



Improving the Seismic behavior of Repairable Systems with a Cradle Mechanism in Irregular Mass steel Braced Buildings in Plan

Mohsen Mohajer Tabrizi

Phd candidate Of Earthquake Engineering, Department Of Civil Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abbas Akbarpour Nik Qalb Rashti*

faculty member of the Department Of Civil Engineering, South Tehran Branch , Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abdul Reza Saroqd Moghadam

Full-time faculty member, Structural Engineering Department, International Research Institute of Seismology and Earthquake Engineering
Maryam Firoozi Nezamabadi

Faculty member of Department Of Civil Engineering, At The Center For Modelling Of The South Tehran Branch Islamic Azad University, Tehran, Iran

Mohammadreza Adib Ramezani

Department of Civil Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
a_akbarpour@azad.ac.ir

doi: 10.30495/CIVIL.2023.701043

Keywords:

seismic behavior, repairable systems, cradle mechanism, steel buildings, mass irregularity in the plan

Abstract

This research has investigated the improvement of the seismic behavior of repairable systems with a cradle mechanism in steel braced buildings with irregular mass in plan. A new method is used to find a suitable method in a building with a regular plan with asymmetric mass distribution, in order to reduce the adverse effects of the structure and to quickly repair the damage caused to the structure after a strong earthquake. In this method, by creating lifting conditions at the base of braced bay columns and by using energy-dissipating devices in this part, energy absorption and consumption are transferred to this part of the structure and prevent damage to other parts. Based on the results, the effect of taking into account the effects of vertical and horizontal earthquakes in different mass irregularities of structures in the seismic performance of low-rise structures was determined. Also, the irregularities in the numerical model of the structure have a significant effect on the IDA curves. As the height of the structure increases in the four failure modes, the mean probability of fragility of the structures occurs at a lower S_a , which means that the vulnerability of the structure increases. Also, with the increase in height, the slope of S_a reduction in four failure modes becomes milder, and the fragility curves for two IO performance levels and CP performance level have been obtained for all 6 structures. Considering the effect of irregularities, they are significantly effective in the structural failure of structures, so that considering the effect of these irregularities in mass distribution can lead to an increase in the probability of structural failure.

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

(این نشریه تحت قانون بین المللی کپی رایت Creative Commons: BY-NC می باشد).



بهبود رفتار لرزه‌ای سیستم‌های تعمیرپذیر با مکانیزم گهواره‌ای در ساختمان‌های مهاربند فولادی نامنظم جرمی در پلان

محسن مهاجر تبریزی

دانشجوی دکتری مهندسی زلزله، گروه مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

عباس اکبرپور نیک قلب رشتی*

استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

عبدالرضا سروقد مقدم

عضو هیأت علمی تمام وقت، گروه مهندسی سازه، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

مریم فیروزی نظام آبادی

عضو هیئت علمی گروه مهندسی عمران، مرکز مدلسازی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران

محمد رضا ادیب رضانی

استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

a_akbarpour@azad.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۲۰ اسفند ۱۴۰۱

تاریخ دریافت: ۱۴ آذر ۱۴۰۱

چکیده

این پژوهش به بررسی بهبود رفتار لرزه‌ای سیستم‌های تعمیرپذیر با مکانیزم گهواره‌ای در ساختمان‌های مهاربند فولادی نامنظم جرمی در پلان پرداخته است. برای پیدا کردن یک روش مناسب در ساختمان با پلان منظم با توزیع نامتقارن جرم، به‌منظور کاهش اثرات نامطلوب سازه و برای تعمیر سریع آسیب‌های ایجاد شده در سازه پس از رخداد زلزله قوی از یک روش نوین استفاده می‌شود. بدین ترتیب که در ابتدا با ایجاد شرایط بلند شدگی در پای ستون‌های دهانه مهاربندی و با به‌کارگیری وسایل اتلاف‌کننده انرژی در این بخش، جذب و استهلاک انرژی به این قسمت از سازه انتقال می‌یابد و از بروز آسیب به بخش‌های دیگر جلوگیری می‌شود. بر اساس نتایج، تأثیر لحاظ نمودن اثرات زلزله‌های قائم و افقی در نامنظمی‌های جرمی مختلف سازه‌ها در عملکرد لرزه‌ای سازه‌های کوتاه مرتبه مشخص شد و نیز اینکه نامنظمی‌های موجود در مدل عددی سازه تأثیری بسزایی در منحنی‌های IDA دارد. با افزایش ارتفاع سازه در چهار حالت خرابی، میانه احتمال شکنندگی سازه‌ها در Sa پایین‌تری رخ می‌دهد، به این معنی که آسیب‌پذیری سازه افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش ارتفاع، شیب کاهش Sa در چهار حالت خرابی ملایم‌تر می‌گردد و نیز منحنی‌های شکنندگی برای دو سطح عملکرد IO و سطح عملکرد CP برای هر ۶ سازه به‌دست آمده‌اند. در نظرگیری اثر نامنظمی به‌طور قابل توجهی در خرابی سازه‌های سازه‌ها مؤثر می‌باشند به‌طوری‌که در نظرگیری اثر این نامنظمی‌های در توزیع جرم می‌تواند منجر به بالا رفتن احتمال خرابی سازه‌ها گردد.

کلید واژگان: رفتار لرزه‌ای، سیستم‌های تعمیرپذیر، مکانیزم گهواره‌ای، ساختمان‌های فولادی، نامنظم جرمی در پلان

۱- مقدمه

بدون شک ویژگی‌ها و قابلیت‌های مکانیزم گهواره‌ای، یکی از پارامترهای مهم به منظور کاهش هزینه تعمیرات سازه پس از رخداد زلزله قوی خواهد بود [۱]. برای کنترل و کاهش این خسارت‌ها می‌توان از مکانیزم قاب مهاربند فولادی گهواره‌ای استفاده کرد. قاب مهاربند فولادی گهواره‌ای شامل قاب مهاربند الاستیکی است که قبل از تسلیم و کماتش اعضای قطری مهاربند، به تکیه‌گاه‌های قاب اجازه بلند شدن را می‌دهد و در محل تکیه‌گاه برای استهلاک انرژی از و سایل اتلاف‌کننده استفاده می‌شود [۲]. در سال‌های اخیر، مکانیزم گهواره‌ای مورد توجه بسیاری از تحقیقات بوده و پیش‌بینی می‌شود این مکانیزم، به سبب هدایت آسیب به جاذب‌های انرژی، نقش مهمی را در آینده ضوابط طراحی لرزه‌ای سازه‌ها ایفا نماید [۱، ۲]. هدف اصلی و هوشمند لرزه‌ای برای کنترل خسارت به معنای کلی دانست. به مجموعه‌ای از خدمات پیشرفته با هدف ایجاد نوع جدیدی از سیستم مقاوم لرزه‌ای، ایجاد اتلاف انرژی بهتر، افزایش ایمنی، شکل‌پذیری بهتر و در کل تنظیم خصوصیات سازه‌ای به‌صورت خودکار بدون هیچگونه سنسور و پردازش‌گری به منظور کنترل خرابی را سیستم هوشمند گهواره‌ای نامیده می‌شود [۴]. قاب‌های مهاربندی با گهواره شدن می‌تواند پتانسیل رفتار مقاومتی در برابر خرابی با عملکرد توسعه یافته را فراهم کند و همچنین می‌تواند یک مکانیزم نیروی مقاوم از طریق بارهای ثقیل و نیروی پس کشیده برای برگشت به وضعیت اولیه به‌منظور حذف دررفت پسماند فراهم کند و سپس برای کنترل پاسخ‌های گهواره‌ای در حد مجاز و سایل اتلاف‌کننده انرژی اضافه می‌شوند [۵]. هدف از این مقاله امکان‌سنجی به‌کارگیری حرکت گهواره‌ای تنظیم‌شده در ساختمان مهاربند فولادی با پلان منظم و توزیع نامتقارن جرم می‌باشد. اینکه آیا می‌توان با به‌کارگیری حرکت گهواره‌ای از رفتار سازه با پلان منظم و توزیع نامتقارن جرم در طول یک زلزله قوی را بهبود بخشید؟ چراکه چنین سازه‌های با پلان منظم برای کاربری‌های همچون بیمارستان یا سایر کاربری‌های که به دلایل معماری و محدودیت زمین تحت اثر حرکات ناهماهنگ باعث تمرکز خرابی در اعضا و درنهایت خرابی کلی سازه می‌شود که با این وجود نیازمند سیستم گهواره‌ای تنظیم‌شده برای کنترل خسارت پیش از پیش‌ضروری به نظر می‌رسد. مکانیزم‌های گهواره‌ای به چهار گروه عمده تقسیم می‌شوند. گروه اول، ستون‌های گهواره‌ای هستند که با تضعیف پای ستون شرایطی فراهم می‌شود که با افزایش میرایی، مقاومت و سختی ستون کاهش می‌یابد و گروه دوم، دیوارهای گهواره‌ای هستند که با ایجاد شرایطی در پای دیوار برای بلند شدن و با اتصال میراگر، مکانیزم گهواره‌ای در آن به وجود می‌آید و گروه سوم، قاب گهواره‌ای می‌باشد که با بکار بردن ابزارهای جاذب انرژی (میراگر) در قاب و ایجاد شرایطی در پای ستون، در هنگام وقوع زلزله باعث بلند شدن ستون‌های قاب تحت اثر نیروی کششی موجود در آن

می‌شود. گروه چهارم، ساختمان گهواره‌ای است که با بکار بردن ابزارهای جاذب انرژی در نقاط مختلف سازه و ایجاد شرایط خاص در پای ستون‌های اولین طبقه از ساختمان، شرایط ایجاد مکانیزم گهواره‌ای در کل ساختمان را ایجاد می‌کند [۶]. از این رو تمرکز این پژوهش روی استفاده از مکانیزم مهاربند گهواره‌ای می‌باشد. در این مکانیزم، تکنیک‌های متفاوتی برای ایجاد حرکت گهواره‌ای وجود دارد [۷-۱۲]. در این مقاله به دلیل استفاده اتلاف‌کننده‌های انرژی و میراگرهای ویسکوز منفعل در پای ستون‌های دهانه مهاربندی بدون نیاز به کابل‌های پس کشیده، از قاب مهاربند گهواره‌ای استفاده شده است. بدین منظور یکی از سؤال‌های اساسی در این مقاله این است که چگونه می‌توان تمامی اثرات نامطلوب حاصل از نامنظمی را در پاسخ‌های مختلف بهبود بخشید؟ درحالی‌که در اثر نامنظمی پلان، برون مرکزیتی بین مرکز جرم و مرکز سختی سازه ایجاد می‌شود. از این رو سازه دچار پیچش خواهد شد که یکی از مودهای خرابی در ساختمان‌های نامنظم می‌باشد پس تنها استفاده از مکانیزم گهواره‌ای راهحل مناسب برای جلوگیری از خسارت و اثرات نامطلوب دیگر در سازه نمی‌باشد. برای این منظور علاوه بر استفاده از تکنیک RBF از کابل و تغییر نیرو در آن برای بهبود اثرات نامطلوب استفاده می‌شود [۱۳]. هاوونر در مقاله‌ای در سال ۱۹۶۳ تحت عنوان رفتار سازه پاندول معکوس در طول زلزله برای اولین بار سیستم پایه گهواره‌ای را مورد بررسی قرار گرفت مطالعات آنها نشان داد که بلوک‌های بلندتر نسبت به بلوک‌های کوتاه‌تر از پایدار بهتری برخوردار هستند به‌طوری‌که تحت حرکت زمین پایداری بلوک بلند لاغرتر نسبت به بلوک کوتاه‌تر در مقابل نیروی افقی ثابت بسیار بیشتر است. روه در سال ۲۰۰۷ در پایان‌نامه دکترای خود به ارزیابی رفتار لرزه‌ای سازه‌ها با استفاده از ستون‌های گهواره‌ای و میراگرهای ویسکوز پرداخت. استفاده از ستون‌های گهواره‌ای به‌منظور کاهش مقاومت سازه‌های برای کنترل شتاب طبقات صورت می‌گیرد. او نشان داد که هم شتاب و هم پاسخ تغییر مکان طبقات می‌تواند در مقایسه با سازه‌های معمولی کاهش یابد [۱۴].

روه و راینهاوم در سال ۲۰۰۸ در مقاله‌ای با عنوان پاسخ دینامیکی سازه‌های تضعیف‌شده با استفاده از ستون‌های گهواره‌ای (نوسانی) به بررسی کاهش شتاب وارده به سازه به منظور حفاظت اجزای سازه‌ای و اجزای غیر سازه‌ای حساس به شتاب در سازه‌های الاستیک پرداختند و این کار با کاهش مقاومت کلی سازه انجام دادند. در این پژوهش استفاده از ستون‌های گهواره‌ای، به‌منظور کاهش مقاومت بخشی از بار جانبی سیستم (سازه تضعیف‌شده) برای کنترل شتاب‌های طبقه پیشنهاد شده است. مطالعات عددی نشان می‌دهد که پاسخ شتاب طبقه می‌تواند در مقایسه با سازه‌های مرسوم کاهش یابد. نتایج تحلیلی نشان می‌دهد که ستون‌های گهواره‌ای مفهوم مؤثری از تضعیف سازه به‌منظور کاهش شتاب طبقه را ارائه می‌دهد [۱۵]. بارتز در پایان‌نامه دکترای خود با عنوان طراحی پلهای مقاوم در برابر زلزله با استفاده از

ستون‌های گهواره‌ای به ارائه روشی به صورت اتصال ناپیوسته در مفاصل پل پرداخت. برای این کار، در ابتدا رفتار بلوک‌های صلب که دارای حرکت گهواره‌ای هستند را مورد مطالعه قرارداد. لذا نشان داده شده که سازه پل با حرکت گهواره‌ای که توسط کابل مقاوم شده‌اند می‌توانند زلزله‌های شدید را متحمل شوند [۱۶]. آزوهاتا و میدوری کاوا و همکاران در سال ۲۰۰۳ در مقاله‌های تحت عنوان تست میز لرزه‌ای روی اثرات کاهش یافته پاسخ‌های لرزه‌ای در سیستم‌های سازه‌ای ساختمان گهواره‌ای به بررسی پاسخ‌های لرزه‌ای در سیستم گهواره‌ای با بیس پلیت جاری شونده در مقایسه با سیستم گهواره‌ای ساده و سیستم پایه ثابت با تست‌های میز لرزه‌ای مورد ارزیابی قراردادند. این تحقیق منجر شد که سیستم بیس پلیت جاری شونده می‌تواند به‌طور مؤثری پاسخ‌های لرزه‌ای سازه‌ها را کاهش دهد و همچنین نشان داد که برش پایه بحرانی ناشی از بلند شدگی پایه‌ها توسط این روش قابل کنترل است [۷]. آزوهاتا و میدوری کاوا و همکاران در سال ۲۰۰۰ در مقاله‌ای به این نتایج دست یافته‌اند که نیروی برشی در قاب گهواره‌ای با ستون‌های بلند شونده در مقایسه با قاب پایه ثابت کاهش یافته ولی تغییر مکان حداکثر بام در هر دو سیستم تقریباً مشابه بوده است. در این مقاله از روش آزمایشی و عددی برای مطالعه استفاده شده است [۸]. راهگنزار و همکاران در سال ۲۰۱۸ راه‌حل‌های فرم بسته‌ای برای مطالعه سریع قاب هسته-گیردار گهواره‌ای با استفاده از تحلیل روش پیوسته انجام شده است. نتایج نشان داد که لنگر و تغییر مکان و برش هسته با سختی دورانی پایه تناسب دارد ولی برش قاب با سختی دورانی رابطه عکسی دارد [۱۷].

ژانگ و همکاران در سال ۲۰۱۸ در مقاله‌ای تحت عنوان مطالعات آزمایشی روی رفتار لرزه‌ای قاب مهاربندی فولادی کماتش تاب گهواره‌ای با ستون پایه بلند شونده به منظور کاهش خسارت‌های لرزه‌ای و کاهش هزینه تعمیرات سازه بعد از زلزله پرداختند و به منظور کنترل مؤثری در موقعیت خسارت از تیر با مقطع کاهش یافته و برای بهبود ظرفیت جذب انرژی مدل سازه گهواره‌ای از ستون‌های پایه با قابلیت بلند شدگی با میراگرهای اصطکاکی استفاده شده است [۴]. هاشمی و همکاران در سال ۲۰۱۶ در مقاله‌ای تحت عنوان رفتار لرزه‌ای دیوار هسته گهواره‌ای ترکیبی فولاد چوبی مرکزگرا با اتصالات اصطکاکی لغزنده به منظور فراهم کردن شکل‌پذیری کافی و اتلاف انرژی به همراه محدود نمودن دررفت پسماند و خسارت مرتبط به آن مورد بررسی قرار گرفته است. شبیه سازی تاریخچه زمانی دینامیکی رفتار عالی سیستم را از لحاظ ظرفیت دررفت، تغییر مکان پسماند و حداکثر شتاب بام را تأیید کرده است [۱۸]. وو و همکاران در سال ۲۰۱۷ در مقاله‌ای با عنوان، بررسی آزمایشگاهی بر قابلیت تعمیر پذیری سازه قاب دیوار گهواره‌ای پر شده از لحاظ بهبود رفتار لرزه‌ای و قابلیت تعمیر پذیری قاب بتن مسلح پرداختند. به‌طوریکه دیوار گهواره‌ای با معرفی یک جز پیوسته در امتداد ارتفاع، یک رویکرد مناسب برای تعمیر پذیری و کنترل تغییر شکل قاب‌های بتن مسلح را

فراهم می‌کند، از این جهت یک سازه قاب دیوار گهواره‌ای پر شده طراحی شده بر اساس آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای چین مورد بررسی قرار گرفت [۱۹]. سلوونک و همکاران در سال ۲۰۱۷ در مقاله‌ای تحت عنوان تست ترکیبی تکنیک توانبخشی لرزه‌ای هسته گهواره‌ای سخت به بررسی SRC به عنوان یک تکنیک مقاوم سازی لرزه‌ای برای کاهش پاسخ طبقه نرم در سازه‌های قاب مهاربند همگرای فولادی کوتاه مرتبه تا میان مرتبه پرداختند [۱۰]. کانی و همکاران در سال ۲۰۱۷ ایده سیستم گهواره‌ای، از واکنش مکانیکی استخوان‌ها و دیسک‌های بین مهره‌های که فرم ستون فقرات انسان را تشکیل می‌دهد الهام گرفته‌اند. خواص مکانیکی حلقه‌های فیبری درون دیسک‌ها در پاسخ دادن به بارهای شدید چرخه‌ای که بر بدن انسان اثر می‌گذارد، مؤثر است [۲۰]. روه و همکاران در سال ۲۰۱۰ در مقاله‌ای تحت عنوان مدل‌سازی و پاسخ لرزه‌ای سازه با ستون بتنی گهواره‌ای و میراگرهای ویسکوز با استفاده از ستون گهواره‌ای که از یک نوع ستون‌های دابل مفصل استفاده شده است، برای کاهش پاسخ شتاب‌های وارده به سازه به منظور حفاظت از اجزای سازه‌ای و غیر سازه‌ای حساس به شتاب در سازه الاستیک پرداختند و این کار را با کاهش مقاومت کلی سازه انجام دادند [۲۱]. چنگ و همکاران در سال ۲۰۱۷ در مقاله‌ای تحت عنوان رفتار لرزه‌ای سازه‌های بستر جدا ساز شده گهواره‌ای با استفاده از نوع جدیدی از جدا ساز به نام تکیه‌گاه گهواره‌ای با فرکانس متغیر به منظور کاهش واکنش زرنانس مانند با دوره تناوب طولانی سازه جدا ساز شده که توسط یک حرکت زمینی حاوی طیف فرکانس با دوره تناوب طولانی قوی پیشنهاد شده است [۲۲]. مقدم و همکاران در سال ۲۰۱۷ در مقاله‌ای تحت عنوان پیشرفت در تحلیل قاب خمشی هسته گهواره‌ای به منظور جلوگیری از شکست طبقه نرم در سازه از سیستم سازه‌های قاب خمشی با تیر تکیه‌گاهی در پایه که به یک هسته گهواره‌ای صلب از طریق لینک‌های صلب در تراز طبقه متصل می‌شود، پیشنهاد شده است [۲۳]. لی و همکاران در سال ۲۰۱۷ در مقاله‌ای تحت عنوان مطالعه پارامتریک رفتار لرزه‌ای سازه با اتصالات گهواره‌ای چندگانه به منظور کاهش اثرات مد بالاتر در سیستم‌های گهواره‌ای از اتصالات گهواره‌ای چندگانه همراه با اتلاف کننده انرژی استفاده کردند [۲۴]. خلخالی و همکاران در سال ۲۰۱۷ در مقاله‌ای تحت عنوان ساختمان تقسیم شده به قسمت گهواره‌ای متعامل برای قابل تعمیر سازی سازه بعد از زلزله‌های بزرگ به منظور ایجاد حرکت گهواره‌ای در ساختمان با پلان عریض پرداختند. نتایج عددی نشان داده که سازه گهواره‌ای در کاهش خرابی لرزه‌ای در ساختمان مؤثر می‌باشد و بنابراین تغییر شکل پلاستیک عمدتاً در اتلاف کننده انرژی اتفاق افتاده است، و المان‌های اصلی سازه در حالت الاستیک باقیمانده‌اند [۳].

روش تحقیق

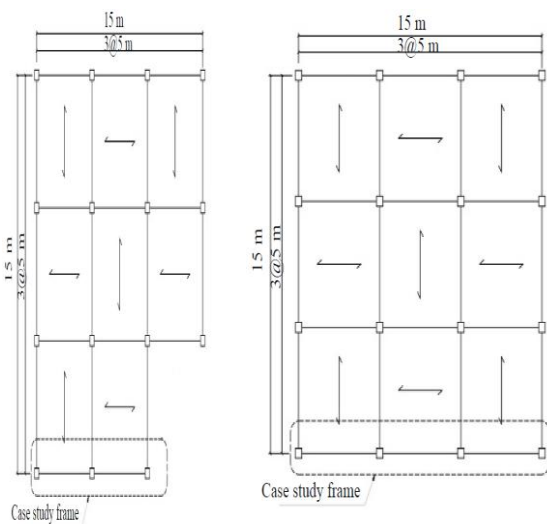
همانطور که اشاره شد، این پژوهش متمرکز بر بهبود رفتار لرزه‌ای سیستم‌های تعمیرپذیر با مکانیزم گهواره‌ای در ساختمانهای مهاربند فولادی نامنظم جرمی در پلان می‌باشد. در این پژوهش از سه سازه‌ی فولادی ۳ و ۵ و ۷ طبقه قاب مهاربندی با تغییر در پلان طبقات در سه حالت مختلف (بمنظور دستیابی به سازه‌های نامنظم در پلان) در سه حالت مختلف به شکل سه بعدی بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰ و مباحث مقررات ملی ایران در نرم افزار OpenSees استفاده شده است. سازه‌های مورد بررسی دارای دهانه ۳ متری و ارتفاع ۳،۲ متری می‌باشند و بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰ و مبحث دهم مقررات ملی ساختمان طراحی شده‌اند. در واقع مجموعاً سه مدل سازه‌ای مد نظر این پروژه می‌باشد. لذا برای رسیدن به نتایج مبتنی بر واقعیت، طراحی سازه‌ها در نرم افزار با پلان شکل زیر صورت گرفته است و سپس مورد تحلیل‌های بعدی قرار گرفته‌اند. کاربری ساختمان‌های مذکور مسکونی و با درجه اهمیت متوسط فرض شده است. مصالح بکار رفته از نوع فولاد AIII با مقاومت تسلیم ۴۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع برای آرماتورها و بتن با مقاومت فشاری ۲۱۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و مدول الاستیسیته 2.05×10^6 می‌باشد. نوع خاک سایت طبق طبقه بندی آیین نامه‌ی طراحی در مقابل نیروی زلزله از نوع III با سرعت موج برشی $360 \frac{m}{s} < V_s < 760 \frac{m}{s}$ فرض می‌شود. محل پروژه در شهر تهران و با توجه به خطرپذیری بالا معادل با شتاب مبنای طرح برابر با $0.35g$ می‌باشد. همچنین فرض گردیده است که نزدیکترین فاصله از منبع لرزه ای بیشتر از ۱۵ کیلومتر می‌باشد. تحلیل استاتیکی معادل برای طراحی اولیه استفاده شده است و درصد مشارکت بار زنده مطابق با آیین‌نامه‌ی طراحی ساختمان‌ها در مقابل نیروی زلزله ۲۰ درصد انتخاب شده است. در این راستا از تعداد ۵ تا شتاب نگاشت حوزه دور از گسل که منطبق با شرایط ساختگاه سازه‌ی مورد بررسی باشند، استفاده می‌گردد که از سایت PEER استخراج می‌گردند که در ادامه مشخصات هر یک آورده می‌شود. با توجه به آیین‌نامه ایران، در مواردی که پس رفتگی همزمان در دو جهت در یکی از گوشه‌های ساختمان بیشتر از ۲۰ درصد طول پلان در آن جهت باشد، باعث ایجاد نامنظمی در پلان می‌گردد. وجود این نامنظمی باعث می‌گردد بخش‌های مختلف ساختمان در زلزله تمایل به حرکات مستقل داشته باشند و نهایتاً باعث پیچش و تخریب نواحی اتصال آن‌ها خواهد شد، در واقع دیافراگم می‌باید برای نیروهای درون صفحه‌ای طراحی گردد. لازم به ذکر است که جهت بار مرده و زنده سقف به ترتیب ۵۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم بر متر مربع بار سطحی در نظر گرفته شده است.

جدول ۱- ضرایب زلزله برای اعمال در نرم افزار ایتبز

سازه ۷ طبقه	سازه ۵ طبقه	سازه ۳ طبقه	
۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۵	A
۱	۱	۱	I
۱/۱	۱/۱	۱/۱	S ₀
۱/۷۵	۱/۷۵	۱/۷۵	S
۰/۸۲	۰/۶۱	۰/۳۸	T
۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۱۵	T ₀
۰/۷	۰/۷	۰/۷	T _s
۲/۳۵	۲/۷۵	۲/۷۵	B ₁
۱/۰۲	۱	۱	N
۲/۴	۲/۷۵	۲/۷۵	B
۵	۵	۶	R
۳	۳	۲/۵	Ω ₀
۴/۵	۴/۵	۵	C _d
۰/۱۴	۰/۱۶۰۴	۰/۱۶۰۴	ضریب C
۱/۱۶	۱/۰۶	۰/۹۴	ضریب K

جدول ۲- مقاطع اختصاص یافته برای سازه ای انتخابی کناری

مقاطع انتخابی سازه ۳ طبقه منظم			
مقطع ستون	مقطع تیر	مقطع مهاربند	
BOX 300*300*25	IPE300	Tubo 140*140*10	طبقات ۳-۱
مقاطع انتخابی سازه ۵ طبقه منظم			
مقطع ستون	مقطع تیر	مقطع مهاربند	
BOX 400*400*25	IPE400	Tubo 140*140*10	طبقات ۳-۱



پلان سازه های نامنظم

پلان سازه های منظم

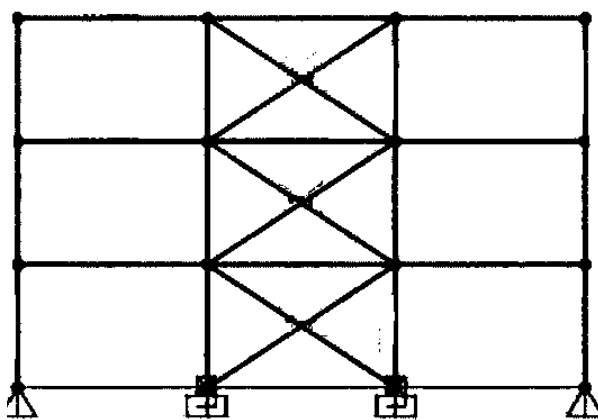
شکل ۲- پلان سازه های مدلسازی شده

مدلسازی غیرخطی در این سیس^۱

پس از شرح طراحی سازه‌های قاب خمشی مورد نیاز این تحقیق در این بخش به چگونگی جدا سازی قاب دو بعدی از سازه‌های طراحی شده و نحوه مدل سازی آن‌ها و تعیین پارامترهای تحلیل در نرم افزار پرداخته شده است، در انتها نیز روش انتخاب و همپایه سازی رکوردهای مورد استفاده در تحلیل ارائه شده است. در این مطالعه از ویرایش ۲.۵.۰ نرم افزار Opensees استفاده شده است. دلیل استفاده از این نرم افزار این است که با توجه به انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی غیرخطی و تعداد بالای تحلیل‌ها، به جهت بهره بردن از موتور قدرتمند آن در راستای سرعت بخشی به امر تحلیل، این نرم افزار در دستور انجام تحقیق قرار گرفته است. پاسخ یک سازه تحت حرکات زمین می تواند با انجام تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی با دقت مناسبی برآورد گردد. یکی از مهمترین ایراد های اعمال تحلیل دینامیکی غیرخطی حساسیت پاسخ به شتاب‌نگاشت‌های انتخابی می باشد. ارائه تحلیل‌های دینامیکی افزایشی و برآورد پاسخ‌ها بر اساس اعمال روابط احتمالاتی تا حدود زیادی این ضعف را در عمل جبران نموده است. لازم به ذکر است با توجه به اینکه نرم افزار این سیس یک نرم افزار کد بیس است، امکان نمایش گرافیکی مدل‌ها وجود ندارد. در نرم افزار OpenSees امکان در نظر گرفتن رفتار نیرو-تغییر شکل از سطح ذرات در مقطع تا سطح کل سازه با لحاظ کردن اندرکنش نیروها، با استفاده از المان میکرو فیبر وجود دارد. البته مدلسازی اجزا محدود Fiber در OpenSees بر اساس فرض برنولی، در صفحه ماندن مقطع اعضا پس از تغییر شکل است و به همین دلیل برای مدلسازی تیرهای عمیق و مقاطع خاص،

طبقه ۵-۴	BOX 300*300*25	IPE400	Tubo 140*140*10
مقاطع انتخابی سازه ۷ طبقه منظم			
	مقطع ستون	مقطع تیر	مقطع مهاربند
طبقات ۳-۱	BOX 500*500*30	IPE450	Tubo 140*140*10
طبقه ۷-۴	BOX 400*400*25	IPE450	Tubo 140*140*10

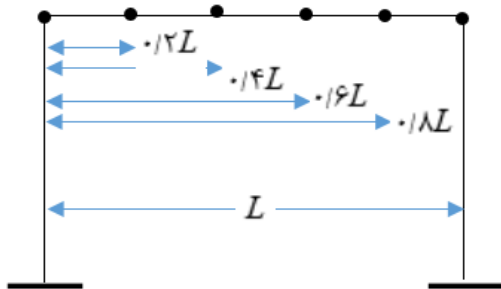
جهت مدلسازی پای ستون‌ها در سیستم قاب مهاربند گهواره‌ای از فنر با مشخصات مشخص استفاده شده است که با سختی فشاری بزرگتر از سختی محوری ستون برای تامین شرایط فونداسیون صلب و سختی کششی ناچیز برای امکان بلندشدگی مدلسازی شده است. سختی این فنر ۳۰۰۰ تن بر سانتیمتر در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که در این پژوهش به مدلسازی مکانیزم رفتاری و نحوه ساخت مهارگر مورد استفاده متمرکز نمی باشیم و صرفاً نیت به میراگری خواهیم داشت که سختی و میرایی لازم و مورد نیاز این پژوهش را داشته باشد، و رفتار سیستم را بدون تاثیرگذاری در مرکزگرایی سیستم بهبود می بخشد داریم که توسط المان میراگر با میرایی ۳۵,۴ تن-ثانیه بر سانتیمتر مدلسازی شده است و همچنین به منظور هدایت آسیب و تامین مرکزگرایی علاوه بر بارهای ثقلی از فیوزهای جاذب انرژی در پای ستون‌های دهانه مهاربندی که با رفتار الاستوپلاستیک-کینماتیک با سختی ۲۵,۶ تن بر سانتیمتر مدلسازی شده است.



شکل ۱- قاب انتخابی جهت انجام تحلیل در نرم افزار این سیس با مشخص شده قیدها

¹ OpenSees

چپیلی^۴ عنوان داشتند، در زلزله‌ای که در جهت افقی وارد می‌شود با توجه به مود غالب افقی، در جهت قائم تغییر شکل‌های بسیار کمتری در مقایسه با جهت افقی ایجاد می‌گردد بنابراین در صورتیکه تنها مولفه افقی زمین‌لرزه در تحلیل‌ها در نظر گرفته شود با قرار دادن جرم در محل اتصال تیرها و ستون‌ها خطاهای زیادی در جواب‌ها ایجاد نمی‌شود ولی زمانی که تنها مولفه قائم زمین‌لرزه در تحلیل لحاظ شود تغییر شکل‌های افقی در مقایسه با قائم ناچیز است، از آنجائیکه سختی خمشی المان‌های افقی (تیرها) از سختی فشاری المان‌های قائم کمتر است، بنابراین تغییر شکل‌های قائم بستگی به توزیع جرم در طول تیرها خواهد داشت پس در تحقیقاتی که مولفه قائم در تحلیل‌ها اثر داده می‌شوند با توزیع جرم دال‌ها در نقاط اتصال تیر و ستون و نیز نقاطی که در طول تیر تعریف می‌شوند جواب‌های بسیار واقع‌گرایانه‌تری به دست خواهد آمد [۲۵]. در این مطالعه در هر تیر ۴ گره میانی به فواصل ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ طول تیر قرار داده شده که با در نظر گرفتن گره‌های محل اتصال تیر و ستون در مجموع جرم هر تیر در ۶ گره به صورت شکل زیر توزیع شده است.

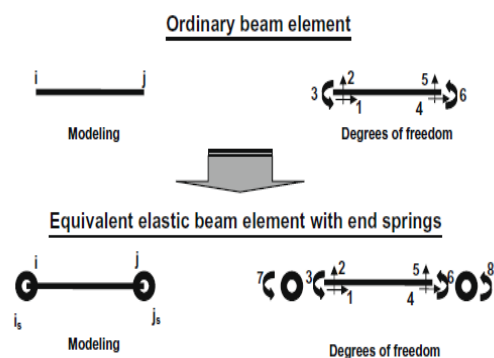


شکل ۴- شکل شماتیک نحوه توزیع جرم در طول تیر

انتخاب شتاب نگاشت‌ها

اولین گام در روند ارزیابی عملکردی ترسیم منحنی‌های IDA، تهیه مجموعه‌ای از شتاب نگاشت‌های زلزله می‌باشد، به گونه‌ای که این مجموعه بیان‌گر لرزه‌خیزی منطقه مورد نظر باشد. در حقیقت اگر به تعداد کافی، شتاب نگاشت‌های زلزله در منطقه مورد نظر، ثبت شده باشد، از آن مجموعه استفاده می‌شود، در غیر این صورت می‌توان از شتاب نگاشت‌های مشابه منطقه که از سایت PEER برداشت می‌شود. لذا در گام اول باید شتاب نگاشت‌هایی منطبق با شرایط تقریباً مشابه منطقه به لحاظ مکانیسم گسل، فاصله تا سایت مورد نظر و بزرگی زلزله را انتخاب نمود. با توجه به نواقصی که در شتاب نگاشت‌های ثبت شده در ایران وجود دارد و اینکه در صحت آنها نیز ابهاماتی وجود دارد، لذا در این پژوهش بمنظور کاهش خطای ناشی از انتخاب شتاب نگاشت‌ها از تعداد ۱۰ شتاب نگاشت رکوردهای توصیه شده FEMA-P695 برای حوزه نزدیک به گسل (با فاصله کمتر از ۱۵ کیلومتر) استفاده شده است که فرضیات انتخاب این شتاب نگاشت‌ها

تدابیر ویژه‌ای باید اندیشید [۲۲]. محدودیت دیگر این المان، عدم در نظر گیری اثر زوال سختی و مقاومت و کنش موضعی و کلی اعضا به طور مستقیم می‌باشد؛ از این رو به علت اینکه هدف در این تحقیق بررسی سازه در سطح آستانه فروریزش است و آستانه فروریزش سازه به دلیل مکانیزم شدن سازه و پلاستیک شدن اعضا در نواحی مستعد (نزدیک اتصالات) ناشی از زوال سختی و مقاومت، رخ می‌دهد، از مدل پلاستیسیته متمرکز برای شبیه‌سازی دقیق این رفتار استفاده می‌شود.



شکل ۳- مدل پلاستیسیته متمرکز معادل برای المان تیر و ستون [۲۳]

در این روش مدل‌سازی، هر المان تیر و ستون، از مجموع دو فنر پلاستیک با رفتار کاهنده در ابتدا و انتها به طول صفر، و یک المان الاستیک به طول کل تیر با ستون در میان دو فنر، تشکیل شده است. المان‌های غیرخطی که برای مدل‌سازی تیرها و ستون‌ها استفاده شده است با فرض توزیع تغییر شکل در عضو ۲ حل می‌گردد، توزیع انحنا در آن خطی است و کرنش محوری در طول عضو ثابت در نظر گرفته می‌شود. این دستور تحت عنوان nonlinearBeamColumn تعریف می‌گردد، در این مطالعه برای هر قاب تعداد ۷۶ المان با توجه به تعداد گره‌های موجود، تعریف شده است. یکی از بزرگ‌ترین مزیت‌های نرم افزار Opensees نسبت به سایر نرم‌افزارها در این است که این نرم افزار بر پایه روش اجزا محدود در تجزیه و تحلیل بنا شده است و وجود مقطع الیافی برای معرفی مقاطع در مدل علاوه بر اینکه به کاربر اجازه ایجاد و تعریف هر گونه مقطع دلخواهی را می‌دهد باعث افزایش دقت در حل مسائل خواهد شد. مقاطع به کار رفته در این تحقیق نیز از المان‌های فایبر ۳ تشکیل شده‌اند که این رشته‌ها با توجه به نوع مصالح به کار رفته (الاستوپلاستیک با در نظر گرفتن سخت‌شدگی)، قابلیت ایجاد پلاستیسیته گسترده را فراهم می‌سازد. از دستور دیگری نیز برای تبدیل مختصات محلی به کلی استفاده می‌شود که سختی و نیروی مقاوم المان تیر را از سیستم مختصات محلی به سیستم مختصات کلی تبدیل می‌کند. لازم به ذکر است در این تحقیق از تبدیل هندسی خطی با دستور GeomTransf Linear بهره گرفته شده است. کادید و

⁴ Kadid and Chebili

² Displacement-Based Beam-Column Element

³ Fiber

در مرجع معرفی شده آورده شده است. همچنین مشخصات این شتاب نگشت ها بطور خلاصه در جدول زیر آورده شده است.

جدول ۳- مشخصات شتاب نگاشت های مورد استفاده

N	Earthquake	Station	Comp	M _w	R (km)	PGA (g)
1	Cape Mendocino, 1992	Fotuna Blvd.	0	7.1	۱3.6	0.116
2	Hollister, 1986	Hollister, Diff Array #1	125.5	5.4	14.9	0.101
3	Landers, 1992	Barstow	0	7.3	۶.1	0.132
4	Loma Prieta, 1989	Coyote Lake Dam, DOWNS	195	6.9	۱2.3	0.160
5	San Fernando, 1971	Whittier Narrows Dam	233	6.9	۱5.1	0.107
6	Northridge, 1994	LA, Saturn St.	20	6.7	۱0.0	0.474
7	N. Palm Springs, 1986	Indio	315	6.0	9.6	0.117
8	Superstition Hills(A), 1987	Wildlife Liquefaction Array	360	6.3	4.7	0.134
9	Loma Prieta, 1989	Agnews State Hospital	90	6.9	8.2	0.159
10	Northridge, 1994	24303 LA - Hollywood	90	6.7	۱5.5	0.231

تعیین محدوده‌ی شکست

محدوده‌ی شکست با عملکرد سازه‌ها رابطه مستقیم دارد. می‌توان گفت گذر از هر سطح عملکرد سازه به مثابه شکست یک سطح آن سازه می‌باشد، چون اگر سازه از آن سطح عملکرد گذر کند، دیگر ضوابط آن سطح عملکرد را ارضا نمی‌کند و از دیدگاه بهسازی نیازمند تقویت است. در دستورالعمل HAZUS-MH MR-5 برای سازه‌ها چهار سطح خرابی (کم، متوسط، زیاد و کامل) تعریف گردیده

است. این سطوح برای معیار حداکثر تغییر مکان نسبی بین طبقه‌ای در جدول زیر آمده است. بر اساس این دستورالعمل بهترین نقطه‌ای که در طول منحنی IDA می‌تواند معرف تقاضا در سطح عملکرد آستانه فروریزش باشد، نقطه ای است که در آن، منحنی شروع به نرم شدگی در راستای رسیدن به ناپایداری دینامیکی کل سازه می‌کند. در واقع این نقطه باید کمترین مقدار خسارت را در میان نقاط احتمالی دارا باشد. با توجه به تعریف، اولین نقطه‌ای که 20% شیب ناحیه الاستیک را در طول منحنی IDA داشته باشد به عنوان تقاضای زلزله در این سطح عملکرد شناخته می‌شود. مشکلی که در این روش وجود دارد آن است که شیب هر منحنی IDA لزوماً قبل از رسیدن به ناپایداری کلی سازه، تا 20% شیب ناحیه خطی اولیه افت نمی‌کند و لذا در برخی موارد اصولاً استفاده از این روش امکان پذیر نیست. همچنین به عنوان یکی دیگر از معیارهای مبتنی بر خرابی در این آیین نامه‌ها، حداکثر نسبت تغییر مکان نسبی بین طبقه‌ای می‌باشد، که با توجه به نوع ساختمان در آیین نامه‌ها ارائه گردیده است. سازه از هر یک از این دو معیار خرابی ارائه شده زودتر عبور کند آن نقطه سطح خرابی کامل سازه محسوب می‌شود. حداکثر تغییر مکان نسبی بین طبقه‌ای برای سطح خرابی کامل در جدول زیر تعریف گردیده است که به ترتیب برای سازه‌های ۳، ۵ و ۷ طبقه در حالت خرابی کامل ۶٪، ۴٪ و ۳٪ می‌باشد.

جدول ۴- مقدار متوسط حالت حدی مجاز در دستورالعمل HAZUS-MH MR-5 برای انواع حالت‌های خرابی

جایجایی بین طبقه‌ای (دریافت) در آستانه حالت خرابی

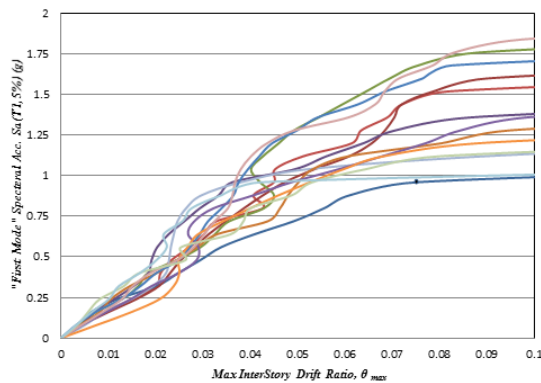
نوع سازه	خرابی ناچیز	خرابی متوسط	خرابی زیاد	خرابی کامل
CIL	۰/۰۰۵	۰/۰۰۸۷	۰/۰۲۳۳	۰/۰۰۶
CIM	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۵۸	۰/۰۱۵۶	۰/۰۰۴
CIH	۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۴۳	۰/۰۱۱۷	۰/۰۰۳

نتایج تحلیل دینامیکی افزایشی (IDA) برای مولفه قائم

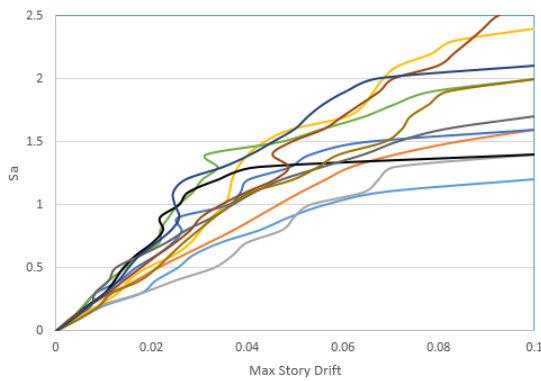
زلزله‌های انتخابی

پاسخ یک سازه تحت حرکات زمین می‌تواند با انجام تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی با دقت مناسبی برآورد گردد. یکی از مهمترین ایرادهای اعمال تحلیل دینامیکی غیرخطی حساسیت پاسخ به شتاب نگاشت‌های انتخابی می‌باشد. ارائه تحلیل‌های دینامیکی افزایشی و برآورد پاسخ‌ها بر اساس اعمال روابط احتمالاتی تا حدود زیادی این ضعف را در عمل جبران نموده است. نتایج تحلیل IDA بدست آمده از این روش برای مولفه قائم زلزله‌های انتخابی در اشکال زیر نشان داده شده است.

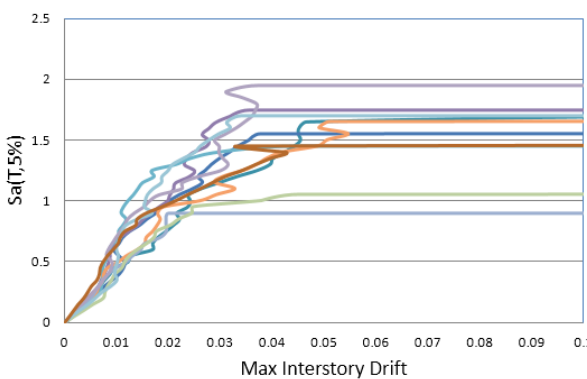
طبقه بتنی نامنظم حاصل از اعمال شتاب نگاشت‌های انتخابی آورده شده است.



شکل ۸- نتایج حاصل از تحلیل IDA سازه ۳ طبقه نامنظم

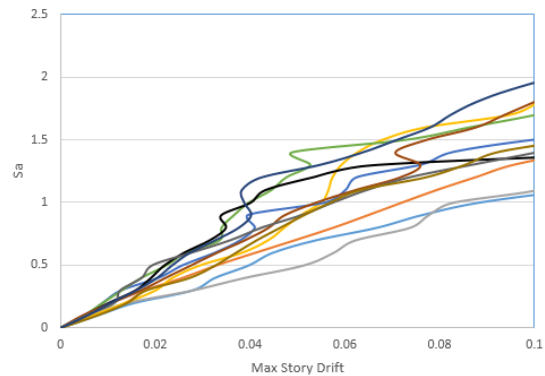


شکل ۹- نتایج حاصل از تحلیل IDA سازه ۵ طبقه نامنظم

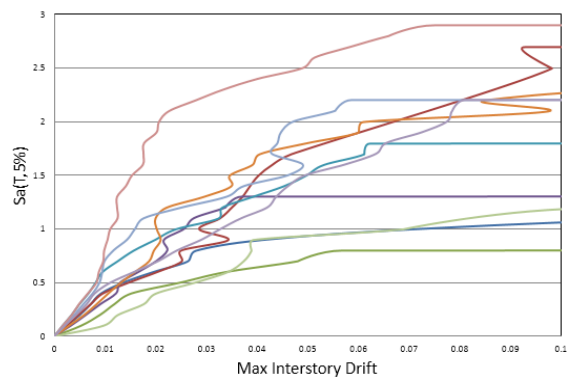


شکل ۱۰- نتایج حاصل از تحلیل IDA سازه ۷ طبقه نامنظم

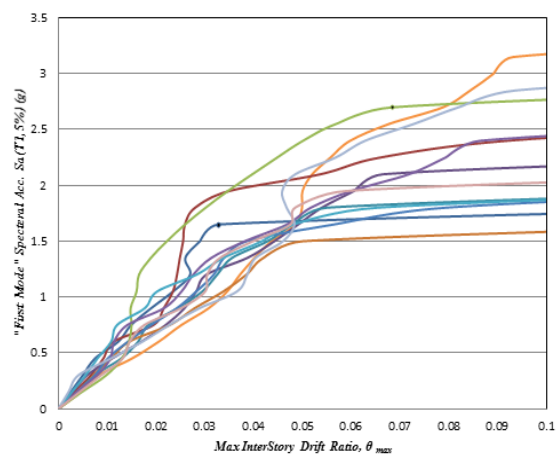
در اشکال زیر، صدک‌های ۱۶، ۸۴ و ۵۰ درصد IDA برای هر ۶ حالت سازه مدلسازی شده آورده شده است. مقایسه بین منحنی‌های ۵۰٪ IDA نیز در شکل زیر با هم مقایسه شده است.



شکل ۵- نتایج حاصل از تحلیل IDA سازه ۳ طبقه منظم

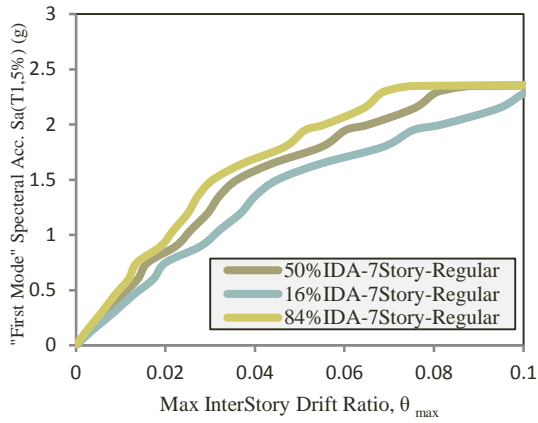


شکل ۶- نتایج حاصل از تحلیل IDA سازه ۵ طبقه منظم

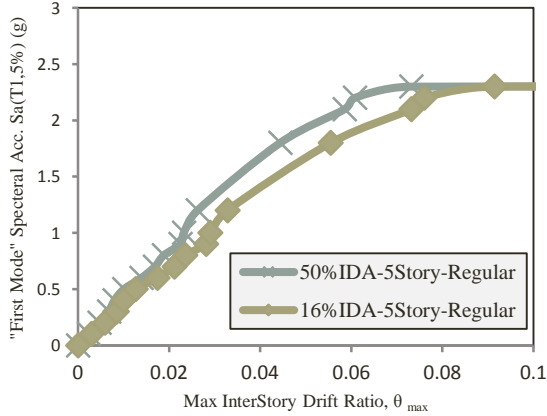


شکل ۷- نتایج حاصل از تحلیل IDA سازه ۷ طبقه منظم

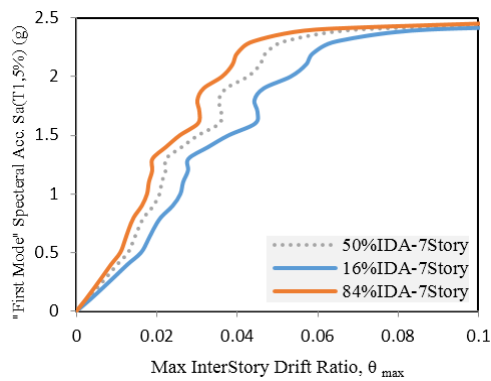
همانطور که در اشکال فوق دیده می‌شود، نتایج حاصل از تحلیل IDA سازه‌های ۳، ۵ و ۷ طبقه بتنی منظم آورده شده است. این تحلیل‌ها برای ۱۰ شتاب نگاشت انتخابی انجام شده است و تا مرحله افقی شدن منحنی‌های که منزله‌ی آستانه فروریزش می‌باشند، در نظر گرفته شده است. در اشکال زیر نتایج حاصل از تحلیل IDA سازه‌های ۳، ۵ و ۷



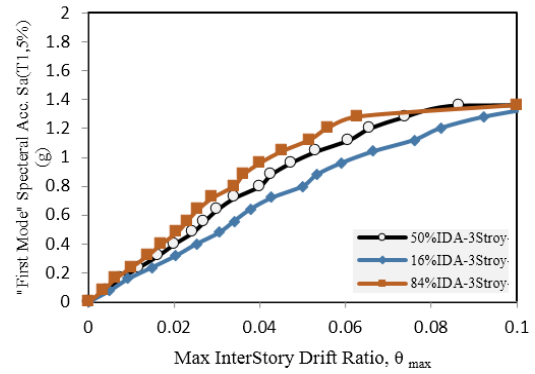
شکل ۱۴- صدک‌های ۱۶، ۸۴ و ۵۰ درصد IDA برای سازه ۷ طبقه منظم



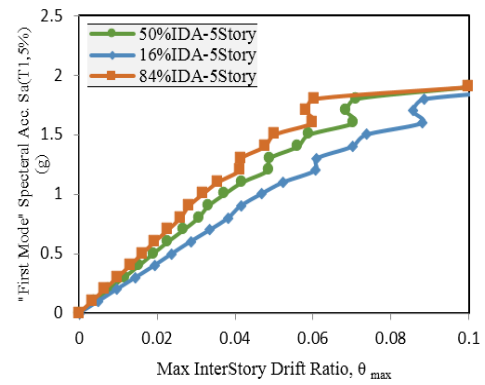
شکل ۱۵- صدک‌های ۱۶، ۸۴ و ۵۰ درصد IDA برای سازه ۵ طبقه منظم



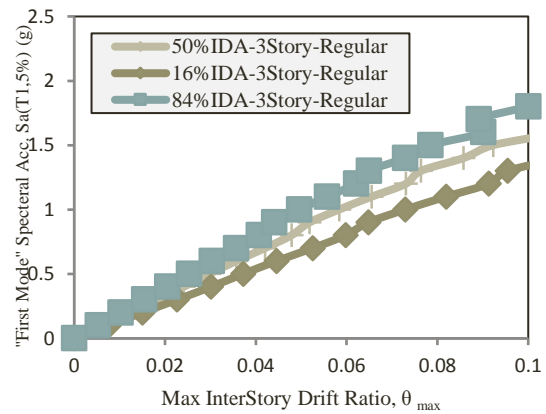
شکل ۱۶- صدک‌های ۱۶، ۸۴ و ۵۰ درصد IDA برای سازه ۷ طبقه نامنظم



شکل ۱۱- صدک‌های ۱۶، ۸۴ و ۵۰ درصد IDA برای سازه ۳ طبقه نامنظم

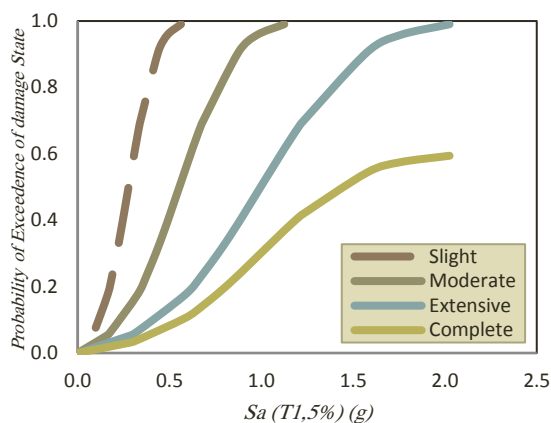


شکل ۱۲- صدک‌های ۱۶، ۸۴ و ۵۰ درصد IDA برای سازه ۵ طبقه نامنظم

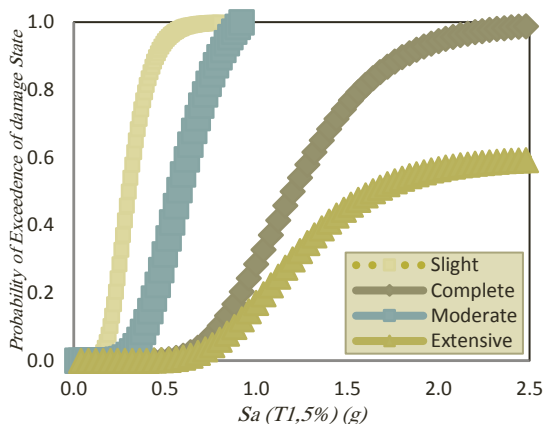


شکل ۱۳- صدک‌های ۱۶، ۸۴ و ۵۰ درصد IDA برای سازه ۳ طبقه منظم

محاسبه معیار شدت برای حالت خرابی کم و ناچیز (S)، متوسط (M)، زیاد و شدید (E)، خرابی کلی (C) بر اساس معیارهای خرابی HAZUS که در بخش‌های قبلی آورده شد، منحنی‌های شکنندگی بدست آمد که این منحنی‌های شکنندگی بدست آمده و مقایسه ی آنها برای هر ۶ حالت سازه‌ای در اشکال زیر ترسیم شده اند.

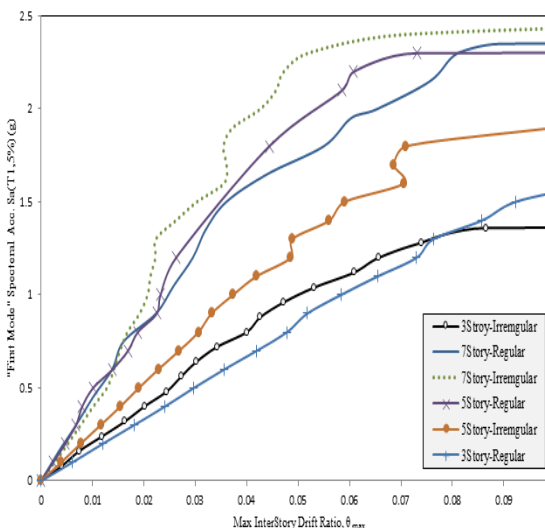


شکل ۱۸- مقایسه منحنی‌های شکنندگی حاصل از منحنی‌های IDA برای سطوح خرابی HAZUS برای سازه ۳ طبقه منظم



شکل ۱۹- مقایسه منحنی‌های شکنندگی حاصل از منحنی‌های IDA برای سطوح خرابی HAZUS برای سازه ۳ طبقه نامنظم

در شکل زیر مقایسه بین خلاصه منحنی‌های حاصله از نتایج حاصل از تحلیل IDA سازه‌های ۳، ۵ و ۷ طبقه منظم و نامنظم مقایسه صورت پذیرفته است. همانطور که مشاهده می گردد سازه‌های صلب‌تر در سطح Sa بالاتری افقی می گردند و بعبارتی منحنی آنها بالاتر می باشد.

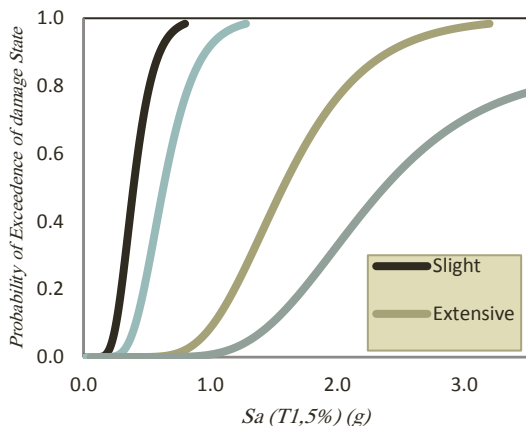


شکل ۱۷- مقایسه نتایج حاصل از تحلیل IDA برای صدک‌های ۵۰٪ برای هر ۶ سازه

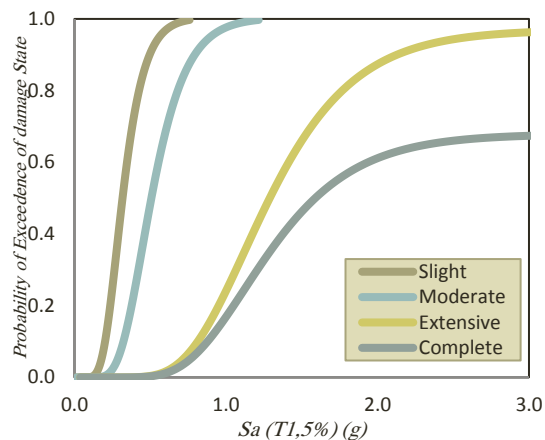
در اشکال فوق دیگران منحنی‌های حاصل از انجام تحلیل غیرخطی افزایشی (IDA) که دقیقترین تحلیل معرفی شده برای سازه ها می باشد، بعد از اعمال مولفه قائم ۱۰ شتاب نگاشت انتخابی بر سازه‌های مدلسازی شده در نرم افزار این سیس، بدست آمده است. همانطور که مشاهده می شود، سازه های بدون نظری تغییرات نامنظم جرمی دارای منحنی‌های میانگین پایین تری از نظر سطح شتاب لرزه‌ای (محور قائم) نسبت به سازه‌های دارای نامنظمی برای هر ۱۰ شتاب نگاشت اعمال شده می باشند که این نتیجه در واقع اهمیت در نظرگیری اثرات نامنظمی را در حین رویداد زلزله نشان می دهد.

دستیابی به منحنی‌های شکنندگی

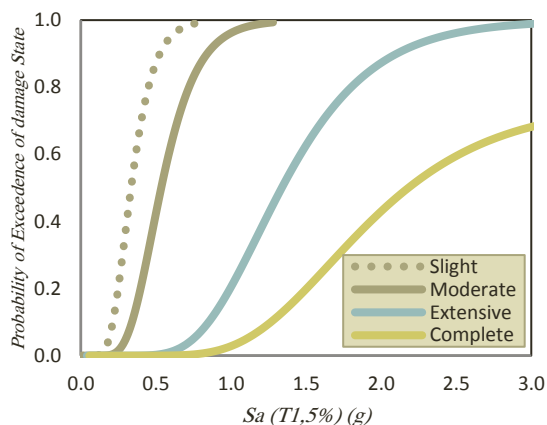
همانطور که در این مقاله ذکر گردید بمنظور استخراج احتمال بروز حالات حدی از خروجی‌های تحلیل IDA، از نمودارهایی موسوم منحنی‌های شکنندگی استفاده می شود که برای رسم این نمودارها، شدت لرزه‌ای IM متناظر با وقوع حالات حدی مورد نظر، به ازای تمامی شتاب نگاشت‌ها به ترتیب نزولی مرتب می گردد. با استفاده از مقادیر مرتب شده، احتمال وقوع حالت حدی در سازه، به ازای مقادیر کوچکتر یا مساوی یک مقدار IM مورد نظر، که یک احتمال تجمعی است، محاسبه می شود و نمودار آن در مقابل مقدار IM رسم می گردد. با استفاده از این نمودار، می توان گفت که به ازای هر سطح IM، احتمال وقوع حالت حدی، به شرط آن که مقدار IM به سطح مورد نظر محدود شود، به چه میزان است. با



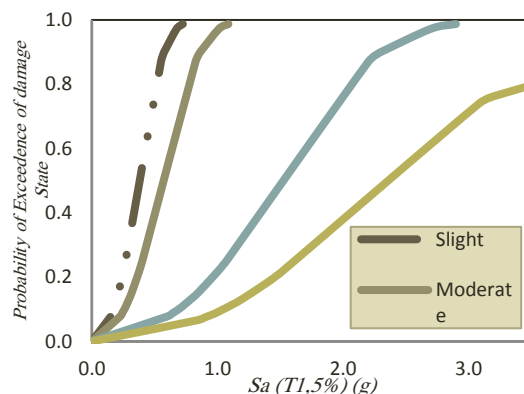
شکل ۲۳) مقایسه منحنی‌های شکنندگی حاصل از منحنی‌های IDA برای سطوح خرابی HAZUS برای سازه ۷ طبقه نامنظم



شکل ۲۰- مقایسه منحنی‌های شکنندگی حاصل از منحنی‌های IDA برای سطوح خرابی HAZUS برای سازه ۵ طبقه منظم



شکل ۲۱-مقایسه منحنی‌های شکنندگی حاصل از منحنی‌های IDA برای سطوح خرابی HAZUS



شکل ۲۲- مقایسه منحنی‌های شکنندگی حاصل از منحنی‌های IDA برای سطوح خرابی HAZUS برای سازه ۷ طبقه منظم

در اشکال فوق مشاهده می‌شود، منحنی‌های شکنندگی که بیانگر احتمال خرابی سازه‌ها که با استفاده از نتایج تحلیل IDA و بکارگیری رابطه تابع چگالی احتمال لگ-نرمال بدست آمده اند، قابل مشاهده است. این منحنی‌های برای دو سطح عملکرد IO و سطح عملکرد CP برای هر ۶ سازه بدست آمده اند و مجزا با یکدیگر مقایسه شده اند. همانطور که مشاهده می‌شود در نظرگیری اثر نامنظمی بطور قابل توجهی در خرابی سازه‌های سازه‌ها موثر می‌باشند بطوری که در نظرگیری اثر این نامنظمی‌های در توزیع جرم در پلان می‌تواند منجر به بالا رفتن احتمال خرابی سازه‌ها گردد. از طرفی با مشاهده شکل‌های فوق می‌توان دریافت که احتمال خرابی سه تیپ سازه منظم و نامنظم در چهار حالت خرابی با افزایش ارتفاع سازه افزایش می‌یابد. با افزایش ارتفاع سازه ۳ طبقه (جهت رسیدن به ارتفاع سازه ۵ طبقه) احتمال خرابی کامل سازه ۵ طبقه منظم ۱،۴ برابر سازه ۳ طبقه منظم می‌گردد که این مقدار برای حالت نامنظم سازه‌ها حدود ۱،۶ می‌باشد. همچنین با افزایش ۱،۴ برابر ارتفاع سازه ۵ طبقه به ۷ طبقه احتمال خرابی کامل سازه ۷ طبقه منظم برابر با ۱،۲۳ برابر سازه ۵ طبقه در حالت منظم و برای حالت نامنظم این عدد حدود ۱،۳۱ می‌گردد. از طرفی همانطور که مشاهده می‌گردد، با افزایش ارتفاع سازه در چهار حالت خرابی، میانه احتمال شکنندگی سازه‌ها در Sa پایین‌تری رخ می‌دهد، به این معنی که آسیب‌پذیری سازه افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش ارتفاع، شیب کاهش Sa در چهار حالت خرابی ملایم‌تر می‌گردد.

نتیجه‌گیری

۱- همانطور که مشاهده گردید در این پژوهش تاثیر لحاظ نمودن اثرات زلزله‌های قائم و افقی در نامنظمی‌های جرمی مختلف سازه‌ها را در



عملکرد لرزه‌ای سازه‌های کونا مرتبه مشخص شد و اینکه نامنظمی‌های موجود در مدل عددی سازه تأثیری بسزایی در منحنی‌های IDA دارد.

۲- همانطور که مشاهده گردید مدل‌های مورد استفاده بصورت مطالعه موردی برای پیاده نمودن روش پیشنهادی برای کنترل و تصمیم‌گیری در مورد تحقق تراز عملکردی بوده و گستره پارامتری هندسی ندارند.

۳- با مشاهده دسته منحنی‌های IDA می‌توان به دیدگاه کلی از رفتار سازه، از حد الاستیک کامل تا خرابی کامل دست یافت. در مقایسه رفتار سازه با ارتفاع‌های متفاوت، می‌توان گفت که با افزایش ارتفاع، سازه زودتر وارد ناحیه غیر خطی شده و ظرفیت سازه کاهش می‌یابد.

۴- با مشاهده دسته منحنی‌های IDA میتوان به دیدگاه کلی از رفتار سازه، از حد الاستیک کامل تا خرابی کامل دست یافت. در مقایسه رفتار سازه با ارتفاع‌های متفاوت، میتوان گفت که با افزایش ارتفاع، سازه زودتر وارد ناحیه غیر خطی شده و ظرفیت سازه کاهش می‌یابد.

۵- با استفاده از تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشی (IDA) می‌تواند رفتار سازه‌ها را با دقت بالایی پیش‌بینی نماید.

۶- از طرفی با کاهش شکل‌پذیری سازه‌ها، منحنی‌های IDA در سطح IM پایین‌تری افقی می‌گردند. که این نشان‌دهنده‌ی این امر می‌باشد که با افزایش شکل‌پذیری سازه‌ها می‌توان به دریافت‌های بالاتری در سازه‌ها، در یک سطح زلزله‌ی یکسان دست یافت.

۷- بدون در نظر گرفتن مقادیر خطر لرزه‌ای در محاسبه احتمال شکست، با کاهش تناوب، احتمال فروریزش در سازه در سطح ثابت از شدت لرزه‌ای کاهش پیدا می‌کند.

۸- همانطور که مشاهده شد منحنی‌های شکنندگی برای دو سطح عملکرد IO و سطح عملکرد CP برای هر ۶ سازه بدست آمده‌اند و مجزا با یکدیگر مقایسه شده‌اند و دریافت شد که در نظرگیری اثر نامنظمی بطور قابل توجهی در خرابی سازه‌ها موثر می‌باشند بطوری که در نظرگیری اثر این نامنظمی‌های در توزیع جرم می‌تواند منجر به بالا رفتن احتمال خرابی سازه‌ها گردد.

۹- همانطور که مشاهده گردید با کاهش صلبیت اتصال میزان دریافت سازه‌ها افزایش یافت و شکل‌پذیری سازه‌ها افزایش می‌یابد.

۱۰- با افزایش ارتفاع و پریرود سازه‌ها و مقایسه منحنی‌های میانه دینامیکی فزاینده، مقدار شاخص شدت شتاب طیفی قابل تحمل سازه‌ها کاهش می‌یابد.

۱۱- با افزایش ارتفاع و پریرود سازه‌ها، مقدار تقاضای متناظر با شروع ناپایداری کلی (شروع خط صاف در منحنی IDA) کاهش می‌یابد.

۱۲- با اعمال روش معرفی شده که بخش ابتدایی از پروژه‌ی ATC58 می‌باشد می‌توان منحنی‌های خسارت را بسهولت بدست آورد تا بتوان به یک زبان مشترک برای تصمیم‌گیری و انتقال اطلاعات بین کارفرما و مهندسان زلزله رسید. برآورد خسارت سالیانه ابزاری ارزشمند برای تخمین مقدار بیمه برای ساختمان‌ها می‌باشد. بگونه‌ای که برای سازه‌های مورد مطالعه در این پایان‌نامه همانطور که مشاهده می‌گردد می‌توان گفت که سازه با شکل‌پذیری بالا نسبت به سایر حالات مورد بررسی

احتمالاً خسارت سالیانه کمتری را دارا می‌باشد و سازه با شکل‌پذیری کم را می‌توان بعنوان گزینه‌ی بعدی در نظر گرفت. البته لازم به ذکر است که هزینه‌ی اجرای هر یک سازه‌ها نیز باید مدنظر پیمانکاران قرار گیرد چراکه هزینه‌ی اجرای یک سازه با شکل‌پذیری بالا به مراتب بیشتر از سایر سازه‌ها می‌باشد.

۱۳- نتایج حاصل از انجام تحلیل‌های زلزله نشان می‌دهد که ساختمان‌های نامنظم جرمی در مقایسه با ساختمان‌های منظم متحمل خسارات بیشتری می‌باشند. در حقیقت، نامنظمی‌های موجود جرمی به دلیل ایجاد نیازهای تغییرمکانی غیریکنواخت در المان‌های سازه‌ای باعث خسارات غیر یکنواخت در آنها می‌گردند.

۱۴- در این مطالعه اثر زلزله در دو جهت عمود بر هم مورد بررسی قرار گرفت و اثر دو مولفه افقی و قائم زلزله بر روی ساختمان‌ها مدنظر قرار گرفت. چراکه زلزله همیشه در یک جهت اثر نمی‌کند، رفتار پیچشی الاستیک سازه با در نظر گرفتن اثر زلزله در یک جهت به خوبی تخمین زده نمی‌شود و در ناحیه‌ی غیرالاستیک نیز بدتر می‌شود.

مراجع

- [1] Nouri AR, Anastasopoulos I, Vetr MG, Kalantari A. Efficiency of low-rise steel rocking frames founded on conventional and rocking foundations. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 2016;84:190-203.
- [2] Pollino M. Seismic design for enhanced building performance using rocking steel braced frames. *Engineering Structures*. 2015;83:129-39.
- [3] Khalkhali SM, Hosseini M, Aziminejad A. Dividing building's structure into 4 interactive rocking parts to make it repairable after major earthquakes. 17th World Conference on Earthquake Engineering; 2008; Santiago, Chile.
- [4] Zhang G, Chen P, Zhao Z, Wu J. Experimental study on seismic performance of rocking buckling-restrained brace steel frame with liftable column base. *Journal of Constructional Steel Research*. 2018;143:291-306.
- [۵] آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰)، ویرایش چهارم.
- [۶] حسینی م، مهدوی و. بهبود عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌ها با ایجاد حرکت گهواره‌ای یک مطالعه مروری. اولین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی در مهندسی عمران مهندسی سازه و مدیریت ساخت، ۱۳۹۵.
- [7] Midorikawa M, Azuhata T, Ishihara T, Matsuba Y, Wada A. Shaking table tests on earthquake response reduction effects of rocking structural systems. *Smart Structures and Materials 2003: Damping and Isolation*. 2003;5052:277-286

and viscous dampers. *Engineering Structures*. 2010;32(8):2096-107.

[22] Cheng CT, Chao CH. Seismic behavior of rocking base-isolated structures. *Engineering Structures*. 2017;139:46-58.

[23] Grigorian M, Moghadam AS, Mohammadi H. Advances in rocking core-moment frame analysis. *Bulletin of Earthquake Engineering*. 2017;15(12):5551-77.

[24] Li T, Berman JW, Wiebe R. Parametric study of seismic performance of structures with multiple rocking joints. *Engineering Structures*. 2017;146:75-92.

[8] Midorikawa M, Azuhata T, Matsuba Y, Matsushima Y, Ishihara T. effects of rocking vibration with base plate yielding on earthquake responses of buildings. 2002:1-8

[9] Lu LY, Hsu CC. Experimental study of variable-frequency rocking bearings for near-fault seismic isolation. *Engineering structures*. 2013;46:116-129.

[10] Slovenec D, Sarebanha A, Pollino M, Mosqueda G, Qu B. Hybrid testing of the stiff rocking core seismic rehabilitation technique. *Journal of Structural Engineering*. 2017;143(9):04017083.

[11] Blebo FC, Roke DA. Seismic-resistant self-centering rocking core system. *Engineering Structures*. 2015;101:193-204.

[12] Herning G, Garlock ME, Vanmarcke E. Reliability-based evaluation of design and performance of steel self-centering moment frames. *Journal of Constructional Steel Research*. 2011;67(10):1495-505.

[۱۳] ساقی س، سروقدمقدم ع. کارایی استفاده از حرکت گهواره ای در کنترل پیچش لرزه‌ای ساختمان با مهاربند فولادی نامنظم در پلان. هفتمین کنفرانس ملی و دومین کنفرانس بین‌المللی سازه و فولاد، ۱۳۹۵.

[14] Roh HS. Seismic behavior of structures using rocking columns and viscous dampers. State University of New York at Buffalo; 2007: 3277759:1-24

[15] Roh H, Reinhorn AM. Dynamic response of weakened structures using rocking columns. *Proc. 14th World Conf. on Earthquake Engineering*; 2008.

[16] Barthes CB. Design of earthquake resistant bridges using rocking columns. University of California: Berkeley; 2012:1-148

[17] Rahgozar N, Moghadam AS, Aziminejad A. Continuum analysis approach for rocking core-moment frames. *Journal of Structural Engineering*. 2018;144(3):04018006.

[18] Hashemi A, Masoudnia R, Quenneville P. Seismic performance of hybrid self-centring steel-timber rocking core walls with slip friction connections. *Journal of Constructional Steel Research*. 2016;126:201-13.

[19] Wu S, Pan P, Nie X, Wang H, Shen S. Experimental investigation on reparability of an infilled rocking wall frame structure. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*. 2017;46(15):2777-92.

[20] Kashani MM, Gonzalez-Buelga A. Nonlinear dynamics of self-centring segmental composite rocking column. *Procedia Engineering*. 2017;199:441-6.

[21] Roh H, Reinhorn AM. Modeling and seismic response of structures with concrete rocking columns