

بررسی اثر میراگرهای مایع در کاهش جابجایی سازه ها

سیدمصطفی رضوی¹، بهرام نوایی نیا²، محمدرضازائیان³

1- کارشناس ارشد، دانشگاه مازندران، بابل

2- استادیار، دانشگاه نوشیروانی مازندران، بابل

3- دانشجو، دانشگاه سمنان

mohamadrezarezaeian@yahoo.com

خلاصه

براساس نیازهای موجود در عرصه ساختمان سازی، در دهه های اخیر میحث جدیدی تحت عنوان کنترل لرزه ای سازه ها مطرح شده است. یکی از روش های مورد بحث، استفاده از سیستم های میراگر مایع می باشد. در این تحقیق با استفاده از مدل سازی رایانه ای به بررسی میراگرهای مایع در سازه پرداخته شده است. همچنین از قاب های فولادی بدون سیستم های باربر جانبی، با سیستم مهاربندی X، قاب دارای میراگر و قاب مهاربند دارای میراگر استفاده شده است. در این خصوص پس از بیان روند طراحی سیستم های سازه ای به همراه میراگرهای مایع، حالات مختلفی از سیستم های سازه ای فولادی از جنبه های مختلف در سازه های 4، 12، 24 و 48 طبقه مورد ارزیابی قرار می گیرند. نتایج بررسی ها نشان می دهد که این سیستم ها در مقابل زلزله های مختلف رفتار مناسبی از نظر کاهش پاسخ تغییر مکان سازه از خود بروز می دهند.

کلمات کلیدی: سیستم های سازه ای، پاسخ سازه، میراگر مایع، جرم، نسبت فرکانس

مقدمه

گرایش به سوی طراحی سازه های بلند و استفاده از تکنولوژی ساخت پیشرفته، مصالح سبک و مقاومت بالا، سبب به وجود آمدن سازه های انعطاف پذیر با میرایی کم شده است. لذا اینگونه سازه ها در برابر عوامل محیطی مثل باد و زلزله ها بسیار حساس خواهند بود و این عوامل باعث ارتعاشات ناخواسته با دامنه های زیاد و طولانی در این سازه ها می گردد که سبب عدم آسایش ساکنان و عمل نامناسب تجهیزات نصب شده در آنها و بعضی اوقات نیز سبب خرابی آنها می گردد. بنابراین تحقیق در مورد روش های عملی و موثر برای کاهش این ارتعاشات بسیار مهم است. یکی از راه های کاهش این ارتعاشات افزودن میرایی اضافی به سازه است که بر اساس بعضی از برآوردهای صورت گرفته اقتصادی تر از افزایش سختی می باشد [1].

معرفی میراگرهای جرمی تنظیمی و مایع تنظیمی

هدف از به کارگیری میراگر جرمی تنظیمی در یک سازه کاهش تقاضای اتلاف انرژی در اعضاء سازه تحت نیروهای دینامیکی خارجی است. این کاهش تقاضا توسط انتقال مقداری انرژی از سازه ای به میراگر جرمی تنظیمی (Tuned Mass Damper TMD) صورت می گیرد. در میراگرهای جرمی تنظیمی (TMD)، عموماً یک بلوک توپر بتنی یا فولادی به عنوان جرم ثانویه عمل می کند، هر چند در بعضی موارد یک مخزن پر شده از آب برای این منظور استفاده می شود. قسمت دیگری از جذب کننده های ارتعاشات دینامیکی، میراگرهای مایع تنظیمی (TLD) است که در آن از مایعات به جهت فراهم نمودن تمامی مشخصات مورد نیاز سیستم ثانویه استفاده می شود [1].

مدل سازی میراگرهای مایع

1 کارشناس ارشد سازه و عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد بجنورد

2 استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه نوشیروانی مازندران

3 دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی راه و ترابری دانشگاه سمنان

برای مدلسازی رفتار میراگرهای مایع تنظیمی از المان پیوند برنامه SAP2000 استفاده شده است. وابستگی این المان به تغییر مکان و سرعت سازه در تراز قرار گرفته این امکان را به ما می‌دهد که از آنها به عنوان میراگر مایع تنظیمی استفاده کنیم. در این تحقیق از قاب‌های فولادی بدون سیستم‌های باربر جانبی، با سیستم مهاربندی X، قاب دارای میراگر و قاب مهاربند دارای میراگر استفاده شده است. جرم میراگر مورد استفاده بر اساس درصدی از وزن مورد استفاده در تحلیل لرزه‌ای (بار مرده بعلاوه 0,2 بار زنده) انتخاب شده است و تغییراتی در این درصد داده شده است تا اثر این تغییرات مشاهده شود. در حالت اول درصد جرم به صورت 0,01 جرم کل قاب می‌باشد و در حالت دوم جرم 0,02 جرم مشارکت مود اول قاب می‌باشد. چهار ارتفاع برای سازه‌های مورد بررسی در نظر گرفته شده است که عبارتند از قاب‌های 4، 12، 24 و 48 طبقه و ارتفاع هر طبقه هم 3 متر منظور شده است. مقدار بار مرده و زنده اعمالی به قاب به ترتیب 3000 و 750 کیلوگرم بر متر می‌باشد که در تمامی دهانه‌ها اعمال می‌شود. عرض تمام دهانه‌ها 6 متر است و هر قاب از سه دهانه تشکیل شده است. بار جانبی به دو صورت به قاب وارد شده است. ابتدا بار به صورت متمرکز به هر طبقه اعمال گردیده است که مقدار این بار متمرکز 5000 کیلوگرم نیرو می‌باشد. در مرتبه دوم بار به صورت گسترده به میزان 1666,67 کیلوگرم نیرو بر واحد متر می‌باشد که به یک وجه قاب اعمال می‌گردد. انتخاب این مقدار بار گسترده از این جهت است که مقدار کل بار اعمالی بر سازه یکسان باشد. بارهای جانبی به صورت دینامیکی و با تابع سینوسی بر سازه اعمال می‌شوند. از آنجایی که میراگرهای مایع تنظیمی رفتاری وابسته به پیوند اعمالی بار دارند لذا پیوند بار اعمالی ضرایبی از پیوند مود اول و مود دوم سازه انتخاب شده است. این ضرایب به طوری هستند که اگر پیوند طبیعی مود اول T1 و پیوند طبیعی مود دوم T2 باشد آنگاه T1 در ضرایبی که با Ci نشان داده می‌شوند ضرب می‌شود و T2 در ضرایبی که با Cj نشان داده می‌شوند ضرب می‌شود. مقادیر انتخابی این ضرایب در جدول (1) نشان داده شده است. برای بررسی پارامترهای انتخابی از معیاری به نام شاخص بهبود استفاده شده است. شاخص بهبود به صورت زیر تعریف می‌شود [2]:

$$EI = \frac{u}{U}$$

که در رابطه فوق EI¹ شاخص بهبود می‌باشد و مقدار کاهش پاسخ را در صورت استفاده از سیستم‌های باربر یا میراگر مایع تنظیمی نشان می‌دهد. U مقدار پارامتر در حالت اولیه در بار T1 (مقدار پارامتر در قاب معمولی بدون سیستم اضافی باربر جانبی در حالتی که بار T1 که دارای پیوند مساوی با پیوند مود اول سازه است به قاب اعمال می‌شود) و u هم مقدار پارامتر مربوطه بعد از استفاده از سیستم‌های میراگر مایع تنظیمی و یا استفاده از مهاربند جانبی می‌باشد. مقدار کاهش پاسخ در طبقات با تغییرات پیوند بارگذاری در نمودارهایی که به نام نمودار EI-t/T نامیده می‌شوند نشان داده شده‌اند EI طبق تعریف شاخص بهبود است، t پیوند بارگذاری است که تغییر داده می‌شود و T هم پیوند مود اول قاب می‌باشد. در منحنی‌های EI-t/T مقدار جابجایی به صورت نسبی و بر اساس نسبت جابجایی در آن طبقه در قاب بدون سیستم مقاوم جانبی ارائه شده است تا بدین ترتیب میزان تفاوت در جواب با کارگذاری سیستم‌های مورد نظر نشان داده شود. در هنگامی که از منحنی‌های N-DIS / شماره طبقه استفاده می‌شود جابجایی در هر قاب بر اساس مقدار جابجایی در طبقه آخر یکی از قابها نوشته می‌شود تا با استفاده از مقادیر نسبی بتوان تفاوت در سیستم‌های گوناگون را نشان داد [3].

جدول 1: ضرایب انتخابی برای ضرب در پیوندهای طبیعی سازه و استفاده به عنوان پیوندهای بارگذاری

ضریب	مقادیر اعمالی برای هر ضریب
C _i	0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.75, 0.8, 0.85, 0.9, 0.95, 0.98, 1.0, 1.02, 1.05, 1.1, 1.15, 1.2, 1.25, 1.35, 1.6, 1.8, 2.0
C _j	0.9, 0.95, 1.0, 1.05, 1.1

4- تجزیه و تحلیل

4-1- بررسی معیار جابجایی در قابهای با بار متمرکز جانبی

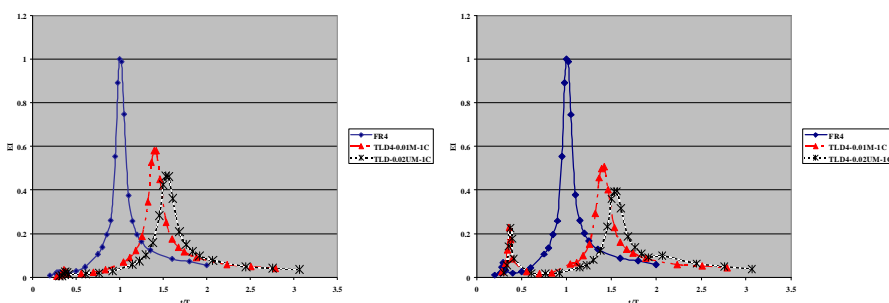
در شکل (1) کاهش مقدار جابجایی در بار اعمالی با پیوند T1 و افزایش پاسخ در بار T2 مشاهده می‌شود. در قاب 4 طبقه مقدار کاهش جابجایی در بار T1 بیش از 40 درصد می‌باشد در حالی که در پیوند T2 مقدار پاسخ نسبت به حالت قاب معمولی تقریباً 6 برابر شده است. البته مقدار بیشینه پاسخ در بار T1 اتفاق می‌افتد. کاهش پاسخ در بار T1 نشانگر کارایی این میراگرها در هنگام ایجاد شرایط تشدید در سازه است و افزایش پاسخ جابجایی در بار T2 در طبقه اول نشانگر وابسته بودن عملکرد اینگونه میراگرهای تنظیمی (چه مایع تنظیمی و چه جرمی تنظیمی) به پیوند بار اعمالی و عملکرد نامناسب

¹ Efficiency Index

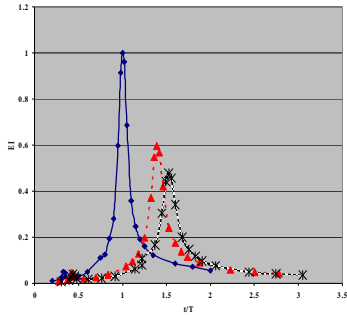
میراگرهای تنظیمی در بارهای دینامیکی با پیوند مساوی مود دوم سازه که تنظیم با فرکانس میراگر نیست می‌باشد. با افزایش ارتفاع و در طبقات بالاتر از اثر منفی میراگرها در بار T2 در قاب چهار طبقه کاسته می‌شود. در طبقات بالاتر شاخص بهبود در بار T1 افزایش پیدا می‌کند که به معنی کاهش میزان اثربخشی میراگرها می‌باشد. ولی در طبقات بالاتر اثر منفی میراگرها در بار T2 کاهش پیدا می‌کند. همچنین استفاده از 2 درصد جرم مشارکت سبب کاهش بیشتر پاسخ قاب (حدود 50 درصد) در بار T1 می‌شود ولی مقدار شاخص بهبود در بار T2 تغییر چندانی نمی‌کند. این تغییر درصد با توجه به درصد مشارکت بالای مود اول که میراگر برای آن تنظیم می‌شود سبب افزایش جرم در نظر گرفته شده برای میراگر می‌شود. به این شکل میتوان اینگونه نتیجه گرفت افزایش درصد جرم سبب بالا بردن کارایی میراگر در بار T1 می‌شود. از آنجایی که درصد جرم بیشتری در این حالت استفاده می‌شود بررسی میزان فضای موجود و توان باربری سیستم سازه‌ای در تحمل مقدار وزن اضافه شده مهم است و می‌تواند نقش تعیین کننده داشته باشد. اما چون این میراگرها تنظیمی هستند و برای مود اول تنظیم می‌شوند پس اگر درصد جرم مشارکت در انتخاب میزان جرم اثر داشته باشد این انتخاب مفیدتر خواهد بود. همچنین افزایش درصد جرم میراگر سبب انتقال نقطه اوج ایجاد شده در پیوند مود اول به سمت راست می‌شود در حالی که اثر چندانی بر انتقال نقطه اوج ایجاد شده در پیوند مود دوم قاب به سمت راست یا چپ ندارد. می‌توان اینگونه استنباط کرد که با افزایش درصد جرم پیوند مود اول زیادتر می‌شود در حالی که پیوند مود دوم تغییر نمی‌کند. همانطور که در قاب 12 طبقه مشخص است در طبقات ابتدایی پاسخ جابجایی دارای دو نقطه اوج یکی در بار T1 و دیگری در بار T2 می‌باشد. در طبقات بالاتر نقطه اوج مشاهده شده در بار T2 کمتر می‌شود و در عوض مقدار جابجایی در بار T1 افزایش پیدا می‌کند. لذا در طبقات ابتدایی، مقدار پاسخ بسیار وابسته به پیوند بار اعمالی است. در شکل (2) تاثیر استفاده از میراگرهای مایع تنظیمی در قابهای 4 و 12 طبقه دارای بادبند نشان داده شده است. مشخص می‌شود که تاثیر به کار بردن میراگرهای مایع تنظیمی در قابهای دارای بادبند به مانند قابهای بدون بادبند است. یعنی میراگرها سبب انتقال نقطه اوج جابجایی به سمت راست (به معنی افزایش پیوند سازه) و به وجود آوردن نقطه اوج دوم در بار T2 می‌شوند. این میراگرها سبب کاهش پاسخ در بار T1 و افزایش پاسخ در بار T2 می‌شوند. پس اگر از سیستم توام میراگر و بادبند استفاده شود می‌توان کاهش پیوند سازه در اثر کارگذاری بادبند را با افزایش پیوند ناشی از کارگذاری میراگر جبران کرد و این به معنی افزایش توانایی سازه در جذب انرژی ورودی به سازه خواهد بود. از شکل (3) می‌توان عملکرد مثبت این میراگرها در بار با پیوند مساوی با پیوند تنظیم شده برای میراگر را درک کرد. نکته دیگر افزایش میزان کاهش پاسخ با افزایش درصد جرم به کار گرفته شده می‌باشد. میتوان گفت برای تمامی قابها به کار بردن دو درصد جرم مشارکت مود اول سازه میزان کاهش پاسخ جابجایی افزایش پیدا کرده است و استفاده از درصد جرم بالاتر سبب افزایش عملکرد مثبت این میراگرها در بار T1 می‌شود. در اشکال (4) و (5) به بررسی اثر تغییر مکان قرارگیری میراگر در طبقات مختلف قاب چهار طبقه در بار T1 و بار T2 پرداخته شده است. در این قابها هر چه میراگر در طبقات پایین تر نصب شود باعث می‌شود پاسخ جابجایی در بار T2 کم و در بار T1 اضافه شود. قرار دادن میراگر در طبقات پایین تر فقط اثر منفی در افزایش پاسخ در بار T1 به علت کم بودن جابجایی در بار T2 دارد. شکل (5) نیز نشان می‌دهد در بار T1 همواره در تمامی طبقات با قرار گیری میراگر در طبقه آخر مقدار پاسخ جابجایی کم می‌شود [4] و [5].

4-2- بررسی معیار جابجایی در قابهای با بار جانبی گسترده

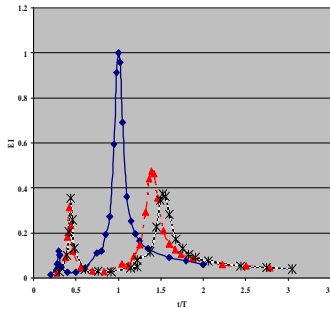
بررسی شکل (6) نشان می‌دهد که استفاده از میراگرهای مایع می‌تواند سبب کاهش پاسخ جابجایی در قابهای چهار طبقه فولادی بدون بادبند و با بادبند در بار T1 و افزایش پاسخ در بار T2 شود. البته با استفاده توام بادبند و میراگر می‌توان مقدار جابجایی قاب را در بار T2 به کمترین مقدار (یعنی حتی کمتر از پاسخ قاب بدون میراگر و بادبند در بار T2 در بین سیستم‌های دارای میراگر و بدون میراگر تنظیمی رساند. همچنین نوع رفتار به جز اثر بیشتر در بار T2 که در هنگام بررسی قابهای با بار متمرکز هم مشاهده شد در مابقی موارد تقریباً یکسان است [6].



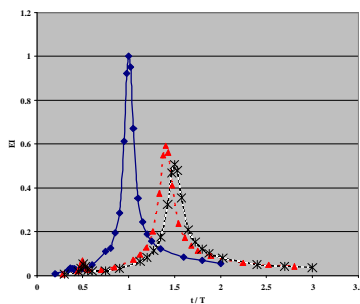
ب) طبقه چهارم (طبقه 4)



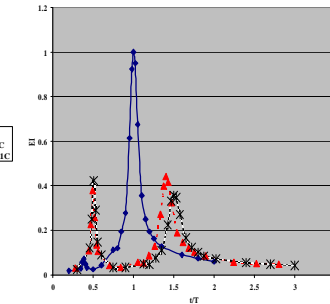
الف) طبقه اول (طبقه 4)



ب) طبقه دوازدهم (طبقه 12)



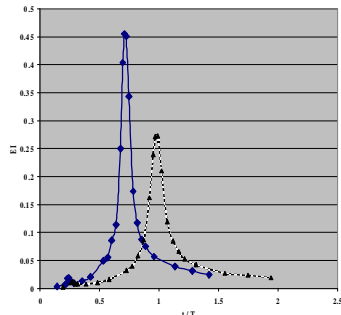
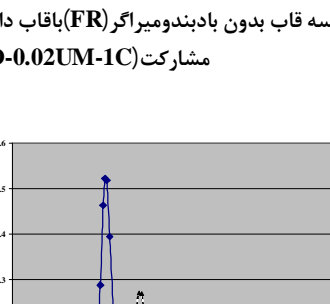
الف) طبقه اول (طبقه 12)



ب) طبقه بیست و چهارم (طبقه 24)

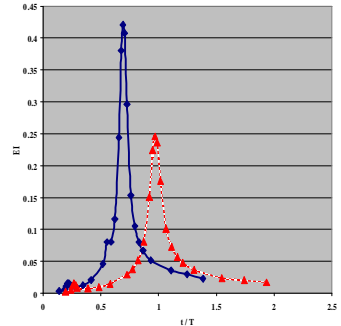
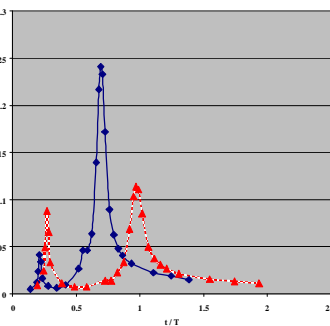
شکل ۱: مقایسه قاب بدون باد بند و میراگر (FR) با قاب دارای میراگر با 0,01 جرم (TLD-0.01M-1C) و 0,02 جرم مشارکت (TLD-0.02UM-1C) در ارتفاع های مختلف

الف) طبقه اول (طبقه 24)

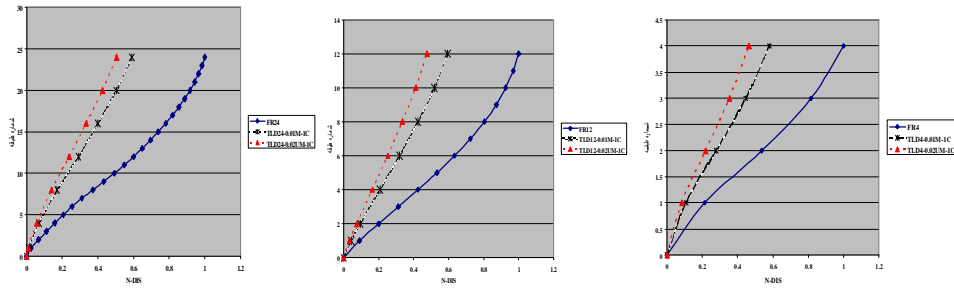


ب) طبقه چهارم (طبقه 4)

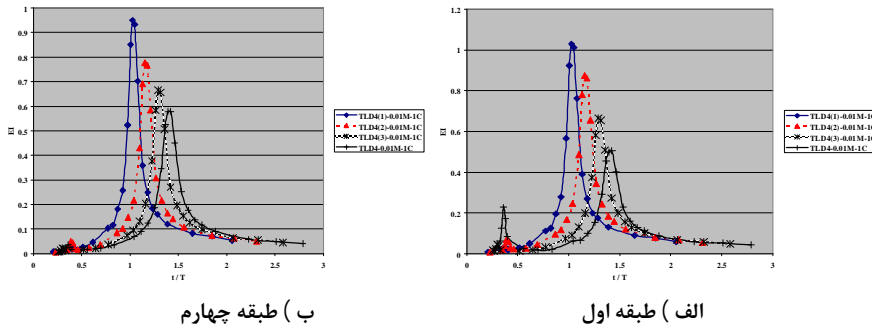
الف) طبقه اول (طبقه 4)



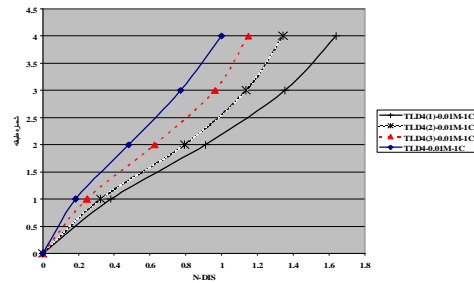
الف (طبقه اول (12 طبقه))
 ب (طبقه دوازدهم (12 طبقه))
 شکل 2: بررسی قاب دارای بادبند (BR) با قاب دارای بادبند و میراگر (TLD-BR)



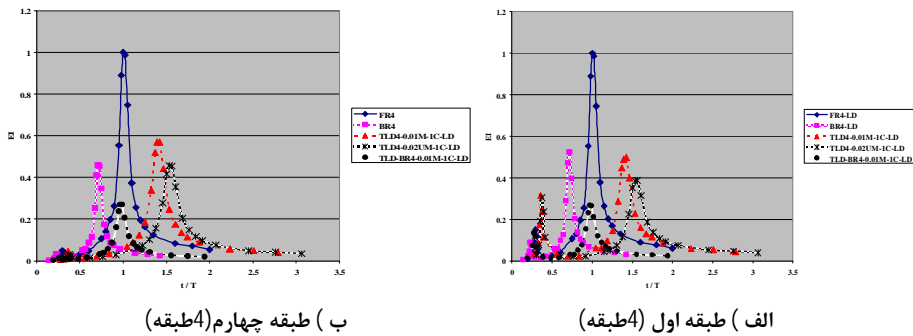
شکل 3: بررسی استفاده از میراگر مایع تنظیمی در قاب 4 و 12 و 24 بدون بادبند و میراگر (FR) در هنگام اعمال بار دینامیکی T1

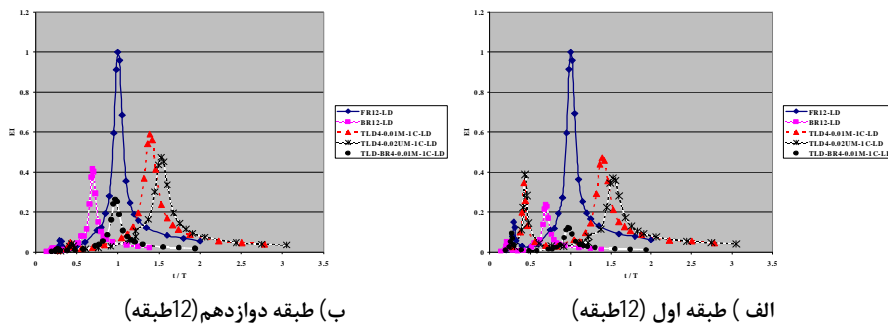


شکل 4: بررسی اثر تغییر مکان قرار گیری میراگر در طبقات اول و چهارم قاب چهار طبقه



شکل 5: بررسی اثر تغییر مکان قرار گیری میراگر در قاب چهار طبقه با بار T1





شکل 6: بررسی استفاده از سیستم‌های سازه‌ای گوناگون در هنگام اعمال بار جانبی گسترده در کاهش جابجایی

نتیجه گیری

به طور خلاصه با بررسی هایی که روی سازه های 4،12،24 و 48 طبقه با میراگر و بدون میراگر انجام شد میتوان نتیجه گیری کرد که:

- 1- در کلیه قاب ها با افزایش ارتفاع از اثر منفی بار T2 کاسته میشود و شاخص بهبود در بار T1 افزایش می یابد.
- 2- اگر میراگر مایع تنظیمی با پر یود بار عملی و پر یود سازه تنظیم باشد عملکرد بسیار خوبی دارد.
- 3- هر چه میراگر در طبقات پایین تر نصب شود سبب افزایش پاسخ جابجایی در بار T1 میشود.
- 4- استفاده از میراگر مایع تنظیمی می تواند کاهش پر یود ناشی از کار گذاری بادی بند را افزایش دهد.

مراجع

- [1] Yalla, S.K., (2001b), Liquid Dampers For Mitigation of Structural Response : Theoretical Development and Experimental Validation, Director : Ahsan kareem , Submitted to the Graduate School of the University of Notre Dame in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of the Doctor of Philosophy
- [2] Yalla, S.K., Kareem, A., (2000c) , "Optimum Absorber Parameters for Tuned Liquid Column Dampers", ASCE Journal of Structural Engineering, 126(8), 906-915
- [3] Soong, T.T., Spencer, B.F (2002) "Supplemental energy dissipation: state-of-the-art and state-of-the practice" Engineering Structures , 24 , 243-259
- [4] Balendra, T., Wang, C. M., and Cheong, H.F., (1995) "Effectiveness of tuned liquid column dampers for vibration control of towers" Engineering Structures 17(9), 668-675.
- [5] ناطقی الهی ، ف.، درخشانی ، ک. ، " استفاده بهینه از نسل جدید میراگرهای مایع در کاهش پاسخ سازه‌ها " نشریه دانشکده مهندسی فردوسی مشهد ، سال شانزدهم ، شماره اول ، 1383
- [6] سونگ، تی.تی.، دارگوش، جی.اف. (1381). سیستم‌های اتلاف انرژی غیرفعال در مهندسی سازه. تهران: پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله. ترجمه: نیو، مهران، کریمخانی، بابک.