طراحی و کنترل سازه ها با استفاده همزمان از سیستم میراگرهای جرمی‌تنظیم شده(TMDs) وجداساز لرزه ای

محسن کرامتی [۱] و محمود نیکخواه شهمیرزادی [۲] و محمدعلی قنادیان [۳]*

۱- دانشیار ،گروه مهندسی عمران، واحد شاهرود، دانشگاه صنعتی شاهرود ، شاهرود، ایران
۲- دانشیار ،گروه مهندسی عمران، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران
۳- کارشناسی ارشد ،گروه مهندسی عمران، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران
* سمنان، ۳۵۱۹۸۱۸۶۹۴ ، (M_ali_ghanadian@yahoo.com)

چکیده

امروزه فارغ از دیدگاه طراحی سازه ها، ضرورت استفاده از تکنولوژی های پیشرفته با توجه به ملاحظات اقتصادی، نیاز به کاهش زمان اجرای طرح های مقاوم سازی و بهبود عملکرد سازه های مختلف در سطح خطر انتخابی و اجرای آسان آن در مواردی که محدودیت اجرا وجود دارد و یا نیاز به استفاده بی وقفه از سازه مورد نظر باشد، بیشتر احساس می شود. هدف از این پژوهش بررسی تاثیر همزمان جداساز لرزه ای و میراگر جرمی‌تنظیم شده (TMD) بر کاهش اثر ممان در رفتار لرزه ای ساختمان های فلزی می‌باشد. بنابراین در این تحقیق ز دو مدل سازه ای ۱۰ و ۱۵ طبقه به صورت پایه ثابت و هم جداسازی شده از پایه و هم به صورت ترکیبی، با استفاده از ۷ شتاب نگاشت دور از گسل و ۷ شتاب نگاشت نزدیک گسل زلزله که به ۰،۵g مقیاس شده‌اند، تحت آنالیز تاریخچه زمانی در نرم‌افزار SAP2000 ، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. تایج بدست آمده حاکی از این امر می‌باشد که سیستم کنترل ترکیبی باعث کاهش ۸۰ درصدی در ممان طبقات در شتاب نگاشت های دور و نزدیک گسل می‌شود.

.

کلیدواژگان

جداساز لرزه ای (LRB)، میراگر جرمی‌تنظیم شده (TMD)، سیستم کنترل ترکیبی

Design and controlling structures by simultaneous use of Tuned Mass Dampers (TMDS) and seismic isolator system.

Mohsen keramati1, mahmod nickhah shahmirzadi2, mohammad ali ghanadian*3

1- Associate professor,Department of Civil Engineering,Faculty of Engineering shahroud University- shahroud -Iran
2- Associate professor,Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, University azad Islamic of semnan-Iran
3- MA Civil geotechnic, Department of Civil Engineering , Islamic Azad semnan-Iran
* P.O.B. 3519818694 Semnan, Iran ، (M_ali_ghanadian@yahoo.com)

Abstract

Today, apart from a design perspective structures, The application of advanced technology due to economic considerations, The need to reduce the time and improve the performance of various retrofit projects on the level of risk selection and execution easy to run in cases where there are restrictions Or the need for uninterrupted use of the intended structure is more felt. This study is aimed to evaluate the simultaneous effect of seismic isolator and tuned mass damper on reducing the effect of moment in seismic behavior of steel structures. Therefore 2 model structures of 10 & 15 stories with fixed base, base isolated and a combination of them are evaluated under time history analysis through SAP2000 software using 7 far fault record acceleration and 7 near fault record acceleration scaled to 0.5 g results show that hybrid controlling system is lead to 80% reduction of stories moment in record acceleration of far and near fault earthquakes.

Keywords

seismic isolator, tuned mass damper (TMD), hybrid controlling system

۱-مقدمه

در گذشته مهندسین سازه با وارد کردن تغییر شکل های پلاستیک علاوه بر تامین نرمی و افزایش پریود طبیعی سازه، با تشکیل حلقه های هیسترتیک به نحوی انرژی ورودی زلزله را جذب می کردند. این روش طراحی متداول شامل سیستم های مرسوم سازه ای (سیستم قاب خمشی، سیستم مهاربندی جانبی، دیوار برشی و سیستم های دوگانه)
می باشد. اتلاف انرژی در این روش توسط اعضای اصلی سازه ای تحقق می یابد و این نشان دهنده سطح عملکرد پایین این
سیستم ها می باشد (۴).

یکی از ایده های جدید برای مقابله با تحریکات ناشی از باد یا زلزله، ایده کنترل سازه هاست. بر خلاف روش های سنتی که در آنها سعی می شد با افزایش سختی و مقاومت ایمنی سازه در مقابله تحریکات خارجی تامین گردد، در این روش از ابزار کنترل سازه ها به منظور اتلاف و یا کاهش انرژی منتقل شده به سازه استفاده می شود و پاسخ لرزه ای بهینه را برای سازه فراهم می نمایند. روش کاهش و کنترل پاسخ های نیرویی و تغییر مکانی سازه ها و بهبود رفتار آنها در بارگذاری های لرزه ای و همچنین بار باد، موضوع اصلی بحث کنترل سازه ها است، این دسته شامل روش های کنترل پاسخ دینامیکی می باشد که با کنترل و هدایت انرژی ورودی به سیستم، باعث کنترل پاسخ سازه شده که در نتیجه استفاده از این سیستم ها عملکرد سیستم سازه ای را بهبود می بخشد. این سیستم ها به سه دسته اصلی تقسیم بندی می شوند:

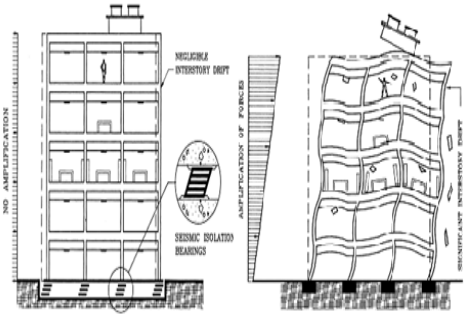
۱- سیستم های کنترل غیر فعال
۲- سیستم های کنترل فعال و نیمه فعال
۳- سیستم های کنترل هیبرید

۲-۲- سیستم کنترل غیر فعال

در واقع منظور از کنترل غیر فعال، افزودن ابزاری به سازه است که با توجه به مشخصات فیزیکی خود، یا از طریق تغییر مشخصات دینامیکی سازه یا از طریق اتلاف انرژی (که به مفهوم افزایش میرایی است) و یا از هر دو طریق باعث کاهش پاسخ سازه و تعداد سیکل های رفت و برگشت آن در برابر نیروهای دینامیکی خارجی گردد. از آنجا که این نوع کنترل نیازی به انرژی خارجی نداشته و به حرکات موضعی سازه، حساس است و پاسخ می دهد، استفاده ار آن در طرح های مقاوم لرزه ای روز به روز در حال افزایش است.
سیستم های کنترل غیر فعال، به دلیل ثابت بودن خواص دینامیکی از جمله سختی، میرایی، جرم و در نتیجه زمان تناوب، تا حدی به فرکانس و دامنه تحریک ورودی به سازه حساس هستند. این حساسیت بر میزان کارایی آنها برای تحریک هایی مانند زلزله که ماهیت تصادفی و غیر مشخص دارند، تاثیر می گذارد. کارایی این سیستم ها فقط برای مدهایی از ارتعاش که برای آن مدها تنظیم شده اند موثرند. این سیستم ها در برابر زلزله هایی با فاز اولیه کوتاه (زلزله های سریع) عملکرد مناسبی ندارند. بنابراین در نزدیکی گسلها از این سیستم ها نمی توان استفاده کرد و همچنین عملکرد این سیستم ها در ساختمان های بلند به دلیل بزرگ بودن پریود ساختمان و مسئله بلندشدگی ساختمان مناسب نمی باشد [۱].

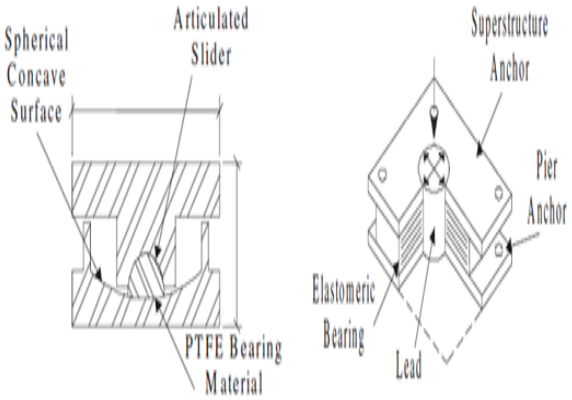
۲-سیستم جداساز لرزه ای

جداگر لرزه ای روش عملی است که همزمان قادر به کاهش شتاب وارد به طبقات و جابه جایی نسبی طبقات
می باشد. با استفاده از این تکنولوژی، ساختمان پس از زلزله به سرویس دهی خود ادامه می دهد که این امر برای ساختمان های دارای تجهیزات با ارزش یا قدمت تاریخی بسیار مفید می باشد.
این سیستم با متمرکز کردن تغییر مکان های حاصله در تراز جداساز، نرمی مورد نیاز سازه را فراهم و ساختمان را از مولفه های افقی حرکت زمین جدا ساخته و سیستمی را به وجود می آورد که فرکانس پایین آن بسیار پایین تر از فرکانس های غالب زمین لرزه و نیز فرکانس پایه همان ساختمان با اتصال گیردار است. در سازه های جداسازی شده در پایه، زمان تناوب و میرایی مود اول سازه جداسازی شده (در نتیجه رفتار لرزه ای آن) عمدتا بستگی به خصوصیات سیستم جداگر داشته و تقریبا مستقل از زمان تناوب و میرایی خود سازه می باشد. به دلیل عملکرد صلب ساختمان بالای جداگر شکل [۱].
جابه جایی نسبی بین طبقات بسیار کم بوده و رفتار لرزه ای مود اول ارتعاشی در نظر گرفته
می شود [۵].
با توجه به مکانیسم جذب انرژی در این جداگرها، می توان به جداگرهای لاستیکی با هسته سربی و جداگرهای اصطکاکی- لغزشی اشاره نمود.



شکل ۱ مقایسه سازه بدون جداسازی پایه (سمت راست) و با جداسازی پایه (سمت چپ). [۲]

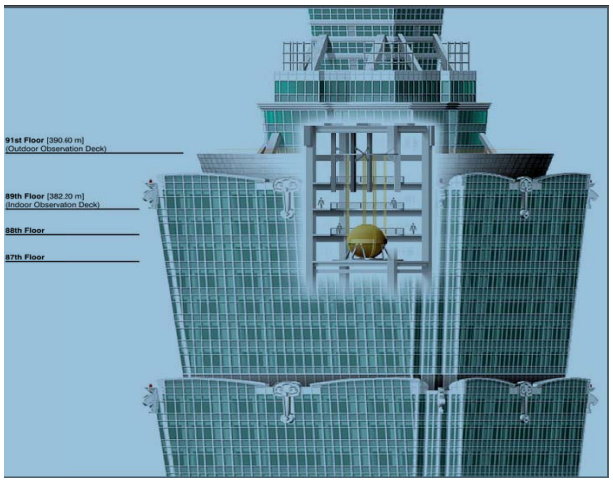
از معایب جداگرها هزینه زیاد در ساخت و نصب جداگرها می باشد. باتوجه به طول عمر سازه با این سیستم و قابلیت تعویض این جداگرها و نیز کاهش ابعاد مقاطع تیر و ستون ها استفاده از این جداگرها در ساختمان های کوتاه مرتبه توجیه اقتصادی دارد.



شکل ۲ تکیه گاه الاستومری با هسته سربی (سمت راست) و سیستم پاندولی اصطکاکی– لغزشی (سمت چپ) [۲]

۳-میراگرهای جرمی تنظیم شده

در دو دهه اخیر میراگر جرمی تنظیم شده به عنوان یکی از روش های کنترل غیر فعال بر روی ساختمان های بلند در برابر زلزله به کار رفته است. ساده ترین نوع این میراگرها شامل جرم و فنر می باشد. فنرها همراه با تلف کننده های انرژی، بین جرم و تکیه گاه های ثابت، عمودی قرار می گیرند که در حالت ایده آل با ۹۰ درجه اختلاف فاز نسبت به نوسانات اصلی سازه ارتعاش می نماید. عملکرد این سیستم به طور اساسی بر مبنای استهلاک انرژی بصورت حرکت نوسانی جرم میراگر و ایجاد نیروی اینرسی جرم در فاز مخالف نیروی وارد به سازه می باشد. شکل [۲] محل قرار گیری یک میراگرجرمی تنظیم شده پاندولی در یک برج را نشان می دهد.
با توجه به عدم قطعیت موجود در پیش بینی زلزله و همچنین مشخصات دینامیکی سازه مانند فرکانس های طبیعی و میرایی مودهای مختلف ارتعاشی، بهتر است که از تعداد میراگرهای بیشتری با فرکانس های ارتعاشی نزدیک به هم استفاده نمود تا بتوان محدوده بیشتری از فرکانس ارتعاشی اصلی سازه را پوشش داد.



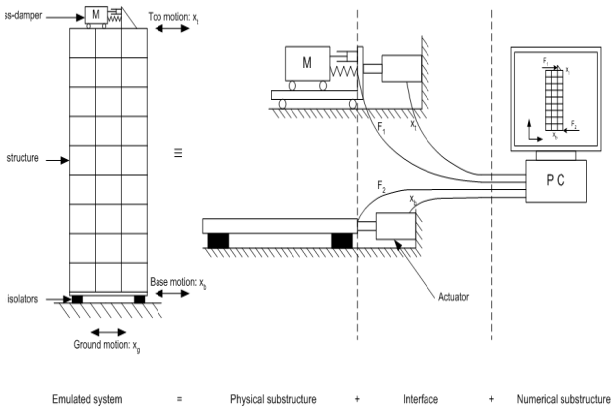
شکل ۳ برج مجهز شده به میراگر جرمی تنظیم شده

در سازه هایی که دارای ارتفاع زیاد می باشند، مشارکت مودهای بالاتر در پاسخ نهائی سازه افزایش می یابد و این امر سبب می شود تا میراگری که تنها با مود اول سازه تنظیم شده است، کارائی خود را تا حدودی از دست بدهد. همچنین هنگامی که سازه تحت زلزله های با شدت بالا قرار می گیرد و وارد ناحیه غیر خطی می شود، سختی آن دچار تغییر شده و این امر موجب ناتنظیم شدن میراگر و افت کارائی آن می شود. برای خاک های متوسط تا سفت، TMD می باید به فرکانس طبیعی سیستم خاک- سازه و نه سازه تنها تنظیم گردد (۳و۶).

۴-سیستم های کنترل ترکیبی

سیستم کنترل محافظتی غیرفعال به تنهایی در برابر تحریکات ناشی از زلزله برای ساختمان های بلند مفید نمی باشد. وقتی که کنترل فعال به تنهایی به عنوان یک سیستم محافظتی در ساختمان های بلند به کار می رود نیروی مورد نیاز برای کنترل فعال و میزان این نیرو به وسیله یک نیروی خارجی تامین می شود و ممکن است این نیرو خیلی بزرگ باشد بنابراین یک سیستم کنترل فعال بزرگ یا پر قدرت مورد نیاز می باشد [۲].

هدف از کنترل ترکیبی اصلاح و بهبود عملکرد استفاده به تنهایی هر کدام از سیستم های کنترل فعال یا غیر فعال می باشد. این سیستم ها می توانند ترکیبی از میراگرهای فعال، غیر فعال و یا چند سیستم غیرفعال باشند. این سیستم مرکب در کاهش پاسخ ساختمان های مرتفع و غیر مرتفع تحت زلزله های پرشدت رفتار خوبی از خود نشان داده اند [۷]. به هر حال برخی از معایب این سیستم ها از قبیل بازرسی و کنترل متناوب، نیاز به سیستم برق اضطراری به منظور بر خط بودن و پر هزینه بودن آنها می باشد. از جمله سیستم های ترکیبی مورد استفاده می توان به ترکیب میراگر جرمی فعال همراه با میراگر جرمی تنظیم شده، یا قرار گرفتن میراگر جرمی تنظیم شده بر روی ساختمان جداشده از پایه اشاره نمود شکل (۴).

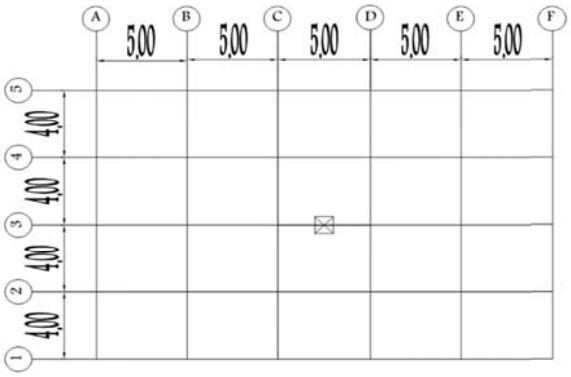


شکل ۴ سیستم کنترل ترکیبی مدل شده شامل از میراگر جرمی نصب شده بر روی ساختمان جداشده از پایه [۲]

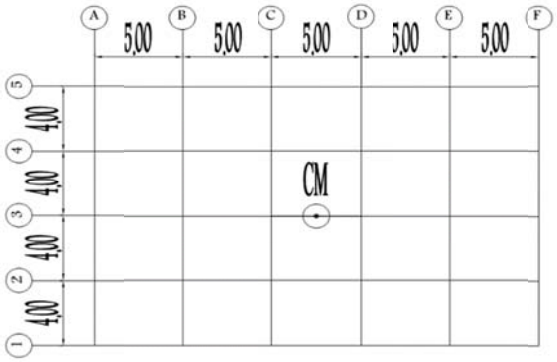
۵-جزئیات مدلسازی

مدل های سازه ای در نظر گرفته شده دارای ۵ و ۱۰طبقه می باشند و ارتفاع تمامی طبقات ۳ متر می باشد. مطابق آیین نامه ۲۸۰۰ [۵]، سازه بیشتر از ۵۰ متر بلند مرتبه حساب می شود در این مقاله هدف بررسی سازه های بلند نبوده و هدف تنها مشاهده عملکرد و کارایی سیستم های کنترل با افزایش تعداد طبقات بوده است. تمامی مدل ها در شهر تهران واقع هستند. شکل و ابعاد

پلان های در نظر گرفته شده برای مدل ها در شکل (۵و۶) نمایش داده شده است. علت انتخاب این ابعاد برای دهانه ها، متداول و رایج بودن این فوصل در ساختمان ها است



شکل ۵ پلان توزیع یک میراگر جرمی تنظیم شده



شکل ۶ پلان سازه های مدل

برای طراحی سازه با پایه گیردار، پایه تمام ستون ها گیردار فرض می شود و در مورد سازه های جداسازی شده باید درجات آزادی پایه های تمام ستون ها برداشته شود و طبقه ای صلب بر روی سیستم جداساز در نظر گرفته شود این طبقه باید دارای تیرهای با سختی زیاد باشد. کف های سازه ای دارای صلبیت انتقالی بوده، ولی برای دستیابی به شرایط نزدیک به واقعیت صلبیت خمشی خارج از صفحه برای آن ها در نظر گرفته شده است (المان shell). تمامی کف ها به صورت صلب مدل می شوند. ضخامت کف cm30 و از جنس بتن، بدون در نظر گرفتن وزن واحد حجم است.

یکی از مهم ترین پارامترهای طراحی سازه ها، بارگذاری می باشد. بارگذاری دقیق در طراحی، هم حاشیه ایمنی طرح را ارضا
می نماید و هم موجب اقتصادی تر شدن طرح می گردد. بارگذاری ثقلی بر مبنای مقادیر معمول کف سازی ساختمان و مبحث ۶ آیین
نامه ملی ایران برای برای بار مرده طبقات ۶۷۰ kg/m2 و بار مرده بام۶۳۰ kg/m2 و بار زنده طبقات ۲۰۰ kg/m2 و بار زنده بام ۱۵۰ kg/m2 در نظر گرفته شده است. برای محاسبه جرم طبقات از بار مرده طبقات به علاوه ۲۰ ٪ بار زنده آن استفاده شده است که این جرم برای انجام آنالیز دینامیکی سازه ها مورد نیاز می باشد.

خاک مربوط به محل احداث سازه ها، خاک نوع II، (Sec5/0T0=) و منطقه با خطرپذیری بسیار زیاد (A۰/۳۵=) و نوع کاربری آن مسکونی با درجه اهمیت متوسط (I۱=) و قاب خمشی معمولی در مدل های ۵ و ۱۰طبقه در دو جهت (R۵=) در نظر گرفته شده است.

بارگذاری جانبی زلزله با توجه به به ارتفاع سازه ها، با صرفه نظر کردن از بار باد و تنها با در نظر گرفتن بارگذاری زلزله و مطابق ویرایش چهارم آیین نامه ۲۸۰۰ [۵]. طراحی ساختمان ها در برابر زلزله انجام پذیرفته است.

شتاب نگاشت های مورد استفاده در این مقاله از ۷ شتاب نگاشت نزدیک گسل که شامل Imperial – Valley 1979، Tabas 1978، Loma Prieta 1989، Morgan Hill 1984، Northridge(Sylmar Olive View Hospital) 1994، Northridg(Parkfield 2004،Newhall Pico Canyon) 1994 و ۷ شتاب نگاشت دور از گسل که شامل Northridge(Moorpark) 1994، Northridge(Saturn Street School) 1994، San Fernando 1971، Imperial – Valley 1979، Landers 1992، Kern County 1952، Loma Prieta 1989 که به g0.5 مقیاس شده¬اند، تحت آنالیز تاریخچه زمانی بررسی قرار گرفته¬اند.

جهت طراحی، آنالیز و انجام مطالعات پارامتریک سازه ها از نرم افزار تجاری SAP2000 V14.0.0 [۶]. برای پردازش اطلاعات خروجی از نرم افزار Microsoft Office Excel 2010 استفاده شده است.

طراحی سازه به روش حدی (LRFD) و بر مبنای آیین نامه AISC360-05/IBC2006 صورت گرفته است. طراحی به
گونه ای صورت گرفته است که نسبت تنش ها در مقاطع بین ۰/۷و ۱/۱ بوده و همچنین دیریفت طبقات بر اساس ضوابط آیین نامه رعایت شود.

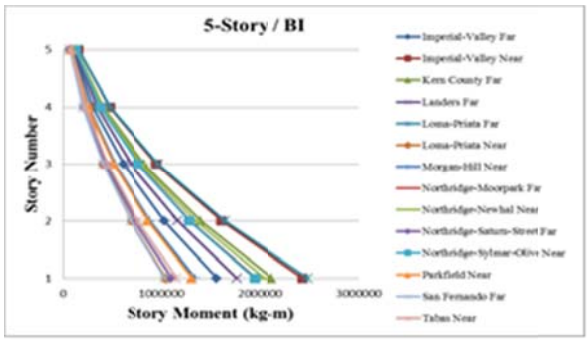
جدول ۱ مشخصات میراگرهای جرمی تنظیم شده برای مدلهای سازهای مختلف با نسبت جرمی ۱ ٪

C_{TMD} $(\frac{Ton.sec}{m})$	K_{TMD} $(\frac{Ton}{m})$	ω_{TMD} $\frac{rad}{s}$	M_{TMD} (Ton)
۰,۹۴۴۰	۴۷,۲۴۷۰	۶,۱۰۰۹	۱,۲۶۹۴
۱,۳۸۱۴	۶۵,۰۳۲۳	۵,۷۳۸۷	۱,۹۷۴۷
۰,۹۷۱۸	۳۴,۵۲۸۶	۴,۳۳۱۰	۱,۸۴۰۸
۱,۷۳۳۰	۶۰,۲۶۹۸	۴,۲۳۹۴	۳,۳۵۳۵

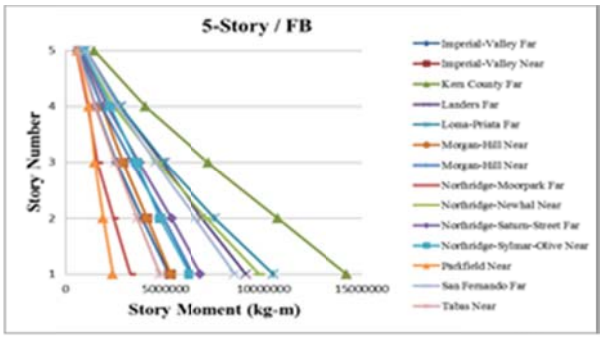
T(Sec)	Modal participation Mass Ratio	M_{Total} (Ton)	تعداد طبقات
۱,۰۱۷۰	٪۱	۱۲۶,۹۳۸۵	۵ طبقه بدون سیستم جداساز
۱,۰۸۱۲	٪۱	۱۹۷,۴۶۹	۱۰ طبقه بدون سیستم جداساز
۱,۴۳۲۶	٪۱	۱۸۴,۰۷۵	۵ طبقه با سیستم جداساز
۱,۴۶۳۶	٪۱	۳۳۵,۳۴۷۵	۱۰طبقه باسیستم جداساز

۶-تحلیل و تفسیر نتایج

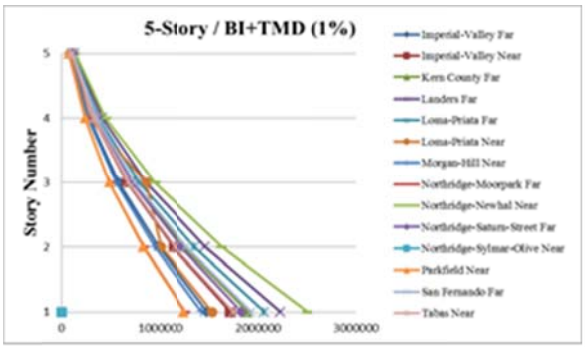
در این مقاله بر روی ممان یک سازه ۵ طبقه که یکبار با TMD و BI به صورت منفرد و یکبار به صورت ترکیبی (BI+TMD) مدل گردیده و با نسبت جرمی۱ درصد به نتایج زیر دست می‌یابیم:



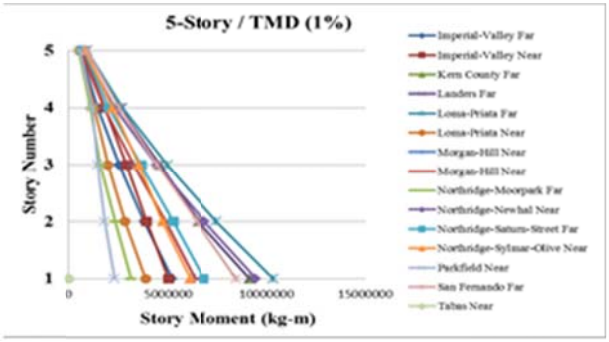
شکل ۷– نمودار ممان سازه ۵ طبقه با سیستم جداساز لرزه ای



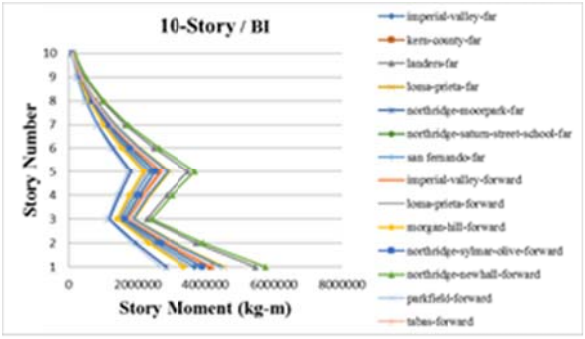
شکل ۸ نمودار ممان سازه ۵ طبقه با پایه ثابت



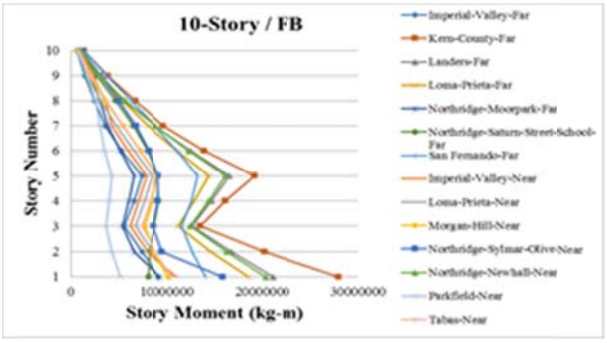
شکل ۹ نمودار ممان سازه ۵ طبقه (BI+TMD) با نسبت جرمی۱ درصد



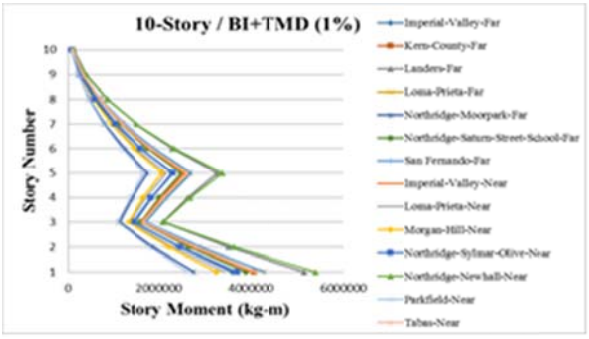
شکل ۱۰ نمودار ممان سازه ۵ طبقه با میراگر جرمی



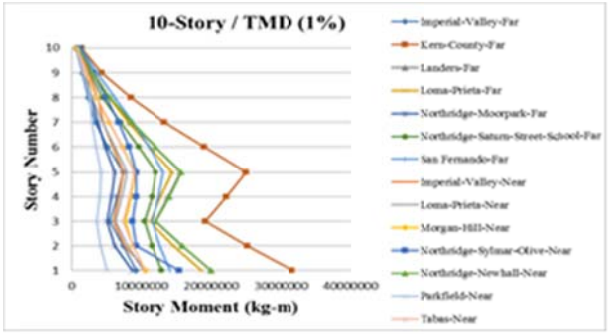
شکل ۱۱ نمودار ممان سازه ۱۰ طبقه با سیستم جداساز لرزه ای



شکل ۱۲ نمودار ممان سازه ۱۰ طبقه با پایه ثابت



شکل ۱۳ نمودار ممان سازه ۱۰ طبقه (BI+TMD) با نسبت جرمی۱ درصد



شکل ۱۴ نمودار ممان سازه ۱۰ طبقه با میراگر جرمی

۷-نتیجه گیری

۱- در سازه ۵ طبقه وجود جداساز لرزه ای تاثیر مناسبی در کاهش ممان طبقات داشته است . و باعث کاهش ۸۵ درصدی ممان طبقات شده است . وجود میراگر جرمی با ۱ درصد وزن سازه نیز تاثیر مناسبی گذاشته است و باعث کاهش حدودا ۳۷٪ ممان طبقات شده است و در سیستم کنترل ترکیبی با میراگر ۱ درصد وزنی سازه حدود ۸۲٪ مقدار ممان کاهش یافته است.

۲- با مشاهده نمودار های ممان در سازه ۱۰ طبقه نیز می توانیم به این نتایج برسیم که در شتاب نگاشت های دور از گسل وجود جداساز لرزه ای باعث

کاهش ۷۵ ٪ ممان طبقات شده است و در شتاب نگاشت های نزدیک گسل نیز باعث کاهش ۷۳ ٪ مقدار ممان طبقات شده است .

۳- وجود میراگر جرمی با ۱ درصد وزن سازه نیز باعث کاهش ۲ ٪ مقدار ممان طبقات در شتاب نگاشت های نز دیک گسل زلزله و کاهش ۱۴ ٪ در شتاب نگاشت های دور از گسل شده است .

۴- در سیستم های کنترل ترکیبی با میراگر ۱ درصد وزن سازه می توان به این نتیجه رسید که سیستم با ۱ میراگر جرمی باعث کاهش کاهش ۷۳ درصدی در شتاب نگاشت های دور و نزدیک گسل زلزله شده است.

۸- مراجع

[۱]. حسین زاده، ن (۱۳۷۳)، "مقدمه ای بر کاربرد ایزولاسیون لرزه ای"، موسسه ی بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.

[۲]. ناطق الهی، ف و ادیب رضایی، م (۱۳۷۸)، "ترکیب کنترل فعال و غیر فعال در سازه ها"، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.

.[3] *Chopra, A.K., (1995), "Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering", Prentice Hall, USA.*

.(4)*Loh, C.H., and Chao, C.H., (1996), "Effectiveness of Active Tuned Mass Damper and Seismic Isolation on Vibration Control of Multi-Story Building", Journal of Sound and Vibration, 662_681.*

.[5] *Naeim, F., and Kelly, J.M., (1999), "Design of Seismic Isolated Structure: From Theory to Practice", John Wiley and Sons, New York.*

[6] .Soong, T.T., and Dargush, G.F., (1997), "Passive Energy Dissipation Systems in Structural Egineering", John Wiley and Sons, London.

[7] .Takenaka, T., (2001), "Structural Control System: From Earthquake Resistance to Vibration Control", Takeneke Corporation.