J. Analysis of Structure and Earthquake

Volum 20, Issue 1, spring 2023

Issn: 2821-0999

وبگاه مجله: www.civil-strj.maragheh.iau.ir

آنالیز سازه - زلزله

فصلنامه علمی

دوره ۲۰، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲

Investigating the Effects of Using a Rocking Motion System on the Bending Seismic Behavior of Special Steel Frames

Ali Parvari *

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

S.Behnam Beheshti

PhD Student in Structural Engineering, Department of Civil Engineering, Khomein Branch, Islamic Azad University, Khomein, Iran

ali.parvari@iau.ac.ir

DOI: 10.30495/CIVIL.2023.701046

Keywords:

Rocking motion,

viscous damping,

special steel moment frame,

nonlinear dynamic analysis,

Seismic improvement

Abstract

Today, the need to design and implement structures with less vulnerability and damage, and easier repair after an earthquake is essential. Traditional seismically resistant lateral systems can cause serious damage to the structural system and the relative displacements remaining in the structure make it very difficult and uneconomical to repair the structure after an earthquake. The utilize of rocking motion in the structure causes the destruction of destructive seismic effects including energy dissipation and improves the seismic behaviour. In this research, in order to investigate the effects of the rocking motion system on the seismic response of short and tall regular steel buildings, a five- and ten-story steel frames with special moment frame lateral bearing system according to the fourth edition of Standard 2800 and the latest editions of the sixth and tenth national building regulations are designed by Perform3D software. Seven earthquake records were selected and then these records were based on ASCE regulations scaled according to the spectrum of the 2800. By using nonlinear time history analysis, the seismic response of the studied building has been investigated in conditions with and without using a rocking motion system. The results of studies such as base shear, Relative displacement of floors, energy dissipation and lateral and vertical accelerations of the roof indicate that the use of rocking motion system in short and tall steel buildings can significantly improve the seismic response of the structure..

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 می باشد).

فصلنامه علمی
آنالیز سازه - زلزله
دوره ۲۰، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲

بررسی اثرات بهره‌گیری از سیستم حرکت گهواره‌ای در رفتار لرزه‌ای خمشی قاب‌های ویژه فولادی

علی پروری*
استادیار،گروه عمران، دانشکده فنی مهندسی، واحد خمین، دانشگاه آزاد اسلامی، خمین، ایران
سید بهنام بهشتی
دانشجوی دکتری مهندسی سازه، دانشکده فنی مهندسی، واحد خمین، دانشگاه آزاد اسلامی، خمین، ایران
ali.parvari@iau.ac.ir

تاریخ دریافت : ۲۰ آبان ۱۴۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۹ اسفند ۱۴۰۱

چکیده

امروزه نیاز به طراحی واجرای سازه‌هایی با آسیب‌پذیری وخسارت کمتر و تعمیر آسان‌تر پس از وقوع زلزله ضروری می‌باشد. سیستم‌های مقاوم جانبی لرزه‌ای سنتی خسارات جدی را در سیستم سازه‌ای می‌تواند تحمیل کند و جابه جایی‌های نسبی باقی‌مانده درسازه، تعمیر سازه را بعد از وقوع زلزله بسیار سخت و غیر قابل اقتصادی می‌نماید. استفاده از حرکت گهواره‌ای در سازه سبب از بین رفتن اثرات مخرب لرزه‌ای از جمله استهلاک انرژی و بهبود رفتار لرزه‌ای می‌شود. در این مقاله به منظور بررسی اثرات سیستم گهواره‌ای بر روی پاسخ لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی کوتاه و بلند مرتبه منظم یک قاب پنج و ده طبقه فولادی با سیستم باربری جانبی قاب خمشی ویژه مطابق ویرایش چهارم استاندار۲۸۰۰ و آخرین ویرایش‌های مباحث ششم و دهم مقررات ملی ساختمان در نرم‌افزار پرفورم طراحی شده است. سپس هفت رکورد زلزله انتخاب و سپس این رکورد ها براساس آیین نامه ASCE به طیف آیین‌نامه ۲۸۰۰ هم پایه شدند. با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی به بررسی و مقایسه پاسخ لرزه‌ای ساختمان مورد مطالعه در حالت‌های با و بدون بهره‌گیری از سیستم گهواره‌ای پرداخته شده است. نتایج مطالعات نظیر برش پایه، جابجایی نسبی طبقات، انرژی تلف شده و شتاب های جانبی و قائم سقف حاکی از آن است که بهره‌گیری از سیستم حرکت گهواره‌ای درساختمان‌های کوتاه و بلند مرتبه فولادی می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای سبب بهبود پاسخ لرزه‌ای سازه شود.

کلید واژگان: حرکت گهواره‌ای، میراگر ویسکوز، قاب خمشی فولادی ویژه، تحلیل دینامیکی غیرخطی، بهسازی لرزه‌ای

۱-مقدمه

هدف اصلی آیین نامه‌های طراحی لرزه‌ای به حداقل رساندن تلفات جانی و جلوگیری از فروریزش سازه‌ها درهنگام رخدادزلزله می‌باشد و به ضرر و زیانهای اقتصادی ناشی از تعمیر و ترمیم سازه‌ها توجه شده است و با توجه به سطح بالایی از آسیب‌های زمین لرزه‌ای اخیر و به تبع آن هزینه زیاد و عدم توجیح اقتصادی تغییر این خرابی‌ها وصرف وقت باعث ایجاد ایده جدیدی به منظور محدود کردن خسارت درسازه می‌باشد. یکی از راه‌هایی که سبب تسهیل در تعمیر و ترمیم سازه می‌شود و هزینه‌ها را کاهش می‌دهد طراحی به گونه‌ای است که خرابی ناشی از تغییر شکل‌ها به المان‌های قابل تعویض یا جاذب انرژی انتقال داده می‌شود بدینوسیله می‌توان با تعویض المان‌های آسیب دیده از ساختمان با سرعت بیشتری بهره‌برداری کرد سیستم‌های دارای حرکت گهواره‌ای سبب محدود شدن خسارت در سازه می‌شود. در این سیستم‌ها ساختمان به صورت خطی رفتار می‌کنند و رفتار غیر خطی و جذب انرژی در قسمت‌های خطی از سازه که از قبل پیش‌بینی شده اتفاق می‌افتد. در سیستم گهواره‌ای ساده سازه قابلیت بلند شدن را به سادگی دارد و این سیستم به راحتی برای سازه‌های ساختمان‌های لاغر قابل استفاده است اما احتمال بلند شدگی و حرکت جانبی زیاد در این سیستم در زلزله وجود دارد. بنابراین برای جلوگیری از این پدیده از میراگرها در پایه سازه جهت کنترل پاسخ بلند شدگی استفاده می‌گردد که به آن یکی دیگر از حالت‌های استفاده از سیستم گهواره‌ای با میراگرهای پایه‌ای گفته می‌شود.

حجار[1] وهمکاران[۱] در سال ۲۰۰۸ به بررسی سیستم‌هایی با عملکرد بالا با قابلیت تعمیر پس از وقوع زلزله بر روی قاب‌های فولادی با حرکت گهواره‌ای پرداختند. استفاده از فیوزهای اتلاف انرژی قابل تعویض در این سیستم‌ها سبب از بین رفتن تغییر مکان ماندگار در سازه شده است. فرشباف و نیکخو[۲] در مطالعات خود نشان دادند که با محدود کردن خسارت در قسمت‌های از پیش تعیین شده‌ی سازه می‌توان آنها را تعمیر پذیر طراحی نمود. و سازه‌ی دارای رفتار گهواره‌ای سطح عملکرد بهتری را از خود نشان می‌دهد. دیانتی[2] و همکاران[۳] به ارزیابی عملکرد سیستم‌های قاب مهاربندی شده با حرکت گهواره‌ای به منظور افزایش ظرفیت جابه جایی نسبی قبل از بروز آسیب پرداختند. این سیستم دارای اجزایی در پایه ستون است که اجازه بلندشدگی به ستون را در سطح مشخصی از لنگر واژگونی، درنتیجه‌ی نیروهای جانبی می‌دهد. آزوها[3] تا وهمکاران[۴] سیستم‌های دارای خصوصیت برگشت‌پذیری همراه با حرکت گهواره‌ای را پیشنهاد کردند که در این سیستم‌ها با به کارگیری وزن خود سازه به عنوان خاصیت برگشت پذیری می تواند در هنگام وقوع زلزله از خرابی های سازه ممانعت کند. مک ری وکلیفتون[4][۵] به بررسی رفتار لرزه‌ای سازه‌های دارای رفتار گهواره‌ای پرداختند و نشان دادند که با بهره‌گیری از این سیستم سازه‌ای می‌توان پاسخ سازه را کنترل نمود. حسینی و بزرگ زاده [۶]در پژوهشی با بهره گیری ایده هدایت عمدی آسیب سیستم ساختمانی تعمیر پذیر را براساس حرکت گهواره‌ای ساختمان که دارای ابزارهای جاذب انرژی هستند را بیان کردند برای این کار از ایجاد حرکت گهواره‌ای در ساختمان با استفاده از یک تکیه گاه مفصلی مرکزی وابزار های جذب انرژی در ستون های پیرامونی نصب می‌شود استفاده کردند نتایج بیانگر آن است در ساختمان مذکور علاوه بر افزایش زمان تاوب سازه منجر به آسیب کمتری نیز می‌شود. پولینو[5][۷] در بررسی‌های خود نشان داد با استفاده از سیستم گهواره‌ای می‌توان سطح عملکرد ساختمان‌های فولادی با مهاربند ضربدری را افزایش داد. مکریس و واسیلیو[6][۸] در بررسی‌های خود نشان داد یکی از آسیب‌های لرزه‌ای مهمی که در اکثر ساختمان‌ها بوجود می‌آید در محل اتصال ستون به شالوده می‌باشد که می‌توان با استفاده از سیستم گهواره‌ای تا حدودی این مشکل را برطرف نمود. سراوولو[7] و همکاران[۹] در بررسی-های خود نشان دادند که می‌توان با استفاده از سیستم‌های کنترل نیمه فعال پاسخ لرزه‌ای سازه‌های دارای حرکات گهواره‌ای را در برابر پالس-های دینامیکی کنترل نمود. سراوولو و همکاران[۹] در بررسی‌های خود بر روی حرکت گهواره‌ای سازه‌ها نشان داده‌اند که با بهره‌گیری از سیستم‌های کنترل نیمه فعال نسبت به حالتی که تکیه گاه‌های سازه صلب است می‌توان پاسخ سازه را در برابر زلزله کنترل نمود. وتر و همکاران [۱۰] در مطالعات خود کارایی سیستم های سازه‌ای کوتاه و میان مرتبه با حرکت گهواره ای در مقایسه با سازه های متعارف را به منظور ارزیابی عملکرد لرزه ای بررسی نمودند با در نظر گرفتن تحلیل های تاریخچه زمانی متعدد مجموعه رکورد های حوزه دور و در نظر گرفتن مواردی نظیر دریفت های کل و خمشی و تغیر مکان پسماند انجام گردید که نتایج نشان دادند کاهش دریفت در سازه نوین تا میزان ۵۰ و۹۰٪ بوده است. نتایج مطالعات نیکخواه و سروقد مقدم[۱۱] حاکی از آن است که به طور کلی با افزایش مؤلفه قائم زلزله، شتاب قائم در هر دو سیستم گیردار و گهواره‌ای افزایش پیدا می‌کند. میزان بلند شدگی در سیستم‌گیردار برابر صفر است، اما در سیستم گهواره‌ای افزایش مؤلفه قائم زلزله تاثیر زیادی بر روی میزان بلند شدگی و فرورفتگی ندارد. مطالعات سروقد مقدم ورهگذر[۱۲] با عنوان نسبت تغیر مکان غیر الاستیک سازه های دارای حرکت گهواره ای در زلزله های حوزه دور و نزدیک به

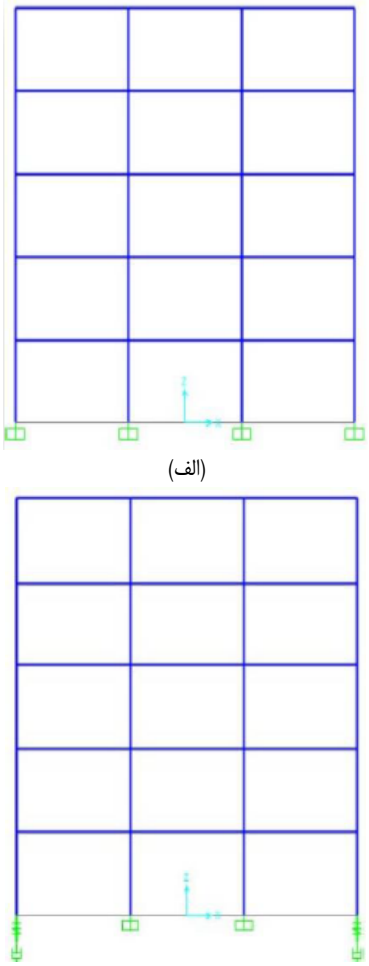
[1]. Hajjar
[2]. Dyanati
[3]..Azuhata
[4]. MacRae , Clifton

[5]. Pollino
[6]. Makris, Vassiliou
[7]. Ceravolo

گسل پالس گونه بیانگر آن است تاثیر پارامتر های دوره تناوب پالس زلزله، دوره تناوب غالب رکورد ها و پارامتر های مدلسازی نظیر سختی پس از تسلیم و نسبت انرژی اتلافی برتغیرمکان غیر الاستیک قابل ملاحظه است و پارامترهایی نظیر بزرگای زلزله و فاصله تاثیر کمتری برنتایج تحلیل داشته است. رهگذر و همکاران[۱۳] در تحقیقات خود بیان کردند که از جدیدترین سیستم‌های سازه‌ای سیستم‌های گهواره‌ای هستند که توسط بخش مرکزی سازه کنترل می‌شوند که می‌توانند سبب کاهش دریفت طبقات و جذب انرژی بالا و کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه شوند. این سیستم‌های سازه‌ای برای استفاده در برابر پالس‌های قدرتمند زلزله‌های حوزه نزدیک گسل نیز مناسب هستند. حسینی و اسدی [۱۴] در پژوهشی به بررسی ساختمان های فولادی با پلان مستطیل شکل با بهره گیری از حرکت گهواره ای تحت اثر زلزله های حوزه دور پرداختند که نتایج آن نشان داد سازه های با حرکت گهواره ای با افزایش ارتفاع از ۱۰ طبقه تا ۲۰ طبقه مقدار دریفت را نسبت به سازه های متعارف تا حدود ۶۸٪ ومقدار شتاب را ۱۶٪ کاهش می دهد. پالرمو[8] و همکاران[۱۵] بر روی استفاده از حرکت گهواره‌ای در پل‌ها به نتایجی رسیدند که استفاده از حرکت گهواره‌ای در پل‌ها باعث جذب انرژی و مستهلک شدن آن شده و بدین منظور نیروی کمتری به عرشه پل وارد می‌گردد. این سیستم در مقایسه با جداگرهای لرزه‌ای عملکرد قابل قبولی داشته است. جودکی و همکاران[۱۶] درمقایسه رفتار قاب های فولادی دارای حرکت گهواره ای با قاب های فولادی متداول با درنظر گرفتن تغییردر پیکر بندی سازه ها نتایج حاکی از آن است این سیستم باعث افزایش دوره تناوب و جابه جایی جانبی و همچنین کاهش برش پایه شد. علاوه بر موارد فوق محققان متعددی در بررسی‌های خود نشان دادند که با بهره‌گیری از تجهیزات مکانیکی مستهلک کننده می‌توان پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها را به میزانی قابل توجه کاهش داد[۱۷،۱۸] لذا در مطالعه حاضر به بررسی اثرات استفاده از سیستم حرکت گهواره‌ای در ساختمان بلند مرتبه فولادی و کوتاه مرتبه پرداخته می‌شود. روش کار بدین شـــرح اسـت که ابتدا دو قاب ده و پنج طبقه مطابق آخرین ویرایش مبحث دهم مقررات ملی ساختمان[۱۹] و مطابق ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰[۲۰] طراحی شـده اسـت و سپس ساختمان مورد مطالعه در حالت‌های با و بدون بهره‌گیری از سیستم حرکت گهواره‌ای با کمک تحلیل دینامیکی غیر خطی مورد مقایسه و ارزیابی قرار می‌گیرند.

۲- مدلسازی

در این تحقیق قاب‌های فولادی خمشی ویژه ۵ و۱۰ طبقه در نرم‌افزار sap مدل گردیده است. ارتفاع هرطبقه ۳متر و اندازه دهانه هر قاب ۵ متر و عرض کل قاب ۱۵متر در حالت پایه‌ی گیردار و گهواره‌ای مطابق شکل ۲و۱درنظر گرفته شده است قاب‌ها برروی خاک نوع۳ در شهر تهران واقع شده است در ادامه به منظور در نظرگرفتن کارایی حرکت گهواره‌ای درسازه با تعداد طبقات مختلف با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی در نرم افزارperform3D پرداخته شد همچنین از مبحث ۱۰ مقررات ملی ساختمان[۱۹]، مبحث ۶ مقررات ملی ساختمان[۲۱]، دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود ویرایش اول نشریه شماره ۳۶۰[۲۲] و استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم [۲۰] استفاده شده است. مصالح به کار رفته در اعضاء فولاد st-37 است. برای این(نشریه که بتوان برآوردی از رفتارساختمان را بدست آورد از مشخصات مصالح به عنوان مشخصات کرانه پایین مصالح برای مدل تحلیل استفاده کرد. مقاطع درنظرگرفته شده تیرها IPE و ستون TUBO می‌باشدکه مشخصات ساختگاه و مقاطع به ترتیب در جداول ۱و۲ آورده شده است.



(الف)

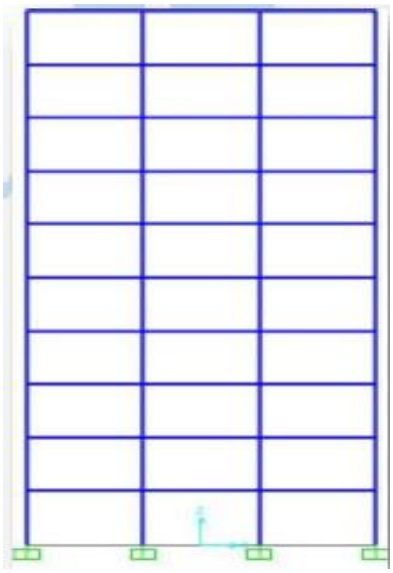
(ب)

شکل ۱- قاب خمشی فولادی ویژه پنج طبقه الف) قاب با پایه گیردار ب) قاب با حرکت گهواره‌ای

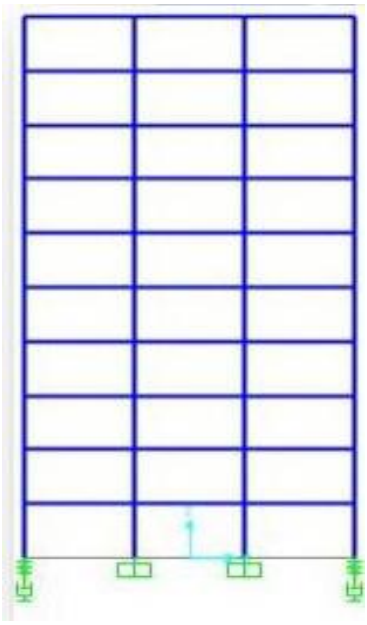
[8]. Palermo

جدول۱ –مشخصات ساختگاه

پارامترها	مقادیر سازه ۵ طبقه	مقادیر سازه ۱۰ طبقه
A	0.35	0.35
I	1	1
R	7.5	7.5
T	0.6	1.025
T_0	0.15	0.15
T_S	0.7	0.7
S	1.75	1.75
S_0	1.1	1.1
N	1.06	1
B	1.99	2.75
C	0.092	0.128
K	1.05	1.26



(الف)



(ب)

شکل ۲– قاب خمشی فولادی ویژه ده طبقه الف) قاب با پایه گیردار (ب) قاب با حرکت گهواره‌ای.

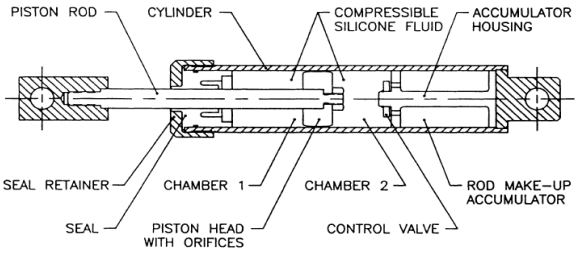
جدول ۲– مقاطع اعضای تیر وستون تشکیل‌دهنده سازه

شماره طبقه	تیر ۵ طبقه	ستون ۵ طبقه	تیر۱۰ طبقه	ستون ۱۰ طبقه
۱	IPE300	TUBO180*180*16	IPE360	TUBO220*220*30
۲	IPE300	TUBO160*160*10	IPE360	TUBO220*220*20
۳	IPE300	TUBO140*140*10	IPE360	TUBO220*220*20
۴	IPE270	TUBO140*140*10	IPE300	TUBO200*200*20
۵	IPE240	TUBO120*120*8	IPE270	TUBO200*200*20
۶			IPE270	TUBO180*180*20
۷			IPE270	TUBO180*180*16
۸			IPE270	TUBO180*180*16
۹			IPE270	TUBO140*140*10
۱۰			IPE270	TUBO140*140*10

۳- تجهیزات مستهلک‌کننده انرژی مورد مطالعه

۳-۱ میراگر ویسکوز

میراگرویسکوز از یک سیلندر روغن، مایع ویسکوز، پیستون، میله پیستون، پوشش محافظ اصلی و سایر بخش‌های اصلی تشکیل شده است و تنها در جهت طولی خود عمل می‌نماید. با توجه به ساختار تشکیل‌دهنده این میراگر می‌تواند تحت فشار یاکشش عملکرد هیسترتیک را آسان نماید و سبب استهلاک انرژی می‌شود. شکل ۳ میراگر ویسکوز را نمایش می-دهد.



شکل۳- میراگر ویسکوز[۲۳].

۴- مدل‌سازی المان گپ ومیراگر ویسکوز

۴-۱ روش مدل‌سازی المان گپ

در مدل‌های ساخته شده امکان بلندشدگی پای ستون‌ها با استفاده از المان گپ مدلسازی شده است. این المان طوری رفتار می‌کند که در کشش سختی صفر ودر فشار سختی زیاد است. رفتار بلند شدگی با مشخصات جدول (۳) معرفی شده است.

جدول ۳- مشخصات المان گپ

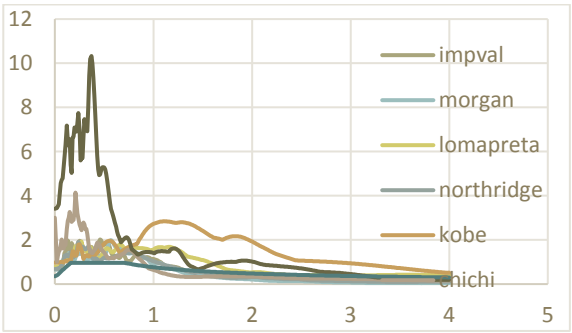
Stiffness	Opening
1000 ton/cm	0

۴-۲ روش مدل‌سازی میراگر ویسکوز

میراگر مورد مطالعه بارفتار الاستوپلاستیک وهیسترزیس معرفی شده‌اند. در محل اتصال ستون به شالوده در مدل‌های گهواره‌ای در ستون‌های دهانه‌های کناری از میراگر ویسکوز بعلاوه گپ استفاده می‌شود. میراگرهای ویسکوز در نرم‌افزار پرفورم به صورت FLUID DAMER باسختی ۳۰۰۰kg/cm و المان گپ به صورت GAP HOOK BAR Elastic NONLINEAR در این مطالعه مدل‌سازی شده‌اند.

۵-مقیاس شتاب نگاشت‌ها

نگاشت‌هایی که جهت برآورد پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها انتخاب می‌شوند می‌بایست تا حد امکان نمایانگر حرکت واقعی زمین در محل احداث سازه، در هنگام وقوع زلزله باشند. علاوه آن به منظور انتخاب زلزله‌ها می‌بایست آثار بزرگا، فاصله از گسل و ساز وکار چشمه لرزه را در نظر گرفته شده باشد و همچنین ساختگاه‌های آنها به لحاظ ویژگی‌های زمین شناسی، تکتونیکی، لرزه شناسی و به خصوص مشخصات لایه‌های خاک با زمین محل ساختمان، تا حد امکان، مشابهت داشته باشند در این پژوهش از ۷ شتاب نگاشت‌های مربوط به زلزله‌های مرگان، امپوال، لوماپریتا، نورثریج، کوبه، چی چی و پارک فیلد استخراج شده از سایت PEER استفاده شده است. این رکورد ها براساس آیین‌نامه ASCE به طیف آیین نامه هم پایه شدند. شکل ۴ شتاب نگاشت‌های هم پایه شده مورد بررسی در این پژوهش برای قاب۱۰ طبقه نمایش می‌دهد. جهت معرفی پارامترهای تحلیل غیر خطی در نرم‌افزار از دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان[۱۷] استفاده شده است. مشخصات شتاب نگاشت‌های مورد استفاده به شرح جدول۴ می باشد.



شکل۴- طیف‌های هم پایه شده.

نام زلزله	فاصله از گسل (km)	USGS خاک	Mag
Imprial valley	6.09	D	6.95
Parkfild	9.58	D	6.19
Morgan Hill	3.48	D	6.19
Loma prieta	8.48	D	6.93
Northridge	3.3	D	6.69
Kobe	3.31	D	6.9
Chi-chi	8.48	D	6.2

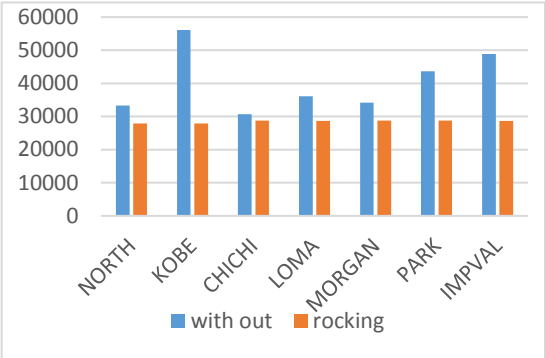
جدول ۴- مشخصات شتاب نگاشت های مورد استفاده در تحلیل تاریخچه زمانی

۶- یافته‌ها

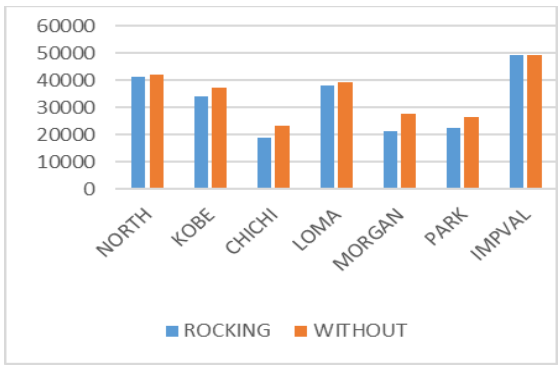
به منظور انجام تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی و مقایسه بین سازه‌هایی با حرکت گهواره‌ای و پایه گیردار از مشخصات شتاب نگاشت‌های فوق در این قسمت به بررسی تعدادی از پارامترهای خروجی از قبیل: برش پایه، شتاب جانبی و قائم بام، نمودار انرژی، جابه‌جایی افقی نقطه هدف و دریفت می‌باشد.

۶-۱ برش پایه

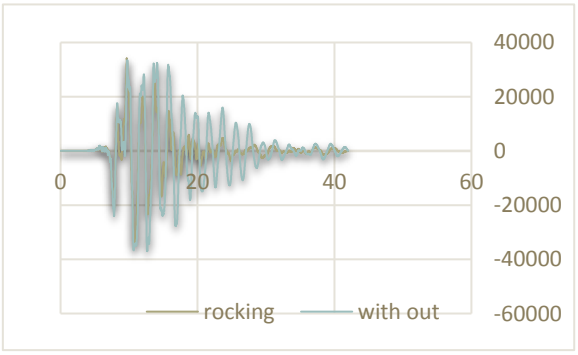
شاید مهم‌ترین فاکتور مورد بررسی در طرح‌های مقاوم‌سازی و بهسازی لرزه‌ای که همواره مورد تحقیق و بررسی است میزان برش پایه سازه‌ها می‌باشد. نتایج بررسی‌ها حاکی از آن است که برش پایه مدل اولیه بدون حرکت گهوارهای در سازه ۱۰ طبقه نسبت به مدل دارای حرکت گهواره ای به غیر از زلزله‌های امپوال ونورثریج که تقریباً نتایج با اختلاف کمی با هم برابر هستند در بقیه زلزله‌ها برش پایه در سازه در حرکت گهواره‌ای دارای کاهش قابل توجهی می‌باشد که شکل (۵و۶) نمودار مقایسه برش پایه تمام شتاب نگاشت‌های مورد استفاده در سازه ۵ و ۱۰ طبقه و به طور مثال شکل(۷) نمودار تاریخچه زمانی برش پایه زلزله کوبه را نشان می دهد.



شکل ۵-برش پایه قاب پنج طبقه درحالت با وبدون حرکت گهواره‌ای.

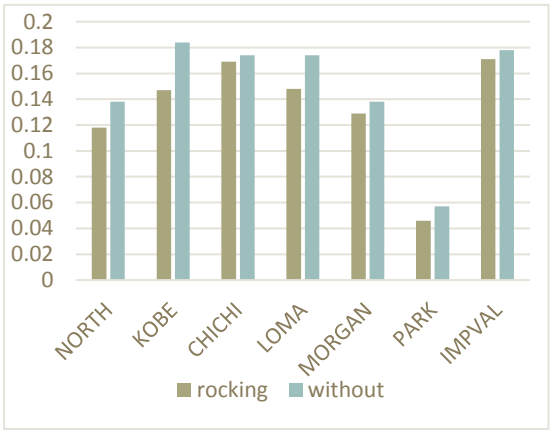


شکل۶- برش پایه قاب ده طبقه درحالت با وبدون حرکت گهواره‌ای .

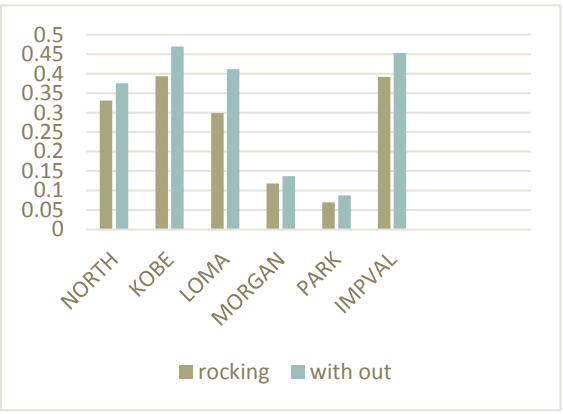


شکل ۷- برش پایه زلزله کوبه قاب ۱۰طبقه در حالت با وبدون حرکت گهواره‌ای

۶-۲ تغیر مکان جانبی بام : در شکل (۸) و(۹) تغیر مکان جانبی نقطه مورد مطالعه بام قاب در دو حالت با و بدون بهره‌گیری از قابلیت حرکت گهواره‌ای در قاب ۵ و ۱۰ طبقه نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن است که تغییر مکان جانبی سقف در حالت گهواره‌ای نسبت به حالت بدون حرکت گهواره‌ای دارای کاهش می‌باشد که این سبب بهبود عملکرد لرزه‌ای می‌باشد. این مقدار کاهش در قاب ۱۰ طبقه بیشتر از ۵ طبقه می‌باشد.



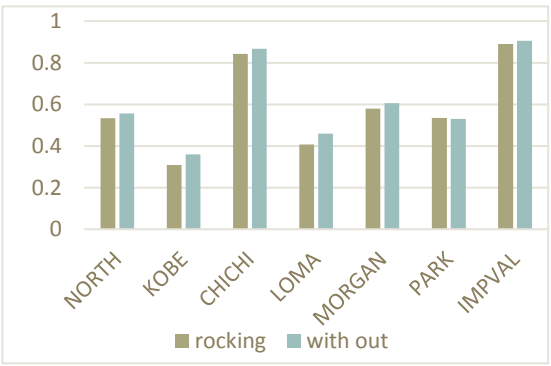
شکل ۸- جابه جایی افقی بام ۵ طبقه در حالت با و بدون حرکت گهواره‌ای



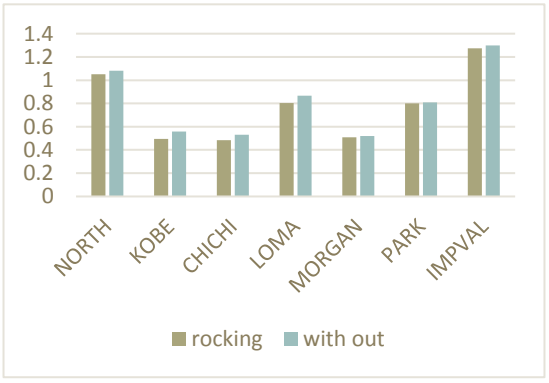
شکل ۹- جابه جایی افقی بام ۱۰ طبقه در حالت با و بدون حرکت گهواره ای.

۶-۳ شتاب جانبی بام:

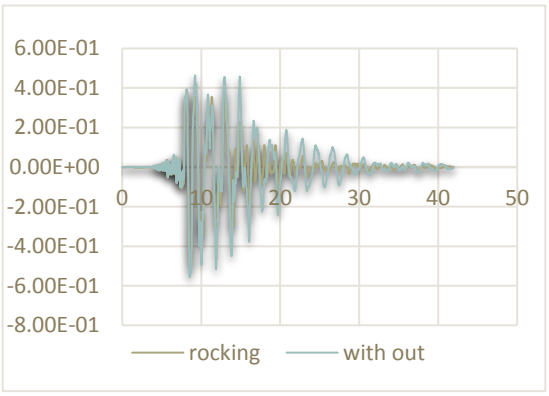
در شکل‌های (۱۰) و (۱۱) که بیانگر مقایسه شتاب جانبی بام برحسب (g) تحت هفت شتاب‌نگاشت زلزله در قاب ۵ و۱۰ طبقه مورد بحث مشاهده می‌شود. نتایج بیانگر این است که شتاب جانبی در حرکت گهواره‌ای کاهش پیدا می‌کند. نسبت مقدار کاهش شتاب در این قاب‌ها به دلیل نداشتن ارتفاع خیلی بلند کم می‌باشد به طور مثال شکل(۱۲) نمودار تاریخچه زمانی شتاب جانبی بام زلزله کوبه برای قاب ۱۰ طبقه در حالت گهواره‌ای وبدون حرکت می‌باشد.



شکل۱۰-شتاب جانبی بام ۵ طبقه در دو حالت با وبدون حرکت گهواره‌ای .

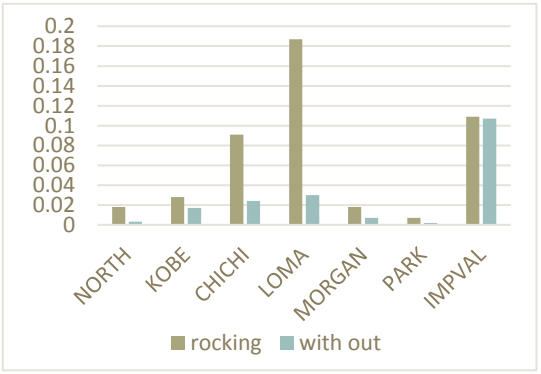


شکل ۱۱- شتاب جانبی بام ۱۰ طبقه در دو حالت با وبدون حرکت گهواره‌ای.

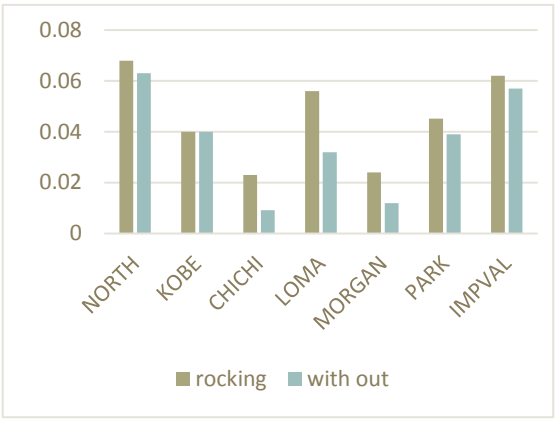


شکل۱۲-نمودار شتاب جانبی زلزله کوبه قاب ۱۰ طبقه در حالت با و بدون حرکت گهواره‌ای.

۶-۴ شتاب قائم بام: در سازه‌های مورد مطالعه و مقایسه با حالت حرکت گهواره‌ای در شکل های(۱۴ و۱۳) می‌پردازیم. همانطور که از نمودار مشخص است شتاب قائم در نقطه بام در حالت گهواره‌ای دارای افزایش نسبت به حالت بدون بهره‌گیری از قابلیت حرکت گهواره‌ای می باشد.

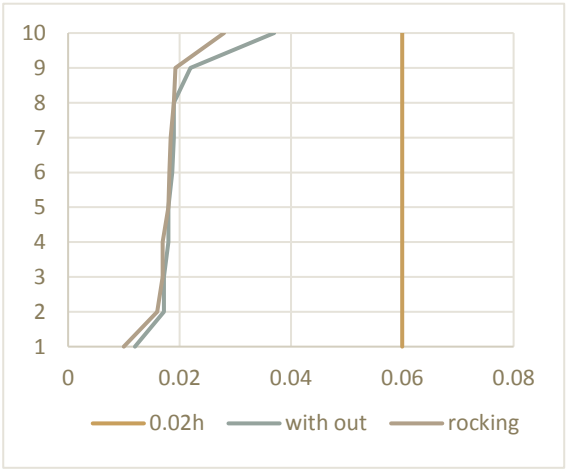


شکل ۱۳- شتاب قائم بام قاب فولادی۵ طبقه در دوحالت با و بدون حرکت گهواره‌ای.



شکل ۱۴– شتاب قائم بام قاب فولادی ۱۰طبقه در حالت با و بدون حرکت گهواره‌ای.

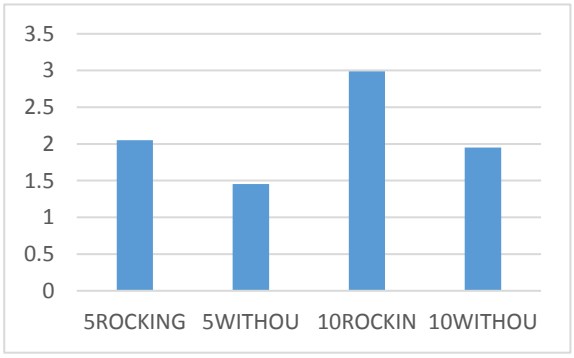
۶-۵ تغییر مکان نسبی طبقات : با توجه به شکل (۱۵) و با استناد به آیین‌نامه ۲۸۰۰ برای تایید یا عدم تایید تغیر مکان نسبی حرکت گهواره ای علاوه بر اینکه منجر به ایجاد یک تغییر مکان نسبی یکنواخت در سازه می‌شود سبب کاهش مقدار این تغییر مکان می‌شود.



شکل ۱۵– تغییر مکان نسبی طبقات درحالت با و بدون حرکت گهواره‌ای.

۶-۶ دوره تناوب

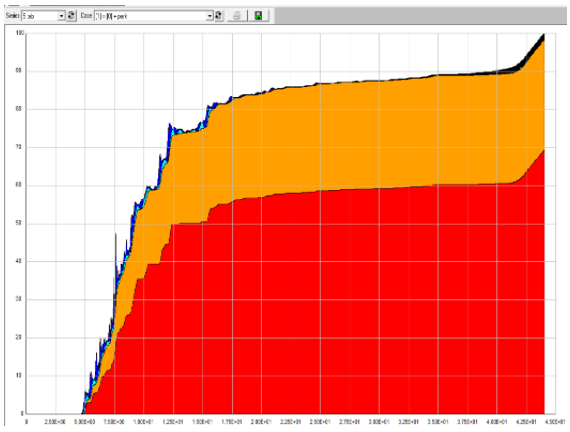
در شکل (۱۶) مقادیر پریود مدل‌های مورد مطالعه ارایه شده است که مطابق نتایج حاصل از مطالعات به عمل آمده مشخص است که باتوجه به تجهیزات مکانیکی به کار گرفته شده در مدل دارای حرکت گهواره‌ای، سختی آن نسبت به مدل اولیه کاهش یافته است. و در نتیجه پریود آن افزایش یافته است. پریود قاب ۵ طبقه از مقدار۱/۴۵۲ ثانیه در مدل اول به مقدار ۲/۰۸ ثانیه در مدل دوم افزایش یافته است. در قاب ۱۰ طبقه از مقدار ۱/۹۴ ثانیه به ۲/۹۹ ثانیه در مدل گهواره‌ای افزایش یافته است.



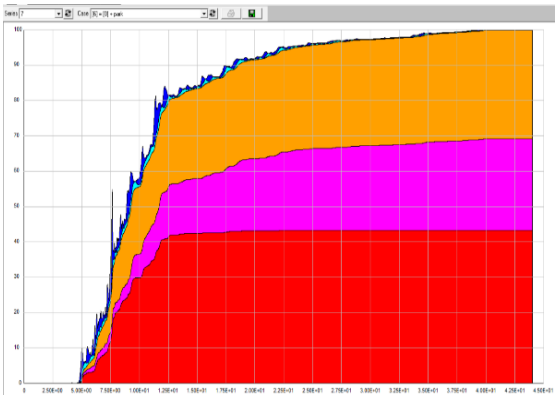
شکل۱۶– دوره تناوب قاب فولادی ۵ و۱۰ طبقه در حالت با و بدون حرکت گهواره‌ای.

۶-۷ نمودار انرژی

در قاب‌های ۵ و۱۰ طبقه به تفکیک در حالت با و بدون حرکت گهواره‌ای در شکل‌های شماره (۱۷,۱۸) ارائه شده است.



(الف)

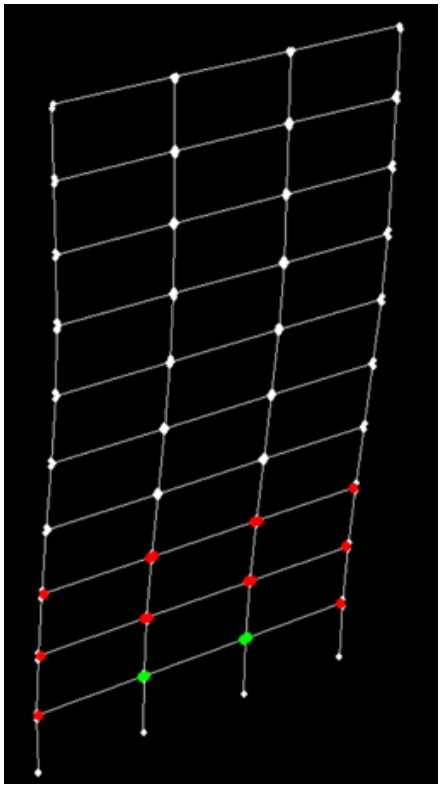


(ب)

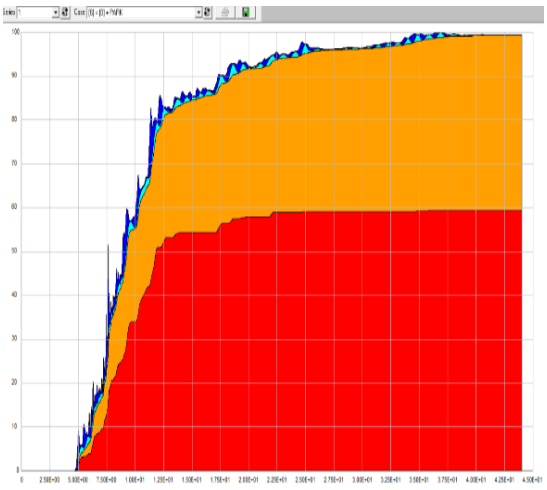
شکل۱۷– نمودار انرژی قاب خمشی فولادی ویژه ۵ طبقه الف) حالت گیردار (ب) حالت گهواره‌ای.

۶-۸ تشکیل مفاصل پلاستیک

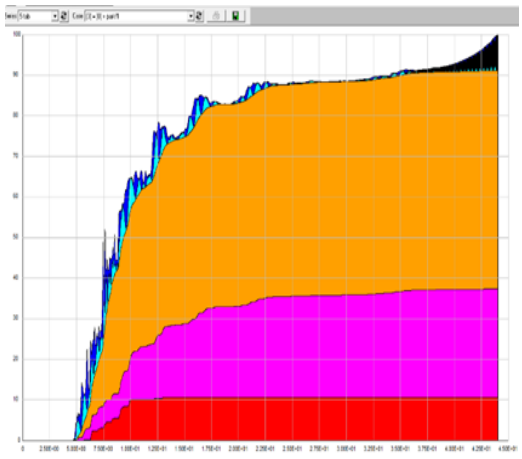
در قاب‌های ۵ و۱۰ طبقه به تفکیک در حالت با و بدون حرکت گهواره ای روند تشکیل مفصل پلاستیک در سطح عملکردی ایمنی جانی به طور نمونه در شکل‌های (۱۹و۲۰) ارایه شده است.



(الف)

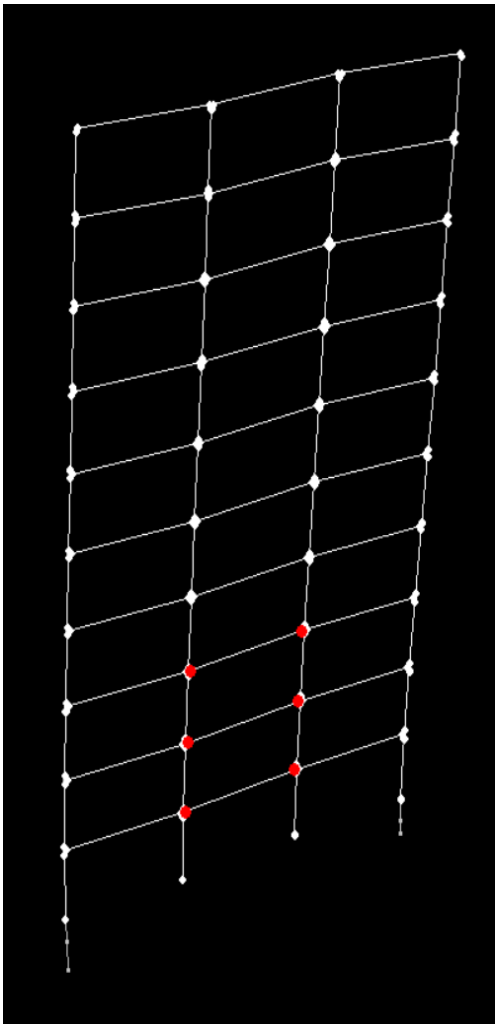


(الف)

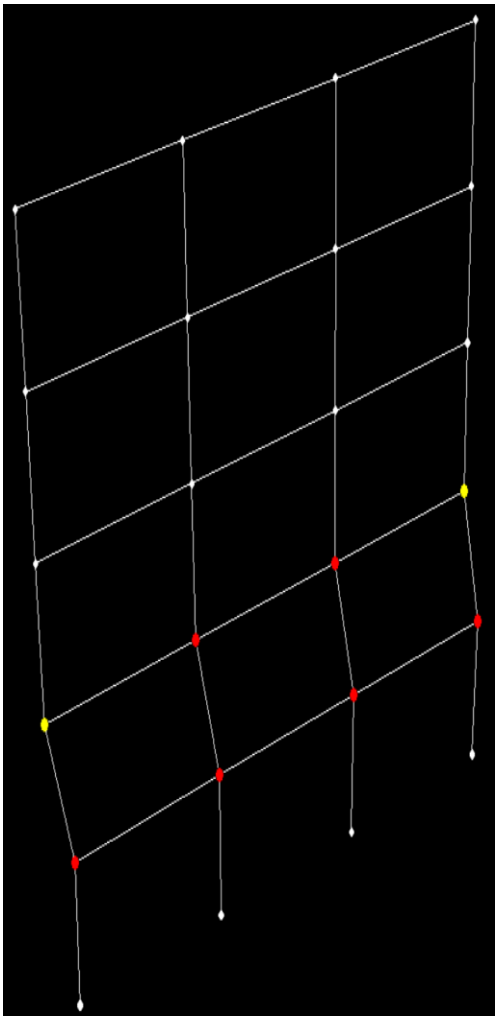


(ب)

شکل ۱۸- نمودار انرژی قاب خمشی فولادی ویژه ۱۰ طبقه الف) حالت گیردار ب) حالت گهواره‌ای.

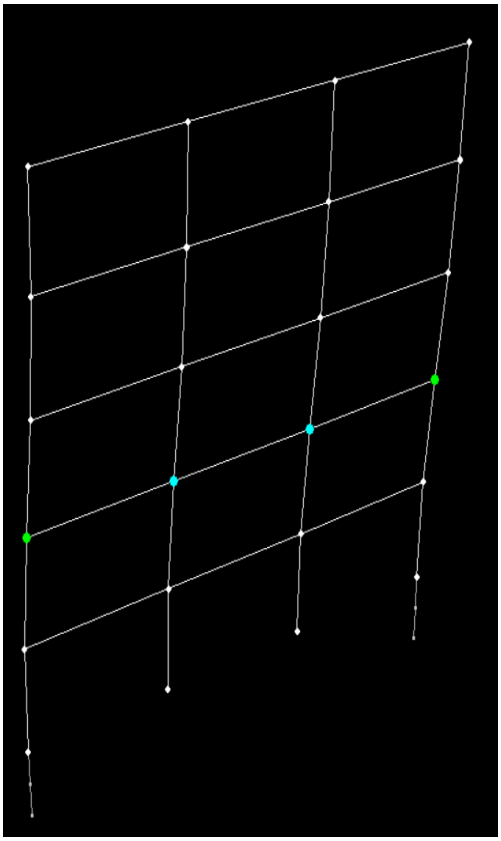


(ب)



(الف)

شکل ۱۹ –تشکیل مفصل پلاستیک قاب خمشی فولادی ویژه ۱۰ طبقه الف) حالت گیردار ب)حالت گهواره ای.



(ب)

شکل۲۰ –تشکیل مفصل پلاستیک قاب خمشی فولادی ویژه ۱۰ طبقه الف) حالت گیردار ب)حالت گهواره‌ای.

۷ –نتیجه‌گیری

در این مقاله به منظور بررسی اثرات سیستم گهواره‌ای در کاهش پاسخ لرزه‌ای قاب‌های خمشی فولادی ویژه کوتاه و بلند مرتبه، دو قاب ۵ و۱۰ طبقه منظم طراحی شد و به عنوان مدل اولیه در این مطالعه نامگذاری شد. به منظور بررسی اثرات حرکت گهواره‌ای، در مدل دوم قاب مورد مطالعه به سیستم حرکت گهواره‌ای مجهز شد سپس با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی به بررسی و مقایسه پاسخ لرزه‌ای دو مدل مورد مطالعه پرداخته شده است که نتایج ذیل بدست آمده است که به اختصار بیان می‌شوند:

۱– شاید مهم‌ترین پارامتر مورد بررسی در طرح‌های مقاوم سازی و بهسازی لرزه‌ای که همواره مورد تحقیق و بررسی پژوهشگران بوده است میزان برش پایه قاب‌های مورد مطالعه می‌باشد. با بررسی این پارامتر به سادگی و در نگاه اول مشخص است که در طراحی انجام شده و سیستم بکار گرفته شده تا چه میزان میتواند سبب بهبود عملکرد سازه شود. نتایج بررسی‌ها حاکی از آن است که برش پایه زلزله مرگان به عنوان نماینده‌ای از هفت شتاب‌نگاشت درمدل اولیه سازه ۵ و۱۰ طبقه به ترتیب ۳۴۰۰۰kg و ۲۷۵۰۰kg می‌باشد که با بهره‌گیری از سیستم گهواره‌ای برش پایه در قاب‌های ۵ و۱۰ طبقه به ترتیب به مقادیر۲۸۷۰۰kgو ۲۱۴۰۰kg کاهش می‌یابند. با توجه به محدودیت ظرفیت اجزای سازه‌ای این میزان کاهش قابل توجه در مقدار برش پایه سازه می‌تواند بسیار ارزشمند باشد.

۲– از دیگر پارامترهای بسیار مهم در بررسی پاسخ لرزه‌ای اینگونه مطالعات مقدار بیشینه شتاب افقی وارد شده می‌باشد که در مطالعه حاضر با توجه به کاهش قابل توجه میزان شتاب در مدل دوم نسبت به مدل اول مشخص است که سیستم گهواره‌ای سبب کاهش میزان شتاب افقی در سازه شده است. به طوری که بیشینه شتاب جانبی وارد شده در بام قاب های ۵ و۱۰ طبقه مدل اولیه به ترتیب برابر با ۰/۳۶۰ و ۰/۵۵ است. در حالی که بیشینه شتاب وارد شده درقاب‌های ۵ و۱۰ طبقه، نقطه نظیر آن در مدل گهواره‌ای به ترتیب برابر ۰/۳۰۹ و۰/۴۹۵است.

۳– شتاب قائم سازه در حالت گهواره‌ای نسبت به مدل اولیه افزایش یافته است.

۴– پریود قاب در مدل گهواره‌ای نسبت به مدل اولیه افزایش یافته است. این مقدار افزایش در قاب ۱۰ طبقه ۱/۵ برابر و در قاب ۵ طبقه ۱/۴برابر نسبت به حالت بدون حرکت گهواره‌ای می‌باشد.

۵– با بهره‌گیری از حالت گهواره‌ای و به‌کارگیری میراگر از مقدار انرژی پلاستیک سازه کم شده و سازه مورد نظر مقدار بیشتری انرژی مستهلک می‌نماید.

۶– تغییر مکان نسبی طبقات در حالت گهواره‌ای نسبت به مدل اولیه کاهش یافته است.

۷- کاهش مفصل پلاستیک جهت افزایش پایداری سازه در برابر نیروهای زلزله می‌شود استفاده از سیستم حرکت گهواره‌ای با ایجاد مفصل پلاستیک کمتر سبب کاهش تغییر شکل می‌شود و مقاطع نسبت به قبل به میزان کمتری از ظرفیت شکل‌پذیری خود استفاده کرد

نتایج بدست آمده نشان داده است که با استفاده از حرکت گهواره‌ای می‌توان پاسخ های قاب‌های کوتاه و بلند مرتبه فولادی را به میزانی قابل توجهی بهبود می بخشد. با توجه به اینکه در سیستم حرکت گهواره ای رفتار سازه به صورت الاستیک می باشد می‌توان سطح عملکرد بالاتری را تامین نمود و با درنظر گرفتن کاهش برش پایه میزان جذب انرژی بیشتر در این سیستم می‌توان جهت کاهش وزن سازه مقاطع در نظر گرفته را بهینه نمود.

۸- منابع

[1] Hajjar J, Eatherton M, Deierlein G, Krawinkler h, Billington s. Controlled rocking of steel frames as a sustainable new technology for seismic resistance in buildings. In International Association of Bridge & Structural Engineering Symposium. 2008 Jan 1.

[2] فرشباف م، نیکخو ع. تاثیر مشخصات مدل اتصال پای ستون در رفتار لرزه‌ای قاب‌های مهاربند تعمیر پذیر دارای حرکت گهواره ای. پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله. سال نوزدهم، شماره چهارم. ۱۳۹۵.

[3] Dyanati M, Huang Q, Roke D. Seismic demand models and performance evaluation of self-centering and conventional concentrically braced frames. Engineering Structures. 2015; 84:368-81.

[4] Azuhata T, Midorikawa M, Ishihara T. Earthquake damage reduction of buildings by self-centering systems using rocking mechanism. InThe 14th World Conference on Earthquake Engineering. Beijing china. 2008.

[5] MacRae G, Clifton C, Innovations S. Rocking structure design considerations. InProceedings of the Steel Innovations 2013 Workshop. 2013; (pp. 21-22).

[6] Hosseini M, Bozorgzade S. AnInnovative Design for Repairable Regular SteelBuildings by using a 2-Cell ConfigurationStructure with Some Inclined Columns at BaseLevel, Equipped with Double-ADAS Devices, andSecurity Cables at Corners.proceedings of the thirteenth East Asia-Pacific Confrerence on structural Engineering and Construction. 2013.

[7] Pollino M. Seismic design for enhanced building performance using rocking steel braced frames. Engineering Structures. 2015; 83:129-39.

[8] Makris N, Vassiliou MF. The dynamics of the rocking frame. InSeismic assessment, behavior and retrofit of heritage buildings and monuments. Springer, Cham. 2015; (pp. 37-59).

[9] Ceravolo R, Pecorelli ML, Fragonara LZ. Semi-active control of the rocking motion of monolithic art objects. Journal of Sound and Vibration. 2016; 374:1-6.

[10] Vetr G, Nouri A. Seismic evaluation of rocking structures throughperformance assessment and fragility analysis. Earthquake Engineering and Engineering Vibratio. 2016;
115-127.

[11] نیکخواه ا، سروقد مقدم ع. بررسی اثرات واژگونی ناشی از مولفه قائم زلزله در ساختمان‌های مهاربند فولادی با حرکت گهواره‌ای. پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله. سال نوزدهم، شماره سوم. ۱۳۹۵.

[12] رهگذر م، سرو قد مقدم ع. ارزیابی رسیک فروریزش قاب مهاربندی دارای حرکت گهواره‌ای کنترل شده با کابل پس کشیده ومیراگر پروانه‌ای شکل. دومین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، معماری و مدیریت بحران. دانشگاه علامه مجلسی تهران ۱۳۹۶.

[13] رهگذر ن، سروقد مقدم ع. نسبت تغیرمکان غیر الاستیک سازه های دارای حرکت گهواره‌ای در زلزله‌های حوزه دور و نزدیک به گسل پالس گونه. نشریه مهندسی سازه وساخت. جلد پنجم، شماره چهارم. ۱۳۹۷ .

[14] حسینی م، اسدی ح. بررسی ساختمان‌های فولادی دارای پلان مستطیل شکل با حرکت گهواره‌ای تحت اثر زلزله های حوزه دور. دهمین کنفرانس ملی سازه وفولاد. تهران ۱۳۹۸.

[15] Palermo A, Pampanin S, Calvi G. *The use of controlled rocking in the seismic design of bridges*. Doctate Thesis. Technical Institute of Milan, Milan. 2004 ; 1:1-5.

[16] جودکی س، و همکاران. بررسی ومقایسه رفتار قاب‌های فولادی متداول با تغییر در نوع مهاربندی جانبی و ارتفاع تحت آنالیز پوش‌آور. سومین همایش ملی مصالح ساختمانی وفناوری‌های نوین در صنعت ساختمان. میبد ۱۳۹۴.

[17] Yongqi C, Liangzhe M, Tiezhu C, Schneider R, Winters C. Shock Control Of Bridges in china using Taylor devices'fluid viscous devices. In The 14th World Conference on Earthquake Engineering. Beijing china. 2008; (pp. 12-17).

[18] Kandemir EC, Mazda T. Nonlinear Viscous Damper Application to Arch Bridge. JCES. 2011;1(3):p127-131.

[19] Iranian standard steel design, 10 th Issue, The design of steel structures, 1392 (in Persian).

[20] Iranian standard code 2800, seismic design of structures, 4 th edition, 1396.

[21] Iranian standard steel design, 6 th Issue, The design of steel structures, 1392 (in Persian).

[22] Instruction for Seismic Rehabilitation of Existing Buildings- Publication No. 360, First Issue (2014)

[23] Chen W, Duan F. Bridge engineering: seismic design. CRC press. Boca Raton London New York Washington. 2003.