

# کنترل همزمان شتاب و تغییر مکان لرزه ای سازه های نامتقارن چند طبقه با استفاده از میراگرهای جرمی غیر فعال (PMD)

حسین جدیدیان<sup>i</sup>; عبدالرضا سروقد مقدم<sup>ii</sup>

## چکیده

مطالعات اخیر نشان داده که میراگر جرمی غیرفعال می تواند پاسخ تغییر مکان حداکثر سازه های نامتقارن را به طور مناسبی کاهش دهد. ولی در اکثر سازه ها کاهش همزمان شتاب و تغییر مکان دو لبه از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مقاله کنترل لرزه ای ساختمانهای نامتقارن یک، چهار و هشت طبقه با خصوصیات مختلف پیچشی با استفاده از میراگر جرمی با مشخصات و موقعیتهای مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. کاهش حداکثر تغییر مکان و شتاب لبه سخت و نرم سازه به عنوان پارامتر پاسخ فرض گردید. نتایج نشان داد که میراگر جرمی در کنترل همزمان شتاب و تغییر مکان ساختمانهای چند طبقه موثر می باشد و کارایی آن با افزایش ارتفاع سازه افزایش می یابد. برای سازه های سخت پیچشی، نصب میراگر در دو لبه نرم و سخت مناسبترین حالت می باشد.

**کلمات کلیدی:** سازه های نامتقارن چند طبقه، پیچش، میراگر جرمی غیر فعال (PMD)، کنترل همزمان

تاریخ پذیرش مقاله: ۸۹/۲/۱۶

تاریخ دریافت مقاله: ۸۸/۱۱/۱۰

<sup>i</sup> دانشجوی دکتری سازه و زلزله دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران: h\_jadidian@yahoo.com

<sup>ii</sup> استادیار پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله: moghadam@iiees.ac.ir

مکانیکی و استهلاک انرژی زلزله بدون ایجاد آسیب قابل توجه در اجزای سازه ای می باشد. در طراحی نوع دوم به جای اینکه انرژی در اثر جاری شدن و صدمه دیدن یک عضو مستهلک شود در اثر تغییرشکلها و ارتعاش میراگر مستهلک می شود. استفاده از میراگرها علاوه بر افزایش قابلیت استهلاک انرژی باعث کاهش پاسخ سازه در برابر زلزله نیز می شود و از این طریق صدمه به اجزای غیر سازه ای نیز کاهش می یابد.

عدم تقارن در ساختمان می تواند ناشی از توزیع نامتقارن جرم در دیافراگمهای ساختمان و یا در اثر توزیع نامتقارن سختی در المانهای مقاوم جانبی باشد. عدم توزیع یکنواخت جرم یا سختی باعث اختلاف در نقطه اثر برآیند نیروهای ناشی از زلزله و نیروهای المانهای مقاوم جانبی شده و این خروج از مرکزیت باعث ایجاد لنگرهای پیچشی در دیافراگمهای صلب ساختمان می گردد.

## ۱- مقدمه

با ملاحظه عملکرد ساختمانهای مختلف در زلزله های اخیر دیده می شود که ساختمانهای نامتقارن نسبت به ساختمانهای متقارن در اثر زلزله دچار آسیب پذیری بیشتری دارند و احتمال فروریزش آنها بیشتر است. دلیل اصلی آسیب پذیری این نوع ساختمانها تغییر مکان طلب اضافی است که در اثر پیچش در المانهای مقاوم سازه ایجاد می گردد.

دو نوع فلسفه متفاوت برای طراحی سازه های مقاوم در برابر زلزله وجود دارد: فلسفه اول طراحی شکل پذیر سازه است به طوریکه تحت زلزله های شدید سازه تغییرشکلهای قابل توجهی را تحمل نموده و از طریق رفتار غیر خطی انرژی زلزله را مستهلک نماید و فلسفه دوم افزایش میرایی سازه با استفاده از وسایل میراگر

TMD، تحقیقات انجام شده بر روی کنترل سازه های نامتقارن با یک و چند TMD، تحقیقات انجام شده بر روی کنترل سازه های نامتقارن با استفاده از انواع میراگرها می باشند.

در سازه های نامتقارن مودهای ارتعاشی درگیر پیچشی وجود داشته و سیستم کنترلی در چنین حالاتی بایستی با در نظر گرفتن اثرات ارتعاشات درگیر پیچشی-جانبی طراحی گردد. بررسی میراگر جرمی و میراگر جرمی چندگانه برای سازه های با مودهای ارتعاشی درگیر پیچشی-جانبی توسط [۱]، [۲]، [۳]، [۴]، [۵]، [۶]، [۷]، [۹] و [۱۰] انجام شده است. در این مطالعات درگیری پیچشی - جانبی سازه در نظر گرفته شده است و برای دستیابی به پارامترهای بهینه سیستم، سیستم ایده آل دو درجه آزادی به عنوان سیستم دو درجه آزادی تعمیم یافته نامتقارن معادل با پاسخ غالب جانبی و پیچشی تحت تحریک زلزله در نظر گرفته شده است. در چنین حالتی به جای استفاده از جرم واقعی، جرم های تعمیم یافته جانبی و پیچشی معرفی می گردند ( [۳] ). ولی اثرات تعداد طبقات و ارتفاع ساختمان بر طراحی سیستم میراگر در مطالعات بررسی نشده است. همچنین هیچ مطالعه ای روی کاهش تغییرمکان و شتاب به طور همزمان در سازه های چند طبقه و یا حتی یک طبقه نیز انجام نشده است. بنابراین هدف این مقاله کنترل همزمان پاسخهای فوق در لبه ها، همچنین کنترل شتاب پیچشی و چرخش پلان ساختمان در سازه های یک و چند طبقه خطی می باشد.

### ۳- مدل ساختمانها

ساختمانهای چند طبقه با قاب خمشی فولادی و دارای دیافراگم صلب همانگونه که در شکل ۱- الف نمایش داده شده است در نظر گرفته شدند. پلان ساختمان و مراکز جرم و سختی پلان طبقه در شکل ۱- ب نمایش داده شده است. فرض گردید که موقعیت مراکز جرم و سختی در ارتفاع ساختمان جابجا نشده و در طبقات مختلف ثابت باشد. هر طبقه دارای سه درجه آزادی می باشد: دو درجه آزادی انتقالی در راستای X و Y و یک درجه آزادی دورانی حول محور قائم Z.

ابزارهای کنترل زیادی به صورت غیرفعال و نیمه فعال جهت کاهش ارتعاشات لرزه ای سازه ها توسعه داده شده اند. در میان این ابزارها میراگر جرمی غیرفعال (PMD) یکی از ساده ترین و قابل اعتماد ترین ابزارهای کنترل می باشد که شامل یک جرم، یک فنر و یک میراگر ویسکوز است که به سازه متصل می گردد. مکانیزم کاهش ارتعاش این سیستم، انتقال انرژی ارتعاش سازه به PMD و استهلاك آن توسط میرایی PMD می باشد.

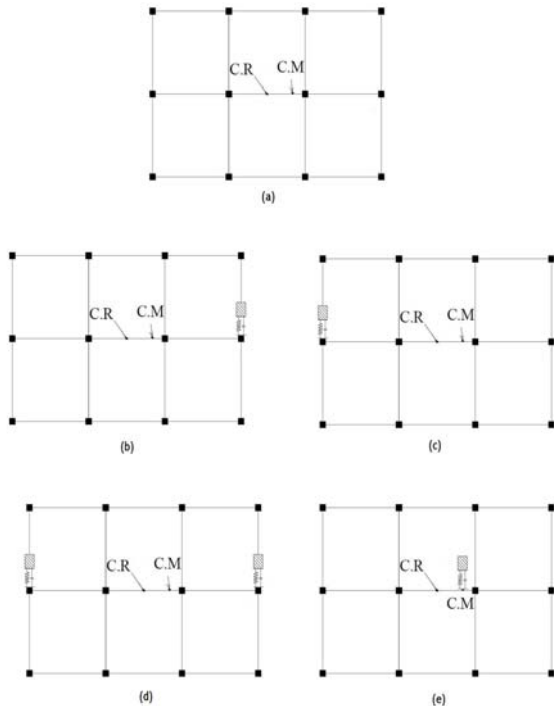
به منظور افزایش استهلاك انرژی و افزایش کارایی میراگر جرمی لازم است پارامترهای بهینه آن تعیین گردند. در سالهای اخیر پیشرفتهای قابل توجهی در مطالعات بر روی میراگر جرمی انجام شده است. با این حال در اکثر تحقیقات انجام شده هم بر روی میراگر جرمی و هم بر روی میراگر جرمی چندگانه فرض شده است که سازه در یک جهت و یا در دو جهت به طور کاملاً غیر وابسته ارتعاش خواهد نمود. اما در بسیاری از سازه های واقعی علاوه بر ارتعاش جانبی، ارتعاش پیچشی نیز وجود دارد که عموماً این ارتعاشات کاملاً درگیر می باشند. یعنی سازه های واقعی با اینکه به طور اسمی در پلان متقارند ولی عملاً در چند درجه آزادی نامتقارن بوده و دارای ارتعاشات درگیر پیچشی می باشند.

در این تحقیق مدل‌های یک طبقه، چهار طبقه و هشت طبقه نیم متقارن (عدم تقارن در یک جهت) با المانهای مقاوم در دو جهت با خروج از مرکزیت های مختلف جرم و مشخصات پیچشی متفاوت و دارای یک یا دو TMD با مشخصات مختلف نصب شده در موقعیتهای متعدد در پلان تحت تاثیر زلزله های تک مولفه ای مورد بررسی قرار گرفته اند. هدف از انجام تحقیق کنترل همزمان تغییرمکان و شتاب لرزه ای وجوه بیرونی و کنترل شتاب و تغییرمکان دورانی و نزدیک کردن شتاب و تغییر مکان دو وجه پلان به یکدیگر می باشد.

### ۲- مروری بر تحقیقات گذشته

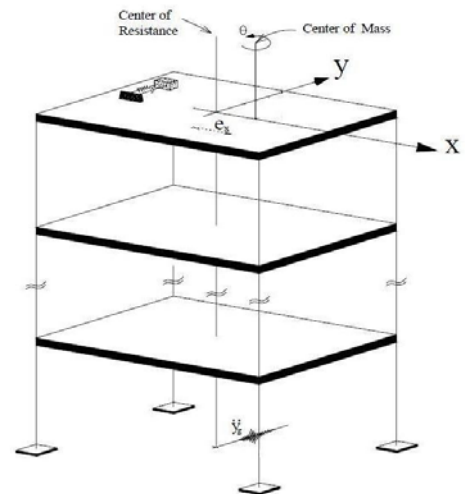
اخیراً تحقیقات زیادی بر روی کنترل سازه ها توسط میراگر جرمی انجام شده است که شامل تحقیقات انجام شده بر روی کنترل سازه های متقارن توسط یک و چند

سیستم برابر مقادیر ۰/۵ (سازه نرم پیچشی)، ۱ (سازه درگیر پیچشی) و ۲ (سازه سخت پیچشی) در نظر گرفته شد. نسبت طول به عرض پلان برابر ۱/۵ در نظر گرفته شد.

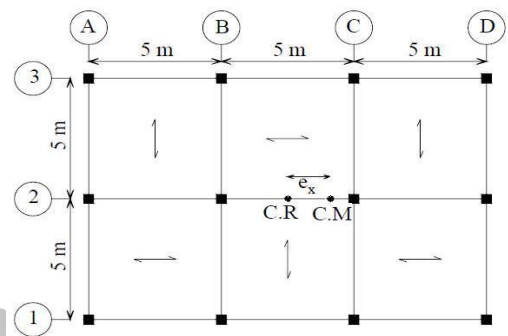


شکل ۲: مدل‌های مختلف انتخاب شده برای تحلیل. a: مدل نامتقارن بدون میراگر b: مدل نامتقارن با میراگر نصب شده روی لبه نرم c: مدل نامتقارن با میراگر نصب شده روی لبه سخت d: مدل نامتقارن با میراگر نصب شده روی لبه نرم پیچشی e: مدل نامتقارن با میراگر نصب شده روی مرکز جرم.

برای میراگر جرمی نیز پارامترهای مهم انتخاب شده و بقیه پارامترها فرض گردیدند، بدین صورت که درصد جرم میراگر برابر شش درصد و موقعیت میراگر به عنوان پارامترهای اصلی انتخاب شده و نسبت فرکانس میراگر به فرکانس مود اول سیستم برابر ۱ در نظر گرفته شد. سختی فنر میراگر نیز بر اساس نسبت فرکانس و جرم آن محاسبه گردید. با توجه به تحلیل‌های اولیه انجام شده نسبت میرایی در TMD نیز تاثیر زیادی در کارایی آن نداشته و از لیست متغیرها حذف گردید و برابر ۲۰٪ در نظر گرفته شد. تعداد میراگرها نیز برابر یک و دو در حالات مختلف در نظر گرفته شد. با توجه به توضیحات فوق، حالت‌های انتخاب شده به صورت زیر می‌باشند:



(الف)



(ب)

شکل (۱): الف: نمایش شماتیک مدل سازه ای با میراگر نصب شده در بام ب: پلان مدل سازه ای

## ۴- پارامترهای سیستم

تحلیل‌های عددی با استفاده از سه مدل یک، چهار و هشت طبقه سه بعدی انجام گرفت. ارتفاع طبقات برابر سه متر در نظر گرفته شد.

پارامترهای مهمی که در رفتار مدل مؤثرند عبارتند از: ۱- جرم کل ساختمان، ۲- پریود طبیعی مود اول، ۳- خروج از مرکزیت نرمال شده جرم  $e_x$ ، ۴- نسبت فرکانس پیچشی به انتقالی  $(\Omega_\theta)$ ، ۶- نسبت طول به عرض پلان  $d_x/d_y$ ، همچنین میراگر جرمی نیز پارامترهای مؤثری به صورت زیر دارد: ۱- جرم میراگر که درصدی از جرم سیستم است. ۲- موقعیت نصب میراگر ۳- نسبت فرکانس طبیعی میراگر به فرکانس مود اول سیستم ۴- سختی فنر میراگر ۵- نسبت میرایی میراگر و ۶- تعداد میراگر نصب شده.

خروج از مرکزیت‌های نرمال برابر ۰٪، ۱۰٪، ۲۰٪ در نظر گرفته شد. نسبت فرکانس پیچشی به فرکانس انتقالی

حالت‌های  $e_x$ : (۰٪، ۱۰٪ و ۲۰٪)

حالت‌های  $\Omega_\theta$ : (۱، ۰/۵ و ۲) که به ترتیب با نام‌های Couple، Flexible و Stiff نامگذاری شده‌اند.

درصد جرم میراگر (M): (۶٪)

موقعیتهای نصب: ۱- نصب در مرکز جرم با نام  $C_m$  ۲- نصب در لبه نرم با نام Fedge ۳- نصب در لبه سخت با نام Sedge و ۴- نصب در هر دو لبه نرم و سخت با نام FSedge (شکل ۲).

## ۵- نگاشتهای انتخاب شده

زلزله‌ها همگی در جهت  $y$  به سیستم اعمال شده و باعث ایجاد تغییر مکان در جهت  $y$  و دوران حول محور  $Z$  (عمود بر پلان) می‌گردند. نگاشتهای زلزله مربوط به شتابهای زمین برای زلزله‌های مختلف می‌باشند که از پایگاه داده‌های Pacific Earthquake Engineering Research گرفته شده‌اند. تعداد ۷ رکورد شتاب زلزله در حوزه دور و در خاک نوع II که خلاصه مشخصات آنها در جدول (۱) آمده است برای تحقیق انتخاب گردید.

جدول (۱): مشخصات رکوردهای زلزله مورد استفاده

نام	تاریخ وقوع	شدت R	PGA (g)	ایستگاه	فاصله از گسل
Tabas	۱۹۷۸	۷/۴	۰/۸۳۶	Tabas	۳
Chi-Chi	۱۹۹۹	۷/۶	۰/۰۰۵	KAU052	۱۸۲/۸
Kobe	۱۹۹۵	۶/۹	۰/۰۸۱	Kobe/Ok	۸۹/۳
Kokaeli	۱۹۹۹	۷/۴	۰/۰۵۴	Mecidiye	۶۲/۳
Northridge	۱۹۹۴	۶/۷	۰/۰۵۹	Riverside	۱۰۱/۳
Parkfield	۱۹۶۶	۶/۱	۰/۰۱۴	San Luis	۶۰
Sanfermand	۱۹۷۱	۶/۶	۰/۰۱۶	San Onof.	۱۲۲

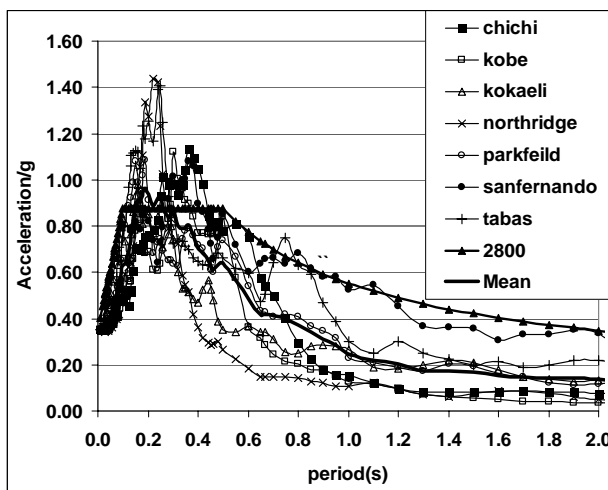
بزرگی زلزله‌ها بین ۶/۱ و ۷/۶ انتخاب شده و PGA آنها همگی به  $0.35g$  همپایه شدند.

در شکل (۳) طیف پاسخ زلزله‌های انتخاب شده و طیف میانگین آنها به همراه طیف طرح استاندارد آیین نامه ۲۸۰۰ نشان داده شده است.

## ۶- بررسی نتایج

یکی از معیارهای بررسی کارایی سیستم میراگر، درصد

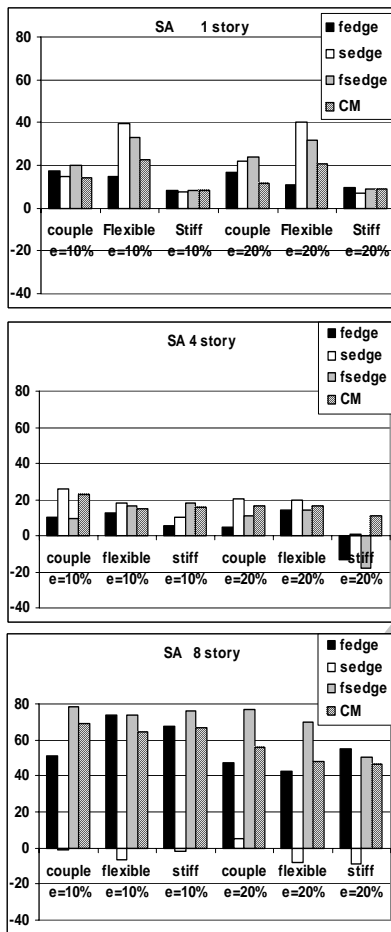
کاهش حداکثر پاسخهای شتاب و تغییر مکان در لبه‌های نرم و سخت نسبت به این پاسخها در سازه نامتقارن بدون میراگر می‌باشد. این درصد‌های کاهش برای میانگین ۷ رکورد زلزله محاسبه شده است. با محاسبه میزان کاهش همزمان شتاب و تغییرمکان که از میانگین گیری وزنی از نتایج کاهش پاسخ برای شتاب و تغییرمکان به دست می‌آید کارایی سیستم میراگر در کنترل همزمان شتاب و تغییرمکان مشخص شده است. همچنین کارایی سیستم در نزدیک نمودن شتاب و تغییرمکان دوبه نرم و سخت به یکدیگر نیز در نمودارهایی آمده است. در این نمودارها FA به معنی شتاب لبه نرم، SA معرف شتاب لبه سخت، FD به معنی تغییرمکان لبه نرم و SD نشان دهنده تغییرمکان لبه سخت می‌باشد.



شکل (۳): طیف پاسخ زلزله‌های انتخاب شده و طیف میانگین آنها

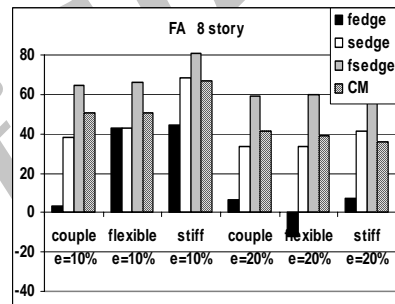
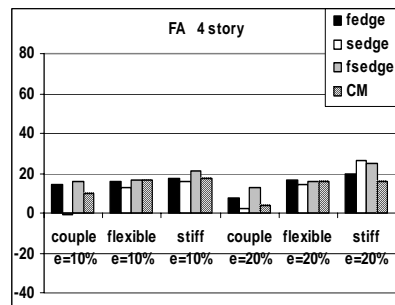
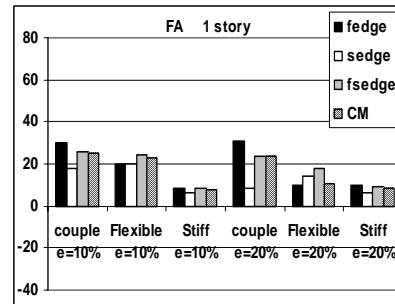
شکل (۴) درصد کاهش حداکثر شتاب لبه نرم با استفاده از میراگر در ساختمانهای یک طبقه، چهار طبقه و هشت طبقه را نشان می‌دهد. با افزایش ارتفاع ساختمان، درصد کاهش شتاب لبه نرم در همه انواع سازه‌ها افزایش می‌یابد. میزان کاهش شتاب در سازه سخت پیش‌بینی بیش از دیگر سازه‌ها بوده و افزایش خروج از مرکزیت تاثیر زیادی بر کارایی میراگر ندارد. در ساختمان هشت طبقه موقعیت نصب بهینه، نصب در هر دو لبه است. نتایج کنترلی به دست آمده به ارتفاع ساختمان حساس بوده و نمی‌توان نتایج به دست آمده برای ساختمان یک طبقه را به ساختمانهای چند طبقه تعمیم داد.

کارایی سیستم میراگر در کنترل تغییر مکان لبه نرم اندکی کاهش می یابد. همچنین در ساختمان هشت طبقه سخت پیچشی نصب میراگر در دو لبه بیشترین کاهش پاسخ را نشان می دهد و نصب روی لبه نرم کمترین کاهش را نشان می دهد. کارایی سیستم در ساختمان های هشت طبقه سخت پیچشی بیش از دیگر ساختمانهاست و این امر خلاف نتایج به دست آمده در ساختمان یک طبقه است.



شکل (۵): میزان کاهش حداکثر شتاب لبه سخت

شکل (۷) درصد کاهش حداکثر تغییر مکان لبه سخت با استفاده از میراگر در ساختمانهای یک طبقه، چهار طبقه و هشت طبقه را نشان می دهد. میزان کاهش تغییر مکان در ساختمانهای هشت طبقه بیشتر از دیگر سازه ها می باشد. همچنین در این سازه ها زمانیکه میراگر در لبه سخت نصب شود کارایی کمتری نسبت به دیگر حالتها خواهد داشت.



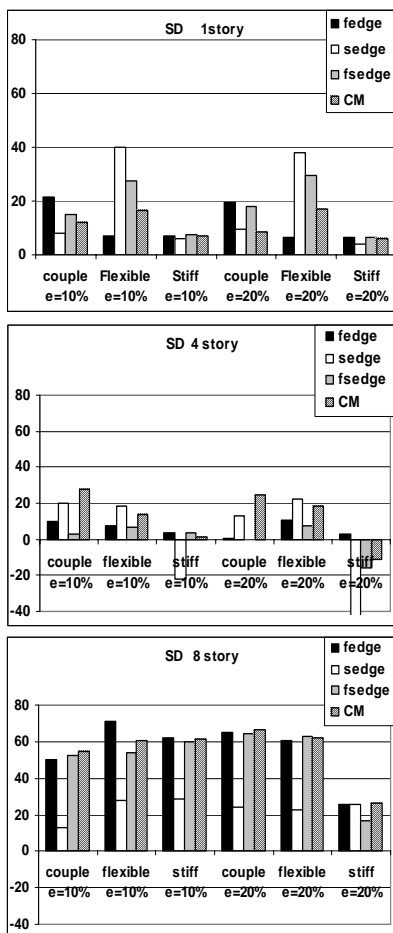
شکل (۴): میزان کاهش حداکثر شتاب لبه نرم

شکل (۵) درصد کاهش حداکثر شتاب لبه سخت با استفاده از میراگر در ساختمانهای یک طبقه، چهار طبقه و هشت طبقه را نشان می دهد. با افزایش خروج از مرکزیت، کارایی سیستم میراگر اندکی کاهش می یابد. در ساختمان هشت طبقه نصب میراگر در دو لبه بیشترین کاهش پاسخ را نشان می دهد و نصب روی لبه سخت کمترین کاهش را نشان می دهد.

از مقایسه شکل (۴) و (۵) می توان نتیجه گرفت که در ساختمان هشت طبقه این سیستم در کاهش شتاب لبه نرم و سخت بسیار موفق عمل نموده است ولی در ساختمان چهار طبقه کاهش شتاب لبه نرم و سخت کمتر از ۲۰٪ است.

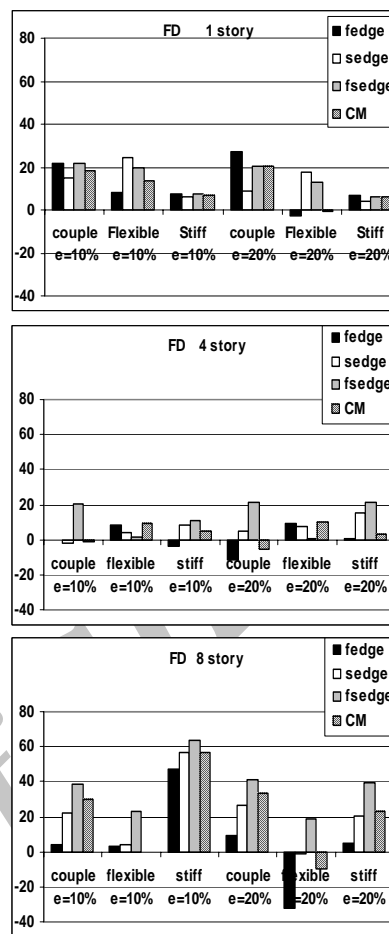
شکل (۶) درصد کاهش حداکثر تغییر مکان لبه نرم با استفاده از میراگر در ساختمانهای یک طبقه، چهار طبقه و هشت طبقه را نشان می دهد. با افزایش خروج از مرکزیت،

کاهش همزمان شتاب و تغییرمکان لبه نرم در ساختمانهای سخت پیچشی بیش از ساختمانهای نرم پیچشی بوده و در همه ساختمانها نصب میراگر در دو لبه کارایی بالاتری دارد و با افزایش خروج از مرکزیت کارایی کاهش می یابد.



شکل (۷): میزان کاهش حداکثر تغییرمکان لبه سخت

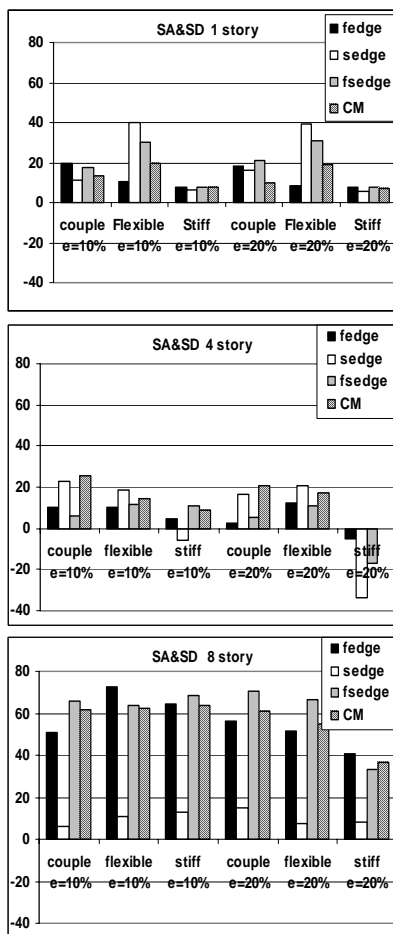
شکل (۹) درصد کاهش همزمان حداکثر شتاب و تغییرمکان لبه سخت با استفاده از میراگر در ساختمانهای یک طبقه، چهار طبقه و هشت طبقه را نشان می دهد. کاهش همزمان شتاب و تغییرمکان لبه سخت در ساختمانهای هشت طبقه از ساختمانهای چهار طبقه بیشتر می باشد. همچنین در ساختمانهای چهار طبقه نصب میراگر در مرکز جرم حداکثر کارایی و نصب در لبه نرم حداقل کارایی را نشان می دهد. در ساختمانهای هشت طبقه حالت نصب میراگر در هر دو لبه بیشترین کارایی و نصب میراگر در لبه سخت کمترین کارایی را دارد.



شکل (۶): میزان کاهش حداکثر تغییرمکان لبه نرم

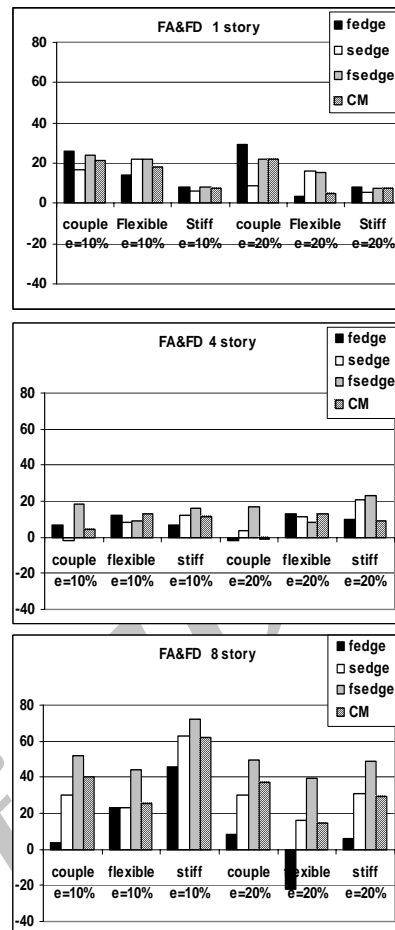
پس از بررسی میزان کاهش حداکثر پاسخهای شتاب و تغییرمکان لبه های نرم و سخت، برای بررسی کارایی سیستم در کاهش همزمان شتاب و تغییرمکان هر لبه بهتر است نمودارهای میانگین کاهش شتاب و تغییرمکان نیز ترسیم گردد. این نمودارها را می توان از میانگین گیری وزنی از نمودارهای کاهش شتاب و تغییرمکان با هر وزن دلخواه بسته به اهمیت هر یک به دست آورد. در این مقاله با فرض وزن یکسان برای کنترل شتاب و تغییرمکان، از نمودارهای شتاب و تغییرمکان متوسط گیری شده است. در این نمودارها محور افقی انواع سازه ها از نظر رفتار پیچشی و میزان خروج از مرکزیت را نشان می دهد و محور قائم درصد کاهش هر پاسخ را نشان می دهد. شکل (۸) درصد کاهش همزمان حداکثر شتاب و تغییرمکان لبه نرم با استفاده از میراگر در ساختمانهای یک طبقه، چهار طبقه و هشت طبقه را نشان می دهد.

است. نتایج به دست آمده از این تحقیق به صورت زیر خلاصه می شود:



شکل (۹): میزان کاهش همزمان حداکثر شتاب و تغییرمکان لبه سخت

- ۱- در ساختمان هشت طبقه سیستم میراگر کارایی مناسبتری در کنترل شتاب و تغییرمکان و کنترل پیچش نسبت به ساختمان چهار طبقه دارد.
- ۲- افزایش خروج از مرکزیت تأثیر چندانی در کارایی سیستم در ساختمانهای چهار طبقه ندارد و در ساختمانهای هشت طبقه کارایی سیستم را کاهش می دهد.
- ۳- در کنترل شتاب، موقعیت نصب بهینه در همه سازه ها نصب در لبه سخت و در کنترل تغییرمکان موقعیت نصب بهینه میراگر در همه سازه ها نصب در هر دو لبه می باشد.
- ۴- به عنوان یک نتیجه کلی، برای کنترل همزمان شتاب و تغییرمکان موقعیت بهینه نصب میراگر، نصب آن در هر دو لبه می باشد.



شکل (۸): میزان کاهش همزمان حداکثر شتاب و تغییرمکان لبه نرم

شکل (۱۰) میزان نزدیک شدن همزمان شتاب و تغییرمکان دولبه به هم را نشان می دهد. در این نمودارها هرچه مقدار به یک نزدیکتر باشد به این معنی است که به طور همزمان شتاب و تغییرمکان دو لبه به هم نزدیک شده است. بر روی این نمودارها حالتی به عنوان WOTMD اضافه شده است که نشان دهنده این نسبت در سازه بدون میراگر می باشد. این نمودارها نشان می دهد که نصب میراگر روی هر دو لبه و نصب روی لبه سخت در کنترل شتاب و تغییرمکان دورانی بسیار موفق می باشند.

## ۷- جمع بندی و نتیجه گیری

هدف از این تحقیق کنترل همزمان شتاب و تغییرمکان در سازه های نامتقارن و نزدیک کردن شتاب و تغییرمکان دو لبه به هم با استفاده از میراگر جرمی غیر فعال (PMD) می باشد. برای بررسی کارایی این نوع میراگر در دستیابی به اهداف فوق از معیار کاهش حداکثر شتاب و تغییرمکان نسبت به سازه بدون TMD استفاده شده

Arfiadi Y., Hadi MNS., Passive and active control of three-dimensional buildings. *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, vol. 29(3), 377–396, 2000.

Chunxiang Lia, Weilian Qub., "Optimum properties of multiple tuned mass dampers for reduction of translational and torsional response of structures subject to ground acceleration", *Engineering Structures*, vol. 28, 472–494, 2006.

Jangid RS., Datta TK., "Performance of multiple tuned mass dampers for torsionally coupled system", *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, vol., 26, 307–317, 1997.

Jangid RS., "Optimum multiple tuned mass dampers for base-excited undamped system", *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, vol., 28(9), 1041–1049, 1999.

Lin CC., Ueng JM., Huang TC., "Seismic response reduction of irregular buildings using passive tuned mass dampers", *Eng. Struct.* Vol. 21, 513–524, 1999.

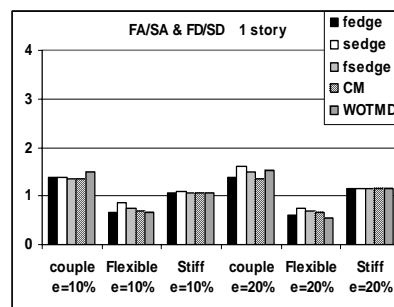
Lin YY., Cheng CM., Lee CH., "A tuned mass damper for suppressing the coupled flexural and torsional buffeting response of long-span bridges", *Eng. Struct.*, vol. 22, 1195–1204, 2000.

Pacific Earthquake Engineering Research, <http://peer.berkeley.edu/>.

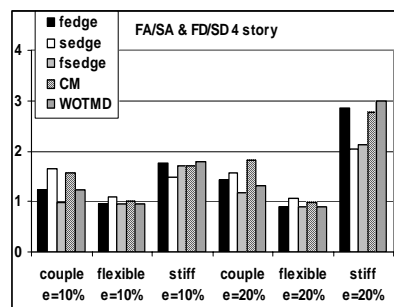
Pansare AP., Jangid RS., "Tuned mass dampers for torsionally coupled systems", *Wind Struct.* Vol. 6(1), 23–40, 2003.

Wang JF., Lin CC., "Seismic performance of multiple tuned mass dampers for soil-irregular building interaction systems", *Int. J. Solids Struct.* vol. 42(20), 5536–5554, 2005.

[۲]



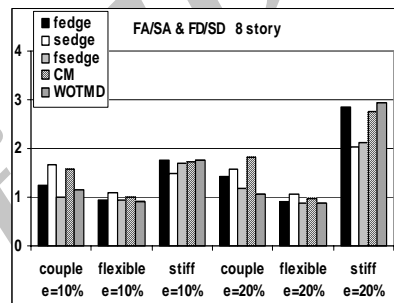
[۳]



[۴]

[۵]

[۶]



[۷]

[۸]

[۹]

[۱۰]

شکل (۱۰): میزان کاهش همزمان نسبت شتاب دو لبه و نسبت تغییر مکان دو لبه

## ۸- مراجع

Ahlawat AS., Ramaswamy A., "Multi objective optimal absorber system for torsionally coupled seismically excited structures", *Eng. Struct.*, vol. 25(7), 941–950, 2003.

[۱]