

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



پردیس بین المللی خوارزمی

رساله دکتری مهندسی سازه

استفاده از منطق فازی در کنترل فعال ارتعاشات ساختمان های بلند در برابر زلزله

نگارنده:

امیرحسین شفیعی اردستانی

استاد راهنما:

دکتر علی کیهانی

مهر ۱۴۰۰

شماره: ۱۴۰۰/۰۱/۲۴۴۰۵

تاریخ: ۱۴۰۰/۱۰/۱۷

ویرایش:

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره ۱۱: صورت جلسه نهایی دفاع از رساله دکتری (Ph.D)
(تعیین درجه نمره رساله برای ورودی‌های ۹۴ و سال‌های قبل از آن)

بدینوسیله گواهی می‌شود آقای امیرحسین شفیعی دانشجوی دکتری رشته عمران - سازه به شماره دانشجویی ۹۲۴۶۳۱۵ ورودی مهر ماه سال ۱۳۹۳ در تاریخ ۱۴۰۰/۰۷/۲۸ از رساله نظری / عملی ☐ خود با عنوان: استفاده از منطق فازی در کنترل فعال ارتعاشات ساختمان‌های بلند در برابر زلزله

الف) درجه عالی: نمره ۱۹-۲۰ ☐ (ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸/۹۹ - ۱۷ ☐
ج) درجه خوب: نمره ۱۶/۹۹ - ۱۵ ☒ (د) مردود: کمتر از ۱۵ ☐

ردیف	هیئت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱	استاد راهنمای اول	دکتر علی کیهانی	دانشیار	
۲	استاد راهنمای دوم	-		
۳	استاد مشاور اول	-		
۴	استاد مشاور دوم	-		
۵	استاد مدعو خارجی	دکتر بهروز حسینی	استاد	
۶	استاد مدعو داخلی	دکتر سید مهدی توکلی	استادیار	
۷	استاد مدعو خارجی	دکتر داود پور ویس	دانشیار	
۸	نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه	دکتر سید ایمان آقایان	دانشیار	

مدیر محترم تحصیلات تکمیلی دانشگاه:

ضمن تأیید مراتب فوق مقرر فرمائید اقدامات لازم در خصوص انجام مراحل دانش آموختگی آقای امیر حسین شفیعی بعمل آید.

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:
تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تقدیم به پدر و مادرم:

آنان که وجودم برایشان همه رنج بود و وجودشان برایم مهر.

مویشان سپیدی گرفت تا رویم سپید بماند.

آنان که فروغ نگاهشان، گرمی کلامشان و روشنی رویشان سرمایه های جاودان زندگیم هستند.

در برابر وجود کرامتشان زانوی ادب بر زمین می نهم و بادی ملو از عشق و محبت بردستانشان بوسه

می زنم.

مَشْکُر و قدردانی:

خداوند مهربان را تسکرم که مرا نیرو بخشید تا بخارش پایان نام سپیش رو را به اتمام برسانم. اکنون که از انجام پژوهش هایم در زمینه کنترل فعال سازه ها در دانشگاه صنعتی شاهرود می گذرد، بر خود لازم می دانم کمال تقدیر و تشکر خود را انشا کنی کنم که در این مسیر پرفراز و نشیب محطه ای از راهبانی، پشتیبانی و تشویق من دریغ نکردند.

از استاد بربارم، آقای دکتر علی کیهانی، که تمام روزهایی که تحت نظارت ایشان مشغول به کار بودم سرشار از آموختن توانان علم و اخلاق بود، نهایت تشکر را دارم. در پر تشویق ها و روحیه پر از امید ایشان بود که تمام دلسردی ها رنگ می باخت و در سایه وجود محنتی نپذیرشان، پرسش های گاه و بی گاهم پاسخ می یافت. از استاد بزرگوارم، که قدم به قدم در تمامی مراحل این پژوهش باراهبانی ایشان مرایاری نمودند، کمال قدردانی را دارم. انجام این کار تحقیقاتی موثر بدون شناخت ایشان، امکان پذیر نبود و بی شک این آموخته ها در زندگی نیز بسیار به کارم خواهد آمد.

از خانواده عزیزم که از کودکی، شور دانش و لذت کشف و جستجو را در من بیدار کردند، استقامت در تلاش را به من آموختند و در تمامی این سال ها با فراهم آوردن آرامش فکری و آسایش روحی، بسیاری از دشواری ها را بر من آسان نمودند، با تمام وجود قدر دانم.

در ادامه از تمامی عزیزان و دانشکده پردیس خوارزمی که در این مدت نهایت همکاری را مبذول داشتند تشکر می نمایم. در پایان نیز لازم می دانم از کلیه کسانی که در کلیه مراحل انجام این پژوهش، مرایاری نمودند تشکر و قدردانی نمایم و برای بکلی آرزوی موفقیت روز افزون می کنم. بی شک بدون تلاش این عزیزان انجام این پروژه تحقیقاتی ممکن نبود.

تعمدنامه

اینجانب **امیرحسین شفیعی** دانشجوی دوره دکتری رشته **مهندسی عمران-سازه** دانشکده پردیس خوارزمی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با عنوان **استفاده از منطق فازی در کنترل فعال ارتعاشات ساختمان های بلند در برابر زلزله** تحت راهنمایی **دکتر علی کیهانی** متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

حفاظت از سازه، ساکنین و وسایل موجود در آن در مقابل زلزله یکی از چالش های مهم در مهندسی عمران می باشد. در گذشته روش های طراحی براساس تغییر شکل غیر ارتجاعی مد نظر قرار می گرفت ولی امروزه کنترل سازه ای مورد توجه خاصی قرار گرفته است. در این میان الگوریتم های کنترل کلاسیک به یک مدل معینی دقیق از سازه برای کاهش ارتعاش نیاز دارد، درحالی که سازه هایی که ساخته می شوند، باریک تر، انعطاف پذیرتر و دارای خصوصیات پیچیده تری هستند. بنابراین کاهش پیچیدگی مدل سازه نادرست بوده و مکانیزم کنترل براساس این مدل بهینه نخواهد بود. کنترل فازی به عنوان یک روش مناسب به مدل ریاضی دقیق از سازه نیاز نداشته و به مدل کاهش یافته نیز وابسته نیست بنابراین مطالعه درباره کنترل کننده فازی برای یک سازه با چند درجه آزادی بمنظور کاهش ارتعاشات حاصل از زمین لرزه حائز اهمیت می باشد. کنترل کننده فازی به خاطر خصوصیات مقاوم بودن و کارایی بالا بطور موثر و آسانی در کنترل مورد استفاده قرار می گیرد.

در این مطالعه سعی بر آن است که با استفاده یک مدل با چند درجه آزادی همراه با میراگر جرمی فعال که در طبقه آخر مد نظر قرار می گیرد اثر کنترل کننده در پاسخ سازه مطالعه می شود. بدین منظور اثر کنترل کننده در محدود کردن جابه جایی ها و شتاب ها و همچنین جابه جایی میراگر جرمی فعال مطالعه گردیده است. هم چنین کارایی کنترل کننده فازی برای زمین لرزه های مختلفی مانند El Centro، Hachinohe، Northridge و طیس توسط مدل شبیه سازی شده در نرم افزار Matlab محاسبه و مورد بررسی قرار گرفته است و پاسخ های بدست آمده با پاسخ های سازه کنترل شده توسط میراگر جرمی فعال مقایسه شده است.

کلیدواژه ها: کنترل لرزه ای، میراگر جرمی تنظیم شونده، کنترل فعال، منطق فازی

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

ردیف	عنوان مقاله	محل انتشار	تاریخ انتشار	عنوان مجله
۱	Investigation the use of fuzzy logic in active control of vibration of structures against earthquake	united states	2018	journal of advanced research in dynamical and control systems
۲	Investigation the Effect of the use of fuzzy logic in the reduce response structures	India	2018	International Journal of Civil Engineering and Technology
۳	ارزیابی استفاده از منطق فازی در بکارگیری حالت های مختلف کنترل فعال سازه ها	دانشگاه تهران	۱۳۹۷	یازدهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران
۴	بررسی تاثیر استفاده از منطق فازی در کنترل فعال سازه ها	انجمن مهندسی سازه ایران	۱۳۹۶	چهارمین همایش بین المللی مهندسی سازه ایران
۵	بررسی اثر بکارگیری منطق فازی بر کاهش میزان خسارت سازه ها	دانشگاه صنعتی شریف	۱۳۹۶	دومین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی سازه و مدیریت ساخت

فهرست مطالب

فصل اول مقدمه.....	۱
۱- مقدمه.....	۲
۱-۱- پیشگفتار.....	۲
۱-۲- زلزله چیست؟.....	۳
۱-۳- سیستم های کنترل فعال (ATMD) و میراگرهای جرمی (TMD).....	۴
۱-۴- استفاده از منطق فازی در سیستم های کنترل.....	۵
۱-۵- لزوم انجام تحقیق حاضر.....	۶
۱-۶- هدف از انجام تحقیق.....	۷
۱-۷- مراحل انجام پروژه.....	۷
۱-۸- ساختار پایان نامه.....	۸
فصل دوم مروری بر تحقیقات گذشته.....	۱۱
۲- مروری بر تحقیقات گذشته.....	۱۱
۲-۱- مقدمه.....	۱۱
۲-۲- تحقیقات صورت پذیرفته بر روی سیستم های کنترل فعال (ATMD).....	۱۲
۲-۳- مروری بر تاریخچه تحقیقاتی نظریه فازی و زمینه های آن در مهندسی عمران.....	۱۵
۲-۳-۱- اولین زمینه های فکری.....	۱۵
۲-۳-۲- تثبیت مفاهیم بنیادی و ظهور اولین کاربردها.....	۱۷
۲-۳-۲-۱- دهه ۹۰ و سال های آغازین قرن ۲۱ : چالش ها کماکان باقیست.....	۱۸
۲-۴- سیستم های کنترل سازه ها.....	۲۰
۲-۴-۱- کنترل فعال.....	۲۲
۲-۴-۲- کنترل با استفاده از کش های فعال.....	۲۵
۲-۴-۲-۲- کنترل فعال توسط جرم و فنر میراگر تنظیم شونده (ATMD).....	۲۶
۲-۴-۲-۳- کنترل کننده های ضربه ای.....	۲۸
۲-۴-۲-۴- کنترل با استفاده از زائده های آئرودینامیک.....	۲۹
فصل سوم منطق فازی و کاربرد آن در مهندسی عمران.....	۳۱
۳-۱- مقدمه.....	۳۲
۳-۲- منطق فازی.....	۳۴
۳-۲-۱- منطق فازی و منطق بولی.....	۳۵
۳-۲-۲- نظریه فازی و کلاسیک مجموعه ها.....	۳۶
۳-۲-۳- مزایای استفاده از سیستم های منطق فازی.....	۳۶
۳-۲-۴- معایب سیستم های منطق فازی.....	۳۷

۳۷	۳-۲-۵- استدلال فازی.....
۳۸	۳-۳- روش ممدانی.....
۴۰	۳-۴- روش استدلال فازی با استفاده از توابع خطی.....
۴۴	۳-۵- استدلال فازی ساده شده.....
۴۵	۳-۶- کاربردهای فازی در مهندسی عمران.....
۴۵	۳-۶-۱- سیستم فازی.....
۴۶	۳-۶-۲- کنترل فازی.....
۴۶	۳-۶-۱-۲- منطق کنترل فازی.....
۴۷	۳-۶-۳- طراحی منطق کنترل کننده فازی.....
۴۸	۳-۷- مقدمه.....
۴۹	۳-۷-۱- مدل سازه ای.....
۴۹	۳-۷-۲- معادله حرکت سیستم.....
۵۲	۳-۷-۳- اثر تحریک تکیه گاهی (نیروی زلزله).....
۵۳	۳-۷-۴- ساخت ماتریس میرایی.....
۵۵	۳-۷-۵- میرایی بسط یافته ریلی.....
۵۶	۳-۷-۶- شتاب های افقی زلزله های مورد استفاده.....
۵۸	۳-۸- حل دستگاه معادلات دیفرانسیل.....
۵۸	۳-۸-۱- حل کلاسیک.....
۵۸	۳-۸-۲- فضای حالت.....
۵۹	۳-۸-۳- نوشتن معادلات ساختمان بلند در فضای حالت.....
۶۱	۳-۹- افزودن روابط سیستم های کنترل TMD و ATMD به معادلات ساختمان بلند.....
۶۱	۳-۹-۱- سیستم کنترل غیر فعال میراگر و جرم تنظیم شونده TMD.....
۶۴	۳-۹-۲- میراگر جرمی تنظیم شونده فعال (ATMD).....
۶۴	۳-۱۰- کنترل فعال ساختمان های بلند با استفاده از منطق فازی.....
۶۶	۳-۱۱- طرح کنترل فعال ساختمان های بلند با استفاده از منطق فازی.....
۶۸	۳-۱۲- معیارهای کارایی.....
۷۰	۳-۱۳- مدل شبیه سازی.....
۷۱	فصل چهارم نتایج شبیه سازی و تحلیل سیستم های کنترل.....
۷۲	۴-۱- مقدمه.....
۷۲	۴-۲- سیستم سازه ای.....
۷۳	۴-۳- پاسخ سازه کنترل نشده.....
۷۵	۴-۴- تاثیر پارامترهای میراگر جرمی تنظیم شده بر پاسخ سازه.....
۷۵	۴-۴-۱- میراگر جرمی تنظیم شده غیرفعال.....

۸۱	۴-۴-۲- میراگر جرمی تنظیم شده فعال.....
۸۷	۴-۴-۳- مقایسه روش های کنترلی.....
۱۲۵	فصل پنجم نتیجه گیری و پیشنهادات.....
۱۲۸	پیوست.....
۱۲۹	فهرست منابع و مراجع.....

فهرست جداول

جدول ۳-۱	قوانین استنتاج کنترل کننده فازی.....	۶۸
جدول ۴-۱	معیارهای عملکرد میراگرهای جرمی تنظیم شده غیرفعال و فعال با نسبت های جرمی ۰.۲٪ و ۰.۵٪ در زمین لرزه های El Centro و Hachinohe.....	۹۱
جدول ۴-۲	معیارهای عملکرد میراگرهای جرمی تنظیم شده غیرفعال و فعال با نسبت های جرمی ۰.۲٪ و ۰.۵٪ در زمین لرزه های طبس و Northridge.....	۹۱
جدول ۴-۳	معیارهای عملکرد میراگرهای جرمی تنظیم شده غیرفعال و فعال با نسبت های جرمی ۰.۱۰٪ و ۰.۱۵٪ در زمین لرزه های El Centro و Hachinohe.....	۱۰۷
جدول ۴-۴	معیارهای عملکرد میراگرهای جرمی تنظیم شده غیرفعال و فعال با نسبت های جرمی ۰.۱۰٪ و ۰.۱۵٪ در زمین لرزه های Northridge و طبس.....	۱۰۷

فهرست اشکال

شکل ۱-۲	نمایش کنترل حلقه باز- بسته.....	۲۴
شکل ۲-۲	دیاگرام آزاد سیستم یک درجه آزادی.....	۲۵
شکل ۳-۲	نمای شماتیک از یک سازه کنترل شده توسط ATMD [9].....	۲۸
شکل ۱-۳	نمای کلی از استدلال های فازی.....	۳۷
شکل ۲-۳	فرایند طراحی کنترل کننده های فازی.....	۴۷
شکل ۳-۳	بلوک دیاگرام کنترل فازی فعال سیستم سازه ای [۳۶].....	۴۸
شکل ۴-۳	سازه ساختمانی همراه با ATMD.....	۴۹
شکل ۵-۳	سیستم یک درجه آزادی.....	۵۱
شکل ۶-۳	دیاگرام آزاد سیستم یک درجه آزادی.....	۵۱
شکل ۷-۳	نمودار تاریخچه زمانی زلزله های مورد استفاده.....	۵۷
شکل ۸-۳	مدل شماتیک یک سیستم یک درجه آزادی همراه با TMD.....	۶۱
شکل ۹-۳	سیستم کنترل فازی ممدانی [۱۸].....	۶۵
شکل ۱۰-۳	سیستم کنترل فازی سوگنو [۱۸].....	۶۵
شکل ۱۱-۳	توابع عضویت مربوط به متغیرهای کنترلی فازی الف) ورودی جابه جایی سازه، ب) ورودی سرعت میراگر، ج) نیروی ورودی میراگر.....	۶۷
شکل ۴-۱	سه مد اول قاب مورد مطالعه.....	۷۳
شکل ۴-۲	مقدار جابه جایی اوج و RMS طبقات در سازه کنترل نشده.....	۷۴
شکل ۴-۳	مقدار شتاب مطلق اوج و RMS طبقات در سازه کنترل نشده.....	۷۴
شکل ۴-۴	عملکرد عضویت.....	۷۵
شکل ۴-۵	درصد کاهش پاسخ اوج جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط TMD در زمین لرزه El Centro.....	۷۷
شکل ۴-۶	درصد کاهش پاسخ RMS جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط TMD در زمین لرزه El Centro.....	۷۸
شکل ۴-۷	درصد کاهش پاسخ اوج جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط TMD در زمین لرزه Hachinohe.....	۷۸
شکل ۴-۸	درصد کاهش پاسخ RMS جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط TMD در زمین لرزه Hachinohe.....	۷۹
شکل ۴-۹	درصد کاهش پاسخ اوج جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط TMD در زمین لرزه Northridge.....	۷۹
شکل ۴-۱۰	درصد کاهش پاسخ RMS جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط TMD در زمین لرزه Northridge.....	۸۰

- شکل ۴-۱۱- درصد کاهش پاسخ اوج جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط TMD در زمین لرزه طیس
۸۰.....
- شکل ۴-۱۲- درصد کاهش پاسخ RMS جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط TMD در زمین لرزه
طیس.....
۸۱.....
- شکل ۴-۱۳- مدل حلقه بسته سازه با کنترل کننده منطق فازی.....
۸۱.....
- شکل ۴-۱۴- کنترل غیرفعال جابجایی و شتاب برای طبقه ۱۰ با استفاده از TMD.....
۸۲.....
- شکل ۴-۱۵- کنترل فعال جابجایی و شتاب برای طبقه ۱۰ با روش FLC هنگام کنترل نیروبه سیستم TMD اعمال
می شود.....
۸۳.....
- شکل ۴-۱۶- درصد کاهش پاسخ اوج جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط ATMD در زمین لرزه El
Centro.....
۸۴.....
- شکل ۴-۱۷- درصد کاهش پاسخ RMS جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط ATMD در زمین لرزه El
Centro.....
۸۴.....
- شکل ۴-۱۸- درصد کاهش پاسخ اوج جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط ATMD در زمین لرزه
Hachinohe.....
۸۵.....
- شکل ۴-۱۹- درصد کاهش پاسخ RMS جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط ATMD در زمین لرزه
Hachinohe.....
۸۵.....
- شکل ۴-۲۰- درصد کاهش پاسخ اوج جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط ATMD در زمین لرزه
Northridge.....
۸۶.....
- شکل ۴-۲۱- درصد کاهش پاسخ RMS جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط ATMD در زمین لرزه
Northridge.....
۸۶.....
- شکل ۴-۲۲- درصد کاهش پاسخ اوج جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط ATMD در زمین لرزه طیس
.....
۸۷.....
- شکل ۴-۲۳- درصد کاهش پاسخ RMS جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط ATMD در زمین لرزه
طیس.....
۸۷.....
- شکل ۴-۲۴- نمودار جابجایی طبقات.....
۸۹.....
- شکل ۴-۲۵- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای
جرمی تنظیم شده با نسبت های جرمی ۰.۲٪ و ۰.۵٪ و نسبت میرایی ۰٪ در زمین لرزه El Centro.....
۹۲.....
- شکل ۴-۲۶- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای
جرمی تنظیم شده با نسبت های جرمی ۰.۲٪ و ۰.۵٪ و نسبت میرایی ۰.۵٪ در زمین لرزه El Centro.....
۹۳.....
- شکل ۴-۲۷- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای
جرمی تنظیم شده با نسبت های جرمی ۰.۲٪ و ۰.۵٪ و نسبت میرایی ۱۰٪ در زمین لرزه El Centro.....
۹۴.....
- شکل ۴-۲۸- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای
جرمی تنظیم شده با نسبت های جرمی ۰.۲٪ و ۰.۵٪ و نسبت میرایی ۰٪ در زمین لرزه Hachinohe.....
۹۵.....

- شکل ۴-۲۹- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم شده با نسبت های جرمی ۲٪ و ۵٪ و نسبت میرایی ۵٪ در زمین لرزه Hachinohe..... ۹۶
- شکل ۴-۳۰- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم شده با نسبت های جرمی ۲٪ و ۵٪ و نسبت میرایی ۱۰٪ در زمین لرزه Hachinohe..... ۹۷
- شکل ۴-۳۱- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم شده با نسبت های جرمی ۲٪ و ۵٪ و نسبت میرایی ۰٪ در زمین لرزه Northridge..... ۹۸
- شکل ۴-۳۲- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم شده با نسبت های جرمی ۲٪ و ۵٪ و نسبت میرایی ۵٪ در زمین لرزه Northridge..... ۹۹
- شکل ۴-۳۳- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم شده با نسبت های جرمی ۲٪ و ۵٪ و نسبت میرایی ۱۰٪ در زمین لرزه Northridge..... ۱۰۰
- شکل ۴-۳۴- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم شده با نسبت های جرمی ۲٪ و ۵٪ و نسبت میرایی ۰٪ در زمین لرزه طبس..... ۱۰۱
- شکل ۴-۳۵- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم شده با نسبت های جرمی ۲٪ و ۵٪ و نسبت میرایی ۵٪ در زمین لرزه طبس..... ۱۰۲
- شکل ۴-۳۶- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم شده با نسبت های جرمی ۲٪ و ۵٪ و نسبت میرایی ۱۰٪ در زمین لرزه طبس..... ۱۰۳
- شکل ۴-۳۷- توابع عضویت متغیرهای ورودی و متغیر خروجی..... ۱۰۴
- شکل ۴-۳۸- تاریخچه زمانی اندازه گیری شده جابجایی و نیروی کنترل تحت ورودی زلزله EL Centro..... ۱۰۶
- شکل ۴-۳۹- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم شده با نسبت های جرمی ۱۰٪ و ۱۵٪ و نسبت میرایی ۰٪ در زمین لرزه El Centro..... ۱۰۸
- شکل ۴-۴۰- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم شده با نسبت های جرمی ۱۰٪ و ۱۵٪ و نسبت میرایی ۵٪ در زمین لرزه El Centro..... ۱۰۹
- شکل ۴-۴۱- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم شده با نسبت های جرمی ۱۰٪ و ۱۵٪ و نسبت میرایی ۱۰٪ در زمین لرزه El Centro..... ۱۱۰
- شکل ۴-۴۲- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم شده با نسبت های جرمی ۱۰٪ و ۱۵٪ و نسبت میرایی ۰٪ در زمین لرزه Hachinohe..... ۱۱۱
- شکل ۴-۴۳- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم شده با نسبت های جرمی ۱۰٪ و ۱۵٪ و نسبت میرایی ۵٪ در زمین لرزه Hachinohe..... ۱۱۲
- شکل ۴-۴۴- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم شده با نسبت های جرمی ۱۰٪ و ۱۵٪ و نسبت میرایی ۱۰٪ در زمین لرزه Hachinohe..... ۱۱۳
- شکل ۴-۴۵- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم شده با نسبت های جرمی ۱۰٪ و ۱۵٪ و نسبت میرایی ۰٪ در زمین لرزه Northridge..... ۱۱۴

- شکل ۴-۴۶- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط کیراگرهای جرمی تنظیم شده با نسبت های جرمی ۱۰٪ و ۱۵٪ و نسبت میرایی ۵٪ در زمین لرزه Northridge.....۱۱۵
- شکل ۴-۴۷- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم شده با نسبت های جرمی ۱۰٪ و ۱۵٪ و نسبت میرایی ۱۰٪ در زمین لرزه Northridge.....۱۱۶
- شکل ۴-۴۸- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم شده با نسبت های جرمی ۱۰٪ و ۱۵٪ و نسبت میرایی ۰٪ در زمین لرزه طبس.....۱۱۷
- شکل ۴-۴۹- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم شده با نسبت های جرمی ۱۰٪ و ۱۵٪ و نسبت میرایی ۵٪ در زمین لرزه طبس.....۱۱۸
- شکل ۴-۵۰- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم شده با نسبت های جرمی ۱۰٪ و ۱۵٪ و نسبت میرایی ۱۰٪ در زمین لرزه طبس.....۱۱۹
- شکل ۴-۵۲- نیروی خروجی میراگر فعال.....۱۲۲
- شکل ۴-۵۳ و ۴-۵۴ درصد کاهش پاسخ میراگر در نسبت جرمی ۱۰٪ و نسبت فرکانسی ۱ در زمین لرزه های:.....۱۲۴

فصل اول

مقدمه

۱- مقدمه:

۱-۱- پیشگفتار

از گذشته تا کنون زلزله باعث ایجاد حوادث بزرگی بر روی زمین بوده است به گونه ای که همواره زندگی انسان ها را دچار تغییر و دگرگونی ساخته است. تا کنون همواره هدف کنترل این نیروی مهیب غیرقابل پیش بینی بوده و باتوجه به اینکه در این مسیر نیز موفقیت هایی انجام شده است با این حال هنوز این نیروی خائنانه افکن هر ساله موجب ایجاد خسارات مالی و جانی فراوانی می گردد و سازه ها نیز پس از زلزله کارایی خود را از دست می دهند. نیروی زلزله در زمین باتوجه به حرکت های پوسته ایجاد و باعث آزاد شدن انرژی زیادی می گردد که این خود باعث ایجاد مخاطرات بر روی زمین می شود. تاکنون قوانین و آئین نامه های زیادی در دنیا به منظور محاسبه و ساخت ساختمان های مقاوم در برابر زلزله تهیه و تدوین شده است و روش های متعددی برای محاسبه نیروی زلزله ارائه شده است که از جمله آن ها می توان روش استاتیکی معادل، روش طیفی و دینامیکی را نام برد. در تمامی این روش ها نیروی زلزله وارد شده بر سازه ها توسط اطلاعات زلزله های گذشته که در دنیا رخ داده و ثبت شده است بدست می آیند و بر اساس اهمیت ساختمان و نوع ساختگاه آن و اطلاعات دیگر ایمنی سازه ها تامین می شود. با این حال زلزله هایی که در زمان های آتی به این سازه ها وارد می شوند با تمام زلزله های دیگر متفاوت می باشد به همین علت پس از محاسبه نیروی زلزله توسط روش های عنوان شده روش هایی جهت طراحی ساختمان های مقاوم در برابر زلزله مطرح می شود که این روش ها به دو بخش کلاسیک و مدرن طبقه بندی می شوند.

در روش کلاسیک یک طراحی بر اساس حداکثر نیروی وارد شده به سازه و با در نظر گرفتن ترکیب نیروهای احتمالی بدست آمده از آئین نامه ها محاسبه می گردد و هریک از اجزای سازه بر اساس روش مقاومت نهایی طراحی می شوند.

در روش های کلاسیک پایداری سازه ها بر اساس عملکرد نیز عنوان می گردد در صورتی که در روش های مدرن علاوه بر طراحی به روش کلاسیک با افزودن سیستم های دیگر به سازه باعث افزایش ایمنی و مقاومت

و هم چنین اقتصادی کردن عناصر سازه در برابر بارهای دینامیکی می شود. این سیستم ها باتوجه به نوع اتصال به سازه و نوع سیستم جهت کاهش نیروی زلزله به چهار دسته تقسیم بندی می شوند که عبارتند از: سیستم های کنترل غیرفعال، نیمه فعال، فعال و مرکب.

به طور کلی این سیستم ها انرژی زلزله را یا از طریق جذب یا از طریق تغییر در فرکانس سازه مهار می کنند و باعث می شوند که انرژی زلزله به اجزاء اصلی سازه صدمه نزنند.

این سیستم ها بر روی سازه های موجود نیز قابلیت اجرایی دارند و باتوجه به اینکه سازه های غیرمقاوم در برابر زلزله تعداد کثیری را شامل می شوند و هم چنین استفاده از سیستم های الحاقی پاسخ دینامیکی سازه ها را به صورت بسیار خوبی کاهش می دهند لذا بکارگیری این نوع سیستم ها از اهمیت بالایی برخوردار می باشد.

۱-۲- زلزله چیست؟

هرچند که بارهای وارد شده بریک سازه ممکن است تحت اثر عوامل متعددی مانند باد، موج حرکت خودروها باشند بدون شک یکی از بارهای مهم بار زلزله است که برای مهندسين سازه بسیار حائز اهمیت می باشد. البته اهمیت نیروی زلزله به دلیل اثرات زیان باری است که یک زلزله شدید بر جای می گذارد.

از آنجایی که طراحی سازه هایی که قابلیت تحمل نیروهای ناشی از زلزله های شدید را داشته باشند توانایی بالایی را در مهندسی می خواهد تنها رشته مهندسی زلزله است که به عنوان چارچوبی مورد استفاده قرار می گیرد که در آن از تئوری ها و تکنیک های خاصی استفاده می گردد. در هر صورت امروز اهمیت نیروی زلزله خصوصا برای سازه های بلند مقاوم صد چندان شده است زیرا با توجه به زلزله خیزی منطقه ایران و رشد صنعت ساخت و ساز نیاز به طراحی و ایستایی سازه ها در مقابل نیروی زلزله چندین برابر شده استفاده همچنین در طراحی سازه های خاص و توسعه صنایع نیز این اهمیت آشکار بوده و معیارهایی فراوانی وجود دارد که در این طراحی ها می بایست مد نظر قرار گیرد.

جمله معروف نیومارک که می گوید زلزله ها به طور سلسله وار اشتباهات طراحی را هرچند کوچک مشخص می کنند و همین دلیل نیز است که زلزله را یک نیروی غیرقابل پیش بینی و تحقیق پیرامون آن را بسیار حائز اهمیت می نماید. در طراحی لرزه ای ساختمان ها عمدتاً مهندسين از اطلاعات مربوط به زمین لرزه های حرکت - قوی که بیش از اندازه مخرب هستند استفاده می کنند که رکوردهای آن پس از ثبت توسط شتاب نگارها اصلاح شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد و همچنین در روش های مختلف محاسبه نیروی زلزله بکار می رود.

۱-۳- سیستم های کنترل فعال (ATMD)^۱ و میراگرهای جرمی (TMD)^۲

همان طور که در قسمت مقدمه اشاره شد سیستم های کنترلی کاربرد زیادی در صنعت ساختمان دارند. این سیستم ها با افزوده شدن به سازه باعث کاهش قابل توجهی در پاسخ ها می گردند.

یکی از این سیستم های کنترل بکارگیری میراگر و جرم تنظیم شونده (TMD) است که از جمله قدیمی ترین سیستم های کنترلی محسوب می شود و کاربردهای فراوانی در علوم مختلف همانند مکانیک، هوافضا و عمران داشته است. این سیستم از یک جرم و یک فنر تشکیل شده است به گونه ای که جرم مربوطه توسط کمک فنر به یکی از درجات آزادی سازه متصل می شود و در نهایت باعث کاهش پاسخ سازه می شود.

لازم به ذکر است که طراحی بهینه این کنترل کننده وابسته به تعیین درست پارامترهای جرم، فنر، میرایی و مکان اتصال به سازه را دارد. این نوع سیستم در سازه های مختلف به منظور کنترل ارتعاشات باد و زلزله استفاده می شوند. به دلیل ساختار این سیستم و به دلیل آنکه تغییراتی بر روی پارامترهای سیستم در حالت طبیعی انجام نمی پذیرد و هم چنین به دلیل عدم وجود نیروی فعال خارجی جهت کنترل این سیستم جزء کنترل کننده های غیرفعال به حساب می آید. به منظور فعال نمودن TMD و افزایش کارایی آن این سیستم یک نیروی فعال خارجی افزوده می شود که در هنگام وجود نیروی زلزله در هر لحظه مقدار آن را برآورد نموده

^۱. Active tuned mass damper.

^۲. Tuned Mass Damper

و به جرم تنظیم شونده اعمال می گردد. این سیستم یکی از سیستم های کاربردی در صنعت ساخت و ساز می باشد و امروزه ساختمان های بلند توسط این سیستم کنترل می گردند. همان طور که بیان شد تفاوت اصلی سیستم TMD و سیستم میراگر و جرم تنظیم شونده فعال (ATMD) تنها در وجود یک نیروی فعال می باشد.

تحقیقات گسترده ای پیرامون اینکه چگونه در هر لحظه می توان مقدار نیروی فعال را محاسبه نمود انجام گرفته است. سیستم TMD نخستین بار توسط فرام در سال ۱۹۰۹ به عنوان سیستم جذب انرژی مطرح گردید و بعد از آن توسط محققان زیادی مورد بحث و بررسی قرار گرفت. پس از آن مفاهیم کنترل فعال توسط یاو مطرح گردید و از آن زمان به بعد الگوریتم های متعددی جهت بدست آوردن این نیروی فعال استفاده شد که هریک نتایج قابل توجهی را به دنبال داشت [۳۱].

۱-۴- استفاده از منطق فازی در سیستم های کنترل

پروفسور لطفی زاده نظریه مجموعه های فازی را در سال ۱۹۶۵ عنوان نمود. مفهوم مجموعه ها و کمیت های نامعلوم در یک مرحله کاملاً منظم توسط وی معرفی و روش های تصمیم گیری ارائه گردید. پس از ارائه نظریه مجموعه های فازی نظریه منطق فازی بر طبق آن پایه ریزی گردید. باتوجه به اینکه منطق فازی با واقعیت و حقایق بیشتر منطبق است و مدل سازی فرآیندها نیز با استفاده از تئوری فازی ساده تر است باعث گردیده که این نظریه در بسیاری از علوم مورد استفاده قرار گیرد و مفهوم جدیدی را در مهندسی کنترل و سیستم های خبره عرضه نماید. این روش در حقیقت از مفهوم روش تفکر انسانی استفاده نموده و در بسیاری از سیستم های واقعی خصوصاً سیستم های مبتنی بر اپراتور انسانی بسیار مطلوب تر از روش های کلاسیک عمل می نماید. قسمت اساسی کنترل کننده فازی مبتنی بر منطق فازی شامل مجموعه های قوانین زبانی می باشد که فرآیند تحت کنترل را مدل سازی می نماید. سیستم فازی از چهار قسمت اصلی تشکیل شده است که عبارتند از:

۱- تعدادی قانون که تشکیل دهنده جدول قوانین فازی می باشند. مانند:

$if x_i \text{ is } C_i^L \text{ and ... and } x_n \text{ is } C_n^L \text{ then } y_1 \text{ is } D_1^L \text{ and ... and } y_n \text{ is } D_n^L$

۲- موتور استنتاج فازی که با بکارگیری قوانین مورد نظر و بهره گیری از منطق فازی مجموعه های ورودی را به مجموعه های خروجی فازی تبدیل می نماید.

۳- فازی سازی که در حقیقت مجموعه های ورودی را در قسمت اگر قوانین تبدیل و استفاده می نماید.

۴- غیرفازی سازی که مجموعه های فازی خروجی را به خروجی های نهایی تبدیل می نماید.

کنترل های فازی در بکارگیری منطق فازی در مقالات متعددی آورده شده است به گونه ای که نشان می دهد کنترل فازی با استفاده از منطق فازی صورت می پذیرد و عموماً بصورت یک حلقه بسته می باشند و با استفاده از مقادیر ورودی و به کمک قسمت پردازش گر کنترل کننده مقادیر پارامترهای کنترلی را محاسبه می نماید. در سیستم ATMD معمولاً مقادیر تغییر مکان و سرعت طبقات به عنوان ورودی های کنترل کننده فازی و میزان نیروی فعال ضربه زننده به جرم ATMD به عنوان خروجی در نظر گرفته می شود.

۱-۵- لزوم انجام تحقیق حاضر

همانطور که استفاده از سیستم های کنترلی کمک قابل توجهی از نظر اقتصادی و مقاوم سازی به سازه ها می کند تحقیق بر روی این سیستم ها حائز اهمیت می باشد. از طرفی باتوجه به اینکه کشور ما یک کشور لرزه خیز می باشد تحقیق در این زمینه الزامی بوده و همچنین باتوجه به اینکه سازه های متعددی در کشور ما وجود دارد که از سطح مقاومتهای پائینی برخوردار هستند و استفاده از سیستم های ATMD می توانند مقاومت سازه ها را تا حد قابل توجهی افزایش دهند لذا تحقیق بر روی آن ها ضروری می باشد.

از طرف دیگر در تحقیقات صورت گرفته بر روی ATMD مطالعات کمی در خصوص بکارگیری این سیستم ها در حالت فازی صورت پذیرفته است به گونه ای که در تحقیقات انجام شده نیز اکثر سازه ها یک یا چند طبقه بوده و یک طرح جامع ارائه نگردیده است لذا سعی بر آن می شود که در این تحقیق یک سیستم کنترلی فازی برای سازه ها طراحی شده و نمودارهایی نیز جهت طراحی اجزای این سیستم ها بدست آید تا بتواند مرجعی برای طراحان سازه قرار گیرد.

۱-۶- هدف از انجام تحقیق

بررسی سیستم های کنترلی، مدل سازی صحیح آنها مطالعه تاثیر آن ها بر روی سیستم های سازه ای کاهش پاسخ تحت اثرات خارجی مخرب را ممکن می سازد. در این رساله به استفاده از سیستم میراگرهای جرمی غیرفعال و فعال، پرداخته می شود. از آنجائیکه تحقیقات گسترده ای پیرامون این میراگرها و استفاده از روش های خاص همانند منطق فازی در آن ها صورت گرفته است اما کماکان ارائه الگوریتم جدید فازی به منظور کاهش پاسخ های سازه همواره حائز اهمیت بوده و تحقیق و مطالعه پیرامون آن ضروری به نظر می رسد. مراحل انجام تحقیق حاضر را نیز می توان بصورت خلاصه بدین صورت بیان نمود که در گام نخست پس از ارائه مدل ریاضی مربوط به میراگرهای جرمی در حالت های فعال و غیرفعال شبیه سازی در نرم افزار MATLAB صورت می گیرد. شتابنگاشت زمین لرزه به عنوان اغتشاشات ورودی سیستم اعمال می شود و در نهایت پاسخ اندازه گیری شده سیستم به عنوان ورودی کنترل کننده فازی اعمال می گردد که در ادامه به شرح آن پرداخته می شود.

۱-۷- مراحل انجام پروژه

در این رساله از سیستم کنترل فعال ATMD استفاده می شود. در تحقیقات متعددی مشخص شده است که استفاده از این سیستم می تواند نتایج بسیار مطلوبی نسبت به سیستم های مشابه در کاهش پاسخ سازه های بلند در مقابل زلزله نشان دهد. یکی از مزیت های استفاده از سیستم فعال قدرت تطابق با رفتار سازه به منظور مقاومت در برابر نیروی زلزله می باشد باتوجه به این که این سیستم ها در زمان وقوع زلزله نیروی زلزله را تشخیص داده و مطابق با آن پاسخ لازم را اعمال می کنند و با این کار علاوه بر مقاومت در برابر نیروی زلزله موجب کاهش پاسخ و در نهایت خسارات به سازه ها می شوند.

با ده درجه آزادی همراه با سیستم ATMD در طبقه آخر، ابتدا مدل اجزای محدود آن تهیه شده و پس از تهیه ماتریس جرم و سختی، سیستم میراگر جرمی فعال بررسی و مدل ریاضی آن تعیین می گردد که بدین منظور باتوجه به معادلات دینامیک سازه معادلات دیفرانسیل مساله بدست آمده و در محیط نرم افزار MATLAB شبیه سازی شده است. شتاب نگاشت زلزله به عنوان نیروی ورودی سیستم اعمال شده و میزان ورودی میراگر فعال به کار گرفته شده در میراگر جرمی توسط کنترل کننده فازی محاسبه می گردد. در حقیقت ورودی های سیستم کنترل کننده فازی پاسخ های محاسبه شده سیستم سازه ای هستند. در ادامه نیز تاثیر پارامترهای مختلف در عملکرد میراگر جرمی فعال در کاهش پاسخ سازه ها در حالت های کنترل شده و نشده مورد مطالعه قرار گرفته و نتایج بدست آمده بایکدیگر مقایسه شده اند. هم چنین تاثیر تغییر در مقادیر ورودی میراگر جرمی فعال نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

۸-۱- ساختار پایان نامه

پس از ارائه مقدمه در فصل نخست در فصل دوم مروری بر تحقیقات گذشته، تاریخچه تحقیقات، نظریه های فازی و زمینه های آن در مهندسی عمران مورد بحث قرار گرفته است.

فصل سوم: در این بخش مقدمه ای به سیستم های کنترلی مختلف سازه ای همراه با مثال های مربوط به این سیستم ها شرح داده می شود و به بررسی اجمالی سیستم های کنترلی غیرفعال، نیمه فعال، فعال و مرکب پرداخته می شود.

در فصل چهارم کنترل فازی و اصول آن شرح داده می شود به گونه ای که ابتدا مقدمه ای بر تئوری و کنترل فازی شرح داده می شود و پس از آن مجموعه های فازی و عملیات مربوط به آن ها، متغیرهای زبانی و در نهایت کاربرد منطق فازی در مهندسی عمران با ارائه مفاهیم اصلی کنترل فازی و قوانین اگر- آنگاه و اصول استدلال های فازی شرح داده می شود.

در فصل پنجم سیستم سازه ای همراه با کنترل کننده مورد بررسی قرار گرفته و مدل سازی آن در فضای حالت شیهه سازی و مورد مطالعه قرار گرفته است سپس تئوری کنترل میراگر فعال شرح داده شده و بر اساس آن کنترل کننده فازی ورودی های میراگر را معین و معیارهای کارایی به منظور بررسی عملکرد کنترل کننده بیان می شوند.

در فصل ششم رفتار سازه ساختمانی مورد مطالعه (قاب ده طبقه) همراه با سیستم کنترلی فعال و غیرفعال با استفاده از کنترل فازی تحت نیروی زلزله چهار زمین لرزه طیس، EL CENTRO، HACHINOHE، NORTHBRIDGE مورد بررسی قرار می گیرد و ابتدا پاسخ های سازه در حالت کنترل نشده در فاز نخست محاسبه می گردد.

در ادامه نیز رفتار سازه در حالت کنترل شده محاسبه و در حالت های غیرفعال و فعال با تغییر در پارامترهای آن ها مانند فرکانس و نسبت میرایی درصد کاهش پاسخ سازه نشان داده شده است. در پایان نیز معیار های مربوط به ارزیابی این میراگرها محاسبه و با یکدیگر مقایسه شده اند. در ادامه نیز پاسخ های جا به جایی و شتاب هریک از طبقات سازه کنترل شده نشان داده شده است.

در فصل هفتم به بیان نتایج و ارائه پیشنهادات پرداخته شده است.

فصل دوم

مروری بر تحقیقات گذشته

۲- مروری بر تحقیقات گذشته

۲-۱- مقدمه

تحقیقات گسترده ای پیرامون ساختمان های مقاوم در برابر زلزله صورت پذیرفته است با این حال هر روز روش های جدیدی جایگزین روش های پیشین می گردد. نیروی زلزله به واسطه که عموماً با توجه به حرکت یکباره پوسته زمین در محل گسل ها انرژی زیاد را بر روی سطح زمین تولید می کند خود عامل اصلی تغییر شکل های عناصر سازه ها و ناپایدار کردن آن ها می باشد. امروزه در دنیا علاوه بر تحقیقاتی که پیرامون به وجود آمدن نیروی زلزله و منشاء آن صورت می گیرد تحقیقات گسترده ای نیز در خصوص مقاومت سازه های ساخته شده در برابر این نیرو انجام می گیرد.

روش های کاربردی زیادی توسط محققین در این خصوص ارائه شده است که این روش ها را می توان به دو دسته تئوری های مدرن و سنتی طبقه بندی نمود. در تئوری های سنتی طراحی بر اساس محاسبه برای تک تک اعضای سازه و باتوجه به نیروی وارد شده بر آن ها انجام می پذیرد در صورتی که در تئوری مدرن پایداری کل سازه حائز اهمیت بوده و پایداری قسمت های کوچک از اهمیت کمتری برخوردار است. در روش مدرن حالت های مختلفی به منظور پایداری سازه ها توسط محققان ارائه شده است که بخش مهمی از آن استفاده از سیستم های کنترلی می باشد. تحقیقات وسیع در این زمینه خصوصاً در زمینه عمران باعث شده است که شاخه های جدید پژوهشی پیش روی محققین باز شود. اما به طور کلی این پژوهش ها چهار دسته سیستم های کنترل فعال، غیر فعال، نیمه فعال و مرکب را شامل می شوند. در این رساله سعی بر آن است که سیستم کنترل فعال ATMD مورد بررسی قرار گیرد. این سیستم یک سیستم موثر بوده که با استفاده از دور کردن فرکانس سازه از فرکانس زلزله اثرات زلزله را کاهش می دهد. سیستم ATMD با میراگر و جرم تنظیم شونده فعال از دو قسمت غیرفعال و یک نیروی فعال تشکیل شده است.

جهت طراحی نیروی فعال این سیستم الگوریتم های کنترلی مختلفی توسط پژوهشگران پیشنهاد شده است که در این رساله سعی بر تولید نیروی فعال توسط منطق فازی می باشد.

۲-۲- تحقیقات صورت پذیرفته بر روی سیستم های کنترل فعال (ATMD)

عنوان پژوهش های مهندسی عمران برای سه دهه است که کاهش پاسخ سازه ها تحت اثر نیروهای دینامیکی را به خود اختصاص داده است. بدین ترتیب روش های کنترل غیرفعال و فعال ارائه می گردد که سیستم TMD در هر دو روش کاربرد دارد.

برای نخستین بار در سال ۱۹۰۹ فرام^۱ مفهوم میراگر و جرم تنظیم شونده را بیان نمود. در ادامه کارهای فرام نیز مفهوم میراگر و جرم تنظیم شونده توسط محققین در چندین تحقیق به منظور کنترل ارتعاشات بارهای متعدد مورد بررسی قرار گرفت [۱۹]. دن هارتگ^۲، به طور واضح طرح فرام را در طرح خود شرح داد. در این طرح فرمول های ساده ای برای بدست آوردن تنظیم کننده بهینه و پارامترهای میراگر یک TMD جهت کنترل تغییر مکان یک سیستم یک درجه آزادی میرا نشده تحت اثر یک نیروی هارمونیک تهیه شد. پس از آن هارتگ آزمایشاتی را جهت کنترل پاسخ تغییر مکان یک سیستم یک درجه آزادی تحت اثر بار هارمونیک انجام داد و تحلیل هایی را به واسطه این نتایج ارائه کرد [۱۴].

پس از آن واربرتون^۳ از روش های دیگر به حل مساله کنترل تحریکات و بدست آوردن پاسخ ها پرداخت. محدودیت های این روش باعث بکاربردن این رابطه ها برای مسائل چند درجه آزادی می شد. تسای^۴ و لین^۵ روش حل را به صورت کلاسیک برای یک سیستم یک درجه آزادی در آورند. همچنین منحنی هایی را جهت یافتن پارامترهای بهینه بدست آوردند [۲۵].

اگرچه سیستم TMD در برابر نیروهای باد بسیار مطلوب به نظر می رسد و به نظر می رسد در برابر نیروی زلزله نیز پاسخ خوبی را ارائه دهد اما از آن زمان به بعد در برخی از پژوهش ها سیستم میراگر و جرم تنظیم شونده را به عنوان یک سیستم کنترلی خوب جهت کاهش پاسخ سازه ها در برابر زلزله ارائه نمودند و از جهت دیگر چندین تحقیق نیز نتایج عکس را نشان دادند.

1 Fram

2 Den Hartog

3 Varberton

4 Tsai

5 Lin

پس از آن ویلاورد^۶ و همکارانش نتایجی را که تفاوت تحقیقات مربوط به کارایی و عدم کارایی سیستم TMD در برابر زلزله را نشان می داد ارائه کردند. آنها مشاهده نمودند که دلیل اصلی عدم تاثیر میراگرها در برخی از تحقیقات استفاده از حل کلاسیک بوده است و این روش حل حتما مقادیر اجزاء در تحقیقات را بهینه نمی کند.

آنها پیشنهاد کردند که پارامترهای میراگر با نسبت میرایی اصلی سازه قابل تنظیم می باشد و برای این منظور میراگر باید در رزونانس با سازه تکیه گاه هایش باشد و نسبت میرایی آن برابر با نسبت میرایی سازه به همراه یک جمله که تابعی از نسبت میرایی کل و تغییر مکان سازه در نقطه اتصال میراگر TMD باشند و پس از آن مطالعات دیگری نیز به منظور آشکار ساختن تاثیر این روابط در تحقیقات ارائه نمودند [۲۶].

نخستین مدل سیستم یک درجه آزادی به همراه یک TMD متصل به آن توسط سادک^۷ و همکارانش پس از انجام تحقیقات و استفاده از مدل ویلاورد و همکارانش ارائه گردید. آن ها در تحقیقات خود بدین نتیجه رسیدند که معمولا نسبت میرایی TMD به جز جرم های کوچک در نزدیکی میرایی سازه قرار دارد. این نتایج توانست پایه و اساس تحقیقات بعدی قرار گرفته و تاثیر کلیه اجزای TMD را بر روی مقادیر ماتریس سازه مورد تحلیل و ارزیابی قرار دهد. هم چنین آن ها در تحقیقات خود توانستند با تغییرات متفاوت جرم، میرایی و سختی TMD مقادیر بهینه ای برای نسبت میرایی و نسبت جرم که با فرکانس مود سازه قابل تنظیم باشد بدست آورند و فرمول های ساده ای برای محاسبه پارامترهای جرم و میرایی ارائه نمایند [۲۲].

پس از آن و در سال های آتی روابط مربوط به میراگر و جرم تنظیم شونده یک سیستم یک درجه آزادی تعمیم یافته و برای سیستم های چند درجه آزادی ارائه گردید و معمولا پاسخ سازه های چند درجه آزادی توسط یک

مود قابل تعریف که معمولا مود پایه نامیده می شد موفقیت آمیز به نظر می رسید. به منظور افزایش قدرت طراحی و هم چنین کاهش حساسیت سیستم در عدم تنظیم یا تغییر در مقادیر پارامترها از سیستم MTMD (میراگر جرمی تنظیم شونده چندگانه) یا همان میراگر با چند جرم تنظیم شونده استفاده شد و فرکانس یک

6 Vilaverd
7 Sadeck

MTMD در یک فرکانس باند پهن پخش و معمولاً مود اصلی در مرکزیت این فرکانس قرار گرفت [۲۹, ۳]. هدف از استفاده از سیستم MTMD معمولاً بهبود کنترل خواص سازه بود. سونگ و رانا نیز محققانی بودند که تحقیقات گسترده ای بر روی میراگرهای MTMD جهت کنترل مودهای متفاوت سازه ها انجام دادند [۲۴, ۲۳].

در سال ۱۹۷۰ مفاهیم کنترل سازه ها شکل گرفت و از آن به بعد تحقیقات گسترده ای در این زمینه صورت گرفت. یاو^۱ و اولین مقالات خود را پیرامون کنترل فعال سازه ها ارائه نمود [۳۱]. از آن زمان تا کنون کنترل فعال سازه ها یکی از موضوعات مهم تحقیقاتی در بین محققین سازه قلمداد می شود. در این زمینه سونگ مقالات زیادی را به چاپ رسانده که می توان به آن ها نیز اشاره نمود [۳۰]. در این خصوص روش های متعددی توسط محققین مورد بررسی قرار گرفته که از این میان بیشتر روش های ارائه شده به منظور یافتن الگوریتم مناسب جهت بدست آوردن نیروی فعال در هر لحظه می باشد. از جمله این الگوریتم ها می توان به جابه جایی قطبی، بهینه خطی، کنترل بهینه آنی و ... اشاره نمود که اخیراً نیز استفاده از روش های دیگر نیز مطرح شده که از جمله آن ها می توان به منطق فازی اشاره کرد.

۲-۳- مروری بر تاریخچه تحقیقاتی نظریه فازی و زمینه های آن در مهندسی عمران

۲-۳-۱- اولین زمینه های فکری

تحولات و تکنیک های قوی توسط پیرسن، فرگه و راسل پیرامون منطق فازی ارائه گردید در حالی که کانت فیلسوف مشهور آلمانی در سال ۱۸۸۰ براین امر اهتمام داشت که منطق اساساً به واسطه کارهای ارسطو یک علم کامل است. در نیمه دوم قرن بیستم منطق فازی با شاخه های متفاوت و تفاوت زیربنایی متولد گردید. گرچه با بررسی دقیق تاریخ علم می توان ریشه های چنین نگرشی را در سال های قبل از ارائه رسمی یافت. دو گزاره صدق و کذب بودن از اوایل قرن نوزدهم توسط لوکاسیویچ^۱ و و در پی آن منطق دانان و ریاضی

6 Yao

1 Lokasoech

دانان چون پست^۲، برخوار و کلین ارائه گردید و نقطه آغازین رویکرد تعمیم دو گزاره به سه گزاره بود و پس از آن سیستم های n ارزشی و بی نهایت ارزشی معرفی شد و براساس آن چیزهای متفاوتی ارائه گردید. ماکس بلک^۳ در سال ۱۹۳۷ مقاله ای با عنوان ابهام منتشر نمود. او فیلسوف کوانتوم بود و مقاله خود را که راجع به آنالیز منطقی بود در مجله فلسفه علم منتشر کرد. او در مقاله خود منطق چند ارزشی را به مجموعه ها توسعه و تاکید نمود که این مجموعه های فازی بوده و تصورات و اندیشه های را به یکدیگر سازگار می کنند. او در توضیحات خود از واژه مبهم استفاده نمود. تحقیقات او در نهایت مورد استفاده قرار نگرفته و به فراموشی سپرده شد و دیگر مباحث خود را ادامه نداد[۳۸].

۲-۳-۲- ظهور منطق فازی

رواج مجدد و موثر این رویکرد فکری با تغییر نام ابهام به فازی توسط دکتر لطفی زاده (L.zadeh) استاد گروه مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه برکلی صورت گرفت. او در علم کنترل فرد متبحر و برجسته ای بود و در میان متخصصین این رشته علمی جایگاه ویژه ای داشت. دکتر لطفی زاده در اوایل دهه ۶۰ بر این عقیده بود که تئوری کنترل کلاسیک بیش از حد بر روی دقت تاکید دارد و از این رو در کار با سیستم های پیچیده کارآمد نیست.

وی در سال ۱۹۶۲ می نویسد: "ما اساساً به نوع جدیدی از ریاضیات نیازمندیم. ریاضیات مقادیر مبهم یا فازی که توسط توزیع های احتمالات قابل توصیف نیستند"

پس از آن وی در سال ۱۹۶۵ نتایج مقالات خود را با عنوان مجموعه های فازی در مجله اطلاعات و کنترل منتشر ساخت[۳۳]. اما در حوزه های دانشگاهی نه تنها استقبالی از او نشد بلکه مورد انتقاد نیز قرار گرفت. کاربرد عملی تئوری فازی در مراحل اولیه مشخص نبود به همین منظور تفهیم آن کار سختی به نظر می رسید و تقریباً هیچ کدام از مراکز تحقیقاتی تئوری فازی را مورد اهمیت قرار ندادند اما در عین حال محققانی بودند که روش های جدیدی از الگوریتم فازی را در برنامه تحقیقاتی خود قرار دادند.

2 Post
3 Max black



پروفسور لطفی زاده

۲-۳-۳- تثبیت مفاهیم بنیادی و ظهور اولین کاربردها

مفاهیم تئوری فازی توسط لطفی زاده در اواخر دهه ۶۰ مطرح گردید و پس از آن در سال ۶۸ مفاهیم الگوریتم سیستم های فازی و در سال ۷۰ تصمیم گیری فازی و در سال ۷۱ ترتیب فازی را ارائه نمود. او در زمینه تخصصی خود که سیستم های کنترل بود در سال ۱۹۷۳ مقاله ای با عنوان طرح یک راه حل جدید جهت تجزیه و تحلیل سیستم های پیچیده منتشر نمود که اساس کار کنترل فازی را بنا نهاد. او در مقاله خود مفهوم متغیرهای زبانی و استفاده از قواعد اگر-آنگاه را برای فرموله کردن دانش بشری معرفی نمود. ایجاد کنترل های فازی جهت سیستم های واقعی از جمله رخدادهای بزرگ دهه ۷۰ بود. ممدانی^۱ و آسیلیان در سال ۱۹۷۵ جهت کنترل فازی چهارچوب اولیه ای را ایجاد نمودند و کنترل فازی را به یک سیستم بخار تشبیه کردند. پس از آن ها هولنبلاد^۲ و اترگارد در سال ۱۹۷۸ اولین کنترل کننده فازی را برای یک فرآیند صنعتی بکار بردند [۱۵]. از آنجایی که زمینه های تحقیقاتی جدید معمولاً توسط مراکز علمی-دانشگاهی مورد حمایت قرار می گیرد متأسفانه در مورد تئوری فازی این اتفاق نیفتاد. به گونه ای که رودلف کالمن^۳ استاد دانشگاه

1 Mmdani

2 Hohenbelard

3 Rodelf Calman

کالیفرنیا می گوید: آیا لطفی زاده مساله مهمی را ارائه کرده است و آیا افکار وی خیال پردازی نیستند؟ به نظر من پیشنهادات او هیچ شانس برای حل اساسی مسائل تحلیل سیستم ها ندارد. اما واکنش های لطفی زاده در مقابل چنین اظهاراتی متفاوت است. وی چنین دیدگاه هایی را اصل چکش نامیده است و اظهار می دارد که اگر تنها ابزار در دست شما یک چکش باشد آنگاه همه چیز شبیه یک میخ است [۵].

۲-۳-۴- دهه ۹۰ و سال های آغازین قرن ۲۱: چالش ها کماکان باقیست

به واسطه موفقیت های خیره کننده ژاپنی ها در حوزه کاربرد فازی، محققان آمریکایی و اروپایی به تکاپو افتادند. در سال ۱۹۹۴ ژاپن حدود ۳۵ میلیون دلار از فروش محصولات فازی کسب سود و درآمد داشت. چنین چیزی برای غرب غیرقابل تحمل بود. بنابراین در میان صاحبان صنعت و تکنولوژی در اروپا و امریکا رقابت آغاز شد. اما در حوزه های دانشگاهی هنوز هم مخالفت های بسیاری وجود داشت. بزرگترین سازمان مهندسی یعنی IEEE در سال ۱۹۹۲ اولین کنفرانس بین المللی در زمینه سیستم های فازی را برگزار نمود و در سال ۱۹۹۳ بخش سیستم های فازی خود را افتتاح کرد.

با اینکه بیش از ۵۰ سال از ابداع دکتر لطفی زاده در منطق فازی می گذرد و مقالات بسیاری در این زمینه زیر نظر ایشان یا با ارجاع به مقاله اصلی نوشته شده است و جنبه های مختلف این منطق و محاسبات بر مبنای اعداد فازی مورد بررسی قرار گرفته است، معرفی بارز ترین خصوصیات منطق فازی را می توان چنین برشمرد:

[۳۶]

- پیاده سازی انعطاف پذیر و سادگی الگوریتم ها در روش های «یادگیری ماشین»^۱
- امکان شبیه سازی منطق و طرز تفکر انسانی
- امکان ایجاد دو راه حل یا پاسخ برای یک مسئله

¹ Machine Learning

- مناسب برای حل مسائلی با پاسخ‌های تقریبی
 - نگاه فرآیندی به استنتاج به همراه استفاده از قیدها و شرط‌های منعطف در منطق فازی
 - امکان ایجاد توابع غیرخطی با پیچیدگی‌های دلخواه
 - وجود وابستگی شدید به نظر محقق در ایجاد مدل‌های منطق فازی
- چه مواقعی نباید منطق فازی را استفاده کرد؟
- مشخص است که نمی‌توان منطق فازی را یک راه حل جامع برای همه مسائل دانست. بنابراین مهم است که بدانیم در چه مواقعی نباید از منطق فازی استفاده کرد. در لیست زیر به معرفی زمینه‌هایی می‌پردازیم که بهتر است از منطق فازی استفاده نشود. [۳۷]
- اگر داده‌ها و فضای نتایج برای منطق فازی مناسب نیستند.
 - زمانی که از حواس پنج‌گانه استفاده می‌شود، منطق فازی کارساز نیست.
 - اگر روش‌های کنترل و تصمیم‌گیری بدون منطق فازی به خوبی کار می‌کنند، پس احتیاجی نیست که آن‌ها را به منطق فازی تبدیل کنیم.
- در جنبه‌های نظری و تئوریک نیز امروزه فعالیت‌های چشمگیری در دست انجام است. ساختارهای جدید فازی مورد بررسی‌های موشکافانه قرار گرفته و نقد و بررسی فازی با تعصب کمتری توأم است. شاید بتوان گفت فازی بزرگان منطق و ریاضیات را متوجه یک سری از چالش‌ها و مشکلات منطق کلاسیک نموده است. حال دانشمندان با توجه به شرایط ایجاد شده و کمرنگ شدن تعصبات ارسطویی می‌توانند به منظور حل این مسائل یکی از دو راه زیر را در پیش گیرند:
- ۱- باروش منطق کلاسیک برای مسائل راه حل ارائه می‌نماید.
 - ۲- با تجزیه و تحلیل منطق فازی اشکالات آن برطرف می‌گردد.
- دکتر لطفی زاده محقق بود که نظریه فازی را مطرح نمود و آن را به دنیای علم ارائه کرد. پدر وی ایرانی و مادرش روسی بود و در کشور آذربایجان چشم به جهان گشود و تحصیلات ابتدایی، متوسطه و دانشگاهی خود

را در ایران سپری کرد. او فارغ التحصیل رشته مهندسی عمران دانشگاه تهران بود که پس از گذراندن تحصیلات خود در سن ۲۳ سالگی به آمریکا مهاجرت و در آنجا تحصیلاتش را ادامه داد.

متأسفانه با آنکه می توان به نوعی تفکر فازی را مولود این آب و خاک دانست بطوری که دکتر لطفی زاده در یکی از مصاحبه های خود با اشاره به تاثیر فرهنگ کشورهایی که در آنها زندگی کرده است بر افکارش که موجب به وجود آمدن ایده فازی شده است به تاثیر بالای فرهنگ ایرانی بر افکارش تاکید می کند [۶]، البته در سال های اخیر تلاش های خوبی به موازات هم در مرکز علمی تحقیقاتی و در رشته های گوناگون صورت گرفته است. در حوزه ریاضیات دکتر ماشینچی در دانشگاه کرمان مسئولیت یک سری فعالیت ها را بر عهده گرفته است. در زمینه سیستم های هوشمند، پژوهشکده سیستم های هوشمند در مرکز تحقیقات فیزیک نظری و ریاضیات شاهد یک تلاش ۶ ساله از محققین در رشته های مختلف است و بخصوص در زمینه کنترل هوشمند تلاش های بسیاری صورت گرفته است لذا تحقیق در این زمینه ضروری به نظر می رسد [۳۶]

۲-۴- سیستم های کنترل سازه ها

به طور کلی روش های متفاوتی در مهندسی عمران جهت طراحی ساختمان ها با کارایی مناسب در برابر زلزله مورد مطالعه قرار گرفته است. ساختمان ها در روش های معمول با استفاده از ترکیب سختی، استهلاک انرژی، اینرسی در برابر نیروهای دینامیکی مانند باد، زلزله و... و هم چنین قابلیت شکل پذیری از خود مقاومت نشان می دهند. در این حالت مقدار میرایی در این گونه سازه ها بسیار ناچیز بوده و در نتیجه انرژی مستهلک شده در محدوده رفتار الاستیک سازه نیز ناچیز می باشد. در هنگام رخداد زلزله سازه ها بعد از محدوده الاستیک تغییر مکان های زیادی می یابند و فقط به واسطه قابلیت تغییر مکان غیر الاستیک خود پایدار می مانند. این تغییر مکان های غیر الاستیک باعث ایجاد مفاصل پلاستیک موضعی در برخی از نقاط سازه شده و موجب افزایش شکل پذیری و هم چنین افزایش استهلاک انرژی می شود و در نتیجه مقدار زیادی از نیروی زلزله به واسطه تخریب های موضعی مستهلک می شوند.

سیستم های کنترلی جایگاه ویژه ای را در سیستم های مدرن سازه ای به خود اختصاص داده اند. به همین دلیل نیز از سیستم های مختلف الحاقی در سازه ها استفاده می شود. کاهش پاسخ سازه ای که به واسطه نیروهای دینامیکی بوجود می آید موضوع بحث بسیار مهمی است که در دهه های اخیر مورد توجه قرار گرفته است [۱۰].

از جمله مزایای سیستم های کنترل می توان به موارد ذیل اشاره نمود:

۱- کاهش ارتعاش طبقات ساختمان های انعطاف پذیر تحت اثر نیروی زلزله

۲- مقاوم سازی سازه ها در مقابل نیروی زلزله

۳- حفاظت از عناصر مهم سازه ای و عناصر غیر سازه ای

۴- ارائه روش های جدید به منظور اقتصادی کردن سازه ها در برابر نیروی زلزله

سیستم های سازه ای بطور کلی به چهار دسته کلی طبقه بندی می شوند که عبارتند از:

* کنترل غیرفعال^۱

* کنترل فعال^۲

* کنترل نیمه فعال^۳

* کنترل مرکب^۴

کنترل غیرفعال سازه ها بدون درنظر گرفتن نیروی خارجی جهت کاهش پاسخ سازه استفاده می شود. در صورتی که در کنترل فعال جهت کاهش پاسخ سازه افزون بر بکارگیری روش غیرفعال از یک نیروی خارجی نیز استفاده می شود. در کنترل نیمه فعال برای بهبود عملکرد کنترل گر در هر لحظه با تغییر پارامترهای کنترل گر با توجه به میزان نیروی ورودی استفاده می گردد در صورتی که در کنترل مرکب چند سیستم کنترل غیرفعال با فعال یا نیمه فعال با یکدیگر ترکیب می شوند [۳۷]. به طور کلی در طراحی کنترل گر چند چیز بسیار مهم است:

¹ Passive control

² Active control

³ Semi- active control

⁴ Hybrid control

* مدل سازی صحیح پاسخ سازه

* استفاده از یک سیستم کنترلی مناسب

* انتخاب و تغییر پارامترهای کنترل گر جهت طراحی آن ها

۲-۴-۱- کنترل فعال

در این بخش متداول ترین روش های کنترلی فعال سازه ها آورده شده است. کنترل فعال تحت اثر انرژی خارجی که موجب مقابله با نیروهای دینامیکی طبیعی می شود بسیار موثرتر از کنترل های غیرفعال در تحقیقات بدست آمده نشان داده شده است. هم چنین سیستم کنترل فعال در بکارگیری اطلاعات مربوط به پاسخ های غیر منطقی و تعیین نیروی کنترل کننده فعال از دیگر کنترل کننده ها مطلوب تر بوده است. این کنترل با مشخص نمودن پاسخ های وارد شده بر سازه و انجام تحلیل بر روی آن ها باعث بدست آمدن نیروی کنترل فعال می شود که این امر کنترل فعال را پیچیده تر از کنترل غیرفعال نموده است چون که نیازمند نصب حس گرها و ابزارآلات کنترلی می باشد ولی در عوض تحقیقات نتایج بسیار مطلوبی را در کاهش تاثیر نیروهای بسیار زیاد نشان داده است.

کنترل فعال در روش های جدید سیستم های کنترل موفقیت و در دهه های اخیر در زمینه های تحقیقاتی متفاوت همانند مکانیک، الکترونیک، هوافضا و ... نیز مورد استفاده قرار گرفته است و باتوجه به اینکه کنترل فعال در مهندسی سازه بسیار پیشینه قدیمی تری دارد کاربرد آن در این زمینه بسیار توسعه یافته است. کنترل فعال در حوزه مهندسی عمران از جهات متفاوتی با سایر علوم تفاوت دارد که از جمله آن ها می توان به موارد ذیل اشاره نمود: [۳۰]

۱- بالا بودن مقدار نیروی فعال لازم جهت کنترل سازه ها به دلیل دارا بودن جرم زیاد

ب) این سازه ها قبل از اعمال نیروی دینامیکی خارجی نظیر نیروهای زلزله و باد کاملاً ایستا، مطمئن و پایدار می باشند.

ت) هدف از بکارگیری سیستم های کنترل در سازه ها کنترل نیروی دینامیکی مانند زلزله و باد می باشد.

در روش کنترل فعال مکانیزم عملکرد بدین صورت است که با اعمال نیروی خارجی بتوان عکس العمل های سازه را کاهش داد. برای مشخص کردن این مقدار نیروی فعال محققین از روش های گوناگونی استفاده می کنند[۴].

ایده کنترل فعال در سازه های مهندسی عمران در حدود سال ۱۹۷۰ شروع شد. برای نمونه امکان استفاده یک ژيروسکوپ به منظور کاهش پاسخ پل های معلق و افزایش سرعت های Flutter توسط ماراتا^۱ و اتیو بررسی شد و امکان استفاده از سیستم های کنترل فعال برای افزایش مقاومت الاستیک سازه ها توسط نوردل پیشنهاد گردید. همچنین مفهوم هندسی سازه ها توسط زاک و دیگران مورد بحث واقع شد.

به طور کلی فرق عمده بین کنترل فعال و کنترل غیرفعال وجود نیرو یا انرژی خارجی است. از این رو جهت ایجاد یک سیستم کنترل فعال یک سری امکانات و مراحل باید برقرار شود که شامل موارد زیر است:

۱- سنسورهای نصب شده در سازه جهت اندازه گیری کمیت تحریکات خارجی یا پاسخ سازه یا هر دو آنها به کار رود.

۲- روش اندازه گیری اطلاعات و بدست آوردن مقدار نیروهای کنترلی و استفاده بررسی الگوریتم های کنترلی برنامه ریزی شده.

۳- اعمال نیروی کنترلی مورد نیاز توسط جک های اعمال کننده نیرو

همانطور که گفته شد کنترل فعال در مهندسی عمران شامل چهار قسمت کلی می باشد که به دو نوع کنترل عمده تقسیم می شود:

۱- کنترل حلقه باز^۲

در کنترل حلقه باز سیستم به پاسخ سازه کاری ندارد و با توجه به اطلاعاتی که از حس گرهای نشان دهنده میزان باد یا میزان تحریک خارجی زلزله دریافت می کند مقدار نیروی فعال را محاسبه می نماید.

۲- کنترل حلقه بسته^۳

1 Marata

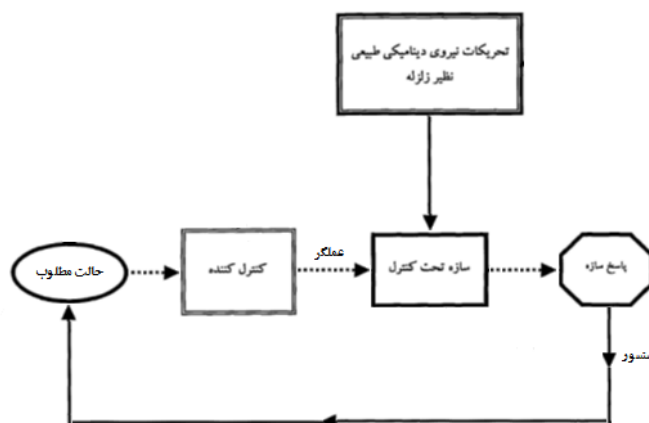
7 Sadeck

² Open Loop control

³ close loop control

در این روش بدست آوردن نیروی فعال توسط اندازه گیری پاسخ سازه بدون در نظر گرفتن میزان نیروهای خارجی ناشی از باد یا زلزله صورت می پذیرد.

از نکات حائز اهمیت در سیستم های کنترل فعال بکارگیری الگوریتم هایی است که با استفاده از آن ها میزان نیروی فعال با استفاده از اطلاعات بدست آمده از سنسورهای نصب شده در سازه می باشد. الگوریتم شکل ۳-۱ نمایش کنترل حلقه باز- بسته را نشان می دهد.



شکل ۲-۱- نمایش کنترل حلقه باز- بسته

در نتیجه روش های اعمال سیستم کنترل فعال بر روی سازه ها به چهار دسته تقسیم بندی و قابل ارائه می باشند که عبارتند از:

الف) کنترل فعال با استفاده از کش های فعال^۴

ب) کنترل فعال توسط جرم و میراگر تنظیم شونده^۱

ج) کنترل کننده ضربه ای^۲

د) کنترل توسط مکانیزم های آئرو دینامیکی^۳

به طور کلی در میان روش های اشاره شده کنترل کننده ضربه ای به منظور مقاومت در برابر نیروی زلزله و کنترل کننده توسط مکانیزم های آئرو دینامیکی جهت کنترل سازه در برابر باد پیشنهاد می شوند. روش های

^۱. Active Tuned Mass Damper

^۲. Impulse Controller

^۳ Control by Aerodynamic Mechanisms

^۴ Active caches

کنترل فعال با استفاده از کش های فعال و کنترل فعال توسط جرم و میراگر تنظیم شونده را می توان برای کنترل سازه ها در برابر بارگذاری های مختلف بکار برد ولی عمدتاً این روش ها جهت مقابله با بارگذاری زلزله بیشتر کاربرد دارند.

۲-۴-۱- کنترل با استفاده از کش های فعال

یکی از اولین روش های پیشنهاد شده برای کنترل فعال سازه ها استفاده از کش های فعال می باشد. این سیستم شامل تعدادی کش پیش کشیده است که به سازه متصل می گردد و نیروی درون این کش ها توسط سیستم کنترل کننده در هر لحظه براساس محاسبات انجام شده توسط جک های هیدرولیکی متصل به کش ها تغییر می یابد. از آنجا که کش ها عموماً به عنوان بادبند در سازه ها بکار می روند بنابراین اضافه کردن این سیستم بر روی سازه ها تنها نیاز به نصب سیستم هوشمند کنترل و جک های هیدرولیکی دارد به همین جهت اضافه کردن این سیستم ها بر روی سازه های موجود نسبتاً کم هزینه بوده و مستلزم انجام تغییرات زیادی در سازه نمی باشد.

- رابطه مربوط به روش کش های فعال در سازه های کنترل شده:

برای بدست آوردن رابطه مربوط به سازه های کنترل شده با در نظر گرفتن دیاگرام آزاد یک طبقه از سازه در صورتی که X_i نماینده طبقه و X_g نماینده تغییر مکان زمین باشد با در نظر گرفتن معادله تعادل روابط ۱-۲ بدست می آید [۹]. شکل ۲-۲ دیاگرام آزاد سیستم یک درجه آزادی را نشان می دهد.



شکل ۲-۲- دیاگرام آزاد سیستم یک درجه آزادی

(۱-۲)

$$\begin{aligned}
\sum F_x = 0 \rightarrow m_j \ddot{x}_j + c_j(\dot{x}_j - \dot{x}_{j-1}) - c_{j+1}(\dot{x}_{j+1} - \dot{x}_j) + k_j(x_j - x_{j-1}) - k_{j+1}(x_{j+1} - x_j) \\
+ u_m - u_{m+1} = 0 \\
\rightarrow m_j \ddot{x}_j - c_j \dot{x}_{j-1} + (c_j + c_{j+1}) \dot{x}_j - c_{j+1} \dot{x}_{j+1} \\
- k_j x_{j-1} + (k_j + k_{j+1}) x_j - k_{j+1} x_{j+1} = u_{m+1} - u_m
\end{aligned}$$

در رابطه فوق c, k به ترتیب سختی و میرایی مربوط به طبقات و اندیس ها نشان دهنده شماره طبقات می باشند. نیروی اعمالی به طبقات نیز با u نشان داده شده است. اگر برای تمام درجات آزادی سازه روابط فوق در نظر گرفته شود در نهایت معادله ۲-۲ بصورت ذیل بدست می آید:

(۲-۲)

$$M\ddot{y} + c\dot{y} + ky = Du(t) + M\{r\}\ddot{x}_g$$

که در آن K, C, M به ترتیب ماتریس جرم، میرایی و سختی می باشند و $u(t)$ بردار اعمال نیرو فعال به کش ها در زمان t است. همچنین مقادیر $\{r\}$ و D بصورت زیر می باشند:

(۳-۲)

$$\{r\} = \begin{Bmatrix} 1 \\ \vdots \\ 1 \end{Bmatrix}, D = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & \dots \end{bmatrix}$$

باید توجه داشت در هر ترازی که کش کنترل کننده وجود ندارد همه درایه های ستون مربوط در ماتریس D برابر با صفر خواهد بود، در نتیجه سیستم مورد نظر از نوع سیستم فعال بوده و کارایی آن در مقابل سیستم غیرفعال بصورت فزاینده ای بیشتر می گردد.

۲-۲-۴-۲- کنترل فعال توسط جرم و فنر میراگر تنظیم شونده (ATMD)

از آنجا که مود غالب بر سازه در اکثر مواقع مود اول می باشد برای حصول کارایی بیشتر، سیستم کنترل فعال توسط جرم و فنر میراگر تنظیم شونده در طبقه نهایی نصب می گردد. از این رو روابط مربوطه با فرض وجود سیستم کنترل در طبقه n ام بدست می آیند. البته با کمی تغییر می توان این روابط را بازنویسی کرده و روابط دینامیکی حاکم بر این سیستم ها را با در نظر گرفتن سازه n طبقه بصورت روابط ۲-۴ بدست آورد [۹].

(۴-۲)

$$\begin{aligned} \sum F - Ma &= 0 \\ \Rightarrow m_j \ddot{u}_j + C_j(\dot{u}_j - \dot{u}_{j-1}) - c_{j+1}(\dot{u}_{j+1} - \dot{u}_j) + K_j(u_j - u_{j-1}) - K_{j+1}(u_{j+1} - u_j) + m_j \ddot{u}_g \\ &= 0 \\ \Rightarrow m_j \ddot{x}_i - c_j \dot{x}_{j-1} + (c_j + c_{j+1})\dot{x}_j - c_{j+1}\dot{x}_{j+1} - k_j x_{j-1} + (k_j + k_{j+1})x_j - k_{j+1}x_{j+1} \\ &= -m_j \ddot{u}_g \end{aligned}$$

به صورتی که U, K, C به ترتیب میرایی، سختی و تغییر مکان مربوط به طبقات سازه را نشان می دهند و اندیس ها بیانگر شماره طبقات هستند. همچنین روابط معادلات دیاگرام آزاد سیستم ATMD بصورت رابطه ۵-۲ قابل بیان می باشد:

(۵-۲)

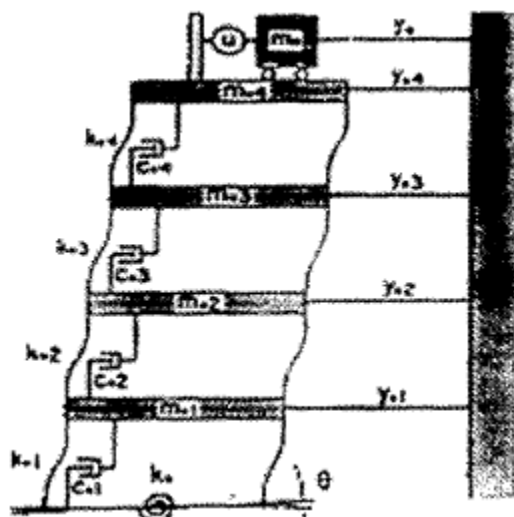
$$\begin{aligned} m_n \ddot{u}_n - c_n \dot{u}_{n-1} + (c_r + c_n)\dot{u}_n - c_r \dot{u}_r - k_n u_{n-1} + (k_n + k_r)u_n \\ - k_r u_r = -m_r \ddot{u}_g \\ m_{x+1} \ddot{u}_r - c_r \dot{u}_n + c_r u_r - k_r u_r + k_r u_r = -m_r \ddot{u}_g \end{aligned}$$

با بیان رابطه ۵-۲ برحسب تغییر مکان نسبی رابطه ۲-۶ بدست خواهد آمد:

(۲-۶)

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = \{D\}f(t) + [M]\{r\}\ddot{u}_g(t)$$

که در آن M, C, K به ترتیب ماتریس $(n+1) \times (n+1)$ جرم، میرایی و سختی می باشد و $D_{(n+1) \times 1} = [0, \dots, 0, 1]^T$ ، $\{r\}_{n+1} = [1 \dots 1]^T$ به گونه ای که در بردار D تنها عنصر متناظر با جرم کنترل کننده مقدار یک و در عناصر دیگر مقدار صفر را دارد. همچنین $f(t)$ نیروی فعال اعمال شده به ATMD در هر لحظه است [۹]. شکل ۳-۲ نمای شماتیک از یک سازه کنترل شده توسط ATMD را نمایش می دهد.



شکل ۳-۲- نمای شماتیک از یک سازه کنترل شده توسط ATMD [9]

۳-۲-۴-۲- کنترل کننده های ضربه ای

در این روش کنترلی، مخازن تحت فشار گاز در طبقات فوقانی سازه قرار می گیرد که در هنگام رخداد پدیده انفجار باتوجه به میزان ضربه وارد مقداری از گاز تحت فشار از مخازن تخلیه شده و ضربه ای در جهت مخالف ضربه وارد شده به سازه اعمال می گردد و در نتیجه مجموع موجب کاهش ضربه وارد شده به سازه می گردد. بدلیل مشکلات عملی این سیستم بیشتر در مقابل بارگذاری هایی نظیر انفجار مورد استفاده قرار می گیرد و طراحی آن بر اساس روش کنترل ضربه ای صورت می پذیرد. در نتیجه جهت مقابله با نیرو های دیگر مانند زلزله روش هایی چون کش های فعال، ATMD یا کنترل ضربه ای مورد استفاده قرار می گیرند [۲۱].

۲-۴-۲-۴- کنترل با استفاده از زائده های آئرو دینامیک

طراحی زائده های آئرو دینامیک به منظور کنترل واژگونی سازه های بلند در زمان رخداد بارهای شدید می باشد. از مزایای بسیار مهم این سیستم انرژی باد است که به منبع اصلی نیروی خارجی در سیستم کنترل فعال می باشد. بدین معنی که از خود نیروی باد به منظور مقابله با اثرات نامطلوب آن استفاده می شود. زائده های آئرو دینامیک متشکل از صفحه یا صفحات فلزی می باشند که به سازه توسط بازوهای اتصال می یابند. زمانی که باد نمی وزد این زائده ها به صورت افقی بوده و در هنگام وزش باد بدلیل تغییر اندازه حرکت سازه نسبت به این زائده ها نیروی P در پایین بازوها بوجود آمده و زائده ها نسبت به افق قرار می گیرند. پس از آن نیروی باد به زائده ها اثر گذاشته و نیروی افقی ایجاد شده با نیروی P متعادل می شود و لنگر بوجود آمده حاصل از این دو نیرو توسط نیروی قائم در محل تکیه گاه ها خنثی می گردد. حال آنکه این نیروی قائم برای کنترل واژگونی سازه نیز بکار گرفته می شود. تنها شکل بکارگیری این روش را می توان در عدم کارایی حداکثری در زمان هایی دانست که صفحات زائد بصورت عمود بر جهت وزش باد قرار گرفته باشند [۲].

فصل سوم

منطق فازی و کاربرد آن در مهندسی عمران

"همه چیز به طور نسبی درست یا غلط است"

جمله فوق در واقع در میان متفکران فازی به عنوان یک اصل در مقابل متفکران نظریه دو ارزشی تلقی می شود. جملاتی مثل "اول فروردین روز شنبه است"، "بقراط مرده است"، "سقراط فانی است"، "درجه حرارت هوا ۳۰° است"، "تنها عدد اول زوج ۲ است"، "۳ عدد اول نیست" و از این قبیل اگر صحیح باشند یا صحیح نباشند از این دو نوع خارج نمی شوند. از ابتدای پیدایش ریاضیات صحیح یا غلط بودن گزاره ای مسلم و قطعی فرض می شد و شرایط غیر از این دو نوع در نظر گرفته نمی شد. اساس علم و منطق و ریاضی سیستم دو ارزشی بوده و به تبع آن جهان علم بر این مبنا پایه ریزی گردیده است. بارت کاسکو در کتاب تفکر فازی چنین نگرشی را نگرش سیاه و سفید می نامد و آن را یک اشتباه بزرگ علم قلمداد می کند و مدعی است که علم واقعیت های خاکستری یا فازی یا ابزار سیاه و سفید ریاضی به نمایش گذاشته است و بدین گونه به نظر می رسد که واقعیت ها نیز تنها سیاه یا سفید هستند.

عبارت هایی که در آن ها مباحث نه چندان شفاف و واضح وجود دارد و همواره محل تامل متفکران فازی می باشد. برای مثال اگر حاضرین در یک جمع خواسته شود که افراد متاهل بایستند یک مجموعه افراد متاهل و قاعدتا یک مجموعه از افراد غیر متاهل مشخص می شود یا برای مثال به همین ترتیب می توان مجموعه مردان و زنان را مشخص نمود. حال حالتی را در نظر بگیرید که بخواهیم افرادی را که از شغل خود رضایت دارند مشخص نماییم در این صورت است که در کنار افرادی که بطور قطع دست خود را بالا برده و می ایستند و کسانی هم که نشسته و دستشان پایین است افرادی هستند که در این باره دچار تردید هستند در این صورت است که می توان نتیجه گرفت چنین واکنشی نشان دهنده رضایت نسبی و یا کم رضایت شغلی چنین افرادی است.

لغت فازی در فرهنگ آکسفورد معانی متفاوتی چون گنگ، گیج، مبهم، نادقیق، درهم و برهم و نامشخص دارد. معانی دیگری نیز مانند پرزدار، نامعلوم، کرکی و تیره نیز برای این واژه فازی عنوان شده است. در مجموع

واژه فازی به مفهومی بدون مرز دقیق اشاره دارد [۳۵، ۲۰].

دکتر لطفی زاده در پاسخ به این سوال که چرا کلمه فازی را برای این نظریه انتخاب کرده است می گوید: "من کلمه فازی را انتخاب کردم چون احساس کردم که این کلمه با بیشترین دقت، آنچه را در این نظریه آمده است، توصیف می کند. او می گوید کلمه محترمانه تری که کمتر عوامانه باشد نیز وجود داشت. در این مورد کلمه های نرم، غیر دقیق، کدر و درهم و برهم و یا قابل ارتجاع و انعطاف، ذکر کردم اما هیچ کدام از این ها آنچه را که در ذهن من بود، به دقت توصیف نمی کردند پس در نهایت فازی را در این جایگاه قرار دادم".

در منابع مختلف زبان فارسی معادل هایی همانند نادقیق برای کلمه فازی آورده شده است اما لفظ فازی شایع ترین و رایج ترین کلمه می باشد.

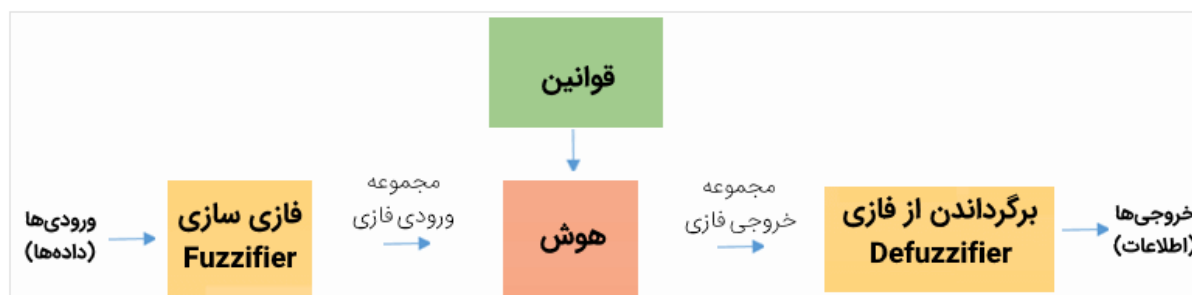
همانطور که گفته شد با داشتن چنین نگرشی به این نوع از مقوله های زبانی نظریه مجموعه های فازی یعنی مجموعه هایی که عضویت اعضاء متعلق به آنها نسبت به مجموعه هایی کلاسیک متفاوت می باشد، شکل گرفت و در مقاله ای در سال ۱۹۶۵ بوسیله دکتر لطفی زاده مطرح شد و از آن پس در شاخه های مختلف علمی مورد استفاده قرار گرفت که یکی از روش های منطق به حساب می آید.

در فرهنگ وبستر منطق در حقیقت علم مربوط به اصول استدلال صوری می باشد بدین معنا که منطق فازی به بررسی اصول استدلال تقریبی صوری می پردازد و استدلال دقیق به عنوان یک مورد مرزی می نگرد [۳۴]. بنابراین منطق فازی با به کارگیری ایده نظریه مجموعه های فازی و کنار گذاردن ایده دو ارزشی شکل گرفت و استدلال هایی را که سالها به جهت خوش تعریف نبودن و مقوله های از حوزه استدلالات صوری کنار گذارده شده بودند مورد مطالعه و بررسی قرار داد.

۳-۲- منطق فازی

منطق فازی دارای چهار بخش اصلی است که در ادامه معرفی شده‌اند. همچنین در نمودار زیر نحوه ارتباط

این بخش‌ها به خوبی دیده می‌شود. [۳۸]



قوانین پایه: این بخش، شامل همه قاعده‌ها و شرایطی است که به صورت «اگر...آنگاه» توسط یک متخصص مشخص شده‌اند تا قادر به کنترل تصمیمات یک «سیستم تصمیم‌گیری»^۱ باشند. با توجه به روش‌های جدید در نظریه فازی، امکان تنظیم و کاهش قواعد و قوانین بوجود آمده است به طوری که با کمترین قوانین می‌توان بهترین نتیجه را گرفت.

فازی سازی: در گام فازی سازی، ورودی‌ها به اطلاعات فازی تبدیل می‌شوند. به این معنی که اعداد و ارقام و اطلاعاتی که باید پردازش شوند، به مجموعه‌ها و اعداد فازی تبدیل خواهند شد. داده‌های ورودی که مثلاً توسط حسگرها در یک سیستم کنترل، اندازه‌گیری شده‌اند، به این ترتیب تغییر یافته و برای پردازش بر مبنای منطق فازی آماده می‌شوند.

موتور استنتاج یا هوش: در این بخش، میزان انطباق ورودی‌های حاصل از فازی سازی با قوانین پایه مشخص می‌شود. به این ترتیب براساس درصد انطباق، تصمیمات مختلفی به عنوان نتایج حاصل از موتور استنتاج فازی تولید می‌شود.

¹ Decision-making system

برگرداندن از فازی: در آخرین مرحله نیز نتایج حاصل از استنتاج فازی که به صورت مجموعه‌ها فازی هستند به داده‌ها و اطلاعات کمی و رقمی تبدیل می‌شوند. در این مرحله شما با توجه خروجی‌ها که شامل تصمیمات مختلف به همراه درصدهای انطباق‌های متفاوتی هستند، دست به انتخاب بهترین تصمیم می‌زنید. معمولاً این انتخاب بر مبنای بیشترین میزان انطباق خواهد بود.

همانطور که گفته شد، در منطقی فازی درجه قطعیت یا میزان درستی یک گزاره توسط یک عدد در فاصله ۰ تا ۱ بیان می‌شود. در نظریه احتمال نیز برای وقوع یک پیشامد از عددی بین ۰ تا ۱ استفاده می‌کنیم. به این ترتیب به نظر می‌رسد که انطباقی بین این دو مفهوم و البته با کاربرد متفاوت وجود دارد. بنابراین اگر با دید نظریه احتمال بگوییم: «با احتمال ۹۰٪، یک فرد، عینکی هستند»، می‌توان آن را در منطق فازی به صورت: «درجه عضویت فردی به گروه افراد عینکی برابر با ۰.۹ است.» نشان داد. به این ترتیب می‌توان گفت که احتمال، یک مدل ریاضی برای پدیده‌های نامشخص و تصادفی است و از طرفی منطق فازی نیز مدلی بر مبنای ریاضیات است که برای تعیین حقیقت برای هر پدیده، از مقداری به عنوان «میزان درستی»^۱ استفاده می‌کند. [۳۹]

۳-۲-۱- منطق فازی و منطق بولی

در این بخش نیز به مقایسه دو منطق فازی و منطق بولی که گاهی به منطق دیجیتال نیز معروف است، می‌پردازیم. در منطق بولی درستی هر گزاره براساس دو مقدار درست و نادرست تعیین می‌شود. در حالیکه در منطق فازی درستی هر گزاره منطقی براساس (درجه عضویت)^۲ مشخص خواهد شد. البته گاهی با تفکیک گزاره‌ها به جملات ساده‌تر می‌توان ارزش درستی را به صورت منطق فازی تغییر دارد ولی نمی‌توان ارزش گزاره‌ها را در منطق فازی به صورت فقط دو وضعیت درست یا نادرست تبدیل کرد.

در منطق بولی، درستی یک گزاره و نقیض آن، همزمان برقرار نیست، در حالیکه در منطق فازی می‌توان براساس درجه عضویت، درستی هر دو گزاره و نقیض آن گزاره را مشخص کرد. به بیان دیگر به کمک ترکیب گزاره‌ها در

¹ Truth Degree

² Degree of Membership

منطق بولی گزاره $PV \sim P \equiv TPV \sim P \equiv T$ است. به این معنی که ترکیب فصلی هر گزاره با نقیض خودش، یک گزاره همیشه درست یا تاتولوژی ایجاد خواهد کرد. در حالیکه در منطق فازی، ترکیب فصلی هر گزاره با نقیضش دارای درجه قطعیت است که لزوماً یک گزاره همیشه درست نخواهد بود. [۴۰]

۳-۲-۲- نظریه فازی و کلاسیک مجموعه‌ها

در نظریه کلاسیک مجموعه‌ها، براساس قانون عضویت مشخص می‌شود که نشان می‌دهد هر شیء به یک مجموعه تعلق دارد یا خیر. در نتیجه محدوده یک مجموعه و اعضای آن کاملاً شفاف و قابل تعیین است. در حالیکه در نظریه مجموعه‌ها با رویکرد فازی، تعلق هر شیء به یک مجموعه با درجه عضویت که مقداری بین ۰ تا ۱ است تعیین می‌شود. برای مثال، اگر a یک شیء باشد، می‌تواند با درجه عضویت ۰.۳ به مجموعه A تعلق داشته باشد و با درجه عضویت ۰.۷ به مجموعه B متعلق باشد. بنابراین کران‌های یک مجموعه فازی به روشن، قابل تعیین نیست و نمی‌توان به طور قطع در مورد حدود یا اعضای یک مجموعه قضاوت کرد. [۳۸]

۳-۲-۳- مزایای استفاده از سیستم‌های منطق فازی

ساختار سیستم‌های منطق فازی، ساده و قابل درک است. همچنین منطق فازی امروزه در مقیاس تجاری و آزمایشگاهی بسیار به کار گرفته می‌شود. از طرفی کنترل بهتر و موثرتر ماشین‌ها و صرفه‌جویی در هزینه‌ها را با استفاده از منطق فازی می‌توان امکان‌پذیر کرد. ممکن است به منطق فازی به دلیل نادقیق بودن نتایج حاصل، خرده گرفته شود ولی به دلیل قابل قبول بودن نتایج حاصل شده، می‌توان آن را با اطمینان استفاده کرد، بخصوص اگر با ورودی‌ها نادقیق مواجه باشیم.

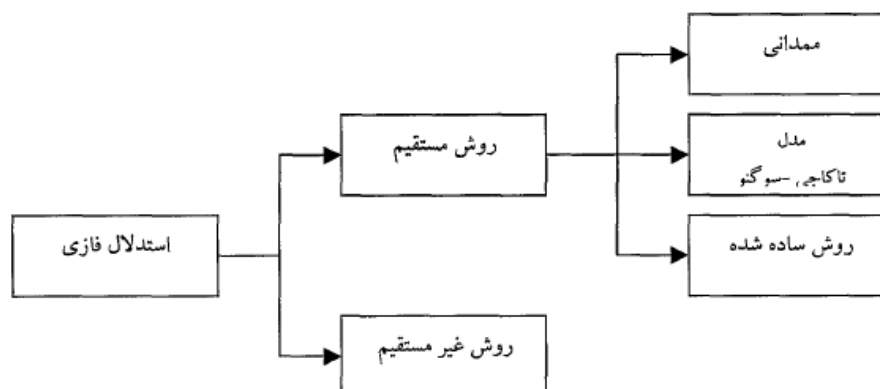
همچنین در زمینه کنترل می‌توان براساس منطق فازی، برنامه‌ریزی را به شکل انجام داد که با از کار افتادن حسگرها فرآیند تولید متوقف نشود. به این ترتیب در همین زمینه، بالا بردن کارایی سیستم‌ها با منطق فازی امکان‌پذیر است بطوری که با استفاده از حسگرهای ارزان قیمت فرآیند کنترل سیستم به خوبی و با هزینه کم صورت می‌پذیرد. در انتها، شاید بتوان بهترین دلیل استفاده از منطق فازی را حل مسائل پیچیده با راه حل‌های موثرتر و ساده‌تر در نظر گفت. [۴۱]

۳-۲-۴- معایب سیستم‌های منطق فازی

از آنجایی که بر مبنای قوانین از پیش تعیین شده، فرآیند تصمیم‌سازی بر مبنای منطق فازی صورت می‌گیرد، اگر این قوانین دچار نقص یا اشکال باشند، ممکن است نتایج اصلاً قابل قبول نباشند. انتخاب تابع عضویت و قوانین پایه از مشکل‌ترین قسمت‌های ایجاد سیستم‌های فازی است. از طرفی پیاده‌سازی منطق فازی در سخت‌افزارهای رایج احتیاج به آزمایش‌ها متعدد و زمان‌بر دارد. متأسفانه کارایی منطق فازی در بازشناسی الگو نسبت به شبکه عصبی در یادگیری ماشین کمتر است. به همین علت در (علم داده) به آن کمتر پرداخته می‌شود. [۴۱]

۳-۲-۵- استدلال فازی

استفاده از قواعد استنتاج جهت انجام استدلال فازی لازم است. قواعد استنتاج برای استدلال فازی بصورت اگر-آنگاه بیان می‌شود که به آن قواعد اگر-آنگاه فازی گفته می‌شود. الگوریتم شکل ۳-۱ نمای کلی استدلال فازی را نمایش می‌دهد.



شکل ۳-۱- نمای کلی از استدلال‌های فازی

روش های استدلال فازی به دو روش مستقیم و غیرمستقیم مطابق با شکل ۳-۱ تقسیم بندی می شوند. اکثر روش های استدلالی را روش های مستقیم تشکیل می دهند و روش های غیر مستقیم استدلال بصورت فضای ارزش هدایت می شوند. با آنکه روش های غیر مستقیم از نظر فنی جالب هستند ولی روش های پیچیده ای دارند به همین دلیل اغلب به روش های مستقیم پرداخته می شود [۳۶].

۳-۳- روش ممدانی

در این روش با در نظر گرفتن n قاعده معادله کلی را می توان بصورت رابطه ۳-۱ بیان نمود [۱۸]

(۳-۱)

$$\mu_c(z) = S[\mu_{c_1}(z), \mu_{c_2}(z)]$$

نکته قابل توجه این است که این نتیجه همواره قابل اعمال نیست؛ چون به یک مقدار مشخص جهت خروجی استدلال نیازمند می باشد مانند آنچه که در فرآیند کنترل به آن نیاز است. در نتیجه لازم است که مجموعه فازی به یک عدد معین برگردانده شود که این عمل برگرداندن یک مجموعه فازی به یک مقدار مشخص و معین را غیرفازی سازی می نامند.

رایج ترین روش ها در غیرفازی سازی شامل روش های ذیل هستند:

I. نتیجه نهایی مجموعه های فازی بابیان مرکز ثقل،

(۳-۲)

$$Z_0 = \frac{\int \mu_c(z)zdz}{\int \mu_c(z)dz}$$

II. مقدار تابع عضویت مجموعه فازی به جای نتیجه ماکزیمم

(۳-۳)

$$z_0 = \max \mu_c(z)$$

III. روش های دیگر

باتوجه به اینکه روش های گوناگونی جهت غیرفازی سازی ارائه می شود ولی در عمل همه آنها تفاوت کمی با یکدیگر دارند بنابراین در این بخش به ذکر آنها پرداخته نخواهد شد. برای بیان مفهوم کاملی از روش ممدانی مثال ذیل در نظر گرفته می شود:

فرض می شود از منطق فازی به منظور رانندگی اتوماتیک در وضعیتی که فقط دو عامل سرعت و فاصله بین خودروها مورد نظر باشد استفاده گردد طوری که قاعده های زیر برای این منطق در نظر گرفته شود.

اصل ۱: اگر سرعت خودرو کم است و فاصله بین آن ها کم است آنگاه پدال گاز می بایست ثابت نگه داشته شود.

اصل ۲: اگر سرعت خودروها زیاد است و فاصله بین آن ها زیاد است آنگاه ترمز می بایست گرفته شود.

اصل ۳: اگر سرعت خودروها کم است و فاصله بین آنها زیاد است آنگاه پدال گاز می بایست فشرده شود.

اصل ۴: اگر سرعت خودروها زیاد است و فاصله بین آن ها زیاد است آنگاه پدال گاز می بایست ثابت نگه داشته شود.

همانطور که از اصول فوق مشخص است تمامی آن ها براساس کلمات معمولی نوشته شده اند و منطق فازی را نمی توان به صورت مستقیم در آن ها به کار برد و می بایست ابتدا اطلاعات لازم نظیر طولانی، آهسته، کم و فشرده شدن ترمز بوسیله مجموعه های فازی بیان شود. به گونه ای که در این مثال مجموعه های فازی را به صورت توسعه توابع عضویت می توان گسترش داد. بدین جهت به منظور تنظیم سرعت از شتاب به عنوان یک متغیر استفاده می گردد. لازم است که این توابع عضویت به نحو مطلوب جهت قواعد تحت بررسی تعریف شود. مثلاً سرعت ۷۰ کیلومتر در ساعت در یک خیابان (زیاد) است اما اگر در بزرگراه باشد (کم) است.

همچنین فرض می شود Y سرعت، Z تنظیم سرعت و X فاصله بین خودروها باشد در نتیجه مجموعه های مورد نظر به صورت ذیل قابل بیان خواهند بود.

$$Y = \{y | 0 \leq y < 100\} [km/h]$$

$$Z = \{z | -20 \leq z < 20\} [km/h^2]$$

$$X = \{x | 0 \leq x \leq 40\} [m]$$

به کمک دانستنی های عمومی نیز می توان بازه های مجموعه های فوق را نیز تعیین کرد برای مثال سرعت و فاصله بین خودروها نمی توانند مقادیر منفی داشته باشند. برای فاصله بین خودروها و سرعت در جاده نیز مقادیر ویژه ای را می توان به صورت ماکزیمم در نظر گرفت. در این صورت اگر برای هر مجموعه فازی داشته باشیم:

A_1 کم: (فاصله بین خودرو ها)

A_2 زیاد: (فاصله بین خودرو ها)

B_1 آهسته: (سرعت)

B_2 سریع: (سرعت)

C_1 ابقاء: (پدال گاز خودرو)

C_2 کاهش: (پدال گاز خودرو)

C_3 افزایش: (پدال گاز خودرو)

در نتیجه نتایج قواعد پیشین را می توان به صورت اگر-آنگاه بازنویسی نمود.

قاعده ۱- اگر x در A_1 و y در B_1 باشد آنگاه Z در C_1 است.

قاعده ۲- اگر x در A_1 و y در B_2 باشد آنگاه Z در C_1 است.

قاعده ۳- اگر x در A_2 و y در B_1 باشد آنگاه Z در C_1 است.

قاعده ۴- اگر x در A_2 و y در B_2 باشد آنگاه Z در C_1 است.

۳-۴- روش استدلال فازی با استفاده از توابع خطی

باز یاد شدن تعداد متغیرها روش مستقیم استدلال فازی مشکلاتی را خواهد داشت که عبارتند از:

۱- افزایش نمایی تعداد قاعده ها با تعداد متغیرها جهت مقایسه

۲- خسته کننده بودن ساخت قاعده ها بطور فزاینده با افزایش تعداد قاعده ها

۳- دشوار بودن فهم رابطه سببی بین قیاس ها و نتایج و در نتیجه دشوار شدن ساخت قاعده ها با

افزایش تعداد متغیرها بصورت فزاینده جهت انجام مقایسه

برای حل چنین مسائلی راه حل استدلال فازی با استفاده از توابع خطی بکارگرفته می شود که این روش دارای جنبه های ذیل می باشد:

۱- در قسمت نتایج از اصول اگر، توابع خطی به منظور ورودی یا خروجی سیستم مورد استفاده قرار می گیرند.

۲- اصول را می توان بر اساس اطلاعات ورودی یا خروجی مدلسازی و مشخص نمود.

این روش برای اولین بار توسط تاکاجی، کانگ و سوگینو ارائه شد و به منظور کاربرد عملی آن مدلسازی با استفاده از اطلاعات ورودی- خروجی مد نظر قرار گرفت.

وضعیت بسیاری از متغیرها در بخش مقایسه مسائل استدلال را پیچیده می کند. برای مثال طرز عمل مشاهده دماسنج یک قطعه خاص از وسیله و تنظیم کلید وسیله گرمازا را در نظر بگیرید. اگر دو دماسنج A و B وجود داشته باشند رابطه نسبی دماها و وسیله گرمازا به صورت زیر توسط یک شکل منطقی اگر- آنگاه بیان می شود.

" اگر درجه حرارت A پایین باشد و درجه حرارت B کامل پایین باشد آنگاه درجه کلید دستگاه به نسبتا بالا افزایش می یابد."

نوشتن قانون با افزایش ورودی ها بدین صورت مشکل خواهد بود. بنابراین می توان درجه های دماسنج و اقدامات مربوطه را ثبت کرد. انجام مدل سازی با استفاده از اطلاعات ورودی-خروجی و قاعده های استدلال در روش استدلال فازی ممکن می باشد که به صورت ذیل قابل بیان می باشد. هرچند در اینجا به برخی از مسایل روش مستقیم استدلال فازی اشاره می شود ولی الزاما این روش از رتبه پائین تری نسبت به روش استدلال فازی با استفاده از معادلات خطی برخوردار نیست حال آنکه در روش اخیر فرضیات بر پایه انجام مدل سازی می باشد که مستلزم وجود اطلاعات ورودی-خروجی می باشد و در این حالت فرایند مدل سازی برای اجرا

آسان نمی باشد. در حالت کلی روش مستقیم بدلیل هدف استدلال با تعداد اندک متغیر در بخش مقایسه نسبت به روش مستقیم ارجحیت خواهد داشت.

- روش استدلال فازی با استفاده از توابع خطی:

در این روش استدلال، قاعده های زیر استفاده می شود.

قاعده I: اگر x_1, A_1 باشد و ... و x_n, A_n باشد،

$$y_i = c_0^i + c_1^i x_1 + \dots + c_n^i x_n, i = 1, 2, \dots, r \text{ و } n \text{ آنگاه}$$

به طوریکه i اندیس قاعده برای تعداد کل قاعده ها و k A^1 ($k=1, 2, \dots, n$) مجموعه های فازی هستند.

x_k یک متغیر ورودی، y_i خروجی قاعده i ام و c^1 پارامتر نتیجه در قاعده i ام است. در این حالت مقدار

استدلال فازی توسط میانگین وزنی و مطابق با رابطه ۳-۴ محاسبه می شود.

$$y = \left[\frac{\sum_{i=1}^r w^i y^i}{\sum_{i=1}^r w^i} \right] \quad (4-3)$$

که در آن w^i قابلیت سازی مقایسه های تأمین قاعده است و توسط معادله ۳-۵ مشخص می شود.

(۵-۳)

$$w^i = \prod_{h=1}^n \mu_A^i(x_k)$$

که در آن $\mu_A^i(x_k)$ مقدار عضویت مجموعه فازی A_k^i در x_k است. برای درک بهتر روش مستقیم مثال زیر

در نظر گرفته می شود.

بافرض آنکه اصول زیر جهت روش ممدانی در نظر گرفته شود داریم:

۱- اگر X و Y کوچک باشند آنگاه Z متوسط خواهد بود.

۲- اگر X کوچک و Y متوسط باشد آنگاه Z کوچک خواهد بود.

۳- اگر X کوچک و Y بزرگ باشد آنگاه Z خیلی کوچک خواهد بود.

۴- اگر X متوسط و Y کوچک باشد آنگاه Z بزرگ خواهد بود.

۵- اگر X متوسط باشد و Y کوچک باشد آنگاه Z متوسط خواهد بود.

۶- اگر X متوسط باشد و Y کوچک باشد آنگاه Z کوچک خواهد بود.

۷- اگر X بزرگ باشد و Y کوچک باشد آنگاه Z خیلی بزرگ خواهد بود.

۸- اگر X بزرگ باشد و Y کوچک باشد آنگاه Z متوسط خواهد بود.

۹- اگر X و Y بزرگ باشد آنگاه Z خیلی کوچک خواهد بود.

اگر مجموعه های فازی با اعداد فازی به شرح ذیل عوض شوند داریم:

عدد ۱۰ برای خیلی بزرگ

عدد ۸ برای بزرگ

عدد ۶ برای متوسط

عدد ۴ برای کوچک

عدد ۲ برای خیلی کوچک

بنابراین قواعد فوق بصورت ذیل خواهند بود:

۱- اگر X برابر با ۴ و Y نیز برابر ۴ باشد آنگاه Z برابر ۶ خواهد بود.

۲- اگر X برابر ۴ و Y برابر ۶ باشد آنگاه Z برابر ۴ خواهد بود.

۳- اگر X برابر ۴ و Y برابر ۸ باشد آنگاه Z برابر ۲ خواهد بود.

۴- اگر X برابر ۶ و Y برابر ۴ باشد آنگاه Z برابر ۸ خواهد بود.

۵- اگر X برابر ۶ و Y برابر ۴ باشد آنگاه Z برابر ۶ خواهد بود.

۶- اگر X برابر ۶ و Y برابر ۴ باشد آنگاه Z برابر ۴ خواهد بود.

۷- اگر X برابر ۸ و Y برابر ۴ باشد آنگاه Z برابر ۱۰ خواهد بود.

۸- اگر X برابر ۸ و Y برابر ۴ باشد آنگاه Z برابر ۶ خواهد بود.

۹- اگر X برابر ۸ و Y برابر ۸ باشد آنگاه Z برابر ۲ خواهد بود.

و در نتیجه جهت تسهیل در روند اعداد فازی با اعداد معین جایگزین می شوند:

۱- اگر x برابر ۴ و y برابر ۴ باشد آنگاه z برابر ۴ است.

۲- اگر x برابر ۴ و y برابر ۶ باشد آنگاه z برابر ۴ است.

۳- اگر x برابر ۴ و y برابر ۸ باشد آنگاه z برابر ۲ است.

۴- اگر x برابر ۶ و y برابر ۴ باشد آنگاه z برابر ۸ است.

۵- اگر x برابر ۶ و y برابر ۴ باشد آنگاه z برابر ۶ است.

۶- اگر x برابر ۶ و y برابر ۴ باشد آنگاه z برابر ۴ است.

۷- اگر x برابر ۸ و y برابر ۴ باشد آنگاه z برابر ۱۰ است.

۸- اگر x برابر ۸ و y برابر ۴ باشد آنگاه z برابر ۶ است.

۹- اگر x برابر ۸ و y برابر ۸ باشد آنگاه z برابر ۲ است.

در نتیجه رابطه ورودی-خروجی را می توان بصورت معادله خطی بصورت زیر درآورد:

$$\text{اگر مقدار } x \text{ بزرگ باشد آنگاه } z = -2y + 18$$

$$\text{و اگر } x \text{ مقداری کوچک یا متوسط باشد آنگاه } z = x - y + 6$$

در نتیجه تعداد قوانین اولیه که ۹ مورد بود به مقدار ۲ مورد کاهش می یابد. هرچند مثال فوق یک مورد است

اما کاهش تعداد قواعد در این روش مشخص می باشد.

۳-۵- استدلال فازی ساده شده

ساده شده حالت خاص روش مستقیم یا روش بکارگیری توابع خطی روش استدلال فازی است به گونه

ای که اگر مجموعه های فازی در حالت نتیجه با یک عدد حقیقی تعویض شود روش ساده شده حاصل

می گردد.

در روش استدلال فازی با نتیجه ساده شده از قاعده زیر استفاده می شود:

- اگر x_1, A_1 باشد و ... و x_n, A_n باشد،

- آنگاه $r \dots 2 \text{ و } 1 = c_0^i y^i$

به طوریکه i اندیس قاعده برای تعداد کل قاعده ها و $A^1_k (k=1,2,\dots, n)$ مجموعه های فازی هستند، x_k یک متغیر ورودی است، y_i خروجی i ام، و c_0^i پارامتر نتیجه در قاعده i ام می باشد. مقدار استدلال های فازی در این روش نیز توسط میانگین وزنی و مطابق با رابطه ۳-۶ محاسبه می شوند.

$$y = \left[\frac{\sum_{i=1}^r w^i y^i}{\sum_{i=1}^r w^i} \right] \quad (3-6)$$

که در آن w^i قابلیت مقایسه های i امین قاعده است.

۳-۶- کاربردهای فازی در مهندسی عمران

۳-۶-۱- سیستم فازی

معمولا روش ساده شده برتری های زیر را نسبت به روش مستقیم دارد.

(۱) شیوه استدلال ساده است.

(۲) محاسبه سریع است.

(۳) نتایج با روش مستقیم خیلی متفاوت نیست.

بدین منظور روش های ساده شده به جهت شایستگی عملی اغلب کاربردی تر از روش مستقیم اولیه اند.

۳-۶-۲- کنترل فازی

کنترل فازی توجه اصلی را در کاربردهای اخیر نظریه مجموعه فازی به منظور توسعه سیستم های صنعتی به خود معطوف نموده است. اما در این بخش تنها به ارائه مفاهیم اساسی کنترل فازی پرداخته می شود، زیرا تحلیل دقیق آن مستلزم آگاهی و داشتن اطلاعات وسیع در زمینه کنترل مهندسی است.

۳-۶-۲-۱ منطق کنترل فازی

به طور کلی منظور از کنترل فازی مصداقی از روش کنترل انسانی می باشد. روش های کنترلی در کنترل کننده های عادی از قبیل انتگرالی، مشتقی، تناسبی بصورت توابع ریاضی تعریف می شوند.

این روش تفاوت بسیار زیادی با کنترل انسانی داشته و مسلماً بیان کننده کنترل انسانی به روش توابع ریاضی بسیار دشوار خواهد بود.

از طرفی کنترل فازی عملکردی مشابه با کنترل کننده انسانی با استفاده از تجربه و آگاهی از خود نشان می دهد و در واقع یک کنترل هوشمند قلمداد می شود.

بطور کلی کنترل فازی با استفاده از ایجاد قواعد اگر-آنگاه که قواعد کنترل نامیده می شوند و استفاده از اطلاعات اپراتورهایی که در بکارگیری سیستم مورد نظر نقش دارند خط مشی کنترل سازه ها را برقرار می سازند که در حقیقت این ساختار همان ساختار فرآیند استدلال فازی خواهد بود.

با استفاده از روش های استدلال سه گانه گفته شده سه نوع مختلف کنترل کننده فازی قابل تعریف می باشد که در این بیان تنها روش مستقیم مد نظر قرار می گیرد. همواره تعیین مقادیر ورودی و خروجی در طراحی یک کنترل کننده فازی لازم است به گونه ای که متغیرهای خروجی بیانگر میزان عملیات مقادیر ورودی خواهند بود. از طرف دیگر تصمیم گیری درباره متغیرهای ورودی وابسته به هر موقعیت می باشد. برای مثال اگر بازرسی برخی از متغیرهای سیستم توسط اپراتور انسانی صورت می گیرد تا خط مشی کنترل انجام گردد لازم است. نحوه برخورد و اقدامات اپراتور بررسی شود که بطور کلی در سیستم های چند درجه آزادی ایجاد و تهیه قواعد کنترل کار بسیار مشکلی است.

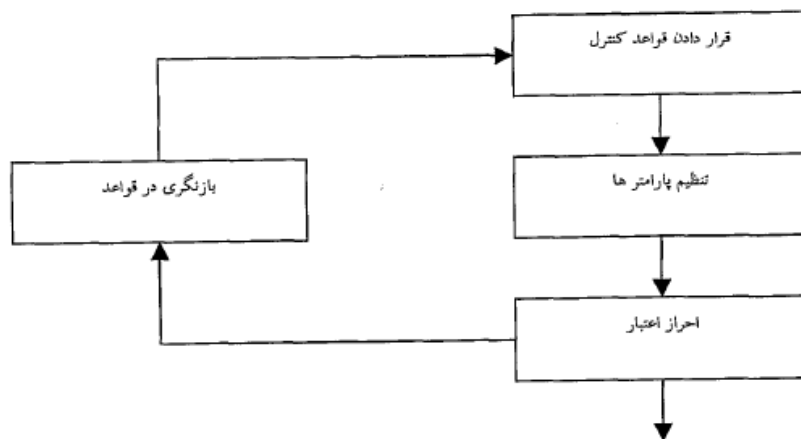
۳-۶-۳- طراحی منطق کنترل کننده فازی

مراحل طراحی کنترل کننده های فازی ساخت قواعد کنترل را شامل می شود. در اکثر موارد با ثبت قواعد اگر- آنگاه می توان قواعد کنترل را بدست آورد. به همین منظور روش جامع و کلی برای ساخت قواعد کنترل وجود ندارد. به علاوه قواعد اگر-آنگاه را می توان از عکس العمل های سیستم نیز بدست آورد. در چنین حالتی کنترل کننده های فازی مطابق با شکل ۲-۳ قابل طراحی خواهند بود و فرآیند طراحی آن ها به شرح ذیل می باشد:

(۱) ساخت قواعد کنترل

(۲) تنظیم پارامترها برای تعیین مجموعه های فازی

(۳) معتبر سازی و بازنگری قواعد کنترل



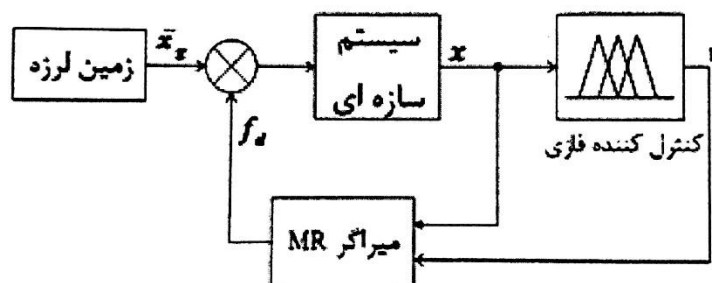
شکل ۲-۳- فرایند طراحی کنترل کننده های فازی

همان طور که گفته شد به منظور طراحی متعلق به کنترل کننده های فازی لازم است تا قواعد کنترل تعیین شود. البته لازم به ذکر است که تعیین قواعد کنترل کار ساده ای نیست زیرا فرایند آن متصل بر شناخت پارامتر های مجموعه های فازی است. می توان فرض نمود که پارامتر های مجموعه های فازی

بیانگر پارامترهای منطق کنترل کننده های فازی اند. بنابراین تنظیم پارامترها به معنای تنظیم مجموعه های فازی موجود در قواعد کنترل است. هم چنین بهسازی عملکرد چنین کنترل کننده هایی به وسیله تنظیم پارامترها امکان پذیر است. البته گاهی اوقات تنظیم پارامترها به تنهایی نمی تواند عملکرد کنترل کننده ها را بهبود بخشد و این بخاطر ناکافی بودن قواعد کنترل است. در این وضعیت عملکرد را از طریق بازنگری قواعد کنترل و تنظیم پارامترها برای قواعد جدید می توان بهسازی نمود.

۳-۷- مقدمه

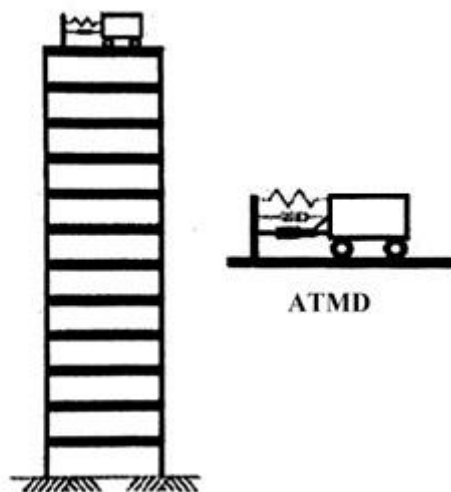
مدل ریاضی نخستین گام جهت بررسی رفتار یک سیستم سازه ای همراه با کنترل کننده تحت اثر نیروی زلزله یا باد می باشد. می توان از محیط نرم افزار MATLAB به منظور انجام شبیه سازی این مدل ریاضی استفاده کرد. در این بخش ابتدا به مدل سازی سیستم سازه ای و کنترل کننده فازی پرداخته می شود. حالت کلی سیستم شبیه سازی مطابق شکل ۳-۳ قابل نمایش می باشد. سازه مورد مطالعه ابتدا تحت تحریک زلزله قرار می گیرد که پاسخ سازه همان ورودی و کنترل فازی می باشد. در ادامه کنترل کننده فازی با در نظر گرفتن قوانین فازی مقدار نیروی اعمالی مناسب جهت راه اندازی میراگر را محاسبه و نیروی مورد نظر به میراگر اعمال خواهد شد.



شکل ۳-۳- بلوک دیاگرام کنترل فازی فعال سیستم سازه ای [۳۶]

۳-۷-۱- مدل سازه ای

میراگر جرمی که شامل یک جرم، یک فنر و یک میراگر می باشد یک وسیله کنترل مهندسی کلاسیک می شود. فرکانس طبیعی سازه تنظیم کننده فرکانس طبیعی میراگر جرمی می باشد. هدف از این پژوهش کنترل سیستم سازه توسط میراگر جرمی فعال می باشد که بدین جهت میراگر جرمی همراه با فنر و میراگر فعال نسبت به مود اول سازه مطابق با شکل ۳-۴ تنظیم و بکار گرفته می شود.



شکل ۳-۴- سازه ساختمانی همراه با ATMD

۳-۷-۲- معادله حرکت سیستم^۱

هر سیستم دارای یک مدل واقعی می باشد که در قدم اول باید تبدیل به یک مدل تحلیلی گردد و در نهایت از مدل تحلیلی، مدل ریاضی مسئله به دست می آید.

¹ - Equation Of motion of system

در حل معادلات دینامیک سازه ها سه پارامتر جرم، سختی و میرایی اصلی ترین پارامترهای موجود در تحلیل می باشند. الگوریتم زیر می تواند کمک شایانی در جهت یافتن پاسخ های ساختمان بلند در برابر بارهای دینامیکی به کار برد:

گام اول: مدل سازی سازه به منظور یافتن درجات آزادی

گام دوم : بدست آوردن معادلات حرکت سازه

گام سوم: حل معادلات حرکت سازه

روش های نوشتن معادلات حرکت سازه ها بصورت ذیل می باشد:

۱ - اصل دالامبر یا قانون دوم نیوتن

۲- روش اصل کار مجازی

۳- استفاده از اصل همیلتون

لازم به توضیح است که در تمامی روش های یاد شده معادلات حرکت سازه در نهایت به یک صورت در می آید. در این مطالعه از روش اصل دالامبر یا قانون دوم نیوتن در مدل سازی سازه استفاده شده است.

مطابق با تعریف قانون دوم نیوتن، مشتق تغییرات اندازه حرکت و یا مومنتوم هر ذره مادی به جرم m برابر با نیروی وارد بر آن خواهد بود، بنابراین:

(۷-۳)

$$p(t) = \frac{d}{dt} (M \cdot \frac{d}{dt} u(t))$$

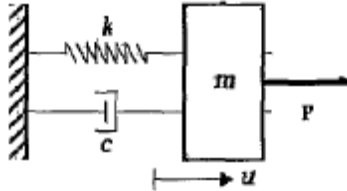
رابطه ۷-۳ با استفاده از اصل دالامبر به صورت زیر نوشته می شود:

(۸-۳)

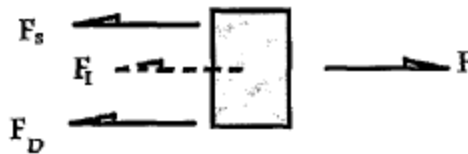
$$p(t) - m \times \frac{d^2}{dt^2} u(t) = 0$$

که در آن $u(t)$ تغییر مکان و m جرم ذره است.

اگر سیستم یک درجه آزادی شکل ۳-۵ در نظر گرفته شود، دیاگرام آزاد جسم تحت اثر نیروها به صورت شکل ۳-۶ خواهد بود:



شکل ۳-۵- سیستم یک درجه آزادی



شکل ۳-۶- دیاگرام آزاد سیستم یک درجه آزادی

که در آن:

نیروی خارجی $p(t) =$

نیروی اینرسی $F_I = m\ddot{u}(t) =$

نیروی سختی $F_s = ku(t) =$

نیروی میرایی $F_D = C\dot{u}(t) =$

و در نهایت پس از جایگذاری، رابطه ۳-۹ به دست می آید:

(۳-۹)

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = P(t)$$

با توجه به اینکه ساختمان بلند با فرض صلب بودن سقف ها یک سیستم چند درجه آزادی است، معادلات یک سیستم یک درجه آزادی به سیستم چند درجه آزادی تعمیم می یابد و معادله ۳-۹ به صورت معادله دیفرانسیل ماتریسی ۳-۱۰ در می آید.

(۳-۱۰)

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{P(t)\}$$

که در آن $[M]$ ، $[C]$ ، $[K]$ به ترتیب ماتریس جرم، میرایی و سختی سازه است و $\{u\}$ بردار تغییر مکان ساختمان بلند می باشد.

۳-۷-۳- اثر تحریک تکیه گاهی (نیروی زلزله)

ایجاد تنش ها و تغییر مکان های دینامیکی در اثر اعمال نیروی دینامیکی و از حرکت تکیه گاهی ممکن است به جسم وارد شود. یکی از نیروهای تحریک کننده تکیه گاهی نیروی زلزله می باشد.

یکی از نیروهایی که باعث تحریک تکیه گاهی می شود نیروی زلزله است. با نوشتن معادلات یک سیستم یک درجه آزادی تحت اثر تحریک تکیه گاهی رابطه ۳-۱۱ بدست می آید:

$$m\ddot{u}(t) + c\dot{u}(t) + ku(t) = -m\ddot{u}_g(t) \quad (۳-۱۱)$$

در این رابطه نیروی موثر $m\ddot{u}_g(t)$ جایگزین مقدار $p(t)$ شده و $\ddot{u}_g(t)$ شتاب حرکت تکیه گاه است.

حال اگر این معادله (۳-۱۰) در مورد یک ساختمان بلند تحت اثر زلزله نوشته شود بصورت معادله ۳-۱۲ بدست خواهد بود:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = -[M]\{r\} \ddot{u}_g(t) \quad (۳-۱۲)$$

که در آن $[M]$ ، $[C]$ ، $[K]$ به ترتیب ماتریس جرم، میرایی و سختی سازه است و $\{u\}$ بردار تغییر مکان نسبی ساختمان بلند می باشد. هم چنین $\{r\}$ برداری $(n \times 1)$ که درایه های نظیر درجات آزادی در راستای شتاب زلزله مقدار یک و در دیگر درایه ها مقدار صفر دارد. $\ddot{u}_g(t)$ نیز شتاب زلزله را در زمان های مختلف را نشان می دهد.

در حالت کلی برای نوشتن معادله حرکت سیستم ساختمان بلند نیاز به داشتن ماتریس های $[M]$ ، $[C]$ ، $[K]$ می باشد. همچنین $\ddot{u}_g(t)$ را می توان از روی شتاب نگاشت های زلزله بدست آورد در صورتی که ماتریس میرایی $[C]$ مقداری نامعلوم دارد که در گام نخست می بایست روابط را بدست آورد.

۳-۷-۴- ساخت ماتریس میرایی

تحقیقات زیادی جهت یافتن ماتریس میرایی صورت گرفته است. در این میان روش هایی نیز وجود دارد که ماتریس میرایی $[C]$ را از ماتریس $[M]$ و $[K]$ بدست می آورد. ساده ترین راه فرمول بندی ماتریس میرایی با متناسب ساختن ماتریس میرایی با هریک از ماتریس های جرم و یا سختی است. از این رو ماتریس میرایی را از روابط ۳-۱۳ می توان بدست آورد:

$$(۳-۱۳)$$

$$[C] = a_0[M]$$

$$[C] = b_0[M]$$

که در آن:

$$b_0 = \frac{\omega_n}{2\xi_n}, a_0 = 2\omega_n \times \xi_n \quad (۳-۱۴)$$

لازم به ذکر است که ξ_n نسبت میرایی مود n ام ساختمان بلند و ω_n فرکانس مود n ام می باشد.

روابط فوق نشان می دهد که در میرایی متناسب با جرم، نسبت میرایی با عکس فرکانس متناسب است در حالی که در میرایی متناسب با سختی، نسبت میرایی متناسب مستقیم با فرکانس دارد. بنابراین در سازه های بلند مودها گستره وسیعی را می پوشانند و مناسب نیستند، زیرا دامنه نسبی مود های مختلف به وسیله نسبت های میرایی نامناسب بطور جدی دچار پیچش^۱ می شود [۹]. اگر فرض شود که میرایی با ترکیبی از ماتریس جرم و سختی به صورت مجموع دو رابطه فوق متناسب است، نتیجه آن مطابق با رابطه ۳-۱۵ به دست خواهد آمد.

$$[C] = a_0 [M] + b_0 [K] \quad (۱۵-۳)$$

این نوع میرایی که نخستین بار توسط لرد ریلی پیشنهاد شد، میرایی ریلی نامیده می شود. در این صورت نسبت میرایی مود n ام به صورت رابطه ۳-۱۶ قابل بیان می باشد.

$$\xi_n = \frac{a_0}{2\omega_n} + \frac{b_0\omega_n}{2} \quad (۱۶-۳)$$

مقادیر a_0 و b_0 با داشتن نسبت میرایی و فرکانس مودهای n و m بصورت رابطه ۳-۱۷ قابل محاسبه می باشد.

$$\begin{Bmatrix} a_0 \\ b_0 \end{Bmatrix} = 2 \frac{\omega_n \omega_m}{\omega_n^2 - \omega_m^2} \begin{bmatrix} \omega_n & -\omega_m \\ -\omega_n^{-1} & \omega_m^{-1} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \xi_m \\ \xi_n \end{Bmatrix} \quad (۱۷-۳)$$

از آنجایی که اطلاعات کاملی از نسبت میرایی بر حسب فرکانس به ندرت موجود است، معمولا فرض می شود که نسبت میرایی هر دو فرکانس مورد نظر با هم برابر است یعنی $\xi = \xi_n = \xi_m$ ؛ بنابراین، روابط ضرایب a_0 و b_0 به صورت رابطه ۳-۱۸ ساده می شوند.

$$\begin{Bmatrix} a_0 \\ b_0 \end{Bmatrix} = \frac{2\xi}{\omega_n + \omega_m} \begin{Bmatrix} \omega_n \omega_m \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (۱۸-۳)$$

۳-۷-۵- میرایی بسط یافته ریلی

ماتریس های جرم و سختی به کار رفته در فرمول بندی میرایی ریلی، تنها ماتریس هایی نیستند که در شرایط تعامد مود ارتعاش آزاد صدق می کنند؛ در واقع تعداد ماتریس های شامل این ویژگی نامتناهی اند. بنابراین ماتریس میرایی متناسب را با هر ترکیبی از این ماتریس ها می توان ساخت. رابطه ۳-۱۹ طریقه ساخت این ماتریس را نشان می دهد:

$$[C] \cong \sum_b [C_b] = \sum_b a_b [M]^{-1} [K]^b \quad (۱۹-۳)$$

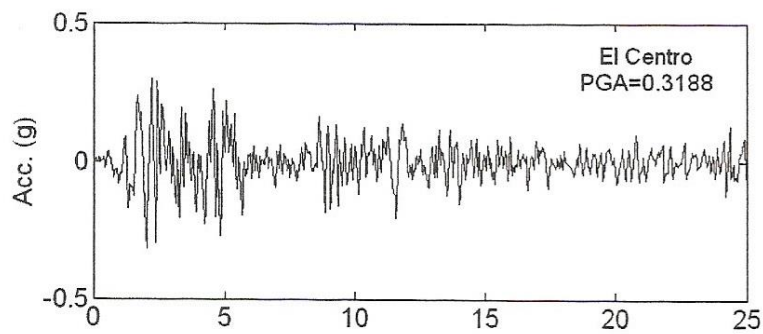
b می تواند مقادیر در بازه $-\infty < b < \infty$ را داشته باشد. اما بهتر است مقادیر آن نزدیک صفر انتخاب شود. یافتن مقادیر ضرایب a_0 به کمک حل دستگاه معادلات امکان پذیر می باشد. روش های جدیدتری نیز به منظور یافتن ماتریس نیرویی وجود دارد به گونه ای که سهم هریک از مودها در تشکیل ماتریس میرایی متناسب با نسبت میرایی مودی است و از این رو مودهای نامیرا در تشکیل ماتریس میرایی سهمی ندارند. رابطه ۳-۱۹ بیان کننده ماتریس میرایی می باشد.

$$[C] = [M] \left(\sum_{i=1}^N 2\xi_i \omega_i \frac{\{\phi_i\} \{\phi_i\}^T [M]}{\{\phi_i\} [M] \{\phi_i\}^T} \right) \quad (۲۰-۳)$$

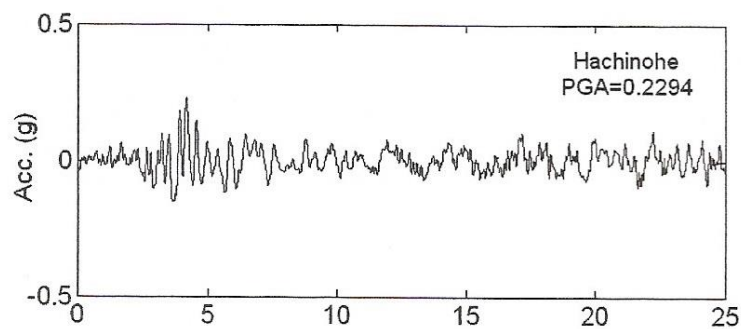
به منظور کار با اکثر ماتریس های ساخته شده به روش های فوق برنامه Matlab به گونه نوشته می شود که توسط آن با دادن ماتریس های $[M]$ و $[K]$ و انتخاب های گوناگون بتوان ماتریس میرایی را از روش های یاد شده فوق بدست آورد.

۳-۷-۶- شتاب های افقی زلزله های مورد استفاده

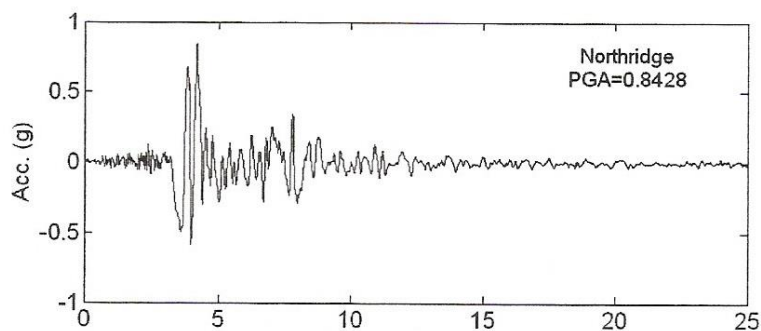
به منظور بررسی پاسخ ساختمان بلند در حالت های کنترل نشده و کنترل شده توسط سیستم TMD و ATMD از تاریخچه زمانی زلزله های مختلف که از شتاب نگاشت های داخلی و خارجی ثبت شده می باشد، استفاده می شود. در انتخاب این شتاب نگاشت ها سعی بر آن است که زلزله هایی با خواص متفاوت مورد بررسی قرار گیرد تا عملکرد سیستم های کنترلی به خوبی معلوم گردد به گونه ای که دو شتاب نگاشت حوزه- دور و دو شتاب نگاشت حوزه نزدیک در نظر گرفته می شود. ویژگی های زلزله های حوزه نزدیک آن ها را در زلزله های حوزه دور متمایز می کند. از ویژگی های متمایز زلزله های حوزه نزدیک وجود سرعت های نمودی بزرگ زمین است که در پی زمان های بلند مدت شتاب رخ می دهد. نمودی از این اثرات بصورت تغییر مکان های نوسانی بزرگ که در رکوردهای تغییر مکان زلزله نیز دیده می شود ایجاد می گردد. نمودار تاریخچه زمانی شتاب نگاشت های مورد نظر شامل El Centro ، Hachinohe ، Northridge و طیس به ترتیب در شکل ۳-۷ آمده است [۳۹].



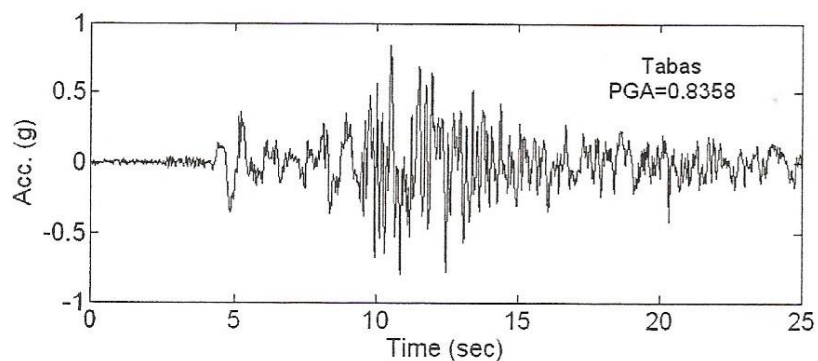
الف) مؤلفه شمال-جنوب ثبت شده در El Centro در طی زلزله کالیفرنیا، ۱۸ می ۱۹۴۰



ب) مؤلفه شمال-جنوب ثبت شده در Hachinohe در طی زلزله Tokachi-oki، ۱۶ می ۱۹۶۸



ج) مؤلفه شمال-جنوب ثبت شده در بیمارستان Sylmar در طی زلزله Northridge در کالیفرنیا، ۱۷ ژانویه ۱۹۹۴



د) رکورد ثبت شده در ایستگاه طبس در طی زلزله طبس، ۱۶ سپتامبر ۱۹۷۸

شکل ۳-۷- نمودار تاریخچه زمانی زلزله های مورد استفاده

۳-۸- حل دستگاه معادلات دیفرانسیل

۳-۸-۱- حل کلاسیک

به طور کلی حل معادلات دیفرانسیل سازه بلند بمنظور یافتن مقادیر پاسخ سازه که شامل تغییر مکان ها و سرعت طبقات می باشد الزامی است. روش های گوناگونی به منظور حل معادلات دیفرانسیل مرتبه دوم وجود دارد که از جمله آن ها می توان روش کلاسیک در حل معادلات دیفرانسیل اشاره نمود.

از جمله روش های دیگر نیز می توان به روش آنالیز مودال اشاره نمود که در آن سازه در ابتدای تعیین شکل مودهای سازه در حالت ارتعاش آزاد بدست می آید و سپس دستگاه معادلات دیفرانسیل سازه به n معادله دیفرانسیل مرتبه دوم همانند یک سیستم یک درجه آزادی تبدیل می شود و با در نظر گرفتن جواب این معادلات پاسخ سازه بدست می آید.

۳-۸-۲- فضای حالت

از جمله روش های مدرن حل دستگاه معادلات دیفرانسیل خطی مرتبه دوم استفاده از روش فضای حالت می باشد. با توجه به اینکه سیستم های مدرن پیچیده می توانند چند ورودی و خروجی داشته باشند و این ورودی ها و خروجی ها می توانند به نحوه پیچیده ای اختیار گردند لذا برای تحلیل چنین سیستم هایی کاستن از پیچیدگی ها ضروری می باشد که از این دیدگاه استفاده از روش فضای حالت بسیار مناسب ارزیابی می گردد. از طرفی از آنجایی که نظریه های کنترل سازه ها بر مبنای n معادله دیفرانسیل مرتبه اول بنا شده اند لذا چنین معادلاتی را می توان به معادلات دیفرانسیل ماتریس مرتبه اول تبدیل نمود در این حالت افزایش تعداد معادلات بر پیچیدگی آن ها نمی افزاید و حل معادلات دیفرانسیل مرتبه دوم طبق روابط خاص تبدیل به معادلات ماتریسی فضای حالت شده و قابل محاسبه می باشند.

۳-۸-۳ - نوشتن معادلات ساختمان بلند در فضای حالت

برای حل معادله دینامیکی به منظور تعیین پاسخ های سازه در فضای حالت متغیر فضای حالت به صورت زیر در نظر گرفته می شود:

$$Z = \begin{Bmatrix} \{u\} \\ \{\dot{u}\} \end{Bmatrix} \quad (۲۱-۳)$$

حال معادله دیفرانسیل مرتبه دوم ماتریسی ساختمان بلند تحت اثر نیروی زلزله به صورت فضای حالت تبدیل می گردد:

$$\dot{Z} = A_1 Z + B_1 \{eq\} \quad (۲۲-۳)$$

که در آن:

$$\{eq\} = -\{r\} \ddot{u}_g(t) \quad (۲۳-۳)$$

به منظور به دست آوردن پاسخ های خاص از مجموع کل پاسخ های سازه بردار $\{d\}$ در رابطه ۲۴-۳ تعریف می شود:

$$\{d\} = C_1 Z + D_1 \{eq\} \quad (۲۴-۳)$$

برای حل دستگاه جدید کافی است ماتریس های رابطه ۲۴-۳ از رابطه حرکت ساختمان بلند به دست آید، رابطه ۲۵-۳ این مقادیر را نشان می دهد:

$$\dot{Z} = \begin{Bmatrix} \{\dot{u}\} \\ \{\ddot{u}\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{u\} \\ \{\dot{u}\} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{21} \end{bmatrix} \{eq\} \quad (۲۵-۳)$$

از طرف دیگر با ضرب ماتریس $[M]^{-1}$ در رابطه ۳-۲۶ و اندکی جا به جایی در جملات معادله بصورت رابطه ۳-۲۷ بدست خواهد آمد:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = -[M]\{r\} \ddot{u}_g(t) \quad (۳-۲۶)$$

$$\{\ddot{u}\} = -[M]^{-1}[C]\{\dot{u}\} - [M]^{-1}[K]\{u\} - \{r\}\ddot{u}_g(t) \quad (۳-۲۷)$$

از ترکیب رابطه ۳-۲۷ و رابطه بدیهی $\{\dot{u}\} = \{\dot{u}\}$ معادلات بصورت روابط ۳-۲۸ درخواهد آمد:

$$\begin{cases} \{\dot{u}\} = I\{\dot{u}\} + \{u\} \\ \{\ddot{u}\} = -[M]^{-1}[C]\{\dot{u}\} - [M]^{-1}[K]\{u\} - \{r\}\ddot{u}_g(t) \end{cases}$$

$$\begin{Bmatrix} \{\dot{u}\} \\ \{\ddot{u}\} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} I & O \\ -[M]^{-1}[C] & -[M]^{-1}[K] \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \{u\} \\ \{\dot{u}\} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} O \\ I \end{bmatrix} \{eq\}$$

که در آن:

$$\{eq\} = -\{r\}\ddot{u}_g(t) \quad (۳-۲۹)$$

و O ماتریس صفر و I ماتریس یکه است.

در نهایت در مورد ساختمان بلند با n طبقه، معادله به صورت رابطه ۳-۲۹ قابل بیان خواهد بود:

$$\dot{Z} = \begin{bmatrix} I_{n \times n} & O_{n \times n} \\ -[M]^{-1}[C] & -[M]^{-1}[K] \end{bmatrix} Z + \begin{bmatrix} O_{n \times n} \\ I_{n \times n} \end{bmatrix} \{eq\} \quad (۳-۳۰)$$

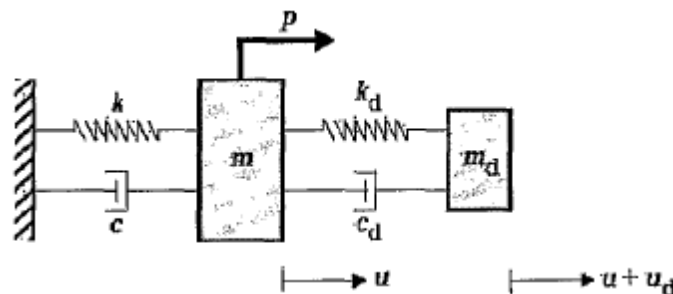
در نتیجه با حل دستگاه مقادیر A_1 و B_1 در فضای حالت به دست می آیند. در رابطه ۳-۲۹ به منظور بررسی عملکرد سیستم های کنترل بر روی پاسخ ساختمان بلند مقادیر تغییر مکان و سرعت طبقه آخر به عنوان

خروجی در نظر گرفته می شود. به همین خاطر بردار $\{d\}$ تنها تابع برداری Z می باشد، لذا جمله دوم در طرف راست رابطه حذف می شود. ماتریس C_1 نیز ماتریسی خواهد بود با ابعاد $(2*2n)$ می باشد.

۳-۹- افزودن روابط سیستم های کنترل TMD و ATMD به معادلات ساختمان بلند

۳-۹-۱- سیستم کنترل غیر فعال میراگر و جرم تنظیم شونده TMD

همانطور که در فصل سوم اشاره شده سیستم TMD از جمله سیستم های کنترل غیر فعال می باشد که با تغییر در فرکانس های سازه و دور کردن فرکانس سازه از فرکانس زلزله موجب کاهش ارتعاشات سازه در برابر زلزله می شود. سیستم یک درجه آزادی تحت اثر بار هارمونیک $P(t) = P_0 \sin(\Omega t)$ در نظر گرفته می شود. حال اگر فرکانس سازه با فرکانس بار یکی باشد سازه تحت این بار دچار رزونانس می شود. برای جلوگیری از این موضوع جرمی توسط یک فنر به سازه متصل می شود. شکل ۳-۸ مدل شماتیک یک سیستم یک درجه آزادی همراه با TMD را نشان می دهد.



شکل ۳-۸- مدل شماتیک یک سیستم یک درجه آزادی همراه با TMD

اگر پارامترهای شکل ۳-۸ و رابطه ۳-۳۱ در نظر گرفته شود،

$$\frac{m}{k} = \frac{m_d}{k_d} \quad (۳-۳۱)$$

با بسط دادن رابطه ۳-۳۱ و با فرض رابطه ۳-۳۲،

$$\gamma = \frac{\omega}{\sqrt{k/m}} = \frac{\omega_d}{\sqrt{k_d/m_d}} \quad (3-32)$$

رابطه ۳-۳۳ بدست خواهد آمد:

$$\gamma^4 - (2 + \frac{m_d}{m})\gamma^2 + 1 = 0 \quad (3-33)$$

همان طور که در رابطه ۳-۳۳ ملاحظه می شود γ تنها تابع ω می باشد. حال اگر میزان $\Omega = \omega$ شرط برقراری رابطه این است که $m_d/m = 0$ یعنی $m_d = 0$. در صورتی که مقدار m_d بیشتر از صفر باشد مقدار فرکانس سازه از فرکانس بار دور می شود و سیستم از حالت رزونانس خارج می شود. این مفهوم ساده و کاربرد آن در سیستم یک درجه آزادی را می توان به یک سیستم چند درجه آزادی تعمیم داد. یک سیستم میراگر و جرم تنظیم شونده TMD شامل یک جرم می باشد که توسط یک فنر و کمک فنر به یکی از سقف های طبقات ساختمان بلند که عمدتاً سقف طبقه آخر است متصل می شود. این سیستم شامل سه پارامتر جرم M_d ، سختی k_d و میرایی c_d می باشد. با توجه به معادلات دینامیک حرکت ساختمان بلند و معادله آن در فضای حالت و افزودن یک سیستم TMD به طبقه آخر ساختمان بلند رابطه ۳-۳۴ بدست می آید.

(۳-۳۴)

$$[M_T]\{\ddot{u}_T\} + [C_T]\{\dot{u}_T\} + [K_T]\{u_T\} = -[M_T]\{r_T\}\ddot{u}_g(t)$$

$$\dot{Z}_T = \begin{bmatrix} I_{(n+1) \times (n+1)} & O_{(n+1) \times (n+1)} \\ -[M_T]^{-1}[C_T] & -[M_T]^{-1}[K_T] \end{bmatrix} Z_T + \begin{bmatrix} O_{(n+1) \times (n+1)} \\ I_{(n+1) \times (n+1)} \end{bmatrix} \{eq\}$$

در رابطه ۳-۳۴، $[M_T]$ ، $[C_T]$ و $[K_T]$ به ترتیب ماتریس های جرم، میرایی و سختی تعمیم یافته ساختمان بلند به همراه سیستم TMD است، همچنین بردار $\{r_T\}$ برداری $(n+1) \times 1$ با درایه های یک و $\{Z_T\}$ برداری $1 \times (2n+2)$ است که مقادیر تغییر مکان و سرعت طبقات ساختمان بلند و TMD را نشان می دهد.

برطبق مباحث گفته شده، سه پارامتر جرم، سختی و میرایی پارامترهای این سیستم را تشکیل می دهند که این پارامترها می توانند کارایی سیستم TMD را بالا ببرند. در اینجا جرم، سختی و میرایی TMD به ترتیب با c_{tmd} , k_{tmd} , m_{tmd} نمایش داده می شود.

معمولا جرم TMD درصدی از جرم کل سازه، در نظر گرفته می شود، همچنین با توجه به اینکه سیستم TMD باید با سازه تنظیم شود، فرکانس TMD را در نزدیکی فرکانس مواد اولیه (اصلی) سازه تنظیم می کنند. مقدار میرایی TMD را نیز می توان از ضرب نسبت میرایی در میرایی بحرانی TMD بدست آورد. روابط ۳-۳۵، ۳-۳۶ و ۳-۳۷ مقادیر پارامترها سیستم TMD را نشان می دهند:

(۳-۳۵)

$$m_{tmd} = m_o \times m_{building}$$

که در آن m_o نسبت جرم TMD به جرم کل ساختمان بلند است. رابطه ۳-۳۶ نیز مقدار K_{tmd} را نشان می دهد:

$$k_{tmd} = m_{tmd} \times (\beta \times \omega_1)^2 \quad (۳-۳۶)$$

که در آن ω_1 فرکانس مود اول سازه ، و β ضریبی است که موجب می شود TMD با فرکانسی در حوالی فرکانس مود اول سازه تنظیم شود. مقدار C_{tmd} نیز بکمک رابطه ۳-۳۷ قابل محاسبه خواهد بود:

$$c_{tmd} = 2\xi_{tmd} \times \sqrt{(m_{tmd} \times k_{tmd})} \quad (۳-۳۷)$$

که در آن ξ_{tmd} نسبت میرایی TMD است. با توجه به روابط فوق به منظور به دست آوردن مقادیر عمومی برای سازه های مختلف می توان مقادیر نسبت جرم m_o ضریب تنظیم B و نسبت میرایی ξ_{tmd} را به عنوان پارامترهای سیستم کنترل غیر فعال TMD در نظر گرفت.

۳-۹-۲- میراگر جرمی تنظیم شونده فعال (ATMD)

همانگونه که در فصول پیشین نیز اشاره گردید سیستم کنترل فعال همانند یک سیستم کنترل TMD می باشد با این تفاوت که یک نیروی خارجی به جرم ATMD اعمال می گردد. در این صورت در طرف دوم معادلات دیفرانسیل مربوطه یک جمله که نشان دهنده نیروی فعال است مطابق رابطه ۳-۳۸ اضافه می گردد.

$$[M_T]\{\ddot{u}_T\} + [C_T]\{\dot{u}_T\} + [K_T]\{u_T\} = -[M_T]\{r_T\}\ddot{u}_g(t) + \{D\}f^*(t) \quad (3-38)$$

که در آن $[D]$ یک بردار $1 \times (n+1)$ با درایه های صفر می باشد به جز درایه $n+1$ که نظیر درجه آزادی ATMD می باشد و مقداری برابر با یک دارد و $f^*(t)$ نیز میزان نیروی فعال در هر لحظه را نشان می دهد که توسط الگوریتم های مختلف قابل محاسبه می باشد. روابط فضای حالت نیز همانند روابط فضای حالت سازه های بلند همراه TMD می باشند با این تفاوت که مقدار $\{eq\} = -\{r_T\}\ddot{u}_g(t) + \{D\}f^*(t)$ است.

پارامترهای طراحی در سیستم کنترل فعال ATMD مانند سیستم کنترل TMD را نیز می توان مقادیر نسبت جرم m_0 ، ضریب تنظیم B و نسبت میرایی ξ_{tmd} در نظر گرفت. تنها تفاوت سیستم TMD و ATMD اعمال نیروی کنترلی می باشد.

۳-۱۰- کنترل فعال ساختمان های بلند با استفاده از منطق فازی

به طور کلی سیستم های فازی بصورت هوشمندانه به عنوان یک سیستم نوین در تعیین یک یا چند پارامتر در سیستم های کنترلی بکارگرفته می شوند و به طور کلی شامل چهار بخش اصلی می باشند که عبارتند از:

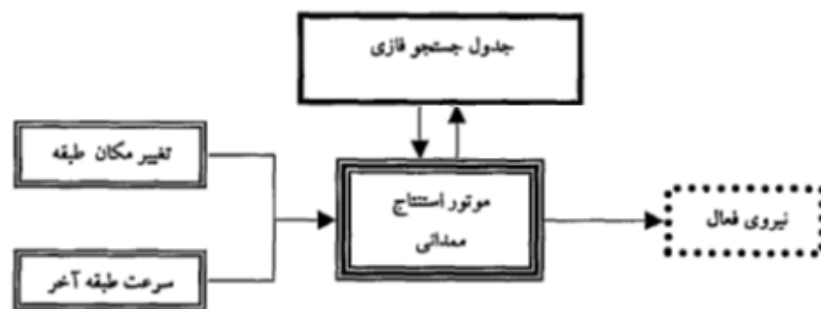
(۱) ورودی ها

(۲) خروجی ها

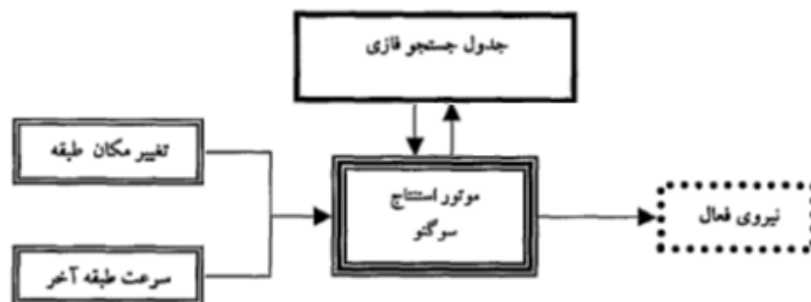
۳) موتور استنتاج

۴) جدول جستجوی فازی

در این مطالعه از دو نوع موتور استنتاج استفاده می شود به گونه ای که اولین موتور استنتاج روش ممدانی می باشد و در آن به کمک جداول جستجوی فازی مقادیر ورودی های فازی به مقادیر خروجی های فازی تبدیل می شود. روش استنتاج دیگر موتور سوگنو می باشد که در قسمت "اگر" از مجموعه های فازی استفاده کرده و در قسمت "آنگاه" با بکارگیری توابع خطی مقادیر خروجی را از جمع مقادیر ورودی با ضرایب وزنی مشخص بدست می آورد. روش های ممدانی و سوگنو در تعداد مقادیر ورودی با یکدیگر شباهت دارند. الگوریتم مربوط به این دو موتور استنتاج که با هدف تعیین نیروی فعال سیستم ATMD هستند در شکل ۳-۹ و ۳-۱۰ قابل مشاهده می باشند.



شکل ۳-۹- سیستم کنترل فازی ممدانی [۱۸]



شکل ۳-۱۰- سیستم کنترل فازی سوگنو [۱۸]

۳-۱۱- طرح کنترل فعال ساختمان های بلند با استفاده از منطق فازی

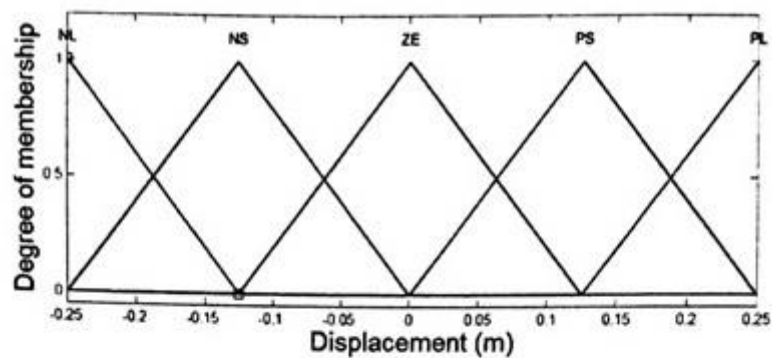
به طور کلی با توجه به اینکه میراگرهای فعال بصورت مکانیکی بکار گرفته می شوند، رفتار آن ها غیر خطی بوده و در نتیجه نمی توان به سادگی نیروی مورد نیاز میراگر را ایجاد نمود. نکته حائز اهمیت در این مساله آن است که نمی توان نیروی میراگر را مستقیماً تغییر داد و تنها با تعدیل در مقادیر ورودی این کار میسر خواهد بود حال آنکه هیچ رابطه و قانون مستقیمی جهت تنظیم نیروی میراگر و نیروی تولید شده توسط آن وجود ندارد. استفاده از روش استدلال فازی با بکارگیری متغیرهای زبانی رابطه غیرخطی مربوطه را به صورت مناسبی تقریب می زند. در این مطالعه پایگاه قانون فازی به منظور کنترل نیروی ورودی به میراگر فعال استفاده شده است. کنترل کننده فازی مورد نظر نیز دارای دو مقدار ورودی جابه جایی و سرعت میراگر و یک مقدار خروجی نیروی اعمالی به میراگر فعال می باشد. توابع عضویت متغیرها بصورت مثلثی انتخاب شده و متغیرهای فازی بکار گرفته شده در توابع عضویت ورودی نیز به شرح ذیل استفاده و قابل معنا می باشند:

PS= Positive Small
ZE= Zero
NS= Negative Small
NL= Negative Large
PL= Positive Large

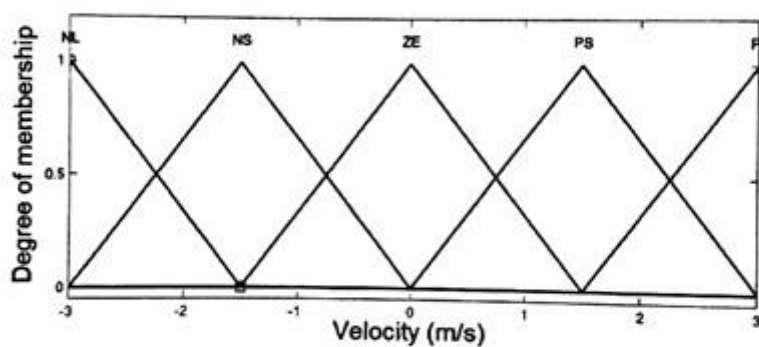
و هم چنین معنی متغیرهای فازی توابع عضویت خروجی نیز بدین قرار است:

L= Large
M= Medium
S= Small
ZE= Zero

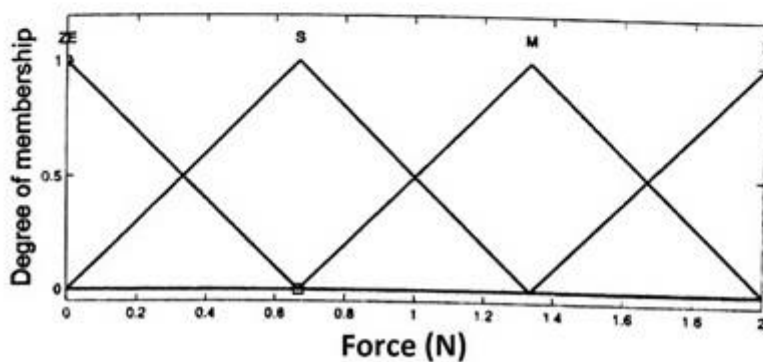
قانون استنتاج فازی بر اساس جابه جایی سازه و سرعت میراگر جرمی می باشد. قانون استنتاج فازی در جدول ۳-۱ قابل مشاهده می باشد:



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۳-۱۱- توابع عضویت مربوط به متغیرهای کنترلی فازی (الف) ورودی جابه جایی سازه، (ب) ورودی سرعت میراگر، (ج)

نیروی ورودی میراگر

Velocity	Displacement				
	NL	NS	ZE	PS	PL
NL	ZE	ZE	S	M	L
NS	ZE	ZE	S	M	L
ZE	M	S	ZE	S	M
PS	L	M	S	ZE	ZE
PL	L	M	S	ZE	ZE

جدول ۳-۱- قوانین استنتاج کنترل کننده فازی

۳-۱۲- معیارهای کارایی

در این پژوهش سیستم سازه ای تحت تحریک نیروی زلزله توسط دو کنترل کننده میراگر جرمی تنظیم شونده فعال و غیرفعال مورد بررسی قرار می گیرد. برای ارزیابی کارایی سیستم کنترل شاخص هایی که بی بعد می باشند با در نظر گرفتن معیارهایی که به توانایی کنترل کننده در کاهش ماکزیمم شتاب طبقات وابسته است مورد استفاده قرار می گیرند.

$$J_1 = \max(\sigma_{\ddot{x}_i}) / \sigma_{\ddot{x}_{roof o}}$$

$\sigma_{\ddot{x}i}$ شتاب RMS طبقه i ام و $\sigma_{\ddot{x} roof o}$ شتاب بالاترین طبقه بدون کنترل است.

$$J_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\sigma_{\ddot{x}_i} / \sigma_{\ddot{x}_{io}})$$

$\sigma_{\ddot{x}i}$ شتاب RMS طبقه i ام بدون کنترل است. معیار ارزیابی سوم و چهارم به توانایی کنترل کننده در

کاهش جابه جایی RMS بالاترین طبقه بستگی دارد.

$$J_3 = \sigma_{x_{roof}} / \sigma_{x_{roof o}}$$

$$J_4 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\sigma_{x_i} / \sigma_{x_{io}})$$

σ_{xi} و σ_{x10} جابه جایی RMS طبقه i ام به ترتیب با کنترل و بدون کنترل و $\sigma_{X \text{ roof } o}$ جابه جایی RMS بالاترین طبقه بدون کنترل است. معیار پنجم به عملکرد کنترل کننده بستگی دارد.

$$J_5 = \sigma_{x_m} / \sigma_{x_{\text{roof } o}}$$

σ_{xm} جابه جایی RMS محرک است و معیارهای ارزیابی مربوط به پاسخ های اوج بصورت زیر قابل بیان می باشند:

$$J_6 = \max(\ddot{x}_{p_i}) / \ddot{x}_{p_{\text{roof } o}}$$

$$J_7 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\ddot{x}_{p_i} / \ddot{x}_{p_{io}})$$

$$J_8 = x_{p_{\text{roof } o}} / x_{p_{\text{roof } o}}$$

$$J_9 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{p_i} / x_{p_{io}})$$

$$J_{10} = x_{p_m} / x_{p_{\text{roof } o}}$$

σ_{pi} و x_{p10} جابه جایی اوج طبقه i ام به ترتیب با کنترل و بدون کنترل، $\ddot{x}_{pi}$ و $\ddot{x}_{p10}$ شتاب اوج طبقه i ام با کنترل و بدون کنترل هستند. همچنین $x_{p \text{ roof } o}$ و $\ddot{x}_{p \text{ roof } o}$ به ترتیب جابه جایی و شتاب بالاترین طبقه بدون کنترل و ... جابه جایی اوج کنترل کننده می باشد. از معیارهای کارایی عنوان شده بدیهی است کنترل کننده دارای کارایی مطلوب تری می باشد که شاخص کارایی کوچکتری داشته باشد.

۳-۱۳- مدل شبیه سازی

به طور کلی مدل های شبیه سازی در حالت های بدون کنترل و کنترل فعال انتخاب و ایجاد می شوند و شبیه سازی مدل ها به کمک نرم افزار MATLAB برای هریک از کنترل ها به کار گرفته می شود. هدف کلی از استفاده از شبیه سازی بررسی پارامترهای موثر در میراگر جرمی و هم چنین کنترل کننده بر پاسخ سازه تحت نیروهای زلزله مختلف می باشد. بدین ترتیب پاسخ های سازه شبیه سازی شده در حالت های کنترل شده و نشده توسط میراگر جرمی فعال و غیرفعال محاسبه و با یکدیگر مقایسه می شوند که بدین منظور ابتدا برنامه نویسی در محیط MATLAB انجام می پذیرد.

فصل چهارم

نتایج شبیه سازی و تحلیل سیستم های

کنترل

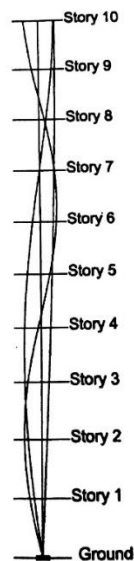
۴-۱- مقدمه

یکی از مشکلات مهم در مهندسی عمران میرایی پایین سازه می باشد. امروزه سیستم های کنترل کننده غیرفعال و فعال و نیمه فعال مختلفی برای افزایش کارایی سیستم های سازه ای استفاده می شوند. مدل های ریاضی نسبتاً دقیقی که نشان دهنده رفتار این سیستم های کنترل کننده می باشند، ایجاد شده اند. در مطالعات گسترده ای، سیستم های سازه ای کنترل شده توسط سیستم های کنترلی مختلف تحت تحریک زمین لرزه بررسی و رفتار آن ها پیش بینی شده و نتایج این بررسی ها جهت بهبود عملکرد سازه ها استفاده شده است. در این مطالعه رفتار سازه ساختمانی (قاب ده طبقه) همراه با میراگر جرمی تنظیم شده فعال با استفاده از کنترل کننده فازی تحت تحریک چهار زمین لرزه El Centro، Hachinohe، Northridge و طیس بررسی شده است. مدل های ریاضی سازه و سیستم های کنترل کننده در محیط Matlab شبیه سازی شده و پاسخ سازه کنترل شده تحت چهار زمین لرزه گفته شده محاسبه گردیده و پاسخ های سازه در حالت کنترل نشده و همراه با سیستم های کنترل میراگرهای جرمی تنظیم شده غیرفعال و فعال آورده شده است.

هم چنین معیارهای کارایی سیستم کنترل کننده نیز محاسبه شده و برای مقایسه سیستم های کنترل کننده مورد استفاده قرار گرفته اند.

۴-۲- سیستم سازه ای

در این پژوهش از سیستم سازه ای یک قاب ده طبقه برای بررسی اثر میراگرهای جرمی تنظیم شده غیرفعال و فعال توسط کنترل کننده فازی استفاده شده است. مشخصات این قاب (ماتریس های جرم و سختی) در ادامه آمده است. ماتریس میرایی سیستم سازه ای با فرض میرایی مودال برابر با ۳٪ محاسبه شده است. سه مود اول این سازه در شکل ۴-۱ نشان داده شده است. فرکانس های طبیعی قاب در سه مود اول به ترتیب ۷/۱۳، ۲۱/۰۶ و ۳۴/۳۹ رادیان بر ثانیه می باشد.



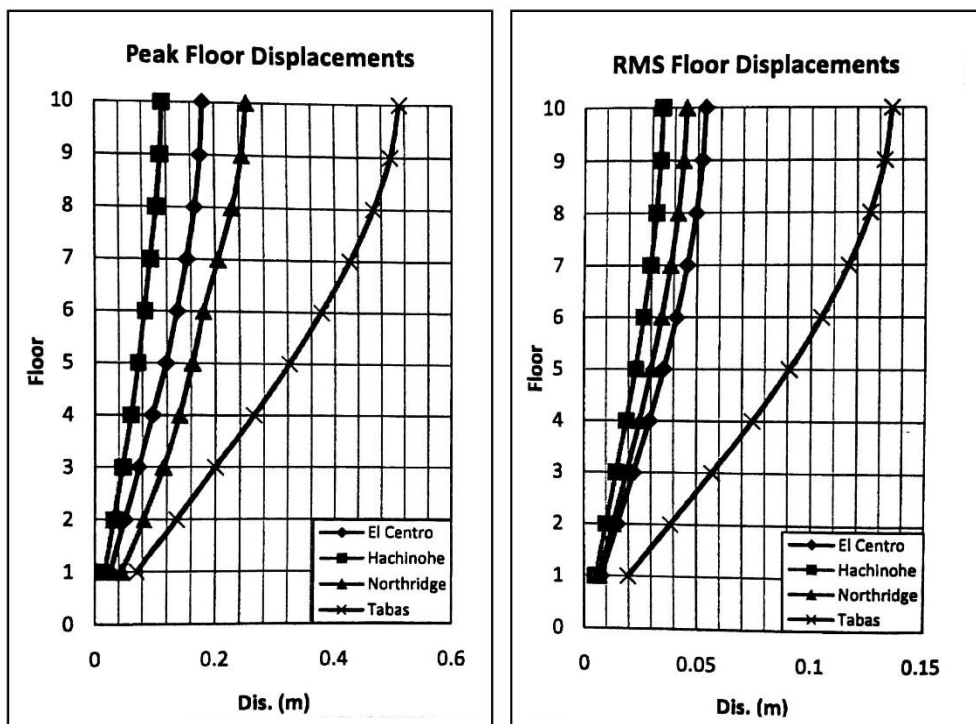
شکل ۴-۱- سه مد اول قاب مورد مطالعه

برای بررسی رفتار سازه در حالت های بدون کنترل و کنترل شده تحت تحریک زمین لرزه، از چهار شتابنگاشت El Centro، Hachinohe، Northridge و طیس که دو شتابنگاشت اول حوزه دور و دو شتابنگاشت دوم حوزه نزدیک می باشند، استفاده شده است.

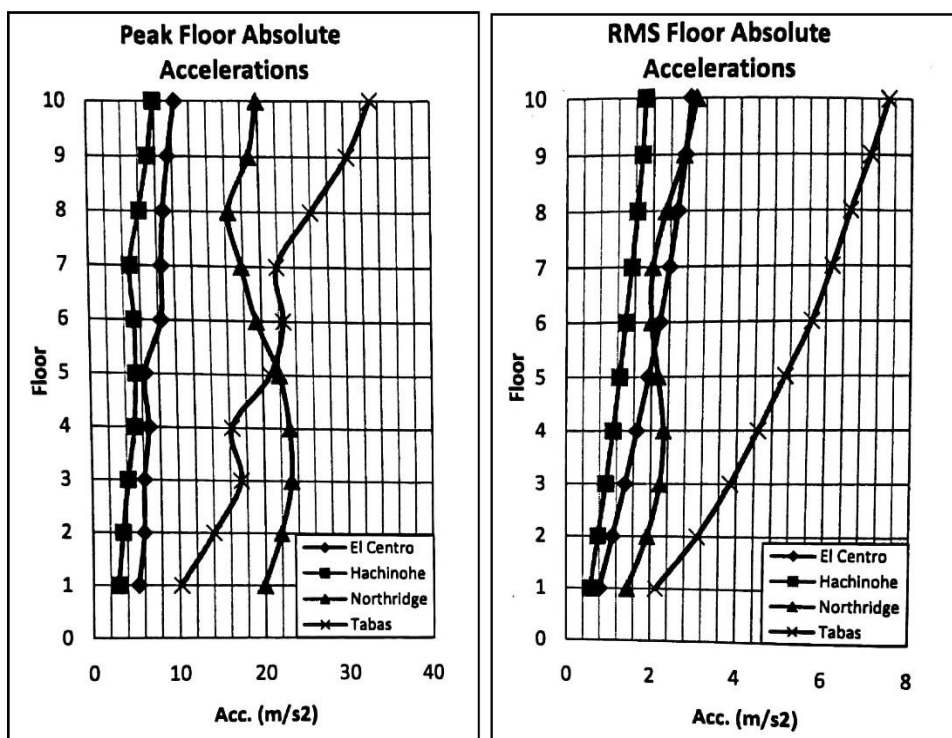
لرزه های حوزه نزدیک دارای خصوصیتی هستند که آن ها را زلزله حوزه دور متمایز می سازد. از خصوصیات شاخص زمین لرزه های حوزه نزدیک، وجود سرعت های نموی بزرگ زمین است که در پی پالس های بلند مدت شتاب ایجاد می شود. نمودی از این اثرات به شکل ایجاد تغییر مکان های نوسانی بزرگ است که در رکورد تغییر مکان زمین نیز دیده می شود [۳۹].

۴-۳- پاسخ سازه کنترل نشده

برای بررسی تاثیر میراگر جرمی تنظیم شده غیرفعال و فعال بر روی پاسخ های سازه، ابتدا لازم است پاسخ های سازه کنترل نشده را محاسبه نمود. سازه کنترل نشده شبیه سازی شده را تحت چهار زمین لرزه مانند El Centro، Hachinohe، Northridge و طیس قرار می دهیم. پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق اوج و RMS طبقات را در شکل ۴-۲ و ۴-۳ آورده شده است. بررسی شتاب سازه در تحریکات باد و زمین لرزه به عنوان یک نیاز جانبی مطرح می باشد، به دلیل اینکه تاثیر عمده شتاب بر اجزای غیرسازه ای می باشد.

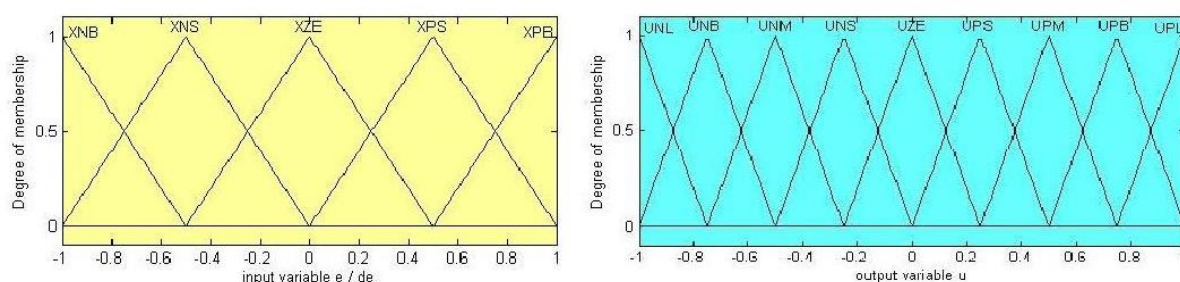


شکل ۴-۲- مقدار جابه جایی اوج و RMS طبقات در سازه کنترل نشده



شکل ۴-۳- مقدار شتاب مطلق اوج و RMS طبقات در سازه کنترل نشده

همان گونه که مشاهده می شود بیشترین پاسخ های اوج و RMS سازه، در شتابنگاشت های حوزه دور مربوط به شتابنگاشت El Centro می باشند. پاسخ سازه در شتابنگاشت Northridge در هنگامی که این شتابنگاشت به بیشترین دامنه خود می رسد، دارای مقدار بزرگی است. مخصوصاً شتاب مطلق طبقات به شدت افزایش پیدا می کند. در حالی که پاسخ RMS سازه در این زمین لرزه نسبتاً پایین است. پاسخ سازه در شتابنگاشت طبرس هم مقدار اوج و هم مقدار RMS بالایی دارد. شتاب اوج طبقات پایین در این زمین لرزه نسبت به زمین لرزه Northridge کوچکتر است ولی در طبقات بالاتر برعکس می باشد.



شکل ۴-۴- عملکرد عضویت

۴-۴- تاثیر پارامترهای میراگر جرمی تنظیم شده بر پاسخ سازه

در این قسمت تاثیر پارامترهای مختلف دو میراگر جرمی تنظیم شده غیرفعال و فعال بر پاسخ سازه بررسی و درصد کاهش پاسخ جابه جایی سازه در چهار زمین لرزه گفته شده محاسبه می شود. نسبت میرایی میراگر جرمی g_d به ترتیب برابر ۰٪، ۵٪ و ۱۰٪ و نسبت های فرکانس میراگر جرمی f برابر با ۰/۸، ۰/۹، ۱، ۱/۱ و ۱/۲ و نسبت جرمی میراگر m برابر با ۰/۲، ۰/۵، ۱۰٪ و ۱۵٪ نسبت به جرم مدال مود اول در نظر گرفته شده است.

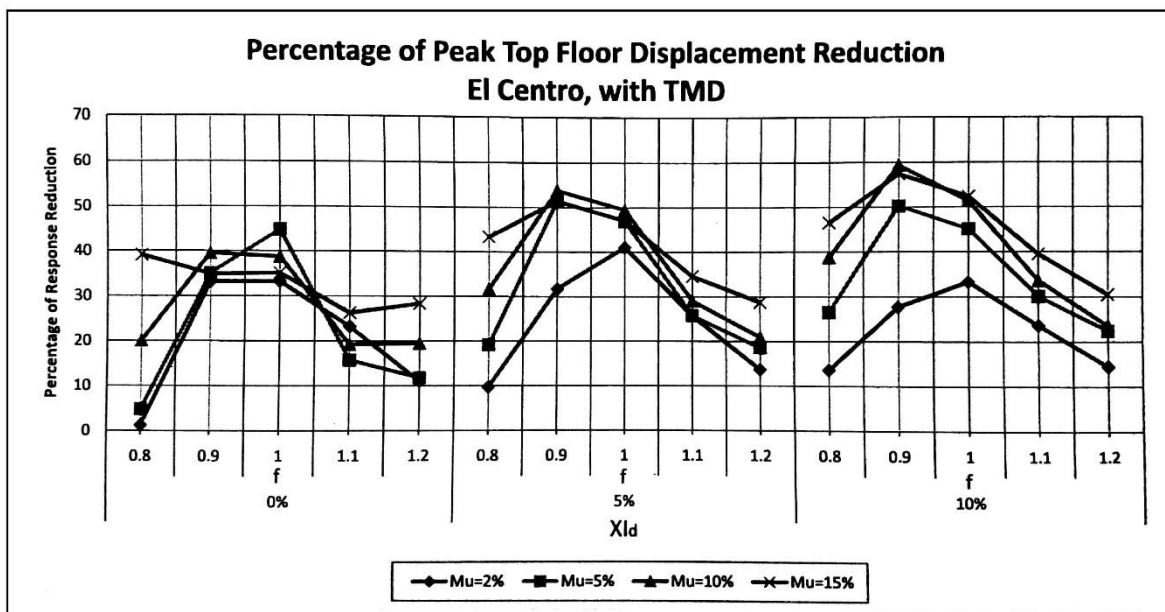
۴-۴-۱- میراگر جرمی تنظیم شده غیرفعال

در این قسمت، پارامترهای میراگر جرمی تنظیم شده غیرفعال بر پاسخ سازه بررسی می شود. نتایج به صورت درصد کاهش پاسخ اوج و RMS جابه جایی طبقه بام سازه در پارامترهای مختلف میراگر جرمی تنظیم شده غیرفعال در شکل ۴-۵ تا شکل ۴-۱۲ نشان داده شده است.

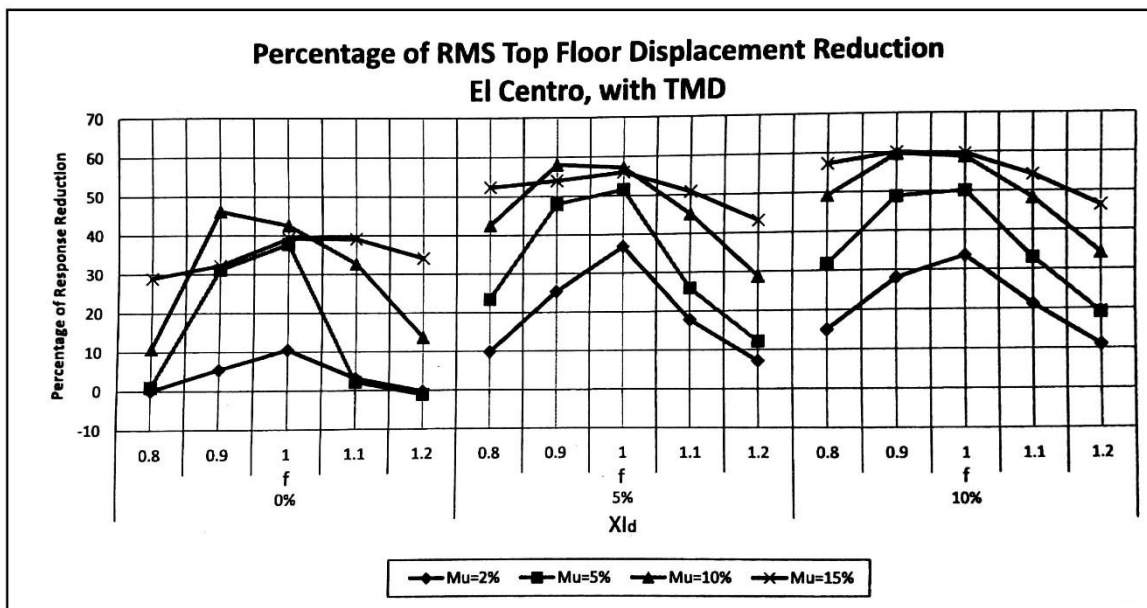
در زمین لرزه El Centro بیشترین درصد کاهش جابه جایی سازه در نسبت جرمی ۱۰٪ و نسبت میرایی ۱۵٪ و نسبت فرکانسی ۹٪ مشاهده می شود. میراگر جرمی با نسبت های جرمی ۲٪ و ۵٪ در نسبت میرایی ۵٪ بهترین عملکرد را دارد و با نسبت های جرمی ۱۰٪ و ۱۵٪ با افزایش نسبت میرایی درصد کاهش پاسخ نیز افزایش می یابد اما نرخ این افزایش به تدریج کاهش یافته است. بیشترین درصد کاهش پاسخ اوج در نسبت میرایی ۰٪ با نسبت جرمی ۵٪ و نسبت فرکانسی ۱٪ مشاهده می شود. در نسبت های میرایی ۵٪ و ۱۰٪ با افزایش نسبت جرمی از ۲٪ تا ۱۰٪ کارایی میراگر در کاهش پاسخ سازه نیز افزایش می یابد اما در نسبت جرمی ۱۵٪ کارایی میراگر کاهش پیدا کرده است. در نسبت های جرمی بالا با افزایش نسبت میرایی تغییر نسبت فرکانسی تاثیر کمتری بر کارایی آن در کاهش پاسخ های RMS سازه دارد. در زمین لرزه Hachinohe بیشترین درصد کاهش اوج در نسبت جرمی ۱۵٪ و نسبت فرکانسی ۸٪ با نسبت میرایی ۱۵٪ و برای پاسخ RMS با نسبت میرایی ۱۰٪ رخ می دهد. با افزایش نسبت میرایی کارایی میراگر در کاهش پاسخ های اوج افزایش می یابد که این افزایش در میراگر جرمی با نسبت های جرمی ۲٪ و ۵٪ چندان محسوس نمی باشد و در میراگرهای جرمی با نسبت جرمی ۱۰٪ و ۱۵٪ در نسبت های فرکانسی کارایی میراگر جرمی کاهش پیدا کرده است موجب بهبود عملکرد میراگر جرمی شده است. با افزایش در نسبت جرمی کارایی میراگر در کاهش پاسخ سازه به نسبت فرکانسی حساس تر می شود به طوری که باعث افزایش پاسخ های اوج و RMS سازه می شود.

در زمین لرزه Northridge بیشترین کاهش پاسخ اوج در نسبت جرمی ۱۵٪ و نسبت میرایی ۱۰٪ و با نسبت فرکانسی ۹٪ و برای پاسخ RMS در نسبت جرمی ۵٪ و نسبت میرایی ۱۵٪ با نسبت فرکانسی ۸٪ مشاهده می شود. افزایش نسبت میرایی در کارایی میراگر جرمی تنظیم شده غیرفعال در کاهش پاسخ اوج تاثیر چندانی ندارد اما کارایی آن را در کاهش پاسخ RMS افزایش می دهد. کارایی میراگر جرمی در کاهش پاسخ اوج با افزایش نسبت جرمی افزایش می یابد اما در کاهش پاسخ RMS برعکس است. البته در نسبت جرمی ۱۵٪ با افزایش نسبت فرکانسی کارایی میراگر جرمی در کاهش پاسخ های اوج به شدت کاهش می یابد. در نسبت میرایی ۰٪ تمام نسبت های جرمی باعث افزایش پاسخ RMS جابه جایی سازه

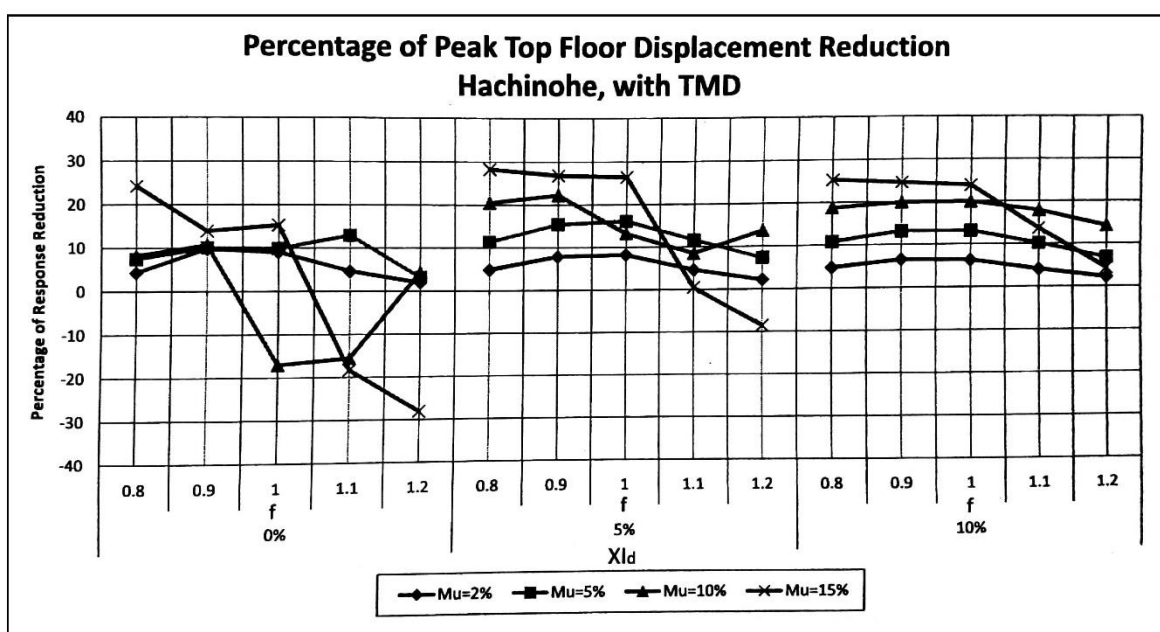
شده اند و با افزایش نسبت میرایی عملکرد میراگر جرمی بهبود یافته و عملکرد آن در نسبت های جرمی مختلف به یکدیگر نزدیک شده است. در زمین لرزه طبس بیشترین کاهش پاسخ سازه در نسبت جرمی ۱۵٪ و نسبت میرایی ۱۰٪ و نسبت فرکانسی ۱ رخ می دهد. افزایش نسبت میرایی باعث افزایش کارایی میراگر جرمی تنظیم شده غیرفعال شده است. البته در نسبت جرمی ۲٪ ماکزیمم کارایی میراگر جرمی تنظیم شده در نسبت میرایی ۵٪ مشاهده می شود. در نسبت های میرایی پایین افزایش نسبت جرمی، کارایی میراگر را نسبت به تغییر در نسبت فرکانسی حساس تر می کند به طوری که در نسبت میرایی ۰٪ و نسبت جرمی ۱۵٪ کارایی میراگر در کاهش پاسخ اوج بین ۱۰٪ تا ۶۰٪ و در کاهش پاسخ RMS بین ۵٪- تا ۵۰٪ می باشد و کارایی میراگر جرمی در این نسبت جرمی و در نسبت های فرکانسی پایین در مقایسه با نسبت های جرمی پایین تر از ۱۵٪ کاهش پیدا کرده است.



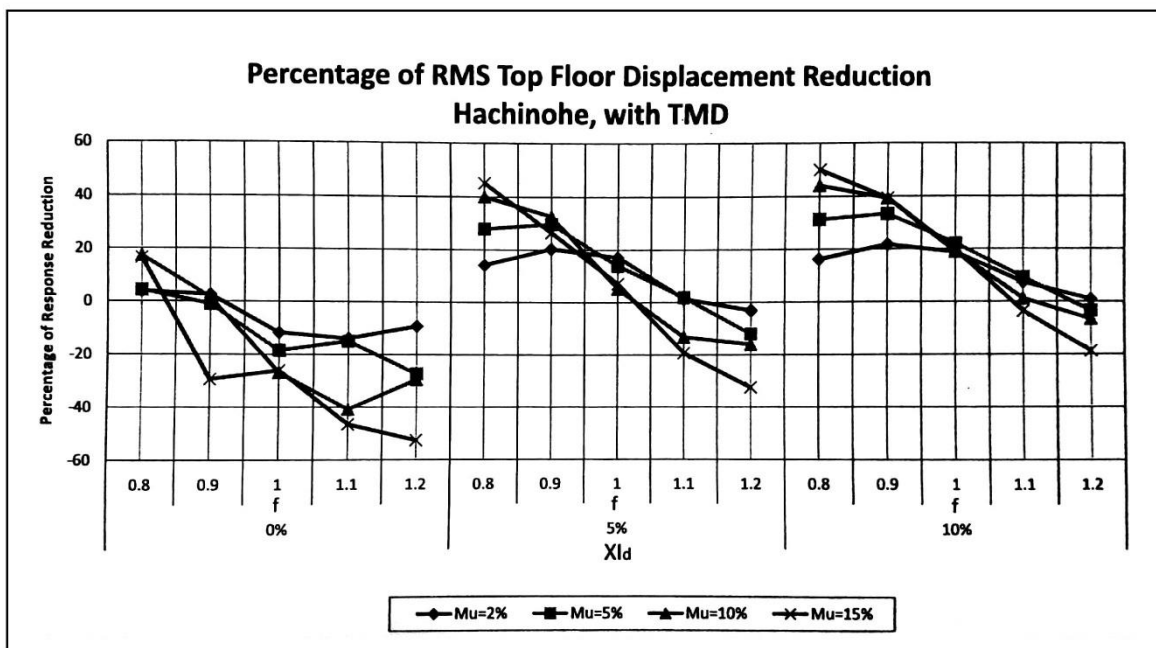
شکل ۴-۵- درصد کاهش پاسخ اوج جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط TMD در زمین لرزه El Centro



شکل ۴-۶- درصد کاهش پاسخ RMS جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط TMD در زمین لرزه El Centro

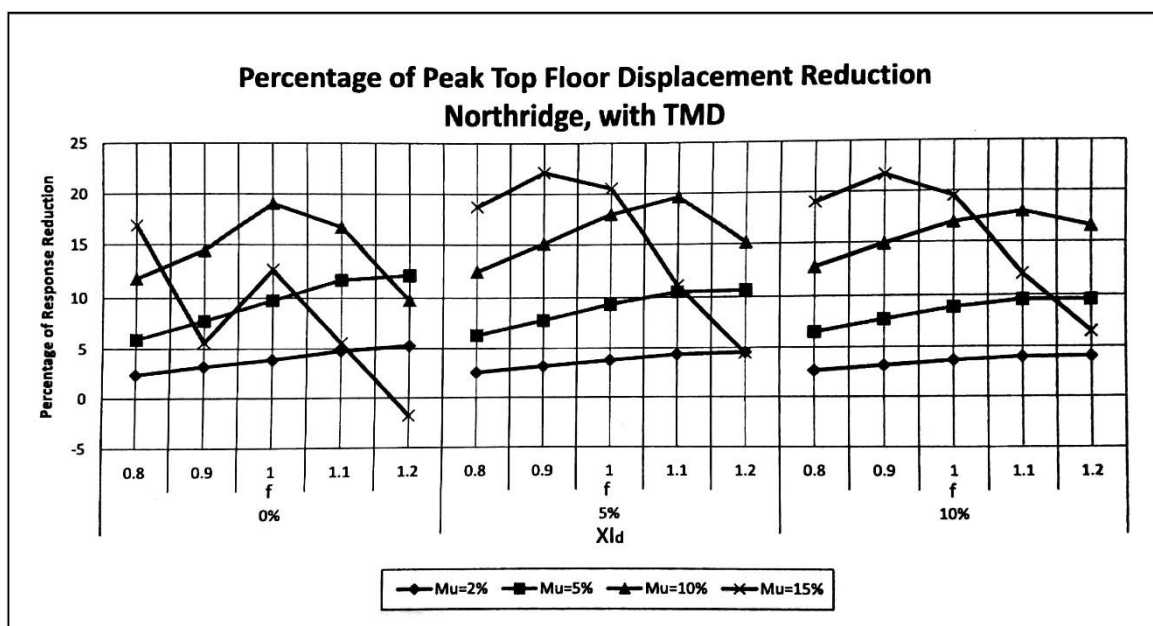


شکل ۴-۷- درصد کاهش پاسخ اوج جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط TMD در زمین لرزه Hachinohe

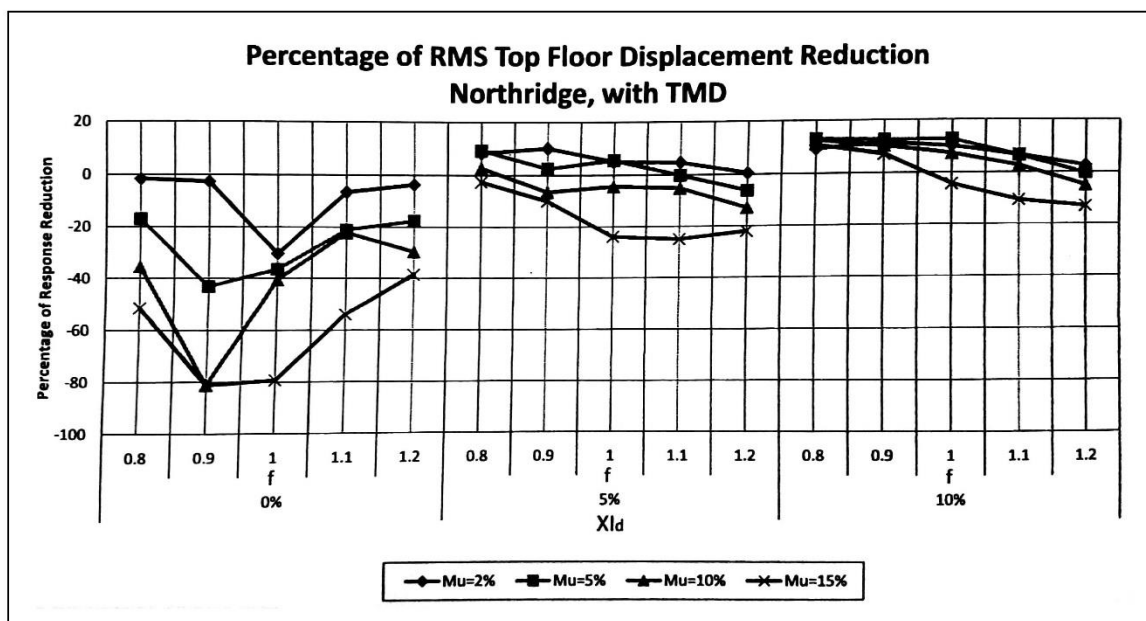


شکل ۴-۸- درصد کاهش پاسخ RMS جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط TMD در زمین لرزه

Hachinohe

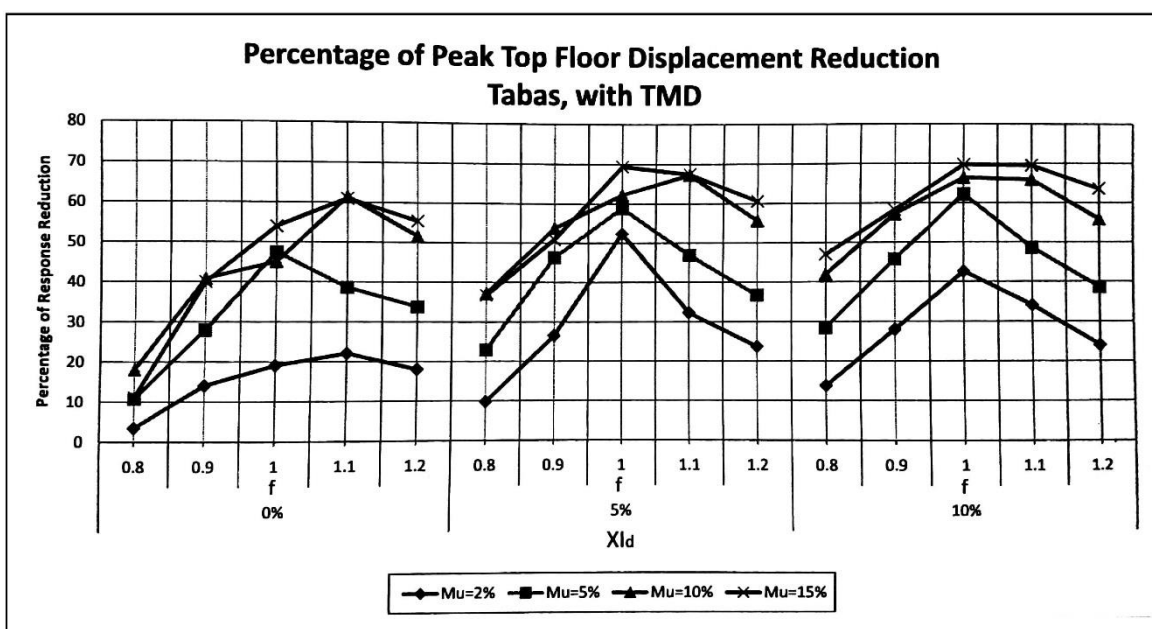


شکل ۴-۹- درصد کاهش پاسخ اوج جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط TMD در زمین لرزه Northridge

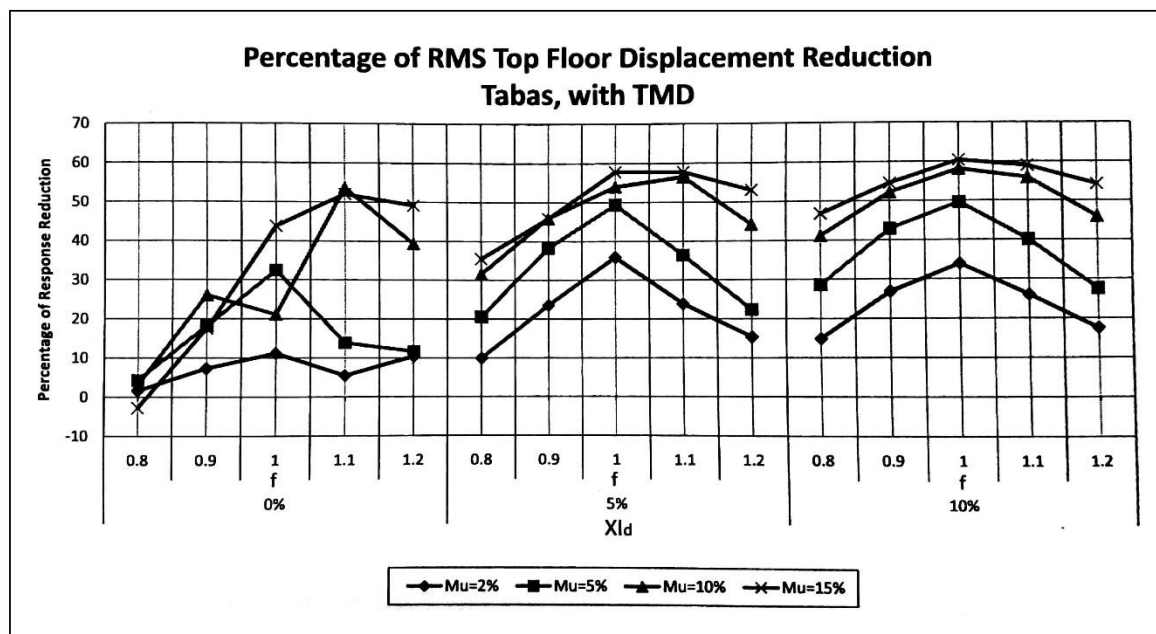


شکل ۴-۱۰- درصد کاهش پاسخ RMS جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط TMD در زمین لرزه

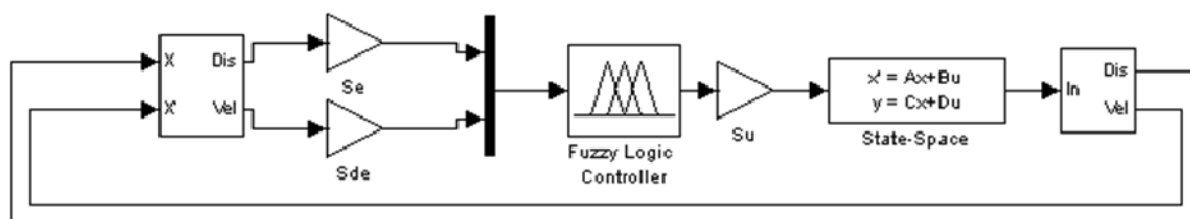
Northridge



شکل ۴-۱۱- درصد کاهش پاسخ اوج جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط TMD در زمین لرزه طبس



شکل ۴-۱۲- درصد کاهش پاسخ RMS جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط TMD در زمین لرزه طبس



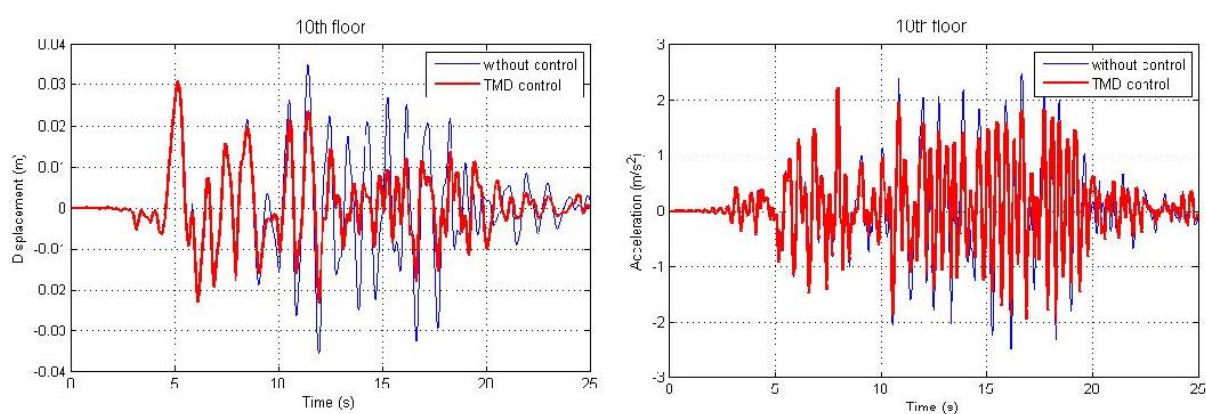
شکل ۴-۱۳- مدل حلقه بسته سازه با کنترل کننده منطق فازی

۴-۲- میراگر جرمی تنظیم شده فعال

در این قسمت پاسخ های سازه کنترل شده توسط میراگر جرمی تنظیم شده فعال بررسی می شود. نتایج بر حسب درصد کاهش پاسخ اوج و RMS جابه جایی طبقه بام نسبت به حالت کنترل نشده در شکل ۴-۱۶ تا شکل ۴-۲۳ نشان داده شده اند. نتایج بدست آمده در چهار زمین لرزه مورد نظر به شرح زیر می باشند:

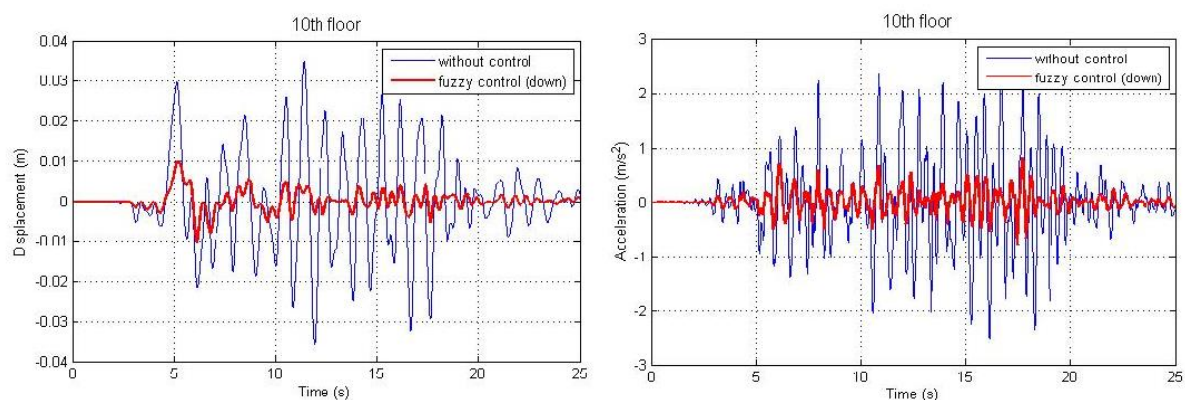
در زمین لرزه El Centro بیشترین کاهش پاسخ سازه در نسبت جرمی ۱۰٪ و نسبت میرایی ۵٪ و نسبت فرکانسی ۰/۹ مشاهده می شود. افزایش نسبت میرایی تغییر محسوسی در کارایی میراگر جرمی به خصوص

در نسبت های جرمی پایین نشان نمی دهد. کارایی میراگر جرمی تنظیم شده در نسبت های جرمی پایین با افزایش نسبت میرایی کاهش پیدا کرده است. افزایش نسبت جرمی باعث افزایش کارایی میراگر جرمی تنظیم شده در کاهش پاسخ های اوج می شود اما به تدریج نرخ افزایش کارایی کاهش پیدا می کند به طوری که در نسبت فرکانسی 0.9 کارایی میراگر در نسبت جرمی 15% تقریباً با کارایی آن در نسبت جرمی 10% برابر است. در زمین لرزه Hachinohe بیشترین کاهش پاسخ اوج در نسبت میرایی 0% و نسبت جرمی 15% و نسبت فرکانسی 0.9 و بیشترین کاهش پاسخ RMS در نسبت میرایی 5% و نسبت جرمی 15% و نسبت میرایی 0.8 مشاهده می شود. افزایش نسبت میرایی کارایی میراگر در کاهش پاسخ اوج را تنها در نسبت جرمی 15% و نسبت های فرکانسی بالا افزایش می دهد و در سایر نسبت های جرمی تغییر محسوسی ایجاد نمی کند. در نسبت جرمی 15% افزایش نسبت فرکانسی باعث کاهش شدیدی در کارایی میراگر در کاهش پاسخ های اوج سازه می شود اما با افزایش نسبت میرایی این کاهش شدید کارایی مشاهده نمی شود. افزایش در نسبت جرمی و نسبت فرکانسی میراگر جرمی باعث کاهش عملکرد میراگر در کاهش پاسخ RMS سازه شده است. با افزایش نسبت میرایی نرخ این کاهش عملکرد کوچکتر شده است به طوری که در نسبت جرمی 15% و نسبت فرکانسی $1/2$ برای نسبت میرایی 0% کارایی میراگر جرمی 30% - و برای نسبت میرایی 15% تقریباً 10% - می باشد.



شکل ۴- ۱۴- کنترل غیرفعال جابجایی و شتاب برای طبقه ۱۰ با استفاده از TMD

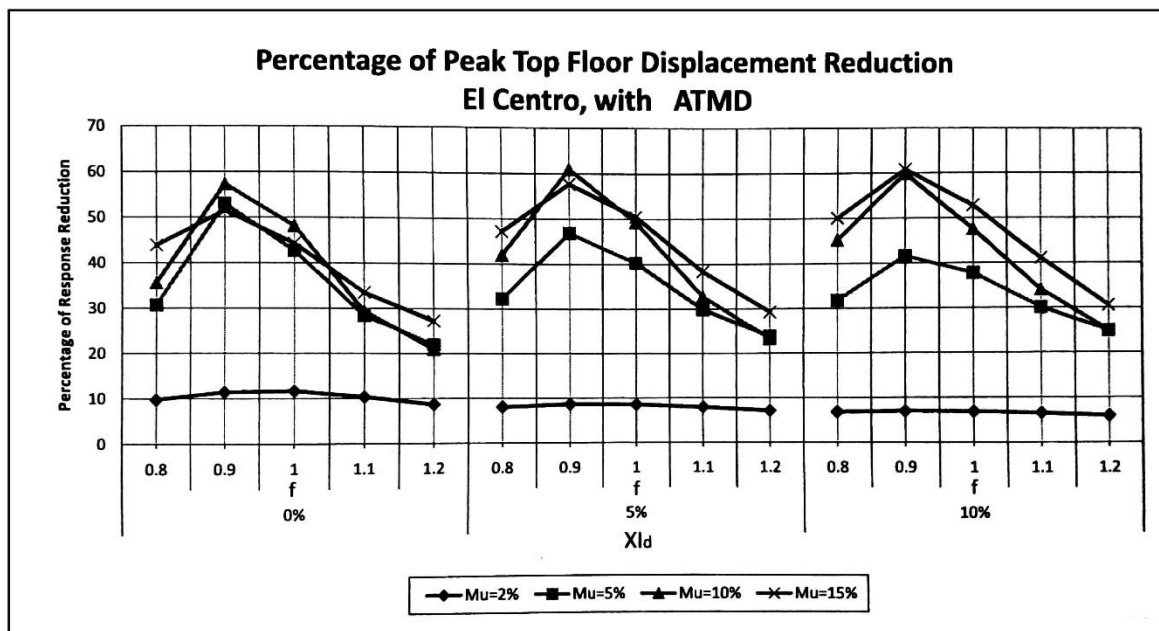
در زمین لرزه Northridge بیشترین کاهش پاسخ اوج در نسبت میرایی ۰٪ و نسبت جرمی ۱۵٪ و نسبت فرکانسی ۰/۹ و بیشترین کاهش پاسخ RMS در نسبت میرایی ۱۰٪ و نسبت جرمی ۱۰٪ و نسبت فرکانسی ۰/۸ رخ می دهد. افزایش نسبت میرایی تاثیر محسوسی در کارایی میراگر در کاهش پاسخ های اوج در نسبت های جرمی مختلف ندارد. در نسبت جرمی ۱۵٪ و در نسبت های فرکانسی بالاتر از ۰/۹ با افزایش نسبت فرکانسی کارایی میراگر در کاهش پاسخ اوج پایین می آید اما در سایر نسبت های جرمی در نسبت های میرایی مختلف تغییر در نسبت فرکانسی تاثیر محسوسی بر کارایی میراگر جرمی ندارد. در نسبت های جرمی ۲٪ و ۵٪ و در نسبت های فرکانسی یکسان و نسبت های میرایی مختلف کاهش پاسخ RMS تقریبا برابر است. در نسبت میرایی ۰٪ با افزایش نسبت جرمی به ۱۰٪ و ۱۵٪ کارایی میراگر در کاهش پاسخ RMS کاهش یافته البته افزایش نسبت میرایی کارایی میراگر جرمی تنظیم شده فعال را در این نسبت های جرمی بهبود داده است.



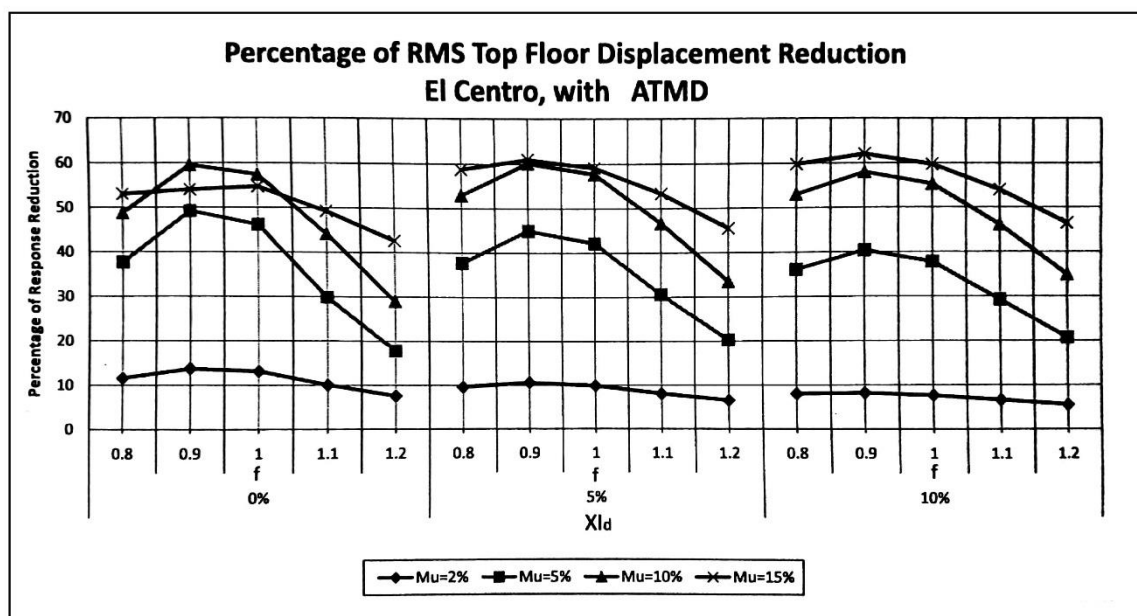
شکل ۴- ۱۵- کنترل فعال جابجایی و شتاب برای طبقه ۱۰ با روش FLC هنگام کنترل نیرو به سیستم TMD اعمال می شود.

در زمین لرزه طبرس بیشترین کاهش پاسخ در نسبت میرایی ۵٪ و نسبت جرمی ۱۵٪ و نسبت فرکانسی ۱ مشاهده می شود. در نسبت های میرایی و نسبت های جرمی یکسان بهینه ترین نسبت فرکانسی معمولا برابر ۱ می باشد. در نسبت جرمی ۲٪ افزایش نسبت میرایی باعث کاهش در کارایی میراگر جرمی شده و در نسبت های جرمی ۵٪، ۱۰٪ و ۱۵٪ افزایش نسبت میرایی به ۵٪ موجب بهبود عملکرد میراگر جرمی شده است اما با افزایش آن به ۱۰٪ تغییر محسوسی در عملکرد میراگر مشاهده نمی شود. در نسبت های میرایی و فرکانسی پایین افزایش نسبت جرمی به ۱۵٪ باعث کاهش در کارایی میراگر می شود اما با

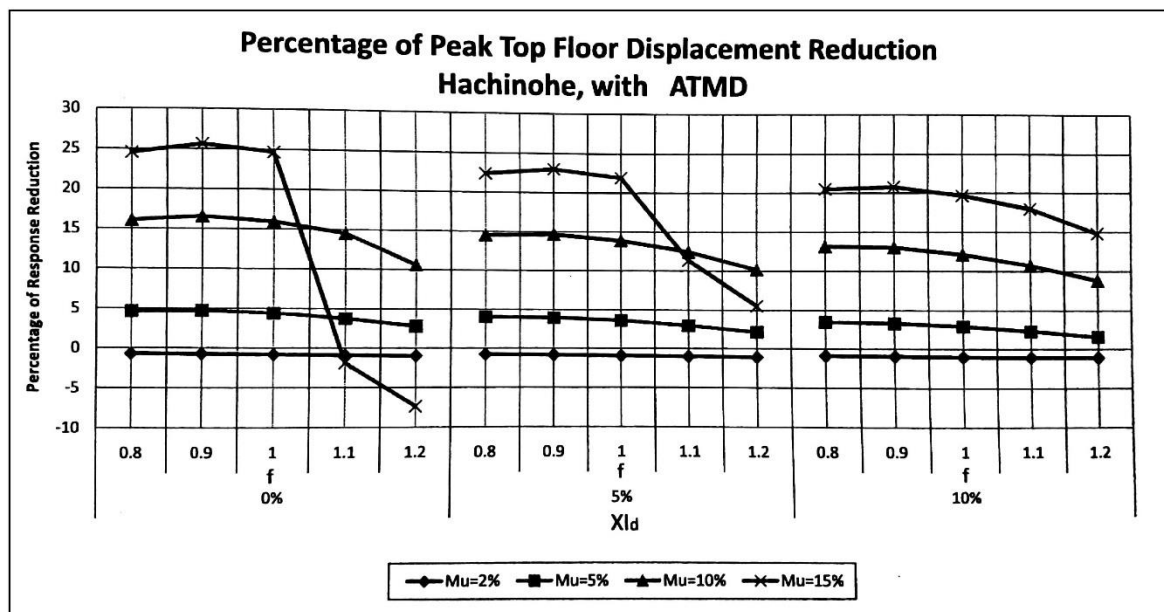
افزایش نسبت میرایی این کاهش عملکرد مشاهده نمی شود. با افزایش نسبت جرمی کارایی میراگر افزایش می یابد اما نرخ این افزایش به تدریج کاهش می یابد به طوری که در نسبت های جرمی ۱۰٪ و ۱۵٪ کارایی میراگر تقریباً برابر است.



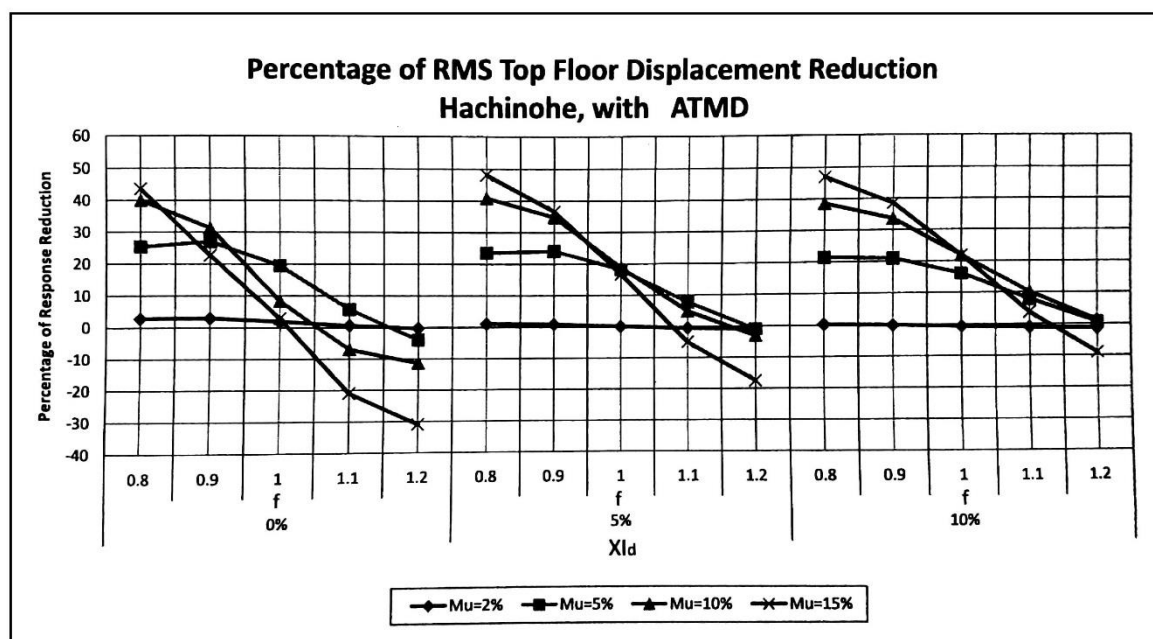
شکل ۴-۱۶- درصد کاهش پاسخ اوج جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط ATMD در زمین لرزه El Centro



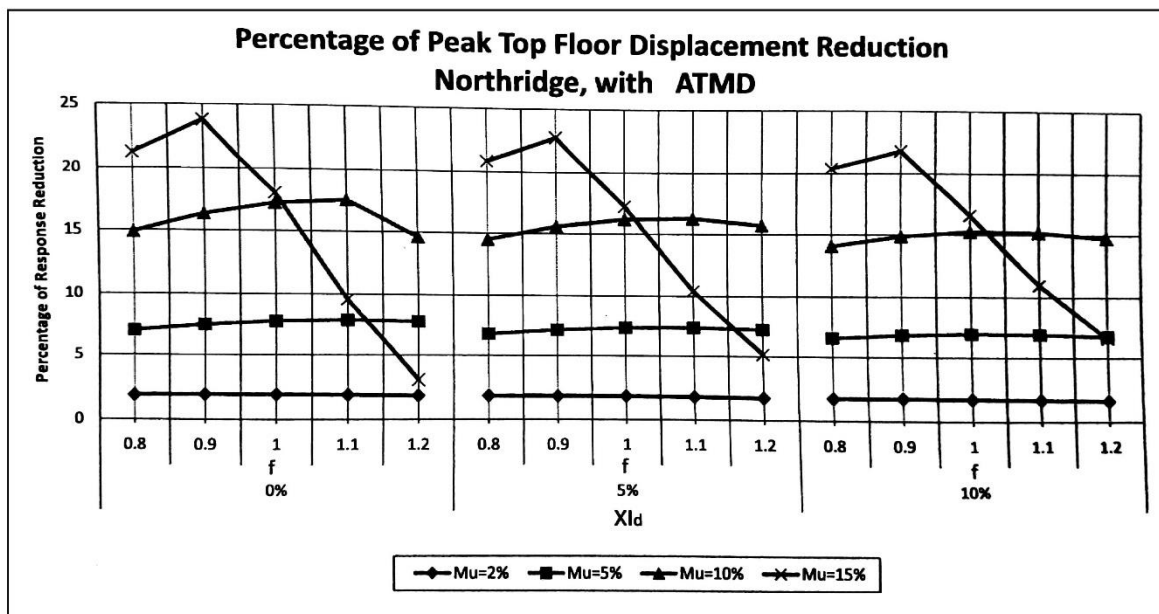
شکل ۴-۱۷- درصد کاهش پاسخ RMS جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط ATMD در زمین لرزه El Centro



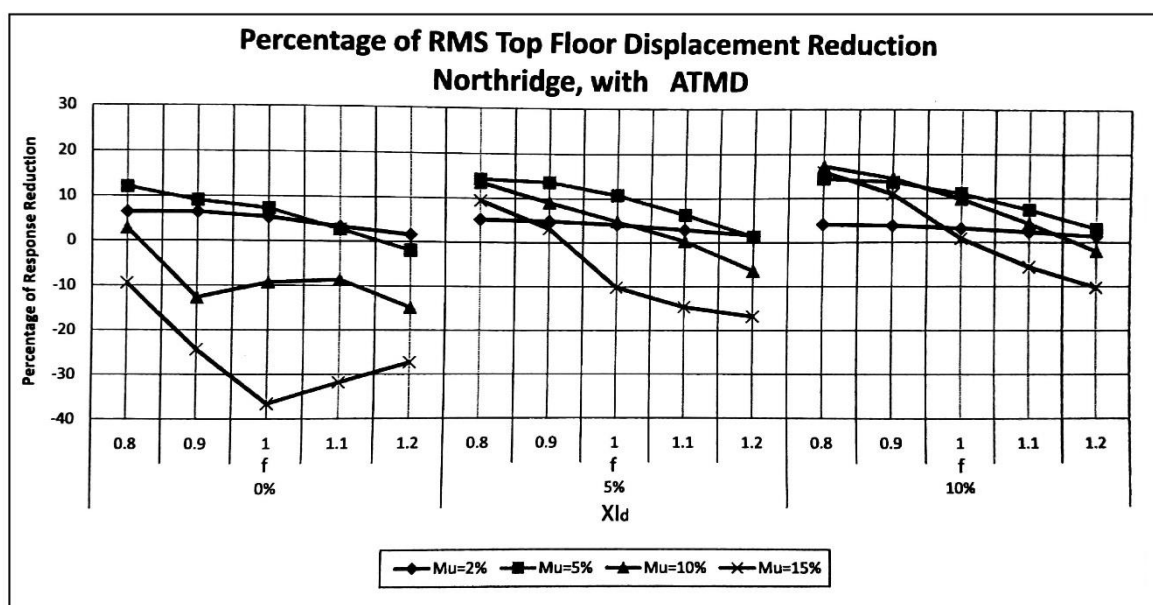
شکل ۴-۱۸- درصد کاهش پاسخ اوج جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط ATMD در زمین لرزه Hachinohe



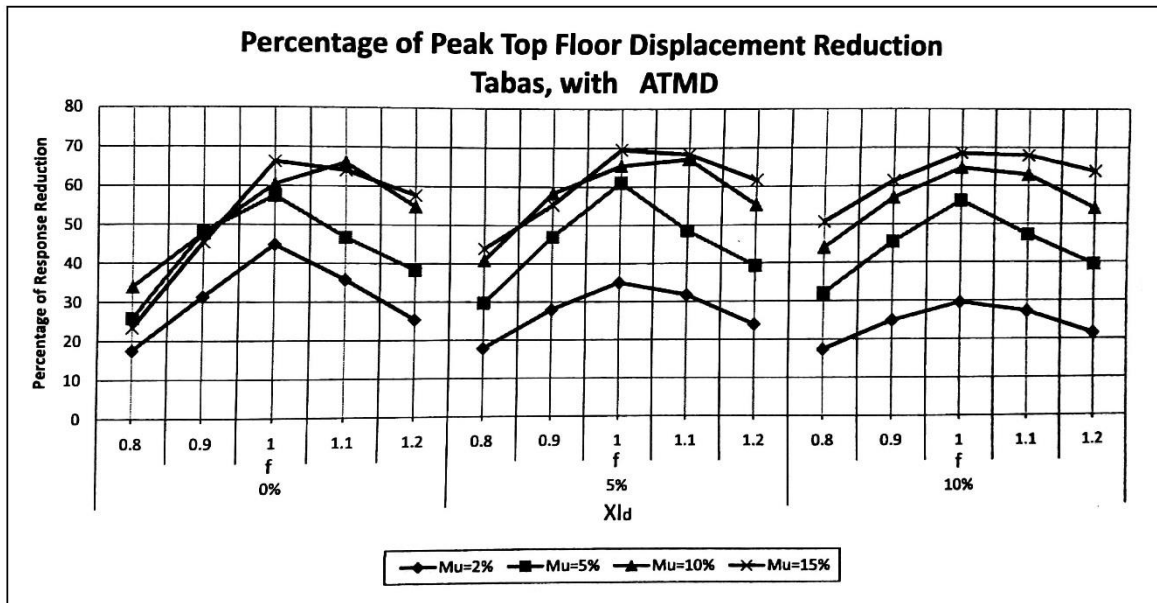
شکل ۴-۱۹- درصد کاهش پاسخ RMS جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط ATMD در زمین لرزه Hachinohe



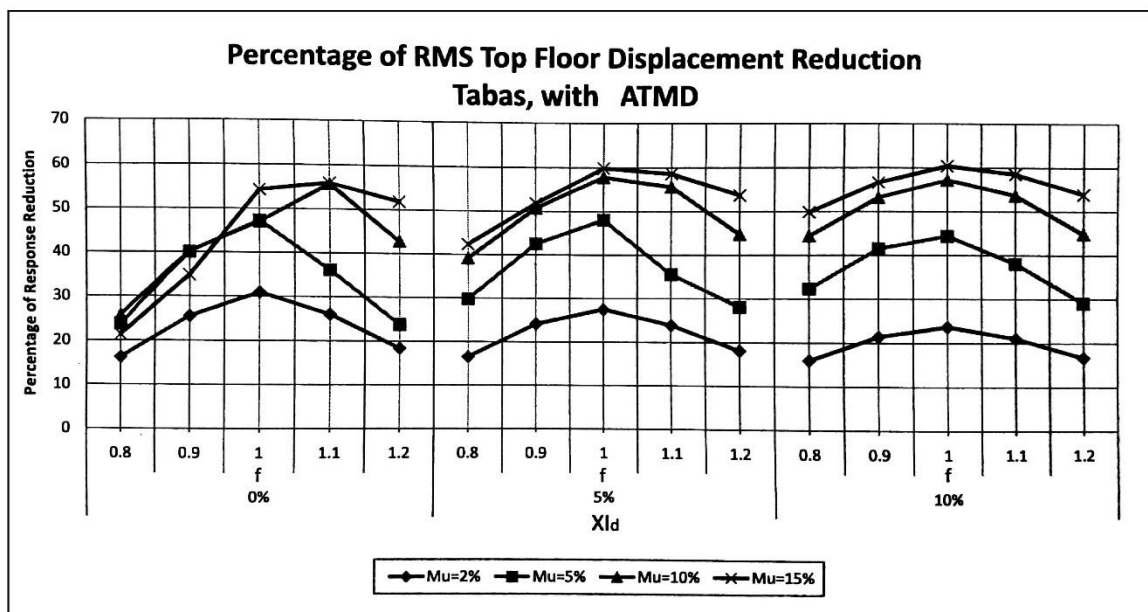
شکل ۴-۲۰- درصد کاهش پاسخ اوج جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط ATMD در زمین لرزه Northridge



شکل ۴-۲۱- درصد کاهش پاسخ RMS جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط ATMD در زمین لرزه Northridge



شکل ۴-۲۲- درصد کاهش پاسخ اوج جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط ATMD در زمین لرزه طبس



شکل ۴-۲۳- درصد کاهش پاسخ RMS جابه جایی طبقه بام در سازه کنترل شده توسط ATMD در زمین لرزه طبس

۴-۳- مقایسه روش های کنترلی

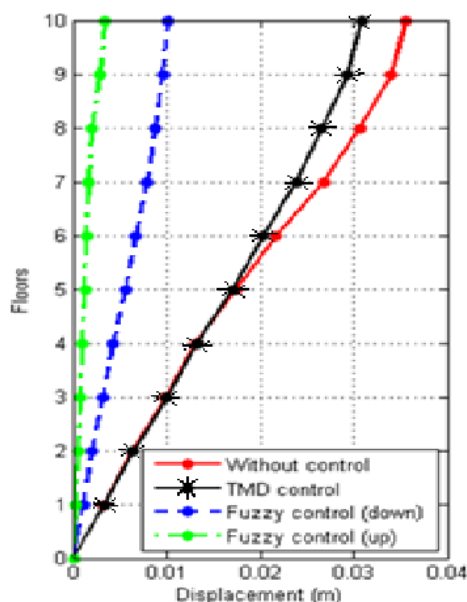
تاثیر پارامترهای میراگرهای جرمی بر پاسخ جابه جایی سازه کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم شده غیرفعال و فعال تحت تحریکات چهارزمین لرزه بررسی و نشان داده شد. حال رفتار سازه کنترل

نشده و کنترل شده توسط میراگر جرمی تنظیم شده غیرفعال و فعال را با یکدیگر مقایسه می کنیم. در میراگر جرمی فعال، نیروی کنترلی توسط میراگر فعال به میراگر جرمی اعمال می شود و برای کنترل نیروی ورودی میراگر فعال از کنترل فازی استفاده شده است در نتیجه مقایسه پاسخ های میراگرهای جرمی غیرفعال و فعال می تواند نشان دهنده تاثیر کنترل فازی میراگر فعال بر روی عملکرد میراگر جرمی باشد. در بحث کنترل سیستم های سازه ای معیارهای عملکرد (ارزیابی) کنترل کننده ها که در فصل قبل به آن ها اشاره شد میزان کارایی کنترل کننده در کاهش پاسخ های سیستم را نشان می دهند.

مقایسه معیارهای عملکرد کنترل کننده های مختلف روش مناسبی برای انتخاب روش کنترلی مطلوب می باشد. معیارهای عملکرد سیستم های میراگر جرمی تنظیم شده غیرفعال (TMD) و فعال با نسبت فرکانسی ۱ محاسبه و در جدول ۴-۱ و جدول ۴-۲ آورده شده و در هر گروه نسبت میرایی و نسبت جرمی معیار عملکرد کوچکتر مشخص شده است.

هم چنین در جدول ۴-۱ و جدول ۴-۲ معیارهای عملکرد میراگر جرمی تنظیم شده غیرفعال با معیارهای عملکرد میراگر جرمی تنظیم شده فعال به ترتیب در زمین لرزه های حوزه دور و حوزه نزدیک در نسبت های جرمی ۰.۲٪ و ۰.۵٪ مقایسه شده است. در نسبت جرمی ۰.۲٪ و نسبت میرایی ۰.۱٪ میراگر جرمی تنظیم شده فعال در زمین لرزه های El Centro، Hachinohe و Northridge نسبت به میراگر جرمی غیرفعال در کاهش پاسخ های RMS و در زمین لرزه طبس در کاهش تمامی پاسخ ها عملکرد مطلوب تری نشان می دهد. در این نسبت جرمی و در نسبت های میرایی ۰.۵٪ و ۰.۱۰٪ میراگر جرمی تنظیم شده غیرفعال نسبت به میراگر جرمی فعال عملکرد بهتری دارد. نتایج مربوط به نسبت جرمی ۰.۵٪ نشان دهنده عملکرد بهتر میراگر جرمی تنظیم شده فعال نسبت به میراگر جرمی غیرفعال در نسبت میرایی ۰.۱٪ است. در این نسبت جرمی و نسبت میرایی ۰.۵٪ در زمین لرزه های حوزه دور عملکرد میراگر جرمی غیرفعال نسبت به میراگر جرمی فعال و در زمین لرزه های حوزه نزدیک عملکرد میراگر جرمی فعال نسبت به میراگر جرمی غیرفعال بهتر است. در نسبت میرایی ۰.۱۰٪ میراگر جرمی غیرفعال عملکرد بهتری نشان می دهد. مقایسه

معیارهای عملکرد میراگر جرمی فعال در این دو نسبت جرمی نشان دهنده عملکرد بهتر آن در نسبت جرمی ۵٪ است.



شکل ۴-۲۴- نمودار جابجایی طبقات

در بحث کنترل سازه ها توسط میراگرهای جرمی تنظیم شده یکی از محدودیت های طراحی فضای اشغال شده توسط میراگر جرمی در سازه می باشد. معیارهای عملکرد J_5 و J_{10} به ترتیب نسبت جا به جایی RMS میراگر جرمی تنظیم شده به پاسخ RMS جابه جایی سازه کنترل نشده و نسبت جا به جایی اوج میراگر جرمی تنظیم شده به پاسخ اوج جابه جایی سازه کنترل نشده در طبقه بام می باشد. مقایسه این معیارهای عملکرد در مورد میراگر جرمی تنظیم شده غیرفعال و فعال نشان می دهد که میراگر جرمی فعال نسبت به میراگر جرمی غیرفعال جا به جایی کمتری دارد. در نتیجه جا به جایی بیشتر میراگر جرمی نمی تواند موجب بهبود عملکرد آن باشد.

در شکل ۴-۲۰ تا شکل ۴-۳۱ پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی با نسبت جرمی ۲٪ و ۵٪ و در سه نسبت میرایی ۰٪، ۵٪ و ۱۰٪ در نسبت فرکانسی ۱ نشان داده شده اند.

در شکل ۴-۲۵ تا شکل ۴-۲۷ مشاهده می شود که در زمین لرزه El Centro میراگر جرمی تنظیم شده فعال با نسبت میرایی ۰.۹٪ و نسبت جرمی ۰.۲٪ در کاهش پاسخ اوج نسبت به میراگر جرمی غیرفعال عملکرد پایین تر اما در کاهش پاسخ RMS عملکرد بالاتری دارد و در نسبت جرمی ۰.۵٪ میراگر جرمی فعال نسبت به میراگر جرمی غیرفعال عملکرد مطلوب تری نشان می دهد. در نسبت های میرایی بالاتر میراگرهای غیرفعال عملکرد بهتری در کاهش پاسخ ها نشان می دهند. با افزایش نسبت میرایی عملکرد میراگرهای جرمی فعال کاهش پیدا کرده است. نتایج مربوط به زمین لرزه Hachinohe شکل ۴-۲۸ تا شکل ۴-۳۰ نشان دهنده این است که در نسبت میرایی ۰.۰٪ میراگرهای جرمی فعال در کاهش پاسخ های RMS و میراگرهای جرمی غیرفعال در کاهش پاسخ های اوج عملکرد بهتری دارند. میراگرهای جرمی غیرفعال در کاهش پاسخ های RMS عملکرد منفی نشان می دهند یعنی باعث افزایش در پاسخ سازه شده اند. با افزایش نسبت میرایی عملکرد میراگرهای جرمی غیرفعال بهبود یافته و در مقایسه با میراگرهای جرمی فعال عملکرد نسبتاً بهتری نشان می دهند. در این زمین لرزه با افزایش نسبت میرایی عملکرد میراگرهای جرمی فعال کاهش پیدا کرده است. نتایج مربوط به زمین لرزه Northridge در شکل ۴-۳۱ تا شکل ۴-۳۳ نشان داده شده است. در نسبت میرایی ۰.۰٪ میراگر جرمی فعال در کاهش پاسخ های RMS و میراگر جرمی غیرفعال در کاهش پاسخ های اوج عملکرد بهتری نشان می دهد. میراگرهای جرمی تنظیم شده غیرفعال در کاهش پاسخ های RMS عملکرد منفی نشان می دهند. در نسبت میرایی ۰.۵٪ و در نسبت جرمی ۰.۲٪ میراگر جرمی تنظیم شده غیرفعال در کاهش پاسخ ها نسبت به میراگر جرمی تنظیم شده فعال عملکرد بهتری نشان می دهد و در نسبت جرمی ۰.۵٪ میراگر جرمی فعال در کاهش پاسخ های RMS و میراگر جرمی غیرفعال در کاهش پاسخ های اوج عملکرد بهتری دارد. در نسبت میرایی ۰.۱۰٪ میراگر جرمی غیرفعال عملکرد بهتری نشان می دهد. در زمین لرزه طبس که نتایج آن در شکل ۴-۳۴ تا شکل ۴-۳۶ نشان داده شده است در نسبت میرایی ۰.۰٪ میراگرهای جرمی فعال عملکرد بهتری نشان می دهند. در نسبت میرایی ۰.۵٪ و نسبت میرایی ۰.۲٪ میراگر جرمی غیرفعال و در نسبت جرمی ۰.۵٪ میراگر جرمی

فعال عملکرد بهتری دارد. در نسبت میرایی ۱۰٪ میراگرهای جرمی غیرفعال عملکرد بهتری نشان می دهند.

جدول ۴-۱- معیارهای عملکرد میراگرهای جرمی تنظیم شده غیرفعال و فعال با نسبت های جرمی ۲٪ و ۵٪ در زمین

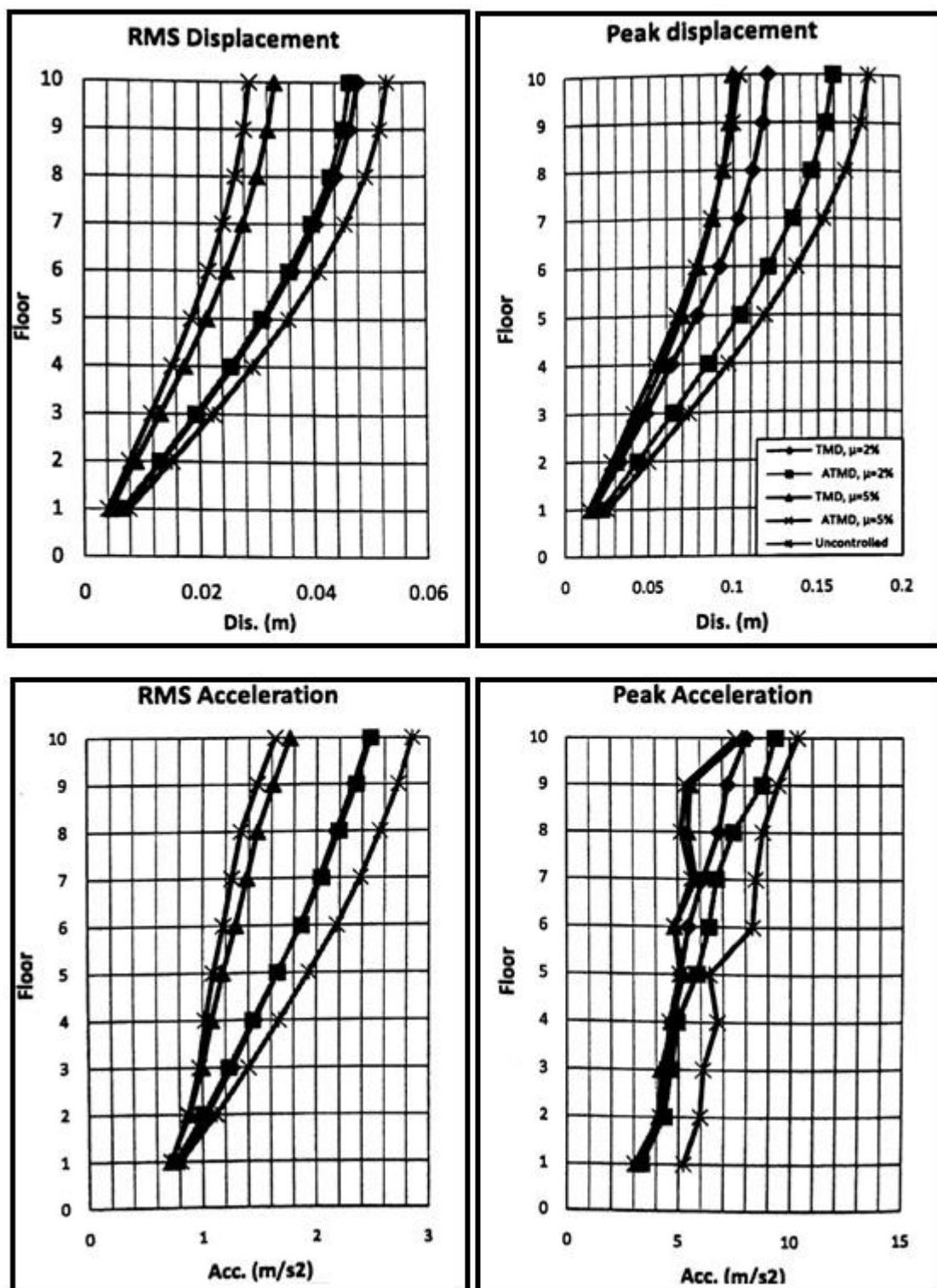
لرزه های El Centro و Hachinohe

			Xid											
			0%				5%				10%			
			Mu				Mu				Mu			
			2%		5%		2%		5%		2%		5%	
			TMD	ATMD	TMD	ATMD	TMD	ATMD	TMD	ATMD	TMD	ATMD	TMD	ATMD
Earthquake Record	El Centro	J1	0.854	0.860	0.612	0.566	0.653	0.889	0.521	0.598	0.686	0.909	0.537	0.633
		J2	0.086	0.086	0.061	0.056	0.066	0.089	0.052	0.060	0.069	0.091	0.054	0.063
		J3	0.895	0.868	0.622	0.538	0.631	0.901	0.484	0.578	0.664	0.924	0.499	0.623
		J4	0.088	0.086	0.061	0.053	0.063	0.090	0.047	0.057	0.066	0.092	0.049	0.061
		J5	7.035	1.181	3.069	1.716	3.884	0.829	2.175	1.375	2.741	0.600	1.745	1.158
		J6	0.766	0.887	0.749	0.720	0.761	0.912	0.738	0.719	0.758	0.925	0.730	0.719
		J7	0.081	0.091	0.073	0.071	0.078	0.093	0.072	0.073	0.079	0.093	0.072	0.074
		J8	0.668	0.883	0.552	0.573	0.589	0.914	0.530	0.597	0.667	0.931	0.549	0.623
		J9	0.067	0.088	0.057	0.056	0.060	0.091	0.051	0.060	0.066	0.093	0.054	0.063
		J10	6.050	1.506	2.891	1.831	3.774	1.010	2.134	1.445	2.700	0.768	1.685	1.218
	Hachinohe	J1	1.042	0.961	1.036	0.757	0.802	0.976	0.772	0.776	0.799	0.984	0.722	0.799
		J2	0.103	0.096	0.103	0.076	0.081	0.098	0.077	0.078	0.080	0.098	0.073	0.080
		J3	1.117	0.981	1.185	0.805	0.828	0.998	0.861	0.818	0.814	1.006	0.779	0.840
		J4	0.110	0.098	0.116	0.079	0.082	0.099	0.084	0.081	0.081	0.100	0.076	0.083
		J5	7.463	0.502	4.650	2.005	4.159	0.313	3.066	1.598	2.976	0.244	2.338	1.316
		J6	0.904	0.983	0.822	0.933	0.927	0.983	0.853	0.937	0.940	0.984	0.872	0.940
		J7	0.091	0.098	0.084	0.093	0.093	0.099	0.086	0.093	0.094	0.099	0.088	0.093
		J8	0.910	1.008	0.901	0.956	0.918	1.009	0.838	0.964	0.937	1.010	0.869	0.971
		J9	0.093	0.100	0.091	0.094	0.091	0.100	0.082	0.095	0.093	0.100	0.085	0.096
		J10	5.691	0.510	3.401	2.025	3.590	0.319	2.492	1.586	2.651	0.248	2.005	1.330

جدول ۴-۲- معیارهای عملکرد میراگرهای جرمی تنظیم شده غیرفعال و فعال با نسبت های جرمی ۲٪ و ۵٪ در زمین

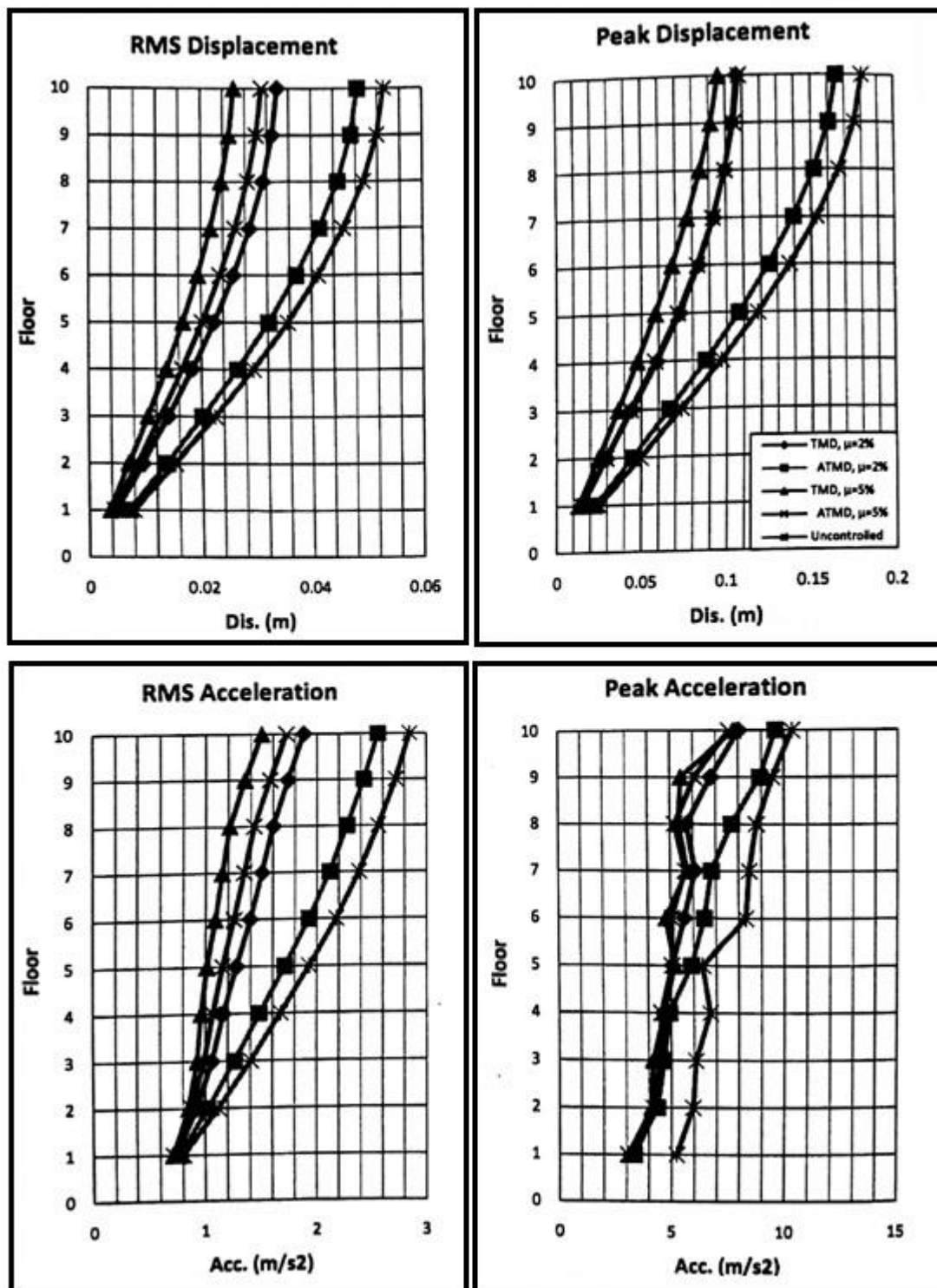
لرزه های طبس و Northridge

		Xid												
		0%				5%				10%				
		Mu				Mu				Mu				
		2%		5%		2%		5%		2%		5%		
		TMD	ATMD	TMD	ATMD	TMD	ATMD	TMD	ATMD	TMD	ATMD	TMD	ATMD	
Earthquake Record	Northridge	J1	1.182	0.949	1.238	0.922	0.955	0.952	0.923	0.892	0.922	0.954	0.874	0.881
		J2	0.117	0.095	0.124	0.093	0.096	0.095	0.093	0.090	0.093	0.096	0.088	0.089
		J3	1.304	0.947	1.364	0.927	0.949	0.959	0.944	0.892	0.899	0.969	0.873	0.889
		J4	0.130	0.094	0.137	0.092	0.095	0.095	0.094	0.088	0.090	0.096	0.086	0.088
		J5	7.782	1.427	5.892	2.530	4.066	1.127	3.158	1.876	2.821	0.936	2.306	1.531
		J6	0.980	0.982	0.949	0.945	0.976	0.982	0.941	0.941	0.974	0.981	0.936	0.938
		J7	0.097	0.098	0.094	0.095	0.097	0.098	0.093	0.095	0.097	0.098	0.093	0.095
		J8	0.961	0.981	0.902	0.922	0.962	0.982	0.907	0.927	0.964	0.983	0.912	0.930
		J9	0.096	0.098	0.091	0.093	0.096	0.098	0.090	0.093	0.096	0.098	0.091	0.093
		J10	4.006	1.284	2.905	2.070	2.586	1.006	2.249	1.640	2.050	0.806	1.802	1.343
	Tabas	J1	0.907	0.734	0.791	0.631	0.699	0.757	0.608	0.598	0.709	0.786	0.585	0.614
		J2	0.092	0.074	0.082	0.064	0.070	0.076	0.062	0.060	0.071	0.079	0.059	0.062
		J3	0.888	0.695	0.675	0.527	0.641	0.725	0.506	0.519	0.660	0.763	0.504	0.556
		J4	0.089	0.069	0.069	0.053	0.064	0.072	0.051	0.052	0.066	0.076	0.050	0.055
		J5	7.088	2.733	3.398	2.332	3.773	2.029	2.232	1.712	2.649	1.699	1.731	1.404
		J6	0.847	0.645	0.708	0.618	0.586	0.762	0.587	0.510	0.663	0.764	0.492	0.537
		J7	0.090	0.069	0.075	0.064	0.064	0.076	0.062	0.056	0.070	0.079	0.055	0.058
		J8	0.809	0.555	0.526	0.425	0.476	0.647	0.411	0.389	0.574	0.703	0.378	0.438
		J9	0.082	0.055	0.054	0.044	0.047	0.064	0.042	0.040	0.057	0.069	0.038	0.045
		J10	4.341	2.489	2.611	1.704	2.841	1.838	1.557	1.440	2.151	1.638	1.341	1.282



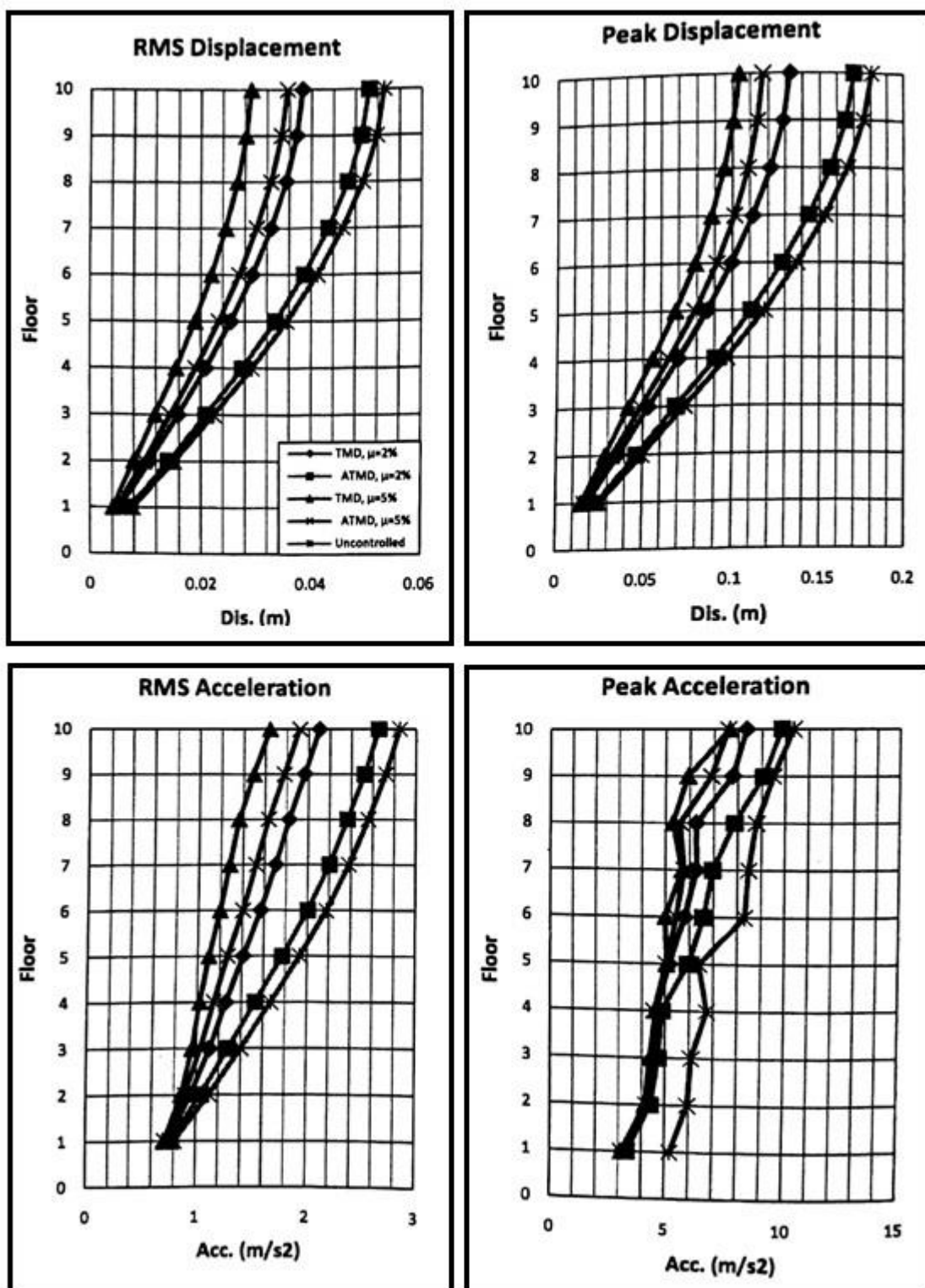
شکل ۴-۲۵- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم

شده با نسبت های جرمی ۲٪ و ۵٪ و نسبت میرایی ۰٪ در زمین لرزه El Centro



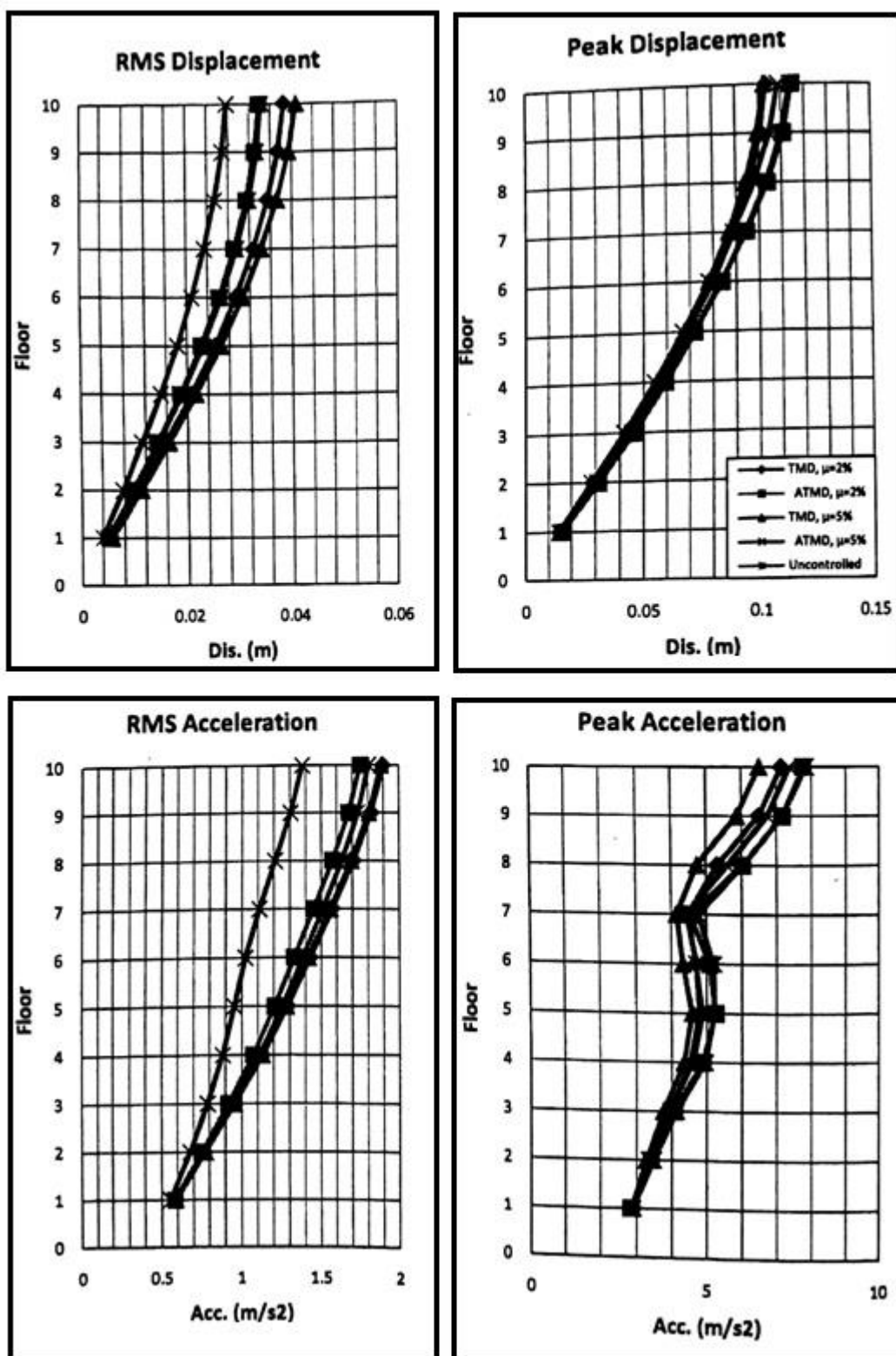
شکل ۴-۲۶- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم

شده با نسبت های جرمی ۲٪ و ۵٪ و نسبت میرایی ۵٪ در زمین لرزه El Centro



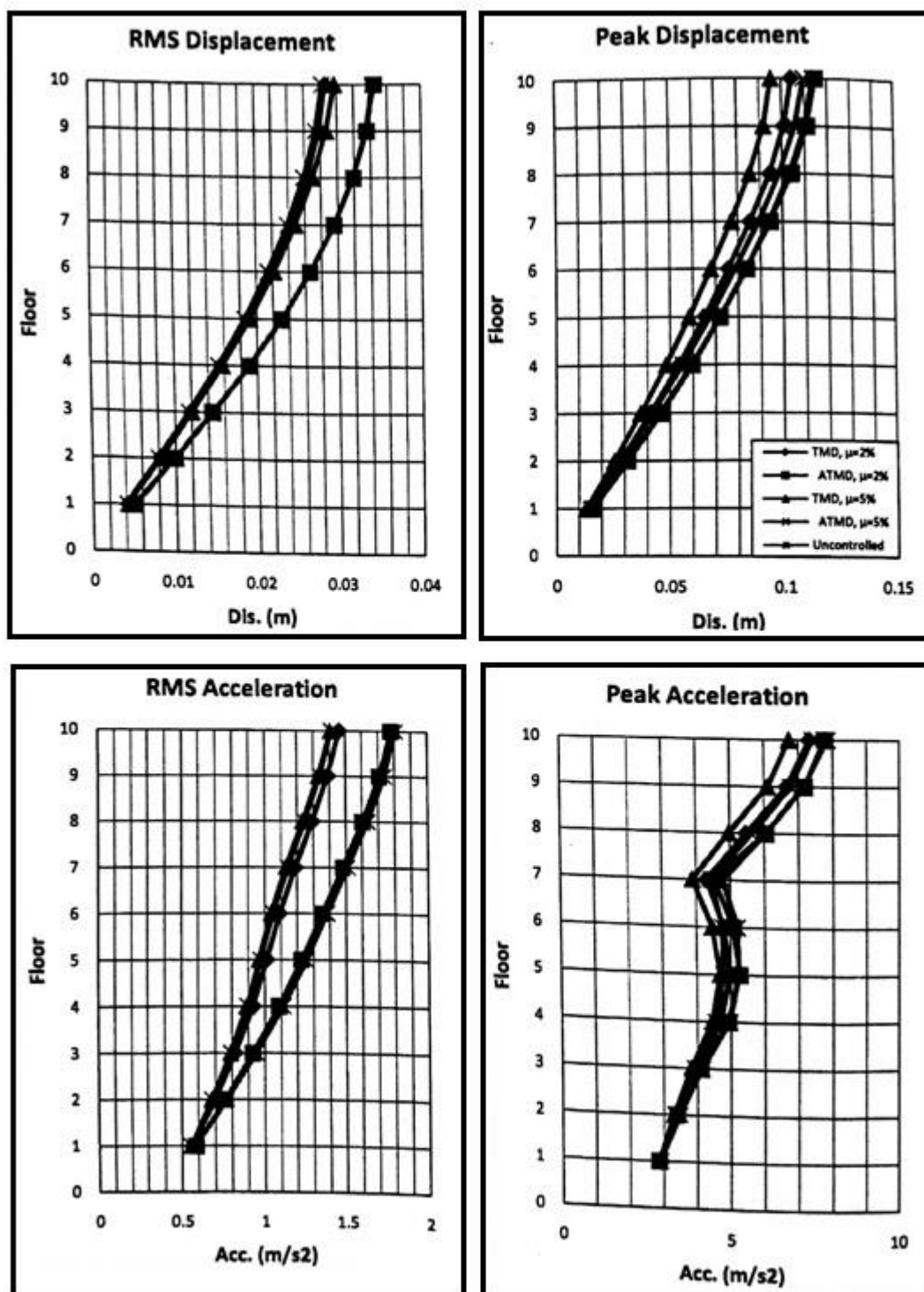
شکل ۴- ۲۷- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم

شده با نسبت های جرمی ۲٪ و ۵٪ و نسبت میرایی ۱۰٪ در زمین لرزه El Centro



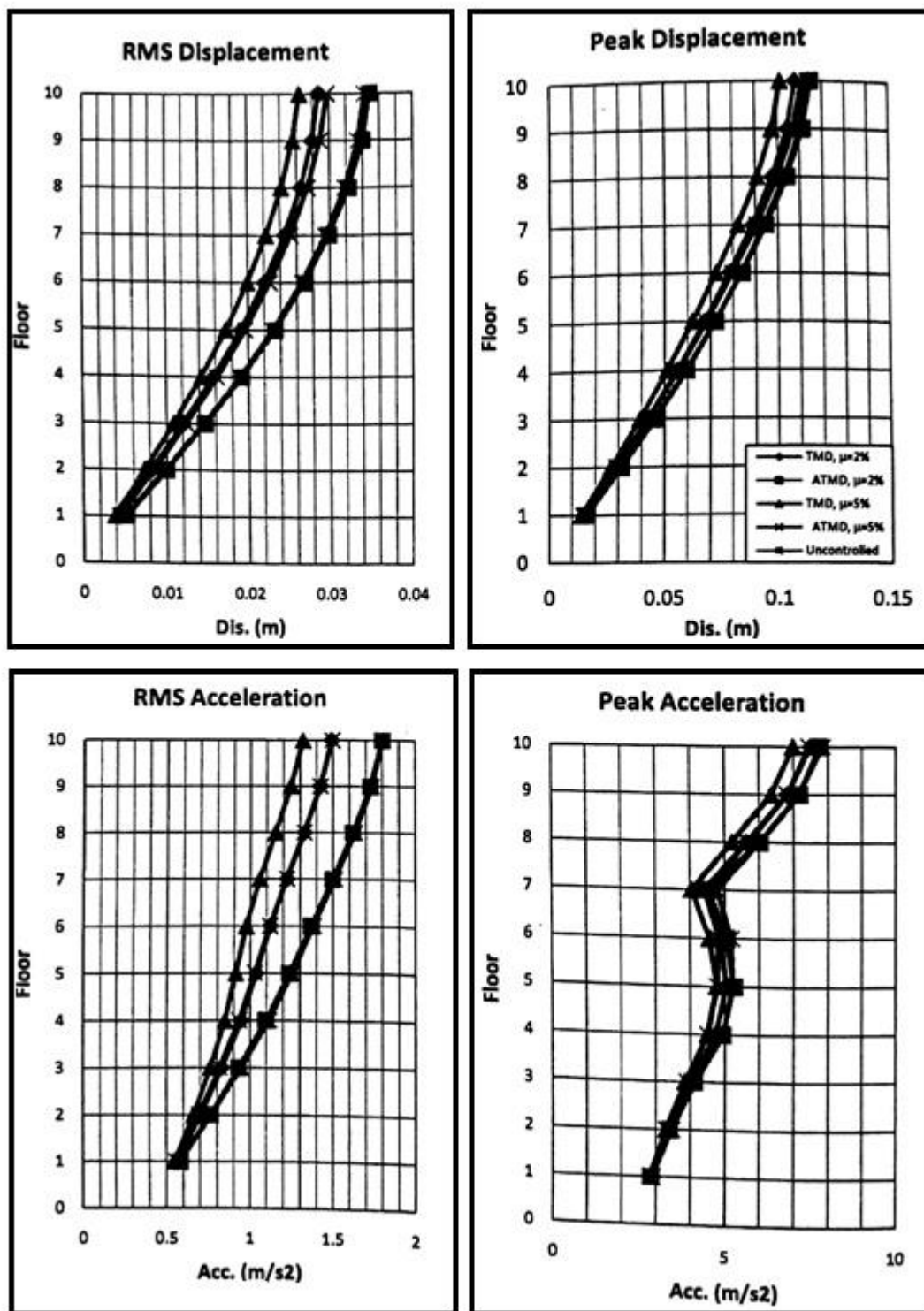
شکل ۴-۲۸- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم

شده با نسبت های جرمی ۲٪ و ۵٪ و نسبت میرایی ۰٪ در زمین لرزه Hachinohe



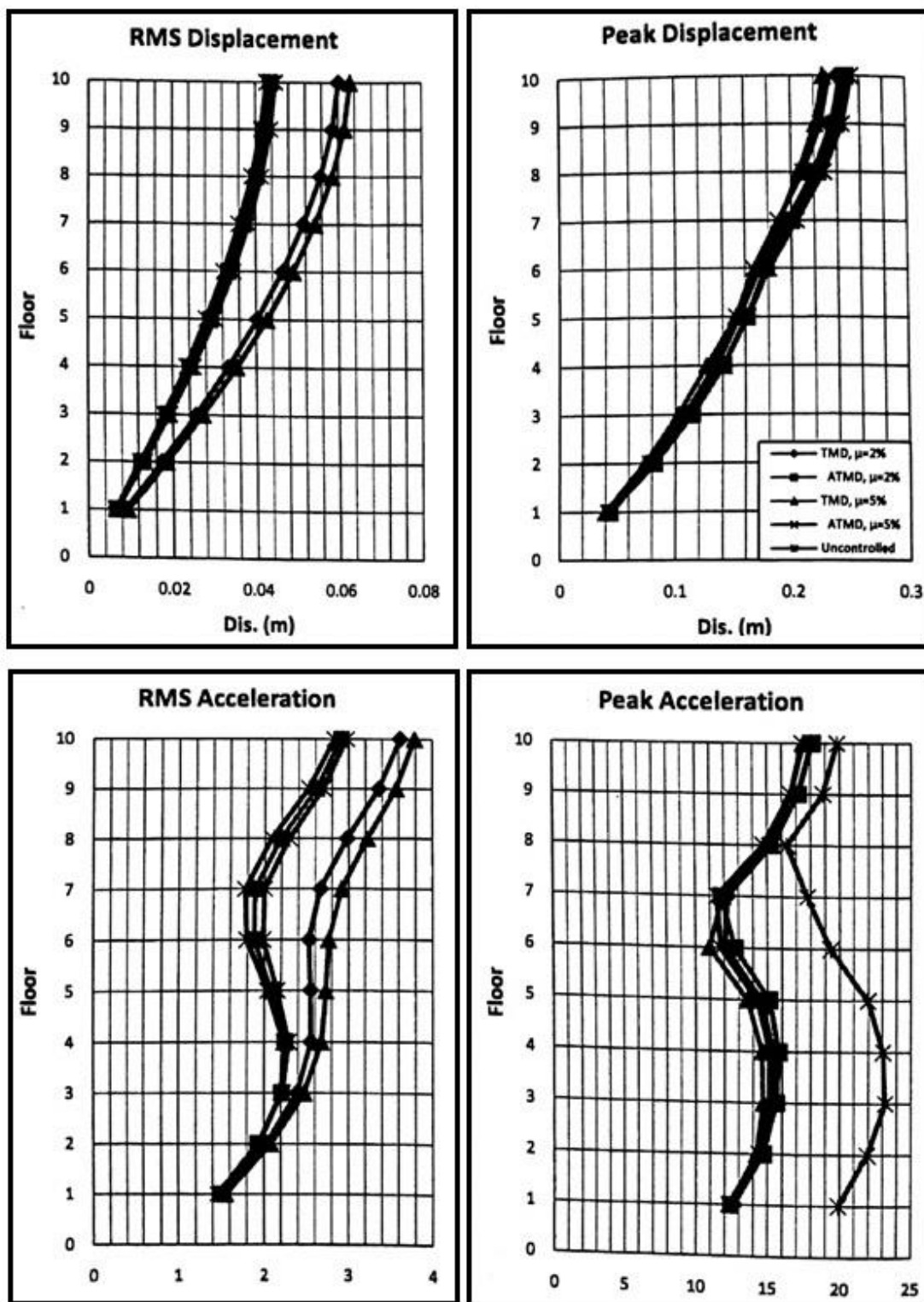
شکل ۴-۲۹- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم

شده با نسبت های جرمی ۲٪ و ۵٪ و نسبت میرایی ۵٪ در زمین لرزه Hachinohe



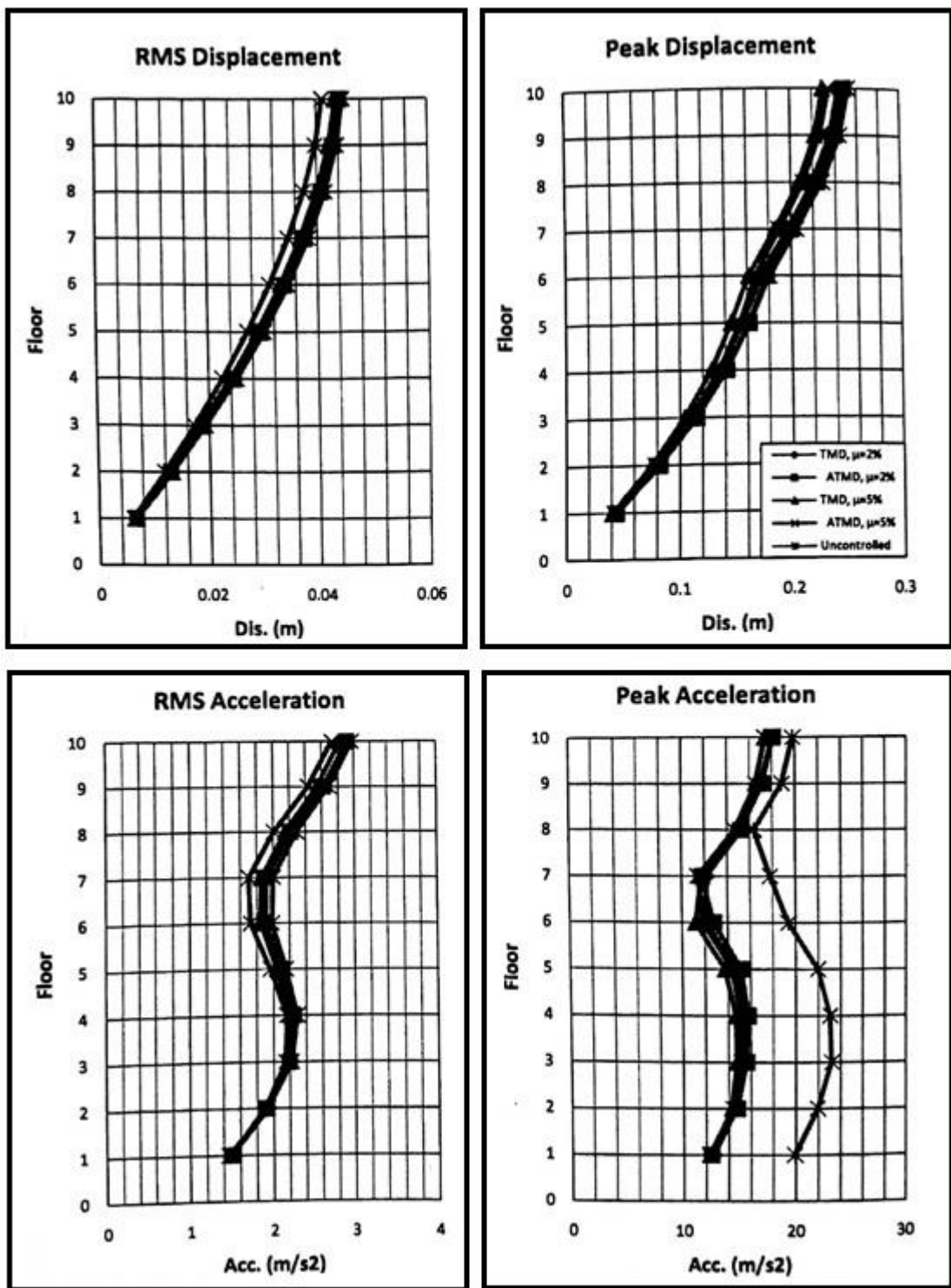
شکل ۴-۳۰- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم

شده با نسبت های جرمی ۲٪ و ۵٪ و نسبت میرایی ۱۰٪ در زمین لرزه Hachinohe



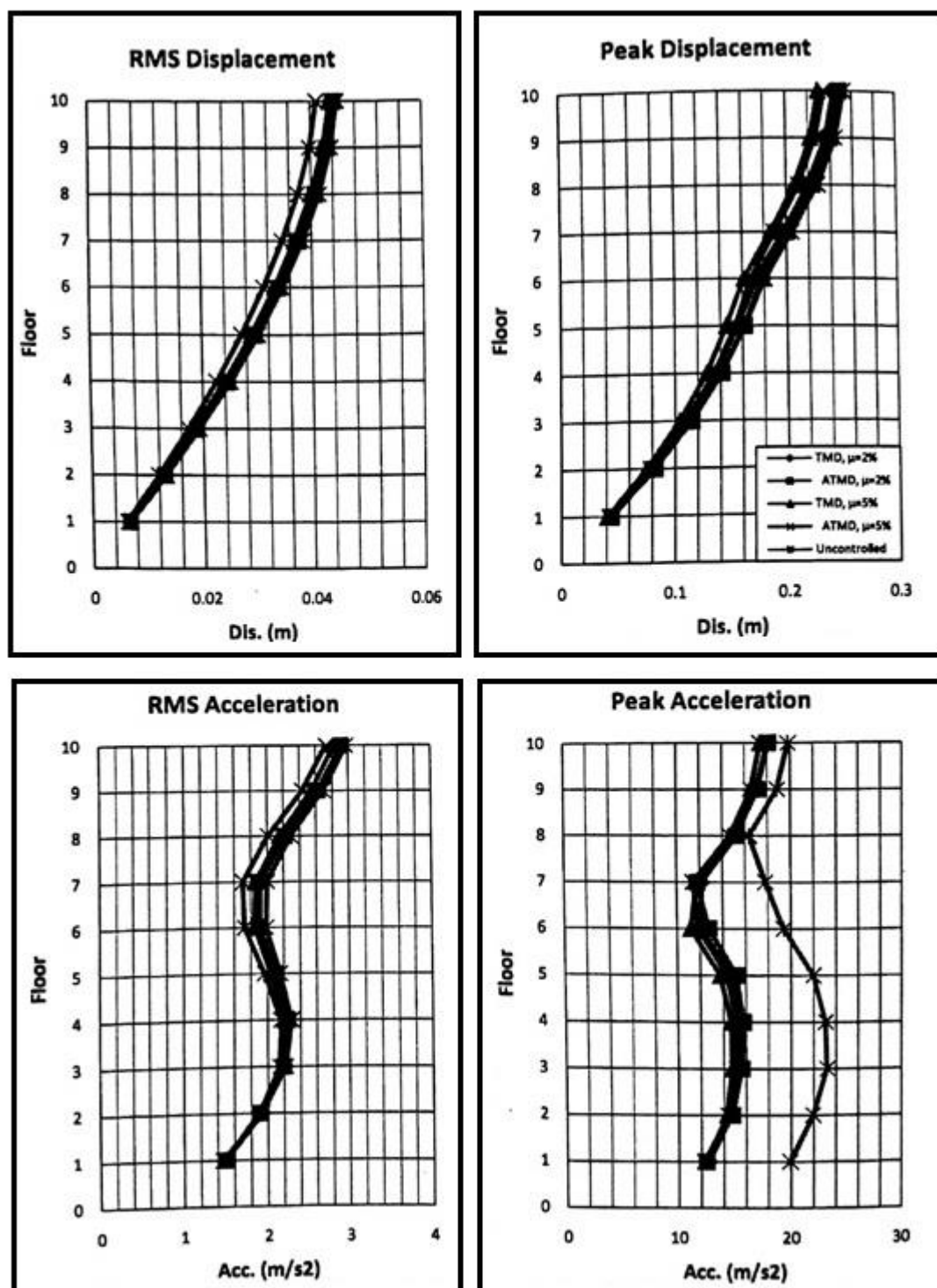
شکل ۴-۳۱- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم

شده با نسبت های جرمی ۲٪ و ۵٪ و نسبت میرایی ۰٪ در زمین لرزه Northridge



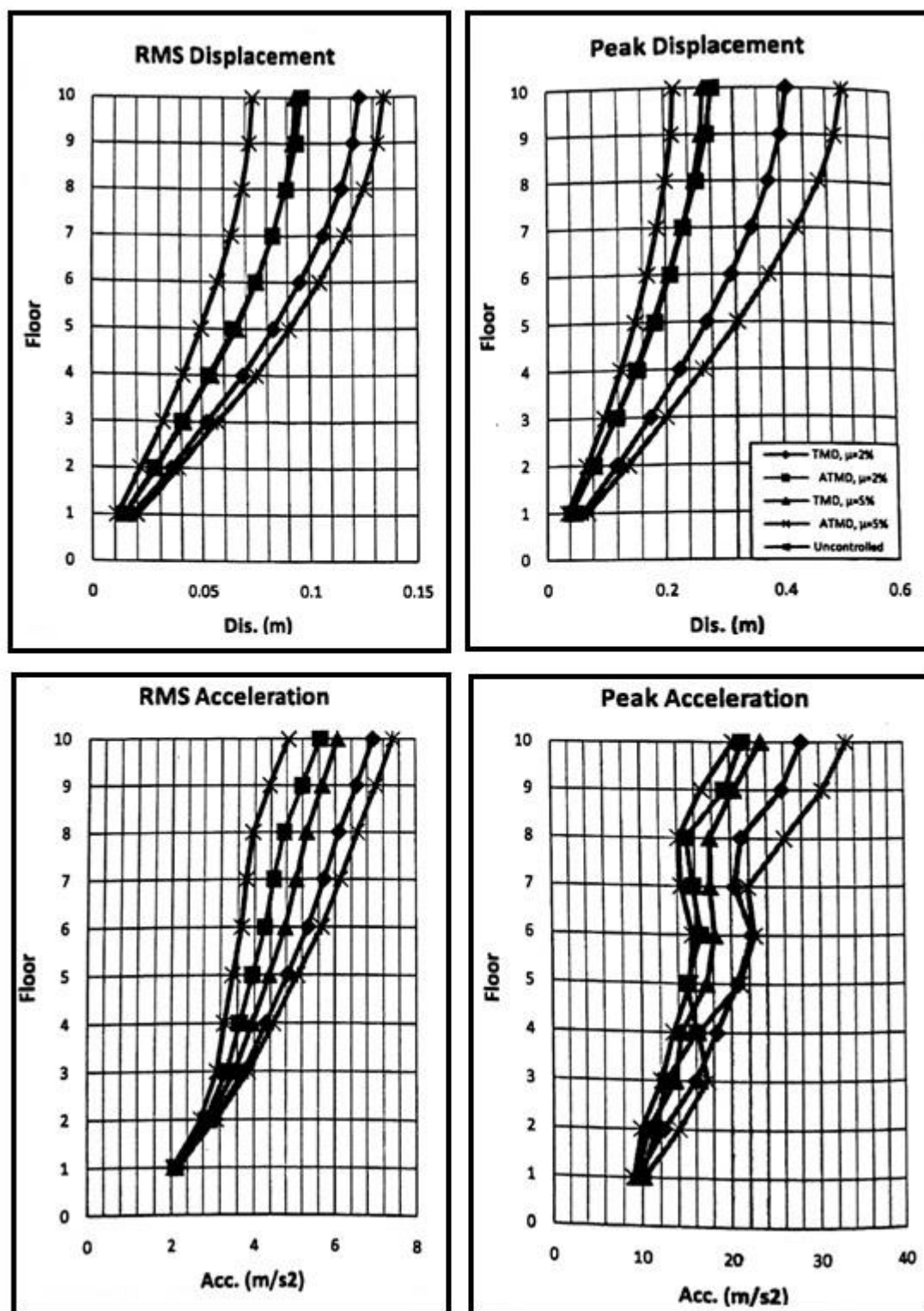
شکل ۴-۳۲- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم

شده با نسبت های جرمی ۲٪ و ۵٪ و نسبت میرایی ۵٪ در زمین لرزه Northridge



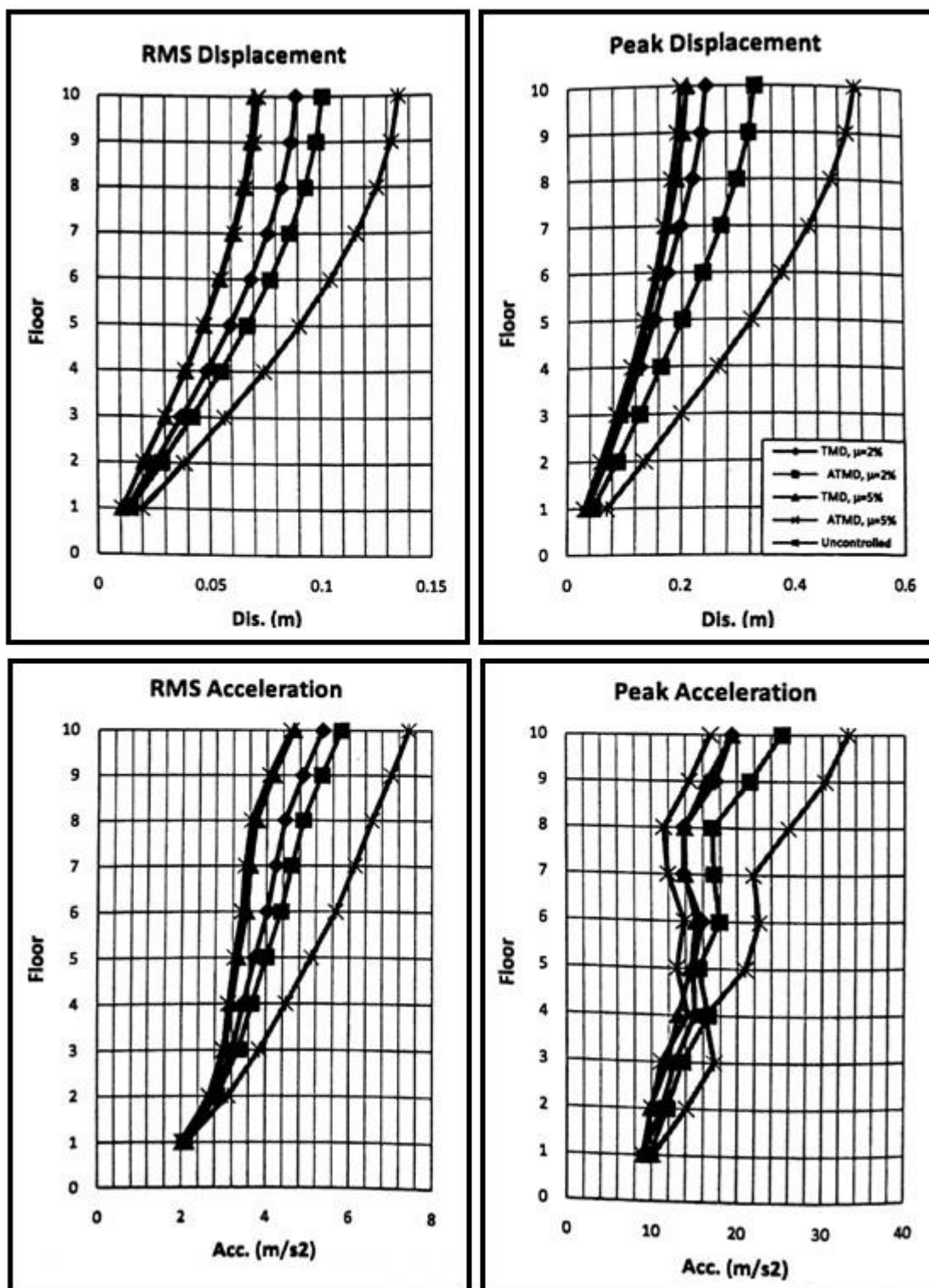
شکل ۴-۳۳- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم

شده با نسبت های جرمی ۲٪ و ۵٪ و نسبت میرایی ۱۰٪ در زمین لرزه Northridge



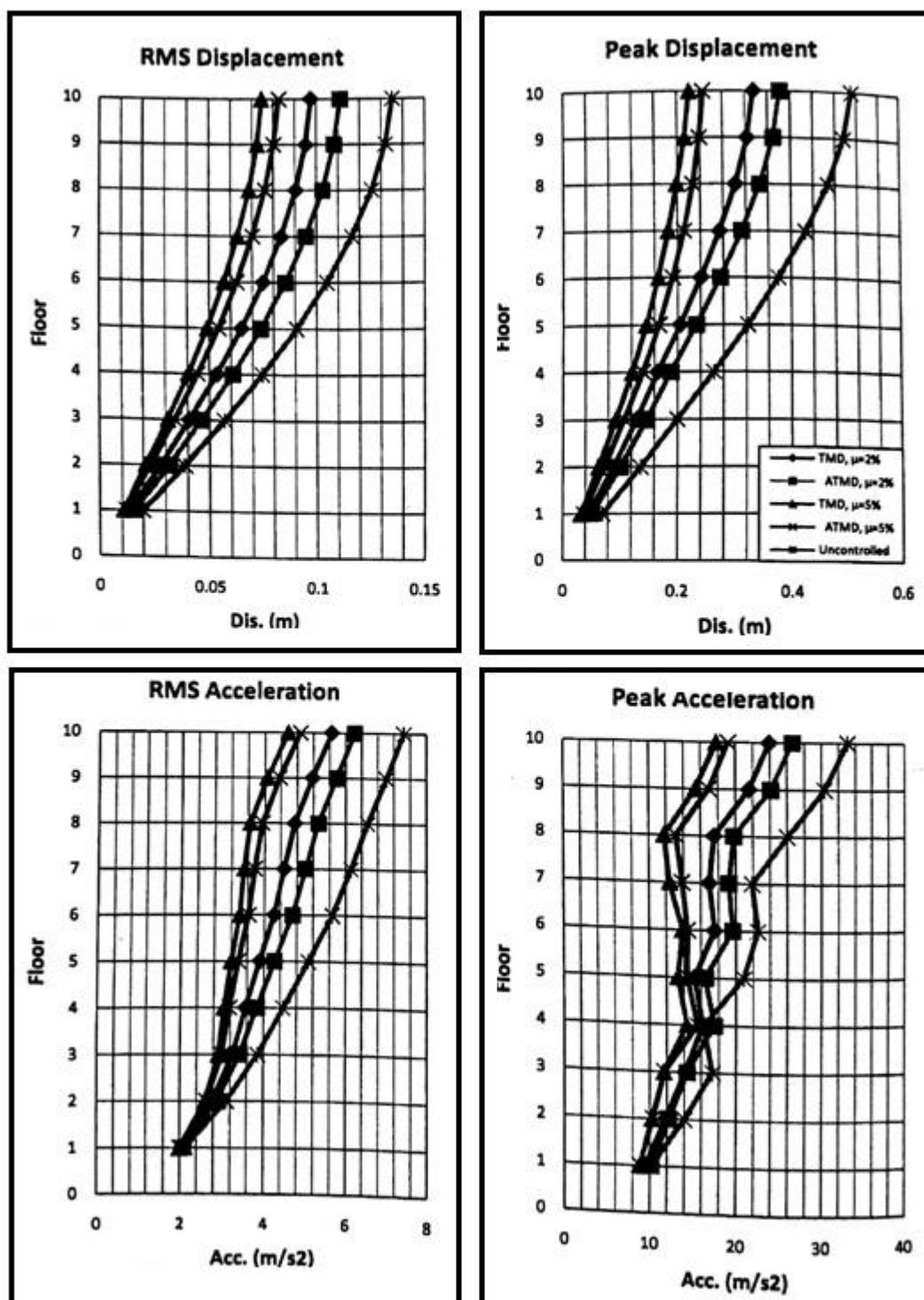
شکل ۴-۳۴. پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم

شده با نسبت های جرمی ۲٪ و ۵٪ و نسبت میرایی ۰٪ در زمین لرزه طبس



شکل ۴-۳۵- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم

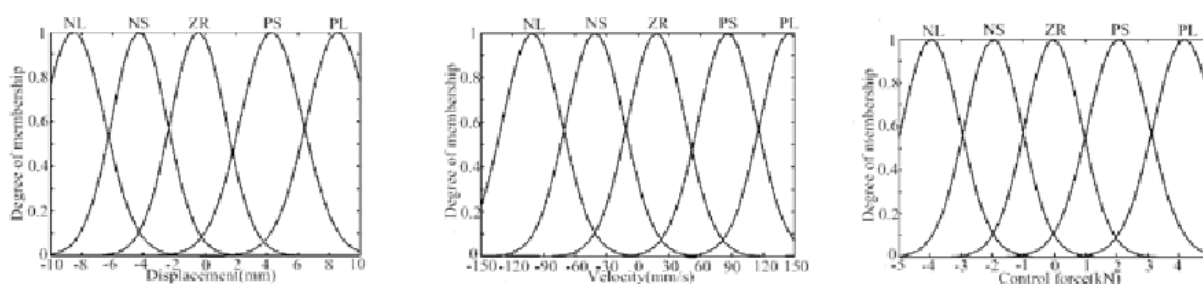
شده با نسبت های جرمی ۲٪ و ۵٪ و نسبت میرایی ۵٪ در زمین لرزه طیس



شکل ۴-۳۶. پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم

شده با نسبت های جرمی ۲٪ و ۵٪ و نسبت میرایی ۱۰٪ در زمین لرزه طیس

در جدول ۴-۳ و جدول ۴-۴ معیارهای عملکرد میراگرهای جرمی تنظیم شده غیرفعال و فعال با نسبت های جرمی ۱۰٪ و ۱۵٪ به ترتیب در زمین لرزه های حوزه دور و حوزه نزدیک مقایسه شده است. در این زمین لرزه ها در نسبت میرایی ۰٪ میراگر جرمی فعال در مقایسه با میراگر جرمی غیرفعال عملکرد بهتری دارد. در نسبت میرایی ۵٪ در زمین لرزه El Centro و طبس میراگر جرمی فعال نسبت به میراگر جرمی غیرفعال عملکرد مطلوب تر و در زمین لرزه های Hachinohe و Northridge میراگر جرمی فعال در کاهش پاسخ های RMS و میراگر جرمی غیرفعال در کاهش پاسخ های اوج عملکرد مطلوب تری نسبت به دیگری دارند. در نسبت میرایی ۱۰٪ و در نسبت جرمی ۱۰٪ در زمین لرزه El Centro میراگر جرمی فعال در کاهش پاسخ های اوج شتاب عملکرد مطلوب تر و در نسبت جرمی ۱۵٪ در مقایسه با میراگر جرمی غیرفعال نسبتا عملکرد مطلوب تری دارد. در این نسبت میرایی در زمین لرزه Hachinohe میراگرهای جرمی فعال در کاهش پاسخ های RMS جابه جایی عملکرد مطلوب تر و در زمین لرزه Northridge میراگر جرمی فعال در کاهش پاسخ های RMS و میراگر جرمی غیرفعال در کاهش پاسخ های اوج عملکرد مطلوب تری دارند. هم چنین در زمین لرزه طبس میراگر جرمی فعال در کاهش پاسخ های شتاب مطلق سازه تاثیر مطلوب تری دارد.



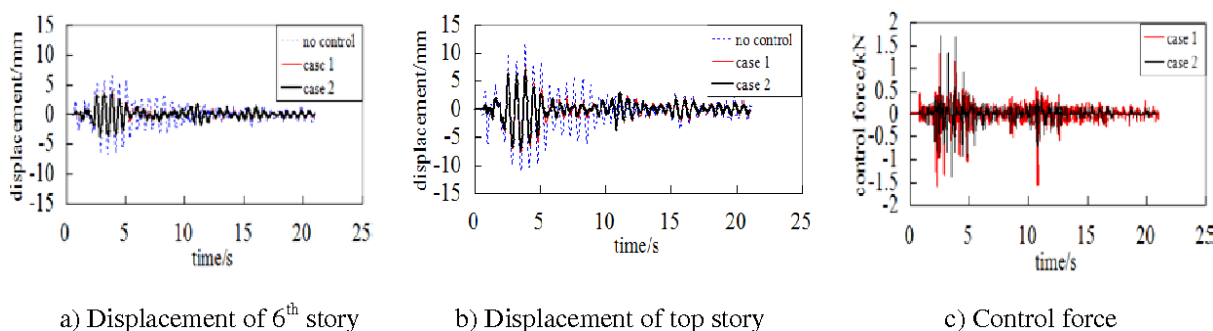
شکل ۴-۳۷- توابع عضویت متغیرهای ورودی و متغیر خروجی

در شکل ۴-۳۹ تا شکل ۴-۴۹ پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی با نسبت جرمی ۱۰٪ و ۱۵٪ در سه نسبت میرایی ۰٪، ۵٪ و ۱۰٪ در نسبت فرکانسی ۱ نشان داده شده اند.

در شکل ۴-۳۹ تا ۴-۴۲ نتایج پاسخ های سازه در زمین لرزه El Centro نشان داده شده است. در نسبت های میرایی ۰٪ و ۵٪ میراگرهای جرمی فعال نسبت به میراگرهای جرمی غیرفعال عملکرد بالاتری دارند. در نسبت میرایی ۱۰٪ و نسبت جرمی ۱۰٪ میراگر جرمی فعال تنها در کاهش پاسخ های اوج شتاب مطلق طبقات نسبت به میراگر جرمی غیرفعال عملکرد بالاتری دارد و در نسبت جرمی ۱۵٪ میراگر جرمی تنظیم شده فعال عملکرد مطلوب تری را نشان می دهد.

در شکل ۴-۴۳ تا شکل ۴-۴۴ پاسخ های سازه در زمین لرزه Hachinohe نشان داده شده است. در نسبت میرایی ۰٪ میراگرهای جرمی فعال نسبت به میراگرهای جرمی غیرفعال عملکرد مطلوب تری نشان می دهند. در این نسبت میرایی میراگر جرمی فعال با نسبت جرمی ۱۰٪ در کاهش پاسخ های RMS جابه جایی و میراگر جرمی فعال با نسبت جرمی ۱۵٪ در کاهش پاسخ های اوج جابه جایی بهترین عملکرد را نشان می دهند. میراگرهای جرمی فعال نسبت به میراگرهای جرمی غیرفعال در کاهش پاسخ های شتاب مطلق سازه عملکرد مطلوب تری دارد. با افزایش نسبت میرایی میراگرهای جرمی غیرفعال عملکرد بهتری در کاهش پاسخ های اوج نشان می دهند اما در کاهش پاسخ های RMS میراگرهای جرمی فعال عملکرد بهتری دارند. نتایج مربوط به زمین لرزه Northridge در شکل ۴-۴۵ تا شکل ۴-۴۷ نشان داده شده است. در نسبت میرایی ۰٪ میراگرهای جرمی فعال در کاهش پاسخ های سازه عملکرد بهتری دارند. در این نسبت میرایی عملکرد تمام میراگرهای جرمی در کاهش پاسخ RMS جابه جایی و همچنین عملکرد میراگرهای جرمی غیرفعال در کاهش پاسخ های RMS شتاب مطلق طبقات منفی می باشد. میراگرهای جرمی غیرفعال و فعال در کاهش پاسخ های اوج شتاب مطلق طبقات عملکرد تقریباً یکسانی دارند افزایش نسبت میرایی عملکرد میراگرهای جرمی در کاهش پاسخ RMS جابه جایی و شتاب مطلق را بهبود داده است اما در کاهش پاسخ های اوج سازه تاثیر محسوسی نداشته است. میراگر جرمی غیرفعال

در مقایسه با میراگر جرمی نیمه فعال در کاهش پاسخ های اوج جابه جایی نسبتاً عملکرد مطلوب تری دارند. همچنین در تمام نسبت های میرایی افزایش نسبت جرمی میراگر باعث کاهش عملکرد میراگر جرمی در کاهش پاسخ های RMS جابه جایی و شتاب مطلق سازه شده است.



شکل ۴-۳۸- تاریخچه زمانی اندازه گیری شده جابجایی و نیروی کنترل تحت ورودی زلزله EL Centro

در شکل ۴-۴۸ تا شکل ۴-۵۰ نتایج مربوط به زمین لرزه طیس نشان داده شده است. میراگرهای جرمی عملکرد بالایی در کاهش پاسخ ها در این زمین لرزه نشان می دهند و باعث کاهش پاسخ جابه جایی سازه در حدود ۵۰٪ تا ۷۰٪ شده اند. در نسبت های میرایی ۰٪ و ۵٪ میراگرهای جرمی فعال نسبت به میراگرهای جرمی غیرفعال عملکرد مطلوب تری در کاهش پاسخ جابه جایی و شتاب مطلق سازه نشان می دهند. افزایش نسبت میرایی عملکرد میراگرهای جرمی غیرفعال را بهبود داده است. در نسبت میرایی ۱۰٪ و نسبت جرمی ۱۰٪ میراگرهای جرمی تنظیم شده فعال در کاهش پاسخ های RMS و میراگر جرمی تنظیم شده غیرفعال در کاهش پاسخ های اوج عملکرد بهتری دارد و در نسبت جرمی ۱۵٪ میراگر جرمی فعال نسبت به میراگر جرمی غیرفعال عملکرد بهتری در کاهش پاسخ های سازه نشان می دهد.

جدول ۴-۳- معیارهای عملکرد میراگرهای جرمی تنظیم شده غیرفعال و فعال با نسبت های جرمی ۱۰٪ و ۱۵٪ در

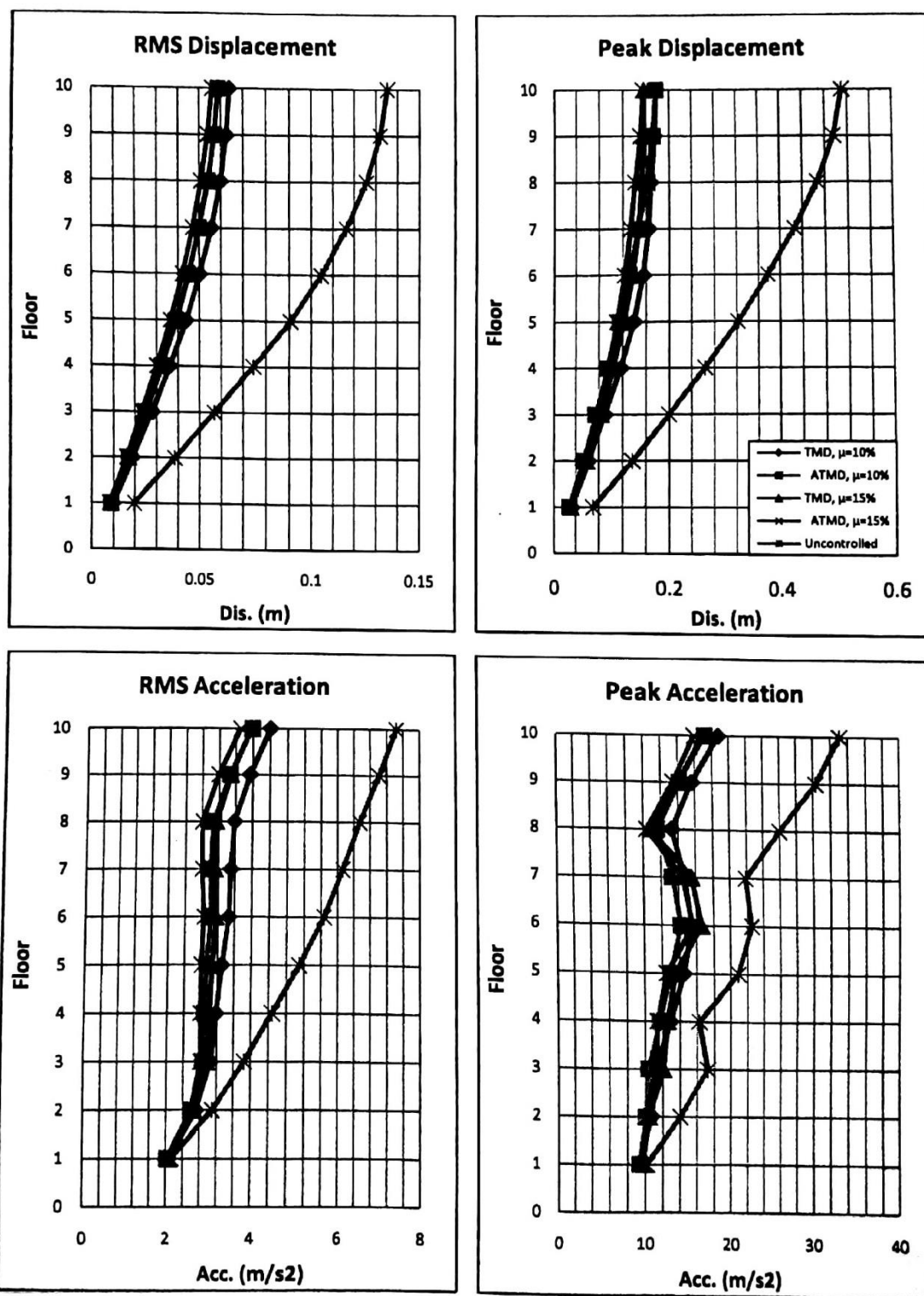
زمین لرزه های El Centro و Hachinohe

Earthquake Record		Xld											
		0%				5%				10%			
		Mu				Mu				Mu			
		10%		15%		10%		15%		10%		15%	
		TMD	ATMD	TMD	ATMD	TMD	ATMD	TMD	ATMD	TMD	ATMD	TMD	ATMD
El Centro	J1	0.620	0.468	0.676	0.490	0.481	0.463	0.481	0.444	0.461	0.478	0.443	0.432
	J2	0.064	0.047	0.071	0.050	0.049	0.046	0.049	0.045	0.046	0.048	0.045	0.043
	J3	0.574	0.426	0.607	0.453	0.428	0.423	0.439	0.409	0.412	0.447	0.404	0.403
	J4	0.057	0.041	0.061	0.044	0.042	0.041	0.043	0.039	0.040	0.043	0.039	0.039
	J5	1.858	1.232	1.608	1.056	1.312	1.045	1.046	0.864	1.107	0.917	0.874	0.753
	J6	0.715	0.680	0.675	0.639	0.696	0.674	0.651	0.630	0.683	0.671	0.635	0.624
	J7	0.070	0.066	0.069	0.064	0.068	0.066	0.064	0.062	0.067	0.066	0.063	0.061
	J8	0.613	0.518	0.649	0.557	0.505	0.506	0.530	0.495	0.486	0.525	0.476	0.473
	J9	0.057	0.049	0.061	0.052	0.047	0.048	0.049	0.046	0.046	0.051	0.045	0.045
	J10	1.665	1.270	1.291	1.023	1.318	1.091	1.015	0.864	1.132	0.953	0.863	0.790
Hachinohe	J1	0.968	0.748	0.929	0.735	0.757	0.692	0.699	0.653	0.680	0.686	0.630	0.633
	J2	0.094	0.074	0.090	0.072	0.074	0.069	0.068	0.064	0.068	0.069	0.062	0.063
	J3	1.269	0.917	1.261	0.971	0.947	0.812	0.928	0.832	0.812	0.782	0.805	0.782
	J4	0.171	0.088	0.119	0.092	0.091	0.078	0.088	0.079	0.078	0.076	0.076	0.075
	J5	3.535	2.276	2.791	2.053	2.520	1.752	2.001	1.618	1.955	1.436	1.625	1.360
	J6	0.757	0.838	0.713	0.758	0.777	0.842	0.725	0.767	0.793	0.847	0.737	0.773
	J7	0.082	0.085	0.076	0.078	0.081	0.085	0.076	0.078	0.081	0.085	0.076	0.078
	J8	1.170	0.841	0.847	0.753	0.868	0.861	0.735	0.781	0.800	0.879	0.762	0.803
	J9	0.115	0.083	0.084	0.072	0.086	0.084	0.071	0.075	0.078	0.085	0.079	0.077
	J10	3.020	1.979	2.150	1.689	1.978	1.632	1.572	1.408	1.604	1.381	1.340	1.204

جدول ۴-۴- معیارهای عملکرد میراگرهای جرمی تنظیم شده غیرفعال و فعال با نسبت های جرمی ۱۰٪ و ۱۵٪ در

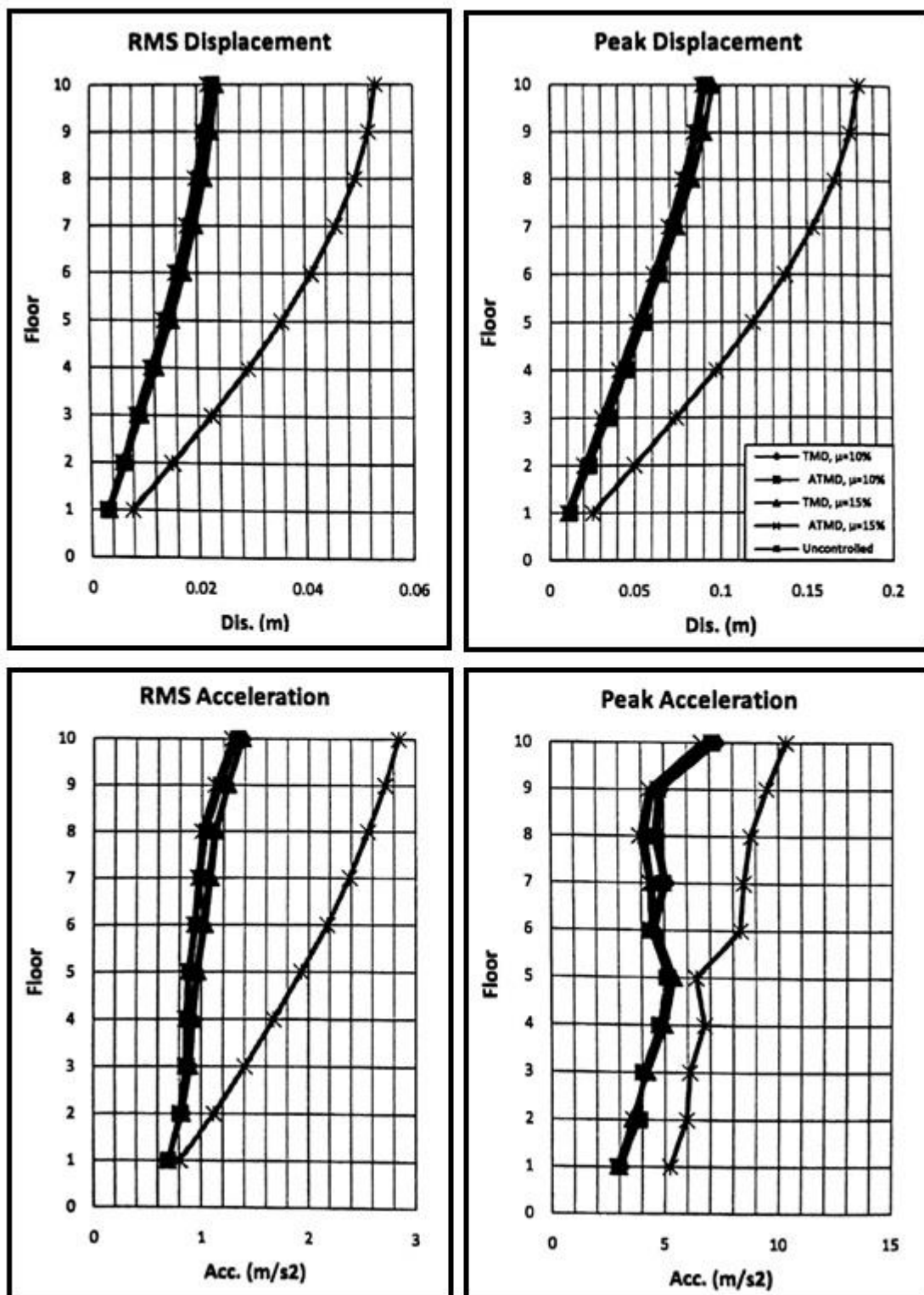
زمین لرزه های Northridge و طیس

		Xld												
		0%				5%				10%				
		Mu				Mu				Mu				
		10%		15%		10%		15%		10%		15%		
		TMD	ATMD	TMD	ATMD	TMD	ATMD	TMD	ATMD	TMD	ATMD	TMD	ATMD	
Earthquake Record	Northridge	J1	1.103	0.936	1.173	0.984	0.899	0.861	0.918	0.866	0.838	0.831	0.831	0.815
		J2	0.110	0.094	0.114	0.097	0.091	0.087	0.091	0.087	0.085	0.084	0.084	0.082
		J3	1.406	1.093	1.793	1.367	1.044	0.952	1.239	1.102	0.927	0.902	1.043	0.992
		J4	0.137	0.106	0.171	0.131	0.102	0.093	0.119	0.106	0.090	0.088	0.100	0.096
		J5	3.789	2.596	3.700	2.662	2.495	1.936	2.398	1.956	1.935	1.576	1.844	1.585
		J6	0.897	0.896	0.848	0.848	0.885	0.888	0.835	0.837	0.877	0.882	0.825	0.828
		J7	0.088	0.089	0.083	0.084	0.087	0.089	0.082	0.084	0.087	0.089	0.082	0.083
		J8	0.810	0.828	0.873	0.820	0.821	0.838	0.795	0.828	0.831	0.847	0.805	0.835
		J9	0.081	0.083	0.086	0.079	0.082	0.085	0.077	0.080	0.083	0.086	0.079	0.082
		J10	2.535	1.925	1.707	1.584	1.771	1.559	1.411	1.350	1.473	1.321	1.252	1.204
	Tabas	J1	0.968	0.661	0.725	0.572	0.575	0.520	0.520	0.485	0.512	0.504	0.473	0.462
		J2	0.103	0.070	0.079	0.062	0.060	0.054	0.055	0.051	0.053	0.051	0.049	0.047
		J3	0.789	0.529	0.562	0.457	0.459	0.421	0.421	0.401	0.418	0.428	0.396	0.396
		J4	0.083	0.054	0.059	0.046	0.046	0.042	0.042	0.039	0.041	0.042	0.039	0.039
		J5	2.884	1.887	1.849	1.370	1.531	1.235	1.161	0.992	1.168	1.004	0.922	0.820
		J6	0.710	0.600	0.637	0.552	0.567	0.519	0.513	0.483	0.501	0.472	0.481	0.452
		J7	0.080	0.067	0.074	0.063	0.061	0.056	0.059	0.055	0.054	0.051	0.053	0.051
		J8	0.549	0.395	0.460	0.337	0.347	0.346	0.306	0.304	0.336	0.353	0.303	0.315
		J9	0.061	0.045	0.047	0.038	0.038	0.035	0.034	0.032	0.034	0.035	0.031	0.031
		J10	2.077	1.500	1.341	1.053	1.113	0.934	0.860	0.792	0.865	0.779	0.719	0.665



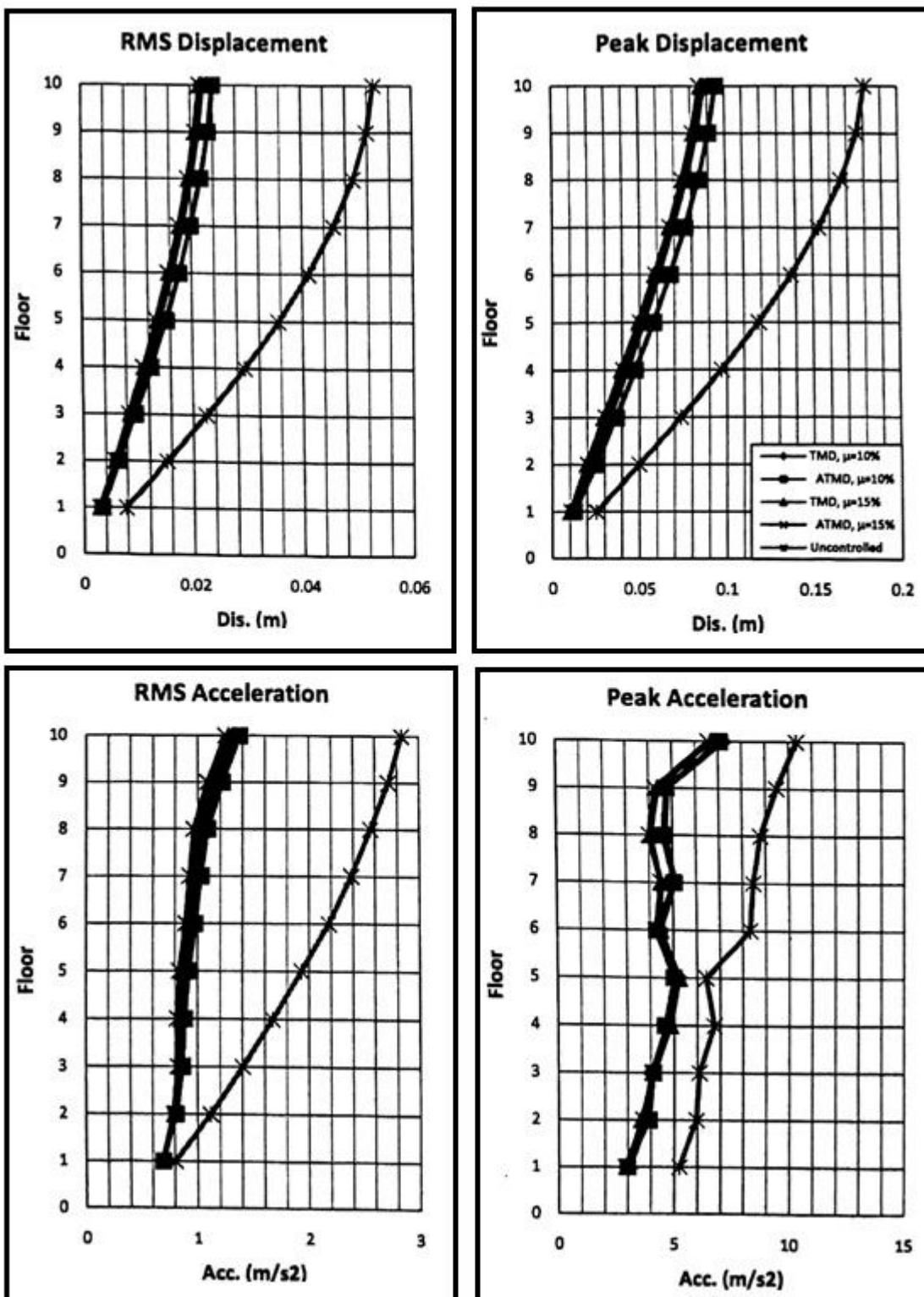
شکل ۴-۳۹- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم

شده با نسبت های جرمی ۱۰٪ و ۱۵٪ و نسبت میرایی ۰٪ در زمین لرزه El Centro



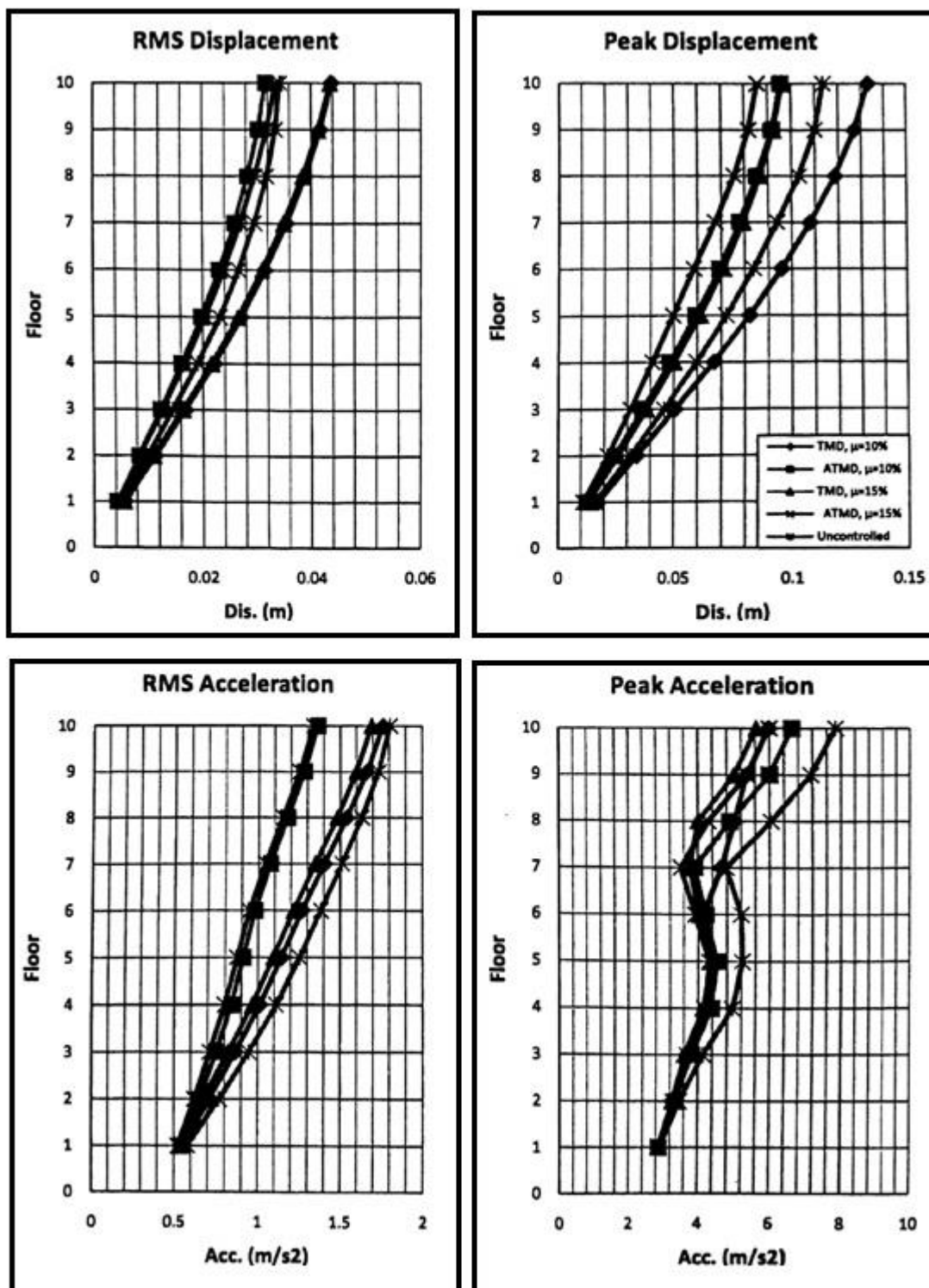
شکل ۴-۴۰- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم

شده با نسبت های جرمی ۱۰٪ و ۱۵٪ و نسبت میرایی ۵٪ در زمین لرزه El Centro



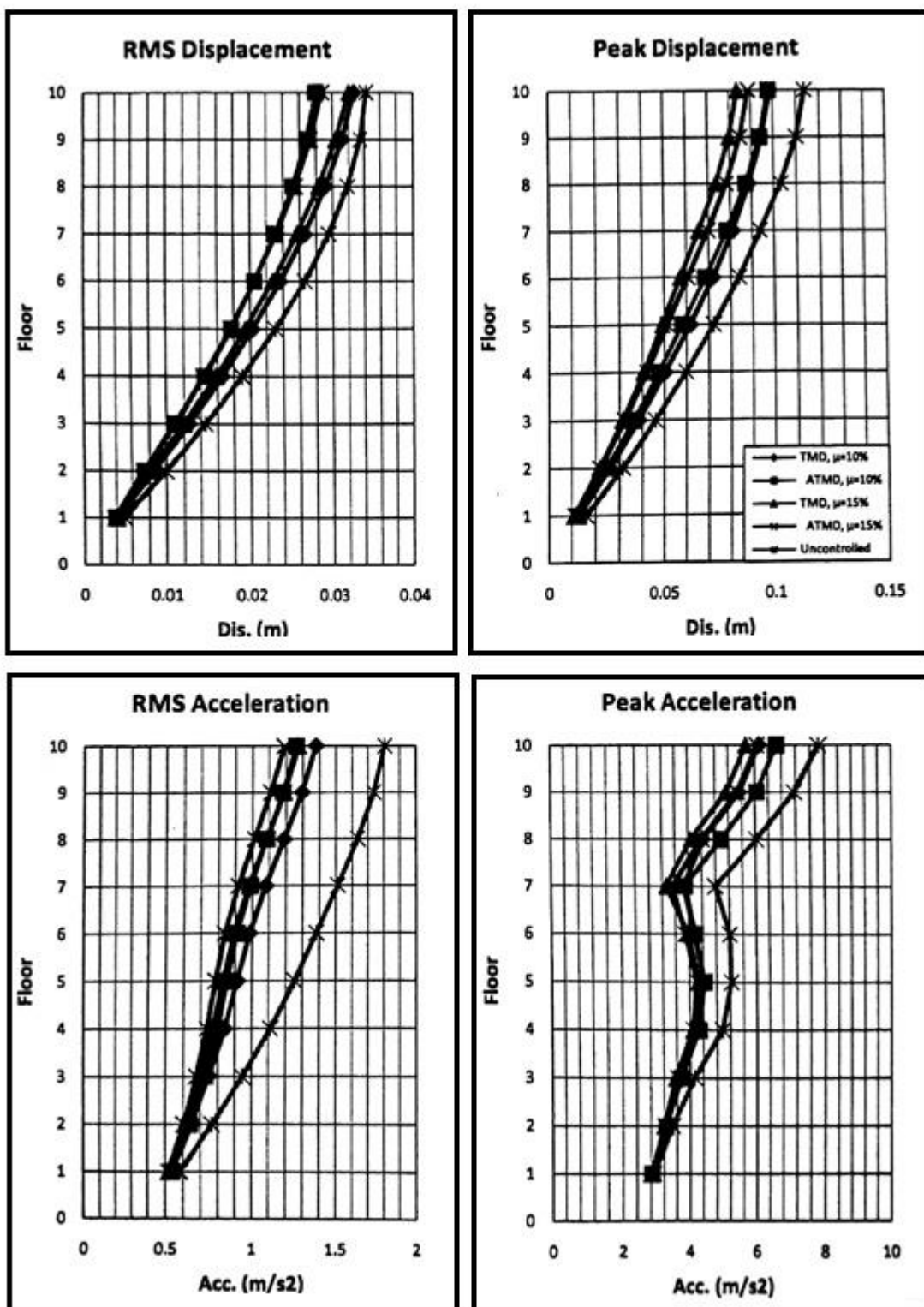
شکل ۴-۴۱- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم

شده با نسبت های جرمی ۱۰٪ و ۱۵٪ و نسبت میرایی ۱۰٪ در زمین لرزه El Centro



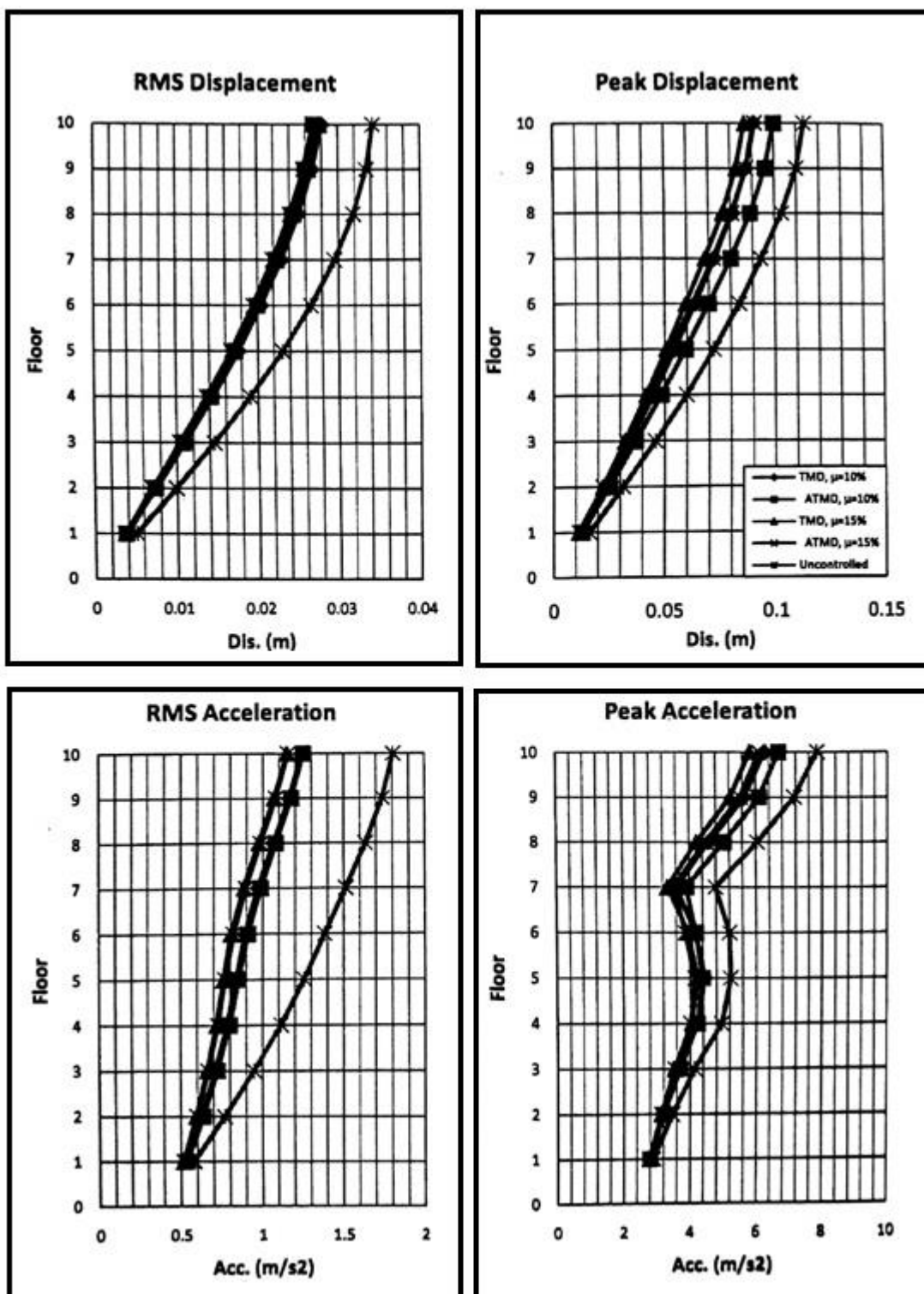
شکل ۴-۴۲- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم

شده با نسبت های جرمی ۱۰٪ و ۱۵٪ و نسبت میرایی ۰٪ در زمین لرزه Hachinohe



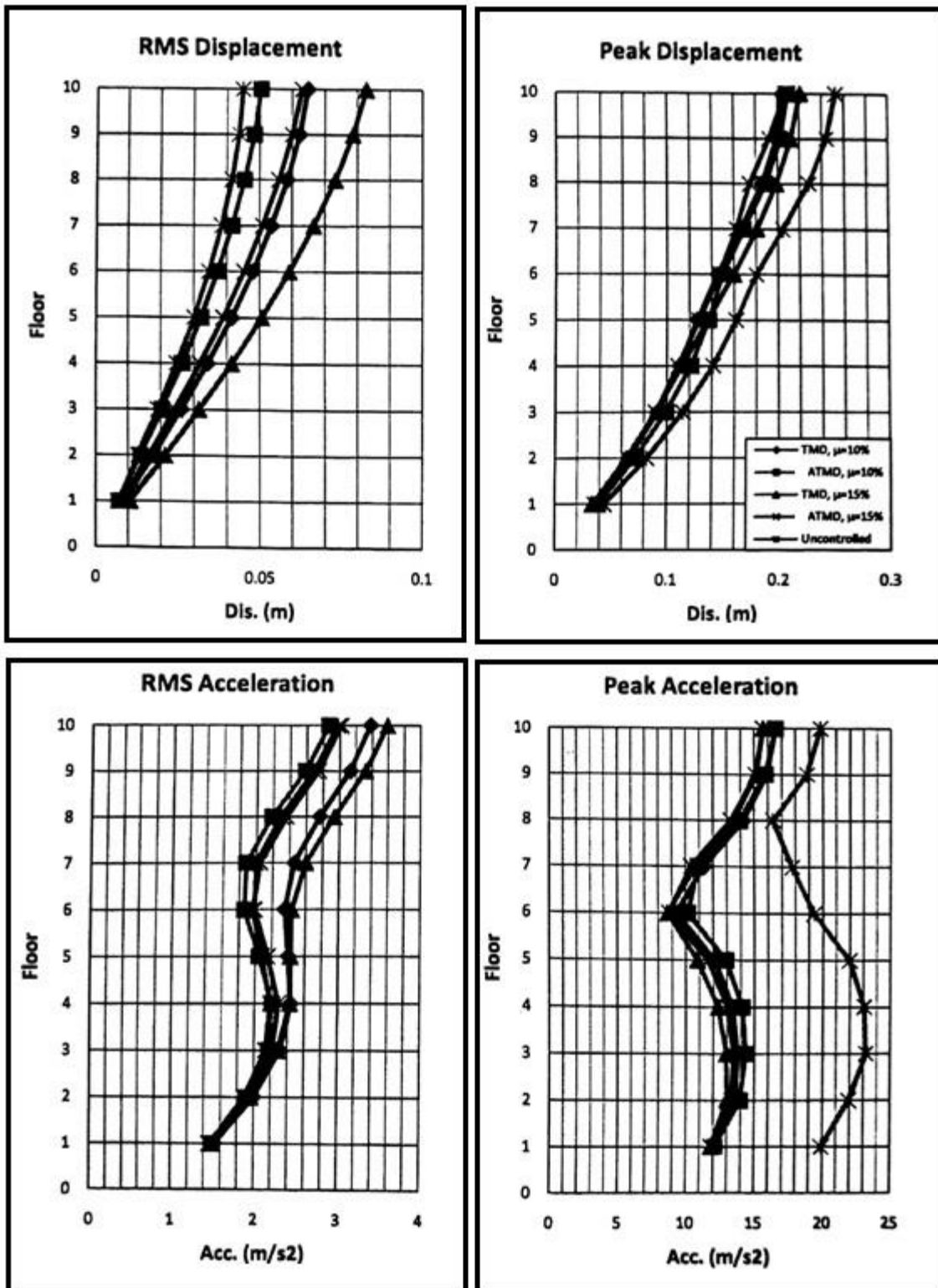
شکل ۴-۴۳- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم

شده با نسبت های جرمی ۱۰٪ و ۱۵٪ و نسبت میرایی ۵٪ در زمین لرزه Hachinohe



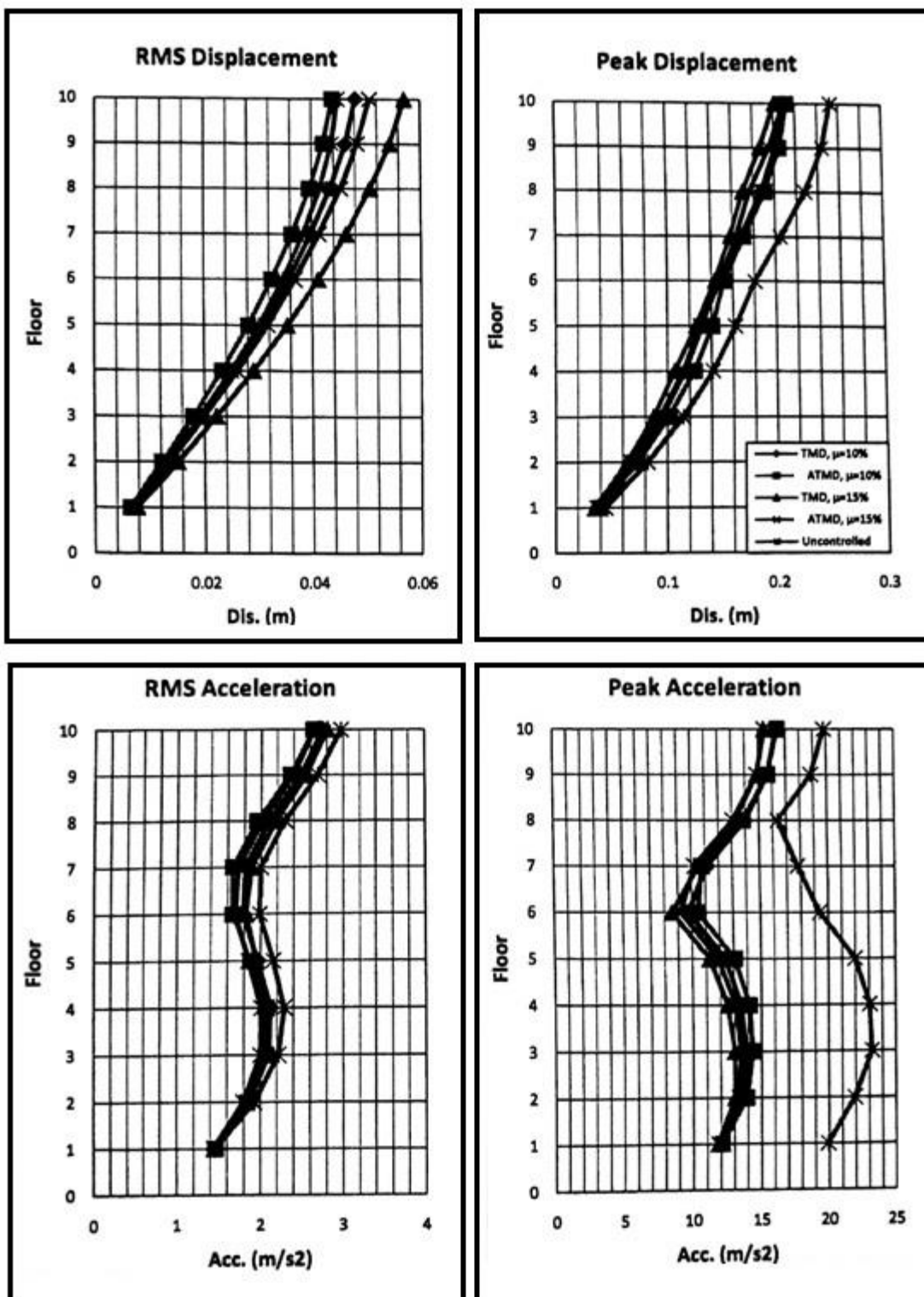
شکل ۴-۴۴- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم

شده با نسبت های جرمی ۱۰٪ و ۱۵٪ و نسبت میرایی ۱۰٪ در زمین لرزه Hachinohe



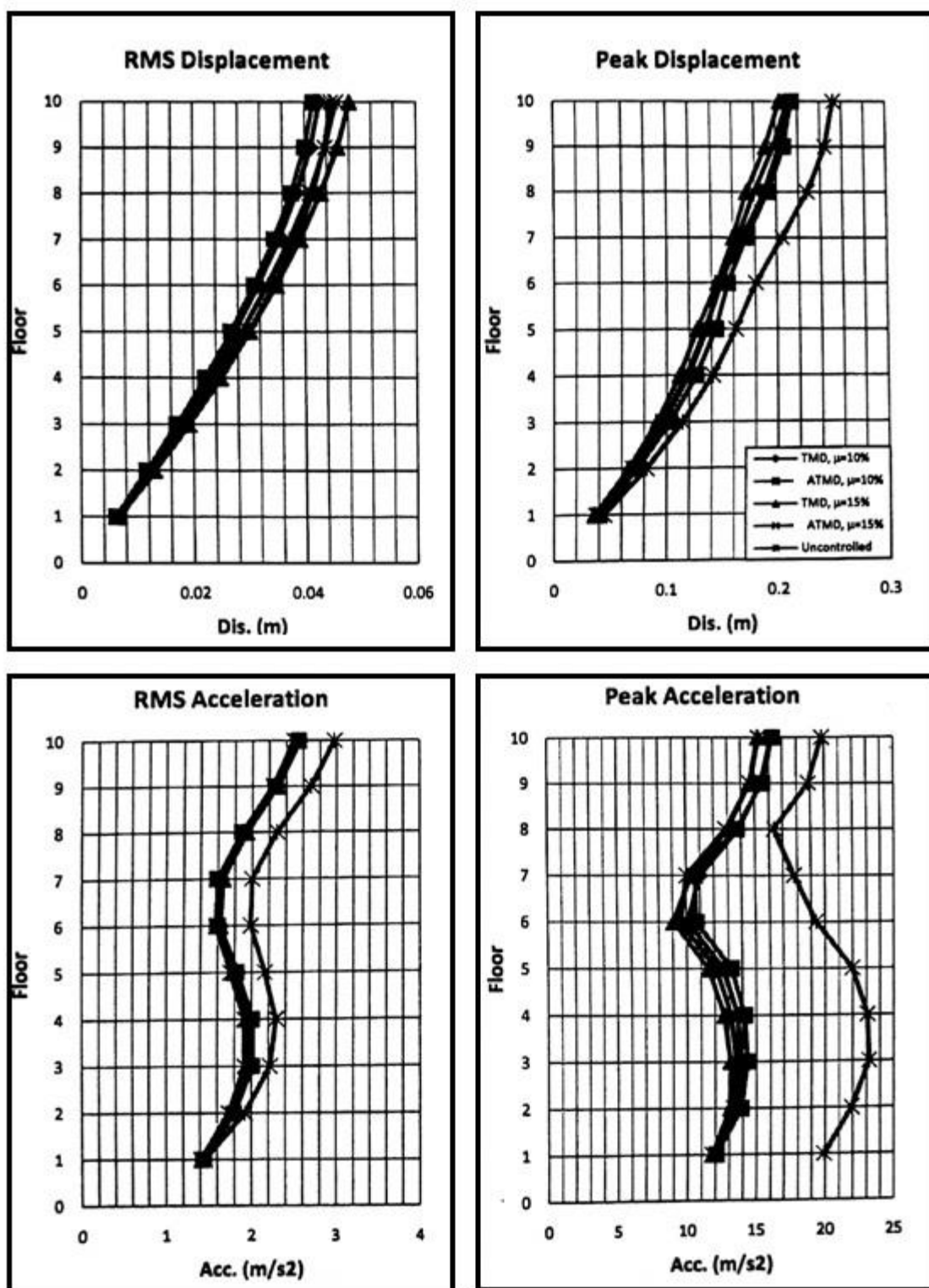
شکل ۴-۴۵- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم

شده با نسبت های جرمی ۱۰٪ و ۱۵٪ و نسبت میرایی ۰٪ در زمین لرزه Northridge



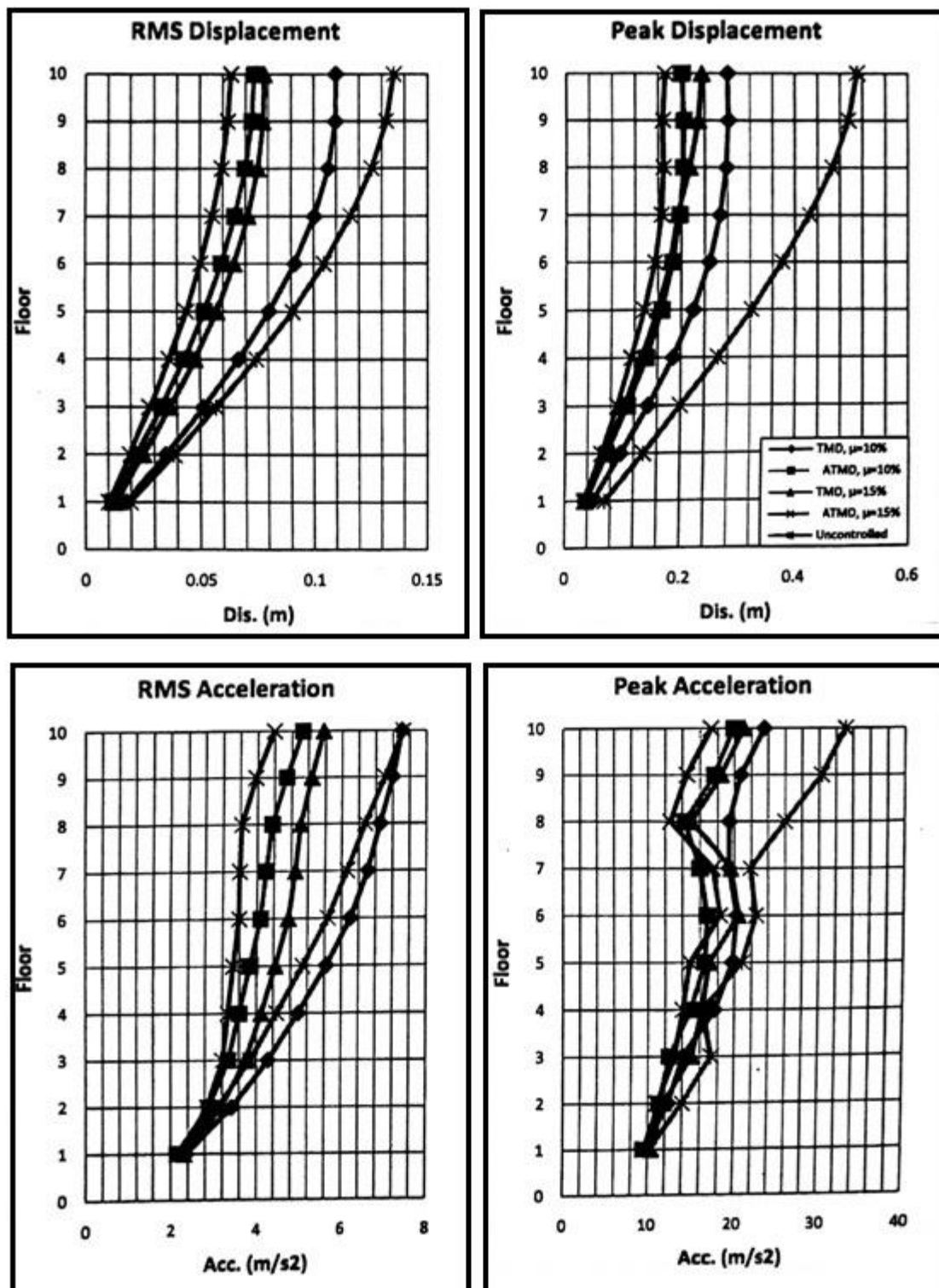
شکل ۴-۴۶- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط کیراگرهای جرمی تنظیم

شده با نسبت های جرمی ۱۰٪ و ۱۵٪ و نسبت میرایی ۵٪ در زمین لرزه Northridge



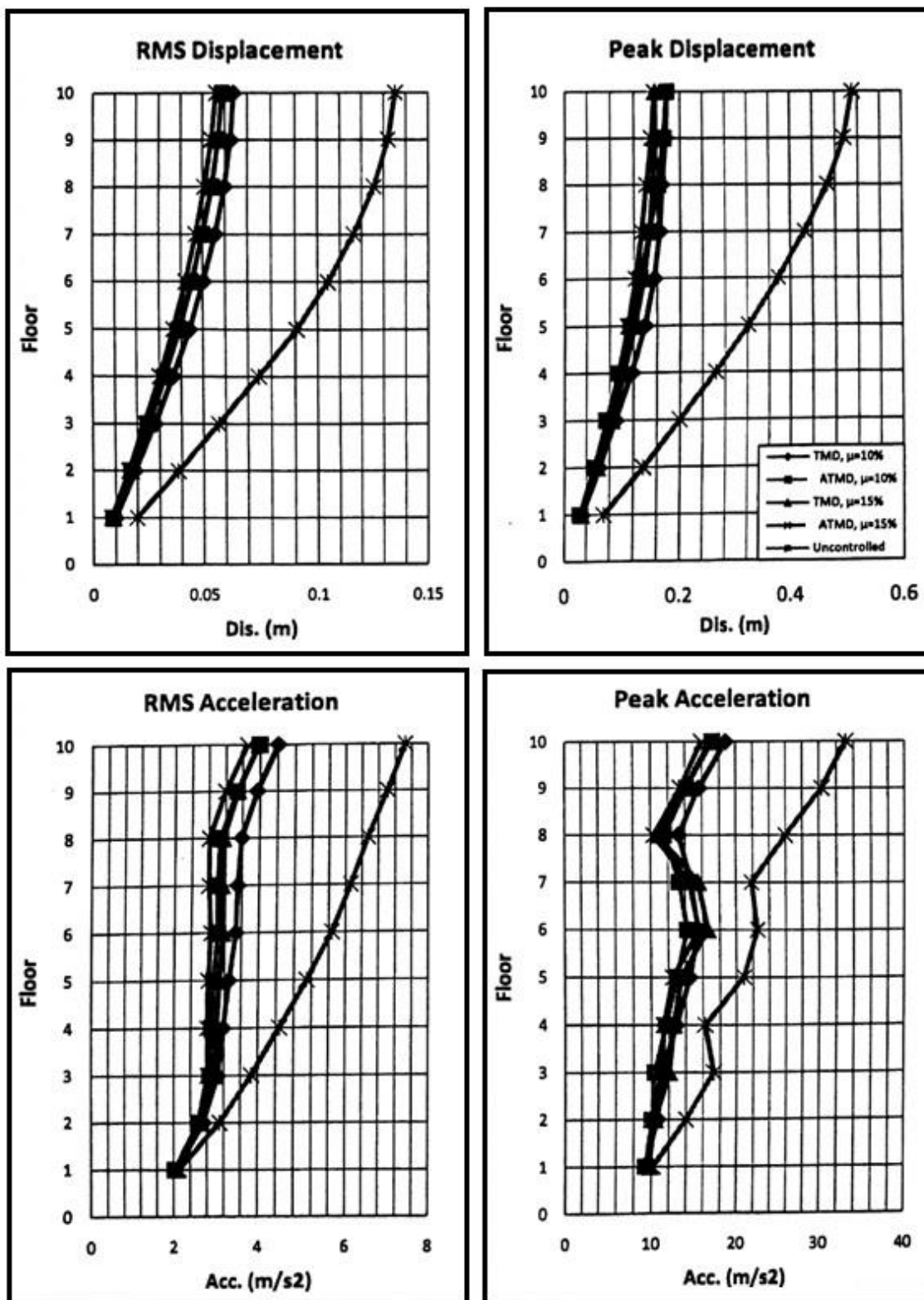
شکل ۴-۴۷- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم

شده با نسبت های جرمی ۱۰٪ و ۱۵٪ و نسبت میرایی ۱۰٪ در زمین لرزه Northridge



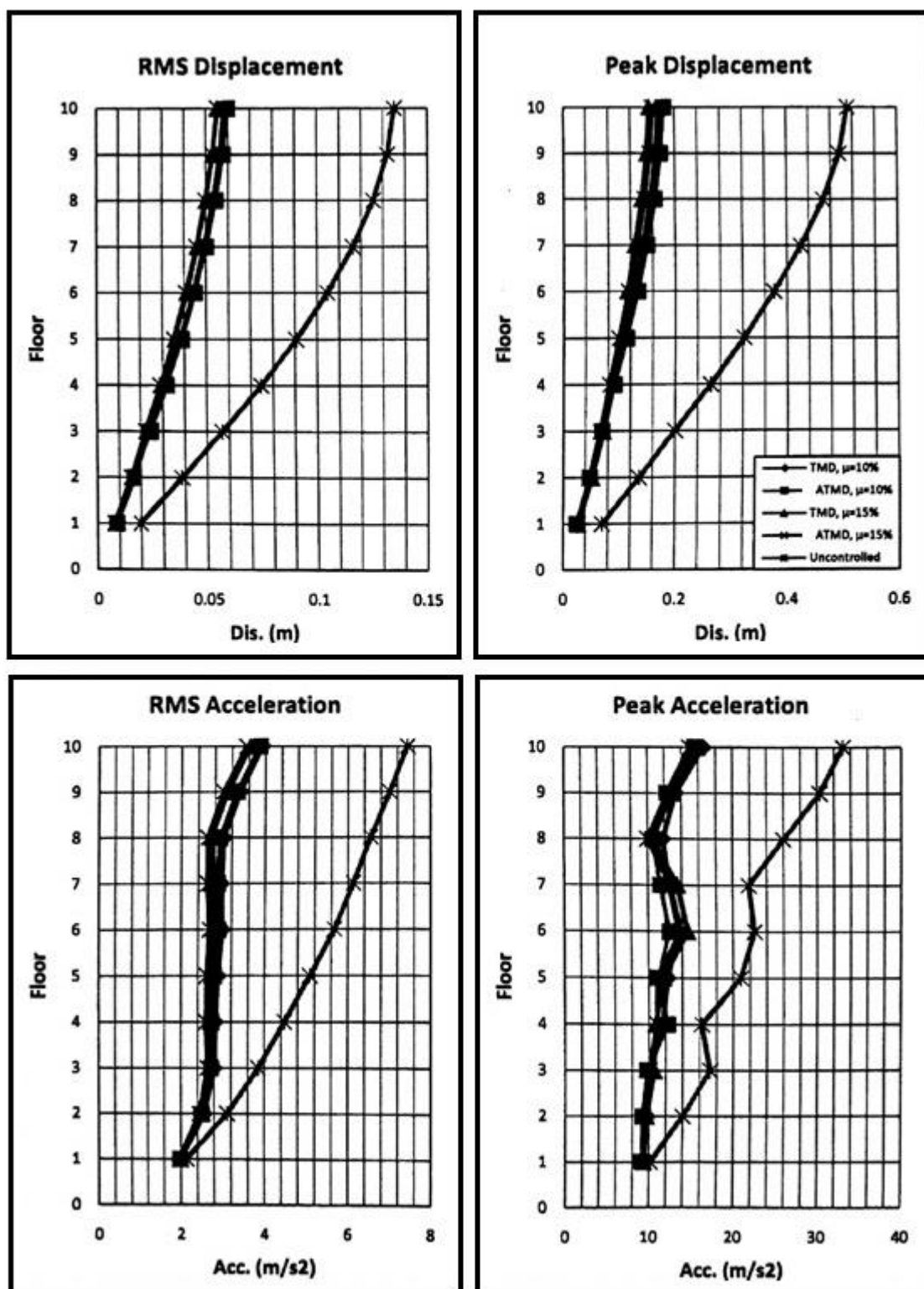
شکل ۴-۴۸- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم

شده با نسبت های جرمی ۱۰٪ و ۱۵٪ و نسبت میرایی ۰٪ در زمین لرزه طیس



شکل ۴-۴۹- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم

شده با نسبت های جرمی ۱۰٪ و ۱۵٪ و نسبت میرایی ۵٪ در زمین لرزه طیس

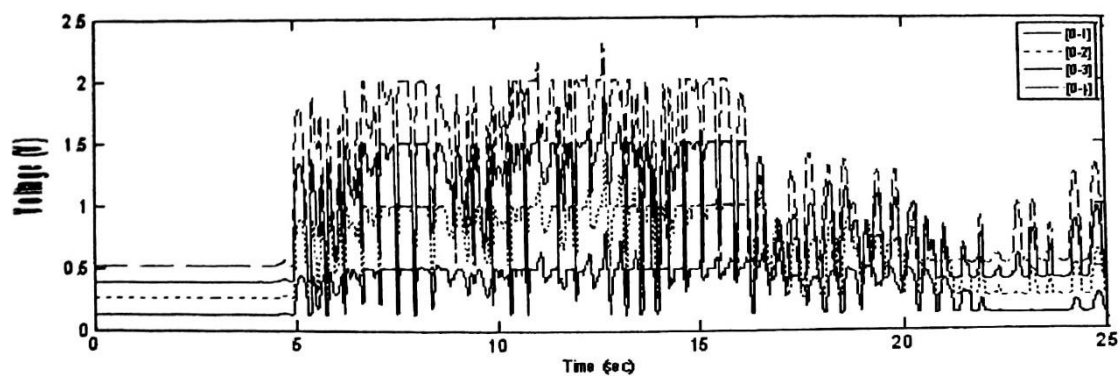


شکل ۴-۵۰- پاسخ های جابه جایی و شتاب مطلق طبقات سازه کنترل نشده و کنترل شده توسط میراگرهای جرمی تنظیم

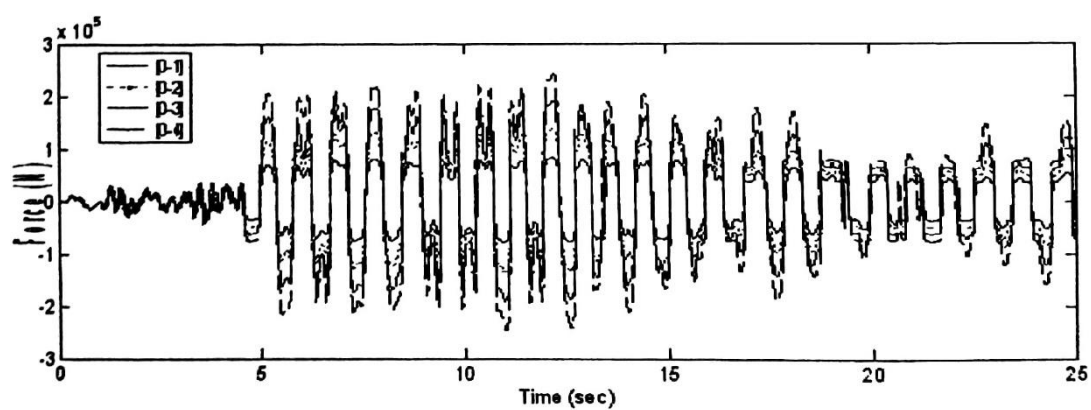
شده با نسبت های جرمی ۱۰٪ و ۱۵٪ و نسبت میرایی ۱۰٪ در زمین لرزه طبس

هم چنین مشاهده شد که با افزایش نسبت میرایی کارایی میراگرهای جرمی غیرفعال و فعال به هم نزدیک می شود و در نسبت های میرایی بالا اختلاف عملکرد ناچیزی بین این میراگرهای جرمی وجود دارد. با توجه به اینکه میراگر فعال حتی در سطح نیروی صفر موجب استهلاک انرژی در سیستم می شود این استهلاک انرژی در مواردی موجب بهبود عملکرد میراگر جرمی نمی شود. با افزایش نسبت میرایی میراگر جرمی می توان با کاهش نیروی اعمالی به میراگر فعال عملکرد آن را نسبت به میراگر جرمی غیرفعال بهبود داد. با افزایش نیروی ورودی، نیروی خروجی میراگر فعال نیز افزایش می یابد. کنترل کننده فازی برای تنظیم نیروی اعمالی میراگر فعال استفاده شده و بازه نیروی خروجی کنترل کننده فازی [۲۰-۲۱] انتخاب شده است. جهت بررسی تغییر نیروی ورودی میراگر فعال بر روی عملکرد میراگر جرمی تنظیم شده فعال، کران بالای این بازه را تغییر داده و در نسبت های میرایی مختلف درصد کاهش پاسخ سازه را محاسبه و مقایسه می کنیم. در شکل ۴-۵۱ و شکل ۴-۵۲ به ترتیب نیروی خروجی کنترل کننده فازی و نیروی میراگر فعال در چهار بازه با کران بالای ۱، ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است. نیروی خروجی کنترل کننده فازی می تواند مقادیر بین صفر و نیروی اشباع را داشته باشد. در میراگر فعال نمی توان به صورت مستقیم نیروی دلخواه را تغییر داد و تنها می توان نیروی ورودی میراگر را تنظیم نمود. به دلیل اینکه رابطه نیروی میراگر و نیروی میراگر غیرخطی می باشد قانون مستقیمی برای تنظیم نیرو وجود ندارد. در کنترل کننده های کلاسیک با محاسبه نیروی دلخواه و سپس استفاده از یک فیلتر نیروی ورودی اشباع را به میراگر اعمال می کنند. با استفاده از کنترل کننده فازی به وسیله متغیرهای زبانی می توان با توجه به پاسخ سازه نیروی مناسب را برای میراگر فعال اعمال در نظر گرفت. مقادیر نیروی مورد نظر می تواند بین صفر و نیروی اشباع باشد. در نمودارهای شکل ۴-۵۳ و ۴-۵۴ درصد کاهش پاسخ جابه جایی سازه کنترل شده توسط میراگر جرمی تنظیم شده غیرفعال و فعال در نسبت های میرایی ۰٪، ۵٪ و ۱۰٪ و نسبت جرمی ۱۰٪ و نسبت فرکانسی ۱ تحت تحریک چهار زمین لرزه در نیروهای ۱، ۲، ۳ و ۴ نشان داده شده است. در زمین لرزه El Centro در نیروهای پایین بهترین عملکرد میراگر جرمی در نسبت میرایی ۵٪ و در نیروهای بالاتر در نسبت میرایی ۰٪ مشاهده می شود. در نیروهای بالا افزایش نسبت میرایی

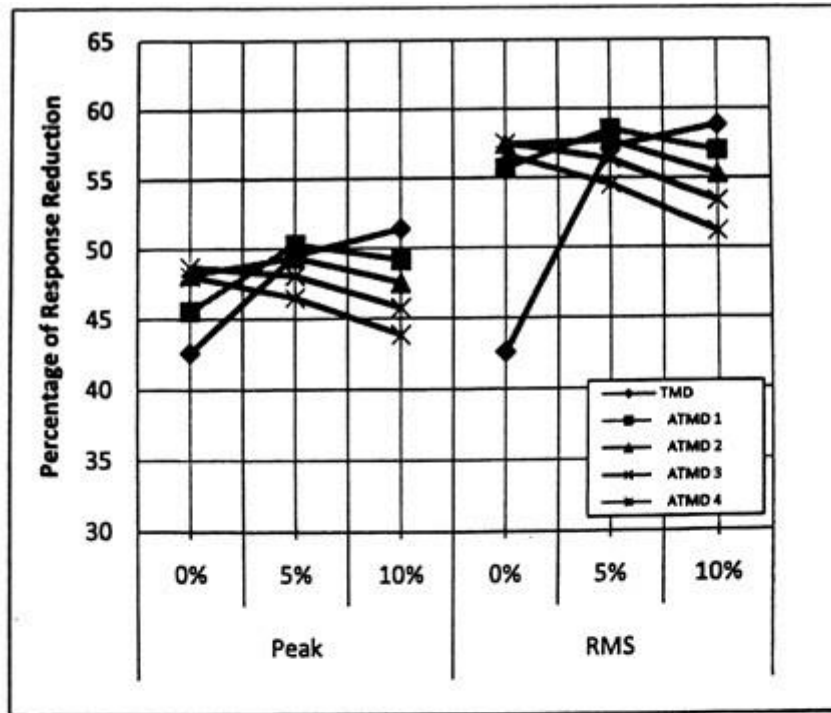
باعث کاهش در کارایی میراگر جرمی فعال می شود. در زمین لرزه Hachinohe با افزایش نیرو کارایی میراگر جرمی در کاهش پاسخ های اوج کاهش می یابد اما کارایی آن در کاهش پاسخ های RMS بیشتر شده است. با افزایش مقدار نیروی ورودی افزایش نسبت میرایی تاثیر کمتری بر کارایی میراگر جرمی فعال می گذارد. در زمین لرزه Northridge و نسبت های میرایی یکسان با افزایش نیروی ورودی عملکرد میراگر جرمی در کاهش پاسخ اوج کاهش می یابد اما عملکرد آن را در کاهش پاسخ RMS افزایش می یابد. با افزایش مقدار نیروی ورودی تاثیر افزایش نسبت میرایی بر عملکرد میراگر جرمی فعال کاهش می یابد. در زمین لرزه طیس افزایش مقدار نیروی ورودی عملکرد میراگر جرمی فعال با نسبت میرایی ۰٪ را در کاهش پاسخ ها افزایش می دهد. در نسبت های میرایی بالاتر تاثیر منفی بر عملکرد میراگر جرمی تاثیر می گذارد (باعث کاهش کارایی می شود) اما تاثیر آن محسوس نمی باشد. در میراگر جرمی تنظیم شده فعال افزایش نسبت میرایی تاثیر زیادی بر کارایی میراگر جرمی در کاهش پاسخ سازه ندارد و با افزایش مقدار نیروی ورودی به میراگر فعال تاثیر آن بر عملکرد میراگر جرمی تنظیم شده کاهش می یابد. میراگرهای جرمی تنظیم شده فعال در هر نسبت میرایی جرمی و فرکانسی دارای یک نقطه اوج می باشند که با افزایش نیروی ورودی به میراگر این نقطه اوج تغییر پیدا می کند. در حالی که نتایج به دست آمده برای میراگر جرمی تنظیم شده غیرفعال حاکی از آن است که نسبت میرایی تاثیر زیادی بر کارایی میراگر به خصوص در کاهش پاسخ RMS سازه دارد.



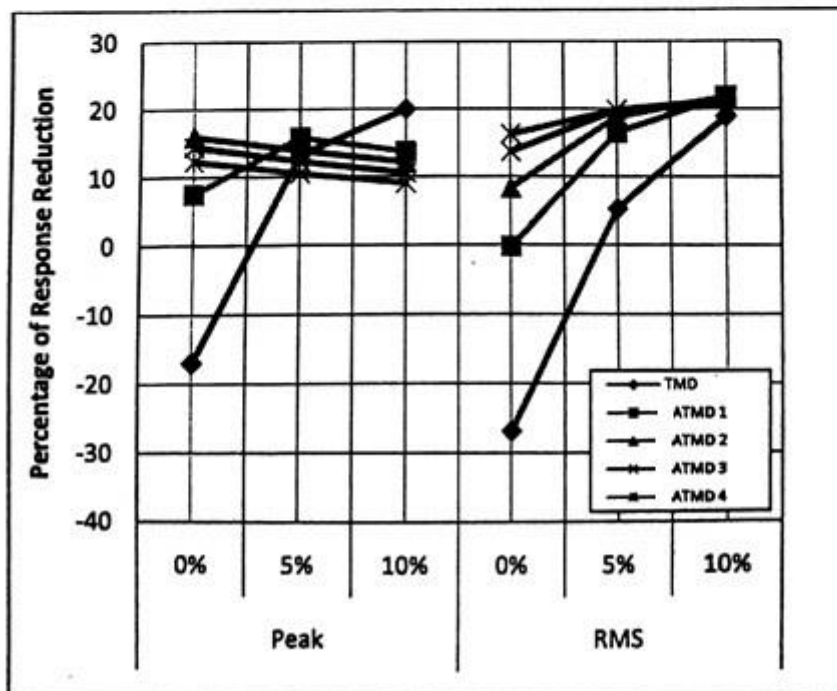
شکل ۴-۵۱- خروجی کنترل کننده فازی (نیروی اعمالی به میراگر فعال)



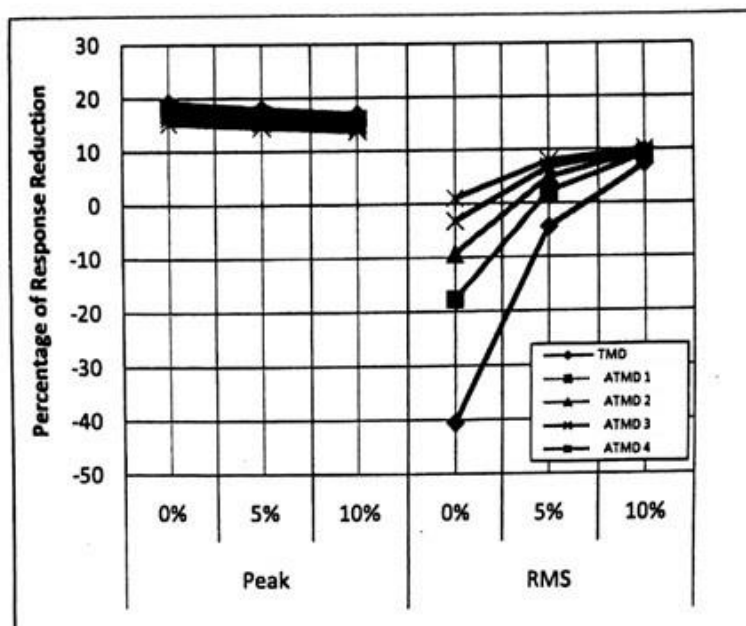
شکل ۴-۵۲- نیروی خروجی میراگر فعال



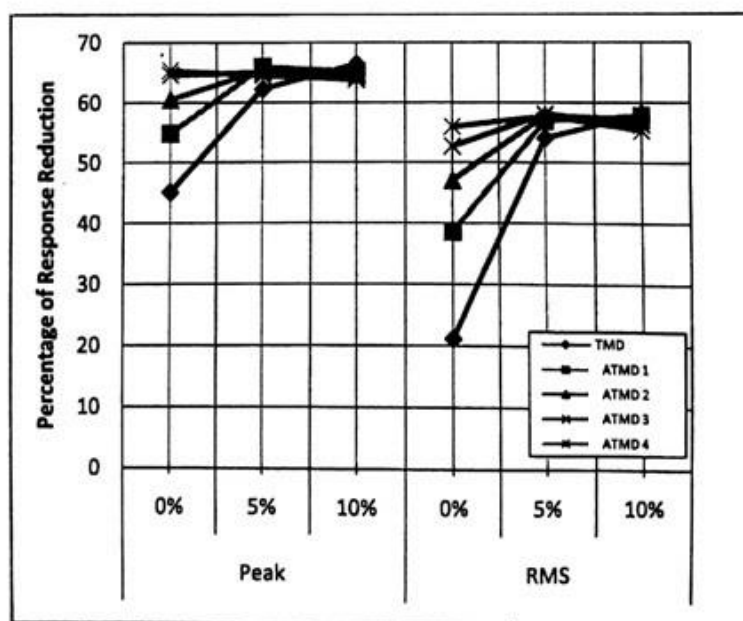
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۴- ۵۳ و ۴- ۵۴ درصد کاهش پاسخ میراگر در نسبت جرمی ۱۰٪ و نسبت فرکانسی ۱ در زمین لرزه های:

الف) El Cenero ب) Hachinohe ج) Northridge د) طیس

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات

در این مطالعه رفتار سازه کنترل شده توسط میراگرهای جرمی فعال همراه با کنترل کننده فازی بررسی گردید. میراگر جرمی استفاده شده و کنترل کننده فازی دارای دو ورودی (پاسخ سازه) و یک خروجی (نیروی اعمالی به میراگر فعال) می باشد. ابتدا تاثیر پارامترهای میراگر جرمی غیرفعال و فعال (نسبت جرمی، میرایی و فرکانسی) بر روی عملکرد آن ها در کاهش پاسخ های سازه به تحریک زمین لرزه های مورد نظر بررسی و سپس در نسبت فرکانسی یکسان عملکرد این میراگرها با یکدیگر مقایسه شد. همچنین اثر تغییرات کران بالای نیروی ورودی میراگر فعال بر عملکرد آن بررسی شد که نتایج این مطالعه را به شرح زیر می توان بیان نمود:

۱- در نسبت میرایی و فرکانسی یکسان معمولاً با افزایش نسبت جرمی عملکرد میراگر جرمی افزایش می یابد اما در مواردی افزایش نسبت جرمی تاثیر نامطلوب بر عملکرد میراگر جرمی دارد (مانند پاسخ RMS در زمین لرزه Northridge) در نتیجه با قطعیت نمی توان گفت همواره افزایش نسبت جرمی موجب افزایش عملکرد میراگر جرمی در تحریک زمین لرزه خواهد شد.

۲- با افزایش نسبت میرایی تغییر در نسبت فرکانسی تاثیر کمتری بر عملکرد میراگر جرمی (به خصوص در نسبت های جرمی بالا) خواهد داشت. در عین حال افزایش نسبت میرایی می تواند موجب کاهش عملکرد میراگر جرمی در نسبت فرکانسی بهینه گردد. این امر در مورد میراگرهای جرمی فعال بارزتر است.

۳- در نسبت میرایی ۰٪ عملکرد میراگرهای جرمی فعال در کاهش پاسخ های سازه نسبت به میراگرهای جرمی غیرفعال بالاتر است. با افزایش میرایی در نسبت جرمی یکسان و نسبت های فرکانسی مختلف معمولاً عملکرد میراگرهای جرمی غیرفعال افزایش و میراگرهای جرمی فعال کاهش یافته و در نتیجه عملکرد این میراگرهای جرمی در نسبت های میرایی بالا به یکدیگر نزدیک می شود.

۴- در میراگرهای غیرفعال، جرم اضافه شده جا به جایی بزرگی دارد و این در برخی موارد موجب مشکلاتی در تامین فضای مورد نیاز می شود. در میراگرهای جرمی فعال جابه جایی جرم اضافه شده کاهش پیدا می کند و این یکی از مزیت های این میراگرها می باشد.

۵- به دلیل اینکه رابطه نیروی میراگر غیرخطی می باشد، قانون مستقیمی برای تنظیم نیروی ورودی وجود ندارد. با استفاده از کنترل کننده فازی این رابطه به وسیله متغیرهای زبانی برقرار شد. به این ترتیب علاوه بر مقدار صفر و نیروی اشباع، مقادیر نیروی بین صفر و نیروی اشباع نیز می تواند به میراگر اعمال شود.

۶- افزایش کران بالای نیروی ورودی میراگر فعال تا حد معینی می تواند عملکرد آن را افزایش دهد. این افزایش در نسبت های میرایی پایین محسوس است. افزایش نسبت میرایی ممکن است باعث کاهش عملکرد میراگر جرمی تنظیم شده فعال در نیروهای ورودی یکسان شود.

۷- میراگرهای تنظیم شده فعال در نسبت جرمی یکسان دارای نسبت میرایی بهینه می باشند. با افزایش نیروی ورودی میراگر جرمی فعال این نسبت میرایی بهینه تغییر پیدا کرده و به صفر نزدیک می شود.

در پایان پیشنهادات زیر برای مطالعات آینده در این زمینه ارائه می گردند:

- استفاده از سایر روش های کنترلی برای محاسبه نیروی ورودی و مقایسه آن با نتایج به دست آمده برای کنترل کننده فازی
- بررسی تاثیر میراگر جرمی تنظیم شده فعال با سختی متغیر بر روی پاسخ سازه با کنترل کننده فازی
- بررسی اثرات میراگرهای فعال بر سازه های دیگری نظیر پل ها

پیوست ۱

مشخصات سازه:

ماتریس جرم و سختی سازه ده طبقه بررسی شده در این پایان نامه به صورت زیر است:

$$M = \begin{bmatrix} 215000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 201000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 201000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 200000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 201000 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 201000 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 201000 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 203000 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 203000 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 203000 \end{bmatrix}$$

ماتریس سختی سازه به صورت زیر است:

$$K = \begin{bmatrix} 9.44 & -4.76 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -4.76 & 9.44 & -4.68 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -4.68 & 9.18 & -4.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -4.5 & 9 & -4.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -4.5 & 9 & -4.5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -4.5 & 9 & -4.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -4.5 & 8.87 & -4.37 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -4.37 & 8.74 & -4.37 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -4.37 & 8.74 & -4.37 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -4.37 & 4.37 \end{bmatrix} \times 10^8$$

فهرست منابع و مراجع

- [1] Abdel-Rohman, M., Lepholz, H.H.E., 1978, Model control of multistory structures, ASCE, J of engineering, Mech. Div., 104, 1157-1175.
- [2] Abdel-Rohaman, M., 1987, Feasibility of active control of tall buildings against wind, ASCE, J. of structural Engineering, 113, 2.
- [3] Abé, M., Igusa, T., 2006," Tuned mass dampers for structures with closely spaced natural frequencies" Earthquake Engineering & Structural Dynamics Volume pages 247–261.
- [4] Ahlawat, A.S., Ramaswamy, A., 2001, Multi-objective optimal structural vibration control using fuzzy logic control system, J. of structural Engineering, 127, 11.
- [5] Altrock, Constantin V.,1997, Fuzzy Logic & Neuro fuzzy Applications Explained, 3-4.
- [6] Blair, B., 1994, Interview with Lotfi zadeh, Azerbaijan International, 2, 4, 2-6.
- [7] Chung, L.L., Reinhorn, A.M., Soong, T.T., 1988, "Experiments on active control of seismic structures", ASCE, J. of Eng. Mech., 114, 241-256.
- [8] Clark, A.J., 1988, "multiple tuned mass dampers for reducing earthquake induced building motion", Proc. 9th world Conf. of earthquake engineering, Tokyo-Kioto, Japan, 8, 779-784.
- [9] Clough, R.W., Penzien, J., 2003, Dynamics of Structures, third Edition, M.C. Graw-Hill, Inc.
- [10] Datta T.D., 2003, "Control of dynamic response of Structures", Symposium on engineering trends in vibration and noise, Engineering, 18-20.
- [11] Frahm u., 1911, "Device for damping of bodies", us patent No, 989, p 958.
- [12] Gupa, Y.P., Chandrasekaren, P.R., 2002, "Absorber system for earthquake excitation", Proc. 4th world Conf. of earthquake engineering, Santiago, Chile, 2, 139-148.
- [13] Haack, S., 2012, Philosophy of logic, Cambridge University Press, 152-153.
- [14] Hartog, J.P., 2013, Mechanical vibrations, McGraw-Hill: New York.

- [15] Holmblad, L. and Ostergaard, J. J. (1982). Control of a cement kiln by fuzzy logic, In *Fuzzy Information and Decision Processes*. Gupta, M.M. and Sanchez, E.E. (eds.), North-Holland, Amsterdam, pp. 389–399.
- [16] Kitamura, H., Fujita, T., Teramoto, T., Kihara, H., 1988, "design and analysis of a tower structure with tuned mass damper", Proc. 9th world Conf. of earthquake engineering, Tokyo-Kioto, Japan, 8,415-420.
- [17] Kaynia, A.M., Venerziano, D., Biggs, J.M., 1981, "Seismic effectiveness of tuned mass dampers", J. of Structure, Div. ASCE, 107, 8, 1465-1484.
- [18] Mamdani, E.H. and Assilian, S., "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller," International Journal of Man-Machine Studies, Vol. 7(1), Jan 1975.
- [19] Mahendra, P.S., Sarbjit, S., Luis, M.N., 2002, "Tuned mass dampers for response control of torsional buildings", E.E.S.D., 31,749-769.
- [20] Morgan, G.Ch, 1998, "Fuzzy logic, Routledge Encyclopedia of Philosophy", 3, first edition, Craig, E. Routledge, London.
- [21] Ogata, K., 2010, "Modern Control Engineering", Engle wood Cliffs, N.J. Prentice Hall Inc.
- [22] Sadek, B. Mohraz, A. Taylor, R. M. Chung, A., "Method of Estimating the Parameters of Tuned Mass Dampers for Seismic Applications", Earthquake Engineering and Structural Dynamics. 26. 617-635, 1997.
- [23] Soong T.T. and Constant nous M.C., 1994, "Passive and Active Structural Vibration control in Civil engineering", Springer press, New York.
- [24] Rana, A. and Dubey, S.K., "A Fuzzy Approach for Evaluation of Maintainability of Object Oriented Software System", International Journal of Computer Applications, vol.41, issue no. 29, pp. 0975 – 8887, 2012.
- [25] Tsai H.c. and Lin G.c., 1993, "Optimum tuned mass dampers for minimizing steady-state response of support-excited and damped systems", Earthquake Engineering and Structural Dynamic, 22, pp. 957-973.

- [26] Villaverde, R., "Reduction in seismic response with heavily-damped vibration absorbers", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 13:33–42, 1985.
- [27] Warburton G.B., 2006, "Optimum absorber parameters for various combination response excitation parameters for systems "Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Volume 8, Issue 3, pages 219–236, 1980.
- [28] Wirsching, P.H., Campbell, G.W., 1974, Minimal structural response under random excitation using the vibration absorber, *E.E.S.D.*, 2, 303-312.
- [29] Yamaguchi H., Harnornchai, N., 1993, Fundamental characteristics of multiple tuned mass dampers for suppressing harmonically forced oscillators, *E.E.S.D.*, 22, 51-62.
- [30] Yang, N.J., Soong, T.T., 1989, Recent Advances in active control of civil engineering structures, *Int., J. of probabilistic engineering. Mechanics*, 3, 4, 179-187.
- [31] Yao T. and Casciati F., Comparison of Strategies for the Active Control of Civil Structures, *Proceeding 1st World Conference on Structural Control*, Pasadena, 1994.
- [32] Zadeh, L.A., 1965, Fuzzy sets, *Inform. Control* 8, 338-353.
- [33] Zadeh, L.A., 1966, Shadows of Fuzzy sets, *Problem. Trans. Information*, 2, 37-44.
- [34] Zadeh, L.A., 1988, Fuzzy logic, *IEEE, computer magazine*, 21, 4.
- [35] Symans MD, Constantinou MC. Semi-active control systems for seismic protection of structures: a state-of-the-art review. *Engineering Structures* 2018; 21: 469– 487.
- [36] Zimmermann, H.J., 2013, *FuzzySet Theory and its Applications*, third edition, Kluwer Academic Publishers, third edition.
- [37] Zitzler, E., Thiele, L., 2017, An evolutionary algorithm for multiobjective optimization: The strength Pareto approach, *Tech. Report 43, Computer engineering and federal ins. Of Tech., Zurich*.

[38] Zadeh, L.A., 1988, Fuzzy logic, IEEE, computer magazine, 21, 4. Micheal, D.S., Steven, W.K., 2015, Fuzzy logic control of bridge structures using intelligent semi-active seismic isolation systems, E.E.S.D., 28, 37-60

[39] Morgan, G.Ch., 2016, Fuzzy logic, Routlndge Encyclopedia of Philosophy, 3, first edition, Craig, E. Routledge, London.

[40] Altrock, Constantin V., 2017, Fuzzy Logic & Nerofuzzy Applications Explained, 3-4

[۴۱] زاهدی، مرتضی، ۱۳۹۴، تئوری مجموعه‌های فازی و کاربردهای آن، نشر کتاب دانشگاهی.

[۴۲] آذر، عادل، فرجی، حجت، ۱۳۹۵، علم مدیریت فازی، تهران.

[۴۳] طاهری، سید محمود، ۱۸، آشنایی با نظریه مجموعه‌های فازی، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، چاپ دوم.

[۴۴] ناطقی الهی، فریبرز، ۱۳۷۸، میراگرهای انرژی در مقاوم سازی لرزه‌ای ساختمان‌ها، پژوهشکده بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.

[۴۵] کاسکو، بارت، ۱۳۸۹، تفکر فازی، مترجمان غفاری، مقصود پور، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

[۴۶] گرامی م، واثقی ا، عبدا... زاده د، ۱۳۸۷، "بررسی رفتار سازه‌ها تحت زلزله‌های حوزه نزدیک"، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران.

Abstract

Protect the structure, its inhabitants and their equipment against earthquakes is one of the most important challenges in civil engineering. In the past, design methods based on inelastic deformation were considered, but today structural control has received special attention. Classical control algorithms, on the other hand, require a precise model of the structure to reduce vibration, while the structures being constructed are narrower, more flexible, and have more complex properties. Therefore, reducing the complexity of the structural model is incorrect and the control mechanism based on this model will not be optimal. Fuzzy control as a suitable method does not require an exact mathematical model of the structure and does not depend on the reduced model, so the study of fuzzy controller is important for a structure with several degrees of freedom in order to reduce vibrations from earthquakes. Fuzzy controller Due to its durability and high performance properties, it is used effectively and easily in control. In this study, we try to study the controlling effect on the response of the structure using a model with several degrees of freedom with an active mass damper that is considered in the last floor. For this purpose, the effect of the controller in limited the displacements and accelerations as well as the displacement of the active mass attenuator has been studied. Also, the efficiency of fuzzy controller for different earthquakes such as El Centro, Hachinohe, Northridge and Tabas has been calculated and evaluated by a simulated model in Matlab software. And the obtained responses are compared with the responses of the structure controlled by the active mass damper.

Keywords: Seismic control, Adjustable mass damper, Active Control, Fuzzy Logic



Shahrood University of Technology

Kharazmi International Campus

Ph.D. Thesis in Structural Engineering

Using fuzzy logic on active control of tall buildings response due to earthquake

By:

Amir Hossein Shafiee Ardestani

Supervisor:

Dr. Ali Keyhani

October 2021