J. Analysis of Structure and Earthquake
Volum 21, Issue 4, winter 2025
Issn: 2821-0999
وبگاه مجله: www.civil-strj.maragheh.iau.ir
آنالیز سازه - زلزله
فصلنامه علمی
دوره 21، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳

Seismic Evaluation of Dual SMF-SCBF System with Viscous Dampers and Lead-Core Rubber Bearings

Ali Parvari*
Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Khomein Branch, Islamic Azad University, Khomein, Iran.
Arash Bayat
Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Hormozghan University, Hormozghan, Iran.
Reza Eskandari
M.Sc.,Department of Civil Engineering, Khomein Branch, Islamic Azad University, Khomein, Iran.
ali.parvari@iau.ac.ir

Keywords
Performance Level,
Nonlinear Static Analysis,
Nonlinear Dynamic Analysis,
Viscous Damper,
Lead-Core Rubber Bearing Isolator

Abstract
This study considers the combined effect of viscous dampers and lead-core rubber bearings seismic isolator systems on the performance and seismic response of structures. Three building frames (10, 20, and 30 stories), each with a dual structural system of special moment frames (SMF) and special concentrically braced frames (SCBF), are designed and analyzed. The study uses nonlinear static (push-over) and nonlinear dynamic analyses, with seven pairs of accelerograms under normal and combined loading modes, incorporating viscous dampers and lead-core rubber bearings isolators. The analyses are performed using ETABS2019 software to evaluate life-safety performance. The implementation of the proposed systems significantly improves structural performance, increasing structural capacity and ductility. Results from the pushover analysis show that the combined use of these systems enhances the target displacement of 10-, 20-, and 30-story frames. Under uniform load distribution, this increase is 3.7, 1.7, and 1.9 times, respectively, while under triangular load distribution, it is 3.1, 1.6, and 2.9 times the target displacement capacity of the original structure. Additionally, these systems significantly reduce the relative story drift.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License
(این نشریه تحت قانون بین المللی کپی رایت Creative Commons: BY-NC می‌باشد).

* Corresponding Author

فصلنامه علمی
آنالیز سازه - زلزله
دوره ۲۱، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳

ارزیابی‌لرزه‌ای سیستم دوگانه قاب خمشی فولادی ویژه با مهاربند همگرای ویژه فولادی مجهز به میراگر ویسکوز و جداساز لاستیکی با هسته سربی

علی پروری*
استادیار،گروه مهندسی عمران، واحد خمین، دانشگاه آزاد اسلامی، خمین، ایران
آرش بیات
استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه هرمزگان، هرمزگان، ایران
رضا اسکندری
کارشناس ارشد،گروه مهندسی عمران، واحد خمین، دانشگاه آزاد اسلامی، خمین، ایران
ali.parvari@iau.ac.ir

تاریخ دریافت : ۱۲ شهریور ۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۰ دی ۱۴۰۳

چکیده

هدف از این مطالعه بررسی اثر توام میراگر ویسکوز و سیستم جداساز لاستیکی با هسته سربی بر سطح عملکرد و پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها می‌باشد. بدین منظور سه قاب ۱۰ ،۲۰ و ۳۰ طبقه با سیستم سازه‌ای دوگانه مهاربند همگرای ویژه فولادی و قاب خمشی ویژه فولادی طراحی شده و هر یک از قاب‌ها تحت تحلیل غیرخطی‌استاتیکی(پوش‌آور) و دینامیکی غیرخطی با درنظر گرفتن ۷ زوج شتاب نگاشت در حالات نرمال و توام با در نظرگرفتن سیستم میراگر ویسکوز و جداساز لاستیکی با هسته سربی با نرم‌افزارETABS2019 برای سطح عملکرد ایمنی جانی مورد تحلیل قرارگرفته شد. نتیجتا به کارگیری سیستم‌های مذکور سبب بهبود عملکرد سازه و همچنین افزایش ظرفیت و شکل‌پذیری سازه به میزان قابل‌توجهی گردید. نتایج حاصل از تحلیل پوش‌اُور نشان می‌دهد که به کارگیری توام سیستم‌های مذکور سبب افزایش تغییرمکان هدف سازه در قاب‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ طبقه در حالت توزیع بار یکنواخت به ترتیب به میزان ۳/۷، ۱/۷ و ۱/۹ برابر و درحالت توزیع بار مثلثی به ترتیب به میزان ۳/۱، ۱/٦و ۲/۹ برابر ظرفیت تغییر مکان هدف سازه اصلی و همچنین سبب کاهش قابل‌توجه دریفت نسبی طبقات گردیده است.

واژگان کلیدی: سطح عملکرد، تحلیل استاتیکی غیرخطی، تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی، میراگر ویسکوز، جداساز لاستیکی با هسته سربی.

*نویسنده مسئول مکاتبات

۱- مقدمه

تحلیل دینامیکی غیرخطی در مدلسازی عددی سازه‌ها یکی از دقیقترین روش‌ها به شمار می‌رود اما دقیق بودن این روش وابسته به متغیرهای داده‌های صحیح نظیر مقیاس‌کردن شتاب نگاشت‌ها، مدلسازی میرایی ذاتی و مدلسازی رفتار تناوبی سازه می‌باشد [۱] . همچنین روش تحلیل استاتیکی غیر خطی نیز یک روش مناسب و بهینه به جهت صرفه‌جویی در زمان و هزینه برای تحلیل و بررسی اولیه سازه می‌باشد اما برای تحلیل دقیق و کامل تر باید از روش‌های دقیق تر و جامع تر دیگر نظیر روش منحنی‌های شکنندگی استفاده نمود.

قشلاقی و همکاران [۲] به بررسی تأثیر میراگرهای ویسکوز بر پاسخ لرزه‌ای قاب‌های فولادیSAC ۳، ۹ و ۲۰ طبقه پرداختند. آنها مدل عددی میراگر ویسکوز را در نرم‌افزار Abaqus شبیه‌سازی نموده و اثر زلزله‌های حوزه دور و نزدیک نظیر امپریال ولی، لوما پریتا و نورثریج را بر سازه ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد که استفاده از میراگرهای ویسکوز سبب کاهش دریفت به طور میانگین به میزان ۲۰۰٪ ، افزایش ظرفیت باربری به طور میانگین به میزان ۳۰٪ و بهبود جذب انرژی به میزان ۳۵٪ می گردد.

قشلاقی و همکارن [۳] به بررسی تاثیر میراگرهای ویسکوز بر پاسخ لرزه‌ای سازه‌های بلند مرتبه فولادی با تعداد طبقات ۱۲، ۲۲ و ۳۲ طبقه در برابر بارهای لرزه‌ای با استفاده از نرم افزار آباکوس پرداختند و میزان جذب انرژی و ظرفیت باربری سازه‌ها را مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش آنها با میانگین‌گیری از نتایج حاصله از ۳ سازه مورد مطالعه در ارتباط با جذب انرژی و ظرفیت باربری سازه به ترتیب افزایش ۲۲ درصدی و ۱۳ درصدی را نشان داد.

شهانقی و همکاران [۴] عملکرد لرزه‌ای قاب‌های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه با سیستم سازه‌ای قاب خمشی ویژه فولادی تحت رکوردهای دور از گسل با وجود و بدون وجود میراگر ویسکوز را بر اساس FEMA P-695 را مورد بررسی قرار دادند. نسبت میرایی میراگر ویسکوز برای قاب‌های ۴ و ۸ طبقه معادل ۱۵ درصد و برای قاب‌های ۱۲ طبقه معادل ۲۰ درصد بوده است و قاب‌ها در پژوهش مذکور تحت تحلیل دینامیکی غیر خطی فزاینده با وجود ۴۴ رکورد زلزله دور از گسل قرار گرفتند. نتایج نشان داده است که با بررسی منحنی میانه تحلیل‌های دینامیکی غیر خطی، در سطح احتمال ۵۰ درصد برای قاب‌های خمشی دارای میراگر ویسکوز، مقدار ظرفیت فروریزش قاب‌های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه به ترتیب به میزان ۲۸، ۸۸ و ۷۴ درصد افزایش یافته است.

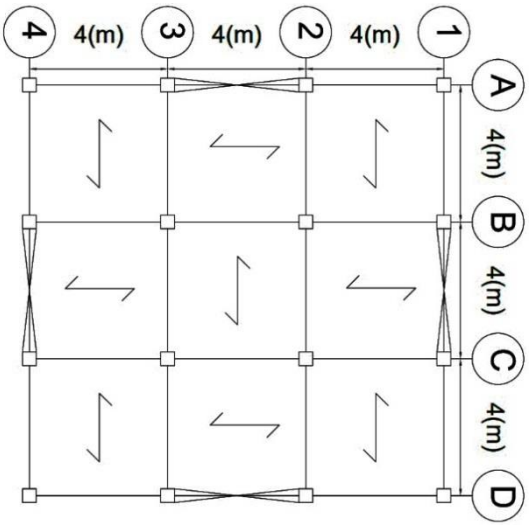
ایمانی کله سر [۵] در پژوهشی به ارزیابی عملکرد لرزه‌ای ساختمانهای فولادی بر روی دو نوع سامانه جداساز لرزهای تحت زلزله‌های حوزه دور از گسل پرداخته است. جداسازهای مورداستفاده، جداساز لاستیکی هسته سربی و جداساز آونگی تک قوسی میباشند. برای مقایسه رفتار این جداسازها زمان تناوب مؤثر را به عنوان یکی از مهمترین خصوصیات جداساز انتخاب شده است. نتایج این پژوهش نشان داده است که کارایی هر دو نوع سامانه جداساز لاستیکی هسته سربی و جداساز اصطکاکی تک قوسی با افزایش ارتفاع ساختمان کاهش پیدا میکند.

فخاری نیا و همکاران [۶] قاب‌های با سیستم سازه‌ای قاب خمشی فولادی متوسط را در حالت وجود و عدم وجود جداساز لرزه‌ای لاستیکی با هسته سربی تحت خرابی پیش رونده را مورد بررسی قرار دادند. آنها با به کارگیری تحلیل استاتیکی و دینامیکی غیر خطی به حذف ستون درمکان‌های مختلف سازه پرداختند. نتایج نشان دادند که به کارگیری سیستم جداساز لرزه‌ای در سازه کاهش پاسخ سازه تحت تاثیر زلزله و تاثیر بسیار زیادی در جلوگیری از افزایش خرابی در محدوده وسیع و محدود کردن خرابی تحت بارهای لرزه‌ای به صورت خرابی موضعی در سازه را به همراه دارد.

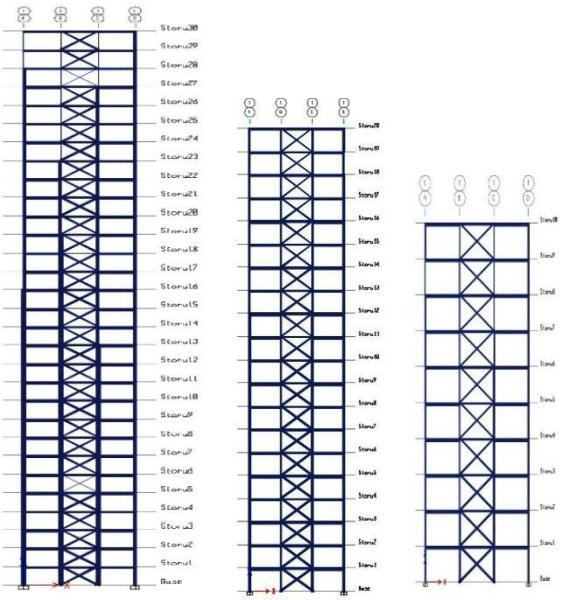
از جمله معایب سیستم‌های دوگانه افزایش احتمال واژگونی توام با افزایش ارتفاع را سازه اشاره نمود. همچنین سیستم‌های دوگانه دارای مقاومت و سختی زیاد و همچنین شکل پذیری اندک می باشد. از طرفی شکل پذیری اندک سبب رفتار شکننده سازه می‌گردد. در مطالعه حاضر به تحلیل و بررسی تاثیر افزودن میراگر و جداساز لرزه‌ای در سازه بر رفتار و مقاومت سازه با توجه به روش‌های نامبرده شده پرداخته و اساس مقایسه سازه‌های ذکر شده دریفت و تغییر مکان نسبی طبقات و همچنین تغییر مکان هدف سازه و برش پایه نظیر آن می‌باشد.

۲- مشخصات سازه

قاب‌های مذکور دارای ۳ دهانه به طول ۴ متر و ارتفاع طبقات ۳ متر و پلان سازه‌ای قاب‌های مذکور مطابق با (شکل ۱) می‌باشند، بارهای مرده بام و طبقات به ترتیب برابر ۶۱۰ و ۵۸۰ کیلوگرم بر مترمربع و بارهای زنده بام و طبقات به ترتیب برابر ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مربع و بار دیوارهای پیرامون و جان پناه به ترتیب برابر ۲۸۰ و ۳۰۰ کیلوگرم بر متر مربع می‌باشد. مقاطع تیر ها IPE و مقاطع ستون‌ها BOX ساخته شده از ورق و مقاطع مهاربندها 2UNP و ضریب رفتار سازه برابر با ۷ و ساختگاه سازه با پهنه خطر نسبی خیلی زیاد و خاک نوع سه می‌باشد (شکل ۲ و۳).



شکل۱- پلان سازه ۱۰، ۲۰ و ۳۰ طبقه



شکل۲- قاب‌های دو بعدی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ طبقه

شکل۳- قاب‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ طبقه همراه با میراگر ویسکوز و جداساز

۳- مراحل تحلیل سازه

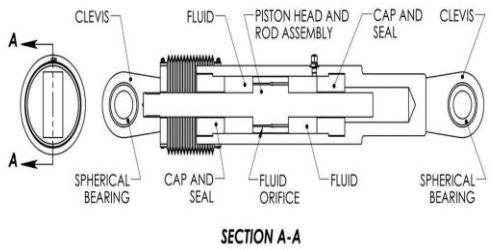
(شکل ۴) مراحل انجام تحلیل قاب‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ طبقه با به کارگیری توام میراگر ویسکوز و جداساز لرزه‌ای نشان داده شده است.

شکل۴- فلوچارت مراحل تحلیل سازه

٤-میراگر ویسکوز[۱]

از جمله میراگرهایی که با به کارگیری خواص ویسکوزیته سیالات توسعه یافته‌اند و در سیستم های سازه‌ای به کار می‌روند. عملکرد میراگرهای ویسکوز فعال بر اساس اصل جریان سیال از روزنه می‌باشد. این میراگرها حساس به تغییرات دمایی نمی‌باشند و رفتاری خطی دارند [۷].

میراگر ویسکوز شامل یک سیلندر اشباع شده توسط روغن سیلیکون (مایع دارای ویسکوزیته بالا) به طوری که داخل سیلندر یک سر پیستون فولادی ضد زنگ با سر دهانه برنزی حاوی روزنه‌هایی می‌باشد وجود دارد. روغن سیلیکون با حرکت پیستون از روزنه ها عبور کرده و اصطکاک بین ذرات سیال و دیواره سیلندر به دلیل سرعت زیاد جریان عبوری به وجود می‌آید که نهایتا منجر به استهلاک انرژی[۲] می‌شود. [۸] (شکل ۵) .



شکل ۵ – میراگر ویسکوز[۹]

آیین‌نامه مورد استفاده جهت طراحی میراگرهای ویسکوز موجود آیین‌نامه NEHRP۲۰۰۰ می‌باشد [۱۰]. نتایج طراحی میراگرهای ویسکوز با در نظر گرفتن میرایی ویسکوز به میزان ۱۵ درصد برای قاب‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ طبقه مطابق با (جدول ۱) می‌باشد.

در (جدول ۱) C و k به ترتیب نشان دهنده ضریب میرایی و سختی میراگرهای ویسکوز می‌باشند.

جدول ۱– مشخصات میراگر های ویسکوز طبقات

طبقات	k	C
	(ton/cm)	(ton.s/cm)
۱۰	۹۵/۲۸۶	۰/۱۰۷
۲۰	۹۲/۱۹۰	۰/۱۰۸
۳۰	۱۰۸/۷۸۱	۰/۱۷۳

۵- جداسازلاستیکی با هسته سربی

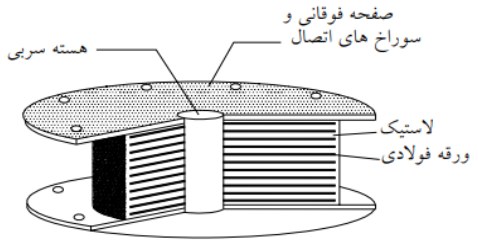
جداساز لاستیکی با هسته سربی[۳] ابتدا توسط رابینسون و تاکر ارائه شدند. جداسازها متشکل از تعدادی لایه‌های لاستیکی و فولادی می‌باشند که به صورت یک در میان قرار گرفته شدند علاوه بر آن تعداد یک و یا چند عدد هسته سربی در مرکز جداساز قرار داده شده است. نقش لایه های فولادی جهت افزایش سختی محوری و مانعی برای بشکه‌ای شدن جداساز می‌باشد از مزایای این جداسازها می‌توان به بازگشت جداساز به حالت اولیه خود پس از بارهای جانبی مانند زلزله به جهت خواص ارتجاعی لاستیک اشاره نمود. ۱۵ تا ۳۵ درصد

[۱] Viscous Fluid Damper

[۲] Energy Dissipation

[۱] LRB: Lead-Core Rubber Bearings

مقدار میرایی معادلی است که برای جداساز لاستیکی با هسته سربی در نظر می‌گیرند [۱۱]. جزییات این جداسازها در (شکل ۶) نمایش داده شده است.



شکل۶–نمای جداساز لاستیکی با هسته سربی [۱۲]

آیین نامه مورد نظر جهت طراحی جداساز لاستیکی با هسته سربی در مطالعه حاضر فصل ۱۳ آیین نامه NEHRP۲۰۰۰ می‌باشد که با توجه به طبقات سازه از روش دینامیکی و روش نیروی جانبی معادل[۲] (ELF) برای طراحی سازه و نشریه ۵۲۳ استفاده شده‌است [۸، ۱۰و۱۲]. مشخصات جداساز لاستیکی با هسته سربی در (جدول ۲ ، ۳ و ۴) به ترتیب برای قاب‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ طبقه نمایش داده شده‌است.

جدول۲– مشخصات جداساز لاستیکی با هسته سربی ۱۰ طبقه

C_1, C_4	C_{eff}	(ton.s/cm)	۰/۴۲۷
	K_{eff}	(ton/cm)	۰/۱۳۰
	K_d	(ton/cm)	۰/۰۹۹
	F_y	(ton)	۲/۰۵۸
C_2, C_3	C_{eff}	(ton.s/cm)	۰/۴۲۷
	K_{eff}	(ton/cm)	۰/۱۶۹
	K_d	(ton/cm)	۰/۱۲۹
	F_y	(ton)	۲/۶۸۳

جدول ۳– مشخصات جداساز لاستیکی با هسته سربی ۲۰ طبقه

C_1, C_4	C_{eff}	(ton.s/cm)	۰/۸۲۴
	K_{eff}	(ton/cm)	۰/۳۷۴
	K_d	(ton/cm)	۰/۲۸۵
	F_y	(ton)	۶/۲۱۶
C_2, C_3	C_{eff}	(ton.s/cm)	۰/۸۲۴
	K_{eff}	(ton/cm)	۰/۳۲۱
	K_d	(ton/cm)	۰/۲۴۵
	F_y	(ton)	۵/۳۳۸

[۲] Equivalent Lateral Force

جدول۴– مشخصات جداساز لاستیکی با هسته سربی ۳۰ طبقه

C_1, C_4	C_{eff}	(ton.s/cm)	۱/۵۲۲
	K_{eff}	(ton/cm)	۰/۲۰۳
	K_d	(ton/cm)	۰/۱۵۵
	F_y	(ton)	۴/۵۸۵
C_2, C_3	C_{eff}	(ton.s/cm)	۱/۵۲۲
	K_{eff}	(ton/cm)	۰/۲۸۸
	K_d	(ton/cm)	۰/۲۲۰
	F_y	(ton)	۶/۵۰۴

در جداول ۲، ۳ و ۴ حروف C_1 و C_4 به ترتیب نشان دهنده ستون های شماره ۱ و ۴، C_2 و C_3 به ترتیب نشان دهنده ستون های شماره ۲ و ۳ در طبقه اول می‌باشند که مطابق با شماره گذاری نرم‌افزار نامگذاری شده‌اند. همچنین C_{eff} و K_{eff} به ترتیب میرایی موثر و سختی موثر و K_d و F_y به ترتیب سختی ثانویه و مقاومت تسلیم را نشان می‌دهد.

٦- تحلیل استاتیکی غیر خطی

در مطالعه حاضر از نرم‌افزار ETABS۲۰۱۹ جهت تحلیل رفتار غیر ارتجاعی سازه‌ها و تحت دو الگوی بار یکنواخت و مثلثی مورد تحلیل قرار گرفته‌است. الگو های بار ثقلی کاربرده شده در این تحلیل مطابق با آیین‌نامه ASCE/SEI۴۱–۱۳ که عبارت است از(DL+LL) ۱/۱و DL ۰/۹ می‌باشد [۱۳]. مفاصل پلاستیکM_3 در تیرها و در ستون‌ها P-M_2-M_3 در فاصله‌ی ۵ و ۹۵ درصد طول به ترتیب در ابتدا و انتهای عضو و در مهاربندها مفاصل پلاستیک *P* در ۵۰ درصد طول در نظر گرفته شده‌است. ویژگی غیر خطی مفاصل پلاستیک برای سطح عملکرد ایمنی جانی بر اساس آیین نامه ASCE/SEI۴۱–۱۳ مدل‌سازی می‌شوند [۱۳] . نتایج حاصل از تحلیل فوق برای سازه‌های مذکور بدون وجود سیستم‌های میراگر ویسکوز و سیستم جداساز لرزه‌ای سرب– لاستیکی در (جدول ۵) و به کارگیری آنها در (جدول ۶) برای سازه ها نشان داده شده‌است.

جدول ۵- تغییر مکان هدف سازه و برش پایه نظیر آن

		طبقات	۱۰	۲۰	۳۰
V_r	ton	Un_1	۳۰/۵۶۱	۵۳/۸۹۸	۶۴/۸۶۰
		Un_2	۳۳/۲۴۸	۵۶/۷۸۴	۷۱/۲۲۴
		Tr_1	۲۵/۱۲۱	۴۵/۹۱۰	۶۰/۰۴۲
		Tr_2	۲۶/۶۰۵	۴۸/۴۶۱	۶۲/۷۷۳
D_r	cm	Un_1	۲۵/۳۹۰	۵۴/۸۱۰	۱۰۶/۱۷۹
		Un_2	۲۵/۳۴۰	۵۴/۱۶۰	۹۵/۱۰۰
		Tr_1	۳۱/۰۵۰	۶۸/۱۶۰	۷۳/۴۶۵
		Tr_2	۳۱/۰۲۰	۶۷/۶۱۰	۷۵/۹۳۰

جدول ۶- تغییر مکان هدف سازه و برش پایه نظیر آن با وجود میراگر ویسکوز و جداساز لرزه ای

		طبقات	۱۰	۲۰	۳۰
V_r	ton	Un_1	۹/۴۸۲	۲۹/۲۵۹	۳۳/۳۳۰
		Un_2	۹/۴۸۲	۲۹/۲۴۷	۳۳/۳۲۰
		Tr_1	۹/۴۸۲	۲۹/۵۸۲	۳۳/۷۹۰
		Tr_2	۹/۴۸۲	۲۹/۵۶۱	۳۳/۷۷۰
D_r	cm	Un_1	۹۳/۵۸۰	۹۴/۶۳۰	۱۹۱/۷۰۰
		Un_2	۹۳/۴۲۰	۹۴/۱۷۰	۱۹۱/۲۰۰
		Tr_1	۹۷/۴۱۰	۱۰۸/۳۶۰	۲۱۴/۶۰۰
		Tr_2	۹۷/۳۴۰	۱۰۷/۶۱۷	۲۱۳/۶۰۰

در (جداول ۵ و ۶) Uni و Tri به ترتیب برابر با الگوی بار یکنواخت و الگوی بار مثلثی می‌باشد و همچنین ۱ و۲ به ترتیب به ترکیب بارهای ثقلی (DL+LL) ۱/۱و DL ۰/۹ اشاره دارد و V_r و D_r به ترتیب نشانگر برش پایه متناظر با تغییر مکان هدف سازه و تغییر مکان هدف طبقه بام سازه می‌باشد.

مشخصات مفاصل پلاستیک خروجی از نرم‌افزار به طوری که از سطح عملکرد مورد نظر که ایمنی جانی(LS) می‌باشد عبور کرده‌اند و در محدوده‌ی آستانه فروریزش (LS - CP) و فروریزش(CP) قرار دارند با توجه به نوع بار در (جداول شماره ۷، ۸ و ۹) نشان داده شده است .پس از تحلیل و بررسی مشخصات مفاصل پلاستیک خروجی از نرم‌افزار برای قاب‌ها در حالت وجود میراگرهای ویسکوز و جداساز لاستیکی با هسته سربی سطح عملکرد تمامی مفاصل برای قاب ۱۰ طبقه، ۲۰ و ۳۰ طبقه که در سطح عملکرد آستانه فروریزش و فروریزش قرار داشتند، در وضعیت سطح عملکرد استفاده بی وقفه (IO)[۱] قرار گرفته است.

[۱] Immediate Occupancy

جدول۷- مشخصات مفاصل پلاستیک قاب ۳۰ طبقه

شماره طبقه	نوع بار	مرحله	مفصل	
			شناسه	وضعیت
Story25	Triangular2	6	D2H7	>CP
Story25	Triangular2	7	D2H7	>CP
Story10	Uniform1	13	D2H22	LS to CP
Story9	Uniform1	13	D2H23	LS to CP
Story9	Triangular2	7	D2H23	>CP
Story8	Uniform1	12	D2H24	LS to CP
Story8	Uniform1	13	D2H24	LS to CP
Story8	Uniform2	14	D2H24	LS to CP
Story8	Triangular2	7	D2H24	>CP
Story7	Uniform1	11	D2H25	LS to CP
Story7	Uniform1	12	D2H25	>CP
Story7	Uniform1	13	D2H25	>CP
Story7	Uniform2	13	D2H25	LS to CP
Story7	Uniform2	14	D2H25	LS to CP
Story7	Triangular2	6	D2H25	>CP
Story7	Triangular2	7	D2H25	>CP
Story6	Uniform1	10	D2H26	LS to CP
Story6	Uniform1	11	D2H26	>CP
Story6	Uniform1	12	D2H26	>CP
Story6	Uniform1	13	D2H26	>CP
Story6	Uniform2	12	D2H26	LS to CP
Story6	Uniform2	13	D2H26	>CP
Story6	Uniform2	14	D2H26	>CP
Story6	Triangular2	5	D2H26	>CP
Story6	Triangular2	6	D2H26	>CP
Story6	Triangular2	7	D2H26	>CP
Story5	Uniform1	10	D2H27	LS to CP
Story5	Uniform1	11	D2H27	>CP
Story5	Uniform1	12	D2H27	>CP
Story5	Uniform1	13	D2H27	>CP
Story5	Uniform2	12	D2H27	LS to CP
Story5	Uniform2	13	D2H27	>CP
Story5	Uniform2	14	D2H27	>CP
Story5	Triangular2	6	D2H27	>CP
Story5	Triangular2	7	D2H27	>CP
Story4	Uniform1	10	D2H28	LS to CP
Story4	Uniform1	11	D2H28	>CP
Story4	Uniform1	12	D2H28	>CP
Story4	Uniform1	13	D2H28	>CP
Story4	Uniform2	13	D2H28	LS to CP
Story4	Uniform2	14	D2H28	>CP
Story4	Triangular2	7	D2H28	>CP
Story3	Uniform1	10	D2H29	LS to CP
Story3	Uniform1	11	D2H29	>CP
Story3	Uniform1	12	D2H29	>CP
Story3	Uniform1	13	D2H29	>CP
Story3	Uniform2	12	D2H29	LS to CP
Story3	Uniform2	13	D2H29	>CP
Story3	Uniform2	14	D2H29	>CP
Story3	Triangular2	7	D2H29	>CP
Story2	Uniform1	10	D2H30	LS to CP
Story2	Uniform1	11	D2H30	>CP
Story2	Uniform1	12	D2H30	>CP

Story2	Uniform1	13	D2H30	>CP
Story2	Uniform2	12	D2H30	LS to CP
Story2	Uniform2	13	D2H30	>CP
Story2	Uniform2	14	D2H30	>CP
Story2	Triangular2	6	D2H30	>CP
Story2	Triangular2	7	D2H30	>CP
Story1	Uniform1	13	D2H1	LS to CP
Story1	Triangular2	7	D2H1	>CP

جدول۸- مشخصات مفاصل پلاستیک قاب ۲۰ طبقه

شماره طبقه	نوع بار	مرحله	مفصل	
			شناسه	وضعیت
Story18	Triangular2	6	D2H4	>CP
Story18	Triangular2	7	D2H4	>CP
Story18	Triangular2	8	D2H4	>CP
Story18	Triangular2	9	D2H4	>CP
Story18	Triangular2	10	D2H4	>CP
Story18	Triangular2	11	D2H4	>CP
Story17	Triangular2	6	D2H5	>CP
Story17	Triangular2	7	D2H5	>CP
Story17	Triangular2	8	D2H5	>CP
Story17	Triangular2	9	D2H5	>CP
Story17	Triangular2	10	D2H5	>CP
Story17	Triangular2	11	D2H5	>CP
Story16	Triangular2	6	D2H6	>CP
Story16	Triangular2	7	D2H6	>CP
Story16	Triangular2	8	D2H6	>CP
Story16	Triangular2	9	D2H6	>CP
Story16	Triangular2	10	D2H6	>CP
Story16	Triangular2	11	D2H6	>CP
Story15	Triangular2	6	D2H7	>CP
Story15	Triangular2	7	D2H7	>CP
Story15	Triangular2	8	D2H7	>CP
Story15	Triangular2	9	D2H7	>CP
Story15	Triangular2	10	D2H7	>CP
Story15	Triangular2	11	D2H7	>CP
Story13	Triangular2	6	D2H9	>CP
Story13	Triangular2	7	D2H9	>CP
Story13	Triangular2	8	D2H9	>CP
Story13	Triangular2	9	D2H9	>CP
Story13	Triangular2	10	D2H9	>CP
Story13	Triangular2	11	D2H9	>CP
Story12	Triangular2	9	D2H10	>CP
Story12	Triangular2	10	D2H10	>CP
Story12	Triangular2	11	D2H10	>CP
Story11	Triangular2	7	D2H11	>CP
Story11	Triangular2	8	D2H11	>CP
Story11	Triangular2	9	D2H11	>CP
Story11	Triangular2	10	D2H11	>CP
Story11	Triangular2	11	D2H11	>CP
Story10	Triangular2	5	D2H12	>CP
Story10	Triangular2	6	D2H12	>CP
Story10	Triangular2	7	D2H12	>CP
Story10	Triangular2	8	D2H12	>CP
Story10	Triangular2	9	D2H12	>CP
Story10	Triangular2	10	D2H12	>CP
Story10	Triangular2	11	D2H12	>CP
Story9	Triangular2	6	D2H13	>CP
Story9	Triangular2	7	D2H13	>CP
Story9	Triangular2	8	D2H13	>CP
Story9	Triangular2	9	D2H13	>CP
Story9	Triangular2	10	D2H13	>CP
Story9	Triangular2	11	D2H13	>CP
Story8	Triangular2	6	D2H14	>CP
Story8	Triangular2	7	D2H14	>CP
Story8	Triangular2	8	D2H14	>CP
Story8	Triangular2	9	D2H14	>CP
Story8	Triangular2	10	D2H14	>CP
Story8	Triangular2	11	D2H14	>CP
Story7	Triangular2	9	D2H15	>CP
Story7	Triangular2	10	D2H15	>CP
Story7	Triangular2	11	D2H15	>CP
Story6	Triangular2	9	D2H16	>CP
Story6	Triangular2	10	D2H16	>CP
Story6	Triangular2	11	D2H16	>CP
Story5	Triangular2	6	D2H17	>CP
Story5	Triangular2	7	D2H17	>CP
Story5	Triangular2	8	D2H17	>CP
Story5	Triangular2	9	D2H17	>CP
Story5	Triangular2	10	D2H17	>CP
Story5	Triangular2	11	D2H17	>CP
Story4	Uniform2	19	D2H18	LS to CP
Story4	Triangular2	7	D2H18	>CP
Story4	Triangular2	8	D2H18	>CP
Story4	Triangular2	9	D2H18	>CP
Story4	Triangular2	10	D2H18	>CP
Story4	Triangular2	11	D2H18	>CP
Story3	Uniform1	18	D2H19	LS to CP
Story3	Uniform1	19	D2H19	LS to CP
Story3	Uniform2	18	D2H19	LS to CP
Story3	Uniform2	19	D2H19	LS to CP
Story3	Triangular2	6	D2H19	>CP
Story3	Triangular2	7	D2H19	>CP
Story3	Triangular2	8	D2H19	>CP
Story3	Triangular2	9	D2H19	>CP
Story3	Triangular2	10	D2H19	>CP
Story3	Triangular2	11	D2H19	>CP
Story2	Uniform1	17	D2H20	LS to CP
Story2	Uniform1	18	D2H20	LS to CP
Story2	Uniform1	19	D2H20	LS to CP
Story2	Uniform2	17	D2H20	LS to CP
Story2	Uniform2	18	D2H20	LS to CP
Story2	Uniform2	19	D2H20	LS to CP
Story2	Triangular2	6	D2H20	>CP
Story2	Triangular2	7	D2H20	>CP
Story2	Triangular2	8	D2H20	>CP
Story2	Triangular2	9	D2H20	>CP
Story2	Triangular2	10	D2H20	>CP
Story2	Triangular2	11	D2H20	>CP
Story1	Triangular2	6	D2H1	>CP
Story1	Triangular2	7	D2H1	>CP
Story1	Triangular2	8	D2H1	>CP

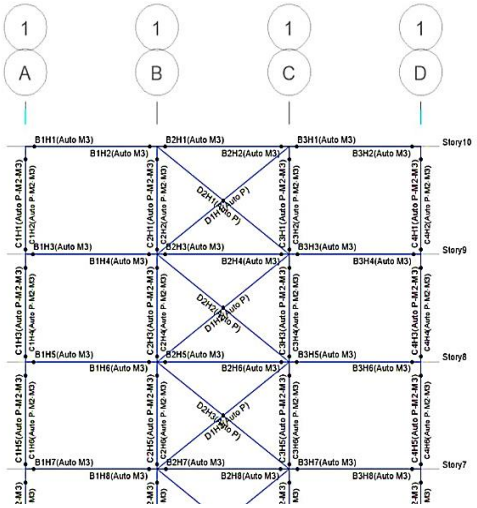
Story1	Triangular2	9	D2H1	>CP
Story1	Triangular2	10	D2H1	>CP
Story1	Triangular2	11	D2H1	>CP

جدول۹- مشخصات مفاصل پلاستیک قاب ۱۰ طبقه

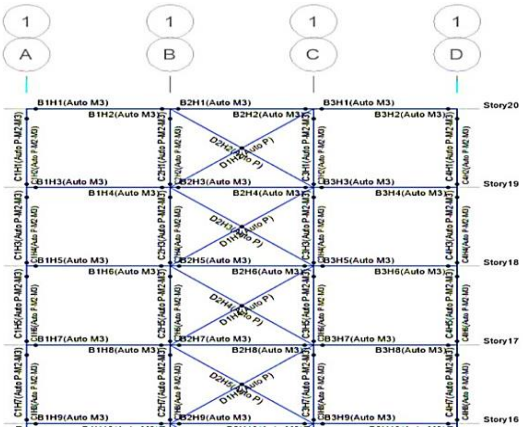
شماره طبقه	نوع بار	مرحله	مفصل	
			شناسه	وضعیت
Story8	Triangular2	14	D2H3	>CP
Story8	Triangular2	15	D2H3	>CP
Story8	Triangular2	16	D2H3	>CP
Story8	Triangular2	17	D2H3	>CP
Story8	Triangular2	18	D2H3	>CP
Story7	Triangular2	9	D2H4	>CP
Story7	Triangular2	10	D2H4	>CP
Story7	Triangular2	11	D2H4	>CP
Story7	Triangular2	12	D2H4	>CP
Story7	Triangular2	13	D2H4	>CP
Story7	Triangular2	14	D2H4	>CP
Story7	Triangular2	15	D2H4	>CP
Story7	Triangular2	16	D2H4	>CP
Story7	Triangular2	17	D2H4	>CP
Story7	Triangular2	18	D2H4	>CP
Story6	Triangular2	5	D2H5	>CP
Story6	Triangular2	6	D2H5	>CP
Story6	Triangular2	7	D2H5	>CP
Story6	Triangular2	8	D2H5	>CP
Story6	Triangular2	9	D2H5	>CP
Story6	Triangular2	10	D2H5	>CP
Story6	Triangular2	11	D2H5	>CP
Story6	Triangular2	12	D2H5	>CP
Story6	Triangular2	13	D2H5	>CP
Story6	Triangular2	14	D2H5	>CP
Story6	Triangular2	15	D2H5	>CP
Story6	Triangular2	16	D2H5	>CP
Story6	Triangular2	17	D2H5	>CP
Story6	Triangular2	18	D2H5	>CP
Story5	Triangular2	17	C3H11	>CP
Story5	Triangular2	18	C3H11	>CP
Story5	Triangular2	3	D2H6	>CP
Story5	Triangular2	4	D2H6	>CP
Story5	Triangular2	5	D2H6	>CP
Story5	Triangular2	6	D2H6	>CP
Story5	Triangular2	7	D2H6	>CP
Story5	Triangular2	8	D2H6	>CP
Story5	Triangular2	9	D2H6	>CP
Story5	Triangular2	10	D2H6	>CP
Story5	Triangular2	11	D2H6	>CP
Story5	Triangular2	12	D2H6	>CP
Story5	Triangular2	13	D2H6	>CP
Story5	Triangular2	14	D2H6	>CP
Story5	Triangular2	15	D2H6	>CP
Story5	Triangular2	16	D2H6	>CP
Story5	Triangular2	17	D2H6	>CP
Story5	Triangular2	18	D2H6	>CP
Story4	Triangular2	17	C3H13	>CP
Story4	Triangular2	18	C3H13	>CP
Story4	Triangular2	18	C3H14	>CP
Story4	Triangular2	4	D2H7	>CP
Story4	Triangular2	5	D2H7	>CP
Story4	Triangular2	6	D2H7	>CP
Story4	Triangular2	7	D2H7	>CP
Story4	Triangular2	8	D2H7	>CP
Story4	Triangular2	9	D2H7	>CP
Story4	Triangular2	10	D2H7	>CP
Story4	Triangular2	11	D2H7	>CP
Story4	Triangular2	12	D2H7	>CP
Story4	Triangular2	13	D2H7	>CP
Story4	Triangular2	14	D2H7	>CP
Story4	Triangular2	15	D2H7	>CP
Story4	Triangular2	16	D2H7	>CP
Story4	Triangular2	17	D2H7	>CP
Story4	Triangular2	18	D2H7	>CP
Story3	Uniform1	17	D2H8	LS to CP
Story3	Uniform1	18	D2H8	LS to CP
Story3	Uniform2	12	D2H8	LS to CP
Story3	Uniform2	13	D2H8	LS to CP
Story3	Uniform2	14	D2H8	LS to CP
Story3	Uniform2	15	D2H8	LS to CP
Story3	Uniform2	16	D2H8	LS to CP
Story3	Uniform2	17	D2H8	LS to CP
Story3	Triangular2	4	D2H8	>CP
Story3	Triangular2	5	D2H8	>CP
Story3	Triangular2	6	D2H8	>CP
Story3	Triangular2	7	D2H8	>CP
Story3	Triangular2	8	D2H8	>CP
Story3	Triangular2	9	D2H8	>CP
Story3	Triangular2	10	D2H8	>CP
Story3	Triangular2	11	D2H8	>CP
Story3	Triangular2	12	D2H8	>CP
Story3	Triangular2	13	D2H8	>CP
Story3	Triangular2	14	D2H8	>CP
Story3	Triangular2	15	D2H8	>CP
Story3	Triangular2	16	D2H8	>CP
Story3	Triangular2	17	D2H8	>CP
Story3	Triangular2	18	D2H8	>CP
Story2	Triangular2	17	C3H17	>CP
Story2	Triangular2	18	C3H17	>CP
Story2	Uniform1	12	D2H9	LS to CP
Story2	Uniform1	13	D2H9	LS to CP
Story2	Uniform1	14	D2H9	LS to CP
Story2	Uniform1	15	D2H9	LS to CP
Story2	Uniform1	16	D2H9	LS to CP
Story2	Uniform1	17	D2H9	LS to CP
Story2	Uniform1	18	D2H9	LS to CP
Story2	Uniform2	12	D2H9	LS to CP
Story2	Uniform2	13	D2H9	LS to CP
Story2	Uniform2	14	D2H9	LS to CP
Story2	Uniform2	15	D2H9	LS to CP
Story2	Uniform2	16	D2H9	LS to CP
Story2	Uniform2	17	D2H9	LS to CP
Story2	Triangular2	4	D2H9	>CP
Story2	Triangular2	5	D2H9	>CP

Story2	Triangular2	6	D2H9	>CP
Story2	Triangular2	7	D2H9	>CP
Story2	Triangular2	8	D2H9	>CP
Story2	Triangular2	9	D2H9	>CP
Story2	Triangular2	10	D2H9	>CP
Story2	Triangular2	11	D2H9	>CP
Story2	Triangular2	12	D2H9	>CP
Story2	Triangular2	13	D2H9	>CP
Story2	Triangular2	14	D2H9	>CP
Story2	Triangular2	15	D2H9	>CP
Story2	Triangular2	16	D2H9	>CP
Story2	Triangular2	17	D2H9	>CP
Story2	Triangular2	18	D2H9	>CP
Story1	Triangular2	15	C3H20	>CP
Story1	Triangular2	16	C3H20	>CP
Story1	Triangular2	17	C3H19	>CP
Story1	Triangular2	17	C3H20	>CP
Story1	Triangular2	18	C3H19	>CP
Story1	Triangular2	18	C3H20	>CP
Story1	Uniform2	14	D2H10	LS to CP
Story1	Uniform2	15	D2H10	LS to CP
Story1	Uniform2	16	D2H10	LS to CP
Story1	Uniform2	17	D2H10	LS to CP
Story1	Triangular2	8	D2H10	>CP
Story1	Triangular2	9	D2H10	>CP
Story1	Triangular2	10	D2H10	>CP
Story1	Triangular2	11	D2H10	>CP
Story1	Triangular2	12	D2H10	>CP
Story1	Triangular2	13	D2H10	>CP
Story1	Triangular2	14	D2H10	>CP
Story1	Triangular2	15	D2H10	>CP
Story1	Triangular2	16	D2H10	>CP
Story1	Triangular2	17	D2H10	>CP
Story1	Triangular2	18	D2H10	>CP

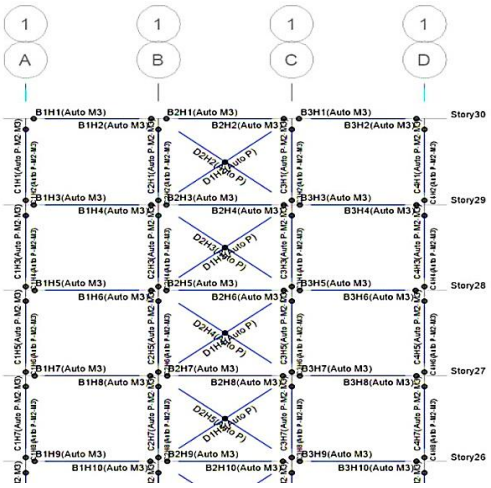
همچنین در شناسه مفاصل نشان داده شده در (جدول ۷، ۸ و ۹) بر اساس خروجی نرم افزار ایتبس نامگذاری شده و حروف لاتینD ، B و C به ترتیب بیانگر محل مفصل پلاستیک در مقاطع مهاربند، تیر و ستون ها و اعداد ۱ و ۲ مقابل حروف لاتین به ترتیب بیانگر محل تشکیل مفصل پلاستیک در ۰/۰۵ و ۰/۹۵ ابتدایی و انتهایی اعضای سازه‌ای می باشند. حرف لاتین H بیانگر مفصل پلاستیک و اعداد مقابل آن بیانگر شماره مفصل اختصاصی نرم‌افزار می‌باشد. در (شکل۷، ۸ و ۹) مقاطعی از قاب های سازه‌ای به همراه شناسه مفاصل آنها نمایش داده شده است.



شکل۷– شناسه مفاصل مقطعی از قاب ۱۰ طبقه



شکل۸ – شناسه مفاصل مقطعی از قاب ۲۰ طبقه



شکل ۹– شناسه مفاصل مقطعی از قاب ۳۰ طبقه

۷- تحلیل تاریخچه زمانی[۱] غیر خطی

در مطالعه حاضر ۷ زوج شتاب نگاشت استخراج شده از سایت PEER NGA با مشخصات ذکر شده در (جدول ۱۰) به کارگیری شده‌است.

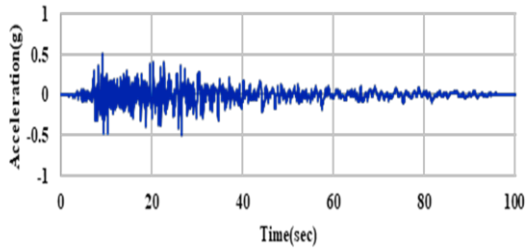
جدول۱۰- مشخصات شتاب نگاشت های به کاربرده شده

شناسه نرم افزاری	ایستگاه	Mag	سال رویداد	شتاب نگاشت
Bam	Abaragh	۶/۶	۲۰۰۳	Bam Iran
Cape	Petrolia	۷/۰۱	۱۹۹۲	Cape Mendocino
IMV	Delta	۶/۵۳	۱۹۷۹	Imperial Valley-06
Kobe	Takatori	۶/۹	۱۹۹۵	Kobe Japan
Manjil	Abhar	۷/۳۷	۱۹۹۰	Manjil Iran
Northridge	Rinaldi Receiving Sta	۶/۶۹	۱۹۹۴	Northridge-01
Tabas	Tabas	۷/۳۵	۱۹۷۸	Tabas Iran

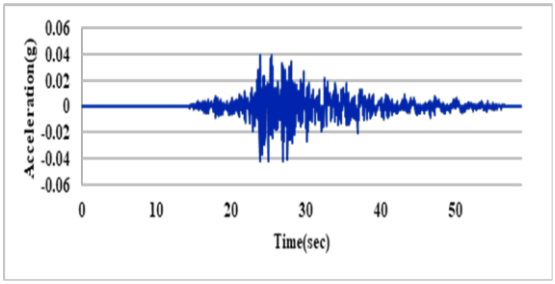
۸- ساده‌سازی شتاب‌نگاشت

در پژوهش حاضر به جهت همپایه نمودن شتابنگاشت ها بر اساس ASCE/SEI۱۳-۴۱، طیف شتاب را با توجه به مشخصات ساختگاه از پایگاه داده سایت مرکز تحقیقات مهندسی زلزله‌های خاص (PEER) استخراج نموده و با استفاده از نرم افزار SeismoSignal همپایه نموده و در ادامه طیف شتاب زلزله مورد نظر استخراج می‌گردد [۱۳]. به سبب سهولت وکاهش زمان انجام تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی توسط نرم‌افزار ETABS۲۰۱۹، رکوردهای ساده‌سازی شده به کار برده شده‌اند. در روش ساده‌سازی در نظر گرفته شده، طیف فوریه زلزله مورد نظر محاسبه گردیده و با استفاده از تبدیل معکوس فوریه که توسط برنامه نرم‌افزاری عملکرد (Performance) استخراج گردیده رکورد جدیدی بر اساس فرکانس اصلی رکورد با گام‌های زمانی بزرگ در محدوده ۵ الی ۱۰ برابر گام زمانی رکورد اصلی به دست آمده که بدین ترتیب سبب کاهش مدت زمان تحلیل تاریخچه زمانی توسط نرم‌افزار می‌گردد. همچنین درصد خطای پاسخ‌های محاسبه شده با توجه به سیستم سازه‌ای و ویژگی‌های زلزله در محدوده‌ی ۵ الی ۱۰ درصد می‌باشد[۱۴]. در تحقیق حاضر شتاب‌نگاشت رکوردهای ساده‌سازی شده مورد نظر در (شکل‌های ۱۰ تا ۱۶) نمایش داده شده‌اند.

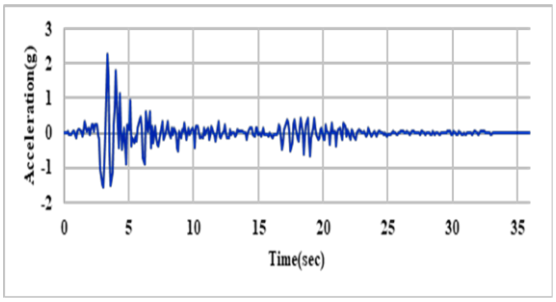
[۱] Time History Analysis



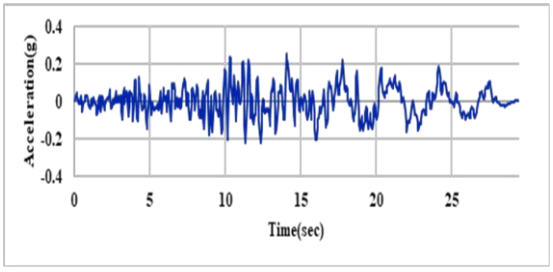
شکل۱۰- رکورد ساده شده زلزله IMV



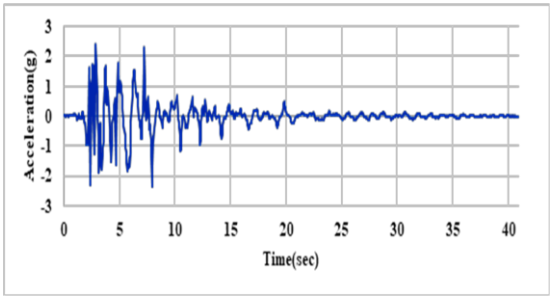
شکل۱۱- رکورد ساده شده زلزله Bam



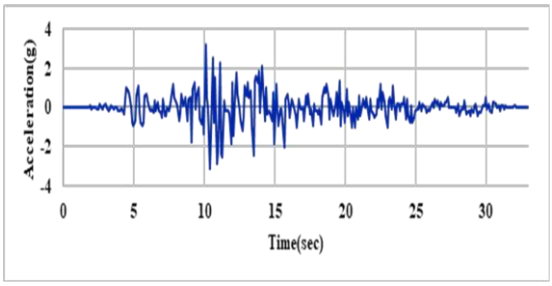
شکل۱۲- رکورد ساده شده زلزله Cape



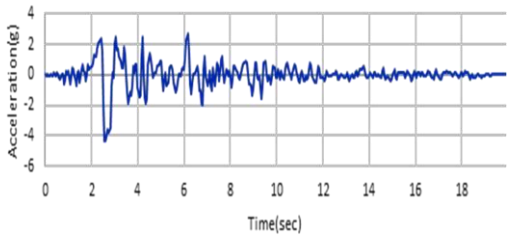
شکل۱۳- رکورد ساده شده زلزله Manjil



شکل۱۴- رکورد ساده شده زلزله Kobe



شکل۱۵– رکورد ساده شده زلزله Tabas

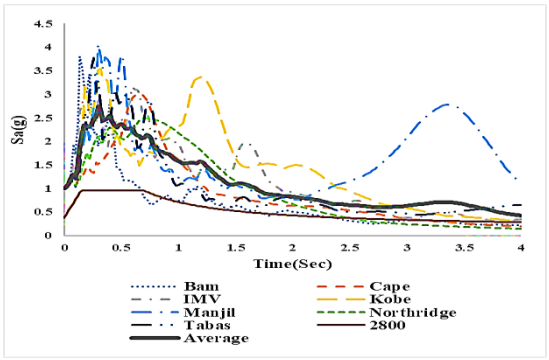


شکل۱۶– رکورد ساده شده زلزله Northridge

۹- مقیاس‌کردن شتاب‌نگاشت

روش‌های مختلفی در آیین نامه‌های مختلف برای مقیاس‌کردن شتاب‌نگاشت‌ها وجود دارد اما در مطالعه حاضر روش آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش ۴ مورد استفاده قرار گرفته است به طوری که میانگین طیف پاسخ شتاب نگاشت‌ها با میرایی ۵ درصد در بازه زمان ۰/۲ الی ۱/۵ برابر دوره تناوب سازه از طیف پاسخ طراحی بیشتر باشد و در آیین نامه مذکور طبق تبصره ۲-۴ در سازه‌های دو بعدی می توان از ضریب R_u / ۱ صرف نظر نمود [۷].

روش‌های متفاوتی در آیین نامه‌های گوناگون برای مقیاس‌کردن شتاب‌نگاشت‌ها وجود دارد که در مطالعه حاضر روش مقیاس‌کردن شتاب‌نگاشت ها بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش چهارم می‌باشد. مطابق با آیین نامه ۲۸۰۰ ابتدا شتاب‌نگاشت‌ها به حداکثر مقدار (PGA) شتاب ثبتی تقسیم می‌گردند و در ادامه در بازه زمانی ۰/۲ الی ۱/۵ برابر زمان تناوب سازه، ضریب مقیاس باید به گونه ای تعیین شود که طیف شتاب نگاشت‌های مقیاس شده بالاتر از طیف طرح آیین نامه ۲۸۰۰ قرار گیرد [۱۵]. نمودار طیف پاسخ شتاب‌نگاشت‌ها و میانگین آن ها در (شکل ۱۷) نمایش داده شده‌است و همچنین ضرایب مقیاس مطابق با آیین نامه ۲۸۰۰ تعیین شده و در (جدول ۱۱، ۱۲ و ۱۳) نشان داده شده‌است[۱۵]:



شکل۱۷– طیف پاسخ و میانگین شتاب نگاشت ها و طیف پاسخ آیین نامه ۲۸۰۰

جدول۱۱– ضرایب مقیاس قاب ۱۰ طبقه مطابق با آیین نامه ۲۸۰۰

شتاب نگاشت	PGA	Scale Factor
Bam	۰/۰۴۲۲	۲۵/۸۰۴
Cape	۲/۲۹۵	۰/۴۳۵
IMV	۰/۵۰۴۲	۱/۹۸۳
Kobe	۲/۴۱۳	۰/۴۱۴
Manjil	۰/۲۵۴	۳/۹۲۸
Northridge	۴/۳۳۸	۰/۲۳۰
Tabas	۳/۱۸۵	۰/۳۱۳

جدول۱۲– ضرایب مقیاس قاب ۲۰ طبقه مطابق با آیین نامه ۲۸۰۰

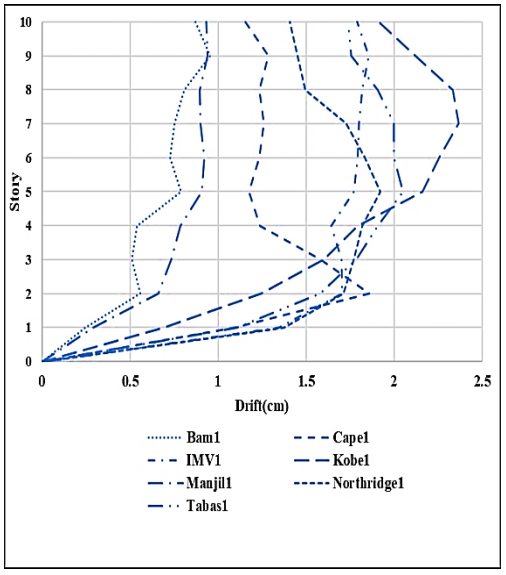
شتاب نگاشت	PGA	Scale Factor
Bam	۰/۰۴۲۲	۲۵/۸۰۴
Cape	۲/۲۹۵	۰/۴۳۵
IMV	۰/۵۰۴	۱/۹۸۳
Kobe	۲/۴۱۳	۰/۴۱۴
Manjil	۰/۲۵۴	۳/۹۲۸
Northridge	۴/۳۳۸	۰/۲۳۰
Tabas	۳/۱۸۵	۰/۳۱۴

جدول۱۳- ضرایب مقیاس قاب ۳۰ طبقه مطابق با آیین نامه ۲۸۰۰

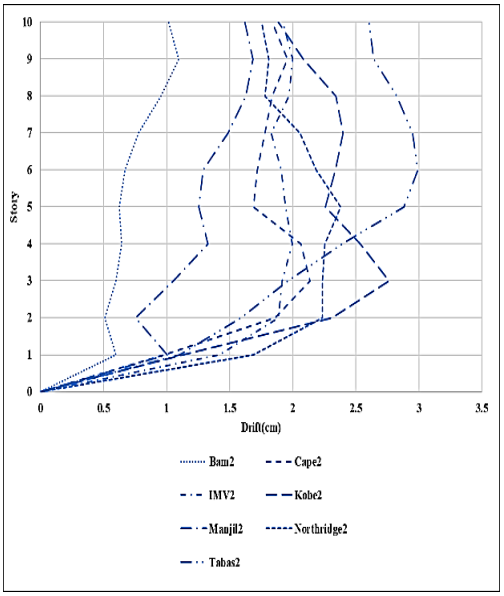
شتاب نگاشت	PGA	Scale Factor
Bam	۰/۰۴۲۲	۳۱/۶۵۲
Cape	۲/۲۹۵	۰/۴۳۵
IMV	۰/۵۰۴	۱/۹۸۳
Kobe	۲/۴۱۳	۰/۴۱۴
Manjil	۰/۲۵۴	۳/۹۲۸
Northridge	۴/۳۳۸	۰/۲۸۸
Tabas	۳/۱۸۵	۰/۳۱۳

۱۰- نتایج و بحث

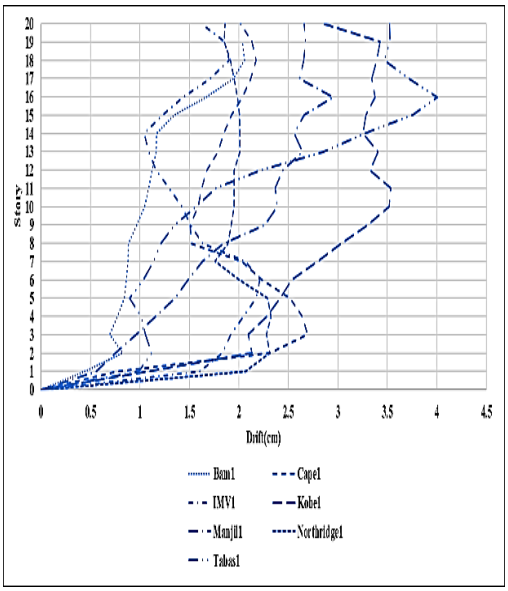
قاب‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ طبقه مذکور همراه با و در صورت عدم وجود میراگرهای ویسکوز و جداسازهای لاستیکی با هسته سربی تحت تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی با وجود شتاب‌نگاشت‌های مقیاس‌شده نامبرده شده مطابق با آیین‌نامه ۲۸۰۰ قرا گرفته شد و نتایج حاصل از تحلیل به صورت منحنی دریفت میان طبقه‌ای در تراز طبقات در (شکل‌های ۱۸ تا ۲۹) قابل مشاهده می‌باشد [۱۵].



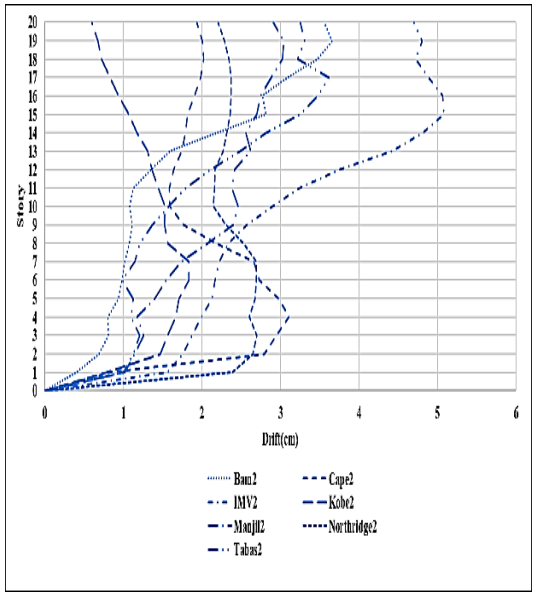
شکل۱۸- منحنی تغییرات مکان نسبی طبقات قاب ۱۰ طبقه در حالت عدم وجود میراگر و جداساز تحت رکورد زلزله تحت بار ثقلی ۱



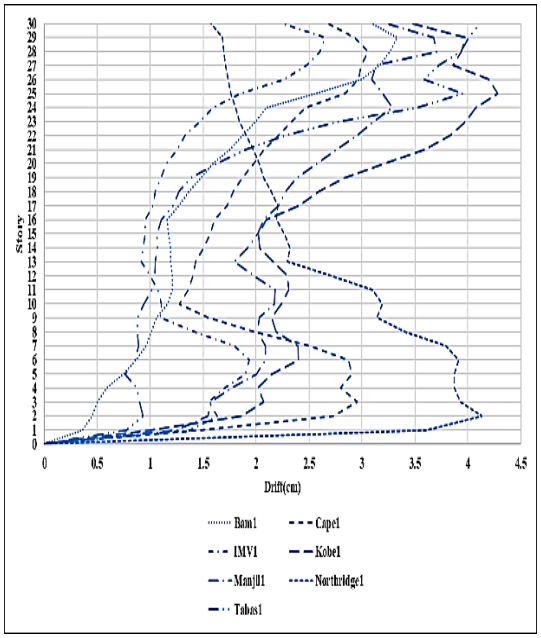
شکل۱۹- منحنی تغییرات مکان نسبی طبقات قاب ۱۰ طبقه در حالت عدم وجود میراگر و جداساز تحت رکورد های زلزله تحت بار ثقلی ۲



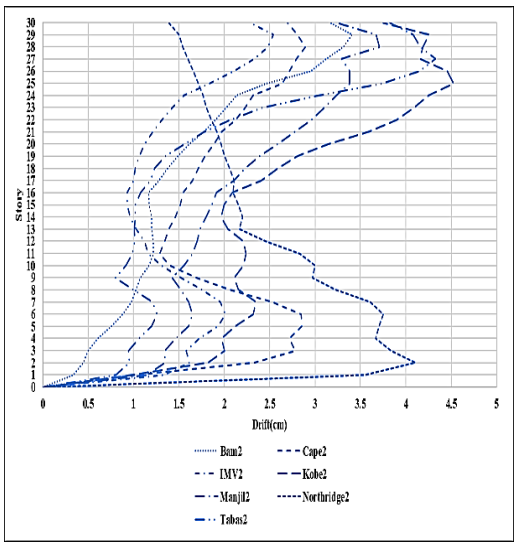
شکل۲۰- منحنی تغییرات مکان نسبی طبقات قاب ۲۰ طبقه در حالت عدم وجود میراگر و جداساز تحت رکورد های زلزله تحت بار ثقلی ۱



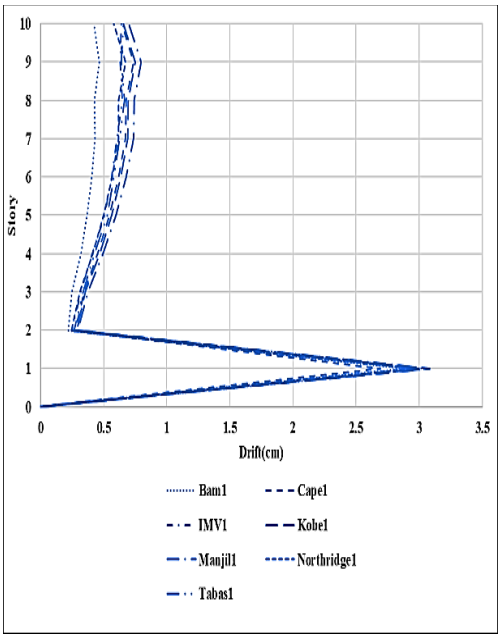
شکل۲۱- منحنی تغییرات مکان نسبی طبقات قاب ۲۰ طبقه در حالت عدم وجود میراگر و جداساز تحت رکورد های زلزله تحت بار ثقلی ۲



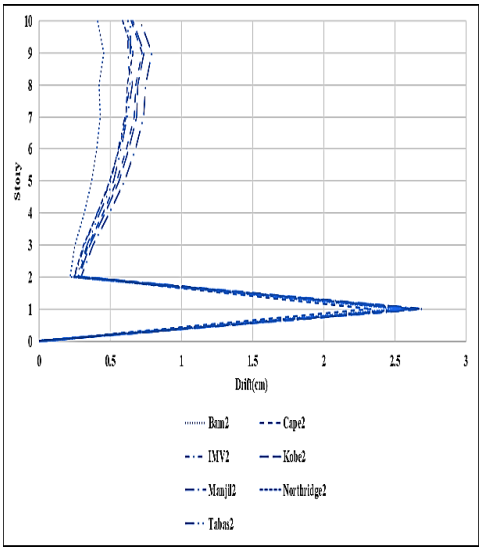
شکل۲۲- منحنی تغییرات مکان نسبی طبقات قاب ۳۰ طبقه در حالت عدم وجود میراگر و جداساز تحت رکوردهای زلزله تحت بار ثقلی۱



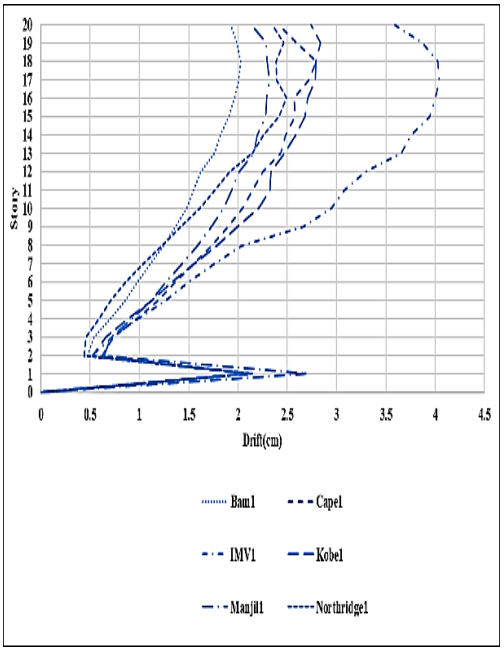
شکل۲۳- منحنی تغییرات مکان نسبی طبقات قاب ۳۰ طبقه در حالت عدم وجود میراگر و جداساز تحت رکورد های زلزله تحت بار ثقلی۲



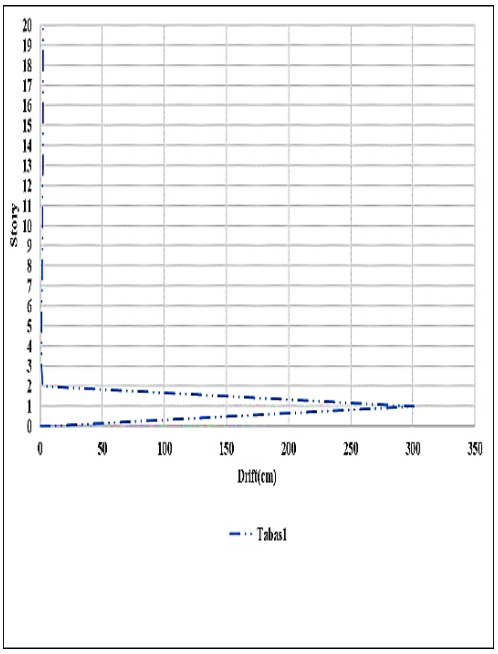
شکل۲۴- منحنی تغییرات مکان نسبی طبقات قاب ۱۰ طبقه در حالت وجود میراگر و جداساز تحت رکورد های زلزله تحت بار ثقلی۱

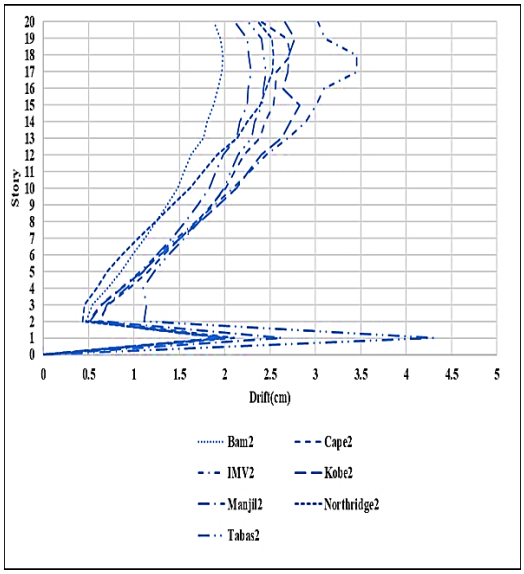


شکل۲۵- منحنی تغییرات مکان نسبی طبقات قاب ۱۰ طبقه در حالت وجود میراگر و جداساز تحت رکورد های زلزله تحت بار ثقلی۲

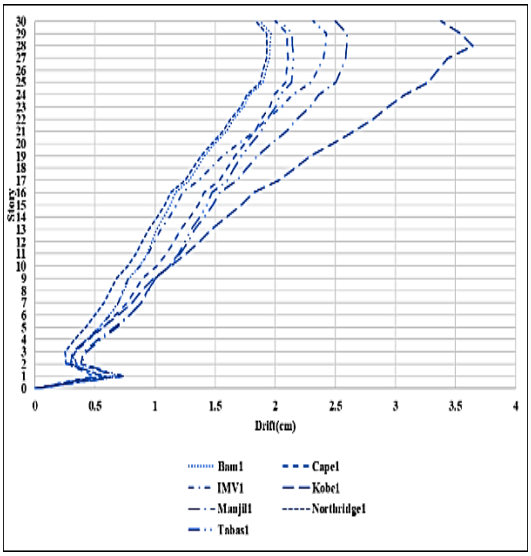


شکل۲۶- منحنی تغییرات مکان نسبی طبقات قاب ۲۰ طبقه در حالت وجود میراگر و جداساز تحت رکورد های زلزله تحت بار ثقلی۱

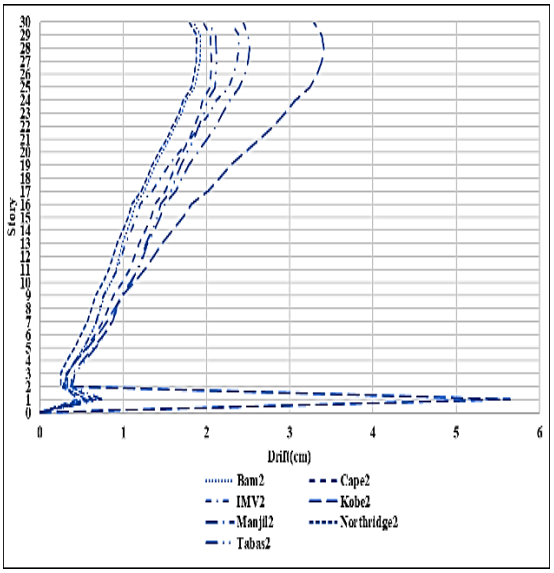




شکل۲۷- منحنی تغییرات مکان نسبی طبقات قاب ۲۰ طبقه در حالت وجود میراگر و جداساز تحت رکورد های زلزله تحت بار ثقلی۲



شکل۲۸- منحنی تغییرات مکان نسبی طبقات قاب ۳۰ طبقه در حالت وجود میراگر و جداساز تحت رکورد های زلزله تحت بار ثقلی۱



شکل۲۹: منحنی تغییرات مکان نسبی طبقات قاب ۳۰ طبقه در حالت وجود میراگر و جداساز تحت رکورد های زلزله تحت بار ثقلی۲

در ادامه با تعیین میزان تغییر مکان نسبی بام تحت تحلیل استاتیکی غیر خطی مطابق با آیین نامه ASCE/SEI۴۱-۱۳ و تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی برای هر دو حالت عدم وجود میراگرهای ویسکوز و جداساز لاستیکی با هسته سربی مطابق با (جداول ۱۴ تا ۱۶) برای تحلیل استاتیکی غیر خطی (پوش اُور) و (جداول ۱۷ تا ۱۹) برای تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی به قیاس نتایج پرداخته شده و نشان داده شده‌است [۱۳].

جدول ۱۴- تغییر مکان نسبی بام بر اساس تحلیل پوش‌اُور برای قاب ۱۰ طبقه

نمونه بار	بار ثقلی	سازه اصلی	وجود میراگر و جداساز
		(cm)	(cm)
Uniform	۱	۱/۱۰۷	۰/۲۹۱
	۲	۱/۱۰۳	۰/۲۹۶
Triangular	۱	۱/۳۷۶	۰/۵۰۶
	۲	۱/۴۵۸	۰/۵۱۳

جدول ۱۵- تغییر مکان نسبی بام بر اساس تحلیل پوش اُور برای قاب ۲۰ طبقه

نمونه بار	بار ثقلی	سازه اصلی	وجود میراگر و جداساز
		(cm)	(cm)
Uniform	۱	۱/۹۱۲	۱/۰۲۳
	۲	۱/۹۸۶	۱/۰۱۱
Triangular	۱	۲/۹۰۴	۱/۸۷۸
	۲	۳/۰۳۶	۱/۸۵۱

جدول ۱۶- تغییر مکان نسبی بام بر اساس تحلیل پوش اُور برای قاب ۳۰ طبقه

نمونه بار	بار ثقلی	سازه اصلی	وجود میراگر و جداساز
		(cm)	(cm)
Uniform	۱	۲/۰۰۱	۰/۹۷۹
	۲	۱/۹۷۶	۰/۹۶۴
Triangular	۱	۳/۶۰۷	۲/۰۱۹
	۲	۳/۷۰۳	۱/۹۸۳

جدول۱۷- تغییر مکان نسبی نقطه هدف(بام) بر اساس تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی برای قاب ۱۰ طبقه

نام رکورد	نوع بار ثقلی	تغییر مکان نسبی سازه اصلی	تغییر مکان نسبی سازه همراه با جداساز و میراگر
		(cm)	(cm)
Bam	۱	۰/۸۷۲۷	۰/۴۲۲۵
	۲	۱/۰۱۳۸	۰/۴۰۹۴
Cape	۱	۱/۱۵۵۷	۰/۶۴۲۹
	۲	۱/۸۳۷۵	۰/۶۴۷۱
IMV	۱	۱/۷۸۹۳	۰/۶۳۹۴
	۲	۱/۹۱۸۹	۰/۶۲۳۳
Kobe	۱	۱/۹۱۱۱	۰/۶۵۶۲
	۲	۱/۸۸۷۲	۰/۶۵۸۵
Manjil	۱	۰/۹۳۳۶	۰/۶۹۷۹
	۲	۱/۶۲۰۹	۰/۷۰۸۵
Northridge	۱	۱/۴۰۶۹	۰/۵۸۲۴

	۲	۱/۷۵۳۱	۰/۵۸۷
Tabas	۱	۱/۷۳۹۶	۰/۶۵۷۹
	۲	۲/۶۰۲۸	۰/۶۴۰۸

جدول۱۸- تغییر مکان نسبی نقطه هدف(بام) بر اساس تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی برای قاب ۲۰ طبقه

نام رکورد	نوع بار ثقلی	تغییر مکان نسبی سازه اصلی (cm)	تغییر مکان نسبی سازه همراه با جداساز و میراگر (cm)
Bam	۱	۱/۷۹۱	۱/۹۲۸۴
	۲	۳/۵۵۶۵	۱/۸۸۲۲
Cape	۱	۲/۰۱۷۴	۲/۴۱۳۴
	۲	۱/۹۳۳۹	۲/۴۰۲۸
IMV	۱	۱/۶۲۲۸	۳/۵۸۸۴
	۲	۴/۶۹۸۴	۳/۰۲۸۴
Kobe	۱	۲/۸۶۴۲	۲/۷۴۲۸
	۲	۰/۶۰۰۴	۲/۶۶۴۸
Manjil	۱	۲/۶۵۸۱	۲/۱۳۵۳
	۲	۲/۹۰۸۳	۲/۱۱۰۵
Northridge	۱	۱/۸۵۷۵	۲/۳۴۶۲
	۲	۲/۲۰۴۲	۲/۳۶۸۱
Tabas	۱	۳/۵۲۲	۲/۱۹۵۷
	۲	۳/۲۵۳۵	۲/۲۵۷۲

جدول۱۹- تغییر مکان نسبی نقطه هدف(بام) بر اساس تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی برای قاب ۳۰ طبقه

نام رکورد	نوع بار ثقلی	تغییر مکان نسبی سازه اصلی (cm)	تغییر مکان نسبی سازه همراه با جداساز و میراگر (cm)
Bam	۱	۳/۰۹۱۷	۱/۸۷۱۹
	۲	۳/۱۷۰۶	۱/۸۴۶۶
Cape	۱	۲/۶۷۷۶	۲/۰۰۱۲
	۲	۲/۶۹۶	۱/۹۵۹۱
IMV	۱	۲/۲۴۶۹	۲/۳۱۴۳
	۲	۲/۲۹۱۹	۲/۲۹۱۵
Kobe	۱	۳/۴۶۹۸	۳/۳۷۶
	۲	۳/۷۵۲	۳/۲۹۲۳
Manjil	۱	۳/۲۲۹۲	۲/۵۰۰۸
	۲	۳/۲۴۷۷	۲/۴۴۰۵
Northridge	۱	۱/۵۷۵۶	۱/۸۳۸۹
	۲	۱/۳۸۷۸	۱/۷۹۸۵
Tabas	۱	۴/۱۱۶۳	۲/۰۴۳
	۲	۳/۸۲۴۹	۲/۰۲۱۷

۱۱- نتیجه‌گیری

قاب‌های ۱۰ ، ۲۰ و ۳۰ طبقه با وجود توام میراگر ویسکوز و سیستم جداساز لاستیکی با هسته سربی و در صورت عدم وجود سیستم‌های مذکور مورد بررسی قرار گرفته و نتایج عبارتند از :

۱- به کارگیری توام میراگر ویسکوز و جداساز لاستیکی با هسته سربی در قاب ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سبب تغییر سطح عملکرد اکثر مفاصلی که در سطح عملکرد آستانه فروریزش (LS-CP) و فروریزش(CP) قرار دارند به سطح عملکرد استفاده بی‌وقفه(IO) می‌شود. در واقع افزودن جداساز و میراگر سبب ورود تعدادی از اعضای سازه به ناحیه فرا ارتجاعی تحت تاثیر نیروی جانبی گردیده و سبب بهبود و افزایش سطح عملکرد سازه شده است. با توجه به جدول(۵ و ۶) افزودن میراگر و جداساز به قاب ۱۰، ۲۰ و ۳۰ طبقه سبب کاهش مقاومت و سختی نسبت به حالت اصلی که دارای مقاومت و سختی زیادی می‌باشد گردیده است. همچنین افزودن میراگر و جداساز سبب رفتار شکل‌پذیر سازه در مقایسه با قاب اصلی که دارای شکل‌پذیری اندک می باشد گردیده است.

۲- مطابق با آیین نامه ۲۸۰۰ حداکثر دریفت ۰/۰۲ ارتفاع طبقه در هر تراز برای سازه‌های با بیش از ۵ طبقه می‌باشد که باتوجه ارتفاع طبقات که به طور ثابت برابر ۳ متر در نظرگرفته شده‌است مقدار مجاز دریفت برای هر طبقه برابر با ۶ سانتی متر می باشد و مطابق با (جداول ۱۴ تا ۱۶) و (جداول ۱۷ تا ۱۹) این اصل برقرار می‌باشد. با بررسی دریفت نسبی حاصل از تحلیل پوش‌اُور و رکوردهای زلزله در طبقه بام با به کارگیری توام میراگر ویسکوز و جداساز لاستیکی با هسته سربی در قاب‌ها می‌توان این چنین نتیجه گیری‌نمود که میزان کاهش دریفت نسبی بام با توجه به (جداول ۱۴ تا ۱۶) تحت تحلیل پوش‌اُور به طور میانگین در قاب ۱۰، ۲۰ و ۳۰ طبقه تحت بارگذاری یکنواخت به ترتیب ۷۳/۴۴ ، ۴۷/۷۹ و ۵۱/۱۴ درصد و در قاب های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ طبقه تحت بارگذاری مثلثی به ترتیب ۶۴/۰۲ ، ۳۷/۱۸ و ۴۵/۲۳ درصد نسبت به سازه اصلی بوده است. همچنین میزان کاهش دریفت نسبی بام با توجه به (جداول۱۷ تا ۱۹) تحت تحلیل دینامیکی غیر خطی به طور میانگین در قاب۱۰ طبقه در محدوده‌ی ۵۶ الی ۶۶ درصد و در قاب ۲۰ طبقه ثابت و یا ۱۲/۵ درصد و در قاب ۳۰ طبقه در محدوده‌ی ۲۲ الی ۲۳ درصد، دریفت نسبی قاب، بدون وجود میراگر و جداساز می‌باشد. به طور کلی می‌توان بیان نمود که کاربرد توام

میراگر ویسکوز و جداساز لاستیکی با هسته سربی سبب کاهش و در مواردی عدم تغییر دریفت نسبی طبقات در سازه که در نتیجه دریفت حداقل در طبقات به دنبال تغییر شکل عمده در تراز پایه به سبب رفتار جداساز و کنترل انرژی زلزله توسط میراگر می باشد، گردیده است.

۳- بررسی (جداول ۵ و ۶) نشان داد که به کارگیری میراگر ویسکوز و جداساز لاستیکی با هسته سربی سبب کاهش نیروی برش پایه متناظر با تغییر مکان هدف در حالت توزیع بار یکنواخت در قاب‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ طبقه به طور میانگین به ترتیب به میزان ۷۰/۲۲ ، ۴۷/۱۰ و ۵۰/۹۱ درصد و در حالت توزیع بار مثلثی در قاب‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ طبقه به طور میانگین به ترتیب به میزان ۶۳/۳۰ ، ۳۷/۲۸ و ۴۴/۹۶ درصد نسبت به نیروی برش پایه متناظر با تغییر مکان هدف در قاب اصلی می‌گردد. هم چنین سبب افزایش تغییر مکان هدف سازه در حالت توزیع بار یکنواخت در قاب‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ طبقه به طور میانگین به ترتیب ۲۶۸/۵۵ ، ۷۳/۲۰ و ۹۰/۷۵ درصد و درحالت توزیع بار مثلثی در قاب‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ طبقه به طور میانگین به ترتیب ۲۱۳/۷ ، ۵۹ و ۱۸۶/۷ درصد نسبت به تغییر مکان هدف سازه اصلی می گردد. به طور کلی می‌توان بدین نتیجه رسید که استفاده توام از میراگر و جداساز سبب افزیش قابل توجه میزان تغییر مکان سازه به سبب افزایش دوره تناوب سازه و کاهش قابل توجه نیروی برش پایه متناظر با آن در نتیجه کاهش شتاب وارده بر سازه می‌گردد.

۴- استفاده توام میراگر ویسکوز و جداساز لاستیکی با هسته سربی سبب افزایش شکل پذیری سازه می‌گردد.

۵- با توجه (جداول ۵ و ۶) می‌توان بدین نتیجه رسید که به کارگیری توام میراگر ویسکوز و جداساز لرزه‌ای سبب افزایش سطح زیر منحنی نیرو-تغییر مکان می‌گردد.

۶- مقایسه (شکل‌های ۱۸ و ۱۹) با (شکل‌های ۲۴ و ۲۵) نشان می‌دهد که به کارگیری میراگر و جداساز در سازه سبب کاهش دریفت نسبی در قاب ۱۰ طبقه گردیده است و همچنین مقایسه (شکل‌های ۲۰ و ۲۱) با (شکل‌های ۲۶ و ۲۷) نشان می‌دهد به کارگیری میراگر و جداساز در قاب ۲۰ طبقه سبب افزایش دریفت نسبی در طبقه اول تحت اثر جداساز و کاهش دریفت نسبی در سایر طبقات سازه گردیده‌است و با مقایسه (شکل‌های ۲۲ و ۲۳) در ارتباط با قاب ۳۰ طبقه با (شکل‌های ۲۸ و ۲۹) می‌توان به این نتیجه دست یافت که به کارگیری توام جداساز و میراگر سبب کاهش قابل توجه دریفت نسبی در طبقات گردیده‌است. در واقع به واسطه به کارگیری جداساز در تراز طبقه اول در قاب ها عمده تغییرشکل در تراز طبقه اول قرار گرفته سبب کاهش دریفت نسبی در سایر طبقات قاب ها گردیده است و همچنین به کارگیری میراگر سبب کاهش دریفت نسبی طبقات به سبب تابع سرعت بودن میراگر ویسکوز به طوری که با محدود کردن سرعت حرکت ناشی از نیروی زلزله سبب کاهش تغییر مکان طبقات در قاب‌ها گردیده است، اشاره نمود.

۱۲-مراجع

[۱] بهنام‌فر، فرهاد؛ نورائی، محمد؛ طالبی ولنی، مهدی. روش سه مرحله‌ای انتخاب شتابنگاشت‌های زلزله برای تحلیل دینامیکی سازه‌ها. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۴۹، شماره ۱، ۱۳۹۶: ۱۳۸-۱۲۷.
Doi: https://doi.org/10.22060/ceej.2016.603.

[۲] قشلاقی، سعید؛ فهیمی فرزام، مازیار؛ ناطقی الهی، فریبرز. ارزیابی رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های قاب فولادی SAC مقاوم‌سازی شده با میراگرهای ویسکوز تحت تاثیر زلزله‌های گسل دور و نزدیک. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره۵۴، شماره ۵، مرداد ۱۴۰۱: ۱۹۸۳-۲۰۰۴.
Doi: https://doi.org/10.22060/ceej.2021.20042.7324
.

[۳] قشلاقی، سعید؛ فهیمی فرزام، مازیار؛ ناطقی الهی، فریبرز. ارزیابی میزان ظرفیت باربری و جذب انرژی قاب‌های فولادی بلندمرتبه مقاوم سازی شده توسط میراگرهای ویسکوز. مهندسی سازه و ساخت، دوره ۸، شماره ۴، اسفند۱۴۰۰: ۳۶۷-۳۸۷.
Doi: https://dx.doi.org/10.22065/jsce.2021.270029.2348 .

[۴] عباس زاده شهانقی، امیر؛ قدرتی امیری، غلامرضا؛ رئیسی دهکردی، مرتضی؛ اقبالی، مهدی. ارزیابی لرزه‌ای قاب‌های فولادی خمشی کوتاه و میان مرتبه با شکل‌پذیری ویژه مجهز به میراگرهای ویسکوز براساس معیارهای فروریزش FEMA P-695 . نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۳، شماره ۶، شهریور۱۴۰۰: ۲۵۳۵-۲۵۶۰.
Doi: https://doi.org/10.22060/ceej.2020.17438.6561
.

[۵] ایمانی کله سر، هوشیار. ارزیابی تأثیر سامانه‌های جداساز لرزه ای لاستیکی هسته سربی و اصطکاکی آونگی تک قوسی با دوره تناوب‌های مختلف در بهبود رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی. نشریه علمی – پژوهشی مهندسی سازه و ساخت ، دوره ۱۰، شماره ۱۰، ۱۴۰۲: ۴۸-۲۴.
Doi: https://doi.org/10.22065/jsce.2023.382356.3017.

[۶] فخاری نیا، میلاد؛ بخشپوری، طاها؛ پورزینلی، سعید. تأثیر جداساز لرزه‌یی لاستیکی با هسته ی سربی بر پتانسیل خرابی پیش رونده‌ی قاب‌های خمشی فولادی تحت بار لرزه‌ای. مجله‌ی مهندسی‌عمران‌شریف، دوره ۳۶.۲، شماره ۱.۱، خرداد۱۳۹۹: ۷۹–۹۰.
Doi:https://doi.org/10.24200/j30.2018.50361.2301.

[7] Sadek F, Mohraz B, Taylor AW, Chung RM. Passive energy dissipation devices for seismic applications. Gaithersburg, MD .National Institute of Standards and Technology .1996. Report No.: NIST IR 5923.
Doi: https://doi.org/10.6028/NIST.IR.5923.

[۸] مرادپور، سولماز؛ دهستانی، مهدی. توزیع بهینه‌ی میراگر ویسکوز در طراحی بر اساس جا به‌جایی مستقیم سازه‌های کنترل شده. نشریه مهندسی سازه و ساخت، دوره۷، شماره ۲، ۱۳۹۹: ۲۱۶–۲۳۸.
Doi:https://doi.org/10.22065/jsce.2019.152256.1684

[9] Akcelyan S, Lignos D G, Hikino T .Adaptive numerical method algorithms for nonlinear viscous and bilinear oil damper models subjected to dynamic loading. Soil Dynamics and Earthquake Engineering.2018; 113: 488-502.
Doi: https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2018.06.021.

[10] National Earthquake Hazards Reduction Program. Library. Report NO 5: NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures.Washington, DC,USA. Accessed 2020 at URL https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-10/fema_2020-nehrp-provisions_part-1-and-part-2.pdf

[۱۱] فهیمی فرزام، مازیار؛ یوسفی، میرامیر. ارزیابی احتمالاتی عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌های قاب خمشی فولادی با جداساز سرب لاستیکی. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره۵۵، شماره ۱، فروردین۱۴۰۲: ۱۶۳–۱۸۴.
Doi: https://doi.org/10.22060/ceej.2022.20865.7563
.

[۱۲] دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور. راهنمای طراحی و اجرای سیستم‌های جداساز لرزه‌ای در ساختمان‌ها. نشریه شماره ۵۲۳ : ۳۴–۴۰. تهران، ۲۰ مرداد ۱۳۹۸.
at URL
https://sama.mporg.ir/sites/Publish/SitePages/ZabetehView.aspx?mdid=5265

[13] American Society of Civil Engineers/Structural Engineering Institute (ASCE/SEI 41-13). Seismic evaluation and retrofit of existing buildings. Reston, Virginia. American Society of Civil Engineers. Accessed 2014 at URL Doi:https://doi.org/10.1061/9780784412855

[۱۴] فاروقی، علیرضا؛ حسینی، محمود. ساده سازی رکورد زلزله برای تحلیل تاریخچه زمانی سریع با استفاده از تبدیل معکوس فوریه. فصلنامه آنالیز سازه–زلزله، دوره۱۶، شماره۳، پاییز ۱۳۹۸:۳۱–۳۸ .
Doi: https://dorl.net/dor/20.1001.1.23456310.1398.16.3.4.3.

[۱۵] سازمان ملی استاندارد ایران، مرکز تحقیقات راه ، مسکن و شهرسازی. آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰ ایران)، ویرایش چهارم. تهران. ۱۳۹۳.
At URL https://pub.bhrc.ac.ir/Index.aspx