بررسی خصوصیات زلزله های نزدیک گسل و لزوم ارزیابی لرزه ای ساختمانهای موجود در حوزه نزدیک

***دکتر محسن گرامی، پژوهشگر فوق دکتری، استادیار دانشگاه سمنان**

*پست الکترونیکی: mgerami@semnan.ac.ir، ۰۹۱۵۵۱۳۳۴۷۲

****داود عبدالله زاده، دانشجوی کارشناسی ارشد عمران گرایش زلزله، دانشگاه سمنان**

**پست الکترونیکی: Davood-a@engineer.com، ۰۹۱۲۲۹۹۱۴۳۸

چکیده:

نزدیک گسل معمولا محدوده ای بین ۱۵ تا ٦۰ کیلومتری از گسل فعال است که اثرات جهت پذیری پیشرونده (Forward directivity) باعث ایجاد ارتعاشات افقی زمین در جهت عمود بر امتداد گسل بصورت ضربه افقی بزرگی می شود که بصورت قابل ملاحظه ای بزرگتر ازمولفه افقی موازی با گسل است.اثر جهت پذیری پیشرونده با کوچکتر شدن زاویه بین گسل و ساختگاه و بزرگتر شدن سطح شکست بین ساختگاه و گسل بزرگتر می شود.اینگونه پالسها باعث افزایش نیازهای تغییر مکان غیر ارتجاعی (نیازهای شکل پذیری) در سازه می شوند بطوریکه در نزدیک گسل می توانند پاسخ های بزرگ و شکل پذیری زیادی را به سازه اعمال کنند.از آنجایی که در حوزه نزدیک مولفه افقی عمود بر گسل غالب است لذا جهت گیری سازه هایی که در محدوده نزدیک به گسل واقع شده اند اهمیت دارد. با توجه به مطالعات صورت گرفته در مورد خرابی ساختمانها در نزدیک گسل و ارائه نشدن ضوابط ویژه ای در استاندارد ۲۸۰۰ در حوزه نزدیک لزوم ارزیابی لرزه ای ساختمانهای موجود در نزدیک گسل امری لازم می باشد.

واژه های کلیدی: اثر زلزله، حوزه نزدیک، نزدیک گسل، جهت پذیری، ارزیابی لرزه ای

۱-مقدمه

پیشرفت های تکنیکی در زمینه زلزله شناسی و مهندسی زلزله در ۵۰ سال گذشته همچون پیشرفت کامپیوترها، توسعه روشهای عددی برای تحلیل خطی و غیر خطی سازه ها، بهبود یافتن کیفیت ، کمیت و پردازش نگاشتهای زلزله ها[1]، درک و بکارگیری تغییر شکلهای مجاز غیر ارتجائی در سازه ها، تغییر در جزئیات نیازشکل پذیری[2]و مقاومت جهت جلوگیری از شکستهای ترد، بکارگیری روشهای احتمالاتی و... سبب ارتقاء علوم مهندسی و درک پارامتر های موثر در پایداری سازه ها شده است بطوریکه محققین شاهد اثرات متفاوت زلزله های نزدیک گسل با زلزله های دور از گسل بوده اند. بعد از زلزله ۱۹۶۶ پارکفیلد کالیفرنیا[3] و زلزله ۱۹۷۱ پاکویما سانفرناندو[4]، عبارت نزدیک گسل توسط بولت[5] (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[6]، زلزله ۱۹۹۴ نورث ریج[7]، زلزله ۱۹۹۵ کوبه[8] ژاپن و زلزله ۱۹۹۹ چی چی[9] تایوان به وقوع پیوست [۲،۳]. با توجه به اینکه هم اکنون تعدادی از شهر های ایران از جمله شهر تهران در حوزه نزدیک قرار دارد در این مطالعه به بررسی خصوصیات نگاشتهای نزدیک گسل و اثرات آن بر سازه های ساختمانی لزوم ارزیابی لرزه ای در حوزه نزدیک پرداخته می شود.

۱-خصوصیات مولفه های ارتعاش زمین در زلزله های نزدیک گسل

در این بخش خصویات مولفه های افقی و مولفه قائم زلزله های نزدیک گسل مورد بررسی قرار می گیرد و مولفه غالب بر رفتار سازه تعیین می شود.

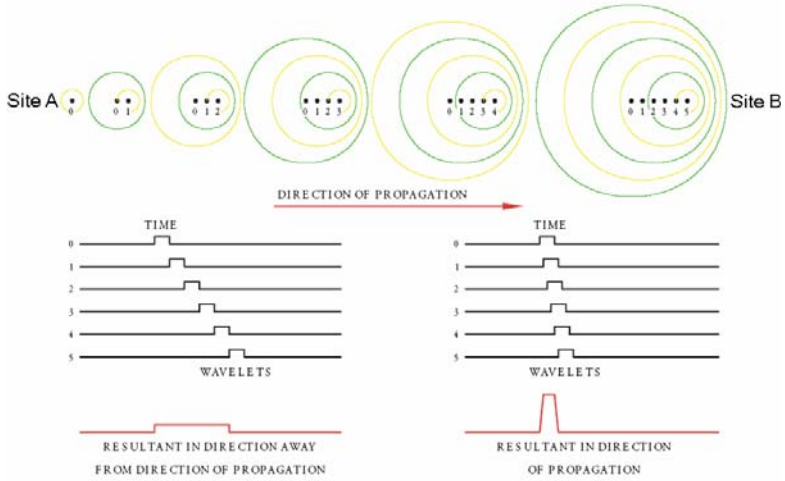
۱-۲-خصوصیات مولفه های افقی ارتعاش زمین

محدوده نزدیک گسل معمولا در داخل محدوده ای بین ۱۵ تا ۶۰ کیلومتری از گسل فعال فرض می شود. در این محدوده معمولا زمین لرزه ها به مکانیسم شکست ، جهت انتشار شکست نسبت به ساختگاه و تغییر مکانهای دائمی ناشی از لغزش گسل وابسته می باشند. این پارامترها باعث ایجاد دو اثر

---

[1] Ground Motions Records
[2] Ductility Demands
[3] 1966 Parkfield, California
[4] 1971 Pacoima, San Fernando
[5] Bolt
[6] 1992 Landers, California
[7] 1994 Northridge
[8] 1995 Kobe, Japan
[9] 1999 Chi-Chi, Taiwan

به نامهای Rupture Directivity (جهت پذیری شکست*) و Fling step (جابجایی ضربه ای ماندگار زمین*) می شوند. Rupture Directivity شامل دو اثر Forward Directivity (جهت پذیری پیشرونده*) و Backward Directivity (جهت پذیری پسرونده*) می باشد. زمانی که یک گسل شروع به شکسته شدن می کند، شکست از نقطه ای بر روی امتداد گسل ایجاد شده و بسته به محل آغاز گسیختگی به ابتدا ، انتهای گسل و یا هر دو جهت گسترش می یابد. در این حالت اگر انتشار شکست گسل به سمت ساختگاه باشد و جهت لغزش گسل نیز در جهت ساختگاه باشد آنگاه Forward directivity رخ می دهد بطوریکه پالس ایجاد شده به دلیل نزدیک بودن سرعت انتشار شکست به سرعت موج برشی در سنگ نزدیک منبع زلزله می باشد.معمولا سرعت شکست کمی کمتر از سرعت موج برشی می باشد. در شکل (۱) انرژی زلزله در هر شکست در طول گسل متراکم شده و نهایتا با یک پالس ارتعاشی بزرگ همراه با موج برشی به سمت ساختگاه B پیش رفته و به صورت یک مولفه پالسی (شوک) در جهت عمود بر امتداد گسل در آغاز نگاشت ظاهر می شود. این گونه نگاشتها معمولا دارای مدت زمان کوتاه، با یک پالس ویژه با دامنه زیاد و دوره تناوب متوسط تا بلند هستند. چنانچه ساختگاه در نزدیکی مرکز زمین لرزه باشد (Site A) و انتشار شکست به سمت دور شدن از ساختگاه باشد در این حالت Backward directivity رخ می دهد. زمین لرزه در حالت Backward directivity دارای مدت زمان بیشتر و پالسهای متعدد با دوره تناوب کوتاه و دامنه کوچک بوده بطوریکه انرژی زلزله در طول مدت ارتعاش پراکنده می شود. شکل(۱)[۴].



شکل ۱- اثرات ناشی از جهت شکست گسل برای ساختگاه A و B؛ [۵].

---

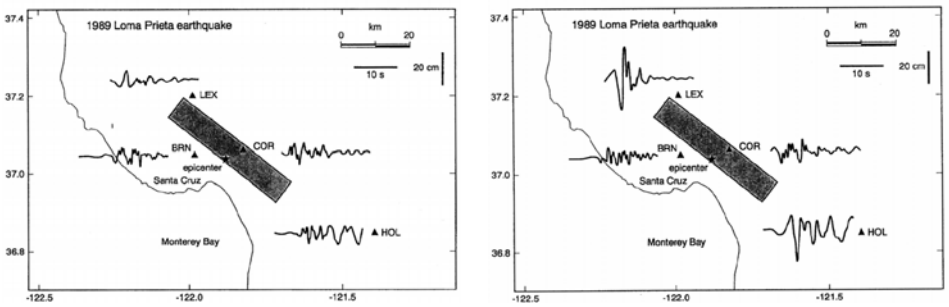
* برای اصطلاحات Rupture Directivity , Fling Step , Forward Directivity , Backward Directivity معادل دقیق فارسی نیامده است لذا از همان اصطلاحات انگلیسی استفاده می کنیم.

در زلزله های نزدیک گسل ابتدا موج برشی و سپس شکست به سمت ساختگاه انتشار می یابد و این مسئله باعث می شود در ابتدای نگاشت یک موج پالسی شکل افقی با دامنه زیاد در ابتدای نگاشت های ناشی از Forward directivity در جهت عمود بر امتداد گسل دیده شود. در شکل(۱) جهت انتشار شکست از چپ به راست است. شکست از نقطه ۱ نزدیک به Site A شروع و تا نقطه ۵ نزدیک به Site B ادامه می یابد. در این حالت در ساختگاه B اثر Forward directivity و در ساختگاه A اثر Backward directivity دیده می شود. انرژی زلزله در ساختگاه A به صورت پراکنده در طول مدت ارتعاش در ساختگاه B در ابتدای ارتعاش بوسیله یک پالس با دامنه بزرگ اعمال می شود[۵]. اگر فاصله ساختگاه از منشا زلزله زیاد باشد و ساختگاه خارج از محدوده Rupture directivity باشد، در این حالت زلزله های دور از گسل[1] یا محدوده Neutral directivity (جهت پذیری خنثی) را خواهیم داشت. در شکل (۲) تاریخچه زمانی جابجایی زمین برای چند محل در زلزله ۱۹۸۹ لوماپریتا[2] نشان داده شده است. ایستگاه های Cor[3] و Brn[4] در نزدیکی مرکز زلزله در جایی قرار دارند که جابجایهای افقی زمین برای هر دو مولفه افقی موازی و عمود به امتداد گسل مقادیر کمی است. پس از لغزش گسل، شکست از مرکز ارتعاش به ابتدا و انتهای گسل پیش می رود، در این حالت ایستگاه های Cor و Brn در محدوده Backward directivity قرار دارند و ایستگاه های Lex[5] و Hol[6] تحت اثر Forward directivity قرار میگیرند.در شکل (۲) Lex و Hol تحت ارتعاشات افقی ضربه ای زمین در جهت عمود بر امتداد گسل قرار دارند. در هردو ایستگاه Hol و Lex مولفه افقی عمود بر امتداد گسل بصورت قابل ملاحظه ای بزرگتر از مولفه افقی موازی با گسل است. این موضوع برای مولفه افقی عمود برامتداد گسل در ایستگاه های Cor و Brn نیز صدق می کند. به بیان ساده تر ، اثر Forward directivity باعث می شود تا یک پالس ضربه ای در مولفه افقی عمود بر امتداد گسل ایجاد شود؛ بطوریکه این مولفه از دو مولفه افقی موازی و عمود بر امتداد گسل در حالت Backward directivity بطور عمده بزرگتر است . همچنین درحالت Forward directivity مولفه افقی عمود بر امتداد گسل از مولفه موازی با امتداد گسل بطور مشخص بزرگ تر است. Forward directivity در هر دو رخداد امتداد لغز و شیب لغز می تواند دیده شود.در مکانیسم شیب لغز اثر Forward directivity در قست بالای صفحه گسل در پلان رخ می دهد. همچنین در

---

[1] Far field
[2] 1989 Loma Prieta , Earthquake
[3] Corralitos
[4] Brancifote Drive
[5] Lexington Dam
[6] Hollister

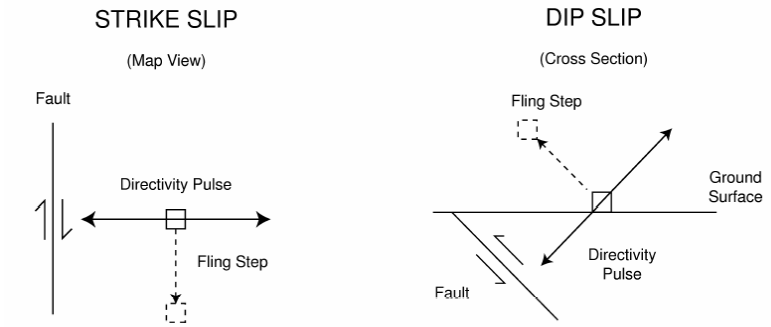
مکانیسم امتداد لغز ، الگوی پخش جابجایی برشی در یک گسل معکوس، باعث می شود تا پالس ارتعاش در جهت عمود بر امتداد لغزش گسل باشد. (سامرویل و همکاران ۱۹۹۷)؛ [۴].



الف) مولفه افقی عمود بر گسل ب) مولفه افقی موازی با گسل

شکل ۲- تاریخچه زمانی تغییر مکان در زلزله لوماپریتا (۱۹۸۹)، الف) مولفه افقی عمود بر امتداد گسل، ب)مولفه افقی موازی با امتداد گسل در موقعیتهای مختلف؛ [٤].

در زمین لرزه های نزدیک گسل جابجایهای ماندگاری ناشی از تغییر شکل ثابت حوزه زلزله دیده می شودکه به این تغییر مکانها Fling step می گویند. Fling step در فواصل زمانی مجزا در چند ثانیه در طی لغزش گسل رخ می دهد. تغییر مکانهای Filing step در جهت لغزش گسل(عمود بر اثر Rupture directivity) است. از اینرو بطور عمده با جابجایهای دینامیکی ناشی از اثرات Rupture directivity ترکیب نمی شوند. در گسلهای امتداد لغز، پالس ناشی از Forward directivity در جهت عمود بر لغزش گسل بوده و تغییر مکان Fling step در جهت موازی با لغزش گسل رخ می دهد. درگسلش شیب لغز مولفه پالس Directivity عمود و تغییر مکان Fling step در جهت موازی بر لغزش گسل رخ می دهند.شکل (۳)[۴].



شکل ۳-جهت های پالس Directivity و جابجایی Fling step برای گسلش شیب لغز و امتداد لغز

۱-۲-اثرات نزدیک گسل در مولفه های قائم زلزله

لرزش قائم زمین بواسطه امواج فشاری P و امواج برشی S است . چنانچه جابجایی گسل صرفا افقی باشد، امواج برشی ایجاد شده ازنوع امواج برشی افقی می باشند و چنانچه جابجایی گسل صرفا قائم

باشد، امواج برشی ایجاد شده از نوع موج برشی قائم می باشد. از آنجایی که جابجایی گسل ترکیبی از جابجایی افقی و قائم است . لذا امواج برشی افقی و عمودی همواره وجود دارند. تحقیقات نشان داده که غالب ارتعاش قائم زمین متعلق به امواج P است، مگر آنکه ایستگاه لرزه نگاری، بسیار نزدیک به گسل باشد و گسل نیز از نوع نرمال و یا معکوس باشد، در این صورت غالب ارتعاش قائم متعلق به موج برشی قائم است. این مولفه با دور شدن از منبع زلزله با سرعت بیشتری نسبت به مولفه افقی زلزله کاهش می یابد[۱۹]. بر مبنای تحلیلهای انجام گرفته بر روی ارتعاش قائم ۵ زلزله در کالیفرنیا ، مشخص شد که در محدوده دوره های تناوب کمتر از 0.1s امواج حجمی یا امواج P ، و در محدوده پریود بزرگتر از 0.1s امواج برشی یا موج S بر مولفه قائم زلزله موثر است، (برسنو[1] و همکاران ۲۰۰۲). مولفه قائم بر سطح زمین دارای محتوای فرکانسی در فرکانسهای بالا می باشد[۶]. 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[2] (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[۶،۹].

۱-۳-مولفه موثر بر پاسخ سازه در محدوده نزدیک گسل

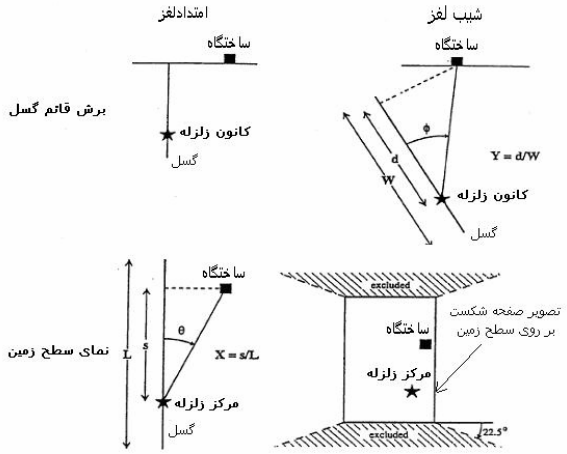
مطالعات پاسخ سازه در زلزله های نزدیک گسل بر روی اثرات بزرگتر مؤلفه افقی عمود بر گسل متمرکز گردیده است (علوی و کراوینکلر ۲۰۰۰). هر چند مواردی است که در آنها مؤلفه حرکت موازی گسل نیز مهم است. برای مثال نرم شدن سختی خاک در پاسخ به مؤلفه حرکت بزرگ عمود بر گسل باعث کرنش بیشتری در جهت موازی گسل می شود در این حالت خاک در مقابل مؤلفه حرکتی موازی گسل از خود پاسخ نشان می دهد. آنالیزهای غیر خطی پاسخ خاک در دو جهت نشان دادند که شرایط محلی خاک در میزان حداکثر اوج پالس سرعت و زمان آن در هر دو جهت موثرند. همچنین اگر برای کارایی سازه مهم باشد، ارتعاش قائم به سطح زمین در نواحی نزدیک گسل نیز ممکن است لازم باشد. در این حالت مولفه قائم به سطح زمین نیز بایستی تخمین زده شود[۴]. باتوجه به مطالب فوق می توان گفت در زلزله های نزدیک گسل پاسخهای دینامیکی تحت پالسهای بزرگ سرعت با پریود بلند تحت یک مولفه افقی عمود بر امتداد لغزش گسل رخ می دهد[۳]. این مولفه در

[1] Beresnev
[2] Collier and Elnashai (2001)

گسلهای امتداد لغز می باشد اما در گسلهای شیب لغز هم می تواند دیده شود[۲].در واقع اثر مولفه افقی عمود برگسل در حالت Forward directivity تعیین کننده می باشد[۴].

۱-٤-پارامترهای موثر در زلزله های نزدیک گسل

تغییرات Directivity وابسته به دو پارامتر است(سامرویل و همکاران ۱۹۹۷). اولین پارامتر زاویه بین جهت شکست و جهت حرکت امواج زلزله از گسل به ساختگاه است (θ برای گسلهای امتداد لغز و $\emptyset$ برای گسلهای شیب لغز)؛ و دومین پارامتر بخشی از سطح شکست گسل که بین کانون زلزله وساختگاه قرار دارد، می باشد؛(X برای گسلهای امتداد لغز و Y برای گسلهای شیب لغز).شکل(۴). در این مطالعه مشخص شد عمده ترین اثر Forward directivity در زوایای کوچکتر بین گسل و ساختگاه و سطح شکست بزرگتر بین کانون زلزله و ساختگاه ایجاد می شود. در واقع با کوچکتر شدن زاویه بین گسل و ساختگاه و بزرگتر شدن سطح شکست بین ساختگاه و گسل اثر Forward directivity بزرگتر می شود. همچنین ملاحظه شد حتی اگر شرایط زمین شناسی برای Forward directivity ارضا شود ممکن است ، اثر Forward directivity رخ ندهد . این حالت زمانی ممکن است که فاصله محل شروع شکست تا ایستگاه بسیار کم باشد[۴].شکل(۴).

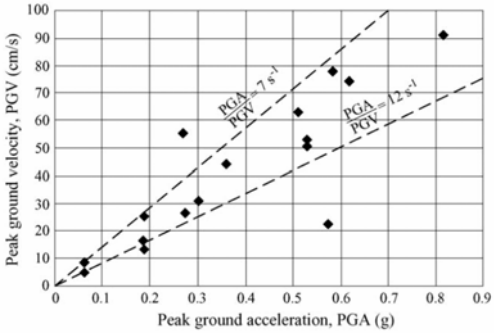


شکل ٤-پارامترهای موثر بر اثرات Rupture directivity[٤].

۲-معیار انتخاب نگاشتهای نزدیک گسل

در سال ۲۰۰۴ کیتادا و همکاران ،از ۶۲ نگاشت مورد بررسی فقط ۱۶ نگاشت برای تحلیل سازه های تاسیسات اتمی مورد استفاده قرار دادند. نگاشتهای منتخب دارای خصوصیات ویژه ای شامل مدت زمان کوتاه، دارا بودن اثرات شدید directivity ، دارا بودن ارتعاشات ضربه ای با فرکانس کم در

نگاشت سرعت بودند وبیشترین نگاشت های مورد استفاده در تحلیل بین دو کران $\frac{1}{12} < \frac{PGA}{PGV} < \frac{1}{7}$ انتخاب شده بودند.شکل (۵)[1]. در مطالعات دیگری که توسط گالال و قوبارا[2] (۲۰۰۵) صورت گرفت. خصوصیات نگاشتها شامل ثبت شدن در محدوده ۲۰ کیلومتری از گسل، در نظر گرفتن مولفه افقی عمود بر گسل در بیشتر حالات، قرار داشتن نگاشتها در محدوده اثر Forward directivity و اتخاب نگاشتها از زلزله های بزرگ بوده است[۳].



شکل ۵- وابستگی PGA به PGV برای زلزله های نزدیک گسل بر روی خاکهای سفت(کیتادا و همکاران ۲۰۰٤) [۳].

۳-اثر زلزله های نزدیک گسل بر روی سازه ها

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. آیین نامه UBC97 اثرات نزدیک گسل را برای ساختگاه های با فاصله کمتر از 15 km ، به صورت نیروی برشی اضافی در نظر گرفته است. دراین آیین نامه اثر نزدیک گسل با تاثیر متوسط دو مولفه افقی سازگاری دارد،بطوریکه بطور مستقیم اثر مولفه افقی عمود برلغزش را در زلزله های بزرگ در پیش بینی نکرده است[۶](سامرویل ۱۹۹۸). IBC2000[3] نیز صریحا فاکتورهای نزدیک گسل را ارائه نکرده است. این آیین نامه خصیصه های نزدیک گسل را از روشهای مصنوعی بدست نیاورده است و برای تعیین اثرات نزدیک به گسل بطور مستقیم مقادیر طیف طرح مولفه افقی عمود برگسل را توسط قضاوت قابل قبولی از زلزله های بزرگ بدست آورده است. البته مبنای

---

[1] در شکل (۵) اثرات بزرگی و فاصله کانونی زلزله در نظر گرفته نشده است.

[2] Galal , Ghobarah (2005)

[3] International Building Code 2000

مقررات لرزه ای IBC2000 ، نقشه های USGS2000[1] می باشد. بطوریکه این نقشه ها به وضوح حاوی اثرات directivity نیستند. این اثرات ، تنها بصورت یک متوسط از مقادیر زلزله های نزدیک گسل به علاوه یک انحراف استاندارد ارائه شده است[۶].

پالسهایی که در نزدیک گسل ایجاد می شود می تواند نیازهای تغییر مکان غیر ارتجاعی بزرگی را در سازه ایجاد کنند[۶]. وجود یک مولفه غالب در زلزله های نزدیک گسل جهت گیری سازه هایی که در محدوده نزدیک به گسل واقع شده اند ، نیز مهم است. علوی و کراوینکلر با بررسی اثرات هر یک از مولفه ها و برآیند آنها در زاویه ۴۵ درجه دریافتند که در اغلب حالات اثر یکی از مولفه ها (مولفه افقی عمود برامتدادگسل) حاکم است . همچنین گاهی اوقات اثر مولفه برایند حاکم می شود[۷]. بر اساس مشاهدات صورت گرفته در زلزله بم (۲۰۰۳) قابهای خمشی در جهت عمود بر گسل (همچون خیابان صدوقی) دچار تغییر شکل جانبی شدید در طبقه همکف شده بودند، در صورتیکه قابهای موازی با راستای گسل (همچون خیابان امام خمینی) تحت بارهای زیادی قرار نگرفته بودند بطوریکه در بعضی از ساختمانها حتی شیشه های مغازه ها هم شکسته نشده بود[۱۰].

برترو و مهین (۱۹۷۶) دریافتند که پالسهای پریود بلند حرکت زمین، عامل اصلی خرابی های گسترده در زلزله های نزدیک گسل می باشد و این پالسها می توانند پاسخ های بزرگ و شکل پذیری زیادی را به سازه اعمال کنند. در حقیقت خسارات وارده به سازه در نزدیک گسل در اثر اعمال چند جابجایی بزرگ ضربه ای است. در حالی که در زلزله های دور از گسل نوسانات رفت و برگشتی زیاد باعث تخریب سازه می شود.همچنین آنها دریافتند که تعیین حداکثر پاسخ غیر ارتجاعی سازه از روی پاسخ ارتجائی آن برای زلزله های نزدیک گسل قابل اعتماد نمی باشد. اندرسون و برترو (۱۹۸۷) رفتار سازه ها 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[2] (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 می شود. براساس مطالعات آنها تمرکز تغییر شکلها در طبقات پایین ساختمان، که ستونهای آن بار محوری زیادی را تحمل می کنند موجب اعمال اثر P-Δ در طبقات پایین می شود. بنابراین خسارات ناشی از حرکت های ضربه ای زمین در طبقات پایین ساختمان متمرکز می شود. همچنین زلزله های نزدیک گسل باعث افزایش نیاز شکل پذیری برای سازه های صلب می گردد. هال (۱۹۹۵) با طراحی سازه هایی بر اساس آیین نامه

[1] U.S. Geological survey

[2] Imperial Valley 1979

های رایج و بررسی رفتار آنها در زلزله های حوزه نزدیک ملاحظه کرد که نیاز تحمیل شده به سازه های با پریود بلند و انعطاف پذیر و یا سازه های ایزوله شده ، بطور قابل ملاحظه ای از ظرفیت آنها تجاوز می کند[۹].

جان اف هال[1] (۱۹۹۷) به بررسی دو ساختمان ۶ و ۲۰ طبقه که بر اساس آیین نامه UBC94[2] و مقررات رایج ژاپن طرح شده بودند ، پرداخت. در این گزارش رفتار غیر خطی سازه همراه با رفتار انوع اتصالات در زلزله های نزدیک منبع و در موقعیتهای مختلف نسبت به گسل مورد بررسی قرار گرفت. وی برای بررسی محدوده نزدیک گسل در مناطق زلزله خیز، حوزه لرزه خیز را به صورت شبکه هایی تقسیم کرد و در هر گره اثر نگاشتهای نزدیک منبع را بر روی رفتار سازه ها مورد بررسی قرار داد. در این مطالعه با مقایسه حداکثر پارامتر های زلزله (حداکثر شتاب، سرعت و تغییرمکان 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 نبایستی رد کرد. ملاحضه 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 پایدارای ساختمانها ناشی از ،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 بوده است. همچنین مقاومت ساختمانها بطور چشمگیری بیشتر از سطح طرح شده بر اساس آیین نامه می باشند، این مسئله به دلیل محدود کردن تغییرمکانهای 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 ساختمانهای۶ طبقه نسبت به وزن، از ساختمانهای ۲۰ طبقه بزرگتر است. با مقایسه دو ساختمان ۶ طبقه که براساس آیین نامه ژاپن و UBC94 طرح شده بوند، مشخص شد، ساختمانی که بر اساس آیین نامه ژاپن طرح شده است، دارای مقاومت جانبی بیشتری است. همچنین مشاهد شد، افزایش مقاومت جانبی، تاثیر کمی در افزایش مقاومت ساختمان در برابر زلزله دارد، بطوریکه احتمالا با افزایش سختی ، سازه بار جانبی بیشتری جذب می کند. بررسی اتصالات دو پارامتر مهم را نشان داد، بطوریکه کرنش بالای

---

[1] John F. Hall
[2] 1994 Uniform Building Code

شکستگی اتصالات و مقاومت باقیمانده بعد از شکست در اتصالات، تاثیر مفیدی در مقاومت سازه دارد. در این تحقیق مشاهده شد، ساختمانهایی که دارای اتصالات نیمه شکل پذیر بودند، آسیب دیدند ولی دچار خسارات عمده ای نشدند، اما بعضی از ساختمانهایی که دارای اتصالات ترد بودند دچار آسیب های چشمگیری شدند. 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[۸].

مطالعات فوق نشان دهنده اثرات مخرب مولفه افقی عمود بر گسل در زلزله های نزدیک گسل بر سازه های ساختمانی است که می تواند خسارات جبران ناپذیری را به بار آورد. لذا با توجه به اینکه آیین نامه های معتبری همچون UBC97 و IBC2000 ضوابطی را بطور مستقیم و غیر مستقیم برای حوزه نزدیک در نظر گرفته اند، با این وجود آیین نامه ۲۸۰۰ ویرایش دوم و سوم ضوابطی را برای طرح سازه ها در نزدیک گسل ارائه نکرده است درحالیکه در سالهای اخیر سازه های بیشماری براساس آیین نامه ۲۸۰۰ در مناطق زلزله خیز و نزدیک گسل طرح شده است. لذا، لزوم ارزیابی لرزه ای ساختمانهایی که در حوزه نزدیک قرار دارند براساس معیارهای نگاشتهای نزدیک گسل امری مهم می باشد و بازنگری در مقاومت ساختمانهای طرح شده براساس استاندارد ۲۸۰۰ می تواند در شناخت بیشتر نقاط قوت و ضعف ضوابط استاندارد ۲۸۰۰ کمک بسزایی کند.

٤-نتایج

مطالعه زلزله های حوزه نزدیک نشان می دهد نزدیک گسل معمولا محدوده ای بین ۱۵ تا ۶۰ کیلومتری از گسل فعال فرض می شود. این ناحیه شدیدا تحت اثرات Directivity می باشد بطوریکه با کوچکتر شدن زاویه بین گسل و ساختگاه و بزرگتر شدن سطح شکست بین ساختگاه و گسل اثر Forward directivity بزرگتر می شود و ارتعاش غالب زمین به دلیل Forward directivity باعث ایجاد ارتعاشات افقی زمین در جهت عمود بر امتداد گسل بصورت ضربه افقی بزرگی است که بصورت قابل ملاحظه ای بزرگتر ازمولفه افقی موازی با گسل است. لذا جهت گیری سازه هایی که در محدوده نزدیک به گسل واقع شده اند، نیز مهم است. پالسهای نزدیک گسل باعث افزایش نیازهای تغییر مکان غیر ارتجاعی (نیازهای شکل پذیری) در سازه می شود بطوریکه در نزدیک گسل می توانند پاسخ های بزرگ و شکل پذیری زیادی را به سازه اعمال کنند در واقع خسارات وارده به سازه در نزدیک گسل در اثر اعمال چند جابجایی بزرگ ضربه ای است. اهمیت زلزله های نزدیک گسل باعث شده تا آیین نامه های معتبری مانند UBC97 و IBC2000 ضوابط

ویژه ای را برای حوزه نزدیک ارائه کنند، در حالیکه آیین نامه ۲۸۰۰ ضوابط خاصی برای طرح سازه ها در این محدوده ارائه نکرده است. در سالهای اخیر سازه های بیشماری در محدوده نزدیک به گسل براساس استاندارد ۲۸۰۰ ساخته شده اند که اثرات حوزه نزدیک در طراحی آنها دیده نشده است لذا با توجه به لرزه خیزی کشور ایران و قرار گرفتن تعدادی از شهر های ایران در نزدیک گسل لزوم ارزیابی لرزه ای سازه های موجود در حوزه نزدیک امری اجتناب ناپذیر است.

۵-فهرست 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.Ghobarah,"Effect of near-fault earthquakes on North American nuclear design spectra", *Nuclear Engineering and Design, Elsevier, Feb 2006.*

[4]. Jonathan P. Stewart, Shyh-Jeng Chiou, Jonathan D. Bray, Robert W. Graves, Paul G. Somerville, and Norman A. Abrahamson, "Ground Motion Evaluation Procedures for Performance-Based Design", *A report on research conducted under grant no. EEC-9701568 from the National Science Foundation, PEER, September 2001.*

[5]. Farzad Naeim, "THE SEISMIC DESIGN HANDBOOK, 2nd Edition", *Published by Kluwer Academic Publishers, 2001*.

[6]. Bozorgnia, Yousef. "Earthquake Engineering: From Engineering Seismology to Performance-Based Engineering", *Published by CRC Press LLC, 2004*.

[7]. 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.*

[8]. 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*.

[۹]. داود عبدالله زاده، **"بررسی اثر زلزله های نزدیک گسل بر روی سازه ها"**، *سمینار کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش زلزله، کتابخانه پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، سال ۱۳۸۵.*

[۱۰]. حمید رضا سلطان زاده، مرادعلی واهبی، حبیب الله زربخش، **"مکانیسم خرابی ساختمانهای شهر بم و روشهای کسب آمادگی در مقابل زلزله"**، *سازمان نظام مهندسی ساختمان استان خوزستان، ۱۳۸۳.*