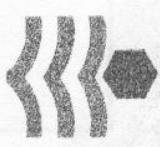




Babol Noshirvani University of Technology  
Faculty of Civil Engineering  
May 7 - 8, 2014  
Babol - Iran

سند علمی



مهندسی عمران  
Civil Engineering

نگاه صنعتی نوشیروانی بابل  
شکده مهندسی عمران  
۱۳۹۱ و ۱۳۹۰ اردیبهشت  
بابل - ایران

## کواهی ارائه مقاله

کواهی می شود مقاله با مشخصات ذیل در **مهمین کنفرانس ملی مهندسی عمران** به صورت پوستر ارائه شده و در **مجموعه مقالات** درج گردیده است.

نویسندگان: محمد موزیری ثانی و عباس کرم الدین

عنوان مقاله: کنترل نبرد فعال میراگر جرمی تنظیم شده به روش شبکه فازی

با آرزوی بهر روزی و موفقیت موفصلین در کشورمان دانش و فن کشور عزیزمان ایران.

دکتر مرتضی نبی پور  
رئیس هیئت مدیره  
دوره



## کنترل نیمه فعال میراگر جرمی تنظیم شده به روش ژنتیک فازی

محمد مویزی ثانی<sup>۱</sup>، عباس کرم الدین<sup>۲</sup>

۱- کارشناس ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه عمران

۲- استادیار، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه عمران

[mohammad\\_sani\\_ce@yahoo.com](mailto:mohammad_sani_ce@yahoo.com)

[akaramodin@yahoo.com](mailto:akaramodin@yahoo.com)

### خلاصه

هدف از این مقاله نشان دادن عملکرد مناسب میراگر های جرمی نیمه فعال در کنترل پاسخ لرزه ای سازه ها و مقایسه آن با میراگرهای جرمی غیر فعال است. یک میراگر جرمی با مشخصات بهینه شده بر اساس فرکانس مود اول سازه بر روی طبقه بام سازه نصب شده است. برای اعمال نیروی کنترل نیمه فعال به میراگر جرمی از یک میراگر کنترل پذیر مغناطیسی MR استفاده شده است. کنترل رفتار سازه با یک کنترل کننده فازی که قوانین آن به کمک الگوریتم ژنتیک بر مبنای کمینه کردن تغییر مکان نسبی بهینه شده است انجام می شود. برای ارزیابی عملکرد میراگر دو سازه مرجع غیر خطی ۳ و ۹ طبقه تحت ۴ زلزله ال سنترو، هاجینو، نورث ریج و کوبه مورد استفاده قرار گرفته اند. نتایج حاصل از ارزیابی، کاهش قابل توجهی را در تغییر مکان نسبی، شتاب مطلق و برش پایه ساختمان نشان می دهد.

**کلمات کلیدی:** میراگر جرمی تنظیم شده نیمه فعال، کنترل فازی، الگوریتم ژنتیک، میراگر MR

### ۱. مقدمه

سازه های مهندسی عمران ممکن است در طول عمر مفید خود تحت ارتعاشات شدیدی قرار بگیرند و یا حتی در بادها یا زلزله های شدید فرو بریزند. سازه ها به طور کلی وابسته به سختی خود برای مقاومت در برابر نیروی زلزله و میرایی ذاتی کم مصالح خود برای استهلاک انرژی هستند. این سازه ها غیر فعال هستند چون نمی توانند خود را در برابر تغییرات احتمالی بارهای باد یا زلزله تطبیق کنند. امروزه برای کنترل سازه ها روش های جدیدی توسط محققان مختلف ارائه گردیده است که عمده ترین آن ها سیستم های کنترل غیرفعال، نیمه فعال، فعال و ترکیبی است. از میان سیستم های کنترلی مختلف سیستم میراگر جرمی تنظیم شده یک سیستم مناسب جهت کنترل پاسخ لرزه ای سازه ها است. فرام [1] در سال ۱۹۱۱ برای اولین بار یک میراگر ارتعاشی ساده جرم - فنر - میراگر را به عنوان یک میراگر جرمی به کار برد. هدف اصلی وی کاهش حرکت دورانی کشتی ها در بدنه ی ارتعاشی کشتی بود. سابقه تئوری برای یک TMD بعدها در مقاله ای به وسیله اورموندروید و دن هارتوگ در سال ۱۹۲۸ ارائه شده بود. سپس، دن هارتوگ یک بحث جزئی پارامترهای بهینه تنظیم و میرایی را در کتاب ارتعاشات مکانیکی در سال ۱۹۴۰ فراهم کرد [2]. از آن زمان دستگاه TMD برای کاربردهای متعدد متفاوتی شامل موتورهای تناوبی، پایه موتور جت، خطوط انتقال توان، هم فشارها (دستگاهی که زیاله را به هم می فشارد و تبدیل به آجرک های کم حجم می کند)، بالگردها، خودروها، ساختمان ها و پل های تحت تأثیر باد و زلزله توسعه داده شده است. علاوه بر سیستم های مکانیکی، از یک TMD می توان، در کاهش فشار ارتعاشی در سیستم های هیدرولیکی بهره گیری کرد [3]. این میراگرها غیر فعالند، و تطبیق پذیری زیادی با شرایط تحریک زلزله ندارند و فقط در پهنه فرکانسی محدودی موثرند. در مقابل سیستم های کنترلی نیمه فعال، یک مکانیزم تطبیق پذیری به سیستم های غیر فعال برای تنظیم رفتار تولید نیروی آن ها اضافه می کنند، در نتیجه بیشتر اوقات به عنوان سیستم های غیر فعال قابل کنترل مشاهده می شوند. در مقایسه با سیستم های فعال، یک سیستم نیمه فعال، کمتر تطبیق پذیر است، چون ظرفیت تولید نیروی آن بر اساس سیستم غیر فعال محدود می شود. ولی نیاز به توان خارجی زیاد که احتمال خسارت آن در حین زمین لرزه وجود دارد ندارد و این عیب سیستم های فعال را پوشش می دهد و به خوبی پاسخ لرزه ای سازه را کاهش می دهد. در سال ۱۹۸۳ هرووات و همکارانش [4] یک TMD نیمه فعال (SATMD) با اجزای میرایی متغیر برای کنترل ارتعاشات ناشی از باد در ساختمان های بلند پیشنهاد کردند. آبه [5] در سال ۱۹۹۶ تغییرات یک SATMD با مولد پالسی برای حفاظت لرزه ای سازه های عمرانی را مطالعه کرد. ستاره [6] در سال ۲۰۰۱ کاربرد میراگرهای «اتصال به زمین» نیمه فعال را مطالعه کرد، که برای کنترل ارتعاش وسایل نقلیه، به عنوان یک عنصر سیستم TMD، استفاده

شده است. پینکاو و فوجینو [7] در سال ۲۰۰۱ یک SATMD با میرایی متغیر تحت تحریک هارمونیک را نشان دادند و نشان دادند که کنترل بهینه نیمه فعال توسط «قانون کنترل بهینه سریع» کنترل می‌شود.

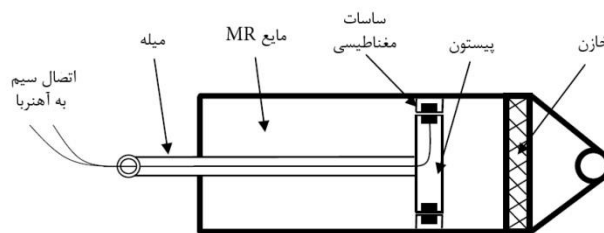
منطق فازی در سال ۱۹۶۵ توسط لطف علی عسگرزاده [8] ارائه شد. به صورت مفهومی منطق فازی، چند ارزشی است و اجازه می‌دهد که ارزش‌هایی را بین دو ارزشی‌هایی مثل «درست/ نادرست»، «بله/ خیر» و ... تعریف کرد. به طور کلی در منطق فازی احتیاج به دانستن سه چیز است، اول تعریف یا مدلی برای متغیرها، دوم چگونگی ارتباط متغیرها (اگر چند ورودی داشته باشیم) و سوم چگونگی نتیجه‌گیری که می‌توان به وسیله این سه پارامتر راحتی یک مدل را تعریف کرد.

الگوریتم ژنتیک، به عنوان یک الگوریتم محاسباتی بهینه‌سازی، با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از نقاط فضای جواب در هر تکرار محاسباتی، به نحو موثری نواحی مختلف فضای جواب را جستجو می‌کند. با توجه به وجود منطق فازی و الگوریتم ژنتیک و با استفاده همزمان از آن‌ها می‌توان یک مدل ژنتیک فازی را برپا کرد. چون در یک مسئله فازی پارامترها و روابط بین آن‌ها و همچنین قوانین فازی پیچیدگی‌های خاصی دارد و معمولاً عدم اطلاع و دانش کافی از آن باعث جواب‌های کم دقتی می‌شود، الگوریتم ژنتیک یک ابزار مناسب برای بهینه کردن پاسخ‌ها بر اساس معیارهای ارزیابی می‌باشد.

در این مقاله برای کنترل رفتار سازه‌ها و استفاده از تئوری سازه‌های هوشمند از میراگر جرمی به عنوان دستگاه کنترل استفاده شده است. الگوریتم ژنتیک فازی به عنوان کنترل کننده و یک میراگر MR با ظرفیت ۱۰۰۰ KN برای اعمال نیروی کنترلی استفاده شده است. برای انجام این کار از دو سازه سه و نه طبقه مرجع غیر خطی استفاده شده است. معیار ارزیابی برای کنترل، حداقل کردن تغییر مکان نسبی طبقات است که نتایج کاهش قابل توجهی را در پاسخ نشان می‌دهد.

## ۲. تعیین مشخصات میراگر نیمه فعال MR

میراگرهای کنترل پذیر مغناطیسی از مایعات هوشمند MR استفاده می‌کنند که یک آنالوگ تشابهی مایع ER است و عموماً از سائز میکرون تشکیل شده است، ذرات قطبش پذیر مغناطیسی در یک مایع ویسکوز مثل یک روغن سیلیکون پراکنده شده‌اند. زمانیکه مایع MR تحت تأثیر یک میدان مغناطیسی قرار گیرد، ذرات در مایع قطبش پیدا می‌کنند و از هم جدا می‌شوند، و مایع یک رفتار ویسکوپلاستیک از خود به نمایش می‌گذارد، بنابراین مقاومت بازخورد به مایع جریان می‌یابد. مایع MR همچنین، بوسیله توانایش برای انجام تغییرات برگشت پذیر از یک مایع ویسکوز خطی جریان آزاد به یک نیمه جامد در زمان چند میلی ثانیه زمانیکه تحت یک میدان مغناطیسی است شناخته می‌شود. با تغییر قدرت میدان مغناطیسی مطابق یک الگوریتم از پیش تعیین شده، نیروی کنترلی تولید شده توسط میراگر MR می‌تواند متناسب با آن تنظیم شود. مایعات MR امتیازات مقاومت جاری شدگی بالا (حدود 50-100 KPa)، عدم حساسیت به آلاینده‌ها و رفتار پایدار بیش از یک گستره دمایی گسترده از خود نشان می‌دهند [9]. در مدل شماتیک میراگر MR نشان داده شده است.



شکل ۱- مدل شماتیک میراگر MR

برای کنترل نیمه فعال میراگر جرمی، از میراگر MR استفاده می‌شود. در اکثر مطالعات و مقالات انجام شده این میراگر عملکرد خوبی را در کنترل سازه از خود نشان داده است. در حالت کلی با در نظر گرفتن اثر دینامیک، ابزار مدل ریاضی آن را می‌توان به شکل زیر نوشت [10]:

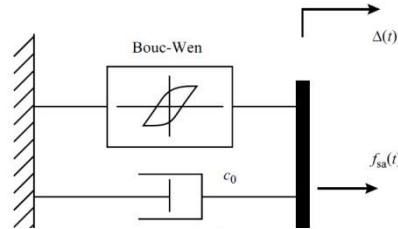
$$\dot{x} = g_1(x, y, u, t) \quad (1)$$

$$f = g_2(x, y, u, t)$$

در این رابطه  $x$  بردار حالت ابزار،  $y$  حرکت سازه در محل اتصال به ابزار و  $u$  پارامتر کنترل کننده ابزار است. در حالتی که از اثر دینامیک ابزار صرف نظر شود مدل آن به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\dot{f} = g(y_c, u, t) \quad (2)$$

مدل‌های مختلفی برای میراگر MR ارائه توسط محققین مختلف ارائه شده است. در این تحقیق از یک میراگر MR ساده که در شکل ۲ نشان داده شده است استفاده گردیده است. این میراگر در مطالعات انجام شده انطباق خوبی را با نتایج آزمایشگاهی نشان داده است [11, 12].



شکل ۲- مدل میراگر MR

معادلات حاکم بر این مدل را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\begin{aligned} f &= C_0 \dot{x}_e + \alpha z \\ \dot{z} &= -\gamma |\dot{x}_e| |z| |z|^{n-1} - \beta \dot{x}_e |z|^n + A \dot{x}_e \end{aligned} \quad (3)$$

$$\alpha = \alpha(u) = \alpha_a + \alpha_b$$

$$C_0 = C_0(u) = C_{0a} + C_{0b} u$$

در این رابطه،  $\dot{x}_e$  سرعت نسبی دوسر میراگر و  $z$  یک متغیر تکاملی است که وابستگی پاسخ به تاریخچه آن را نشان می‌دهد. با تنظیم پارامترهای  $\gamma$ ،  $\beta$ ،  $n$  و  $A$  می‌توان شیب رفتار خطی و انحنای قسمت تبدیل رفتار خطی به حالت تسلیم را مشخص نمود. پارامترهای  $\alpha$  و  $C_0$  نیز متغیر بوده و توسط یک کنترل کننده قبل تنظیم‌اند. در این روابط  $u$  خروجی جریان مدار الکتریکی میراگر است که توسط رابطه دینامیکی زیر بر حسب ولتاژ ورودی مدار مشخص می‌شود.

$$\dot{u} = -\eta(u-v) \quad (4)$$

در این مقاله، پارامترهای میراگر طوری انتخاب شده‌اند تا به ازای ولتاژ حداکثر  $V_{max} = 10V$  ظرفیتی معادل  $1000 \text{ KN}$  را ایجاد کند. مقادیر این پارامترها در زیر نشان داده شده است.

جدول ۱- پارامترهای میراگر MR

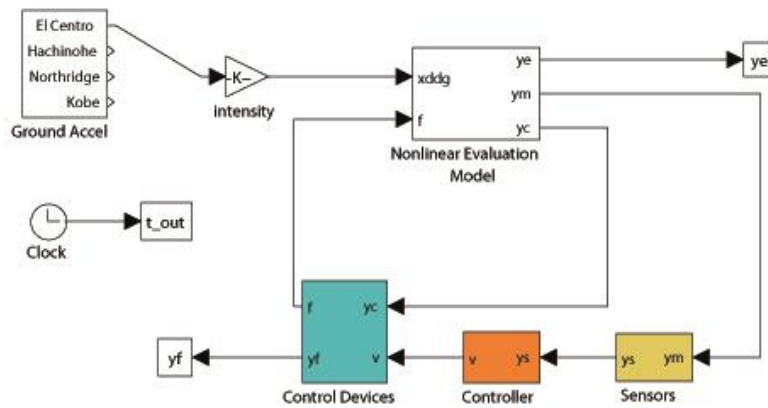
$\alpha_a = 1.0872e + 05 \text{ N/cm}$	$\alpha_b = 4.9616e + 05 \text{ N/(cm.v)}$
$C_{0a} = 4.40 \text{ N.sec/sm}$	$C_{0b} = 44 \text{ N.sec/(cm.v)}$
$A = 1.2$	$\gamma = 3 \text{ cm}^{-1}$
$\beta = 3 \text{ cm}^{-1}$	$\eta = 50 \text{ sec}^{-1}$
$n = 1$	

### ۳. شبیه سازی مدل سیستم کنترل و میراگر جرمی

سیستم کنترل سازه در محیط نرم افزار MATLAB شبیه سازی گردیده است. نرم افزار MATLAB به دلیل دارا بودن امکانات قوی و مناسب برنامه نویسی و مدل سازی مختلف مانند جعبه ابزار فازی، الگوریتم‌های ژنتیک و ... برای مدل سازی سیستم مناسب است. علاوه بر این، محیط نرم افزار SIMULINK با بلوک‌های محاسباتی گرافیکی مختلف کار مدل سازی و شبیه سازی سیستم کنترلی و الگوریتم کنترل کننده را دقیق و آسان نموده است. سیستم شبیه سازی به کار رفته در این مقاله در شکل ۳ مشاهده می‌شود.

در این سیستم از بلوک‌های محاسباتی مختلفی استفاده شده است. بلوک «شتاب زمین» محتوای داده‌های زلزله‌های مختلفی است که در این مقاله استفاده گردیده است. بزرگی این زلزله‌ها با ضریب «شدت» در بلوک بزرگنمایی قابل تنظیم است که برای هر زلزله شدت‌های مختلفی در نظر گرفته شده است. بلوک «تحلیل غیر خطی سازه» در واقع بلوک اصلی محاسباتی و تحلیل است که جایگزین سازه اصلی و مدل فیزیکی سازه می‌شود. بلوک «سنسورها» مدل ریاضی ابزارهای اندازه گیری به کار رفته را نشان می‌دهد. این ابزارها پاسخ‌های مورد نیاز سازه را در محل نصب سنسورها با پارامتر  $y_m$  اندازه گیری کرده و برای کنترل مورد استفاده قرار می‌گیرد. بلوک «کنترل کننده» برای کنترل سازه و اعمال الگوریتم کنترلی در هر لحظه به

کار می‌رود. بلوک «وسایل کنترل» نیز مدل ریاضی وسیله کنترلی به کار رفته است، که نیروی کنترلی مورد نیاز را بر اساس الگوریتم کنترل به سازه اعمال می‌کند.



شکل ۳- نمودار شبیه سازی مدل کنترلی در نرم افزار SIMULINK

#### ۴. کنترل کننده ژنتیک فازی

در این قسمت طراحی یک کنترل کننده ژنتیک فازی ارائه خواهد شد. پارامترهای کنترل کننده فازی توسط الگوریتم ژنتیک تعیین می‌شوند. معیار تعیین این پارامترها توسط الگوریتم ژنتیک، کمینه کردن جابجایی نسبی طبقات در سازه است. برای تعیین پارامترها و به عبارت دیگر آموزش کنترل کننده فازی روش های مختلفی وجود دارد که در این مقاله از روش آموزش قوانین استفاده شده است. در این روش توابع عضویت متغیرهای ورودی و خروجی انتخاب شده و قوانین فازی توسط الگوریتم ژنتیک آموزش داده شده‌اند. یعنی فقط پارامترهای بخش نتیجه قوانین فازی در الگوریتم ژنتیک کد شده‌اند.

در روش آموزش قوانین ابتدا توابع عضویت متغیرهای ورودی و خروجی انتخاب شده‌اند. برای هر متغیر مطابق شکل **Error! Reference source not found.** از ۵ متغیر زبانی استفاده گردیده است. مقادیر زبانی متغیرهای ورودی به ترتیب شامل منفی بزرگ (NB)، منفی متوسط (NM)، صفر (ZE)، مثبت متوسط (PM) و مثبت بزرگ (PB) هستند. به همین صورت مقادیر زبانی متغیر خروجی شامل صفر (ZE)، کوچک (SM)، متوسط (ME)، بزرگ (BI) و خیلی بزرگ (VB) انتخاب شده‌اند. برای مقادیر زبانی متغیرهای ورودی تابع دوزنقه‌ای و برای مقادیر زبانی متغیر خروجی از تابع مثلثی استفاده شده است. ضریب مقیاس هر کدام از متغیرهای ورودی طوری در نظر گرفته شده است که دامنه تغییرات آنها با توجه به حداقل و حداکثر مقدار قابل پیش بینی برای آنها، برای جابجایی و شتاب بین ۱۰ و ۱۰- باشد. همچنین دامنه تغییرات متغیر خروجی که ولتاژ میراگر است بین ۰ تا ۱۰ لحاظ شده است. در تعیین توابع عضویت معیارهای معنایی سیستم‌های فازی استفاده گردیده است. هر کدام از متغیرهای ورودی دارای ۵ مقدار فازی هستند که بنابراین ناحیه فضای ورودی به ۲۵ قسمت تقسیم می‌شود. بنابراین پایگاه کامل قوانین فازی شامل ۲۵ قانون خواهد بود مقدار مقدمه در بخش قوانین ثابت بوده و فقط مقدار فازی متغیر خروجی در بخش قانون مجهول خواهد بود. به این ترتیب تعیین ۲۵ قانون فازی وظیفه‌ای است که الگوریتم ژنتیک باید انجام دهد. این قوانین در جدول ۲ با  $r1$  تا  $r25$  به نمایش در آمده‌اند.

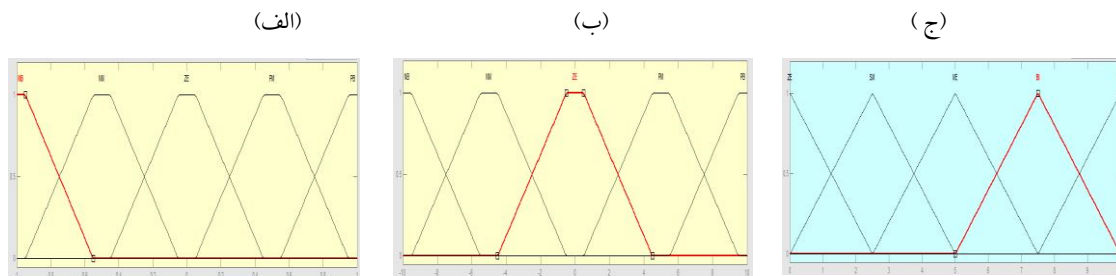
#### جدول ۲- پارامترهای قوانین فازی

Story Drift

	NB	NM	ZE	PM	PB
Acceleration	NB	r1	r2	r3	r4
	NM	r6	r7	r8	r9
	ZE	r11	r12	r13	r14
	PM	r16	r17	r18	r19
	PB	r21	r22	r23	r24

برای آموزش پایگاه قوانین از یک الگوریتم ژنتیک استفاده گردیده است. برای این منظور از جعبه ابزار gatool نرم افزار MATLAB بهره‌گیری شده است. برای هر کدام از متغیرهای  $r$  دامنه ۱ تا ۵ به صورت اعداد صحیح در نظر گرفته شده است. به طوری که عدد ۱ نشان دهنده مقدار فازی صفر

(ZE)، عدد ۲ نشان دهنده مقدار فازی کوچک (SM) و به همین ترتیب عدد ۵ نشان دهنده مقدار فازی خیلی بزرگ (VB) است. این متغیرها به صورت اعداد صحیح در الگوریتم ژنتیک کدنویسی شده‌اند. تعداد اعضای جمعیت الگوریتم برای انجام فرایند بهینه سازی ۲۵ عضو انتخاب شده‌اند که هر عضو دارای ۲۵ متغیر قوانین فازی است که به صورت تصادفی از بین اعداد ۱ تا ۵ برگزیده شده‌اند. برای تولید جمعیت جدید و تغییر نسل ابتدا یکی از اعضای جمعیت موجود که دارای بالاترین شایستگی است بدون هیچ تغییری به نسل جدید منتقل می‌شود و سایر اعضای نسل جدید از طریق عملگرهای پیوند و جهش تولید می‌شوند. ۸۰ درصد این اعضا با استفاده از عملگر پیوند و ۲۰ درصد با عملگر جهش ایجاد می‌شوند. برای انتخاب والدین عملگرهای پیوند و جهش از روش انتخاب احتمالاتی یکنواخت استفاده شده است. در این روش ابتدا خطی تشکیل می‌شود که طول آن برابر مجموع طول پاره‌خط‌هایی متناسب با شایستگی اعضای جمعیت است. برای انتخاب والدین یک گام حرکت با طول ثابت بر روی این خط انجام می‌شود. اولین گام به صورت تصادفی با طولی کمتر از گام حرکت آغاز می‌شود. عملگر پیوند از نوع یک نقطه‌ای انتخاب شده است. برای عملگر جهش از روش یکنواخت با نرخ ۰٫۱ استفاده شده است.

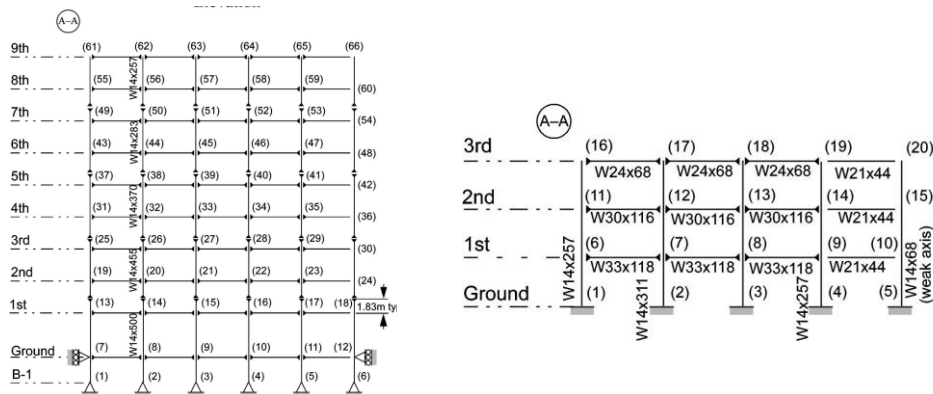


شکل ۴- توابع عضویت ورودی و خروجی فازی؛ (الف) تابع تغییر مکان ورودی، (ب) تابع شتاب ورودی، (ج) تابع ولتاژ خروجی

## ۵. کاربرد عددی

به منظور ارزیابی و مقایسه عملکرد میراگر جرمی غیر فعال با میراگر جرمی نیمه فعال به روش شرح داده شده در بالا از دو سازه مرجع سه و نه طبقه در مقابل زلزله استفاده و نتایج آن‌ها بررسی شده است.

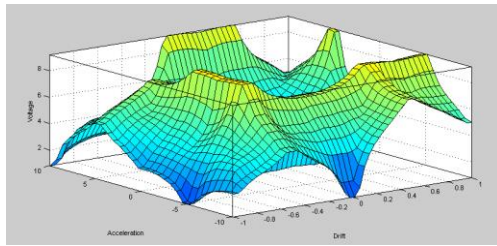
مشخصات سازه‌های سه و نه طبقه در شکل ۵ نشان داده شده است. برای کنترل این سازه از یک میراگر جرمی که بر اساس مود اول سازه تنظیم شده استفاده گردیده است که این میراگر با یک میراگر MR با ظرفیت ۱۰۰۰ KN به صورت نیمه فعال کنترل می‌شود. همچنین یک سنسور بر روی بام سازه برای اندازه‌گیری شتاب بام نصب شده است. میراگر MR فرمان کنترلی را از کنترل کننده ژنتیک فازی دریافت کرده و نیروی تولیدی را به جرم میراگر اعمال می‌کند. برای آموزش این کنترلر از زلزله ال سنترو با شدت ۱٫۵ استفاده شده است.



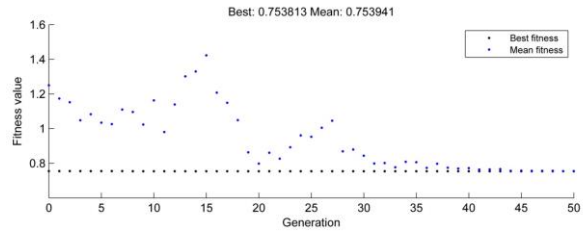
شکل ۵- مدل سازه‌های سه و نه طبقه

در شکل‌های ۶- (الف) و ۸- (الف) محور عمودی مقدار جابجایی طبقه در حالت کنترل شده به حالت کنترل نشده و محور افقی شماره هر نسل از جمعیت را نشان می‌دهد. برای هر نسل بهترین پاسخ بدست آمده همراه با میانگین پاسخ‌های بدست آمده برای عضوهای هر جمعیت نشان داده شده است. بهترین پاسخ حاصل شده پس از تولید ۵۰ نسل از جمعیت اولیه برای سازه سه طبقه ۰٫۷۵۳۸ و برای سازه ۹ طبقه ۰٫۷۵۵۷ می‌باشد. سطح کنترل، نمودار میله‌ای قوانین فازی و جدول قوانین فازی نیز قابل مشاهده است. تاریخچه جابجایی سازه تحت ۴ زلزله ال سنترو، هاجینو، نورث‌ریج و کوبه در شکل ۷ نشان داده شده است.

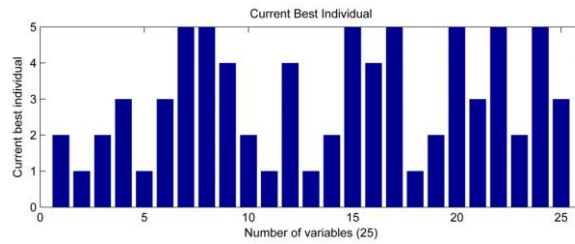
(ب)



(الف)

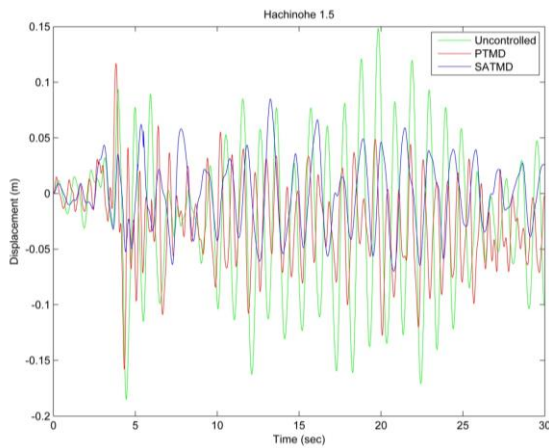


(ج)

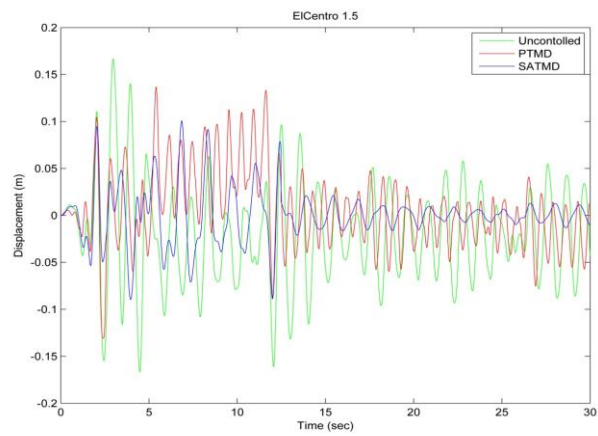


شکل ۶- نمودار (الف) فرایند آموزش، (ب) سطح قوانین فازی، (ج) نمودار میله ای قوانین فازی

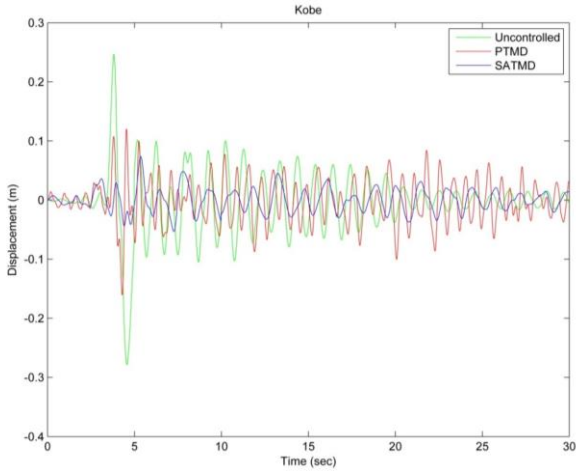
(ب)



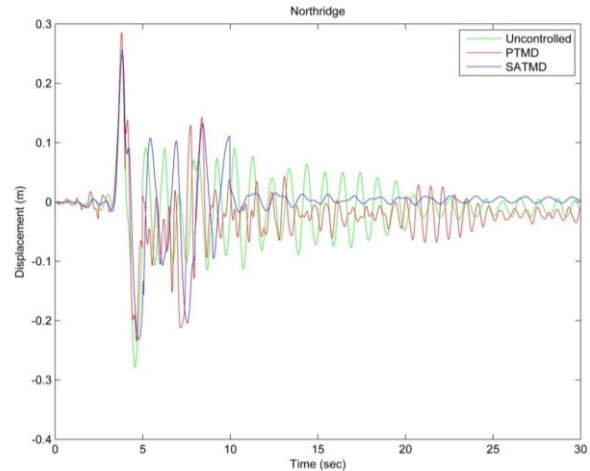
(الف)



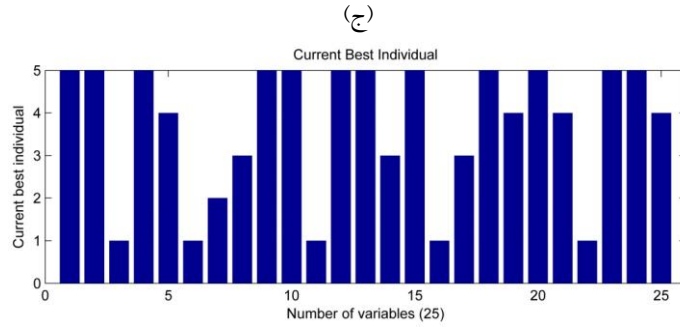
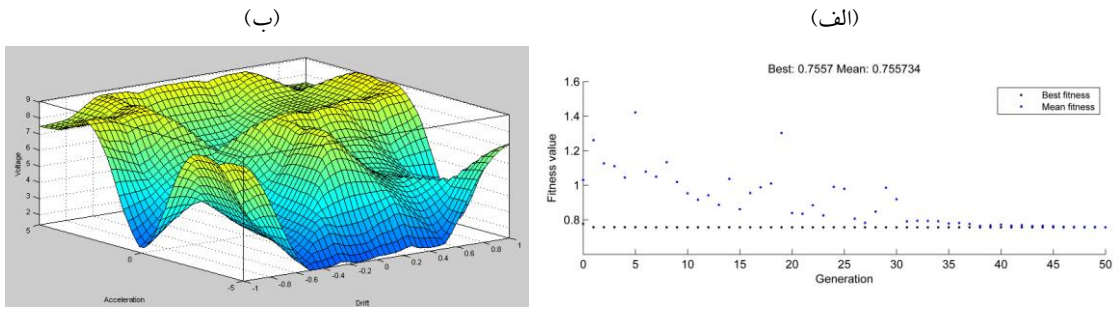
(د)



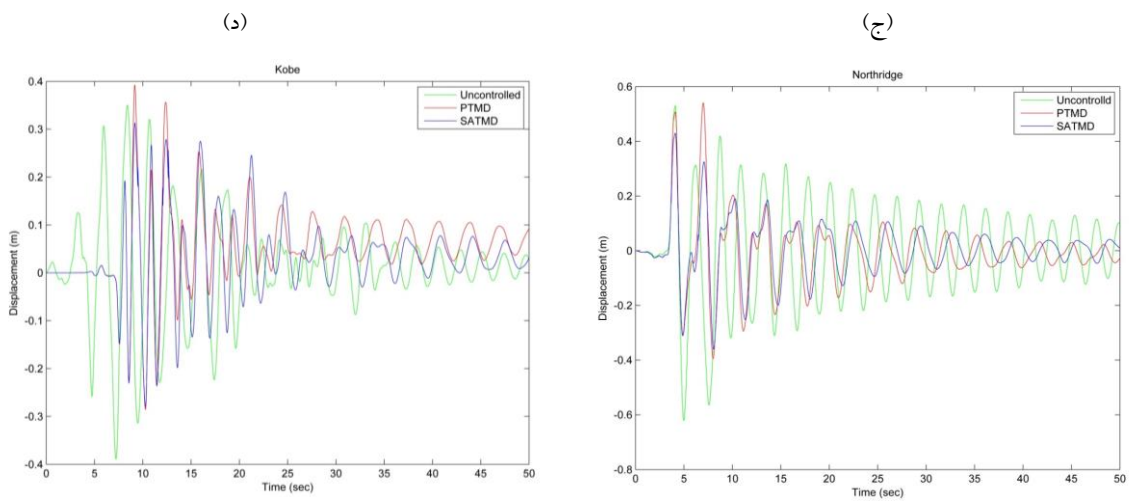
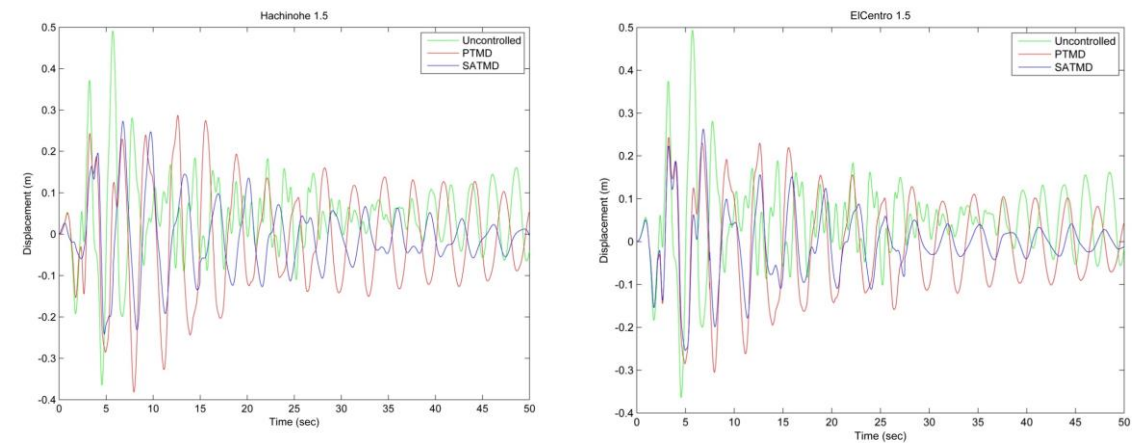
(ج)



شکل ۷- تاریخچه جابجایی نسبی طبقه بام سازه سه طبقه تحت اثر چهار زلزله مختلف: (الف) ال سترو، (ب) هاجینو، (ج) نورتریج، (د) کوبه



شکل ۸- نمودار (الف) فرایند آموزش، (ب) سطح قوانین فازی، (ج) نمودار میله ای قوانین فازی  
(الف) (ب)



شکل ۹- تاریخچه جابجایی نسبی طبقه بام سازه سه طبقه تحت اثر چهار زلزله مختلف: (الف) ال سترو، (ب) هاجینو، (ج) نورتریج، (د) کوبه





## ۶. نتایج

۱. نتایج میراگرهای جرمی نیمه فعال نشان می‌دهد که این میراگر به طور متوسط ۳۸٪ تغییر مکان نسبی طبقات را کاهش داده است. شتاب طبقات نیز حدود ۲۶٪ به طور متوسط کاهش یافته است.
۲. از مقایسه نتایج میراگرهای جرمی نیمه فعال و غیر فعال ملاحظه می‌شود که میراگر نیمه فعال حدود ۱۰ تا ۱۵٪ بیشتر پاسخ را کاهش می‌دهد.
۳. در میراگر جرمی نیمه فعال با توجه به تک هدفه بودن معیار ارزیابی و الگوریتم کنترل در کاهش تغییر مکان نسبی طبقات و شتاب به خوبی عمل کرده است ولی در بعضی موارد در شتاب پایه سازه عملکرد خوبی نداشته است و نسبت معیاری بیشتر از ۱ شده است که این ناشی از آموزش الگوریتم ژنتیک بر اساس کاهش تغییر مکان نسبی طبقات بوده است.
۴. از مقایسه نتایج زلزله‌های مختلف می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تأثیر این کنترل کننده در زلزله‌های میدان نزدیک کمتر بوده و می‌توان آموزش جداگانه‌ای نسبت به این زلزله‌ها داشت.
۵. الگوریتم ژنتیک فازی به کار رفته در این مقاله به خوبی توانسته است در کاهش پاسخ و معیار ارزیابی تغییر مکان سازه عمل کند و رفتار سازه را برای همه زمین لرزه‌ها کاهش دهد.

## ۷. مراجع

- [1] H. Frahm, "Device for damping of bodies", U.S. Patent No. 989, 958., 1911.
- [2] T. Lides, "IMPROVING THE PERFORMANCE OF THE SEMI-ACTIVE TUNED MASS DAMPER", *University of Oulu*, 2009.
- [3] J. Mikota and Manhartsgruber, "Transient response dynamics of dynamic vibration absorbers for the attenuation of fluid-flow pulsations in hydraulic systems", UK: Proc Bath Workshop on Power Transmission and Motion Control, 2001.
- [4] D. Hrovat, P. Barak and M. Rabins, "Semi-active versus passive or active tuned mass dampers for structural control", *ASCE Journal of Engineering Mechanics*, 1983.
- [5] M. Abe, Igusa and T, "Semi-active dynamic vibration absorbers for controlling transient response", *J Sound Vibrat*, 1996.
- [6] M. Setareh, "Application of semi-active tuned mass dampers to base-excited systems", *Eartquake Eng & Struct Dyn*, 2001.
- [7] T. Pinkaew and Y. Fujino, "Effectiveness of semi-active tuned mass dampers under harmonic excitation", *Eng Struct*, 2001.
- [8] Z. L.A, "Fuzzy set", *Information and Control*, 1965, pp. 338-353.
- [9] B. Spencer, 1, 1, 1 and 1, "Dynamic model of a magneto-rheological damper", Chicago, ASCE, Reston, Virginia: in *Proceedings of the Twelfth ASCE Conference on Analysis and Computation*, 1996.
- [10] Y. Ohtori, A. Christenson, B. J. Spencer and S. Dyke, "Benchmark Control Problems for Seismically Excited Nonlinear Buildings", 2004.
- [11] F. Yi, S. Dyke, J. Caicedo and J. Carlson, "Experimental verification of multi-input seismic control strategies for smart dampers", *J.Eng.Mech*, 2001.
- [12] L. Jansen and S. Dyke, "Semi active control strategies for magnetorheological dampers: Comparison study", *J.Eng.Mech*, 2000.