# مقایسه و بررسی همزمان عملکرد مدلهای جداساز در فصل مشترک خاک و سازه و میراگرها در ارتفاع سازه تحت اثر بار لرزهای

على مهدوى نادرى ، فريدون خسروى \* و رضا رهگذر "

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران ۲. دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی و پدافند غیر عامل، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران ۳. استاد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

(دریافت: ۹۹/۱۰/۶، پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۷/۱۲)

#### چکیدہ

بهعنوان یکی از روش های ایجاد ایمنی و آرامش مجدد پس از وقوع زمین لرزه، میتوان به استفاده از جداسازهای لرزهای و روش های کنترل سازه، نظیر استفاده از میراگرها، اشاره کرد که از دهه ۱۹۸۰ میلادی مورد مطالعه قرار گرفته است. علاوهبر این، بهعنوان یکی از پارامترهای کلیدی در تحلیل سازهها میتوان به پدیده اندرکنش خاک و سازه اشاره کرد. با توجه به این که در چند دهه اخیر، استفاده از جداسازهای لرزهای و انواع سیستمهای کنترل غیرفعال در سطح جهانی بسیار مورد توجه قرار گرفته است، در این مقاله به بررسی استفاده همزمان جداساز LRB در اینترفیس خاک و سازه و میراگرهای ویسکوز در ارتفاع سازه تحت اثر بار لرزهای پرداخته شده است. برای این منظور، ساختمانهای ۵ طبقهای از نوع قاب خمشی فولادی، دارای میراگر ویسکوز، قاب خمشی دارای جداساز پایه و قاب خمشی دارای میراگر و جداساز پایه، در نرمافزار مدل سازی شده و به انجام مقایسه و تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی بر روی مدل ها پرداخته شد. بهمنظور بررسی تأثیر اندرکنش خاک و سازه نیز، نتایج حاصل از تحلیل ساختمان قاب خمشی جداسازی شده دارای میراگر در حالتهای با و بدون توجه به اندرکنش خاک و سازه نیز، نتایج حاصل از تحلیل ساختمان قاب خمشی جداسازی شده دارای میراگر در حالتهای با و بدون توجه به اندرکنش مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت، ضمن عملکرد مناسب میراگرهای جداساز همچنین به تأثیر در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه به عنوان یک عامل کلیدی در مدل سازی ساختمان قاب خمشی جداسازی

**واژههای کلیدی**: جداگر پایه، میراگر ویسکوز، اندرکنش خاک و سازه، فنر وینکلر، تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی.

#### ۱. مقدمه

از آنجایی که امکان اجتناب از ایجاد بلایای طبیعی تحت هیچ شرایطی مسیر نخواهد بود، لذا استفاده از تکنولوژیهای نوین نظیر کنترل سازه، طراحی و اجرای صحیح ساختمانها میتواند منجر به کاهش خسارات ایجاد شده توسط بلایای طبیعی و حفظ جان و مال انسانها شود.

در دهه ۱۹۸۰ میلادی، کنترل سازه به این گونه مطرح شد که کنترل فعال سازه ها در حالت دینامیکی و از نقطه نظر تئوری و آزمایشگاهی مورد توجه قرار گیرد (یانگ و سونگ، ۱۹۸۸ و کوبوری، ۱۹۸۸). سپس استفاده از ابزارهای کنترل فعال و نیمهفعال از سال ۱۹۸۹ آغاز شد. هم زمان یک سیستم میراگر جرم فعال AMD برای اولینبار در یک ساختمان اداری ۱۰ طبقه واقعی در تو کیو تعبیه شد (کوبوری و همکاران، ۱۹۹۱). در سال ۲۰۰۱،

مجله "مهندسی زلزله و دینامیک سازه" شماره ویژه از مجله را به استفاده کاربردی از سیستمهای کنترل سازهای فعال و نیمهفعال اختصاص داد (کاوچی و کوبوری، (۲۰۰۱) که در آن ۳۱ نمونه عملی که در سالهای ۱۹۸۹ تا مورد بررسی قرار گرفتند. جداسازی لرزهای یکی از روشهای حفاظت از ساختمان تحت زلزلههای شدید است که عامل کاهش پاسخ لرزهای در زمان وقوع زلزله است (ناکامورا و فاصله مناسب بین دوره تناوب طبیعی سازه و محدوده فاصله مناسب بین دوره تناوب طبیعی سازه و محدوده سازه مورد نظر است. همچنین، عامل کاهش انتقال انرژی ارتعاشی ناشی از زلزله به ساختمان است.

ferydoonkhosravi@yahoo.com

انجام شده توسط کارابورک و دوگوس (۲۰۰۵)، اسپیراکوس و همکاران (۲۰۰۹۵)، رابطه (۱) با توجه به اندرکنش خاک و سازه و تغییر رفتار سازه پیشنهاد شده است:

$$\frac{V_s}{(fh)} < 20 \tag{1}$$

که V<sub>s</sub> معرف سرعت موج برشی در خاک، f نشاندهنده فرکانس ارتعاش آزاد محاسبه شده بر اساس فرض اتصال صلب بین سازه و خاک زیر آن و h ارتفاع سازه است. استفاده از جداسازهای لرزهای و انواع سیستمهای کنترل غیرفعال بسیار مناسب بوده لذا در این مقاله به بررسی استفاده همزمان جداساز LRB در فصل مشترک خاک و سازه و میراگرهای ویسکوز در ارتفاع سازه تحت اثر بار لرزهای پرداخته می شود.

۲. پیشینه تحقیق

جداسازها را مي توان به دو دسته جداسازهاي الاستومتري و سیستمهای لغزش تقسیمبندی کرد. جداسازهای الاستومري باعث كم شدن ارتعاش روسازه از طريق ايجاد میرایی اضافی، اتلاف انرژی بهصورت رفتار چرخهای و متمركز كردن تغييرشكلها بر روى قسمت باربر مىشوند. بهعنوان مثال، توبالدي و همكاران (۲۰۱۷) به بررسي رفتار نرمشدگی جداسازهای لاستیکی طبیعی با میرایی بالا HDNR بەصورت آزمايشگاهی پرداختند. همچنين، توبالدی و همکاران (۲۰۱۶) اثرات بلند شدگی کل یا قسمتی از سازه بر روی تکیه گاههای ورقهای فولادی-لاستیکی را در هنگام اعمال بارهای کششی در پلهای جداسازی شده چند دهانه مورد بررسی قرار دادند. کانسلارا و دیآنجلیس نیز عملکرد سازههای بتنآرمه جداسازی شده لاستیکی با هسته سربی و تکیهگاههای لاستیکی با میرایی بالا را مورد ارزیابی قرار دادند (کانسلارا و دی آنجلیس، ۲۰۱۲؛ کانسلارا و دی آنجلیس، ۲۰۱۶ و کانسلارا و دی آنجلیس، ۲۰۱۷). علاوهبر این، تحقیقاتی نیز در زمینه سیستمهای جداساز مبتنی بر لغزش انجام شده است. به عنوان مثال، كاستالدو و توبالدى

(۲۰۱۵) عملکرد لرزهای محدوده وسیعی از سازههای جداسازی شده پایه را که مجهز به سیستمهای پاندولی اصطکاکی FPS بودند، مطالعه کردند.

دی لوکا و گویدی (۲۰۱۹) اشاره به طول دهانه بلند در سازه و دستیابی به دوره تناوبهای بلند برای استفاده از میراگرها میکند. ماوریرا و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی نوعی از جداسازهای پایه غلطکی با مقاومت کششی بهمنظور بررسی مدل مفهومی، مدل ریاضیاتی، صحتسنجی آزمایشگاهی و تحلیل عددی این نوع جداسازها پرداختند تا بدین ترتیب، مسائل مربوط به محدودیت مقاومت کششی و ناپایداری تمامی انواع جداسازهای لاستیکی را در زمان مواجهه با نیروی محوری به سمت بالا، حل کنند.

در زمینه بهینهسازی میراگرها و همچنین روشهای طراحی، سپهری و همکاران (۲۰۱۹) به طراحی لرزهای و ارزیابی سازههای دارای میراگرهای ویسکوز در سطوح حالت حدى با تمركز بر روى احتمال خرابي در تجهيزات پرداختند. روش های طراحی و مقررات لرزهای ASCE7 و فرایند میرایی در سازه توسط میاموتو و همکاران (۲۰۱۱) مطرح شده است و در نهایت، پس از انجام تحلیلهای دینامیکی توسط مدلسازی رفتار حالت حدی میراگرهای ویسکوز، نشان دادند که روش جدید پیشنهادی منجر به کاهش میرایی در سازه در سطوح خطر مختلف لرزهای خواهد شد. دیدومنیکو و ریکیاردی (۲۰۱۹) به بررسی محافظت لرزهای از سازههای دارای میراگرهای ویسکوز مایع غیرخطی پرداختند که با استفاده از رویکرد احتمالاتی مبتنی بر انرژی بهینهسازی شده بودند. پالرمو و همکاران (۲۰۱۸)، یک فرایند مستقیم که دارای ۵ گام است را برای طراحی لرزهای اولیه ساختمانهای دارای میراگرهای ویسکوز از روش استاتیکی معادل معرفی کردند. آنها در این تحقیق به این نتیجه رسیدند که برای دستیابی به پاسخهای با دقت بالاتر برای ساختمانهای بلند مرتبه، باید از ضرایب اصلاح برای در نظر گرفتن اثرات مشارکت مودهای بالاتر استفاده کرد.

شعاعی و طهماسبی ارومی (۲۰۱۹) جهت کاهش خرابیهای سازهای و غیرسازهای و کاهش جابهجایی در لایههای جداساز انعطاف پذیر، جاذبهای ارتعاش دینامیکی قرار داده شود و به بررسی کنترلهای ترکیبی برای کاهش جابهجایی سازه با استفاده از میراگرهای مایع متمرکز TLD و جداساز پایه لاستیکی با هسته سربی LRB پرداختند.

نادرپور و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی پاسخ لرزهای ساختمانهای بلند مرتبه مجهز به جداساز پایه و میراگرهای جرمی تنظیم شده پرداختند. نتایج مطالعه به طور واضحی تأیید کرد که پاسخ ساختمانهای بلندمرتبه در طول زلزلهها میتواند به طور قابل ملاحظه ای به علت استفاده از تجهیزات جداسازی پایه و میراگرهای TMD کاهش یابد. همچنین، تأثیر جداساز پایه در کاهش پاسخ سازه ای تحت رکوردهای زلزله مختلف بسیار بیشتر از میراگرهای TMD تأثیر گذار است.

کارابوک و همکاران (۲۰۱۴) به انجام مقایسهای از اثرات اندرکنش خاک و سازه در سیستمهای دارای جداساز پایه HDRB و سازههای دارای پایه ثابت بر روی خاک نرم پرداختند که خاک و روسازه بهصورت خطی و

جداگرهای HDRB بهصورت غیرخطی مدلسازی شدند. در این مقاله به مقایسه جابهجاییها، نیروهای برش پایه، شتابهای ایجاد شده در تراز بام، شتابهای ایجاد شده در تراز پایه، دوره تناوب و نیروهای داخلی حداکثر پرداخته شد. نتایج ارائه شده در این مقاله نشان داد که در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه و انتخاب یک جداساز مناسب برای سازههای جداسازی شده واقع بر روی خاک نرم بسیار مهم خواهد بود.

کابتامو و همکاران (۲۰۱۸) به تحلیل دینامیکی اثر اندرکنش خاک و سازه بر روی قاب بتن آرمه چند طبقه با پایه گیردار پرداختند. برای مدلسازی خاک از مدل فنر وینکلر استفاده شد و پس از آنالیز اعلام کردندکاهش برش پایه ناشی از در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه، همواره دارای مزیت نخواهد بود. زیرا، بار ثقلی موجود در هر دو سازه دارای تکیه گاه ثابت و انعطاف پذیر یکسان خواهد بود و به علت افزایش جابه جایی نسبی طبقات و کاهش برش پایه در مدل دارای تکیه گاه انعطاف پذیر، منجر به ایجاد اثرات  $\Delta - P$  بزرگتری در طبقات پایینی خواهد شد. خلاصهای از نتایج برخی پژوهش های اخیر در ارتباط با کار حاضر در جدول ۱ آمده است.

نتيجه تحقيق	شرح تحقيق	سال	گروہ تحقیق
حل مسائل مربوط به محدودیت مقاومت کششی و ناپایداری تمامی انواع جداسازهای لاستیکی را در زمان مواجهه با نیروی محوری به سمت بالا	بررسی نوعی از جداسازهای پایه غلطکی با مقاومت کششی بهمنظور بررسی مدل مفهومی، مدل ریاضیاتی، صحتسنجی آزمایشگاهی و تحلیل عددی این نوع جداسازها	7.7.	ماوريرا
جهت کاهش خرابیهای سازهای و غیرسازهای و کاهش جابهجایی در لایههای جداساز انعطافپذیر، جاذبهای ارتعاش دینامیکی قرار داده شود	بررسی کنترلهای ترکیبی برای کاهش جابهجایی سازه با استفاده از میراگرهای مایع متمرکز TLD و جداساز پایه لاستیکی با هسته سربی LRB	7.19	شعاعی و ارومی
پاسخ ساختمانهای بلندمرتبه در طول زلزلهها میتواند بهطور قابل ملاحظهای بهعلت استفاده از تجهیزات جداسازی پایه و میراگرهای TMD کاهش یابد. همچنین، تأثیر جداساز پایه در کاهش پاسخ سازهای تحت رکوردهای زلزله مختلف بسیار بیشتر از میراگرهای TMD تأثیرگذار است.	بررسی پاسخ لرزهای ساختمانهای بلند مرتبه مجهز به جداساز پایه و میراگرهای جرمی تنظیم شده	7.19	نادر پور

**جدول۱.** أخرين تحقيقات انجام شده و نتايج أنها.

۳. مشخصات نمونه و مدلسازی با روش اجزاء محدود
پلان تیرریزی سقف سازه مورد مطالعه در این مقاله با
تعداد دهانه ها در راستاهای x و y بهترتیب ۵ و ۳ دهانه ۵
متری هستند و تعداد طبقات سازه برابر با ۵ طبقه و ارتفاع
طبقه اول برابر با ۴/۵۷ متر و ارتفاع سایر طبقات برابر ۳/۶۵
متر در نظر گرفته شده است. پلان مدل مورد بررسی

مقاطع مورد استفاده در تیرهای طبقه اول تا سوم از IPE400 و تیرهای طبقه چهارم تا پنجم از IPE360 و مشخصات ستونهای طبقه اول تا سوم BOX40x40x1.8 و ستونهای طبقه چهارم تا پنجم BOX35x35x1.2 میباشد.

برای سازه فوق، ضریب رفتار (R) برابر با  $\Lambda$ ، ضریب اضافه مقاومت ( $\Omega_0$ ) برابر  $\Upsilon$ ، ضریب افزایش جابهجایی الاستیک ( $C_a$ ) برابر  $\Lambda$ ، ضریب اهمیت سازه ( $I_e$ ) برابر با ۲ در نظر گرفته شده است. ضمناً پارامترهای شتاب لرزهای به صورت  $S_s = 1.6g$  و  $S_1 = 0.5g = 1$  در نظر گرفته شدهاند. علاوهبر این، بر اساس استاندارد نظر گرفته شدهاند. علاوهبر این، بر اساس استاندارد درصد خواهد بود. بارگذاری مورد استفاده از کتاب سپهری (۱۳۹۵) استفاده شده است.

برای مدلسازی میراگرها از چیدمان میراگرها بهصورت Toggle با مفصلبند پایین استفاده شده است. هندسه

میراگر در شکل ۱ نشان داده شده است. ضمناً، برای تعیین پارامترهای نمایش داده شده در شکل ۱، از روابط هندسی استفاده شده است. مهاربند مورد استفاده در چیدمان Toggle میراگرها از مقطع دوبل ناودانی شماره ۱۸ و میراگر نیز از نوع غیرخطی در نظر گرفته شده است (سپهری، ۱۳۹۵).

همچنین، هیچ وزن و جرم اضافهای برای میراگر لحاظ نشده است. درجات آزادی و خصوصیات غیرخطی میراگر ویسکوز تنها در راستای طول میراگر اعمال شده است. سختی مورد استفاده برای میراگر در حالت تحلیل خطی برابر صفر و در حالت تحلیل غیرخطی، برابر خطی برابر صفر و در حالت تحلیل غیرخطی، برابر میرایی مورد استفاده در هر دو حالت تحلیل خطی و میرایی مورد استفاده در هر دو حالت تحلیل خطی و غیرخطی، نیز برابر  $\frac{kg.sec^{0.5}}{m^{0.5}}$  لحاظ شده است (سیهری، ۱۳۹۵).

خصوصیات مورد نیاز برای تعریف جداگرها در نرم افزار SAP2000 شامل پنج پارامتر در حالات تحلیل خطی و غیرخطی میباشد. پارامترهای مربوط به تحلیل خطی جداگرها در این مقاله به صورت  $\frac{kg}{m}$  64953.3  $\frac{kg}{m}$  و پارامترهای مربوط به تحلیل  $C_{eff} = 202549 \frac{kg.s}{m}$   $K_e = 428273.9 \frac{kg}{m}$  و پارامترهای مربوط به تحلیل غیرخطی جداگرها  $K_p = 10$  و  $F_y = 2770.8 \, kg$  مدند (سیهری، ۱۳۹۵).



**شکل۱.** مشخصات هندسی میراگرهای ویسکوز Toggle.

در این مقاله، برای مدلسازی محیط خاک از فنر وینکلر استفاده شد. مشخصات خاک و مقادیر سختی فنر وینکلر در سه جهت، بر اساس تحقیق انجام شده توسط عبدالرحیم و همکاران (۲۰۱۵) تعیین شده است که در جدول ۲ قابل مشاهده میباشد.

همچنین، برای مدلسازی فونداسیون در مدل اندرکنش خاک و سازه در نرمافزار SAP2000 ، از المان SOLID استفاده شده است. ضمناً ضخامت فونداسیون برابر ۱ متر و ابعاد مش های مورد استفاده در المانهای SOLID فونداسیون برابر ۰/۵ متر اعمال شده است. خصوصیات بتن در مدل در جدول ۳ دیده می شود.

در راستای قائم از فنرهای فشاری و در دو جهت در صفحه افقی فونداسیون، فنرهایی که هم در حالت کششی و هم در حالت فشاری عمل خواهند کرد استفاده شده است.

از آنجایی که در تحلیل تاریخچه زمانی، زلزلههای انتخابی باید با زلزله طرح آیین نامه ای تطبیق مناسبی داشته باشدو بر اساس آیین نامه ASCE7-10 ارزیابی صورت پذیرفته است، لیکن ۷ زلزله ناحیه غرب در سایت peer به شرح جدول ۴ که از نظر بزرگا

با زلزلههای ایران از جمله زلزله سرپلذهاب و بم نزدیک میباشد انتخاب و مورد تحلیل قرار گرفت.

۴. انتخاب شتابنگاشتها-بزرگای زلزله

ایران، کشوری است که در محدوده لرزهخیزی شدید قرار گرفته و این امر منجر به رخ دادن زلزلههای متوسط و شدید بسیاری در سالهای اخیر شده است. با این حال، زلزلههای مورد استفاده برای تحلیل تاریخچه زمانی باید دارای انطباق مناسبی با نیروهای زلزله طرح آیین نامه ای باشند. در نتیجه، در این مقاله هفت زمین لرزه مختلف از مرکز تحقیق مهندسی زلزله آرام یا PEER انتخاب شده است تا اثرات زلزله ورودى مورد ارزيابي قرار گیرد. این زمینلرزهها در جدول ۴ نمایش داده شدهاند. برای مقیاس کردن زلزلهها نیز از آییننامه ASCE7استفاده شده است که در آن، جذر مجموع مربعات طیف شبهشتاب هر یک از زوج شتابنگاشت.ها در محدوده ۲/۲ تا ۱/۵ برابر دوره تناوب تجربی سازه، نباید از ۱/۳ برابر طیف پاسخ طرح معرفی شده در آيين نامه (ASCE7-10 (2010) كمتر شود. در شکل ۲، طیف پاسخ شبه شتاب الاستیک این زلزلهها با در نظر گرفتن میرایی ۵ درصد ارائه شده است.

$\frac{K_z}{(t/m^2/m)}$	$\frac{K_y}{(t/m^2/m)}$	$\frac{K_x}{(t/m^2/m)}$	مدول الاستيسيته (t/m2)	ضريب پواسون	نوع خاک
०१९/९	०९४/٦	٧٣٤/٧	1778.	• /٣٣	خاک متوسط

جدول۲. خصوصيات الاستيک محيط خاک و سختي سطحي المان فنر.

جدول۳. خصوصیات بتن مورد استفاده در فونداسیون.

$f'_{c}(t/m^{2})$	مدول برشی (t/m <sup>2</sup> )	مدول الاستيسيته (t/m <sup>2</sup> )	ضريب پواسون	جرم واحد حجم (t/m²)
70	97•7477	771	•/٢•	•/٢٥٥

PGA	بزرگا	نام زلزله	نام ایستگاه	ضريب مقياس
•/77	٦/٠	N. Palm Springs, 1986	Morongo Valley	•/٤٥٤٩
•/٢٦	٦/٠	Whittier narrows, 1987	E-Grand Ave	•/7/77
•/٢٩	٦/٢	Morgan Hill, 1994	Gilroy Array #6	•/0712
•/٤٨	٦/٩	Loma Prieta, 1989	Coyote Lake Dam	•/٤٧٧٣
•/0/	٥/٨	Coalinga, 1983	Pleasant Valley P.P.	1/7•87
• /AV	٦/٧	Northridge, 1994	Rinaldi	•/٤٣٧٨
1/29	٧/١	Cape Mendocino, 1992	Cape Mendocino	•/٧٩٣٦

جدول٤. خصوصیات زلزلههای مورد استفاده.



**شکل۲.** طیفهای شبه شتاب الاستیک هفت زلزلههای مورد استفاده در راستای x پس از مقیاس شدن.

مربوط به نسبت دوره تناوب مدلهای مختلف در جدول ۵ می پردازیم و می توان اظهار کرد که اضافه کردن میراگر ویسکوز به سازه جداسازی شده، تأثیر بیشتری بر روی کاهش دوره تناوب در مقایسه با اضافه کردن میراگر ویسکوز به سازه قاب خمشی با پایه ثابت خواهد داشت.

۸-۲. مقادیر شتاب پایه در حالت NSSI

مقادیر حداکثر شتاب پایه ایجاد شده در هر یک از چهار مدل در حالت NSSI در جدول ۶ نمایش داده شده است و می توان نتیجه گرفت که با در نظر گرفتن جداگر، میزان حداکثر شتاب پایه ایجاد شده در مقایسه با سازه قاب خمشی افزایش خواهد یافت. ۵. نتایج پاسخ مدل ها بدون در نظر گرفتن اندر کنش
 خاک و سازه

در اینجا، به بررسی و مقایسه تأثیر استفاده از میراگر در ارتفاع ساختمان جداسازی شده (مدل BI\_VD) برای ساختمان ۵ طبقه با مدلهای قاب خمشی (MF)، مدل قاب خمشی دارای جداگر (BI) و مدل قاب خمشی دارای میراگر (VD) پرداخته می شود.

NSSI بررسی تناوب مودهای ارتعاشی در حالت NSSI در ابتدا، به بررسی دوره تناوب مودهای اول تا سوم (که در واقع معرف مود اول راستای x، مود اول راستای y و MF مود اول دورانی هستند) در هر یک از مدلهای MF، مود اول BI\_VD و SI\_VD پرداخته می شود. سپس، به مقایسه

با توجه به مقایسه انجام شده در جدول ۶، وجود یا عدم وجود میراگر در ارتفاع سازه، هیچ تأثیری بر روی پاسخ حداکثر شتاب پایه نخواهد داشت و تغییرات حداکثر شتاب پایه تنها بهعلت وجود جداگر پایه خواهد بود. تاریخچه زمانی پاسخ شتاب پایه چهار مدل معرفی شده در این مقاله، در شکل ۳ نمایش داده شده است.

در جدول ۷، حداکثر شتاب بام ایجاد شده در مرکز جرم هر یک از چهار مدل نمایش داده شده که بر اساس آن، استفاده از جداگر پایه منجر به کاهش شتاب بام نسبت به مدل MF شده است.

۵-۳. مقادیر شتاب بام در حالت NSSI

بعد از آنالیز و تحلیل انجام شده جدول ۷ برای حداکثر

شتاب بام ارائه می شود. با توجه به مقایسه انجام شده در جدول ۷، استفاده از میراگر بر روی حداکثر شتاب بام ایجاد شده در مدل های مورد بررسی تأثیر گذار بوده و میزان تأثیر اضافه کردن آن به مدل BI، بیشتر از مدل MF است.

۸-۴. مقادیر برش پایه در حالت NSSI

در ادامه، به بررسی حداکثر برش پایه پرداخته خواهد شد که مقادیر این پارامتر برای هر یک از چهار مدل معرفی شده، در جدول ۸ نمایش داده شده است. بر اساس مقایسه انجام شده در این جدول، میزان کاهش حداکثر برش پایه ناشی از اضافه کردن جداگر پایه به مدل MF به مراتب بیشتر از تأثیر اضافه کردن جداگر پایه به مدل VD میباشد.

سه مود اول در مدلهای NSSI.	دوره تناوب	<b>جدول٥</b> . مقايسه
----------------------------	------------	-----------------------

	MF نسبت به VD	BI نسبت به BI	BI_VD نسبت به BI_VD	BI_VD نسبت به
دوره تناوب مود اول (s)	۱/٤ درصد کاهش	۱۲۸/٦ درصد افزایش	۱۱۵/۷ درصد افزایش	٥/٧ درصد كاهش
دوره تناوب مود دوم (s)	۱/٤ درصد کاهش	۱۳٦/٤ درصد افزایش	۱۲۲/۷ درصد افزایش	٥/٨ درصد افزایش
دوره تناوب مود سوم (s)	۲/۷ درصد کاهش	۱۳٤/۷ درصد افزایش	۱۲۱/۳ درصد افزایش	٥/٧ درصد افزایش

**جدول٦.** حداكثر شتاب پايه ايجاد شده (m/s<sup>2</sup>) در مدلهاي NSSI و مقايسه نتايج.

MF	VD	BI	BI_VD	WD نسبت به VD	BI_VD نسبت به
۲/٥٤٨	۲/٥٤٨	٢/٧٢٩	٢/٧٤٤	بدون تغيير	۰/۵ درصد افزایش

**جدول۷**. حداکثر شتاب بام ایجاد شده (m/s<sup>2</sup>) در مدلهای NSSI و مقایسه نتایج.

MF	VD	BI	BI_VD	VD نسبت به MF	BI_VD نسبت به
٥/٤٠٩	0/•V2	٣/٨٥٧	37/291	٦/٢ درصد كاهش	۱٤/۷ درصد کاهش

**جدول۸** حداکثر برش پایه ایجاد شده (ton) در مدلهای NSSI و مقایسه نتایج.

MF	VD	BI	BI_VD	VD نسبت به VD	BI نسبت به BI	BI_VD نسبت به BI_VD
127/1	1 2 7/9	177/1	177/9	./۳٪ کاهش	./۸٪ کاهش	./۲/۳٪ کاهش



شكل». تاريخچه زماني پاسخ شتاب پايه در (الف) مدل MF؛ (ب) مدل VD؛ (ج) مدل BI؛ و (د) مدل BI.

تاریخچه زمانی پاسخ برش پایه چهار مدل معرفی شده در این مقاله، در شکل ۴ نمایش داده شده است. در ادامه،

نتایج بهدست آمده برای هریک از خروجیها در شکل ۵ و بهصورت مقایسه نمایش داده خواهد شد.



شكل ٤. تاريخچه زماني پاسخ برش پايه در (الف) مدل MF؛ (ب) مدل VD؛ (ج) مدل BI؛ و (د) مدل BI.



**شکل٥.** مقایسه پاسخهای حداکثر هر یک از چهار مدل مورد بررسی در حالت NSSI.

۶. پاسخ انرژی و رفتار هیسترتیک در مدلها
۶-۱. پاسخ انرژی و رفتار هیسترتیک در مدل VD
۱۰٫۶ نتایج مربوط به انرژی ورودی در مدل VD، میزان انرژی استهلاک شده توسط میراگر ویسکوز و چرخه هیسترتیک
۱۱٫۶ ایجاد شده در یکی از میراگرها (دراینجا، میراگر واقع در راستای x در طبقه سوم انتخاب شده است) در شکلهای ۶ و ۷ نمایش داده شدهاند.



**شکل۲.** نمودار چرخه هیسترتیک میراگر ویسکوز واقع در طبقه سوم در مدل VD.



**شکل۷**. تاریخچه زمانی انرژی ورودی به مدل و انرژی مستهلکشده توسط سیستم میراگر در مدل VD.

8-۲. پاسخ انرژی و رفتار هیسترتیک در مدل BI نتایج مربوط به انرژی ورودی به مدل BI، میزان انرژی استهلاک شده توسط جداگر و چرخه هیسترتیک ایجاد شده در یکی از جداگرها (دراینجا، جداگر واقع در کنج پلان مدلها) در شکلهای ۸ و ۹ نمایش داده شدهاند.



شکل۸ تاریخچه زمانی انرژی ورودی به مدل و انرژی مستهلکشده توسط سیستم جداگر در مدل BI.



**شکل۹**. نمودار چرخه هیسترتیک جداگر پایه واقع در کنج پلان در مدل BI.

8I\_VD باسخ انرژی و رفتار هیسترتیک در مدل BI\_VD در نهایت، نتایج مربوط به انرژی ورودی به مدل BI\_VD، میزان انرژی استهلاک شده توسط جداگرها و میراگرها و همچنین، چرخه هیسترتیک ایجاد شده در یکی از جداگرها و یکی از میراگرهای ویسکوز، در شکلهای ۱۰، ۱۱ و ۱۲ نمایش داده شده است.



**شکل۱۰**. تاریخچه زمانی انرژی ورودی، انرژی مستهلکشده توسط سیستم میراگر و سیستم جداگر در مدل BI\_VD.



شکل ۱۱. نمودار چرخه هیسترتیک میراگر ویسکوز واقع در طبقه سوم در مدل BI VD.



**نکل۱۲.** نمودار چرخه هیسترتیک جداگر پایه واقع در کنج پلان در مدل BI VD.

۷. استهلاک انرژی در مدلها در حالت NSSI
۷–۱. مقایسه نتایج انرژی ورودی در مدلهای NSSI
و DJ-۱۰ مقایسه نتایج انرژی ورودی در مدلهای NSSI
و DJ-۱۰ در حالت NSSI
در ابتدا، انرژی ورودی به هر یک از مدلها مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت که در شکل ۱۳ مشاهده خواهند شد و مقایسه مربوط به انرژی ورودی در جدول ۹ میتوان نتیجه گرفت یه اضافه کردن میراگر به مدل جداسازی شده، تأثیر چندانی بر مقدار انرژی ورودی در حالت بدون تأثیر چندانی بر مقدار انرژی ورودی در حالت بدون تأثیر اندرکنش خاک و سازه، نخواهد داشت. لاکن به تنهائی



.BI\_VD

در انرژی ورودی موثر است.

**جدول۹**. انرژی ورودی به مدلهای NSSI در پایان زمان تحلیل و مقایسه نتایج.

			Ŀ.	-
VD	BI	BI_VD	BI_VD نسبت به VD	BI_VD نسبت به BI
۳١/٩	۲۳/٦	22/2	۷٪/۲۰ کاهش	./۹٪ کاهش

## ۲-۷. مقایسه نتایج انرژی مستهلکشده در مدلهای BI vII و BI\_VD در حالت NSSI

بهمنظور بررسی میزان انرژی مستهلک شده توسط جداگرها در مدلهای BI و BI\_VD، نمودارهای مربوطه در شکل ۱۴ رسم شده و مقایسه نتایج در جدول ۱۰ صورت پذیرفته است.



جدول ۱۰. انرژی مستهلکشده توسط جداگر در مدل BI و BI\_VD در حالت NSSI در یابان تحلیل و مقابسه نتایج.

·		<b>e</b>
BI	BI_VD	BI_VD نسبت به
۲١/٨	11/1	۲۱/۱٪ کاهش

بهمنظور بررسی میزان انرژی مستهلک شده توسط میراگرها در مدلهای VD و BI\_VD، نمودارهای مربوطه در شکل ۱۵ رسم شده و نتایج حاصل در جدول ۱۱ به نمایش در آمده است.



یک ۲۰۰ سایت الرزی مستهدی مده توسط میرا ترک در مدن می ا BI\_VD.

جدول ۱۱. انرژی مستهلکشده توسط میراگر در مدل VD و BI\_VD

در حالت NSSI در پایان تحلیل و مقایسه نتایج.

VD	BI_VD	BI_VD نسبت به BI_VD
۲۳/۲	٥/٨	۷۵ درصد کاهش

بر اساس مقایسه انجام شده در جدول ۱۱، دیده می شود که اضافه کردن جداگر پایه به سازه دارای میراگر در ارتفاع طبقات، منجر به افت قابل توجهی در میزان انرژی مستهلک شده توسط میراگرها خواهد شد و به مراتب بیشتر از افت انرژی مستهلک شده توسط میراگرها در طبقات می باشد.

چرخههای هیسترتیک ایجاد شده در میراگرها در هر یک از مدلهای VD و BI\_VD بهمنظور بررسی عملکرد میراگرها در سازه جداسازی شده در پایه با یکدیگر مقایسه میکنیم که نتایج در جدول ۱۲ به نمایش در آمدهاند.

بر اساس جدول ۱۲، مشخص است که میراگرهای ویسکوز استفاده شده در مدل BI\_VD، همچنان از نظر باربری دارای کاربرد هستند. زیرا، نیروهای ایجادشده در این میراگرها، حساس به سرعت خواهد بود. در نتیجه، در صورت استفاده از میراگر در سازههای جداسازی شده پایه، می توان نیروهای کمتری را برای سایر اعضای باربر جانبی قاب خمشی متصور شد. این امر به خصوص در سازههای جداسازی شدهای نشان می دهد که از نظر عملکرد نیاز به مقاوم سازی خواهند داشت.

**جدول۱۲**. مقایسه نیرو و جابهجایی حداکثر ایجاد شده در میراگر در مدل VD و BI\_VD در حالت NSSI.

	VD	مقايسه نتايج	BI_VD
نيرو (t)	22/•	./٤١/٨ کاهش	۱۲/۸
جابەجايى (m)	•/•\٤	./۳٪. کاهش	•/••0

همچنین با بررسی نحوه عملکرد جداگرها در مدلهای با و بدون میراگر مشخص میشود چرخههای هیسترتیک ایجاد شده در جداگرها در هر یک از مدلهای BI و BI\_VD مشخص شد که استفاده یا عدماستفاده از میراگر در ساختمان جداسازی شده، تأثیر چندانی بر روی پاسخ حداکثر نیرو و جابهجایی ایجاد شده در جداگر نخواهد داشت.

۸. تأثیر با و بدون اندر کنش خاک و سازه (حالت SSI و ISSI)
 و INSSI) بر روی نتایج ساختمان جداسازی شده دارای میراگر

۸-۱. عملکرد شتاب پایه و برش پایه با انواع میراگرها با و بدون درنظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه در این بخش، میزان تأثیر در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه اسپیراکوس و همکاران (۲۰۰۹a) بر روی پاسخهای مدل BI\_VD مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت و با پاسخهای بهدست آمده از مدل BI\_VD در بخش

قبل، مقایسه خواهد شد. پاسخ تاریخچه زمانی برش و شتاب پایه برای هر یک از دو حالت فوق، در شکل ۱۶ و ۱۷ و جدول ۱۳ مقایسه شدهاند.

بهعنوان پارامتر دیگر مورد بررسی می توان به انرژی ورودی به مدل اسپیراکوس و همکاران (۲۰۰۹b)، انرژی تلفشده توسط جداگر و انرژی تلف شده توسط میراگر اشاره کرد. نمودارهای تاریخچه زمانی مربوط به پارامترهای فوق، در شکل ۱۸ شده است.



شکل۱٦. مقایسه تاریخچه زمانی پاسخ شتاب پایه در مدل BI\_VD در حالت SSI و NSSI.



شکل۱۷. مقایسه تاریخچه زمانی پاسخ برش پایه در مدل BI\_VD در حالت SSI و NSSI.

	NSSI	مقايسه نتايج	SSI
حداکثر برش پایه (t)	۱۲٦/۸	./۰۰٪ کاهش	VA/7
حداکثر شتاب پایه ( <i>m/s</i> <sup>2</sup> )	٢/٧٤	./۲۷/۷ کاهش	١/٩٨

**جدول۱۳.** مقایسه برش پایه حداکثر ایجاد شده در BI\_VD در حالت NSSI و SSI.



**شکل۱۸.** تاریخچه زمانی انرژی ورودی و انرژی مستهلکشده توسط میراگر و جداگر در حالت SSI.

۲-۸. عملکرد انرژی با میراگر ویسکوز و جداساز درحالت SSI و NSSI نمودار تاریخچه زمانی هریک از انرژیها در مدل

BI\_VD در حالت با و بدون در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه در شکلهای ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ و مقایسه نتایج در جدول ۱۴ صورت پذیرفته است.



شکل۱۹. مقایسه تاریخچه زمانی انرژی مستهلکشده توسط میراگرها در مدل BI\_VD در حالت SSI و NSSI.



شکل ۲۰. مقایسه تاریخچه زمانی انرژی ورودی به مدل BI\_VD در حالت SSI و NSSI.



شکل ۲۱. مقایسه تاریخچه زمانی انرژی مستهلکشده توسط جداگرها در مدل BI\_VD در حالت SSI و NSSI.

### ۹. نتيجه گيري

در این مقاله، به بررسی عملکرد میراگر ویسکوز در ارتفاع سازه-و بررسی عملکرد میراگر جداساز در پایه و در طبقات سازهای – و بررسی عملکرد میراگر ویسکوز همراهبا جداساز بهصورت ترکیبی و در نهایت مقایسه عملکرد مدلهای فوق با یکدیگر و در دو حالت SSI, NSSI پرداخته شده است. اهم نتایج بهدست آمده در جدول ۱۴ آمده است.

	حداکثر نیروی جداگر (ton)	حداکثر جابهجایی جداگر (m)	حداکثر برش پایه سازه (ton)	حداکثر شتاب پایه سازه ( <i>m/s</i> <sup>2</sup> )	انرژی ورودی به سازه (ton.m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> )	انرژی مستهلکشده توسط جداگر ( <i>ton.m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup></i> )
SSI	٤/١	•/•٣٧	٧٨/٦	١/٩٨	۱۷/٥	11/9
مقايسه	۲۳٪ کاهش	./٤٣ کاهش	./۳۷ کاهش	٪۲۷ کاهش	۲٦٪ کاهش	۳۱٪ کاهش
NSSI	٥/٣	•/•٦٥	177/A	٢/٧٤	۲۳/٥	11/1

جدول ۱٤. مقایسه نتایج حاصل از شکل های ۱۹، ۲۰ و ۲۱ در دو حالت SSI و NSSI.

BI_VD SSI	BI_VD NSSI	NSSI-BI	NSSI-VD	
۱۷/۵	۲۳/٤	۲۳/٦	۳١/٩	انرژی ورودی ( <i>ton.m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup></i> )
11/9	۲/۷۱	Y1/A	۲۳/۲	انرژی مستهلکشده ( <i>ton.m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>)</i> )
-	١٢/٨	-	77	حداکثر نیروی میراگر (ton)
-	•/••0	-	•/•12	حداکثر جابهجایی میراگر (m)
٤/١	٥/٣	٥/٣	-	حداکثر نیروی جداگر (ton)
•/•٣٧	•/•٦٥	•/•٦٥	-	حداکثر جابهجایی جداگر (m)

**جدول۱۵.** نتایج مهم حاصل از پژوهش حاضر.

شده است.

میراگرها در طبقات در کاهش برش پایه و شتاب پایه تأثیر چندانی ندارند. لاکن میراگرها در طبقات بارگیر می باشند و در جهت ضریب اطمینان برای مقاطع ستونها هستند. در خصوص کاربرد نتایج به دست آمده طبق نتایج صدر الذکر میزان انرژی ورودی به سازه، میزان انرژی مستهلک شده، حداکثر نیروی میراگر، حداکثر جابه جایی میراگر، حداکثر نیروی جداگر، حداکثر جابه جایی جداگر میراگر، حداکثر نیروی جداگر، حداکثر جابه جایی جداگر در حالت استفاده از جداگر و میراگر و تأثیر اندر کنش خاک و سازه کاهش قابل قبولی را از خود نشان می دهد و در خصوص سازهها علی الخصوص سازههای خاص که کاربردهای ویژه دارند بسیار کارایی داشته وهمزمانی تأثیر آن به پایداری سازه کمک بس یاری می کند.

مراجع سپهری، ۱.، ۱۳۹۵، تحلیل و طراحی میراگرها و جداگرهای لرزهای بر اساس ASCE7-10 در SAP2000 ،Perform3D و OpenSees, ed. چاپ اول. نشر علم عمران.

Abdel Raheem, S. E., Ahmed, M. M. and Alazrak, T. M., 2015, Evalution of soil-foundation-structure interaction effects onseismic response demands of multi-story MRF buildings on raft foundations, Int J Adv Struct Eng (2015) Springer. در صورت استفاده از میراگر در سازههای جداسازی شده یایه، می توان نیروهای کمتری را برای سایر اعضای باربر جانبی قاب خمشی در نظر گرفت. در نتیجه، استفاده از میراگرهای ویسکوز در ارتفاع سازه، برای مقاومسازی ساختمان قاب خمشي فولادي ٥ طبقه جداسازي شده يايه، امري کاربر دي است حداکثر جابهجایی و نیروی ایجاد شده در چرخه هیستر تیک مدلهای BI و BI\_VD در حالت NSSI، تقريباً بكسان است. مقدار انرژی مستهلکشده توسط میراگرها در مدل BI\_VD در حالت SSI نسبت به NSSI به اندازه ۲۲ در صد کاهش بافته است. مقدار انرژی مستهلکشده توسط جداگرها در مدل BI\_VD در حالت SSI نسبت به NSSI به اندازه ۳۱ درصد كاهش يافته است. در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه در مدل BI\_VD، منجر به کاهش حداکثر نیروی ایجاد شده در جداگر به اندازه ۲۳ درصد و همچنین، کاهش حداکثر جابهجایی ایجاد شده در جداگر به اندازه ۴۳ درصد در حالت NSSI

Cancellara, D. and Angelis, F. De, 2017, Assessment and dynamic nonlinear analysis of different base isolation systems for a multi-storey RC building irregular in plan. Computers & Structures, 180, 74-88.

- Cancellara, D. and De Angelis, F., 2016, Nonlinear dynamic analysis for multi-storey RC structures with hybrid base isolation systems in presence of bi-directional ground motions. Composite Structures, 154, 464-492.
- Cancellara, D. and De Angelis, F., 2012, Seismical protection properties of high damping rubber bearing and lead rubber bearing base isolation systems for multi-storey RC buildings. in Applied Mechanics and Materials. Trans Tech Publ.
- Castaldo, P. and Tubaldi, E., 2015, Influence of FPS bearing properties on the seismic performance of base-isolated structures. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 44(15), 2817-2836.
- Caughey, T.K. and Kobori, T., 2001, Practical applications of active and semi-active structural control systems to actual civil engineering structures. Earthquake engineering & structural dynamics, 30(11).
- De Domenico, D. and Ricciardi, G., 2019, Earthquake protection of structures with nonlinear viscous dampers optimized through an energybased stochastic approach. Engineering Structures, 179, 523-539.
- De Luca, A. and Guidi, L.G., 2019, State of art in the worldwide evolution of base isolation design. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 125, 105722.
- Ikeda, Y., Yamamoto, M., Furuhashi, T. and Kurino, H., 2019, Recent research and development of structural control in Japan. Japan Architectural Review, 2(3), 219-225.
- Kabtamu, H. G., Peng, G. and Chen, D., 2018, Dynamic analysis of soil structure interaction effect on multi story RC frame. Open Journal of Civil Engineering, 8(04), 426.
- Karabörk, T. and Dogus, S., 2005, Effect of soil stiffness to the behavior of structures impose to earthquake. in National Earthquake Symposium, Kocaeli University.
- Karabork, T., Deneme, I. and Bilgehan, R.P., 2014, A comparison of the effect of SSI on base isolation systems and fixed-base structures for soft soil. Geomechanics and Engineering, 7(1), 87-103.
- Kobori, T., 1988, Active seismic response control. Proceedings of the 9th WCEE, Tokyo-Kyoto, Japan, 2-9.
- Kobori, T., Koshika, N., Yamada, K. and Ikeda, Y., 1991, Seismic-response-controlled structure with active mass driver system. Part 1: Design. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 20(2), 133-149.
- Maureira-Carsalade, N., Pardo, E., Oyarzo-Vera, C. and Roco, A., 2020, A roller type base isolation

device with tensile strength. Engineering Structures, 221, 111003.

- Miyamoto, H. K., Gilani, A. S., Wada, A. and Ariyaratana, C., 2011, Identifying the collapse hazard of steel special moment-frame buildings with viscous dampers using the FEMA P695 methodology. Earthquake Spectra, 27(4), 1147-1168.
- Naderpour, H., Naji, N., Burkacki, D. and Jankowski, R., 2019, Seismic response of high-rise buildings equipped with base isolation and non-traditional tuned mass dampers. Applied Sciences, 9(6), 1201.
- Nakamura, Y. and Okada, K., 2019, Review on seismic isolation and response control methods of buildings in Japan. Geoenvironmental Disasters, 6(1), 1-10.
- Sepehri, A., Taghikhany, T. and Ahmadi Namin, S.M.R., 2019, Seismic design and assessment of structures with viscous dampers at limit state levels: Focus on probability of damage in devices. The Structural Design of Tall and Special Buildings, 28(1), e1569.
- Shoaei, P. and Tahmasebi Oromi, H., 2019, A combined control strategy using tuned liquid dampers to reduce displacement demands of baseisolated structures: a probabilistic approach. Frontiers of Structural and Civil Engineering, 13(4), 890-903.
- Spyrakos, C., Maniatakis, C.A. and Koutromanos, I., 2009, Soil–structure interaction effects on baseisolated buildings founded on soil stratum. Engineering Structures, 31(3), 729-737.
- Spyrakos, C., Koutromanos, I. and Maniatakis, C.A., 2009, Seismic response of base-isolated buildings including soil–structure interaction. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 29(4), 658-668.
- Tubaldi, E., Mitoulis, S. A., Ahmadi, H. and Muhr, A., 2016, A parametric study on the axial behaviour of elastomeric isolators in multi-span bridges subjected to horizontal seismic excitations. Bulletin of Earthquake Engineering, 14(4), 1285-1310.
- Tubaldi, E., Ragni, L., Dall'Asta, A., Ahmadi, H. and Muhr, A., 2017, Stress softening behaviour of HDNR bearings: modelling and influence on the seismic response of isolated structures. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 46(12), 2033-2054.
- Yang, J. and Soong, T., 1988, Recent advances in active control of civil engineering structures. Probabilistic engineering mechanics, 3(4), 179-188.

### Simultaneous Evaluation and Comparison of the Performance of Isolator Models in the Soil Structure Interface and Dampers at the Height of Structure under Seismic Load

Mahdavi Naderi, A.<sup>1</sup>, Khosravi, F.<sup>2\*</sup> and Rahgozar, R.<sup>3</sup>

1. Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

2. Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Defense non-operating, Imam Hossein University, Tehran, Iran

3. Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

(Received: 26 Dec 2020, Accepted: 4 Oct 2022)

### Summary

Seismic isolators and structural control methods, such as the use of dampers, is one of the methods to create safety and relaxation after an earthquake, which has been studied since 1980s. In addition, soil-structure interaction is one of the key parameters in the analysis of structures. In recent decades, the use of seismic isolators and various types of passive control systems has received much attention worldwide. Hence, in this paper, the simultaneous use of LRB isolators in the soil-structure interface and viscous dampers at the height of the structure has been considered under the seismic load. For this purpose, four different types of 5-story steel buildings including moment frame, moment frame with viscous damper, moment frame with base isolator and moment frame with base isolators in the soil structure interface and viscous damper at the height of building were modeled using a software. After the nonlinear time history analysis, results were compared. The average of seven different earthquakes was selected for the purpose of understanding the input ground motion effect. In order to investigate the effect of soilstructure interaction, the 5 story base-isolated moment frame with damper at the height of building was studied with two different modeling approaches: the first one includes raft foundation, soil, and superstructure interaction (SSI model), while the second one considers superstructure based on the fixed base and rigid foundation condition (NSSI model). The results of these isolated moment frame structures with dampers at the height of buildings in the SSI and NSSI models were evaluated. Then the first three mode periods, the peak responses of base acceleration, the peak responses of roof acceleration, the peak responses of story shear, the input energy, the dissipated energy by dampers, the dissipated energy by base isolators, the hysteresis behavior of a damper and an isolator for different models in NSSI and SSI condition were analyzed. The comparison of the results of different NSSI models showed that the simultaneous use of base isolators in the soil structure interface and dampers at the height of moment frame building had a significant effect on structural responses. For example, the peak roof accelerations of base-isolated moment frame with dampers at the height of building were 39 %, 35 %, and 15 % less than the moment frame, the moment frame with dampers at the height of building, and the base-isolated moment frame building, respectively. In addition to the proper performance of isolator dampers, we also achieved the effect of the soil-structure interaction consideration as a key factor in modeling the isolated moment frame structure with dampers at the height of building.

Keywords: Base isolator, viscous damper, soil-structure interaction, Winkler spring, nonlinear time history analysis.

<sup>\*</sup> Corresponding author: