

بررسی روش‌های در نظرگیری زلزله‌های نزدیک گسل در طیف پاسخ سازه‌ها

نکیسا آذری^۱، سید محمد متولی امامی^{۲*}، محمدرضا سقراط^۳

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران، Nakisa.azari7@gmail.com
۲- استادیار مهندسی زلزله، دانشکده مهندسی عمران، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف‌آباد، ایران، sm.emami@pci.iaun.ac.ir
۳- استادیار مهندسی زلزله، گروه مقاوم‌سازی و بازسازی سازه‌ها، پژوهشکده سوانح طبیعی، تهران، ایران، mr.soghrat@gmail.com

چکیده

تحقیقات انجام شده بر روی شتابنگاشت‌های حوزه دور از گسل و حوزه نزدیک به گسل نشان می‌دهد که خصوصیات شتابنگاشت‌ها در این دو حوزه با هم تفاوت بسیاری دارد. طیف پاسخ سازه‌ها در این دو حوزه نیز بسیار متفاوت می‌باشد، متمایز بودن رفتار سازه‌ها در زلزله‌های نزدیک گسل و خسارات فراوانی که این زلزله‌ها به وجود آورده‌اند، باعث شده که زلزله‌های حوزه نزدیک به گسل از دیدگاه مهندسی زلزله و زلزله‌شناسی اهمیت بسیاری داشته باشد، به این دلیل کشورهای لرزه‌خیز دنیا در صدد اعمال اثرات نزدیکی گسل در آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای خود هستند. این مقاله به بررسی برخی از روش‌های متعدد به‌منظور در نظرگیری زلزله‌های نزدیک گسل در طیف آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای مختلف در جهان می‌پردازد. از بررسی و مقایسه این آیین‌نامه‌ها با یکدیگر مشخص گردید که آیین‌نامه‌های مختلف مقادیر اثرات نزدیک به گسل را به‌طور متفاوتی در طیف‌های طراحی خود جای می‌دهند.

واژگان کلیدی: حوزه نزدیک به گسل، روابط کاهندگی، طیف پاسخ، ضریب اصلاح حوزه نزدیک گسل

۱- مقدمه

ارتعاشات زمین در حوزه نزدیک به گسل که دربرگیرنده تغییر مکان‌ها و سرعت‌های بزرگ می‌باشد به شدت باعث آسیب رساندن و اعمال مقدار زیادی انرژی ورودی در ابتدای حرکت به سازه‌ها می‌شوند. رکوردهای ثبت شده از ارتعاشات حوزه نزدیک به گسل نشان می‌دهد که زلزله‌های حوزه نزدیک دارای ویژگی‌های متفاوتی نسبت به ارتعاشات حوزه دور از گسل می‌باشند. انتشار گسلش به سمت ساختگاه با سرعتی نزدیک به سرعت موج برشی باعث می‌شود که اکثر انرژی حاصل از گسلش در یک ضربه بزرگ به ساختگاه برسد که این ضربه در ابتدای تاریخچه زمانی زلزله به‌صورت یک پالس نمایان می‌شود. به عبارتی اگر تصور کنیم که هر قسمت از طول گسل در یک بازه زمانی مشخص گسیخته شود، از گسلش هر جزء گسل، امواجی به سمت ساختگاه ارسال می‌شود و اگر ساختگاه در جهتی باشد که گسلش به سمت آن حرکت

کند، این امواج در محل ساختگاه به هم رسیده و منجر به ایجاد ضربه‌ای بزرگ می‌گردند. زمانی که یک گسل شروع به گسیختگی می‌کند، شکست از نقطه‌ای بر روی امتداد گسل ایجاد شده و بسته به محل آغاز گسیختگی به ابتدا، انتها و یا هر دو جهت گسترش می‌یابد. یک سایت می‌تواند در وقوع زمین‌لرزه به سه راستای پیش‌رونده، پس‌رونده و خنثی، طبقه‌بندی گردد (تهرانی زاده، ۱۳۹۴). اگر انتشار شکست گسل به سمت ساختگاه باشد و جهت لغزش گسل نیز در جهت ساختگاه باشد آنگاه جهت‌پذیری پیش‌رونده رخ می‌دهد و برعکس این پدیده، جهت‌پذیری پس‌رونده می‌باشد در این حالت ساختگاه در یک انتهای گسل قرار دارد و شکست به دور از ساختگاه انتشار می‌یابد و زمانی که شکست نه به سمت ساختگاه باشد و نه دور از ساختگاه، جهت‌پذیری خنثی رخ می‌دهد. به عبارت دیگر، جهت‌پذیری خنثی زمانی رخ می‌دهد که ساختگاه عمود بر گسل باشد. تغییر مکان‌های ماندگار زمین در جهت لغزش گسل (عمود بر جهت‌پذیری گسل) و محتوی فرکانسی بالا از دیگر مشخصات رکوردهای حوزه نزدیک می‌باشد.

اثر مؤلفه‌ی قائم از دیگر مشخصات رکوردهای حوزه نزدیک می‌باشد، طبق پژوهش‌های انجام شده در بسیاری از زلزله‌های متوسط تا قوی مقدار نسبت PGA_v/PGA_h عددی نزدیک به ۱ می‌باشد (Pierre Legar et al., 2000). از بررسی رکوردهای حوزه نزدیک ملاحظه شده است که نسبت PGA_v/PGA_h در برخی از این رکوردها عددی بزرگتر از ۱ می‌باشد (تهرانی زاده، ۱۳۹۴). با توجه به تحقیقات انجام گرفته بر روی رکوردهای ثبت شده در حوزه نزدیک گسل و تأثیر این نوع رکوردها بر روی سازه‌های مختلف مشخص گردید که این نوع رکوردها نیازهای طراحی و تغییر مکان‌های بزرگ‌تری را نسبت به حوزه دور به سازه تحمیل می‌نمایند، لذا توجه به این رکوردها و آثار آن بر روی سازه‌ها، در دو دهه اخیر اهمیت تحقیق بیشتری را به خود جلب نموده است.

۲- بررسی روش‌های تحقیقاتی برای اعمال اثرات حوزه نزدیک بر طیف پاسخ

به‌منظور اعمال اثرات حوزه نزدیک در طیف پاسخ سازه‌ها روش‌های مختلفی در طی سال‌های گذشته ارائه گردیده است. از مهم‌ترین روش‌ها می‌توان به روش تعیین پالس به روش تبدیل موجک (Jack W. Baker, 2007). روش اصلاح روابط کاهندگی با در نظر گرفتن اثرات جهت‌پذیری (Somerville P.G, 1997) و روش اعمال ضرایب اصلاحی به‌منظور اعمال اثرات حوزه نزدیک (روش آیین‌نامه‌هایی همچون UBC1997) اشاره نمود که در ادامه به‌طور مفصل شرح داده خواهند شد.

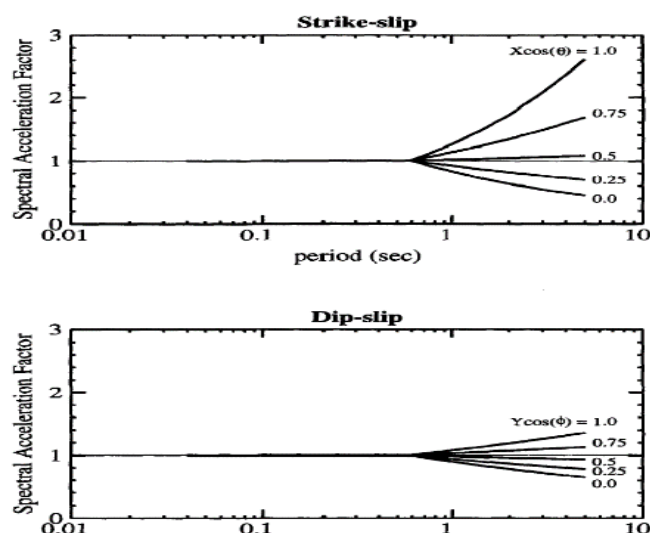
۲-۱- تعیین پالس‌های سرعت حوزه نزدیک و روش تبدیل موجک به‌منظور پیش‌بینی طیف پاسخ (روش بیکر)

در سال ۲۰۰۷ بیکر یک روش کمی برای شناسایی حرکات پالس‌دار زمین در حوزه نزدیک که بر اثر جهت‌پذیری پیش‌رونده تولید شده‌اند ارائه کرد (Jack w. Baker, 2007). در این روش از تحلیل موجک برای استخراج بزرگ‌ترین پالس سرعت از رکورد مورد نظر استفاده می‌کند، از اندازه‌ی پالس استخراج شده مربوط به حرکت اصلی زمین جهت ایجاد یک معیار کمی برای طبقه‌بندی حرکت زمین به عنوان پالس‌دار استفاده می‌شود، در این روش پریود پالس سرعت با استفاده از شبه پریودهای موجک مادر تعیین می‌گردد. بیکر برای تشخیص پالس‌دار بودن حرکات زمین از روش پردازش سیگنال مبتنی بر موجک برای شناسایی و استخراج بزرگ‌ترین پالس سرعت از یک رکورد معین استفاده می‌کند. اگر پالس استخراج شده نسبت به ویژگی‌های باقیمانده رکورد بزرگ باشد حرکت زمین به عنوان پالس‌دار طبقه‌بندی می‌شود و پریود پالس سرعت شناسایی شده نیز به راحتی تعیین می‌شود. روش تحلیل موجک برای طبقه‌بندی رکوردهای پالس‌دار و بدون پالس مناسب است زیرا از نظر محاسباتی نسبتاً آسان است و نتایج کمی و قابل تکرار را به دست می‌دهد. بیکر با یک دسته‌بندی منطقی از تاریخچه زمانی‌های پالس‌دار و بدون پالس و رگرسیون‌های انجام شده به شاخصی به نام "شاخص پالس" دست یافت که این شاخص نشانگر احتمال پالس‌دار بودن تاریخچه زمانی است که مقادیر آن بین صفر تا یک متغیر است. در نهایت بیکر در صورت وجود سه شرط زیر یک تاریخچه زمانی را پالس‌دار تلقی می‌کند:

- ۱- دامنه‌ی سرعت حداکثر (دامنه پالس) < 30 سانتیمتر بر ثانیه باشد.
- ۲- وجود پالس از لحاظ دید بصری و قضاوت مهندسی در ابتدای تاریخچه زمانی سرعت
- ۳- مقدار شاخص پالس بزرگتر از $0/85$ باشد.

۲-۲- اصلاح روابط کاهندگی برای در نظر گرفتن اثرات جهت‌پذیری بر دامنه و مدت دوام (روش سامرویل)

اثرات جهت‌پذیری در نواحی نزدیک به گسل باعث تغییراتی بر روی دامنه و مدت دوام تاریخچه زمانی‌ها و تفاوت‌هایی بین دامنه مؤلفه‌ی افقی موازی و مؤلفه‌ی عمود بر گسل می‌شوند که این تغییرات تابع فاصله از گسل هستند. این تغییرات معمولاً از پریود $0/6$ ثانیه شروع و با زیاد شدن پریود، افزایش می‌یابند (Somerville P.G, 1997). از آنجایی که برای تخمین پارامترهای زمین از رابطه کاهندگی استفاده می‌شود می‌بایست این روابط برای حوزه نزدیک به گسل به گونه‌ای اصلاح شود که اثرات جهت‌پذیری بر روی دامنه و مدت دوام تاریخچه زمانی‌های حوزه نزدیک در رابطه کاهندگی اعمال گردد. برای اولین بار اصلاح روابط کاهندگی با در نظر گرفتن اثرات جهت‌پذیری بر دامنه و مدت دوام زلزله برای رابطه کاهندگی آبراهامسون و سیلوا (Norman A. Abrahamson, 1997). توسط سامرویل و همکاران در سال ۱۹۹۷ انجام شد (Somerville P.G, 1997). پارامترهای حرکت زمین که در این روش اصلاح می‌شوند عبارتند از: ۱- متوسط مؤلفه‌های افقی شتاب طیفی پاسخ ۲- مدت دوام تاریخچه زمانی شتاب ۳- نسبت شتاب طیفی مؤلفه عمود بر گسل به موازی گسل. در پژوهش سامرویل، پارامترهای اصلاح کننده دامنه و مدت دوام متوسط مؤلفه‌های افقی وابسته به کسری از گسل که بین طول شکستگی مرکز زلزله و سایت واقع شده و زاویه بین صفحه گسل و امتداد مرکز زلزله تا سایت می‌باشد. سامرویل مقادیر طیفی محاسبه شده توسط رابطه کاهندگی آبراهامسون و سیلوا ۱۹۹۷ را به صورت تابعی از اثرات جهت‌پذیری و مقادیر طیفی متوسط مؤلفه‌های افقی تاریخچه زمانی‌های ثبت شده را محاسبه نمود و نسبت مقادیر طیفی متوسط مؤلفه‌های افقی تاریخچه زمانی‌های ثبت شده به مقادیر محاسبه شده توسط رابطه کاهندگی آبراهامسون سیلوا ۱۹۹۷ در هر پریود را به دست آورد. سپس با انجام تحلیل رگرسیون ضریب شتاب طیفی در پریودهای مختلف را به صورت نمودارهای زیر به دست آورد. وابستگی ضریب تقویت طیف برای گسل امتداد لغز و گسل شیب‌لغز در شکل زیر نشان داده شده است:



شکل (۱): مدل تجربی نسبت دامنه شتاب طیف پاسخ، وابستگی تابع جهت‌پذیری به پریود نشان داده شده است (Somerville P.G, 1997).

همان طور که مشاهده می‌شود دامنه این تغییرات برای گسل شیب‌لغز بسیار کمتر است و از $1/4$ فراتر نرفته است. این اثرات از پریود $0/6$

ثانیه شروع می‌شوند و با زیاد شدن پریود افزایش می‌یابد.

۲-۳- اصلاح طیف پاسخ طراحی آیین‌نامه تایوان برای مکان‌های نزدیک گسل چلونگ‌پو-چی چی

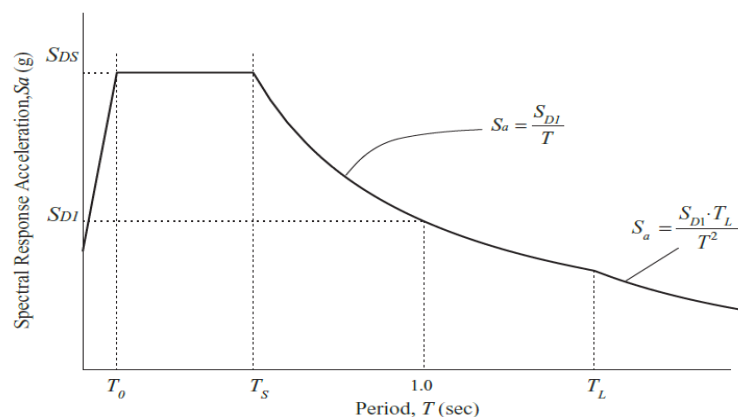
چای و همکارانش در سال ۲۰۰۰ اثرات زلزله‌های حوزه نزدیک به گسل را در کد طراحی لرزه‌ای تایوان برای مکان‌های نزدیک به گسل چلونگ‌پو (گسلی که باعث زلزله چی-چی تایوان ۱۹۹۹ شد) گنجانده (Chai et al., 2000). اصلاح طیف پاسخ طراحی در آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای فعلی تایوان برای سایت‌های حوزه نزدیک به گسل چلونگ‌پو با تعریف ضرایب حوزه نزدیک برای افزایش ظرفیت لرزه‌ای ساختمان‌ها پیشنهاد شده است. در این پژوهش روابط کاهندگی از رکوردهای نزدیک به گسل چلونگ‌پو در طول زلزله چی-چی (تایوان) در ۲۱ سپتامبر ۱۹۹۹ تعیین می‌شوند. چای و همکارانش بر اساس دو ضریب نزدیک به گسل N_a و N_v در آیین‌نامه UBC1997 طیف پاسخ طراحی آیین‌نامه تایوان (Taiwan, 2005) را اصلاح کردند. بزرگای گشتاوری گسل چلونگ‌پو را $7/3$ و شتاب اوج زمین را $0/33$ در نظر گرفتند. برای تعیین ضرایب نزدیک به گسل از رکوردهای قوی ثبت‌شده در ایستگاه‌های نزدیک به گسل چلونگ‌پو (با فاصله کمتر از ۱۵ کیلومتر از گسل) در طول زمین‌لرزه چی-چی اتخاذ شده است. نمای کلی طیف طراحی اصلاح شده، و ضرایب اثرات نزدیک به گسل برای پریودهای مختلف برای کد طراحی تایوان در مقاله ایشان ارائه گردیده است.

۳- بررسی مطالعات انجام شده بر روی شتابنگاشت‌های حوزه نزدیک در آیین‌نامه‌ها

۳-۱- اعمال اثرات حوزه نزدیک در آیین‌نامه ASCE7-22

در آیین‌نامه آمریکا (ASCE7-22) ساختگاه‌هایی که یکی از شرایط زیر را برآورده می‌کنند به عنوان سایت حوزه نزدیک در نظر گرفته می‌شوند:

- ۱- ساختگاهی با فاصله ۱۵ کیلومتر یا کمتر از گسل فعالی که قادر به تولید زلزله‌هایی با بزرگای ۷ و یا بیشتر باشند.
 - ۲- ساختگاهی با فاصله ۱۰ کیلومتر یا کمتر از گسل فعالی که قادر به تولید زلزله‌هایی با بزرگای برابر یا بزرگتر از ۶ و کمتر از ۷ باشند.
- اثرات جهت‌پذیری حوزه نزدیک در تحلیل خطر احتمالاتی و تعیین حداکثر زلزله قابل انتظار برای ریسک هدف لحاظ می‌گردد. در فصل ۲۰ این آیین‌نامه ساختگاه‌ها به ۸ بخش طبقه‌بندی شده‌اند و پارامترهای شتاب طیفی هر سایت از سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) به دست می‌آید. پارامترهای شتاب طیفی زلزله در پریودهای کوتاه S_{DS} و در پریود ۱ ثانیه S_{D1} می‌باشند. طیف پاسخ این آیین‌نامه در شکل ۲ آورده شده است.



شکل (۲): طیف پاسخ آیین‌نامه ASCE7-22.

۳-۲- اعمال اثرات حوزه نزدیک در آیین نامه نیوزیلند

اثر حوزه نزدیک در آیین نامه نیوزیلند (NZS 1170.5, 2004) به صورت ضربی در محاسبه طیف های الاستیک سایت در نظر گرفته شده است. در این آیین نامه طیف خطر الاستیک ساختگاه توسط $C(T)$ نشان داده شده است که به صورت رابطه ۱ محاسبه می شود:

$$C(T) = C_h(T) \cdot Z \cdot R \cdot N(T, D) \quad (1)$$

$C_h(T)$ ضریب شکل طیف است که از طیف مربوط به آیین نامه و با توجه به کلاس خاک ساختگاه از جدول یا نمودار مربوطه به دست می آید. Z ضریب خطر است که از جدول های ارائه شده در آیین نامه نیوزیلند به دست می آید. R ضریب دوره بازگشت سالانه برای دو حالت حدی نهایی با R_u و حالت بهره برداری R_s از آیین نامه به دست می آید. $N_{max}(T, D)$ ضریب حوزه نزدیک به گسل تعیین شده از بند ۳-۶-۱ آیین نامه نیوزیلند می باشد. D کوتاهترین فاصله (بر حسب کیلومتر) از محل تا نزدیکترین گسل اصلی فهرست شده در جدول ۳-۶-۱ آیین نامه نیوزیلند است. ضریب $N(T, D)$ از طریق روابط زیر تعیین می گردد:

$$1/250 < \text{Annual probability of exceedance}$$

$$N(T, D) = 1 \quad (2)$$

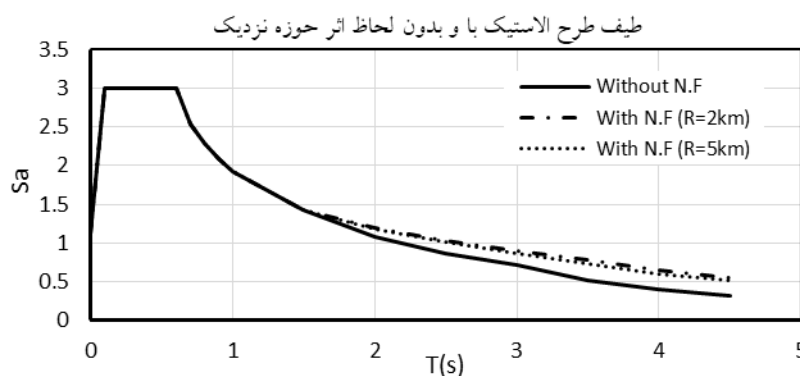
$$1/250 > \text{Annual probability of exceedance}$$

$$N(T, D) = N_{max}(T) \quad D \leq 2km$$

$$1 + (N_{max}(T) - 1) \frac{20 - D}{18} \quad 2 \leq D \leq 20km \quad (4)$$

$$1 \quad D > 20km$$

منحنی پاسخ طیفی شتاب آیین نامه نیوزیلند با (with N.F) و بدون در نظر گرفتن (without N.F) اثرات حوزه نزدیک در فاصله ۵ و ۲ کیلومتری از گسل در شکل زیر آورده شده است.



شکل (۳): طیف طرح الاستیک با و بدون اثر حوزه نزدیک بر اساس مفاهیم آیین نامه نیوزیلند (NZS, 1170.5, 2004).

۳-۳- اعمال اثرات حوزه نزدیک در آیین نامه طراحی لرزه ای تاسیسات و سازه های صنعت نفت (ویرایش ۴)

در ویرایش چهارم آیین نامه طراحی لرزه ای تاسیسات و سازه های صنعت نفت (نشریه ۰۳۸) ساختگاه هایی که شرایط زیر را دارند، به عنوان ساختگاه حوزه نزدیک تلقی می شود:

الف) ساختگاهی با فاصله کمتر از ۱۵ کیلومتر از تصویر افقی گسل‌های فعال شناخته شده با توانایی ایجاد زلزله با بزرگای برابر یا بزرگتر از ۷.۰ ب) ساختگاهی با فاصله کمتر از ۱۰ کیلومتر از تصویر افقی گسل‌های فعال شناخته شده با توانایی ایجاد زلزله با بزرگای برابر یا بزرگتر از ۶.۰ در این ساختگاه‌ها، در نظر گرفتن اثرات پالس با زمان تناوب (پریود) بلند در فرآیند تحلیل خطر، الزامی است. در این ساختگاه‌ها، در صورت لزوم جابجایی ماندگار حاصل از گسلش در شتابنگاشت‌های انتخابی نیز مدنظر قرار گیرد. در صورت وجود گسل در نزدیک ساختگاه، این چشمه لرزه‌زا باید به صورت چشمه با هندسه سه بعدی (طول، عرض و شیب گسل) در عمق مناسب مدل شود و نرخ لغزش آن در محاسبات دوره بازگشت زمین‌لرزه (برآورد چگالی احتمال بزرگای زمین‌لرزه) منظور شود. پارامترهای شتاب طیفی و طیف پاسخ این آیین‌نامه با اقتباس از آیین‌نامه ASCE7-22 ارائه گردیده است.

۳-۴- اعمال اثرات حوزه نزدیک در آیین‌نامه چین

در نسخه ۲۰۱۰ آیین‌نامه چین (GB50011, 2010) طراحی سازه‌ها بر اساس عملکرد می‌باشد و اثرات نزدیک به گسل نیز در نظر گرفته می‌شود. معیار نزدیکی به گسل در این آیین‌نامه فاصله ۱۰ کیلومتری از گسل لرزه‌زا می‌باشد. اگر ساختمان در فاصله ۵ کیلومتری از گسل باشد پارامترهای حرکت زمین باید در ضریب افزایشی ۱/۵ ضرب گردند و اگر سایت در فاصله ۵ الی ۱۰ کیلومتری از گسل واقع شده باشد پارامترهای حرکت زمین باید در ضریب افزایشی ۱/۲۵ ضرب گردند.

۳-۵- اعمال اثرات حوزه نزدیک در استاندارد اروپا

استاندارد اروپا (EC8, 2004) فقط برخی از شرایط اثر حوزه نزدیک را در اقدامات لرزه‌ای برای ساختمان‌های مجهز به جداساز ارائه می‌دهد. بعنوان مثال برای ساختمان‌های با اهمیت بالا و حیاتی (مانند بیمارستان‌ها، نیروگاه‌ها و آتش‌نشانی) در صورتیکه ساختمان در فاصله ۱۵ کیلومتر از گسل فعال با بزرگای بیش از ۶/۵ قرار داشته باشد در طیف طرح ویژه ساختگاه باید اثرات حوزه نزدیک به گسل در نظر گرفته شود.

۳-۶- اعمال اثرات حوزه نزدیک در آیین‌نامه ژاپن

در آیین‌نامه ساختمان ژاپن (BSL, 2000) هیچ ضریب یا مقداری برای اثر نزدیکی به گسل به صراحت تعیین نشده است، اما اثرات نزدیک به گسل در ضریب پهنه‌بندی لرزه‌ای این کشور گنجانده شده است. در این آیین‌نامه دو رابطه کاهندگی تجربی برای رکوردهای حوزه نزدیک آورده شده است که شتاب حداکثر و دامنه سرعت زمین را برای مناطق مختلف تقسیم‌بندی شده کشور ژاپن به عنوان تابعی از بزرگای زلزله، فاصله تا گسل و میانگین سرعت موج برشی سطح بالای ۳۰ متر تخمین می‌زنند.

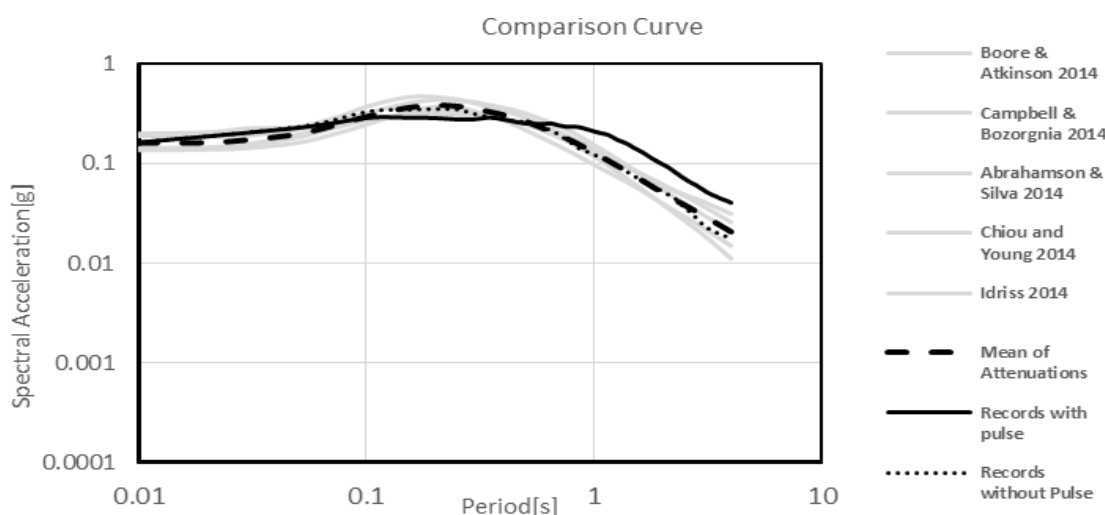
۳-۷- اعمال اثرات حوزه نزدیک در استاندارد ۲۸۰۰ ایران

در آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله ایران (استاندارد ۲۸۰۰، ویرایش چهارم) نیز اثر حوزه نزدیک اعمال گردیده است. در این آیین‌نامه با در نظر گرفتن ضریب اصلاح طیف (N)، اثر مربوط به رکورد حوزه نزدیک را شبیه سازی می‌کند. این ضریب برای سازه‌های با زمان تناوب کمتر از T_s دو قسمت اول خطی و ثابت ضریب شکل طیف برابر واحد در نظر گرفته می‌شود، لذا این ضریب تنها برای سازه‌های با تناوب بزرگتر از T_s است. $N(T)$ در استاندارد ۲۸۰۰ ایران از آیین‌نامه نیوزیلند (NZS1170.5, 2004) اقتباس شده است (تابش پور و همکاران ۱۳۹۹) که به لحاظ محتوایی تفاوت زیادی با آن دارد. در استاندارد نیوزیلند ضریبی برای اعمال اثر دوره بازگشت سالانه زلزله R پیش بینی شده است که طی جدولی مقادیر مختلف آن برای دوره‌های بازگشت مختلف ارائه شده است. این ضریب از ۱/۸ تا ۰/۲ تغییر می‌کند. در دوره بازگشت سالانه زلزله طرح (۴۷۵ ساله) مقدار R برابر با یک است. زلزله استاندارد ۲۸۰۰ نیز برای این دوره بازگشت ارائه شده لذا ارزیابی استاندارد ۲۸۰۰ در این دوره بازگشت ($R=1$) مورد بررسی قرار داده می‌شود. به این ترتیب اثرات پارامتر R عملاً در ضریب اصلاح طیف ایران لحاظ نمی‌گردد. از آنجایی که اثرات حوزه نزدیک در استاندارد ۲۸۰۰ ایران از طریق ضریب N اعمال می‌گردد و این ضریب برگرفته از زلزله‌های حوزه

نزدیک ایران نمی باشد، اصلاح طیف های طراحی استاندارد ۲۸۰۰ ایران و یا طیف خطر یکنواخت (UHS) با در نظر گرفتن زلزله های حوزه نزدیک کشور ایران امری ضروری می باشد.

۴- مقایسه رکوردهای پالس دار و بدون پالس

در این پژوهش برای درک بهتر از پدیده پالس در طیف رکوردهای حوزه نزدیک، ۵۰ رکورد پالس دار و ۵۰ رکورد بدون پالس، از خاک نوع ۳ با بزرگای ۷/۸-۵/۷ در فاصله ۲۰ کیلومتر از گسل از پایگاه داده های PEER استخراج گردیده و طیف شتاب آنها به همراه میانگین طیف ها ترسیم گردیده است. همچنین پنج طیف برگرفته از روابط کاهندگی که اثرات حوزه نزدیک را لحاظ نموده اند لحاظ گردیده است، این رابط عبارتند از: بور و آتکینسون (Boore and Atkinson, 2014)، کمپبل و بزرگنیا (Campbell and Bozorgnia, 2014) آبراهامسون و همکاران (Abrahamson et al., 2014) چیو و یونگ (Chiou and Young, 2014) و ادریس (Idriss, 2014). همچنین میانگین پنج طیف برگرفته از روابط کاهندگی ترسیم و مطابق شکل ۴ با یکدیگر مقایسه گردیده است، همانطور که در شکل مشخص است میانگین رکوردهای پالس دار از پرود ۰/۶ ثانیه به بعد، بالاتر از طیف های حاصل از روابط کاهندگی و رکوردهای بدون پالس قرار دارد لذا این نتیجه برمی آید که پالس موجب تقویت طیف می گردد.



شکل (۴): طیف شتاب رکوردهای حوزه نزدیک پالس دار و بدون پالس و طیف حاصل از روابط کاهندگی.

۵- نتیجه گیری

این مقاله روش های چگونگی اعمال اثرات زلزله های نزدیک به گسل در طیف پاسخ سازه ها را بررسی می کند. از مهمترین روش های پژوهشی روش اصلاح روابط کاهندگی (سامرویل) و تعیین پالس به روش تبدیل موجک (بیکر) می باشد. آیین نامه های طراحی لرزه ای نیز با روش های متفاوتی اثرات نزدیک به گسل را در طیف پاسخ سازه ها لحاظ می نمایند. برخی آیین نامه ها مانند چین (GB50011, 2010) و نیوزلند (NZS1170.5, 2004) به طور مشخص توسط ضرایب اصلاحی، اعمال اثرات نزدیک به گسل را ارائه می دهند. آیین نامه ژاپن (BSL, 2000) با استفاده از روش تجربی اثر نزدیک به گسل را محاسبه می کند. آیین نامه آمریکا (ASCE7-22) و آیین نامه تاسیسات صنعت نفت ایران (ویرایش چهارم) اثرات پالس و جهت پذیری رکوردهای حوزه نزدیک را در تحلیل خطر احتمالاتی و تعیین حداکثر زلزله قابل انتظار برای ریسک هدف را لحاظ کرده و طیف پاسخ سازه ها را ارائه می دهند. استاندارد ۲۸۰۰ ایران (ویرایش چهارم) اثرات نزدیک به گسل را به صورت ضریبی در طیف پاسخ اعمال نموده که این ضرایب برگرفته از گسل های حوزه نزدیک ایران نمی باشد، همچنین این ضرایب برای سازه هایی با زمان تناوب بزرگتر

از Ts است لذا ضرایب ارائه شده در این استاندارد دقیق و کامل نیست. استاندارد اروپا (EC8, 2004) برای ساختمان‌های با اهمیت بالا و حیاتی (مانند بیمارستان‌ها، نیروگاه‌ها و آتش‌نشانی) در صورتیکه ساختمان در فاصله ۱۵ کیلومتر از گسل فعال با بزرگای بیش از ۶/۵ قرار داشته باشد اثرات حوزه نزدیک به گسل را در طیف طرح ویژه ساختگاه در نظر می‌گیرد.

۶- مراجع

آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (۱۳۹۴). استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش چهارم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

آیین‌نامه طراحی لرزه‌ای تاسیسات و سازه‌های صنعت نفت، ویرایش چهارم (۱۴۰۱)، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

محسن تهرانی‌زاده (۱۳۹۴). ویژگی زلزله‌های حوزه نزدیک و تأثیر آن بر طیف پاسخ و طرح، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر.

محمدرضا تابش پور، اسماعیل خسروچرد (۱۳۹۹). مقایسه آیین‌نامه طرح لرزه‌ای کشورهای مختلف در چگونگی لحاظ اثر نزدیک گسل، فصلنامه آنالیز سازه-زلزله، دوره ۱۷، شماره ۲.

Abrahamson, N. A. (1997). Effects of Rupture Directivity on Probabilistic Seismic Hazard Analysis. *Researchgate*.

Abrahamson, N. A., Silva, W. J., & Kamai, R. (2014). Summary of the ASK14 Ground Motion Relation for Active Crustal Regions. *Earthquake Spectra*, 30(3), 1025–1055. <https://doi.org/10.1193/070913eqs198m>

ASCE (2022). Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-22). *Structural Engineering Institute of American Society of Civil Engineers*, Reston, Virginia.

Baker, J. W. (2007). Quantitative Classification of Near-Fault ground motions using Wavelet analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 97(5), 1486–1501. <https://doi.org/10.1785/0120060255>

Boore, D. M., Stewart, J. P., Seyhan, E., & Atkinson, G. M. (2014). NGA-West2 equations for predicting PGA, PGV, and 5% damped PSA for shallow crustal earthquakes. *Earthquake Spectra*, 30(3), 1057–1085. <https://doi.org/10.1193/070113eqs184m>

Campbell, K. W., & Bozorgnia, Y. (2014). NGA-WEST2 Ground Motion model for the average horizontal components of PGA, PGV, and 5% damped Linear Acceleration Response spectra. *Earthquake Spectra*, 30(3), 1087–1115. <https://doi.org/10.1193/062913eqs175m>

Chai, J., Loh, C., & Chen, C. (2000). Consideration of the near-fault effect on seismic design code for sites near the Chelungpu fault. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 23(4), 447–454. <https://doi.org/10.1080/02533839.2000.9670565>

China Academy of Building Research, New Code for Seismic Design of Buildings in China. (2006). *Institute of Earthquake Engineering*.

Chiou, B., & Youngs, R. R. (2014). Update of the Chiou and Youngs NGA model for the average horizontal component of peak ground Motion and Response spectra. *Earthquake Spectra*, 30(3), 1117–1153. <https://doi.org/10.1193/072813eqs219m>

Eurocode (EC8) (2004). *European Committee for Standardization*.

Idriss, I. M. (2014). An NGA-WEST2 empirical model for estimating the horizontal spectral values generated by shallow crustal earthquakes. *Earthquake Spectra*, 30(3), 1155–1177. <https://doi.org/10.1193/070613eqs195m>

Introduction to the Building Standard Law. (BSL). (2000). *Japanese Building Codes and Building Control System*.

Leger, P. and Filiatrault, A. (2000). Generation of Vertical Acceleration for Seismic Sliding Response of Graviyu

Dams. 12WCE2000.

N.Z. Standard, NZS 1170.5. (2004). Structural Design Actions Part 5: *Earthquake actions New Zealand*, Wellington, New Zealand: Standards New Zealand.

Somerville, P., Smith, N. F., Graves, R., & Abrahamson, N. A. (1997). Modification of empirical strong ground motion attenuation relations to include the amplitude and duration effects of rupture directivity. *Seismological Research Letters*, 68(1), 199–222. <https://doi.org/10.1785/gssrl.68.1.199>

USGS (2018) United States Geological Survey, Science for a Changing World. <https://earthexplorer.usgs.gov>