



## کنترل ارتعاش دینامیکی سازه‌های هم‌جوار توسط برقراری اتصال

محسن ایزدینیا<sup>۱</sup>، جواد جمشیدی<sup>۲\*</sup>

۱- استادیار، گروه عمران-سازه، دانشکده مهندسی عمران، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، اصفهان، ایران.

Izadiniam2002@Yahoo.com

۲- دانشجوی دکتری، گروه عمران-سازه، دانشکده مهندسی عمران، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، اصفهان، ایران.

Javadjamshidi12@sci.iaun.ac.ir

### چکیده

امروزه راهکارهای متفاوتی برای افزایش عملکرد سازه‌ها در برابر ارتعاش‌های دینامیکی اللخصوص زلزله ارائه شده است. یکی از این راهکارها، کاهش و کنترل تغییرمکان جانبی سازه است. محققین در سال‌های اخیر، جهت دستیابی به این هدف مکانیزم‌های متفاوتی را پیشنهاد نموده‌اند. که از جمله آنها می‌توان به استفاده از سیستم‌های کنترل فعال، نیمه فعال، المانهای تلف‌کننده انرژی، ایزولاسیون پی و ... اشاره نمود. در این مقاله ایده‌ی متصل نمودن ساختمان‌های مجاور در تراز طبقات، جهت کنترل پاسخ لرزه‌ای هردو ساختمان تحت اثر بارگذاری زلزله بررسی می‌گردد. مکانیزم فتر متصل‌کننده به نحوی است که می‌تواند باعث کاهش چشمگیری در پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها گردد. در این تحقیق دو سازه برشی دو طبقه با مشخصات دینامیکی متفاوت که در مجاورت یکدیگر فرض شده‌اند، بطور مجزا تحت اثر شتاب نگاشت هفت زلزله مختلف قرار گرفتند و تحلیل دینامیکی خطی تاریخچه زمانی انجام و حداکثر جابجایی نسبی طبقات سازه‌ها محاسبه شد. سپس با در نظر گرفتن فتری در تراز بام که سازه‌ها را به یکدیگر متصل می‌کند این تحلیل‌ها مجدداً انجام شد. برای هر شتاب‌نگاشت زلزله سختی بهینه فتر به نحوی محاسبه شد که حداکثر جابجایی نسبی طبقات در طول زلزله کمینه گردد. نتایج نشان می‌دهند که فتری با سختی حدود ده درصد طبقات که در تراز بام اضافه شده است، می‌تواند بطور متوسط بیشینه جابجایی نسبی طبقات را تا حدود ۵۷ درصد کاهش دهد.

**واژه‌های کلیدی:** تغییر مکان نسبی، تحلیل دینامیکی خطی تاریخچه زمانی، شتاب‌نگاشت زلزله، ساختمان‌های مجاور

### ۱- مقدمه

امروزه افزایش جمعیت و رشد جامعه و به تبع آن رشد چشمگیر فعالیت‌های اجتماعی در محیط‌های محدودی که در شهرهای مدرن و پیشرفته در دسترس است باعث شده که برای جبران این کمبود محیط، سازه‌ها مرتفع‌تر و در فواصل نزدیک‌تری به یکدیگر ساخته شوند. پس از زلزله آسیب‌های زیادی به سازه‌ها وارد می‌شود و معمولاً سازه‌های زیادی قابلیت کاربری مطلوب خود را از دست می‌دهند و عمدتاً غیر قابل استفاده می‌شوند، باید پس از زلزله به تخریب کامل سازه‌های آسیب دیده و پاک‌سازی و آماده‌سازی بستر مناسب برای ساخت سازه‌های جدید و در نهایت بازسازی محل پرداخت، که این فرآیند علاوه بر زمان‌بر و پرهزینه بودن مشکلات بیشمار دیگری را نیز به همراه دارد.

در اکثر اوقات سازه‌های مرتفع بدون هیچ‌گونه اتصال سازه‌ای و جدا از یکدیگر ساخته می‌شوند و یا حداکثر در سطح زمین به یکدیگر متصل می‌باشند، بنابراین اثرات نیروی عظیم باد یا زلزله به این سازه‌های مرتفع، باعث می‌شود در صورتی که فاصله مناسبی بین سازه‌های مجاور وجود نداشته باشد این سازه‌ها در حین ارتعاش به یکدیگر برخورد نموده و باعث تخریب



## دومین کنفرانس بین المللی ژئوتکنیک و مهندسی لرزه ای

۱۶ تا ۱۸ شهریور ماه ۹۴ ایران، تبریز

یکدیگر شوند. در آیین نامه های مختلف فواصل متناسب با پلان و ارتفاع سازه ها برای حریم سازه های همجوار پیشنهاد شده است اما در زلزله های گذشته مانند زلزله سال ۱۹۸۵ مکزیکوسیتی و یا زلزله سال ۱۹۸۹ لوماپریتا و ... بر خلاف انتظار محققین مشاهده شد که علیرغم رعایت کردن این فاصله باز هم برخورد سازه های همجوار امری گریز ناپذیر می باشد. از این رو پس از مشاهده درس آموخته های زلزله های گذشته پیشنهاد متصل کردن سازه های همجوار و مرتبط کردن ارتعاش آن ها به یکدیگر و در نتیجه میرا کردن انرژی وارده به سازه ها مطرح شد.

برای جلوگیری از ضربه زدن سازه های همجوار به یکدیگر در حین زلزله، کبوری و همکارانش در سال ۱۹۸۸ از آونگ تو خالی برای اتصال بین سازه های همجوار به یکدیگر استفاده کردند [۱]. این نوع اتصال دهنده از فولاد با رفتار هیسترتیک ساخته شده بود، زمانی که فولاد اتصال دهنده جاری میشود نیروی عظیم زلزله را تعدیل می کند. تعیین حد مناسب جاری شدن فولاد اتصال دهنده بسیار دشوار است به این علت که اگر حد جاری شدن بسیار بالا باشد ممکن است که در حین ارتعاش به درستی عمل نکند و یا اگر حد جاری شدن بسیار پایین در نظر گرفته شود ممکن است که میزان اتلاف انرژی در حین ارتعاش اندک باشد. وسترمو در سال ۱۹۸۹ پیشنهاد کرد که از اتصال مفصلی برای اتصال کف طبقات همجوار که در امتداد یکدیگر قرار دارند استفاده شود [۲]. مشاهده شده که استفاده از این سیستم میتواند احتمال برخورد دو سازه مجاور به یکدیگر را کاهش دهد. اما استفاده از این روش پاسخ پیچشی سازه های با پلان غیر متقارن و میزان برش پایه سازه ها را افزایش می دهد. این موضوع نقش دینامیکی سازه های همجوار غیر متصل را دگرگون کرد. چی و یولین در سال ۱۹۹۸ با نوشتن و حل معادلات دینامیکی سازه های همجوار متصل به کمک میراگر تحت اثر زلزله نشان دادند که اگر شرایط میراگر به طرز مناسبی انتخاب شود پاسخ دینامیکی هر دو سازه تحت اثر زلزله می تواند به میزان قابل توجهی کاهش یابد [۳]. آن ها در بررسی های خود نشان دادند که جابجایی بالاترین طبقه و نیروی برش پایه به ترتیب حداکثر به میزان ۷۲٪ و ۷۵٪ کاهش می یابد. چی و همکارانش در سال ۱۹۹۹ [۴] و ژانگ و زو در سال ۲۰۰۰ [۵] مطالعاتی درباره اتصال سازه های چند طبقه به کمک میراگرهای سیال داشتند. آن ها نشان دادند که اگر شرایط و مشخصات میراگر به طور مناسبی انتخاب شود می تواند پاسخ نهایی سازه را به طرز چشمگیری کاهش دهد. زو و ایمورا در سال ۲۰۰۰ [۶]، ژانگ و زو در سال ۱۹۹۹ [۷] و کیم و ریو در سال ۲۰۰۶ [۸] با انجام مطالعاتی بر روی نقش دینامیکی و پاسخ لرزه ای سازه های همجوار که با کمک میراگر ویسکو-الاستیک به هم متصل شده باشند، نشان دادند که استفاده از این نوع میراگر با پارامترهای مناسب برای اتصال سازه های همجوار می تواند نسبت اتلاف انرژی مودال، در نتیجه پاسخ لرزه ای سازه های همجوار را کاهش دهد. نی و همکارانش در سال ۲۰۰۱ روشی برای تحلیل پاسخ لرزه ای اتفاقی سیستم سازه ای متشکل از دو سازه همجوار متصل به یکدیگر به کمک میراگر هیسترتیک با رفتار غیر خطی ارائه کردند [۹]. نتایج تحلیل آن ها نشان داد که حتی اگر میراگر هیسترتیک غیر خطی در تراز طبقات پایینی قرار بگیرد بازهم در کاهش پاسخ سازه موثر است. فوجی و همکارانش در سال ۲۰۰۴ درباره امکان بهینه سازی و اتصال سازه های موجود به سازه های همجوار با ارتفاع متفاوت مطالعاتی انجام دادند [۱۰]. در این مطالعات از میراگر اصطکاکی به عنوان عضو اتصال دهنده دو سازه استفاده شد. میزان برش و جابجایی هر طبقه از سازه به کمک منحنی سه خطی ایده آل سازی شد و مود خرابی متناسب با سازه بدست آمد. در حالت کلی مشاهده شد که پاسخ کلی با متصل کردن سازه های هم ارتفاع کاهش چشمگیری نمی یابد، اما دامنه پاسخ هنگامی که برش و جابجایی و مود خرابی طبقات متفاوت باشد به میزان قابل توجهی کاهش می یابد. پاسکارارو و جانگید در سال ۲۰۰۶ میراگرهای اصطکاکی را برای برقراری اتصال بین دو سازه همجوار معرفی کردند و برای نوشتن معادلات حرکت هارمونیک زمین و اثر آن بر روی این سازه ها و میزان نیروی لغزشی میراگر اصطکاکی در حین زلزله تلاش کردند [۱۱]. باکری در سال ۲۰۱۲ با بررسی چند نوع سازه همجوار چند طبقه که با کمک میراگر هیسترتیزس به هم متصل شده بودند دریافت که وجود میراگرها پاسخ سازه های مجاور را کاهش میدهند [۱۲]. اگر بخواهیم از یک میراگر برای اتصال سازه ها استفاده کنیم احتمالاً بهترین محل برای قرارگیری میراگر در تراز بام می باشد، به این علت که روی مود اول ارتعاش سیستم تاثیر می گذارد و اگر بخواهیم از دو میراگر برای اتصال سازه ها به

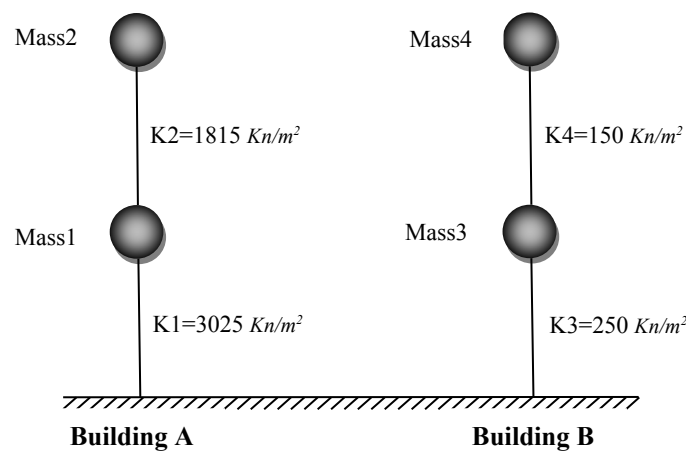


یکدیگر استفاده کنیم بهترین حالت قرار گیری این است که یک میراگر در تراز بام و میراگر بعدی در یکی از طبقات میانی قرار گیرد.

در این مقاله ایده‌ی استفاده از فنر متصل کننده در تراز بام بین دو ساختمان مجاور، جهت کنترل پاسخ لرزه‌ای ساختمان‌ها تحت اثر امواج زلزله مورد بررسی قرار می‌گیرد. انتخاب صحیح مشخصات فنر می‌تواند باعث کاهش چشمگیری در پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها گردد و احتمالاً این سختی به مشخصات سازه‌ها و حتی محتوای فرکانسی زلزله‌ها نیز وابسته است. هدف محاسبه مقدار متوسطی برای سختی فنر در طبقه بام است به نحوی که بتوان دریف طبقات را در سازه‌ها، تا حداکثر مقدار ممکن کاهش داد. در این راستا دو سازه برشی دو طبقه با مشخصات دینامیکی متفاوت که در مجاورت یکدیگر فرض شده‌اند، تحت اثر رکورد شتابنگاشت هفت زلزله مختلف بطور مجزا قرار گرفتند و تحلیل دینامیکی خطی تاریخچه زمانی انجام و حداکثر جابجایی نسبی طبقات محاسبه شد. سپس با در نظر گرفتن فنری با سختی متغیر در تراز بام که سازه‌ها را به هم متصل می‌کند این تحلیل‌ها بارها و بارها برای هر زلزله تکرار شدند. برای هر رکورد زلزله سختی بهینه فنر به نحوی محاسبه شد که حداکثر جابجایی نسبی طبقات در طول زلزله کمینه گردد. نتایج نشان می‌دهند که فنری با سختی حدود ده درصد طبقات که در تراز بام اضافه شده است، می‌تواند بطور متوسط بیشینه جابجایی نسبی طبقات را تا ۵۷ درصد کاهش دهد.

## ۲- مدل سازه ای فرض شده در تحقیق

برای بررسی این ایده، دو سازه دو طبقه که بر روی یک سطح و در کنار یکدیگر قرار گرفته بودند مطابق با شکل ۱ در نظر گرفته شدند.



شکل ۱- مدل سازه ای فرض شده در تحقیق به همراه جرم و سختی طبقات

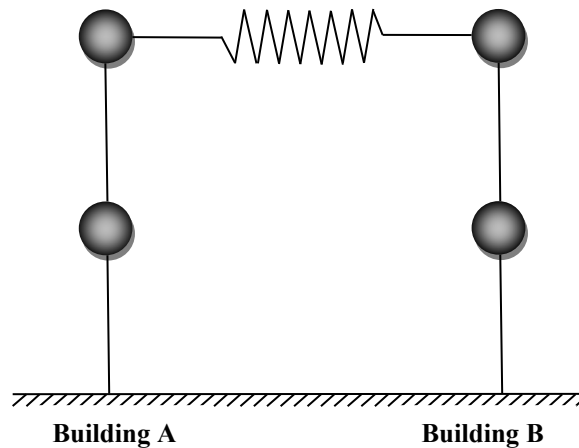
طبق بررسی‌های انجام گرفته اگر این سازه‌ها دارای پریود ارتعاشی یکسان و یا نزدیک به هم باشند دارای حرکت ارتعاشی تقریباً یکسانی می‌باشند و رفت و برگشت سازه‌ها تقریباً هم زمان و شبیه به یکدیگر خواهد بود در نتیجه فنر اتصال دهنده بین سازه‌ها به خوبی وارد عمل نمی‌شود و تحت اثر نیروی اندکی قرار خواهد گرفت. برای پرهیز از رخداد ارتعاش مشابه در سازه‌ها، پریود ارتعاشی مود اول سازه‌ها طوری انتخاب شدند که در محدوده کاملاً متفاوتی قرار داشته باشند و تقریباً از همان ابتدای ارتعاش عضو اتصال دهنده وارد عمل شود. بدین منظور جرم تمامی طبقات یکسان، اما سختی طبقات به صورت متفاوت لحاظ گردیدند. شکل ۱ سختی‌های در نظر گرفته شده برای سازه‌ها و جدول ۱ پریود ارتعاشی مود اول و دوم هر کدام از سازه‌ها را نشان می‌دهد.



جدول ۱- پریود مودهای اول و دوم دو سازه برشی مجاور هم، فرض شده در تحقیق

	$T_1$ (sec)	$T_2$ (sec)
<b>Building A</b>	0.7039	0.2897
<b>Building B</b>	0.2023	0.0833

برای اتصال بین سازه ها مدل نشان داده شده در شکل ۲ در نظر گرفته شد و سختی فنر متصل کننده طبقات بالایی سازه ها بصورت متغیر، بین صفر تا ۲ برابر سختی طبقه اول سازه A و با رفتار خطی فرض شد. برای کل این سیستم نسبت میرایی مطابق با مقدار پیشنهاد شده توسط آئین نامه های متداول برای سازه های معمول، و برابر با ۰.۵٪ برای هر مود در نظر گرفته شد. تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی خطی بر اساس روش جنینگز و بکمک برنامه کامپیوتری تهیه شده در محیط نرم افزار متلب انجام شد که در ادامه کار معادلات دینامیکی سازه و روند حل آن، ارائه می گردد.



شکل ۲- اتصال دو سازه برشی مجاور توسط فنر خطی در تراز بام

### ۳- معادلات حرکت دینامیکی سیستم و الگوریتم روش جنینگز

فرم کلی معادلات حرکت دینامیکی سیستم چنددرجه آزاد تحت اثر شتابنگاشت زلزله به صورت معادله ۱ می باشد.

$$F_I + F_D + F_S = 0 \quad (1)$$

در این معادله  $F_I$  نیروهای اینرسی،  $F_D$  نیروهای میرایی و  $F_K$  نیروهای حاصل از سختی سیستم می باشند.

با جایگذاری مقادیر مربوط به نیروهای اینرسی، میرایی و سختی در معادله ۱، میتوان به معادله ۲ رسید.

$$[m]\{\ddot{y}\} + [c](\{\dot{y}\} - \{\dot{y}_s\}) + [k](\{y\} - \{y_s\}) = 0 \quad (2)$$

که در آن  $y$ ،  $\dot{y}$ ،  $\ddot{y}$  به ترتیب جابجایی مطلق سازه، جابجایی زمین، سرعت مطلق سازه، سرعت زمین و شتاب مطلق سازه می باشند. همچنین  $[m]$ ،  $[c]$  و  $[k]$  نیز ماتریس های جرم، میرایی و سختی سازه هستند.

ارتباط بین جابجایی های مطلق و نسبی سازه و جابجایی زمین بصورت زیر است:

$$\{u\} = \{y\} - \{y_s\} \quad (3)$$

که  $\{u\}$  جابجایی نسبی سازه نسبت به زمین است. با جایگذاری معادله ۳ و مشتقات اول و دوم آن در معادله ۲، معادله حرکت سازه تحت اثر شتاب زلزله بصورت زیر خواهد بود که سمت راست آن نیروی موثر زلزله می باشد و معادله اصلی برای تحلیل سیستم در نظر گرفته شده است.



$$[m]\{\ddot{u}\} + [c]\{\dot{u}\} + [k]\{u\} = -[m]\{\ddot{z}_s\} \quad (۴)$$

برای حل معادله ۴ و انجام تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی خطی عملاً باید از روش‌های عددی استفاده نمود که روش جنینگز یکی قویترین روش‌های موجود است. این روش مبتنی بر درون یابی تحریک و بر حل مستقیم و جزء به جزء معادلات دیفرانسیل حرکت استوار می‌باشد [۱۳-۱۴]. به عبارت دیگر این روش با فرض داشتن پاسخ سازه در زمان  $t_i$  به یافتن پاسخ در زمان  $t_{i+1}$  به کمک معادلات ۵ و ۶ می‌پردازد. این روند حل نسبت به سایر روش‌های عددی حل انتگرال دوهمان، حجم محاسبات را کاهش داده و با صرفه جویی در زمان تحلیل پاسخ‌های نسبتاً دقیقی به ما می‌دهد.

$$u_{i+1} = Au_i + Bu_i + CF_i + DF_{i+1} \quad (۵)$$

$$\dot{u}_{i+1} = A'u_i + B'\dot{u}_i + C'F_i + D'F_{i+1} \quad (۶)$$

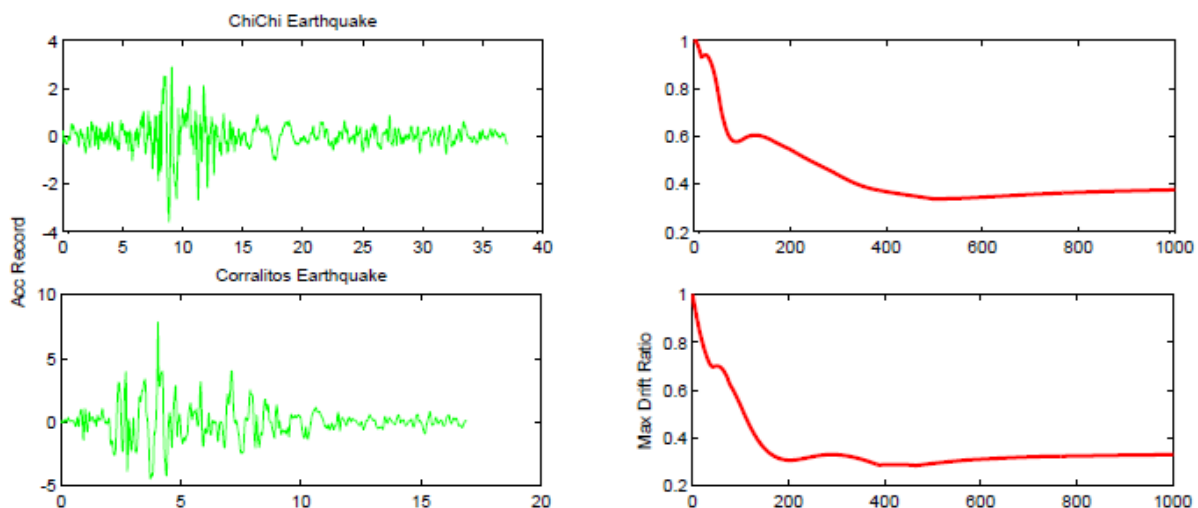
در این روابط  $A, B, C, D, A', B', C', D'$  پارامترهای واسط برای محاسبه جابجایی و سرعت نسبی سازه در روش جنینگز می‌باشند که در مراجع مختلف و معتبر دینامیک سازه ارائه شده‌اند [۱۳-۱۴]. برای تحلیل دینامیکی سازه‌ها، برنامه‌ای در محیط متلب به کمک الگوریتم روش جنینگز شرح داده شده نوشته شده است [۱۵].

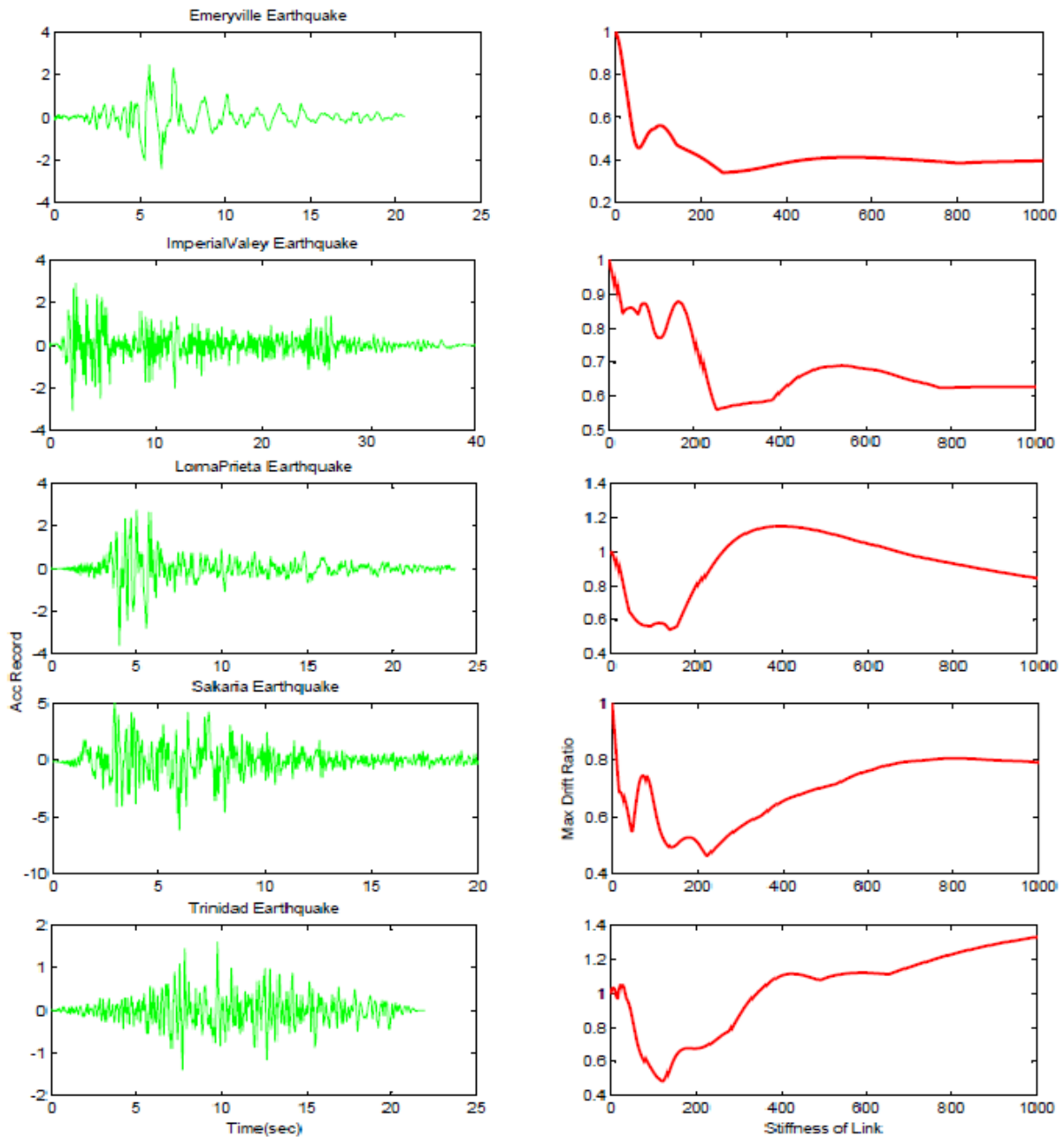
#### ۴- تحلیل‌های انجام شده

برای انجام تحلیل دینامیکی سازه‌ها و سیستم مورد بررسی تحت اثر شتابنگاشت زلزله و بررسی تاثیر ایده مطرح شده، ابتدا سختی فنر متصل کننده طبقات بالایی سازه‌ها برابر با صفر در نظر گرفته شد، به عبارت دیگر سازه‌ها در حالت نشان داده شده در شکل ۱ تحت اثر زلزله‌های مختلف به روش جنینگز تحلیل شدند و میزان جابجایی نسبی برای هر یک از درجات آزادی سیستم در طول هر زلزله محاسبه شد. پس از مقایسه مقادیر جابجایی نسبی محاسبه شده در زمان هر یک از زلزله‌ها، بیشترین میزان جابجایی نسبی کل سیستم استخراج شد.

سپس دو سازه برشی به وسیله یک فنر در تراز بام به هم متصل شدند و مجدداً پس از نوشتن معادلات حرکت دینامیکی سیستم و تحلیل عددی سازه‌ها به روش جنینگز تحت اثر رکوردهای زلزله، بیشترین میزان جابجایی نسبی کل سیستم متشکل از دوسازه، در حین هر یک از زلزله‌ها محاسبه شد.

برای بدست آوردن مقدار بهینه سختی فنر، تحلیل فوق برای سختی‌های متفاوت فنر که در بازه صفر تا ۲ برابر سختی طبقه اول سازه  $A$  قرار داشتند و در هر مرحله نیز مقدار افزایش سختی فنر متصل کننده بسیار ناچیز بود تکرار شد. بنابراین براساس تعداد بسیار زیادی تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی خطی، کمترین مقدار دررفت نسبت به حالت عدم وجود فنر متصل کننده و سختی فنر متناظر با آن به دست آمد. نمودار ۱ شتابنگاشت هفت زلزله استفاده شده در این تحقیق و تغییرات حداکثر جابجایی نسبی رخ داده در سازه‌ها نسبت به سختی فنر متصل کننده در تراز بام را نشان می‌دهد.





نمودار ۱- رکورد شتاب-زمان هفت زلزله استفاده شده در تحقیق و مقادیر بیشینه جابجایی نسبی سازه، نسبت به سختی فنر اضافه شده در تراز بام

هریک از این نمودارها حاصل صدها تحلیل دینامیکی تاریخچه زمانی خطی انجام شده توسط برنامه کامپیوتری نوشته شده در محیط نرم افزار متلب می باشد. همانطوریکه از نمودارها مشخص است جابجایی نسبی بیشینه ایجاد شده در سازه نسبت به سختی فنر بسیار حساس است و باید سختی بهینه فنر را یافت که به شتابنگاشت زلزله نیز وابسته است. جدول ۲ مقدار بهینه سختی فنر محاسبه شده را برای زلزله های مختلف نشان میدهد.



جدول ۲- مقادیر سختی بهینه فنر برای کمینه کردن جابجایی نسبی سازه در زلزله های مختلف

Earthquake	Min Drift Ratio	Stiffness of Link (Kn/m <sup>2</sup> )
ChiChi	0.337687	502.15
Corralitos	0.285379	468.87
Emeryville	0.338967	254.10
ImperialValey	0.561229	248.05
LomaPrieta	0.541368	136.12
Sakaria	0.463623	223.85
Trinidad	0.482710	121.00
<b>Average</b>	<b>0.430138</b>	<b>279.2</b>

سختی بهینه بدست آمده در زلزله های مختلف اختلاف زیادی با هم ندارند و میانگین آن حدود ۸ درصد سختی طبقه اول سازه A است. میزان کاهش جابجایی نسبی سازه به علت فنر بهینه اضافه شده در تراز بام برای زلزله های مختلف از ۲۹ الی ۵۶ درصد متغیر است. بنابراین می توان با انتخاب مناسب سختی فنر، بطور میانگین تا حدود ۵۰ درصد حداکثر جابجایی نسبی سازه را نسبت به حالت عدم حضور فنر کاهش داد.

## ۶- نتیجه گیری

در این تحقیق سیستم سازه های همجوار متصل به کمک فنر در تراز بام تحت اثر زلزله ارزیابی شد و حداکثر میزان دررفت کل در بین طبقات بدست آمد. تحلیل ها برای سیستم سازه ای تحت اثر هفت زلزله مختلف انجام شد و حاصل هزاران تحلیل دینامیکی خطی نشان داد که در صورت وجود ابزاری مناسب، بین سازه هایی با شرایط دینامیکی غیر مشابه و متصل نمودن طبقات سازه ها در تراز بام، می توان ارتعاش و جابجایی سازه ها را به طور میانگین تا حدود ۵۷ درصد کاهش داد. با کاهش جابجایی نسبی سازه ها علاوه بر تخریب کمتر، امکان ضربه زدن سازه های همجوار به یکدیگر نیز تا حد زیادی کاهش می یابد و در واقع می توان علاوه بر تغییر در روند طراحی و ساخت سازه ها نگاه ویژه ای به فاصله بین سازه ها (درز انقطاع) و استفاده مناسب از آن داشت.

## مراجع

- [1] Dicleli M, Bruneau M. Seismic performance of single-span simply supported and continuous slab-on-girder steel highway bridges. *Journal of Structural Engineering, ASCE*; 121(10): 1497-1506, 1995.
- [1] Kobori, T., Yamada, T., Takenaka, Y., Maeda, Y., & Nishimura, I. Effect of dynamic tuned connector on reduction of seismic response-application to adjacent office buildings. In *Proceedings of the Ninth World Conference Earthquake Engineering*; Vol. 5: 773-778, 1988.
- [2] Westermo, B. D. The dynamics of interstructural connection to prevent pounding. *Earthquake engineering & structural dynamics*; 18(5): 687-699, 1989.
- [3] Qi, H., & Youlin, X. Dynamic Analysis of Damper-Connected Adjacent Buildings Under Earthquake. *Transactions of Tianjin University*; 4(2): 128-133, 1998.
- [4] Xu, Y. L., He, Q., & Ko, J. M. Dynamic response of damper-connected adjacent buildings under earthquake excitation. *Engineering Structures*; 21(2): 135-148, 1999.
- [5] Zhang, W. S., & Xu, Y. L. Vibration analysis of two buildings linked by Maxwell model-defined fluid dampers. *Journal of Sound and Vibration*; 233(5): 775-796, 2000.
- [6] Zhu, H. P., & Iemura, H. A study of response control on the passive coupling element between two parallel structures. *Structural Engineering and Mechanics*; 9(4): 383-396, 2000.
- [7] Zhang, W. S., & Xu, Y. L. Dynamic characteristics and seismic response of adjacent buildings linked by discrete dampers. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*; 28(10): 1163-1185, 1999.



- [8] Kim, J., Ryu, J., & Chung, L. Seismic performance of structures connected by viscoelastic dampers. *Engineering Structures*; 28(2): 183-195, 2006.
- [9] Ni, Y. Q., Ko, J. M., & Ying, Z. G. Random seismic response analysis of adjacent buildings coupled with non-linear hysteretic dampers. *Journal of Sound and Vibration*; 246(3): 403-417, 2001.
- [10] Fujii, S., et al. Regeneration of town by interconnecting old pencil buildings (in Japanese). Report of Research Committee on Regeneration of Town by Interconnecting Existing Buildings, Architectural Institute of Japan, 2004 .
- [11] Bhaskararao, A. V., & Jangid, R. S. Seismic response of adjacent buildings connected with friction dampers. *Bulletin of Earthquake Engineering*; 4(1); 43-64, 2006.
- [12] Bakeri, A. E. Optimal Design of Hysteretic Dampers Connecting 2-MDOF Adjacent Structures for Random Excitations. *International Journal of Engineering (IJE)* ; 6(3): 184, 2012.
- [13] Chopra, A.K. *Dynamics of structures: Theory and applications to earthquake engineering* (4nd ed.), PEARSON Prentice Hall, Englewood Cliffs; 2012.
- [14] Clough, R.W., and Penzien, J. *Dynamics of Structures*. McGraw-Hill Book Company, 1975.
- [15] The MathWorks, Inc, MATLAB Program, version R2014a (8.3.0.532).