



اثرات زلزله‌های دور و نزدیک گسل در تحلیل برخورد سازه‌های ایزوله شده توسط جداگرهای LRB

سامان یغمایی سابق^۱، ویدا وطن‌دوست شیشوان^۲
(تاریخ دریافت ۹۲/۰۲/۱۲، تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۱۶)

چکیده

برخورد ساختمان‌های پایه ثابت در اثر حرکت‌های قوی زمین، می‌تواند موجب آسیب‌های موضعی و یا فرو ریزی سازه‌ها گردد. در واقع، نبود فاصله کافی جهت تسهیل جابجایی نسبی موجب برخورد سازه‌های مجاور شده، رفتار لرزه ای آنها را متأثر خواهد نمود. این مسئله برای سیستم‌های نوین لرزه ای مانند جداگرهای لرزه‌ای کمتر مورد مطالعه قرار گرفته است. در مقاله‌ی حاضر بمنظور بررسی اثر حوزه‌های دور و نزدیک گسل، امکان برخورد سازه‌ی ایزوله شده با دیوار پیرامونی و سازه‌های پایه‌ثابت مجاور فراهم گردیده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد علاوه بر پریود غالب، هر چه زمان تناوب متوسط رکورد (T_m) به زمان تناوب طبیعی سازه‌ها نزدیک باشد، برخورد بحرانی‌تر خواهد بود. همچنین هرچه ارتفاع سازه‌های مجاور به سازه‌ی ایزوله شده نزدیک‌تر باشد، اثرات زلزله‌های نزدیک گسل بحرانی‌تر خواهد بود. نتایج تحلیل‌ها نشان داد، میزان تأثیر پذیری نیروی ضربه در زلزله‌های نزدیک گسل با افزایش ارتفاع سازه‌های مجاور می‌تواند تا حدود ۴ برابر بیشتر از زلزله‌های دور از گسل باشد.

کلمات کلیدی

ضربه‌ی وارد بر سازه‌ها، برخورد لرزه‌ای، جداگرهای لرزه‌ای، ساختمان‌های مجاور، درز جدایی، اثرات نزدیک گسل

Effects of Near- and Far-Field Earthquakes on Pounding Analysis of Isolated Structures with (LRB) Isolator

S. Yaghmaei-Sabegh, V. Vatandoost-Shishavan

ABSTRACT

Pounding problem between fixed-based structures due to large earthquakes may cause local damages or lead to the structure's total collapse. Inadequate gap distance between structures could influence pounding between adjacent structures. Limited studies could be found on pounding analysis of modern systems as based-isolation buildings. In the present paper, we have modeled two adjacent structures, fixed base building and base isolated one in order to assess the effects of near and far properties of earthquakes on their response. Results show that critical impact could occur when mean period (T_m) is close to the natural period of structures. Also, if the highs of adjacent structures are nearer to isolated structures, the effects of near field earthquakes would increase. As a results, with increasing the height of adjacent structure, the amount of affected impact force in near-field motions is amplified 4 times more than far-field ones.

KEYWORDS

Structural Pounding, Impact, Seismic isolation, Adjacent structure, Separation gap, Near-field effect

۱- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، s_yaghmaei@tabrizu.ac.ir (نویسنده مسئول)

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه، دانشگاه تبریز، v.vatandoost88@gmail.com



در طی زلزله‌های شدید، سازه‌هایی که در مجاورت یکدیگر ساخته شده‌اند و فاصله‌ی مناسبی از یکدیگر ندارند، به هم برخورد می‌کنند که این پدیده به عنوان برخورد لرزه‌ای^۱ شناخته شده است [۱]. برخورد لرزه‌ای پدیده‌ی پیچیده‌ای است که شامل تغییر شکل‌های پلاستیک در نقاط تماس، ترک خوردگی موضعی، شکست در اثر ضربه، اصطکاک و غیره می‌باشد. نیروهای ایجاد شده در اثر برخورد، در طول بازه‌ی زمانی کوتاه اعمال شده و حذف می‌شوند. انتقال انرژی زلزله در طول برخورد بسیار پیچیده بوده و تحلیل ریاضی این پدیده را مشکل می‌سازد [۲]. این انرژی به صورت حرارت در اثر ارتعاشات مولکولی و اصطکاک داخلی اجسام برخورد کننده مستهلک می‌شود [۳]. تفاوت بین مشخصات دینامیکی از قبیل جرم، سختی و ارتفاع سازه‌های مجاور می‌تواند باعث ارتعاش‌های غیرهمفاز^۲ سازه‌ها شده، مسئله ضربه را بوجود بیاورد [۴]. برخورد بین سازه‌ها شامل دو مرحله می‌باشد. مرحله‌ی اول که از لحظه برخورد سازه‌ها شروع و تا زمانی که بیشترین تغییر شکل بوجود آید ادامه خواهد داشت. مرحله‌ی دوم شامل بازگشت سازه‌ها به سمت یکدیگر می‌باشد که با بسته شدن درز انقطاع بین سازه‌ها به پایان می‌رسد. در ابتدای مرحله‌ی اول، مصالح رفتار الاستیک از خود نشان می‌دهند اما بلافاصله تغییر شکل‌های پلاستیک و ترک‌های موضعی ایجاد خواهد شد. بیشترین مقدار استهلاک انرژی در طول مرحله‌ی اول اتفاق خواهد افتاد و میزان اتلاف انرژی در مرحله‌ی دوم در اثر اصطکاک بسیار اندک می‌باشد [۵]. در طول مرحله‌ی اول سرعت افزایش نیروی برخورد بیشتر خواهد بود و هنگامی که سازه‌ها وارد مرحله‌ی دوم می‌شوند نیروی برخورد با سرعت کمتری کاهش می‌یابد [۶]. در سال‌های اخیر نیاز به کاهش آسیب‌های سازه‌ای و غیرسازه‌ای مخصوصاً در سازه‌هایی که دارای اهمیت کاربری بالایی هستند، افزایش پیدا کرده است. رویکرد طراحی و استفاده از سیستم‌های جداساز لرزه‌ای یک ابتکار

نوین جهت تأمین مقاومت لرزه‌ای سازه‌ها می‌باشد. در جداسازهای لرزه‌ای افزایش دوره تناوب طبیعی سازه، موجب کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه‌ها می‌گردد. کاهش شتاب با توجه به رفتار نیرو - تغییر مکان جداساز انجام می‌پذیرد، اما ممکن است نیاز به کاهش شتاب، منجر به طراحی جداساز با سختی کمی گردد که این خود احتمال بوجود آمدن تغییر مکان‌های قابل توجه در طی زلزله را افزایش می‌دهد. از این رو احتمال برخورد در این سازه‌ها مخصوصاً در تراز جداسازی شده با سازه‌های مجاور بسیار مهم می‌باشد [۷-۱۰]. در رکوردهای حوزه‌ی نزدیک به علت فاصله‌ی کوتاه بین منبع تولید موج زلزله و محل دریافت آن، فرصتی جهت میرا شدن فرکانس‌های بالا نبوده، به همین علت تاریخچه زمانی شتاب آن‌ها، محتوای فرکانسی بالایی دارند [۱۱]. بررسی زمین لرزه‌های نزدیک گسل از موضوعات مهم مطرح در مهندسی زلزله می‌باشد. اخیراً مطالعات زیادی بر روی رفتار سازه‌ها و پل‌ها تحت اثر اعمال زلزله‌های نزدیک گسل و مقایسه‌ی آن با اثر زمین‌لرزه‌های دور از گسل، انجام گرفته است. به علت تشدید پاسخ‌های سازه‌ای در نواحی نزدیک گسل و خسارات فراوان گزارش شده پس از زلزله‌های Northridge در سال ۱۹۹۴ و Kobe در سال ۱۹۹۵ و چند زلزله‌ی دیگر، بررسی این رکوردها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد [۱۲].

زلزله‌های گوناگون به علت متفاوت بودن مقادیر ماکزیمم شتاب و سرعت (PGA و PGV)، شدت زلزله (M_w)، فاصله از گسل (R) و محتوای انرژی لرزه‌ای، اثرات مختلفی را بر روی ارتعاشات سازه‌ها خواهند داشت. تغییر پریود ارتعاشی سازه‌ها، بر نحوه‌ی برخورد سازه‌ها تأثیرگذار می‌باشد. ساختمان‌های مجهز به سیستم‌های جداساز، معمولاً با هدف بالا بردن سطح عملکرد سازه‌ها برای زلزله‌های قوی طراحی می‌شوند. کارایی ذکر شده با افزایش پریود طبیعی سازه‌ها باعث افزایش دوره‌ی تناوب و جابجایی تراز جداسازی می‌شود. بنابراین توجه به موضوع برخورد سازه‌های ایزوله شده با سازه‌های مجاور نه تنها در

¹ Pounding² Out-of-phase

تراز جداسازی شده بلکه در دیگر طبقات ساختمان نیز بسیار مهم می‌باشد.

در این مقاله ابتدا تأثیر رکوردهای دور و نزدیک گسل برای سازه‌ی ایزوله شده‌ای که تنها در معرض برخورد در تراز جداسازی شده می‌باشد، بررسی می‌شود. در ادامه ارزیابی برخورد سازه‌های ایزوله شده با انواع ساختمان‌های پایه ثابت مجاور تحت اثر هر دو گروه از زلزله‌ها، تکمیل خواهد شد. همچنین در بخش پایانی این مقاله به بررسی تأثیر انتخاب نوع رکورد بر مقدار نیروی ناشی از برخورد خواهیم پرداخت.

۲- تحقیقات انجام شده در زمینه‌ی برخورد سازه‌های ایزوله شده

مطالعات زیادی در زمینه‌ی برخورد سازه‌های پایه ثابت و یا برخورد پایه‌های پل‌ها به عنوان یکی از موضوعات اساسی در مهندسی زلزله انجام گرفته است [۱۳].

Anagnostopoulos [۱۴] جزء اولین محققانی است که مطالعات عددی در این زمینه انجام داده است. او با در نظر گرفتن سیستم‌های یک درجه آزادی، پدیده‌ی برخورد را مدلسازی کرد. بعد از او محققان زیادی به صورت عددی و آزمایشگاهی این پدیده را مورد ارزیابی قرار داده‌اند [۱۵-۱۷]. در نقطه مقابل، مطالعات اندکی در زمینه‌ی برخورد سازه‌های ایزوله شده انجام شده است. Tsai [۱۸] و Malhotra [۱۹] جزء اولین محققان در این زمینه می‌باشند. آن‌ها به بررسی امکان برخورد سازه‌های ایزوله شده با دیوار پیرامونی^۱ پرداختند. محققان ذکر شده از تئوری انتشار موج برای بررسی پاسخ سازه‌ی ایزوله در حین برخورد استفاده کردند.

Matsagar و Jangid [۲۰] یک ساختمان ایزوله شده را بصورت سازه‌ی یک درجه آزادی برای انواع سیستم‌های جداساز در دو حالت عددی و پارامتری مورد بررسی قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که هنگامی که سازه‌ی کناری ساختمان ایزوله شده دارای تعداد طبقات زیادتر و یا

سختی بیشتر باشد، اثر ضربه در سازه‌ی ایزوله شده بیشتر خواهد بود.

Komodromos و همکارانش با تحلیل پارامتریک روی پاسخ لرزه‌ای این سیستم‌ها، تأثیر پدیده‌ی برخورد را بر روی کارکرد سیستم‌های جداساز بررسی نمودند [۲۱ و ۲۲]. آن‌ها در این تحقیق سیستم جداساز را بصورت دو خطی مدل کردند.

Agarwala و همکارانش [۲۳] برخورد میان دو سازه‌ی دو طبقه‌ی پایه ثابت و دو سازه‌ی دو طبقه‌ی ایزوله شده را بررسی کردند. آن‌ها از سیستم جداساز اصطکاکی برای ایزوله کردن سازه‌ها استفاده کرده و ضریب اصطکاک سیستم جداساز را بعنوان پارامتر متغیر در نظر گرفتند.

در هیچکدام از تحقیقات انجام گرفته فوق الذکر، برخورد میان سازه‌های پایه ثابت و سازه‌ی ایزوله شده در نظر گرفته نشده است.

در سال ۲۰۱۰ Polycarpou و Komodromos [۱۷] یک ساختمان چهار طبقه را تحت شرایط مختلف، مورد ارزیابی قرار داده‌اند. پاسخ‌های لرزه‌ای حاصل از برخورد سازه‌ها نشان داد که وجود سیستم‌های جداگر لرزه‌ای باعث کاهش تغییرشکل داخلی طبقات می‌گردد، ازطرفی در اثر برخورد، شتاب سازه‌ی ایزوله شده افزایش پیدا میکند. در مطالعه‌ی آنها، که جامع‌ترین تحقیق در این موضوع می‌باشد، تأثیر حوزه‌های دور و نزدیک گسل در تحلیل مسئله‌ی برخورد مورد توجه قرار نگرفته است.

در این مقاله اثر زلزله‌های دور و نزدیک گسل در تحلیل سازه‌ی ایزوله شده و ساختمان‌های پایه ثابت بررسی شده است. سیستم جداساز در سازه‌ها به صورت دو خطی مدل گردیده است و به منظور مدلسازی نیروی برخورد از لینک غیرخطی GAP استفاده شده است. برخورد سازه‌ی ایزوله شده یکی در مجاورت با دیوار پیرامونی (Moat Wall) و دیگری در مجاورت با سازه‌های پایه ثابت با ارتفاع‌های مختلف مدلسازی شده‌اند.

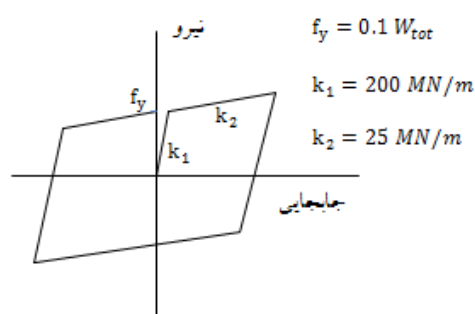
¹ Moat wall



۳- مدل‌های تحلیلی

۳-۱- مدل‌سازی سیستم جداساز

در این تحقیق از سیستم جداساز هسته سربی^۱ که به اختصار (LRB) نامیده می‌شود استفاده شده است. سیستم‌های جداساز توسط مدل‌های غیر الاستیک دوطبقی مدل‌سازی شده‌اند. پارامترهای طراحی برای این سیستم‌ها، نیروی تسلیم (f_y)، سختی الاستیک اولیه (K_1) و سختی غیرالاستیک ثانویه (K_2) بصورت تجربی انتخاب شده‌اند [۱۷]. شکل (۱) رفتار دوطبقی سیستم جداساز را نشان می‌دهد.



شکل (۱): مدل غیرالاستیک دوطبقی جهت مدل‌سازی رفتار سیستم جداساز لرزه‌ای

۳-۲- تهیه مدل‌های سازه‌ای مختلف

یک ساختمان چهار طبقه در چهار حالت زیر به کمک نرم افزار SAP2000 مدل‌سازی شده است:

- (a) ساختمان پایه ثابت
- (b) ساختمان ایزوله شده بدون امکان برخورد
- (c) ساختمان ایزوله شده با امکان برخورد با Moat wall
- (d) ساختمان ایزوله شده با امکان برخورد با ساختمان‌های پایه ثابت مجاور

۳-۳- مشخصات مدل انتخابی

مشخصات هندسی سازه‌ی مورد مطالعه همراه با مشخصات مصالح در جدول (۱) ارائه شده است. رفتار این سازه به صورت برشی و با در نظر گرفتن درجات آزادی در جهت

X مدل‌سازی شده است. مقادیر جرم هر طبقه به صورت جرم متمرکز در مرکز جرم طبقه اعمال شده است. رفتار سازه‌ی پایه ثابت الاستیک فرض شده و نوع تحلیل‌ها، تحلیل تاریخیچه زمانی می‌باشد. خاک ساختگاه از نوع B فرض شده است. مدل‌سازی پایه ثابت در شکل (۲) نشان داده شده است. برای مدل‌سازی جداساز هسته سربی در نرم‌افزار، از لینک غیرخطی LRB استفاده شده است. این لینک با توجه به داده‌های جدول (۲) تعریف شده و توسط ابزار موجود در نرم‌افزار جایگزین تکیه‌گاه‌های ثابت سازه شده است. درز انقطاع بر اساس ۹۰ درصد بیشترین جابجایی کف سازه‌ی ایزوله شده تحت اثر زلزله‌های مختلف در نظر گرفته شده است. جهت مدل‌سازی برخورد سازه‌ی ایزوله با دیوار پیرامونی در هر دو طرف سازه، گره‌هایی تعیین شده و سپس این گره‌ها با محدود کردن تمام درجات آزادی، به گره‌های ثابت تبدیل شده‌اند. مابین سازه‌ی جداسازی شده و گره‌های ذکر شده، لینک غیرخطی GAP تخصیص یافته است. این لینک براساس مقادیر ذکر شده در جدول (۳) در نرم افزار تعریف شده است. در شکل (۳) مدل تهیه شده جهت تحلیل مسئله‌ی برخورد سازه‌ی جداسازی شده به Moat wall نمایش داده شده است.

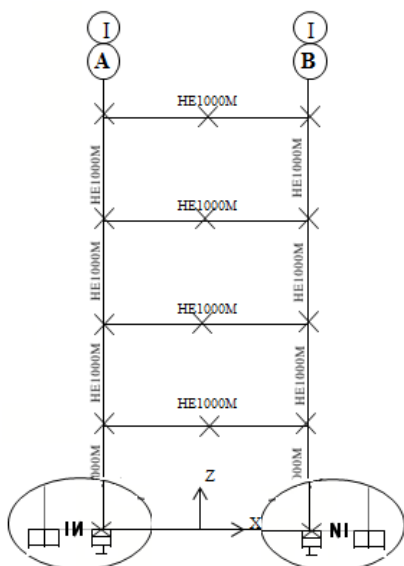
جدول (۱): مشخصات سازه‌ی پایه ثابت و روسازه‌ی سازه‌ی ایزوله

پارامتر فرض شده	مقدار
تعداد طبقات	۴ طبقه
ارتفاع طبقات	۳ m
عرض طبقات	۶ m
جرم طبقات	۳۲۰ ton
جرم بام سازه	۲۵۰ ton
سختی طبقات و بام	۶۰۰ MN/m
مدول الاستیسیته (E)	2×10^{11} N/m ²
تنش تسلیم فولاد (F_y)	$3/4 \times 10^8$ N/m ²
تنش کششی فولاد (F_u)	$4/8 \times 10^8$ N/m ²

*فرضیات انجام شده برای سازه‌ی پایه ثابت و روسازه‌ی سازه‌ی ایزوله

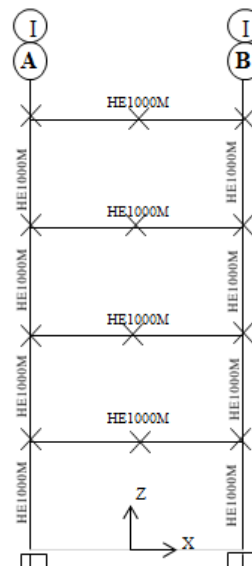
¹ Lead rubber bearing





شکل (۳): مدل سازی برخورد سازه‌ی جداسازی شده به Moat wall

در شکل‌های (۴) و (۵)، طیف‌های پاسخ نرمال شده‌ی زلزله‌های نزدیک و دور از گسل برای نسبت میرایی ویسکوز ۵ درصد نشان داده شده است. ساختمان‌ها در پنج حالت با ارتفاع‌های مختلف در مجاورت سازه‌ی ایزوله شده مدل‌سازی شده‌اند. جرم و سختی طبقات و بام در همه‌ی سازه‌های پایه ثابت، مطابق جدول (۱) می‌باشد. این سازه‌ها نیز مشابه حالت قبل توسط لینک غیرخطی GAP بهم متصل گردیده و تحت اثر زلزله‌های مختلف تحلیل شده‌اند. با توجه به اینکه زلزله‌های مختلف باعث ایجاد جابجایی‌های متفاوت در تراز جداسازی می‌شوند، بنابراین میزان درز انقطاع در نظر گرفته شده برای تحلیل‌ها یکسان نخواهد بود. در این مقاله مجموعاً ۱۴۰ مدل تحلیلی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از این مدل‌سازی‌ها به بیان تفاوت‌های موجود در برخورد سازه‌ی ایزوله شده با ساختمان‌های مجاور بین رکورهای نزدیک گسل و دور از گسل، خواهد پرداخت که اهمیت آن برای طراحان سازه‌های ایزوله شده بسیار زیاد می‌باشد.



شکل (۲): مدل سازی سازه‌ی پایه ثابت

جدول (۲): مقادیر فرض شده برای سیستم جداساز سازه‌ی ایزوله

فرضیات طراحی برای سیستم جداساز (LRB)	
سختی اولیه جداساز (k_1)	۲۰۰ MN/m
سختی ثانویه جداساز (k_2)	۲۵ MN/m
تنش تسلیم (f_y)	$0.1 W_{tot} = 153 \text{ ton}$

جدول (۳): پارامترهای مورد نیاز جهت مدل کردن نیروی برخورد

فرضیات در نظر گرفته شده برای لینک غیرخطی (GAP)	
سختی غیر خطی	۴۵۰۰ kN/mm
مقدار درز انقطاع	(ماکزیمم جابجایی کف سازه‌ی ایزوله شده) $0.9 \times$

برای بررسی اثرات زلزله‌های مختلف در برخورد رخ داده در تراز جداسازی شده از دو گروه زلزله‌های نزدیک گسل و دور از گسل که مشخصات آن‌ها به ترتیب در جدول (۴) و (۵) ذکر شده، استفاده شده است. زلزله‌های انتخابی به منظور تحلیل‌های دینامیکی غیرخطی تاریخیچه زمانی بر اساس ماکزیمم شتاب زمین برابر با $1/2g$ مقیاس شده است.

جدول (۴): مشخصات زلزله های نزدیک گسل در نظر گرفته شده به منظور تحلیل سازه‌ها

شماره	نام زلزله	تاریخ وقوع	M_w	مؤلفه	ایستگاه	PGA (g)	فاصله از گسل (Km)	T_m (s)	T_p (s)
۱	San Fernando	۱۹۷۱/۰۲/۰۹	۶/۶	SFERN/PCD16 4	279 Pacoima Dam	۱/۲۲۶	۲/۸	۰/۴۷۹	۰/۳۸
۲	Kobe	۱۹۹۵/۰۱/۱۶	۶/۹	KJM000	0 KJMA	۰/۸۲۱	۰/۶	۰/۶۴۱	۰/۳۴
۳	Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹/۰۹/۲۰	۷/۶	TCU128-N	TCU128	۰/۱۷۰	۹/۷	۱/۴۲۰	۰/۵۲
۴	Kocaeli, Turkey	۱۹۹۹/۰۸/۱۷	۷/۴	SKR090	Sakarya	۰/۳۷۹	۳/۱	۰/۴۰۷	۰/۰۸
۵	Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹/۰۹/۲۰	۷/۶	NSY-E	NSY	۰/۱۴۵	۹/۷	۱/۰۷۰	۰/۳۲
۶	Superstitt Hills(B)	۱۹۸۷/۱۱/۲۴	۷/۶	B-PTS225	5051 Parachute Test Site	۰/۴۵۵	۰/۷	۱/۰۷۰	۰/۲۸
۷	Coyote Lake	۱۹۷۹/۰۸/۰۶	۵/۷	G06230	57383 Gilroy Array #6	۰/۴۳۴	۳/۱	۰/۶۵۳	۰/۶۸
۸	N. Palm Springs	۱۹۸۶/۰۷/۰۸	۶/۰	DSP000	12149 Desert Hot Springs	۰/۳۳۱	۸/۰	۰/۳۸۹	۰/۱۶
۹	Landers	۱۹۹۲/۰۶/۲۸	۷/۴	BRS090	23559 Barstow	۰/۱۳۵	۳۶/۱	۰/۹۲۴	۰/۷۴
۱۰	Loma Prieta	۱۹۸۹/۱۰/۱۸	۶/۹	CLS000	57007 Corralitos	۰/۶۴۴	۵/۱	۰/۴۷۱	۰/۳۰

جدول (۵): مشخصات زلزله های دور از گسل در نظر گرفته شده به منظور تحلیل سازه‌ها

شماره	نام زلزله	تاریخ وقوع	M_w	مؤلفه	ایستگاه	PGA (g)	فاصله از گسل (Km)	T_m (s)	T_p (s)
۱	Friuli, Italy	۱۹۷۶/۰۹/۱۵	۶/۱	FOC000	8014 Forgaria Cornino	۰/۲۶۰	۱۳/۵	۰/۲۵۲	۰/۱۶
۲	San Fernando	۱۹۷۱/۰۲/۰۹	۶/۲	ORR021	24278 Castaic - Old Ridge Route	۰/۳۲۴	۲۴/۹	۰/۳۵۳	۰/۳۴
۳	Chi-Chi, Taiwan	۱۹۹۹/۰۹/۲۰	۷/۶	TCU095-N	TCU095	۰/۷۱۲	۴۳/۴۴	۰/۳۸۱	۰/۳۲
۴	Coyote Lake	۱۹۷۹/۰۸/۰۶	۵/۷	SJB213	1377 San Juan Bautista	۰/۱۰۸	۱۵/۶	۰/۴۷۴	۰/۲۰
۵	N. Palm Springs	۱۹۸۶/۰۷/۰۸	۶/۰	H08000	12204 San Jacinto - Soboba	۰/۲۵۰	۳۲	۰/۲۵۲	۰/۱۶
۶	Coyote Lake	۱۹۷۹/۰۸/۰۶	۵/۷	SJ3067	1492 SJB Overpass, Bent 3 g.l.	۰/۰۹۷	۱۷/۲	۰/۳۹۳	۰/۲۲
۷	Livermore	۱۹۸۰/۰۱/۲۷	۵/۴	B-ANT270	67070 Antioch - 510 G St	۰/۱۱۲	۳۰/۹	۰/۴۵۱	۰/۲۶
۸	Coyote Lake	۱۹۷۹/۰۸/۰۶	۵/۷	SJ5067	1492 SJB Overpass, Bent 5 g.l.	۰/۰۷۳	۱۷/۲	۰/۴۱۲	۰/۱۸
۹	Northridge	۱۹۹۴/۰۱/۱۷	۶/۷	WST000	90021 LA - N Westmoreland	۰/۴۰۱	۲۹	۰/۳۳۴	۰/۲۲
۱۰	N. Palm Springs	۱۹۸۶/۰۷/۰۸	۶/۰	H08090	12204 San Jacinto - Soboba	۰/۲۳۹	۳۲	۰/۲۸۷	۰/۱۶



$$T_m = \frac{\sum c_i^2 / f_i}{\sum c_i^2} \quad (1)$$

در این فرمول مقدار C_i ، دامنه‌ی فوریه‌ی رکورد و f_i مقدار فرکانس‌ها را در فاصله‌ی ۰/۲۵ تا ۲۰ هرتز نشان می‌دهد.

۵- تشدید ماکزیمم شتاب

بررسی شتاب طبقات مختلف سازه، خصوصاً در زمینه‌ی برخورد سازه‌ها بسیار مهم می‌باشد. در این مقاله به منظور بررسی این پارامتر برای سازه‌های واقع در نزدیک گسل و دور از گسل، ابتدا طیف پاسخ شتاب برای شش نوع مدل مختلف، تحت رکوردهای ذکر شده تهیه شده است. سپس نسبت ماکزیمم شتاب‌ها در حالت برخورد سازه‌ی ایزوله شده به قبل از برخورد آن، برای هر دو گروه رکوردهای ذکر شده مورد توجه قرار گرفته است که به اختصار (APA) عنوان شده است.

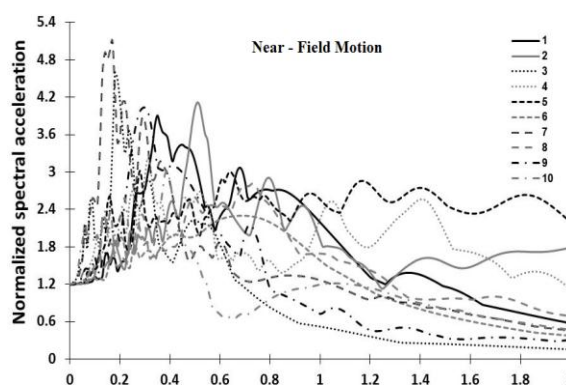
۶- تشدید جابجایی نسبی

جابجایی نسبی طبقات در سازه‌های ایزوله شده (به علت وجود جداسازها) نسبت به سازه‌های پایه ثابت کمتر می‌باشد. وجود جداسازها در سازه باعث می‌شود روسازه در برابر زلزله رفتار صلبی از خودش نشان دهد. نحوه‌ی متأثر شدن جابجایی نسبی داخل طبقات در حین برخورد در برابر رکوردهای دور و نزدیک گسل، نسبت به حالت قبل از برخورد در این مقاله ارائه گردیده است. این نسبت در بحث و بررسی نتایج به اختصار (APD) نامیده شده است.

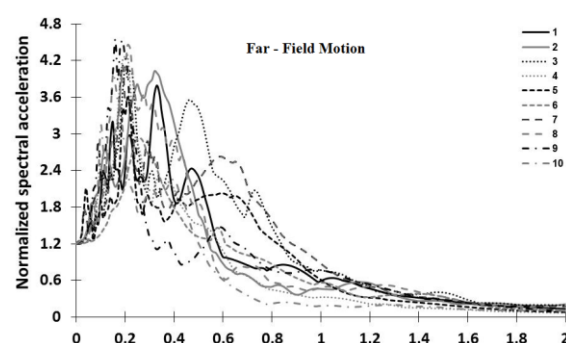
۷- ارائه‌ی نتایج

تحلیل برخورد سازه‌ها از عوامل مختلفی متأثر می‌شود. از مهمترین این عوامل می‌توان به مشخصات سازه‌های برخوردکننده مانند جرم، میرایی و پریود سازه‌ها، درز انقطاع مابین سازه‌ها و ویژگی‌های رکوردهای انتخابی اشاره کرد.

هدف کلی از بررسی‌های انجام گرفته در این مقاله، تعیین تأثیر انواع رکوردهای انتخابی در تحلیل پارامترهای مهم



شکل (۴): طیف پاسخ نرمال شده‌ی زلزله‌های نزدیک گسل با نسبت میرایی ویسکوز ۵ درصد



شکل (۵): طیف پاسخ نرمال شده‌ی زلزله‌های دور از گسل با نسبت میرایی ویسکوز ۵ درصد

۴- مفهوم زمان تناوب متوسط (T_m)

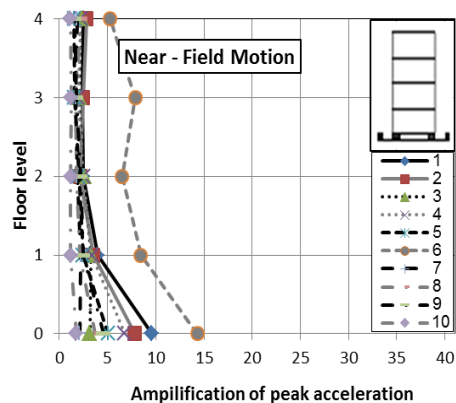
گارسیا و همکارانش [۲۴] در سال ۲۰۰۹ دقت روش تفاضل طیفی^۱ را برای محاسبه‌ی درز انقطاع سازه‌های دارای یک درجه‌ی آزادی مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیقات آنان ثابت نمود که دقت این روش که درز انقطاع لازم را با استفاده از ترکیب تفاضل دوبل^۲ (DDC) محاسبه می‌کند، علاوه بر نسبت پریود سازه‌ها به ارتباط این پریودها به زمان تناوب متوسط (T_m) که مربوط به فرکانس اصلی تحریک ω_m می‌باشد، بستگی دارد. زمان تناوب متوسط (T_m) یکی از مشخصات مهم حرکت زمین محسوب می‌شود که از رابطه‌ی (۱) محاسبه می‌شود [۲۵].

¹ Spectral difference method

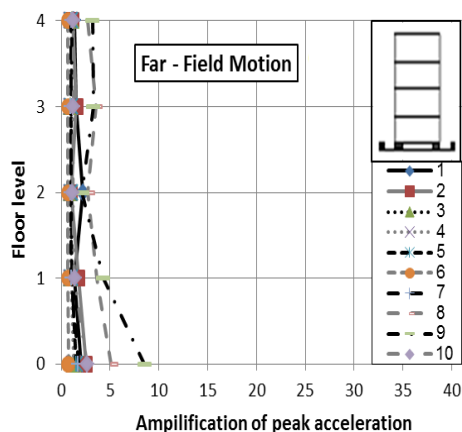
² Double difference combination



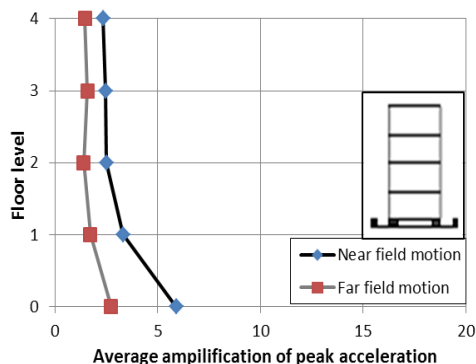
(۷) تا (۱۱) به بررسی تغییرات پارامتر (APA) سازه‌ی ایزوله شده با ساختمان‌های مجاور می‌پردازیم. بجز ارتفاع سازه‌های پایه ثابت مجاور، تمام ویژگی‌های این سازه‌ها، مشابه سازه‌ی ایزوله شده می‌باشد.



الف) تحت رکوردهای نزدیک گسل



ب) تحت رکوردهای دور از گسل



ج) میانگین نسبت ماکزیمم شتاب برای هر دو گروه از رکوردها
شکل (۶): نسبت ماکزیمم شتاب بعد از برخورد سازه‌ایزوله به
قبل از برخورد آن (APA) با دیوار پیرامونی

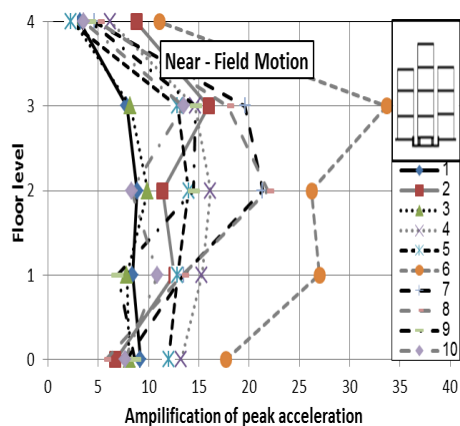
سازه مانند نسبت ماکزیمم شتاب طبقات، نسبت ماکزیمم جابجایی داخل طبقه‌ی سازه‌ی ایزوله شده و مقدار نیروی برخورد می‌باشد. برای درک بهتر این اثرات، نتایج بررسی پارامترهای (APA) و (APD) بصورت نمودارهای مقایسه‌ای ارائه شده است.

۷-۱- بررسی پارامتر (APA) سازه‌ی ایزوله شده در

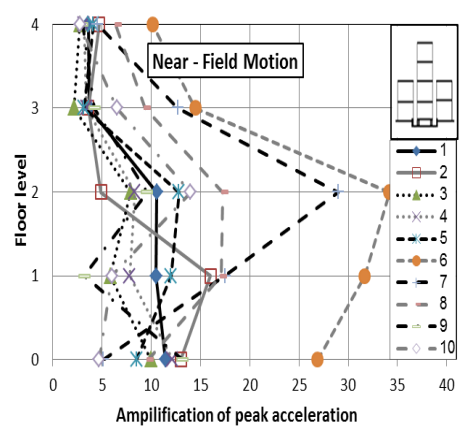
اثر برخورد، تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل

شکل (۶) نمودارهای مربوط به برخورد سازه‌ی ایزوله، در تراز جداسازی شده را نشان می‌دهد. شکل‌های (۷)، (۸)، (۹)، (۱۰) و (۱۱) به ترتیب نمودارهای مربوط به برخورد سازه‌ی ایزوله با سازه‌های پایه ثابت مجاور، دو، سه، چهار، پنج و شش طبقه را نشان می‌دهند. نام رکوردهای نوشته شده در کنار نمودارها، مطابق شماره‌های متناظر آن‌ها در جدول (۴) و (۵) می‌باشد. در این بخش از مقاله به بررسی پارامتر (APA) سازه‌ی ایزوله در تراز جداسازی شده می‌پردازیم. مدل مورد مطالعه تحت اثر رکوردهای مختلف زلزله (مندرج در جدول (۴) و (۵)) تحلیل تاریخیچه زمانی غیر خطی شده‌است. نتایج حاصل نشان می‌دهد هنگامی که برخورد در تراز جداسازی شده رخ دهد، شتاب کف تراز جداسازی شده از شتاب دیگر طبقات بیشتر خواهد بود. این روند در هر دو گروه از رکوردها مشابه می‌باشد. اما همانطور که در شکل (۶) قسمت (C) مشاهده می‌شود میانگین افزایش شتاب بعد از برخورد با دیوار پیرامونی تحت رکوردهای نزدیک گسل در تراز جداسازی شده دو برابر مقدار آن تحت اثر رکوردهای دور از گسل می‌باشد. در حالیکه در ارتفاع طبقات این مقدار به $1/6$ برابر آن می‌رسد. بنابراین هنگامی که سازه‌ای ایزوله شده فقط در تراز جداسازی شده در معرض برخورد قرار دارد، شرایط بحرانی پارامتر (APA)، در تراز جداسازی شده رخ خواهد داد. از طرفی میزان تغییرات این پارامتر برای رکوردهای نزدیک گسل بطور میانگین $3/35$ برابر می‌باشد، در حالیکه برای رکوردهای دور از گسل این مقدار برابر با $1/77$ برابر می‌باشد. با توجه به مقادیر ذکر شده، افزایش پارامتر (APA) سازه‌ی ایزوله شده تحت رکوردهای نزدیک گسل $1/89$ برابر رکوردهای دور از گسل می‌باشد. در شکل‌های

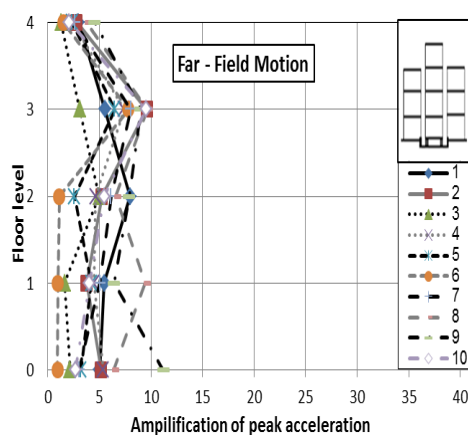




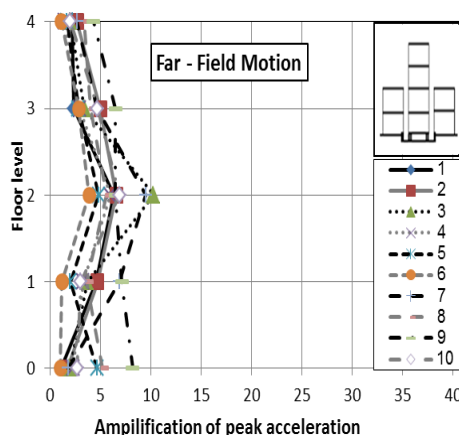
الف) تحت رکوردهای نزدیک گسل



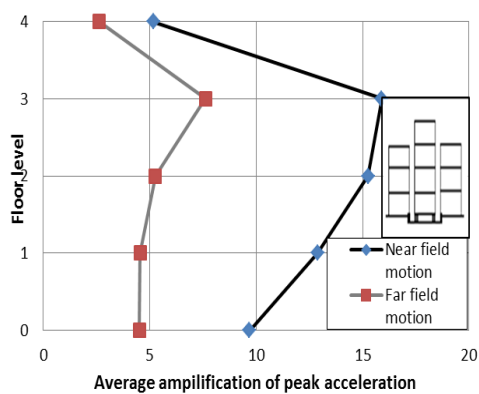
الف) تحت رکوردهای نزدیک گسل



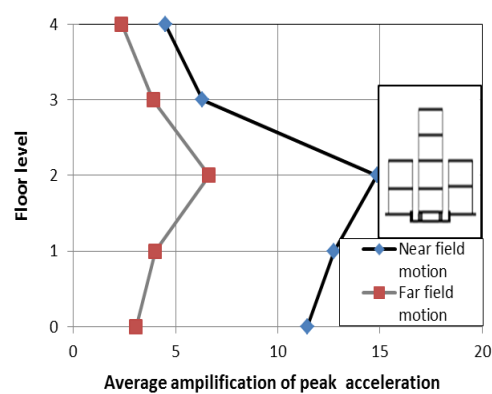
ب) تحت رکوردهای دور از گسل



ب) تحت رکوردهای دور از گسل



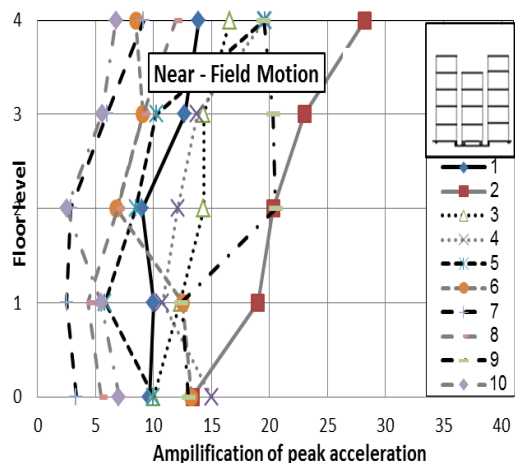
ج) میانگین پارامتر (APA) برای هر دو گروه رکورد



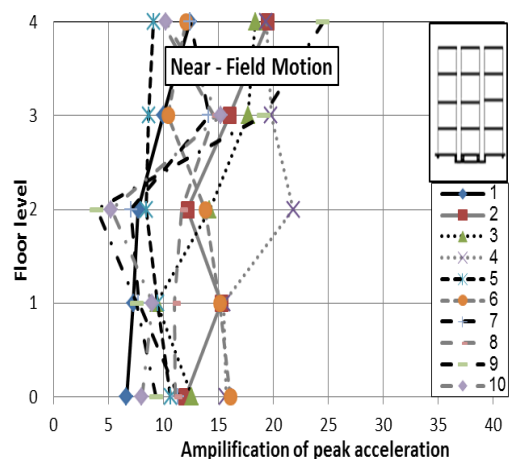
ج) میانگین نسبت ماکزیمم شتاب برای هر دو گروه از رکوردها

شکل (۸): پارامتر (APA) در حالت برخورد با سازه‌های ۳ طبقه‌ی مجاور

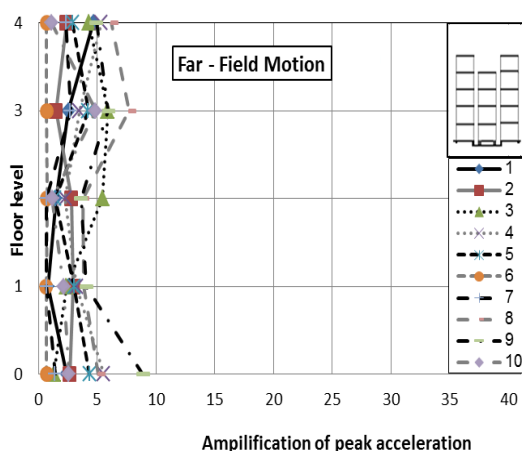
شکل (۷): نسبت ماکزیمم شتاب بعد از برخورد سازه‌ایزوله به قبل از برخورد آن (APA) با سازه‌های ۲ طبقه‌ی مجاور



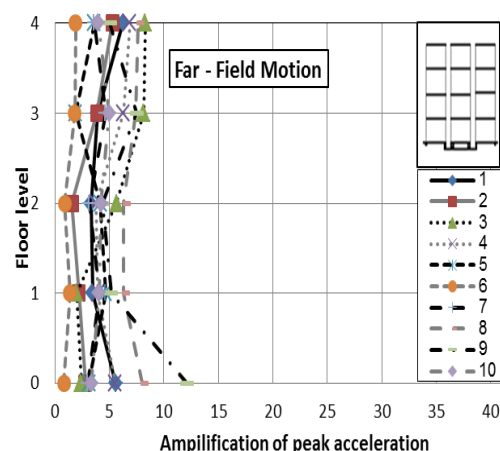
الف) تحت رکوردهای نزدیک گسل



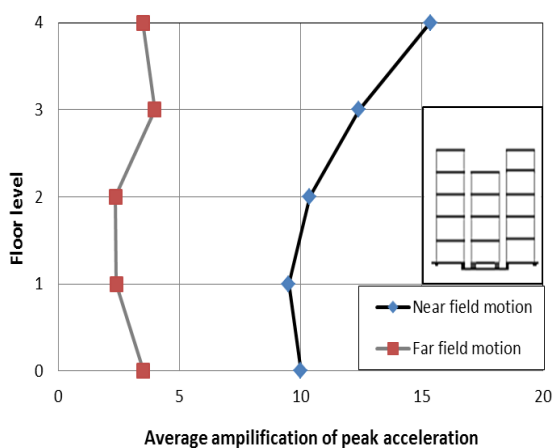
الف) تحت رکوردهای نزدیک گسل



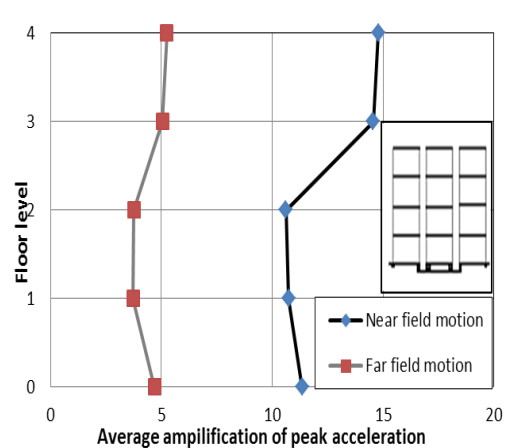
ب) تحت رکوردهای دور از گسل



ب) تحت رکوردهای دور از گسل



ج) میانگین پارامتر (APA) برای هر دو گروه رکورد



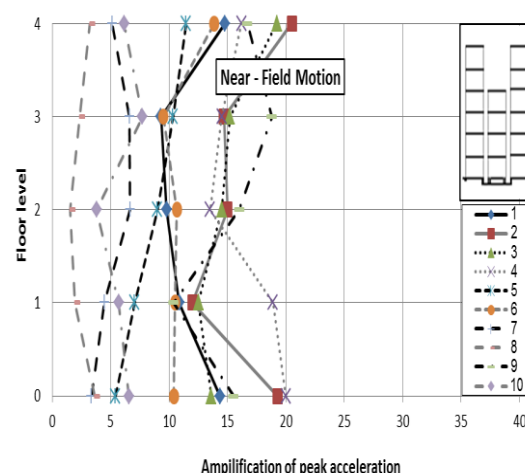
ج) میانگین پارامتر (APA) برای هر دو گروه رکورد

شکل (۱۰): پارامتر (APA) در حالت برخورد با سازه‌های ۵ طبقه‌ی مجاور

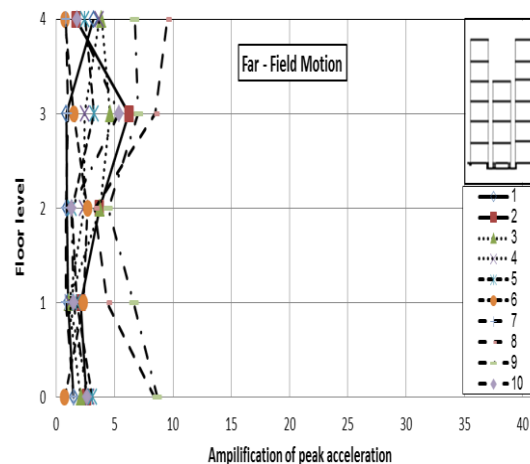
شکل (۹): پارامتر (APA) در حالت برخورد با سازه‌های ۴ طبقه‌ی مجاور



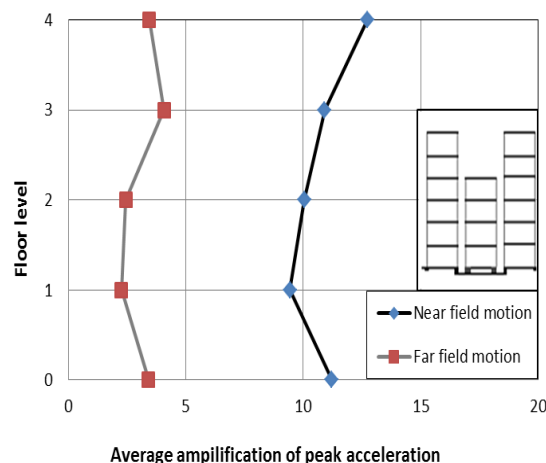
قسمت‌های (الف) و (ب) شکل (۷) و (۸) بطور واضح تفاوت میان انتخاب نوع رکورد در تحلیل برخورد سازهی ایزوله را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود هنگامی که سازهی ایزوله شده در برخورد با سازه‌های پایه ثابت مجاور دو طبقه قرار می‌گیرد در اکثر رکوردهای نزدیک و دور از گسل بیشترین مقدار پارامتر (APA) در تراز طبقه‌ی دوم اتفاق می‌افتد و همچنین در مجاورت با سازه‌های سه طبقه حالت بحرانی در تراز طبقه‌ی سوم رخ می‌دهد. نمودار میانگین شکل (۷) بیانگر روند افزایشی این پارامتر تا تراز طبقه‌ی دوم و سپس کاهش آن تا تراز بام سازهی ایزوله شده می‌باشد، شرایط مشابهی نیز در طبقه سوم برای برخورد با سازه‌های پایه ثابت سه طبقه مشاهده می‌شود. با توجه به نمودارهای فوق می‌توان گفت هنگامی که ارتفاع سازه‌های پایه ثابت مجاور از ارتفاع سازهی ایزوله شده کمتر باشد، شرایط بحرانی پارامتر (APA) در هر دو گروه رکورد در تراز بام سازه‌های مجاور رخ خواهد داد. اما شایان ذکر است با توجه به نمودارهای میانگین شکل (۷) و (۸)، میزان افزایش این پارامتر تحت رکوردهای نزدیک گسل نسبت به حالت برخورد با دیوار پیرامونی به مراتب بیشتر می‌باشد. مقدار میانگین تغییرات این پارامتر در برخورد با سازه‌های پایه ثابت دو طبقه تحت زلزله‌های نزدیک گسل به دور از گسل برابر با $2/5$ و هنگام برخورد با سازه‌های پایه ثابت سه طبقه برابر با $2/4$ می‌باشد. مطابق تحقیقات پلی‌کارپو و کمودرموس و نتایج ارائه شده در شکل (۷) و (۸) میزان پراکندگی نمودارها نسبت به حالت برخورد با دیوار پیرامونی بیشتر می‌باشد. پلی‌کارپو و کمودرموس در مطالعات خود اشاره‌ای به انتخاب نوع رکورد در تحلیل برخورد سازهی ایزوله شده نکرده‌اند. در حالیکه نمودارهای (الف) و (ب) اشکال ذکر شده بطور واضح نشان می‌دهد توزیع پراکندگی برای زلزله‌های نزدیک گسل به مراتب بیشتر از زلزله‌های دور از گسل می‌باشد. از طرفی با افزایش تراز طبقات برخورد کننده، تفاوت میان این دو گروه رکورد واضح‌تر می‌گردد. نمودارهای (الف) و (ب) شکل (۹)، (۱۰) و (۱۱) نشان می‌دهد، اگر ارتفاع سازه‌های پایه ثابت مجاور با ارتفاع



الف) تحت رکوردهای نزدیک گسل



ب) تحت رکوردهای دور از گسل



ج) میانگین پارامتر (APA) برای هر دو گروه رکورد

شکل (۱۱): پارامتر (APA) در حالت برخورد با سازه‌های ۶ طبقه‌ی مجاور

سازه‌ی ایزوله شده یکسان و یا بیشتر باشد، بطورکلی پارامتر (APA)، از تراز جداسازی شده تا تراز طبقه‌ی بام سازه‌ی ایزوله شده روند افزایشی خواهد داشت. اما مقدار افزایش آن با زیاد شدن ارتفاع سازه‌های پایه ثابت بیشتر خواهد بود. با توجه به اینکه با افزایش ارتفاع، پیوند طبیعی سازه افزایش پیدا می‌کند، بنابراین مقدار دوره‌ی تناوب سازه‌ها به پیوند غالب رکوردها نزدیک شده و باعث تشدید برخورد می‌گردد. با توجه به نمودارهای میانگین میزان تغییرات پارامتر (APA) در مجاورت با سازه‌های پایه ثابت چهار طبقه تحت زلزله‌های نزدیک گسل $2/76$ برابر رکوردهای دور از گسل می‌باشد. این مقدار برای حالت‌های برخورد با سازه‌های پنج و شش طبقه به ترتیب برابر با $3/66$ و $3/47$ می‌باشد. همانطور که نمودارها نشان می‌دهد با افزایش ارتفاع سازه‌های مجاور، تأثیر گذاری زلزله‌های نزدیک گسل به مراتب بیشتر از زلزله‌های دور از گسل می‌باشد و توجه به این امر ضرورت بیشتری پیدا می‌کند. بررسی نمودارهای این بخش را می‌توان به سه بخش کلی تقسیم کرد. اگر برخورد فقط در تراز جداسازی شده رخ دهد، نوع رکورد انتخابی تأثیر اندکی بر پاسخ سازه‌ی ایزوله شده خواهد داشت. بطوری که می‌توان از آن صرفه نظر کرد. میانگین تغییرات پارامتر (APA) در تراز جداسازی شده تحت رکوردهای نزدیک گسل $1/8$ برابر زلزله‌های دور از گسل می‌باشد. نکته‌ی بسیار مهم در این نوع برخورد، افزایش پارامتر (APA) در تراز جداسازی شده تحت اثر تمام رکوردهای مورد تحلیل می‌باشد که در طراحی سازه‌ها بایستی مد نظر قرار گیرد.

با افزایش ارتفاع پراکندگی نموداری مربوط به رکوردهای نزدیک گسل بیشتر از نمودار زلزله‌های دور از گسل می‌باشد. در میان زلزله‌های نزدیک گسل، رکوردهایی که پیوند غالب آن‌ها به دوره‌ی تناوب سازه‌ی ایزوله شده و یا سازه‌های پایه ثابت مجاور نزدیک باشد، اثرات مخرب‌تری بر پاسخ سازه خواهند داشت. از آنجایی که میزان نیروی برخورد از میزان شتاب سازه تبعیت می‌کند، بنابراین می‌توان گفت در حالت برخورد با دیوار پیرامونی، نیروی

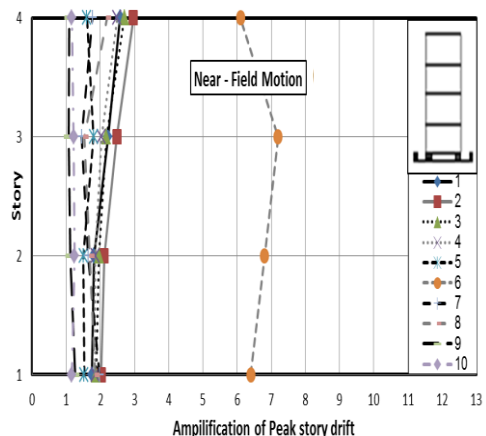
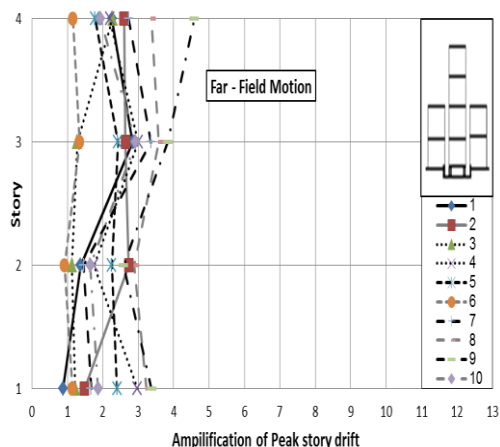
ضربه به مراتب کمتر از مقدار آن در حالت‌های برخورد با سازه‌های پایه ثابت مجاور خواهد بود.

۷-۲- بررسی پارامتر (APD) سازه‌ی ایزوله شده در

اثر برخورد، تحت رکوردهای دور و نزدیک گسل

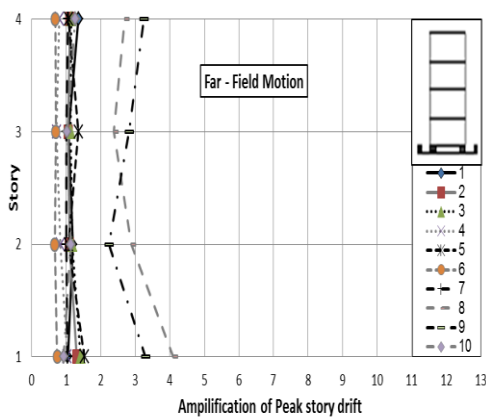
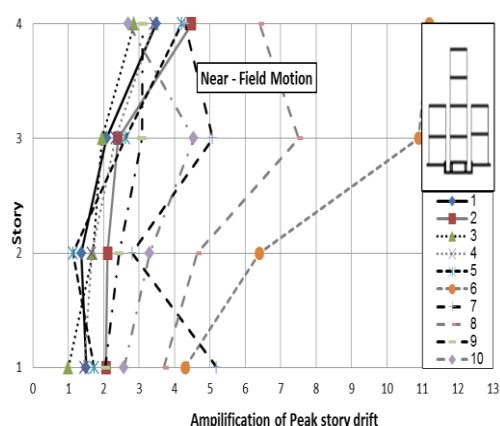
سازه‌ی ایزوله شده مطابق بخش قبل، در معرض برخورد قرار گرفته است. شکل‌های (۱۲) تا (۱۷) نسبت جابجایی نسبی طبقات سازه‌ی ایزوله شده در حالت برخورد با دیوار پیرامونی را نسبت به قبل از برخورد نشان می‌دهد. نمودارهای (الف) و (ب) شکل‌های (۱۲) تا (۱۴) نشان می‌دهند که هرچه مقدار T_m به دوره‌ی تناوب سازه ایزوله شده نزدیک باشد، شدت برخورد رخ داده به دلیل تحریک فرکانس‌های طبیعی سازه بیشتر خواهد بود. همانطور که قبلاً ذکر شده است T_m پارامتری است که جهت توصیف محتوای فرکانسی رکورد مورد استفاده قرار گرفته است. مقایسه‌ی نمودارهای (الف) و (ب) بیانگر این موضوع می‌باشد که پراکندگی در زلزله‌های نزدیک گسل نسبت به زلزله‌های دور از گسل بیشتر می‌باشد. از طرفی در رکوردهای نزدیک گسل، هرچه فاصله از مرکز گسل کمتر باشد در تشدید شرایط برخورد مخصوصاً در بررسی پارامتر جابجایی نسبی نقش پر رنگتری خواهد داشت. همانطور که در قسمت (الف) شکل‌های (۱۲) تا (۱۴) مشاهده می‌شود در رکورد شماره‌ی ۶ (زلزله‌ی Superstition Hills B) به دلیل نزدیکی زمان T_m به دوره‌ی تناوب سازه‌ی ایزوله شده و همچنین کم بودن فاصله‌ی آن از محل گسل نسبت به دیگر رکوردها شرایط بحرانی‌تر ایجاد شده است. مطابق جدول (۴) فاصله از گسل برای این رکورد $0/7$ کیلومتر می‌باشد. نکته قابل ذکر اینکه، این عامل به تنهایی نمی‌تواند پاسخ سازه را در حین برخورد بحرانی کند. بر اساس جدول (۴)، فاصله از گسل برای زلزله‌ی کوبه نیز برابر با $0/6$ کیلومتر می‌باشد. اما از آنجاییکه زمان T_m آن $0/64$ بوده و دوره‌ی تناوب سازه‌ی ایزوله شده و سازه‌های پایه ثابت مجاور دو و سه طبقه به ترتیب برابر با $0/94$ ، $0/21$ و $0/3$ می‌باشد لذا پاسخ سازه‌ی ایزوله شده برای این رکورد بحرانی نخواهد کرد.





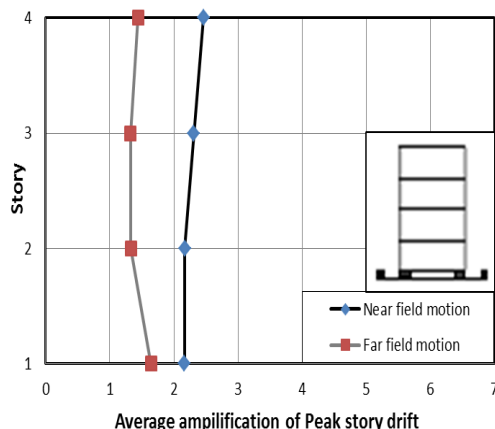
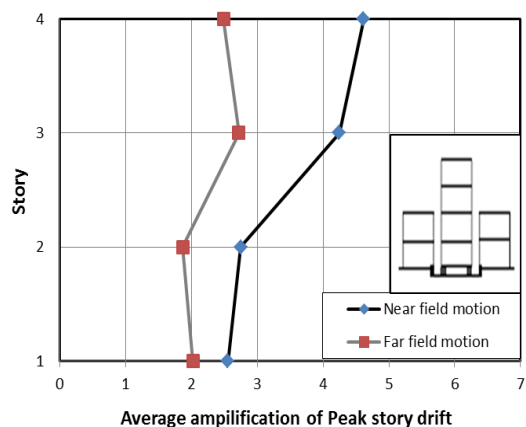
الف) تحت رکوردهای نزدیک گسل

الف) تحت رکوردهای نزدیک گسل



ب) تحت رکوردهای دور از گسل

ب) تحت رکوردهای دور از گسل

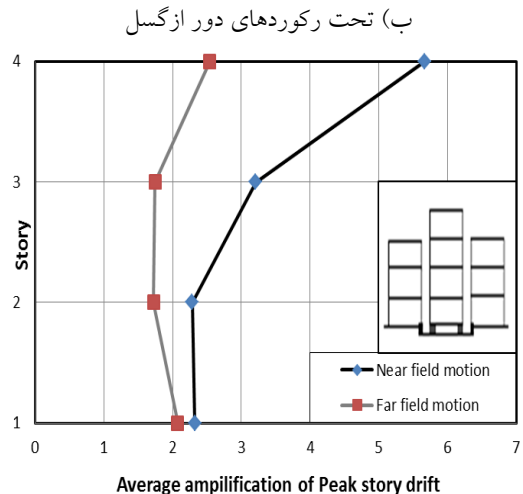
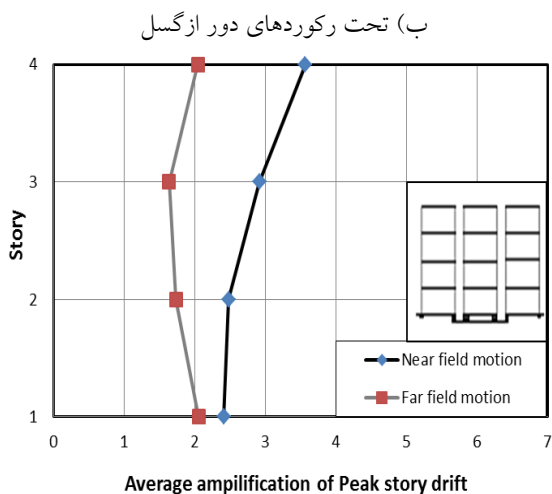
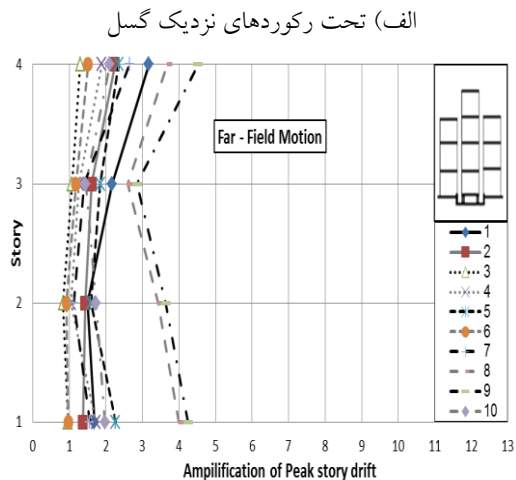
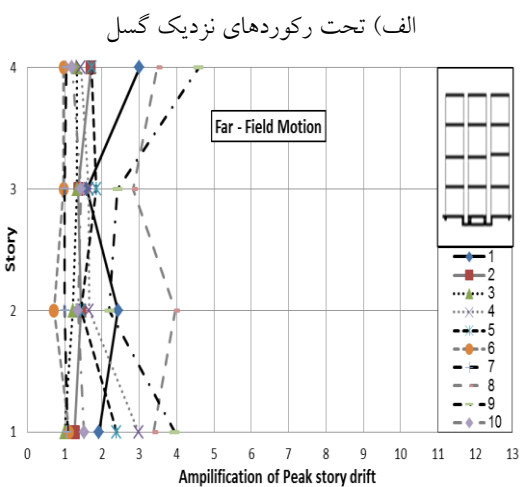
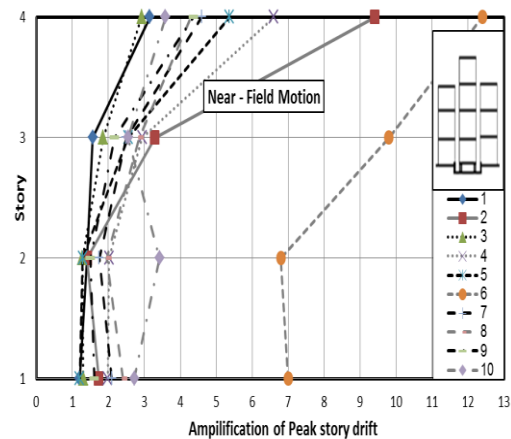
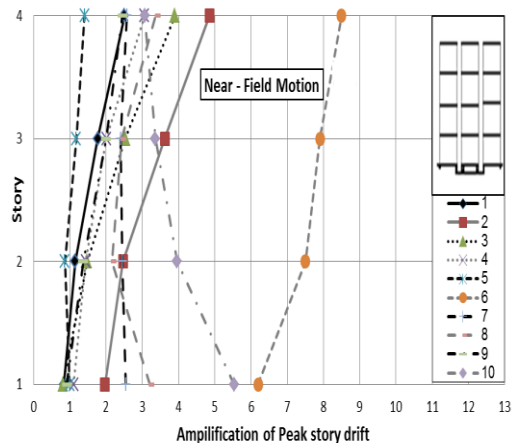


ج) میانگین مقادیر برای هر دو گروه رکورد

ج) میانگین مقادیر برای هر دو گروه رکورد

شکل (۱۳): نسبت ماکزیمم جابجایی داخل طبقات بعد از برخورد سازهی ایزوله به قبل از برخورد آن (APD) با سازهی ۲ طبقه مجاور

شکل (۱۲): نسبت ماکزیمم جابجایی داخل طبقات بعد از برخورد سازهی ایزوله به قبل از برخورد آن (APD) با دیوار پیرامونی



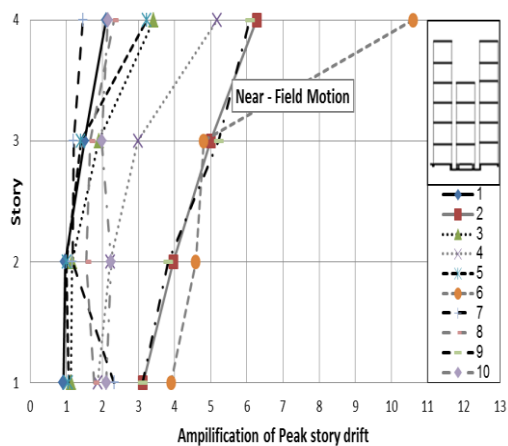
ج) میانگین پارامتر (APD) برای هر دو گروه رکورد

ج) میانگین پارامتر (APD) برای هر دو گروه رکورد

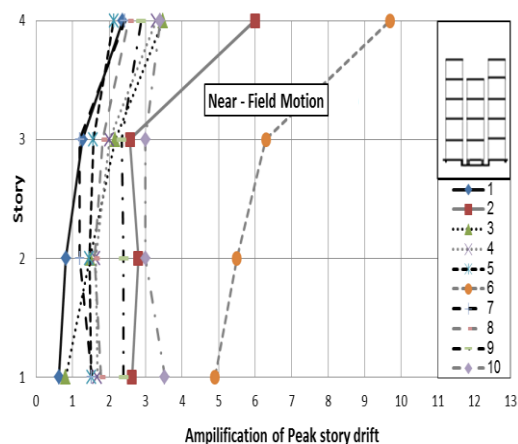
شکل (۱۵): پارامتر (APD) در حالت برخورد با سازه‌های ۴ طبقه مجاور

شکل (۱۴): پارامتر (APD) در حالت برخورد با سازه‌های ۳ طبقه مجاور

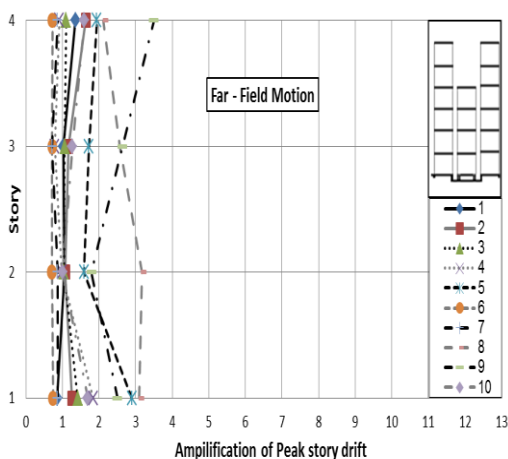




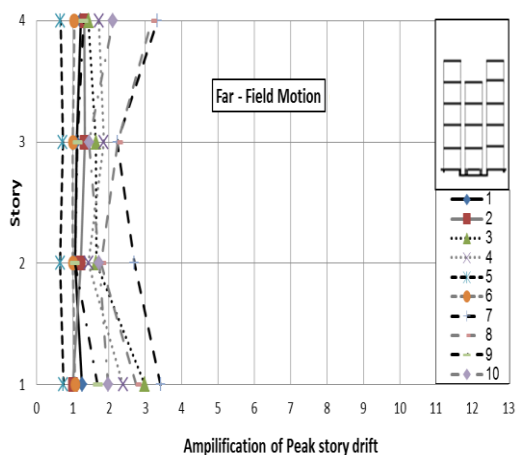
الف) تحت رکوردهای نزدیک گسل



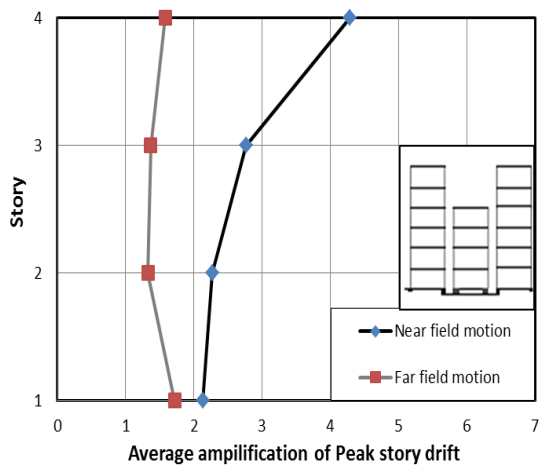
الف) تحت رکوردهای نزدیک گسل



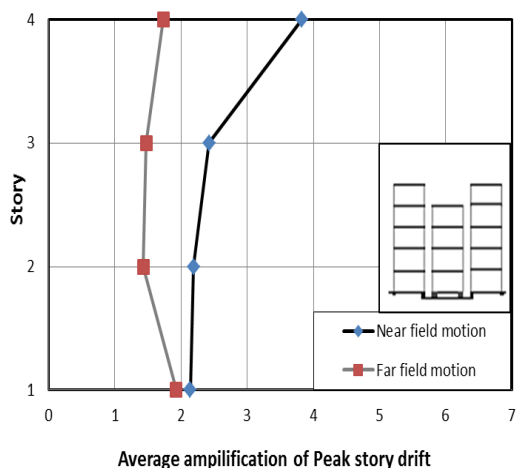
ب) تحت رکوردهای دور ازگسل



ب) تحت رکوردهای دور ازگسل



ج) میانگین پارامتر (APD) برای هر دو گروه رکورد



ج) میانگین پارامتر (APD) برای هر دو گروه رکورد

شکل (۱۷): پارامتر (APD) در حالت برخورد با سازه‌های ۶ طبقه مجاور

شکل (۱۶): پارامتر (APD) در حالت برخورد با سازه‌های ۵ طبقه مجاور

با توجه به نمودارهای ارائه شده در شکل (۱۳) و (۱۴) می‌توان نتیجه گرفت که پارامتر (APD) سازه‌ی ایزوله شده در برخورد با سازه‌های پایه ثابت دو طبقه، تحت رکوردهای نزدیک گسل حدوداً $1/53$ برابر آن تحت زلزله‌های دور از گسل می‌باشد. در حالیکه این مقدار تحت شرایط برخورد با سازه‌های سه طبقه‌ی مجاور برابر $1/62$ می‌باشد. این بدان معنی است که افزایش ارتفاع سازه‌های مجاور با ویژگی‌های یکسان تأثیر زلزله‌های نزدیک گسل بیشتر می‌شود. نمودارهای (الف) و (ب) شکل‌های (۱۵) تا (۱۷) نشان می‌دهد جابجایی نسبی طبقات تحت هر دو گروه از رکوردها با افزایش ارتفاع سازه‌ها، در تراز طبقات افزایش پیدا می‌کند. اما میزان افزایش این پارامتر برای رکوردهای دور و نزدیک گسل متفاوت می‌باشد. زمانی که پریود طبیعی سازه‌های کناری در محدوده‌ی پریود غالب رکوردها قرار می‌گیرد اثرات برخورد بحرانی‌تر خواهد شد. بنابراین نه تنها پریود طبیعی سازه‌ی ایزوله شده بلکه دوره‌ی تناوب سازه‌های مجاور در تشدید مسئله برخورد مؤثر می‌باشند. مخصوصاً هنگامی که ارتفاع سازه‌های مجاور از سازه‌ی ایزوله شده بیشتر باشد. نمودارهای میانگین در شکل‌های (۱۵) تا (۱۷) نشان می‌دهند که میزان تغییرات پارامتر (APD) سازه‌ی ایزوله شده در مجاورت با سازه‌های پایه ثابت چهار طبقه تحت زلزله‌های نزدیک گسل $1/52$ برابر آن تحت رکوردهای دور از گسل می‌باشد. میزان این تغییرات تحت شرایط برخورد با سازه‌های پنج طبقه‌ی مجاور برابر $1/61$ و برای سازه‌های شش طبقه $1/91$ می‌باشد.

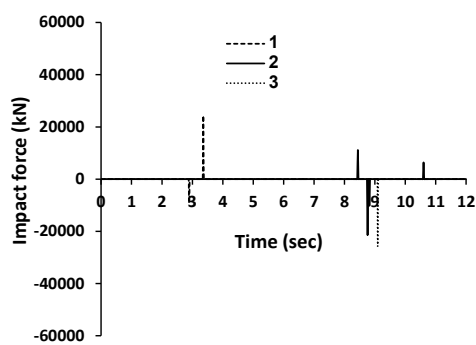
نکته قابل توجه در بررسی این پارامتر این است که پارامتر (APD) نسبت به پارامتر (APA) در حین برخورد کمتر متأثر می‌گردد. مقدار میانگین این تغییرات همانطور که در بخش قبلی نیز ذکر شد، بین $1/53$ و $1/91$ با توجه به ارتفاع سازه‌های مجاور متغیر می‌باشد. در صورتیکه این مقدار برای پارامتر (APA) بین $1/89$ و $3/66$ با توجه به ارتفاع سازه‌های مجاور متغیر پیدا می‌کند. هنگامی که سازه‌ی ایزوله شده در تراز جداسازی شده در معرض برخورد قرار می‌گیرد، میزان تغییرات پارامتر (APD) تحت

زلزله‌های نزدیک گسل $1/59$ برابر آن تحت زلزله‌های دور از گسل می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد میزان تغییرات پارامتر (APD) حین برخورد در تراز طبقات نسبت به حالتی که شرایط برخورد فقط در تراز جداسازی شده فراهم باشد تفاوت چشمگیری با هم ندارند. در نتیجه، استفاده از سیستم‌های جداساز در سازه باعث می‌شود جابجایی نسبی طبقات کمتر شده و روسازه در هنگام زلزله رفتار صلب ماندنی داشته باشد. از این ویژگی می‌توان برای کاهش اثرات ناشی از برخورد سازه‌ی ایزوله شده با سازه‌های مجاور استفاده کرد. همچنین نمودارهای میانگین برای شش حالت مدلسازی بیانگر این موضوع می‌باشند که با افزایش ارتفاع سازه‌های مجاور میزان پارامتر (APD) سازه‌ی ایزوله شده بطور میانگین افزایش پیدا می‌کند.

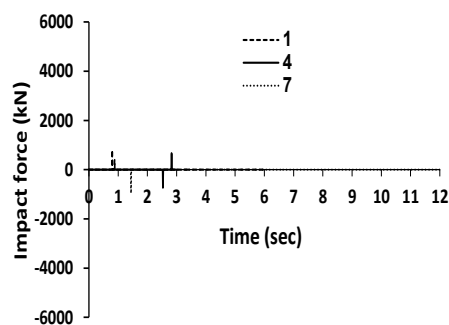
۷-۳- تأثیر رکوردهای دور و نزدیک گسل بر مقدار نیروی ضربه

مقدار نیروی ضربه به عوامل متعددی مانند سرعت نسبی سازه‌ها، ضریب سختی فتر، ضریب میرایی برخورد و همچنین نوع رکورد مورد تحلیل بستگی دارد. در این قسمت از مقاله جهت بررسی مقدار نیروی ضربه و زمان برخورد، نتایج حاصل از تحلیل سازه‌ی ایزوله شده در حالت‌های برخورد با دیوار پیرامونی در سازه‌های مجاور چهار و شش طبقه ارائه شده‌است. برای بررسی تأثیر رکوردهای دور و نزدیک گسل بر مقدار نیروی ضربه، این سازه‌ها تحت زلزله‌های نزدیک گسل San Fernando، Kobe و Chi-Chi, Taiwan (رکوردهای شماره‌ی ۱، ۲ و ۳) مندرج در جدول (۴) و زلزله‌های دور از گسل Coyote Lake، Livermore، Friuli، Italy (رکوردهای شماره‌ی ۱، ۴ و ۷) مندرج در جدول (۵) قرار گرفته‌اند. نتایج حاصل در شکل‌های (۱۸) تا (۲۰) ارائه شده‌است. بر اساس این اشکال مقدار و الگوی نیروی ضربه در زلزله‌های نزدیک گسل نسبت به زلزله‌های دور از گسل متفاوت می‌باشد. از آنجایی که سازه‌ی ایزوله شده در هر دو طرف در معرض برخورد قرار دارد بنابراین برای نشان دادن طیف ضربه، مقدار نیروی بوجود آمده در اثر برخورد با دیوار سمت چپ را با علامت مثبت و دیوار سمت



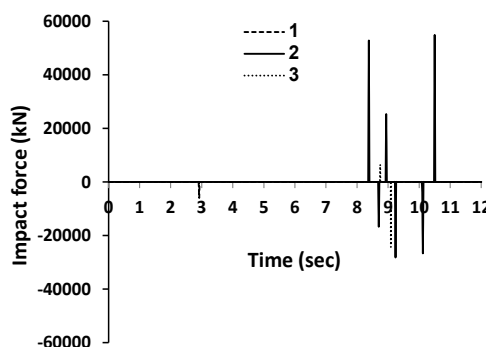


الف) تحت رکوردهای نزدیک گسل

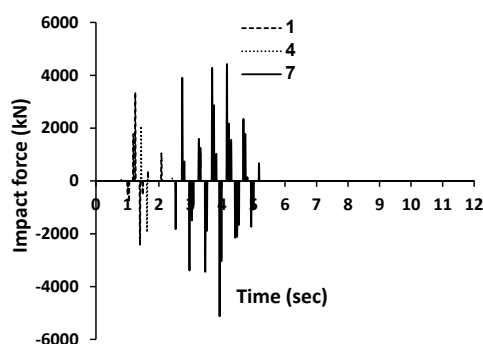


ب) تحت رکوردهای دور از گسل

شکل (۱۸): نیروی ضربه در حالت برخورد با دیوار پیرامونی



الف) تحت رکوردهای نزدیک گسل



ب) تحت رکوردهای دور از گسل

شکل (۱۹): نیروی ضربه در حالت برخورد با سازه‌های پایه

ثابت مجاور چهار طبقه

راست را با علامت منفی نشان می‌دهیم. نتایج حاصل نشان می‌دهد زمان وقوع مقدار ماکزیمم نیروی ضربه دقیقاً در زمان ماکزیمم شتاب رخ می‌دهد. این شرایط برای تمامی رکوردهای دور و نزدیک گسل صادق می‌باشد.

از طرفی با توجه به نمودارهای بالا مقدار نیروی ضربه تحت زلزله‌های نزدیک گسل $2/7$ برابر مقدار آن تحت رکوردهای دور از گسل می‌باشد. همانطور که در بخش‌های قبل اشاره شده‌است، در این نوع برخورد افزایش شتاب تحت زلزله‌های نزدیک گسل $1/89$ برابر زلزله‌های دور از گسل می‌باشد. بنابراین نیروی ضربه تقریباً $1/5$ بیشتر از طیف شتاب از ویژگی‌های نوع رکورد انتخابی متأثر می‌شود. همچنین با توجه به شکل (۱۸) مشاهده می‌شود زمان برخورد و مقادیر ماکزیمم نیروی ضربه در رکوردهای نزدیک گسل معمولاً در پیوندهای بالا رخ می‌دهد در حالیکه در زلزله‌های دور از گسل در پیوندهای پایین اتفاق می‌افتد. دلیل این موضوع را می‌توان به وجود پالس‌های بزرگ در الگوی طیف شتاب و سرعت در زلزله‌های نزدیک گسل نسبت داد. البته با توجه به مطالعات صورت گرفته در این مقاله، زمانی که بیشترین نیروی ضربه ایجاد می‌شود، یک جهش ناگهانی در الگوی رفتاری انرژی ورودی سازه^۱ بوجود می‌آید و سپس مقدار آن کاهش پیدا می‌کند. نمونه‌ای دیگر از این بررسی‌ها در شکل (۱۹) و (۲۰) ارائه شده‌است.

همانطور که در شکل (۱۹) مشاهده می‌شود هرچه ارتفاع سازه‌های پایه ثابت به ارتفاع سازه‌ی ایزوله شده نزدیک‌تر می‌شود الگوی طیف ضربه در هر دو گروه از زلزله‌های مورد تحلیل نوسان بیشتری پیدا می‌کند. این امر نتایج حاصل از بررسی پارامتر (APA) را نیز به نوعی تأیید می‌کند. بدین صورت که بررسی پارامترهای جابجایی نسبی و شتاب در برخورد سازه‌ی ایزوله با سازه‌های پایه ثابت مجاور با ارتفاع‌های برابر یا بیشتر، شرایط بحرانی‌تری را مخصوصاً تحت رکوردهای نزدیک گسل بوجود می‌آورد.

¹ Input energy



نسبت میانگین ماکزیمم نیروی ضربه‌ی بوجود آمده تحت رکوردهای نزدیک گسل تقریباً ۳۰ برابر رکوردهای دور از گسل می‌باشد. با افزایش ارتفاع سازه‌ها و نزدیکی زمان T_m و پیروید غالب رکوردها به دوره‌ی تناوب سازه‌ی ایزوله شده یا سازه‌های مجاور، پاسخ سازه‌ها در برابر زلزله‌های نزدیک گسل شدیدتر خواهد بود. بررسی بین پارامتر (APA) و نیروی ضربه در این نوع برخورد نیز نشان می‌دهد که میزان تأثیر پذیری مقدار نیروی ضربه تحت رکوردهای نزدیک گسل نسبت به رکوردهای دور از گسل حدوداً ۸ برابر پارامتر (APA) می‌باشد.

۷- نتیجه‌گیری

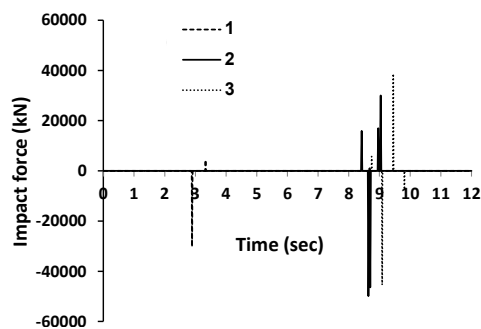
با توجه به نتایج تحلیل‌های صورت گرفته در این مقاله، مهمترین نتایج حاصل به صورت زیر خلاصه می‌شود:

۱- برخورد در تراز جداسازی شده توسط دیوار پیرامونی باعث افزایش پارامتر (APA) در تراز جداسازی شده می‌شود. افزایش این پارامتر برای هر دو گروه از رکوردهای مورد مطالعه رخ می‌دهد. در این حالت توزیع پراکندگی نمودارها بسیار کم می‌باشد. افزایش پارامترهای (APA) و (APD) تحت زلزله‌های نزدیک گسل به ترتیب ۱/۸ و ۱/۶ برابر زلزله‌های دور از گسل می‌باشد.

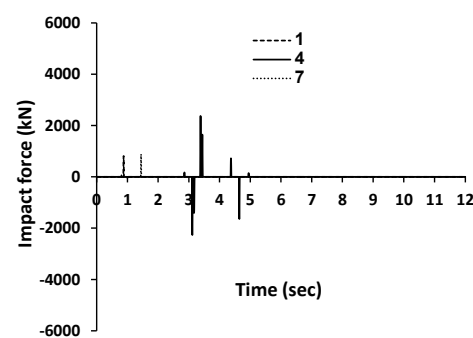
۲- با توجه به این نتایج می‌توان گفت هرگاه ارتفاع سازه‌های پایه ثابت مجاور کوتاه‌تر باشند، شرایط بحرانی در سازه‌ی ایزوله شده در تراز بام سازه‌های کناری رخ خواهد داد.

۳- با افزایش ارتفاع، تفاوت تأثیر رکوردهای دور و نزدیک گسل بر رفتار سازه‌ی ایزوله شده بیشتر خواهد بود. افزایش پارامتر (APA) و (APD) سازه‌ی ایزوله تحت زلزله‌های نزدیک گسل به ترتیب ۳/۶۷ و ۱/۶۱ برابر نسبت به زلزله‌های دور از گسل می‌باشد.

۴- هنگام برخورد بطور کلی میزان متأثر شدن پارامتر (APA) بیشتر از پارامتر (APD) خواهد بود. هرگاه ارتفاع سازه‌های مجاور سازه‌ی جداسازی شده به ارتفاع سازه‌ی ایزوله نزدیک باشد، اثرات زلزله‌های نزدیک گسل نسبت به حالت‌های قبل بیشتر خواهد بود. همچنین هرگاه T_m به



الف) تحت رکوردهای نزدیک گسل



ب) تحت رکوردهای دور از گسل

شکل (۲۰): نیروی ضربه در حالت برخورد با سازه‌های پایه ثابت مجاور شش طبقه

از طرفی در این نوع برخورد، نسبت میانگین ماکزیمم نیروی ضربه تحت رکوردهای نزدیک گسل ۸ برابر زلزله‌های دور از گسل می‌باشد. با توجه به شکل (۱۹) مشاهده می‌شود الگوی رفتاری طیف ضربه تحت رکوردهای دور از گسل هرچند از نظر مقدار ماکزیمم، کوچکتر از زلزله‌های نزدیک گسل می‌باشد اما از نوسان بیشتری برخوردار است. این ارتعاشات را می‌توان به زمان T_m رکوردها نسبت داد. هرچه میزان T_m به دوره‌ی تناوب سازه‌های مجاور نزدیک باشد تأثیر بیشتری بر پاسخ سازه در حین برخورد خواهد گذاشت. از طرفی زلزله‌های دور از گسل به علت اینکه در طیف‌های شتاب و سرعت خود فاقد پالس‌های بزرگ بوده، بنابراین هرگاه زمان T_m و یا پیروید غالب رکورد به دوره‌ی تناوب سازه‌ها نزدیک باشد، طیف ضربه نوسان بیشتری خواهد داشت. بررسی بین پارامتر (APA) و نیروی ضربه در این نوع برخورد نشان می‌دهد که میزان متأثر شدن مقدار نیروی ضربه تحت رکوردهای نزدیک گسل نسبت به رکوردهای دور از گسل ۲/۸۹ برابر پارامتر (APA) می‌باشد. در این نوع برخورد



[9] Makris, N. and Chang, S.P. (2000), "Effect of Viscous, Viscoplastic and Friction Damping on the Response of Seismic Isolated Structures", Engineering and Structural Dynamics, Vol. 29, pp. 85-107.

[10] Skinner, R.I., Robinson, W.H. and Mcverry, G.H. (1993), "An Introduction to Seismic Isolation", London: John Wiley and Sons.

[11] Chali, J., Teng, T. and Liao, W. (2004), "Numerical Simulation of Near Fault Ground Motion and Induced Structural Responses", 13th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No.3309

[12] Yaghmaei-Sabegh, S. (2010), "Detection of Pulse-Like Ground Motions Based on Continues Wavelet Transform", Journal of Seismology, Vol. 14, pp. 715-726.

[13] Providakis, C.P. (2008), "Effect of LRB isolators and supplemented viscous dampers on seismic isolated buildings under nearfault excitations", Engineering Structures, Vol. 2008, pp. 1187-1198.

[14] Anagnostopoulos, S.A. (1988), "Pounding of Buildings in Series During Earthquakes", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 16, pp.443-456.

[15] Chopra, A.K. (1995), "Dynamics of Structures, Theory and Applications to Earthquake Engineering", Printice Hall, Upper saddle river, NJ.

[16] NEHRP Commentary on the Gguidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 274), Issued by FEMA in Furtherance of the Decade for Natural Disaster Reduction, 1997.

[17] Polycarpou, C. and Komodromos, P. (2010), "Earthquake-Induced Poundings of a Seismically Isolated Building with Adjacent Structures", Engineering Structures, Vol. 32, PP. 1937-1951.

[18] Tsai, H.C. (1997), "Dynamic Analysis of Base-Isolated Shear Beams Bumping Against Stops", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 26:515-28.

[19] Malhotra, P.K. (1997), "Dynamics of Seismic Impacts in Base-Isolated Buildings", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 26, pp. 797-813.

[20] Matsagar, V.A. and Jangid, R.S. (2003), "Seismic Response of Base-Isolated Structures During Impact with Adjacent Structures", Engineering Structures, Vol. 25, pp. 1311-1323.

[21] Komodromos, P., Polycarpou, P.C., Papaloizou, L. and Phocas, M.C. (2007), "Response of Seismically Isolated Buildings Considering Poundings", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 36, pp. 1605-1622.

[22] Komodromos, P. (2008), "Simulation of the Earthquake-Induced Pounding of Seismically Isolated Buildings", Computers and Structures, Vol. 86, pp. 618-626.

دوره‌ی تناوب سازه‌ها نزدیک باشد، باعث افزایش اثرات ناشی از برخورد می‌گردد. پارامتر T_m به محتوای فرکانسی رکورد وابسته بوده و به همین علت نسبت به پیروید غالب پارامتر مناسبی برای ارزیابی عملکرد زلزله‌های مختلف می‌باشد.

۵- ماکزیمم نیروی ضربه دقیقاً در زمان ماکزیمم طیف شتاب رخ می‌دهد. این زمان معمولاً برای زلزله‌های دور از گسل در پیرودهای پایین و برای زلزله‌های نزدیک گسل در پیرودهای بالا اتفاق می‌افتد. همچنین مطالعات انجام شده در این مقاله نشان می‌دهد مقدار نیروی ضربه تحت زلزله‌های نزدیک گسل بسیار بیشتر از رکوردهای دور از گسل می‌باشد. از طرفی هرچه ارتفاع سازه‌های برخوردکننده نسبت به سازه‌ی ایزوله شده بیشتر باشد، مقدار نیروی برخورد تحت زلزله‌های نزدیک گسل بیشتر خواهد بود.

۸- مراجع

[1] Pantelides, C.P. and Ma, X. (1998), "Linear and Nonlinear Pounding of Structural Systems", Computers and Structures, Vol. 66, pp. 79-92.

[2] Jankowski, R. (2008), "Earthquake-Induced Pounding between Equal Height Buildings with Substantially Different Dynamic Properties", Engineering Structures, Vol. 30, pp. 2818-2829.

[3] Anagnostopoulos, S.A. (1992), "An Investigation of Earthquake Induced Pounding between Adjacent Buildings", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 21, pp. 289-302.

[4] Dogani, M. and Gunaydin, A. (2009), "Pounding of Adjacent RC Buildings During", Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskişehir Osmangazi University, Vol. XXII, No:1.

[5] Goldsmith, W. (1960), "Impact: the Theory and Physical Behavior of Colliding Solids", Edward Arnold: London, England.

[6] Jankowski, R. (2005), "Non-Linear Viscoelastic Modeling of Earthquake-Induced Structural Pounding", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 34, pp. 595-611.

[7] Taylor, A.W. and Igusa, T. (2004), "Primer on Seismic Isolation", ASCE task committee on seismic isolation.

[8] Jangid, R.S. and Kelly, J.M. (2001), "Base Isolation for Near-Fault Motions", Engineering and Structural Dynamics, Vol. 30, pp. 691-707.



[23] Agarwala, V.K., Niedzweckia, J.M. and van de Lindt, J.W. (2007), "Earthquake Induced Pounding in Friction Varying Base Isolated Buildings", *Engineering Structures*, Vol. 29, pp. 2825-2832.

[24] Garcia, D.L. and Soong, T.T. (2009), "Assessment of the Separation Necessary to Prevent Seismic Pounding between Linear Structural Systems", *Probabilistic Engineering Mechanics*, Vol. 24, pp. 210-223.

[25] Rathje, E.M., Abrahamson, N. and Bray, J.D. (1998), "Simplified Frequency Content Estimates of Earthquake Ground Motions", *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 124, pp. 150-159.

