

عوامل مؤثر بر طیف طراحی در حوزه‌ی نزدیک گسل و طیف پیشنهادی با استفاده از رکوردهای دارای پالس جهت‌پذیری

محسن تهرانی‌زاده (استاد)

حامد طاهری (دانشجوی کارشناسی ارشد)

دانشکده‌ی مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تکان‌های شدید زمین حین رخداد زلزله یکی از مهم‌ترین خطراتی است که مهندس محاسب برای تحلیل و طراحی ساختمان ناگزیر از احتساب آن است. در این راستا دست‌یابی به عملکرد مورد انتظار سازه، حین زلزله و پس از آن، با توجه به سطح عملکرد مورد نظر ضروری است. از این میان، بررسی جنبش نیرومند زمین در حوزه‌ی نزدیک گسل که دارای ویژگی‌های متفاوت و منحصر به فردی مانند جهت‌پذیری پیش‌ران است، در طراحی و بررسی عملکرد سازه‌ها در حوزه‌ی نزدیک گسل بسیار ضروری است. همچنین از آنجا که آیین‌نامه‌های زلزله ضوابط مناسبی برای طراحی ساختمان‌ها در حوزه‌ی نزدیک گسل ارائه نمی‌دهند، دست‌یابی به ابزار طراحی مناسب و جواب‌گوی نیازهای طراحی در این ناحیه ضرورت می‌یابد. در ناحیه‌ی گسل، گذشته از اثر پالس جهت‌پذیری پیش‌ران، به علت عدم کاهیدگی قابل توجه، جنبش زمین دارای انرژی بیشتری است. لذا علاوه بر احتساب شتاب حرکت زمین در حوزه‌ی نزدیک گسل در برآورد طیف طراحی، باید اثرات ناشی از پالس جهت‌پذیری پیش‌ران در تقویت طیف و پاسخ لرزه‌ی مد نظر قرار گیرد.

واژگان کلیدی: حوزه‌ی نزدیک گسل، جهت‌پذیری، طیف طراحی، پالس سرعت.

tehz@govir.ir
hamed_taheri@aut.ac.ir

۱. مقدمه

حرکت زمین در حوزه‌ی نزدیک دارای خصوصیتی متفاوت نسبت به حوزه‌ی دور از گسل است. اگرچه آیین‌نامه‌های زلزله‌ی مختلف ضوابط مناسبی برای طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله ارائه می‌دهند، باید به این نکته توجه داشت که این ضوابط برای ساخت‌گاه‌هایی عرضه شده‌اند که از مرکز زلزله دور بوده و نیروی زلزله و تکان‌های زمین به شکل معمول آن به سازه می‌رسند و نیز از اثرات ثانویه‌ی ناشی از ساخت ساختمان در حوزه‌ی نزدیک به منبع لرزه‌زا چشم‌پوشی شده است. گذشته از اثر پالس، به علت نزدیکی به منبع لرزه‌ی و عدم کاهیدگی قابل توجه، حرکت زمین در حوزه‌ی نزدیک دارای انرژی بیشتری نسبت به حوزه‌ی دور خواهد بود. همچنین نیاز شکل‌پذیری در سازه‌های واقع در حوزه‌ی نزدیک متفاوت است، و در سازه‌های بلند و با پیرو طولانی دارای توزیع غیریکنواخت در ارتفاع سازه‌اند. بنابراین برای یافتن راهکارهای طراحی مناسب برای حوزه‌ی نزدیک، شناخت مناسب خصوصیات متفاوت این ناحیه از ضرورت‌های اولیه است. همچنین لازم است پس از اصلاح توزیع مقاومت برشی در ارتفاع سازه، به منظور طراحی بر مبنای عملکرد مورد نیاز، پاسخ سازه در سطوح متفاوت کارایی -- از کشسان تا کاملاً خمیری که منجر به فروریزش اولیه می‌شود -- دریافت شود.^[۱]

زلزله انجام شده که راه را برای ایمن‌سازی بیشتر و نیز بهینه‌سازی طراحی سازه‌ها در حوزه‌ی نزدیک گسل هموار می‌کند. از این میان می‌توان به در نظر گرفتن و معرفی منبع لرزه‌ی و به‌کارگیری ضرایب حوزه‌ی نزدیک وابسته به فاصله در طیف طراحی در UBC۹۷ اشاره کرد. با این حال این ضرایب به دلیل عدم توجه به خصوصیات فیزیکی پاسخ در حوزه‌ی نزدیک، برای طراحی کافی نیستند. برای یافتن پاسخ سازه تحت نگاشت حوزه‌ی نزدیک، علاوه بر رکوردهای ثبت شده در ایستگاه‌های موجود در این حوزه، می‌توان از نگاشت‌های مدل‌سازی شده برای یافتن پاسخ‌های دقیق‌تر نیز استفاده کرد. از این میان می‌توان به مدل رکوردهای سامرویل که در سال ۱۹۹۸ برای سازوکار گسلش امتداد لغز با جهت‌پذیری پیش‌ران ارائه شده است، اشاره کرد.^[۱] در این نوشتار سعی بر آن است تا خصوصیات منحصر به فرد حرکات زمین در حوزه‌ی نزدیک و اثرات ناشی از آن بر سازه‌های مجاور یا روی گسل، و روش طراحی طیفی مناسب سازه‌ها در این ناحیه شناسایی و معرفی شود.

۲. گسل‌ها و نواحی آنها

«گسل» به صورت یک گسیختگی یا ناحیه‌ی شامل گسیختگی‌های مترام در بستر سنگی تعریف می‌شود که یک لبه‌ی آن نسبت به دیگری دارای حرکت است. گسل‌ها

تاریخ: دریافت ۱۳۸۷/۱/۱۹، اصلاحیه ۱۳۸۸/۸/۲۰، پذیرش ۱۳۹۸/۱/۱۷.

به شکل شکاف‌هایی در پوسته‌ی زمین نمایان می‌شوند، به طوری که دو طرف این شکاف به واسطه‌ی فشار و اصطکاک ننگه داشته می‌شوند اما هنگامی که تنش بیش از تحمل سنگ‌ها می‌شود ناگهان گسیخته شده و باعث ایجاد تغییر مکان بزرگ، امواج شوک‌مانند، و نهایتاً زلزله می‌شود. بیشتر گسل‌ها حاصل تغییر مکان‌های مکرری هستند که به شکل ناگهانی یا طی خزشی کند رخ داده‌اند. ناحیه‌ی گسل محدوده‌ی است شامل گسل‌های اصلی و نیز گسل‌های فرعی یا گسل‌های وابسته‌ی که معمولاً در هم رفته و موازی گسل اصلی‌اند. ممکن است این گسل‌های فرعی موازی با گسل اصلی نباشند و به شکل شاخه‌هایی و اگر از آن فاصله بگیرند براساس مقیاسی که برای گسل در نظر گرفته شده و روی آن مطالعه می‌شود، ناحیه‌ی گسل دارای عرض معینی است که از چند فوت تا چندین مایل تغییر می‌کند.^[۲] گسل‌ها کاملاً پنهان‌اند مگر آن که بر اثر ایجاد عوارض توپوگرافی مشهود شده باشند. وجود گسل در یک منطقه لزوماً حاکی از احتمال وقوع زلزله نیست، بلکه حرکات زمین ممکن است غیر زلزله‌ی یا اصولاً گسل غیرفعال باشد. نامشهود بودن سطحی گسل نیز نمی‌تواند به معنای عدم احتمال وقوع زلزله باشد. در حقیقت در بسیاری از زلزله‌ها، پارگی گسل به سطح زمین نمی‌رسد.^[۳]

علائم زمین‌شناسی استاندارد برای تشریح جهت گسل در فضا به کار می‌رود. برای مطالعه‌ی گسل‌های بزرگ، دست‌کم در فواصل کوتاه می‌توان آنها را به صورت صفحه در نظر گرفت. جهت‌یابی صفحه‌ی گسل توسط امتداد و شیب آن صورت می‌پذیرد. امتداد گسل خط افقی است که از داخل صفحه‌ی گسل و صفحه‌ی افق به وجود می‌آید. آزیموت امتداد (مثلاً $E 60^{\circ} N$) برای توجیه جهت گسل نسبت به شمال به کار می‌رود. شیب پایین‌دست توسط زاویه‌ی شیب -- زاویه‌ی بین صفحه‌ی گسل و صفحه‌ی افق -- تعریف می‌شود. گسل قائم دارای زاویه‌ی شیب 90° است.^[۴]

نمود گسل خطی است که از تقاطع صفحه‌ی گسل با سطح زمین حاصل می‌شود. این خط معرف گسل مربوطه در نقشه‌ی گسل‌ها است.^[۵] اهمیت تعیین نمود گسل برای برآورد خطر گسیختگی زمین بسیار زیاد است و در این راستا، اولین گام اساسی است. اطلاعات به دست آمده از نمود گسل با ضریب اهمیت سازه‌ها ترکیب شده و به صورت جداول استاندارد که مبنای تصمیم‌گیری برای ساخت‌وساز بر روی یا در اطراف گسل‌های فعال‌اند، تهیه و سازمان‌دهی می‌شوند. از اثرات ثبت‌شده و تعیین موقعیت‌شده‌ی گسلش برای تعیین ناحیه‌ی گسل (ناحیه‌ی که در آن احتمال وقوع تغییر مکان بسیار شدید در حد چندین متر وجود دارد) استفاده می‌شود. در برخی مناطق، این ناحیه به شکل یک خط ساده است و عرض آن وابسته به دقت تعیین نشانه‌های گسلش است؛ اما در مناطقی که نشانه‌های گسل پیچیده است یا چیزی در دست نیست، عرض ناحیه‌ی گسل زیاد است و به پیچیدگی‌ها و عدم قطعیت‌ها در تعیین محل گسل روی زمین بستگی دارد. در هر حال مطالعه‌ی دقیق و جزئی‌تر گسل می‌تواند کمک شایانی باشد به کاهش عدم قطعیت و در نتیجه کاهش عرض ناحیه‌ی گسل.^[۶]

گسل فعال گسلی است که در گذشته بارها گسیخته شده و تاریخچه‌ی آن نشان می‌دهد که ممکن است باز هم گسیخته شود. این گسل‌ها در منطقه‌ی خود موجد ریسک خطر گسلش هستند که میزان آن وابسته به دوره‌ی بازگشت گسیختگی، پیچیدگی‌های گسیختگی و طبیعت ساخت و ساز در منطقه است.^[۷] طبق تعریف هیأت زمین‌شناسی و معدن کالیفرنیا، گسل فعال گسلی است که در دوره‌ی هولوسین (یازده هزار سال گذشته) دارای تغییر مکان سطحی بوده است. البته این تعریف بیان‌گر این مطلب نیست که گسل‌های بدون تغییر مکان در دوره‌ی هولوسین غیرفعال‌اند. گسل بر مبنای شواهد زمین‌شناختی غیرفعال شناخته می‌شود و البته به دست آوردن

این شواهد محلی بعضاً بسیار مشکل است.^[۸] به‌عنوان مثال برای تشخیص یک گسل فعال می‌توان گفت در مناطقی که پیوستگی لایه‌های رسوبی قطع شده و یا این رسوبات به یک شیب تند و یا مرز قائم می‌رسند، محل حضور گسل بوده و یا حاصل فرسایش طبیعی باشد. سپس با تعیین سن رسوباتی که احتمال گسیختگی در آنها وجود دارد و سن رسوباتی که گسیخته نشده‌اند می‌توان به حضور گسل در ناحیه‌ی مورد نظر پی برد. به هر حال طبق تعریف مؤسسه‌ی معدن و زمین‌شناسی کالیفرنیا، اثبات حضور لایه‌های رسوبی تغییر شکل نیافته‌ی پیش‌هولوسین (مسن تر از ۱۱۰۰۰ سال) برای بیان عدم حضور گسل فعال الزامی است.^[۹] تمامی ساختمان‌های نزدیک به مرکز یک زلزله‌ی کم‌عمق و بزرگ ناشی از یک گسل فعال، به شدت خواهند لرزید و این لرزش بیشترین خسارت زلزله را ایجاد خواهد کرد. هر ساختمانی که روی دیواره‌ی گسل بنا شده باشد خصوصاً اگر دارای پی‌های مجزا و منفرد باشد، بیشتر آسیب خواهد دید. همچنین در هنگام گسیختگی گسل، ممکن است تغییر مکان افقی یا قائم یا ترکیبی از این دو به وجود آید. بنابراین، تعریف مناسب ناحیه‌ی گسل فعال -- دست‌کم برای اجتناب از تغییر مکان‌های بزرگ گسل که دانش امروزی راهی برای مقابله با آن نمی‌شناسد -- امری حیاتی است. باید دانست که گسل‌ها عامل و منشأ زلزله‌اند، نه حاصل آن. چگونگی تولید زلزله توسط یک گسل چنین است:

۱. در اثر حرکت تدریجی و نسبی صفحات دو سوی گسل، در آن کرنش به وجود می‌آید و این کرنش به مرور انباشته شده و نهایتاً به حد نهایی کرنش برشی قابل تحمل توسط سطح جداکننده‌ی صفحات می‌رسد.

۲. وقتی تنش ایجاد شده بر اثر کرنش‌های برشی تدریجی به حد مقاومت برشی فصل مشترک صفحات گسل (مقاومت اصطکاکی بین دو سطح) می‌رسد، گسیختگی رخ می‌دهد و لبه‌ها نسبت به هم حرکت می‌کنند.

۳. در این هنگام جفت نیروی کششی فشاری که در حالت ایستای قبل از گسیختگی وجود داشتند، به شکل جفت نیروی موازی و عمود بر گسل بر سنگ‌لیه‌های گسل اعمال می‌شود. لنگر این جفت نیرو که به لنگر زلزله موسوم است، برابر است با:

$$M_s = GLdu \quad (۱)$$

که در آن G مدول برشی، L طول گسل، d عمق گسل و u جابه‌جایی گسل در هنگام زلزله است.

۴. لنگر زلزله‌ی به وجود آمده در سنگ‌ها موجب به وجود آمدن و رهاسدن موج‌های کروی خواهد شد که پس از رسیدن به سطح زمین به شکل امواج ریلی در سطح پراکنده می‌شوند.

بدون تردید بین زلزله و گسل رابطه‌ی نزدیکی برقرار است و اعتقاد بر این است که از نظر زمین‌شناسی، شکستگی‌ها و گسل‌ها در اثر بروز زلزله حادث می‌شوند. بررسی مناطق گسلی بعد از وقوع زلزله نشان می‌دهد که جابه‌جایی ناشی از زلزله از ۱ سانتی‌متر تا ۲۰ متر تغییر می‌کند؛ در حالی که اختلاف سطح اندازه‌گیری شده‌ی گسل‌ها گاهی به ۱۰ کیلومتر نیز می‌رسد. برای ایجاد چنین اختلاف سطحی باید هزار یا ده‌هزار زلزله رخ دهد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این قبیل گسل‌ها محل وقوع زلزله‌های بسیار زیادی بوده‌اند و زلزله معلول گسل است، نه علت آن.

۳. خصوصیات حرکات شدید زمین در حوزه‌ی نزدیک گسل و اثرات آنها

حرکات زمین در حوزه‌ی گسل دارای دو ویژگی عمده و منحصر به فرد است که از آثار مهم حضور گسل فعال در منطقه در هنگام زلزله‌اند:

۱.۳. جهت‌پذیری

اثر جهت‌پذیری شامل دو نوع پیش‌ران و پس‌ران می‌شود. اگر گسیختگی گسل به سمت سایت پیشرفت کند، حرکت زمین در سایت دارای جهت‌پذیری پیش‌ران خواهد بود. از آنجا که سرعت انتشار گسیختگی نزدیک به سرعت موج برشی است، در منطقه‌ی دارای جهت‌پذیری پیش‌ران، برهمکنش و تقویت سازنده‌ی امواج باعث ایجاد پالس در ابتدای حرکت خواهد شد.^[۱] چنان‌که پیش‌تر اشاره شد، زلزله یک تغییر مکان برشی است که در نقطه‌ی از گسل ایجاد شده و با سرعتی نزدیک به سرعت موج برشی منتشر می‌شود. انتشار گسیختگی در جهت سایت باعث می‌شود که بیشتر انرژی لرزه‌ی به‌شکل یک پالس بزرگ در شروع حرکت ظاهر شود. این پالس نمایان‌گر انباشتگی اثر امواج منتشره بوده و الگوی انتشار موجب ایجاد این اثر در مؤلفه‌ی عمود بر گسل می‌شود.^[۷]

الف) جهت‌پذیری پیش‌ران: در این حالت گسیختگی گسل به سمت سایتی که سازه‌ی مورد طرح در آن واقع است پیشرفت می‌کند و سازه از مرکز زلزله دور است. این در حالی است که سایت مورد نظر در یک سوی گسل واقع شده و گسیختگی از سوی دیگر گسل شروع و به سمت سایت پیشروی می‌کند. به عبارت دیگر انتشار گسیختگی و لغزش هم‌جهت‌اند. این نوع حرکت شامل تکان‌هایی با دامنه‌ی زیاد و مدت دوام کم است. به‌طور کلی برای ایجاد جهت‌پذیری پیش‌ران حضور دو عامل ضروری است: ۱. جهت انتشار گسیختگی به طرف سایت باشد؛ ۲. جهت لغزش گسل نیز هم‌راستا با تغییر مکان سایت باشد. جهت‌پذیری پیش‌ران نه تنها در گسل‌های امتداد لغز -- و در ناحیه‌ی نسبتاً وسیعی که شرایط ایجاد جهت‌پذیری پیش‌ران را دارد -- بلکه در گسل‌های شیب لغز -- و در ناحیه‌ی نسبتاً کوچک و محدودی که جهت انتشار گسیختگی به سمت سایت، و جهت لغزش نیز هم‌راستا با حرکت سایت باشد -- نیز رخ می‌دهد. این ناحیه‌ی محدود در حوالی تصویر سطحی کانون زلزله است. در حرکت زمین عمود بر گسل دارای شرایط جهت‌پذیری، یک پالس سرعت دو طرفه (پالس کامل سرعت) در ابتدای حرکت به چشم می‌خورد.^[۷]

ب) جهت‌پذیری پس‌ران: در این حالت سایت عمود بر خط گسیختگی و نزدیک به مرکز زلزله است. در رکود دارای جهت‌پذیری پس‌ران، حرکات با پررود طولانی و دامنه‌ی کم و زمان دوام زیاد به چشم می‌خورند و انرژی لرزه‌ی طی زمان طولانی به سازه منتقل می‌شود. همچنین بیشینه‌ی سرعت، شتاب و تغییر مکان در این حرکت به مراتب کم‌تر از حرکت دارای جهت‌پذیری پیش‌ران است.

اثر جهت‌پذیری در افزایش سرعت بر اثر تداخل امواج افقی برشی به وجود می‌آید و در سازه‌های نزدیک گسل و دور از مرکز زلزله اثرگذار است. در هر حال اثر جهت‌پذیری در جهت عمود بر گسل است. در کل در پررودهای بلند مؤلفه‌ی عمود بر گسل دارای بزرگی بیشتری نسبت به مؤلفه‌ی موازی با آن است.

۲.۳. پرتابش

پرتابش در هنگام گسیختگی یک گسل وابسته به تغییر شکل دائمی و نسبی لبه‌های گسل است. در این حالت حرکت یک لبه از گسل که ناشی از تغییر شکل تکنوتیکی است بر مؤلفه‌ی موازی گسل اثر گذاشته و سرعت آن را افزایش می‌دهد. این مورد، مستقل از فاصله از مرکز زلزله، در سازه‌های نزدیک گسل رخ خواهد داد. حرکت زمین موازی گسل شامل اثر پرتابش بوده و یک پالس سرعت یک طرفه (نیم پالس سرعت) در این حرکت در لبه‌ی لغزنده‌ی گسل وجود خواهد داشت.

حرکات زمین در حوزه‌ی نزدیک گسل که در برگیرنده‌ی تغییر مکان‌ها و سرعت‌های بزرگ اولیه‌اند به شدت باعث آسیب‌رسیدن به ساختمان‌ها شده و در ابتدای حرکت باعث اعمال مقدار زیادی انرژی ورودی به سازه می‌شوند. این حرکات نیازهای طراحی و تغییر مکان‌های بزرگ‌تری را نسبت به حوزه‌ی دور به سازه تحمیل می‌کنند. در این‌گونه حرکات، آن دسته از حرکاتی که جهت انتشارشان عمود بر گسل است از بقیه مهم‌ترند، و در طبقات پایین نسبت به طبقات بالا نیاز شکل‌پذیری بیشتری به سازه اعمال می‌کنند (البته تعیین نیاز شکل‌پذیری در طبقات بالا و پایین یک سازه به سختی و نسبت مقاومت برشی آن وابسته است و در شرایط متفاوت سختی ممکن است احتمال نیاز به تغییر شکل بیشتر در طبقات بالا نسبت به طبقات پایین حس شود). وجود پالس در ابتدای حرکات زمین باعث بی‌اثر شدن جداگرهای لرزه‌ی با پررود متوسط شده و عملاً استفاده از این جداگرها را منتفی می‌کند. با این حال نسبت PGV/PGA در نداشت حوزه‌ی نزدیک، پارامتر کنترل‌کننده‌ی خصوصیات پاسخ مانند برش پایه و نیاز تغییر شکل در پل‌های دارای جداگر لرزه‌ی در حوزه‌ی نزدیک گسل است.^[۸] همچنین به‌کارگیری یک میراگر انرژی تکمیلی به همراه جداگر لرزه‌ی، می‌تواند راهکار مناسبی برای به‌کارگیری جداگرهای لرزه‌ی و طراحی سازه‌ها با استفاده از آنها باشد. ولی باید به این نکته توجه داشت که به‌کارگیری این میراگر با سختی متوسط ممکن است پاسخ سازه را به مودهای بالاتر ارتعاش منتقل کرده و اهداف اولیه‌ی جداگر لرزه‌ی را نقض کند. لذا انتخاب جداگرهای نیمه‌فعال با میراگر تکمیلی تنظیم‌شونده، بهترین مورد برای سازه‌های مجهز به جداگر مثل پل‌ها است.^[۹] نتایج مطالعات انجام شده نشان می‌دهند که پاسخ ساختمان‌های با پررود طبیعی بیشتر از پررود پالس در حوزه‌ی نزدیک بسیار متفاوت از پاسخ سازه‌های با پررود کم‌تر از آن است. این در حالی است که جاری شدن پیش از موعد در طبقات بالا و نیاز شکل‌پذیری زیاد در طبقات پایین به وجود می‌آید.^[۱۰] علاوه بر دو ویژگی مهم ذکر شده در حوزه‌ی نزدیک، مؤلفه‌ی قائم نیز که به اندازه‌ی دوسوم حداکثر مؤلفه‌ی افقی در نظر گرفته می‌شود و همچنین مؤلفه‌ی چرخشی حرکت زمین، در پاسخ سازه‌های این ناحیه مؤثرند.

۴. طیف طرح حوزه‌ی نزدیک

همان‌طور که در بخش‌های گذشته بررسی شد، به علت انتشار گسیختگی با سرعتی معادل و کمی کم‌تر از سرعت موج برشی، منطقه‌ی بحرانی وجود دارد که امواج از قسمت‌های مختلف گسیختگی به‌طور هم‌زمان به آنجا رسیده و یکدیگر را تقویت می‌کنند و باعث بروز پالسی با پررود بلند در ابتدای حرکت زمین در جهت عمود بر گسل -- معروف به اثر جهت‌پذیری -- می‌شوند. لذا برآورد خطر لرزه‌ی و به‌کارگیری آن در طراحی بر مبنای عملکرد سازه‌های واقع در ناحیه‌ی نزدیک به گسل، به‌شکلی که اثرات پالس جهت‌پذیری پیش‌ران را در بر داشته باشد ضروری است. در گذشته روابط کاهیدگی شتاب برای اثر جهت‌پذیری پیش‌ران توسط محققین^[۱۱] ارائه شده

پالس، پرپود پالس (T_p) و شدت پالس ($a_{g,max} = a_{eff}$) تعریف می‌شود.^[۱۲] T_p تابع بزرگی زلزله است و از طریق رابطه‌ی $\log_{10} T_p = -1.76 + 0.31M$ تعیین می‌شود. به دلیل انتخاب شکل مربع برای پالس معادل شتاب، بیشینه‌ی سرعت به صورت $v_{g,max} = v_{eff} = a_{eff} T_p / 4$ محاسبه می‌شود. برای تعیین شدت پالس معادل، تفاوت بین بیشینه‌ی شکل‌پذیری به دست آمده برای طبقات، حاصل از رکورد حوزه‌ی نزدیک و پالس معادل، کمیته می‌شود. با توجه به رگرسیون نتایج حاصل از نگاشت‌های با بزرگی و فواصل متفاوت، رابطه‌ی $\log_{10} v_{eff} = -2.03 + 0.65M - 0.47 \log_{10} R$ حاصل می‌شود. با پیداشدن پارامترهای پالس معادل شتاب، پاسخ سازه در حالت کشسان و غیرکشسان تحت آن محاسبه و طیف‌های مربوطه رسم می‌شوند.^[۱۳]

در این نوشتار با استفاده از روش پردازش رکورد حرکت زمین، رکوردهای بانک رکوردهای جنبش نیرومند زمین PEER بر مبنای این که آیا در آنها پالس ناشی از جهت‌پذیری وجود دارد یا نه، طبقه‌بندی و جدا می‌شوند. رکوردهایی هم که دارای پالس هستند، در بررسی اثر پالس بر طیف پاسخ در حوزه‌ی نزدیک به کار گرفته می‌شوند. با انجام عملیات پردازش سیگنال روی رکوردهای PEER، تعداد ۹۱ رکورد دارای پالس جهت‌پذیری پیش‌ران تشخیص داده شده که فهرست آنها در جدول ۱ نشان داده شده است. همچنین این تحلیل امواج برای تهیه‌ی طیف پاسخ باند باریک (تقویت شده در باند باریکی از فرکانس) برای استفاده در تحلیل خطر لرزه‌ی در حوزه‌ی نزدیک با احتساب اثر جهت‌پذیری، الزامی است.^[۱۳] این پالس در جهت‌پذیری پیش‌ران دارای پرپودی است که بستگی دارد به بزرگی زلزله، و باعث شدیدتر شدن مؤلفه‌ی عمود بر گسل نسبت به مؤلفه‌ی موازی با گسل در پرپودهای بیشتر از ۰/۵ ثانیه می‌شود.^[۱۴] در این روش، شناسایی و جداسازی پالس با استفاده از آنالیز و تبدیل موجک انجام می‌پذیرد. این تبدیل مشابه تبدیل فوریه است با این تفاوت که به جای توابع سینوسی مورد استفاده در تبدیل فوریه، از توابع متغیر استفاده می‌شود.^[۱۳] تابع پایه‌ی تبدیل موجک به شکل معادله‌ی ۴ تعریف می‌شود:

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{S}} \Phi\left(\frac{t-L}{S}\right) \quad (4)$$

که در آن Φ تابع پایه‌ی موجک، S پارامتر مقیاس، و L پارامتر موقعیت مکانی است. رکورد مورد نظر زمین به شکل ضرابی برای این تابع پایه، با مقیاس‌ها و موقعیت مکانی نسبت به زمان، تبدیل می‌شود. دو نوع تبدیل موجک پیوسته و ناپیوسته وجود دارد که در اینجا برای تحلیل و جداسازی پالس از رکورد از نوع پیوسته‌ی این تبدیل^[۱۳] استفاده خواهیم کرد زیرا موج زلزله را دقیق‌تر مدل‌سازی می‌کند. عملکرد این تبدیل در شناسایی و جداسازی پالس به این صورت است که اگر شکل تابع پایه‌ی موجک به پالس سرعت جهت‌پذیری شبیه باشد، پالس سرعت در تبدیل موجک، برای موجکی که دارای مقیاس و موقعیت مکانی مربوط به پالس باشد با ضریب بسیار بزرگی ظاهر خواهد شد. این ضریب می‌تواند برای شناسایی حضور پالس در رکورد و جداسازی آن به کار رود. در شکل ۱ جداسازی پالس سرعت از رکورد اصلی حرکت زمین به صورت شماتیک نشان داده شده است. در این شیوه‌ی جداسازی پالس دو استثنا وجود دارد که پالس‌های شناسایی شده با خصوصیات این دو استثنا به عنوان پالس سرعت جهت‌پذیری مطرح نشده و از رده‌بندی حذف می‌شوند. اولین استثنا پالس‌های دارای بیشینه‌ی سرعت کم‌تر از ۳۰ cm/s هستند که حتی اگر حرکت زمین شامل این پالس‌ها دارای شکل پالسی مشخص باشد، به علت کم بودن شدت آنها، عامل این نوع پالس‌ها جهت‌پذیری به حساب نمی‌آید. دومین موضوع این است که به دلیل این که پالس جهت‌پذیری در شروع نگاشت مربوط به مؤلفه‌ی عمود بر

ولی به علت محدودیت نمونه‌های حرکت زمین با پالس سرعت مشخص، این روابط برای یک مدل جهت‌پذیری باندپهن (شامل بازه‌ی وسیعی از فرکانس تحریک) ارائه شده‌اند. در این مدل باندپهن، مقادیر شتاب به شکل یکنواخت با تغییر پرپود، افزایش می‌یابد. تحقیقات اخیر در این زمینه نشان می‌دهد که حرکت زمین با یک پالس سرعت مشخص، تنها باعث افزایش پاسخ کشسان سازه در محدوده‌ی باریکی از پرپودها می‌شود که این محدوده در بازه‌ی به همسایگی پرپود پالس واقع است. بنابراین نیاز به پیدایش روابط کاهیدگی باندباریک (متفاوت در بازه‌ی کوچکی از فرکانس) برای حرکت زمین که در آن مقادیر طیفی تنها در این باند باریک حول T_p اصلاح می‌شوند مورد توجه واقع شده است، ولی برآورد صحیح T_p به علت وجود اغتشاش در پالس سرعت، با دشواری‌هایی همراه است. با این حال مطالعات انجام‌شده نشان داده‌اند که در نظر گرفتن پرپود پالس معادل با پرپود متناظر با بیشینه‌ی مقدار سرعت طیفی با استهلاک ۰/۵٪ یا معادل با بیشینه‌ی سرعت حرکت زمین می‌تواند تخمین مناسبی برای T_p باشد. با تعیین T_p مشخص است که تنها سازه‌هایی که محدوده‌ی فرکانس طبیعی آنها در محدوده‌ی فرکانس پالس باشد از آن متأثر می‌شوند. بنابراین با واردکردن پارامتر پرپود پالس (T_p) در روابط کلاسیک تعیین طیف طراحی، می‌توان آن را برای یافتن اندازه‌ی شدت‌های حرکت زمین در حوزه‌ی نزدیک با احتساب اثر جهت‌پذیری پیش‌ران در طراحی براساس عملکرد به کار برد. با توجه به خصوصیات حرکات زمین در حوزه‌ی نزدیک و پاسخ متفاوت سازه‌ها به این حرکات نسبت به حرکات زمین در حوزه‌ی دور از گسل، می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر طیفی و شکل طیف نیز در حوزه‌ی نزدیک متفاوت بوده و دارای خصوصیات منحصر به فردی است. به علت وجود پالس سرعت در حرکت زمین دارای جهت‌پذیری پیش‌ران با جهت انتشار عمود بر گسل در حوزه‌ی نزدیک، منطقه‌ی سرعت حساس طیف باریک شده و به سمت پرپودهای طولانی‌تر پیش می‌رود. در سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۰ معادلاتی ارائه شد که بیان‌گر ارتباط پالس سرعت در مؤلفه‌ی عمود بر گسل با بزرگی زلزله و فاصله از گسل است. در این روابط از اطلاعات حرکت زمین در فواصل ۱۰ km و کوچک‌تر، از گسل استفاده شده و پرپود پالس مستقل از فاصله از گسل در نظر گرفته شده است. در این راستا دو رابطه برای سنگ و خاک با احتساب دو زلزله‌ی چی‌چی تایوان و کوکالی ترکیه (۱۹۹۹) ارائه شده‌اند^[۱۵] که عبارت‌اند از:

$$\log_{10} T_{Dir} = -3.17 + 0.5M_w \quad (2)$$

$$\log_{10} T_{Dir} = -2.02 + 0.346M_w \quad (3)$$

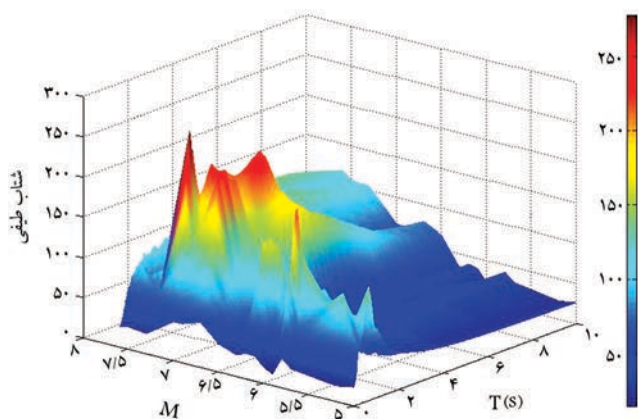
معادله‌ی ۲ برای خاک و معادله‌ی ۳ برای بستر سنگی ارائه شده‌اند. با توجه به مطالعات انجام‌شده می‌توان گفت که در پرپودهای متوسط، حرکت زمین در زلزله‌های کوچک شدیدتر از زلزله‌های بزرگ است که دلیل آن نحوه‌ی گسیختگی گسل و انتشار گسیختگی تا سطح است. در زلزله‌هایی که دارای گسیختگی سطحی باشند، حرکت زمین در این محدوده‌ی پرپود ضعیف‌تر از زلزله‌های با گسیختگی زیرسطحی‌اند. محققین نشان داده‌اند که زلزله‌های دارای بزرگی ۶/۷ تا ۷/۰ دارای گسیختگی زیرسطحی است، و زلزله‌های با بزرگی بیش از ۷/۲ دارای گسیختگی سطحی‌اند.^[۱۵] به همین دلیل در طیف‌های پاسخ در پرپودهای متوسط (بین ۰/۵ و ۲/۵ ثانیه) زلزله‌های با بزرگی کوچک‌تر دارای مقادیر بیشتری هستند.

به منظور شناسایی بهتر اثر پالس، جدا کردن حرکات با فرکانس پایین از حرکات با فرکانس بالا به وسیله‌ی روش‌های پردازش سیگنال توصیه شده و به کار گرفته می‌شود. روش پالس شتاب معادل برای سازه‌هایی که نسبت پرپود طبیعی آنها به پرپود پالس (T/T_p) بین ۰/۳۷۵ تا ۳ است برای محاسبه‌ی پاسخ سازه‌ها و تهیه‌ی طیف حوزه‌ی نزدیک می‌تواند مناسب باشد. این پالس معادل به وسیله‌ی پارامترهای نوع

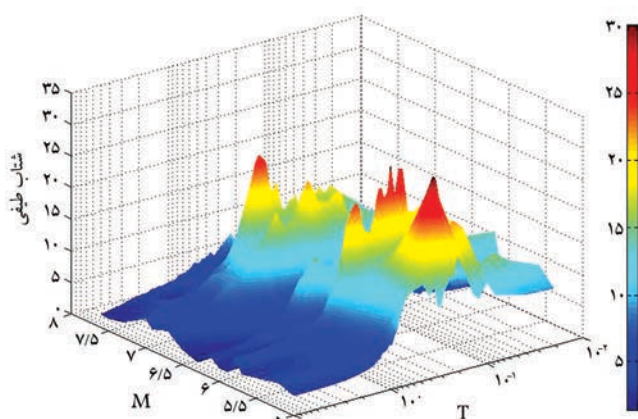
جدول ۱. مشخصات رکوردهای دارای جهت پذیری پیش ران.

Year	Mag	PGV	Distance	Location	Depth
۱۹۹۴	۱٫۷	۷۷٫۱	۵٫۹	Northridge-۰۱	۴۵
۱۹۹۴	۲٫۴	۸۷٫۸	۵٫۵	Northridge-۰۱	۴۶
۱۹۹۴	۰٫۵	۵۰٫۴	۷٫۰	Northridge-۰۱	۴۷
۱۹۹۴	۰٫۹	۱۰۷٫۱	۷٫۰	Northridge-۰۱	۴۸
۱۹۹۴	۱٫۲	۱۶۷٫۲	۶٫۵	Northridge-۰۱	۴۹
۱۹۹۴	۳٫۵	۱۳۰٫۳	۵٫۴	Northridge-۰۱	۵۰
۱۹۹۴	۳٫۵	۱۱۶٫۶	۵٫۲	Northridge-۰۱	۵۱
۱۹۹۴	۳٫۱	۱۲۲٫۷	۵٫۳	Northridge-۰۱	۵۲
۱۹۹۵	۱٫۴	۷۲٫۶	۰٫۳	Kobe, Japan	۵۳
۱۹۹۵	۱٫۶	۱۶۹٫۶	۱٫۵	Kobe, Japan	۵۴
۱۹۹۹	۵٫۹	۵۲٫۰	۱۰٫۹	Kocaeli, Turkey	۵۵
۱۹۹۹	۲٫۶	۶۴٫۷	۹٫۸	Chi-Chi, Taiwan	۵۶
۱۹۹۹	۱٫۴	۴۲٫۰	۱۲٫۷	Chi-Chi, Taiwan	۵۷
۱۹۹۹	۴٫۸	۸۵٫۴	۱۰٫۰	Chi-Chi, Taiwan	۵۸
۱۹۹۹	۳٫۴	۳۳٫۰	۱۰٫۲۴	Chi-Chi, Taiwan	۵۹
۱۹۹۹	۶٫۴	۶۲٫۳	۲۸٫۱	Chi-Chi, Taiwan	۶۰
۱۹۹۹	۶٫۲	۵۹٫۹	۳۰٫۲	Chi-Chi, Taiwan	۶۱
۱۹۹۹	۸٫۶	۴۲٫۸	۳۵٫۷	Chi-Chi, Taiwan	۶۲
۱۹۹۹	۵٫۴	۶۲٫۴	۱۹٫۸	Chi-Chi, Taiwan	۶۳
۱۹۹۹	۷٫۰	۵۰٫۹	۲۵٫۴	Chi-Chi, Taiwan	۶۴
۱۹۹۹	۶٫۳	۵۳٫۰	۲۲٫۱	Chi-Chi, Taiwan	۶۵
۱۹۹۹	۹٫۱	۴۷٫۳	۲۶٫۳	Chi-Chi, Taiwan	۶۶
۱۹۹۹	۸٫۶	۴۴٫۰	۱۶٫۷	Chi-Chi, Taiwan	۶۷
۱۹۹۹	۱۱٫۸	۴۴٫۸	۳٫۸	Chi-Chi, Taiwan	۶۸
۱۹۹۹	۱۲٫۹	۴۱٫۹	۶٫۰	Chi-Chi, Taiwan	۶۹
۱۹۹۹	۱۰٫۵	۶۰٫۹	۵٫۳	Chi-Chi, Taiwan	۷۰
۱۹۹۹	۱۲٫۹	۴۳٫۵	۱۰٫۵	Chi-Chi, Taiwan	۷۱
۱۹۹۹	۱۲٫۰	۳۳٫۷	۸٫۵	Chi-Chi, Taiwan	۷۲
۱۹۹۹	۵٫۷	۱۲۷٫۷	۰٫۶	Chi-Chi, Taiwan	۷۳
۱۹۹۹	۱۲٫۲	۱۹۱٫۱	۰٫۳	Chi-Chi, Taiwan	۷۴
۱۹۹۹	۵٫۱	۸۸٫۴	۰٫۹	Chi-Chi, Taiwan	۷۵
۱۹۹۹	۴٫۰	۶۳٫۷	۲٫۸	Chi-Chi, Taiwan	۷۶
۱۹۹۹	۹٫۲	۵۶٫۱	۵٫۲	Chi-Chi, Taiwan	۷۷
۱۹۹۹	۹٫۰	۵۳٫۷	۷٫۰	Chi-Chi, Taiwan	۷۸
۱۹۹۹	۷٫۵	۳۲٫۷	۴۷٫۷	Chi-Chi, Taiwan	۷۹
۱۹۹۹	۱۰٫۰	۶۸٫۴	۲٫۱	Chi-Chi, Taiwan	۸۰
۱۹۹۹	۹٫۷	۱۰۶٫۶	۱٫۵	Chi-Chi, Taiwan	۸۱
۱۹۹۹	۸٫۳	۶۲٫۲	۶٫۱	Chi-Chi, Taiwan	۸۲
۱۹۹۹	۱۲٫۰	۳۱٫۴	۱۲٫۹	Chi-Chi, Taiwan	۸۳
۱۹۹۹	۹٫۰	۷۸٫۷	۱۳٫۲	Chi-Chi, Taiwan	۸۴
۱۹۹۹	۱۰٫۳	۵۱٫۸	۸٫۳	Chi-Chi, Taiwan	۸۵
۱۹۹۷	۱٫۳	۳۷٫۰	۶٫۱	Northwest China-۰۳	۸۶
۲۰۰۰	۰٫۷	۴۳٫۰	۵٫۰	Yountville	۸۷
۱۹۹۹	۳٫۲	۳۳٫۱	۱۹٫۷	Chi-Chi, Taiwan-۰۳	۸۸
۱۹۹۹	۱٫۴	۶۹٫۹	۲۲٫۴	Chi-Chi, Taiwan-۰۳	۸۹
۱۹۹۹	۰٫۹	۵۹٫۴	۱۴٫۷	Chi-Chi, Taiwan-۰۳	۹۰
۱۹۹۹	۲٫۸	۳۶٫۳	۳۶٫۰	Chi-Chi, Taiwan-۰۶	۹۱

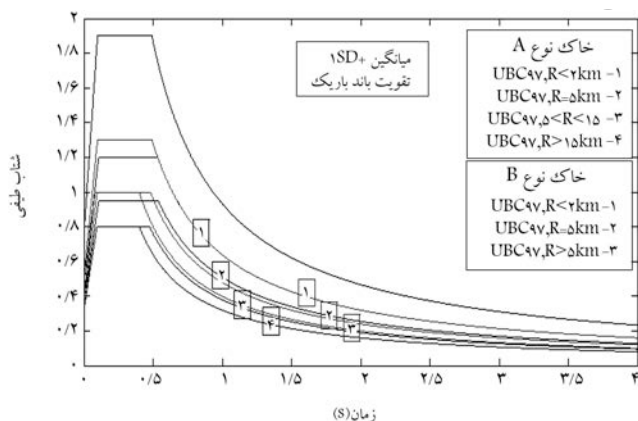
Closest D.	M _w	PGV	Tp (s)	Year	Event	#
۱٫۸	۶٫۶	۱۱۶٫۵	۱٫۶	۱۹۷۱	San Fernando	۱
۳٫۱	۵٫۷	۵۱٫۵	۱٫۲	۱۹۷۹	Coyote Lake	۲
۰٫۳	۶٫۵	۴۴٫۳	۲٫۴	۱۹۷۹	Imperial Valley-۰۶	۳
۰٫۷	۶٫۵	۵۴٫۴	۲٫۳	۱۹۷۹	Imperial Valley-۰۶	۴
۱۰٫۴	۶٫۵	۳۶٫۱	۴٫۰	۱۹۷۹	Imperial Valley-۰۶	۵
۷٫۳	۶٫۵	۵۴٫۵	۴٫۵	۱۹۷۹	Imperial Valley-۰۶	۶
۰٫۱	۶٫۵	۱۱۵٫۰	۳٫۳	۱۹۷۹	Imperial Valley-۰۶	۷
۶٫۲	۶٫۵	۴۶٫۹	۴٫۵	۱۹۷۹	Imperial Valley-۰۶	۸
۱۲٫۵	۶٫۵	۴۱٫۱	۷٫۴	۱۹۷۹	Imperial Valley-۰۶	۹
۱۲٫۹	۶٫۵	۴۱٫۱	۵٫۲	۱۹۷۹	Imperial Valley-۰۶	۱۰
۷٫۱	۶٫۵	۷۷٫۹	۴٫۶	۱۹۷۹	Imperial Valley-۰۶	۱۱
۴٫۰	۶٫۵	۹۱٫۵	۴٫۰	۱۹۷۹	Imperial Valley-۰۶	۱۲
۱٫۴	۶٫۵	۱۱۱٫۹	۳٫۸	۱۹۷۹	Imperial Valley-۰۶	۱۳
۰٫۶	۶٫۵	۱۰۸٫۸	۴٫۲	۱۹۷۹	Imperial Valley-۰۶	۱۴
۳٫۹	۶٫۵	۴۸٫۶	۵٫۴	۱۹۷۹	Imperial Valley-۰۶	۱۵
۵٫۱	۶٫۵	۵۹٫۶	۵٫۹	۱۹۷۹	Imperial Valley-۰۶	۱۶
۷٫۷	۶٫۵	۵۵٫۱	۴٫۸	۱۹۷۹	Imperial Valley-۰۶	۱۷
	۵٫۹	۳۳٫۱	۱٫۱	۱۹۸۰	Mammoth Lakes-۰۶	۱۸
۱۰٫۸	۶٫۹	۴۱٫۵	۳٫۱	۱۹۸۰	Irpinia, Italy-۰۱	۱۹
۱۶٫۷	۵٫۹	۳۵٫۸	۳٫۶	۱۹۸۱	Westmorland	۲۰
	۵٫۸	۴۱٫۲	۰٫۷	۱۹۸۳	Coalinga-۰۵	۲۱
	۵٫۸	۴۶٫۱	۰٫۹	۱۹۸۳	Coalinga-۰۵	۲۲
	۵٫۲	۳۶٫۱	۰٫۴	۱۹۸۳	Coalinga-۰۷	۲۳
۰٫۵	۶٫۲	۶۲٫۳	۱٫۰	۱۹۸۴	Morgan Hill	۲۴
۹٫۹	۶٫۲	۳۵٫۴	۱٫۲	۱۹۸۴	Morgan Hill	۲۵
	۶٫۳	۳۱٫۲	۱٫۶	۱۹۸۶	Taiwan SMART\۱(۴۰)	۲۶
	۶٫۳	۳۶٫۱	۱٫۶	۱۹۸۶	Taiwan SMART\۱(۴۰)	۲۷
۴٫۰	۶٫۱	۷۳٫۶	۱٫۴	۱۹۸۶	N. Palm Springs	۲۸
۶٫۳	۵٫۸	۶۲٫۳	۰٫۹	۱۹۸۶	San Salvador	۲۹
۲۰٫۸	۶٫۰	۳۰٫۴	۰٫۸	۱۹۸۷	Whittier Narrows-۰۱	۳۰
۲۴٫۵	۶٫۰	۳۲٫۹	۱٫۰	۱۹۸۷	Whittier Narrows-۰۱	۳۱
۱٫۰	۶٫۵	۱۰۶٫۸	۲٫۳	۱۹۸۷	Superstition Hills-۰۲	۳۲
۷٫۱	۶٫۹	۳۲٫۲	۲٫۰	۱۹۸۹	Loma Prieta	۳۳
۱۱٫۱	۶٫۹	۴۵٫۷	۱٫۷	۱۹۸۹	Loma Prieta	۳۴
۷۴٫۳	۶٫۹	۴۹٫۲	۱٫۸	۱۹۸۹	Loma Prieta	۳۵
۸٫۵	۶٫۹	۵۵٫۶	۴٫۵	۱۹۸۹	Loma Prieta	۳۶
۴٫۴	۶٫۷	۹۵٫۴	۲٫۷	۱۹۹۲	Erzican, Turkey	۳۷
۸٫۲	۷٫۰	۸۲٫۱	۳٫۰	۱۹۹۲	Cape Mendocino	۳۸
۳۴٫۹	۷٫۳	۳۰٫۴	۸٫۹	۱۹۹۲	Landers	۳۹
۲٫۲	۷٫۳	۱۴۰٫۳	۵٫۱	۱۹۹۲	Landers	۴۰
۲۳٫۶	۷٫۳	۵۳٫۲	۷٫۵	۱۹۹۲	Landers	۴۱
۵٫۴	۶٫۷	۶۷٫۴	۳٫۵	۱۹۹۴	Northridge-۰۱	۴۲
۵٫۴	۶٫۷	۶۷٫۴	۳٫۵	۱۹۹۴	Northridge-۰۱	۴۳
۲۳٫۶	۶٫۷	۳۲٫۴	۲٫۴	۱۹۹۴	Northridge-۰۱	۴۴



شکل ۲. مقادیر سرعت طیفی برحسب بزرگی زلزله و پرپود سازه.

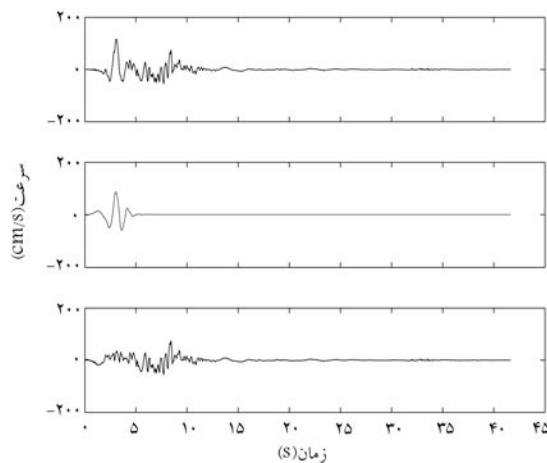


شکل ۳. مقادیر طیف پاسخ شتاب برحسب بزرگی زلزله و پرپود سازه.



شکل ۴. طیف طرح پیشنهادی حوزه‌ی نزدیک و مقایسه‌ی آن با طیف‌های UBC97، با احتساب ضرایب حوزه‌ی نزدیک و خاک نوع A و B، در فواصل متفاوت از گسل.

طرح مربوط به هر بازه‌ی بزرگی زلزله به دست آمدند. در نهایت به دلیل وجود عدم قطعیت و کمبود تعداد رکوردها در برخی بزرگی‌های زلزله، طیف‌های به دست آمده به صورت جداگانه بررسی و ارائه شده و به طور محافظه کارانه میانگین‌گیری شدند. این طیف طرح میانگین به صورت طیف طرح پیشنهادی در حوزه‌ی نزدیک و مقایسه‌ی آن با طیف‌های UBC97، با احتساب اثر حوزه‌ی نزدیک و دو نوع خاک A و B در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۱. جداسازی پالس از رکورد حرکت زمین.

گسل حوزه‌ی نزدیک ظاهر می‌شود، باید تحقیق شود که پالس جداسازی شده در ابتدای رکورد حرکت زمین وجود داشته یا خیر. بنابراین رکوردهایی که دارای پالس در جایی غیر از ابتدای رکورد باشند از برنامه‌ی تهیه‌ی طیف پاسخ حوزه‌ی نزدیک حذف می‌شوند. در این نوشتار با استفاده از بانک رکوردهای NGA در PEER، ۹۱ رکورد دارای پالس جهت‌پذیری تشخیص داده شده و با توجه به بزرگی زلزله در تهیه‌ی طیف مورد استفاده قرار گرفته‌اند.^[۱۳] در این راستا برای تعیین پرپود پالس از رابطه‌ی ۵ استفاده می‌شود:

$$E(LnT_p) = -5.78 + 1.02M \quad (5)$$

که در آن T_p پرپود پالس (که می‌توان آن را با تحلیل موجک نیز تعیین کرد)، E تابع مقدار میانگین، و M بزرگی زمانی زلزله است. انحراف معیار استاندارد محاسبه شده برای مقدار میانگین LnT_p برابر با ۰٫۵۵ است.

لازم به ذکر است که رکوردهایی که در جدول ۱ تکرار شده‌اند، مربوط به یک زلزله و ثبت شده در ایستگاه‌های متفاوت‌اند. همان‌طور که اشاره شد، اثر جهت‌پذیری حوزه‌ی نزدیک برای اولین بار در سال ۱۹۹۷ در طیف پاسخ مورد بررسی قرار گرفت. در روش اصلاح طیف باندهای سامروایل همه‌ی مقادیر طیفی به طور یکساخت با ضریب تقویتی وابسته به پارامترهای هندسی منبع و ساختگاه که وقوع پالس جهت‌پذیری در آن محتمل است، تشدید می‌شدند. ولی در مدل‌های دقیق‌تر دیگر (علوی و کروینکلر ۲۰۰۱؛ فو و منون ۲۰۰۴؛ سامروایل ۲۰۰۳؛ توئونگ و کرنل ۲۰۰۷) مقادیر طیف برای احتساب اثر حوزه‌ی نزدیک تنها در بازه‌ی محدودی از فرکانس در همسایگی پرپود پالس تقویت می‌شود.

در اینجا به منظور بهبود روند تهیه‌ی طیف طراحی، و رویارویی مناسب‌تر با عدم قطعیت‌ها و نیز برای به دست آوردن طیف پاسخ، با توجه به وابستگی پرپود پالس جهت‌پذیری به بزرگی زلزله ابتدا ۹۱ رکورد دارای پالس، با توجه به بزرگی متناظر آنها طبقه‌بندی شده و با به دست آمدن طیف میانگین به علاوه‌ی یک انحراف معیار در هر بزرگی زلزله، نتایج حاصل به صورت طیف پاسخ شتاب و سرعت برحسب بزرگی و پرپود به شکل سه بعدی رسم شده‌اند. نتایج عملیات مذکور در شکل ۲ و ۳ قابل مشاهده است. در نهایت با به دست آوردن طیف طراحی به علاوه‌ی انحراف معیاری در هر مقدار بزرگی زلزله، با توجه به تأثیر پرپود پالس در هر بزرگی زلزله در شکل طیف پاسخ، مقادیر شتاب طیفی حاصل از طیف‌های پاسخ در هر گروه بزرگی زلزله (که بیانگر مقدار معینی از پرپود پالس است) در پرپودهای کوتاه و ۱ ثانیه برای به دست آوردن طیف طرح نهایی، به صورت جداگانه میانگین‌گیری شده و طیف‌های

۵. نتیجه‌گیری

در این راستا با توجه به تأثیر پارامتر پرپود پالس بر پاسخ سازه‌ها و وابستگی آن به بزرگی زلزله، ابتدا رکوردهای حرکت زمین دارای پالس جهت پذیری با استفاده از تبدیل موجک جداسازی شده و سپس براساس بزرگی زلزله طبقه‌بندی شدند. با میانگین‌گیری طیف‌های پاسخ در هر بزرگی زلزله و محاسبه‌ی انحراف معیار، طیف پاسخ سه‌بعدی میانگین به‌علاوه‌ی یک انحراف معیار برحسب پرپود سازه و بزرگی زلزله رسم شده و نهایتاً طیف طراحی با احتساب اثر پالس در پرپودهای کوتاه و ۱ ثانیه رسم و با طیف‌های آیین‌نامه‌ی UBC97 دارای ضرایب حوزه‌ی نزدیک مقایسه شد. با این مقایسه می‌توان نتیجه گرفت که برای طراحی سازه‌ها و تعیین مناسب عملکرد آنها در حوزه‌ی نزدیک گسل، باید مقادیر شتاب طیفی حاصل از طیف طرح سازگار با پارامترهای مؤثر در این ناحیه به‌کار رود.

با توجه به احتمال وجود پالس جهت‌پذیری پیش‌ران در مؤلفه‌ی عمود بر گسل، در نواحی گسل‌های فعال، به‌کارگیری روش‌های مناسب طراحی و ارائه‌ی طرحی ایمن برای سازه‌های حوزه‌ی نزدیک گسل امری اجتناب‌ناپذیر و الزامی است. با توجه به عدم احتساب مناسب اثرات حوزه‌ی نزدیک در دستورالعمل آیین‌نامه‌های طراحی سازه‌ها برای بار زلزله، پوشش مناسب عدم قطعیت‌های موجود در ارائه‌ی مدل مناسب پدیده‌ی گسلش و اثرات آن در جنبش نیرومند حرکت زمین و به‌کارگیری ابزار طراحی کارا برای دست‌یابی به طرحی قابل اطمینان در روند مرسوم مهندسی مورد توجه قرار گرفته است.

منابع

- Alavi, B. and Krawinkler, H. "Effects of near-fault ground motions on frame structures", The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford university, Technical Report No. 138 (2001).
- William, A.; Bryant, W. and Earl, W. "Fault-rupture hazard zones in California", Alquist-Priolo Earthquake Fault Zoning Act. Interim Revision (2007).
- Mirhoseini, S.M. "Seismic geotechnical engineering", ISBN 964-6490-07-7, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology press, Tehran, Iran (2005).
- Van Dissen, R. and Heron, D., *Earthquake Fault Trace Survey*, Kapiti Coast District, Institute of Geological & Nuclear Sciences client report 2003/77 Project Number: 430W6910 (2003).
- Kerr, J.; Nathan, S.; Van Dissen, R.; Web, P.; Burnsdon, D. and King, A., *Planning for Development of Land on or Close to Active Faults*, Institute of Geological and Nuclear Science, Ministry for the Environment, Wellington, New Zeland (2003).
- Moghadam, H. "Earthquake engineering, basics and applications", ISBN 964-6490-07-7, Highway Research Center, Press Tehran, Iran, (1999).
- Somerville, P., *Characterizing Near Fault Ground Motion for the Design and Evaluation of Bridges*, URS Corp., 566 El Dorado St., Pasadena, CA 91101 (2005).
- Liao, W.; Loh, C. and Lee, C. "Comparison of dynamic response of isolated and non-isolated continuous girder bridges subjected to near-fault ground motions", *ELSEVIER, Engineering Structures*, **26**, pp. 2173-2183 (2004).
- Providakis, C.P. "Effect of LRB isolators and supplemental viscous dampers on seismic isolated buildings under near-fault excitations", *ELSEVIER, Engineering Structures*, **46**, (8) pp.1415-1424 (2007).
- Baker, J.W. "Quantitative classification of near-fault ground motions using wavelet analysis", *Stanford University, Bulletin of seismological society of America*, **97**(5), pp. 1486-101 (2007).
- Somerville, P. "Magnitude scaling of the near fault rupture directivity pulse", *ELSEVIER, Physics of the Earth and Planetary Interiors*, **137**, pp. 201-212 (2003).
- Galal, K. and Ghobarah, A. "Effect of near-fault earthquakes on North American nuclear design spectra", *Elsevier, Nuclear Engineering and Design*, **236**, pp. 1928-1936 (2006).
- Baker, J.W. and ASCE., M. "Identification of near-fault velocity pulses and prediction of resulting response spectra", *Elsevier Proceedings, Geotechnical Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **IV** (2008).
- Pacific Earthquake Engineering Research Center, "PEER strong motion database", <http://peer.bekeley.edu./sm cat> (2008).

Archive of SID