

Seismic Performance of the Nested-Eccentric-Shells Damper

Alireza Reisi¹, Hamid Reza Mirdamadi^{2*}, Mohammad Ali Rahgozar³

1- Ph.D., Department of Civil Engineering, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran

2 -Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

3- Associate Professor, Department of Civil Engineering and Transportation, University of Isfahan, Isfahan, Iran

ABSTRACT

Respect to the concept of the control structures, the author of this study recently suggested a novel hysteresis damper with named nested-eccentric-cylindrical shells damper (NESD) for increasing the damping in structures. According to the greater ability of the shell structures versus the plate structures, the NESD is designed based on the shell structures. The configuration of the shells in the NESD is designed in such a way that it can be increasing the performance and stability of the device. These members are as well as the multi-springs with the combination of series and parallel form. Also, the configuration of this device is designed by the simple form and with an easy way to install in structures. However, to evaluate the seismic performance of the proposed damper, the NESD used into the structures with various heights with four, eight, and twelve floors and analyzed by dynamic nonlinear time history. The seismic analyses are run with eleven records by particular geography characteristics of seismic hazard zone. In this evaluation, the efficiency of this damper in damping seismic energy and reducing the displacement and base shear responses is approved. In the seismic analysis, Therefore, by modeling this damper in structures, it was found that by using this damper in structures could be a damping of up to 35% of the seismic energy in the structures and reduce an average of 50% in displacement and could cause a reduction of 7 to 27% in the base shear for the structures. However, it was found that the NESD could be better behavior for reducing the response of mid-rise structures.

ARTICLE INFO

Receive Date: 05 September 2020

Revise Date: 07 October 2020

Accept Date: 19 January 2021

Keywords:

Passive control
Hysteresis damper
Energy dissipation device
Seismic performance
Time history analysis

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

doi: <https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2021.246832.2228>

*Corresponding author: Hamid Reza Mirdamadi
Email address: hrmirdamadi@cc.iut.ac.ir

ارزیابی لرزه‌ای میراگر هیستریزیس پوسته‌ای تودرتو

علیرضا رئیسی^{۱*}، حمیدرضا میردامادی^۲، محمدعلی رهگذر^۳

۱- دانش آموخته دکتری سازه، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران

۲- دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۳- دانشیار دانشکده مهندسی عمران و حمل و نقل، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

چکیده

با بهره‌گیری از ایده‌ی مهار سازه‌ها، به‌تازگی میراگر هیستریزیس پوسته‌ای تودرتو توسط نویسندگان این پژوهش به هدف افزایش میرایی در سازه‌ها پیشنهاد شده است. این ابزار برپایه رفتار پوسته‌ای همواره می‌تواند توانایی افزون‌تری در میرانمودن انرژی زلزله نسبت به سایر میراگرهایی که برپایه ورق طراحی شده‌اند، داشته باشد. چیدمان عضوهای این میراگر به گونه‌ای طراحی شده اند که در فرایند بارگذاری لرزه‌ای می‌توانند به‌سان فنرهای فرابازگشتی با ترکیب سری و موازی سبب بالارفتن عملکرد دستگاه شوند. افزون بر سازوکار مکانیکی سودمند این میراگر که پیشتر در مدل‌سازی‌های عددی و آزمون نمونه‌های هم‌اندازه به اثبات رسیده است، ساخت و به‌کارگیری آسان و ارزان آن نیز مورد نظر پیشنهاد دهندگان آن بوده است. در این پژوهش برای ارزیابی لرزه‌ای میراگر پیشنهادی، این میراگر در سازه‌هایی با بلندای گوناگون چهار، هشت و دوازده طبقه مورد آنالیز لرزه‌ای دینامیکی تاریخچه زمانی غیرخطی قرار گرفته است. آنالیز لرزه‌ای با یازده نگاشت زلزله که واجد ویژگی‌های پهنه‌بندی خطر زلزله در یک جغرافیای ویژه بوده است برای سازه‌های پیش گفته با وجود میراگر پیشنهادی و بدون وجود میراگر پیشنهادی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این ارزیابی کارایی بهینه‌ی این میراگر در میرایی انرژی زلزله و کاهش در پاسخ‌های جابه‌جایی و برش پایه، برای سازه‌های بهره‌مند از این میراگر آشکار گردید و معلوم شد استفاده از میراگر پوسته‌ای تودرتو در سازه‌های میان مرتبه می‌تواند رفتار بهتری در کاستن از پاسخ سازه‌ها نسبت به سازه‌های بلند مرتبه داشته باشد.

کلمات کلیدی: کنترل غیرفعال، میراگر هیستریزیس، دستگاه میرایی انرژی، ارزیابی لرزه‌ای، تحلیل تاریخچه زمانی

شناسه دیجیتال:		سابقه مقاله:				
doi:	https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2021.246832.2228	چاپ	انتشار آنلاین	پذیرش	بازنگری	دریافت
	10.22065/jsce.2021.246832.2228	۱۴۰۰/۰۹/۳۰	۱۳۹۹/۱۰/۳۰	۱۳۹۹/۱۰/۳۰	۱۳۹۹/۰۷/۱۶	۱۳۹۹/۰۶/۱۵
حمیدرضا میردامادی hrmirdamadi@cc.iut.ac.ir					*نویسنده مسئول: پست الکترونیکی:	

۱- مقدمه

حفظ ایمنی جانی ساکنان در برابر زلزله یکی از مهم‌ترین چالش‌های مهندسان سازه (و زلزله) است. در طراحی رایج سازه‌ها همه‌ی عضوهای سازه به‌گونه‌ای طراحی می‌شوند که در ناحیه‌ی بازگشتی (ارتجاعی) واکنش داشته باشند، ولی در روش‌های نوین طراحی، سازه‌ها به شیوه‌ای طراحی می‌شوند که عضوهای پایه‌ای که وظیفه‌ی تامین پایداری در سازه‌ها را دارند با بیشینه ظرفیت طراحی و عضوهای دیگر که فروریزی جزئی در آن‌ها عامل فروپاشی در سازه نمی‌شود، امکان تغییرشکل‌های فرابازگشتی در آن‌ها مهیا شود. از این رو بیشینه انرژی ورودی از زمین‌لرزه، توسط این اعضا جذب و میرا می‌شود [۱-۳].

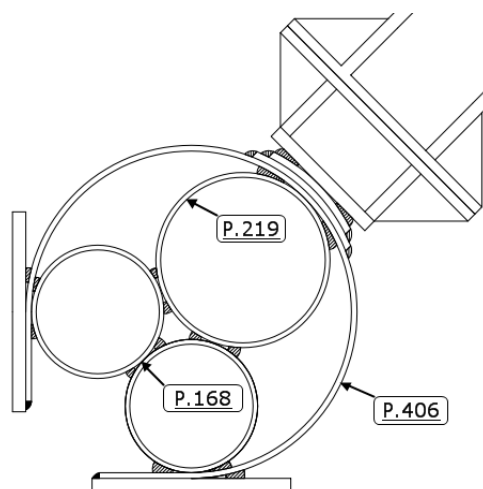
استفاده از ابزارهای ویژه‌ای که بتوان دیدگاه بالا را در سازه‌ها اجرا نمود به گسترش روش‌های نوینی در طراحی سازه‌ها منجر شده است که با نام «مهار (کنترل) سازه» شناخته می‌شود. این ایده به: مهار کنشگر (کنترل فعال)، مهار نیمه کنشگر (کنترل نیمه فعال) و مهار کنشگیر (کنترل غیرفعال)، دسته‌بندی می‌شوند [۴]. بهره‌مندی از روش‌های مهار سازه‌ها، برای افزایش میرایی، جایگزین روش‌های پیشین طراحی سازه‌ها شده است. این سامانه‌ها نقش عضوهای مهارکننده‌ی رفتار دینامیکی سازه را به‌عهده می‌گیرند تا سهمی از انرژی ورودی از زمین‌لرزه را که - در نبود آن‌ها - به‌طور مستقیم به همه‌ی عضوهای سازه منتقل می‌شود در خودگرفته و میرا کنند. با این رویکرد عضوهای مکانیکی ویژه‌ای برای سازه‌ها تعریف و طراحی خواهد شد که به‌وسیله‌ی آن بتوان عمل‌کرد سازه را در تعریف عضوهای پایه‌ای (پایدار) و عضوهای ناپایه‌ای برای میرایی انرژی ورودی به سازه، بهتر نمود. میراگرهای کنشگیر که ارزیابی لرزه‌ای یک گونه‌ی کاربردی آن هدف این پژوهش است، به سرچشمه‌ی بیرونی انرژی نیاز نداشته و کنش آن‌ها نیازمند حرکت (و سرعت) بارگذاری در سازه است. از کاربردی‌ترین افزارهای کنشگیر میرایی، می‌توان میراگرهای جاری‌شونده (تسلیمی)، سایشی (اصطکاکی) و سیال لزج (ویسکوز) را نام برد [۵].

میراگرهای جاری‌شونده‌ی فلزی از رایج‌ترین گونه‌های میراگرهای کنشگیر هستند که در ساخت آنها بیشتر از مواد و مصالح فلزی با توانایی جاری‌شوندگی بالا استفاده می‌شود. میراگر جاری‌شونده (ADAS) یکی از به‌نام‌ترین میراگرها از این دسته است [۶]. این میراگر با ورق‌های فلزی به شکل ساعت شنی ساخته شده است. میراگر (TADAS) که با ورق‌های فولادی سه‌گوش، ساخته شده است نیز با الگوبرداری از میراگر پیشین رفتار بهبودیافته‌تری نسبت به الگوی نخستین این میراگر از خود بجا گذاشته است [۷]. میراگر U شکل یکی دیگر از میراگرهای جاری‌شونده است که با استفاده از نوارهای باریک فولادی U شکل ساخته شده است و این میراگر توانسته است رفتار مناسبی در میرایی انرژی در آزمون‌های بارگذاری چرخه‌ای از خود بجا گذارد [۸]. میراگرهای صفحه‌ای شیاردار از یک ورق برشی بزرگ فلزی که درون آن با شیارها (بازشوها) منشوری تعبیه شده است، ساخته شده است. در هنگام بارگذاری، انرژی واردشده توسط تغییرشکل‌های خمیری درون صفحه‌ای که در این میراگر بوجود می‌آید، میرا می‌شود [۹]. در این راستا از دیگر میراگرهای شناخته شده‌ی دیگری که می‌توان نام برد می‌توان به میراگرهای: فلزی شانه‌ای [۱۰]، میراگر آکاردئونی [۱۱] و میراگر بلوکی فلزی [۱۲] اشاره نمود. سازوکار مکانیکی میراگرهای رایجی که اشاره شد بیشتر براساس جاری‌شدن "ورق"های فلزی در این میراگرها طراحی شده‌اند ولی با توجه به توان بیشتر "پوسته"ها در برتافتن نیرو، میراگر لوله‌ای (پوسته استوانه‌ای) با فکری ساده‌ی به‌کارگیری لوله برای اولین بار برای ساخت میراگر لوله‌ای، پیشنهاد و مورد آزمایش قرارگرفت [۱۳-۱۵]. این میراگر باوجود سادگی، از کارایی بسیار خوبی در برآوردن میرایی در سازه برخوردار است. میراگر پوسته‌ای هم‌راستا نیز کوشش دیگری در بهبود عملکرد در میراگرهای پوسته‌ای است که در طراحی آن از ایده‌ی کنترل دو یا چند سطحی استفاده شده است [۱۶]. با توجه به مزیت استفاده از ساختارهای پوسته‌ای در ساختمان میراگرهای جاری‌شونده، در این پژوهش میراگری مورد ارزیابی لرزه‌ای قرار گرفته است که در آن از ترکیب ویژه‌ای در چیدمان پوسته‌های استوانه‌ای - به منظور افزایش عملکرد در گونه‌ی نوینی از میراگرهای جاری‌شونده - استفاده شده است. در این پژوهش تلاش شده است با اتکا بر ویژگی‌های مکانیکی که در پژوهش‌های پیشین [۱۷] با آنالیز عددی و همسنجی آزمایشگاهی به دست آمده است، رفتار لرزه‌ای و پاسخ‌های لرزه‌ای سازه‌های بهره‌مند از این میراگر در سازه‌هایی با بلندای گوناگون با استفاده از آنالیزهای غیرخطی دینامیکی تاریخچه زمانی مورد ارزیابی

قرار گیرد. برای این کار سازه‌هایی با بلنداهای متفاوت با و بدون این میراگر با یازده نگاشت زلزله مورد ارزیابی قرار گرفته است تا اثر استفاده از میراگر پیشنهادی بر اندازه‌ی انرژی میرا شده و پاسخ‌های برش پایه و جابجایی آشکار گردد.

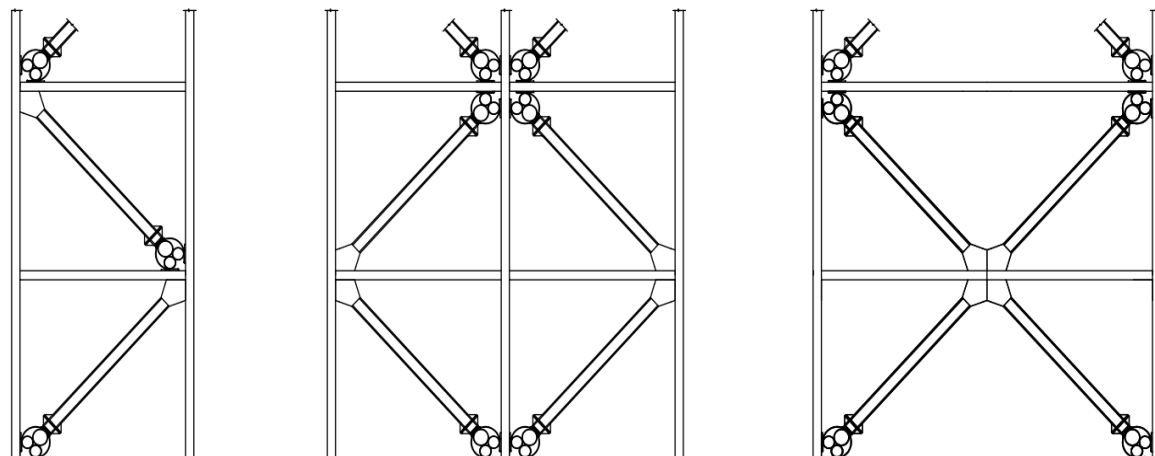
۲- ساختمان میراگر

ساختمان میراگر پیشنهادی در این پژوهش از چند پوسته‌ی استوانه‌ای (یا لوله) ناهمراستا^۱ (NESD) طراحی شده است [۱۷]. شکل (الف) (الف) نمایشی از نیمرخ این دستگاه را نشان می‌دهد. این میراگر از چهار پوسته‌ی استوانه‌ای (یا لوله) به قطر بیرونی ۴۰۶، ۲۱۹ و ۱۶۸ میلیمتر و طول ۱۵۰ میلیمتر با ضخامت‌های گوناگون برای پوسته‌های آن، ساخته شده است. همه‌ی ابعاد به کار رفته براساس استاندارد لوله‌های سازمان نفت امریکا [۱۸]، انتخاب شده است. قطرهای هریک از این پوسته‌ها با توجه به هندسه‌ی جاگذاری پوسته‌های درونی در پوسته‌ی بیرونی انتخاب شده است. از این‌رو، با تغییر در ضخامت پوسته‌های بیرونی و درونی می‌توان به بازه‌ی ظرفیت وسیعی برای این میراگر دست‌یافت. بنابراین، ابعاد پوسته‌ها ثابت در نظر گرفته شده است و تنها ضخامت آنها تغییر خواهد کرد. چیدمان پوسته‌های درونی به گونه‌ای برگزیده شده است که بسان ترکیبی از فنرهای سری و موازی کار کنند. پوسته‌ی بیرونی P.406 به منزله‌ی پوسته‌ی محیطی و عضو اصلی، کارکرد هدایت تنش کششی و فشاری را به پوسته‌های درونی ایفا می‌کند. از سویی با جاسازی لوله‌های درونی در لوله‌ی بیرونی، پایداری کلی میراگر نیز افزایش خواهد یافت. دو پوسته‌ی درونی P.168 نقش تکیه‌گاه‌های دستگاه را ایفا می‌کنند و در کنار هم به‌سان دو فنر غیرخطی موازی کار می‌کنند. پوسته‌ی P.219 با ترکیب دو پوسته‌ی پیشین به شمای فنری سری کار خواهد کرد و پوسته‌ی بیرونی P.406 نیز شمایی موازی با فنرهای معادل پیش‌گفته‌ی پوسته‌های P.219 و P.168 خواهد داشت. از این‌رو می‌توان به ترکیبی کارا از فنرهایی با چیدمان سری و موازی در ساختمان میراگر دست‌یافت. شمای گوناگون جاگذاری میراگر پوسته‌ای تودرتو در بادبندهای قاب سازه در شکل (الف) (ب) نمایان است.



(الف)

¹ Nested-Eccentric-Shells Damper

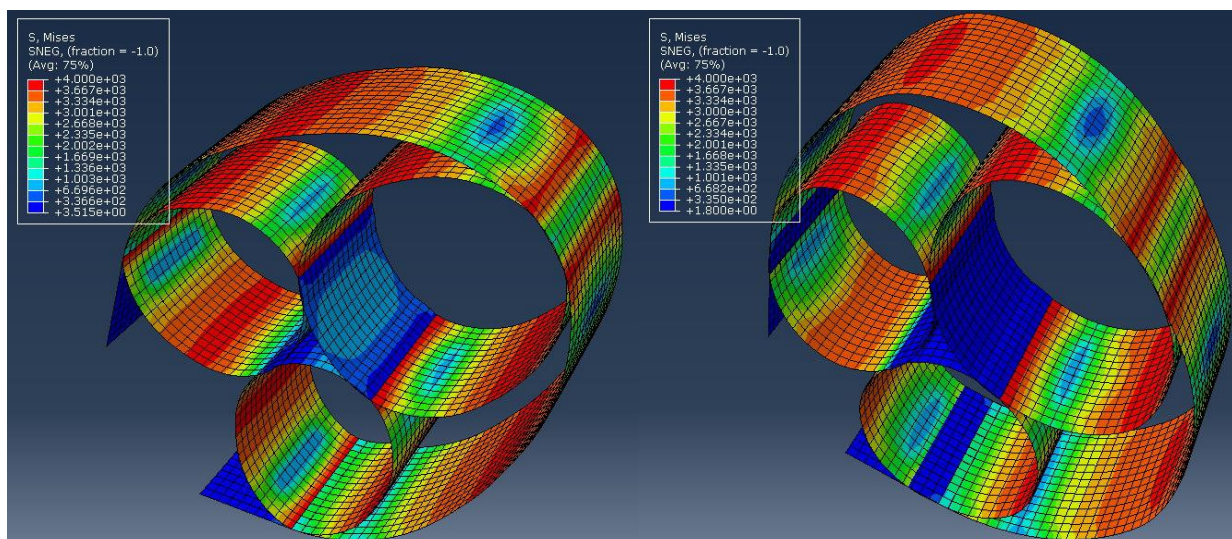


(ب)

شکل ۱- (الف) نیمرخ میراگر پوسته‌ای تودرتو NESD؛ (ب) شمای جاگذاری میراگر پوسته‌ای در قاب سازه [۱۷]

۲-۱- مدل‌سازی عددی میراگر

چنانچه در پژوهش [۱۷] بیان شده است، آنالیز مکانیکی برای مدل‌سازی این میراگر در نرم افزار اجزاء محدود^۲ [۱۹] با ضخامت-های متفاوت برای پوسته‌های میراگر برای به دست آوردن ویژگی‌های مکانیکی میراگر انجام شده است. آنالیز المان محدود (استاتیکی غیرخطی) سه بعدی این مدل‌ها بر پایه‌ی پروتکل بارگذاری پیشنهادی آژانس فدرال مدیریت بحران آمریکا [۲۰] با ده گام بارگذاری دوتایی (بیست گام) با ضریب افزایشی ۱/۴ برای هر گام انجام پذیرفته است. در نرم‌افزار برای مدل‌های میراگر پوسته‌ای تودرتو، المان از جنس "پوسته" با ویژگی S4R و سخت‌شوندگی ایزوتروپیک، با پذیرش اثر تغییرشکل‌های بزرگ و روش کاهش انتگرال در حل، شناسانده شده است. شمایی از مدل‌سازی این میراگر در حالت بارگذاری فشاری و کششی در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل ۲- تنش-رنگ مدل عددی میراگر در فشار (چپ) و کشش (راست) [۱۷]

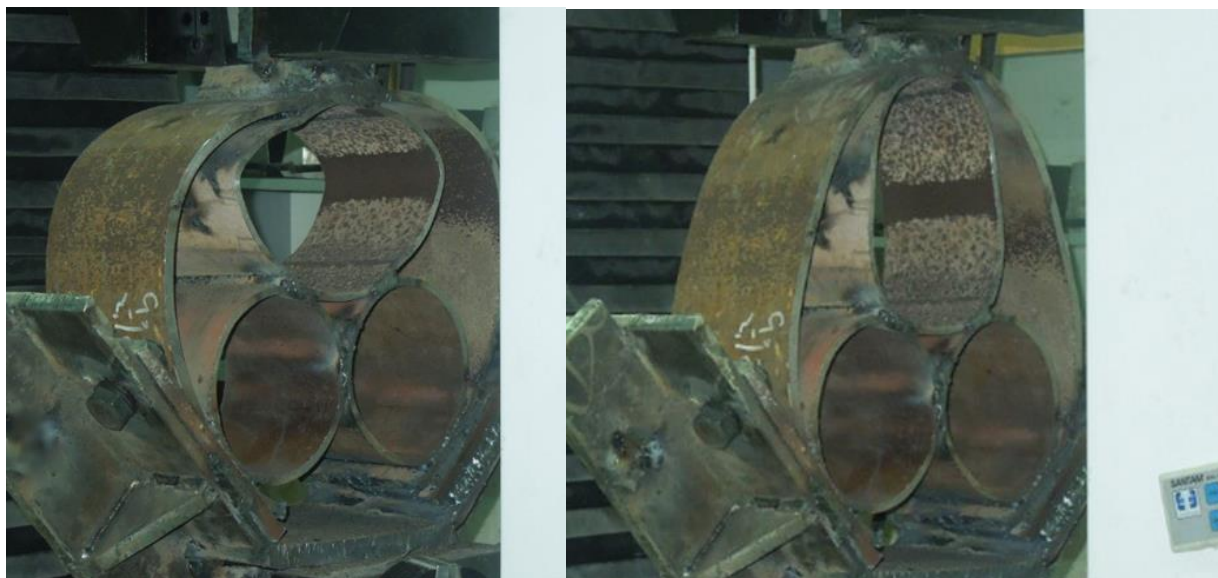
² ABAQUS, Version 6.13-1

۲-۲- ساخت و آزمایش میراگر

برای صحت‌سنجی داده‌های عددی، دو نمونه‌ی آزمایشگاهی همسان با دو مدل عددی ساخته و زیر بارگذاری برابر با پروتکل بارگذاری پیش‌گفته قرار گرفتند. در ساخت میراگر برای پیوند پوسته‌های استوانه‌ای در کالبد میراگر از روش جوشکاری قوس الکتریکی استفاده شده است ولی برای کاهش اثر مخرب جوشکاری و افزایش عملکرد میراگر، از روش‌های ریخته‌گری فلز -گرچه هزینه برتر است- پیشنهاد می‌شود. آزمایش نمونه‌های آزمایشگاهی میراگرها بر اساس پروتکل بارگذاری فزاینده تا شکست عضوهای آن به شیوه‌ی جابه‌جایی- کنترل انجام شده است. هدف از آزمایش، ارزیابی واقعی و صحت‌سنجی داده‌های مدل‌های عددی با دست‌کم دو نمونه واقعی بوده است. شیوه‌ی جایگذاری یکی از این نمونه‌ها و همچنین بیشینه تغییرشکل در کشش و فشار برای این نمونه در واپسین چرخه بارگذاری در شکل‌های (۳) نشان داده شده است.



(الف)

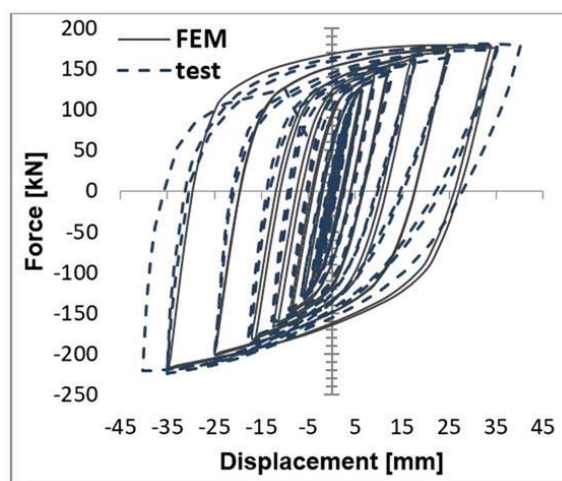


(ج)

(ب)

شکل ۳- (الف) شیوهی جاگذاری نمونه آزمایشگاهی در دستگاه بارگذاری چرخه‌ای؛ بیشینه تغییر شکل در کشش (ب) و فشار (ج) برای این نمونه در واپسین چرخه بارگذاری [۱۷]

در شکل (۴) نمودار چرخه‌ای هیستریزیس یکی از نمونه‌های آزمایشگاهی در برابر نمودار چرخه هیستریزیس مدل همسان عددی برازش شده است. همان‌طور که در این شکل، نشان داده شده است، همگونی خوبی در نمودارهای بارگذاری عددی و آزمایشگاهی دیده می‌شود.



شکل ۴- برازش نمودار بارگذاری چرخه‌ای برای یک مدل عددی و آزمایشگاهی همسان در راستای نیرو (فایم)-تغییر مکان (افقی) [۱۷]

۳- ارزیابی لرزه‌ای میراگر پیشنهادی

در این بخش برای ارزیابی رفتار لرزه‌ای سازه‌هایی بهره‌مند از میراگر پیشنهادی، این سازه‌ها به روش آنالیز دینامیکی تاریخچه زمانی، آنالیز خواهند شد تا شناخت ژرف‌تری از رفتار لرزه‌ای آنها بدست آید. چنان‌چه پیشتر بیان شد از میراگر پوسته‌ای تودرتو در درون قاب‌های مهاربندی شده می‌توان استفاده نمود. از آنجایی که این ابزارها در جایگاه پیوند عضوهای مهاربند به قاب واداشته می‌شوند، با

مهاربند به سان دو فنر سری مدل سازی خواهند شد. سختی هم‌ارز K_{eq} برای یک عضو مهاربندی شده با سختی K_b در پیوند با میراگر با سختی K_d از رابطه‌ی (۱) به دست می‌آید:

$$\frac{1}{K_{eq}} = \frac{1}{K_d} + \frac{1}{K_b} \rightarrow K_{eq} = \frac{K_d}{1 + \frac{K_b}{K_d}} \quad (1)$$

در رابطه‌ی بالا نسبت $\frac{K_b}{K_d}$ بیشترین نقش را در سامانه‌ی میراگر-مهاربند ایفا می‌کند چراکه با افزایش این نسبت، سختی هم‌ارز K_{eq} به اندازه‌ی سختی مهاربند K_b میل کرده و نقش میراگر در قاب نادیده انگاشته می‌شود. از سویی اندازه‌ی سختی مهاربند باید بزرگتر از سختی میراگر انگاشته شود چرا که میراگر می‌بایست پیش از جاری شدن یا کمانش در مهاربند، تسلیم شود. بنابراین باید نسبتی در سختی بابدند و میراگر به شیوه‌ی انگاشته شود که با دید اجرایی و اقتصادی سازگار باشد. از این رو، در تحقیقی پراستناد [۲۱] اندازه‌ی این نسبت را؛ $\frac{K_b}{K_d} \geq 2$ ، پیشنهاد می‌کنند که در بیشتر طرح‌های سازه‌های مرسوم که بهره‌مند از سامانه‌های اتلاف انرژی هستند این نسبت به کار گرفته می‌شود. در این پژوهش نیز این نسبت ۲/۵ انگاشته شده است.

۳-۱- سازه‌های مورد آنالیز و بارگذاری لرزه‌ای

برای بررسی عملکرد لرزه‌ای سازه‌های بهره‌مند از سامانه‌های میراکننده انرژی زلزله، باید این سازه‌ها براساس آیین‌نامه‌های بارگذاری معتبر دنیا مانند: انجمن مهندسان آمریکا^۴، [۲۲] و آژانس مدیریت بحران آمریکا^۵ [۲۳] ارزیابی لرزه‌ای شود. از این رو با استفاده از روند آنالیز سفارش شده در این آیین‌نامه‌ها، در این بخش شش سازه‌ی با و بدون میراگر پیشنهادی با بلندای؛ چهار، هشت و دوازده طبقه به ارتفاع هر طبقه ۳ متر و هر دهانه به طول ۶ متر، برای ارزیابی لرزه‌ای برگزیده شده‌اند. این سازه‌ها در نرم افزار آنالیز و طراحی سازه‌ها SAP^۶ [۲۴] مدل‌سازی شده است و شمای کلی قاب‌ها (بدون میراگر) و نیمرخ عضوهای به کاررفته در آنها در شکل (۵) نمایان است. این قاب‌ها با نیروی لرزه‌ای برابر با ۱۰۰ درصد نیروی زلزله طرح خاستگاه-که در ادامه ویژه‌گی‌های لرزه‌ای آن بیان خواهد شد- طراحی شده‌اند. کاربری این سازه‌ها، اداری و جایگاه آن در ایالت کالیفرنیا، لوس آنجلس^۷ انگاشته شده است. بار زنده ۲/۴ و بار مرده ۵ کیلونیوتن بر متر به‌توان دو^۸ برای همه‌ی طبقه‌ها و قاب‌ها با ویژگی شکل‌پذیری زیاد^۹، انگاشته شده است. با توجه به پهنه‌بندی پیشینه‌ی زمین‌لرزه‌ی انگاشته شده^{۱۰}، سنجنده‌های طراحی لرزه‌ای، برای طیف پاسخ شتاب در رده-جا^{۱۱}ی: D، به ترتیب برای ۲/۰ و ۱ ثانیه در جدول (۱) نگاشته شده است. برپایه‌ی سفارش آیین‌نامه‌ی ASCE-7-16 در مدل‌سازی سازه‌های بهره‌مند از ابزارهای میراکننده‌ی انرژی^{۱۲}، سازه‌ی پایه‌ای بدون میراگر باید بتواند کمینه نیروی برش پایه‌ای ۷۵ درصد زلزله طرح را برتابد. از این رو در طراحی همه‌ی عضوهای سازه‌هایی که در شکل (۵) نشان داده شده است این الزام برای هنگامی که میراگر به آنها اضافه خواهد شد، انگاشته شده است.

³ Equivalent stiffness

⁴ American Society of Civil Engineers (ASCE)

⁵ Federal Emergency Management Agency (FEMA)

⁶ CSI-SAP2000v20

⁷ Los Angeles

⁸ kN/m²

⁹ Special Moment Resisting Frames (SMRF)

¹⁰ Maximum Considered Earthquake (MCE)

¹¹ Site class

¹² Structures with damping systems

جدول (۱): سنجنده‌های لرزه‌ای

اندازه	بیان	شناسه
۱	ضریب اهمیت لرزه‌ای سازه ^{۱۳}	Ie
۱/۹۷	پاسخ طیفی شتاب (با بیشینه زلزله ممکن) در تناوب کوتاه ^{۱۴}	Ss
۰/۷	پاسخ طیفی شتاب (با بیشینه زلزله ممکن) در تناوب یک ثانیه ^{۱۵}	S1
۱	ضریب جایگاه با تناوب کوتاه ^{۱۶}	Fa
۱/۷	ضریب جایگاه با تناوب بلند ^{۱۷}	Fv
۱/۹۷	پاسخ طیفی شتاب سازگار با جایگاه در تناوب کوتاه ^{۱۸}	Sms
۱/۱۹	پاسخ طیفی شتاب سازگار با جایگاه در تناوب یک ثانیه ^{۱۹}	SM ₁
۱/۳۱	پاسخ طیفی شتاب طرح در تناوب کوتاه ^{۲۰}	S _{DS}
۰/۷۹	پاسخ طیفی شتاب طرح در تناوب یک ثانیه ^{۲۱}	S _{D1}
۰/۱۲	زمان تناوب طیفی در ۰/۲	T ₀
۰/۶	زمان تناوب طیفی	T _s
۸	ضریب رفتار ^{۲۲}	R
۳	بیش مقاومت ^{۲۳}	Ω
۵/۵	ضریب بزرگنمایی جابجایی غیرخطی ^{۲۴}	C _d

13 Importance Factor

14 Spectral response acceleration parameter at short periods

15 Spectral response acceleration parameter at a period of 1 s

16 Short-period site coefficient (at 0.2-s period)

17 Long-period site coefficient (at 1.0-s period)

18 Spectral response acceleration parameter at short periods adjusted for site class effects

19 Spectral response acceleration parameter at a period of 1 s adjusted for site class effects

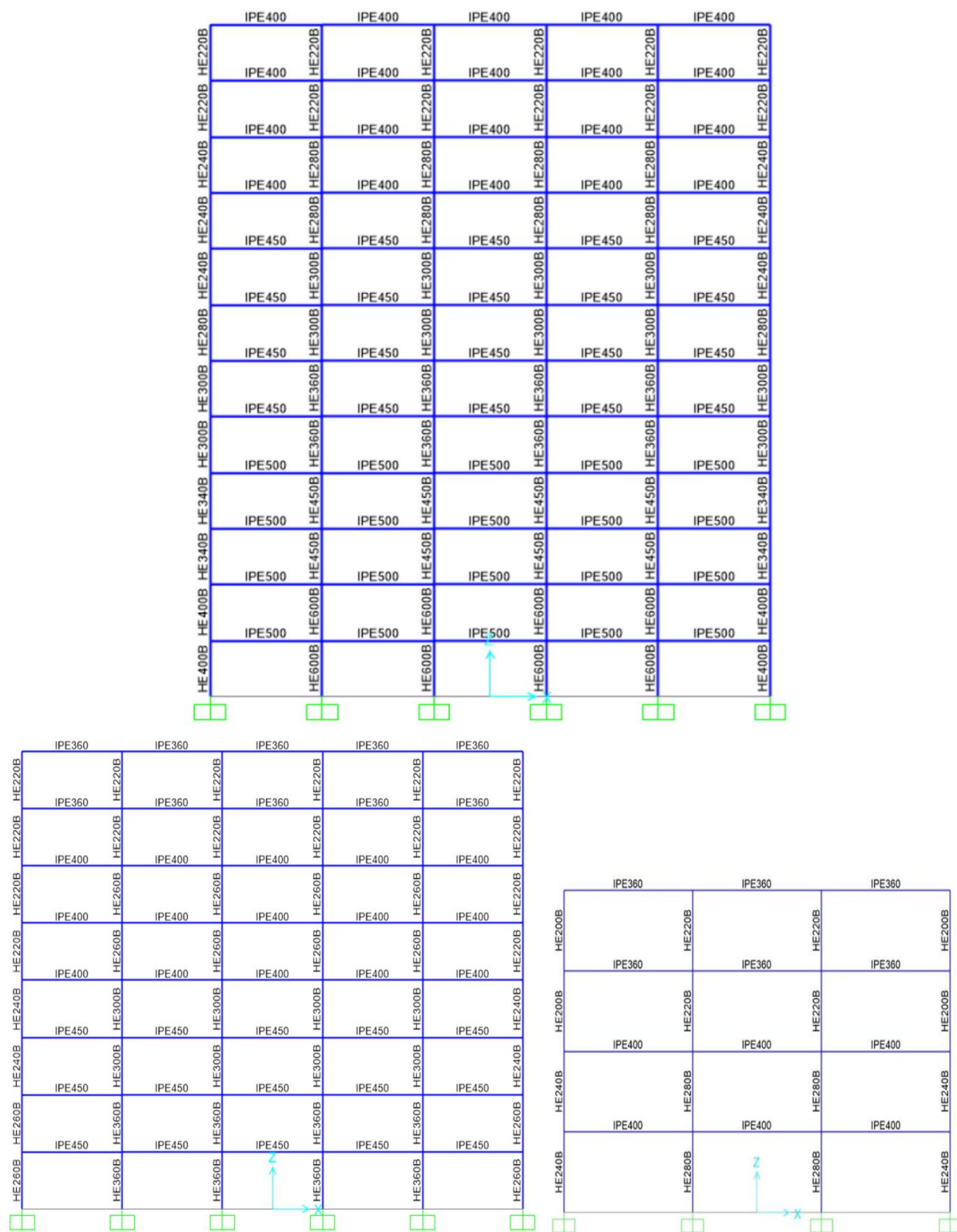
20 Design spectral response acceleration parameter at short periods

21 Design spectral response acceleration parameter at period of 1 s

22 Response modification coefficient

23 Overstrength factor

24 Deflection amplification factor



شکل (۵): شمای نیمرخ عضوهای سازه‌های مدل سازی شده در: (الف) چهار طبقه، (ب) هشت طبقه، (ج) دوازده طبقه

۳-۲- شناساندن میراگر به سازه

در نرم افزار آنالیز سازه‌ها هر یک از میراگرها به سان یک فنر فراکشسان "ون" ۲۵" شناسانده می‌شوند. برای شناساندن میراگر به سازه ها در گام نخست با استفاده از مقطع عضوهایی که برای سازه بدون میراگر بدست آمده است، سختی هر تراز K_s بدست خواهد آمد. از سویی با به کارگیری رابطه‌ی (۲) می‌توان به تعداد میراگر N برای هر تراز بر اساس اندازه‌ی K_{eq} دست یافت.

$$K_{eq} = \frac{K_s}{N} \quad (۲)$$

با به کارگیری رابطه‌ی (۲) و برگزیدن نسبت ۲/۵ برای نسبت $\frac{K_b}{K_d}$ می‌توان به سختی هر میراگر K_d در هر تراز با توجه به تعداد انگاشته شده‌ی آن دست یافت. از سویی با داشتن سختی هر میراگر و هم‌ارزی آن با اندازه‌ی نیروی جاری شدن Q_y برای هر میراگر که در مرجع [۱۷] برآورد و پیشنهاد شده است، با استفاده از رابطه‌ی (۳) با برآورد نیروی فشاری اسمی P_n [۲۵]، می‌توان نیمرخ هر بادبند پیوند شده به میراگر را طراحی نمود.

$$\frac{K_b}{K_d} \approx \frac{P_n}{Q_y} \rightarrow P_n = 2.5 Q_y \quad (۳)$$

با توجه به شیوه‌ی طراحی و رابطه‌های بالا، شناسه‌ی هر میراگر و بادبند پیوند به آن، در جدول‌های (۲) برای سازه‌ی چهار طبقه، (۳) برای سازه‌ی هشت طبقه، (۴) برای سازه‌ی دوازده طبقه برآورد و نگاشته شده است. همچنین شمای قاب‌های این سازه‌ها که با میراگر پیشنهادی سامانه یافته است در شکل‌های (۶) نشان داده شده است.

جدول (۲): شناسه‌ی میراگر و بادبند آن برای سازه‌ی چهار طبقه

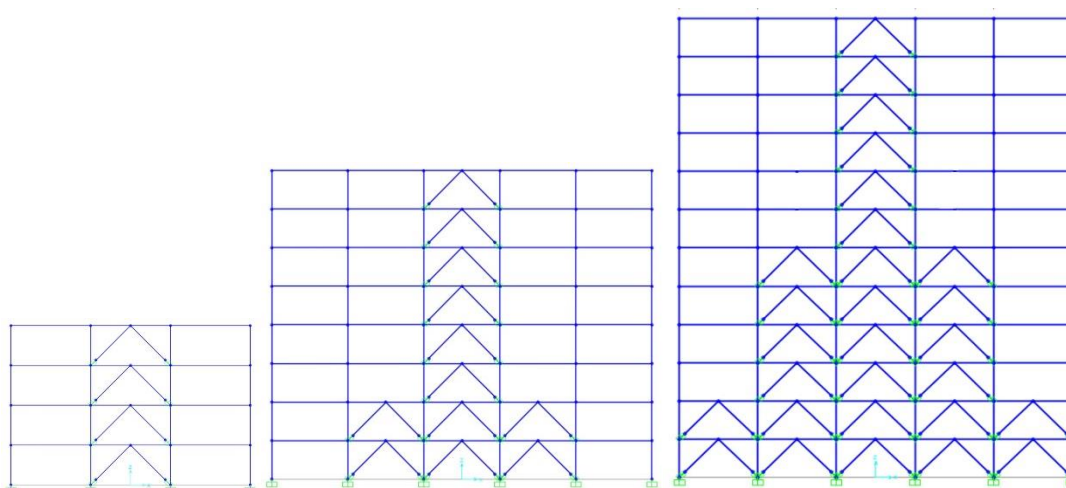
Brace (mm)	Damper	K_d (kN/mm)	$\frac{K_b}{K_d}$	K_{eq} (kN/mm)	N	K_s (kN/mm)	تراز
BOX90x90x8	NESD.10	۱۷,۱۶	۲,۵	۱۲,۲۵	۲	۲۴,۵۱	۴
BOX90x90x8	NESD.10	۱۷,۱۶	۲,۵	۱۲,۲۵	۲	۲۴,۵۱	۳
BOX100x100x12	NESD.11	۳۷,۹۹	۲,۵	۲۷,۱۴	۲	۵۴,۲۸	۲
BOX100x100x12	NESD.11	۳۷,۹۹	۲,۵	۲۷,۱۴	۲	۵۴,۲۸	۱

جدول (۳): شناسه‌ی میراگر و بادبند آن برای سازه‌ی هشت طبقه

Brace (mm)	Damper	K_d (kN/mm)	$\frac{K_b}{K_d}$	K_{eq} (kN/mm)	N	K_s (kN/mm)	تراز
BOX100x100x10	NESD.8	۳۰,۲۱	۲,۵	۲۱,۵۸	۲	۴۳,۱۵	۸
BOX100x100x10	NESD.8	۳۰,۲۱	۲,۵	۲۱,۵۸	۲	۴۳,۱۵	۷
BOX120x120x7	NESD.3	۴۷,۲	۲,۵	۳۳,۷۲	۲	۶۷,۴۳	۶
BOX120x120x7	NESD.3	۴۷,۲	۲,۵	۳۳,۷۲	۲	۶۷,۴۳	۵
BOX120x120x10	NESD.6	۷۶,۶۶	۲,۵	۵۴,۷۶	۲	۱۰۹,۵۱	۴
BOX120x120x10	NESD.6	۷۶,۶۶	۲,۵	۵۴,۷۶	۲	۱۰۹,۵۱	۳
BOX100x100x12	NESD.11	۴۲,۰۲	۲,۵	۳۰,۰۱	۶	۱۸۰,۰۹	۲
BOX100x100x12	NESD.11	۴۲,۰۲	۲,۵	۳۰,۰۱	۶	۱۸۰,۰۹	۱

جدول (۴): شناسه‌ی میراگر و بادبند آن برای سازه‌ی دوازده طبقه

Brace (mm)	Damper	K_d (kN/mm)	$\frac{K_b}{K_d}$	K_{eq} (kN/mm)	N	K_s (kN/mm)	تراز
BOX90x90x10	NESD.2	۲۱,۲۷	۲,۵	۱۵,۱۹	۲	۳۰,۳۸	۱۲
BOX90x90x10	NESD.2	۲۱,۲۷	۲,۵	۱۵,۱۹	۲	۳۰,۳۸	۱۱
BOX120x120x10	NESD.6	۶۱,۹۷	۲,۵	۴۴,۲۷	۲	۸۸,۵۳	۱۰
BOX120x120x10	NESD.6	۶۱,۹۷	۲,۵	۴۴,۲۷	۲	۸۸,۵۳	۹
BOX120x120x12	NESD.9	۷۶,۶۶	۲,۵	۵۴,۷۶	۲	۱۰۹,۵۱	۸
BOX120x120x12	NESD.9	۸۶,۶۳	۲,۵	۶۱,۸۸	۲	۱۲۳,۷۵	۷
BOX120x120x7	NESD.3	۴۶,۲۷	۲,۵	۳۳,۰۵	۶	۱۹۸,۳۱	۶
BOX120x120x7	NESD.3	۴۶,۲۷	۲,۵	۳۳,۰۵	۶	۱۹۸,۳۱	۵
BOX120x120x12	NESD.9	۸۱,۴۹	۲,۵	۵۸,۲	۶	۳۴۹,۲۳	۴
BOX120x120x12	NESD.9	۸۱,۴۹	۲,۵	۵۸,۲	۶	۳۴۹,۲۳	۳
BOX140x140x8	NESD.12	۹۹,۴۸	۲,۵	۷۱,۰۵	۱۰	۷۱۰,۵۴	۲
BOX140x140x8	NESD.12	۹۹,۴۸	۲,۵	۷۱,۰۵	۱۰	۷۱۰,۵۴	۱



شکل (۶): چیدمان میراگر در سازه‌های: (الف) چهار طبقه، (ب) هشت طبقه، (ج) دوازده طبقه

۳-۳- برآورد میرایی موثر برای سازه‌های دارای میراگر

بر اساس آیین‌نامه [۲۲ و ۲۳] میرایی موثر β_{mD} در سامانه‌ی دارای میراگر از جمع سه ترم میرایی بدست می‌آید. برپایه‌ی رابطه‌ی (۴)، ترم یکم β_1 میرایی ذاتی^{۲۶} سازه است که نباید بیشتر از 0.03 انگاشته شود، ترم دوم β_{Vm} میرایی ویسکوز نامیده شده است که بیشتر به وسیله‌ی میراگرهای با سازوکار ویسکوز^{۲۷} به دست می‌آید. اندازه‌ی این میرایی در سامانه‌های با میراگرهای جاری‌شونده ناچیز است، از این‌رو در این پژوهش اندازه‌ی این میرایی با نگاهی پرواگرایانه انگاشته نشده است. ترم سوم β_{HD} میرایی هیستریزیس است که در اثر رفتار پس‌جاری‌شدگی رفت‌وبرگشتی^{۲۸} (هیستریزیس) در عضوهای فراابازگشتی در سازه حاصل می‌شود. پس برای میرایی موثر در سازه خواهیم داشت:

²⁶ Effective damping of the structure due to the inherent dissipation of energy

²⁷ Effective damping due to viscous dissipation of energy by the damping system

²⁸ Effective damping due to post-yield hysteretic behaviour of the seismic force-resisting system

$$\beta_{mD} = \beta_1 + \beta_{Vm} \sqrt{\mu_D} + \beta_{HD} \quad (4)$$

ترم میرایی هیستریزیس β_{HD} و سایر سنجنده‌های وابسته به آن چنانچه در آیین نامه [۲۲ و ۲۳] بیان شده است در رابطه‌های (۵) دیده می‌شود.

$$\beta_{HD} = q_H (0.64 - \beta_1) \left(1 - \frac{1}{\mu_D}\right) \quad (5)$$

$$q_H = 0.67 \frac{T_s}{T_1} \rightarrow T_s = S_{D1} / S_{DS}$$

$$\mu_D = \frac{D_{1D}}{D_Y}$$

$$D_Y = \left(\frac{g}{4\pi^2}\right) \left(\frac{\Omega_0 C_d}{R}\right) \Gamma_1 C_{s1} T_1^2$$

$$D_{1D} = \left(\frac{g}{4\pi^2}\right) \Gamma_1 \frac{S_{DS} T_{1D}^2}{B_{1D}} \geq \left(\frac{g}{4\pi^2}\right) \Gamma_1 \frac{S_{DS} T_1^2}{B_{1D}} \rightarrow T_{1D} < T_s$$

$$D_{1D} = \left(\frac{g}{4\pi^2}\right) \Gamma_1 \frac{S_{D1} T_{1D}}{B_{1D}} \geq \left(\frac{g}{4\pi^2}\right) \Gamma_1 \frac{S_{D1} T_1}{B_{1D}} \rightarrow T_{1D} \geq T_s$$

از این رو با نگاه به رابطه‌های بالا، می‌توان اندازه‌ی میرایی موثر برای سازه را برآورد نمود ولی برای این کار در گام نخست باید برای سنجنده‌ی شکل‌پذیری موثر در طراحی μ_D^{29} اندازه‌ای پیش‌بینی نمود. برای این کار با سازوکار آزمون تکرار تلاش-خطا می‌توان اندازه‌ای برای این سنجنده انگاشت. برای نخستین گام میتوان بر اساس رابطه‌ی پیشنهادی (۶)، [۲۵] عددی برای شکل‌پذیری μ ، انگاشت - این عدد باید کمتر از اندازه‌ی شکل‌پذیری بیشینه μ_{max}^{30} در سازه باشد- تا در دوره‌های تکرار به عددی کاهش یافته با کمترین خطا نسبت به عدد پیشین، دست یافت.

$$\mu \leq \frac{R}{\Omega I} \rightarrow \mu \leq \mu_D \quad (6)$$

براساس رابطه‌های (۵) و (۶)، ترم‌های میرایی هیستریزیس و میرایی موثر در جدول (۵) برای سازه‌های پیش‌گفته نگاشته شده است.

جدول (۵): میرایی موثر در سازه‌ها

β_{mD}	β_{HD}	β_1	سنجنده
۰,۱۳۲	۰,۱۰۲	۰,۰۳	چهار طبقه
۰,۰۸۷	۰,۰۵۷	۰,۰۳	هشت طبقه
۰,۰۷۹	۰,۰۴۹	۰,۰۳	دوازده طبقه

²⁹ Effective ductility demand

³⁰ Maximum ductility :R/(Q.I)

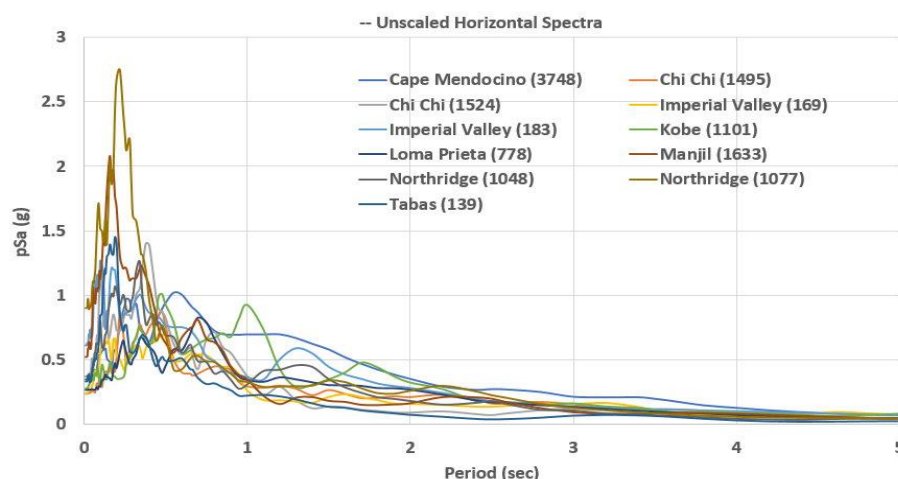
۳-۴- آنالیز تاریخچه زمانی

برای ارزیابی رفتار سازه‌های بهره‌مند از میراگر پیشنه‌ادی، این سازه‌ها آنالیز غیرخطی تاریخچه‌زمانی شده‌اند. این شیوهی آنالیز، رفتار و پاسخ سازه را به بهترین شیوهی ممکن بازگو می‌کند چراکه سازه در این شیوهی آنالیز در برابر نگاشت‌های مستند و واقعی، آنالیز می‌شود. برپایه‌ی توصیه آیین‌نامه [۲۲] برای هر سازه باید کمینه، یازده نگاشت زلزله استفاده شود. این نگاشت‌های زلزله باید دارای ویژگی‌های همسان با جایگاه و پهنه‌بندی سازه‌ی مورد تحلیل باشند. بنابراین با گزینش یازده نگاشت زلزله براساس توصیه‌های پهنه‌بندی مورد نظر از وبسایت دانشگاه برکلی [۲۷] برداشت شد که مشخصات آنها در جدول (۶) آمده است. این شتاب‌نگاشت‌ها پس از پالایش^{۳۱} در برنامه SAP شناسانده شده‌اند. برای هر یک از نگاشت‌های زلزله در گستره‌ی زمان تناوب یا فرکانس می‌توان پاسخ شتاب (یا سرعت و یا جابه‌جایی) برآورد نمود. این طیف که به نام طیف پاسخ شناسایی می‌شود بر اساس پاسخ یک نگاشت هم‌پایه شده در گام‌های زمان تناوب (یا فرکانس) برازش می‌شود. این طیف به طراح کمک می‌کند بداند در چه بازه‌ای زمان تناوب سازه بیشترین پاسخ در سازه را به‌وجود می‌آورد. پرکاربردترین طیفی که در آنالیز سازه‌ها کاربرد دارد طیف پاسخ شتاب است. از این‌رو نمودار طیف شتاب برای نگاشت‌های بالا با میرایی ۵ درصد در شکل (۷) برازش شده است. یازده طیف پاسخ شتابی که در این نمودارها نمایش داده شده است هم‌پایه نشده‌اند برای همی‌ن دارای اندازه‌های گوناگون در بازه‌های ناهمسانی هستند.

جدول (۶): شناسه نگاشت زلزله‌های به‌کاررفته در آنالیز [۲۷]

شماره	نام نگاشت زلزله (شناسه)	سال	زمان زلزله (ثانیه)	ایستگاه نگارش	بزرگا (ریشتر)	سازوکار گسل	فاصله تا گسل (کیلومتر)	سرعت موج برشی (متر بر ثانیه)
۱	Cape Mendocino (3748)	۱۹۹۲	۳۰	"Ferndale Fire Station"	۷,۰۱	Reverse	۱۹,۳۲	۳۸۷,۹۵
۲	Chi Chi (1495)	۱۹۹۹	۵۵	"TCU055"	۷,۶۲	Reverse(Ob)	۶,۳۴	۳۵۹,۱۳
۳	Chi Chi (1524)	۱۹۹۹	۹۰	"TCU095"	۷,۶۲	Reverse(Ob)	۴۵,۱۵	۴۴۶,۶۳
۴	Imperial Vally (169)	۱۹۷۹	۱۰۰	"Delta"	۶,۵۳	strike slip	۲۲,۰۳	۲۴۲,۰۵
۵	Imperial Vally (183)	۱۹۷۹	۳۷	"El Centro Array #8"	۶,۵۳	strike slip	۳,۸۶	۲۰۶,۰۸
۶	Kobe (1101)	۱۹۹۵	۵۴	"Amagasaki"	۶,۹	strike slip	۱۱,۳۴	۲۵۶
۷	Loma Prieta (778)	۱۹۸۹	۴۰	"Hollister"	۶,۹۳	Reverse(Ob)	۲۴,۵۲	۲۱۵,۵۴
۸	Manjil (1633)	۱۹۹۰	۵۳	"Abbar"	۷,۳۷	strike slip	۱۲,۵۵	۷۲۳,۹۵
۹	Northridge (1048)	۱۹۹۴	۳۰	"Northridge - Saticoy St"	۶,۶۹	Reverse	۱۲,۰۹	۲۸۰,۸۶
۱۰	Northridge (1077)	۱۹۹۴	۴۰	"Santa Monica City Hall"	۶,۶۹	Reverse	۲۶,۴۵	۳۳۶,۲
۱۱	Tabas (139)	۱۹۷۸	۲۰	"Dayhook"	۷,۳۵	Reverse	۱۳,۹۴	۴۷۱,۵۳

31 Filtration



شکل (۷): نمودار طیف هم پایه نشده‌ی شبه شتاب

پیش از آنالیز تاریخچه زمانی، شتاب‌نگاشت‌های برگزیده باید با ضریبی هم پایه شوند. این کار برای هم‌سان‌سازی شتاب‌نگاشت‌ها با طیف طرح و برای کاهش ناهمگونی در طیف‌های پاسخی که از نگاشت‌های زلزله به دست آمده است، انجام می‌شود. برای جلوگیری از پراکندگی در پاسخ آنالیزهای تاریخچه زمانی می‌بایست نگاشت‌های زلزله را با طیف طرح استاندارد هم پایه نمود. ضریب هم پایه‌گی برای شتاب‌نگاشت‌های برگزیده در جدول (۷) برآورد شده است.

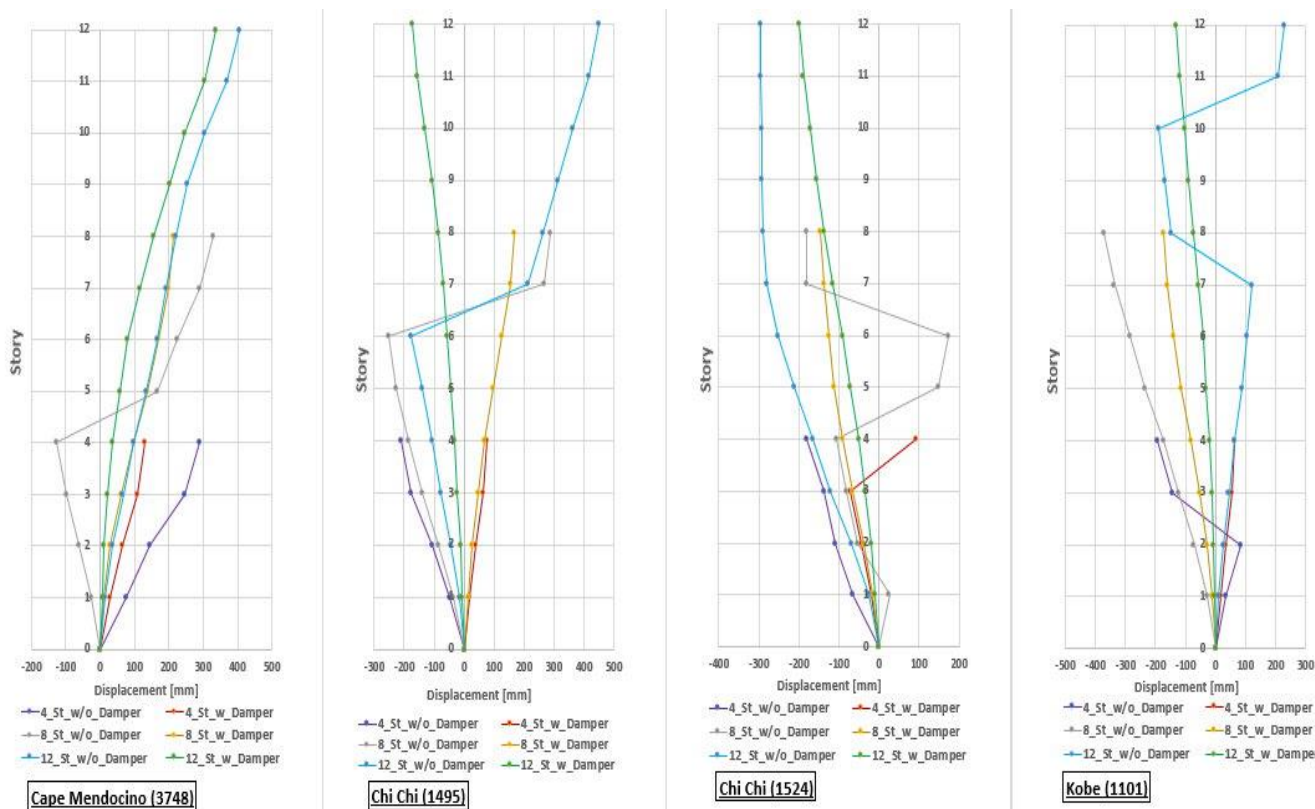
جدول (۷): ضریب هم‌پایه‌گی شتاب‌نگاشت‌ها

شماره	نام نگاشت زلزله (شناسه)	گام زمانی (ثانیه)	اندازه‌ی میانگین خطا	سازه‌ی چهار طبقه	سازه‌ی هشت طبقه	سازه‌ی دوازده طبقه
۱	Cape Mendocino (3748)	۰,۰۰۵	۰,۱۸	۱,۰۰	۰,۶۸	۰,۸۰
۲	Chi Chi (1495)	۰,۰۰۵	۰,۰۷	۱,۵۹	۱,۵۳	۱,۳۸
۳	Chi Chi (1524)	۰,۰۰۵	۰,۲۳	۱,۳۵	۱,۹۰	۲,۳۶
۴	Imperial Valley (169)	۰,۰۱	۰,۰۴	۱,۱۹	۱,۵۲	۰,۸۸
۵	Imperial Valley (183)	۰,۰۰۵	۰,۰۴	۱,۳۷	۰,۷۹	۱,۰۷
۶	Kobe (1101)	۰,۰۱	۰,۱۵	۰,۷۴	۱,۰۲	۰,۶۵
۷	Loma Prieta (778)	۰,۰۰۵	۰,۰۹	۰,۹۴	۱,۳۰	۱,۱۸
۸	Manjil (1633)	۰,۰۲	۰,۱۷	۱,۰۵	۱,۴۳	۰,۸۵
۹	Northridge (1048)	۰,۰۱	۰,۲۶	۰,۷۶	۰,۶۱	۰,۹۴
۱۰	Northridge (1077)	۰,۰۲	۰,۴۷	۱,۴۸	۱,۲۵	۱,۱۶
۱۱	Tabas (139)	۰,۰۲	۰,۵۶	۱,۸۵	۱,۷۹	۲,۰۴

۳-۴-۱- پاسخ‌های سازه در آنالیز تاریخچه زمانی

با توجه به داده‌های لرزه‌ای برآورد شده در بخش‌های پیشین در این بخش با شناساندن سنجنده‌ها و شتاب‌نگاشت‌های هم پایه شده به نرم‌افزار آنالیز سازه SAP، می‌توان پاسخ کمیت‌های مهمی در سازه مانند: اندازه‌ی پاسخ جابه‌جایی، اندازه‌ی برش پایه و مقدار انرژی در سازه‌های پیش‌گفته را برای سازه‌های بهره‌مند از میراگر پیشنهادی نسبت به همان سازه‌ها بدون میراگر با ویژگی لرزه‌ای یکسان، ارزیابی و بدست آورد. پیش از شروع آنالیز لرزه‌ای، ویژگی‌های مصالح غیرخطی و همچنین لولاهای خمیری همه‌ی عضوهای سازه‌ها براساس سفارش

انجمن مهندسان آمریکا^{۳۲} [۲۸] در نرم افزار شناسانده شد. براساس این آیین‌نامه‌ی عضوهایی که برای آنها لولاهای خمیری شناسانده می‌شود، می‌توانند در سه سطح عملکرد: عملکرد بی‌درنگ^{۳۳}، ایمنی جانی^{۳۴} و آستانه فروریزش^{۳۵} بیانگر رفتار لرزه‌ای باشند. از سویی، آنالیز تاریخچه زمانی غیرخطی انجام پذیرفته به روش انتگرالگیری مستقیم^{۳۶} به روش هیلبر-هاگس-تیلور^{۳۷} انجام پذیرفته است. در ادامه در شکل‌های (۸)، پاسخ تراژمند جابجایی برای یازده نگاشت زلزله نمایش داده شده است و برای نمونه در شکل‌های (۹) تا (۱۱) برای سه نگاشت زلزله متفاوت، رفتار غیرخطی لرزه‌ای و پاسخ ارتعاشی جابجایی سه سازه بامیراگر و بدون میراگر با سه بلندا که آنالیز تاریخچه زمانی غیرخطی بر روی آنها انجام شده است، نشان داده شده است. نکته چشمگیر در شکل‌های (۸) کاهش بارز جابجایی تراژهای سازه‌های بهره‌مند از میراگر پیشنهادی نسبت به همان سازه‌ها بدون میراگر است. درباره‌ی شکل‌های (۹-۱۱) به این نکته مهم می‌توان اشاره نمود که با بهره‌گیری از میراگر پیشنهادی عضوهای این سازه‌ها وارد ناحیه غیرخطی نمی‌شوند و تنها میراگرها (لینک‌های هیستریزیس) عملکرد غیرخطی از خود بروز خواهند داد که این کنش موجب افزایش درخور در سطح عملکرد سازه و مهیا نمودن ایمنی بیشتر در سازه‌ها خواهد شد.



³² American Society of Civil Engineers, Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings (ASCE-41-17)

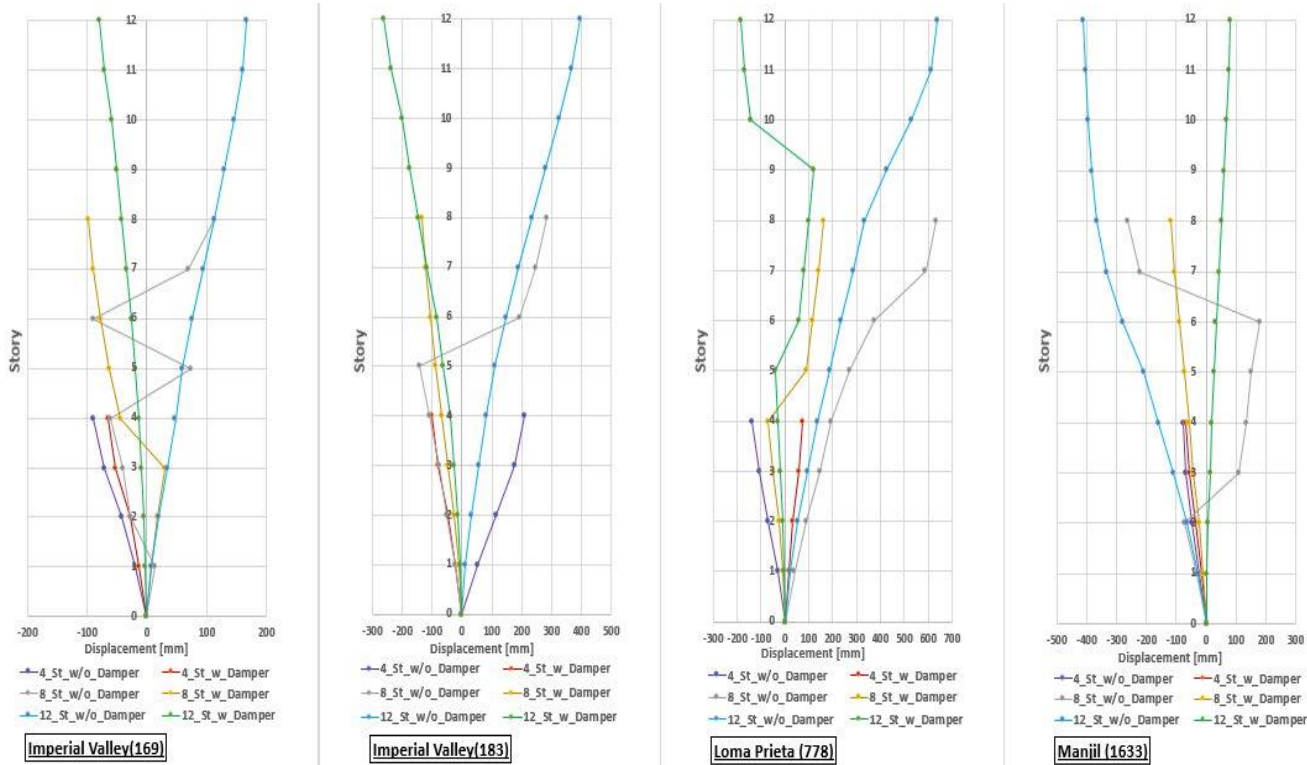
³³ IO = Immediate Occupancy

³⁴ LS = Life Safety

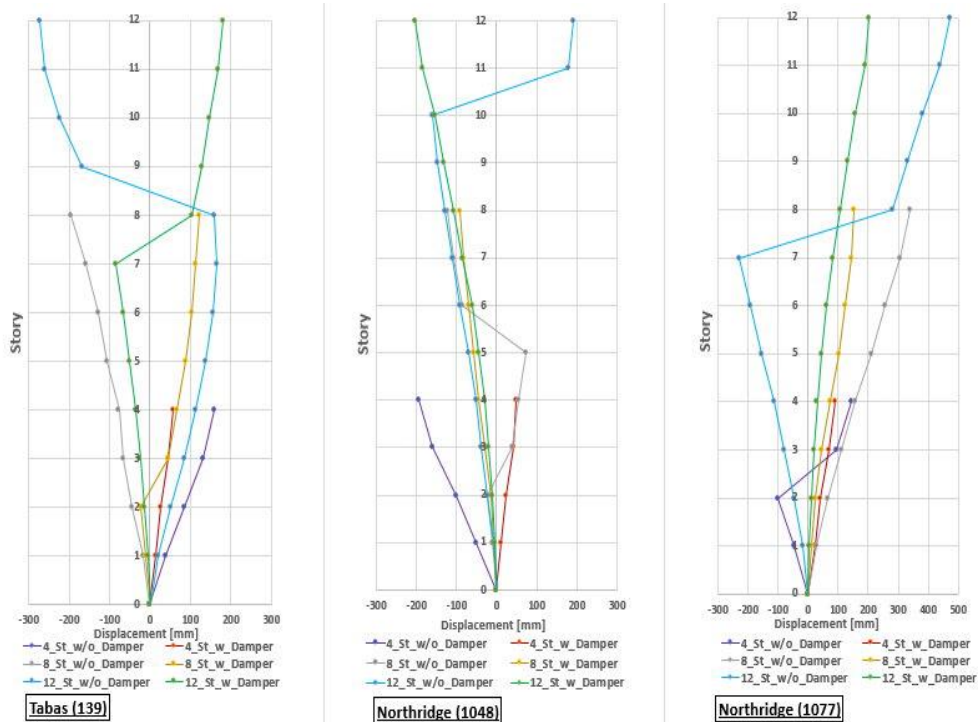
³⁵ CP = Collapse Prevention

³⁶ Direct Integration

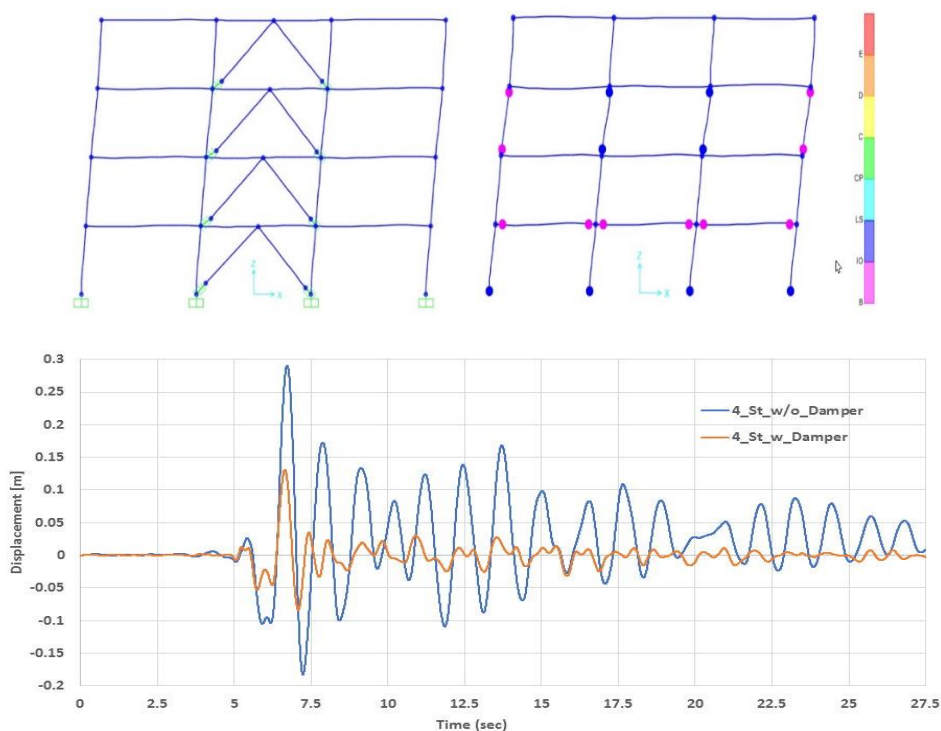
³⁷ Hilber-Hughes-Taylor



شکل (۸): پاسخ ترازمند جابجایی برای یازده نگاشت زلزله

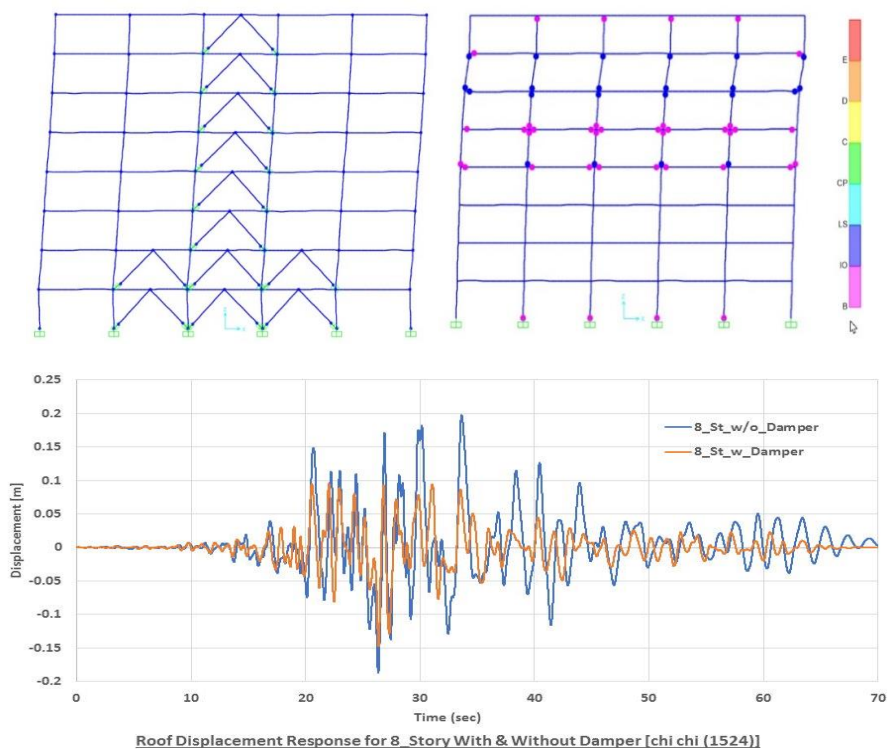


شکل (۸): ادامه ...



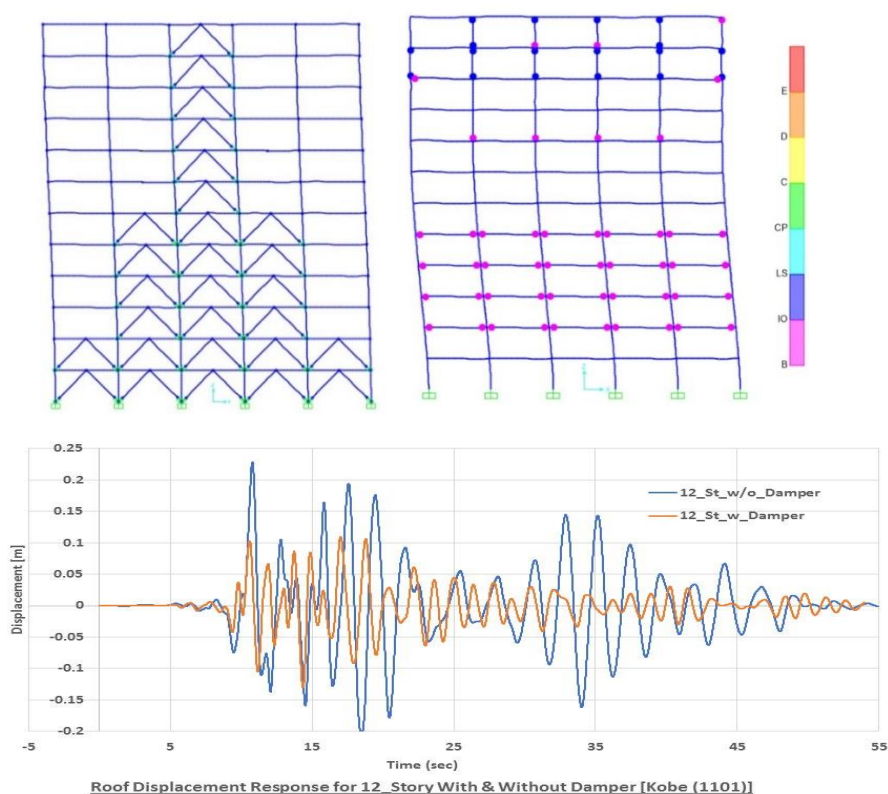
Roof Displacement Response for 4_Story With & Without Damper [Cape Mendocino (3748)]

شکل (۹): رفتار غیرخطی لرزه‌ای و پاسخ ارتعاشی جابجایی سازه‌ی ۴ طبقه بدون و با میراگر در اثر زلزله Cape Mendocino (3748)



Roof Displacement Response for 8_Story With & Without Damper [chi chi (1524)]

شکل (۱۰): رفتار غیرخطی لرزه‌ای و پاسخ ارتعاشی جابجایی سازه‌ی ۸ طبقه بدون و با میراگر در اثر زلزله Chi Chi (1524)

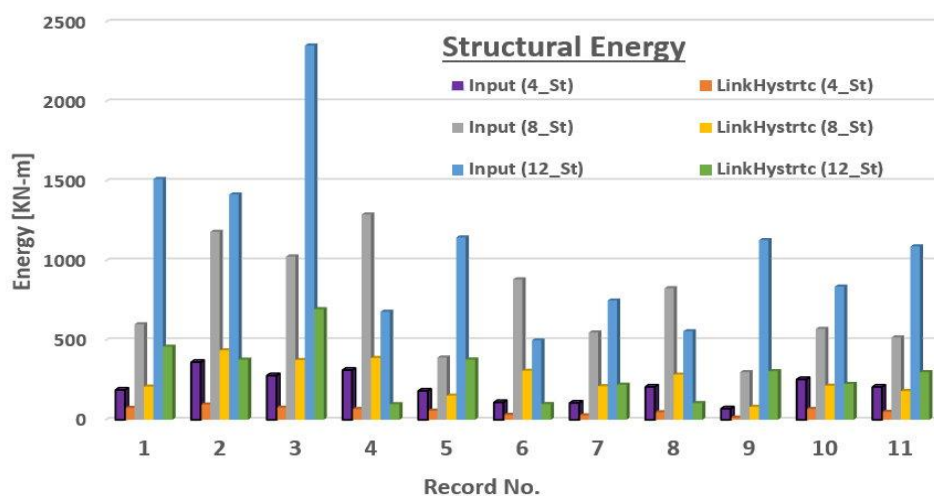


شکل (۱۱): رفتار غیرخطی لرزه‌ای و پاسخ ارتعاشی جایجایی سازه‌ی ۸ طبقه بدون و با میراگر در اثر زلزله Kobe (1101)

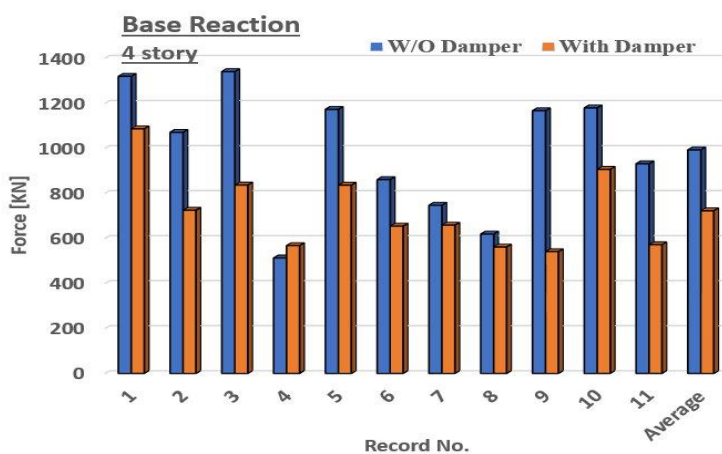
۴- واکاوی آنالیز لرزه‌ای میراگر

پس از انجام آنالیز شصت و شش آنالیز تاریخچه زمانی از یازده نگاشت زلزله برای شش سازه‌ی چهار، هشت و دوازده طبقه، به عنوان نخستین ارزیابی نمودار شکل (۱۲) انرژی میرا شده به وسیله میراگر و اندازه‌ی کل انرژی وارد شده به سازه نگاشته شده است. چنانچه در این نمودار دیده می‌شود، با به کار بردن میراگر در سازه، به طور میانگین تا ۳۵ درصد از کل انرژی ورودی به سازه را می‌توان با میراگرها میرا نمود. این به آن معنا است که در یک سازه بدون میراگر این اندازه از انرژی میرا شده باید توسط سازه برتابیده شود. به بیانی دیگر، با به کارگیری میراگر، کمینه تا یک سوم به توان سازه با میراگر در برابر انرژی وارد شده افزوده می‌شود.

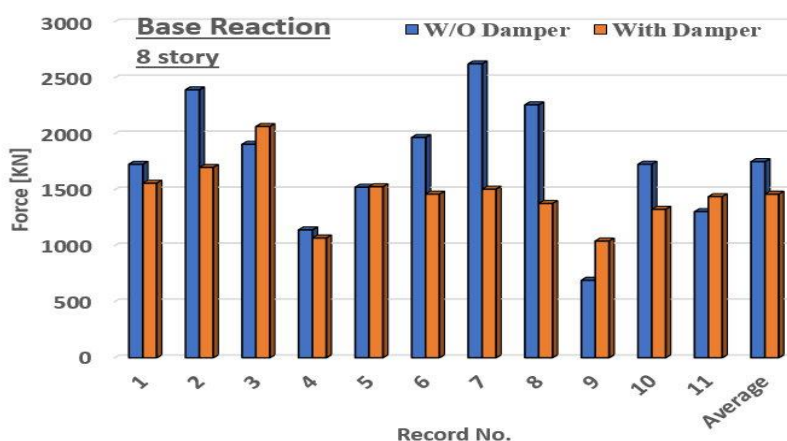
اندازه‌ی پاسخ برش پایه برای سازه‌های با و بدون میراگر و همچنین نسبت برش پایه برای سازه‌ی با و بدون میراگر و اندازه‌ی کاهش در اندازه‌ی برش پایه برای سازه‌ی چهار طبقه در نمودار شکل (۱۳)، سازه‌ی هشت طبقه در نمودار شکل (۱۴) و سازه‌ی دوازده طبقه در نمودار شکل (۱۵) برآش شده است. چنانچه از این نمودارها برمی‌آید کارایی میراگر پیشنهادی در کاهش نیروی برش پایه در سازه‌ها بی‌گمان سودمند خواهد بود و این سودمندی برای سازه‌های مورد پژوهش با بلندای کمتر، بیشتر است.



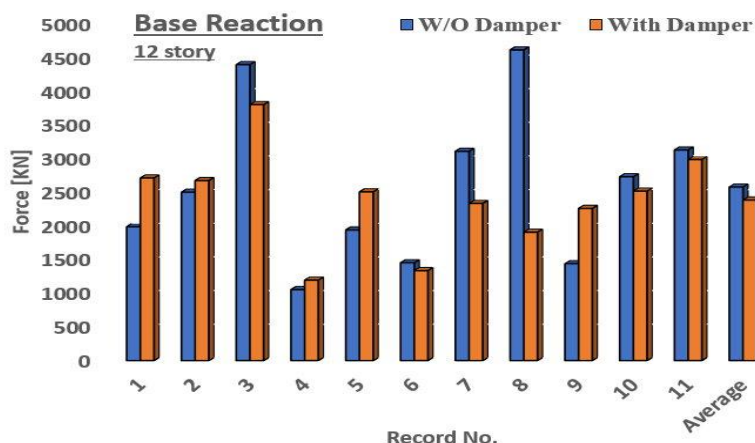
شکل (۱۲): نمودار انرژی ورودی به سازه و انرژی تباه شده با میراگر



شکل (۱۳): نمودار پاسخ برش پایه برای سازه‌ی چهار طبقه

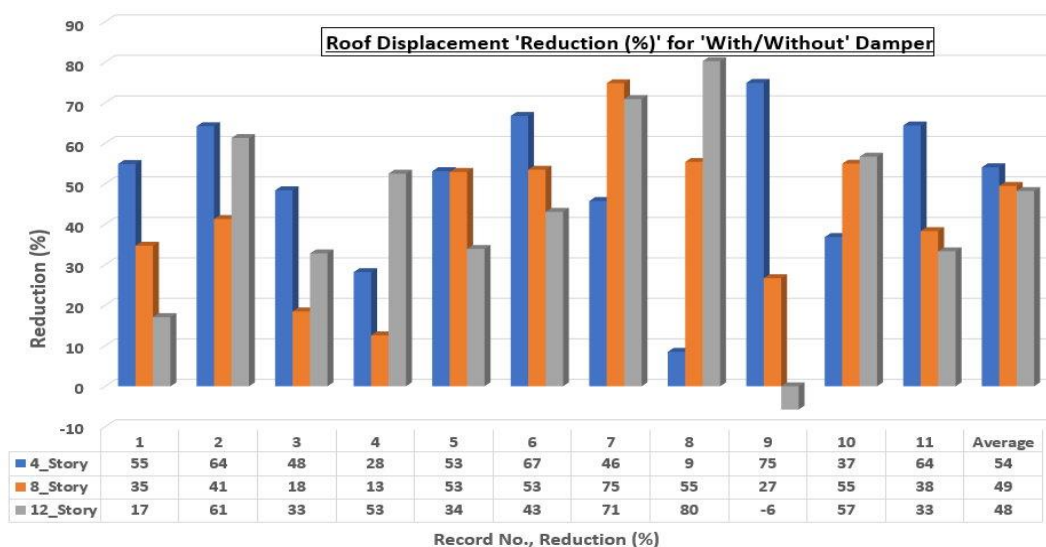


شکل (۱۴): نمودار پاسخ برش پایه برای سازه‌ی هشت طبقه



شکل (۱۵): نمودار پاسخ برش پایه برای سازه‌ی دوازده طبقه

چنانچه از اندازه‌ی سه نمودار پیشین بر می‌آید میانگین اندازه‌های برآورد شده برای پاسخ برش پایه، وابستگی معناداری نسبت به بلندای سازه‌های بهره‌مند از میراگر پیشنهادی در سازه دارد و سازه‌های دارای میراگر با بلندای کوتاه‌تر کارکرد بهتری از خود به نمایش گذاشته‌اند. این سودمندی درباره‌ی پاسخ جابه‌جایی در به کاربردن میراگر برای تمامی سازه‌ها چنانچه در نمودار شکل (۱۶) نمایان است برای همه‌ی سازه‌ها بیش و کم یکسان است و کاهشی به طور میانگین ۵۰ درصد به بار می‌آورد.



شکل (۱۶): اندازه‌ی کاهش پاسخ جابه‌جایی (بام) در سازه‌ی با میراگر نسبت به سازه‌ی بدون میراگر

۵- نتیجه گیری

در این پژوهش گونه‌ی نوینی از یک ابزار میراکننده‌ی انرژی زلزله در سازه پیشنهاد شده است. میراگر پیشنهادی دارای مزیت‌هایی چون: عملکرد پوسته‌ای، هزینه ساخت بسیار پایین، سازوکار چندگامه تا گسیختگی کامل، ساختمان ساده ولی با ساختار پیچیده مکانیکی، پایداری و میرایی و توان بالای جاری شدن است ولی دارای کاستی‌هایی نیز می‌تواند باشد. از این‌رو برای افزایش کارایی و

سودمندی این میراگر، پیشنهاد می‌شود برای پرهیز از کم‌داشتهای مکانیکی و کاربردی شدن این میراگر در سازه‌های موجود و جدید، به منظور حفظ یکپارچگی از روش‌های نوین ریخته‌گری در ساخت آن استفاده شود و همچنین در آلیاژهای فلز به کاررفته از آلیاژی استفاده شود (مانند آلیاژهای دارای سرب) که دارای ویژگی‌های فرابازگشتی بیشتری باشد. در ارزیابی لرزه‌ای برای بررسی رفتار سازه‌های بهره‌مند از میراگر پیشنهادی، این میراگر در سازه‌هایی با بلنداهای گوناگون شناسانده شد و زیر آنالیز غیرخطی تاریخچه زمانی با یازده نگاشت زلزله مهم انجام گرفت. پاسخ آنالیزها نشان داد به کارگیری این میراگر در سازه در افزایش میرا نمودن انرژی وارد شده به سازه و همچنین کاهش پاسخ برش پایه و جابجایی در سازه‌ها می‌تواند بسیار سودمند باشد. استفاده از این میراگر می‌تواند موجب میرایی تا ۳۵ درصد از انرژی ورودی به سازه‌ها شود. همچنین با به کارگیری میراگر پیشنهادی می‌توان شاهد کاهش به طور میانگین ۵۰ درصد در جابجایی بود. همچنین سازه‌های با این میراگر کاهش از ۷ تا ۲۷ درصد در برش پایه برای سازه‌های بلند تا کوتاه تر در برداشتند. به بیانی دقیق‌تر، هرچه بلندای سازه کمتر شود مزیت به کارگیری این میراگر می‌تواند به طور ویژه برای برش پایه بیشتر شود. از این رو از این میراگر برای سازه با بلندای بیش از ۱۰ طبقه، کمتر سفارش می‌شود.

مراجع

- [1] Priestley, M.J.N., Calvi, G.M. and Kowalsky, M.J. (2007), "Displacement Based Seismic Design of Structures", IUSS Press, Italy.
- [2] Plevris, V., Kremmyda, G. and Fahjan, Y. (2017), "Performance-Based Seismic Design of Concrete Structures and Infrastructures", IGI Global, USA.
- [3] Soong, T.T., Constantinou, M.C. (1994). "Passive and Active Structural Vibration Control in Civil Engineering". Springer. New York. John Wiley and Sons.
- [4] Soong, T.T. and Dargush, G.F. (1997), "Passive Energy Dissipation System in Structural Engineering", John Wiley and Sons, New York, USA.
- [5] Soong, T.T. and Spencer Jr, B.F. (2002), "Supplemental energy dissipation: state-of-the-art and state-of-the-practice", *Eng Struct*, 24(3), 243–59.
- [6] Bergman, DM. and Goel, SC. (1987), "Evaluation of cyclic testing of steel plate devices for added damping and stiffness", Report no. UMCE87-10. Ann Arbor (MI, USA): The University of Michigan, USA.
- [7] Tsai, K., Chen, H., Hong, C., and Su, Y. (1993), "Design of steel triangular plate energy absorbers for seismic-resistant construction", *Earthquake Spectra*, 9(3), 505–28
- [8] Suzuki, K. and Watanabe, A. (2000), "Experimental study of U-shaped steel damper," Summary of technical papers of annual meeting, Architectural Institute of Japan, B-2.
- [9] Ricky, W.K.C. and Faris, A. (2008), "Experimental study of steel slit damper for passive energy dissipation", *Eng Struct*, 30, 1058–1066.
- [10] Garivani, S. Aghakouchak, A. A. and Shahbeyk, S. (2016), "Numerical and Experimental Study of Comb-Teeth Metallic Yielding Dampers", *International Journal of Steel Structures* 16(1): 177-196.
- [11] Motamedi, M., Nateghi-A., F., (2018), "Study on mechanical characteristics of accordion metallic damper", *Journal of Constructional Steel Research*, 142, 68–77.
- [12] Ahmadie Amiri, H., Pournamazian Najafabadi, E., Estekanchi, H.E., (2018), "Experimental and analytical study of Block Slit Damper", *Journal of Constructional Steel Research*, 141, 167–178.
- [13] Maleki, S. and Bagheri, S. (2010), "Pipe damper, Part I: Experimental and analytical study", *J. Constr. Steel Res.*, 66, 1088-1095.
- [14] Maleki, S. and Mahjoubi, S. (2013), "Dual-pipe damper", *J. Constr. Steel Res.*, 85, 81–91.
- [15] Mahjoubi S. Maleki S. 2016. Seismic performance evaluation and design of steel structures equipped with dual-pipe dampers, *J. Constr. Steel Res.*, 122 (2016) 25–39.
- [16] Cheraghi, A and Zahrai, S.M. (2016), "Innovative multi-level control system with concentric pipes to reduce seismic response of braced steel frames", *J. Constr. Steel Res.*, 127, 120-137.
- [17] Reisi, A. Mirdamadi, H.R. Rahgozar, M.A. (2020), "Numerical and experimental study of the nested-eccentric-cylindrical shells damper", *Earthquakes and Structures*, Vol. 30, No. 5.
- [18] APL Specification 5L (2000), American Petroleum Institute, USA.
- [19] ABAQUS Finite Element Analysis Program (2013), Version 6.13-1, User's Manual.
- [20] FEMA 461 (2007), *Interim protocols for determining seismic performance characteristics of structural and nonstructural components*, Federal Emergency Management Agency, Washington DC, USA.
- [21] Xia, C. Hanson, R., (1992), "Influence of ADAS element parameters on building seismic response", *J. Struct. Eng.* 118 (7) 1903–1918

- [22] ASCE 7-16. (2016). “*Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*”, American Society of Civil Engineers, ASCE/SEI. USA.
- [23] FEMA-P1050-1. (2015). “*Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures*”. Federal Emergency Management Agency. Washington, D.C.
- [24] SAP2000. (2019). Integrated structural analysis and design software. Berkeley, Version 20, User’s Manual, Computers and Structures Inc.
- [25] AISC 360-16. (2016). “*Specification for Structural Steel Buildings*”, American Institute of Steel Construction ANSI/AISC. USA.
- [26] Newmark, N. M. Hall, W. J. (1982) “*Earthquake Spectra and Design (Engineering monographs on earthquake criteria, structural design, and strong motion records)*”. Earthquake Engineering Research Institute. USA.
- [27] (PEER) ground motion database, the web-based Pacific Earthquake Engineering Research Center; <https://ngawest2.berkeley.edu>
- [28] ASCE 41-17. (2017). “*Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*”. American Society of Civil Engineers, ASCE/SEI. USA.