

بررسی اثرات بهره‌گیری از سیستم حرکت گهواره‌ای در بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی بلند مرتبه

علی پروری*

عضو هیات علمی، گروه مهندسی عمران، واحد خمین، دانشگاه آزاد اسلامی، خمین، ایران

روح الله حسنونند

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- سازه، واحد خمین، دانشگاه آزاد اسلامی، خمین، ایران

سامان منصوری

عضو باشگاه پژوهشگران و نخبگان جوان، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران

aliparvari@iaukhomein.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۵/۱۰ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۷/۰۶/۲۴

چکیده:

در این مقاله به منظور بررسی اثرات سیستم گهواره‌ای بر روی پاسخ لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی بلند مرتبه منظم، یک سازه ۱۵ طبقه فولادی با سیستم باربر جانبی قاب خمشی ویژه همراه با مهاربند همگرای ضربدری مطابق ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ و آخرین ویرایش‌های مباحث ششم و دهم مقررات ملی ساختمان در نرم‌افزار ETABS2015 طراحی شده است. سپس هفت زلزله مطابق استاندارد ۲۸۰۰ انتخاب و مقیاس شدند و با استفاده از تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی 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، دررفت، تغییر مکان‌ها و شتاب‌های جانبی و قائم سقف و ...) حاکی از آن است که بهره‌گیری از سیستم حرکت گهواره‌ای در ساختمان‌های بلند مرتبه فولادی می‌تواند سبب کاهش قابل ملاحظه‌ای پاسخ لرزه‌ای سازه شود.

کلید واژگان: ساختمان بلند مرتبه فولادی، راکینگ، اثر حرکت گهواره‌ای، کاهش پاسخ لرزه‌ای، بهسازی لرزه‌ای

۱- مقدمه

می‌دهد. [Pollino](#) [۵] در بررسی‌های خود نشان داد با استفاده از سیستم گهواره‌ای می‌توان سطح عملکرد ساختمان‌های فولادی با مهاربند ضربدری را افزایش داد. [Vassiliou](#) و [Makris](#) [۶] 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. [Ceravolo](#) و همکاران [۷] در بررسی‌های خود نشان دادند که می‌توان با استفاده از سیستم‌های کنترل نیمه فعال پاسخ لرزه‌ای سازه‌های دارای حرکات گهواره‌ای را در برابر پالس‌های دینامیکی کنترل نمود. در مقاله رهگذر و سروقده مقدم [۸] ایمنی لرزه‌ای سیستم قاب مهاربندی مرکزگرای کنترل شده با فیوز پروانه‌ای شکل تعویض پذیر و کابل پس کشیده در برابر فروریزش ارزیابی شده است. بدین منظور پاسخ مجموعه‌ای از سیستم‌های مرکزگرا در معرض گستره وسیعی از سطوح لرزه‌ای با استفاده از تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی فزاینده کمی می‌گردد. سپس با انجام تحلیل احتمالاتی قابلیت اطمینان، با در نظر گیری مجموعه عدم قطعیت‌های موجود، منحنی‌های شکستگی تنظیم شده برای سیستم‌های مرکزگرای مورد مطالعه استخراج می‌گردد. نسبت حاشیه فروریزش تنظیم شده برای هر یک از سیستم‌ها با معیارهای پذیرش و مقایسه می‌شوند. احتمال فروریزش قاب‌های فولادی مرکزگرای طرح شده با ضریب رفتار ۸ کمتر از ۵۰ درصد است و در نتیجه توانایی ایجاد یک حاشیه ایمنی مناسبی در مقابل فروریزش دارد. [Ceravolo](#) 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 تکیه‌گاه‌های سازه صلب است می‌توان پاسخ سازه را در برابر زلزله کنترل نمود. رهگذر و همکاران [۱۰] در تحقیقات خود بیان کردند که از جدیدترین سیستم‌های سازه‌ای سیستم‌های گهواره‌ای هستند که توسط بخش مرکزی سازه کنترل می‌شوند که می‌توانند سبب کاهش دررفت 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. علاوه بر موارد فوق محققان متعددی در

بهره‌گیری از راهکارهای مختلف به منظور کنترل و کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها همواره مورد تحقیق پژوهشگران بوده است. یکی از راهکارهایی که در سال‌های اخیر مطالعات گسترده‌ای پیرامون آن انجام شده است بهره‌گیری از سیستم حرکت گهواره‌ای با بهره‌گیری از تجهیزات مستهلک‌کننده انرژی در سازه‌ها به منظور کنترل و کاهش پاسخ لرزه‌ای آنها است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود. فرش‌باف و نیکخو [۱] در مطالعات خود نشان دادند که با محدود کردن خسارت در قسمت‌های از پیش تعیین شده‌ی سازه می‌توان آنرا تعمیر پذیر طراحی نمود. نتایج به دست آمده از مطالعات آنها نشان از تأثیر مثبت کاهش سختی فشاری و افزایش میرایی بر کاهش شتاب قائم ستون‌ها دارد و سازه‌ی دارای رفتار گهواره‌ای سطح عملکرد بهتری را از خود نشان می‌دهد. [Clifton](#) و [Macrae](#) [۲] 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. نتایج مطالعات نیکخواه و سروقده مقدم [۳] 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 سیستم گیردار برابر صفر است، اما در سیستم گهواره‌ای افزایش مؤلفه قائم زلزله تأثیر زیادی بر روی میزان بلند شدگی و فرورفتگی ندارد. فرش‌باف و همکاران [۴] در مطالعات خود به بررسی اثرات استفاده از میراگرها در ساختمان‌های فولادی کوتاه مرتبه با سیستم گهواره‌ای پرداختند و نشان دادند که بر روی شتاب قائم در مدل‌های دارای میراگرهای ویسکوز و میراگرهای جاری شونده به سطح خطر زلزله حساس می‌باشند و با دو برابر شدن سطح خطر شتاب قائم بین دو تا سه برابر افزایش می‌یابد. بیشترین شتاب قائم در طبقه اول ساختمان مورد مطالعه ایجاد شده است و در هر دو میراگر کاهش سختی فشاری، شتاب قائم را کاهش داده و سبب توزیع یکنواخت شتاب در بین طبقات شده است اما در مدل‌های دارای میراگر ویسکوز مشاهده می‌شود که افزایش فاصله قسمت باز سبب کاهش شتاب شده ولی در مدل‌های دارای میراگر جاری شونده افزایش این پارامتر شتاب را افزایش

جدول ۱- میزان بارهای ثقلی وارد بر سازه

میزان بارها $(\frac{kgf}{m^2})$	بارهای ثقلی وارد بر سازه ها
۲۱۰	بار مرده سقف طبقات
۲۵۰	بار مرده سقف بام
۶۰۰	بار مرده دیوارهای جانبی
۲۵۰	بار مرده دیوارهای جانبیه
۱۱۵	بار معادل تیغه بندی
۱۵۰	بار زنده بام
۲۰۰	بار زنده طبقات

جدول ۲- بارگذاری زلزله ساختمان

مقادیر	پارامترها
۰/۳۵	A
۱	I
۷	R
۱/۳۹	T
۰/۱	T_0
۰/۵	T_S
۱/۵	S
۱	S_0
۱/۱۷۸	N
۰/۸۹۹	B_1
۱/۰۶	B
۰/۰۵۳	C
۱/۴۴۵	K

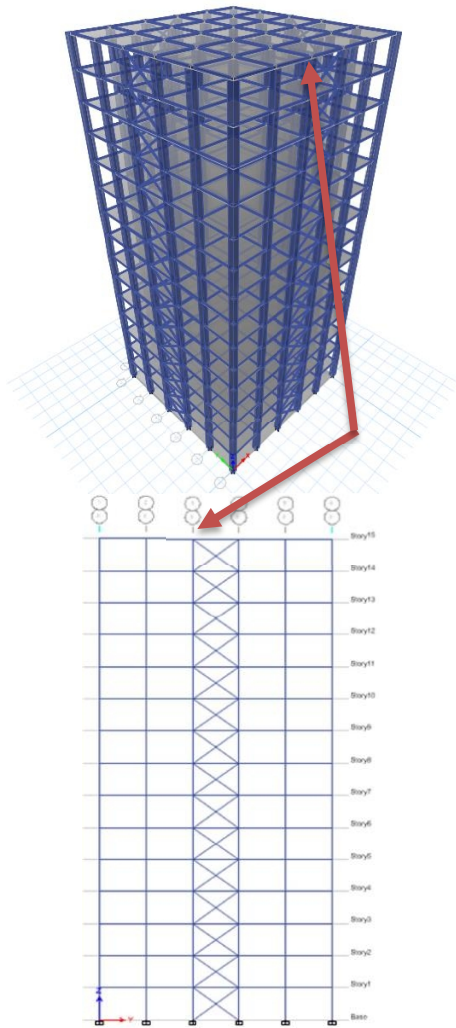
برای مدل‌سازی مصالح بتنی از مدل مندر مطابق شکل (۱) استفاده شده است، همچنین در شکل (۲) منحنی تنش- کرنش مصالح فولادی مشاهده می‌شود.

بررسی‌های خود نشان دادند که با بهره‌گیری از تجهیزات مکانیکی مستهلک‌کننده می‌توان پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها را به میزانی قابل توجه کاهش داد [۱۱-۱۶].

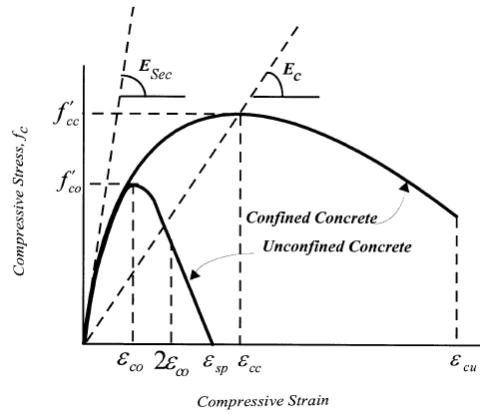
علی‌رغم تحقیقات گسترده‌ای که در پیرامون رفتار گهواره‌ای سازه‌ها انجام شده است تا کنون مطالعه‌ای شایسته بر روی بررسی اثرات استفاده از سیستم‌های حرکت گهواره‌ای در سازه‌ها به منظور کنترل پاسخ لرزه‌ای آنها انجام نشده است. لذا در مطالعه حاضر به بررسی اثرات استفاده از سیستم حرکت گهواره‌ای در ساختمان بلند مرتبه فولادی به روش المان محدود پرداخته می‌شود. روش کار بدین شرح است که ابتدا یک ساختمان پانزده طبقه مطابق آخرین ویرایش‌های مباحث ششم و دهم مقررات ملی ساختمان [۱۷ و ۱۸] و مطابق ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ [۱۹] طراحی شده است 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- ساختمان مورد مطالعه

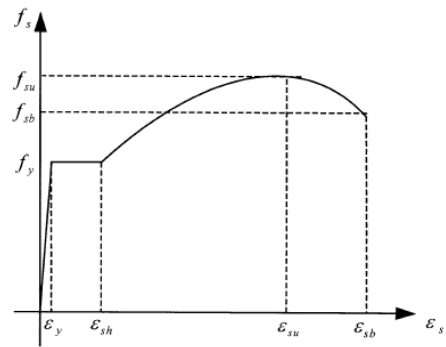
در این مطالعه ابتدا یک ساختمان پانزده طبقه با سیستم باربر جانبی قاب خمشی ویژه همراه با مهاربند همگرای ویژه ضربدری مطابق آخرین ویرایش‌های مباحث ششم و دهم مقررات ملی ساختمان و ویرایش چهارم است تا ندارد ۲۸۰۰ در نرم‌افزار ETABS2015 طراحی شده است. ساختمان مورد مطالعه بر روی زمین نوع II در شهر تهران قرار دارد و کاربری آن مسکونی است. در جدول‌های (۱) و (۲) خلاصه بارهای ثقلی و زلزله به ترتیب آورده شده است.



شکل ۳- نمای دو بعدی و سه بعدی سازه اولیه



شکل ۱- مدل مندر برای منحنی تنش- کرنش بتن [۲۰]



شکل ۲- منحنی تنش- کرنش فولاد [۲۰]

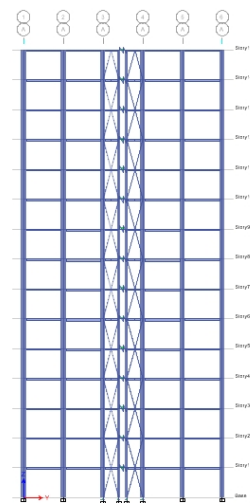
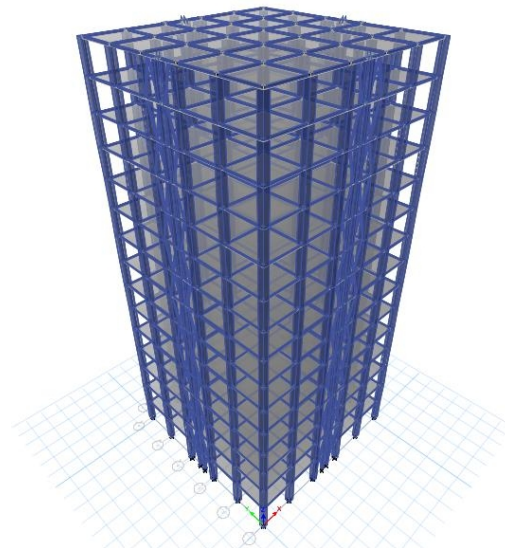
به منظور مطالعه اثر سیستم گهواره‌ای بر روی سازه مورد مطالعه، ساختمان طراحی شده به دو مدل تبدیل می‌شود. سازه طراحی شده را بعنوان مدل اولیه و سازه با بهره‌گیری از سیستم گهواره‌ای را سازه گهواره‌ای نامیده می‌شود. در شکل‌های (۳) و (۴) به ترتیب نمایی دو بعدی و سه بعدی از مدل اولیه و مدل گهواره‌ای و نقطه‌ی مورد مطالعه بر روی آن نشان داده شده است.

جهت قائم خود اجازه بلند شدن را دارا باشند. در واقع از شش جهتی که یک تکیه گاه فضایی پنج جهتی آن گیردار است و فقط جهت قائم تکیه گاه که همراستا با محور طولی ستون است مقید نیست و آزادانه اجازه حرکت دارد. به بیان دیگر به دو ستون مجاور هم این ویژگی تکیه گاهی اعمال می شود که آن دهانه قابلیت حرکت گهواره‌ای را داشته باشد (لازم به ذکر است برای مدلسازی این ویژگی در یک تکیه گاه فضایی از المان گپ استفاده می شود). برای ایجاد حرکت گهواره‌ای در سازه دو مساله مطرح است. بحث اول چگونگی فرود آمدن ستون بلند شده است و بحث دوم تغییر مکان جانبی سازه است که بواسطه اجازه چرخش دهانه ناشی از حرکت گهواره‌ای سازه تشدید می شود. در ارتباط با بحث اول که همان مساله فرود آمدن ستون‌های بلند شده است، در صورت عدم مهار مناسب آنها، این اثر می تواند آسیب‌های غیر قابل جبران بر سازه وارد کند. به همین منظور در پای تکیه گاه هایی که قرار است گپ اجرا شود تا حرکت گهواره‌ای را میسر نمایند از میراگرهای ویسکوز نیز استفاده می شود. در ارتباط با بحث دوم که همان کنترل تغییر مکان جانبی سازه است که به سبب چرخش بخش گهواره‌ای سازه می تواند تشدید شود می توان از میراگرهای جاری شونده استفاده نمود تا از تشدید میزان تغییر مکان جانبی جلوگیری کند و همچنین نیروهای لرزه‌ای وارد بر سازه را مستهلک نماید. در ادامه میراگر ویسکوز و میراگر جاری شونده تشریح می شوند.

۴- تجهیزات مستهلک کننده انرژی مورد مطالعه:

۴-۱- میراگر ویسکوز:

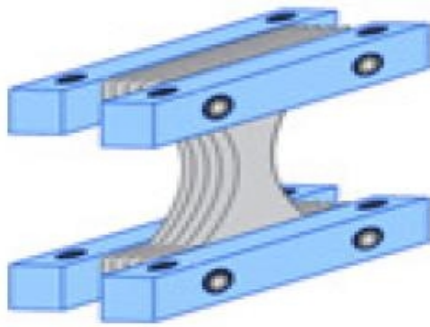
میراگر ویسکوز از یک پیستون که درون سیلندری پر از سیال ویسکوز می باشد تشکیل شده است و تنها در جهت طولی خود عمل می نماید. سوراخ‌هایی در سر پیستون جهت عبور سیال هنگامی که میراگر تحت فشار یا کشش قرار می گیرد تعبیه شده است که عملکرد هیسترتیک آن را تسهیل می نماید که می تواند منجر به استهلاک انرژی در سازه شود. در شکل (۵) نمایی از جزئیات میراگر ویسکوز نشان داده شده است.



شکل ۴- نمای دو بعدی و سه بعدی سازه‌ی مورد مطالعه در حالت گهواره‌ای

۳- مقدمه‌ای بر حرکت گهواره‌ای سازه‌ها

برای ایجاد حرکت گهواره‌ای در سازه ابتدا می بایست به تعدادی از دهانه‌ها اجازه بلند شدن را داد. برای این منظور تکیه گاه ستون‌های مورد نظر برای ایجاد حرکت گهواره‌ای به گونه‌ای طراحی می شود که در تمام جهتها گیردار عمل کند و فقط در



شکل ۷- میراگر فلزی جاری شونده [۲۲]

۵- مدل‌سازی المان گپ، میراگر ویسکوز و میراگر فلزی جاری شونده:

۱-۵- روش مدل‌سازی المان گپ:

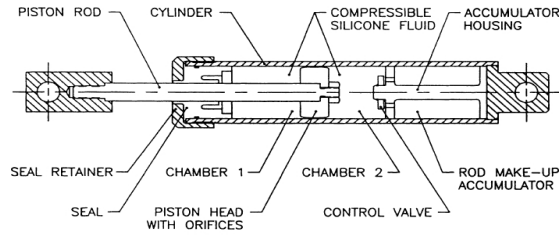
در مدل‌های ساخته شده امکان بلند شدگی پای ستون‌ها با استفاده از المان گپ مدلسازی شده است. این المان طوری رفتار می‌کند که در کشش سختی صفر و در فشار سختی زیاد است. رفتار بلند شدگی با مشخصات جدول (۳) معرفی شده است [۲۳].

جدول ۳- مشخصات المان گپ [۲۳]

Stiffness	Opening
۱۰۰۰ ton/cm	.

۲-۵- روش مدل‌سازی میراگر ویسکوز و میراگر جاری شونده:

میراگرهای مورد مطالعه با رفتار الاستوپلاستیک و هیستریزس معرفی شده‌اند. میراگرهای فلزی در هر بعد پلان در بین دو دهانه مهاربندی شده در تمام طبقات مدل با سیستم گهواره‌ای بکار گرفته می‌شود، این میراگرها دارای سختی ۱۰۰ KN/mm و مقاومت ۱۰۰ KN می‌باشند. در محل اتصال ستون به شالوده در مدل‌های گهواره‌ای در ستون‌های دهانه‌های دارای مهاربند از میراگرهای ویسکوز بعلاوه گپ استفاده می‌شود. میراگرهای ویسکوز در این مطالعه موردی دارای سختی ۳۰۰ KN/mm و مقاومت ۱۵۰۰ KN می‌باشند. در شکل (۸)

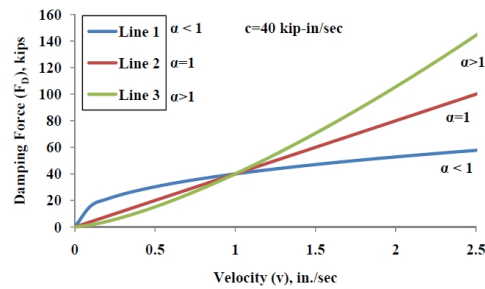


شکل ۵- میراگر ویسکوز [۲۰]

رفتار میراگر ویسکوز از رابطه (۱) تبعیت می‌کند.

$$F_D = C |u^*|^{\alpha} \operatorname{sgn}(u^*) \quad (1)$$

در رابطه (۱) مقدار α از شکل (۶) قابل بررسی است:

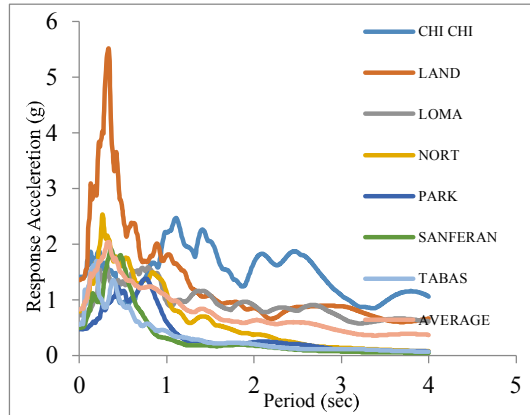


شکل ۶- منحنی عملکرد میراگر ویسکوز [۲۱]

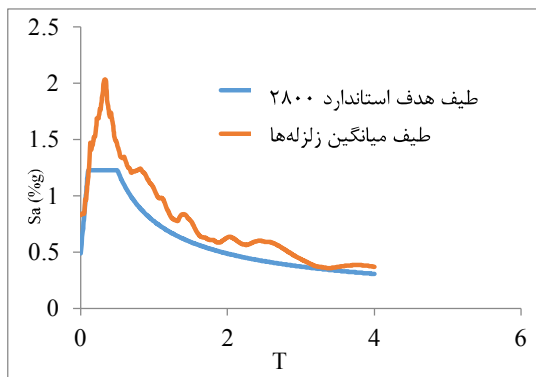
۲-۴- میراگر جاری شونده:

این سیستم متشکل از چند صفحه فلزی از جنس فولاد نرم می‌باشد که بصورت موازی با هم قرار گرفته‌اند که توسط المان‌هایی صلب به یکدیگر متصل شده‌اند. یک نوع از انواع مختلف میراگرهای فلزی (متالیک) در شکل (۷) مشاهده می‌شود.

زلزله‌ها و در شکل (۱۰) طیف هدف استاندارد ۲۸۰۰ و طیف میانگین شتاب زلزله‌های مذکور ارائه شده‌اند [۲۴].



شکل ۹- طیف‌های واحد زلزله‌ها [۲۴]

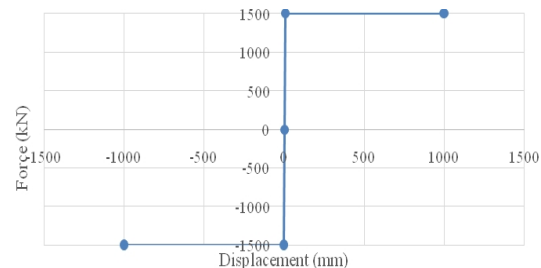


شکل ۱۰- مقایسه طیف هدف استاندارد ۲۸۰۰ ایران و طیف میانگین زلزله‌ها [۲۴]

۷- تحلیل تاریخیچه زمانی غیر خطی و ارائه نتایج آن:

به منظور انجام تحلیل تاریخیچه زمانی غیر خطی از مشخات زلزله طیس استفاده شده است. در شکل‌های (۱۱) تا (۱۴) نمودار تغییر مکان جانبی بام در جهت‌های افقی به ترتیب برای مدل اولیه و مدل گهواره‌ای نشان داده شده است.

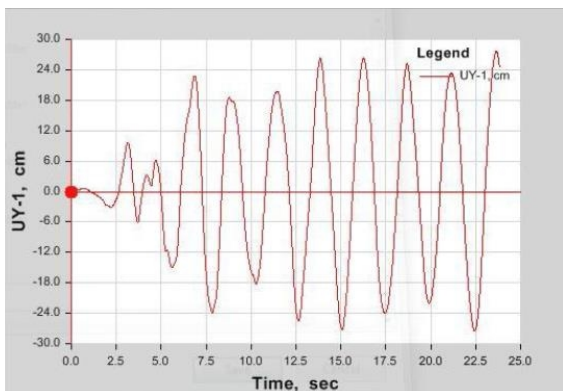
رفتار الاستوپلاستیک میراگر ویسکوز جهت مدلسازی در نرم افزار ETABS2015 نشان داده شده است.



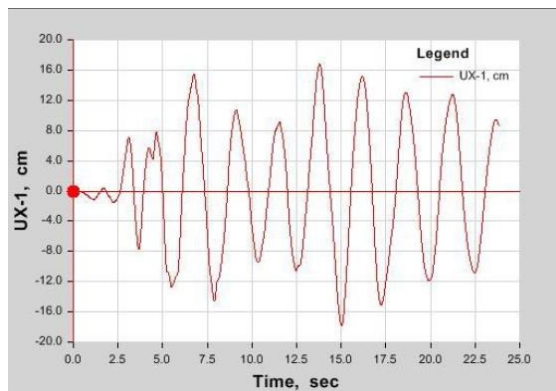
شکل ۸- رفتار الاستوپلاستیک میراگر ویسکوز [۲۳]

۶- مقیاس شتاب نگاشت‌ها:

شتاب‌نگاشت‌هایی 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 بر آن به منظور انتخاب زلزله‌های بایست آثار بزرگ، فاصله از گسل و سازوکار چشمه لرزه را در نظر گرفته شده باشد و همچنین ساختگاه‌های آنها به لحاظ ویژگی‌های زمین‌شناسی، تکتونیکی، لرزه‌شناسی و به خصوص مشخصات لایه‌های خاک با زمین محل ساختمان، تا حد امکان، مشابهت داشته باشند [۲۴]. شتاب‌نگاشت‌های انتخاب شده مربوط به زلزله‌های طیس، لندرس، لوماپریتا، نورث‌ریج، سان‌فرانسیسکو، چی‌چی و پارک‌فیلد می‌باشند. طیف‌های راستاهای مختلف هر زلزله با استفاده از روش جذر مجموع مربعات با یکدیگر ترکیب شده و به ازای هر زلزله یک طیف واحد به دست می‌آید. سپس نمودار میانگین هفت زلزله و طیف هدف را به دست آورده و با هم قیاس می‌شوند؛ به طوری که طیف‌های واحد هر زلزله در ضرایب مقیاسی ضرب می‌شوند تا نمودار میانگین را چنان تغییر دهند که در محدوده زمانی $0.2T$ تا $1/5T$ ثانیه بالاتر از طیف هدف آیین‌نامه ۲۸۰۰ باشد. با توجه به اینکه آیین‌نامه ۲۸۰۰ تنها به بالا بودن نمودار میانگین هفت زلزله نسبت به طیف هدف بسنده نموده است و میزانی برای آن در نظر گرفته نشده است و مطابق شکل (۱۰) در این مطالعه این‌گونه می‌باشد، مقدار ضریب مقیاس برابر با (۱g) در نظر گرفته خواهد شد. در شکل (۹) طیف‌های واحد



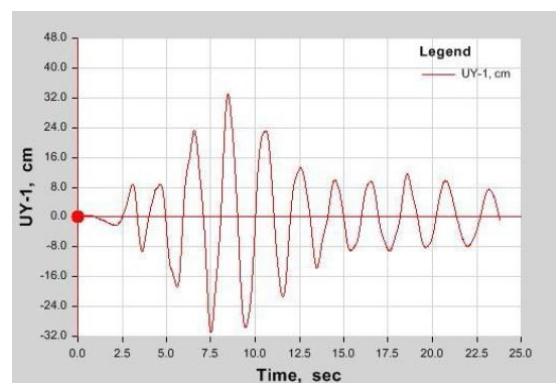
شکل ۱۴- نمودار تغییر مکان جانبی بام در جهت عرضی بر حسب سانتیمتر در مدل گهواره‌ای



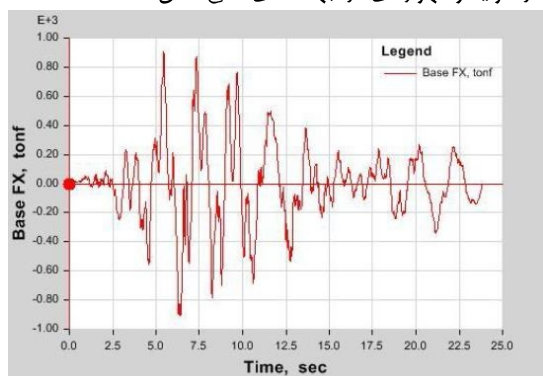
شکل ۱۱- نمودار تغییر مکان جانبی بام در جهت طولی سازه بر حسب سانتیمتر در مدل اولیه

بهره‌گیری از عملکرد گهواره‌ای در این مطالعه موردی سبب شده است که تغییر مکان جانبی سازه‌ی مورد بررسی کاهش یابد که می‌تواند سبب کاهش پاسخ لرزه‌ای آن شود. به طوری که با بررسی نتایج حاصل از تحلیل تاریخچه زمانی غیر خطی مشخص است که بیشینه جابه‌جایی در نقطه‌ی مورد مطالعه در بام سازه اولیه در جهت‌های طولی (X) و عرضی (Y) به ترتیب برابر با $17/8$ و $33/04$ سانتیمتر است و بیشینه جابه‌جایی در بام سازه گهواره‌ای در جهت‌های طولی (X) و عرضی (Y) به ترتیب برابر با $17/6$ و $27/6$ سانتیمتر است.

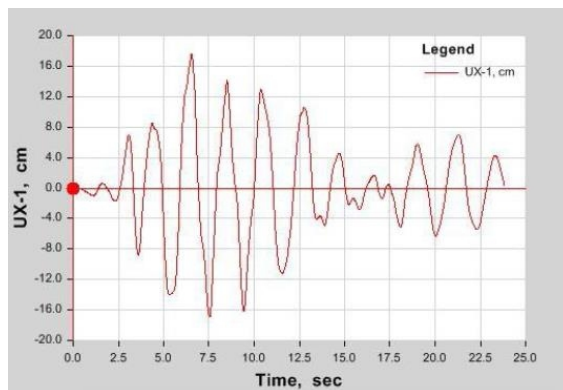
در شکل‌های (۱۵) تا (۱۸) نمودار برش پایه به ترتیب برای سازه اولیه و گهواره‌ای در جهت‌های افقی نشان داده شده است.



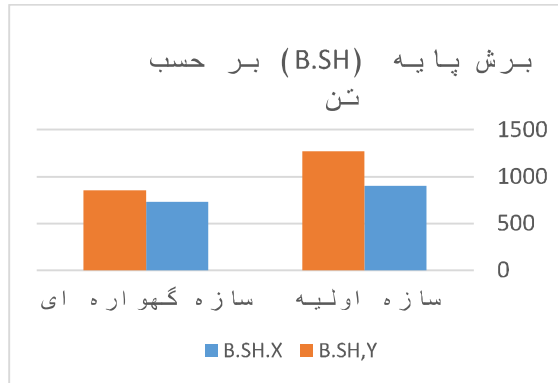
شکل ۱۲- نمودار تغییر مکان جانبی بام در جهت عرضی سازه بر حسب سانتیمتر در مدل اولیه



شکل ۱۵- نمودار برش پایه سازه اولیه در جهت طولی آن



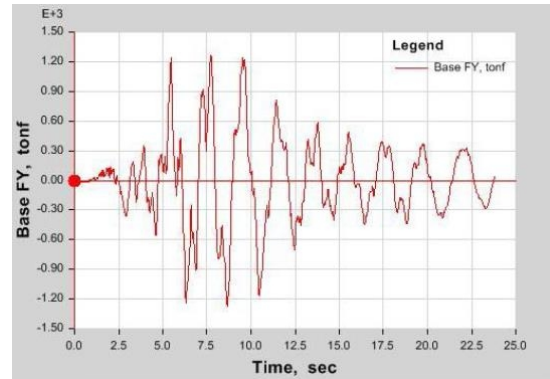
شکل ۱۳- نمودار تغییر مکان جانبی بام در جهت طولی سازه بر حسب سانتیمتر در مدل گهواره‌ای



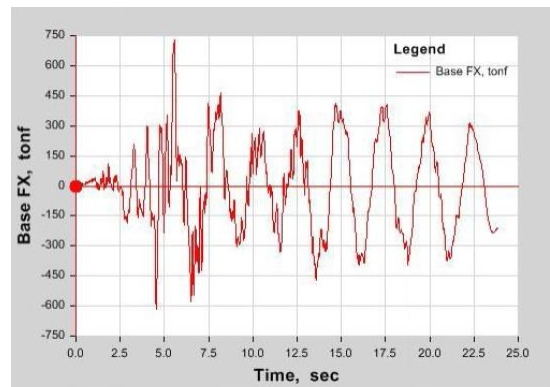
شکل ۱۹- خلاصه نتایج نیروی برش پایه برای مدل های اولییه و گهواره ای

شاید مهمترین فاکتور مورد بررسی در طرح های مقاوم سازی و بهسازی لرزه ای که همواره مورد تحقیق و بررسی است میزان برش پایه سازه ها می باشد. نتایج بررسی ها حاکی از آن است که برش پایه مدل اولییه در جهت های طولی و عرضی به ترتیب برابر با ۹۰۴/۹۵ و ۱۲۷۱ تن می باشد که این مقادیر با بهره گیری از سیستم گهواره ای برش پایه در جهت های طولی و عرضی به میزان قابل توجهی کاهش می یابند به طوری که برش پایه مدل گهواره ای در جهت های طولی و عرضی به ترتیب برابر با ۷۲۸ و ۸۵۷ تن است که این نتیجه می تواند بسیار ارزشمند باشد.

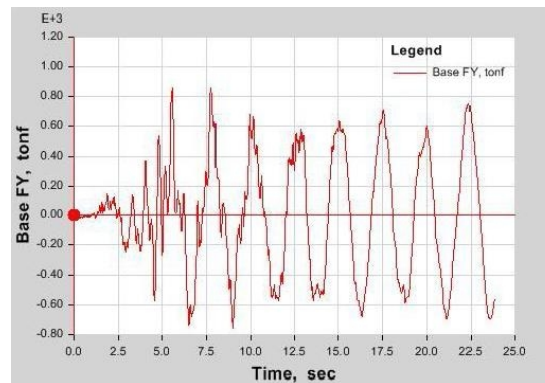
در شکل (۲۰)، F (fix) نماد مدل اولییه و R (Rocking) نماد مدل مجهز به سیستم راکینگ است. در این شکل تغییر مکان نسبی مدل های مورد مطالعه نشان داده شده است.



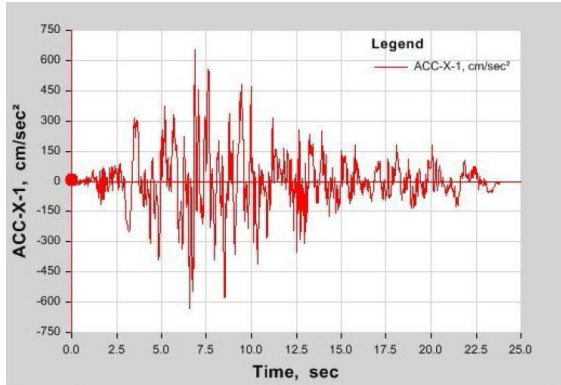
شکل ۱۶- نمودار برش پایه سازه اولییه در جهت عرضی آن



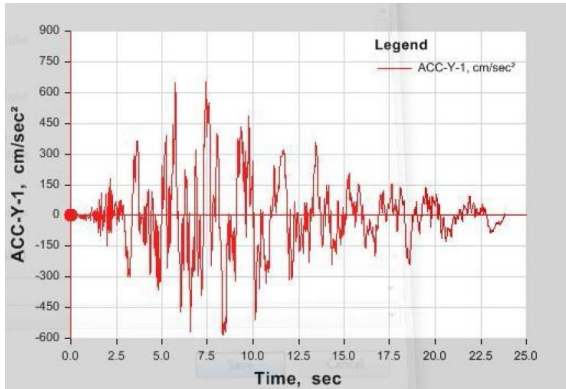
شکل ۱۷- نمودار برش پایه سازه گهواره ای در جهت طولی آن



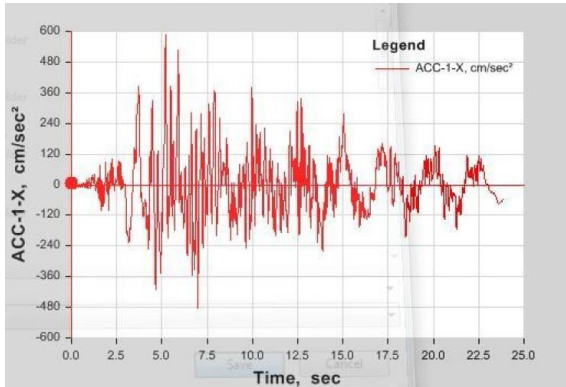
شکل ۱۸- نمودار برش پایه سازه گهواره ای در جهت عرضی آن



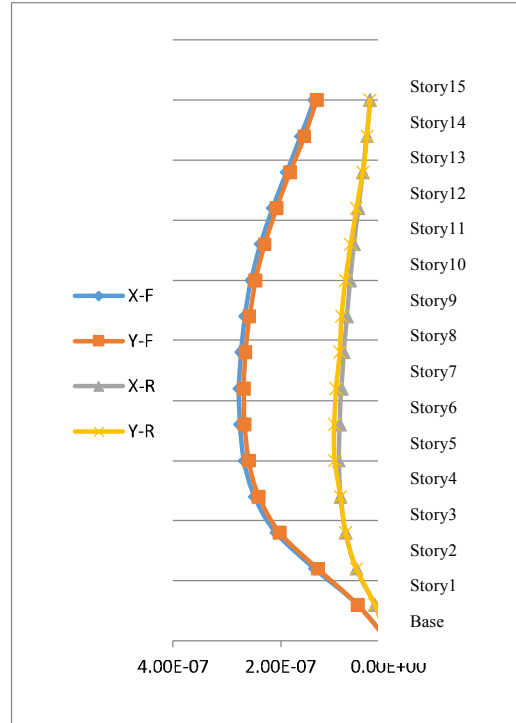
شکل ۲۱- نمودار شتاب جانبی بام در جهت X (افقی) در مدل اولیه



شکل ۲۲- نمودار شتاب جانبی بام در جهت Y (افقی) در مدل اولیه



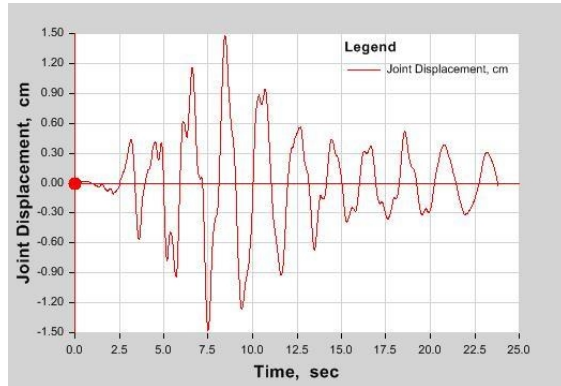
شکل ۲۳- نمودار شتاب جانبی بام در جهت X (افقی) در مدل گهواره‌ای



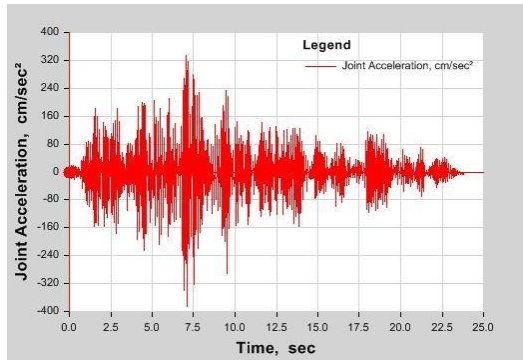
شکل ۲۰- تغییر مکان نسبی مدل‌های مورد مطالعه

با بررسی تغییر مکان نسبی مدل‌های مورد مطالعه مطابق شکل (۲۰) مشخص است که با بهره‌گیری از سیستم گهواره‌ای می‌توان تغییر مکان نسبی سازه مورد مطالعه را به میزان قابل توجه کاهش داد.

در شکل‌های (۲۱) تا (۲۴) شتاب افقی نقطه مورد مطالعه در مدل‌های مورد بحث مشاهده می‌شود. مطابق شکل‌های (۲۱) و (۲۲) بیشینه شتاب وارد شده در جهت‌های افقی (X و Y) به نقطه مورد مطالعه در بام مدل اولیه به ترتیب برابر با ۶۵۱/۶ و ۶۵۳/۱۴ سانتیمتر بر مجذور ثابته است و مطابق شکل‌های (۲۳) و (۲۴) مشخص است که بیشینه شتاب وارد شده به نقطه نظیر آن در مدل گهواره‌ای به ترتیب برابر با ۵۸۸/۳ و ۶۳۱/۵ سانتیمتر بر مجذور ثابته است.



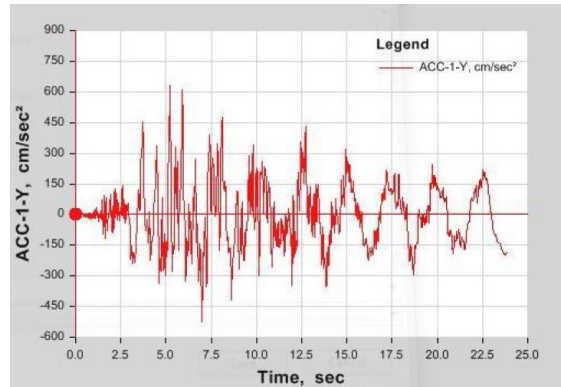
شکل ۲۷- تغییر مکان قائم نقطه مورد مطالعه در سازه دارای حرکت گهواره‌ای



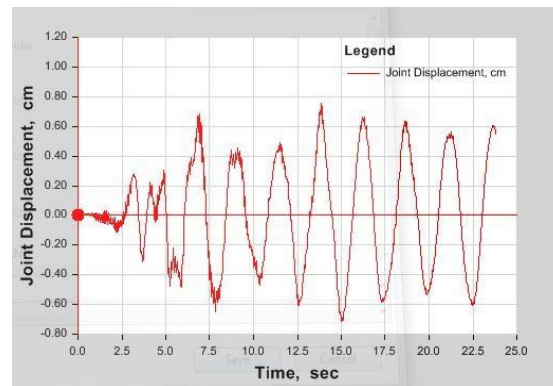
شکل ۲۸- شتاب قائم نقطه مورد مطالعه در سازه دارای حرکت گهواره‌ای

با بررسی تغییر مکان قائم نقطه مورد مطالعه در سازه اولیه و مقایسه آن با مقداری نظیرش در سازه گهواره‌ای مشخص است که تغییر مکان قائم سازه به مراتب بیشتر شده است به طوری که بیشینه تغییر مکان قائم سازه اولیه و سازه گهواره‌ای به ترتیب برابر با 0.75 و 1.48 سانتیمتر است.

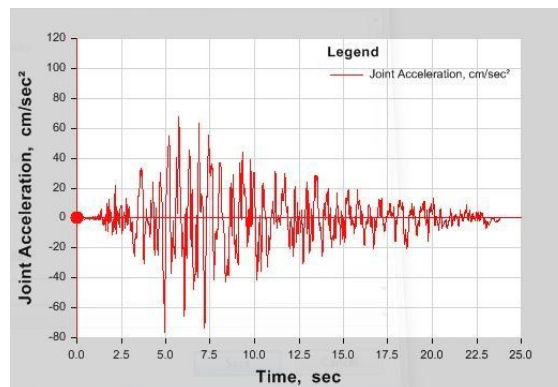
با مقایسه شتاب قائم نقطه مورد مطالعه در سازه‌های مورد نظر مشخص است که بهره‌گیری از سیستم گهواره‌ای نسبت به سازه اولیه سبب افزایش شتاب قائم سازه می‌شود، به طوری که شتاب قائم نقطه مورد مطالعه در سازه اولیه و سازه با سیستم گهواره‌ای به ترتیب برابر با 85 و 335 سانتیمتر بر مجذور ثانیه است.



شکل ۲۴- نمودار شتاب جانبی بام در جهت Y (افقی) در مدل گهواره‌ای در ادامه به بررسی جابه‌جایی و شتاب قائم نقطه مورد مطالعه در هر دو مدل مورد بحث پرداخته می‌شود که نتایج آن در شکل‌های (۲۵) تا (۲۸) مشاهده می‌شود.



شکل ۲۵- تغییر مکان قائم نقطه مورد مطالعه در سازه با تکیه‌گاه‌های گیردار



شکل ۲۶- شتاب قائم نقطه مورد مطالعه در سازه با تکیه‌گاه‌های گیردار



شکل ۲۹- پریود سازه برای مدل‌های اولیه و گهواره‌ای

۹- نتیجه‌گیری

در این مقاله به منظور بررسی اثرات سیستم گهواره‌ای در کاهش پاسخ لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی بلند مرتبه، یک سازه ۱۵ طبقه منظم فولادی طراحی شد و بعنوان مدل اولیه در این مطالعه نامگذاری شد. به منظور بررسی اثرات حرکت گهواره‌ای (راکینگ)، در مدل دوم، ساختمان مورد مطالعه به سیستم راکینگ مجهز شد. سپس با استفاده از تحلیل تاریخیچه زمانی غیر خطی به بررسی و مقایسه پاسخ لرزه‌ای دو مدل مورد مطالعه پرداخته شده است که نتایج ذیل بدست آمده است که به اختصار بیان می‌شوند:

- از جمله پارامترها بسیار مهم جهت مطالعه رفتار لرزه‌ای سازه‌ها مطالعه پارامتر تغییر مکان‌های سازه است. با بررسی نتایج حاصل از تحلیل تاریخیچه زمانی غیر خطی مشخص است که میزان جابه‌جایی جانبی نقاط مورد مطالعه و میزان تغییر مکان نسبی در مدل دوم نسبت به مدل اول کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته است به طوری که بیشینه جابه‌جایی در نقطه مورد مطالعه در بام سازه اولیه در جهت‌های طولی (X) و عرضی (Y) به ترتیب برابر با ۱۷/۸ و ۳۳/۰۴ سانتیمتر است و بیشینه جابه‌جایی در نقطه نظیر آن در مدل گهواره-ای در جهت‌های طولی (X) و عرضی (Y) به ترتیب برابر با ۱۷/۶ و ۲۷/۶ سانتیمتر است.

- شاید مهمترین پارامتر مورد بررسی در طرح‌های مقاوم‌سازی و بهسازی لرزه‌ای که همواره مورد تحقیق و بررسی پژوهشگران بوده

۸- تحلیل بردارهای ویژه

از جمله پارامترهای مهم مورد بررسی در بحث ارزیابی پاسخ لرزه-ای سازه‌ها بررسی مقادیر فرکانس سازه است. فرکانس سازه رابطه-ای معکوس با پریود سازه دارد. در ادامه بحث به ارزیابی مقادیر زمان تناوب مدل‌های مورد بررسی پرداخته می‌شود که بدین منظور از تحلیل بردارهای ویژه استفاده شده است.

تحلیل بردارهای ویژه شامل تحلیل سازه تحت اثر ارتعاش آزاد و بدون میرایی است. ارتعاش آزاد، ارتعاشی است که عاری از هرگونه تحریک دینامیکی باشد که با برهم زدن وضعیت متعادل سازه بوسیله اعمال تغییر شکل و یا سرعت اولیه آغاز می‌شود. مشخصه‌های ارتعاش طبیعی (فرکانس و زمان تناوب) تنها به جرم و صلبیت سازه بستگی دارند. زمان تناوب ارتعاش طبیعی رابطه‌ای معکوس با فرکانس ارتعاش طبیعی دارد. N ریشه معادله مشخصه $(\det[k-\omega_n^2 m]=0)$ فرکانس طبیعی ارتعاش و در پی آن زمان تناوب طبیعی ارتعاش را تعیین می‌کنند. ریشه‌های معادله مذکور به مقادیر ویژه (Eigen Value) معروف هستند. برای هر یک از N فرکانس طبیعی یک سیستم N درجه آزادی، یک بردار مستقل ϕ_n وجود دارد که نشان دهنده شکل ارتعاشی آن مود می‌باشد. در نتیجه برای یک سیستم N درجه آزادی، N بردار شکل مود ϕ_n وجود دارد. این بردارها به بردارهای ویژه معروف هستند [۲۵].

در شکل (۲۹) مقادیر پریود مدل‌های مورد مطالعه ارائه شده است که مطابق نتایج حاصل از مطالعات به عمل آمده مشخص است که با توجه به تجهیزات مکانیکی بکار گرفته شده در مدل دارای رفتار گهواره‌ای، سختی آن نسبت به مدل اولیه کاهش می‌یابد و در نتیجه پریود آن افزایش یافته است. پریود سازه از مقدار ۲/۰۵ ثانیه در مدل اول به مقدار ۲/۳۹ ثانیه در مدل دوم افزایش یافته است.

2) Macrae, G., Clifton, C., "Rocking structure design considerations", Steel Innovations 2013 Workshop, Christchurch, 2013.

۳- نیکخواه، ا.، سروقد مقدم، ع.، ر.، "بررسی اثرات واژگونی ناشی از مؤلفه قائم زلزله در ساختمان‌های مهاربند فولادی با حرکت گهواره‌ای"، پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، سال نوزدهم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۵.

۴- فر شفاف، م.، و همکاران، "تأثیر نوع رفتار اتصال ستون به فونداسیون، بر عملکرد لرزه‌ای ساختمان فولادی با سیستم مهاربند دارای حرکت گهواره‌ای"، کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، دبیرخانه دائمی کنفرانس، تهران، ۱۳۹۵.

5- Pollino, M., "Seismic design for enhanced building performance using rocking steel braced frames", Engineering Structures, Volume 83, 15 January 2015, Pages 129-139.

6- Makris, N., and Vassiliou, M, F., "The Dynamics of the Rocking Frame", Springer International Publishing Switzerland, I.N. Psycharis et al. (eds.), Seismic Assessment, Behavior and Retrofit of Heritage Buildings and Monuments, Computational Methods in Applied Sciences 37, 2015.

7- Ceravolo, R., et al., "Semi-active control of the rocking motion of monolithic art objects", Journal of Sound and Vibration, Volume 374, 21 July 2016, Pages 1-16.

۸- رهگذر، م.، سروقد مقدم، ع.، ر.، "ارزیابی ریسک فروریزش قاب مهاربندی دارای حرکت گهواره‌ای کنترل شده با کابل پس کشیده و میراگر پروانه ای شکل"، دومین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، معماری و مدیریت بحران، دانشگاه علامه مجلسی، تهران، ۱۳۹۶.

9- Ceravolo, R., et al., "Comparison of semi-active control strategies for rocking objects under pulse and harmonic excitations", Mechanical Systems and Signal Processing, Volume 90, June 2017, Pages 175-188.

10- Rahgozar, Moghadam, Rahgozar and Aziminejad., "Performance evaluation of self-centring steel-braced frame", journal of Structures and Buildings, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 2016.

است میزان برش پایه سازه‌های 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 بررسی ها حاکی از آن است که برش پایه مدل اولیه در جهت های طولی و عرضی به ترتیب برابر با ۹۰۴/۹۵ و ۱۲۷۱ تن می باشد که با بهره گیری از سیستم گهواره‌ای برش پایه در جهت های طولی و عرضی به ترتیب به مقادیر ۷۲۸ و ۸۵۷ تن کاهش می‌یابند. با توجه به محدودیت ظرفیت اجزای سازه‌ای، این میزان کاهش قابل توجه در مقدار برش پایه سازه می‌تواند بسیار ارزشمند باشد.

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 وارد شده در جهت های افقی (X و Y) در نقطه مورد مطالعه در بام مدل اولیه به ترتیب برابر با ۶۵۱/۶ و ۶۵۳/۱۴ سانتیمتر بر مجذور ثابته است. در حالی که بیشینه شتاب وارد شده در جهت های افقی (X و Y) به نقطه نظیر آن در مدل گهواره‌ای به ترتیب برابر با ۵۸۸/۳ و ۶۳۱/۵ سانتیمتر بر مجذور ثابته است.

- تغییر مکان و شتاب قائم سازه در حالت گهواره‌ای نسبت به مدل اولیه افزایش یافته است.

- پیروی سازه در مدل گهواره‌ای نسبت به مدل اولیه افزایش یافته است.

- نهایتاً با توجه به نتایج بدست آمده مشخص شده است که بهره گیری از سیستم حرکت گهواره‌ای به نحوه مدلسازی شده در این مطالعه می‌تواند پاسخ لرزه‌ای ساختمان‌های فولادی بلند مرتبه را به میزانی قابل توجه کاهش دهد.

فهرست منابع

۱- فر شفاف، م.، نیکخواه، ع.، "تأثیر مشخصات مدل اتصال پای ستون در رفتار لرزه‌ای قاب‌های مهاربند تعمیرپذیر دارای حرکت گهواره‌ای"، پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، سال نوزدهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۵.

Institute and State University, in partial fulfillment of the requirements for the degree of MASTER OF SCIENCE In CIVIL ENGINEERING, April 29, 2008, Blacksburg, Virginia.

22- Weber, F., Feltrin, G., Huth, O., "Guidelines for Structural Control, Structural Engineering Research Laboratory", Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research Dubendorf, Switzerland, 2006.

۲۳- انصاری طرقي، م، سروقد مقدم، ع، ر، "بررسی کارایی استفاده از حرکت گهواره ای در بهبود عملکرد لرزه ای ساختمان میان مرتبه با مهاربند فولادی"، پنجمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، معماری و توسعه شهری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ۱۳۹۶.

۲۴- منصوری، س، "بررسی روش انتخاب، همپایه نمودن و مقیاس شتاب نگاشت ها مطابق استاندارد ۲۸۰۰ ایران و آیین نامه ASCE همراه با مطالعات موردی"، پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، سال نوزدهم، شماره سوم، صفحات ۱ تا ۱۶، پاییز ۱۳۹۵.

۲۵- منصوری، س، "بهسازی لرزه ای یک پل موجود با استفاده از تجهیزات مستهلک کننده انرژی"، پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله، سال نوزدهم، شماره چهارم، صفحات ۱۹ تا ۳۲، پاییز ۱۳۹۵.

۲۶- حسنونند، ر، "بررسی اثرات استفاده از میراگرهای ویسکوز در بهسازی لرزه ای ساختمان های فولادی بلند مرتبه دارای حرکت گهواره ای با سیستم باربر جانبی مهاربند همگرا"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران- سازه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خمین، خمین، تابستان ۱۳۹۷.

11- Yongqi, C., Liangzhe, M., Tiezhu, C., Schneider, R., Winters, C., "SHOCK CONTROL OF BRIDGES IN CHINA USING TAYLOR DEVICES' FLUID VISCOUS DEVICES", The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008, Beijing, China.

12- Kandemir, E, C., Mazda, T., "Nonlinear Viscous Damper Application to Arch Bridge", JCES Volume 1, Issue 3 September 2012 PP. 127-131.

13- Wang, Y, J., Yau, J, D., Wei, Q, C., "VIBRATION SUPPRESSION OF TRAIN-INDUCED MULTIPLE RESONANT RESPONSES OF TWO-SPAN CONTINUOUS BRIDGES USING VE DAMPERS", Journal of Marine Science and Technology, Vol. 21, No. 2, 2013, pp. 149-158.

14- Narkhede, D, I., Sinha, R., "Influence of shock impulse characteristics on vibration control using nonlinear fluid viscous dampers", Journal of vibration and control, sage journals, 2015.

15- Narkhede, D, I., Sinha, R., "Shock Vibration Control of Structures using Fluid Viscous Dampers", 15 WCEE, LISBOA, 2012.

16- Kim, J., et al., "Seismic retrofit of special truss moment frames using viscous dampers", Journal of Constructional Steel Research, Volume 123, August 2016, Pages 53-67.

۱۷- مقررات ملی ساختمان، مبحث ششم، بارهای وارد بر ساختمان، وزارت راه و شهرسازی، دفتر امور مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۲.

۱۸- "مقررات ملی ساختمان، مبحث دهم، طرح و اجرای ساختمان های فولادی"، وزارت راه و شهرسازی، دفتر امور مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۲.

۱۹- منصوری، س، "تشریح، تحلیل و تفسیر آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله (تفسیر ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ ایران)"، انتشارات سیمای دانش، تهران، فروردین ۱۳۹۶.

20- Chen, W, F., Duan, F., "Bridge Engineering: Seismic Design", CRC PRESS, Boca Raton London New York Washington, D.C., 2003.

21- Atlayan, O., "EFFECT OF VISCOUS FLUID DAMPERS ON STEEL MOMENT FRAME DESIGNED FOR STRENGTH AND HYBRID STEEL MOMENT FRAME DESIGN", Thesis submitted to the faculty of the Virginia Polytechnic

The Investigation of the Effects of Using Rocking Systems on the Seismic Retrofit of High-rise Steel Building

Ali Parvari

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Khomein Branch, Islamic Azad University, Khomein, Iran.

Rohallah Hasanvand

MSc Structural Engineering, Faculty of Engineering, Khomein Branch, Islamic Azad University, Khomein, Iran.

Saman Mansouri

Young Researchers and Elite Club, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran.

Abstract:

In this paper, a 15-story steel building was designed based on Iranian code No.2800 in order to study the effects of rocking systems on the seismic response of high-rise steel buildings. The selected accelerograms were related to the Chi Chi, Landers, Loma Prieta, Northridge, Parkfield, San Fernando and Tabas earthquakes which were selected and scaled according to Iranian Standard No. 2800. These accelerograms were related to the stations which were registered at the distance of 20 to 60 kilometers from the fault and did not have the near-fault earthquakes characteristics such as forward directivity and fling step and etc. Furthermore, the magnitude of all the selected earthquakes was between 6.5 and 7.5 Richter. Then, nonlinear time history analysis was used to investigate and compare the seismic response of the studied building in cases with and without using the rocking system. The results of studies (including base shear, drift, displacement of roof, acceleration of roof and etc.) indicated that using rocking system in the high-rise steel buildings could cause significantly reduce the seismic response of high-rise steel buildings.

Key words: high-rise steel building, seismic retrofit, seismic response, rocking systems