Archive of SID

رفتار دینامیکی سازه‌های جداسازی شده تحت اثر زلزله نزدیک گسل

محمود میناوند[۱]*، فرهاد نوروزیان[۲]

۱- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد صفادشت

۲- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

Minavad_m@yahoo.com

چکیده

سازه‌های جدا سازی شده واقع در نواحی نزدیک به گسل به دلیل پدیده تشدید ناشی از نزدیکی پریود آنها با پریود پالس‌های زلزله حوزه نزدیک عموماً رفتار دینامیکی نامطلوبی دارند و استفاده از آنها را به مخاطره می‌اندازد. برای این منظور در این مقاله ابتدا به بررسی اثر مولفه موازی و عمود بر گسل بر رفتار سازه‌های جداسازی شده در زلزله حوزه نزدیک پرداخته می‌شود. نتایج نشان می‌دهد بخش عمده‌ای از پاسخ جداگر مربوط به مولفه عمود بر گسل می‌باشد و مولفه موازی گسل از اهمیت کمی برخوردار می‌باشد. در بخش بعدی تاثیر خصوصیات زلزله حوزه نزدیک نظیر نسبت حداکثر سرعت به حداکثر شتاب، میزان انرژی ورودی و..... و همچنین تاثیر مشخصات سازه‌ای جداگرها نظیر میرایی، نسبت نیروی تسلیم جداگر به وزن سازه، سختی اولیه به سختی ثانویه جداگر و ... بر عملکرد سازه جداسازی شده مورد بررسی قرار گرفته است. نتیجه تحقیقات نشان می‌دهد برای پارامترهای ذکر شده مقادیر بهینه‌ای وجود دارد که پاسخ دینامیکی سیستم جداسازی شده به حداقل مقدار خود می‌رسند و این مقادیر بهینه تعیین شده‌اند. برای مقایسه رفتار دینامیکی سازه‌های جداسازی شده و سازه‌های جداسازی نشده، یک پل سه دهانه برای زلزله حوزه نزدیک و دور مورد مطالعه قرار گرفته است و مقادیر برش پایه و دیریفت با یکدیگر مقایسه شده است. مطابق نتایج مقایر پاسخ در زلزله حوزه نزدیک به مراتب بیشتر از زلزله حوزه دور می‌باشد. در بخش پایانی استفاده از سیستم‌های الحاقی به عنوان راهکاری مناسب برای کنترل رفتار نامطلوب سازه‌های جداسازی شده در زلزله حوزه نزدیک ارائه شده است. بر طبق نتایج با افزایش میرایی میراگر ویسکوز تغییر شکل‌های بزرگ جداساز و شتاب زیاد طبقات در زلزله حوزه نزدیک به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد.

واژگان کلیدی: زلزله حوزه نزدیک، جداسازی لرزه‌ای، تشدید، پالس پریود بلند، میراگر الحاقی ویسکوز

۱- مقدمه

خصوصیات زلزله حوزه نزدیک به لحاظ وجود پالس‌های سرعت در حدود $0.5m/\sec$ و پالس‌های تغییرمکان و سرعت در پریودهای بلند در حدود ۱ تا ۳ ثانیه، شتاب قائم زیاد، عدم استهلاک انرژی امواج زلزله و ... با خصوصیات زلزله حوزه دور تفاوت بسیار زیاد دارد. ساختمان‌های تحت زلزله حوزه نزدیک به لحاظ تکان‌های شدید بسیار آسیب پذیر هستند. در زلزله‌های گذشته خسارات شدیدی بر ساختمانهای واقع درنواحی نزدیک به گسل گزارش شده است. در آیین‌نامه‌های مختلف برای مقاصد طراحی اثر زلزله حوزه نزدیک توسط ضرایبی لحاظ می‌گردد.

یکی از راهکارهای کاهش خسارات ناشی از زلزله، کمینه‌سازی انرژی شدید ورودی به سازه از طریق تعبیه سیستم انعطاف‌پذیر در تراز پایه توسط انواع جداگرهای لرزه‌ای می‌باشد. در این راهکار با استفاده از سختی کم افقی جداگرها اولاً شیفت پریود از ناحیه

www.SID.ir

Archive of SID

شتاب زیاد طیف با پریودهای کوتاه به ناحیه با پریود بلند و شتاب کم صورت می‌گیرد. بنابراین از این طریق نیروی زلزله به مراتب کوچکتری به رو سازه اعمال می‌گردد. در این حالت رو سازه تقریبا صلب رفتار می‌نماید و تغییرشکل نسبی طبقات بسیار کاهش می‌یابد.

از آنجائیکه زلزله حوزه نزدیک دارای پالس‌هایی با پریود بلند در حدود پریود اصلی سازه‌های جداسازی شده می‌باشد. بنابراین باعث عملکرد نامطلوب این گونه سازه‌ها به دلیل پدیده تشدید می‌شود. علاوه بر آن اثر شتاب قائم رو به بالا در جداگرهای لرزه‌ای نیز آثار نامطلوبی در رفتار این گونه سازه‌ها به خصوص برای جداگرهای لغزشی و غلتشی ایجاد می‌نماید.

در این زمینه Bertero و Anderson وابستگی بین عرض پالس شتاب و پریود طبیعی سازه را مطالعه کردند. آنها دریافتند که چنانچه عرض پالس بزرگتر از پریود طبیعی سازه باشد خسارات زیادی ممکن است به سازه وارد شود. Hall یک زلزله با بزرگای ۷ ریشتری حوزه نزدیک را شبیه‌سازی کرد و دریافت که تقاضای ایجاد شده بوسیله جنبش زمین تحت حوزه نزدیک ممکن است بسیار بیشتر از ظرفیت ساختمان‌های بلند مرتبه یا جداسازی شده باشد.

Malhorta در زمینه خصوصیات پاسخ حرکت پالس گونه زمین در زلزله حوزه نزدیک مطالعه نمود و نشان داد زلزله با نسبت PGV/PGA زیاد، ناحیه حساس به شتاب عریضی در طیف پاسخ‌شان دارند و بنابراین برش پایه، دیریفت بین طبقات و تقاضای شکل‌پذیری ساختمان‌های بلند مرتبه و جداسازی شده را افزایش می‌دهد.

Chopraو Chintano Pakdee با مطالعه پاسخ سیستم یکدرجه آزاد تحت زلزله حوزه نزدیک و زلزله حوزه دور دریافتند که برای فاکتور شکل‌پذیری مشابه، زلزله حوزه نزدیک تقاضای بیشتری نسبت به حوزه دور دارند. Chaiو Loh سه نوع پالس سرعت برای تعیین فاکتور کاهش مقاومت سازه در نظر گرفتند. آنها دریافتند که تقاضای مقاومت به بازه زمانی پالس و همچنین به نسبت بازه زمانی پالس به پریود طبیعی سازه وابسته است.

Liao رفتار دینامیکی پایه‌های پل بتنی با پنج دهانه که تحت زلزله حوزه نزدیک و دور قرار گرفته است را مطالعه نمود و دریافت زلزله حوزه نزدیک تقاضای شکل‌پذیری و برش پایه بیشتری در مقایسه با زلزله حوزه دور ایجاد می‌نماید. Nakashima پاسخ قاب‌های خمشی فولادی که تحت زلزله حوزه نزدیک در ژاپن، تایوان و آمریکا قرار گرفته را مورد بررسی قرار داد و دریافت که بیشترین دیریفت طبقات برای همه زلزله‌های حوزه نزدیک ژاپن تایوان و آمریکا به یکدیگر شبیه هستند.

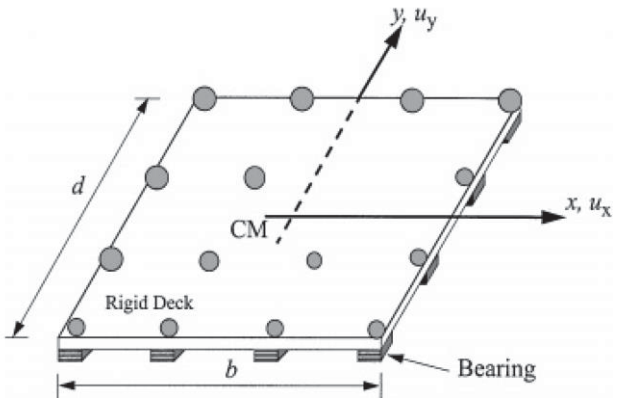
۲- اثر مولفه‌های عمود و موازی با گسل زلزله حوزه نزدیک بر سازه‌های جداسازی شده

پاسخ سازه جداسازی شده به مولفه عمود بر گسل بسیار بزرگتر از مولفه موازی با گسل می‌باشد. تغییرمکان حداکثر در راستای عمود بر گسل برای یک سیستم جداسازی شده غالب است و در زمان‌های متفاوت با تغییرمکان‌های حداکثر مولفه موازی با گسل رخ می‌دهد. بنابراین تغییرمکان طراحی برای سیستم جداسازی شده نبایستی با حداکثر تغییرمکان در راستای دیگر به صورت برداری جمع شوند. (2001.Jangid)

برای بررسی این موضوع از سیستم ایده‌آل صلب که بر روی جداگرهای با رفتار خطی که در شکل۱نشان داده شده است استفاده گردیده است. تغییرمکان مولفه عمود بر گسل سیستم صلب برابر u_x، تغییرمکان مولفه موازی با گسل برابر u_y، تغییرمکان برآیند دو مولفه عمود و موازی گسل برابر $u_R = \sqrt{u_x^2 + u_y^2}$ و برآیند مقادیر حداکثر دو مولفه عمود و موازی گسل برابر $u_m = \sqrt{u_{\max_x}^2 + u_{\max_Y}^2}$ در نظر گرفته شده است.

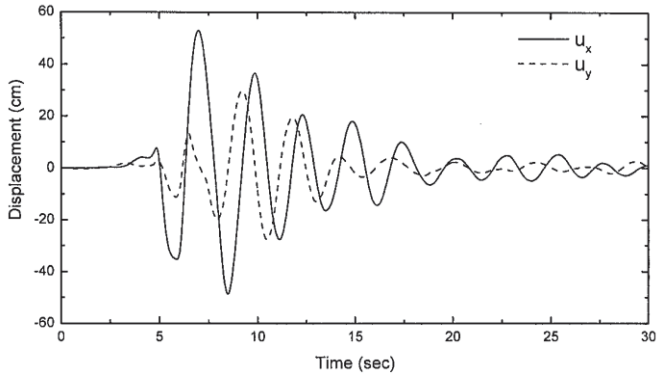
www.SID.ir

Archive of SID



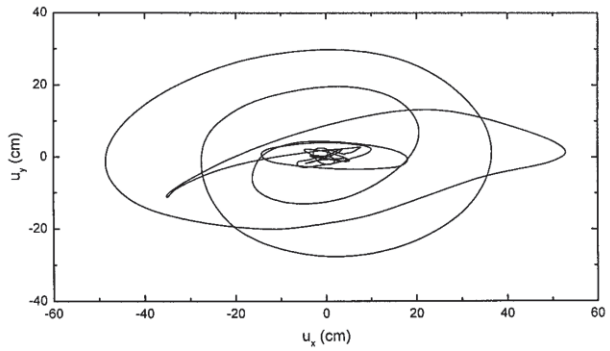
شکل۱: روسازه صلب قرار گرفته بر روی جداگرهای لرزه‌ای

در شکل ۲ مقادیر تغییرمکان در راستای عمود و موازی گسل زلزله حوزه نزدیک Imperial Valley نشان داده شده است، همانطور که مشاهده می‌شود، تغییرمکان حداکثر جداساز در راستای عمود بر گسل بیشتر از تغییرمکان متناظر ناشی از زلزله در راستای موازی با گسل می‌باشد.



شکل۲: تغییرات تغییرمکان جداساز مولفه عمود و موازی گسل در جنبش حوزه نزدیک Imperial Valley

علاوه بر آن همانطور که در شکل ۳ نشان داده شده است تغییرمکان حداکثر در هر راستا در زمانی اتفاق می‌افتد که مقدار تغییرمکان در راستای دیگر مقدار کوچکی را دارا است. این موضوع بیان کننده آن است که پاسخ سازه‌های جداسازی شده به مولفه‌های عمود و موازی با گسل غیر همبسته است.

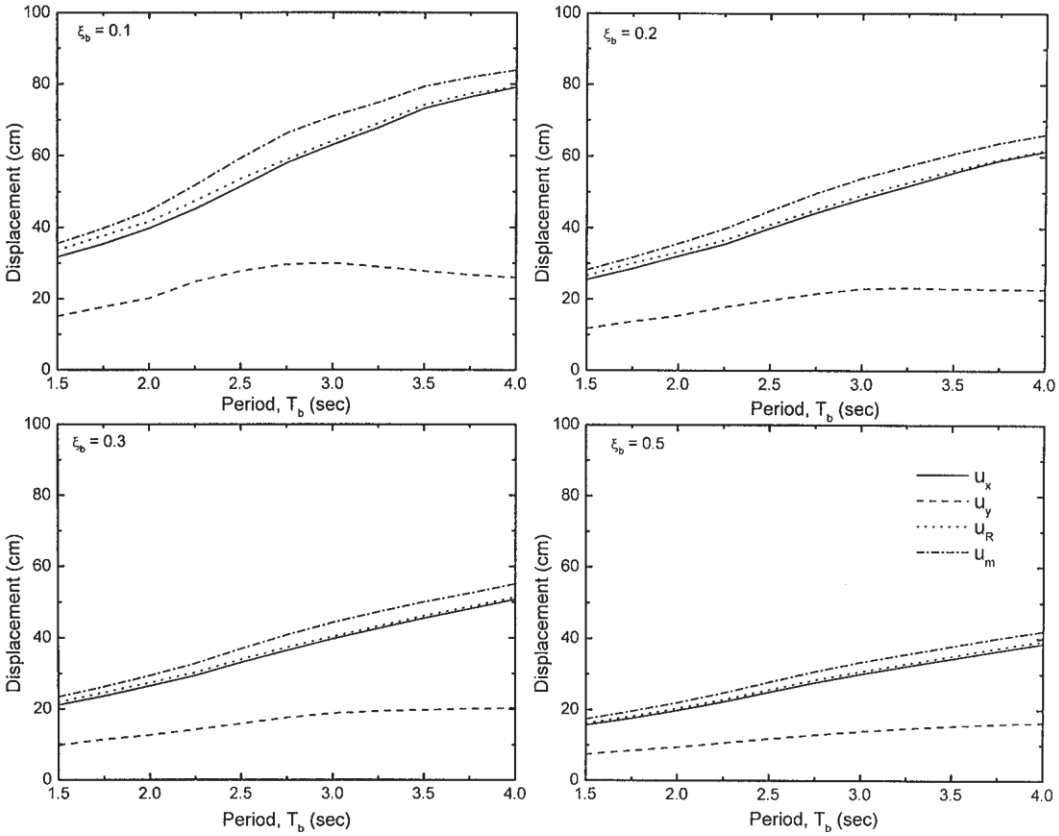


شکل۳: عدم همبستگی مولفه عمود و موازی گسلها در جنبش حوزه نزدیک Imperial Valley ($T_b = 2.5\ \text{sec}, \zeta = 0.1$)

www.SID.ir

Archive of SID

جهت مقایسه مقادیر تغییرمکان‌های جداساز u_x, u_y, u_R, u_m با یکدیگر نمودار تغییرات آنها با یکدیگر در برابر پریود جداگر برای مقادیر مختلف میرایی جداگر ζ_b در شکل۴ نشان داده شده است. همانطورکه در این شکل مشاهده می‌شود $u_R \cong u_X$ و اختلاف u_R با u_y زیاد است و $u_R \geq u_y$ و همچنین $u_m \geq u_R$ که نشان دهنده آن است که حداکثر تغییرمکان در راستای عمود و موازی با گسل در یک زمان اتفاق نمی‌افتد. نتایج نشان می‌دهد برآیند تغییرمکان‌ها بیشتر از ۵ درصد با حداکثر تغییرمکان مولفه عمود بر گسل حوزه نزدیک اختلاف ندارد. بنابراین تغییرمکان برآیند جداگرها تحت زلزله حوزه نزدیک ممکن است به تنهایی با اضافه کردن حدود ۵ درصد به مولفه عمود بر گسل برای در نظر گرفتن اثر مولفه موازی با گسل محاسبه گردد. همچنین افزایش میرایی جداگر باعث کاهش تغییرمکان‌ها می‌گردد.(2001.Jangid)



شکل۴: تغییرات متوسط حداکثر تغییرمکان‌های u_x, u_y, u_R, u_m در برابر پریود جداگر T_b

۳- عوامل موثر بر پاسخ دینامیکی سازه جداسازی شده تحت تاثیر زلزله حوزه نزدیک

مطابق مطالعات صورت گرفته پارامترهای گوناگونی ممکن است بر پاسخ دینامیکی سازه جداسازی شده تحت تاثیر زلزله حوزه نزدیک تاثیرگذار باشد که در این بخش به معرفی آنها پرداخته شده است.

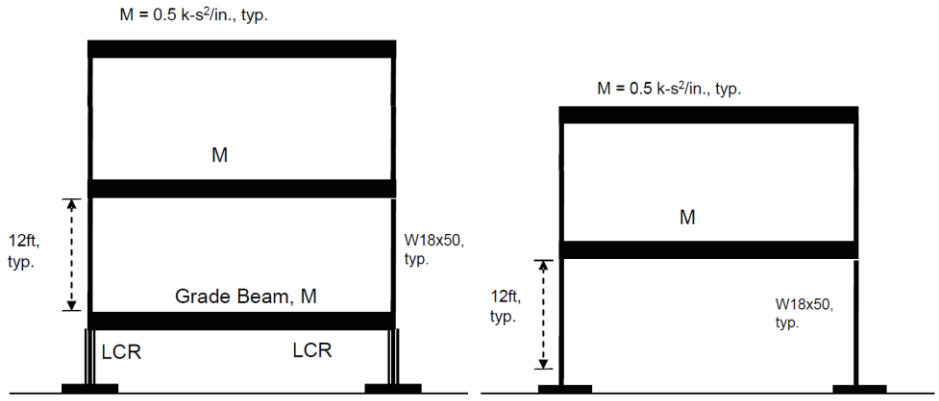
۳-۱- نسبت سختی اولیه جداگر LRB به سختی پس از تسلیم

از پارامترهای تاثیرگذار در پاسخ سازه‌های جداسازی شده تحت زلزله حوزه نزدیک، می‌توان به خصوصیت مهم جداگرهای LRB یعنی نسبت سختی قبل به بعد از تسلیم جداگر لاستیکی با هسته سربی، B_{ratio} ، اشاره نمود. برای بررسی میزان تاثیر آن، پارامتر مذکور به صورت متغیر در نظر گرفته شده است تا بدینوسیله مقدار مربوط به حداقل پاسخ سازه جداسازی شده تحت تاثیر زلزله حوزه نزدیک تعیین گردد. (2009. Thomas L. Attard)

www.SID.ir

Archive of SID

برای این منظور ساختمانی دو طبقه جداسازی شده و نشده که در شکل ۵ نشان داده شده است تحت تحریک زلزله حوزه نزدیک مورد مطالعه قرار گرفته است.



کل۵: ساختمان دو طبقه فولادی سخت a) کنترل شده توسط جداگرLRB غیرفعال b) غیر کنترل شده

در این مطالعه، برای مدلسازی غیرخطی و بیان رفتار هیسترزیس سیستم LRB از مدل wen و Bouc استفاده شده است. مدل wen وBouc برای مدلسازی جداگر بسیار مناسب است و انطباق خوبی با نتایج آزمایشگاهی دارد و از رابطه ۱ تعیین می‌گردد.(2009. Thomas L. Attard)

$$\dot{Z} = -\alpha|\dot{x}|Z^n - \beta\,\dot{x}|Z^n| + A\dot{x} \qquad (۱)$$

که در آن α, β, A, n پارامترهای شکل محسوب می‌شوند و از رابطه ۲ حاصل می‌گردد.

$$A = \frac{k_{initial}}{Q_{total}} \;,\; \alpha = \beta \;,\; A = \alpha + \beta \qquad (۲)$$

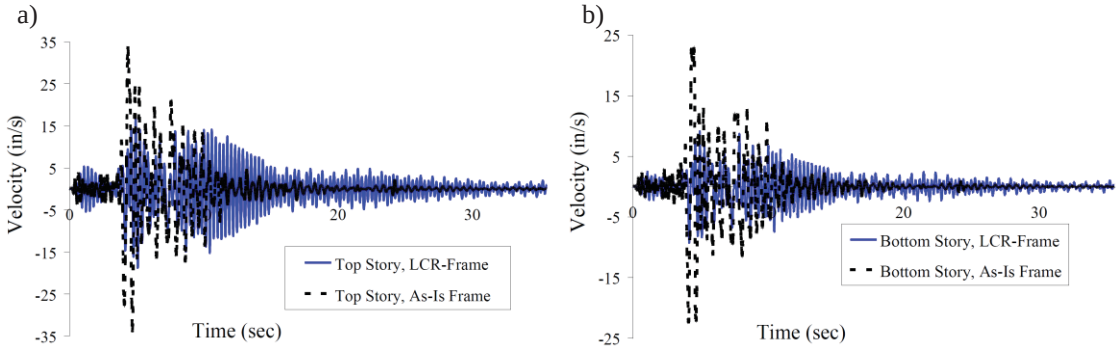
در این رابطه $k_{initial}$ سختی اولیه جداگر LRB است و Q_{total} نیروی تسلیم جداگر LRB است که درصدی از وزن کل سازه (حدود ۵ درصد) می‌باشد. به منظور بررسی پارامتر نسبت سختی قبل به بعد از تسلیم جداگر، رفتار دینامیکی ساختمانی دو طبقه با جداگرهای LRB تحت زلزله حوزه نزدیک نورث ریج با PGA=1.58 g و پارامتر $B_{ratio} = k_{initial}/k_b$ در نظر گرفته شد. k_b برابر سختی غیرالاستیک جداگر LRB (لاستیک + سرب) پس از تسلیم می‌باشد.

$$B_{ratio} = \frac{k_{initial}}{k_b} \qquad (۳)$$

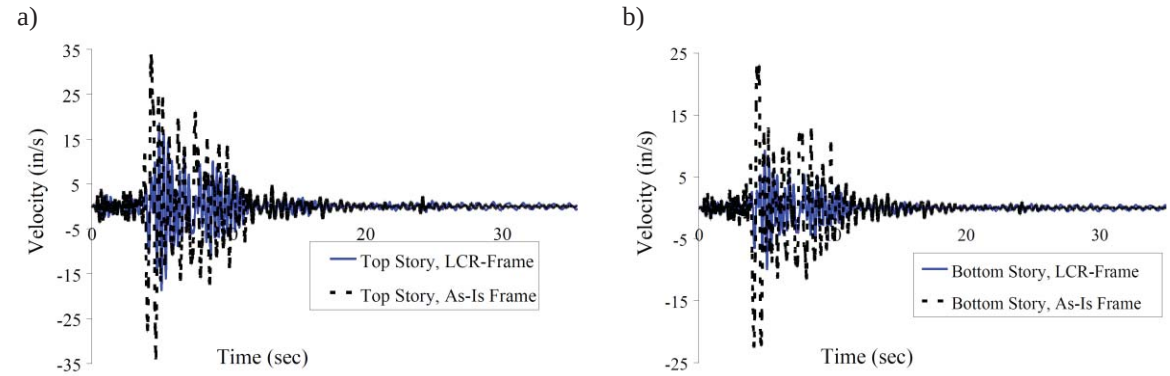
شکل ۶ تاریخچه زمانی سرعت طبقه فوقانی و تحتانی برای قاب جداسازی شده توسط جداگر LRB به همراه پاسخ قاب سازه جداسازی نشده را برای $B_{ratio} = 10$ نشان می‌دهد. با بررسی شکل ۶ و مقایسه مقدار افزایش سرعت نسبی به خصوص در طبقه بالا و همچنین افزایش تاریخچه پاسخ، عدم تاثیر جداسازLRB در کاهیدن سرعت نسبی طبقات مشخص می‌شود. در چنین مواردی پیشنهاد می‌شود جداسازهای LRB به سیستم اتلاف انرژی مناسب و کاهنده سرعت سازه‌ای مجهز گردد. در شکل ۷ با کاهش B_{ratio} به مقدار ۶ ، سرعت نسبی بین طبقات و همچنین تغییرمکان‌های نسبی کاهش می‌یابد (B_{ratio}=6 به معنی کاهش $k_{initial}$ سختی اولیه). با مقایسه شکل‌های ۶ و ۷،کاهش قابل توجه سرعت با $B_{ratio} = 6$ نسبت به $B_{ratio} = 10$ قابل مشاهده است. علاوه بر آن مقدار شتاب مطلق نیز برای $B_{ratio} = 6$ کوچکتر از $B_{ratio} = 10$ می‌باشد. (2009. Attard)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۶: پاسخ قاب دو طبقه فولادی جداسازی شده با LRB (تحت زلزله Northridge) با $B_{ratio}=10$
a) تاریخچه زمانی سرعت طبقه فوقانی b) تاریخچه زمانی سرعت طبقه تحتانی



شکل۷: پاسخ قاب دو طبقه فولادی جداسازی شده با LRB (تحت زلزله Northridge) با $B_{ratio}=6$
a) تاریخچه زمانی سرعت طبقه فوقانی b) تاریخچه زمانی سرعت طبقه تحتانی

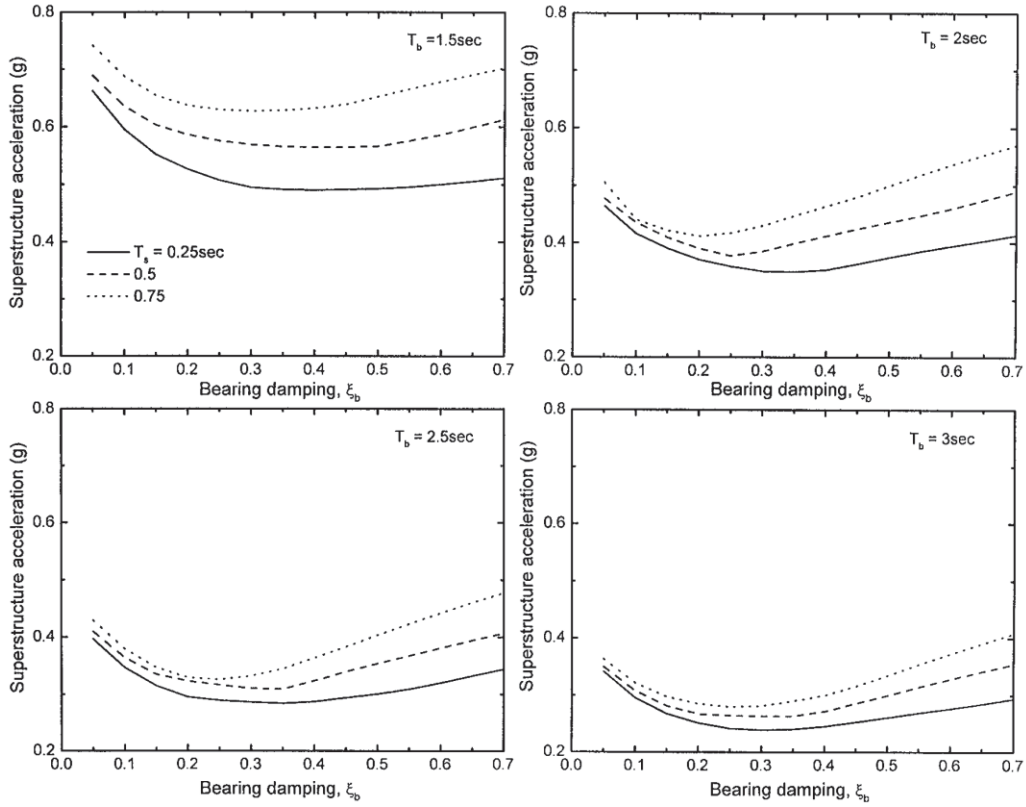
۳-۲- میرایی ζ_b

یکی از پارامترهای تاثیرگذار در پاسخ سیستم جداسازی شده، میزان میرایی سیستم جداساز با رفتار نیرو تغییرمکان خطی، ζ_b، می‌باشد. افزایش میرایی باعث کنترل تغییرشکل‌های سازه می‌گردد ولی از طرفی باعث افزایش میزان شتاب به سازه می‌گردد. بنابراین دو پارامتر شتاب و تغییرمکان سیستم جداساز به طور همزمان تحت شتابنگاشت حوزه نزدیک مورد مطالعه قرار گرفتند. برای این منظور سازه دو درجه آزاد با مشخصات فرکانس ω_S، پریود T_S و میرایی ζ_S و جداگر با مشخصات فرکانس ω_b، پریود T_b میرایی ζ_b و $\gamma = m/(m+m_b)$ مورد بررسی قرار گرفت (2001.Jangid). در شکل ۸ تغییرات متوسط شتاب مطلق رو سازه نشان داده شده است.

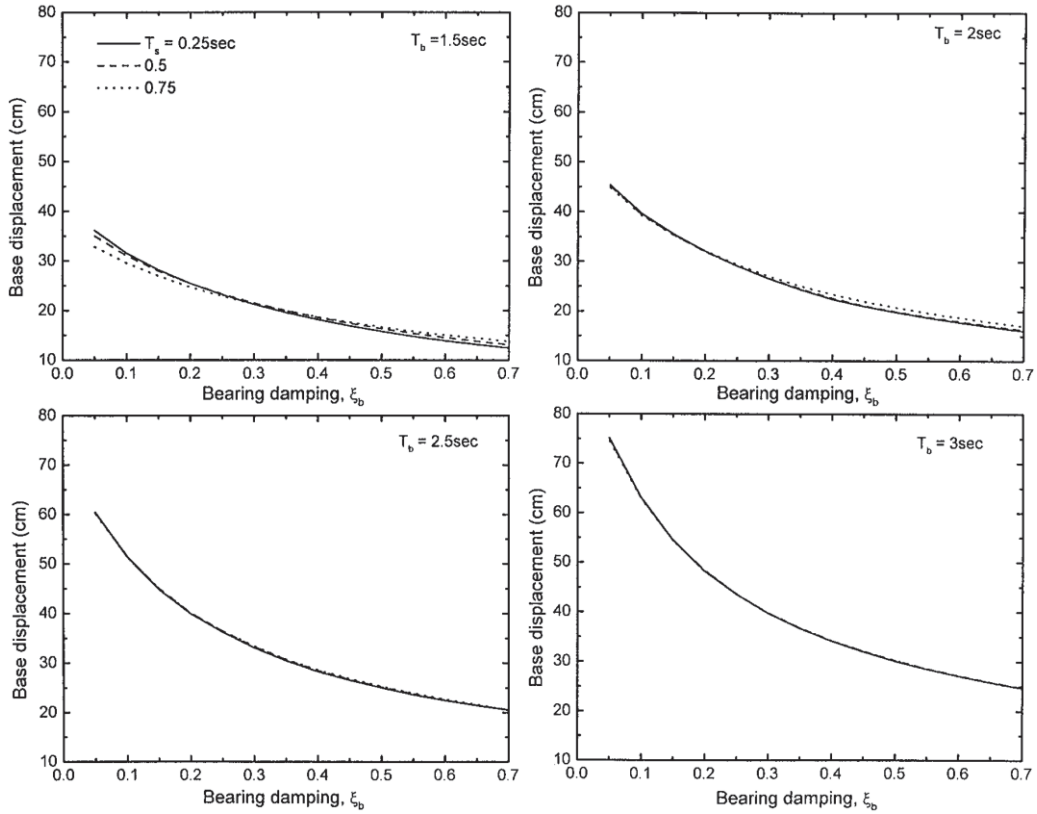
نتایج حاصل از نمودارهای شکل ۸ نشان می‌دهد با افزایش میرایی، شتاب مطلق سازه ابتدا کاهش و به حداقل مقدار خود می‌رسد و سپس افزایش می‌یابد. همانطور که مشاهده می‌شود، شتاب مطلق روسازه با افزایش انعطاف‌پذیری روسازه افزایش می‌یابد ولی با افزایش انعطاف‌پذیری در جداساز کاهش می‌یابد. این بدان معنی است که در سیستم‌های جداسازی شده، یک مقدار مشخصی میرایی و انعطاف‌پذیری برای جداگر وجود دارد که شتاب سازه به حداقل مقدار می‌رسد. در شکل ۹ تغییرات تغییرمکان در پایه در برابر میزان نسبت میرایی جداگر نشان داده شده است. نتیجه حاصل از شکل ۹ آن است که افزایش میرایی در جداساز مقدار جابه‌جایی جداساز را کاهش می‌دهد. تغییرمکان جداساز با افزایش انعطاف‌پذیری در سیستم جداساز افزایش می‌یابد ولی تغییرات انعطاف پذیری روسازه تاثیر بسیار جزئی روی تغییرمکان جداگر دارد. به عبارتی دیگر سختی روسازه تاثیر زیادی در میزان تغییرمکان‌ها ندارد.(2001.Jangid)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۸ : تغییرات متوسط شتاب مطلق روسازه در برابر نسبت میرایی جداگرها ζ_b برای $\gamma = 0.5$ و $\zeta_s = 0.02$



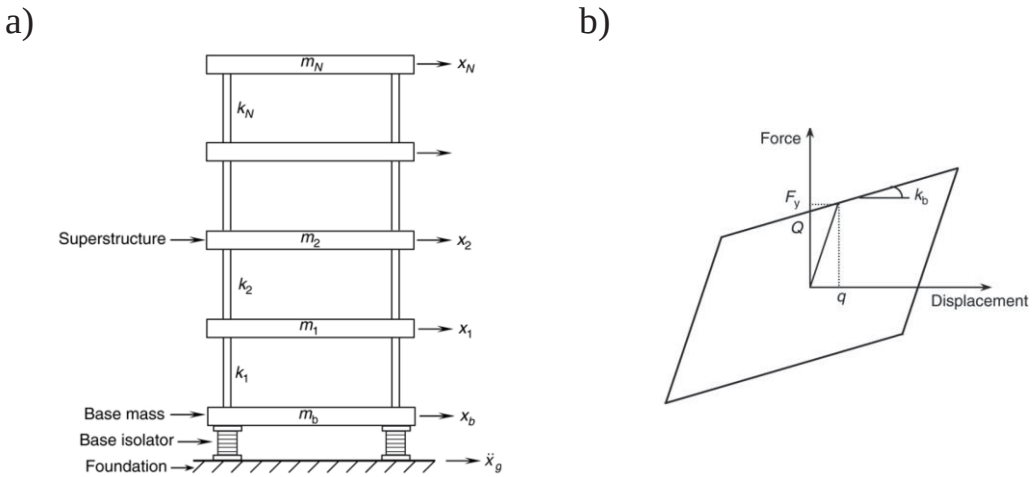
شکل۹: تغییرات متوسط تغییرمکان جداگر در برابر نسبت میرایی جداگرها ζ_b برای $\gamma = 0.5$ و $\zeta_s = 0.02$

www.SID.ir

Archive of SID

۳-۳- مقاومت تسلیم نرمال شده جداگر F_0

یکی دیگر از پارامترهای مهم در پاسخ سیستم تحت زلزله حوزه نزدیک مقاومت تسلیم نرمال شده F_0 جداگر LRB می‌باشد که مورد بررسی قرار گرفته است(2007.Jangid). برای این منظور از ساختمان N طبقه مجهز به جداگر LRB که در شکل۱۰a نشان داده شده است، استفاده شده است. ضمناً رفتار نیرو تغییر مکان LRB در شکل۱۰b نشان داده شده است.



شکل۱۰ : a) مدل ساختمان N طبقه جداسازی مجهز به LRB b) رفتار نیرو تغییر مکانLRB

پارامتر F_0 مقاومت تسلیم نرمال شده می‌باشد و مطابق رابطه ۴ تعریف می‌شود.

$$F_0 = \frac{F_y}{W} \qquad (۴)$$

که در آن F_y مقاومت تسلیم جداگر و W وزن کل ساختمان جداسازی شده می‌باشد. نسبت میرایی ζ_b و فرکانس جداساز ω_b، پریود جداساز پایه T_b از روابط ۵ تعیین می‌گردد.

$$\zeta_b = \frac{c_b}{2mw_b} \;,\; w_b = \frac{2\pi}{T_b} \;,\; T_b = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k_b}} \qquad (۵)$$

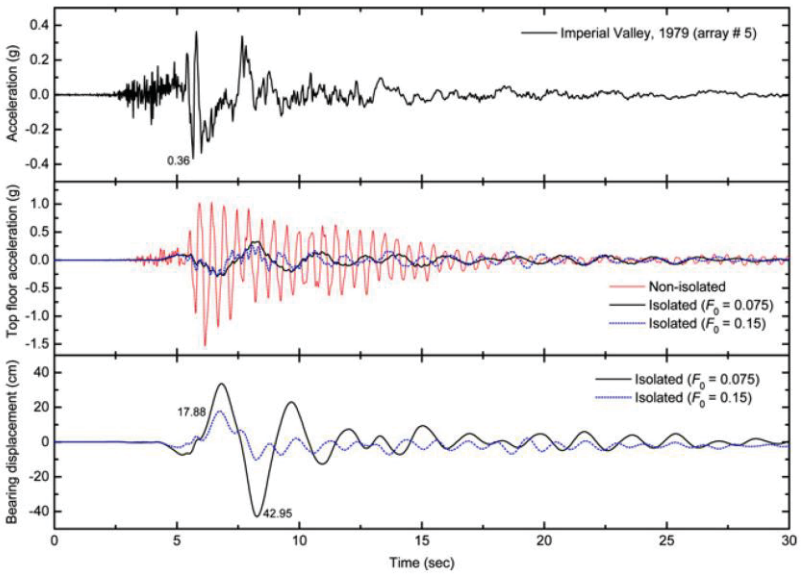
۳-۳-۱- تاثیر F_0 در پاسخ سازه جداسازی شده

سازه مورد نظر تحت ۶ دسته شتابنگاشت زلزله حوزه نزدیک قرار گرفت. پاسخ سازه تحت این دسته زلزله برای $F_0 = 0.075$ و دو برابر آن یعنی $F_0 = 0.15$ تعیین شد. با بررسی شکل۱۱ نتیجه می‌شود که افزایش F_0 به شدت از میزان تغییرمکان جانبی می‌کاهد. این نکته بیان می‌دارد که افزایش F_0 در زلزله حوزه نزدیک می‌تواند مقدار تغییرمکان را به طور عمده‌ای کنترل کند بدون اینکه شتاب بیشتری به سازه اعمال گردد.(2007.Jangid)

نمودار رفتار حلقه هیسترزیس نیرو تغییرمکان برای $F = 0.075$ و $F_0 = 0.15$ در شکل ۱۲ترسیم شده است. همانطور که این شکل مشاهده می‌شود در $F_0 = 0.075$ تغییرمکان جداگر و شکل‌پذیری خیلی بیشتر از $F_0 = 0.15$ می‌باشد. عملکرد بهتر جداساز LRB در مقاومت تسلیم بالاتر می‌تواند مربوط به سخت‌شدگی که توسط مقاومت تسلیم بالاتر تحت زلزله حوزه نزدیک حاصل می‌گردد باشد. در نتیجه این سخت شدگی پریود سازه جداسازی شده از پریود بلند پالس‌ها فاصله می‌گیرد.(2007.Jangid)

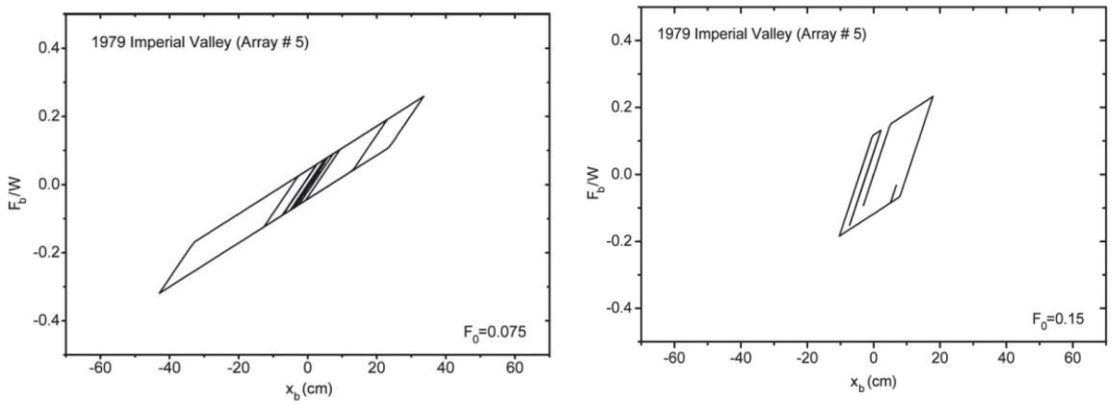
www.SID.ir

Archive of SID



شکل۱۱: شتابنگاشت زلزله Imperial Valley تغییرات شتاب مطلق بام و تغییر مکان جداگر

برای مقادیر نسبتا کوچک مقاومت تسلیم جداساز، پریود موثر سازه جداسازی شده حدود ۲/۵ ثانیه است که به مقدار زیادی نزدیک زمان تناوب پالس جداگر می‌باشد. بنابراین مقاومت تسلیم LRB بایستی چنان باشد که وقتی که تسلیمی در هسته سربی ایجاد نمی‌شود صلبیت اولیه کافی داشته باشد. (2007.Jangid)



شکل۱۲ : نمودار رفتار حلقه هیسترزیس نیرو تغییرمکان جداگر LRB برای سطوح تسلیم $F_0 = 0.075$ و $F_0 = 0.15$ در زلزله Imperial Valley

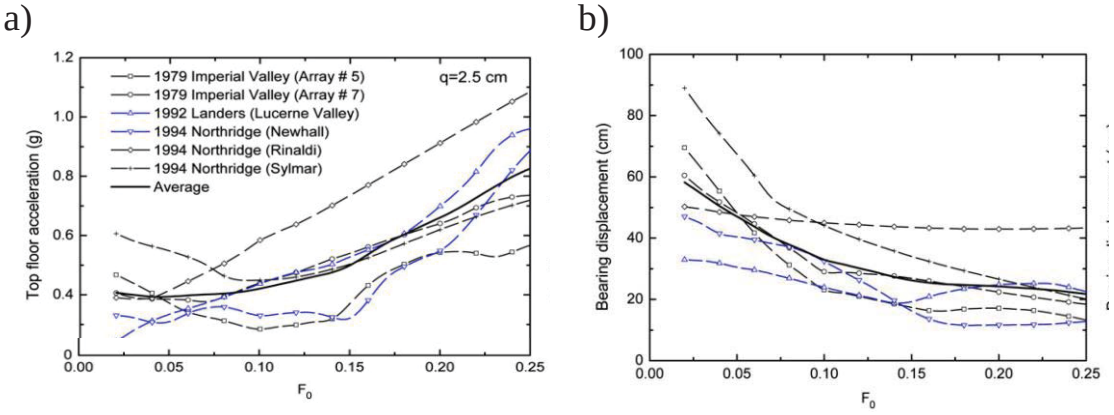
۳-۳-۲- تعیین میزان بهینه F_0

برای تعیین مقدار بهینه F_0 به ترتیب مقدار حداکثر شتاب طبقه بالا و تغییرمکان جداگر را در برابر مقاومت تسلیم نرمال شده F_0 تحت زلزله‌های حوزه نزدیک در شکل‌های ۱۳a و ۱۳bنشان داده شده است. با مشاهده این شکل‌ها نتیجه می‌شود که مقدار مشخصی از F_0 وجود دارد که در آن مقدار شتاب مطلق طبقه فوقانی به کمترین مقدار خود می‌رسد. مقدار مینیمم F_0 حدود ۰/۰۴ برای $q = 2.5\ cm$ می‌باشد. با افزایش F_0 مقدار تغییرمکان جداساز تحت زلزله حوزه نزدیک روندی کاهشی دارد. (2007.Jangid)

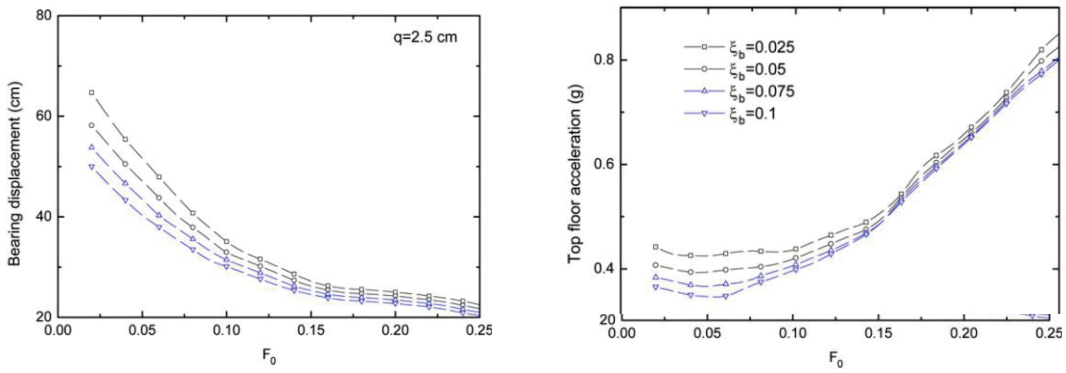
www.SID.ir

Archive of SID

در شکل ۱۴ تغییرات متوسط حداکثر شتاب مطلق طبقه بام و تغییرمکان جداگر در برابر F_0 برای نسبت‌های میرایی مختلف $\zeta_b = 0.025,0.05,0.075,0.1$ نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود، میرایی جداگر LRB تاثیر خیلی زیادی روی پاسخ حداکثر (به غیر از برای F_0 های کوچک) تحت زلزله حوزه نزدیک ندارد.



شکل۱۳: پاسخ سیستم در برابر مقاومت تسلیم نرمال شده a)تغییرات شتاب طبقه بالا b)تغییرات تغییر مکان جداگر



شکل۱۴: تغییرات متوسط حداکثر شتاب طبقه فوقانی و تغییرمکان جداگر در برابر F_0 برای نسبت‌های مختلف میرایی

بنابراین می‌توان گفت در طراحی جداسازLRB، مقدار بهینه F_0 برای LRB کمی بیشتر از مقدار F_0 مربوط به شتاب حداقل طبقات برای دستیابی به بیشترین مقدار جداسازی با کمترین مقدار تغییرمکان طبقات می‌باشد. این مقدار F_0 حدود ۰/۱ الی ۰/۱۵ در نظر گرفته می‌شود.

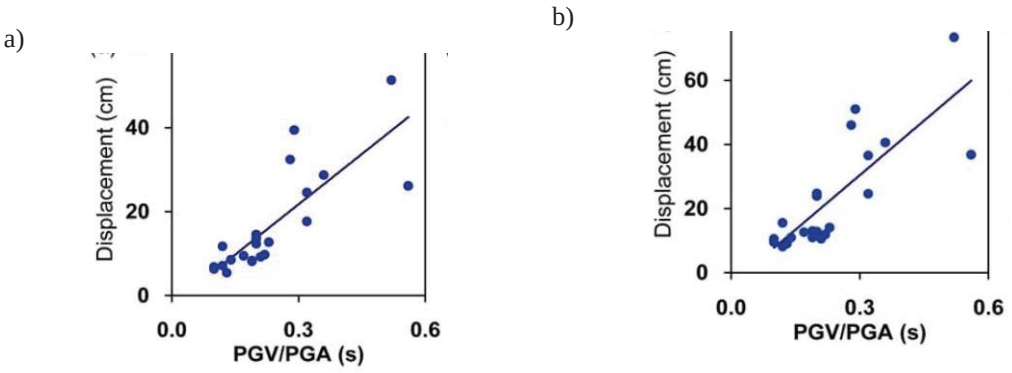
۳-۴- نسبت حداکثر سرعت زمین به حداکثر شتاب زمین

یکی دیگر از عوامل تاثیرگذار بر پاسخ سازه جداسازی شده تحت زلزله حوزه نزدیک مقدار نسبت حداکثر سرعت زمین به حداکثر شتاب زمین PGV/PGA می‌باشد. برای بررسی میزان تاثیر این عامل از دو تیپ سازه با پریود کوتاه و متوسط استفاده شده است(2004.Wen-I Liao) . پاسخ تغییرمکان و برش پایه هر دو سازه با پریود متوسط و کوتاه شدیداً به مقدار PGV/PGA وابسته است. این موضوع در شکل ۱۵ نشان داده شده است.

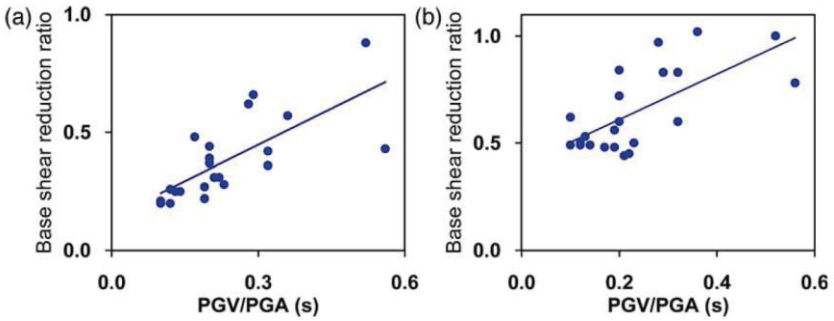
در شکل ۱۶ تغییرات نسبت کاهش برش پایه تحت زلزله حوزه نزدیک در برابر PGV/PGA نشان داده شده است. بنابراین مقدار PGV/PGA به عنوان پارامتر کلیدی برای کنترل مشخصات پاسخ پل‌ها تحت زلزله حوزه نزدیک تعریف می‌شود. برش پایه پل‌های جداسازی شده به طور چشمگیری تحت تاثیر این پارامتر قرار دارد.(2004.Wen-I Liao)

www.SID.ir

Archive of SID



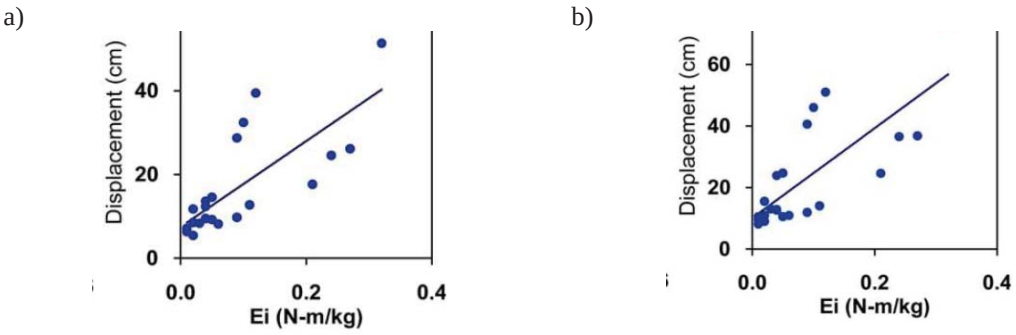
شکل۱۵: تغییرات دیریفت جداگر تحت زلزله حوزه نزدیک در برابر PGV/PGA a) سازه با پریود کوتاه b) سازه با پریود متوسط



شکل۱۶: رابطه نسبت کاهش برش پایه تحت زلزله حوزه نزدیک در برابر PGV/PGA a)سازه با پریود کوتاه b) سازه با پریود بلند

۳-۵- انرژی ورودی

یکی از ویژگی‌های زلزله حوزه نزدیک که می‌تواند بر پاسخ سازه جداسازی شده تاثیر بگذارد میزان انرژی ورودی زلزله است. در شکل ۱۷ تغییرات تغییرمکان جداگر تحت زلزله حوزه نزدیک در برابر انرژی ورودی زلزله نشان داده شده است. با افزایش انرژی ورودی زلزله میزان تغییرمکان جداگر افزایش می‌یابد.(2004.Wen-I Liao)



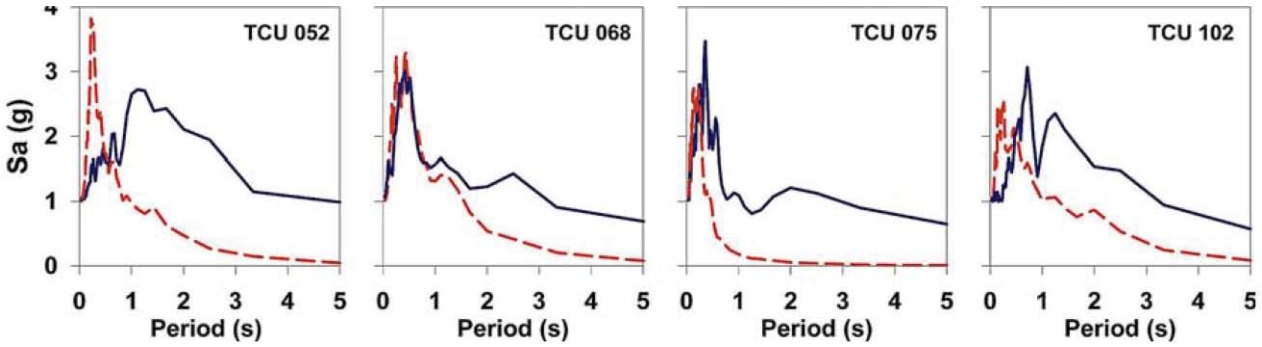
شکل۱۷: تغییرمکان جداگر تحت زلزله حوزه نزدیک در برابر انرژی ورودی a) سازه با پریود کوتاه b) سازه با پریود بلند

www.SID.ir

Archive of SID

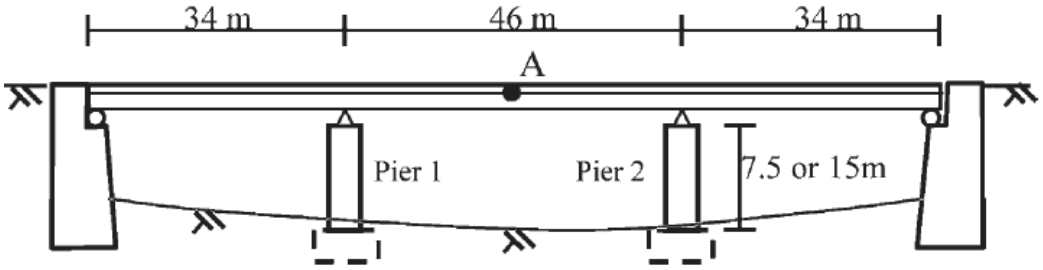
۴- مقایسه رفتار دینامیکی پل‌های جداسازی شده و نشده تحت تاثیر زلزله حوزه نزدیک

زلزله‌های حوزه نزدیک توسط جنبش زمین به همراه پالس‌های سرعت که در حین زلزله انرژی زیادی را به سازه وارد می‌نماید تعریف می‌شوند. میزان سرعت حرکت زمین در حوزه نزدیک در مقایسه با زلزله حوزه دور، به مراتب بیشتر می‌باشد. حرکت زمین در حوزه نزدیک پالس‌های بزرگ سرعت با پریود بلند به سازه منتقل می‌نماید که می‌تواند برای سازه‌های با پریود بلند نظیر سازه‌های جداسازی شده بحرانی باشد. در شکل۱۸ طیف شتاب نرمال شده با میرایی ۵ درصد برای زلزله حوزه دور و نزدیک نمایش داده شده است. همانطور که در شکل ۱۸ مشاهده می‌شود، زلزله حوزه نزدیک در دوره تناوب‌های بزرگ دارای پالس‌های شتاب قابل توجه می‌باشد.(2004.Wen-I Liao)



شکل۱۸ : مقایسه طیف شتاب نرمال شده برای زلزله ورودی حوزه نزدیک (خط پر) و زلزله ورودی حوزه دور(خط چین)

برای بررسی رفتار پل‌های تحت اثر زلزله حوزه نزدیک، دو نوع پل با پریودهای کوتاه و متوسط در نظر گرفته شد و به ترتیب با نام پل تیپ A وB نامگذاری گردید. نمایی از این پل در شکل۱۹ نشان داده شده است. مقطع عرضی عرشه پل از نوع جعبه‌ای و جداسازهای لرزه‌ای از نوع LRB می‌باشد که رفتار هیسترزیس برای آنها در نظر گرفته شده است. در ضمن از تحلیل تاریخچه زمانی غیرخطی برای تعیین شتاب، برش پایه، تغییرمکانها و ....استفاده شده است. (2004.Wen-I Liao)



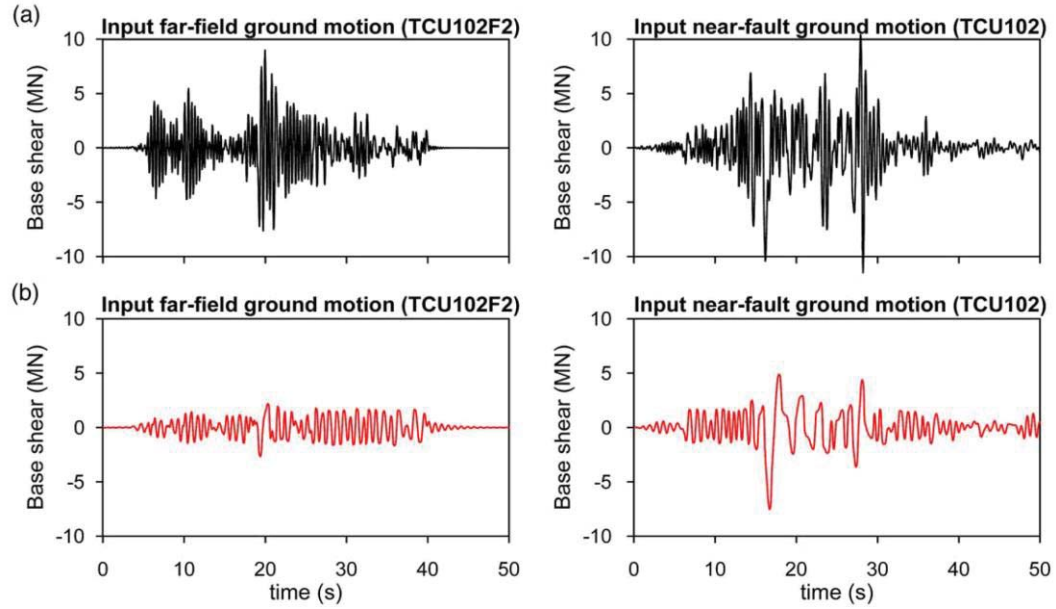
شکل۱۹: پل سه دهانه با تیرهای پیوسته

اثر کاهش برش پایه پل‌های با جداسازی لرزه‌ای تحت زلزله حوزه دور بسیار بیشتر از زلزله حوزه نزدیک می‌باشد. برای پل‌های جداسازی شده تیپ B (پریود متوسط) که تحت زلزله حوزه نزدیک قرار گرفته‌اند، جداسازی لرزه‌ای تاثیر کمی در کاهش نیروی برش پایه دارد و این موضوع در شکل ۲۰ و ۲۱ نشان داده شده است. در ضمن هر دو تیپ پل‌های جداسازی شده در زلزله حوزه دور پاسخ کمتری نسبت به سازه‌های جداسازی نشده دارند.(2004.Wen-I Liao)

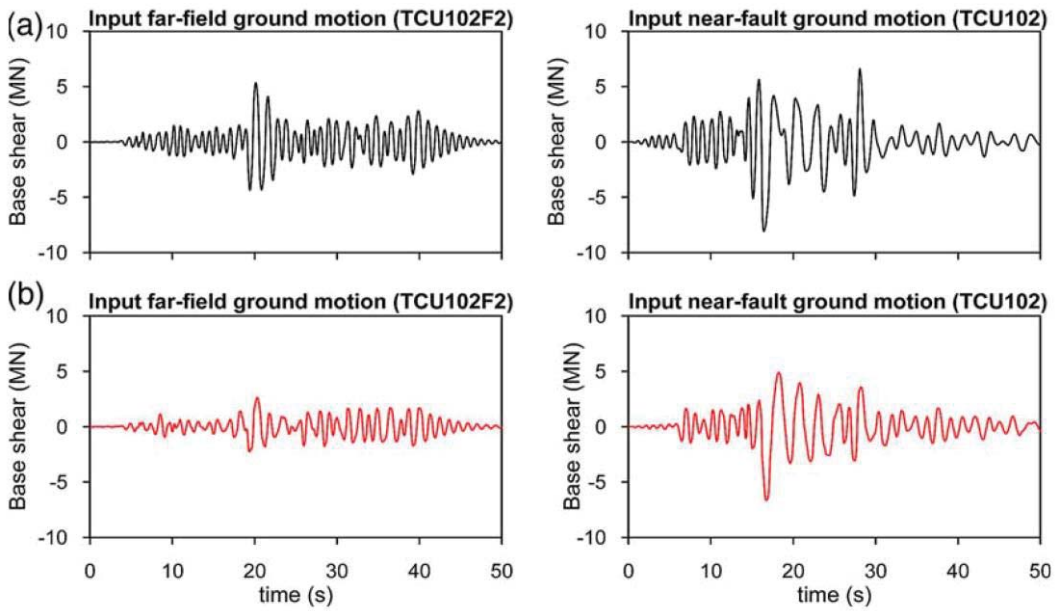
همانطور که در شکل ۲۰ و ۲۱ مشاهده می‌گردد، نیروی برش پایه در زلزله حوزه نزدیک پل‌های جداسازی شده با پریود کوتاه (پل‌های تیپ A) کاهش بیشتری نسبت به پل‌های جداسازی شده با پریود متوسط (پل‌های تیپ B) دارند و بنابراین جداسازی در پل‌های پریود متوسط (پل‌های تیپ B) در زلزله حوزه نزدیک خیلی تاثیر گذار نیست.(2004.Wen-I Liao)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۲۰: مقایسه برش پایه در راستای طولی در پل‌های تیپ A (پریود کوتاه) تحت زلزله حوزه نزدیک و دور
a) پل جداسازی نشده b) پل‌جداسازی شده

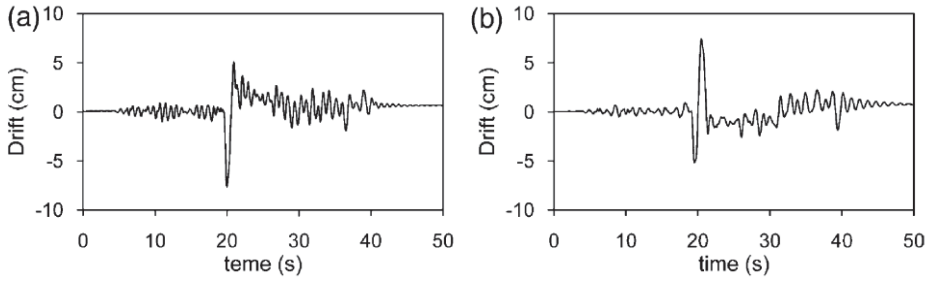


شکل۲۱: مقایسه برش پایه در راستای طولی در پل‌های تیپ B (پریود متوسط) تحت زلزله حوزه نزدیک و دور
a) پل جداسازی نشده b) پل‌جداسازی شده

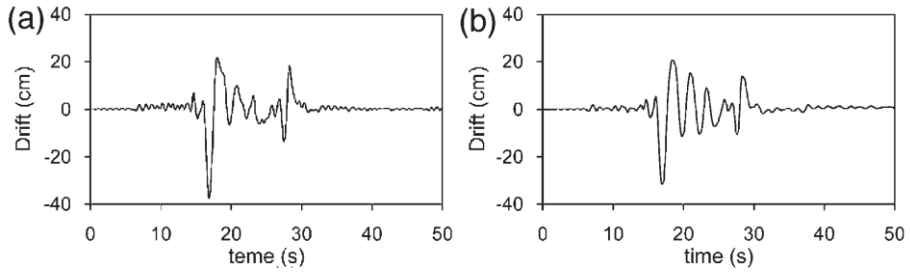
تغییرمکان نسبی جداگر تحت زلزله حوزه دور و نزدیک به ترتیب در شکل‌های ۲۲ و ۲۳ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد، تغییرمکان نسبی پل‌های جداسازی شده که تحت تاثیر زلزله حوزه نزدیک قرار گرفته‌اند بسیار بیشتر از پل‌های جداسازی شده که تحت تاثیر زلزله حوزه دور می‌باشد. به عبارتی پاسخ دینامیکی سازه‌های جداسازی شده(با پریود بلند) زمانیکه که تحت تاثیر پالس‌های پریود بلند زلزله حوزه نزدیک قرار می‌گیرند تشدید می‌شوند. (2004.Wen-I Liao)

www.SID.ir

Archive of SID



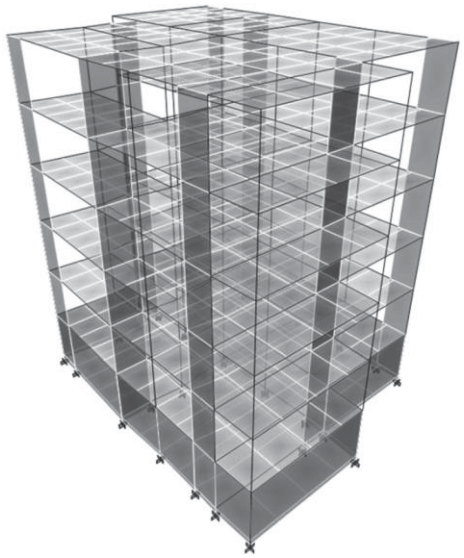
شکل۲۲: تغییرمکان نسبی جداگر تحت زلزله حوزه دور a)پل با پریود کوتاه (تیپ A) b)پل با پریود متوسط (تیپ B)



شکل۲۳: تغییرمکان نسبی جداگر تحت زلزله حوزه نزدیک a)پل با پریود کوتاه(تیپ A) b)پل با پریود متوسط (تیپ B)

۵- استفاده از میراگرهای ویسکوز الحاقی در ساختمانهای جداسازی شده توسط LRB جهت کنترل آثار زلزله حوزه نزدیک

استفاده از میراگر ویسکوز الحاقی به عنوان یک راهکار برای مقابله با اثرات نامطلوب زلزله حوزه نزدیک در سازه‌های جداسازی شده معرفی شده است. برای این منظور برای ترکیبات مختلف ضریب میرایی میراگر ویسکوز c و پریودهای مختلف سازه جداسازی شده (تغییر در تعداد لایه‌های لاستیک باعث تغییر در سختی جانبی پریود سیستم می‌گردد و به نحوی است که $1.5\ \text{sec} \le T \le 2.5\ \text{sec}$ قرار گیرد.)، مقادیر پاسخ تغییرمکان نسبی طبقات و جداگرها برای ساختمان ۶ طبقه نشان داده شده در شکل ۲۴ با استفاده از تحلیل غیرخطی تاریخچه زمانی برای دو دسته زلزله حوزه نزدیک و حوزه دور تعیین گردیده است و نتایج با یکدیگر مقایسه شده‌اند.(2008.C.P. Providakis)

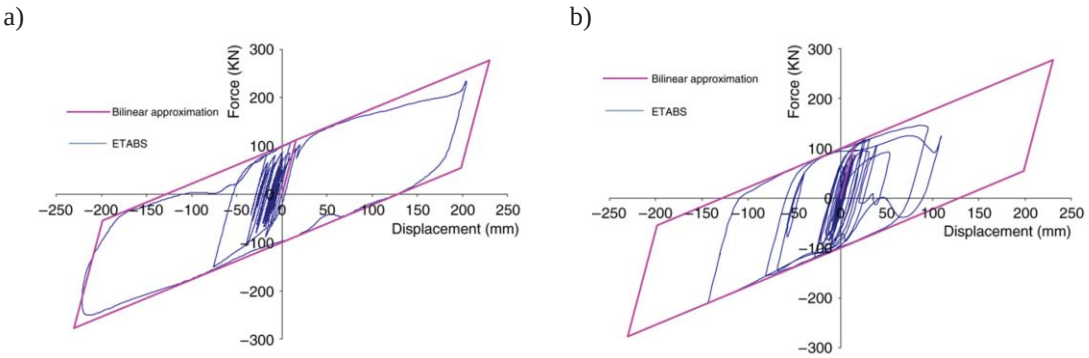


شکل ۲۴: نمایی از ساختمان جداسازی شده مورد بررسی

www.SID.ir

Archive of SID

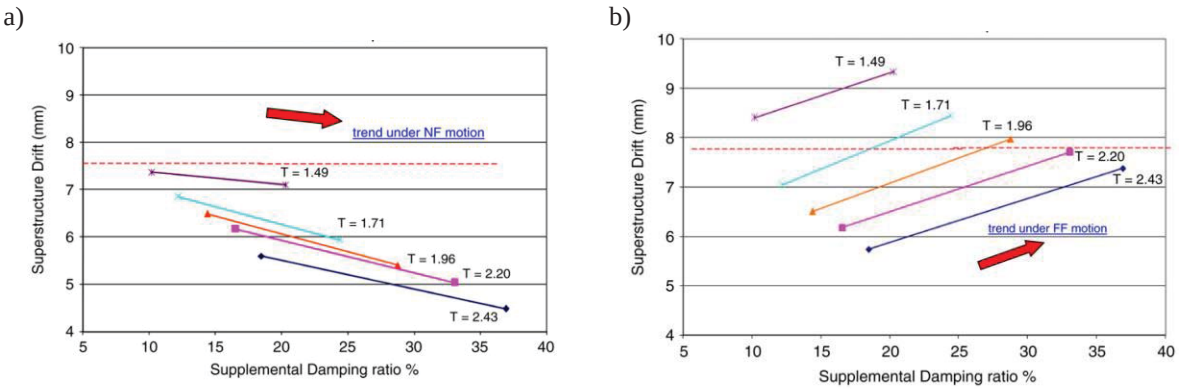
با بررسی رفتار هیسترزیس نیرو تغییرمکان در شکل ۲۵، مشاهده می‌شود تغییرمکان‌های زلزله‌های حوزه نزدیک خیلی بیشتر از زلزله‌های حوزه دور می‌باشد.



شکل ۲۵ : چرخه نیرو تغییرمکان ساختمان جداسازی شده توسط LRB a) زلزله حوزه نزدیک b) زلزله حوزه دور

جهت بررسی میزان تاثیرگذاری میراگر ویسکوز الحاقی به سازه‌های جداسازی شده تحت زلزله حوزه نزدیک، روند تغییرات تغییرمکان نسبی طبقات در برابر میزان تغییرات میرایی جداگر ویسکوز الحاقی برای پریودهای اصلی مختلف سیستم جداسازی شده برای زلزله حوزه نزدیک و زلزله حوزه دور در شکل ۲۶ نشان داده شده است. از مقایسه شکل‌های a ۲۶و b ۲۶ نتیجه می‌شود تغییرمکان نسبی طبقات با افزایش میرایی میراگر ویسکوز الحاقی برای زلزله حوزه نزدیک کاهش می‌یابد ولی برای زلزله حوزه دور تغییرمکان نسبی طبقات با افزایش میرایی میراگر ویسکوز الحاقی افزایش می‌یابد. برای زلزله حوزه نزدیک و زلزله حوزه دور با افزایش پریود تغییرمکان نسبی بین طبقات کاهش می‌یابد.

چنانچه برای کنترل تغییرمکان‌های زیاد حاصل از زلزله حوزه نزدیک مقادیر میرایی زیادی استفاده شود، سطح میرایی برای جنبش‌های کوچکتر بسیار زیاد خواهد بود و چنانچه سازه یک زلزله متوسط ناشی از زلزله حوزه دور را تجربه نماید سیستم جداساز موثر نخواهد بود. این نکته خیلی مهم است چون مقدار زیاد تغییرمکان نسبی در میرایی‌های بالای میراگر ویسکوز الحاقی در زلزله حوزه دور (زلزله‌های کوچک و متوسط) ممکن است به مراتب بزرگتر از تغییرمکان نسبی حوزه نزدیک گردد و ممکن است اهداف مطلوب اولیه استفاده از جداساز که همان کاهش تغییرمکان نسبی طبقات است از بین برود. بنابراین با انتخاب یک میرایی و پریود مناسب می‌توان مقدار پاسخ را در زلزله حوزه نزدیک و زلزله حوزه دور کاهش داد. با توجه به شکل۲۶ در $T = ۲/۴۳$ ثانیه و میرایی ویسکوز ۱۸٪ الی۱۷٪ $= \zeta$ پاسخ سیستم در هر دو زلزله حوزه نزدیک و زلزله حوزه دور کوچک است. (2008.C.P. Providakis)



شکل۲۶ : روند تغییرات تغییرمکان نسبی طبقات سازه در برابر میرایی‌های مختلف میراگر ویسکوز الحاقی در پریودهای مختلف سازه a) زلزله حوزه نزدیک b) زلزله حوزه دور

www.SID.ir

Archive of SID

۶- نتیجه گیری:

سیستم جداسازی شده تحت تاثیر زلزله حوزه دور باعث شیفت پریود می‌گردد و در نتیجه باعث کاهش پاسخ سیستم می‌گردد در صورتی که در زلزله حوزه نزدیک پاسخ سیستم جداسازی لرزه‌ای به خصوص در سازه‌های با پریود متوسط و بلند نه تنها کاهش نمی‌یابد بلکه ممکن است تشدید گردد.

بنا بر مطالعات انجام شده میتوان به نتایج زیر اشاره نمود:

۱- تغییرشکل برآیند جداساز تقریباً با تغییرشکل جداساز تحت اثر مولفه عمود بر گسل برابر است و با تغییرشکل جداساز تحت مولفه موازی با گسل تفاوت عمده‌ای دارد.

۲- تغییرمکان برآیند جداگر تنها با اضافه نمودن ۵ درصد به تغییرمکان مولفه عمود بر گسل حوزه نزدیک برای در نظر گرفتن اثر مولفه موازی با گسل بدست می‌آید.

۳- برای زلزله حوزه نزدیک که دارای PGA های بزرگ هستند، جداگرهای LRB که دارای سختی اولیه $k_{initial}$ نرمتری هستند اتلاف انرژی بیشتری حاصل می‌گردد. (با فرض k_b ثابت).

۴- در مورد جداگرهای لاستیکی با رفتار نیرو تغییرمکان خطی یک میرایی به خصوصی وجود دارد که میزان شتاب حاصل از زلزله حوزه نزدیک در آن به حداقل مقدار می‌رسد. افزایش میرایی باعث کاهش تغییرمکان جداگر می‌گردد و ضمناً افزایش پریود جداگر باعث افزایش تغییرمکان جداگر می‌گردد.

۵- در طراحی جداساز، مقدار بهینه F_0 برای LRB مقداری است که مقاومت تسلیم F_0 به مقدار کمی بیشتر از مقدار F_0 مربوط به شتاب حداقل طبقات و دارای حداقل مقدار تغییر مکان باشد. مقاومت تسلیم نرمال شده بهینه LRB تحت زلزله حوزه نزدیک بر اساس معیار حداقل سازی شتاب مطلق طبقه فوقانی و تغییر مکان جداساز، حدود ۱۰٪ الی ۱۵٪ وزن کل سازه بدست آمد. تغییرمکان جداساز در مقاومت تسلیم بهینه با افزایش انعطاف پذیری جدا ساز و روسازه افزایش می‌یابد.

۶- میرایی جداگر LRB تاثیر زیادی روی پاسخ حداکثر (به غیر از برای F_0 های کوچک) تحت زلزله حوزه نزدیک ندارد.

۷- افزایش نسبت سرعت حداکثر زلزله به شتاب حداکثر زلزله و همچنین انرژی ورودی زلزله حوزه نزدیک، باعث افزایش مقدار تغییرمکان روسازه و برش پایه می‌گردد.

۸- استفاده از میراگر ویسکوز الحاقی از طریق کاهش تغییرمکان نسبی به عنوان یک راهکار جهت کاهش اثر منفی جداسازی در زلزله حوزه نزدیک پیشنهاد می‌گردد. به عبارت دیگر جداگرها + میراگر ویسکوز الحاقی، تغییرمکان‌های بزرگ حوزه نزدیک را کنترل می‌نماید.

۹- اگر چه اثر میراگرهای ویسکوز الحاقی تحت زلزله حوزه دور، تغییرمکان‌های پایه را کاهش می‌دهد ولی شتاب رو سازه را افزایش می‌دهد و ممکن است باعث ایجاد خرابی در سیستم جداسازی شده گردد. با انتخاب مقادیر مناسب برای میرایی میراگر ویسکوز الحاقی، حدود ۱۷٪ یا ۱۸٪ و پریود سیستم جداسازی شده حدود ۲/۵ ثانیه، پاسخ دینامیکی سیستم برای هر دو زلزله حوزه نزدیک و دور کاهش می‌یابد.

منابع

1- C.P. Providakis. (2008). ***Effect of LRB isolators and supplemental viscous dampers on seismic isolated buildings under near-fault excitations***. Engineering Structures.

2-Chopra AK, Chintanapakdee C. (2001). ***Comparing response of SDOF systems to near-fault and far-fault earthquake motions in the context of spectral regions***. Earthquake Engineering and Structural.

3- Chai JF, Loh CH. (1999). ***Near-fault ground motion and its effect on civil structures, from theory to practice***. Proceedings of the International Workshop on Mitigation of Seismic Effects on Transportation Structures,Taiwan.

4- Liao WI, Loh CH, Wan S, Jean WY, Chai JF. (2000). ***Dynamic responses of bridges subjected to near-fault ground motions***. Journal of the Chinese Institute of Engineers.

5- Malhotra PK. (1999). ***Response of buildings to near-field pulse-like ground motions***. Earthquake Engineering and Structural Dynamics.

6- Naiem F, Kelly JM. (1999). ***Design of Seismic Isolated Structures***. Wiley: New York.

www.SID.ir

Archive of SID

7-Nakashima M, Matsumiya T, Asano K. (2000).***Comparison in earthquake responses of steel moment frames subjected to near-fault strong motions recorded in Japan***, Taiwan and the US.Proceedings of the International Workshopon Annual Commemoration of Chi-Chi Earthquake, Technology Aspect, Taiwan,
8- R.I. Skinner, W. H. Robinson, and G. H. McVerry. (1999). ***An introduction to seismic isolation***. Wiley, Chichester.
9- R. S. Jangid , J. M. Kelly. (2001). ***Base isolation for near-fault motions***. Earthquake Engineering and Structural Dynamics.
10- R.S. Jangid. (2007). ***Optimum lead–rubber isolation bearings for near-fault motions***. Engineering Structures.
11- Thomas L. Attard. Kittinan Dhiradhamvit. (2009). ***Application and Design of Lead-Core Base Isolation for Reducing Structural Demands in Short Stiff and Tall Steel Buildings and Highway Bridges Subjected to Near-Field Ground Motions***. Journal of Mechanics of Materials and Structures.
12- Wen-I Liao a, Chin-Hsiung Loh, Bor-Han Lee. (2004). ***Comparison of dynamic response of isolated and non-isolated Continuous girder bridges subjected to near-fault ground motions***. Engineering Structures.

www.SID.ir