

تعیین موقعیت بهینه میراگر جرمی تنظیم شده به منظور بهبود رفتار لرزه‌ای سازه‌ها

احمد ملکی*، استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مراغه، مراغه، ایران
 مهدی اسدپور، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ملکان، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، ملکان، ایران
 رسول خدایاری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مراغه، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، مراغه، ایران

* maleki_civil@yahoo.com

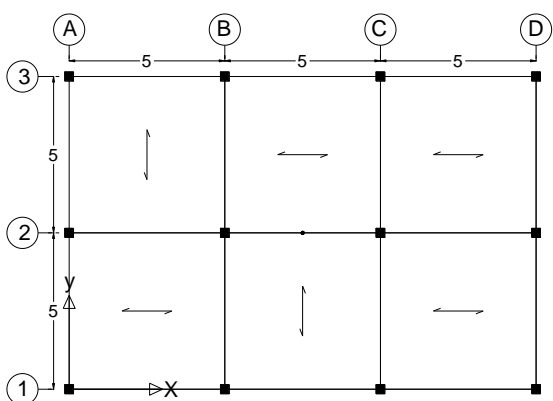
چکیده:

در این مقاله موقعیت بهینه میراگرهای جرمی تنظیم شده در کنترل رفتار لرزه‌ای سازه‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است بدین منظور سازه‌های فولادی ۳، ۷ و ۱۵ طبقه که در بر گیرنده پریودهای طبیعی مختلف می باشند در نرم افزار ETABS به روش تنش مجاز طراحی گردیده و به همراه سیستم میراگر جرمی تنظیم شده با مقاطع بدست آمده از طراحی، در نرم افزار اجزای محدود Opensees که دارای قابلیت بالا در انجام تحلیل‌های غیر خطی دینامیکی می باشد، مدل سازی شده و تحت شتاب‌نگاشت‌های مختلف قرار گرفته است. در تحقیق حاضر پس از انجام آنالیزهای دینامیکی متعدد بر روی مدل های با ترکیبات مختلف میراگرهای جرمی تنظیم شده در پلان بام، نتایج حاصل از ترکیبات مختلف قرارگیری در جهت کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه‌های مورد نظر مقایسه شده و بهینه ترین موقعیت در قرارگیری میراگرهای جرمی تنظیم شده براساس معیار کاهش دررفت طبقات مشخص گردید که نتایج نشان می دهد مرکز جرم با توجه به در نظرگیری تقارن، بهترین موقعیت در پلان سازه های مورد بررسی جهت کاهش دررفت طبقات می باشد.

کلید واژگان: میراگر جرمی تنظیم شده، کنترل غیرفعال، بهینه یابی موقعیت میراگر جرمی، Opensees

مقدمه:

سازه‌های ۳، ۷ و ۱۵ طبقه فولادی که دارای پلان نشان داده شده در شکل (۱) می باشند، تحت بارگذاری ثقلی بر مبنای مقادیر معمول برای کف‌سازی ساختمان‌ها با توجه به کاربری مسکونی از محبت ششم مقررات ملی ساختمان ایران برای بار مرده تمام طبقات kg/m^2 ۶۰۰، بار زنده طبقات kg/m^2 ۲۰۰، و بار زنده طبقه بام kg/m^2 ۱۵۰ قرار گرفته اند.



شکل ۱- پلان طبقات

بارگذاری جانبی با توجه به ارتفاع سازه‌ها، با صرف نظر از بار باد و تنها با در نظرگیری بارگذاری زلزله و مطابق ویرایش سوم آیین‌نامه ۲۸۰۰ طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله ایران انجام پذیرفته است. با توجه به ارتفاع مدل‌ها (حداکثر ۴۵ متر) که کمتر از حد مجاز آیین‌نامه برای تحلیل استاتیکی معادل (۵۰ متر) است، در طراحی مدل‌ها از تحلیل استاتیکی معادل استفاده شده و برش پایه محاسبه و در طبقات توزیع گردیده است.

طراحی سازه به روش تنش مجاز (ASD) و بر مبنای آیین‌نامه UBC97 و در نرم افزار ETABS صورت گرفته است [۸]. با توجه به هدف این تحقیق که مقایسه موقعیت‌های قرارگیری میراگر جرمی تنظیم شده در جهت کنترل رفتار لرزه‌ای مدل‌ها است، لذا نحوه طراحی و انتخاب مقاطع چندان اهمیتی ندارد و دقت به عمل آمده به منظور واقعی‌تر نمودن مدل‌ها بوده است. شکل (۲) مقاطع حاصل از طراحی را در یکی از قاب‌های سازه ۱۵ طبقه نشان می‌دهد.

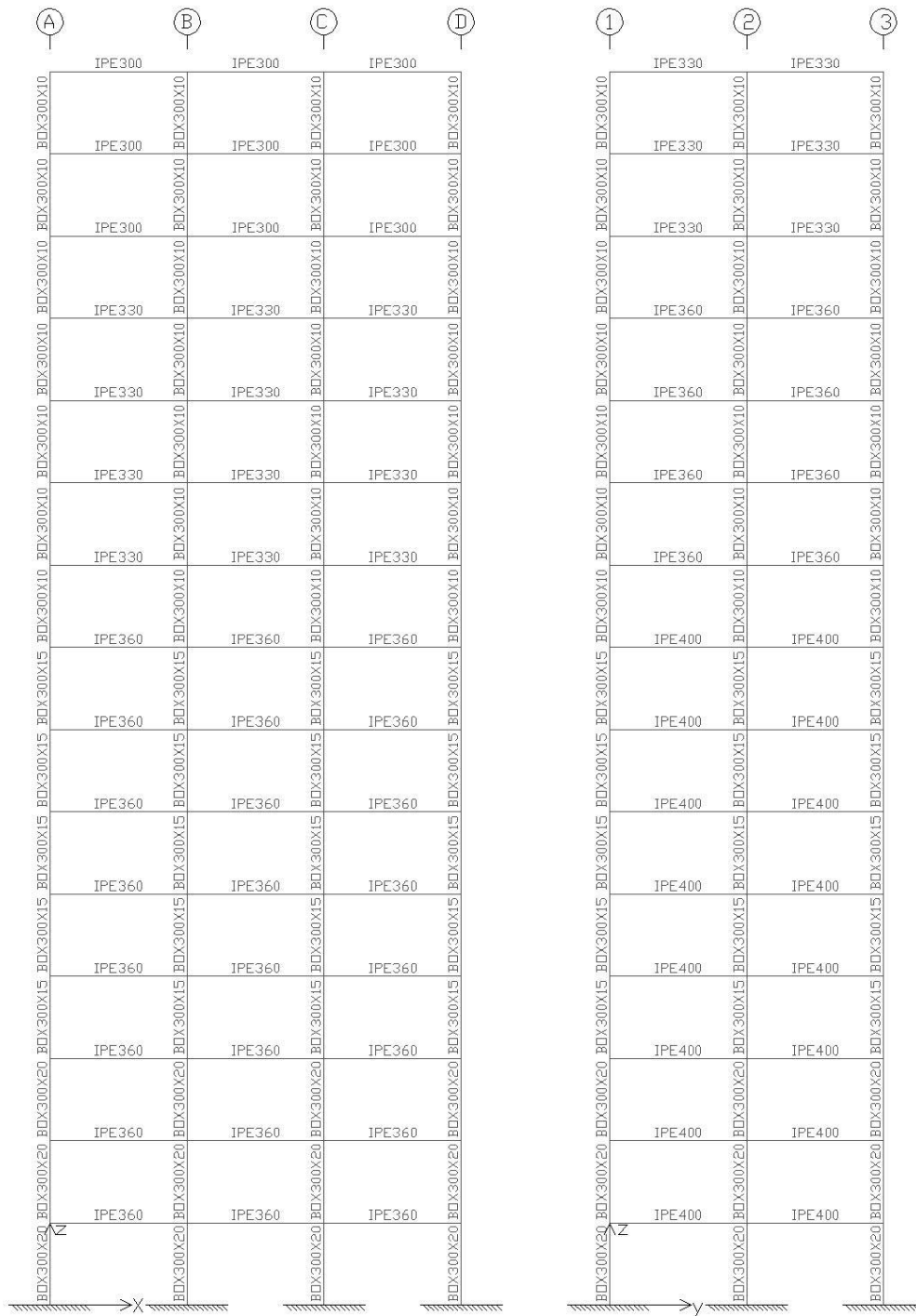
کاهش پاسخ سازه‌ها در برابر ارتعاشات حاصل از بارهای لرزه‌ای و در واقع کنترل رفتار لرزه‌ای سازه‌ها یکی از موضوعاتی است که در زمینه مهندسی سازه و زلزله دارای اهمیت بسزایی می‌باشد [۱]. از بین روش‌های مختلف کنترل سازه‌ها کنترل غیر فعال با استفاده از میراگرهای جرمی تنظیم شده به دلیل سهولت نصب و نگهداری و همچنین ساده بودن ساز و کار از مقبولیت بیشتری برخوردار است که در زمینه کارایی این میراگرها در کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها تحقیقات مختلفی صورت گرفته است و امروزه شاهد کاربرد انواع مختلف این میراگرها در نقاط مختلف جهان هستیم [۲ و ۳]. Frahm برای اولین بار سیستم میراگر جرمی تنظیم شده را در سال ۱۹۰۹ برای کاهش ارتعاش ایجاد شده توسط نیروهای هارمونیک یکنواخت پیشنهاد داد [۴] که نشان داد در صورت وجود یک سیستم شامل جرم و میراگر و فنر که فرکانس آن نزدیک به فرکانس مد غالب سازه باشد می‌توان کاهش زیادی را پاسخ‌های دینامیکی سازه ایجاد نمود. در سال ۱۹۷۷ Jennige و Frorib اثر سیستم جذب کننده را در کاهش مقادیر مودال خمشی و پیچشی مورد بررسی قرار دادند [۵]. در سال‌های اخیر نیز تحقیقات گسترده‌ای در این زمینه صورت گرفته است که در این میان می‌توان به تحقیقات Lap-Loi Chung و همکاران در سال ۲۰۱۳ اشاره نمود [۶]. ایشان در این تحقیق به بررسی عملکرد میراگر جرمی تنظیم شده با در نظرگیری کنترل فاز پرداختند.

در تحلیل‌های مربوط به سیستم‌های دارای میراگر جرمی تنظیم شده و کاربرد این نوع سیستم‌ها، محل قرارگیری این نوع میراگرها در جهت کنترل رفتار لرزه‌ای سازه‌ها دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد [۲] که از میان موقعیت‌های مختلف بایستی بهینه‌ترین حالت با توجه به معیارهای کنترل مورد نظر از قبیل دریفت طبقه و برش پایه انتخاب گردد.

ایده دیگر در به کارگیری این نوع میراگرها استفاده از چند میراگر جرمی تنظیم شده در جهت متعامد برای کنترل رفتار لرزه‌ای مدل‌های سازه‌ای نامنظم سه بعدی می‌باشد تا مناسب‌ترین آرایش قرارگیری میراگرها برای کسب بهترین عملکرد مشخص شود [۷].

هدف از این پژوهش بررسی موقعیت بهینه میراگر جرمی تنظیم شده به منظور کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها می‌باشد. بدین منظور مدل‌های سازه‌ای سه بعدی با تعداد طبقات مختلف به صورت قاب خمشی فولادی در نظر گرفته شده و یازده رکورد زلزله جهت انجام این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است.

۱- طراحی سازه‌ها

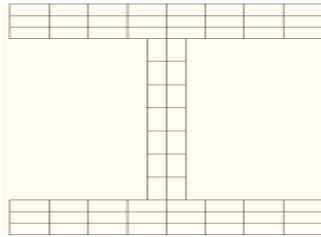


شکل ۲- قاب طراحی شده محور A (سمت راست) و محور ۱ (سمت چپ)

برای دو مد دلخواه تخمین زده می‌شود و سپس ماتریس میرایی از رابطه زیر محاسبه می‌گردد: [۱۰]

$$C = \alpha M + \beta K$$

ضرایب میرایی رابلی محاسبه شده برای مدل‌های سازه‌ای در جدول (۱) آمده است.

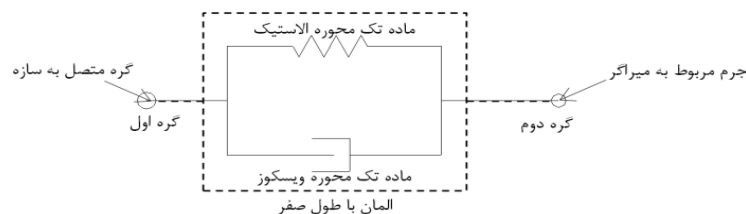


شکل ۳-مقطع المان فایبر

جدول ۱- ضرایب میرایی رابلی برای مدل‌های مختلف

Model	ω_1 [rad]	ω_2 [rad]	ξ	α	β
3 Story	6.89	7.47	0.02	0.1434	0.0028
7 Story	4.1	4.39	0.02	0.0852	0.0047
15Story	2.3	2.43	0.02	0.0472	0.0084

با میرایی مربوطه تعریف شده است. سپس یک المان خطی با طول صفر (Zero Length Element) که شامل هر دو ماده تک‌محوری فوق می‌باشد از گره اول به گره دوم متصل گردیده است. لازم به ذکر است که در این حالت ماده الاستیک و ماده ویسکوز بصورت موازی با یکدیگر عمل خواهند کرد. درجات آزادی دو گره تعریف شده بگونه‌ای محدود شده است که این دو گره فقط در امتداد یکدیگر قادر به حرکت نسبی هستند. در شکل (۴) جزئیات مدل میراگر جرمی تنظیم شده در جهت X بصورت شماتیک نمایش داده شده است.



شکل ۴- پلان مدل میراگر جرمی تنظیم شده

و TMD انتخاب شده بصورت زیر می‌باشد:

$$\mu = 0.02, \gamma_f = 0.98, \xi_{TMD} = 0.1$$

در حالت‌های استفاده از چهار و یا یک TMD ، به جای دو TMD ،

۳- مدل‌سازی اجزا محدود

۳-۱- مدل‌سازی سازه

براساس مقاطع بدست آمده از طراحی سازه‌ها هر یک از این سازه‌ها در نرم‌افزار اجزای محدود Opensees با توجه به قابلیت بالا در انجام تحلیل دینامیکی غیر خطی و در نظر گیری پلاستیسیته گسترده و عدم محدودیت در استفاده به عنوان نرم افزار پژوهشی، مدل‌سازی گردیده است [۹]. برای تعریف مقاطع به این صورت عمل شده است که ابتدا برای مدل‌سازی رفتار خمشی مقطع، مقاطع تیرها و ستون‌ها مطابق شکل (۳) بصورت فایبر (Fiber Section) تعریف شده که این المان قادر به در نظر گیری تغییر شکل‌های غیر خطی در مقطع عضو می‌باشد. سپس جهت مدل‌سازی رفتار پیچشی مقطع، مشخصات پیچشی آن با استفاده از مقطع جمع کننده (Section Aggregator) به آن اضافه گردیده است [۹]. در این تحقیق جهت اعمال میرایی سازه از میرایی رابلی استفاده می‌شود که با توجه به اسکلت فلزی سازه، میرایی ۰/۰۲ برای مد اول و دوم در نظر گرفته شده است. در این روش، ضرایب میرایی مدی با توجه به شواهد، تجربیات و یا نتایج آزمایشات

۳-۲- مدل‌سازی میراگر جرمی تنظیم شده

برای مدل‌سازی میراگر جرمی تنظیم شده در نرم‌افزار Opensees دو گره هم مشخصات تعریف شده است. گره اول توسط لینک صلب (Rigid Linkbeam) به گره اصلی طبقه بام که در بخش‌های قبل توضیح داده شده، متصل گردیده است. جرم میراگر بصورت دو جرم انتقالی در جهات X و Y به گره دوم اختصاص داده شده است. برای مدل‌سازی سختی و میرایی، دو نوع ماده تک‌محوری یکی بصورت ماده الاستیک با سختی مربوط به فنر میراگر و دیگری بصورت ماده ویسکوز

پارامترهای مربوط به میراگر جرمی تنظیم شده، با توجه به مطالعات گذشته انتخاب شده‌اند [۱۱] و مشخصات میراگرها نیز به صورت زیر محاسبه شده است. ضرایب μ (نسبت جرم‌ها)، γ_f (نسبت فرکانس‌ها)

جدول (۲) مشخصات میراگرها مربوط به حالت استفاده از دو، چهار و یا یک میراگر، برای مدل‌های سازه‌ای مختلف آورده شده است.

ضرایب γ_f و ξ_{TMD} ثابت مانده و فقط مقدار ضریب μ نسبت به حالت استفاده از دو TMD به ترتیب نصف و دو برابری شود. در

جدول ۲- مشخصات میراگرهای جرمی تنظیم شده برای مدل‌های سازه‌ای

Model	Dir.	[kg]	[rad/sec]	[rad/sec]	No. of TMDs	[kg]	[N/m]	[N.sec/m]
3 Story	X	328423	6.89	6.75	2	6568.46	299905.15	8876.74
					4	3284.23	149952.57	4438.37
					1	13136.92	599810.30	17753.48
	Y	331723	7.47	7.32	2	6634.47	355168.42	9708.46
					4	3317.235	177584.21	4854.23
					1	13268.94	710336.84	19416.92
7 Story	X	640622	4.1	4.04	2	12812.44	208871.19	10346.30
					4	5173.15	104435.60	6406.22
					1	20692.60	417742.38	25624.88
	Y	643121	4.39	4.32	2	11117.77	240243.84	12862.43
					4	5558.89	120121.92	6431.22
					1	22235.54	480487.68	25724.86
15 Story	X	1188470	2.3	2.25	2	23769.39	163349.48	12462.29
					4	11884.70	81674.74	6231.15
					1	47538.78	326698.96	24924.58
	Y	1180493	2.43	2.38	2	23609.86	185731.22	13244
					4	11804.93	92865.61	6622
					1	47219.72	371462.44	26488

M_n^* بیانگر جرم مؤثر مودی مربوط به مود n می‌باشد. مدل‌سازی سازه‌ها

۴- مقایسه دو مدل نرم‌افزاری

شده در نرم‌افزار ETABS مقایسه گردیده‌اند که نتایج آنها با دقت بالایی با هم مطابقت داشتند. جدول (۳) پریودهای طبیعی مد اول سازه‌ها را نشان می‌دهد.

پس از مدل‌سازی سازه‌ها در نرم‌افزار Opensees به منظور مقایسه مدل ایجاد شده در دو نرم‌افزار، پریودهای طبیعی مد اول مدل حاصل از نرم‌افزار Opensees با پریود طبیعی مد اول سازه طراحی

جدول ۳- پریود طبیعی مود اول سازه

Model	$T_1(ETABS)[Sec]$	$T_1(OPENSEES)[Sec]$
3 Story	0.6625	0.6813
7 Story	1.3167	1.3509
15 Story	2.6933	2.6968

(۴) جهت انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی استفاده شده است. برای مقیاس کردن رکوردها، در هر رکورد ابتدا مولفه با حداکثر شتاب زمین (PGA) بزرگتر به 0.35 g مقیاس شده [۱۲] و سپس مولفه کوچکتر

۵ - انتخاب و اصلاح شتاب‌نگاشت‌ها

در این پژوهش به منظور در نظرگیری تاثیر محتوای فرکانسی و حداکثر دامنه‌های متفاوت از مؤلفه‌های ۱۱ رکورد زلزله مطابق جدول

زلزله در همان ضریب مقیاس ضرب شده است. جهت بررسی بدترین حالت وقوع زلزله، مؤلفه قوی‌تر زلزله در جهتی که سختی ساختمان در آن جهت کمتر است (در این تحقیق، جهت X) به سازه اعمال شده است.

جدول ۴- مشخصات رکوردهای مورد استفاده

No.	Earthquake Name	Year	Station Name	Earthquake Magnitude	Site condition		PGA [g]	
					U S G S	Description	X Dir.	Y Dir.
1	Cape Mendocino	1992	Rio Dell Overpass - FF	7.1	B	Shallow (stiff) soil	0.549	0.385
2	Chalfant Valley	1986	Zack Brothers Ranch	5.9	D	Deep broad soil	0.285	0.207
3	Chi-Chi	1999	CHY029	7.6	B	Shallow (stiff) soil	0.277	0.238
4	Tabas, Iran	1978	Dayhook	7.4	B	Shallow (stiff) soil	0.406	0.328
5	Kobe	1995	Shin-Osaka	6.9	D	Deep broad soil	0.243	0.212
6	San Fernando	1971	Lake Hughes #12	6.6	B	Shallow (stiff) soil	0.366	0.283
7	Imperial Valley	1979	Chihuahua	6.5	C	Deep narrow soil	0.27	0.254
8	Parkfield	1966	Temblor pre-1969	6.1	B	Shallow (stiff) soil	0.357	0.272
9	N. Palm Springs	1986	Cabazon	6.0	D	Deep broad soil	0.217	0.216
10	Kocaeli, Turkey	1999	Arcelik	7.4	B	Shallow (stiff) soil	0.218	0.149
11	Northridge	1994	Beverly Hills - 12520 Mulhol	6.7	B	Shallow (stiff) soil	0.617	0.444

است. برای حالت استفاده از دو میراگر در جهات عمود بر هم، ترکیبی از حالات نشان داده شده در **Error! Reference source not found.** (۵ الف و ب) در نظر گرفته شده است. بطور مثال حالت استقرار A3 به معنی قرار گرفتن میراگر عرضی (جهت Y) در نقطه A

۶- حالت‌های مختلف قرارگیری میراگرهای جرمی تنظیم شده در پلان بام

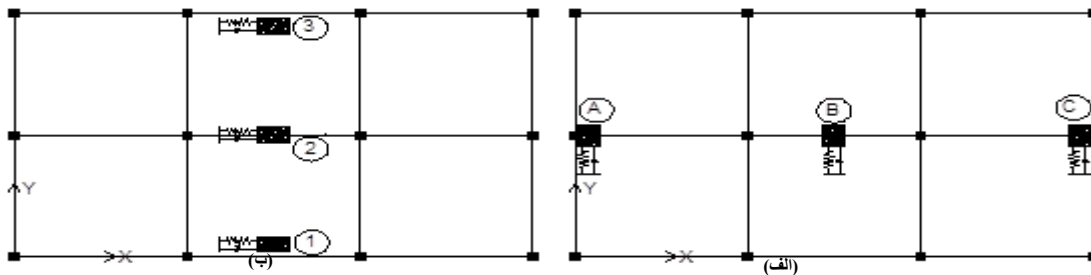
در این بخش به حالت‌های قرارگیری میراگرهای جرمی تنظیم شده در پلان بام برای رسیدن به بهترین حالت کنترل پرداخته شده

۲- حالت استفاده از فقط یک میراگر در جهت عرضی (جهت Y)، که در این حالت یک میراگر در مرکز پلان بام و در جهت عرضی قرار گرفته است. در بیان نتایج، این حالت با علامت $TMDY$ نمایش داده شده است.

۳- حالت استفاده از فقط یک میراگر در جهت طولی (جهت X)، که در این حالت یک میراگر در مرکز پلان بام و در جهت طولی قرار گرفته است. در بیان نتایج، این حالت با علامت $TMDX$ نمایش داده شده است.

و قرارگیری میراگر طولی (جهت X) در نقطه 3 می‌باشد. علاوه بر حالات فوق که در آن‌ها از دو میراگر استفاده شده است ۳ حالت دیگر ترکیب میراگرها به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفته شده است:

۱- حالت استفاده از چهار میراگر، که در این حالت ۲ میراگر در جهت عرضی (جهت Y) در نقاط A و C و دو میراگر در جهت طولی (جهت X) در نقاط 1 و 3 قرار گرفته‌اند. در بیان نتایج، این حالت با علامت $TMD4$ مشخص شده است.



شکل ۵- موقعیت میراگرها در پلان بام؛ (الف) میراگر عرضی (ب) میراگر طولی

علامت Y جهت نمایش تغییرمکان نسبی در جهت Y و از علامت XY جهت نمایش تغییرمکان نسبی واقعی طبقات استفاده شده است. به منظور بهینه‌یابی موقعیت میراگرهای جرمی تنظیم شده از برش پایه نیز به عنوان یک معیار بررسی عملکرد استفاده شده است که با توجه به حصول نتایج مشابه از ذکر آن صرف‌نظر می‌گردد.

۷- ارائه نتایج و بهینه‌یابی

به منظور یافتن بهینه‌ترین حالت در کاهش پاسخها، سازه‌ها در حالت‌های مختلف قرارگیری میراگر جرمی تنظیم شده تحت شتاب‌نگاشت‌های مربوطه مورد تحلیل قرار گرفته و پس از میانگین‌گیری، نتایج آن در جداول (۵) تا (۷) نشان داده شده است که منظور از $Drift\ ratio$ ، نسبت تغییرمکان نسبی طبقه به ارتفاع طبقه است. از علامت X جهت نمایش تغییرمکان نسبی در جهت X ، از

جدول ۵ - درصد کاهش حداکثر پاسخها در مدل سه طبقه

<i>TMD Pos.</i>	<i>Reduction (%)</i>		
	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>XY</i>
<i>TMD4</i>	19.84	26.70	30.04
<i>TMDX</i>	27.83	-0.69	19.65
<i>TMDY</i>	-3.55	32.17	14.73
<i>A1</i>	20.44	27.32	30.46
<i>A3</i>	18.56	26.25	30.26
<i>B2</i>	19.84	26.70	30.04
<i>C1</i>	18.56	26.25	30.26
<i>C3</i>	20.44	27.32	30.46

شده است که با توجه به جدول فوق بیشترین کاهش در حداکثر تغییرمکان نسبی واقعی سازه، در حالت $C3$ اتفاق افتاده است.

در جدول (۵) میزان حداکثر کاهش تغییرمکان نسبی طبقات سازه، در جهات مختلف و برای حالات مختلف قرارگیری میراگرها نشان داده

جدول ۶- درصد کاهش حداکثر پاسخها در مدل هفت طبقه

<i>TMD Pos.</i>	<i>Reduction (%)</i>		
	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>XY</i>
<i>TMD4</i>	7.38	6.67	15.47
<i>TMDX</i>	11.00	-5.13	11.26
<i>TMDY</i>	4.32	13.87	12.89
<i>A1</i>	7.92	7.47	15.57
<i>A3</i>	6.98	4.61	14.34
<i>B2</i>	7.38	6.67	15.47
<i>C1</i>	6.98	4.61	14.34
<i>C3</i>	7.92	7.47	15.57

نسبی واقعی سازه، در حالت C3 اتفاق افتاده است. البته کاهش مربوط به حالت B2 نیز خیلی نزدیک به حالت C3 می‌باشد.

جدول (۶) میزان حداکثر کاهش تغییر مکان نسبی طبقات سازه، در جهات مختلف و برای حالات مختلف قرارگیری میراگرها را نشان می‌دهد. با توجه به جدول فوق بیشترین کاهش در حداکثر تغییر مکان

جدول ۷- درصد کاهش حداکثر پاسخها در مدل پانزده طبقه

<i>TMD Pos.</i>	<i>Reduction (%)</i>		
	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>XY</i>
<i>TMD4</i>	6.99	12.65	6.21
<i>TMDX</i>	13.12	7.13	6.45
<i>TMDY</i>	1.63	14.93	4.81
<i>A1</i>	7.42	11.96	5.87
<i>A3</i>	6.68	12.22	5.92
<i>B2</i>	6.99	12.65	6.21
<i>C1</i>	6.68	12.22	5.92
<i>C3</i>	7.42	11.96	5.87

گرفته‌اند. که برای سازه ۳ طبقه بیشترین کاهش در حداکثر تغییر مکان نسبی واقعی سازه، در حالت C3 اتفاق افتاده است. البته کاهش مربوط به حالت B2 نیز خیلی نزدیک به حالت C3 می‌باشد و می‌توان جهت حفظ تقارن سازه، این حالت را به عنوان بهترین حالت قرارگیری TMD در سازه سه طبقه در نظر گرفت.

برای مدل هفت طبقه بیشترین کاهش در حداکثر تغییر مکان نسبی واقعی سازه، همانند مدل سه طبقه در حالت C3 اتفاق افتاده است. البته کاهش مربوط به حالت B2 نیز خیلی نزدیک به حالت C3 می‌باشد. استفاده از حالت B2 در سازه از این نظر که تقارن سازه را به هم نمی-

در جدول (۷) میزان حداکثر کاهش تغییر مکان نسبی طبقات سازه، در جهات مختلف و برای حالات مختلف قرارگیری میراگرها برای مدل پانزده طبقه نشان داده شده است. با توجه به جدول فوق بیشترین کاهش در حداکثر تغییر مکان نسبی واقعی سازه، در حالت TMDX اتفاق افتاده است.

۸- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر، مدل‌های سازه‌ای ۳، ۷ و ۱۵ طبقه با حالات گوناگون قرارگیری میراگر جرمی تنظیم شده مورد بررسی قرار

3. Kaynia, A.M., Veneziano, D. and Biggs, J.M. 107, s.l.: ASCE, 1981. "Seismic effectiveness of tuned mass dampers", Journal of Structural Division, pp. 1465-484.
4. Frahm, H. 1911 "Device for damping vibration of bodies" U.S. Patent No. 989-958.
5. Jennige, R. L., Frohrib, D.A., 1977 "Alternative for steady state Vibration control Abserves Tuned Mech. Des, ASME, paper No. Structures" J of Tall, PP 1-7.77-DET-84.
6. Chung, L., Lai, Y., Yang, C., Lien, K., Wu, L., 2013, "Semi-active tuned mass damper with phase control" Journal of Sound and Vibration. PP3610-3625
7. Javadian Arzaghi, S., and Rofooei, F. R. Tarbiet Moddarres University, Tehran, Iran :s.n., 2006, "Investigating the Performance of 2 TMDs' in Controlling the Seismic Behavior of 3-D Structural Models". 7th International Conference on Civil Engineering.
8. "EC3. Design of Steel Structures: Part I-General Rules and Rules for Buildings", 1994.s.l.: Euro code edited draft. Vol. 1.
9. Silvia Mazzoni, Frank McKenna, Michael H. Scott, Gregory L. Fenves, et al., 2006, "OpenSees Command Language Manual".
10. Chopra, Anil K. 2007, "Dynamics of Structures Theory and Applications to Earthquake Engineering". Third Edition. s.l.: Prentice Hall.
11. Sadek, F., et al. 6, s.l.: John Wiley & Sons Ltd., 1996, "A Method of Estimating the Parameters of Tuned Mass Dampers for Seismic Applications", Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Vol. 26, pp. 617 – 635.
12. Soto-Brito R, Ruiz SE. 28, 1999, "Influence of ground motion intensity on the effectiveness of tuned mass dampers", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, pp. 1255–71.

زند، در اولویت قرار دارد و بنابراین می‌توان گفت در این حالت بهترین موقعیت قرارگیری TMD، حالت B2 می‌باشد. به علت تقارن موجود در سازه، انتظار می‌رود که عملکرد TMDها در موقعیت‌های متقارن نسبت به مرکز جرم که منطبق بر مرکز سطح است، دقیقاً با یکدیگر برابر باشد که در جدول (۶) مشاهده می‌شود عملکرد TMDها در موقعیت‌های A1 و C3 با یکدیگر و C1 و A3 با یکدیگر یکسان هستند. همچنین با توجه به نوع طراحی TMDها در حالت استفاده از چهار TMD انتظار می‌رود که عملکرد این TMDها دقیقاً همانند حالت استفاده از دو TMD در موقعیت B2 باشد که در جدول (۶) کاملاً مشهود است.

در سازه پانزده طبقه بیشترین کاهش در حداکثر تغییر مکان نسبی واقعی سازه، در حالت TMDX اتفاق افتاده است. البته کاهش مربوط به حالت B2 نیز خیلی نزدیک به حالت TMDX می‌باشد و می‌توان جهت حفظ تقارن سازه، این حالت را به عنوان بهترین حالت قرارگیری TMD در سازه پانزده طبقه خطی بدون خروج از مرکزیت در نظر گرفت.

بدیهی است نتیجه‌گیری‌های انجام شده تنها با استفاده از مدل‌های محدود سازه‌ای و نیز یک گروه محدود از رکوردهای زلزله صورت گرفته است و با توجه به دخیل بودن پارامترهای مختلفی چون نوع طراحی سازه‌ها، محتوای فرکانسی رکوردهای زلزله و ... می‌توان انتظار تغییر در نتایج گرفته شده را داشت.

۹- مراجع

1. T.T. Soong, G.F. Dargush, 1997, "Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering", New York: John Wiley & Sons., 0-471-96821-8.
2. Sladek JR, Klingner RE. 8, s.l.: ASCE, 1983, "Effect of tuned-mass dampers on seismic response". Structural Engineering, Vol. 109, pp.

Determining the Optimum Position of Tuned Mass Damper with the Aim of Improving the Seismic Behavior of the Structures

A.Maleki

Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Maragheh Branch, Maragheh, Iran

M. Asadpour

Young Researcher and Elite Club, Malekan Branch, Islamic Azad University, Malekan, Iran

R. Khodayari

Young Researcher and Elite Club, Maragheh Branch, Islamic Azad University, Maragheh, Iran

ABSTRACT

The present paper attempts at investigating the position of tuned mass dampers in controlling the seismic behavior of the structures. Three buildings of 3, 7 and 15 stories with various natural periods, were designed according to the allowed stress design method employing the ETABS. Designed sections and tuned mass dampers were modeled in opensees finite element analysis software, and finally subjected to several accelerograms. After conducting a number of dynamic analyses with various combinations of tuned mass dampers on the roof plan, the results were compared to other combinations of tuned mass damper location aiming to reduce the seismic response of the buildings. Optimum positions were selected according to the drift reduction criterion of the stories.

Keywords: Tuned mass dampers, Passive control, Optimizing mass damper position, Opensees