



## کاهش پاسخ لرزه ای ساختمانهای مهاربندی شده فولادی

### با استفاده از قاب میراگر پشت بام

علی اکبر یحیی آبادی<sup>۱</sup>، سید مهدی زهرائی<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی دکتری سازه، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲- دانشیار دانشکده عمران، دانشگاه تهران

MZahrai@ut.ac.ir

### خلاصه

سالهست که از میراگر جرمی تنظیم شده به عنوان روشی مؤثر برای کاهش ارتعاشات ناشی از باد و زلزله در ساختمانها استفاده می شود. در این مقاله امکان استفاده از قاب پشت بام به جای میراگر جرمی تنظیم شده در قابهای مهاربندی شده، مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور پاسخ لرزه ای خطی و غیرخطی شش ساختمان با مهاربند هم محور فولادی با ۳، ۵، ۱۰ طبقه تحت اثر زلزله های حوزه نزدیک و دور مطالعه شده است. نتایج این تحقیق نشان می دهد که استفاده از قاب میراگر پشت بام، پاسخ لرزه ای ساختمانهای با پرپود کوتاه را بیشتر از ساختمانهای با پرپود متوسط و بلند کاهش می دهد. استفاده از این قاب در ساختمانهای ۳ طبقه سبب کاهش ۱۶ تا ۶۶ درصدی تغییر مکان بام در زلزله های مختلف شده است. بر اساس بررسی های انجام شده در این پژوهش، قاب میراگر جرمی تنظیم شده پشت بام در صورتیکه از شتاب نگاشت ویژه ساختگاه مناسبی برای طراحی آن استفاده گردد؛ منجر به کاهش پاسخ لرزه ای تحت زلزله های حوزه نزدیک و دور خواهد شد.

کلمات کلیدی: قاب میراگر جرمی تنظیم شده پشت بام، تحلیل تاریخیچه زمانی خطی، تحلیل تاریخیچه زمانی غیرخطی، زلزله های حوزه نزدیک، زلزله های حوزه دور

### ۱- مقدمه

جرمی تنظیم شده برخلاف تصور رایج، تأثیر چندانی بر کاهش پاسخ لرزه ای ساختمانها ندارند. در سال ۱۹۸۳، Sladek و Klingner با بررسی اثر قاب میراگر جرمی تنظیم شده بر رفتار خطی و غیرخطی ساختمان تحت مؤلفه شمالی- جنوبی شتاب نگاشت ال سنترو (۱۹۴۰)، نتیجه گرفتند که TMD روش مناسبی برای کاهش پاسخ لرزه ای ساختمانها نیست [۵]. این نتایج کاملاً در تضاد با سایر تحقیقاتی است که نشان می دهند میراگرهای جرمی تنظیم شده، یک ابزار کنترل غیرفعال مؤثر در کاهش ارتعاشات ساختمانهاست [۶] و [۷]. اختلاف بین سیستم پیشنهادی و TMD مطالعه شده در مرجع [۵] در این است که سیستم پیشنهادی در مراجع [۶] و [۷] دارای رفتاری غیرخطی است و می تواند وارد مرحله پس از تسلیم گردد. در سال ۲۰۰۴، Wong و Chee اثر قاب میراگر جرمی تنظیم شده بر قابلیت استهلاک انرژی ورودی زلزله در ساختمانها را مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفتند که TMD در کاهش پاسخهای انرژی ساختمانهای دارای پرپود متوسط و بلند نسبت به ساختمانهای دارای پرپود کوتاه مؤثرتر می باشد. TMD در کاهش انرژی

میراگر جرمی تنظیم شده به عنوان روشی متداول برای کاهش ارتعاشات ناشی از باد در ساختمانها به کار می رود. این سیستمها از یک جرم متمرکز تشکیل شده اند که به وسیله فنر و میراگر به نقطه ای از سازه متصل می گردند که دارای شدیدترین مقدار ارتعاشات باشد [۱]. میراگرهای جرمی تنظیم شده توانایی کاهش پاسخ سازه در مقابل تحریکات زلزله را نیز دارا می باشند [۲]. ایده استفاده از این سیستمها (TMD) اولین بار توسط Frahm در سال ۱۹۰۹ مطرح شد [۳]. پس از طرح این ایده، تاکنون تحقیقات گسترده ای جهت تعیین کارایی میراگرهای جرمی تنظیم شده در کنترل پاسخ لرزه ای سازه ها انجام شده است. در سال ۱۹۸۱، Veneziano، Kayina و Biggs میزان کارایی میراگرهای جرمی تنظیم شده در کاهش پاسخ لرزه ای ساختمانها را مورد بررسی و تحقیق قرار دادند [۴]. آنها در این تحقیق از زلزله های تاریخی به منظور تحلیل آماری یک سیستم الاستیک خطی استفاده نمودند و نتیجه گرفتند که میراگرهای



پشت بام در حوزه نزدیک و دور، بررسی‌ها برای دو حالت حوزه نزدیک و حوزه دور به صورت جداگانه انجام شده است. ۳ مدل با تعداد طبقات ۳، ۵ و ۱۰ طبقه یکبار برای حوزه نزدیک و یکبار برای حوزه دور بر اساس ضوابط آیین نامه UBC و با در نظر گرفتن اثر فاصله از گسل طراحی شده‌اند. فرض شده که ساختگاه حوزه نزدیک در فاصله ۳ کیلومتری از چشمه لرزه زای نوع B واقع شده باشد. سیستم جانبی تمام مدلها از نوع مهاربند هم مرکز انتخاب شده است. ساختگاه ساختمانها، دارای خاک نوع  $S_D$  و فاکتور ناحیه لرزه‌ای  $Z=0.4$  می‌باشد. مشخصات مدلها در جدول ۱ ارائه شده است.

شتاب نگاشتهای استفاده شده در این پژوهش براساس نوع خاک و فاصله ساختگاه از چشمه لرزه‌زا انتخاب شده‌اند. مشخصات این شتاب نگاشتهای در جداول ۲ و ۳، و طیف شتاب آنها در اشکال ۱ و ۲ ارائه شده است.

### ۳- روش طراحی قاب میراگر جرمی تنظیم شده پشت بام

ارزیابی اولیه قاب میراگر جرمی تنظیم شده پشت بام، براساس دستورالعمل‌های AISC [۱۲ و ۱۳] نشان می‌دهد که تنش در اعضای قاب حتی در زلزله‌های ضعیف نیز از حد مجاز فراتر خواهد رفت. RDF در صورتی مؤثر و کارا خواهد بود که علاوه بر انعطاف‌پذیری بالا، اعضای تشکیل دهنده آن مجاز به تحمل تغییر شکلهای غیرخطی باشند [۱۰].

پایداری RDF که یک قاب نرم خمشی است، براساس روش تحلیل استاتیکی غیرخطی پیشنهاد شده در دستورالعمل FEMA356 و دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود مورد ارزیابی قرار گرفته است [۱۴ و ۱۵]. این روش مستلزم آن است که ماکزیمم تغییر مکان غیرخطی (هدف) از تغییر مکان غیرخطی مجاز کوچکتر باشد. تغییر مکان هدف تابعی از پیروید اساسی و طیف شتاب طراحی RDF است.

شایان ذکر است؛ طیف شتابی که برای محاسبه تغییر مکان هدف استفاده شده، از تاریخچه زمانی شتاب بام ساختمان استخراج شده است. بنابراین تغییرمکان هدف قاب بام برای هر ساختمان تحت شتاب نگاشتهای مختلف به صورت جداگانه محاسبه و ماکزیمم مقدار به دست آمده، ملاک طراحی قرار می‌گیرد. از منحنی استاتیکی غیرخطی فزاینده، برای محاسبه تغییرمکان غیرخطی مجاز قاب بام استفاده شده است. این منحنی براساس ضوابط FEMA356 برای هر قاب میراگر جرمی تنظیم شده محاسبه شده است.

جنبشی و کرنشی ماکزیمم سازه بسیار مؤثر است و مقدار انرژی میرایی که بایستی توسط ساختمان مستهلک شود را نیز کاهش می‌دهد [۸].

در سال ۱۹۹۸، Vilaverde ایده استفاده از بام ساختمان به عنوان جرم میراگر تنظیم شده غیرفعال را مطرح نمود [۹]. در مدل پیشنهادی وی، بام به وسیله بالشتکهای لاستیکی و میراگرهای ویسکوز از ساختمان جدا می‌گردد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهند که پارامترهای پاسخ لرزه‌ای به مقدار ۸۴ درصد، در سازه میرا شده کاهش می‌یابند. این میزان کاهش در پاسخ ساختمان، با توجه به منطبق بودن پیروید غالب شتاب نگاشت استفاده شده بر پیروید اساسی ساختمان میرا شده، عجیب اما منطقی به نظر می‌رسد. نتایج تحقیقات Vilaverde نشان می‌دهد که کاهش قابل توجه در پاسخ لرزه‌ای ساختمانها با استفاده از میراگرهای جرمی تنظیم شده در تراز بام ساختمان، امکان‌پذیر است.

سختی و جرم دو فاکتور اساسی و تأثیرگذار بر مودهایی ارتعاشی یک سازه هستند. هرچند تغییر سختی و جرم سازه در بسیاری از موارد اقتصادی یا عملی نیست، اما می‌توان پیروید اساسی سازه را با اضافه نمودن یک قاب خمشی نرم (با جرم مشخص) به تراز بام آن افزایش داد. از آنجا که در اکثر ساختمانها، از بام به عنوان محلی برای تجهیزات مکانیکی استفاده می‌شود، قاب پشت بام را می‌توان به عنوان قاب میراگر جرمی تنظیم شده غیرفعال به کار برد. Johnson، Reaveley و Pantelides با انجام تحلیل‌های خطی چندین مدل نتیجه گرفتند که استفاده از این نوع قاب در صورت طراحی مناسب سبب کاهش پاسخ لرزه ای ساختمانها خواهد شد [۱۰].

در این مقاله امکان استفاده از قاب میراگر جرمی تنظیم شده پشت بام (RDF یا Rooftop tuned mass Damper Frame) به منظور اصلاح پاسخ لرزه ای ساختمانهای مهاربندی شده در حوزه نزدیک و دور از منابع لرزه زا به کمک تحلیل‌های تاریخیچه زمانی خطی و غیرخطی بررسی شده است. برای طراحی ساختمانها از ضوابط آیین‌نامه UBC97 [۱۱] و با در نظر گرفتن فاصله آنها از گسل استفاده شده است. حرکات ورودی زمین براساس مشخصات فرضی ساختگاه (خاک نوع  $S_D$  و فاصله از گسل) انتخاب شده‌اند. برای کنترل پایداری این قابها از روش تحلیل استاتیکی غیرخطی استفاده شده است. روش طراحی استاتیکی غیرخطی، طراحی قابهای پایدار و انعطاف‌پذیر را تسهیل می‌نماید. شایان ذکر است که قابها در صورتی باعث کاهش پاسخ کلی سازه خواهند شد که از انعطاف‌پذیری نسبتاً بالایی برخوردار باشند.

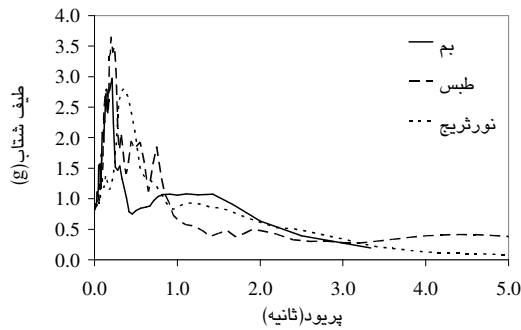
### ۲- معرفی مدلها و شتاب نگاشتهای

به منظور بررسی تفاوت کارایی قاب میراگر جرمی تنظیم شده

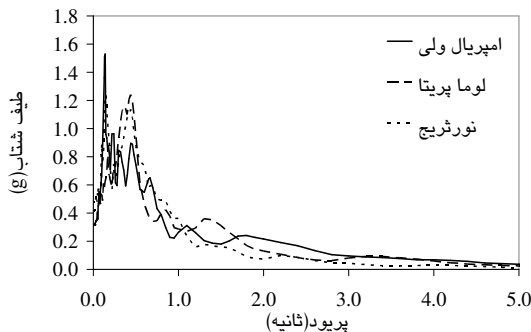


## ۴- مراحل طراحی قاب میراگر جرمی تنظیم شده پشت بام

برای طراحی قاب میراگر جرمی تنظیم شده پشت بام (RDF) از روش ارایه شده در مرجع [۱۰] استفاده شده است. مراحل طراحی یک RDF کارا و پایدار عبارت است از: (۱) انجام تحلیل دینامیکی ساختمان برای تعیین مودها و پریودهای ارتعاشی آن (۲) تعیین شتاب نگاشت مشخصه ساختگاه با مقیاس نمودن شتاب نگاشتهای مناسب واقعی، و محاسبه طیف پاسخ ویژه ساختگاه به منظور تعیین میزان تغییراتی که بایستی در پریود اساسی سازه روی دهد تا پاسخ لرزه‌ای آن کاهش یابد. (۳) مدلسازی قاب پشت‌بام که در نهایت قاب میراگر جرمی تنظیم شده پشت بام (RDF) خواهد شد. (۴) اعمال بارهای ثقلی به RDF و انجام تحلیل مودال و تحلیل استاتیکی غیرخطی فزاینده قاب. (۵) اصلاح طرح قاب با توجه به شکل منحنی استاتیکی غیرخطی فزاینده و تغییر مکان سطح عملکرد آستانه فروریزش، به گونه‌ای که منحنی استاتیکی غیرخطی فزاینده آن قابل قبول باشد.



شکل ۱- طیفهای پاسخ شتاب زلزله های حوزه نزدیک



شکل ۲- طیفهای پاسخ شتاب زلزله های حوزه دور

(۶) اضافه نمودن RDF به تراز بام ساختمان و انجام تحلیلهای تاریخچه زمانی و طیفی. پاسخ حداکثر ساختمان میرا شده (ساختمان با RDF) نشان دهنده کارایی این سیستم خواهد بود. در صورتیکه قاب پشت بام سبب کاهش پاسخ سازه نشده باشد، بایستی جرم و قاب آن به منظور تغییر پریود اساسی اش اصلاح و گامهای ۳ تا ۶ مجدداً تکرار شوند (۷) محاسبه تاریخچه زمانی شتاب بام ساختمان برای هر رکورد لرزه‌ای. (۸) محاسبه طیف پاسخ بام ساختمان برای تمام شتاب نگاشتها. (۹) تعیین ضرایب مورد نیاز برای محاسبه تغییر مکان هدف RDF براساس ضوابط FEMA356 (یا دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود) و با استفاده از طیف پاسخ بام ساختمان و پریود مؤثر RDF (۱۰) کنترل این موضوع که تغییر مکان هدف محاسبه شده از مقدار متناظر با آستانه فروریزش بر روی منحنی استاتیکی غیرخطی فزاینده RDF (که در گامهای ۳ و ۴ محاسبه می شود) کوچکتر باشد.

## ۵- نتایج تحلیلهای عددی

RDF برای هر کدام از ساختمانها به صورت جداگانه طراحی و اثر آن بر پاسخ لرزه ای ساختمانها مورد بررسی قرار گرفته است. در جدول ۴ تأثیر این قاب بر افزایش پریود مدلها ارائه شده است. تغییر پریود اساسی ساختمانها منجر به تغییر حداکثر پاسخ لرزه‌ای آنها خواهد شد. در جداول ۵ تا ۸ میزان تغییرات به وجود آمده در

جدول ۱- مشخصات مدلها

ساختمانهای حوزه نزدیک		
مدل	تعداد طبقات	پریود(ثانیه)
A	3	0.36
B	5	0.53
C	10	0.98
ساختمانهای حوزه دور		
مدل	تعداد طبقات	پریود(ثانیه)
D	3	0.36
E	5	0.55
F	10	1.13

جدول ۲- شتابنگاشتهای استفاده شده برای تحلیل ساختمانهای واقع در حوزه نزدیک

شتابنگاشت	بزرگی	فاصله از چشمه لرزه زا (کیلومتر)	مدت زمان شتاب زمین (ثانیه)	حداکثر شتاب زمین (g)
بم	6.5	3.0	39.3	0.790
طیس	7.4	3.0	32.84	0.852
نورثریج	6.7	3.6	40	0.843

جدول ۳- شتابنگاشتهای استفاده شده برای تحلیل ساختمانهای واقع در حوزه دور

شتابنگاشت	بزرگی	فاصله از چشمه لرزه زا (کیلومتر)	مدت زمان شتاب زمین (ثانیه)	حداکثر شتاب زمین (g)
امپریال ولی	6.9	16.0	39.52	0.315
لوما پریتا	7.1	15.8	39.95	0.417
نورثریج	6.7	23.2	31.59	0.474



کاربرد یک قاب خمشی پایدار و نرم در بام ساختمان سبب افزایش پریود آن شده و پاسخ لرزه‌ای ساختمان به همین دلیل کاهش یافته است. از این رو همانطور که نتایج نشان می‌دهند؛ کارایی این سیستم با افزایش ارتفاع ساختمان کاهش می‌یابد. این نتایج نشان می‌دهند که با طراحی مناسب خرپشته‌های ساختمانهایی کوتاه مرتبه می‌توانیم ایمنی لرزه‌ای آنها را با صرف هزینه‌ای ناچیز به مقدار قابل توجهی بهبود بخشیم.

نتایج ارائه شده در جداول ۵ تا ۸ همچنین نشان می‌دهند، در صورتی که در طراحی RDF، فاصله ساختمان تا چشمه لرزه زا مدنظر قرارگیرد، کارایی این سیستم تقریباً مستقل از فاصله ساختمان تا چشمه‌های لرزه‌زا خواهد شد.

مقایسه نتایج خطی و غیرخطی نشان می‌دهد که درصد تغییرات پاسخ در حالت غیرخطی تقریباً مستقل از حالت خطی است. این موضوع با توجه به اینکه در حالت غیرخطی پریود ساختمان و RDF به صورت لحظه‌ای با زمان تغییر می‌کند، منطقی به نظر می‌رسد. با این وجود، در صورتیکه RDF سبب کاهش پاسخ خطی ساختمان گردد، معمولاً منجر به کاهش پاسخ لرزه‌ای غیرخطی آن نیز خواهد شد. بنابراین می‌توانیم با اطمینان قابل قبولی از نتایج تحلیل خطی جهت طراحی قاب میراگر جرمی تنظیم شده استفاده نماییم.

در جداول ۹ تا ۱۲ درصد تغییرات به وجود آمده در حداکثر نیروی محوری بادبندها به علت کاربرد RDF آورده شده است. نتایج ارائه شده در این جداول نشان می‌دهند که علاوه بر تغییر مکان، سبب کاهش تقاضای نیروی اعضای باربر جانبی نیز می‌شود. استفاده از این سیستم سبب کاهش ۵۵ درصدی حداکثر نیروی بادبندهای ساختمان ۳ طبقه در زلزله طیس شده است. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که استفاده از RDF در کاهش تغییر مکان در مقایسه با نیروی محوری بادبندها مؤثرتر واقع می‌شود. استفاده از این سیستم سبب کاهش ۶۵، ۲۷ و ۱۸ درصدی تغییر مکان ساختمان ۳ طبقه تحت شتاب‌نگاشتهای امپریال ولی، لوما پریتا و نورث‌ریچ شده است. در حالیکه مقادیر متناظر کاهش در نیروی محوری بادبندها به ترتیب ۷، ۵ و ۹ درصد می‌باشد.

همانطور که مشاهده شد استفاده از RDF در اکثر موارد بررسی شده در این پژوهش سبب کاهش پاسخ لرزه‌ای ساختمانها شده است. اما از آنجا که در این مطالعه برای هر مدل تحت تمام شتاب نگاشتهای از یک نوع RDF استفاده شده، امکان وقوع تشدید پاسخ بیشینه در بعضی موارد وجود دارد. چنانچه در ۳ مورد از موارد بررسی شده در این تحقیق، پاسخ غیرخطی افزایش یافته است که البته میزان افزایش بیشینه پاسخ در ۲ مورد آن (تغییر مکان غیرخطی ساختمان ۵ طبقه تحت شتاب نگاشت امپریال ولی و حداکثر نیروی محوری بادبندهای ساختمان ۵ طبقه تحت شتاب نگاشت طیس) بسیار ناچیز می‌باشد. با این وجود می‌توان طرح RDF را به گونه‌ای اصلاح نمود که مقادیر بیشینه پاسخ در این

#### جدول ۴- پریود اساسی ساختمانهای

در دو حالت با و بدون RDF

مدل	RDF بدون	RDF با	تغییرات پریود (%)
A	0.36	0.62	70.6
B	0.53	0.78	46.9
C	0.98	1.50	52.3
D	0.36	0.49	36.7
E	0.55	0.68	25.1
F	1.13	1.48	31.8

#### جدول ۵- در صد تغییرات تغییر مکان بام

ساختمانهای واقع در حوزه نزدیک (تحلیل خطی)

شتاب نگاشت	۳ طبقه	۵ طبقه	۱۰ طبقه
بم	-5.06	-3.6	-13.1
طیس	-16.75	-25.1	0.9
نورث‌ریچ	-23.99	-25.5	-8.6

#### جدول ۶- در صد تغییرات تغییر مکان بام

ساختمانهای واقع در حوزه نزدیک (تحلیل غیر خطی)

شتاب نگاشت	۳ طبقه	۵ طبقه	۱۰ طبقه
بم	-22.58	-3.5	-7.0
طیس	-41.87	-11.4	-9.8
نورث‌ریچ	-54.9	-28.7	-5.5

#### جدول ۷- در صد تغییرات تغییر مکان بام

ساختمانهای واقع در حوزه دور (تحلیل خطی)

شتاب نگاشت	۳ طبقه	۵ طبقه	۱۰ طبقه
امپریال ولی	-18.9	-12.2	-25.9
لوما پریتا	-27.8	-5.3	-6.6
نورث‌ریچ	-43.1	-12.0	17.1

#### جدول ۸- در صد تغییرات تغییر مکان بام

ساختمانهای واقع در حوزه دور (تحلیل غیر خطی)

شتاب نگاشت	۳ طبقه	۵ طبقه	۱۰ طبقه
امپریال ولی	-65.5	0.8	-7.8
لوما پریتا	-26.5	-28.1	-7.7
نورث‌ریچ	-17.6	-15.7	15.7

حداکثر تغییر مکان مدلهای تحت شتاب نگاشتهای مربوطه ارائه گردیده است. همانطور مشاهده می‌گردد، استفاده از RDF در اکثر موارد سبب کاهش تغییر مکان بام ساختمان شده است. درصد کاهش پاسخ ساختمان ۳ طبقه، به علت کاربرد قاب میراگر جرمی تنظیم شده پست‌بام، بسیار چشمگیر می‌باشد. کاربرد RDF در این ساختمان سبب کاهش ۶۶ درصدی تغییر مکان غیرخطی بام تحت زلزله امپریال ولی گردیده است.



به منظور ارزیابی پایداری RDF است. از این رو استفاده از شتاب نگاشت مشخصه‌ای که مناسب ساختگاه باشد؛ علاوه بر اینکه زمینه تحلیل پایداری RDF را فراهم می‌سازد؛ می‌تواند در طراحی یک RDF مؤثر برای سازه بسیار مفید واقع شود.

#### ۶- نتیجه گیری

نتایج تحلیلهای انجام شده در این پژوهش نشان می‌دهند که استفاده از جرم و سازه خرپشته ساختمان به صورت RDF می‌تواند به عنوان روشی مؤثر برای کاهش پاسخ لرزه‌ای ساختمان مورد استفاده قرارگیرد. تغییر زمان تناوب اصلی ساختمان به علت کاربرد RDF سبب کاهش شتاب و تغییر مکان اغلب مدلهای بررسی شده در این تحقیق شده است.

کارایی RDF در ساختمانهای کوتاه مرتبه قابل توجه می‌باشد. کاربرد RDF در ساختمان ۳ طبقه بررسی شده در این پژوهش سبب کاهش ۶۶ درصدی تغییر مکان غیرخطی بام و کاهش ۷ درصدی حداکثر نیروی محوری بادبندها تحت زلزله امپریال ولی شده است.

اگرچه نتایج نشاندهنده وقوع کاهش در پاسخ لرزه‌ای اکثر مدلها می‌باشد، اما امکان تشدید پاسخ لرزه‌ای ساختمان تحت شتاب نگاشتهای خاص وجود دارد. با این حال RDF سبب کاهش پاسخ لرزه‌ای کل ساختمان تحت اثر گروه شتاب نگاشتهای مشخصه مشابه می‌گردد. از این رو RDF می‌تواند به عنوان یک روش بسیار مناسب برای کاهش پاسخ لرزه‌ای ساختمان تحت اثر شتاب نگاشت مشخصه ساختگاه به کار برده شود.

در این مطالعه اثر ارتفاع ساختمان و فاصله از گسل بر کارایی RDF مورد بررسی قرارگرفت. نتایج نشان می‌دهند در صورتیکه در طراحی RDF از شتاب نگاشت مشخصه مناسبی استفاده شود؛ می‌توان از این سیستم برای بهبود رفتار لرزه‌ای ساختمانهای واقع در حوزه نزدیک و دور به طور مشابه بهره گرفت.

بررسی‌های انجام شده در این پژوهش همچنین نشان می‌دهند، در مواردی که RDF سبب کاهش پاسخ لرزه‌ای خطی ساختمان گردد، معمولاً منجر به کاهش پاسخ لرزه‌ای غیرخطی آن نیز خواهد شد. از این رو می‌توانیم با اطمینان قابل قبولی از نتایج تحلیل خطی برای طراحی RDF استفاده نمائیم

#### ۷- مراجع

- [۱] Engineering News Record, *Tuned mass dampers steady sway of sky scrapers in wind*, Aug. 18, 1977.
- [۲] Kitamura H., Fujita T., Teramoto T. and Kihara H., *Design and analysis of a tower structure with a tuned mass damper*, Ninth World Conference on Earthquake Engineering, Tokyo-Kyoto, Japan, Proceedings, VIII, 1988, 415-420.
- [۳] Frahm H., *Devise for damping vibrations of bodies*, U.S. Patent No. 989958, Oct. 30, 1909.

#### جدول ۹- در صد تغییرات حداکثر نیروی محوری بادبندها در ساختمانهای واقع درحوزه نزدیک (تحلیل خطی)

شتاب نگاشت	۳ طبقه	۵ طبقه	۱۰ طبقه
بم	-7.3	-8.0	-7.8
طیس	-13.6	-16.2	-6.2
نورتریج	-19.6	2.6	-4.2

#### جدول ۱۰- در صد تغییرات حداکثر نیروی محوری بادبندها در ساختمانهای واقع درحوزه نزدیک (تحلیل غیرخطی)

شتاب نگاشت	۳ طبقه	۵ طبقه	۱۰ طبقه
بم	-14.6	-1.3	-0.44
طیس	-55.3	0.6	-6.3
نورتریج	-3.7	-1.8	-2.0

#### جدول ۱۱- در صد تغییرات حداکثر نیروی محوری بادبندها در ساختمانهای واقع درحوزه دور (تحلیل خطی)

شتاب نگاشت	۳ طبقه	۵ طبقه	۱۰ طبقه
امپریال ولی	-15.1	-1.5	-6.8
لوما پریتا	-24.6	-10.0	-3.7
نورتریج	-33.2	-4.4	22.8

#### جدول ۱۲- در صد تغییرات حداکثر نیروی محوری بادبندها در ساختمانهای واقع درحوزه دور (تحلیل غیرخطی)

شتاب نگاشت	۳ طبقه	۵ طبقه	۱۰ طبقه
امپریال ولی	-7.3	-5.1	-19.8
لوما پریتا	-5.1	-41.2	-5.1
نورتریج	-8.8	-11.6	-0.09

موارد خاص نیز کاهش یابند. آنچه مسلم است برای یک ساختمان مشخص، نمی‌توان یک RDF واحد را به گونه‌ای طراحی نمود که سبب کاهش پاسخ لرزه‌ای ساختمان تحت تمام حرکات ممکن زمین گردد. خوشبختانه از آنجا که شتاب نگاشتها به شدت وابسته به نوع خاک هستند، گستره شتاب نگاشتهایی که متناظر با حرکات طراحی مشخصه ساختگاه باشند؛ محدود است. از این رو در صورتیکه مهندس طراح از آگاهی کافی در مورد شرایط ژئوتکنیکی ساختگاه و مشخصه‌های شتاب نگاشتهای مناسب برای ساختگاه، برخوردار باشد؛ طراحی یک RDF کارا و پایدار برای ساختمان امکان‌پذیر خواهد بود.

تولید شتاب نگاشتهای مصنوعی مشخصه ساختگاه، مؤثرترین روش طراحی RDF برای سازه‌های موجود یا سازه‌های جدید می‌باشد [۱۴]. بررسی‌های ژئوتکنیکی به همراه مطالعات احتمالی اندیشه‌ای حرکات زمین می‌تواند برای تولید شتاب نگاشتهای مصنوعی مشخصه ساختگاه مورد استفاده قرارگیرد. روشی که در این پژوهش از آن استفاده گردید، نیازمند تحلیل تاریخچه زمانی



- American Institute of Steel Construction, *Manual of Steel Construction*, ASD (9<sup>th</sup> edn ), 1989. [۱۲]
- American Institute of Steel Construction, *Manual of Steel Construction*, LRFD (2nd edn ), 1994. [۱۳]
- FEMA, *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, Publication No. FEMA356, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC, 2000. [۱۴]
- دستورالعمل بهسازی ساختمانهای موجود، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، خرداد ۱۳۸۱. [۱۵]
- Cohen JM., *Cladding Design: whose responsibility?*, Journal of Performance of Constructed Facilities (ASCE) 1991; 5(3):208-217. [۱۶]
- استاندارد ۲۸۰۰۰ ایران، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ویرایش سوم، ۱۳۸۴. [۱۷]
- Kayina AM, Veneziano D., Biggs JM., *Seismic effectiveness of tuned mass dampers*, Journal of the structural division (ASCE) 1981; 107:1465-1484. [۴]
- Sladek JR, Klingner RE. , *Effect of tuned mass dampers on seismic response*, Journal of the structural Engineering (ASCE) 1983; 109:2004-2009. [۵]
- Brock JE. , *A note on damper vibration absorber*, Journal of applied mechanics (ASME) 1946; 13: A-284. [۶]
- Den Hartog JP., *Mechanical Vibrations* (4<sup>th</sup> edn). McGraw-Hill: New York, 1956. [۷]
- Wong K. K. F. and Chiee Y. L., *Energy Dissipation of tuned mass dampers during earthquake excitations*, Struct. Design Tall Spec. Build.,2004,13:105-121. [۸]
- Vilaverde R., *Roof isolation system to reduce seismic response of buildings: A preliminary assessment*, Earthquake Spectra, 1998, 14(3):521-532. [۹]
- Johnson J. G. , Reaveley L. D. and Pantelides C., *A rooftop tuned mass damper frame*, Earthquake Engng Struct. Dyn. , 2003, 32: 965-984. [۱۰]
- International Conference of Building Officials*, [۱۱]