



بررسی رفتار سازه ها تحت زلزله های حوزه نزدیک

دکتر محسن گرامی^۱، دکتر اکبر واثقی^۲، داود عبدالله زاده^۳

۱-استادیار دانشگاه سمنان، پژوهشگر فوق دکترای سازه، دانشگاه تربیت مدرس

۲-استادیار پژوهشگر سازه، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

۳-دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش زلزله، دانشگاه سمنان

پست الکترونیکی مولف رابط: Davood-a@Engineer.com

خلاصه

مطالعه اثر زلزله های نیرومند سالهای گذشته نشان دادند نگاشتهای نزدیک گسل دارای مدت زمان موثر کمتری نسبت به نگاشتهای دور از گسل هستند و در نگاشتهای سرعت نزدیک گسل، یک یا چند پالس ضربه ای با دامنه بزرگ و دوره تناوب زیاد وجود دارد که باعث افزایش نیاز شکل پذیری برای سازه های صلب در زلزله های نزدیک گسل می شود. همچنین افزایش نسبت پیروید پالس حرکت زمین به پیروید طبیعی سازه و همچنین افزایش نسبت شتاب زمین به مقاومت تسلیم سازه، موجب افزایش پاسخ غیر خطی و خسارات وارده به سازه می شود و تمرکز تغییر شکلها در طبقات پایین ساختمان موجب اعمال اثر P- Δ در طبقات پایین می شود. مطالعه مولفه قائم زلزله در حوزه نزدیک نشان می دهد کوتاه بودن پیروید ارتعاش قائم سازه ها، باعث آسیب پذیری آنها در برابر امواج فرکانس بالای مولفه قائم زلزله، می شود.

کلمات کلیدی: حوزه نزدیک، اثر زلزله، مولفه افقی عمود بر گسل، جهت پذیری، رفتار سازه ها.

مقدمه

در سالیان گذشته به علت تراکم کم شبکه های لرزه نگاری در سراسر جهان امکان ثبت زلزله های نزدیک منشاء کم بوده است. با پیشرفت شبکه های لرزه نگاری و افزایش و پیشرفت دستگاه های لرزه نگاری، امروزه نگاشتهای متعددی از زلزله ها در موقعیتهای مختلف وجود دارد. پرفسور جوزف پنزین (۲۰۰۰) دلایل پیشرفت های تکنیکی در مهندسی سازه و زلزله را در ۵۰ سال گذشته پیشرفت کامپیوترها، توسعه روشهای تحلیل غیر خطی سازه ها، درک و بکارگیری تغییر شکلهای مجاز غیر ارتجائی در سازه ها، تغییر در جزئیات نیازشکل پذیری^۴، مقاومت و... می داند. با توجه به پیشرفتهای اخیر، محققین شاهد اثرات متفاوت زلزله های نزدیک گسل با زلزله های دور از گسل بوده اند. بعد از زلزله ۱۹۶۶ پارکفیلد کالیفرنیا^۵ و زلزله ۱۹۷۱ پاکویما سانفرناندو^۶، عبارت نزدیک گسل توسط بولت^۷ (۱۹۷۵) عنوان شد [۱]. با اینکه اثرات نزدیک گسل در گذشته شناخته شده بود، اما اهمیت این موضوع در طراحی سازه های مهندسی عمران به خوبی درک نشده بود تا اینکه زلزله های مخربی همچون زلزله ۱۹۹۲ لندرز^۸، زلزله ۱۹۹۴ نورث ریج^۹، زلزله ۱۹۹۵ کوبه^{۱۰} ژاپن و زلزله ۱۹۹۹ چی چی^{۱۱} تایوان به وقوع پیوست [۲،۳]. اینگونه زلزله ها که در نزدیکی یک گسل فعال رخ می دهد. دارای نگاشتهای پالسی با پیروید پالس بلند و دارای یک یا چند اوج سرعت (Peak velocitie) می باشند. این پالس توسط لغزش گسل ایجاد می شود و باعث می شود تا قسمت بزرگی از انرژی زلزله در یک یا دو پالس بطور ناگهانی به سازه وارد شود. درحوزه نزدیک به گسل مولفه افقی عمود بر گسل بیشترین اثر را در پاسخ سازه ها دارد و اثر این مولفه غالب بر مولفه افقی موازی با گسل و مولفه قائم به سطح زمین می باشد. اما اگر برای کارایی سازه مهم باشد، ارتعاش قائم به سطح زمین در نواحی نزدیک گسل نیز ممکن است مهم باشد. در این حالت مولفه قائم به سطح زمین نیز بایستی تخمین زده شود [۴] (به عنوان

^۱ عضو هیئت علمی دانشگاه سمنان، پست الکترونیکی: mgerami@semnan.ac.ir

^۲ عضو هیئت علمی پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، پست الکترونیکی: vasseghi@iiecs.ac.ir

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد عمران گرایش زلزله، پست الکترونیکی: Davood-a@Engineer.com

^۴Ductility Demands

^۵1966 Parkfield, California

^۶1971 Pacoima, San Fernando

^۷Bolt

^۸1992 Landers, California

^۹1994 Northridge

^{۱۰}1995 Kobe, Japan

^{۱۱}1999 Chi-Chi, Taiwan



مثال برای طراحی عرشه پلها). با توجه به اینکه هم اکنون تعدادی از شهرهای ایران از جمله شهر تهران در نزدیک گسل قرار دارد، بررسی اثرات حوزه نزدیک امری اجتناب ناپذیر است. لذا در این مطالعه به بررسی رفتار سازه‌ها تحت زلزله‌های نزدیک گسل پرداخته می‌شود.

مطالعات انجام شده بر روی رفتار سازه‌ها تحت نداشت‌های نزدیک گسل

در سالهای گذشته مطالعات زیادی بر روی رفتار سازه‌ها در نزدیک گسل انجام شده است بطوریکه هرکدام از یک منظر به این موضوع پرداخته و اثرات حوزه نزدیک را مورد مطالعه قرار داده‌اند در این بخش مروری بر خلاصه و نتایج مطالعات گذشته صورت گرفته و در بخش بعد به بررسی یک سازه هفت طبقه تحت ۱۰ نداشت نزدیک گسل و ۱۰ نداشت دور از گسل پرداخته می‌شود.

در سال (۲۰۰۱) لیو^۱ و همکاران برای بررسی ویژگیهای پاسخ غیر خطی قابهای بتنی تحت زلزله‌های نزدیک گسل دو قاب خمشی ۵ و ۱۲ طبقه را براساس آیین نامه ساختمانی تایوان طراحی کردند و تحت ۴ نداشت نزدیک گسل از زلزله چی چی تایوان و تعدادی نداشت از مناطق دیگر جهان مورد مورد تحلیل قرار دادند. نگاشتها با شتاب اوج $3 \frac{m}{s^2}$ (0.305g) همپایه شده بودند. در این مطالعه مشخص شد، که تغییر مکان نسبی در هر دو سازه ۵ و

۱۲ طبقه تحت زلزله‌های نزدیک گسل بیشتر از زلزله‌های دور از گسل است [۳]. در سال (۲۰۰۳) ال شیخ^۲ و همکاران اثر زلزله‌های نزدیک گسل را بر روی قابهای بتنی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۰ طبقه مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاصل از تحلیل بار استاتیکی افزایشده^۳ و تحلیل دینامیکی نشان دادند، که برای یک برش پایه ثابت، تغییر مکان بدست آمده از روش بار افزایشده (Push Over) محافظه کارانه تر از روش تحلیل دینامیکی است و مشخص شد که روش استاتیکی بار افزایشده جهت طراحی براساس تغییر مکان، برای سازه‌های تحت زلزله‌های نزدیک گسل مناسب تر است [۳].

سعیدی و سامرویل در سال (۲۰۰۵) به بررسی اثرات زلزله نزدیک گسل بر روی ستونهای طراحی شده بر مبنای آیین نامه Caltrans v1.3 پرداختند. دو نمونه ستون بتنی با زمان تناوب اصلی $T_{MN}=0.66$ s و $T_{ETN}=1.5$ s که هرکدام دارای خواص مصالح یکسان بودند تحت نداشتهای زلزله‌های نزدیک گسل مورد آزمایش قرار گرفتند. در این تحقیقات مشخص شد، تحت نداشتهای حاوی اثرات directivity تغییر شکل‌های ماندگاری در هر دو ستون باقی می‌ماند [۶].

در سال (۱۹۸۷) اندرسون و برترو رفتار سازه‌ها را تحت حرکت‌های پالسی زمین مورد مطالعه قرار دادند به این منظور یک سازه فولادی ده طبقه و سه دهانه را تحت زلزله امپریال ولی^۴ (۱۹۷۹) مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند افزایش نسبت پریود پالس حرکت زمین به پریود طبیعی سازه و همچنین افزایش نسبت شتاب زمین به مقاومت تسلیم سازه، موجب افزایش پاسخ غیر خطی و خسارات وارده به سازه می‌شود. براساس مطالعات آنها تمرکز تغییر شکلها در طبقات پایین ساختمان، که ستونهای آن بار محوری زیادی را تحمل می‌کنند موجب اعمال اثر $P-\Delta$ در طبقات پایین می‌شود بنابراین خسارات ناشی از حرکت‌های ضربه‌ای زمین در طبقات پایین ساختمان متمرکز می‌شود. همچنین زلزله‌های نزدیک گسل باعث افزایش نیاز شکل پذیری برای سازه‌های صلب می‌گردد. هال (۱۹۹۵) با طراحی سازه‌هایی بر اساس آیین نامه‌های رایج و بررسی رفتار آنها در زلزله‌های حوزه نزدیک ملاحظه کرد که نیاز تحمیل شده به سازه‌های با پریود بلند و انعطاف پذیر و یا سازه‌های ایزوله شده، بطور قابل ملاحظه‌ای از ظرفیت آنها تجاوز می‌کند [۹].

در سال (۲۰۰۵) چوی، کیم، چون و سو به منظور بررسی ایمنی نیروگاه هسته‌ای کره در نزدیک گسل، یک قاب ۴ طبقه سه بعدی با پریود اصلی معادل با سازه‌های نیروگاه اتمی ساختند و با ورودیهای مختلف بر روی میز لرزان مورد آزمایش قرار دادند. در این آزمایش سازه اصلی مورد نظر یک سازه صفحه‌ای گنبدی پیش تنیده با فرکانس اصلی 4.7 Hz بود، به همین سبب یک قاب فولادی با فرکانس مشابه، برای بررسی اثر محتوای فرکانسی زلزله نزدیک گسل مورد استفاده قرار گرفت. ضخامت ورق (سقفها) و سختی لوله‌ها (ستونها) طوری تعیین شدند، که پریود اولیه سازه برابر 4.7 Hz شود. نتایج نشان دادند ورودیهای زلزله که در چند جهت اثر می‌کند، همیشه باعث یک پاسخ بزرگتر در سازه‌های معمولی نمی‌شود و از پاسخ شتاب نمونه فولادی مشاهده شده که زلزله‌های نزدیک گسل همیشه باعث یک پاسخ بزرگ نمی‌شود. مشاهده پاسخ شتاب نشان داد که رابطه بین محتوی فرکانسی زلزله و فرکانس اصلی سازه‌ها فاکتور مهمی برای پاسخ سازه‌ها هستند، با توجه به این مسئله به نظر می‌آید که اثر زلزله‌های نزدیک گسل بر روی سازه‌های نیروگاه اتمی در محدوده خطی یا الاستیک تا اندازه‌ای ناچیز می‌باشد [۲]. مطالعات نشان داد فرکانس سازه‌های بزرگ و سنگین نیروگاه اتمی بین 4 تا 10 Hz می‌باشد. از این رو اگر سازه ناشی از یک تغییر مکان بزرگ در محدوده غیر خطی قرار گیرد. آنگاه فرکانس سازه کاهش خواهد یافت و پاسخ تغییر مکان بطور چشمگیری افزایش می‌یابد. زیرا ویژگیهای زلزله نزدیک گسل یک حالت ضربه‌ای با پریود بلند است، که در یک زمان کوتاه رخ می‌دهد. این ارتعاش، ضربه‌ای با پریود بلند (تقریباً ۱ ثانیه) باعث خسارت عمده‌ای در سازه‌های با پریود بلند می‌شود [۲]. در واقع می‌توان گفت سازه‌های با فرکانس بالا (دوره تناوب کم) که در محدوده خطی قرار دارند؛ تحت زلزله‌های نزدیک گسل که دارای محتوای فرکانسی کوتاه (با پریود بلند) هستند، دارای پاسخ بزرگی نمی‌باشند، اما اگر این سازه‌ها وارد ناحیه غیر خطی شوند، فرکانس آنها کم شده و پریود آنها افزایش می‌یابد و در این حالت تحت زلزله‌های نزدیک گسل آسیب پذیر می‌شوند. همچنین بررسی آسیب پذیری قطعات نصب شده در هر تراز سقف تحت طیف

¹ Liao

² El Sheikh

³ Push Over analysis

⁴ Imperial Valley 1979



پاسخ شتاب هر تراز نشان داد که زمین لرزه های با فرکانس بالا می توانند، بر روی ایمنی تجهیزات نصب شده بر روی یک ساختمان اثر بگذارند و مشخص شد زلزله های نزدیک گسل بر روی تجهیزاتی که دارای فرکانس طبیعی بالا هستند، خسارات چشمگیری وارد نمی کنند [۲].

فوج و یان^۱ (۲۰۰۱) انواع روشهای مدلسازی سازه تحت نگاشتهای دور و نزدیک گسل را برای دو ساختمان ۹ و ۲۰ طبقه فولادی با قاب خمشی، مورد بررسی قرار دادند و نتایج حاصل از، تحلیل های دینامیکی و استاتیکی را با یکدیگر مورد مقایسه قرار دادند. در این مطالعه شش مدل ۹ طبقه و شش مدل ۲۰ طبقه بر اساس مقررات NEHRP97 طراحی شدند. در ۴ مدل از هر ساختمان ۹ و ۲۰ طبقه، بعد از آزمایش اتصالات تیر کاهش یافته، اتصالات به صورت شکل پذیر مدل شدند و در دو مدل دیگر اتصالات همانند اتصالات جوشی قبل از زلزله نورث ریج شکننده و ترد مدل شدند. اثرات قابهای ثقلی در مقاومت سازه نیز در ۳ مدل برای هر کدام از ساختمانهای ۹ و ۲۰ طبقه مورد بررسی قرار گرفت و هر کدام از مدلها تحت ۱۰ نگاشت متداول کالیفرنیا (دور از گسل) و ۱۰ زلزله نزدیک گسل مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد مدلی که با خط وسط اعضا فرض شده است، خیلی نرم تر و ضعیف تر از مدلهای دیگر است. این مدل برای طراحی ساختمانهای جدید محافظه کارانه است؛ اما برای ارزیابی ساختمانهای موجود یا آسیب دیده پیشنهاد نمی شود. مدلهایی که شامل قابهای داخلی ثقلی هستند، نیازهای تغییر مکان نسبی کوچکتر و ظرفیت تغییر مکان نسبی بزرگتری نسبت به دیگر مدلها دارند و اثر ناشی از اندر کنش دال مرکب چندان چشمگیر نیست. از اینرو پیشنهاد شده که برای ارزیابی و پیشبینی عملکرد قابهای فولادی، این اثرات در نظر گرفته شود. قابهایی که دارای شکست اتصال بودند، دارای نیازهای تغییر مکان نسبی بزرگتر و ظرفیت تغییر مکان های کوچکتری نسبت به مدلهای با اتصالات نرم بودند. این مسئله برای هر دو تحلیل دینامیکی و استاتیکی صحیح است. در مدلهای با شکست اتصال (قبل از نورث ریج)، قابهای ثقلی اثر چشمگیری در پاسخ سازه دارد. در خیلی از حالات قابهای ثقلی داخلی باعث جلوگیری از شکست می شوند. پیشنهاد شده است که، برای ارزیابی ساختمانهای با اتصال قبل از نورث ریج و سازه های آسیب دیده، قابهای ثقلی در مدلسازی در نظر گرفته شوند [۸].

جان اف هال^۲ در سال ۱۹۹۷ به بررسی دو ساختمان ۶ و ۲۰ طبقه که بر اساس آیین نامه UBC94^۳ و مقررات رایج ژاپن طرح شده بودند، پرداخت. در این گزارش رفتار غیر خطی سازه همراه با رفتار انواع اتصالات در زلزله های نزدیک منبع و در موقعیتهای مختلف نسبت به گسل مورد بررسی قرار گرفت. همچنین برای بررسی محدوده نزدیک گسل در مناطق زلزله خیز، حوزه لرزه خیز به صورت شبکه هایی تقسیم شد، و در هر گره اثر نگاشتهای نزدیک منبع بر روی رفتار سازه ها مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه چهار ساختمان ۶ و ۲۰ طبقه با زیر زمین که یکبار براساس آیین نامه ژاپن و یکبار بر اساس آیین نامه UBC94 طرح شده بودند مورد بررسی قرار گرفت. در طراحی همه ساختمانها، فنداسیون صلب بوده و از اثر اندر کنش دال بتنی صرف نظر شده است. همچنین در تحلیل اثرات ثانوی P-Δ برای قابهای داخلی در نظر گرفته شده بود و در محاسبات، اثر نیروی محوری ستونها بر ظرفیت خمشی پلاستیک ستون ها دیده شده بود. در این مطالعه پنج حالت اتصال مورد بررسی قرار گرفته است که شامل اتصال صلب و کامل (P)، اتصال دوم و سوم (B) کیفیت کمتری نسبت به اتصال کامل داشته و برای تعیین معیار گسیختگی اتصال از نسبت کرنش شکست به کرنش تسلیم

$$\left(\frac{\epsilon_F}{\epsilon_Y}\right)$$
 استفاده شده است (بطوریکه اتصال دارای شکل پذیری متوسط است) و اتصالات چهارم و پنجم (T) که دارای کیفیت پایین تری نسبت به

اتصال دوم و سوم هستند بطوریکه این اتصالات در کرنش تسلیم (اتصالات ترد) گسیخته می شوند. با مقایسه حداکثر پارامتر های زلزله (حداکثر شتاب، سرعت و تغییر مکان زمین)، مشاهده شد، خسارت وارده به ساختمانها، بیشترین ارتباط را با اوج تغییر مکان زمین دارد. اگرچه در بعضی از ساختمانها شکستی توسط برنامه کامپیوتری پیشبینی نشده است، اما کاهش مقاومت ناشی از کمانش موضعی را ناپستی رد کرد. ملاحظه شد بیشتر شکست جوشی، در بال تیر ها اتفاق می افتد. همچنین در بعضی از ساختمانها، با وجود اینکه پاسخ سازه کم بوده است، بعضی از اتصالات شکسته شده است. با بررسی پایداری ساختمانهایی که دارای درصد بالایی از شکستهای جوشی بودند، مشخص شد، عامل پایداری ساختمانها ناشی از، اتصالات سالم، مقاومت باقیمانده در اتصالات شکسته شده، اندر کنش دال، مقاومت محوری تیرها، مقاومت اتصالات ساده قابهای ثقلی، مقاومت بیشتر فولاد و کرنش سخت شدگی بوده است. همچنین مقاومت ساختمانها بطور چشمگیری بیشتر از سطح طرح شده بر اساس آیین نامه می باشند، این مسئله به دلیل محدود کردن تغییر مکانهای نسبی و عوامل ذکر شده می باشد. این مطالعه نشان داد که سه پارامتر ارتفاع سازه، سختی جانبی و نوع اتصال در پاسخ سازه بسیار موثر است. با مقایسه رفتار ساختمان ۶ و ۲۰ طبقه مشخص شد، که تغییر مکانهای نسبی در ساختمانهای ۶ طبقه بیشتر از ساختمانهای ۲۰ طبقه است، با اینکه مقاومت جانبی ساختمانهای ۶ طبقه نسبت به وزن، از ساختمانهای ۲۰ طبقه بزرگتر است. با مقایسه دو ساختمان ۶ طبقه که بر اساس آیین نامه ژاپن و UBC94 طرح شده بودند، مشخص شد، ساختمانی که بر اساس آیین نامه ژاپن طرح شده است، دارای مقاومت جانبی بیشتری است. همچنین مشاهده شد، افزایش مقاومت جانبی، تاثیر کمی در افزایش مقاومت ساختمان در برابر زلزله دارد، بطوریکه احتمالاً با افزایش سختی، سازه بار جانبی بیشتری جذب می کند. بررسی اتصالات دو پارامتر مهم را نشان داد، بطوریکه کرنش بالای شکستگی اتصالات و مقاومت باقیمانده بعد از شکست در اتصالات، تاثیر مفیدی در مقاومت سازه دارد. در این تحقیق مشاهده شد، ساختمانهایی که دارای اتصالاتی از نوع B بودند، آسیب دیدند ولی دچار خسارات عمده ای نشدند، اما بعضی از ساختمانهایی که دارای اتصال نوع T بودند دچار آسیب های چشمگیری شدند. همچنین

¹ Doulas A.Foutch ,Scung-Yul Yun

² John F. Hall

³ 1994 Uniform Building Code

در حالات خاصی دیده شد، افزایش مقاومت، باعث افزایش پاسخ می شود و بعد از شکست تعدادی از اتصالات، پاسخ سازه کاهش می یابد. بطوریکه این نتایج تحت تاثیر محتوای فرکانسی زلزله، فرکانس اصلی ارتعاش سازه و اثرات غیر خطی می باشند [۷].

تهرانی زاده و رحیم لباغ زاده (۲۰۰۴) دو مدل ۵ و ۱۳ طبقه که براساس آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش ۲ ایران در مناطق با لرزه خیزی بسیار زیاد و خاک نوع II طراحی و رفتار غیر خطی سازه ها با استفاده از مفاسل FEMA 273 مورد بررسی قرار دادند. آنها نشان دادند، زلزله های نزدیک گسل دارای

S_v ، E_i ، T_s و $\frac{PGD}{PGA}$ بیشتر و $\frac{PGD}{PGV}$ کمتری، نسبت به زلزله های دور از گسل می باشند. هنگامی که سازه در معرض حرکات نزدیک گسل قرار می گیرد، نیاز سازه افزایش می یابد. توزیع ارتفاعی پارامترهایی از سازه نظیر تغییر مکان طبقات، تغییر مکان نسبی، سرعت نسبی و شتاب مطلق طبقات نشان می دهد که، مقادیر این پارامترها در حوزه نزدیک بیشتر است. یکی از معیارهای انتخاب زلزله های نزدیک گسل می تواند فاصله باشد، اما به عنوان تنها معیار انتخاب نمی تواند مقبول باشد و باید در کنار آن از نگاشتهای سرعت و جابجایی، طیف پاسخ و طیف دامنه فوریه حوزه نزدیک استفاده نمود. با بررسی تاثیر پارامترهای موثر حوزه نزدیک در پاسخ سازه ها، مشخص شد که هر چقدر نسبت $\frac{PGV}{PGA}$ ، S_v ، E_i ، T_s بیشتر و یا نسبت $\frac{PGD}{PGV}$

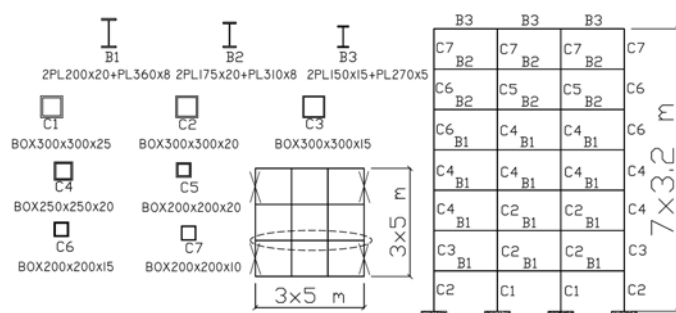
کمتر باشد، پاسخ سازه افزایش می یابد. باتوجه به مشخصه های زلزله های نزدیک گسل، می توان نتیجه گرفت در حوزه نزدیک پاسخ سازه بیشتر از حوزه دور است. همچنین زلزله های حوزه نزدیک که پالسهای موجود در آنها از شدت بیشتری برخوردار است (PGV آنها بیشتر است) و یا مدت زمان پالس آنها بزرگتر است (نسبت T/T_p آنها کم تر است) پاسخ سازه را بیشتر افزایش می دهند، لذا با این وجود سازه هایی که به منبع لرزه زا نزدیک تر هستند، شکل پذیری بیشتری باید داشته باشند تا بتوانند از پاسخ سازه بکاهدند [۹].

یکی دیگر از خصوصیت های زلزله های نزدیک گسل مولفه قائم بر سطح زمین می باشد. بزرگنیا با اندازه گیری فرکانس قائم ۱۲ ساختمان نشان داد که پریود اصلی قائم این ساختمانها بین 0.076s و 0.26s است. کلایر و الناشای^۲ (۲۰۰۱) پریود اصلی قائم ۴ قاب ساختمانی را حدود 0.07s بدست آوردند. این مقادیر نشان می دهد که دوره تناوب قائم ساختمانها معمولا کوتاه است و دقیقا نزدیک به فرکانس ارتعاشات قائم بر سطح زمین در زلزله های نزدیک گسل است [۴].

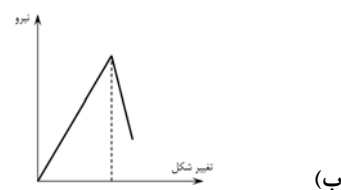
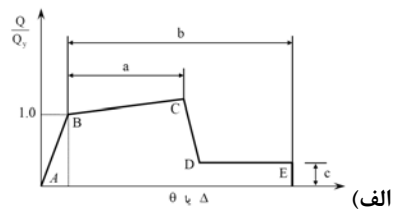
بررسی رفتار دینامیکی غیر خطی قاب هفت طبقه در حوزه نزدیک

براساس بند (۱-۳-۱) استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم بایستی از احداث ساختمان در مجاورت و یا نزدیک گسلهای فعالی که احتمال بوجود آمدن شکستگی در سطح زمین در هنگام وقوع زلزله وجود دارد، اجتناب کرد و در مواردی که در محدوده گسل احداث ساختمان مورد نظر باشد، باید علاوه بر رعایت ضوابط استاندارد ۲۸۰۰، تمهیدات فنی ویژه ای منظور شود که در استاندارد ۲۸۰۰ به آنها اشاره ای نشده است. در این مطالعه بمنظور بررسی رفتار قابهای خمشی فولادی طرح شده براساس ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ تحت زلزله های نزدیک گسل، یک قاب خمشی هفت طبقه برمبنای ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ و مقررات مبحث دهم مقررات ملی ساختمان^۳ طراحی و براساس ضوابط مدلسازی، و تحلیل دینامیکی غیرخطی دستورالعمل بهسازی^۴ (۱۳۸۵) با استفاده از نرم افزار Perform-3D v4.0.1 مورد بررسی قرار گرفت. شکل (۱) مشخصات مفاسل پلاستیک در اعضای کنترل شونده توسط تغییر شکل (شکل پذیر) و اعضای کنترل شونده توسط نیرو (ترد) را برمبنای دستورالعمل بهسازی نشان می دهد.

مطابق شکل (۱-الف) از نقطه A تا B رفتار اعضا در محدوده خطی و ارتجاعی و از نقطه B تا C عضو وارد ناحیه خمیری شده و مفصل پلاستیک



شکل ۲- شکل هندسی و مشخصات مقاطع مدل سازه ای



شکل ۱- الف) منحنی رفتار عضو شکل پذیر،

ب) منحنی رفتار اعضای شکننده

¹ S_v طیف پاسخ سرعت و E_i انرژی زلزله می باشد.

² Collier and Elnashai (2001)

³ طرح و اجرای ساختمانهای فولادی.

⁴ دستورالعمل بهسازی لرزه ای ساختمانهای موجود، نشریه شماره ۳۶۰ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور.

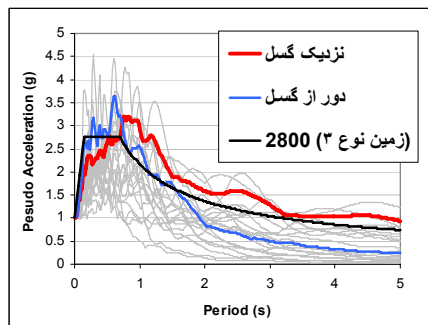


شکل می گیرد و در نهایت عضو در نقطه C دچار افت شدید مقاومت شده و در نقطه E شکسته می شود. در شکل (۱-ب) اعضای شکننده تا نقطه تسلیم رفتار خطی دارند و در نقطه تسلیم (محلی که با خط منقطع مشخص شده است) دچار شکست می شوند. شکل (۲) مدل سازه ای قاب هفت طبقه و جزئیات مقاطع مورد استفاده در این مطالعه را نشان می دهد. مدل سازه ای بخشی از یک ساختمان مسکونی هفت طبقه مربع شکل در پلان (ساختمان منظم با ضریب اهمیت $I=1$) و سه دهانه ۵ متری می باشد. که در یک جهت دارای سیستم باربر جانبی مهار بندی با اتصالات مفصلی تیر وستون و در جهت دیگر دارای سیستم باربر جانبی قاب خمشی فولادی متوسط ($R=7$) با اتصالات صلب می باشد همچنین دال از نوع مرکب (کامپوزیت) با ضخامت کافی در برابر بار جانبی در نظر گرفته شده و در تمامی مراحل تحلیل و طراحی دیافراگم صلب فرض شده است. برای در نظر گرفتن اثر بار ثقلی و اثر $P-\Delta$ بار کفها به تیرهای قاب خمشی اختصاص یافته است. مدل بر اساس ضوابط محبت ششم مقررات ملی ساختمان تحت بار زنده، مرده و جانبی طراحی شد. بطوریکه بار زنده و مرده در طبقات اول تا ششم به ترتیب 1000 kg/m و 2500 kg/m و در طبقه آخر بار برف 750 kg/m و بار مرده 2083 kg/m در نظر گرفته شده است. براساس ضوابط آیین نامه ۲۸۰۰ مدل شکل (۲) جزء ساختمانهای منظم محسوب شده لذا می توان در تحلیل و طراحی سازه تحت بارهای جانبی زلزله از روش تحلیل استاتیکی خطی استفاده نمود. طراحی سازه براساس طیف استاندارد ۲۸۰۰ و برایش سوم در زمین نوع سوم در مناطق باخطر نسبی خیلی زیاد با در نظر گرفتن محدودیتهای تغییر شکل و تنش اجزا صورت گرفت و برای تحلیل دینامیکی سازه از ده نگاشت نزدیک گسل و ده نگاشت دور از گسل که مشخصات آنها در جدول (۱) آمده است، استفاده شد.

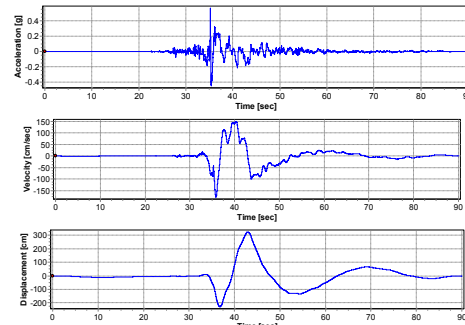
جدول ۱- مشخصات نگاشتهای مورد استفاده در این مطالعه

نگاشتهای دور از گسل					نگاشتهای نزدیک گسل				
ردیف	محل وقوع	سال	ایستگاه	فاصله (Km)	محل وقوع	سال	ایستگاه	فاصله (Km)	ردیف
1	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY065	83.43	Denali, Alaska	2002	PumpStation #10	2.74	1
2	Chi-Chi, Taiwan	1999	TAP095	109.01	Bam, Iran	2003	Bam	---	2
3	Loma Prieta	1989	CDMG 58224	72.2	Chi-Chi, Taiwan	1999	CHY101	9.96	3
4	Loma Prieta	1989	CDMG 58472	74.26	Chi-Chi, Taiwan	1999	TCU068	0.32	4
5	Kobe, Japan	1995	HIK	95.72	Imperial Valley	1979	CDMG 5158	1.35	5
6	Loma Prieta	1989	CDMG 58223	58.65	Northridge	1994	DWP 74	5.35	6
7	Manjil, Iran	1990	Qazvin	49.97	Silakhor, Iran	2006	Chalan Choolan	---	7
8	Northridge	1994	CDMG 13122	82.32	Kocaeli, Turkey	1999	Yarimca	4.83	8
9	Tabas, Iran	1978	Ferdows	91.14	Zanjiran, Iran	1994	meymand	---	9
10	Kocaeli, Turkey	1999	Bursa Tofas	60.43	Kobe, Japan	1995	Takatori	1.47	10

تمامی نگاشتها به $PGA=0.35g$ همپایه شدند. نگاشتهای نزدیک گسل از زلزله های بزرگ با یک یا دو پالس ناشی از اثرات Rupture directivity در نگاشت سرعت در محدوده حداکثر ۱۰ کیلومتری از گسل انتخاب شدند. شکل (۳) تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و تغییر مکان یک نگاشت نزدیک گسل را نشان می دهد. همچنین در انتخاب نگاشتهای دور از گسل هیچیک از نگاشتها دارای PGA کمتر از $0.1g$ نمی باشد. در شکل (۴) طیف پاسخ میانگین به علاوه انحراف استاندارد نزدیک گسل با دور از گسل مورد مقایسه قرار گرفته است. مقادیر طیف (میانگین به علاوه انحراف استاندارد) نزدیک گسل در پریود 0.7 ثانیه از مقادیر طیف دور از گسل و طیف 2800 بیشتر است و در پریود 2 ثانیه مقادیر طیف نزدیک گسل تقریباً به دو برابر مقادیر طیف دور از گسل می رسد.



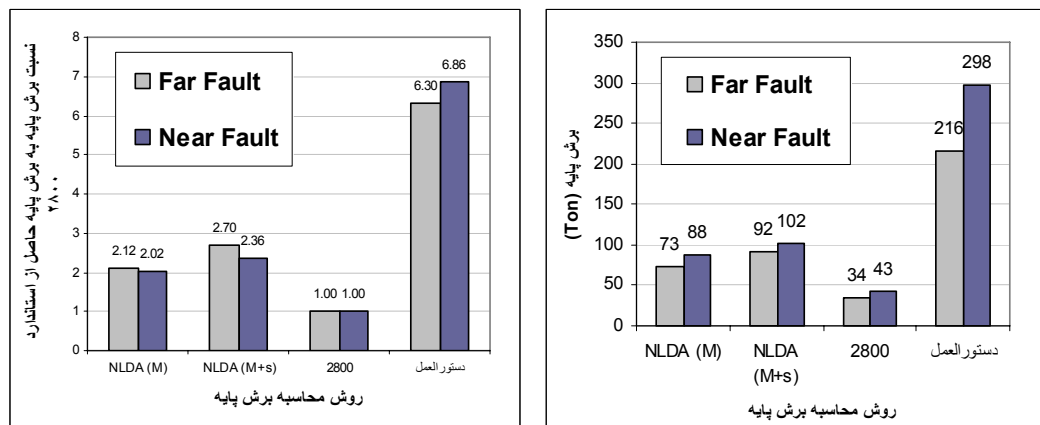
شکل ۴- مقایسه طیف میانگین به علاوه انحراف معیار نزدیک و دور از گسل با طیف استاندارد ۲۸۰۰ و برایش ۳. (۵٪)



شکل ۳- تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و جابجایی زمین. در زلزله چی چی تایوان (۱۹۹۹) ایستگاه TCU68.

مقایسه برش پایه و توزیع برش در ارتفاع سازه

روش تحلیل استاتیکی معادل یکی از روشهای متداول جهت محاسبه بار جانبی سازه در استاندارد ۲۸۰۰ می باشد. لذا در این بخش برش پایه و توزیع برش در ارتفاع حاصل از تحلیل دینامیکی غیر خطی، با برش حاصل از استاندارد ۲۸۰۰ و برش پایه دستورالعمل بهسازی مورد مقایسه قرار می گیرد. پریود سازه براساس استاندارد ۲۸۰۰ و دستورالعمل بهسازی $T=0.82s$ و زمان تناوب دقیق $T=1.2s$ می باشد و برش پایه بر مبنای رابطه (۲-۳) آیین نامه ۲۸۰۰ حاصل از طیف استاندارد برابر 34.1 ton و حاصل از طیف میانگین به علاوه انحراف استاندارد دور از گسل 34.28 ton می باشد. در شکل (۵) برش پایه حاصل از تحلیل استاتیکی معادل استاندارد ۲۸۰۰ و دستورالعمل بهسازی با استفاده از طیف زلزله های دور از گسل و نزدیک گسل با برش پایه میانگین (M) و برش پایه میانگین به علاوه انحراف استاندارد (M+S) حاصل از تحلیل دینامیکی غیر خطی مورد مقایسه قرار گرفته است.

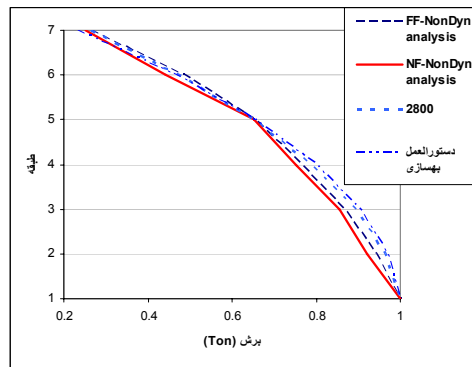


شکل ۵-الف) مقایسه برش پایه حاصل از استاندارد ۲۸۰۰ و دستور العمل بهسازی با استفاده از طیفهای میانگین (M) و میانگین به علاوه انحراف استاندارد (M+s) دور و نزدیک گسل با برش میانگین و میانگین به علاوه انحراف حاصل از تحلیل دینامیکی غیر خطی، ب) مقایسه نسبت برش پایه حاصل از روشهای مختلف به برش حاصل از استاندارد ۲۸۰۰.

در شکل (۵-الف) مقادیر نسبت میانگین و میانگین به علاوه انحراف معیار برش نزدیک گسل به دور از گسل به ترتیب ۱،۲۰۵ و ۱،۱۰۸ می باشد. همچنین نسبت برش نزدیک گسل به برش دور از گسل در روش استاتیکی ۲۸۰۰، ۱،۲۶۴ و روش دستورالعمل بهسازی ۱،۳۸ می باشد. بنظر می آید نسبت برش پایه نزدیک گسل به دور از گسل در روش استاندارد ۲۸۰۰ و دستورالعمل بهسازی بیشتر از مقادیر واقعی است. با توجه به شکل (۵-ب) میانگین برش پایه حاصل از تحلیل دینامیکی غیر خطی در نزدیک گسل حدود ۲.۰۲ و در دور از گسل ۲.۱۲ برابر برش حاصل از روش استاندارد ۲۸۰۰ در نزدیک گسل است بطور مشابه برش حاصل از میانگین به علاوه انحراف استاندارد حاصل از تحلیل دینامیکی غیر خطی (NLDA^۱) در نزدیک گسل ۲،۳۵ و در دور از گسل ۲،۷ برابر روش استاتیکی معادل استاندارد ۲۸۰۰ می باشد. بر اساس نتایج شکل (۵-ب) بنظر می آید استاندارد ۲۸۰۰ نه تنها مقادیر برش پایه در نزدیک گسل را کمتر از مقادیر واقعی آن تخمین می زند بلکه برش پایه حاصل از زلزله های دور از گسل را هم کمتر از مقادیر واقعی آن محاسبه می کند. با مقایسه برش پایه حاصل از دستورالعمل بهسازی و آیین نامه ۲۸۰۰ مشاهده می شود مقادیر برش در نزدیک گسل حدود ۶.۸۵ و در دور از گسل ۶،۲۹ برابر مقادیر استاندارد ۲۸۰۰ است. بر مبنای بند (۳-۱) دستورالعمل بهسازی، نیروی جانبی ناشی از زلزله به گونه ای محاسبه می شود که حداکثر تغییر شکل سازه با فرض رفتار خطی مصالح با آنچه که در زلزله سطح خطر مورد انتظار پیشبینی می شود مطابقت داشته باشد. لذا چنانچه سازه در حین زلزله بصورت خطی رفتار کند، نیروهای حاصل از روش استاتیکی دستورالعمل بهسازی برای اعضای سازه نزدیک به مقادیر پیشبینی شده در هنگام زلزله خواهد بود؛ ولی اگر در هنگام زلزله سازه رفتار غیر خطی از خود نشان دهد و مصالح سازه به حد جاری شدن برسند آنگاه مقادیر نیروهای حاصل از روش استاتیکی دستورالعمل بهسازی بیش از مقادیر آن در هنگام زلزله خواهد بود زیرا رفتار مصالح بصورت ارتجاعی فرض شده است. همچنین دستورالعمل بهسازی برای در نظر رفتار غیر خطی هندسی سازه (اثرات P-Δ) ضریبی (C₃) را در نظر گرفته است که بوسیله ضریب پایداری سازه بدست می آید. بر اساس بند (۲-۳-۸) آیین نامه ۲۸۰۰ این آیین نامه عواملی از قبیل شکل پذیری، درجه نامعینی، و اضافه مقاومت موجود در سازه را توسط ضریب رفتار (R) در نظر گرفته است. شکل پذیری عامل مهمی است که در هنگام زلزله باعث استهلاک نیروهای زلزله شده بدون اینکه اعضای سازه آسیب جدی ببینند همچنین عاملی مثل درجه نامعینی باعث می شود تا با تشکیل مفاصل پلاستیک در اعضا، سازه همچنان نیروهای زلزله را تحمل نماید، غیر از موارد فوق این آیین نامه مقاومت اضافی اجزا بر مبنای طراحی در تنشهای مجاز را نیز در نظر گرفته است و ضریب رفتار R را ارائه کرده است. در واقع این آیین نامه تخمینی از نیروهای زلزله با فرض رفتار شکل پذیر سازه در هنگام زلزله زده است و فرض نموده سازه تحت برش پایه حاصل از استاندارد ۲۸۰۰ در محدوده خطی قرار می گیرد. لذا با توجه به موارد فوق مقایسه برش پایه حاصل از دستورالعمل بهسازی با برش پایه آیین نامه ۲۸۰۰ امری غیر معقول می باشد و با توجه به مطلب فوق انتظار می رود که برش حاصل از دستورالعمل بهسازی بیش از آیین نامه ۲۸۰۰ باشد که این موضوع در شکل (۵-الف) مشهود است. آیین نامه ۲۸۰۰ برای تخمین تغییر شکلهای غیر ارتجاعی ضریب (R) 0.7R ضریب رفتار سازه است) را پیشنهاد کرده است که با ضرب این مقدار به تغییر شکلهای سازه مقادیر تغییر مکان سازه در حالت غیر خطی تخمین زده می شود. همچنین برای در نظر گرفتن اثر رفتار غیرخطی هندسی سازه بر تغییر مکانها ضریب $\frac{1}{1-\theta_i}$ (ضریب پایداری) را ارائه کرده است. که باعث افزایش تغییر شکلهای سازه به دلیل اثر P-Δ می شود. لذا می توان تغییر مکانهای حاصل از روش استاندارد ۲۸۰۰ را با روش دستورالعمل بهسازی و روش تحلیل دینامیکی غیر خطی مقایسه نمود. در شکل (۶) برش موجود در هر طبقه به برش پایه هم پایه شده است تا بتوان الگوی توزیع برش در ارتفاع را در روشهای مختلف مقایسه کرد. مقایسه توزیع برش در ارتفاع سازه حاکی از نزدیک بودن الگوی توزیع بار استاندارد ۲۸۰۰ و

¹ Non Linear Dynamic Analysis

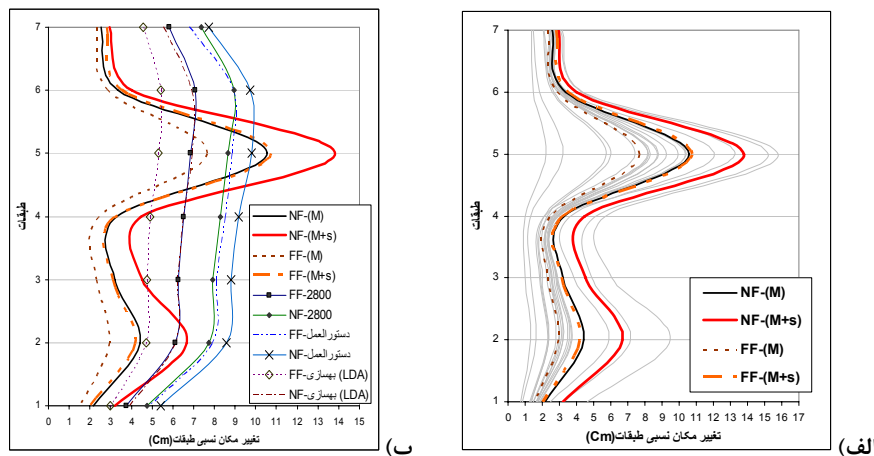
دستورالعمل بهسازی با روش تحلیل دینامیکی غیر خطی است. با مقایسه میانگین به علاوه انحراف معیار توزیع برش در زلزله های دور و نزدیک گسل مشاهده می شود که تفاوت چندانی وجود ندارد.



شکل ۶-مقایسه الگوی توزیع برش در ارتفاع سازه

مقایسه تغییر شکل نسبی طبقات

یکی از ضوابط آیین نامه ۲۸۰۰ محدود کردن تغییر مکانهای نسبی طبقات است بطوریکه براساس ضوابط بند (۲-۵-۲) استاندارد ۲۸۰۰ تغییر مکان جانبی نسبی واقعی طرح در محل مرکز جرم هر طبقه برای ساختمانهای با زمان تناوب اصلی کمتر از ۰.۷s نبایستی از ۰.۰۲۵ ارتفاع طبقه و برای ساختمانهای با زمان تناوب اصلی بیشتر و یا مساوی ۰.۷s از ۰.۰۲ برابر ارتفاع طبقه بیشتر شود. مطابق شکل (۷-الف) میانگین و میانگین به علاوه انحراف معیار حاصل از تحلیل دینامیکی برای نگاشتهای نزدیک و دور از گسل مورد مقایسه قرار گرفته است. با توجه به این شکل متوسط نسبت جابجایی نسبی طبقه ناشی از نزدیک گسل به دور از گسل برابر ۱.۳۴ میباشد. متوسط نسبت تغییر مکان نسبی نزدیک گسل به دور از گسل براساس روش استاندارد ۲۸۰۰، تحلیل استاتیکی خطی و دینامیکی خطی دستورالعمل بهسازی به ترتیب مقادیر ۱،۲۶، ۱،۰۱ و ۱،۲۸ می باشد.



شکل ۷-الف) میانگین و میانگین به علاوه انحراف استاندارد تغییر مکان نسبی طبقات در روش تحلیل دینامیکی غیر خطی، (ب) مقایسه میانگین و میانگین به علاوه انحراف استاندارد تغییر مکان نسبی در روش دینامیکی غیر خطی با تغییر مکان نسبی طبقات بر مبنای روش استاتیکی ۲۸۰۰، استاتیکی و دینامیکی خطی دستورالعمل بهسازی.

با توجه به شکل (۷-الف) میانگین و میانگین به علاوه انحراف معیار تغییر مکان نسبی حاصل از نگاشتهای نزدیک گسل بیشتر از مقادیر دور از گسل می باشد ولی الگوی حداکثر تغییر مکانها یکسان می باشد در واقع تغییر شکل نسبی در طبقه پنجم متمرکز شده است. با مقایسه تغییر مکانهای تخمین زده شده بوسیله استاندارد ۲۸۰۰ در حالت نزدیک گسل و دور از گسل در شکل (۷-ب) ملاحظه می شود مقادیر حاصل از ضوابط آیین نامه نتوانسته است مقادیر حداکثر تغییر مکان نسبی را بدرستی تخمین بزند و در هر دو زلزله نزدیک و دور از گسل مقادیر تغییر مکانهای نسبی کمتر از حداکثر تغییر مکان نسبی تحت نگاشت نزدیک گسل است. این مسئله برای روش استاتیکی و دینامیکی خطی دستورالعمل بهسازی نیز صادق است بطوریکه روشهای تخمین تغییر مکان نسبی واقعی نتوانسته است الگوی تغییر مکان نسبی طبقات را بدرستی تخمین بزند. لذا می توان با توجه به فرضیات این مطالعه نتیجه گرفت روش استاتیکی و دینامیکی خطی که در دستورالعمل بهسازی و استاندارد ۲۸۰۰ ارائه شده است بدرستی نمی تواند تغییر مکانهای نسبی را در طبقات تخمین بزند و مقادیر تغییر مکان نسبی حاصل از این روشها برای بعضی از طبقات بیشتر و برای بعضی از طبقات کمتر از مقادیر واقعی است اما در هر صورت دستورالعمل بهسازی مقادیر بیشتری را تخمین می زند.



نتایج

مطالعات انجام شده در حوزه نزدیک نشان می دهد که نگاشتهای افقی عمود بر گسل دارای پالسهایی با پریود بلند هستند بطوریکه اینگونه از نگاشتهای اثرات بیشتری بر سازه ها نسبت به نگاشتهای دور از گسل دارند. نتایج حاصله حاکی از مقادیر بیشتر برش پایه و تغییر مکانهای نسبی در طبقات است. براساس مطالعه صورت گرفته مقادیر برش پایه حاصل از روش استاتیکی معادل آیین نامه ۲۸۰۰ کمتر از مقادیر برش پایه حاصل از تحلیل دینامیکی غیر خطی تحت نگاشتهای دور و نزدیک گسل است. همچنین الگوی توزیع برش استاندارد ۲۸۰۰ و دستورالعمل بهسازی تطبیق خوبی با توزیع برش در تحلیل دینامیکی غیر خطی دارد. با مقایسه تغییر مکانهای نسبی مشخص شد حداکثر تغییر مکانهای نسبی واقعی حاصل از آیین نامه ۲۸۰۰ و دستورالعمل بهسازی از روشهای خطی مقادیر کمتری از تحلیل دینامیکی غیر خطی دارد و محاسبه تغییر مکان نسبی از روشهای خطی در بعضی از طبقات تخمین بیشتر و در بعضی از طبقات تخمین کمتری نسبت به روش دینامیکی غیر خطی ارائه می دهد لذا پیشنهاد می شود در ارزیابی سازه ها مخصوصا در حوزه نزدیک از روش دینامیکی غیر خطی استفاده شود.

زلزله های حوزه نزدیک که اوج پالس سرعت موجود در آنها از شدت بیشتری برخوردار است و یا مدت زمان پالس آنها بزرگتر است (نسبت T/T_p آنها کم تر است) پاسخ سازه را بیشتر افزایش می دهند، لذا با این وجود سازه هایی که به منبع لرزه زا نزدیک تر هستند، شکل پذیری بیشتری باید داشته باشند تا بتوانند از پاسخ سازه بکاهند. با مطالعه پریود پالس نزدیک گسل ملاحظه می شود که افزایش نسبت پریود پالس حرکت زمین به پریود طبیعی سازه و همچنین افزایش نسبت شتاب زمین به مقاومت تسلیم سازه، موجب افزایش پاسخ غیر خطی و خسارات وارده به سازه می شود و به دلیل اینکه اثرات نزدیک گسل در محدوده پریودهای بالا (Low frequency) بیشتر است افزایش نرمی و پریود اصلی سازه ها باعث افزایش اثرات نزدیک گسل می شود بطوریکه سازه های با فرکانس بالا (دوره تناوب کم) که در محدوده خطی قرار دارند؛ تحت زلزله های نزدیک گسل که دارای محتوای فرکانسی کوتاه (با پریود بلند) هستند، دارای پاسخ بزرگی نمی باشند، اما اگر این سازه ها وارد ناحیه غیر خطی شوند، فرکانس آنها کم شده و پریود آنها افزایش می یابد و در این حالت تحت زلزله های نزدیک گسل آسیب پذیر می شوند. در واقع رابطه بین محتوای فرکانسی زلزله و فرکانس اصلی سازه ها فاکتور مهمی برای پاسخ سازه ها هستند. از دیگر خصوصیتهای زلزله های نزدیک گسل مولفه قائم بر سطح زمین می باشد. مطالعات صورت گرفته نشان می دهد که دوره تناوب قائم ساختمانها معمولا کوتاه است و دقیقا نزدیک به فرکانس ارتعاشات قائم بر سطح زمین در زلزله های نزدیک گسل است. لذا اگر برای کارایی سازه مهم باشد، اثر مولفه قائم به سطح زمین بر سازه ها بایستی تخمین زده شود.

براساس مطالعات انجام شده سه پارامتر ارتفاع سازه، سختی جانبی و نوع اتصال در پاسخ سازه بسیار موثر است و اتصالات سالم، مقاومت باقیمانده در اتصالات شکسته شده، اندرکنش دال، مقاومت محوری تیرها، مقاومت اتصالات ساده قابهای ثقلی، مقاومت بیشتر فولاد و کرنش سخت شدگی عوامل مهمی هستند که موجب پایداری سازه بعد از ایجاد شکستهای جوشی می شوند همچنین کرنش بالای شکستگی اتصالات (تحمل تغییر شکل زیاد اتصالات) و مقاومت باقیمانده بعد از شکست در اتصالات، تاثیر مفیدی در مقاومت سازه دارد. لذا پیشنهاد می شود برای ارزیابی و پیشبینی عملکرد قابهای فولادی، مقاومت جانبی قابهای ثقلی، رفتار اتصالات، مقاومت باقیمانده در اتصالات شکسته شده، طول واقعی اجزا، اثرات چشمه اتصال و... در نظر گرفته شود. مدلهایی که با خط وسط اعضا فرض شده اند، خیلی نرم تر و ضعیف تر از مدلهای با طول واقعی اجزا هستند. این مدلها برای طراحی ساختمانهای جدید محافظه کارانه اند اما برای ارزیابی ساختمانهای موجود یا آسیب دیده پیشنهاد نمی شوند.

مراجع

1. **Bruce A. Bolt, Seismic input motions for nonlinear structural analysis, Journal of Earthquake Technology, Paper No.448, December 2004.**
2. **In-Kil Choi, Min Kyu Kim, Young-Sun Choun, and Jeong-Moon Seo, Shaking table test of steel frame structures subjected to scenario earthquakes, Journal of the Nuclear Engineering and Technology, Vol.37 No.2, April 2005.**
3. **K. Galal, A. Ghojarah, Effect of near-fault earthquakes on North American nuclear design spectra, Nuclear Engineering and Design, Elsevier, February 2006.**
4. **Bozorgnia, Yousef. Earthquake Engineering: From Engineering Seismology to Performance-Based Engineering, Published by CRC Press LLC, 2004.**
5. **Babak alavi and Helmut Krawinkler, Effects of near-fault ground motions on frame structures, A report of The John A. Blume Earthquake Engineering Center Department of Civil and Environmental engineering Stanford University, California, Report No. 138, February 2001.**
6. **M. Saïidi, P. Somerville, Bridge seismic analysis procedure to address near-fault effects, A report of Nevada University (Reno), December 2005.**
7. **John F. Hall, Seismic response of steel frame buildings to near-fault ground motions, A report of the California Institute of Technology, Report No.EERL 97-05, Pasadena, California, 1997.**
8. **Douglas A. Foutch and Scung-Yul Yun, Modeling of steel moment frames for seismic loads, Journal of Constructional Steel Research 58, 2002.**

۹. محسن تهرانی زاده، محمد صالح رحیم لباف زاده، پارامترهای مؤثر پاسخ سازه ها در حرکات افقی حوزه نزدیک منبع لرزه زا، نشریه انجمن راه و ساختمان ایران (بنا)، شماره ۲۳، اردیبهشت ۱۳۸۴.