




Investigating the Effect of Using a Seismic Isolation System to Improve the Behavior of Concrete Buildings with a Very High Degree of Importance and with a Double Side Bearing Resistant System

A. Kachooee *

* Assistant Professor, Department of Engineering and Passive Defense, Faculty of Organizational Resource Science and Technology, Tehran, Iran

(Received: 01/10/2023, Revised: 20/11/2023, Accepted: 28/01/2024, Published: 04/05/2024)
DOR:20.1001.1.20086849.1403.15.1.6.3

ABSTRACT

Functionally, the seismic isolation system is one of the best lateral bearing resistant systems in concrete buildings. The use of seismic isolators in the structure increases ductility, absorbs high energy, and improves the stability of the entire structure. According to Regulation 2800, the buildings used in military and law enforcement places are considered very important buildings. Therefore, according to the principles of defense, the non-destruction of these structures and the ability to use them after severe earthquakes are important and vital. Therefore, in this study, the structural behavior of a building with police use, considering the rubber seismic isolator with fiber-reinforced polymers (FRP) in it, in order to improve the seismic performance and prevent destruction after the earthquake, is investigated has been This structure has been subjected to non-linear static (overlay), non-linear dynamic, and incremental non-linear dynamic (IDA) analyses, and its fragility curve has been obtained and analyzed. The results of the parameters of structural seismic behavior obtained from the analysis of wear, time history, IDA and fragility curve; It indicates that the isolated structure has less drift than the same structure without isolator, and the stability, capacity and base shear of the isolated structure is better than the structure without isolator. In general, for structures equipped with seismic isolators, the probability of passing each performance level occurs later.

Keywords: Nonlinear Static Analysis, Nonlinear Dynamic Analysis, Incremental Nonlinear Dynamic Analysis, Failure Curve, Rubber Seismic Isolator with FRP Fibers

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University

 Authors



* Corresponding Author Email: ali.kachooee@semnan.ac.ir



نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال پانزدهم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳، (پیاپی ۵۷): صص ۶۱-۷۲

شاپای چاپی: ۶۹۴۹-۲۰۰۸ | شاپای الکترونیکی: ۸۰۳۰-۲۹۸۰

علمی - پژوهشی



بررسی تاثیر استفاده از سامانه جداساز لرزه‌ای به منظور بهبود رفتار ساختمان‌های بتنی با درجه اهمیت خیلی زیاد و دارای سامانه مقاوم باربر جانبی دوگانه

علی کچوئی*^۱

DOR: 20.1001.1.20086849.1403.15.1.6.3

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۲/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۰۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۲۹

چکیده

سامانه جداساز لرزه‌ای به لحاظ عملکردی، یکی از بهترین سامانه‌های مقاوم باربر جانبی در ساختمان‌های بتنی می‌باشد. استفاده از جداساز لرزه‌ای در سازه، باعث افزایش شکل‌پذیری، جذب انرژی بالا و همچنین بهبود پایداری کل سازه می‌شود. برابر آیین نامه ۲۸۰۰، ساختمان‌های مورد استفاده در اماکن نظامی و انتظامی جزء ساختمان‌های با اهمیت خیلی زیاد به حساب می‌آیند. لذا برابر اصول پدافندی، عدم خرابی این سازه‌ها و قابلیت بهره‌برداری از آنها پس از وقوع زلزله‌های شدید، مهم و حیاتی است. به همین خاطر، در این مطالعه، رفتار سازه‌ای یک ساختمان با کاربری انتظامی، با لحاظ کردن جداساز لرزه‌ای لاستیکی با پلیمرهای تقویت شده با فیبر (FRP) در آن، به منظور بررسی بهبود عملکرد لرزه‌ای و جلوگیری از تخریب سازه پس از زلزله، بررسی شده است. این سازه تحت تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی (پوش اور)، دینامیکی غیرخطی، دینامیکی غیرخطی افزایش یافته (IDA) قرار گرفته است. سپس منحنی شکنندگی حاصل از این تحلیل‌ها برای سازه مورد نظر استخراج و مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج شاخص‌های رفتار لرزه‌ای سازه‌ای به دست آمده از تحلیل‌های پوش اور، تاریخچه‌زمانی، IDA و منحنی شکنندگی؛ بیانگر آن است که سازه جداسازی شده دارای تغییرمکان جانبی نسبی کمتر نسبت به همان سازه بدون جداساز بوده است. همچنین پایداری، ظرفیت و برش پایه سازه جداسازی شده بهتر از سازه بدون جداساز می‌باشد. به طور کلی برای سازه‌های مجهز به جداساز لرزه‌ای، احتمال گذشتن آنها از هر سطح عملکرد نسبت به سازه‌های بدون جداساز، دیرتر رخ می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: تحلیل استاتیکی غیرخطی، تحلیل دینامیکی غیرخطی، تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایش یافته، منحنی شکست، جداساز لرزه‌ای

لاستیکی با الیاف FRP

^۱ استادیار دانشکده علوم و فنون منابع سازمانی دانشگاه جامع علوم انتظامی امین، تهران، ایران (ali.kachooee@semnan.ac.ir) - نویسنده مسئول

* این مقاله یک مقاله با دسترسی آزاد است که تحت شرایط و ضوابط مجوز Creative Commons Attribution (CC BY) توزیع شده است.



نویسندگان

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع)

۱- مقدمه

خرابی متصور و قابل پیش بینی است. از همین رو می‌توان با استفاده از سیستم‌های جداگر لرزه ای در این سازه مقدار خرابی را به حداقل و یا شاید صفر رسانده و بدین ترتیب امکان بهره برداری بی وقفه از سازه پس از وقوع زلزله متصور خواهد بود. به همین دلیل، استفاده از جداساز لرزه‌ای در سازه‌های فراجا به منظور افزایش شکل‌پذیری، کاهش خرابی سازه‌های ناشی از زلزله، کاهش هزینه بازسازی سازه‌ها، استفاده بی وقفه در زلزله و کنترل و مدیریت بحران پس از زلزله‌های شدید، مطرح گردیده است [۳-۵].

رازمند و کمالی در سال ۲۰۱۴ بر روی عملکرد جداگر لرزه‌ای در کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه‌های بتنی نامنظم از لحاظ هندسی مطالعه‌ای انجام دادند. در این مطالعه چهار ساختمان ۳، ۶، ۹ و ۱۲ طبقه، تحت اثر هفت رکورد زلزله قرارداد شده و تحلیل تاریخچه زمانی بر روی آنها انجام گرفته است. تاثیر جداسازها بر روی پارامترهای برش پایه، چرخش روسازه و جابه‌جایی سازه مورد بررسی قرار گرفته شد. در این تحقیق مشخص شد که استفاده از جداساز لرزه‌ای، سبب کاهش ۷۰ الی ۸۰ درصدی برش پایه سازه می‌گردد. این کاهش در ساختمان ۲ و ۶ طبقه نسبت به ساختمان ۹ و ۱۲ طبقه بیشتر می‌باشد، این امر نشانگر تاثیرگذاری بیشتر جداسازهای لرزه‌ای در ساختمان‌های کوتاه مرتبه است [۶].

حسینی واعظ و همکاران [۷]، اثر پالس‌های معادل زلزله‌های نزدیک به گسل را روی سازه‌های بتن مسلح جداسازی شده از پایه، مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که تاثیر پالس علی‌رغم مدت زمان کوتاهش در مقایسه با شتاب‌نگاشت کامل حرکت زمین بیشتر است. همچنین پاسخ جابجایی پایه مدل‌های جداسازی شده تحت اثر پالس‌های معادل زلزله‌های نزدیک به گسل با پاسخ جابه‌جایی پایه تحت شتاب‌نگاشت‌های کامل متناظر حرکت‌هایی زمین انطباق داشتند.

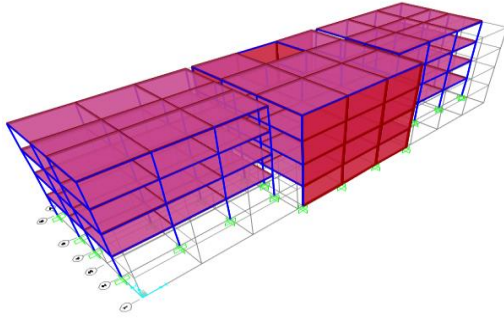
ویلیامز و همکاران [۸] به ارائه یک چارچوب مفید جهت توسعه درک روابط میان مشخصه‌های زمین‌لرزه، رو سازه، سیستم جداساز و نیز ارزیابی توانایی رویکردهای مختلف طراحی و خصوصیات سیستم جداساز، پرداختند. همچنین ایشان به بررسی روش برآورد خسارت لرزه‌ای به ترکیب خطر لرزه‌ای، پاسخ سازه‌ای، خرابی و پیامدهای آن، به منظور بررسی ریسک لرزه‌ای بر اساس عملکرد لرزه‌ای ساختمان پرداختند.

در مطالعه مشابه در سال [۹] عملکرد سازه‌های بلند بر اساس خسارت بوسیله هات و همکاران، ارزیابی شد. همچنین در همان سال، برخی دیگر از پژوهشگران، سازه‌های دارای جداساز و میراگر ویسکوز (در تراز جداساز) را تحلیل کردند. سپس با استفاده از مهندسی زلزله بر اساس عملکرد، روشی برای تخمین خسارت این سازه‌ها ارائه شده است.

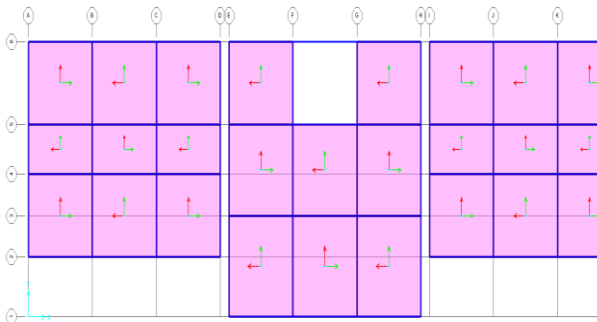
روش مرسوم طراحی لرزه‌ای سازه‌ها مبتنی بر افزایش ظرفیت سازه است. در این رویکرد طرح لرزه‌ای، ایجاد ظرفیت باربری جانبی در سازه، با افزایش مقاومت و تامین شکل‌پذیری صورت می‌گیرد. در نتیجه‌ی اجرای این روش، ابعاد اعضای سازه‌ای و اتصالات افزایش یافته و در سازه اعضای دیوار برشی یا سایر اعضای سخت کننده در نظر گرفته می‌شوند. افزایش سختی سازه باعث جذب نیروی برشی بیشتر ناشی از زلزله می‌شود. علاوه بر آن، در روش‌های مرسوم طراحی، به دلیل تغییرشکل‌های غیرخطی در اعضای سازه‌ای و غیرسازه‌ای، امکان بروز خرابی در این اعضا و وقوع آسیب در اجزای غیرسازه‌ای و تجهیزات داخل طبقه به دلیل وقوع تغییرمکان‌های نسبی زیاد طبقه و شتاب‌های قابل توجه کف، وجود دارد. بنابراین سازه‌های ساخته شده بر اساس روش‌های مرسوم طراحی، در حین وقوع زلزله‌های شدید، مقدار شتاب قابل توجهی را در طبقات تجربه می‌کنند که این امر در نهایت سلب آرامش از ساکنان ساختمان‌های بلند و آسیب در اجزای غیر سازه‌ای و تجهیزات را به همراه دارد. با پیشرفت دانش فنی و تجربه‌ی زلزله‌های شدید و همچنین تغییر در فلسفه‌ی طراحی سازه‌ها، فناوری‌هایی همچون کنترل غیرفعال سازه‌ها به کار گرفته شده است [۱]. از جمله، در جداسازی لرزه‌ای که در چند دهه اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است، با کاهش نیاز لرزه‌ای می‌توان پاسخ سازه را در محدوده‌ای ایمن قرار داد. جداساز لرزه‌ای قادر است با دور کردن زمان تناوب سازه از زمان تناوب غالب زمین لرزه‌ها، پاسخ سازه را کاهش و در نتیجه خسارت‌های وارد به سازه را به حداقل برساند، زیرا هم شتاب‌های طبقات و هم تغییرمکان جانبی بین طبقه‌ای به میزان چشمگیری کاهش می‌یابند. بنابراین، جداسازی لرزه‌ای یک راه‌حل اقتصادی و عملی برای کاهش آسیب‌های لرزه‌ای در اجزای غیر سازه‌ای است [۲].

سازه‌های مورد استفاده در اماکن نظامی و انتظامی برابر آیین‌نامه ۲۸۰۰ جز سازه‌های با اهمیت خیلی زیاد می‌باشند. به همین خاطر به لحاظ پدافندی این سازه‌ها بایستی به گونه‌ای طرح شوند، که پس از وقوع زلزله خسارت حداقل دیده و امکان بهره برداری بدون وقفه از آنها ممکن باشد. سازه‌های دوگانه قاب خمشی بتنی با دیواربرشی، از جمله سازه‌های مقاومی می‌باشند که در برابر زلزله می‌توانند جذب انرژی و شکل‌پذیری را از خود ارائه دهند. در این سازه‌ها نقاطی که وقوع خرابی ناشی از زلزله می‌تواند در آنها رخ دهد، قابل پیش بینی است. هرچه این نقاط خرابی در سازه کمتر باشد، هزینه بازسازی کمتر خواهد بود. همچنین امکان بهره برداری از آن در زمان کمتری متصور است. علی‌الحال در سازه‌های بتنی دوگانه یاد شده در قبل هم وقوع

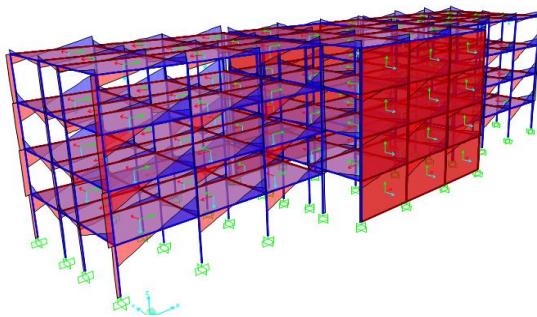
(IDA) و منحنی شکست در دو نمونه سازه یاد شده در بالا انجام و نتایج آنها با یکدیگر مقایسه شده است. مصالح مورد استفاده در سازه بتنی بدون جداساز در جدول (۱) و در سازه با جداساز در جدول (۲) ارائه شده اند.



الف) نمای سه بعدی



ب) پلان



پ) دیاگرام توزیع نیروهای برشی المان های سازه ای

شکل (۱): مدل مورد مطالعه

جدول (۱): مشخصات فولاد و بتن در مدل های مورد مطالعه

مصالح	مقاومت تسلیم (Kg/cm ²)	مقاومت نهایی (Kg/cm ²)	مدول الاستیسیته (Kg/cm ²)
فولاد S400	۴۰۰۰	۶۰۰۰	۲۱۰ ^۶
فولاد S340	۳۴۰۰	۵۰۰۰	۲۱۰ ^۶
بتن	مقاومت فشاری (Kg/cm ²)		مدول حجمی (Kg/cm ³)
	۲۵۰		

در این مطالعه پاسخ لرزه ای سازه ای با درجه اهمیت خیلی زیاد (به عنوان نماینده سازه های نظامی و انتظامی) با جداسازهای الاستیکی با استفاده از الیاف FRP تحت زلزله های حوزه نزدیک و دور از گسل بررسی شده است. طراحی این سازه با روش جداساز با الیاف FRP تولید داخل، با استفاده از مدل تحلیلی سه بعدی غیر خطی انجام می گردد. تحقیق پارامتریک بر برش پایه، شتاب و جابه جایی مدل های جداسازی شده متمرکز است. در شتاب نگاشت های زلزله ای حوزه نزدیک و دور از گسل می تواند به صورت قابل توجه نتایج پاسخ لرزه ای ساختمان های جداسازی الاستیکی با استفاده از الیاف FRP شده را تغییر دهد. استفاده از جداساز لرزه ای با استفاده از الیاف FRP در سازه یاد شده با درجه اهمیت ویژه در زلزله های حوزه نزدیک و دور از گسل در این تحقیق بررسی گردیده که تا بحال کمتر در تحقیقات پیشین به آن توجه شده است.

۲- طراحی مدل های مورد مطالعه

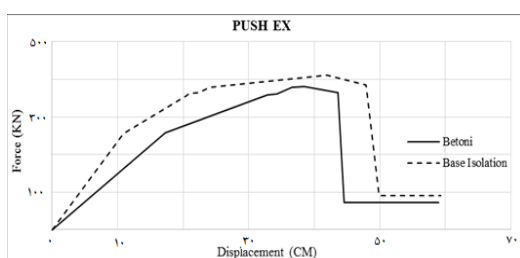
در این قسمت ابتدا به مدل سازی سازه بتنی ۴ طبقه (با کاربری انتظامی) در نرم افزار sap2000 پرداخته شده است. این سازه، ۴ طبقه روی زمین و ۱ طبقه در زیر زمین دارد. با توجه به احاطه کردن دیوار حائل در دور تا دور طبقه زیر زمین از مدل کردن این طبقه، با توجه به استاندارد ۲۸۰۰، صرف نظر شده است. به همین جهت، سطح تراز صفر در طبقه همکف لحاظ شده است. با در نظر گرفتن الزامات آیین نامه های طراحی همچون آیین نامه ۲۸۰۰ [۱۰] و مبحث نهم مقررات ملی ساختمان [۱۱] مقاطع باز طراحی شده است. محل قرارگیری سازه بر روی زمین نوع ۴ بوده و خطر نسبی خیلی زیاد مطابق استاندارد ۲۸۰۰ برای سازه یاد شده بایستی در نظر گرفته شود. بار مرده ۸۱۲ کیلوگرم بر مترمربع برای طبقات و ۱۵۰ کیلوگرم بر متر مربع برای بام، با توجه به جزئیات ارائه شده برای سقف و دیوارها در نقشه های اجرایی، در نظر گرفته شده است. همچنین با توجه به مبحث ۶ مقررات ملی ساختمان [۱۲]، بار زنده ۳۰۰ کیلوگرم بر مترمربع برای طبقات و بار زنده ۱۵۰ کیلوگرم بر متر مربع برای بام، لحاظ شده است. هدف از این مطالعه به دست آوردن عملکرد لرزه ای سازه با جداساز با الیاف FRP نمونه داخلی و مقایسه آن با سازه بدون جداساز می باشد. با رعایت الزامات نشریه ۵۲۳ [۱۳] جداساز لاستیکی با الیاف FRP طراحی و به سازه اضافه شده است. جداساز مورد نظر و خصوصیات آن از رساله دهقانی [۱۴] برگرفته شده است. جداساز در سطح تراز صفر سازه و در زیر هر ستون جانمایی شده است. برای بررسی عملکرد لرزه ای سازه، با رعایت الزامات نشریه ۳۶۰ [۱۵]، تحلیل الاستاتیکی غیرخطی (پوش آور) انجام شده است. سپس تحلیل دینامیکی غیرخطی (تاریخچه زمانی)، تحلیل دینامیکی غیرخطی افزاینده

برای سازه انتخاب می‌شود، سپس سازه تا رسیدن به این تغییرمکان تحت اثر بارهای جانبی قرار می‌گیرد و مقدار بار به صورت تدریجی افزایش می‌یابد [۱۸].

هر یک از سازه‌هایی که در این تحقیق مورد استفاده قرار می‌گیرد، تحت اثر الگوی بار جانبی مثلثی قرار می‌گیرد تا مرکز جرم بام به تغییرمکان هدف مشخصی برسد. تغییرمکان هدف با استفاده از مقادیر مندرج در دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود محاسبه می‌شود. تغییرمکان هدف برای سازه با دیافراگم صلب باید با در نظر گرفتن رفتار غیرخطی سازه برآورد گردد. در تحلیل‌های خطی می‌توان اثر بار ثقلی و بار زلزله را توأمان محاسبه نمود. چون در تحلیل خطی می‌توان از اصل جمع آثار قوا استفاده نمود. اما در تحلیل‌های غیرخطی نمی‌توان از اصل جمع آثار قوا استفاده کرد. بنابراین ابتدا باید سازه تحت بار ثقلی آنالیز شود و سپس از آن را تحت بار زلزله (تغییرمکان هدف) آنالیز انجام شود [۱۷].

۵- نمونه‌های پوش آور

نتایج تحلیل پوش آور بر روی نمونه‌های مورد مطالعه در دو حالت سازه بتنی و سازه جداسازی شده در شکل (۳) و (۴) ترسیم گردیده‌اند. می‌توان ملاحظه نمود که نمونه‌های طراحی شده با جداساز در تغییرمکان‌های کوچک‌تری وارد مرحله غیرخطی می‌شوند. در تحلیل پوش آور علاوه بر تغییرمکان هدف باید یک الگوی بارگذاری که معمولاً به صورت مثلثی متناسب با (مود اول) است به سازه وارد نمود تا سازه تحت این الگوی بارگذاری به تغییرمکان هدف در بام خود برسد.



شکل (۳): سازه بتنی بدون جداساز و با جداساز PUSH EX الگوی بارگذاری مثلثی

همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود نمودار پوش آور تحت الگوی بارگذاری مثلثی در جهت X نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود افت کلی در تغییرمکان بیشتری (۴۹ سانتی‌متر) برای جداساز لرزه‌ای صورت گرفته اما در سازه جداسازی نشده در تغییرمکان کمتری (۴۲ سانتی‌متر) افت کلی صورت گرفته است. همچنین سازه جداسازی شده در تغییرمکان یکسانی نیروی بیشتر نسبت به سازه بتنی جذب می‌کند برای مثال در تغییرمکان ۱۰ سانتی‌متر سازه بتنی ۱۵۰ کیلو نیوتن نیرو جذب کرده اما سازه جداسازی شده در همان تغییرمکان ۲۴۰

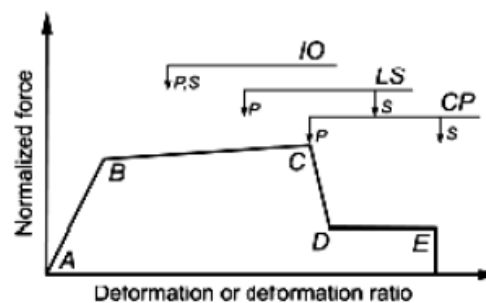
جدول (۲): مشخصات جداساز استفاده شده در مدل‌های مورد مطالعه (واحد تیوتن، متر)

۰/۰۰۱۴۸	حداکثر تغییرمکان برشی (D)
۲۴۱۰۰۹۴	سختی موثر (K_{eff})
۴۷۸۱۶۵۸	میرایی موثر (C_{eff})
۱۴۶۱۴۸۶۸	سختی اولیه (K_1)
۵۶۶۲۵,۶۷	مقاومت تسلیم (F_y)
۰/۱۵۶۷۱۹	نسبت سختی اولیه به ثانویه (K_1/K_2)

شایان ذکر است مقاطع تیرها، ستون‌ها و دیوار برشی در سازه با جداساز لرزه‌ای، با توجه به نقشه فاز دو سازه اصلی، باز طراحی شده‌اند. در این سازه، استفاده از جداساز باعث شده مقاطع مورد استفاده از سطح مقطع کوچک‌تری بر خوردار بوده و در نتیجه سازه سبک‌تر شده است.

۳- مفاصل پلاستیک

اساس روش تحلیل استاتیکی غیرخطی سازه بتنی مورد مطالعه به این صورت است که در ابتدا خصوصیات مفاصل پلاستیک در مدل‌ها اعمال می‌شود، سپس مفاصل در قسمت‌هایی که احتمال تشکیل مفصل پلاستیک وجود دارد به اعضا اختصاص داده می‌شود. مفاصل پلاستیک مطابق با استاندارد FEMA356 [۱۶] جدول (۳) برای ستون‌ها و تیرها تعریف می‌گردد [۱۷].



شکل (۲): مدل رفتاری استفاده شده در FEMA-356 [۱۶] جدول (۳): تعریف مفصل پلاستیک در سازه بتنی با توجه به

EMA356 [۱۶]

	a	b	c	IO	LS	CP
ستون	۰/۰۳۲	۰/۰۶	۰/۲	۰/۰۰۵	۰/۰۲۶	۰/۰۳۵
تیر	۰/۰۲۵	۰/۰۵	۰/۲	۰/۰۱۰	۰/۰۲	۰/۰۲۵

۴- تحلیل استاتیکی غیر خطی^۱

تحلیل استاتیکی غیر خطی (آنالیز پوش آور) روشی سریع و موثر برای ارزیابی عملکرد سازه‌ها در هنگام وقوع زلزله می‌باشد. در این روش ابتدا به توجه به مشخصات سازه و سطح خطر تغییرمکان

^۱ Nonlinear Static Procedure

به سازه بتنی دارا می باشد، برای مثال در نیروی ۱۰۰ کیلونیوتن سازه بتنی ۱۶ سانتی متر تغییرمکان داده اما سازه جداسازی شده در همان نیرو ۹/۵ سانتی متر تغییرمکان داده که نشان دهنده تغییرمکان کمتر سازه جداساز لرزه ای می باشد. همچنین سازه جداسازی شده زودتر وارد ناحیه غیرخطی می شود و طول ناحیه غیرخطی بیشتری نسبت به سازه بدون جداساز (سازه بتنی) دارد. همچنین مقاومت باقی مانده بیشتر در جداساز لرزه ای مشاهده می شود.

جدول (۴): تغییر مکان متناظر با تشکیل اولین مفصل پلاستیک و فرو پاشی قاب های مورد مطالعه (ابعاد سانتی متر)

مدل	سازه بتنی بدون جداساز لرزه ای		سازه با جداساز لرزه ای	
	PUSHE EX	PUSHE EY	PUSHE EX	PUSHE EY
تغییر مکان متناظر با تشکیل اولین مفصل پلاستیک	۱۷/۳۰۸۹	۱۶	۸/۹۰۱	۸
تغییر مکان متناظر با فروپاشی قاب	۴۳/۶۱۴۲	۴۹/۰۸	۴۹/۸۴۴	۵۲/۲۸

۶- جذب انرژی

باتوجه به این که سطح زیر منحنی پوش آور بیان گر مقدار انرژی مستهلک شده توسط سازه است، بنابراین هرچه مساحت زیر این سطح بزرگ تر باشد، سازه توانایی بیشتری در جذب و استهلاک انرژی خواهد داشت. به اصطلاح رفتار لرزه ای سازه بهبود می یابد. میزان جذب انرژی مدل های مورد مطالعه در جدول (۵) ارائه گردیده است. همانطور که ملاحظه می گردد، نسبت انرژی جذب شده در سیستم های جداسازی شده نسبت به سیستم های سازه بتنی بالاتر می باشند [۱۹].

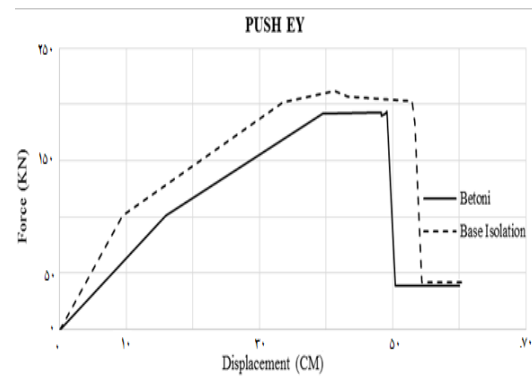
جدول (۵): مقایسه سطح زیر منحنی پوش آور برای نمونه ها

(واحد بر حسب KN-cm)

نمونه	PUSHE EX	PUSHE EY
سازه بتنی بدون جداساز	۱۲۲۷۶/۸	۶۶۱۶/۸۶۴
سازه بتنی با جداساز	۱۶۳۷۹/۲۹	۸۵۹۴/۸۴۵
نسبت جداساز به سازه بتنی	$A_{HDR} / 1/34$ $A_{Betoni} =$	$A_{HDR} / 1/30$ $A_{Betoni} =$

کیلونیوتن نیرو جذب کرده که نشان دهنده جذب نیروی بیشتر جداساز لرزه ای می باشد، در نتیجه نشان دهند عملکرد بهتر سیستم جداساز لرزه ای می باشد. همچنین سازه جداسازی شده در نیروی یکسان تغییرمکان کمتری نسبت به سازه بتنی دارا می باشد، برای مثال در نیروی ۳۵۵ کیلونیوتن سازه بتنی ۳۲ سانتی متر تغییرمکان داده اما سازه جداسازی شده در همان نیرو ۲۰ سانتی متر تغییرمکان داده که نشان دهنده تغییرمکان کمتر بیشتر جداساز لرزه ای می باشد. همچنین سازه جداسازی شده زودتر وارد ناحیه غیرخطی می شود و طول ناحیه غیرخطی بیشتری نسبت به سازه بدون جداساز (سازه بتنی) می باشد و مقاومت باقی مانده بیشتر در جداساز لرزه ای قابل مشاهده است.

در مدل سازی های انجام شده، اثر بارگذاری مثلثی دیده شده است. نتایج حاصل از نمودار نشان می دهد استهلاک انرژی بالاتر و همچنین رفتار لرزه ای (شکل پذیری، جذب انرژی و ..) سامانه جداساز بیشتر از سازه بتنی است. طول ناحیه رفتار غیرخطی در جداساز بیشتر از سازه بتنی می باشد. یعنی زمان بیش تر طول می کشد تا ناپایدار شود.



شکل (۴): سازه بتنی بدون جداساز و با جداساز PUSH EY (الگوی بارگذاری مثلثی)

در شکل (۴) نمودار پوش آور تحت الگوی بارگذاری مثلثی در جهت Y نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود افت کلی در تغییرمکان بیشتری (۵۲ سانتی متر) برای جداساز لرزه ای صورت گرفته اما در سازه جداسازی نشده در تغییرمکان کمتری (۴۸ سانتی متر) افت کلی صورت گرفته. همچنین سازه جداسازی شده در تغییرمکان یکسان نیروی بیشتری نسبت به سازه بتنی جذب می کند برای مثال در تغییرمکان ۱۰ سانتی متر سازه بتنی ۶۰ کیلونیوتن نیرو جذب کرده اما سازه جداسازی شده در همان تغییرمکان ۱۰۰ کیلونیوتن نیرو جذب کرده که نشان دهنده جذب نیروی بیشتر جداساز لرزه ای می باشد، در نتیجه نشان دهنده عملکرد بهتر سیستم جداساز لرزه ای می باشد. همچنین سازه جداسازی شده در نیروی یکسان تغییرمکان کمتری نسبت

جدول (۷) به اوج شتاب‌نگاشت ۰/۳۵ برای حوزه دور مقیاس شده‌اند. مطابق ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ در بررسی نتایج حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی هرگاه تعداد نگاشت‌ها از ۷ عدد بیشتر باشد. می‌توان از میانگین نتایج استفاده نمود. بنابراین در این مطالعه از میانگین ۱۰ شتاب‌نگاشت استفاده شده است [۲۰].

جدول (۷): مشخصات شتاب‌نگاشت

علامت اختصار	فاصله (km)	شدت	سال	ایستگاه ثبت زلزله	زلزله
Z1	۶۹/۲۹	۶/۶	۲۰۰۲	Jiroft	Bam
Z2	۱۸۰/۶۳	۶/۶	۲۰۰۳	Kerman	Bam
Z3	۱۶/۵۸	۷/۱۴	۱۹۹۹	Duzce	Turkey
Z4	۴۰/۸۲	۷/۲۱	۱۹۷۶	Maku	Turkey
Z5	۶۴/۴۷	۷/۳۷	۱۹۹۰	Rudsar	Manjil
Z6	۹۱/۴	۷/۳۵	۱۹۷۸	Kashmar	Tabas
Z7	۱۹۴/۵۵	۷/۳۵	۱۹۷۸	Ferdows	Tabas
Z8	۸۷/۷۸	۶/۹۳	۱۹۸۹	Richmond City Hall	Loma perietta
Z9	۸۵/۷۵	۶/۶۹	۱۹۹۴	Phelan Wilson Ranch	Northridge
Z10	۹۵/۷۲	۶/۹	۱۹۹۵	Hik	Kobe

روش ارزیابی عملکرد FEMA P695 [۲۱] با هدف محاسبه منطقی و کمی عملکرد لرزه‌ای سیستم‌های ساختمانی در حد فروریزش و پارامترهای عملکردی آن ارائه گردیده است.

۹- شتاب مبنای طرح

شتاب مبنای طرح برای منطقه با خطر نسبی خیلی زیاد (منطقه مورد مطالعه) بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ برای کلیه قاب‌ها $A=0/35$ خواهد بود که بیشترین مقدار مربوط به شتاب مبنای طرح ارائه شده در آیین‌نامه ۲۸۰۰ می‌باشد [۱۰].

۱۰- تغییر مکان‌های جانبی طبقات

نتایج تغییر مکان کلی و تغییر مکان نسبی طبقات برای سازه بدون جداساز لرزه‌ای و سازه با جداساز لرزه‌ای محاسبه شده است. نمودار تغییر مکان حداکثر سازه بدون جداساز لرزه‌ای برای زلزله-های حوزه کشور ایران در شکل (۵-الف) ترسیم شده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مشاهده می‌گردد، برای سازه بدون جداساز لرزه‌ای شتاب‌نگاشت زلزله‌ی Turkey-Duzce (Z3) برای طبقه ۲ و ۳ بیشترین تغییر مکان را ایجاد می‌کند. برای سازه بدون جداساز لرزه‌ای شتاب‌نگاشت زلزله‌ی Bam-Kerman (Z2) کمترین تغییر مکان در سازه ایجاد کرده است. برای سازه بدون جداساز شتاب‌نگاشت زلزله‌ی Turkey-Maku (Z4) در طبقه بام

۷- پارامترهای لرزه‌ای

با توجه به گراف‌های خرابی در نمودارهای پوش‌آور می‌توان مشاهده نمود، استفاده از جداساز لرزه‌ای باعث کنترل نوع خرابی سازه شده و از خرابی ترد در این سازه‌ها جلوگیری نموده است. با توجه به جدول (۶) ملاحظه می‌شود که ضریب کاهش شکل‌پذیری جداساز بیشتر از سازه بدون جداساز می‌باشد. همچنین می‌توان ملاحظه نمود که ضریب شکل‌پذیری در جداساز نسبت به سازه بدون جداساز بالاتر است. بعلاوه ضریب اضافه مقاومت سازه با جداساز لرزه‌ای بالاتر از سازه بدون جداساز می‌باشد که بیانگر ذخیره مقاومتی قابل توجه در سیستم‌های جداساز نسبت به سازه بدون جداساز است. ضریب رفتار سیستم طراحی شده با جداساز تا حدودی بیشتر است. بنابراین نیروی جانبی وارد شده بر سازه نیز کاهش یافته و می‌توان سیستم را برای بار جانبی کمتری طراحی نمود [۱۸].

جدول (۶): پارامترهای لرزه‌ای نمونه‌ها

مدل	سازه بتنی بدون جداساز		سازه با جداساز		
	لرزه‌ای		لرزه‌ای		
	PUSHE EX	PUSH E EY	PUSH E EX	PUSH E EY	
μ	FEMA35 6	۲/۵۱۹۷	۳/۰۶۷۵	۴/۴۰۲۳	۵/۶۰۸۵
R_{μ}	FEMA35 6	۱/۶۹۸۲	۱/۶۰۴۳	۱/۹۹۶۶	۲/۱۸۳۰
Ω	FEMA35 6	۱/۰۲۰۴	۱/۰۲۶۹	۱/۰۴۲۲	۱/۰۲۱۱
R_{Ω}	FEMA35 6	۱/۷۳۲۷	۱/۶۴۷۵	۲/۰۸۰۷	۲/۲۲۸۹

۸- تحلیل تاریخچه زمانی

مدل در نظر گرفته شده در این طرح توسط نرم‌افزار Sap2000 تحت شتاب‌نگاشت‌های حوزه دور با استفاده از تحلیل غیرخطی با مورد ارزیابی قرار گرفته است. در تحلیل دینامیکی غیرخطی اثرات P- Δ منظور گردیده است. ۵٪ میرایی بحرانی برای تحلیل دینامیکی مدل‌ها در نظر گرفته شده است. آیین‌نامه طرح لرزه‌ای ایران یا استاندارد ۲۸۰۰ [۱۰] برای مناطق با خطر لرزه‌خیزی خیلی زیاد با ۲۲٪ احتمال رخداد زلزله در ۵۰ سال عمر مفید ساختمان، اوج شتاب (PGA) ۰/۳۵g را برای طراحی ساختمان‌های جدید ارائه نموده است. این آیین‌نامه در سطح خطر فوق‌مقادیر دیگری برای اوج شتاب زمین PGA پیشنهاد نموده است. با توجه به این که در این مطالعه هدف بررسی رفتار سازه با فرض سطح خطر یکسان در حوزه دور (زلزله‌های حوزه کشور ایران) می‌باشد. برای همین، با فرض سطح خطر یکسان مطابق با استاندارد ۲۸۰۰، شتاب‌نگاشت‌های

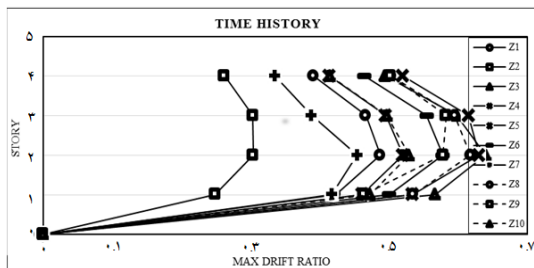
استفاده از سیستم جداسازی شده در سازه نیاز لرزه‌ای را به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهد که این موضوع با فلسفه استفاده از جداساز سازگار می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود اثر قابل توجه شتاب‌نگاشت‌ها روی تغییرمکان نسبی در سازه بدون جداساز لرزه‌ای نسبت به سازه با جداساز لرزه‌ای به وضوح قابل رویت است در نتیجه سازه جداسازی شده حساسیت کمتری در مقابله با زلزله از خود نشان می‌دهد.

جدول (۸): حداکثر جابه‌جایی بام تحت اثر زلزله‌ها برای سازه بتنی بدون جداساز و با جداساز (متر)

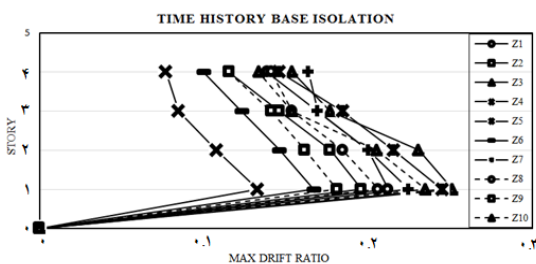
سازه	بدون جداساز	با جداساز
حداکثر جابه‌جایی	۰/۵۱۹	۰/۱۶۳۶
حداقل جابه‌جایی	۰/۲۶۳	۰/۰۷۷
میانگین جابه‌جایی	۰/۴۳۰	۰/۱۲۸۴

۱۱- تغییرمکان نسبی بین طبقه‌های

اهمیت تغییرمکان نسبی بین طبقات به عنوان یک شاخص مهم از عملکرد ساختمان می‌باشد. در طول یک زلزله، تغییرمکان‌های بین طبقات همراه با زمان و تغییر مودهای ساختمان تغییر می‌کنند. دریافت‌های طبقات در شکل (۶) برای سازه مورد مطالعه نشان داده شده‌اند. با توجه به شکل (۶-ب) شتاب‌نگاشت‌های حوزه ایران، نیازهای تغییرشکل بالاتری را دارند. البته لازم به ذکر است که با مقایسه پاسخ‌های زلزله‌ها حداکثر تغییرمکان نسبی طبقات نشان می‌دهد، بیشترین انحراف بین مقادیر برای سازه مربوط به طبقه ۲ می‌باشد. تاثیرات مودهای بالاتر در برخی از شتاب‌نگاشت‌ها مشخص بوده و استفاده از جداساز سبب عدم انتقال نیازها به سازه شده است.



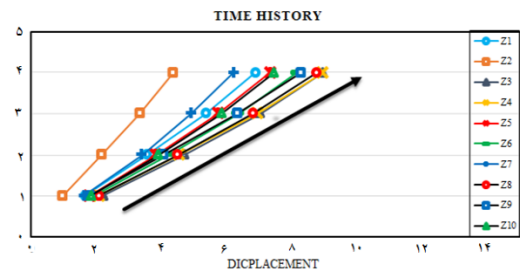
الف) سازه بدون جداساز



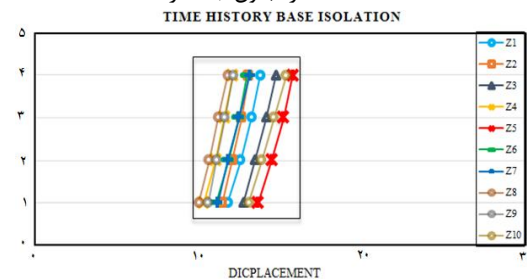
ب) سازه با جداساز

شکل (۶): حداکثر تغییرمکان نسبی تحت تحلیل دینامیکی غیر خطی

بیشترین مقدار تغییرمکان را به وجود آورده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در زلزله‌های موجود پراکندگی نتایج بیشتر دیده می‌شود. میانگین حداکثر جابه‌جایی ناشی از زلزله‌ها در طبقه بام سازه بدون جداساز ۰/۴۱۲ متر، حداکثر جابه‌جایی ناشی از زلزله‌ها در طبقه بام در سازه بدون جداساز ۰/۵۱۹ متر و حداقل جابه‌جایی ناشی از زلزله‌ها در طبقه بام در سازه بدون جداساز ۰/۲۶۳ متر می‌باشد. همچنین نمودار تغییرمکان حداکثر سازه با جداساز لرزه‌ای برای زلزله‌های حوزه کشور ایران در شکل (۵-ب) ترسیم گردیده‌اند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده مشاهده می‌شود، برای سازه با جداساز لرزه‌ای شتاب‌نگاشت زلزله‌ی Turkey-Duzce (Z3) برای طبقه ۲ و ۳ بیشترین تغییرمکان ایجاد را می‌کند، برای سازه با جداساز لرزه‌ای شتاب‌نگاشت زلزله‌ی Turkey-Maku (Z4) کمترین تغییرمکان در سازه را ایجاد کرده است. برای سازه با جداساز لرزه‌ای شتاب‌نگاشت زلزله‌ی Tabas-Ferdows (Z7) در طبقه بام بیشترین مقادیر تغییرمکان را به وجود است.



الف) سازه بدون جداساز



ب) سازه با جداساز

شکل (۵): حداکثر تغییرمکان تحت تحلیل دینامیکی غیر خطی همان‌طور که مشاهده می‌شود در زلزله‌های موجود پراکندگی نتایج به دلیل استفاده از جداساز لرزه‌ای نسبت به سازه بتنی بدون جداساز لرزه‌ای نسبت به سازه بتنی بدون جداساز لرزه‌ای کمتر دیده می‌شود. میانگین حداکثر جابه‌جایی ناشی از زلزله‌ها در طبقه بام سازه با جداساز ۰/۱۲۸۴ متر، حداکثر جابه‌جایی ناشی از زلزله‌ها در طبقه بام در سازه با جداساز ۰/۱۶۳۶ متر و حداقل جابه‌جایی ناشی از زلزله‌ها در طبقه بام در سازه با جداساز ۰/۰۷۷ متر می‌باشد. حداکثر، حداقل و میانگین مقادیر حاصل از شتاب‌نگاشت‌ها نیز در جدول (۸) نشان داده شده‌اند. به‌طور کلی

بدین ترتیب کل محدوده رفتاری مدل‌ها از حالت الاستیک تا تسلیم و ویرانی پوشش داده شده است [۲۳].

در شکل (۷) منحنی‌های حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشی (IDA) برای سازه بتنی بدون جداساز و با جداساز رسم گردیده است. ملاحظه می‌گردد سازه طراحی شده با جداساز ظرفیت بیشتری را داراست. همانگونه که در شکل (۷) مشاهده می‌شود، در سازه تحت شتاب‌نگاشت‌های انتخابی، سازه بتنی بدون جداساز و با جداساز هر دو تغییرشکل‌های غیرالاستیک داشته و تسلیم شده‌اند اما از بررسی منحنی‌های IDA در دو سیستم مشاهده می‌شود که سازه با استفاده از جداساز دارای منحنی ظرفیت بزرگتر و در نتیجه پایداری بیشتری هستند.

در شکل (۷-الف) منحنی‌های حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشی (IDA) برای سازه بدون جداساز لرزه‌ای رسم گردیده است. سازه تغییرشکل‌های غیرالاستیک داشته و تسلیم شده است. سازه بتنی بدون جداساز شتاب‌نگاشت زلزله‌ی Turkey-Maku (Z4) بیشترین خسارت را وارد کرده و کمترین منحنی ظرفیت را داراست، دررفت و شدت در هنگام فروریزش به ترتیب ۶۱/۶ و ۱/۶۲ می‌باشند. بیشتر شتاب‌نگاشت‌های منحنی ظرفیت پایینی را نشان می‌دهند. همچنین شتاب‌نگاشت زلزله‌ی Bam-Kerman (Z2) کمترین خسارت را وارد کرده و بیشترین منحنی ظرفیت را داراست. برای این شتاب‌نگاشت، دررفت و شدت در هنگام فروریزش به ترتیب ۳۷/۴ و ۱/۹۹ می‌باشند.

در شکل (۷-ب) منحنی‌های حاصل از تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشی IDA برای سازه جداسازی شده (نمونه داخلی) نمایش داده شده است. از بررسی منحنی‌های IDA در سیستم جداساز مشاهده می‌شود که دارای منحنی ظرفیت بزرگتر و در نتیجه پایداری بیشتری هستند. سازه با جداساز لرزه‌ای شتاب‌نگاشت زلزله‌ی Turkey-Duzce (Z3) بیشترین خسارت را وارد کرده و کمترین منحنی ظرفیت را داراست. دررفت و شدت در هنگام فروریزش به ترتیب ۲۹ و ۱/۶۸ می‌باشند. بیشتر شتاب‌نگاشت‌ها منحنی ظرفیت پایینی را نشان می‌دهند. همچنین شتاب‌نگاشت زلزله‌ی Bam-Kerman (Z2) که جز شتاب‌نگاشت‌هایی است که کمترین خسارت را وارد کرده و بیشترین منحنی ظرفیت را داراست، دررفت و شدت در هنگام فروریزش به ترتیب ۲۱ و ۱/۹۵ بوده است. در مقایسه با سازه بتنی بدون جداساز، سازه با جداساز لرزه‌ای از دررفت کمتری برخوردار می‌باشد و عملکرد مناسبی در مقابله با شتاب‌نگاشت انتخابی داشته است.

در شکل (۶-الف) پاسخ دررفت طبقات برای سازه بدون جداساز نشان داده شده است. بیشترین دررفت زلزله‌ها مربوط به شتاب‌نگاشت زلزله Turkey-Duzce (Z3) در سازه بدن جداساز ۰/۶۳۹ می‌باشد. کمترین دررفت زلزله‌ها مربوط به زلزله Bam-Kerman (Z2) در سازه بدون جداساز ۰/۲۴۸ می‌باشند، در زلزله‌ها معمولاً طبقه پایین بیشترین دررفت طبقه را نشان می‌دهد.

دررفت‌های طبقات در شکل (۶-ب) برای سازه با جداساز لرزه‌ای مورد مطالعه نشان داده شده‌اند. با توجه به شکل (۶-ب) شتاب‌نگاشت‌های حوزه ایران، بیشترین انحراف بین مقادیر برای سازه مربوط به طبقه ۱ می‌باشد. تاثیرات مدهای بالاتر در برخی از شتاب‌نگاشت‌های مشخص بوده و استفاده از جداساز باعث عدم انتقال نیازها به سازه شده است.

در شکل (۶-ب) پاسخ دررفت طبقات برای سازه با جداساز لرزه‌ای نشان داده شده است، بیشترین دررفت زلزله‌ها مربوط به شتاب‌نگاشت زلزله Turkey-Duzce (Z3) در سازه با جداساز لرزه‌ای ۰/۲۵۱۳ می‌باشد. کمترین دررفت زلزله‌ها مربوط به زلزله Turkey-Maku (Z4) در سازه با جداساز لرزه‌ای ۰/۱۳۲۷ می‌باشند، در نتیجه دررفت به مقدار قابل توجه‌ای نسبت به سازه بدون جداساز کاهش یافته است. در زلزله‌ها معمولاً طبقه پایین بیشترین دررفت طبقه را نشان می‌دهد.

۱۲- تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشی

تحلیل دینامیکی افزایشی یکی از روش‌های تحلیل دینامیکی سازه‌هاست که از طریق آن حدود پایداری، ظرفیت و تقاضای سازه با استفاده از تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی متعدد و رکورد‌های مقیاس شده قابل تخمین است. براساس مطالعات انجام شده در گذشته، در این پژوهش ۱۰ رکورد معروف و پرکاربرد زلزله‌ها مطابق آنچه در جدول (۴) نشان داده شده، انتخاب شده است. از مهم‌ترین موضوعات در روش تحلیل دینامیکی افزایشی، انتخاب معیار شدت (IM) و خسارت (DM) مناسب است. همچنین ماکزیمم تغییر مکان نسبی طبقه، θ_{max} ، که پارامتری برای تعریف ناپایداری کلی شناخته می‌شود، به عنوان معیار خسارت در نظر گرفته شده است [۲۲].

از مهم‌ترین موضوعات در روش تحلیل دینامیکی افزایشی انتخاب شاخص خسارت (DM) و شاخص شدت (IM) می‌باشد. در این تحقیق شاخص خسارت ماکزیمم دررفت طبقات و شاخص شدت بیشینه شتاب زمین PGA انتخاب شده است. هر یک از شتاب‌نگاشت‌های انتخاب شده در ناحیه خطی و الاستیک با گام ۰/۰۲g و در ناحیه غیرخطی با گام ۰/۰۵g مقیاس شده‌اند.

¹Incremental Dynamic Analysis

پاسخ بهتر سازه دارای جداساز در برابر زلزله های انتخابی بوده است.

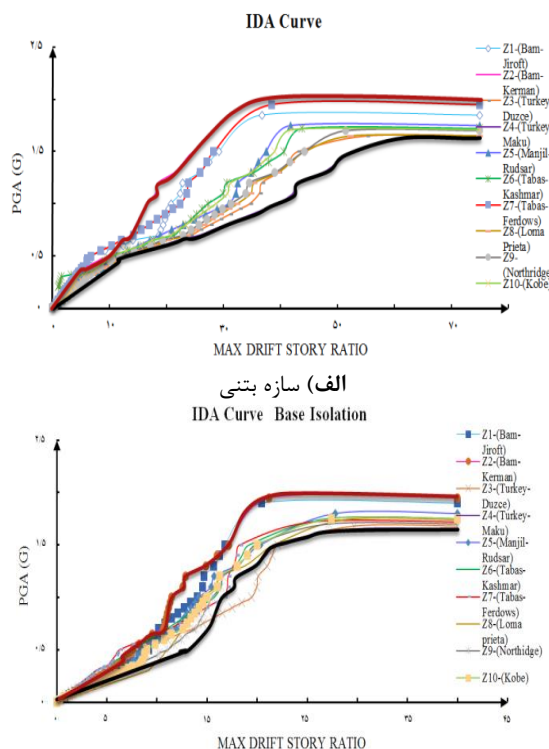
۱۳- بررسی عملکرد سازه

از راهنمای FEMA-350، برای تعیین سطح عملکرد سازه ها استفاده شده است. سطح عملکرد (استفاده بی وقفه IO) برای یک سازه بتنی در بیشینه تقاضای تغییر مکان نسبی بین طبقه ای (2% - ΔMax) تعریف شده است و سطح عملکرد (آستانه ای فروریزش CP) را در نقطه ای که شیب منحنی دینامیکی افزایشی بر حسب ΔMax، 20% شیب الاستیک این منحنی باشد و یا در بیشینه تقاضای تغییر مکان نسبی حداکثر بین طبقه ای (10% - ΔMax) هر کدام زودتر در منحنی IDA در IM کوچک تری رخ دهند، در نظر گرفته شده است [17]. با استخراج منحنی های IDA برای تمامی 10 شتاب نگاشت زلزله ها حجم زیادی از اطلاعات و داده ها با پراکندگی زیاد حاصل شده است. برای بررسی بهتر رفتار سازه و سطوح عملکرد، منحنی های IDA بر اساس اصول آماری خلاصه سازی از درصد های 16%، 50% و 84% استفاده شده است و دوباره با استفاده از روش های آماری، سطوح عملکرد مورد بررسی بر روی این منحنی ها نشان داده شده است. مقایسه نتایج حاصل برای سازه بدون جداساز و سازه با جداساز در شکل (8) نمایش داده شده است. در جدول (9) حد ظرفیت سازه بر اساس سطح عملکرد IO و CP ارائه شده است.

جدول (9): سطوح عملکردی روی منحنی 16%، 50% و 84% سازه بتنی بدون جداساز و با جداساز

Model	16%		50%		84%	
	IO (PGA)	CP (PGA)	IO (PGA)	CP (PGA)	IO (PGA)	CP (PGA)
سازه با استفاده از جداساز	0.32	1/9	0.24	1/7.5	0.35	1/6
سازه بتنی بدون جداساز	0.5	1/9.5	0.43	1/8	0.47	1/6.5

در سازه با جداساز نمونه داخلی سطح عملکرد مناسب تری نسبت به مدل مشابه با سازه بدون جداساز ارائه شده است. در واقع سازه با جداساز لرزه ای نسبت به سازه بدون جداساز لرزه ای دیرتر ناپایدار شده و از ظرفیت بالایی برخوردار است. در سازه با جداساز لرزه ای مقدار دریفت کاهش یافته و همچنین شدت افزایش یافته است، در نتیجه سازه با جداساز لرزه ای بیشترین منحنی ظرفیت را نسبت به سازه بدون جداساز لرزه ای دارا می باشد. به همین خاطر



ب) سازه با جداساز لرزه ای

شکل (۷): حداکثر تغییر مکان تحت تحلیل دینامیکی غیر خطی

افزاینده الف) سازه با جداساز لرزه ای ، ب) سازه بتنی

مطابق منحنی های ارائه شده سازه جداسازی شده ظرفیت بیشتری نسبت به سازه بتنی برخوردار است. از مقایسه دو سیستم سازه ای تحت شتاب نگاشت های حوزه داخل کشور مشاهده می شود که در مقادیر پایین PGA، که سازه هنوز در مرحله ی خطی مشاهده می شوند، مقادیر جابه جایی نسبی بین طبقات برای این سازه یکسان است اما با افزایش PGA که سازه ها وارد محدوده ی غیر خطی می شوند، مقادیر جابه جایی نسبی بین طبقات در سازه بتنی بیشتر از سازه با جداساز لرزه ای می باشد. از این رو با توجه به این که سازه های مورد مطالعه به نحوی طراحی شده اند که مقاومت یکسانی دارند، می توان نتیجه گرفت که در صورتی که سازه تحت تاثیر شتاب نگاشت ها باشند، در مقادیر بالای PGA سیستم دارای جداساز عملکرد بهتری ارائه کرده است. در سازه با جداساز شتاب نگاشت زلزله Turkey-Duzce (Z3) کمترین منحنی ظرفیت را دارد و در واقع بیشترین ناپایداری را در سازه ایجاد می کند و پاسخ همین شتاب نگاشت در سازه بدون جداساز از ظرفیت کمتری برخوردار است که نشان دهنده ی ظرفیت بالاتر جداساز در برابر زلزله ها وارده است. در سازه بدون جداساز شتاب نگاشت ها با ورود یک باره انرژی در مدت زمان کوتاه، سازه را دچار ناپایداری شدید در مقادیر کم PGA می نمایند. در شکل (۶-ب) برای سازه با جداساز پراکندگی نتایج کمتر از سازه بدون جداساز می باشد. این موضوع نشان دهنده

بنابراین جذب انرژی را زودتر شروع می‌کنند. و منحنی‌های ۱۶، ۵۰ و ۸۴ درصد نشان‌دهنده ظرفیت بالاتر سازه با جداساز نسبت به سازه بتنی می‌باشد. ناپایداری و صاف شدگی در منحنی‌های IDA سازه با جداساز در شاخص شدت (IM) بالاتری رخ می‌دهد و سازه فرصت بیشتری برای استهلاک انرژی زلزله داراست. تعداد مفاصل پلاستیک تشکیل شده در ستون‌های سازه با جداساز کمتر می‌باشد و پایداری سازه در شدت مقیاس‌های بزرگ زلزله بهتر تامین می‌گردد.

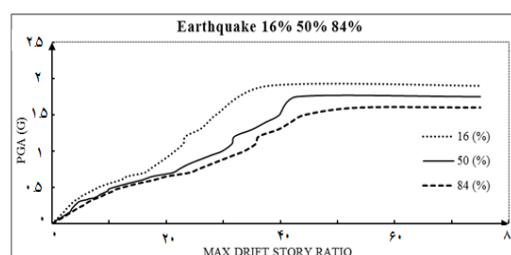
در شکل (۸) منحنی‌های IDA در سازه بدون جداساز و سازه با جداساز لرزه‌ای بررسی شده است. کلیه شتاب‌نگاشت‌ها به سازه اعمال شده و با منحنی‌های ۱۶٪، ۵۰٪ و ۸۴٪ با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در تمامی منحنی‌های IDA، نتایج تقریباً تا شتاب 0.02g یکسان و در ناحیه الاستیک می‌باشند. در ادامه با افزایش PGA پراکندگی نتایج مربوط به شتاب‌نگاشت‌های مختلف زلزله نیز افزایش یافته است. در سازه‌های با جداساز به دلیل جدا کردن روسازه از پی، پراکندگی نتایج کمتر بوده و نتایج نزدیک به هم است. اما در سازه بتنی تغییرشکل‌های بزرگ در بعضی نقاط معیار آسیب، سبب ایجاد پراکندگی بیشتر در نتایج منحنی IDA شده است. از طرفی با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، در سازه با جداساز تغییرمکان‌های نسبی بین طبقه‌های کمتر از سازه بتنی بدون جداساز می‌باشد. همچنین می‌توان این برداشت را پیش‌بینی کرد که سختی الاستیک اولیه با افزایش ارتفاع سازه‌ها کاهش می‌یابد.

۱۴- منحنی شکست

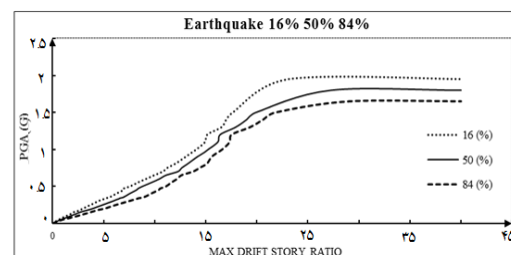
منحنی‌های شکنندگی ابزار مفیدی برای پیش‌بینی میزان احتمال خرابی می‌باشند. همچنین این منحنی‌ها احتمال خرابی سازه را به‌صورت تابعی از پارامترهای حرکات قوی نشان می‌دهند و احتمال سطح خرابی را به‌صورتی از شاخصی از حرکات زمین تخمین می‌زنند. منحنی‌های شکنندگی برای برآورد خطر آفرینی زیرساخت‌های شهری قابل استفاده می‌باشند. این منحنی‌ها احتمال فراگذشت پاسخ از مقدار حدی (وقوع آسیب) را به ازای سطوح مختلف شدت زلزله ارائه می‌کنند. به کمک این منحنی‌ها می‌توان با تعیین میزان آسیب‌پذیری سازه‌ها آنها را برای مقاومت‌سازی اولویت بندی کرد. در این بخش سازه بتنی طبق دستورالعمل HAZUS [۲۴] مورد بررسی قرار گرفته است [۲۵].

در شکل (۹-الف) مشاهده می‌شود که در سازه بتنی بدون جداساز برای شاخص تغییرمکان نسبی، احتمال گذشتن از سطح عملکردی Slight در شتاب طیفی حدود ۱/۰ به ۱۰۰٪ می‌رسد. برای سطح عملکردی Moderate احتمال گذشتن از این سطح عملکردی در شتاب طیفی حدود ۱/۰ به ۱۰۰٪ می‌رسد. برای سطح عملکردی Extensive در شتاب طیفی حدود ۱/۰ به ۹۰٪

شتاب‌نگاشت وارده خسارت کمتری نسبت به سازه بدون جداساز به سازه دارای جداساز وارد نموده است. شکل‌پذیری و جذب انرژی سازه با استفاده از جداساز در سیستم باربرجانی آن، افزایش یافته است. بعلاوه این سازه سطح عملکرد بالاتری نسبت به سازه بدون جداساز لرزه‌ای در آن است. با بررسی این منحنی‌ها می‌توان به این نتیجه رسید که سازه‌هایی که در آن‌ها از جداساز نمونه داخلی استفاده شده است، در شدت مقیاس‌های (IM) یکسان در مقایسه با سازه بتنی بدون جداساز در یافت کمتری را نشان می‌دهند.



الف) سازه بتنی بدون جداساز لرزه‌ای



ب) سازه با جداساز لرزه‌ای

شکل (۸): حداکثر تغییرمکان تحت تحلیل دینامیکی غیرخطی افزایشنده ۱۶٪، ۵۰٪، ۸۴٪

سازه‌های دارای جداساز از سطح زیر منحنی بزرگ‌تری برخوردارند. بنابراین پایداری و ظرفیت جذب انرژی سیستم‌های سازه‌ای دارای جداساز بیشتر است. با بررسی این منحنی‌ها می‌توان به این نتیجه رسید که سازه‌هایی که در آن‌ها از جداساز نمونه داخلی استفاده شده‌اند. در شدت مقیاس‌های (IM) یکسان در مقایسه با سازه بتنی بدون جداساز در یافت کمتری را نشان می‌دهند. این سازه‌ها سطح زیر منحنی بزرگ‌تری را دارا می‌باشند. بنابراین پایداری و ظرفیت جذب انرژی سیستم‌های جداساز بیشتر است.

همان‌طور که در شکل (۸-ب) مشاهده می‌شود در تمامی مدل‌ها پاسخ‌های اندازه خسارت (DM) سازه با جداساز لرزه‌ای (نمونه داخلی) از سازه بتنی بدون جداساز کمتر می‌باشد. و این موضوع نشان‌دهنده عملکرد بهتر مفاصل پلاستیک در نمونه‌های سازه با جداساز و پایداری و جذب انرژی بالاتر این سازه‌ها در مقایسه با نمونه‌های بدون جداساز است. سازه جداسازی شده در دریافت کمتری وارد مرحله غیرخطی می‌شود.

احتمال رخ دادن خسارت در سطح عملکرد Moderate در این میزان نزدیک به ۶۴٪ می‌رسد. احتمال رخ دادن خسارت در سطح عملکردی Extensive در شتاب طیفی یاد شده در بالا، به ۲۰٪ می‌رسد و احتمال رخ دادن خسارت در سطح عملکردی Complete نزدیک به ۲٪ می‌رسد.

احتمال خرابی برای شاخص خسارت تغییرشکل خمیری در شتاب طیفی ۰/۳۵ در سازه بدون جداساز لرزه‌ای در سطح عملکردی Slight، حدود ۹۲٪ است. این احتمال برای سطح عملکردی Moderate به ۷۵٪ می‌رسد. در سطح عملکردی Extensive احتمال وقوع خسارت نزدیک به ۲۵٪ است. و در نهایت احتمال رخ دادن خسارت در سطح عملکردی Complete ۳/۱۵٪ می‌باشد.

در نتیجه احتمال شکست کمتری در سازه با جداساز لرزه‌ای نسبت به سازه بدون جداساز لرزه‌ای در شتاب طیفی ۰/۳۵ وجود دارد. در سازه بدون جداساز لرزه‌ای، با اضافه کردن عضو جداگر احتمال خسارت در هر کدام از سطح‌های عملکردی به میزان قابل توجهی کاهش یافته است.

۱۵- نتیجه گیری

در این مطالعه، رفتار سازه‌ای یک ساختمان با کاربری انتظامی، با لحاظ کردن جداساز لرزه‌ای لاستیکی با پلیمرهای تقویت شده با فیبر (FRP) در آن، به منظور بررسی بهبود عملکرد لرزه‌ای و جلوگیری از تخریب سازه پس از زلزله، بررسی شده است. این سازه تحت تحلیل‌های استاتیکی غیرخطی (پوش اور)، دینامیکی غیرخطی، دینامیکی غیرخطی افزاینده (IDA) قرار گرفته است. در ذیل نتایج به دست آمده از این مطالعه به اختصار ارائه شده است:

۱- سازه دارای سیستم جداساز لرزه‌ای رفتار پایدارتر و جذب انرژی بیشتر در سازه را از خود اراده کرده است. همچنین در این سازه، تشکیل مفاصل کمتر در ستون‌ها و حفظ انسجام سازه با جداساز لرزه‌ای نسبت به سازه بدون جداساز مشاهده شده است.

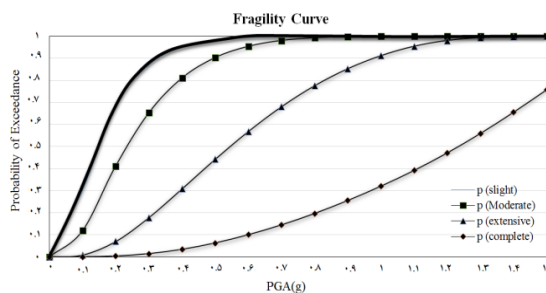
۲- سیستم طراحی شده با جداساز دارای شکل‌پذیری، ضریب رفتار و اضافه مقاومت بالاتری نسبت به سازه بتنی بدون جداساز است.

۳- در سازه دارای جداساز لرزه‌ای جذب انرژی زودتر اتفاق افتاده و در نتیجه از افزایش نیروها در سازه جلوگیری به عمل می‌آید. این موضوع نهایتاً منجر به تشکیل مفاصل پلاستیک کمتر در این سازه نسبت به سازه بدون جداساز لرزه‌ای شده است.

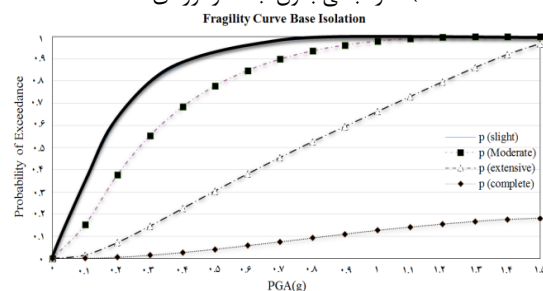
۴- در تحلیل IDA تغییرمکان حداکثر و دریفت در سازه با جداساز، کمتر از سازه بتنی می‌باشند. همچنین در سازه

می‌رسد. برای سطح عملکرد Complete در شتاب طیفی حدود ۱/۰ به ۳۲٪ می‌رسد.

در شکل (۹-ب) مشاهده می‌شود که در سازه با جداساز نمونه داخلی برای شاخص تغییرمکان نسبی، احتمال گذشتن از سطح عملکردی Slight در شتاب طیفی حدود ۱/۰ به ۱۰۰٪ می‌رسد. برای سطح عملکردی Moderate احتمال گذشتن از این سطح عملکردی در شتاب طیفی حدود ۱/۰ به ۹۸٪ می‌رسد. برای سطح عملکرد Extensive در شتاب طیفی حدود ۱/۰ به ۶۸٪ می‌رسد. برای سطح عملکرد Complete در شتاب طیفی حدود ۱/۰ به ۱۱٪ می‌رسد. به طور کلی احتمال گذشتن از هر ۴ سطح در جداساز لرزه‌ای کمتر از سازه بدون جداساز لرزه‌ای می‌باشد و نشان دهنده عملکرد مناسب این سیستم سازه‌ای می‌باشد. در نتیجه احتمال شکست کمتری در سازه با جداساز لرزه‌ای نسبت به سازه بدون جداساز لرزه‌ای وجود دارد. این بدین معنی است که تغییرمکان نسبی در سازه با جداساز لرزه‌ای کمتر می‌باشد.



الف) سازه بتنی بدون جداساز لرزه‌ای



ب) سازه با جداساز لرزه‌ای

شکل (۹): حداکثر سطح عملکرد تحت منحنی‌های شکست

با مقایسه شاخص خسارت تغییرمکان نسبی و تغییرشکل محوری خمیری سازه با جداساز لرزه‌ای مشاهده می‌شود که به طور کلی در شاخص تغییرمکان نسبی، میزان احتمال رخ دادن خرابی در هر کدام از سطح‌های عملکردی نسبت به شاخص تغییرشکل محوری خمیری جداساز کمتر است. با مقایسه این دو شاخص خرابی در شتاب طیفی ۰/۳۵ که برابر با شتاب طرح این سازه است، مشاهده می‌شود که احتمال خرابی برای شاخص خسارت تغییرشکل خمیری جداساز لرزه‌ای در سطح عملکردی Slight، احتمال گذشتن از این سطح عملکردی حدود ۸۵٪ است. برای

- [10] Road, Housing and Urban Development Research Center, "Regulations for the design of buildings against earthquakes," 4th edition, 2019. (In Persian)
- [11] Ministry of Roads and Urban Development, Housing and Building Research Center, "National building regulations of Iran, topic 9, design and implementation of reinforced concrete buildings," 4th edition, 2014. (In Persian)
- [12] Ministry of Roads and Urban Development, Housing and Building Research Center, "Iran's national building regulations, the sixth topic of loads on the building," 3rd edition, 2014. (In Persian)
- [13] Road, Housing and Urban Development Research Center, "Publication 523, a guide to the design and implementation of seismic isolation systems in buildings," 1st edition, 2019.
- [14] A. A. Aghakuchak, Gh. Dehghani Ashkzari and M. Kokabi, "Laboratory investigation of the performance of fiber-reinforced elastomer seismic isolators," Technical Faculty of Tehran University J., vol. 41(6), pp.739, 2007. <https://sid.ir/paper/14095/fa> (In Persian)
- [15] Country Management and Planning Organization, Vice President of Technical Affairs, Office of Technical Affairs, compilation of criteria and reduction of vulnerability caused by earthquakes, "Publication 360, guidelines for seismic improvement of existing buildings," 2006.
- [16] American Society of Civil Engineers, "Fema 356 : Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings in Rehabilitation Requirements," Washington, DC, USA, 2000.
- [17] M. Yasin, "Seismic Behavior of X-Braced Frames with Lower Grade Steel by using Fragility Curves under Near-Field Earthquakes", Master's thesis, Bomehen Azad Univ., 2020.
- [18] S. Mahin, V. Bertero, A. Chopra and R. Collins, R., "Response of the Olive View Hospital Main Building During the San Fernando Earthquake", Earthquake Engineering Research Center, University of California, 1979.
- [19] K. K. Yadav, V. K. Gupta., "Near-fault fling-step ground motions: characteristics and simulation", Soil Dyn Earthq Eng vol. 101 pp. 90 -104, 2017. 10.1016/j.soildyn.2017.06.022
- [20] H. Moghadam, "Earthquake engineering, basics and application," 4th edition, Tehran, Farhang, 2007. (In Persian)
- [21] Federal Emergency Management Agency (FEMA), "P 695 Quantification of Building Seismic Performance Factors", Washington, D.C., USA, 2009.
- [22] Niknam, Ahmadi, and Mahdavi, "Identity Studies in Seismic Structure of Structures", 5th National Congress of Civil Engineering, University of Mashhad, Iran, 2010.
- [23] Niknam, Khorrami, and Motahar, "Study of IDA performance in seismic evaluation of special steel bending frames", Semnan University, Iran, 2011.
- [24] Department of Homeland security Emergency preparedness and Response Directorate mitigation, "HUZUS", Division Washington, D.C. 2003.
- [25] H. Kazemi, M. Ghafory-Ashtiany, and A. Azarbakht, "Effect of Epsilon-based Record Selection on Fragility Curves of Typical Irregular Steel Frames with Concrete Shear Walls in Mashhad City", IJASE, vol. 5, pp.1-11, 2013. <http://www.advancedstructeng.com/content/5/1/23>

جداسازی شده ظرفیت جذب انرژی و استهلاک انرژی نسبت به سازه بتنی بدون جداساز بیشتر بوده است. این موضوع نشان دهنده تاثیر مثبت استفاده از جداساز در سازه بتنی می باشد.

۵- سازه دارای جداساز لرزه ای انرژی زلزله را در تغییر مکان های کوچکتری میرا می کند. کاهش تغییر مکان جانبی در زلزله با استفاده از جداساز باعث می شود تا اثرات P- Δ کاهش یافته و ستون های سازه از خرابی دور بمانند.

۶- به طور کلی میزان کاهش احتمال خرابی در هر کدام از سطح ها به هنگام استفاده از شاخص خرابی، برای سازه جداسازی شده در حالت تغییر مکان نسبی، دارای احتمال خرابی کمتری نسبت به سازه بتنی است. این موضوع باعث توزیع یکنواخت تغییر مکان نسبی و دیگر شاخص های خرابی مانند تغییر شکل محوری در تمامی طبقات شده است. در نتیجه پایداری و ظرفیت بالای سازه جداسازی شده نسبت به سازه بتنی بدون جداساز ملاحظه گردیده است.

۱۶- مراجع

- [1] J. M. Kelly and F. Naeam, "Design of Seismic Isolated Structures: From Theory of Practice," John Wiley & Sons, New York, 1999.
- [2] F. Naeim, "Design of seismic isolated structures: from theory to practice," John Wiley & Sons, 1999.
- [3] S. Mahin, V. Bertero, A. Chopra and R. Collins, "Response of the Olive View Hospital Main Building During the San Fernando Earthquake", Earthquake Engineering Research Center, University of California, 1979.
- [4] A. Chopra and R. K. Goel, "A modal Pushover Procedure to estimate seismic demands for buildings, Summary and evaluation," fifth National conference on Earthquake, Istanbul, Turkey, 2003.
- [5] S. Bahrami and A. A. Puri Rahim, "Technical investigation of precast concrete defense headquarters resistant to blast loads," Passive Defense J., vol. 5, pp. 15-25, 2023. DOR: 20.1001.1.20086849.1402.14.3.2.6 (In Persian)
- [6] M. Razmand and M. Kamali, "Investigating the seismic performance of basic seismic isolators for concrete buildings with irregular plans," 10th National Congress of Civil Engineering, 2014. (In Persian)
- [7] R. Hoseini Vaez, H. Naderpour and R. Carneiro Barros, "Influence of equivalent pulses of near fault ground motions on base-isolated RC structures" Proceedings of the 9th International Conference on Structural Dynamics, EURO DYN, 2015.
- [8] R.J. Williams, P. Gardoni and J.M. Bracci, "Decision analysis for seismic retrofit of structures," Struct. Saf., vol. 31(2), pp. 188-196, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2008.06.017>
- [9] C. M. Hutt, I. Almufti, M. Willford and et al., "Seismic loss and downtime assessment of existing tall steel framed buildings and strategies for increased resilience," J. Struct. Eng., vol. 142(8), pp. 12, 2016. 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001314