل شده است. با توجه به نمودارها و مقایسه نسبت های 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 می باشد و یا اینکه پاسخ در نسبت جرمی ۳ درصد پاسخی غیر قابل قبول می باشد.



(الف)



(ب)



(ج)

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

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

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 MTLT در سازه‌ها و نسبت‌های جرمی مختلف متغیر است، بطوریکه در نسبت‌های جرمی ۱ و ۲ درصد میزان کاهش برش پایه مشهود می‌باشد. در کاهش برش پایه عملکرد میراگرهای TLD و MTLT تقریباً 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 ۱ و ۲ درصد کمتر می‌باشد 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 عملاً 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 MTLT، 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 MTLT اندکی کمتر از سازه‌ی مجهز به TLD است.

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

نوع سازه	چهار طبقه		هشت طبقه		بیست طبقه		پارامتر
	TLD با	MTLD با	TLD با	MTLD با	TLD با	MTLD با	
نسبت جرمی (درصد)	---	۱	---	۱	---	۱	
برش پایه (ton)	۶۰۲/۶۲	۵۱۴/۵۵	۱۸۷۱	۵۰۹/۹۲	۱۷۵۵/۳۰	۱۷۶۰/۶۰	۳۲۲۴/۸۰
نسبت جرمی (درصد)	---	۲	---	۲	---	۲	
برش پایه (ton)	---	۵۰۰	---	۵۱۹	---	۱۷۸۶/۴۰	۳۱۴۳/۶۰
نسبت جرمی (درصد)	---	۳	---	۳	---	۳	
برش پایه (ton)	---	۵۵۷/۸۰	---	۶۰۹/۱۱	---	۱۷۵۸/۳۶	۳۷۸۱/۷۵

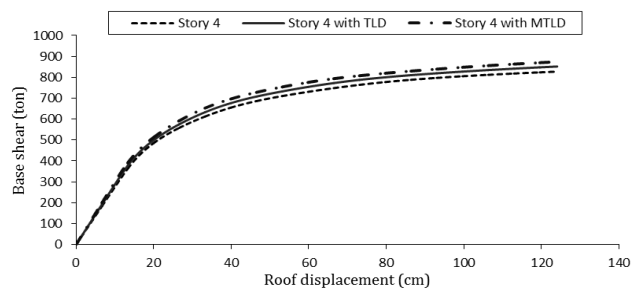
جدول ۵: تغییرات میانگین ماکزیم برش پایه سازه ۸ طبقه تحت ۲۲ رکورد زلزله

سازه	نسبت جرمی (درصد)	برش پایه (ton)	درصد کاهش
هشت طبقه (مرجع)	---	۱۸۷۱	---
هشت طبقه با میراگر TLD	۱	۱۷۵۵/۳۰	٪ ۶/۱۸
هشت طبقه با میراگر MTLT	۱	۱۷۶۰/۶۰	٪ ۵/۹۰
هشت طبقه با میراگر TLD	۲	۱۷۵۶/۶۰	٪ ۶/۱۱
هشت طبقه با میراگر MTLT	۲	۱۷۸۶/۴۰	٪ ۴/۵۲
هشت طبقه با میراگر TLD	۳	۱۷۵۸/۳۶	٪ ۶/۰۲
هشت طبقه با میراگر MTLT	۳	۱۸۰۸/۲۰	٪ ۳/۳۵

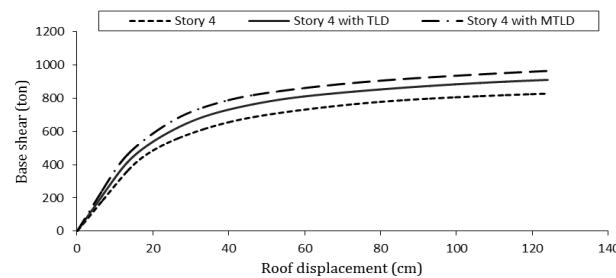
#### ۴-۳- نتایج تحلیل بار افزون

شکل‌های ۸ تا ۱۰ نشان دهنده نمودارهای بار-جابجایی سه قاب ۴، ۸ و ۲۰ طبقه با سه نسبت جرمی ۱، ۲ و ۳ درصد می‌باشد. قابهای مذکور در ۱۰ درصد ارتفاع خود پوش داده شده‌اند و همانطور که دیده می‌شود نمودار بار-جابجایی قاب مجهز به MTLT 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-جابجایی، 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.

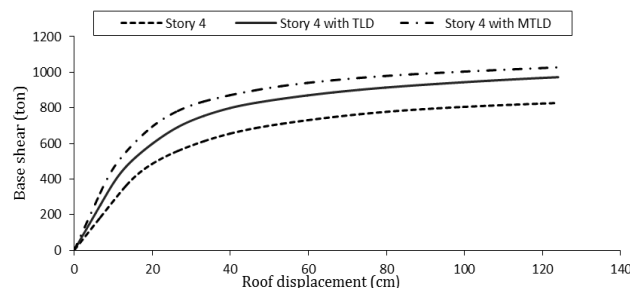
در قاب ۴ و ۸ طبقه در تمامی نسبت‌های جرمی تفاوت قابل رویت می‌باشد و عملکرد مطلوبی از این نوع میراگر (MTLD) مشاهده شده است، لیکن در ساختمان ۲۰ طبقه این تفاوت در نسبت جرمی ۱ و ۲ درصد که نسبت جرمی بهینه می‌باشد، به صورت واضح دیده نمی‌شود و نمودار بار-جابجایی قاب ۲۰ طبقه با و بدون میراگرها تقریباً هم پوشانی 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)

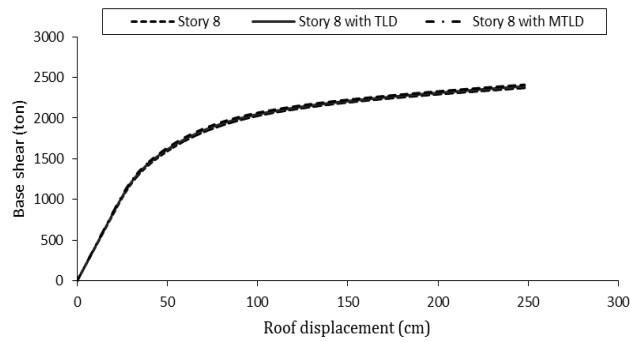


(ب)

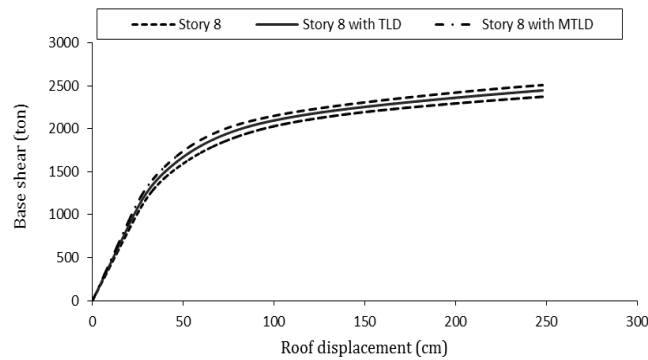


(ج)

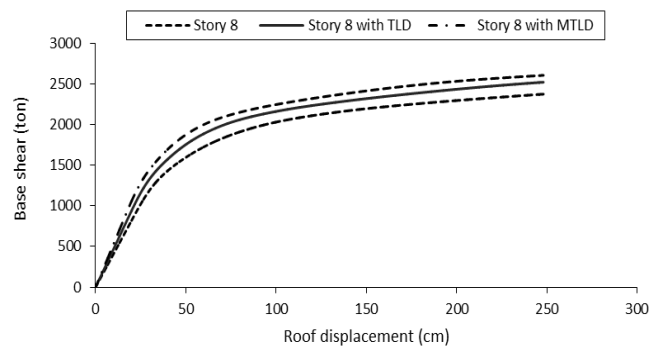
شکل ۸: نمودار پوش آور در ساختمان چهارطبقه طبقه با و بدون حضور میراگرهای TLD و MTLD با (الف) نسبت جرمی ۱٪، (ب) ۲٪ و (ج) ۳٪



(الف)

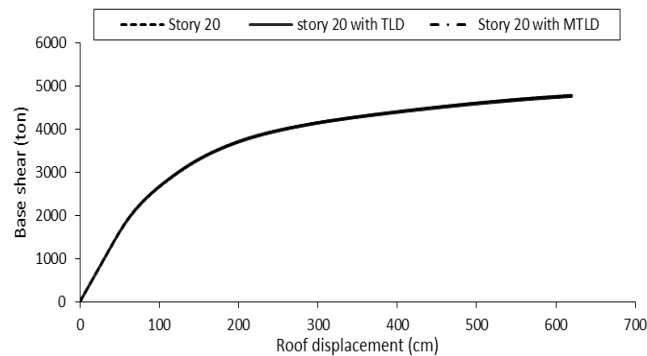


(ب)



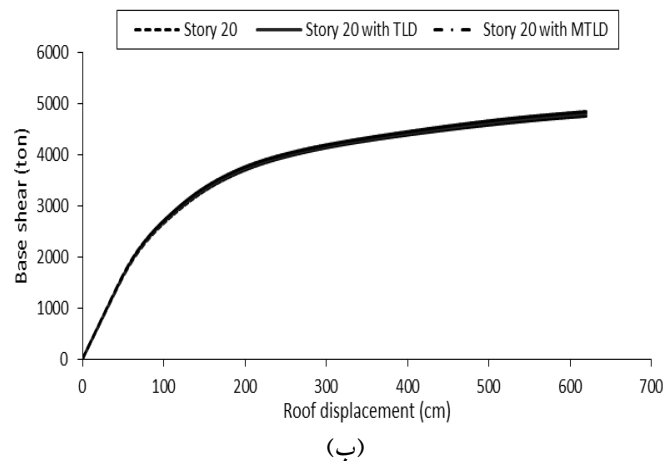
(ج)

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

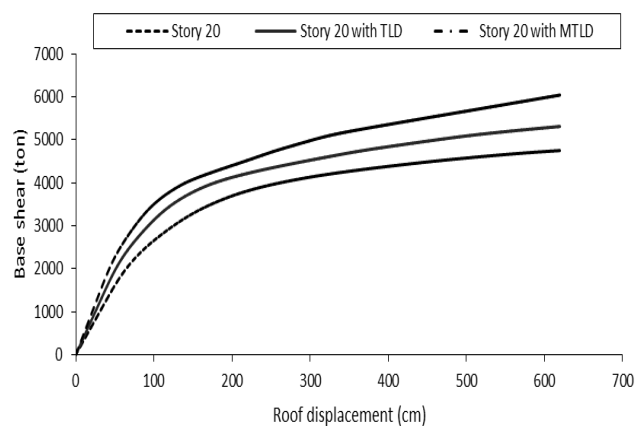


(الف)





(ب)



(ج)

شکل ۱۰: نمودار پوش آور در ساختمان بیست طبقه با و بدون حضور میراگرهای TLD و MTLT 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 طبیعتاً ضریب رفتار این نوع سازه‌ها دچار تغییراتی می شود. 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 می باشد) 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 MTLT بیشتر از قاب با میراگر TLD می باشد. طبیعتاً با افزایش ضریب رفتار شکل پذیری سازه نیز بیشتر می شود. در قاب چهار طبقه که بیشترین کارایی میراگر در این ساختمان بوده است با حضور میراگرهای TLD و MTLT شکل پذیری افزایش یافته است. در قاب هشت طبقه میزان شکل پذیری سازه مجهز به میراگر MTLT 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 می باشد. همانطور که دیده می شود با افزایش تعداد طبقات اختلاف ضریب رفتار دو میراگر TLD و MTLT کمتر می شود. پارامترهای مربوط به ضریب رفتار  $\mu$ ،  $R_{II}$  و  $R_S$  به ترتیب ضریب شکل پذیری، ضریب شکل پذیری و ضریب اضافه مقاومت می باشند.

جدول ۶: ضریب رفتار و سایر پارامترهای مربوط به ضریب رفتار سازه

R	R <sub>S</sub>	R <sub>μ</sub>	μ	نسبت جرمی (درصد)	نوع سازه	
۵/۱۶	۲/۰۲	۲/۵۴	۲/۷۰	---	چهار طبقه	
۵/۵۳	۲/۱۱	۲/۶۱	۲/۷۰	۲	چهار طبقه با TLD	چهار طبقه
۵/۷۴	۱/۹۹	۲/۸۷	۳/۰۳	۲	چهار طبقه با MTLT	
۴/۹۰	۱/۸۸	۲/۵۹	۲/۸۷	---	هشت طبقه	
۵/۰۸	۱/۸۸	۲/۶۹	۳/۰۶	۲	هشت طبقه با TLD	هشت طبقه
۵/۱۵	۱/۹۴	۲/۶۵	۲/۹۱	۲	هشت طبقه با MTLT	
۷/۵۸	۲/۹۱	۲/۶۰	۲/۵۶	---	بیست طبقه	
۷/۶۵	۲/۹۳	۲/۶۰	۲/۵۶	۲	بیست طبقه با TLD	بیست طبقه
۷/۶۸	۲/۹۴	۲/۶۱	۲/۵۶	۲	بیست طبقه با MTLT	

#### ۴- نتیجه گیری کلی

در این مقاله تاثیر میراگرهای مایع تنظیم شده (TLD) و تنظیم شده اصلاحی (MTLD) بر رفتار لرزه ای قاب های 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 سازه ها با نسبت های جرمی نامبرده در نرم افزار ایتیس انجام شده است. در ادامه قاب مرجع به صورت دو بعدی در نرم افزار اپنسیس مدلسازی شده و تحلیل های 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 MTLT دریفت قاب های خمشی فولادی را تا حدود قابل قبولی کاهش می دهند، 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 MTLT دریفت پسماند سازه ها را تا حد زیادی کاهش می دهد و منجر به رفتار مطلوب تر سازه به هنگام زلزله می شود.
- بررسی ها نشان می دهد که استفاده از این میراگرها در ساختمان های کوتاه و میان مرتبه موثرتر می باشد و عملا تاثیرات استفاده از این میراگرها در ساختمان های بلند مرتبه به نسبت سازه های کوتاه و میان مرتبه کم تر می باشد.
- با مقایسه ی نتایج در نسبت های جرمی استفاده شده در این پژوهش مشخص گردید که همواره با افزایش نسبت جرمی پاسخ های سازه کاهش نمی یابند. با توجه به نتایج، توانایی میراگر در کاهش پاسخ سازه ها در نسبت های جرمی ۱ و ۲ درصد مطلوب تر بوده و نسبت جرمی دو درصد به عنوان نسبت جرمی بهینه پیشنهاد می شود.
- براساس نتایج تحلیل های تاریخچه زمانی، دو میراگر TLD و MTLT تقریبا به یک میزان مقدار برش پایه حداکثر میانگین را در قاب های خمشی کاهش می دهند، بنابراین مزیت اصلی سیستم MTLT نسبت به TLD توانایی بیشتر آن در کاهش دریفت و بخصوص دریفت پسماند می باشد. این توانایی بیشتر به دلیل نحوه ی اتصال میراگر MTLT 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 Earthquake Engineering and Structural 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] Vejičko, 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.