

The Investigation of the effect of earthquake type on the structure s behavior with Tuned liquid damper with variable baffles under semi-active control

Hamed Enayati^{1*}, Ali Mohammad Roustaa²

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, University of Science and Technology of Mazandaran, Behshahr, Iran

2- Assistant Professor, Department of civil Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran

ABSTRACT

Earthquake as a natural hazard jeopardizes civil structures and infrastructures. Iran is a seismically susceptible country compelling experts to adopt appropriate counter measures in design practices. In this regard the structural control concepts well known from which semi active control methodologies have been addressed vastly by scholars during last two decades. These methods impose controlling actions by changing stiffness and damping traits of the structure. In addition to provisions to be considered in the structure side, earthquake properties originated from distance to source fault should be dealt with as near and far field categories. In this paper, we are aimed to evaluate efficacy of a liquid damper with adjustable blades in a semi active scenario. Generally, liquid dampers have low installation and maintenance costs that make them as a suitable choice in many applications. The structural model is single degree of freedom subjected to 6 far field and 6 near field earthquakes. A fuzzy algorithm has been developed to handle the blades rotation in the semi active control. The algorithm adjusts the blade angle based on corresponding damping ratios adopted from a previous research. Results of analyses demonstrate that the damper can reduce structural responses significantly. This reduction about responses from near field ground motions are greater than those of far field ground motions. The Results show the maximum of displacement in semi active control reduce 17% in near field earthquake and 13% in far field earthquake compared to passive control.

ARTICLE INFO

Receive Date: 17 February 2019

Revise Date: 25 June 2020

Accept Date: 13 July 2020

Keywords:

Semi-Active Control
Single Degree of Freedom
Fuzzy Algorithm
Tuned liquid damper with
variable baffles
Near Field Earthquake
Far Field Earthquake

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.172223.1786>

*Corresponding author: Hamed Enayati
Email address: hamed.enayati@mazust.ac.ir

بررسی اثر نوع زلزله بر رفتار سازه با میراگر مایع با پره قابل تنظیم تحت کنترل نیمه فعال

حامد عنایتی^{۱*}، علی محمد روستا^۲

۱- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه علم و فناوری مازندران، ایران، مازندران، بهشهر

۲- استادیار دانشگاه یاسوج- دانشکده فنی و مهندسی - گروه عمران، ایران، یاسوج

چکیده

یکی از خطراتی که همواره سازه های عمرانی را تهدید می کند زلزله می باشد. این تهدید در ایران که کشوری لرزه خیز می باشد بسیار جدی می باشد. یکی از روش های مورد استفاده برای این منظور کنترل سازه ها می باشد. در سال های اخیر روش کنترل نیمه فعال با توجه به مزایای آن مورد توجه محققین قرار گرفته است. در این روش بر اساس تغییر خواص میرایی و یا سختی سیستم پاسخ سازه کاهش می یابد. در این تحقیق به منظور بررسی تاثیر نوع رکورد زلزله بر رفتار سازه از ۶ رکورد زلزله حوزه نزدیک و ۶ رکورد زلزله حوزه دور استفاده شده است. سازه مورد بررسی در این تحقیق یک سازه یک درجه آزادی می باشد که برای کنترل نیمه فعال آن از یک میراگر مایع با پره قابل تنظیم استفاده شده است. میراگر مایع یک میراگر با هزینه نصب، ساخت و نگهداری پایین بوده که می تواند با عملکرد دوگانه به عنوان مخزن ذخیره نیز مورد استفاده قرار بگیرد. برای کنترل نیمه فعال میراگر با طراحی یک الگوریتم فازی پره ها در حین تحریک چرخانده می شود. برای طراحی الگوریتم مورد نظر ضریب میرایی میراگر در زوایای مختلف پره ها لازم می باشد که برای این منظور از نتایج آزمایشات انجام شده توسط عنایتی و زهرایی استفاده شده است. نتایج نشان می دهد که در مقایسه رفتار سازه تحت اثر رکورد زلزله حوزه نزدیک و حوزه دور میراگر تحت رکورد حوزه نزدیک رفتار بهتری نسبت رکورد حوزه دور از خود نشان می دهد و میزان کاهش پاسخ ها بیشتر می باشد. بررسی پاسخ جابجایی سازه نشان می دهد که در زلزله های حوزه نزدیک بیشینه پاسخ تا ۱۷ درصد و در زلزله های حوزه دور ۱۳ درصد نسبت به کنترل غیر فعال کاهش از خود نشان می دهد.

کلمات کلیدی: کنترل نیمه فعال، سازه یک درجه آزادی، الگوریتم فازی، میراگر مایع با پره قابل تنظیم، زلزله حوزه نزدیک، زلزله حوزه دور.

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2020.172223.1786	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jsce.2020.172223.1786	۱۴۰۰/۱۲/۲۹	۱۳۹۹/۰۴/۲۳	۱۳۹۹/۰۴/۲۳	۱۳۹۹/۰۴/۰۵	۱۳۹۷/۱۱/۲۸
				*نویسنده مسئول:		
				حامد عنایتی		
				hamed.enayati@mazust.ac.ir		
				پست الکترونیکی:		

۱- مقدمه

میراگر مایعی تنظیم شده یک میراگر مکانیکی غیر فعال است که به منظور کاهش ارتعاشات ناخواسته سازه از طریق تلاطم سیال در یک مخزن صلب طراحی شده است. هزینه ساخت و نگهداری پایین آنها از مزیت عمده این نوع میراگرها می‌باشد. میراگر مایع تنظیم شده به راحتی با کوچکترین حرکت سازه جابجا می‌شود، در عین حال علاوه بر این قابلیت می‌توان از آن به عنوان مخزن ذخیره آب ساختمان نیز استفاده نمود. در این میراگرها انرژی ارتعاشی بصورت اصطکاک در لایه های مرزی سیال، مشارکت سطح آزاد و شکست موج مستهلک می‌شود. عموماً سیال مورد استفاده در داخل میراگر مایع تنظیم شونده (TLD) آب است. میراگرهای TLD برای حذف ارتعاشات ناشی از باد در چندین ساختمان بلند با موفقیت نصب شده اند [۳ و ۲۰۱]. تلاطم سیال به عنوان روشی برای استهلاک انرژی در TLD توسط محققین بسیاری مورد بررسی قرار گرفته است [۵ و ۴]. در سال ۲۰۰۲ داماتی گزارشی از ۳ رساله ی دانشجوی دکتری ارائه داده است که نشان دادند با استفاده از TLD می توان حتی در زلزله های قوی تا ۶۰٪ از پاسخ ساختمان ۸ طبقه فولادی کاست که این امر به نحو چشمگیری باعث افزایش عملکرد سازه می‌گردد [۶]. بارگذاری جانبی از جمله باد و زلزله باعث ارتعاش سازه ها شده و علاوه بر تخریب آنها، اتلاف اموال و تهدید جانی را به دنبال خواهد داشت. به منظور مقابله با اثرات مخرب شرایط محیطی می توان از روش‌هایی مانند: کاهش انرژی انتقال یافته به سازه، افزایش سختی سازه، افزایش شکل پذیری سازه و یا اتلاف انرژی ناشی از زلزله و باد در سازه استفاده نمود. روش های کنترل سازه‌ای بدنبال کاهش ارتعاشات سازه و ارتقا رفتار دینامیکی آن می‌باشند. در این روش ها توسط نصب مکانیزم های کنترلی و اعمال نیروهای کنترلی به سازه این اهداف محقق می‌گردد. به طور کلی روش های کنترل سازه را می توان بر اساس نیاز به انرژی خارجی به چهار دسته شامل کنترل غیر فعال، فعال، ترکیبی و یا نیمه فعال تقسیم کرد. ایده کنترل غیرفعال بر این اصل استوار است که در آن یکی از قسمت‌های سیستم به صورتی جزئی قسمتی دیگر را تحریک نمی‌کند [۷]. سیستم کنترل نیمه فعال از تغییر در خواص میرایی یا سختی یک سیستم کنترل سازه استفاده می کند تا پاسخ سازه را کاهش دهد. این سیستم‌ها بر خلاف سیستم های فعال به منبع انرژی به مراتب کوچکتری نسبت به سیستم های فعال نیاز دارند بطوریکه این سیستم ها قادرند توسط منابع تامین شده توسط باتری تغذیه شوند که این امر به دلیل احتمال قطعی برق در هنگام زلزله بسیار حائز اهمیت می‌باشد. از طرفی دیگر می‌توان یک سیستم کنترل نیمه فعال را سیستم کنترلی غیرفعال دانست که خواص مکانیکی آن براساس باز خورد تحریک یا پاسخ اندازه گیری شده بر اساس یک الگوریتم از پیش تعیین شده قابل تنظیم است. البته باید دقت نمود که در سیستم کنترل نیمه فعال انرژی مکانیکی به سیستم سازه ای اعمال نمی‌شود. لذا پایداری سیستم دچار تهدید نمی‌گردد. در سال ۱۹۹۱ سیمانس و کنستانتینو اثر یک میراگر مایع در بادبندها را با کنترل نیمه فعال به صورت آزمایشگاهی و عددی مورد بررسی قرار داده اند. سیمانس و کونسانتیو با استفاده از ۲ روش اثر تأخیر زمانی را در کار خود لحاظ نمودند [۸]. صادق و محرز در سال ۱۹۹۸ با بررسی رفتار یک سازه یک درجه آزادی در کنترل نیمه فعال با یک میراگر با میرایی متغیر نشان دادند که برخلاف کنترل غیرفعال که با افزایش میرایی جابجایی کاسته و شتاب افزایش می‌یابد در کنترل نیمه فعال با افزایش میرایی شتاب و جابجایی هر دو کاسته می‌شوند [۹].

در سال ۲۰۰۰ لیانگ و همکاران از موتور استنتاج max-min زاده و غیر فازی ساز مرکز جرم برای طراحی کنترلر فازی مورد مطالعه خود استفاده کرده اند. آنها در تحقیق خود نسبت همپوشانی توابع عضویت نیز مورد مطالعه قرار گرفته است، که با توجه به بررسی نتایج نسبت همپوشانی ۰/۳ بهترین عملکرد را دارا می‌باشد [۱۰]. در سال ۲۰۰۴ سمالی و همکاران اثر باد بر روی یک سازه ۷۶ طبقه را بررسی نمودند. در این مطالعه اثر تغییر گام زمانی و خطا در مدلسازی بر نتایج و پایداری کنترلر ها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که کنترلر فازی علاوه بر انعطاف نسبت به خطا در مدلسازی نسبت به گام زمانی نیز انعطاف از خود نشان می‌دهد [۱۱]. کیم و هورلباس در سال ۲۰۱۰ یک مدل چند ورودی-خروجی برای کنترلر غیر خطی فازی ارائه دادند. کیم و هورلباس در مطالعه خود نشان دادند که کنترلر پیشنهادی عملکرد بهتری نسبت به کنترلر غیرفعال و کنترلر مرکزی و یا کنترلر مجزا دارد [۱۲]. پورزینلی و همکاران در مطالعه خود از کنترلر فازی با موتور استنتاج max-min ممدانی و مرکز ثقل برای غیر فازی ساز استفاده نمودند.

نتایج نشان می دهد که کنترلر فازی طراحی شده نسبت به سایر کنترلر های مورد استفاده دارای عملکرد بهتری می باشد [۱۳]. زهرائی و شفیع زاده در سال ۲۰۰۹ به مطالعه یک ساختمان بتنی مرجع ۷۶ طبقه ای (در ملبورن) با کاربری اداری تحت اثر نیروی باد پرداختند. مقدار میرایی این میراگرها با استفاده از کنترلر فازی تعیین گردید. نتایج مطالعه نشان داد که استفاده از کنترلر فازی نسبت به کنترلر غیرفعال رفتار بهتری داشته و منجر به کاهش بیشتری در پاسخ سازه می گردد [۱۴].

در راستای استفاده از میراگر مایع تنظیم شده به عنوان میراگری که قابلیت سازگاری با شرایط مختلف را داشته باشد تعدادی از محققین فعالیت هایی کرده اند که از جمله می توان به کار تایت و دمتی، لاو و تایت و زهرائی و همکاران اشاره نمود. در سال ۲۰۰۵ تایت و دمتی برای افزایش میرایی سیستم در درون مخزن میراگر مایعی تعدادی صفحه سوراخدار قرار داده اند [۱۵]. لاو و تایت نیز در سال ۲۰۱۰ طی کارهای متعدد تحقیقاتی اثرات حالات مختلف این صفحات سوراخدار را مورد بررسی قرار داده اند [۱۶]. زهرائی و همکاران در سال ۲۰۱۱ از درپچه های قابل چرخش در مخزن مستطیلی استفاده نمودند [۱۷]. عنایتی و زهرایی در سال ۲۰۱۷ به بررسی اثر میراگر مایع در کنترلر غیر فعال سازه ۵ درجه آزادی پرداختند آنها نشان دادند که در صورت طراحی یک الگوریتم مناسب می توان از ظرفیت چرخش پره ها در این میراگر استفاده نمود و رفتار سازه را بهینه نمود [۱۸]. زهرایی و عنایتی در سال ۲۰۱۷ برای نشان دادن بهبود رفتار میراگر مایع با پره قابل تنظیم یک الگوریتم بهینه خطی را طراحی نمودند. آنها نشان دادند که میراگر مایع با پره قابل تنظیم در کنترلر نیمه فعال رفتار بهتری نسبت به کنترلر غیرفعال داشته، همچنین بازدهی میراگر در زلزله های حوزه نزدیک بهتر از زلزله های حوزه دور می باشد [۱۹].

رفتار میراگر های مایع تنظیم شونده تحت نیروی باد و زلزله مورد بررسی محققین متعددی قرار گرفته است. اما میراگر مایع با پره قابل تنظیم فقط به صورت غیر فعال و در زوایای خاص جهت گیری پره ها به صورت آزمایشگاهی و تحت دو رکورد زلزله مورد ارزیابی قرار گرفته بود [۱۷]. در این مطالعه با توجه به مطالعات قبلی انجام شده به دنبال بررسی اثر نوع زلزله بر رفتار سازه مجهز به میراگر مایع با پره قابل تنظیم تحت کنترلر نیمه فعال می باشیم. برای این منظور از یک سازه یک درجه آزادی استفاده شده و از تئوری فازی برای طراحی الگوریتم چرخش پره ها در حین تحریک استفاده شده است. در مطالعه حاضر با توجه به کنترلر طراحی شده که امکان چرخش پره ها را ممکن می سازد در کنترلر نیمه فعال سازه تحت ۱۲ رکورد زلزله مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای بررسی اثر زلزله حوزه نزدیک و حوزه دور بر رفتار میراگر از ۶ رکورد حوزه نزدیک و ۶ رکورد حوزه دور استفاده شده است.

۲- مدل مورد مطالعه

رکورد های ثبت شده از زمین لرزه های حوزه نزدیک و حوزه دور دارای تفاوت هایی می باشند که از جمله می توان به پالس هایی با پیوند بلند در نداشت سرعت در زلزله های حوزه نزدیک نسبت به حوزه دور و همچنین ورود یکباره انرژی به سازه در اکثر این نداشت ها دانست. این موضوع تغییرشکل های بزرگی در سازه تحت رکورد حوزه نزدیک ایجاد می نماید. لازم به ذکر است که خصوصیات جنبش های حوزه نزدیک مستقیماً وابسته به مکانیزم چشمه لرزه ای، جهت گسیختگی گسل نسبت به ساختگاه و جهت لغزش گسل می باشد. رکورد های حوزه نزدیک معمولاً دارای یک یا چند پالس مجزا در تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و تغییر مکان و اغلب در تاریخچه زمانی سرعت می باشد.

برای تعداد رکورد های مورد استفاده از بررسی مقالات مرتبط، ۶ رکورد زلزله حوزه نزدیک و ۶ رکورد زلزله حوزه دور تعیین گردید. در مقالات مرتبط با مطالعه حاضر غالباً از ۳ تا ۴ رکورد زلزله استفاده شده است برای نمونه زهرایی و همکاران [۱۷] ۲ رکورد زلزله Kobe, Elcentro, کیم و رسچکی ۳ رکورد Northridge, Kobe, Imperial Valley و آل داود و همکاران ۴ رکورد زلزله، زهرایی و حیدر زاده ۳ رکورد زلزله. با توجه به بررسی های انجام شده و برای دقت بیشتر از ۱۲ رکورد زلزله استفاده شده است [۱۱ و ۲۱ و ۲۲ و ۲۳]. برای انتخاب رکورد های زلزله از رکورد های توصیه شده توسط FEMA P695 و مطالعات مشابه که در این زمینه انجام شده استفاده گردیده و ۶ رکورد زلزله حوزه نزدیک و ۶ رکورد زلزله حوزه دور انتخاب گردید که مشخصات آنها در جدول ۱ آورده شده است.

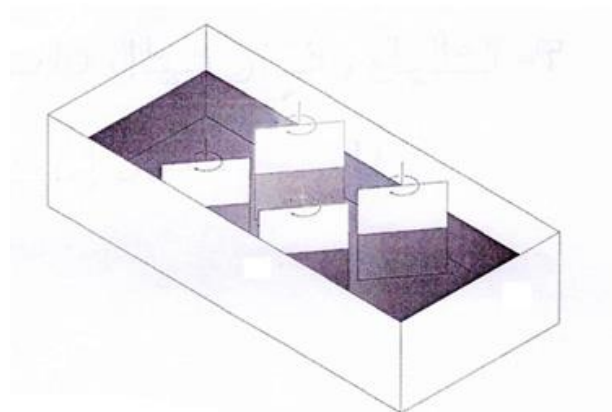
جدول ۱- مشخصات رکورد های زلزله مورد استفاده

سال	نام رکورد زلزله	PGA (G)	
زلزله حوزه دور			
۱	۱۹۹۲	Big Bear	۰/۲۲
۲	۱۹۸۹	Cliff House	۰/۰۶
۳	۱۹۷۹	Imperial Valley	۰/۳۹
۴	۱۹۹۹	Kocaeli	۰/۳۶
۵	۱۹۰۶	Presideo	۰/۰۹
۶	۱۹۵۲	Kern county	۰/۱۶
زلزله حوزه نزدیک			
۱	۱۹۸۹	Loma Prieta	۰/۴۲
۲	۱۹۹۲	Erinzcán	۰/۴۹
۳	۱۹۹۴	Northridge	۰/۱۶
۴	۱۹۹۲	Cape Mendocino	۰/۶۳
۵	۱۹۹۴	Northridge	۰/۸۷
۶	۱۹۹۵	Kobe	۰/۸۲

همانگونه که می دانید میراگر های مایع به علت هزینه ساخت، نصب و بهره برداری پایین مورد علاقه محققین می باشد. در این تحقیق از میراگر مایع با پره قابل تنظیم استفاده شده است که با نصب پره ها محدوده عملکردی این نوع میراگر ها ارتقا یافته است. دکتر زهرایی و همکاران در مطالعه خود رفتار میراگر مایع با پره قابل تنظیم در کنترل غیر فعال را مورد بررسی قرار دادند. جهت چرخش پره ها در مطالعه زهرایی و همکاران در خلاف جهت یکدیگر در نظر گرفته شده است [۱۷]. در این مطالعه از میراگر مایع با پره قابل تنظیم در کنترل نیمه فعال استفاده شده است. در این مطالعه جهت چرخش پره ها یکسان در نظر گرفته شده است. میراگر مورد استفاده در این تحقیق دارای چهار پره در دو ردیف می باشد که زاویه آنها از صفر تا ۹۰ درجه تغییر می کند، در زاویه صفر درجه پره ها کاملاً باز و در زاویه ۹۰ درجه پره ها کاملاً بسته و مخزن میراگر مایع به سه قسمت مساوی تقسیم می گردد. به بیانی دیگر استفاده از این نوع میراگر در کنترل نیمه فعال نوآوری تحقیق می باشد. البته زاویه چرخش پره ها هم در مقایسه با مطالعه پیشین یکسان در نظر گرفته شده است. در این تحقیق ۱۱ زاویه جهت گیری از صفر تا ۹۰ درجه (با گام ۹ درجه) برای پره ها در نظر گرفته شده است. کنترلر فازی مورد استفاده برای چرخش پره به نحوی طراحی شده است که در هر گام زمانی پره ها حداکثر ۲۷ درجه (سه گام ۹ درجه) می توانند چرخش داشته باشند. که دلیل این امر جلوگیری از چرخش بیش از حد پره ها در حین تحریک و خرابی های احتمالی ناشی از آن می باشد.

به بیانی دیگر نوآوری این تحقیق استفاده از این میراگر در کنترل نیمه فعال و طراحی الگوریتم فازی برای چرخش پره ها در حین تحریک می باشد. لازم به ذکر است که میراگر مایع با پره قابل تنظیم توسط زهرایی و همکاران [۱۷] در سال ۱۳۹۰ ارائه گردید که در آن مطالعه به صورت غیر فعال مورد ارزیابی قرار گرفت ولی در مطالعه پیش رو این با تغییراتی در آن میراگر، یعنی جهت چرخش پره ها و امکان چرخش پره ها در کنترل نیمه فعال مورد ارزیابی قرار گرفته است.

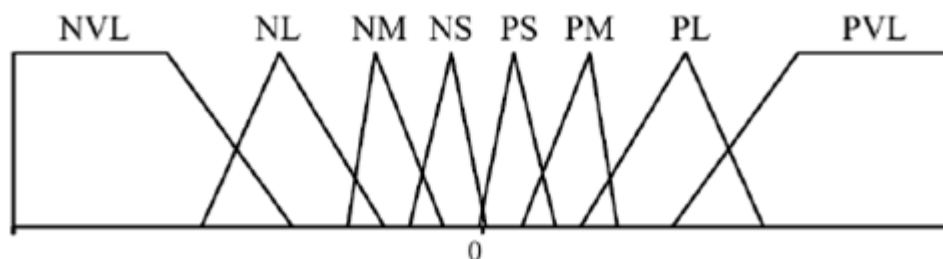
در این تحقیق از یک سازه یک درجه ازادی مجهز به یک میراگر مایع استفاده شده است. میراگر مورد استفاده دارای چهار پره در دو راستا می باشد که نمای شماتیک آن در شکل ۱ آورده شده است. همانطور که در شکل زیر مشاهده می شود جهت چرخش پره ها یکسان در نظر گرفته شده است. برای مدلسازی اثر میراگر بروی سازه از نتایج آزمایشات انجام شده توسط عنایتی و زهرایی در آزمایشگاه میز لرزان دانشگاه تهران استفاده شده است.



شکل ۱- نمای شماتیک از میراگر مایع با پره قابل تنظیم

۳- کنترلر فازی طراحی شده

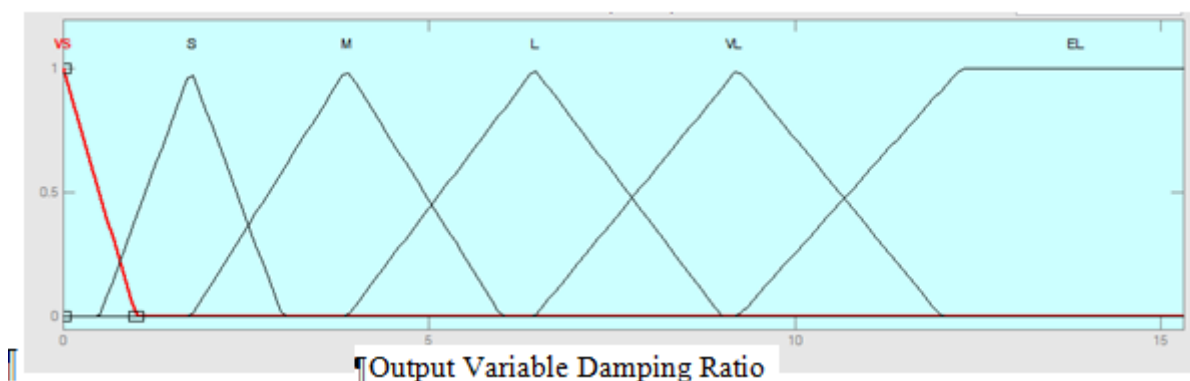
سیستم‌های فازی سیستم‌های مبتنی بر دانش یا قواعد^۲ می باشند. قلب یک سیستم فازی یک پایگاه دانش بوده که از قواعد اگر-آنگاه فازی تشکیل شده است. یک قاعده اگر-آنگاه فازی یک عبارت اگر-آنگاه بوده که بعضی کلمات آن بوسیله توابع تعلق پیوسته مشخص شده‌اند. سیستم‌های فازی سیستم‌هایی هستند با تعریف دقیق و کنترل فازی نیز نوع خاصی از کنترل غیرخطی می‌باشد که آن هم دقیقاً تعریف می‌گردد. اساساً اگرچه سیستم‌های فازی پدیده‌های غیر قطعی و نامشخص را توصیف می‌کنند با این حال خود تئوری فازی یک تئوری دقیق می‌باشد [۲۰]. در این مطالعه از سیستم‌های با فازی ساز و غیر فازی ساز برای طراحی کنترلر فازی از آن استفاده شده است، دارای یک فازی ساز در ورودی که متغیرها با مقادیر حقیقی را به یک مجموعه فازی تبدیل کرده و یک غیر فازی ساز که یک مجموعه فازی تبدیل کرده و یک غیر فازی ساز که یک مجموعه فازی را به یک متغیر حقیقی در خروجی تبدیل می‌کند می‌باشد [۲۱]. در طراحی الگوریتم کنترلر مورد استفاده در این تحقیق جابجایی و سرعت به عنوان ورودی و ضریب میرایی (زاویه پره ها) به عنوان خروجی تعیین گردید. برای هر ورودی از ۸ تابع عضویت مثلثی و برای ضریب میرایی (زاویه پره ها) از ۶ تابع عضویت مثلثی استفاده شده است. در شکل ۲ نمایی از توابع عضویت تعریف شده برای هر ورودی آورده شده است.



شکل ۲- نمایی از توابع عضویت تعریف شده برای ورودی ها

²Knowledge-based or rule-based systems

در این توابع P نشان دهنده مثبت و N نشان دهنده منفی بودن ورودی، S بیانگر کوچک بودن ورودی، M متوسط بودن مقدار آن، L بزرگ بودن و VL نشان دهنده خیلی بزرگ بودن ورودی است. به بیانی دیگر PVL یعنی ورودی مثبت و خیلی بزرگ. این توابع هم برای سرعت و هم برای جابجایی تعریف گردیده است البته در توابع تعریف شده است. طبق توسعه تنگ و همکاران در سال ۲۰۰۰ بهتر است ضریب همپوشانی بین ۰/۲ تا ۰/۷ در نظر گرفته شود که در این بخش از این تحقیق ضریب همپوشانی توابع عضویت ۰/۵ لحاظ گردیده است [۱۰]. در شکل ۳ توابع عضویت خروجی با ضریب همپوشانی ۰/۵ نمایش داده شده است همانطور که در این شکل مشاهده می شود برای خروجی ها از ۶ تابع عضویت مثلثی استفاده شده است.



شکل ۳- توابع عضویت تعریف شده برای خروجی

در مجموع با توجه به روابط عضویت ورودی ۶۴ قاعده برای کنترلر تعریف گردید. این قواعد در جدول ۲ آورده شده است. برای تعریف این قواعد از مدل Bang-Bang استفاده شده است.

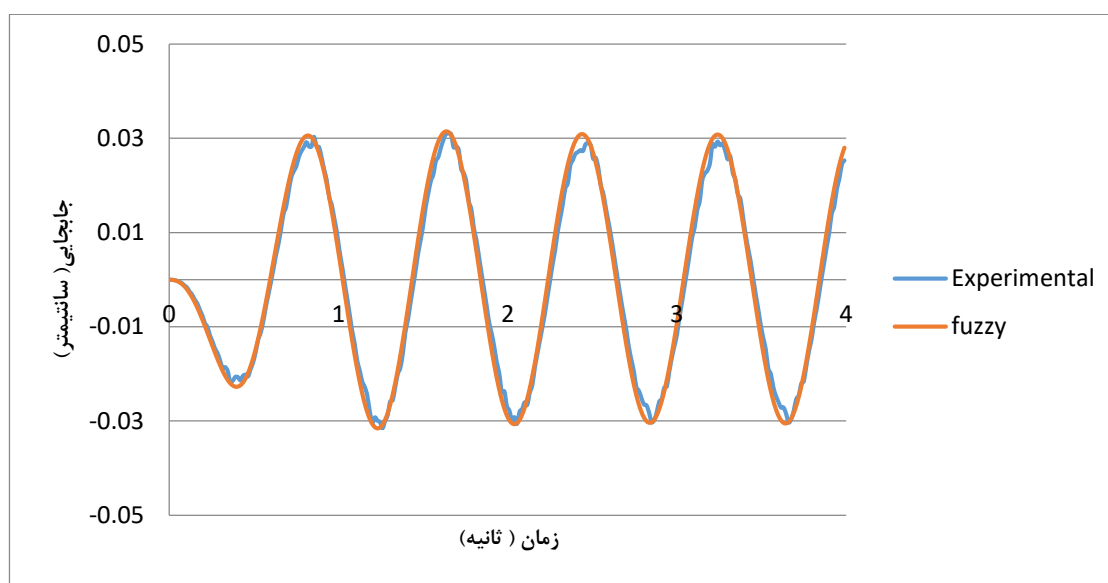
جدول ۲: جدول قواعد فازی برای طراحی کنترلر

جابجایی سازه	سرعت							
	NVL	NL	NM	NS	PS	PM	PL	PVL
NVL	EL	EL	EL	VL	S	S	VL	EL
NL	EL	EL	EL	L	M	S	L	VL
NM	VL	L	M	S	S	S	S	L
NS	L	M	S	VS	VS	S	M	L
PS	L	M	S	VS	VS	S	M	L
PM	L	S	S	S	S	M	L	VL
PL	VL	L	S	M	L	EL	EL	EL
PVL	EL	VL	S	S	VL	EL	EL	EL

برای طراحی الگوریتم فازی به منظور تعیین زاویه چرخش پره ها از محیط MATLAB استفاده شده است. بدین منظور از نتایج آزمایشات انجام شده و ضرایب میرایی تعیین شده متناسب با هر زاویه جهت گیری پره ها استفاده شده است. ابتدا با توجه به تحریک زلزله و مدل یک درجه آزادی ساخته شده در محیط Matlab پاسخ سرعت و جابجایی سازه یک درجه آزادی تعیین و سپس با توجه به الگوریتم طراحی شده ضریب میرایی مورد نیاز تعیین می گردد. برای تعریف توابع ورودی و خروجی که به صورت مثلثی در نظر گرفته شده از توابع پیشفرض Matlab استفاده گردیده است. الگوریتم به نحوی طراحی شده که با توجه به خروجی کنترلر فازی که ضریب میرایی مورد نیاز می باشد زاویه ای که نزدیک ترین ضریب میرایی را به ضریب مورد نیاز دارا می باشد را به عنوان زاویه در گام بعدی انتخاب می کند البته به شرطی که حداکثر زاویه در گام قبلی ۲۷ درجه اختلاف داشته باشد. به بیانی دیگر در هر گام زمانی برای جلوگیری از چرخش های بیش از حد و خرابی های احتمالی پره ها اجازه حداکثر ۲۷ درجه دوران را دارند.

۳-۱ صحت سنجی کنترلر فازی طراحی شده

بعد از پیاده سازی کنترلر فازی در محیط متلب برای صحت سنجی مدل مورد استفاده از نتایج آزمایشگاهی استفاده شده است. برای این منظور کنترلر تحت یک تحریک هارمونیک با فرکانس $1/25$ هرتز و با شدت 0.1 g قرار گرفته است از آنجا که نتایج آزمایشگاهی نشان می دهد در این حالت بهترین زاویه جهت گیری 72 درجه می باشد یعنی اگر الگوریتم پیاده سازی شده صحیح عمل کند بایستی در حداقل زمان زاویه جهت گیری پره به 72 درجه برسد. بررسی شکل زیر موید همین امر است. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می شود پاسخ جابجایی سازه یک درجه آزادی تحت کنترلر فازی با نتایج آزمایشگاهی تطابق مناسبی دارد، به بیانی دیگر کنترلر بعد از اعمال تحریک زاویه جهت گیری پره ها را بروی 72 درجه تنظیم نموده که نتیجه این امر تطابق پاسخ آزمایشگاهی و خروجی کنترلر که این امر نشان دهنده صحت مدل سازی و کد پیاده شده در محیط متلب می باشد.



شکل ۴- پاسخ جابجایی سازه یک درجه آزادی برای صحت سنجی کنترلر فازی

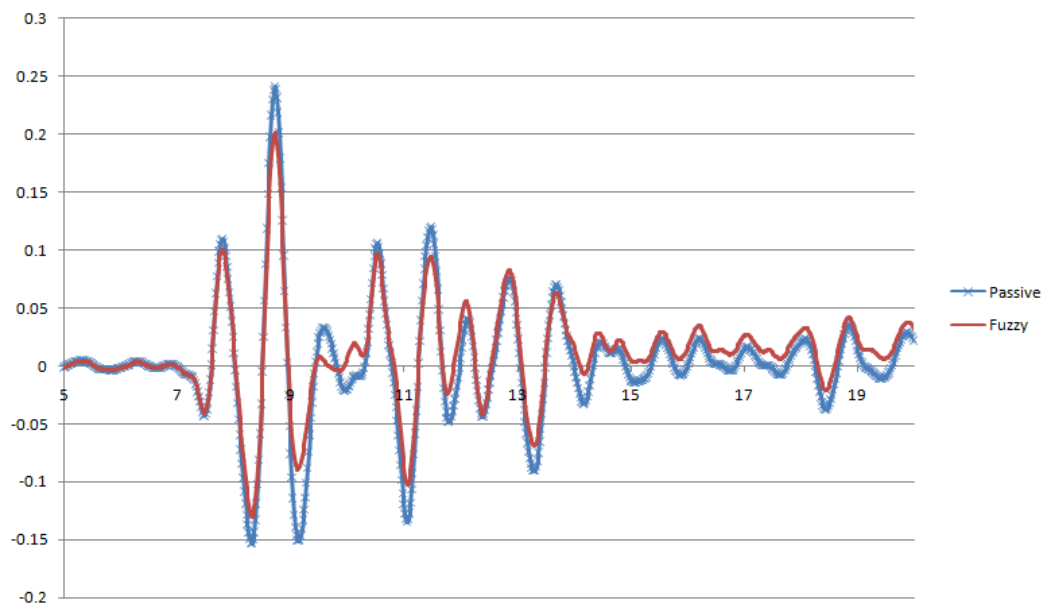
۴- نتایج

همانطور که بیان گردید در این تحقیق از ۶ رکورد زلزله حوزه نزدیک و ۶ رکورد حوزه دور استفاده شده است به منظور بررسی اثر نوع رکورد زلزله بر رفتار میراگر و سازه مجهز به آن پاسخ جابجایی و شتاب مورد بررسی قرار گرفته که در ادامه ارائه می گردد. همان گونه که در بخش قبلی شرح داده شد در این تحقیق کنترلر فازی مورد استفاده در محیط MATLAB پیاده سازی شده است که برای طراحی آن از جعبه ابزار فازی متلب استفاده شده است.

بعد از مدل سازی در محیط MATLAB و اعمال رکورد زلزله های حوزه نزدیک و حوزه دور پاسخ شتاب و جابجایی مدل ساخته شده با کنترل غیرفعال و سازه بدون میراگر مقایسه گردیده است که نتایج نشان دهنده ارتقا رفتار میراگر و کاهش محسوس پاسخ ها می باشد [۱۹]. همانطور که می دانیم یکی از اهداف کنترل نیمه فعال کاستن از پاسخ سازه ها می باشد. به بیانی دیگر روش کنترل نیمه فعال به دنبال کاهش جابجایی سازه با صرف انرژی حداقل می باشد. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می شود با چرخش پره ها با استفاده از کنترلر فازی پاسخ جابجایی سازه نسبت به کنترل غیرفعال تحت زلزله حوزه نزدیک کوبه رفتار بهتری از خود نشان می دهد.

در این شکل پاسخ ها در بازه زمانی ۵ تا ۲۰ ثانیه رسم شده است همانگونه که مشاهده می شود استفاده از کنترلر فازی برای چرخش پره ها منجر به کاهش پاسخ ها در نقاط بیشینه پاسخ می گردد که این امر در بین ثانیه ۸ تا ۹ تحریک در شکل زیر قابل مشاهده

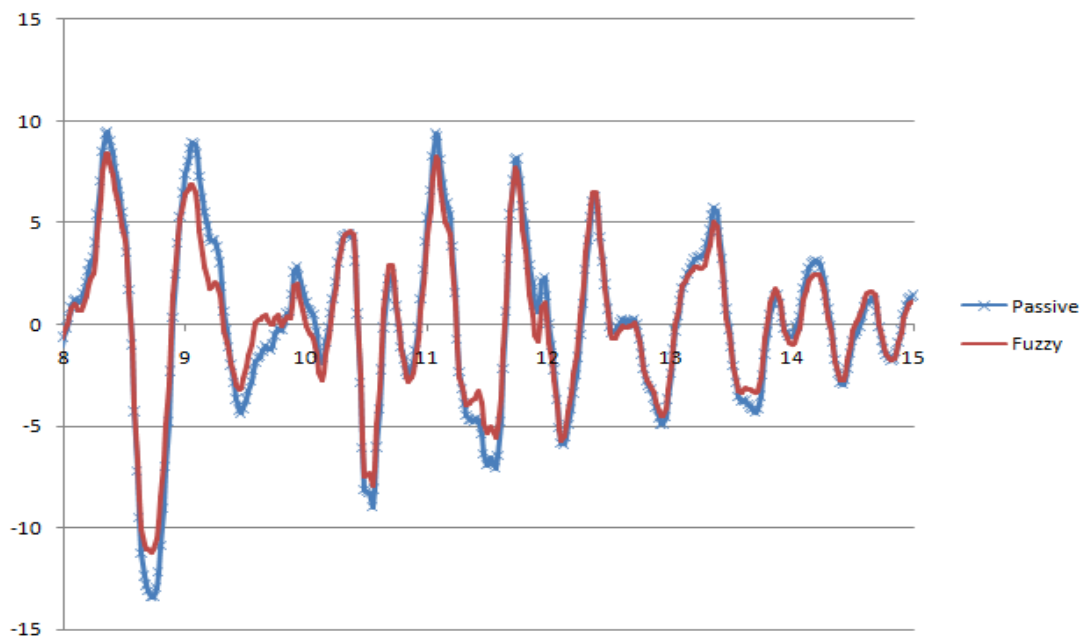
می باشد. در واقع در اثر چرخش پره ها تلاطم سیال و شکست موم بیشتر شده که این امر موجب کاهش بیشتر پاسخ ها می گردد. در عین حال میراگر در هر لحظه بهینه ترین ظریب میرایی را با توجه به کنترلر فازی تعیین و اعمال می کند که این امر موجب ارتقا رفتار و کاهش بیشتر پاسخ ها می گردد.



شکل ۵- تاریخچه زمانی جابجایی سازه تحت زلزله حوزه نزدیک کوبه در کنترل فازی و کنترل غیر فعال

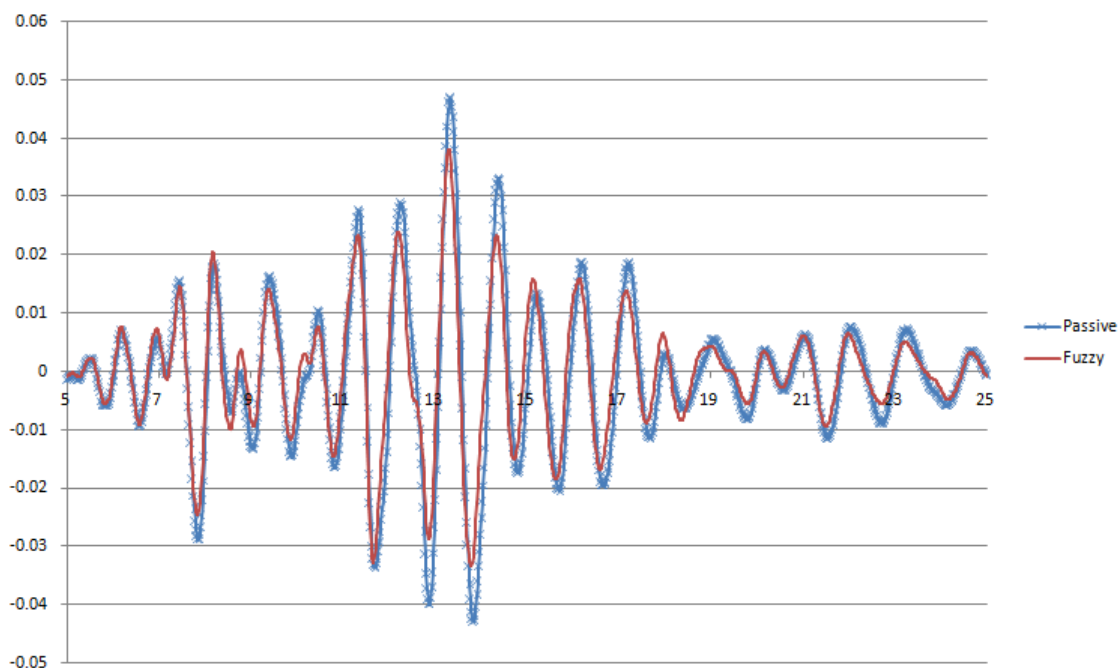
بررسی پاسخ شتاب سازه نیز نتایج مشابه حاصل می کند (شکل ۶). کاهش پاسخ شتاب سازه در افزایش آرامش ساکنین ساختمان ها موثر می باشد و همواره هدف طراحان نیز می باشد. نکته ای که باید بدان توجه نمود این است که کنترلر ها و میراگر های مشابه غالباً نمی توانند جابجایی و شتاب سازه را کاهش دهند در حالی که در مطالعه حاضر این مهم توسط کنترلر فازی طراحی شده محقق گردید. این کاهش پاسخ شتاب فقط در نقاط بیشینه پاسخ مشاهده نمی گردد، همانگونه که شکل ۶ مشاهده می شود علاوه بر کاهش بیشینه پاسخ شتاب سازه استفاده از ظرفیت میراگر مایع با چرخش پره ها تحت کنترلر فازی می تواند در کل بازه تحریک نیز از مقدار پاسخ ها بکاهد که این امر نیز خود نشان از کارایی کنترلر طراحی شده می باشد.

در شکل ۷ نمودار تاریخچه زمانی جابجایی زلزله حوزه دور بیگ بیر آورده شده است. همانطور که مشاهده می گردد تحت تحریک زلزله حوزه دور پاسخ جابجایی سازه با استفاده از کنترلر فازی نسبت به کنترلر غیرفعال کاهش از خود نشان می دهد. که این کاهش در نقاط ماکزیمم مشهود می باشد. همانطور که عنایتی و زهرایی نشان دادند در کنترلر بهینه خطی در تحریک ها حوزه دور پاسخ ها مشابه کنترلر غیرفعال می باشد در حالیکه استفاده از کنترلر فازی طراحی شده برای چرخش پره ها منجر به کاهش و ارتقا پاسخ ها می گردد [۲۱]. به بیانی دیگر کنترلر فازی نسبت به کنترلر بهینه خطی رفتار بهتری از خود نشان می دهد. دلیل این امر در ماهیت طراحی کنترلر فازی می باشد. کنترلر فازی بر اساس روابط بسیار ساده در هر لحظه ضریب میرایی مد نظر را تعیین می کند در حالیکه در کنترلر بهینه خطی با توجه به نیاز به حل معادلات حاکم زمان بیشتری مورد نیاز بوده که این امر موجب تاخیر زمانی در تعیین ضریب میرایی مورد نیاز با شدت تحریک و رفتار سازه می گردد. در حالیکه در کنترلر فازی تاخیر زمانی بسیار کمتر بوده و ضریب میرایی تعیین شده متناسب با تحریک و پاسخ سازه می باشد که همین امر موجب ارتقا رفتار سازه تحت زلزله های حوزه دور می گردد.

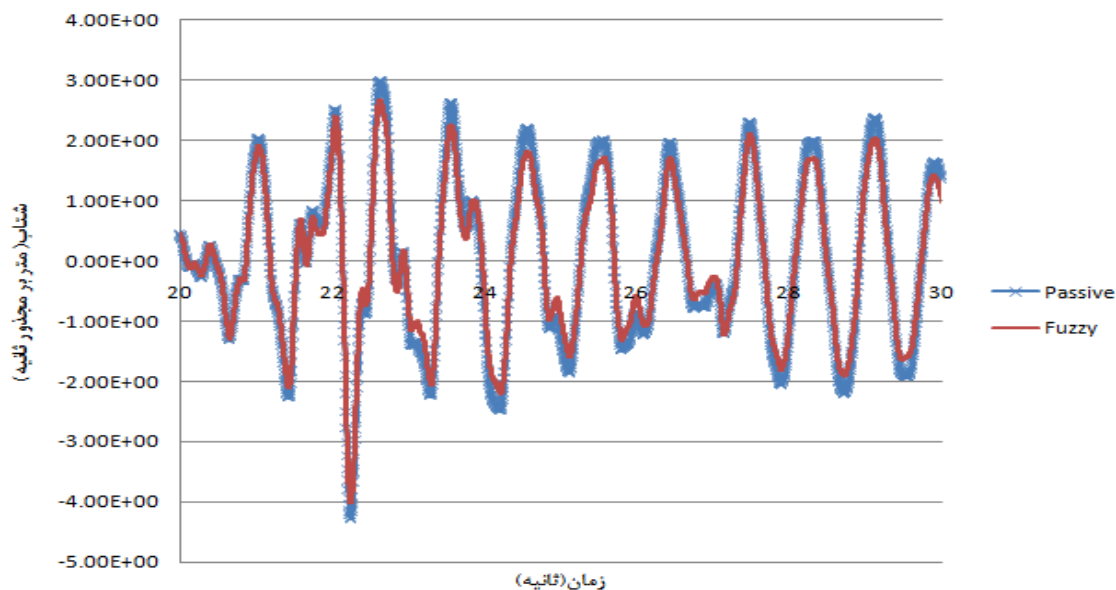


شکل ۶- تاریخچه زمانی پاسخ شتاب سازه تحت زلزله حوزه نزدیک کوبه در کنترل فازی و کنترل غیر فعال

همان گونه که مشاهده می‌گردد استفاده از کنترلر فازی با ضریب همپوشانی $0/5$ برای چرخش پره‌ها در حین تحریک باعث ارتقا رفتار دینامیکی سازه و کاهش پاسخ شتاب آن می‌گردد. همانطور که می‌دانید کاهش پاسخ شتاب سازه متناظر با صرفه اقتصادی پروژه می‌باشد که این هدف با استفاده از کنترل فازی برقرار می‌گردد. لازم به ذکر است که کاهش پاسخ در سازه‌ها باعث افزایش ایمنی در سازه و کاهش هزینه ساخت و کنترل محدودیت‌های آیین‌نامه‌ای برای دریافت طبقات می‌گردد که از این منظر نیز کنترلر طراحی شده به درستی عمل می‌نماید.



شکل ۷- تاریخچه زمانی جابجایی سازه تحت زلزله حوزه دور بیگ‌بیر در کنترل فازی و کنترل غیر فعال



شکل ۸- تاریخچه زمانی پاسخ شتاب سازه تحت زلزله حوزه دور کوکائلی در کنترل فازی و کنترل غیر فعال

برای درک بیشتر کارایی کنترل طراحی شده در جدول ۳ تا ۵ مقادیر بیشینه پاسخ جابجایی و شتاب سازه و جذرمجموع مربعات آنها تحت زلزله های حوزه نزدیک کیپ مندوسینو و نرتریج آورده شده است. به منظور بررسی عملکرد کنترل فازی علاوه بر نقاط بیشینه جذرمجموع مربعات پاسخ نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج جدول های زیر نشان می دهد که کنترل فازی علاوه بر نقاط بیشینه در کل مدت تحریک می تواند پاسخ ها را بکاهد که این امر باعث ارتقا رفتار دینامیکی سازه می گردد. البته بررسی جداول زیر نشان می دهد که پاسخ سازه تحت زلزله حوزه نزدیک نسبت به زلزله حوزه دور با استفاده از کنترل فازی کاهش بیشتری از خود نشان می دهد، که دلیل این امر را می توان در ماهیت ضربه ای زلزله های حوزه نزدیک دانست. با توجه به آزاد سازی قسمت عمده ای از انرژی زلزله در رکورد های حوزه نزدیک این امر موجب افزایش تلاطم سیال و افزایش اتلاف انرژی در میراگر شده که منجر به کاهش بیشتر پاسخ ها می گردد.

جدول ۳: پاسخ سازه یک درجه آزادی تحت زلزله حوزه نزدیک کیپ مندوسینو

	کنترل غیر فعال		کنترل فازی	
	تغییر مکان (m)	شتاب (m/s ²)	تغییر مکان (m)	شتاب (m/s ²)
بیشینه	0.12	8.86	0.10	8.22
کمینه	-0.10	-9.11	-0.09	-8.37
ماکزیمم مطلق	0.12	9.11	0.10	8.37
جذرمجموع مربعات	0.02	1.30	0.02	1.19

همانطور که مشاهده می شود کاربرد کنترل فازی بیشینه جابجایی سازه را ۱۴٪ نسبت کنترل غیرفعال کاهش می دهد. بررسی میزان کاهش جذرمجموع مربعات پاسخ جابجایی نیز نشان دهنده کاهش ۱۲٪ نسبت به کنترل غیرفعال می باشد. نتایج این جدول نشان می دهد که کنترل فازی در کاهش بیشینه پاسخ بهتر از جذرمجموع مربعات پاسخ عمل می کند تا آنجا که در مورد پاسخ شتاب کاهش بیشینه شتاب و جذرمجموع مربعات آن به ترتیب حدودا ۸٪ و ۹٪ می باشد.

جدول ۴: پاسخ سازه یک درجه آزادی تحت زلزله حوزه دور پزیدئو

	کنترل غیر فعال		کنترل فازی	
	تغییر مکان (m)	شتاب (m/s ²)	تغییر مکان (m)	شتاب (m/s ²)
بیشینه	0.024	1.648	0.021	1.551
کمینه	-0.024	-1.366	-0.022	-1.228
ماکزیمم مطلق	0.024	1.648	0.022	1.551
جذر مجموع مربعات	0.005	0.289	0.005	0.267

جدول ۵: پاسخ سازه یک درجه آزادی تحت زلزله حوزه دور بیگ بیر

	کنترل غیر فعال		کنترل فازی	
	تغییر مکان (m)	شتاب (m/s ²)	تغییر مکان (m)	شتاب (m/s ²)
بیشینه	0.047	2.69	0.038	2.91
کمینه	-0.043	-2.4	-0.033	-2.22
ماکزیمم مطلق	0.047	2.69	0.038	2.91
جذر مجموع مربعات	0.0076	0.404	0.0062	0.381

نکته ی ای که باید به آن توجه نمود این است که از آنجا که این نوع میراگر ها دومنظوره می باشد و می تواند به عنوان مخزن ذخیره آب نیز مورد استفاده قرار گیرد لذا امکان تغییر سطح آب در آنها وجود دارد. حال با چرخش پره ها این امکان فراهم می باشد که در هر تراز سیال از حداکثر ظرفیت میرایی میراگر برای بهینه نمودن پاسخ ها استفاده نمود که این امر قابلیت تطابق پذیری این کنترلر را نشان می دهد.

یکی دیگر از پاسخ های سازه که می تواند مورد ارزیابی قرار گیرد برش پایه سازه می باشد. در جدول ۶ و ۷ مقادیر برش پایه آورده شده است. همانطور که در این جداول مشاهده می شود مشابه پاسخ جابجایی و شتاب در کاهش برش پایه نیز کنترلر فازی موفق عمل می نماید. همانگونه که مشاهده می شود هم در بیشینه پاسخ و هم در جذر مربعات پاسخ کنترلر موفق عمل می نماید تا آنجا که حداکثر برش در کنترلر بهینه خطی لحظه ای تحت زلزله حوزه دور بیگ بیر از ۶۰۸ نیوتن در کنترلر غیر فعال به ۵۸۰ نیوتن در کنترلر فازی تقلیل می یابد که معادل ۵ درصد کاهش است.

جدول ۶: پاسخ سازه یک درجه آزادی تحت زلزله حوزه دور بیگ بیر

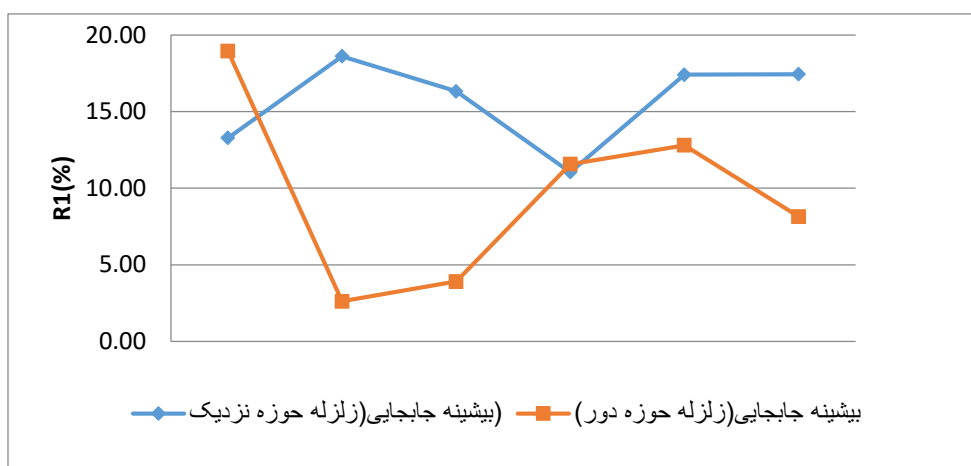
	کنترل غیر فعال		کنترل فازی	
	تغییر مکان (m)	شتاب (m/s ²)	تغییر مکان (m)	شتاب (m/s ²)
بیشینه	608.1144	579.9727	579.9727	579.9727
کمینه	-532.128	-520.145	-520.145	-520.145
ماکزیمم مطلق	608.1144	579.9727	579.9727	579.9727
جذر مجموع مربعات	96.5674	93.89705	93.89705	93.89705

جدول ۷: پاسخ سازه یک درجه آزادی تحت زلزله حوزه نزدیک لوماپریتا

	کنترل غیر فعال		کنترل فازی	
	تغییر مکان (m)	شتاب (m/s ²)	تغییر مکان (m)	شتاب (m/s ²)
بیشینه	2130.6	1877.8	1877.8	1877.8
کمینه	-2026.2	-1861.9	-1861.9	-1861.9
ماکزیمم مطلق	2130.6	1877.8	1877.8	1877.8
جذر مجموع مربعات	355.4	307.9	307.9	307.9

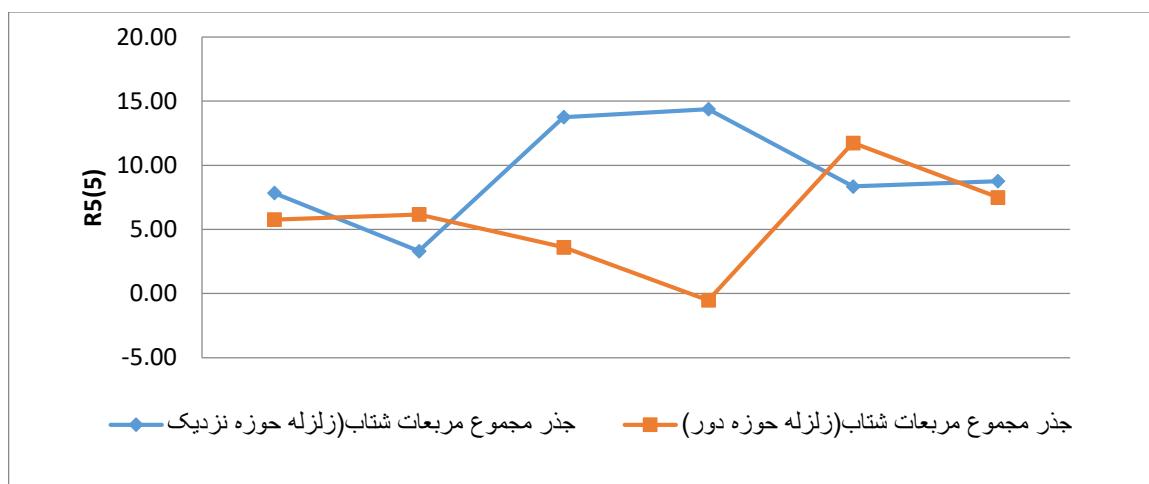
از بررسی جدول بالا مشخص می‌شود که کنترلر فازی در کاهش برش پایه با استفاده از چرخش پره‌ها کارایی مناسبی دارا می‌باشد. به بیانی دیگر حتی اگر میزان کاهش در پاسخ شتاب و جابجایی لحاظ نگردد همچنان با توجه به کاهش برش پایه و متناسب با آن کاهش نیروی طراحی کنترلر دارای قابلیت مثبت بوده و موجب صرفه اقتصادی طرح می‌گردد. همانطور که در جداول و اشکال بالا مشاهده می‌شود استفاده از کنترلر فازی برای چرخش پره‌ها منجر به بهبود پاسخ سازه مجهز به آن شده است که این امر نشان دهنده کارایی مناسب کنترلر فازی طراحی شده می‌باشد. دلیل این ارتقا رفتار میراگر را می‌توان در چرخش پره‌ها و متناظر با آن تغییر میرایی در هر لحظه می‌باشد که با توجه به تغییر شدت تحریک در هر لحظه، کنترلر می‌تواند بهینه‌ترین میرایی و نظیر آن زاویه جهت‌گیری را تعیین نماید. به بیانی دیگر با استفاده از چرخش پره‌ها در حین تحریک زلزله می‌توانیم از حداکثر ظرفیت میراگر استفاده نماییم و رفتار سازه را بهینه نماییم. در ادامه به مقایسه کارایی میراگر تحت زلزله حوزه نزدیک و حوزه دور به تفکیک می‌پردازیم.

در این جا برای مقایسه عملکرد میراگر تحت زلزله حوزه نزدیک و حوزه دور از میزان درصد کاهش بیشینه و جذرمجموع مربعات پاسخ‌ها استفاده می‌کنیم. برای این منظور ۶ پارامتر R_i به شرح زیر تعریف شده است که R_1 ، R_2 ، R_3 به ترتیب درصد کاهش بیشینه پاسخ جابجایی، شتاب و برش پایه و R_4 ، R_5 ، R_6 به ترتیب درصد کاهش جذرمجموع مربعات پاسخ جابجایی، شتاب و برش پایه نسبت به کنترلر غیر فعال می‌باشد. در شکل ۸ تغییر پارامتر R_1 برای زلزله‌های حوزه نزدیک و حوزه دور رسم شده است همانگونه که مشاهده می‌شود میراگر تحت زلزله حوزه نزدیک کاهش بیشتری در پاسخ‌ها از خود نشان میدهد.



شکل ۹- میزان تغییر R_1 تحت زلزله حوزه دور و حوزه نزدیک

در شکل ۹ میزان تغییر R_5 برای رکورد های زلزله حوزه نزدیک و حوزه دور آورده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود مشابه شکل ۸ باز هم میراگر تحت رکورد های زلزله حوزه نزدیک رفتار بهتری از خود نشان می‌دهد و در تمامی حالات مقدار R_5 مثبت می‌باشد و در مقایسه با زلزله های حوزه دور مقادیر آن بیشتر می‌باشد.



شکل ۱۰- میزان تغییر R5 تحت زلزله حوزه دور و حوزه نزدیک

در ادامه مقادیر R_1 تا R_6 برای سایر تمامی رکورد های زلزله آورده شده است. در جدول ۸ نتایج مربوط به زلزله حوزه نزدیک و در جدول ۸ نتایج متناظر با زلزله حوزه دور ارائه شده است. همانگونه که مشاهده می شود سازه تحت اثر زلزله حوزه نزدیک در غالب حالات کاهش از خود نشان می دهد. نکته قابل تامل از این جداول این است که کنترلر طراحی شده هر سه پاسخ جابجایی، شتاب و برش پایه را کاهش می دهد در حالیکه در بسیاری از موارد هدف کاهش یکی از اینها می باشد، که این امر نشان از کارایی مناسب کنترلر فازی و موثر بودن چرخش پره ها میباشد.

جدول ۸: میزان تغییر پارامترهای R_i تحت زلزله های حوزه نزدیک

	R1	R2	R3	R4	R5	R6
CapeMendocino	13.28	8.08	8.65	12.11	7.84	10.08
Erinzcán	18.60	-1.82	-0.39	19.19	3.30	2.01
Kobe	16.32	16.61	13.45	18.55	13.75	15.44
LomaPrieta	11.05	12.18	11.87	10.29	14.38	13.36
Northridge(Olive view)	17.41	6.57	6.81	18.53	8.35	9.61
Northridge(Rinaldi)	17.44	14.60	-1.77	20.32	8.76	3.92

مقایسه مقادیر جدول ۸ و ۹ نشان می دهد که در اکثر حالات میراگر تحت اثر زلزله حوزه نزدیک پاسخ سازه را نسبت به کنترلر غیر فعال کاهش می دهد و که این امر در زلزله حوزه دور نیز مشاهده می شود اما در برخی حالات در زلزله حوزه دور پاسخ ها نسبت به کنترلر غیر فعال افزایش یافته است که این امر نشان می دهد که میراگر با پره قابل تنظیم در کنترلر نیمه فعال تحت زلزله های حوزه نزدیک رفتار بهتری دارد. دلیل این امر را می توان در ویژگی های رکورد های حوزه نزدیک و حوزه دور جستجو نمود. از آنجا که رکورد های حوزه نزدیک حالت پالس گونه داشته قسمت عمده انرژی آن در یک بازه زمانی کوچک آزاد می شود چرخش پره ها می تواند به نحو مناسبی اثر آن را کاسته و میرا نماید. به بیانی دیگر چرخش پره ها در کاهش پاسخ ها و بهینه نمودن میرایی سیستم موثر واقع می شود. امادر حالتی که سازه تحت زلزله حوزه دور قرار می گیرد در برخی از حالات ضریب کاهش منفی می باشد مانند زلزله کرن کانتی، که در

این حالت بیشینه برش پایه و جذر مجموع مربعات پاسخ شتاب و برش پایه در کنترل نیمه فعال نسبت به کنترل غیر فعال افزایش از خود نشان می دهد. دلیل این امر را می توان این گونه تفسیر نمود که تحت اثر زلزله حوزه دور به علت آزاد سازی انرژی در بازه زمانی بلند تر، چرخش پره ها نمی تواند به اندازه میرایی حداکثر ای که در حالت غیر فعال و به طور ثابت به سیستم اعمال گردیده است پاسخ ها را بکاهد.

جدول ۹: میزان تغییر پارامترهای R_i تحت زلزله های حوزه دور

	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Big Bear	18.94	-8.45	4.63	18.44	5.77	2.77
Cliffhouse	2.62	3.05	1.32	8.09	6.16	6.37
Imperial Valley	3.91	2.62	2.40	7.13	3.60	5.47
Kern County	11.56	-0.97	-14.13	10.26	-0.52	-7.25
Kocaeli	12.80	6.14	13.21	11.41	11.74	11.68
Presidio	8.15	5.91	5.38	10.44	7.51	8.68

باید توجه نمود که در بسیاری از کارهای انجام شده کاهش همزمان شتاب و جابجایی رخ نداده است. برای نمونه در کار زهرایی و شفیع زاده کنترلر فازی بیشینه جابجایی را نسبت به کنترل غیر فعال ۱۵ درصد کاهش داده ولی بیشینه شتاب در این حالت ۱۹ درصد افزایش از خود نشان می دهد، در حالی که در کنترل طراحی شده در این پژوهش هر دو پاسخ همزمان کاهش از خود نشان می دهد. که این امر نشان می دهد تغییر جهت چرخش پره ها نسبت به میراگر پیشنهادی توسط زهرایی و همکاران موجب بهبود پاسخ ها گردیده است. البته بررسی میزان کاهش بیشینه و جذر مجموع مربعات شتاب نیز مشابه جابجایی نشان از کارایی بهتر کنترل فازی طراحی شده نسبت به مطالعات مشابه دارد. البته این میزان کاهش در رکورد های حوزه نزدیک بیشتر از رکورد های حوزه دور می باشد.

۵- نتیجه گیری

همانطور که بیان شد هدف اصلی این تحقیق چرخاندن پره ها در حین تحریک و بررسی رفتار سازه مجهز به این نوع میراگر می باشد بدین منظور از الگوریتم کنترل فازی جهت طراحی الگوریتم کنترلی استفاده شده است. به منظور بررسی رفتار میراگر از ۶ رکورد زلزله حوزه دور و ۶ رکورد حوزه نزدیک استفاده شده تا اثر نوع رکورد زلزله بر روی کنترلر های طراحی شده ارزیابی گردد.

- بررسی پاسخ جابجایی سازه مجهز به میراگر نشان می دهد که چرخش پره ها با استفاده از کنترلر فازی موفق به کاهش آن شده تا آنجاکه در زلزله های حوزه نزدیک بیشینه پاسخ تا ۱۷ درصد نسبت به کنترل غیرفعال از خود کاهش نشان می دهد. این کاهش در زلزله های حوزه دور نسبت به کنترل غیرفعال ۱۳ درصد می باشد.
- باید توجه نمود که میزان کاهش پاسخ ها با استفاده از کنترلر فازی نسبت به کنترل غیرفعال بسته به نوع زلزله متفاوت می باشد اما تقریباً تا ۱۸ درصد کاهش در جذر مجموع مربعات جابجایی و ۱۶ درصد در بیشینه جابجایی کاهش مشاهده می شود که در مقایسه با کار های مشابه از جمله مطالعه زهرایی و شفیع زاده بیشتر می باشد.
- در مقایسه رفتار سازه تحت اثر رکورد زلزله حوزه نزدیک و حوزه دور میراگر تحت رکورد حوزه نزدیک رفتار بهتری نسبت رکورد حوزه دور از خود نشان می دهد و میزان کاهش پاسخ ها بیشتر می باشد.
- سازه تحت اثر رکورد حوزه نزدیک در تمامی حالات پارامترهای R_4 تا R_6 مثبت می باشد که این امر نشان می دهد که چرخش پره ها می تواند پاسخ سازه را کاهش دهد در حالی که در حالت رکورد های حوزه دور در برخی از حالات جذر مجموع مربعات پاسخ، افزایش از خود نشان می دهد.

مراجع

- [1]. Tamura Y., Kousaka R and Modi V. (1988). practical application of nutation damper for suppressing wind-induced vibrations of airport towers, *Journal of Wind engineering and industrial Aerodynamics*, (41-44), 1919-1930
- [2]. Ueda T., Nakagaki R, Koshida K., (1992). Suppression of wind-induced vibration by dynamic dampers in tower-like structures, *Journal of wind Engineering and industrial Aerodynamics*, (41-44), 1907-1918
- [3]. Wakahara T., Shimada K., Tamura Y., (1994). Practical application of tuned liquid damper for all buildings, proceeding in the 12th ASCE Structures Congress, Atlanta Georgia, USA, 851-856
- [4]. Sato T., (1987), Tuned sloshing damper, *Japan Journal of Wind Engineering*, (32), 67-68
- [5]. Modi V and Welt F. (1988). Damping of wind induced oscillations through sloshing, *Journal of wind Engineering and industrial Aerodynamics*, (30), 85-94
- [6]. EL Damatty A. A. (2002). *Studies on the application of tuned liquid dampers to up-grade the seismic resistance of structures*, ICLR Research, No. 17.
- [7]. Tondl A., Runjigork M., Verhulst F., and Nabergoj R. (2000). *Auto parametric resonance in mechanical systems*, Cambridge University, New York.
- [8]. Symans M. D. and Constantinou M. C., (1997). Seismic testing of a building structure with a semi-active fluid damper control system, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, (26), 759-777.
- [9]. Sadek F. and Mohraz B., (1998). Semi-active Control Algorithms for Structures With Variable Dampers, *Journal of Engineering Mechanics*, (124), 981-990.
- [10]. Liang Teng T., peng C. p. and chun chuang, (2000). A study on the application of fuzzy theory to structural active control, *Computer methods in applied mechanics and engineering*, (189), 439-448.
- [11]. Samali B. AL-Dawod M. Kwok K. and Fazel Naghdy, (2004). Active control of cross wind response of 76-story tall building using a fuzzy controller, *Journal of Engineering Mechanics*, (130), No. 4, 492-498.
- [12]. Y. k. and Hurlebaus S, (2010). Model based multi-input, multi-output supervisory semi-active nonlinear fuzzy controller, *Computer-applied civil and infrastructure Engineering*, (25), 387-393.
- [13]. Pourzeynali S, Lavasani H. H. and Modarayi A. H, (2007). Active control of high rise building structures using fuzzy logic and genetic algorithm, *Engineering Structures*, (29), 346-357.
- [14]. Zahrai S. M. and Shafieezadeh A., (2009). Semi active control of the wind excited benchmark tall building using a fuzzy controller, *Iranian journal of Science & Technology*, (33), 1-14.
- [15]. Tait M.J., EL Damatty A. A., Isyumov N., and Siddique M.R. (2005). Numerical flow models to simulate tuned liquid dampers (TLD) with slat screens, *Journal of Fluids and structures*, (20), 1007-1023
- [16]. Love J.S. and Tait M. J. (2010). Nonlinear simulation of a tuned liquid damper with damping screens using a modal expansion technique, *Journal of fluids and Structures*, (26), 1058-1077.
- [17]. Zahrai S.M, Abbasi S, Samali and B. Vrcelj Z (2011). Experimental investigation of utilizing TLD with baffles in a scaled down 5-story benchmark building, *journal of Fluids and structures*.
- [18]. Hamed Enayati and Seyed Mehdi Zahrai, (2018). A variably baffled tuned liquid damper to reduce seismic response of a five-storey building, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Structures and Buildings*, 171(4), 306-315
- [19]. Zahrai S. M. and Enayati H., (2017). Semi-Active Control of a SDOF Structure Using Tuned Liquid Damper With Variable Baffles, *STRUCTURE AND STEEL*, 14(210018), 69-96.
- [20]. Wang L., A Course in Fuzzy systems and control, *Prentice-Hall International, Inc.*
- [21]. Karamodin A, Irani, F. Baghban A. (2011). Effectiveness of a fuzzy controller on the damage index of nonlinear benchmark buildings, *Scientica Iranica*, (19), No.1, 1-10
- [22]. Kim H. S. and Roschke P. N. (2006). Design of fuzzy logic controller for smart base isolation system using genetic algorithm, *Engineering Structures*, (28), 84-96.
- [23]. حیدرزاده محمد و زهرایی سیدمهدی، (۱۳۸۳)، میراگرهای مایع تنظیم شده برای کنترل غیرفعال سازه ها، پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۳۷-۴۶.