

## بررسی تاثیر استفاده از جداگرهای لرزه‌ای بر بهسازی لرزه‌ای قاب‌های فولادی

اشکان خدابنده لو\*

استادیار گروه مهندسی عمران، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران

حمید سعیدیان

دانشجوی دکتری مهندسی عمران سازه، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران

a.khodabandehlou@iaurmia.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۹/۱۴ تاریخ پذیرش نهایی: ۹۷/۱۰/۱۹

### چکیده:

ایده جداسازی ساختمان از اثرات مخرب حرکت زمین که توسط یک زلزله قوی ایجاد شده است، از بیش از یک قرن پیش توسط مخترعان و مهندسان انجام شده است. جداسازی لرزه‌ای در کاهش تقاضای لرزه‌ای ساختمان‌ها و کاهش هزینه‌های آسیب لرزه‌ای موثر است. امروزه این مفهوم به یک واقعیت عملی متکامل شده است و جای خود را به عنوان یک جایگزین قابل اعتماد برای ساخت و ساز مقاوم در برابر لرزه‌ای متعارف (ثابت) می‌باشد. هدف از تحقیق حاضر بررسی تاثیر استفاده از جداساز لرزه‌ای بر بهسازی لرزه‌ای قاب‌های فولادی می‌باشد. که برای این منظور از تحلیل غیر خطی پوش‌آور استفاده شده و قاب‌های خمشی و بادبندی مجهز به جداساز لرزه‌ای و بدون جداساز لرزه‌ای تحلیل شده‌اند و ضریب رفتار انواع قابها با ارتفاعات و خصوصیات مختلف بدست آمده و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که ضریب رفتار قاب‌های فولادی مجهز به جداساز لرزه‌ای بیشتر از قاب‌های بدون جداساز می‌باشد. با مقایسه نتایج میتوان به تاثیر استفاده از جداساز بر روی رفتار لرزه‌ای قاب‌های فولادی پی برد.

کلید واژگان: جکت دریایی، امواج تصادفی، طیف موج، برش پایه

## ۱- مقدمه

قرار دارند و جامعه از مهندسان سازه انتظار طراحی ساختمان‌هایی را دارد که در هنگام زلزله ایمنی جانی ساکنان آن تا حد بالایی تامین شود. همانطور که هنگام طراحی ساختمان با بارهای زیادی مانند بار باد مواجه هستیم، هدف اصلی این است که ظرفیت بیشتر از تقاضا باشد. ولی زلزله اتفاق می‌افتد و غیر قابل کنترل است بنابراین باید قبول داشته باشیم که حتما ظرفیت از تقاضا بیشتر باشد. جداسازی پایه رهیافت مخالفی را پیش رو می‌آورد و در واقع پیشنهاد کاهش تقاضا را به جای افزایش ظرفیت مطرح می‌کند. ما نمی‌توانیم به خودی خود جلوی زلزله را بگیریم ولی می‌توانیم تقاضای آن را کاهش دهیم که این کار بر سازه تاثیر گذار است و در حقیقت از انتقال حرکات از پی به رو سازه جلوگیری می‌کند. بنابراین، دلیل اصلی استفاده از جداساز کاهش اثرات زلزله است [۳].

سیستم جداساز ضمن جذب بخشی از انرژی ورودی ناشی از زمین لرزه، با جابجا نمودن پرید ارتعاش اصلی سیستم از پروده‌های حاوی انرژی زمین لرزه فاصله می‌گیرد و در نتیجه با اجتناب از عمل تشدید پاسخ لرزه‌ای سازه را کاهش می‌دهد. جداسازی لرزه‌ای به عنوان یک روش کنترل غیر فعال برای کاهش پاسخ سازه‌ها در برابر زلزله در نظر گرفته می‌شوند این روش تقریباً یک ایده قدیمی است بطوریکه در برخی بناهای تاریخی ایران نظیر پاسارگاد و بعضی بناهای سنتی شمال کشور مشاهده شده است. سیستم جداساز لرزه‌ای می‌تواند در کنار یک سیستم هوشمند جدید استفاده شود. سیستم جداساز غیر فعال دارای قابلیت محدود در تطبیق با تغییرات پاسخ سازه‌ای تحت زلزله است. همچنین این سیستم تغییر مکان بین طبقه‌ای و شتاب مطلق سازه را در مقابل افزایش تغییر مکان پایه کاهش می‌دهد که در سیستم‌های مرکب هر دو نوع تغییر مکان تغییر مکان نسبی و مطلق طبقات کاهش می‌یابند. در سیستم جداساز لرزه‌ای هیچ یک از مسائل مربوط به سیستم معمولی اتفاق نمی‌افتد. در این حالت سازه فوقانی تقریباً به صورت یک جسم صلب مانند، بر روی جداسازهای نرم تغییر مکان می‌دهد که در نتیجه با بزرگ کردن پرید سازه فوقانی و استهلاک انرژی زلزله از خرابی اعضای سازه‌ای و غیر سازه‌ای جلوگیری می‌شود.

جداسازی در ساختمان به دو بخش کلی تقسیم می‌شود؛ یکی جداسازی در پی‌ها و دیگری جداسازی لرزه‌ای در طبقات می‌باشد. در بعضی از سازه‌ها میراگرهایی در همه‌ی طبقات قرار می‌دهند که در موقع وقوع زلزله تمام میراگرها با هم کار می‌کنند و طبقات به طور کاملاً مجزا از یکدیگر حرکت می‌کنند مانند نمودار مودی که هر عضو یا طبقه به طور جداگانه حرکت می‌کند و این مزیت را دارد که به پی ساختمان هیچ‌گونه آسیبی نمی‌رسد و طبقات هیچ‌گونه آسیبی نمی‌بینند اما این نوع سازه مشکلات زیادی دارد. برای مثال، هزینه‌ی بسیار بالای اجرای این نوع سازه و یا این که در این نوع سازه‌ها ممکن است ما دچار پدیده ستون

روش مرسوم طراحی مقاوم در برابر زلزله برای سازه‌ها افزایش مقاومت یا افزایش ظرفیت جذب انرژی اجزای آن است. این شکل‌پذیری دربردارنده خسارت بوده، در نتیجه روش طراحی مرسوم از فروپاشی سازه جلوگیری می‌کند، ولی مانع خسارت وارده به سازه نمی‌شود. یک روش مدرن، جداسازی سازه با استفاده از جداگرهای لرزه‌ای است. اگرچه تنها بیش از دو دهه از کاربرد جداسازی لرزه‌ای در سازه‌ها می‌گذرد، اما مطالعات بسیار زیادی در این زمینه صورت گرفته‌اند که همگی کارایی آنها در سازه‌ها را تأیید می‌کنند. مفهوم اصلی جداسازی لرزه‌ای، یکی افزایش دوره تناوب سازه و دیگری افزایش میرایی سازه یا هردو با هم است [۱]. جداسازی لرزه‌ای روشی است که نیروهای لرزه‌ای را در محدوده ظرفیت ارتجاعی عضو نگه می‌دارد، در نتیجه از تغییر شکل‌های غیرکنسسان جلوگیری کرده یا دست کم آنها را کاهش می‌دهد. روش جداسازی لرزه‌ای به دلیل مزایایی که دارد، از مؤثرترین و اقتصادی‌ترین روش‌های مقاومسازی به شمار می‌رود، زیرا با جایگزینی تکیه‌گاه‌های موجود پلها با جداگرهای لرزه‌ای، ضمن جلوگیری از قطع ترافیک و همچنین سرعت کار، به تعویض یا ترمیم اجزای دیگر پل نیازی نیست و در این هزینه‌ها صرفه‌جویی شده و تنها هزینه واحدهای جداگر مورد استفاده باید در نظر گرفته شود.

## ۲- مفهوم جداسازی لرزه‌ای

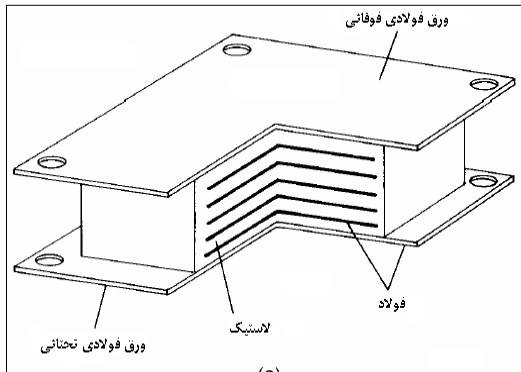
سیستم جداساز لرزه‌ای روشی جدید برای کاهش تغییر مکان نسبی و شتاب طبقه‌ای است، بطوریکه این سیستم با جذب و اتلاف انرژی از انرژی ورودی ناشی از زمین‌لرزه از پروده‌های حاوی انرژی زلزله فاصله گرفته و از عمل تشدید جلوگیری می‌کند، به طور کلی جدا کردن بخشی از سازه یا کل آن از زمین به منظور کاهش پاسخ زلزله را جداسازی لرزه‌ای می‌گویند [۲] و [۱۱].

روش مرسوم طراحی لرزه‌ای سازه‌ها مبتنی بر افزایش ظرفیت سازه است که در این حالت سازه بر مبنای افزایش مقاومت اعضا و تامین شکل‌پذیری در مقابل زلزله بهسازی می‌شود. با اجرای این روش ابعاد اعضای سازه‌ای و اتصالات آن افزایش یافته و اعضای مهاربندی جانبی یا دیوار برشی و سایر سخت‌کننده‌ها در نظر گرفته می‌شوند، افزایش سختی سازه جذب بیشتر نیروهای زلزله را به همراه دارد همچنین لازم است که در زمان مقاومسازی کل یا بخشی از ساختمان تخلیه شود تا اقدامات اجرایی برای بهسازی انجام پذیرد. بسیاری از مناطق دنیا در معرض زلزله

لاغر شویم که خود در موقع وقوع زلزله بسیار خطرناک است. بنابراین معمولاً در جهان چین سازه‌هایی ساخته نمی‌شوند.



شکل ۱- جداساز لاستیکی دایره ای [۳] و [۱۵]



شکل ۲- جداساز لاستیکی مستطیلی [۳] و [۱۵]

میرایی قابل دسترس توسط این روش به حدود ۱۰ الی ۲۰ درصد میرایی بحرانی می‌رسد. مواد پر کننده مختلفی برای این منظور مورد استفاده قرار گرفته‌اند که از آن جمله می‌توان به اکسیدهای فلزی، رس و سلولوز اشاره نمود. اما ماده پرکننده‌ای که بیش از همه مورد استفاده قرار گرفته دوده است. استفاده از ورقه‌های فولاد سبب افزایش سختی قائم این جداسازها می‌شود. اما از سوی دیگر سبب افزایش وزن آن‌ها شده و کار ساخت، حمل و نصب را دشوار می‌نماید. این امر در کنار این مشکلات موجب افزایش هزینه ساخت و نصب آن‌ها می‌گردد. اخیراً روش‌هایی برای ساخت کم هزینه‌تر جداسازها ارائه شده است. در یکی از این روش‌ها شبکه‌های

### ۳- جدا سازی لرزه‌ای در پی‌ها

در سال‌های اخیر استفاده از این سیستم به منظور کاهش اثر نیروی زلزله بر ساختمان‌ها و پل‌ها گسترش زیادی یافته است. اساس این سیستم ایجاد یک لایه با سختی جانبی کم (میراگرها)، بین سازه فوقانی و زمین است که باعث کاهش فرکانس سازه فوقانی و دور کردن از فرکانس نوسانات زمین می‌شود و نیز میزان حرکت انتقال یافته از زمین به سازه را کاهش می‌دهد. جداسازهای لرزه‌ای از مدت‌ها قبل به منظور کاهش اثرات ناشی از زلزله و بهبود عملکرد لرزه‌های سازه‌ها به روش‌های مختلفی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اخیراً به دلیل توسعه علم و تکنولوژی مربوط به طراحی و ساخت جداسازهای لرزه‌ای و فراهم شدن امکان مدل‌سازی آن‌ها در نرم‌افزارهای مختلف، مورد توجه بیشتر محققین قرار گرفته‌اند. از طرفی، نقش رفتار غیر خطی جداسازهای لرزه‌ای، در پاسخ سازه‌های پایه جدایش شده بسیار مهم است. که در جهان این نوع سازه‌ها یا جداسازی لرزه ای پی‌ها متداول است و اکثر سازه‌ها که میراگر در آن‌ها استفاده می‌شود از این نوع هستند. خود این سیستم شامل چند نوع است، که سیستم‌های متداول آن شامل: سیستم ثقیلی، سیستم جک‌های هیدرولیکی، سیستم فنری، سیستم هسته مرکز و متداول‌ترین آن‌ها سیستم هسته مرکزی است. در این تحقیق به خاطر مزایای زیاد از جداگر لرزه‌ای با ورقه های فولادی استفاده شده است.

### ۴- سیستم جدا سازه‌های لاستیکی با ورق‌های فولادی

جداسازهای لاستیکی با ورق‌های فولادی یکی از جداسازهایی هستند که نیاز به انتقال دوره‌ی تناوب طبیعی سازه و وظیفه‌ی جدا نمودن ارتعاش رو سازه از بستر خود را برای مهندسان و طراح برا ورده می‌کنند. جدا سازه‌های لاستیکی با ورق فولادی همانطور که در شکل (۱) و (۲) نشان داده شده است از ورقه‌های نازک لاستیکی و فولادی که به ترتیب بر روی هم چیده شده و تحت فشار و حرارت به شکل مجموعه‌ای متورق و یکپارچه درمی‌آیند تشکیل شده‌اند. این جداسازها که در ابتدا برای ایجاد انعطاف‌پذیری در پایه پل‌ها در زمان انبساط و انقباض آنها استفاده شد، بعدها به منظور رفع مشکل ارتعاش ناشی از حرکت قطارهای زیر زمینی کارکرد مناسبی از خود نشان دادند.

الیافی جایگزین ورقه‌های فولادی شده و وزن این جداسازها را به اندازه قابل توجهی کاهش می‌دهند [۴].

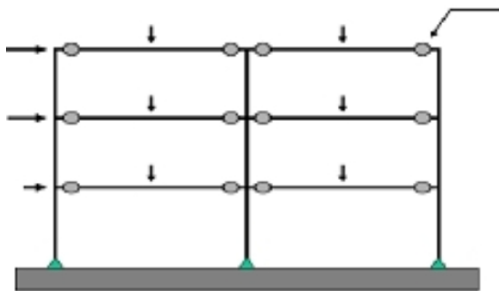
## ۵- نحوه‌ی ساخت جداسازهای لرزه‌ای لاستیکی با ورقه‌های فولادی

جداسازهای لاستیکی با ورقه‌های فولادی به دو روش سرد و گرم ساخته می‌شوند. روش گرم در حال حاضر بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در روش سرد، ورقه‌های لاستیک با چسب به ورقه‌های فولاد چسبانده شده و برای خشک شدن کامل چسب در دمای معمولی یا دمای بالا (توسط تجهیزات گرمادهی) نگهداری می‌شوند. پس از خشک شدن چسب در بین لایه‌ها، مرحله‌ی دوم اجرا می‌گردد. در مرحله‌ی دوم یک لایه‌ی لاستیک محافظ با چسب به دور جداساز چسبانده شده و دوباره فرایند خشک کردن این چسب انجام می‌گردد. لایه‌ی محافظ دوم به منظور حفظ ورقه‌های فولادی از دسترسی اکسیژن و سایر مواد خارجی و بروز خوردگی در فولاد است. در روش گرم، لاستیک پس از ترکیب مواد مختلف در حالی که هنوز به حالت نیمه مایع است، در بین ورقه‌های فولادی ریخته می‌شود. برای حفظ فاصله‌ی برابر بین ورقه‌های فولادی از پرچ، گوه‌های فولادی یا پین‌هایی بین آنها استفاده می‌شود. در این روش ورقه‌های فولادی از قبل با روشی مانند سند بلاست کاملاً تمیز و آماده‌سازی شده و سطح آنها چسب زده می‌شود. سپس مجموعه حرارت داده شده و تحت فشار قرار می‌گیرد تا لاستیک کاملاً جوش خورده و چسب خشک شود. نتیجه‌ی این کار به دست آمدن قطعاتی بدون بخشهای مجزا و کاملاً یکدست است که به کیفیت، طول عمر و عملکرد آنها می‌افزاید. برای جلوگیری از تغییرات در جداساز در طول زمان و مقابله با عوامل مهاجم خارجی، یک پوشش لاستیکی دور آن کشیده شده و به منظور ارتقای کیفیت پوشش لاستیکی در طول زمان، موادی به آن افزوده می‌شود محصولی با این فرایند تولید به طور قطع نیاز به کنترل کیفیت فراوان دارد. با تحت فشار قرار گرفتن جداساز لاستیکی، ورقه لاستیکی تمایل به تغییر شکل در جهت شعاعی و به سمت بیرون دارد، اما به دلیل ممانعت ورقه‌های فولادی قادر به این تغییر مکان نیست. در این حالت تنش فشاری در جداساز با توزیعی سهمی شکل دارای حداکثر مقدار خود در مرکز جداساز خواهد بود. این شرایط به دلیل اثر گیرداری ورقه‌های فولادی ویژگی فیزیکی لاستیک (ضریب پواسن حدود ۰/۵) و در نتیجه‌ی آنها بروز شرایط تنش فشاری سه محوری (فشار هیدرواستاتیکی) است. به این دلیل، وقتی جداساز تحت فشار قرار می‌گیرد، درصد الاستیسیته‌ی ظاهری جداساز، از درصد الاستیسیته‌ی ظاهری خود لاستیک بسیار بیشتر خواهد بود [۵] و [۱۲].

## ۶- تعریف مفصل پلاستیک در اعضای سازه‌ای

هر مفصل پلاستیک بیانگر احتمال وجود رفتار غیر خطی و رسیدن به حد خرابی در یک نقطه خاص برای یک یا چند درجه آزادی خاص است [۶]. مفاصل پیش‌بینی شده در طی عملیات تحلیل غیر خطی با لحاظ خصوصیات مصالح المان‌ها تاثیرگذار می‌باشند. نوع رفتار مفصل که بستگی به کنترل‌شوندگی توسط نیرو و یا تغییر شکل دارد، یکی از پارامترهایی که در تعریف لولای پلاستیک به کار می‌رود ضریب آگاهی نام دارد، ضریب آگاهی نتایج حاصل از اطلاعات جمع‌آوری شده ساختمان موجود در روابط محاسبه ظرفیت هر یک از اجزای سازه است که در این تحقیق برای بهسازی مطلوب با سطح اطلاعات متعارف برای کلیه اعضا برابر عدد یک در نظر گرفته شده است [۷].

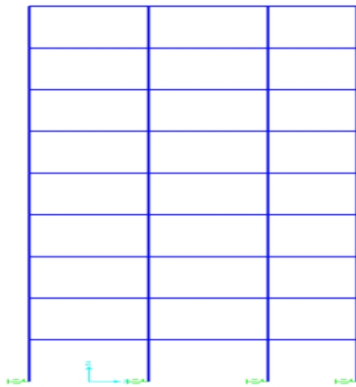
مفصل پلاستیک بسته به نوع تلاش حاضر در عضو تشکیل می‌شوند. بنابراین محل‌های یاد شده برای مقاطعی که تحت اثر بزرگترین انحنا قرار داشتند، ارائه شدند. همچنین نقاطی از عضو که تحت اثر بار متمرکز و یا تغییر در هندسه مقطع را داشتند به عنوان نقاط محتمل در نظر گرفته شدند و پس از یک بار اجرای تحلیل در تیرهای بار گسترده محل نقاط عطف تلاش برشی به عنوان لولا خمیری معرفی گشت [۸] و [۱۳].



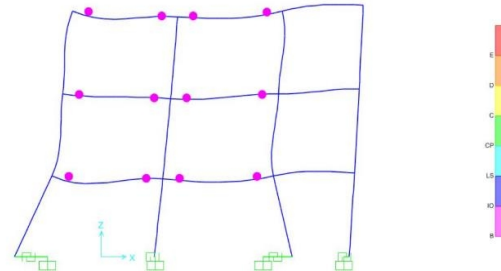
شکل ۳- تعریف مفاصل بر اساس تغییر شکل اعضا [۸] و [۱۳]

### ۹- مشخصات قاب مورد مطالعه

در این تحقیق سه قاب خمشی ویژه فولادی ویژه با ارتفاعات سه، شش و نه طبقه و سه قاب فولادی مهاربندی با ارتفاع سه، شش و نه طبقه که تمام این قاب‌ها ابتدا بدون جداساز و سپس با جداساز لرزه‌ای مدلسازی شده‌اند. ارتفاع تمام طبقات ۳ متر می‌باشد و سطح بارگیر تیرهای اصلی برابر ۵ متر در نظر گرفته شده است. تمامی قاب‌ها دارای سه دهانه به فاصله ۳ و ۴ و ۵ متر می‌باشد. اتصالات همگی صلب بوده و اتصالات پای ستون در قاب‌های بدون جدا ساز گیردار می‌باشد. این سازه بر اساس آئین‌نامه AISC - ASD و ضوابط آئین‌نامه زلزله ۲۸۰۰ ویرایش سوم طراحی شده است. تغییر مکان‌های نسبی بین طبقه‌ای براساس ضوابط آئین‌نامه ۲۸۰۰ بوده و مجاز می‌باشد. بارگذاری تکی سازه بر اساس میحث ششم مقررات ملی ساختمان صورت گرفته است. بارگذاری جانبی براساس آئین‌نامه زلزله ۲۸۰۰ انجام گرفته است.



شکل ۵- قاب خمشی نه طبقه



شکل ۴- تشکیل مفصل پلاستیک در سازه مجهز به جدا ساز

### ۷- تعیین ضریب رفتار در حالت تنش مجاز

ضریب رفتار سازه‌ها با توجه به عوامل مؤثر بر آن از رابطه (۱) بدست می‌آید:

$$(۱) R = R_{\mu} \times R_S \times Y$$

مقادیر  $R_S$  حقیقی برای تعیین ضریب رفتار از رابطه‌ی (۲) بدست می‌آید.

$$(۲) R_S = R_{S0} F_1 F_2 F_n$$

در رابطه‌ی شماره (۲) مقدار  $F_1$  را می‌توان برای سازه‌های فولادی ۱,۰۵ در نظر گرفت و مقدار  $F_2$  افزایش تنش جاری شدن در طی یک زمین لرزه می‌باشد و مقدار آن را برابر ۱,۱ در نظر گرفته‌ایم، بقیه پارامترها را به دلیل نبود جزئیات زیاد از سازه برابر ۱ در نظر گرفتیم، پس مقدار  $R_S$  را با کمک رابطه‌ی شماره (۲) محاسبه کرده و به ۱,۱۵۵ می‌رسیم [۹].

### ۷-۱- ضریب تنش مجاز Y

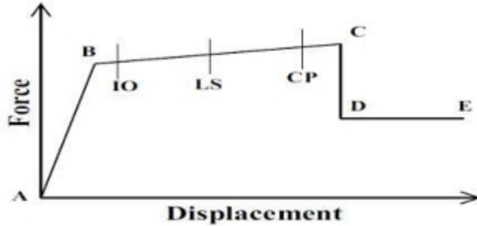
این ضریب، بر اساس نحوه برخورد آیین‌نامه‌ها با تنشهای طراحی (بار مجاز یا بار نهایی) تعیین می‌شود و مقدار آن عبارتست از نسبت نیرو در تشکیل اولین لولای خمیری  $V_s$  به نیرو در حد تنش مجاز  $V_w$ . این ضریب برای مقاطع بال پهن ۱,۵ و مقاطع hss حدود ۱,۴ می‌باشد که در این تحقیق با کمک رابطه‌ی شماره ۳، به مقدار ۱,۵ رسیدیم.

$$(۳) Y = \frac{V_s}{V_w} = \frac{M_p}{M_w} = \frac{ZF_y}{s(0.6F_y)^4} = \frac{1.2F_y}{s(0.6F_y)^4} = 1.5$$

### ۸- تعیین ضریب رفتار در حالت تنش نهایی (LRFD)

$$(۴) R = R_{\mu} \times R_S$$

## ۱۲- سطوح عملکرد سازه



شکل ۷- تعریف سطح عملکرد در یک مفصل برای کنترل شونده‌گی براساس تغییر شکل [۱۴]

با توجه به شکل (۷) نمودار عملکرد سازه به سه سطح مختلف تقسیم‌بندی می‌شود. اولین سطح استفاده بی‌وقفه IO می‌باشد، و سطح دوم سطح ایمنی جانی LS و سطح سوم سطح آستانه رو ریزش CP می‌باشد. که سازه‌های حال حاضر برای سطوح مختلفی طراحی می‌شوند در این مقاله سطح ایمنی جانی LS برای سازه‌های با اهمیت متوسط مانند منازل بررسی می‌شود. سطح عملکرد ایمنی جانی LS به سطحی گفته می‌شود که پیش‌بینی شود در هنگام زلزله در سازه خرابی ایجاد شود اما میزان خرابی‌های منجر به خسارت جانی حداقل گردد. رفتار غیر خطی المان‌های روسازه با استفاده از مدلسازی با رابطه نیرو تغییر شکل اعضا یا همان روش تخصیص مفصل پلاستیک در طول المان، منظور شده است [۷] و [۱۰].

## ۱۳- جابه‌جایی مجاز سازه

با توجه با آیین‌نامه استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش ۴ مقدار تغییر مکان جانبی نسبی غیر خطی  $\Delta_M$  نباید از مقادیر زیر بیشتر باشد.

در ساختمان‌های تا پنج طبقه

$$(۵) \quad \Delta_M \leq 0.025H$$

در سایر ساختمان‌ها

$$(۶) \quad \Delta_M \leq 0.020H$$

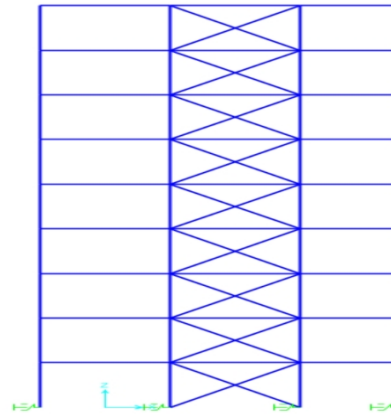
که در روابط بالا H ارتفاع طبقه می‌باشد. بنابراین داریم:

در قاب‌های سه طبقه

$$0.025 \times 300 = 7.5 \text{ cm}$$

در قاب‌های سه و نه طبقه

$$0.020 \times 300 = 6 \text{ c}$$



شکل ۶- قاب بادبندی نه طبقه

## ۱۰- مشخصات مصالح فولادی و بتنی

برای طراحی سازه به مشخصات مصالح و مقاطع نیاز است. در این تحقیق سعی شده است که مشخصات مصالح، مشابه مشخصات به کار رفته در پروژه‌های ساختمانی رایج در کشور باشد. در هر پروژه باید مشخصات مصالح فولادی، مصالح بتنی و خاک مشخص باشد. در تمامی قاب‌ها برای ستون‌های سه طبقه اول مقطع BOX35\*35\*2.5cm برای تیرمقطع IPE24,30 و برای ستون‌های سه طبقه دوم مقطع BOX30\*30\*1.5cm و برای تیر مقطع IPE20,24 و ستون‌های سه طبقه سوم مقطع BOX30\*30\*1cm و برای تیر مقطع IPE20,22 برای بادبند مقطع 2UPN14 در نظر گرفته شده است. فولاد از نوع st 37 می‌باشد.

## ۱۱- بارگذاری

بارهای وارد بر ساختمان شامل بارهای مرده و زنده می‌باشد. مقدار بارهای مرده براساس قرار گرفتن قاب در داخل ساختمان محاسبه می‌گردد. که بار مرده برابر با  $500 \text{ kg/m}^2$  و بار زنده برابر  $200 \text{ kg/m}^2$  فرض می‌گردد. بار وارد بر تیر  $LL = 200 \times 2.5 = 500 \text{ kg.m}$  و  $DL = 500 \times 2.5 = 1250 \text{ kg.m}$  می‌باشد و سهم نیروی جانبی قاب را توسط نیروهای خودکار زلزله (با تعریف منبع جرم  $(D+0/2L)$  محاسبه می‌شود.

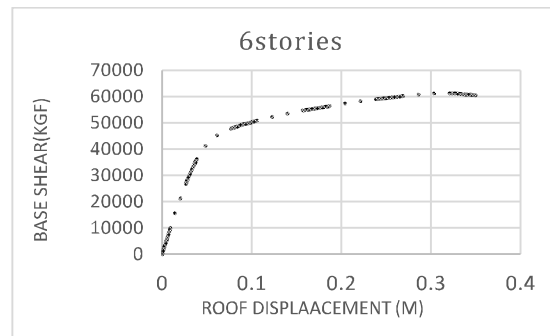
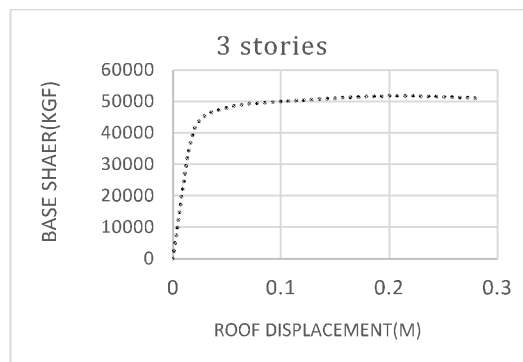
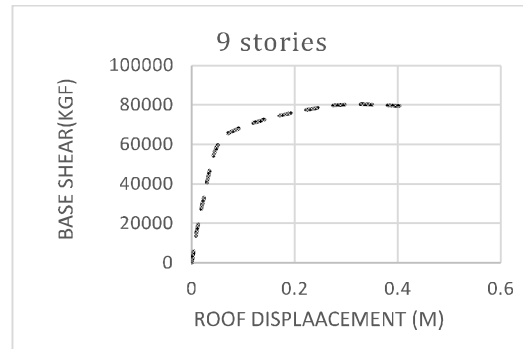
جدول ۱- ضریب رفتار و عوامل آن مربوط به قاب خمشی سه، شش، نه طبقه با جداساز لرزه‌ای

قاب خمشی سه طبقه								
$R_w$	$R$	$R_s$	$R_{so}$	$R_\mu$	$V_s(kgf)$	$V_e(kg)$	$V_y(kgf)$	
۵,۱۲	۱۰,۰۸	۲,۰۱	۱,۷۴	۵,۴۱	۲۹۷۲۱	۲۸۰۴	۵۱۷۸	۵۳ ۴
قاب خمشی شش طبقه								
$R_w$	$R$	$R_s$	$R_{so}$	$R_\mu$	$V_s(kgf)$	$V_e(kg)$	$V_y(kgf)$	
۱۳,۸	۹,۳	۱,۹۶	۱,۶۹	۴,۹	۴۰۱۰۴	۳۲۰۷	۶۸۱۷	۹۳ ۴
قاب خمشی نه طبقه								
$R_w$	$R$	$R_s$	$R_{so}$	$R_\mu$	$V_s(kgf)$	$V_e(kg)$	$V_y(kg)$	
۱۲,۱۲	۸,۰۸	۱,۷۱	۱,۴۷	۴,۷۵	۵۴۱۸۷	۳۸۱۰	۸۰۱۷۱	۴۸

#### ۱۵- بررسی نتایج حاصل از تحلیل (قاب‌های بادبندی با جداساز لرزه‌ای)

بعد از تحلیل سازه‌ی مجهز شده به جداساز لرزه‌ای منحنی پوش‌آور برای سه قاب سه، شش و نه طبقه ترسیم شده و در اشکال ۹ تا ۱۱ آورده شده، سپس به کمک این نمودارها ضریب رفتار و عوامل مربوطه بدست آمده و در جدول ۲ و ۱ جمع‌آوری شده است. که با مقایسه این جداول با جداول ۳ و ۴ می‌توان به اهمیت وجود جداساز لرزه‌ای در پی‌ها پی برد.

#### ۱۴- بررسی نتایج حاصل از تحلیل (قاب‌های خمشی با جداساز لرزه‌ای)



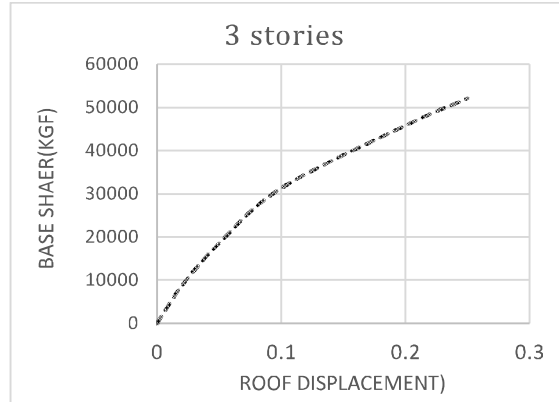
شکل ۸- نمودار پوش‌آور مربوط به قاب خمشی سه و شش و نه طبقه با جداساز لرزه‌ای

جدول ۲- ضریب رفتار و عوامل آن مربوط به قاب بادبندی سه، شش، نه طبقه با جداساز لرزه‌ای

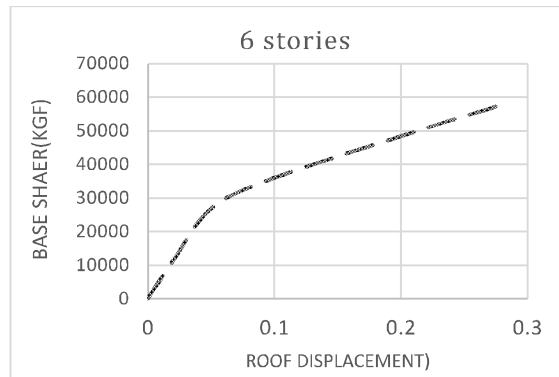
قاب بادبندی سه طبقه								
$R_w$	$R$	$R_s$	$R_{so}$	$R_\mu$	$V_s(kgf)$	$V_e(kg)$	$V_y(kg)$	
۱۱.۴۷	۷.۶۵	۲	۱.۷۷	۳.۸۲	۲۸۱۷۱	۱۹۱۵	۵۰۰۷۲	۲۵
قاب بادبندی شش طبقه								
$R_w$	$R$	$R_s$	$R_{so}$	$R_\mu$	$V_s(kgf)$	$V_e(kg)$	$V_y(kg)$	
۱۰.۴۷	۶.۹۸	۱.۹	۱.۶۴	۳.۶۷	۳۰۰۶۳	۲۰۹۶	۵۷۱۱۹	۲۶
قاب بادبندی نه طبقه								
$R_w$	$R$	$R_s$	$R_{so}$	$R_\mu$	$V_s(kgf)$	$V_e(kg)$	$V_y(kg)$	
۹.۰۸	۶.۵۷	۱.۸۸	۱.۶	۳.۵	۳۴۱۷۴	۲۴۱۴	۶۹۱۰۱	۸۵

۱۶- بررسی نتایج حاصل از تحلیل (قاب‌های خمشی بدون جداساز لرزه‌ای)

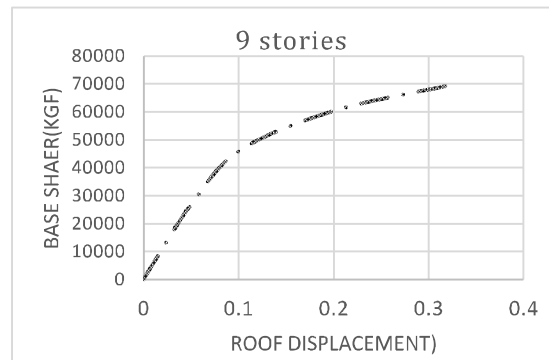
بعد از تحلیل سازه‌ی بدون جداساز لرزه‌ای منحنی پوش‌آور برای سه قاب سه، شش و نه طبقه ترسیم شده، که در اشکال ۱۲ و ۱۳ آورده شده‌اند. سپس به کمک این نمودارها ضریب رفتار و عوامل مربوطه بدست آمده و در جدول ۳ و ۴ جمع‌آوری شده است، که با مقایسه جداول ۱ و ۲ می‌توان پی برد که سازه‌های بدون جداساز لرزه‌ای، ضریب رفتار به مراتب کمتری دارد.



شکل ۹- نمودار پوش‌آور مربوط به قاب بادبندی سه و شش طبقه با جداساز لرزه‌ای



شکل ۱۰- نمودار پوش‌آور مربوط به قاب بادبندی سه و شش طبقه با جدا ساز لرزه‌ای

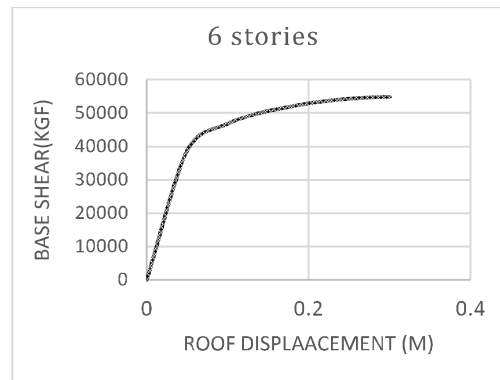
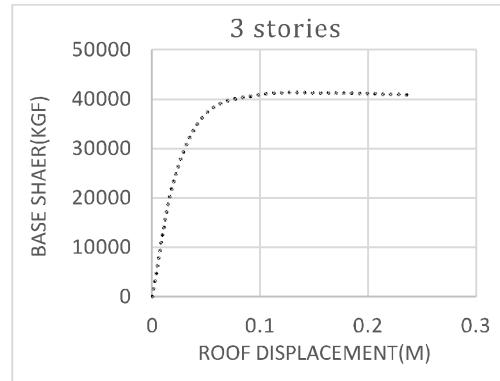


شکل ۱۱- نمودار پوش‌آور مربوط به قاب بادبندی نه طبقه با جدا ساز لرزه‌ای

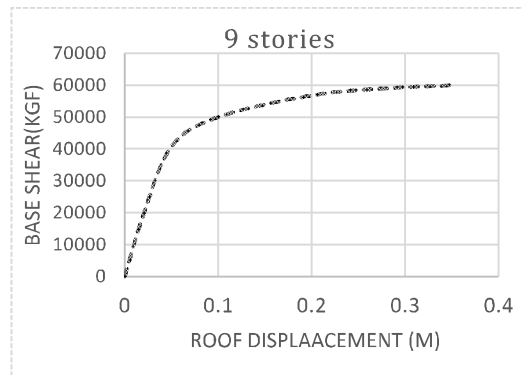


جدول ۳- ضریب رفتار و عوامل آن مربوط به قاب خمشی سه، شش، نه طبقه بدون جداساز لرزه‌ای

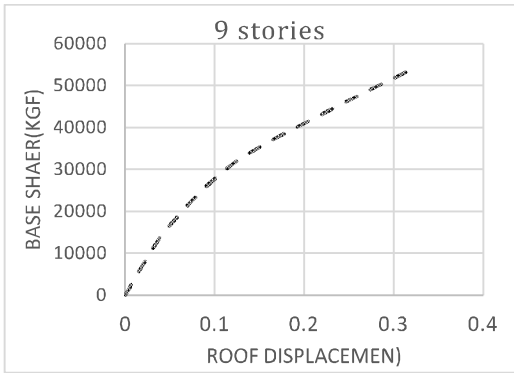
قاب بادبندی سه طبقه								
$R_w$	$R$	$R_s$	$R_{so}$	$R_\mu$	$V_s(kgf)$	$V_e(kg)$	$V_y(kg)$	
۱۰٫۹۵	۷٫۳	۲٫۲۵	۱٫۹۵	۳٫۲۴	۲۱۰۸۱	۱۳۳۴	۴۱۱۷	۱۰ ۶
قاب بادبندی شش طبقه								
$R_w$	$R$	$R_s$	$R_{so}$	$R_\mu$	$V_s(kgf)$	$V_e(kg)$	$V_y(kg)$	
۱۰٫۵	۷٫۰۱	۲٫۰۱	۱٫۷۷	۳٫۰۳	۲۹۰۶۷	۱۸۹۶	۵۷۴۲	۷۶ ۹
قاب بادبندی نه طبقه								
$R_w$	$R$	$R_s$	$R_{so}$	$R_\mu$	$V_s(kgf)$	$V_e(kg)$	$V_y(kg)$	
۹٫۷۶	۶٫۵۱	۱٫۹۱	۱٫۶۵	۲٫۹	۳۶۱۵۴	۲۰۴۰	۵۹۸۶	۳۲ ۲



شکل ۱۲- نمودار پوش آور مربوط به قاب خمشی سه و شش طبقه بدون جدا ساز لرزه‌ای



شکل ۱۳- نمودار پوش آور مربوط به قاب خمشی نه طبقه بدون جدا ساز لرزه‌ای



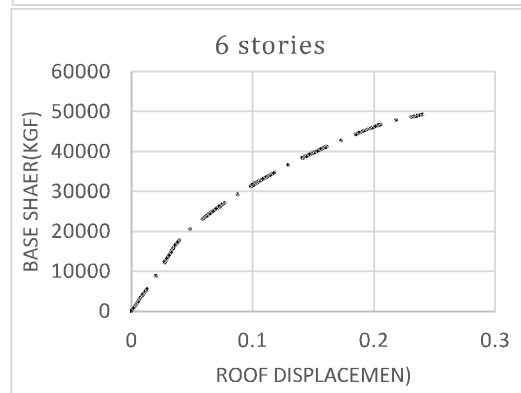
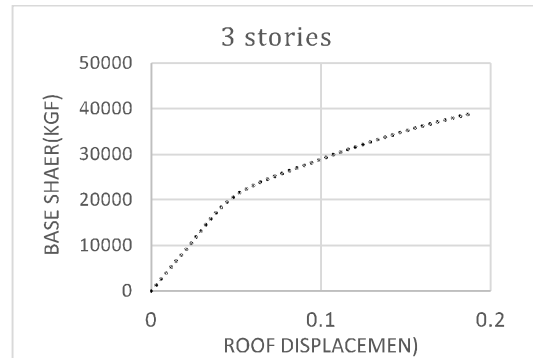
شکل ۱۵- نمودار پوش آور مربوط به قاب بادبندی نه طبقه بدون جدا ساز لرزه‌ای

جدول ۴- ضریب رفتار و عوامل آن مربوط به قاب بادبندی سه، شش، نه طبقه بدون جداساز لرزه‌ای

قاب بادبندی سه طبقه								
$R_w$	$R$	$R_s$	$R_{so}$	$R_\mu$	$V_s(kgf)$	$V_e(kgf)$	$V_y(kgf)$	
۹,۳	۶,۲	۲,۵۱	۲,۱۷	۲,۴۷	۱۹۷۸۹	۹۶۶۲	۳۹۱۲۱	۳
قاب بادبندی شش طبقه								
$R_w$	$R$	$R_s$	$R_{so}$	$R_\mu$	$V_s(kgf)$	$V_e(kg)$	$V_y(kgf)$	
۸,۳۴	۵,۵۶	۲,۵۷	۲,۲۳	۲,۴۶	۲۲۰۰۸	۱۳۱۱۷	۴۹۳۱۸	.
قاب بادبندی نه طبقه								
$R_w$	$R$	$R_s$	$R_{so}$	$R_\mu$	$V_s(kgf)$	$V_e(kg)$	$V_y(kgf)$	
۷,۵۳	۵,۰۲	۲,۰۱	۲,۰۱	۱,۰۸	۲۹۷۸۵	۱۳۴۹	۵۳۸۱	۴۶

### ۱۷- بررسی نتایج حاصل از تحلیل (قاب‌های بادبندی بدون جداساز لرزه‌ای)

در اشکال ۱۴ و ۱۵ منحنی پوش آور مربوط به قاب‌های بدون جداساز لرزه‌ای آورده شده و همچنین در جدول ۴ ضریب رفتار و عوامل آن برای قاب‌های مذکور جمع‌آوری شده است.



شکل ۱۴- نمودار پوش آور مربوط به قاب بادبندی سه و شش طبقه بدون جدا ساز لرزه‌ای

## ۱۸- نتیجه گیری

یکی از سیستم‌های مورد استفاده در بهسازی و مقاوم‌سازی لرزه‌ای پی ساختمان‌ها استفاده از جداسازهای لرزه‌ای می‌باشد. در این تحقیق سه قاب فولادی با بادبند ضربدری با طبقات مختلف و سه قاب خمشی مجهز به جداساز لرزه‌ای با طبقات مختلف مورد آنالیز استاتیکی غیر خطی قرار گرفت، سپس همین قاب‌ها را بدون جداگر لرزه‌ای مورد آنالیز پوش‌آور قرار دادیم، که براساس نتایج تحلیل مشاهده شد که سازه‌های مجهز به جداساز سطح زیر منحنی پوش‌آور بیشتری نسبت به حالت بدون جدا ساز دارند. که نشان از استهلاک قابل توجه انرژی توسط این سیستم دارد. شب اولیه تند منحنی پوش‌آور مجهز به این سیستم باعث اختلاف قابل توجه برش الاستیک نسبت به سیستم متعارف شده است. با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده می‌شود هر دو ضریب رفتار فاصله زیادی با ضریب رفتار ساختمان‌های متعارف و عادی دارند. این خود نشان‌دهنده این مطلب است که سیستم مجهز به جداساز لرزه‌ای نیروی زلزله‌ی خیلی کمتری وارد می‌شود و در هنگام وقوع زلزله‌های شدید این نوع سازه‌ها قابل اطمینان تر هستند.

با توجه به جداول و نمودارهای فصل چهارم ضریب اضافه مقاومت، ضریب کاهش شکل‌پذیری و ضریب رفتار ساختمان ۳، ۶ و ۹ طبقه به شرح زیر به دست آمدند.

- ضریب اضافه مقاومت برای قاب‌های بادبندی با جداساز لرزه‌ای ۳، ۶ و ۹ طبقه به ترتیب برابر با ۲، ۰۱، ۰۱، ۹۵ و ۱، ۷۱.

- ضریب اضافه مقاومت برای قاب‌های خمشی با جداساز لرزه‌ای ۳، ۶ و ۹ طبقه به ترتیب برابر با ۲، ۰۱، ۰۱، ۸۸.

- ضریب رفتار در حالت تنش نهایی برای قاب‌های خمشی با جداساز لرزه‌ای ۳، ۶ و ۹ طبقه به ترتیب برابر است با: ۰/۰۸، ۰/۰۸ و ۰/۰۸.

- ضریب رفتار در حالت تنش نهایی برای قاب‌های بادبندی با جداساز لرزه‌ای ۳، ۶ و ۹ طبقه به ترتیب برابر است با: ۰/۶۵، ۰/۹۸ و ۰/۵۷.

- ضریب رفتار در حالت تنش نهایی برای قاب‌های خمشی بدون جداساز لرزه‌ای ۳، ۶ و ۹ طبقه به ترتیب برابر است با: ۰/۳، ۰/۰۱ و ۰/۵۱.

- ضریب رفتار در حالت تنش نهایی برای قاب‌های بادبندی بدون جداساز لرزه‌ای ۳، ۶ و ۹ طبقه به ترتیب برابر است با: ۰/۲، ۰/۵۶ و ۰/۰۲.

## ۱۹- منابع

- [۵] برگگی، خسرو، ۱۳۹۰، اصول مهندسی زلزله، موسسه انتشارات دانشگاه تهران
- [۶] موسوی، مرتضی. (۱۳۹۰). ارزیابی لرزه‌ای ساختمان‌های بتن آرمه با قاب خمشی متوسط به روش تحلیل دینامیکی غیر خطی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم آذربایجان، دانشکده فنی
- [۷] معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، (۱۳۸۸)، تفسیر دستورالعمل بهسازی لرزه‌ای، ساختمان‌های موجود، نشریه ۳۶۰، صفحه ۲۴۰ تا ۲۵۰.
- [۸] Li, Yancheng, and Jianchun Li. "A highly adjustable base isolator utilizing magnetorheological elastomer: experimental testing and modeling." *Journal of Vibration and Acoustics* 137.1 (2015): 011009.
- [۹] Casciati, Fabio, Lucia Faravelli, and Karim Hamdaoui. "Performance of a base isolator with shape memory alloy bars." *Earthquake Engineering and Engineering Vibration* 6.4 (2007): 401-408.
- [۱۰] Mahmoudi, M., 2003. The Relationship between Overstrength and Members Ductility of RC Moment Resisting Frames. Pacific Conference on Earthquake Engineering.
- [۱۱] Johnson, E. A., Ramallo, J. C., Spencer Jr, B. F., & Sain, M. K. (1998, June). Intelligent base Deb, S. K. (2004). Seismic base isolation-An overview. *Current Science*, 1426-1430.
- [۱۲] ZHOU, X. Y., YAN, W. M., & YANG, R. L. (2002). Seismic base isolation, energy dissipation and vibration control of building structures. *Journal of Building Structures*, 23(2), 2-13.
- [۱۳] Ghaudhari, F., & Raval, D. (2018). Evaluation of Seismic Response of Braced Base Isolated RC Structure. *Evaluation*, 5(04).
- [۱۴] Ferraioli, M., & Mandara, A. (2017). Base isolation for seismic retrofitting of a multiple building structure: design, construction, and assessment.
- [۱۵] Mathematical Problems in Engineering, 2017. Kanyilmaz, A., & Castiglioni, C. A. (2017). Reducing the seismic vulnerability of existing elevated silos by means of base isolation devices. *Engineering Structures*, 143, 477-497.

[۱] Naeim, F., Kelly, J.M. (1999) "Design of seismic isolated structures from theory to practice", John Wiley and Sons, New York.

[۲] تقی‌نژاد، رامین، (۱۳۸۸)، طراحی و بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها بر اساس سطح عملکرد با استفاده از تحلیل پوش‌آور. نشر کتاب دانشگاهی

[۳] صالحین، علیرضا، محمدی، حسن، (۱۳۹۴)، طراحی و اجرای جداسازهای لرزه‌ای، چاپ اول، انتشارات نشر دانشگاهی فرهنگ

[۴] نشریه شماره ۵۲۳، راهنمای طراحی و اجرای سیستم‌های جدا ساز لرزه‌ای در ساختمان‌ها، ۱۳۸۹، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور.

## Investigating the Effect of Using Seismic Separators on Seismic Improvement of Steel frames

Ashkan Khodabandehlou\*

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

Hamid saeidian

Ph.D. Student of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Urmia Branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran

### Abstract:

The idea that a building can be uncoupled from the damaging effects of the ground movement produced by a strong earthquake has appealed to inventors and engineers for more than a century. Seismic isolation is effective in reducing seismic demand for buildings and decreasing seismic damage costs. Today the concept has matured into a practical reality and is taking its place as a viable alternate to conventional (fixed base) seismic resistant construction. This study, three bracing frame and three spacial moment frame were modeled and analyzed and the capacity curve was plotted. The finally, response modification Factors for steel frames equipped with base isolation were compiled as a table. Finally, based on the results of the analysis, it was observed that the structures equipped with the surface separator have a more obtuse curve than the non-separating state.

**Keywords:** base isolation, steel bracing frames, steel moment frames, Response modification factor.