دومین کنفرانس ملی سازه - زلزله - ژئوتکنیک

آذر ۱۳۹۱، مازندران

Code: e۶۷۲

مقایسه آیین‌نامه طرح لرزه‌ای کشورهای مختلف در چگونگی لحاظ اثر نزدیک گسل

اسماعیل خسروجردی[۱]، محمدرضا تابش‌پور[۲]، علی کیهانی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی عمران-دانشگاه صنعتی شاهرود

۲- استادیار دانشکده مهندسی مکانیک- دانشگاه صنعتی شریف

۳- استادیار دانشکده مهندسی عمران-دانشگاه صنعتی شاهرود

esmaeil.khosrojerdi@gmail.com

خلاصه

ساختمان‌هایی که در نزدیکی گسل قرار گرفته‌اند باید برای شرایط متناظر نگاشت زمین در ناحیه گسل، طراحی شوند. با توجه به وجود گسل‌های فراوان و نزدیکی آن‌ها به مناطق مسکونی در اکثر شهرهای مهم ایران از جمله تهران و تبریز، لزوم لحاظ این اثر در آیین‌نامه ایران نیز احساس می‌شود. بدین منظور در این مقاله به بررسی و مقایسه چگونگی لحاظ اثر زلزله نزدیک گسل در طیف طرح آیین‌نامه کشورهای مختلف پرداخته شده است. غالبا این اثر باعث افزایش برش پایه در نواحی نزدیک گسل می‌شود که با ضرایبی در طیف طرح اعمال می‌شود. ضرایب حوزه نزدیک تابعی از فاصله و پریود می‌باشند. این ضرایب به طور صریح در طیف طرح آیین‌نامه‌های آمریکا و نیوزیلند و تایوان لحاظ شده است.

کلمات کلیدی: نزدیک گسل، جهت‌پذیری پیش‌رونده، طیف طرح آیین‌نامه، نیروی قائم زلزله

۱ مقدمه

از حدود نیم قرن پیش زمین لرزه‌ها را بر حسب فاصله محل ثبت رکورد تا محل گسل (محل اصلی لغزش) به دو دسته‌ی زلزله‌های حوزه نزدیک و حوزه دور تقسیم‌بندی کرده‌اند (Benioff). هر چند به طور قطعی و دقیق نمی‌توان فاصله‌ی مشخصی برای زلزله‌های نزدیک گسل تعریف نمود، اما به طور معمول فرض می‌گردد جنبش‌های ثبت شده در فاصله‌ای کمتر از ۲۰ کیلومتر از محل گسیختگی و کانون زلزله، نگاشت‌های نزدیک گسل می‌باشند. خصوصیات جنبش‌های نزدیک گسل مستقیما وابسته به مکانیزم چشمه لرزه‌ای، جهت گسیختگی گسل نسبت به ساختگاه و تغییرات ماندگار زمین در ساختگاه به علت حرکات تکتونیک می‌باشد. این خصوصیات عبارتند از اثر جهت‌پذیری گسیختگی، تغییرشکل ماندگار زمین و محتوای فرکانسی بالا. اثر نزدیک گسل در طیف پاسخ چهار جانبه باعث کاهش ناحیه حساس به سرعت و افزایش نواحی حساس به تغییرمکان و شتاب می‌شود (Chopra et al ۲۰۰۱). پریود غالب در فواصل نزدیک گسل از مقدار ۰/۳۵ به مقدار ۱/۲ ثانیه جهش می‌یابد (Boor ۱۹۹۷). پالس ناشی از جهت‌پذیری پیش‌رونده به علت تولید سرعت و تغییرمکان‌های بزرگ در زمین مهم می‌باشد. اثر جهت‌پذیری پیش‌رونده در حرکات قوی زمین باعث افزایش طیف پاسخ در مولفه نرمال-افقی در گسل امتدادلغز می‌شود (Somerville ۱۹۹۷). تعدادی از مطالعات نیز به جداسازی پالس از تاریخچه حرکت زمین به منظور ارائه یک پالس معادل و محاسبه پاسخ سازه‌ها در برابر این پالس پرداخته‌اند (Movroeidis et al ۲۰۰۴). اثر پالس علاوه بر ساختمان‌ها در دیگر سازه‌ها نیز اهمیت دارد، به عنوان مثال در سازه‌های دریایی مانند سکوها اگر پریود سازه با پریود پالس برابر شود ($T = T_p$)، بیشترین پاسخ در سازه اتفاق می‌افتد [۱]. به عنوان خلاصه‌ای از نتایج تحقیقات زمینه نزدیک گسل می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

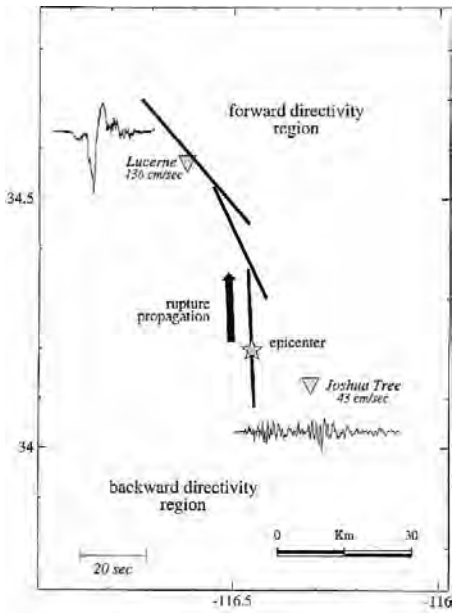
- حرکت نزدیک گسل غالبا منجر به پاسخ بیشتری در سازه می‌گردد.

- اگر عرض پالس در رکورد بیشتر از پریود طبیعی سازه باشد، خرابی وارد بر سازه بیشتر خواهد بود.
- تاثیر حرکت نزدیک گسل بر سازه با پریود بلند (نظیر برج‌ها، پل‌ها، ساختمان‌های مجهز به عایق زلزله) بیشتر خواهد بود.
- پالس‌های دارای فرکانس بسیار پایین در رکورد شتاب، منجر به رکوردهای جابجایی بدون رفت و برگشت می‌شوند و این تک موج‌ها به صورت ناگهانی در سازه منتشر می‌گردند؛ در نتیجه تحلیل طیف پاسخ (در صورت عدم لحاظ این اثر) نتایج درستی بدست نمی‌دهند.
- با افزایش نسبت PGV / PGA نواحی حساس به شتاب در طیف پاسخ پهنای بیشتری می‌یابند. این پدیده باعث افزایش برش پایه، جابجایی نسبی طبقات و شکل‌پذیری نیاز در سازه‌های دارای پریود بلند می‌گردد.
- برخلاف رکوردهای معمولی که پریود غالب آنها یک پارامتر موثر بر سازه می‌باشد، در حرکت نزدیک گسل مدت زمان پالس حرکت و نسبت آن با پریود سازه، تعیین‌کننده پاسخ می‌باشد.
- روش طیف ظرفیت برای تعیین بیشینه جابجایی سازه در این حالت نیز دارای دقت خوبی می‌باشد [۲].

پس از وقوع زلزله‌های نورثریج وکوبه با توجه به شدت خسارات و تلفات در مناطق شهری که سازه‌های آنها بر اساس آیین‌نامه‌های لرزه‌ای مدرن طراحی شده بودند بار دیگر مسئله نزدیک گسل و ضرورت وجود آن در آیین‌نامه‌ها مورد توجه قرار گرفت و مطالعات وسعت بیشتری پیدا نمود. برای اولین بار UBC۹۷ ضرایبی را به منظور لحاظ اثر نزدیک گسل در طیف طرح پیشنهاد نمود. البته این آیین‌نامه در نسخه بعدی خود (IBC۲۰۰۰) ضرایب نزدیک گسل را در پهنه‌بندی لرزه‌ای استفاده نمود. با توجه به نقشه گسل‌های فعال تهیه شده توسط پژوهشگاه زلزله‌شناسی پراکندگی گسل در تمام مناطق ایران غیر از نواحی مرکزی مشاهده می‌شود.گاهی فاصله شهرها تا گسل‌ها به قدری نزدیک است که گسل‌ها نام خود را از شهرها و آبادی‌های مجاور خود به عاریه گرفته‌اند. وجود و نزدیکی این گسل‌ها ضرورت بررسی آیین‌نامه کشورهای مختلف به منظور لحاظ این اثر در آیین‌نامه کشورمان را بیش از پیش نشان می‌دهد. هدف این مقاله بررسی و مقایسه چگونگی لحاظ اثر نزدیک گسل در طیف طرح آیین‌نامه کشورهای مختلف می‌باشد.

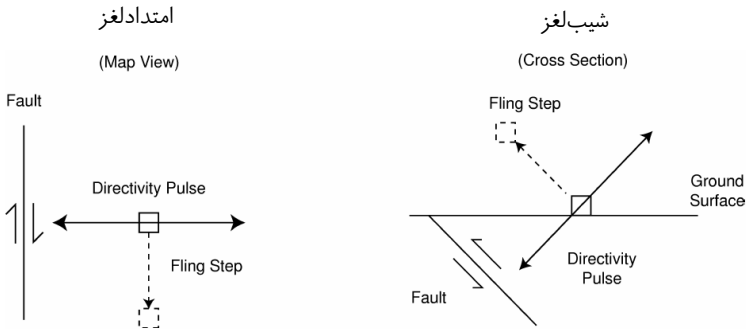
۲ اثر زلزله‌های نزدیک گسل

سازه‌هایی که در حاشیه گسل قرار گرفته‌اند باید برای شرایط متناظر طراحی شوند. لذا برای این سازه‌ها اثر نزدیک گسل بعنوان منشا یکی از تحریک‌های مهم منظور می‌شود. جالب است که در دهه‌های اخیر تعداد قابل ملاحظه‌ای از رکوردهای زلزله در فواصل بسیار نزدیک به خط یا ناحیه گسل واقع شده است. هر چند به طور قطعی و دقیق نمی‌توان فاصله مشخصی برای زلزله‌های نزدیک گسل تعریف نمود، اما به طور معمول فرض می‌گردد جنبش‌های ثبت شده در فاصله‌ای کمتر از ۲۰ کیلومتر از محل گسیختگی و کانون زلزله، نگاشت‌های نزدیک گسل می‌باشند. البته استوارت (۲۰۰۱) محدوده‌ی فاصله ۲۰ تا ۶۰ کیلومتری از محل گسل تا ساختگاه را بعنوان محدوده بالایی پیشنهاد کرد. خصوصیات جنبش‌های نزدیک گسل مستقیما وابسته به مکانیزم چشمه لرزه‌ای، جهت گسیختگی گسل نسبت به ساختگاه و تغییرات ماندگار زمین در ساختگاه به علت حرکات تکتونیک می‌باشد. این خصوصیات عبارتند از اثر جهت‌پذیری گسیختگی، تغییرشکل ماندگار زمین و محتوای فرکانسی بالا. جهت‌پذیری گسیختگی در سه بخش جهت‌پذیری پیش‌رونده، جهت‌پذیری پس‌رونده، جهت‌پذیری خنثی دسته‌بندی می‌شود. پالس ناشی از اثر جهت‌پذیری پیش‌رونده به علت اینکه سرعت گسیختگی گسل فقط کمی‌کمتر از سرعت انتشار موج برشی می‌باشد تولید می‌شود ($V = ۰.۸V_s$). هنگامی‌که جبهه گسیختگی از مرکز زلزله انتشار می‌یابد، یک جبهه موج برشی جلوی جبهه گسیختگی به علت سرعت بیشتر تشکیل می‌شود. هرگاه یک محل در قسمتی از گسل و گسسیختگی اولیه در قسمتی دیگر از گسل باشد و به سمت محل حرکت کند، جبهه موج وارد شده به صورت یک پالس بزرگ و در ابتدای نگاشت دیده می‌شود. با توجه به شکل۱ این پالس زمانی تشکیل می‌شود که هم جبهه گسیختگی و هم انتشار لغزش به سمت ساختگاه باشد. در شکل۲ اثر جهت‌پذیری پیش‌رونده برای گسل‌های امتدادلغز و شیب‌لغز می‌تواند وجود داشته باشد. این اثر مهمترین خاصیت زلزله نزدیک گسل می‌باشد. اثر جهت‌گیری پیش‌رونده جنبش‌هایی با دامنه بالا و مدت زمان کم ایجاد می‌کند. این اثرات معمولا بطور ذاتی دارای پریود بلند می‌باشند و در تاریخچه زمانی سرعت و تغییرمکان بهتر دیده می‌شوند. پالس‌های جهت‌گیری پیش‌رونده به علت الگوی تشعشعی تغییر شکل‌های برشی در گسل، در مولفه عمود بر گسل مشاهده می‌شود و مولفه موازی فاقد چنین پالس‌هایی می‌باشد.



شکل۱- اثر جهت‌پذیری در گسلش امتدادلغز سرعت در مولفه‌های عمود بر گسل

دومین دلیل ایجاد پالس تغییرشکل دائمی زمین می‌باشد. این پالس‌ها در مولفه موازی گسل دیده می‌شوند. با توجه به وجود خصوصیات متفاوت در پالس‌های ناشی از جهت‌گیری پیش‌رونده و تغییرشکل ماندگار حالت مطلوب قرارگیری هر کدام از پالس‌ها جدا از هم می‌باشد [۳]. شکل۲ به صورت شماتیک نشان می‌دهد که برای گسل‌های امتدادلغز پالس ناشی از جهت‌پذیری پیش‌رونده در مولفه اصلی عمود بر گسل و پالس ناشی از تغییرشکل ماندگار در مولفه اصلی موازی بر گسل قرار گرفته، در حالیکه برای گسل‌های شیب‌لغز این دو اثر هر دو در مولفه اصلی عمود دیده می‌شود [۴].



شکل۲ - نمایش شماتیک اثرات جهت‌پذیری و جابجایی ماندگار در گسلش امتدادلغز و شیب‌لغز[٤]

برای بررسی اثر پارامترهای گوناگون در زلزله‌های نزدیک و دور در جدول۱ به عنوان نمونه اطلاعات دو رکورد مربوط به زلزله چی-چی آورده شده است. ملاحظه می‌شود که بیشینه شتاب متناظر با زلزله نزدیک به مراتب بیشتر از مقدار مربوط به زلزله دور می‌باشد. همچنین بیشینه سرعت مربوط به زلزله نزدیک نیز بسیار بیشتر از مقدار آن در حوزه دور می‌باشد. اما آن چه اینجا از اهمیت خاصی برخوردار است نسبت بیشینه سرعت به بیشینه شتاب می‌باشد، که در مورد اول برابر ۰/۵ و در مورد دوم ۰/۱ می‌باشد [۵].

جدول۱ – مقایسه پارامترهای مختلف برای زلزله‌های نزدیک و دور [۵]

نوع	بزرگی (M_L)	فاصله (km)	PGA ($\frac{cm}{s^2}$)	PGV ($\frac{cm}{s}$)	PGV/PGA	مدت پالس (s)
نزدیک گسل	۷.۳	۲	۴۰۰	۲۰۰	۰.۵	۴
دور از گسل	۶.۵	۱۰۰	۲۰	۲	۰.۱	-

۳ بررسی آیین‌نامه‌های طرح لرزه‌ای کشورهای مختلف

در آیین‌نامه‌های کشورهای پرو در سال ۲۰۰۳، ترکیه در سال ۱۹۹۷، هند در سال ۲۰۰۵، عربستان در سال ۲۰۰۷، یوروکد در سال ۱۹۹۸، استرالیا در سال ۲۰۰۳ و آیین‌نامه ایران در سال ۲۰۰۴ اثری از لحاظ ضریب نزدیک گسل مشاهده نمی‌شود. آیین‌نامه ژاپن در سال ۲۰۰۰، آیین‌نامه آمریکا ۲۰۰۵ اثر نزدیک گسل را در پهنه‌بندی لرزه‌ای لحاظ می‌کنند. در حالی که در آیین‌نامه آمریکا در سال ۱۹۹۷، آیین‌نامه نیوزیلند در سال۲۰۰۲ و آیین‌نامه تایوان در سال ۲۰۰۵ این اثر در طیف طرح لحاظ شده است.

بررسی تجربیات جهانی در چگونگی لحاظ اثر نزدیک گسل در آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای و مقایسه بین طیف طرح در صورت لحاظ اثر نزدیک گسل و عدم لحاظ این اثر در این بخش صورت می‌گیرد. طیف طرح محاسبه شده در تمام آیین‌نامه‌ها برای خاک نوع S_D آیین‌نامه آمریکا با سرعت موج برشی $۱۸۰ < V_S < ۳۶۰$ و ضریب اهمیت برابر واحد در نظر گرفته شده است.

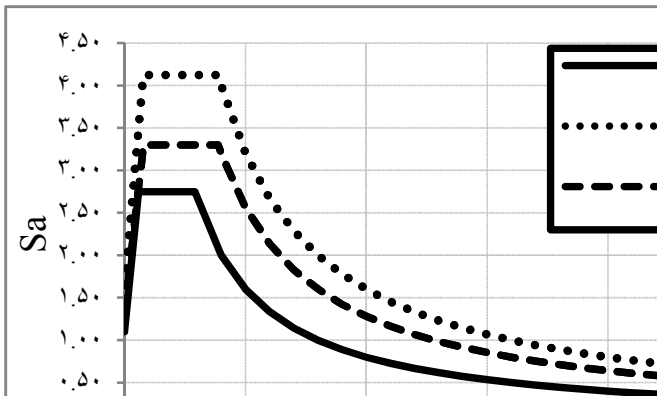
UBC۹۷ ۱.۳

این آیین‌نامه مناطق لرزه‌خیز را به پنج قسمت تقسیم کرده و برای هر منطقه حداکثر اوج شتاب زمین را تعیین می‌کند. البته اثر نزدیک گسل فقط در ناحیه‌ی با خطر پذیری خیلی زیاد $Z = ۰.۴$ تحت عنوان ضریب منبع نزدیک (Near Source) لحاظ شده است. ضرایب در نظر گرفته شده برای لحاظ اثرات نزدیک گسل در UBC۹۷ عبارتند از:

N_a: ضریب منبع نزدیک که در ناحیه‌ی شتاب ثابت و جابجایی ثابت تاثیرگذار است.

N_v: ضریب منبع نزدیک که در ناحیه‌ی سرعت ثابت تاثیرگذار می‌باشد.

اثر نزدیک گسل را برای فواصل کمتر از ۲ کیلومتر و ۵ کیلومتر بررسی می‌نماییم. طیف طرح بدون لحاظ اثر نزدیک گسل و با لحاظ این اثر برای فواصل بیان شده در شکل۳ نمایش داده شده است. با مقایسه طیف طرح در فواصل مختلف نشان می‌دهد، برش پایه سازه‌هایی که در فاصله کمتر از ۲ کیلومتری از گسل قرار دارند، حدود دو برابر سازه‌هایی است که در محدوده بیش از ۱۵ کیلومتری از گسل قرار دارند [۶].



شکل۳ - طیف طرح با و بدون لحاظ اثر نزدیک گسل

۱.۱.۳ نیروی قائم زلزله در UBC۹۷

اثر مولفه قائم زلزله در آیین‌نامه آمریکا در ترکیب بار برای سازه‌های خاص مانند سازه‌های طره‌ای لحاظ می‌شود. این آیین‌نامه ضریب خاصی را برای نزدیک بودن به منبع لحاظ نمی‌کند.

۲.۱.۳ نکاتی در مورد ضرایب منبع نزدیک در UBC۹۷

۱. ضرایب منبع نزدیک (N_v و N_a) با نزدیک شدن به منبع زلزله افزایش می‌یابند، علت این مساله افزایش اثر جهت‌پذیری با کاهش فاصله نسبت به منبع زلزله می‌باشد.

۲. اثر نزدیک گسل برای N_a تا فاصله بیشینه ۱۰ کیلومتر و برای N_v تا فاصله بیشینه ۱۵ کیلومتر ازگسل در نظر گرفته می‌شود و در فواصل دورتر این ضرایب را برابر یک در نظر می‌گیریم.

۳. هر چه گسل پتانسیل بیشتری به لحاظ تولید زلزله‌های قوی‌تر داشته باشد، مقادیر ضرایب N_v و N_a افزایش بیشتری می‌یابد.

۴. ضریب N_a دارای مقادیری کمتری نسبت به ضریب N_v می‌باشد، علت این امر بیشتر نمایان شدن اثر نزدیک گسل در پریودهای بالاتر است.

۲.۳ آیین‌نامه نیوزیلند

آیین‌نامه‌ی نیوزیلند طیف خطر الاستیک برای بارهای افقی (جانبی) را به صورت زیر بیان می‌کند

$$C(T) = C_h(T).Z.R.N(T,D) \qquad (۱)$$

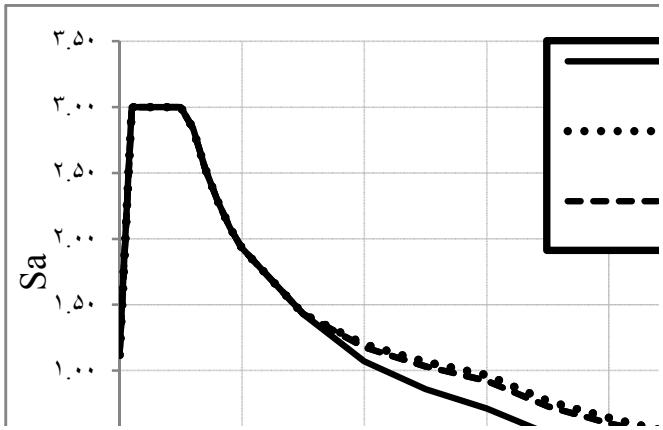
$C_h(T)$: ضریب شکل طیف نام دارد و بستگی به خاک انتخابی و نوع آنالیز دارد. این ضریب همانند ضریب B (ضریب بازتاب) آیین‌نامه ایران می‌باشد.

Z: ضریب خطر نام دارد و بستگی به قرارگیری شهر در مناطق مختلف لرزه‌خیزی دارد.

R : ضریب دوره بازگشت نام دارد که با توجه به اهمیت ساختمان و عمر مفید آن احتمال فراگذشت سالیانه انتخاب می‌شود.

$N(T,D)$: ضریب نزدیک گسل نام دارد و طبق روابط این ضریب بستگی به فاصله شهرها از گسل‌ها و دوره‌ی تناوب سازه دارد. برای محاسبه فاصله شهرها از گسل‌های اصلی، چند گسل بزرگ را به عنوان گسل‌های اصلی در جدولی معرفی نموده و نزدیکترین فاصله از این گسل‌ها معیار فاصله از گسل می‌باشد.

برای سازه‌های در معرض نزدیک گسل با توجه به مقادیر ضریب نزدیک گسل سازه را در فواصل کوچکتر از ۲ کیلومتر و در فاصله ۵ کیلومتر مورد بررسی قرار می‌دهیم. شکل۴ نشان‌دهنده مقایسه بین طیف طرح در صورت لحاظ اثر نزدیک گسل در فواصل ذکر شده و عدم لحاظ این اثر می‌باشد [۷].



شکل٤ - طیف طرح آیین‌نامه نیوزیلند با و بدون لحاظ اثر نزدیک گسل

۱.۲.۳ نیروی قائم زلزله در آیین‌نامه نیوزیلند

در آیین‌نامه نیوزیلند نسبت مولفه افقی به قائم $C_V(T) = ۰.۷C(T)$ در شرایط معمول می‌باشد، البته در تفسیر آیین‌نامه ذکر می‌نمایدکه با توجه به بزرگی مولفه افقی در نزدیک گسل برای پریودهای کوتاه ($T < ۰.۳(s)$) باید مقدار ضریب را از ۰/۷ به یک افزایش دهیم، بدین‌معنی که مولفه قائم و افقی با یکدیگر برابر است.

۲.۲.۳ نکاتی در مورد ضریب نزدیک گسل در آیین‌نامه نیوزیلند

۱. ضریب نزدیک گسل فقط برای دوره با فراگذشت کوچکتر از ۱/ ۲۵۰ در نظر گرفته می‌شود، دلیل این امر این است که با افزایش دوره فراگذشت سالانه از اهمیت سازه کاسته می‌شود. سازه‌های با فراگذشت سالانه بزرگتر از ۱/ ۲۵۰ مربوط به ساختمان‌های روستایی و برای مصارف کشاورزی می‌باشد. هر چه اهمیت سازه بالاتر رود برای کاهش عدم قطعیت‌ها لحاظ اثر نزدیک گسل نیز اهمیت بیشتری پیدا می‌کند.

۲. ضریب نزدیک گسل فقط تا فاصله ۲۰ کیلومتری در نظر گرفته می‌شود و هر چه به گسل نزدیک می‌شویم، به علت افزایش اثر جهت‌پذیری این ضرایب نیز افزایش می‌یابند.

۳. ضریب نزدیک گسل فقط برای پریودهای بیش از ۱/۵ ثانیه (پریودهای بلند) در نظر گرفته شده‌اند.

۳.۳ آیین‌نامه تایوان

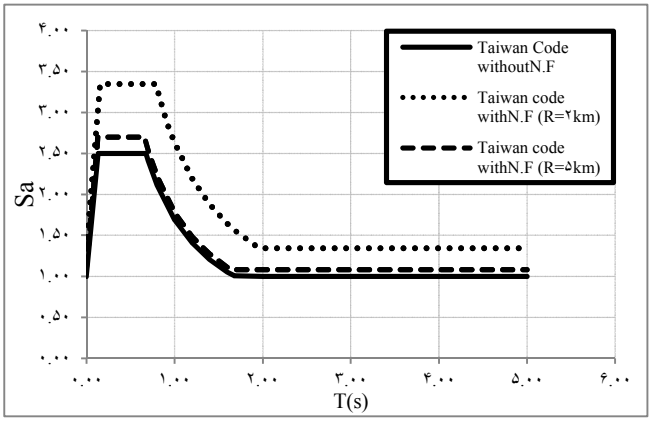
در ویرایش جدید آیین‌نامه تایوان که مربوط به سال ۲۰۰۵ می‌باشد، اثر نزدیک گسل را به دو صورت زیر در نظر می‌گیرد.

۱. همانند UBC۹۷ و اعمال ضرایب N_v و N_a به صورت یک ضریب افزایشی در طیف پاسخ طراحی مانند رابطه (۲).

۲. روش طراحی دوتراز که در این روش اثرات نزدیک گسل در سطح طراحی اولیه نیروی پایه در نظر گرفته نمی‌شود، ولی یک ظرفیت مضاف کنترلی برای محدودکردن ظرفیت نهایی سازه‌های طرح شده لازم است تا ظرفیت نهایی بر نیاز لرزه‌ای ایجاد شده توسط اثرات حرکات زمین نزدیک گسل، فزونی داشته باشد.

$$S_{DS} = N_A.F_a.S_S^D \qquad S_{D۱} = N_V.F_v.S_۱^D \qquad (۲)$$

همان‌طور که در شکل۵ مشاهده می‌کنید به منظور رسم طیف طراحی می‌توان نمودار شتاب طیفی را نرمالایز کرده و بر مقدار $۰.۴S_{DS}$ تقسیم نمود. ضرایب نزدیک گسل در آیین‌نامه تایوان برای چند گسل معروف محاسبه شده است [۸]. ضرایب نزدیک گسل، گسل چلونگپیو که مسبب زلزله چی-چی می‌باشد، از مطالعه انجام شده توسط جیون فیو و همکاران استخراج می‌شود [۹].



شکل۵ - طیف طرح آیین‌نامه تایوان با و بدون لحاظ اثر نزدیک گسل

۱.۳.۳ نیروی قائم زلزله در آیین‌نامه تایوان

آیین‌نامه تایوان در نزدیک گسل ضریب بزرگتری را برای مولفه قائم نسبت به مولفه افقی لحاظ می‌کند:

$$S_{aD,V}=\begin{cases}\frac{S_{aD}}{۲} & \text{دور از گسل}\\ \frac{۲S_{aD}}{۳} & \text{نزدیک گسل}\end{cases} \qquad (۳)$$

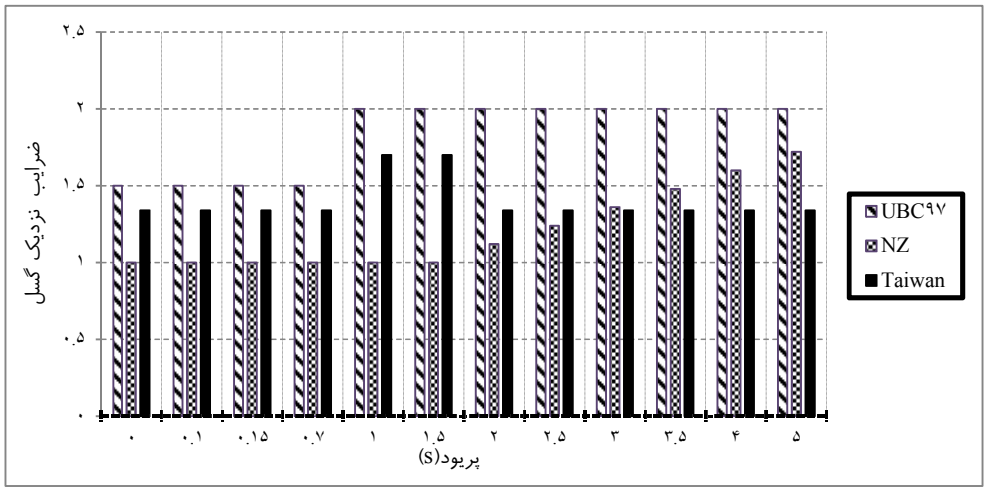
۴.۳ آیین‌نامه چین GB۵۰۰۱۱-۲۰۰۱

این آیین‌نامه روش ساده‌ای را برای طراحی سازه‌های ایزوله شده با مصالح بنایی ارائه می‌دهد که نیروی برشی افقی برای طبقه ایزوله شده را بوسیله ضریب نزدیک گسل(λ_s) با توجه به فاصله به مقدار زیر افزایش می‌دهد [۱۰]:

$$\begin{aligned} &R < ۵km \rightarrow \lambda_s = ۱.۵\\ &۵ < R < ۱۰km \rightarrow \lambda_s = ۱.۲۵ \qquad (۴)\\ &R > ۱۰km \rightarrow \lambda_s = ۱\end{aligned}$$

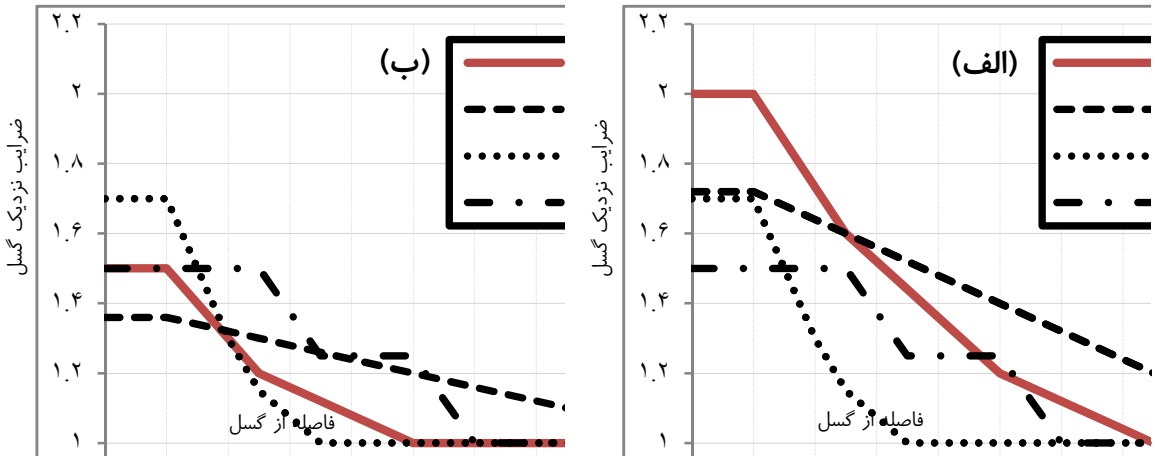
۴ مقایسه ضرایب نزدیک گسل در آیین‌نامه‌های مورد بررسی

در ابتدا مقادیر ضرایب نزدیک گسل را در آیین‌نامه‌های مختلف بررسی می‌نماییم. همان طور که در شکل۶ دیده می‌شود، آیین‌نامه آمریکا بیشترین مقدار را برای ضریب نزدیک گسل در نظر می‌گیرد. محدوده‌ی اعمال ضرایب بین مقادیر ۱ تا ۲ می‌باشد که با توجه به پریود و فاصله از گسل تعیین می‌شود. ضرایب مندرج در شکل۶ برای فاصله کمتر از ۲ کیلومتر در نظر گرفته شده است. آیین‌نامه آمریکا معتقد است که افزایش ضرایب نزدیک گسل از پریود صفر تا پریود تقریبا ۰/۷۵ ثانیه با ضریب N_a و از پریود بزرگتر از ۰/۷۵ تا پریودهای بلند با ضریب N_v به صورت یکنواخت اعمال شود.



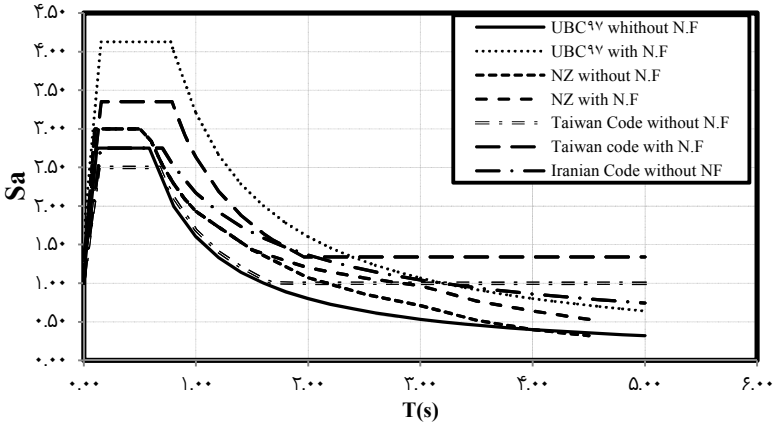
شکل۶ – مقایسه اثر پریود بر ضرایب نزدیک گسل در آیین‌نامه‌های مختلف

همان طور که در شکل۷ نمایش داده شده است، در بحرانی‌ترین حالت (۷- الف)، در فواصل کوچکتر از ۲ کیلومتر ضریب نزدیک گسل در آیین‌نامه آمریکا دارای بیشترین مقدار، اما در فواصل بین ۵ تا ۲۰ کیلومتر آیین‌نامه نیوزیلند دارای بیشترین مقدار می‌باشد. حداقل ضریب نزدیک گسل را در فواصل بزرگتر از ۳ کیلومتر را، آیین‌نامه تایوان در نظر می‌گیرد. اما با تغییر در شرایط و استفاده از پریودهای کوتاهتر (۷- ب)، آیین‌نامه تایوان که تابعی از پریود نمی‌باشد، در فواصل کوچکتر از ۳ کیلومتر دارای مقادیر بیشتر و در دیگر فواصل، آیین‌نامه چین و نیوزیلند مقادیر بیشتری را اتخاذ می‌نمایند.



شکل۷ – مقایسه اثر فاصله بر ضرایب نزدیک گسل در آیین‌نامه‌های مختلف

حال در شکل۸ به مقایسه طیف طرح در سه آیین‌نامه مورد بررسی با آیین‌نامه ایران می‌پردازیم. طیف طرح آیین‌نامه ایران در پریودهای کوتاه و متوسط ($۰ < T < ۰.۷۵$) با طیف طرح آیین‌نامه آمریکا بدون لحاظ اثر نزدیک گسل همخوانی دارد، در حالیکه در پریودهای بلند ($۰.۷۵ < T < ۳$)، طیف طرح آیین‌نامه ایران مقادیر بیشتری را اختیار می‌کند. البته طیف طرح آیین‌نامه ایران نسبت به طیف طرح آیین‌نامه آمریکا با لحاظ اثر نزدیک گسل مقادیر کوچکتری را در نظر می‌گیرد. این شکل نشان می‌دهد که آیین‌نامه آمریکا بیشترین مقدار را برای طیف طرح لحاظ می‌کند و لحاظ اثر نزدیک گسل در تمامی آیین‌نامه‌ها باعث افزایش مقادیر طیف طرح و در نتیجه افزایش برش پایه می‌گردد



شکل۸- مقایسه طیف طرح با و بدون لحاظ اثر نزدیک گسل

۵ نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی خواص نگاشت‌های نزدیک گسل و چگونگی لحاظ آن در آیین‌نامه‌های ساختمانی در این مقاله مهمترین نتایج آن به شرح زیر می‌باشد:

- نگاشت‌های نزدیک گسل معمولا دارای حرکات پالس شکل می‌باشند که این پالس‌ها ناشی از جهت‌پذیری پیش‌رونده و حرکات دائمی زمین موسوم به فلینگ استپ می‌باشد. پالس مربوط به اثر جهت‌پذیری پیش‌رونده اغلب در مولفه نرمال افقی گسل دیده می‌شود.
- اثر نزدیک گسل در طیف طرح آیین‌نامه کشورهای مورد بررسی به صورت یک ضریب با مقادیر بین یک تا دو مشاهده می‌شود که باعث افزایش برش می‌شود. این ضرایب غالبا تابعی از فاصله و پریود می‌باشند.
- هر چه فاصله مکان مورد نظر از منبع زلزله یا گسل افزایش یابد، به علت کاهش اثر جهت‌پذیری پیش‌رونده مقادیر ضرایب نزدیک گسل نیز کاهش می‌یابد. بیشینه فاصله در نظر گرفته شده در آیین‌نامه‌ها برای لحاظ اثر نزدیک گسل حدودا ۲۰ کیلومتر می‌باشد.
- به علت وجود پالس‌های با پریود بلند در نگاشت‌های نزدیک گسل این اثر در پریودهای بلند بیشتر مشاهده می‌شود، بدین منظور ضرایب اعمالی برای افزایش مقادیر طیف طرح، در نواحی با پریود بلند دارای مقادیر بیشتری نسبت به پریودهای کوتاه می‌باشد.
- معمولا در زلزله‌های نزدیک گسل مولفه‌های قائم و افقی دارای مقادیری نسبتا یکسان می‌باشد، که این اثر نیز باید در نیروی قائم ناشی از زلزله نزدیک گسل همانند برخی آیین‌نامه‌ها لحاظ شود.
- به علت تاثیر بیشتر اثر نزدیک گسل در پریودهای بلند، در طراحی جداسازهای لرزه‌ای این اثر در صورت نزدیکی به منبع زلزله باید لحاظ شود.

مراجع

۱. Komachi, Y. and Tabeshpour, M.R . ۲۰۱۱.Investigation of directivity effects of near fault records on the response of jacket platforms. ۱th conference on urban construction in the vicinity of active fault.

۲. تابش‌پور، م.ر. تفسیر مفهومی کاربردی آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله. انتشارات گنج هنر، تهران، ۱۳۹۰.

۳. Bray, J. D. and A. Rodriguez-Marek ۲۰۰۴ . Characterization of forward directivity ground motions in the near fault region. Soil Dyn. Earthquake Eng. ۲۴, no. ۱۱, ۸۱۵–۸۲۸.

۴. Stewart, J.P. Chiou, S., Bray, J., Graves, R., Somerville, P., and Abrahamson, N., (۲۰۰۱). Ground motion evaluation procedures for performance-based design. Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER), Report No. ۰۹, Sept. ۲۰۰۱.

۵. تابش پور،م.ر."اهمیت تاثیر زلزله حوزه نزدیک بر روی رفتار لرزه‌ای سازه‌های دارای پریود بلند"، مجله بنا شماره چهل و یکم، ۱۳۸۸.

۶. UBC۹۷. "۱۹۹۷ Uniform Building Code.

۷. Standard Newzealand, NZS۱۱۷۰.۵Supp۱-۲۰۰۴, Structural Design Action-Part۵.

۸. Seismic Design Code for Buildings in Taiwan ۲۰۰۵.

۹. Chai, J.F., Loh, C.H. and Chen, C.Y. ۲۰۰۰. Consideration of the near fault effect on seismic design code for sites near the chelungpu fault. Journal of the Chinese Institute of Engineers, Vol. ۲۳, No. ۴, pp. ۴۴۷–۴۵۴.

۱۰. GB۵۰۰۱۱ ۲۰۰۱. National Standards of the People's Republic of China.