

بررسی رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های دارای جداساز لرزه‌ای پایه با در نظرگیری اندرکنش خاک و سازه تحت زلزله‌های حوزه نزدیک و دور از گسل

مریم رشیدی^۱، مجتبی فتحی^{۲*}، افشین ناصرپور^۳

^۱ کارشناسی ارشد مهندسی سازه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

^۲ دانشیار مهندسی سازه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

^۳ دکتری مهندسی سازه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه

دریافت: ۱۴۰۰/۶/۲، بازنگری: ۱۴۰۰/۹/۱، پذیرش: ۱۴۰۰/۹/۱۳، نشر آنلاین: ۱۴۰۰/۹/۱۳

چکیده

مطالعه حاضر به تأثیر اندرکنش خاک و سازه بر روی رفتار لرزه‌ای قاب‌های جداسازی شده پایه تحت زلزله‌های حوزه نزدیک و دور پرداخته است. برای این منظور، نتایج تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی قاب‌های یک، چهار و هشت طبقه جداسازی شده پایه، با قاب‌های متناظر پایه ثابت، مقایسه شدند. طبق نتایج می‌توان گفت که شتاب طبقات در سازه‌های دارای جداساز پایه، به شدت کاهش می‌یابد و در برخی حالات به حدود ۲۰ درصد حالت پایه ثابت و حتی کمتر نیز می‌رسد. ملحوظ کردن اثر اندرکنش خاک و سازه در قاب‌های یک و چهار طبقه دارای جداساز پایه، تأثیر چندانی روی تغییرمکان جانبی طبقات ندارد اما در قاب ۸ طبقه روی بستر نرم تحت زلزله‌های حوزه نزدیک، تا حدود ۸۰ درصد بیشتر است. همچنین نشان داده شد که برای قاب‌های دارای جداساز پایه، جذب انرژی در تیرها و ستون‌ها تا ۱۰۰ درصد در مقایسه با قاب‌های بدون جداساز کاهش می‌یابد. در این حالت، در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه تأثیر چندانی در نتایج جذب انرژی قاب‌های جداسازی شده در پایه ندارد. در مجموع با توجه به نتایج شتاب و تغییرمکان طبقات می‌توان گفت استفاده از جداساز لرزه‌ای پایه، برای قاب هشت طبقه مطلوب نیست.

کلیدواژه‌ها: جداساز لرزه‌ای، اندرکنش خاک و سازه، خاک نرم، حوزه نزدیک، شتاب طبقات، تغییرمکان طبقات.

۱- مقدمه

جداسازهای اصطکاکی (PF)^۱، جداسازهای لاستیکی سربی (LRB)^۲ و جداسازهای لاستیکی با میرایی بالا (HDRB)^۳. زلزله‌های نزدیک گسل به دلیل پالس‌های طولانی که دارند می‌توانند برای ساختمان‌های جداسازی شده پایه، مشکل ساز شوند. از این رو در سال‌های اخیر یک سری مطالعات به بررسی رفتار لرزه‌ای جداسازهای لرزه‌ای پایه تحت زلزله‌های نزدیک گسل اختصاص داده شده است. در بسیاری از تحقیقات فوق از اثرات اندرکنش خاک و سازه بر روی رفتار لرزه‌ای قاب‌های جداسازی شده صرف نظر شده است. در حالی که مشاهدات بعد از زلزله‌های شدید رخ داده، نشان داده است که اثرات اندرکنش خاک و سازه (SSI)^۴ می‌تواند رفتار لرزه‌ای سازه‌ها را تغییر عمده دهد. Spyarakos و همکاران (۲۰۰۹) تأثیرات اندرکنش خاک و سازه (SSI) را بر پاسخ ساختمان‌های جداسازی شده مورد مطالعه

جداساز لرزه‌ای یک رویکرد مؤثر برای کاهش نیروهای وارد بر سازه‌ها می‌باشد. جداسازهای لرزه‌ای پایه به دلیل سختی جانبی کم‌تر، موجب افزایش زمان تناوب در سازه می‌شوند. با افزایش زمان تناوب، شتاب ورودی به سازه اصلی کم شده و بخش قابل توجهی از انرژی ورودی در جداسازها جذب می‌شود. ولیکن افزایش زمان تناوب سازه، موجب افزایش تغییرمکان افقی در جداسازهای پایه می‌شود. با افزایش میرایی در تراز جداسازهای پایه می‌توان تغییرمکان افقی را تا حد قابل قبولی کاهش داد. در دهه‌های اخیر انواع جداسازهای لرزه‌ای پیشنهاد شده‌اند و عملکرد لرزه‌ای آن‌ها بر روی سازه‌ها توسط بسیاری از محققین مورد ارزیابی قرار گرفته است. انواع جداسازهای لرزه‌ای معرفی شده عبارت‌اند از:

3. High Damping Rubber Bearing
4. Soil Structure Interaction

1. Friction Bearing
2. Leader Rubber Bearing

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۹۸۹۷۸۷۹۷۰۷۳۱

آدرس ایمیل: rashidi6889@gmail.com (م. رشیدی)، fathim@razi.ac.ir (م. فتحی)، naserpour.afshin@gmail.com (ا. ناصرپور).

Alhan و همکاران (۲۰۱۶) به مطالعه اهمیت افزایش سختی تغییر شکل جانبی لاستیک‌هایی با میرایی بالا بر روی پاسخ لرزه‌ای ساختمان‌های جداسازی شده پایه، تحت زلزله‌های حوزه نزدیک پرداختند. Bhagat و Wijeyewickrema (۲۰۱۷) به ارزیابی رفتار لرزه‌ای ساختمان‌های بتن مسلح جداسازی شده در پایه تحت دو مؤلفه افقی زلزله‌های حوزه نزدیک پرداختند. Sheikhi و همکاران (۲۰۲۰ و ۲۰۲۱) استفاده از جداسازهای لرزه‌ای لاستیکی همراه با میراگرهای فولادی حلقه‌ای شکل مورد مطالعه قرار داده‌اند و دریافته‌اند که استفاده از میراگرهای فولادی u شکل به جای حلقه‌ای شکل می‌تواند کارسازتر باشد. در مطالعه حاضر به تأثیر اندرکنش خاک و سازه بر روی رفتار لرزه‌ای قاب‌های جداسازی شده پایه تحت زلزله‌های حوزه نزدیک و دور پرداخته شده است. قاب‌های مورد بررسی در این مطالعه در سه سطح ارتفاعی کوتاه، متوسط و بلند می‌باشند. همچنین برای مطالعه‌ای مفیدتر نتایج تحلیلی قاب‌های جداسازی شده با نتایج قاب‌های با پایه ثابت مقایسه شده‌اند. برای مدل‌سازی عددی از نرم‌افزار اجزاء محدود آباکوس^۲، برای تحلیل دینامیکی ساختمان‌های جداسازی شده با جداسازهای لاستیکی سربی (LRB) و ساختمان‌های پایه ثابت استفاده شده است.

۲- مشخصات مدل‌های مورد مطالعه

سازه‌های مورد مطالعه، قاب‌های فولادی خمشی ۱، ۴ و ۸ طبقه، در چهار حالت سازه با پایه ثابت روی فونداسیون صلب، سازه جداسازی شده پایه روی فونداسیون صلب، سازه با پایه ثابت روی خاک و سازه جداسازی شده پایه روی خاک می‌باشد (شکل ۱). ارتفاع طبقات در کلیه قاب‌ها برابر ۳/۲ متر است و منظور از پارامتر H در این شکل ارتفاع کلی قاب‌های مورد نظر می‌باشد. برای بارگذاری و طراحی مدل‌های قاب خمشی فولادی، از مبحث دهم مقررات ملی ساختمان و استاندارد ۲۸۰۰ استفاده شده است. شایان ذکر است، که برای کلیه مدل‌ها، هر قاب دارای ۷ دهانه به طول ۴ متر است. فاصله افقی مرزهای جانبی حداقل ۵ برابر عرض سازه، و حداکثر عمق ۳۰ متر برای عمق سنگ بستر در نظر گرفته شده است. میزان بار مرده و زنده طبقات به ترتیب ۷۵۰ و ۲۵۰ کیلوگرم بر مترمربع در نظر گرفته شده است. عرض بارگیر کلیه قاب‌ها در طبقات، برابر ۵ متر می‌باشد. همچنین در تراز جداسازی یک دیافراگم صلب در نظر گرفته شده است. مشخصات چهار نوع خاک مختلف، مطابق استاندارد ۲۸۰۰ ایران ویرایش چهارم در جدول (۱) و مشخصات اعضای تیر و ستون قاب‌های مورد مطالعه و مشخصات سختی و میرایی جداسازهای لرزه‌ای در جدول (۲) ارائه شده است.

قرار دادند. نتایج به دست آمده نشان داد که اثرات اندرکنش خاک و سازه بر میرایی سیستم نسبتاً ناچیز است. Soyoz و همکاران (۲۰۱۰) تأثیر سیستم‌های جداساز لرزه‌ای با در نظرگیری اندرکنش خاک و سازه همراه با پدیده روانگرایی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها چهار نوع مختلف از سازه‌ها و سه نوع مختلف از شرایط خاک را تحت دو مؤلفه مختلف شتاب‌نگاشت تحلیل کردند. Li و همکاران (۲۰۱۱) یک مدل اصلاحی جدید برای ارزیابی اثرات اندرکنش خاک و سازه در سازه‌های جداسازی شده پایه ارائه دادند. Mahmoud و همکاران (۲۰۱۲) در مقاله‌ای، پاسخ ساختمان‌های جداسازی شده تحت تحریکات زلزله را با در نظر گرفتن انعطاف‌پذیری خاک، شبیه‌سازی کردند و نتیجه گرفتند که انعطاف‌پذیری خاک، تأثیر قابل‌توجهی بر رفتار ساختمان جداسازی شده خواهد داشت.

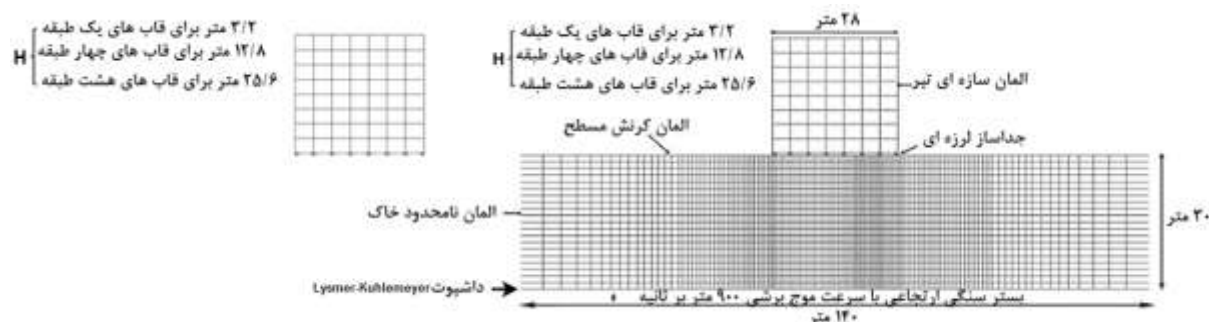
Tsai و همکاران (۲۰۱۳) اثرات اندرکنش خاک و سازه و مودهای بالاتر را بر پاسخ دینامیکی ساختمان‌های جداسازی شده از طریق راه‌حل‌های فرم بسته برای روسازه، سیستم جداساز و سیستم خاک تحت شرایط مختلف، شامل موارد فونداسیون نیم-فضا و صلب مورد بررسی قرار دادند. Luco (۲۰۱۴) اثرات اندرکنش خاک سازه را بر روی عملکرد سیستم‌های جداساز لرزه‌ای غیرخطی برای یک سازه الاستیک ساده مورد بررسی قرار داد.

Ismail (۲۰۱۵) جداساز لرزه‌ای غلطکی درون قفس (RNC) را برای کنترل ضربات داخلی در جداساز و تأثیر آن در کارایی مؤثر جداسازهای لرزه‌ای، تحت زلزله‌های حوزه نزدیک مورد بررسی قرار داد. در این نوع جداسازها، از غلطکی‌هایی با شکل‌های مختلف استفاده می‌شود که درون یک قفس فولادی قرار می‌گیرند. نقش این قفس‌ها کنترل و خنثی نمودن ضربات داخلی است که غلطک‌ها ممکن است در طول زلزله‌ها وارد کنند.

Krishnamoorthy و همکاران (۲۰۱۶) یک مدل عددی برای تحلیل لرزه‌ای سازه‌های جداسازی شده با سیستم پاندولی اصطکاکی با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه توسعه دادند. در این تحلیل خاک به صورت الاستیک پیوسته در نظر گرفته شده و با استفاده از روش المان محدود مدل‌سازی شده است.

Ripani و Castaldo (۲۰۱۶) به طراحی بهینه مشخصات جداسازهای اصطکاکی پاندولی برای سازه‌های جداسازی شده با در نظرگیری شرایط مختلف خاک پرداخته‌اند. Mazza و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی رفتار لرزه‌ای غیرخطی ساختمان‌های دارای انواع جداسازهای لرزه‌ای پایه تحت مؤلفه‌های افقی و قائم زلزله‌های حوزه نزدیک پرداختند و نتیجه گرفتند که جداسازهای پاندولی اصطکاکی دچار پیچش‌های جانبی، تغییر مکان‌های جانبی ماندگار و تغییر مکان‌های قائم (uplift) می‌شوند.

در این مطالعه، از جداسازهای لاستیکی سربی LRB استفاده می‌شود. برای تعیین مشخصات این جداسازهای لرزه‌ای، از نشریه شماره ۵۲۳ معاونت نظارت راهبردی تحت عنوان طراحی و اجزای سیستم‌های جداساز لرزه‌ای در ساختمان‌ها استفاده شده است.



شکل ۱- قاب‌های مورد مطالعه در حالت‌های با در نظر گرفتن خاک و بدون در نظر گرفتن آن

جدول ۱- مشخصات چهار نوع خاک مورد مطالعه برای چهار گروه مختلف خاک در آیین‌نامه ایران

خاک	$V_s (m/s)$	توصیف آیین‌نامه	ν	$G (N/m^2)$	$\gamma (Kg/m^3)$	$E (N/m^2)$
I	۱۴۰۰	سنگ‌های رسوبی سخت و مقاوم، سنگ‌های آذرین	۰/۳	4312×10^6	۲۲۰۰	$1,121 \times 10^{10}$
II	۶۰۰	سنگ‌های آذرین سست، سنگ‌های سست رسوبی و سنگ‌های دگرگونی متورق	۰/۳۵	792×10^6	۲۲۰۰	$2,184 \times 10^9$
III	۳۰۰	سنگ‌های متلاشی شده بر اثر هوازدگی، خاک‌های با تراکم متوسط	۰/۳۵	198×10^6	۲۲۰۰	$5,346 \times 10^8$
IV	۱۵۰	نهبشته‌های نرم با رطوبت زیاد	۰/۴	$49/5 \times 10^6$	۲۲۰۰	$1,386 \times 10^8$

جدول ۲- مشخصات مقاطع، زمان تناوب و سختی و میرایی جداساز قاب مورد مطالعه

مشخصات جداساز لرزه‌ای	پریود		ستون	تیر	ضریب میرایی (N.S/m)	سختی جداساز (N/m)
	قاب	جداساز شده				
یک طبقه	۱/۸۲	۰/۲۱	IPB ۱۸۰	IPB ۱۸۰	۶۲۸۳	۷۸۹۵۶
چهار طبقه	۲/۴۶	۰/۵۴	IPB ۲۸۰	IPB ۲۲۰	۲۷۹۲۵	۳۵۰۹۱۹
هشت طبقه	۲/۹۳	۱/۰۵	IPB ۳۴۰	IPB ۲۲۰	۵۵۴۱۷	۶۹۶۳۹۹

$$K_{eff} = \frac{W}{g} \left(\frac{2\pi}{T_{iso}} \right)^2 \quad (1)$$

$$C = 2\xi \sqrt{MK_{eff}} \quad (2)$$

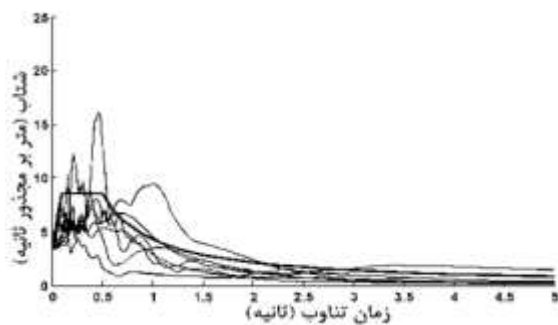
۳- رکوردهای زلزله

برای انجام تحلیل‌های تاریخچه زمانی از هفت رکورد زلزله حوزه نزدیک گسل و هفت زلزله حوزه دور از گسل و از نوع خاک-های A و B با سرعت موج برشی بیشتر از ۳۵۰ متر بر ثانیه استفاده

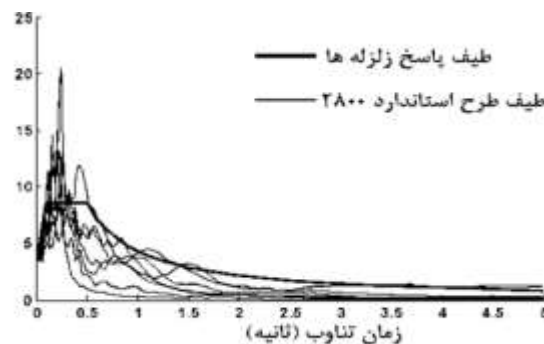
همچنین شایان ذکر است که در ابتدا قاب‌ها بدون جداسازهای لرزه‌ای طراحی شده و سپس جداسازهای لرزه‌ای در زیر آن‌ها برای مقایسه‌ای منطقی قرار داده شده‌اند. سختی و میرایی مؤثر جداسازها، طبق نشریه ۵۲۳ سازمان مدیریت، با استفاده از رابطه (۱) و (۲) محاسبه شده است. که در این روابط W و M به ترتیب وزن و جرم کل سازه، T_{iso} زمان تناوب سیستم جداسازی و ξ نسبت میرایی تراز جداسازی هستند.

با توجه به در نظر گرفتن قاب‌های دوبعدی تنها یک مؤلفه از رکوردهای زلزله در نظر گرفته شده است. در شکل (۲) طیف پاسخ شبه شتاب رکوردهای زلزله به همراه میانگین طیف پاسخ آن‌ها نشان داده شده است. از این شکل مشخص است که به دلیل تفاوت در پالس سرعت رکوردهای حوزه نزدیک با دور، طیف پاسخ زلزله‌های متفاوتی بین زلزله‌های حوزه نزدیک و دور، به خصوص در زمان تناوب‌های طولانی‌تر، وجود دارد.

شده است. مهم‌ترین دلیل انتخاب رکوردهای زلزله از نوع خاک-های A و B این بود که قاب‌های پایه ثابت براساس طیف طراحی خاک‌های نوع سفت طراحی شده بودند. مشخصات این رکوردها در جدول (۳) داده شده است. با توجه به این که طیف وسیعی از قاب‌ها با زمان تناوب‌های مختلفی در نظر گرفته شده و همچنین برای مقایسه‌ای منطقی‌تر، رکوردهای زلزله برای شدت $0.35g$ که بیشینه شتاب طیف طرح می‌باشد، مقیاس‌بندی شده‌اند. همچنین،



(ب)



(الف)

شکل ۲- طیف پاسخ شبه شتاب رکوردهای حوزه نزدیک و حوزه دور از گسل برای شدت $0.35g$: (الف) زلزله‌های حوزه دور، (ب) زلزله‌های حوزه نزدیک

جدول ۳- مشخصات زمین‌لرزه‌های حوزه نزدیک

زلزله	ایستگاه	نوع خاک	بزرگا	فاصله (کیلومتر)	PGA (g)	نوع گسل
Northridge	Pacoima Dam	A	۶/۷	۴/۹۲	۱/۲۸۵	نزدیک گسل
San Fernando	Pacoima Dam	A	۶/۶	۱/۸۱	۱/۲۱۹	نزدیک گسل
Loma Prieta	Los Gotoz	A	۶/۹	۳/۲۲	۰/۴۴۳	نزدیک گسل
Kobe	Nishi-Akashi	B	۶/۹	۷/۰۸	۰/۴۸۳	نزدیک گسل
Kocaeli	Gebze	B	۷/۵۱	۷/۵۷	۰/۲۶۱	نزدیک گسل
Cape Mendocino	Cape Mendocino	B	۷/۰۱	۰/۰	۱/۰۳۹	نزدیک گسل
Coyote Lake	Gilroy Array	A	۵/۷	۳/۱	۰/۴۲۲	نزدیک گسل

جدول ۴- مشخصات زمین‌لرزه‌های حوزه دور

زلزله	ایستگاه	نوع خاک	بزرگا	فاصله (کیلومتر)	PGA (g)	نوع گسل
Northridge	LA - Wonderland	B	۶/۷	۱۸/۵۳	۰/۱۵۹	دور از گسل
San Fernando	Pasadena-old	B	۶/۶	۲۱/۵	۰/۲۰۵	دور از گسل
Loma Prieta	Gilroy Array	A	۶/۹	۱۷/۹۲	۰/۱۷۱	دور از گسل
Kobe	Chihaya	B	۶/۹	۲۶/۵۱	۰/۱۱	دور از گسل
Kocaeli	Istanbul	B	۷/۵۱	۲۰/۴۴	۰/۰۶	دور از گسل
Cape Mendocino	Shelter Cove	B	۷/۰۱	۴۹/۹۱	۰/۲۲۹	دور از گسل
Coyote Lake	SJB Overpass	B	۵/۷	۴۹/۶۶	۰/۱۱۶	دور از گسل

۴- مدل‌سازی

برای مدل‌سازی عددی مدل‌ها از نرم‌افزار اجزاء محدود آباکوس استفاده می‌شود. در این مدل‌سازی، اعضای تیرها و ستون‌ها به وسیله المان خطی تیر (B21) استفاده شده است. برای تعریف

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5000 & 0 \\ 0 & 5000 \end{bmatrix} \quad (۳)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 6808888 + 158000 & -6808888 \\ -6808888 & 6808888 \end{bmatrix} \quad (۴)$$

فرکانس زاویه‌ای با استفاده از معادله زیر تعیین می‌گردد:

$$([K] - \omega^2[M])\{\varphi\} = 0 \quad (۵)$$

$$\omega_1 = 3.96 \frac{rad}{s} \text{ and } \omega_2 = 52.33 \frac{rad}{s} \quad (۶)$$

$$[\varphi] = \begin{bmatrix} 0.988 & 1 \\ 1 & -0.988 \end{bmatrix} \quad (۷)$$

تحت تحلیل مودال، معادلات حرکت دینامیکی برای دو مود اول به صورت زیر تعیین می‌گردد:

$$\ddot{x}_1 + 1.58 \dot{x}_1 + 15.7 x_1 = -1.005 \ddot{x}_g \quad (۸)$$

$$\ddot{x}_2 + 1.58 \dot{x}_2 + 15.7 x_2 = -0.006 \ddot{x}_g \quad (۹)$$

می‌توان دید که تأثیر مود اول بسیار ناچیز است. براساس انتگرال دوهمال^{۱۱}، x_1 به صورت زیر نشان داده می‌شود:

$$x_1 = \frac{-F_1}{\omega_1} \int_0^t \ddot{x}_g(\tau) \times e^{-\beta_1 \omega_1(t-\tau)} \sin \omega_1(t-\tau) d\tau \quad (۱۰)$$

با فرض $\ddot{x}_g = 0.35g \sin(20t)$:

$$x_1 = \frac{-1.005}{3.96} \int_0^t \ddot{x}_g(\tau) \times e^{0.2 \times 0.396} \times \sin 3.96(t-\tau) d\tau \quad (۱۱)$$

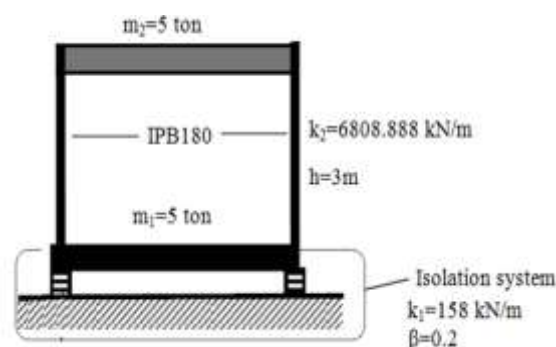
همچنین به کمک نرم‌افزار ABAQUS، یک قاب فولادی جداسازی شده دو بعدی با استفاده از المان‌های تیر مدل‌سازی شده است. جداسازها نیز توسط قیدهای کارترین شبیه‌سازی شده‌اند (شکل (۴)).

فولاد از مدل الاستوپلاستیک^۷ غیرخطی با سخت‌شوندگی ترکیبی ایزوتروپیک^۸ و پارامتریک استفاده شد. همچنین برای در نظر گرفتن فونداسیون، از یک تیر صلب (با سختی خمشی سه برابر حالت اولیه) استفاده شد.

با توجه به نیمه بی‌نهایت بودن خاک، انرژی وارده به مدل می‌بایستی از طریق مرزها خارج شود (میرایی هندسی). با توجه به این‌که روش‌های مختلفی برای اعمال مرز جاذب انرژی وجود دارد، در این مطالعه از المان‌های نامحدود برای تعریف محیط نیمه بی‌نهایت خاک بهره گرفته شد. همچنین در انتهای پروفیل خاک، بستر سنگی الاستیک با سرعت موج برشی ۹۰۰ متر بر ثانیه در نظر گرفته می‌شود. با توجه به این‌که پروفیل خاک به صورت ارتجاعی در نظر گرفته شده است، برای هر نوع خاک از سرعت موج برشی متوسط داده شده در جدول (۱) استفاده می‌شود. برای مش‌بندی ناحیه محدود خاک که دارای ۱۴۰ متر پهنا و ۳۰ متر عمق است، از المان‌های کرنش مسطح جامد (CINPE4) استفاده شده و از المان‌های نامحدود جامد (CINPE4) برای شبیه‌سازی ناحیه نامحدود خاک استفاده شده است.

۵- صحت‌سنجی مدل‌سازی

برای راستی آزمایشی فرضیات مدل‌سازی قاب‌های فولادی جداسازی شده پایه، یک قاب یک طبقه با جداساز لرزه‌ای در نظر گرفته شد (شکل (۳)). نتایج تحلیل مودال^۹ این قاب تحت بار هارمونیک^{۱۰} سینوسی به وسیله نرم‌افزار آباکوس و روابط تحلیلی محاسبه شده و با هم مقایسه شدند.



شکل ۳- هندسه و خصوصیات قاب

ماتریس‌های جرم و سختی در تحلیل مودال به صورت زیر توصیف می‌گردند. نقش جداساز لرزه‌ای با سختی k_1 در معادله (۴) در نظر گرفته شده است. همچنین این مشخصات در نرم‌افزار آباکوس با قیدهای کارترین در نظر گرفته شده‌اند.

10. Harmonic Load
11. Duhamel's integral

7. Elasto-Plastic
8. Isotropic
9. Modal Analysis

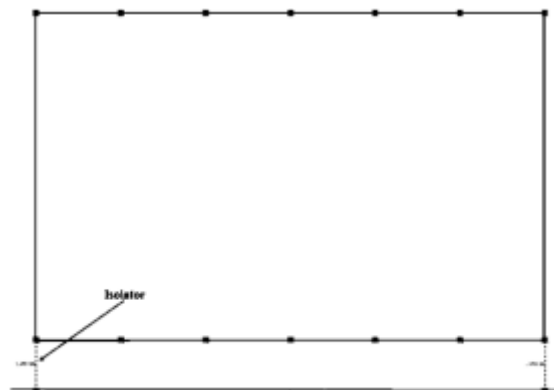
پیدا می‌کند. این کاهش و افزایش، معمولاً در محدوده ۳۰ درصد است.

در شکل (۷) نسبت شتاب پایه در تراز جداسازی (ABI) به بیشینه شتاب زمین (AG) برای حالت با و بدون اندرکنش خاک و سازه نشان داده شده است. از این شکل می‌توان فهمید نسبت شتاب پایه تحت زلزله‌های حوزه نزدیک تا حدود ۳۰ درصد بیشتر از زلزله‌های حوزه دور است. در مجموع نتایج شتاب طبقات و شتاب پایه نشان می‌دهند که در قاب‌های با تعداد طبقات بالاتر و احداث شده در خاک‌های نرم، استفاده از جداساز لرزه‌ای پایه تحت زلزله‌های نزدیک گسل، نیاز به دقت نظر بیشتری دارد.

۶-۲- تغییرمکان جانبی طبقات و پایه

در شکل (۸) تغییرمکان جانبی طبقات نسبت به تراز پایه فونداسیون برای قاب‌های مختلف نشان داده شده است. در اینجا، منظور از تراز صفر ارتفاعی، تراز پایین جداسازهای لرزه‌ای و یا پایه فونداسیون است که در آن تغییرمکان نسبی برابر است با صفر. طبق این شکل، برای قاب‌های پایه ثابت، تغییرمکان جانبی طبقات، با در نظرگیری اندرکنش خاک و سازه افزایش پیدا می‌کند. برای قاب‌های با جداساز لرزه‌ای پایه، در نظرگیری اندرکنش خاک و سازه، تأثیر چندان زیادی بر روی نتایج تغییرمکان جانبی طبقات مدل‌های ۱ و ۴ طبقه ندارد. لیکن با افزایش تعداد طبقات به ۸ طبقه در قاب‌های با جداساز لرزه‌ای پایه، تأثیر اندرکنش خاک و سازه بر روی نتایج تغییرمکان طبقات قابل توجه است. برای مثال حداکثر تغییرمکان طبقات در قاب ۸ طبقه جداسازی شده برای خاک نوع D و تحت زلزله‌های حوزه نزدیک، تا حدود ۸۰ درصد بیشتر از حالت بدون در نظرگیری اندرکنش خاک و سازه است. این نتایج نشان می‌دهند که استفاده از جداساز لرزه‌ای پایه، با افزایش تعداد طبقات و در نظرگیری اندرکنش خاک و سازه، چه تحت زلزله‌های حوزه دور و چه تحت زلزله‌های حوزه نزدیک، چندان مطلوب به نظر نمی‌رسد.

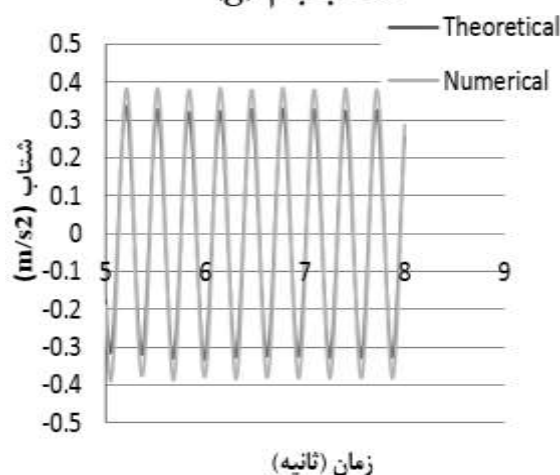
در شکل (۹) حداکثر تغییرمکان پایه قاب‌های با جداساز لرزه‌ای به‌ازای خاک‌های مختلف نشان داده شده است. به‌طور کلی می‌توان مشاهده کرد که تغییرمکان پایه قاب‌ها تحت زلزله‌های حوزه نزدیک در تمام موارد بیشتر از موارد تحت زلزله‌های حوزه دور است. همچنین می‌توان گفت در نظرگیری اندرکنش خاک و سازه برای مدل‌های یک و چهار طبقه، تأثیر زیادی بر روی نتایج تغییرمکان پایه قاب‌ها ندارد. لیکن، برای مدل‌های هشت طبقه، در خاک‌های نرم‌تر، حداکثر تغییرمکان پایه قاب‌ها در تراز جداساز لرزه‌ای نسبت به حالت بدون در نظرگیری اندرکنش خاک و سازه بیشتر می‌شود. به‌طور مشخص، تحت زلزله‌های حوزه نزدیک، قاب هشت طبقه با خاک نوع D دارای حداکثر تغییرمکان پایه تا حدود



شکل ۴- شبیه‌سازی عددی

در اولین تحلیل مودال فرکانس‌های $\omega_1 = 3.84 \frac{rad}{s}$ و $\omega_2 = 49.2 \frac{rad}{s}$ به دست می‌آید. پاسخ قاب‌ها تحت دو حالت تحلیل مودال و نرم‌افزار ABAQUS در شکل (۵) آمده است. تطابق نتایج عددی و تئوری در شکل (۵) به‌خوبی پیداست.

شتاب بام (g)



شکل ۵- سقف شتاب (m/s²)

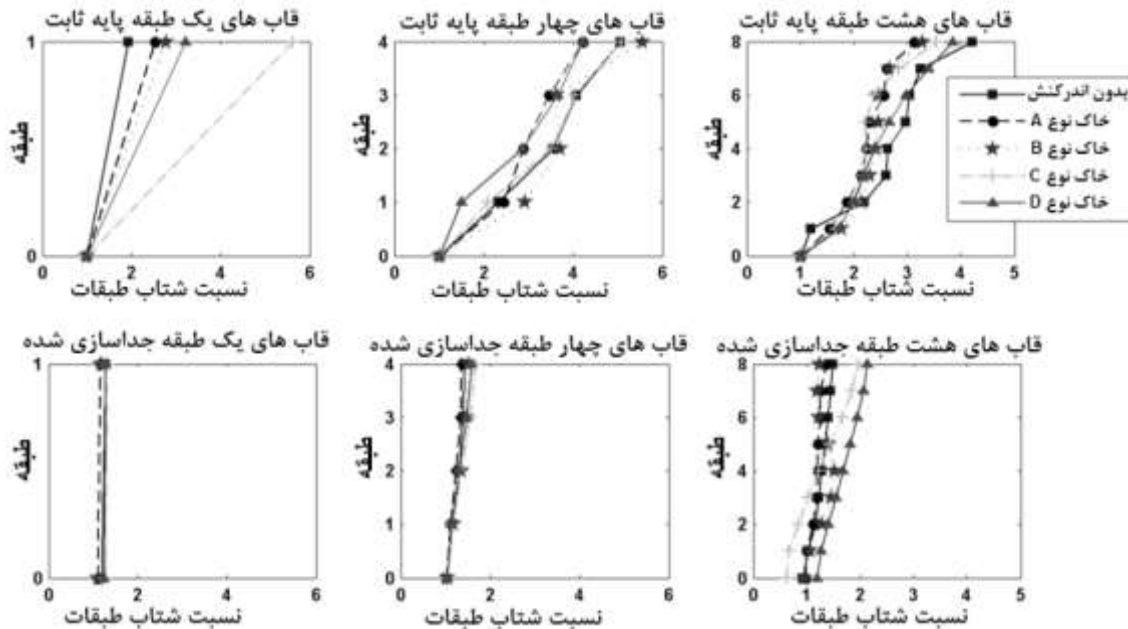
۶- بررسی نتایج

۶-۱- شتاب طبقات و پایه

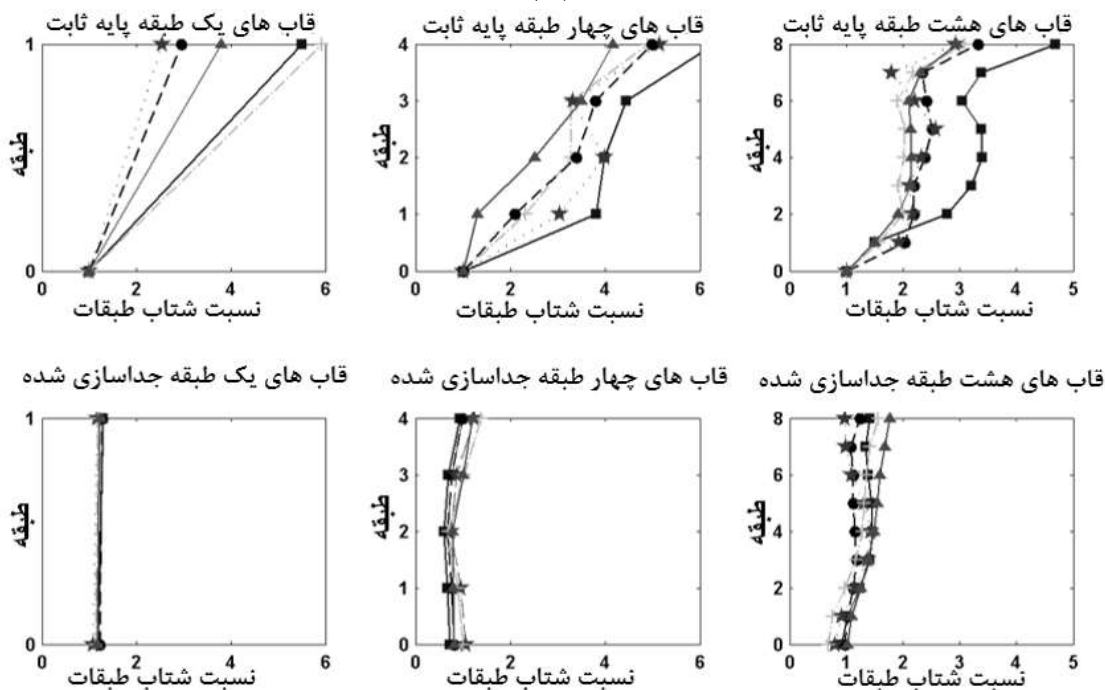
در شکل (۶) نسبت شتاب طبقات به بیشینه شتاب زمین که با ضریب شتاب طبقات بیان شده است، برای قاب‌های مختلف در حالت با و بدون اندرکنش خاک و سازه نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، تعبیه جداساز پایه سبب می‌شود زمان تناوب اصلی قاب افزایش و شتاب طبقات به شدت کاهش یابد. این کاهش تا حدود ۲۰ درصد حالت پایه ثابت و حتی کم‌تر نیز می‌رسد. این نسبت با در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه، برای قاب‌های با پایه ثابت، به‌خصوص برای طبقات بالاتر، کاهش پیدا می‌کند ولیکن برای قاب‌های دارای جداساز پایه، معمولاً افزایش

چهار طبقه، بسیار مطلوب می‌باشد، ولیکن با افزایش تعداد طبقات تا ۸ طبقه، استفاده از جداساز لرزه‌ای پایه بر روی خاک نرم چندان مطلوب نیست.

۴۰ درصد بیشتر از حالت بدون اندرکنش خاک و سازه است. طبق این نتایج، می‌توان دریافت که به‌مانند نتایج شتاب و تغییرمکان طبقات، استفاده از جداسازهای لرزه‌ای پایه در مدل‌های یک و



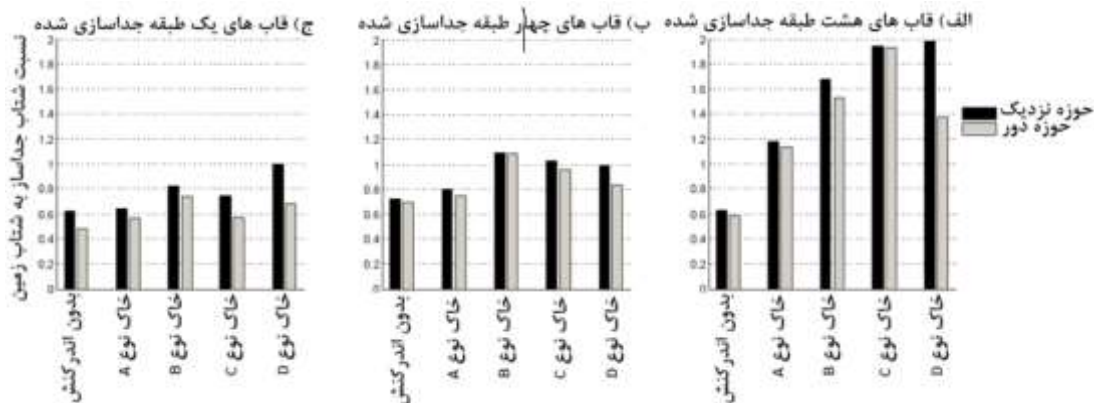
(الف)



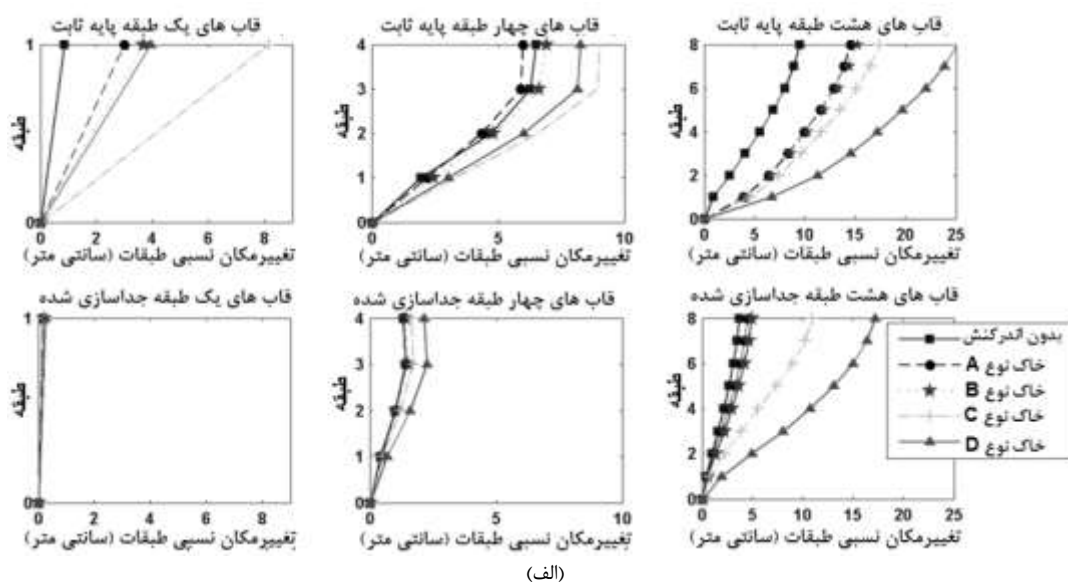
(ب)

شکل ۶- تغییرات نسبت ضرایب بزرگ‌نمایی شتاب طبقات به شتاب پایه تحت زلزله‌های حوزه نزدیک و دور:

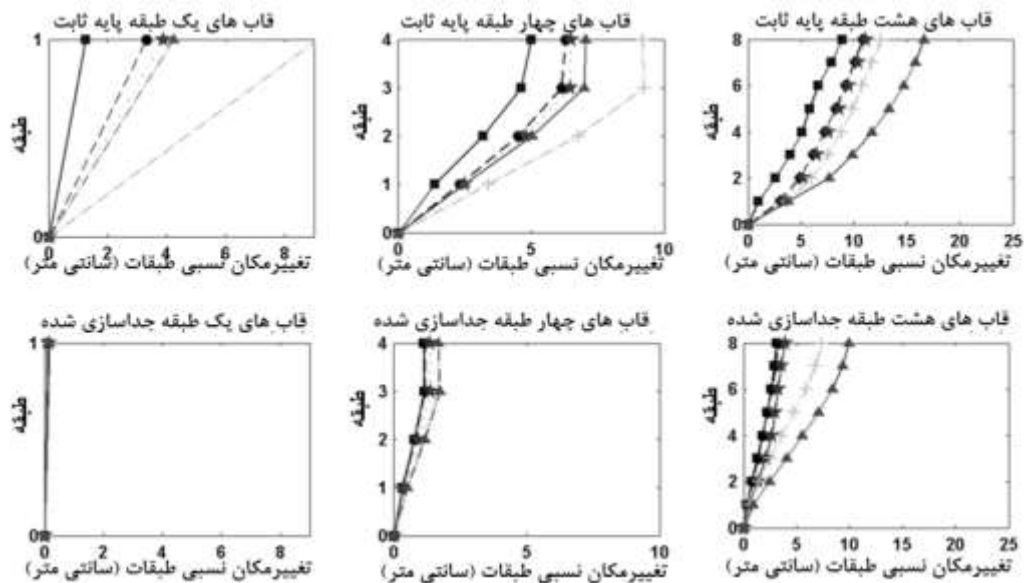
(الف) زلزله‌های حوزه نزدیک، (ب) زلزله‌های حوزه دور



شکل ۷- نسبت شتاب پایه به حداکثر شتاب زمین به‌ازای شرایط خاک مختلف

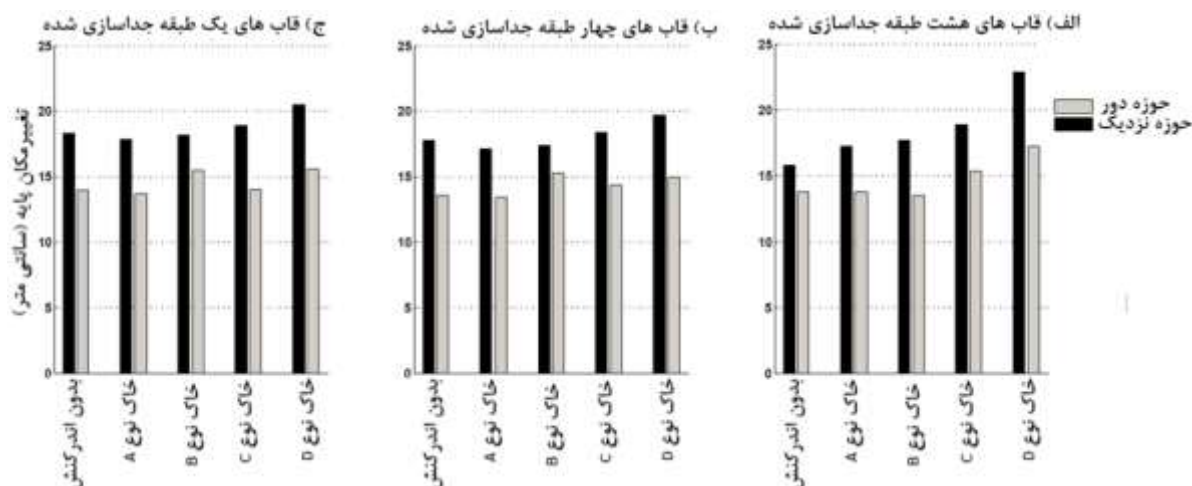


(الف)

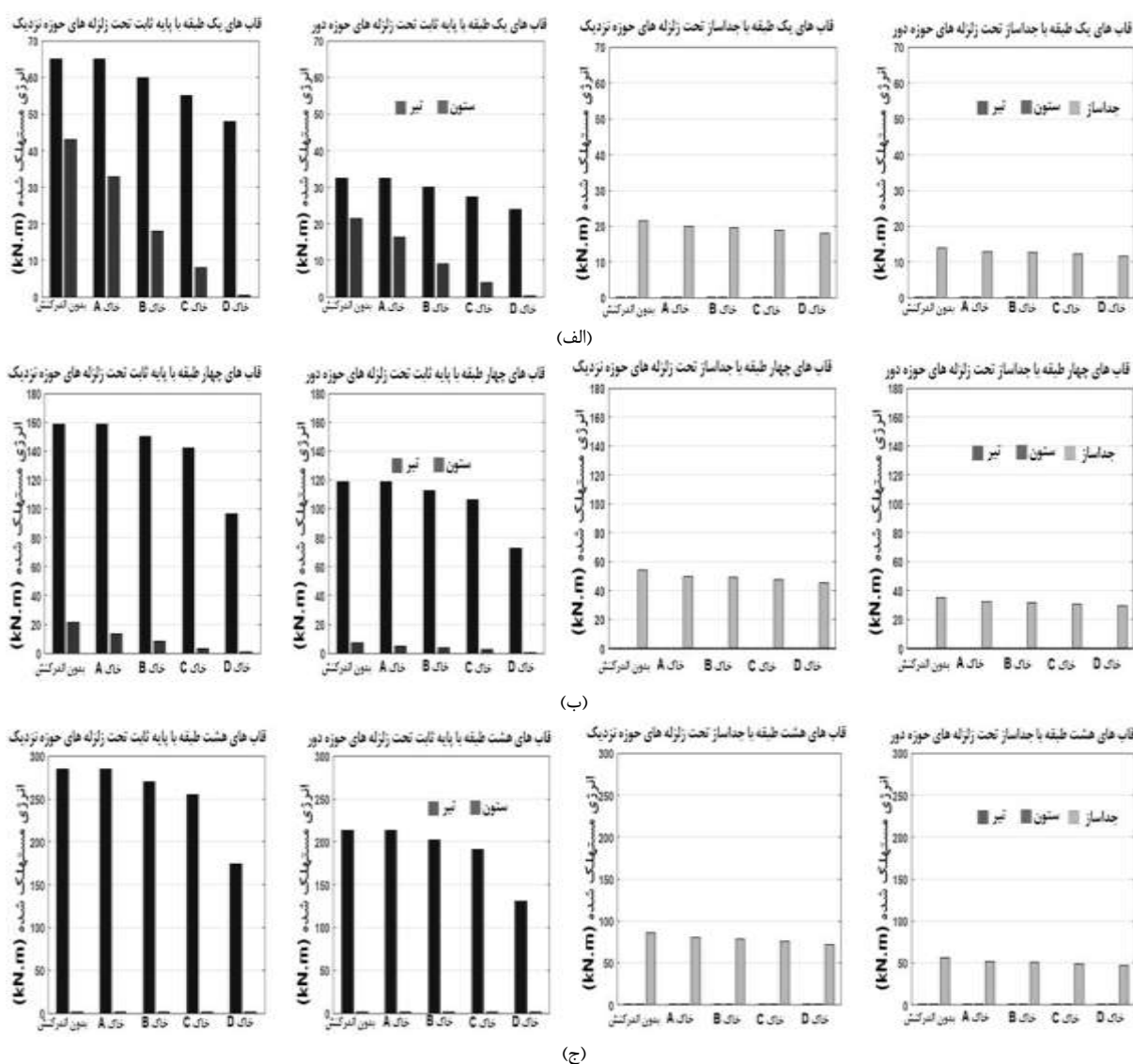


(ب)

شکل ۸- مقادیر تغییر مکان طبقات نسبت به تراز پایه برای قاب‌های جداسازی شده و بدون جداساز به‌ازای تغییرات نوع خاک تحت زلزله‌های حوزه نزدیک و دور: الف) زلزله‌های حوزه نزدیک، ب) زلزله‌های حوزه دور



شکل ۹- تغییرات تغییرمکان پایه در تراز جداساز به‌ازای تغییرات نوع خاک



شکل ۱۰- انرژی مستهلک‌شده در اعضای قاب

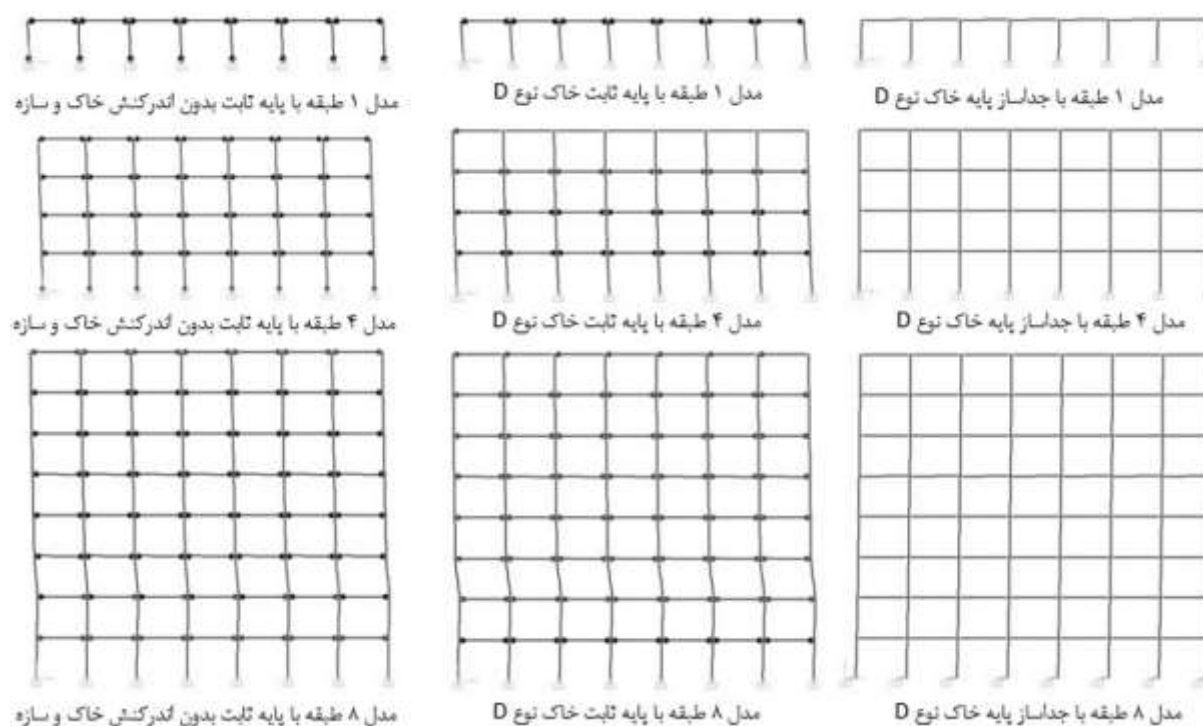
۳-۶- انرژی مستهلک شده در سازه

در شکل (۱۰) انرژی مستهلک شده در اعضای تیر، ستون و جداساز نشان داده شده است. طبق این شکل، در قاب‌های با پایه ثابت، انرژی مستهلک شده در قاب‌های تحت زلزله‌های حوزه نزدیک بیشتر از زلزله‌های حوزه دور است. برای قاب‌های یک طبقه با پایه ثابت بدون اندرکنش خاک و سازه، سهم انرژی مستهلک شده در تیرها حدود ۶۰ درصد و در ستون‌ها حدود ۴۰ درصد است. حال آن‌که با در نظرگیری اندرکنش خاک و سازه برای قاب‌های یک طبقه با پایه ثابت، انرژی مستهلک شده در ستون‌ها رفته‌رفته کم و کم‌تر شده به گونه‌ای که در خاک نوع D هیچ‌گونه انرژی مستهلک شده‌ای در ستون‌ها مشاهده نمی‌شود و تمام انرژی مستهلک شده در تیرها متمرکز است. برای قاب‌های چهار و هشت طبقه با پایه ثابت، بخش عمده انرژی مستهلک شده (تا ۸۰ درصد) در تیرها است و با در نظرگیری اندرکنش خاک و سازه، از شدت استهلاک انرژی در اعضای تیر و ستون کاسته می‌شود. با لحاظ نمودن اندرکنش خاک و سازه، شتاب و برش طبقات

نیز کاهش می‌یابد که پیامد آن کاهش خسارت به اعضای قاب است.

در قاب‌های جداسازی شده پایه، تمام استهلاک انرژی در جداسازهای لرزه‌ای متمرکز شده و اعضای اصلی بدون خسارت باقی می‌مانند. در این حالت، اندرکنش خاک و سازه تأثیر بسیار ناچیزی بر روی نتایج استهلاک انرژی دارد.

در شکل (۱۱) روند تشکیل مفصل پلاستیک مدل‌های یک، چهار و هشت طبقه را در خاک نوع D، نشان داده شده است. شایان ذکر است سایر حالات تقریباً شبیه این حالات است. در قاب‌های با پایه ثابت، تعداد مفصل پلاستیک بیشتری در اعضای تیر و همچنین پایه ستون‌ها تشکیل می‌شود. برای خاک نوع D، تمام مفاصل پلاستیک در تیرها و با شدت کم‌تری ایجاد شده‌اند. همچنین با وجود جداساز پایه، هیچ‌گونه مفصل پلاستیکی در اعضای اصلی قاب تشکیل نشده و این اعضا در حالت ارتجاعی باقی می‌مانند.



شکل ۱۱- روند تشکیل مفصل پلاستیک در اعضای قاب

۷- نتیجه‌گیری

در این مطالعه به تأثیر اندرکنش خاک و سازه بر روی رفتار لرزه‌ای قاب‌های با جداساز لرزه‌ای پایه تحت اثر زلزله‌های حوزه نزدیک و دور از گسل پرداخته شده است. قاب‌های موردبررسی در این مطالعه قاب‌های با پایه جداسازی شده در سه سطح ارتفاعی

یک، چهار و هشت طبقه بودند که با قاب‌های با پایه ثابت با استفاده از نرم‌افزار اجزاء محدود ABAQUS مدل و مقایسه شدند. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت:

- برای قاب‌های با جداساز لرزه‌ای پایه، در نظرگیری اندرکنش خاک و سازه، تأثیر چندان زیادی بر روی نتایج

- buildings under bidirectional excitation", *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 2017, 16 (2), 365-382.
- Buckle IG, Mayes RL, "Seismic isolation: history, application, and performance-a world view", *Earthquake spectra*, 1990, 6 (2), 161-201.
- Calio I, Greco A, Santini A, "A parametric study of sliding multistory buildings under harmonic excitations", In *Proceedings of the Eleventh European Conference on Earthquake Engineering*, 1998.
- Casciati S, Borja RI, "Dynamic FE analysis of South Memnon Colossus including 3D soil-foundation-structure interaction", *Computers and Structures*, 2004, 82 (20-21), 1719-1736.
- Castaldo P, Ripani M, "Optimal design of friction pendulum system properties for isolated structures considering different soil conditions", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2016, 90, 74-87.
- Cubrinovski M, Ishihara K, "Simplified method for analysis of piles undergoing lateral spreading in liquefied soils", *Soils and Foundations*, 2004, 44 (5), 119-133.
- Ding Y, Chen X, Li A, Zuo X, "A new isolation device using shape memory alloy and its application for long-span structures", *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 2011, 10 (2), 239-252.
- Garevski M, Gjorgiev I, Edip K, Sesov V, Cvetanovska J, "Effects of soil medium on response of base isolated multistory frame structures", In *15th World Conference on Earthquake Engineering*, Lisbon, Portugal, September, 2012,
- Goda K, Lee CS, Hong HP, "Lifecycle cost-benefit analysis of isolated buildings", *Structural Safety*, 2010, 32 (1), 52-63.
- Ismail M, "Inner pounding control of the RNC isolator and its impact on seismic isolation efficiency under near-fault earthquakes", *Engineering Structures*, 2015, 86, 99-121.
- Jangid RS, "Response of pure-friction sliding structures to bi-directional harmonic ground motion", *Engineering Structures*, 1997, 19 (2), 97-104.
- Jangid RS, Kelly JM, "Base isolation for near-fault motions", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 2001, 30 (5), 691-707.
- Jaya KP, Prasad AM, "Embedded foundation in layered soil under dynamic excitations", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2002, 22 (6), 485-498.
- Jia G, Shi Z, "A new seismic isolation system and its feasibility study", *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 2010, 9 (1), 75-82.
- Karapetrou ST, Fotopoulou SD, Pitilakis KD, "Seismic vulnerability assessment of high-rise non-ductile RC buildings considering soil-structure interaction effects", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2015, 73, 42-57.
- Kelly JM, "Earthquake-resistant design with rubber", Springer, New York, USA, 1993.
- Kelly JM, "Progress of applications and development in base isolation for civil and industrial structures in the United States", In *Proceedings of the International Post-SMIRT Conference Seminar*, 1999, 71-84.
- تغییر مکان جانبی طبقات مدل‌های یک و چهار طبقه ندارد ولیکن در قاب هشت طبقه خاک نرم حوزه نزدیک، تا حدود ۸۰ درصد بیشتر است.
- شتاب طبقات در سازه‌های دارای جداساز پایه، به شدت کاهش یابد و تا حدود ۲۰ درصد حالت پایه ثابت و حتی کم‌تر نیز می‌رسد.
 - لحاظ کردن اندرکنش خاک و سازه، برای قاب‌های با پایه ثابت، به خصوص برای طبقات بالاتر، سبب کاهش شتاب طبقات می‌شود و برای قاب‌های دارای جداساز پایه یک و چهار طبقه تأثیر چندانی نداشته ولیکن در قاب هشت طبقه معمولاً سبب افزایش تا حدود ۳۰ درصد آن می‌شود.
 - نسبت شتاب پایه تحت زلزله‌های حوزه نزدیک تا حدود ۳۰ درصد بیشتر از زلزله‌های حوزه دور است.
 - با توجه به نتایج شتاب و تغییر مکان طبقات می‌توان گفت استفاده از جداساز لرزه‌ای پایه، برای قاب‌های با تعداد طبقات بالاتر، مطلوب نیست.
 - با توجه به نتایج انرژی مستهلک‌شده، احتمال آسیب به اعضای اصلی تیر و ستون قاب با پایه ثابت زیاد است. در حالی که در قاب‌های دارای جداساز لرزه‌ای، اعضا بدون آسیب باقی می‌مانند و تمام انرژی توسط جداسازها، مستهلک می‌شود.
- ### ۸- مراجع
- استاندارد ۲۸۰۰، "آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله"، ویرایش چهارم، وزارت راه و شهرسازی، ۱۳۹۳.
- نشریه شماره ۵۲۳، "راهنمای طراحی و اجرای سیستم‌های جداساز لرزه‌ای در ساختمان‌ها"، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی، ۱۳۸۹.
- Alavi E, Alidoost M, "Soil-structure interaction effects on seismic behavior of base-isolated buildings", In *Proceedings of the 15th World Conference on Earthquake Engineering (15WCEE)*, Lisbon, Portugal Sep. 24 (24-28), 2012.
- Alhan C, Gazi H, Kurtulus H, "Significance of stiffening of high damping rubber bearings on the response of base-isolated buildings under near-fault earthquakes", *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2016, 79, 297-313.
- American Society of Civil Engineers (ASCE), "Minimum design loads for buildings and other structures", American Society of Civil Engineers, Virginia, USA, 2010.
- Behnamfar F, Sayyadpour H, "The near-field method: a modified equivalent linear method for dynamic soil-structure interaction analysis. Part I: Theory and methodology", *Bulletin of Earthquake Engineering*, 2016, 14 (8), 2361-2384.
- Bhagat S, Wijeyewickrema AC, "Seismic response evaluation of base-isolated reinforced concrete

- Naeim F, Kelly JM, "Design of seismic isolated structures: from theory to practice", John Wiley and Sons, 1999.
- Ozbulut OE, Bitaraf M, Hurlebaus S, "Adaptive control of base-isolated structures against near-field earthquakes using variable friction dampers", *Engineering Structures*, 2011, 33 (12), 3143-3154.
- Polycarpou PC, Komodromos P, "Earthquake-induced poundings of a seismically isolated building with adjacent structures", *Engineering Structures*, 2010, 32 (7), 1937-1951.
- Rayhani MH, El Nagggar MH, "Numerical modeling of seismic response of rigid foundation on soft soil", *International Journal of Geomechanics*, 2008, 8 (6), 336-346.
- Sharbatdar MK, Vaez SH, Amiri GG, Naderpour H, "Seismic response of base-isolated structures with LRB and FPS under near fault ground motions", *Procedia Engineering*, 2011, 14, 3245-3251.
- Sheikhi J, Fathi M, Rahnavard R, "Natural rubber bearing incorporated with high toughness steel ring dampers", *Structures*, 2020, 24, 107-123.
- Sheikhi J, Fathi M, Rahnavard R, Napolitano R, "Numerical analysis of natural rubber bearing equipped with steel and shape memory alloys dampers", *Structures*, 2021, 32, 1839-1855.
- Soyoz S, Cetin Ko, Sucuoglu H, "Effects of soil-structure interaction and base isolation on seismic performance of foundation soils", 2007.
- Spyrakos CC, Koutromanos IA, Maniatakis CA, "Seismic response of base-isolated buildings including soil-structure interaction", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2009, 29 (4), 658-668.
- Spyrakos CC, Maniatakis CA, Koutromanos IA, "Soil-structure interaction effects on base-isolated buildings founded on soil stratum", *Engineering Structures*, 2009, 31 (3), 729-737.
- Tsai CS, Su HC, "Investigation of soil-structure interaction and higher-mode effects on dynamic response of base-isolated structure founded on half space1", In *Pressure Vessels and Piping Conference (Vol. 55744, p. V008T08A009)*, American Society of Mechanical Engineers, 2013.
- Tsai CS, Su HC, "Role of soil-structure interaction in base-isolated structures founded on soil stratum overlying half space", In *Pressure Vessels and Piping Conference, Vol. 55744, V008T08A010*, American Society of Mechanical Engineers, 2013.
- Veletsos AS, Verbič B, "Vibration of viscoelastic foundations", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 1973, 2 (1), 87-102.
- Wolf JP, "Spring-dashpot-mass models for foundation vibrations", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 1997, 26 (9), 931-949.
- Zhao C, Valliappan S, Wang YC, "A numerical model for wave scattering problems in infinite media due to p-and sv-wave incidences", *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 1992, 33 (8), 1661-1682.
- Kelly JM, "Seismic isolation as an innovative approach for the protection of engineered structures", In 11th European Conference on Earthquake Engineering, 1998, 338.
- Komodromos P, "Simulation of the earthquake-induced pounding of seismically isolated buildings", *Computers & Structures*, 2008, 86 (7-8), 618-626.
- Li CP, Liu WQ, Wang SG, Du DS, "Analysis of soil-structure interaction (SSI) effects on seismic response of base-isolated structures", In *Advanced Materials Research*, 2011, 163, 4199-4207.
- Lu LY, Lin GL, Shih MH, "An experimental study on a generalized Maxwell model for nonlinear viscoelastic dampers used in seismic isolation", *Engineering Structures*, 2012, 34, 111-123.
- Luco JE, "Effects of soil-structure interaction on seismic base isolation", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2014, 66, 167-177.
- Lysmer J, Kuhlemeyer RL, "Finite dynamic model for infinite media", *Journal of the Engineering Mechanics Division*, 1969, 95 (4), 859-877.
- Mahmoud S, Austrell PE, Jankowski R, "Non-linear behaviour of base-isolated building supported on flexible soil under damaging earthquakes", In *Key Engineering Materials*, 2012, 488, 142-145.
- Manna B, Baidya DK, "Dynamic nonlinear response of pile foundations under vertical vibration-Theory versus experiment", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2010, 30 (6), 456-469.
- Manolis GD, Markou A, "A distributed mass structural system for soil-structure-interaction and base isolation studies", *Archive of Applied Mechanics*, 2012, 82 (10), 1513-1529.
- Mavronicola E, Komodromos P, "Assessing the suitability of equivalent linear elastic analysis of seismically isolated multi-storey buildings", *Computers and structures*, 2011, 89 (21-22), 1920-1931.
- Mazza F, "Lateral-torsional response of base-isolated buildings with curved surface sliding system subjected to near-fault earthquakes", *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2017, 92, 64-85.
- Mazza F, Mazza M, "Nonlinear seismic analysis of irregular rc framed buildings base-isolated with friction pendulum system under near-fault excitations", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2016, 90, 299-312.
- Mazza F, Vulcano A, "Effects of near-fault ground motions on the nonlinear dynamic response of base-isolated rc framed buildings", *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 2012, 41 (2), 211-232.
- Mazza F, Vulcano A, Mazza M, "Nonlinear dynamic response of RC buildings with different base isolation systems subjected to horizontal and vertical components of near-fault ground motions", *The Open Construction and Building Technology Journal*, 2012, 6 (1), 373-383.
- Minasidis G, Hatzigeorgiou GD, Beskos DE, "SSI in steel frames subjected to near-fault earthquakes", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2014, 66, 56-68.

EXTENDED ABSTRACT

Study of Seismic Behavior of Base-Isolated Buildings under Near and Far-Field Earthquakes by Considering the Soil-Structure Interaction

Maryam Rashidi, Mojtaba Fathi *, Afshin Naserpour

Department of Civil Engineering, Engineering Faculty, Razi University, Kermanshah, Iran

Received: 24 August 2021; **Review:** 22 November 2021; **Accepted:** 04 December 2021

Keywords:

Seismic isolation, Soil-structure interaction, Soft soil, Near field, Floor acceleration, Floor displacement.

1. Introduction

The present paper investigates the effect of soil-structure interaction on the seismic behavior of base-isolated frames under near and far-fault earthquakes. For this purpose, the nonlinear time history results of 1, 4 and 8-story base-isolated frames are compared with corresponding fixed base ones. ABAQUS finite element software is used for numerical modeling on which time history analyzes are performed.

2. Methodology

2.1. Studied models and analyses

The studied models are moment-resisting steel frames of 1, 4 and 8 stories. These frames are placed on different soil types and are considered as fixed base or base-isolated. To perform time history analysis on the study models, seven near-fault and far-fault earthquake records are used.

2.2. FE modeling

For numerical modeling, ABAQUS finite element software is used. In this modeling, the beam and column members are simulated by the linear beam element (B21). To define steel material, nonlinear elastoplastic model with combined isotropic and kinematic hardening is assigned. Also a rigid beam is used to consider the foundation.

Due to the semi-infinity of the soil, the energy applied to the model must be dissipated through the boundaries (geometric damping). To this end, infinite elements are used to define the semi-infinite soil environment and an elastic rock bed with a shear wave velocity of 900 m/s is taken into account at the bottom of the soil (Wolf, 1997; Minasidis, 2014; Karapetrou, 2015).

3. Results and discussion

3.1. Acceleration results

Fig. 1 shows the ratio of base acceleration at isolator level (ABI) to maximum ground acceleration (AG) for frames with and without soil-structure interaction. From this figure, it can be seen that the base acceleration ratio of frames for near-fault earthquakes is up to about 30% higher than that for far-fault ones. Also, the base

* Corresponding Author

E-mail addresses: rashidi6889@gmail.com (Maryam Rashidi), fathim@razi.ac.ir (Mojtaba Fathi), naserpour.afshin@gmail.com (Afshin Naserpour).

acceleration ratio reveals that in frames with a higher number of stories and located on soft soils, the use of base isolator requires more attention, especially for near-fault earthquakes.

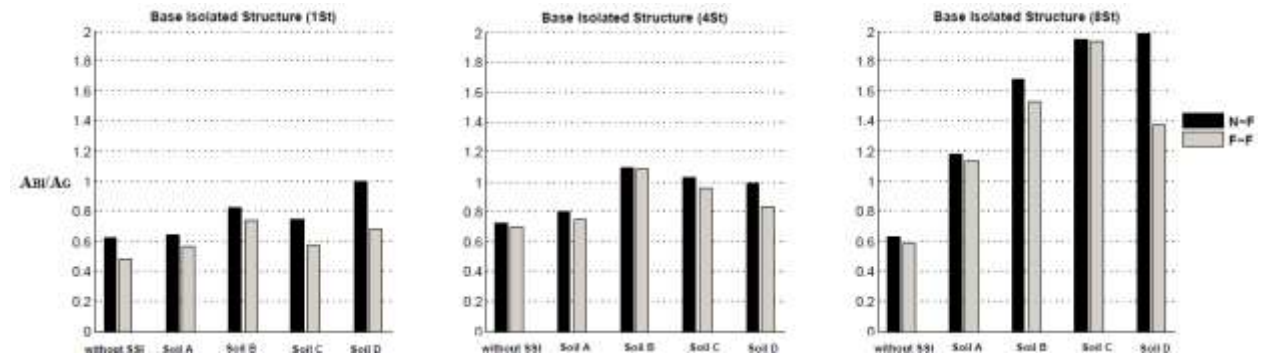


Fig. 1. Base acceleration ratio of studied models subjected to near and far-fault earthquakes

3.2. Base displacement results

Fig. 2 illustrates the maximum base displacement results of base-isolated frames for different soil types. In general, it can be seen that for all cases, the base displacement of the frames under near-fault earthquakes is higher than that under distant-fault earthquakes. It can also be observed that for 1- and 4-story models, considering soil-structure interaction does not have much effect on the base displacement results. However, for base-isolated 8-story models located on softer soils, the maximum base displacement is increased as compared to the frame without considering the soil-structure interaction.

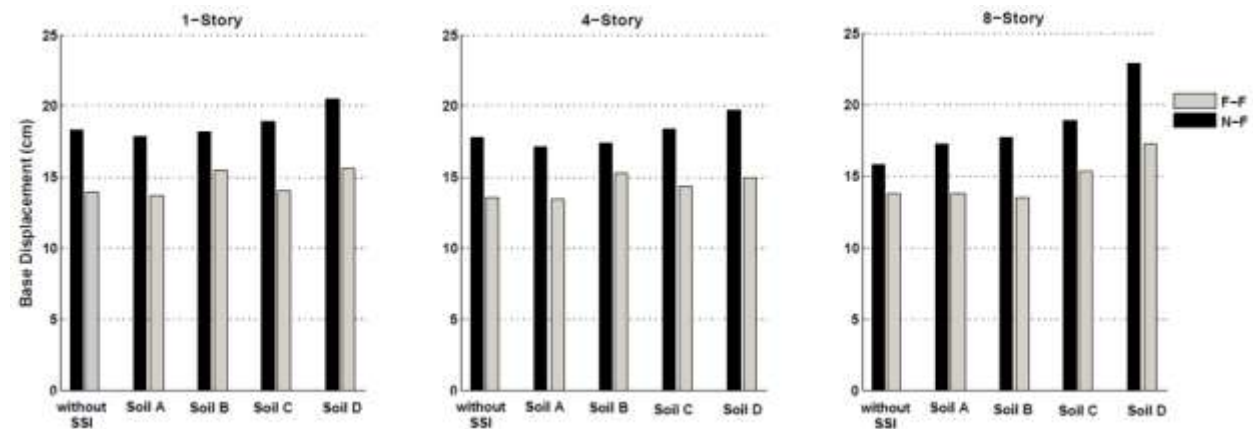


Fig. 2. Base displacement results of the base-isolated frames subjected near and far-fault earthquakes

4. Conclusions

The present study investigated the effect of soil-structure interaction on base-isolated frames under near- and far-fault earthquakes. According to the results, it can be obtained that the use of base isolator for 1- and 4-story frames is suitable for all cases. However, for 8-story frames located on soft soil and subjected to near-fault earthquakes, the use of a base isolator is not very useful.

5. References

- Wolf JP, "Spring-dashpot-mass models for foundation vibrations", *Earthquake engineering and structural dynamics*, 1997, 26 (9), 931-949.
- Minasidis G, Hatzigeorgiou GD, Beskos DE, "SSI in steel frames subjected to near-fault earthquakes", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 66, 56-68.
- Karapetrou ST, Fotopoulou SD, Ptilakis KD, "Seismic vulnerability assessment of high-rise non-ductile RC buildings considering soil-structure interaction effects", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 73, 42-57.