

نسبت پاسخ طیفی V/H زلزله‌های دارای پالس حوزه نزدیک گسل بر اساس داده‌های ایران

میلاذ محمدیان^{۱*}، عباس مهدویان^۲، نعمت حسینی^۲^۱ کارشناس ارشد، مهندسی عمران گرایش زلزله، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
^۲ دانشیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

(دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۱، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۵)

چکیده

در سال‌های اخیر، وقوع زمین‌لرزه‌های بزرگ در نزدیکی مناطق مهم و مسکونی دنیا خسارات جانی و مالی فراوان بر جای گذاشته که سبب توجه پژوهشگران به این موضوع و همچنین بررسی اثرهای متفاوت زلزله‌های حوزه نزدیک گسل نسبت به زلزله‌های حوزه دور از گسل شده است. زلزله‌های حوزه نزدیک گسل ویژگی‌هایی یکتا و ماهیتی متفاوت دارند که ممکن است توجه نکردن به این تفاوت‌ها باعث افزایش چندین برابری میزان خرابی و آسیب شود؛ بنابراین با توجه به اهمیت موضوع و همچنین به دلیل کمبود منابع و تحقیقات گسترده در این زمینه با توجه به داده‌های ایران، جهت در نظر گرفتن اثر مؤلفه قائم و نسبت آن با مؤلفه افقی داده‌های حوزه نزدیک گسل دارای پالس ایران این پژوهش صورت گرفته است. برای این منظور تعداد ۱ داده از پایگاه داده PEER و ۴۵۰ داده حوزه نزدیک گسل مربوط به ایران از مرکز تحقیقات مسکن و شهرسازی تهیه و مؤلفه افقی پالس‌گونه این نگاشت‌ها (مؤلفه عمود بر امتداد گسل) تشخیص داده شد. با استفاده از طیف پاسخ شتاب این مؤلفه‌ها، نسبت طیفی مؤلفه قائم به مؤلفه افقی عمود بر امتداد گسل نگاشت‌های پالس‌گونه تعیین شد. به دلیل تعداد کم شتاب‌نگاشت‌های ثبت شده از زمین‌لرزه‌های پالس‌گونه نزدیک گسل و همچنین جهت در نظر گرفتن اثر محلی ساختگاه، از داده‌های ثبت شده روی خاک‌های نوع ۱ و ۲ به عنوان ساختگاه‌های سنگی و خاک‌های نوع ۳ و ۴ به عنوان ساختگاه خاکی استفاده و روابطی مرتبط با اقدامات صورت گرفته برای دو دسته‌بندی سنگ و خاک ارائه شد. با توجه به نتایج توصیه می‌شود در سازه‌های با توزیع گسترده مکانی، پل‌ها، شریان‌های حیاتی و همچنین برای نیروی قائم معرفی شده در آیین‌نامه ۲۸۰۰ که جهت در نظر گرفتن اثر مؤلفه قائم زمین‌لرزه برای برخی از اعضای سازه است، پیشنهاد می‌شود از نسبت طیفی V/H این پژوهش (در آیین‌نامه ۲۸۰۰ برای کل سازه) استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: نگاشت پالسی شکل، زلزله حوزه نزدیک، پالس سرعت، آیین‌نامه ۲۸۰۰، نسبت طیف پاسخ

۱ مقدمه

نگاشت‌های ثبت‌شده از زمین‌لرزه‌های اخیر نشان می‌دهد زلزله‌های حوزه نزدیک ویژگی‌های متفاوتی نسبت به زلزله‌های حوزه دور دارند (علوی و کراوینکلر، ۲۰۰۱). این گونه زلزله‌ها که در نزدیکی یک گسل فعال رخ می‌دهند، نگاشت‌های پالسی با دوره تناوب بلند و یک یا چند اوج سرعت در تاریخچه زمانی سرعت دارند. پس از شناخته شدن برخی از خصوصیات زلزله‌های حوزه نزدیک در دهه پنجاه قرن بیستم میلادی، مهم‌ترین مطالعات را در آن زمان هادسون و هوسنر (۱۹۵۸)، بولت (۱۹۷۱) و برترو و همکاران (۱۹۷۸) انجام دادند.

یکی از موضوعات مهم و جدید در طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها، پل‌ها، سازه‌های با توزیع گسترده مکانی و شریان‌های حیاتی، توجه به مؤلفه قائم زلزله است. مشاهدات میدانی نشان می‌دهند بسیاری از تخریب‌ها در فواصل رومرکزی کوتاه، به‌خصوص در اعضای قائم دهانه‌های طولیل پل‌ها و ساختمان‌ها، با حرکت نیرومند مؤلفه قائم زمین مرتبط است. در گذشته تصور می‌شد پیشینه شتاب حرکت قائم زلزله، به دلیل محتوای انرژی کمتر در مقایسه با مؤلفه افقی آن، توانایی ایجاد خرابی درخور توجهی در سازه‌ها ندارد (برسنو و همکاران، ۲۰۰۲)، اما زلزله‌های نورتریج و لوماپریتا در آمریکا، زلزله کوبه در ژاپن و زلزله بم در ایران سبب آسیب دیدن و فروپاشی ساختمان‌های فولادی، بتنی و همچنین پل‌های متعددی شدند که می‌توان آن را به مؤلفه حرکت قائم زلزله نسبت داد؛ بنابراین توسعه شبکه‌های لرزه‌نگاری و همچنین توانمندی متخصصان در تحلیل دینامیکی دقیق سازه‌ها، موجب جلب توجه بسیاری از پژوهشگران به مؤلفه قائم زلزله و اثر آن بر سازه شده است (بزرگ‌نیا و نیاززی ۱۹۹۳؛ بزرگ‌نیا و همکاران، ۱۹۹۵؛ بزرگ‌نیا و کمپل، ۲۰۰۴؛ محمدیان و مهدویان، ۱۳۹۴؛ محمدیان، ۱۳۹۵ و محمدیان و همکاران، ۱۳۹۶).

در مطالعات پیشین و برخی آیین‌نامه‌های طراحی، معمولاً از مؤلفه قائم زلزله‌ها صرف‌نظر شده یا فرضیات ساده‌ای همچون دوسوم مؤلفه افقی برای آن لحاظ شده است. از جمله راهکارهای ساده و متداول در طراحی برای تعیین خصوصیات طیف طرح مؤلفه قائم زلزله، استفاده از روابط تجربی نسبت طیفی مؤلفه قائم به افقی (V/H) است. در این راهکار طیف طرح افقی ویژه ساختگاه در سطح زمین مشخص می‌شود سپس با ضرب نسبت طیفی V/H در طیف طرح افقی، طیف طرح مؤلفه قائم به‌دست‌می‌آید (بزرگ‌نیا و کمپل، ۲۰۰۴).

واتابه و همکاران (۱۹۹۰) با استفاده از مجموعه‌ای از حرکات نیرومند زمین در ایالات متحده، بین دامنه‌های مؤلفه قائم و افقی حرکت زمین، وابستگی نظام‌مندی پیدا کردند و پیشنهاد دادند قوانین ساده‌ای برای برآورد طیف پاسخ قائم از طیف افقی ایجاد شود. نیازی و بزرگ‌نیا (۱۹۹۲) در بررسی اثر بزرگ‌ا و فاصله بر نسبت طیفی V/H، صدها طیف پاسخ افقی و قائم از چندین زلزله ثبت‌شده در تایوان را تحلیل کردند. همچنین نیازی و بزرگ‌نیا (۱۹۹۳) به بررسی طیف پاسخ افقی و قائم روی ساختگاه‌های خاکی و سنگی در زلزله لوماپریتای کالیفرنیا پرداختند. بزرگ‌نیا و همکاران (۱۹۹۶) طی مطالعاتی طیف پاسخ افقی و قائم ثبت‌شده روی ساختگاه‌های خاکی را در زلزله سال ۱۹۹۴ نورتریج کالیفرنیا تحلیل کردند. نتایج این مجموعه مطالعات برای اولین بار نشان داد نسبت طیفی V/H به میزان زیادی به دوره تناوب‌های طیفی و فاصله از گسل وابسته است، به‌طوری‌که V/H مقدار بیشینه مشخصی در محدوده دوره تناوب‌های کوچک دارد و در نواحی نزدیک گسل، مقدار آن حتی از مقدار متداول دوسوم نیز تجاوز می‌کند. بورا (۱۹۸۱) و کمپل (۱۹۸۲) دریافتند که رفتار نسبت طیفی V/H در ناحیه نزدیک به گسل در زمین‌لرزه‌های

فواصل نزدیک منبع زلزله در ساختگاه‌های خاکی، اختلاف درخور توجه بین سرعت موج برشی در مرز سنگ بستر لرزه‌ای و خاک، سبب می‌شود تا موج برشی برخوردی (SV) به موج فشاری P تبدیل شود. این موج P تبدیلی هم‌زمان با انتشار در محیط خاکی تقویت می‌شود و با نزدیک شدن به سطح، به دلیل تغییرات شدیدتر در سرعت موج فشاری رسوبات (V_p) در مسیر قائم‌تری منتشر می‌شود. از طرف دیگر، چون امواج برشی زلزله نسبت به امواج فشاری دامنه بزرگ‌تری (در حدود پنج برابر) دارند، مشارکت موج برشی تبدیل‌شده به موج فشاری در مؤلفه قائم زلزله در ساختگاه خاکی نسبت به حالتی که مؤلفه قائم تنها با موج فشاری ایجاد شود (مثلاً ساختگاه سنگی)، به میزان چشمگیری افزایش می‌یابد.

امیربکیان و بولت (۱۹۹۸)، سیتا و پولیزی (۱۹۹۶) و انصاری و یامازاکی (۱۹۹۸) نیز در مطالعات خود به بررسی تفاوت‌های بین ویژگی‌های طیفی حرکت‌های قائم و افقی زمین‌لرزه‌های نزدیک گسل از دیدگاه زلزله-شناختی پرداختند. با وجود تمامی این شواهد، برخی از شیوه‌نامه‌های مهندسی در ایالات متحده هنوز توصیه می‌کنند که از یک مقدار ثابت (۰/۶۷) برای نسبت V/H در طول بازه زمانی موردنظر مهندسی استفاده شود (فما-۲۰۰۰، ۳۵۶).

در نسخه‌های قدیمی‌تر آیین‌نامه‌ها، تأثیر مؤلفه قائم زلزله فقط به صورت ضریبی از مؤلفه افقی لحاظ شده است؛ برای مثال UBC-97 (Uniform Building Code) (یویی‌سی-۹۷، ۱۹۹۷) مقدار طیف پاسخ مؤلفه قائم در همه زمان تناوب‌ها را ۰/۶۷ مقدار طیف مؤلفه افقی بیان می‌کند. UBC-97 این واقعیت را پذیرفته که در فاصله‌های کوتاه، نسبت V/H به فاصله منبع از محل وابسته است و توصیه به استفاده از طیف‌های پاسخ قائم ساختگاه برای مکان‌های واقع در نزدیکی گسل‌های فعال کرده است؛ باین حال، هم UBC-97 و هم International Code

بزرگ به طور چشمگیری متفاوت از آن چیزی است که برای بزرگ‌گام‌های کوچک‌تر و فاصله‌های دورتر پیش‌بینی شده است. بر اساس این مطالعات، کمپل (۱۹۸۵) پیشنهاد کرد که در هنگام برآورد حرکت قائم زمین برای طراحی، باید قاعده کلی استاندارد مهندسی با فرض در نظر گرفتن مقدار ۰/۶۷ برای نسبت V/H بار دیگر ارزیابی و بازنگری شود. از سوی دیگر، برسنو و همکاران (۲۰۰۲) بر اساس تجزیه و تحلیل پنج زلزله مشهور در کالیفرنیا دریافتند که امواج برشی (SV) در حرکات قائم زمین در دوره تناوب‌های بیش از ۰/۱ ثانیه غالب هستند و در دوره تناوب‌های کوتاه‌تر، امواج P ممکن است به عاملی مهم در این حرکات زمین تبدیل شوند.

در تحقیقات گسترده‌ای که در این حوزه و مرتبط با زلزله‌های نزدیک گسل صورت گرفته است، ضرایب مختلفی برای نسبت طیفی V/H ارائه شده است. علاوه بر رابطه کمپل و بزرگ‌نیا (۲۰۰۳)، سه رابطه کاهشی دیگر برای شمال غربی آمریکا (WNA) وجود دارد که به طور معمول در فعالیت‌های مهندسی استفاده می‌شود و تخمینی از مؤلفه‌های افقی و قائم حرکت نیرومند زمین را برای یک محیط زمین‌ساختی پوسته‌ای سطحی فعال فراهم می‌کند (صادیق و همکاران، ۱۹۹۳؛ آبراهامسون و سیلوا، ۱۹۹۷؛ کمپل، ۱۹۹۷، ۲۰۰۰، ۲۰۰۱). تنها رابطه صادیق و همکاران (۱۹۹۳) برای ساختگاه سنگی فراگیر و معتبر است، درحالی‌که روابط دیگر به سایر شرایط محل نیز اشاره دارد.

برخی دیگر از محققان جهت مشاهده وابستگی نسبت V/H به فاصله و شرایط ساختگاهی، تفسیرهایی مبتنی بر لرزه‌شناسی ارائه کرده‌اند؛ برای مثال سیلوا (۱۹۹۷) با استفاده از تعداد زیادی از اطلاعات پایگاه داده‌های جنبش نیرومند زمین، بزرگا، فاصله، شرایط محلی ساختگاه و شرایط زمین‌ساختی را بر شکل طیف پاسخ شتاب مؤلفه‌های افقی و قائم مؤثر دانست و بیان کرد که در

احتساب ضریب اهمیت سازه پیشنهاد شده است؛ بنابراین با توجه به همه این اوصاف و به دلیل خطر لرزه‌ای بالا در کشور و وجود گسل‌های فراوان در نزدیکی بسیاری از شهرهای ایران، احتمال وقوع زلزله‌های حوزه نزدیک با مؤلفه قائم قوی فراوان است. به این ترتیب، در زمین‌لرزه‌های نزدیک گسل اگر حرکت قائم زمین برای کارایی سازه مهم باشد، باید طیف مؤلفه قائم تهیه شود یا با روش‌های معتبری نسبت V/H تعیین شده و از روی طیف مؤلفه افقی زلزله، طیف مؤلفه قائم نیز تهیه شود. اگرچه طیف مؤلفه قائم زلزله با طیف مؤلفه افقی آن متناسب است، اما این نسبت عدد ثابتی نیست و به پارامترهای مختلفی نظیر دوره تناوب، فاصله از گسل، جنس خاک، بزرگای زلزله و نوع گسل بستگی دارد.

۲ خصوصیات زلزله‌های نزدیک گسل

برای تشخیص زمین‌لرزه‌های نزدیک به گسل‌های فعال باید ویژگی زلزله‌های حوزه نزدیک گسل، جهت‌پذیری شکست و جابه‌جایی ضربه‌ای ماندگار زمین لحاظ شود. به‌طور معمول ویژگی زمین‌لرزه‌ها در محدوده نزدیک گسل به سه عامل سازوکار شکست، جهت انتشار شکست نسبت به ساختگاه و تغییر مکان دائمی ناشی از لغزش گسل بستگی دارد. زمانی که یک گسل شروع به شکستن می‌کند، شکست از نقطه‌ای واقع بر امتداد گسل ایجاد می‌شود و بسته به محل آغاز گسیختگی، به ابتدا، انتها یا هر دو جهت گسترش می‌یابد. به گسترش شکست در امتداد گسل جهت‌پذیری شکست گفته می‌شود (علوی و کراوینکلر، ۲۰۰۱).

شکل ۱ تاریخچه زمانی ثبت شده سرعت و جابه‌جایی مؤلفه عمود بر امتداد گسل زلزله ۱۹۹۶ پارک‌فیلد کالیفرنیا را در ایستگاه $C02$ نشان می‌دهد (ماورودیس و پاپاجورجیو، ۲۰۰۳). گسیختگی از مرکز زلزله (علامت ستاره) آغاز شده، در راستای گسل (خط پررنگ) انتشار

(Council) (آی‌بی‌سی، ۲۰۰۰) توصیه‌هایی در قالب راهنمایی درباره چگونگی توسعه طیف طراحی قائم به‌خصوص در منطقه نزدیک به منبع ارائه می‌دهند.

برخی از استانداردهای بین‌المللی، طیف مؤلفه قائم را مستقل از مؤلفه افقی معرفی کرده‌اند؛ برای نمونه کمیسیون انرژی اتمی آمریکا (U. S. Atomic Energy Commission) در راهنمای تنظیمی ۱/۶۰ خود برای توسعه طیف پاسخ طراحی در نیروگاه‌های هسته‌ای نوشته است که V/H می‌تواند در دوره تناوب‌های کوتاه به مقدار واحد نزدیک شود (کمیسیون انرژی اتمی آمریکا، ۱۹۷۳)، اما جامعه مهندسی ایالات متحده در تصویب شیوه‌نامه جدید با تصور اینکه حرکت قائم زمین برای طراحی مهم نیست، تمایلی به تأیید و به‌کارگیری این موضوع نشان نداده است.

در یک دهه گذشته، کمیسیون اتحادیه اروپا (Commission of the European Communities) در استاندارد ساختمان اروپا (EC8) اجازه تغییر نسبت V/H را با دوره تناوب داده است، اما این نسبت از ۰/۶۷ در دوره تناوب‌های کوتاه تا ۰/۵ در دوره تناوب‌های طولانی متغیر است (کمیسیون اتحادیه اروپا، ۱۹۹۳).

مؤسسه نفت آمریکا (American Petroleum Institute) نیز در RP 2A-WSD (۱۹۹۳) توصیه می‌کند که از نسبت ۰/۵ برای V/H استفاده شود. البته، تمرکز اصلی این مؤسسه بر دوره تناوب‌های بلند سازه‌ها است.

در استاندارد ۲۸۰۰ ایران ویرایش چهارم (۱۳۹۳) در ساختمان‌هایی که در مناطق با خطر نسبی خیلی زیاد واقع شده‌اند، تیرهای با دهانه بیشتر از ۱۵ متر، تیرهایی که بار قائم درخور توجهی حمل می‌کنند و بالکن‌هایی که به‌صورت طره ساخته می‌شوند، در نظر گرفتن اثر مؤلفه قائم زلزله به‌صورت یک نیروی قائم در کل سازه ضروری توصیف شده است. مقدار این نیروی قائم برابر ۰/۶ شتاب مبنای طرح در مقدار بار مرده (بار مرده به‌اضافه سربار) با

شکست نسبت به ساختگاه قرار داشتند و ترسیم تاریخیچه شتاب‌نگاشت و بررسی معیارهای پیشنهادی بیکر (۲۰۰۷) آن دسته از داده‌های حوزه نزدیک گسل انتخاب شدند که پالس زلزله در آنها مشهود بود.

گفتنی است با توجه به دسته‌بندی سرعت موج برشی در انواع خاک‌ها (خاک‌های نوع ۱، ۲، ۳ و ۴)، ابتدا کل داده‌ها از هم تفکیک شدند سپس اقدامات لازم برای آنها انجام شد.

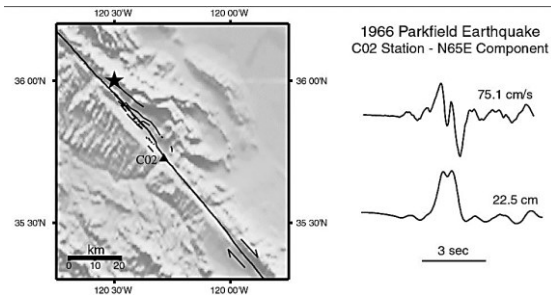
جهت در نظر گرفتن اثر محلی ساختگاه بر نسبت طیفی V/H، همچنین به دلیل پراکندگی و کمبود داده‌ها به‌خصوص در خاک‌های نوع ۳ و ۴، نگاشت‌های این دو گروه با هم ترکیب و به‌عنوان نماینده گروه خاک و نگاشت‌های ثبت‌شده در خاک‌های نوع ۱ و ۲ نیز با هم ترکیب و به‌عنوان نماینده گروه سنگ معرفی شده است. شکل‌های ۲ و ۳ توزیع بزرگای زمین‌لرزه‌ها نسبت به فاصله رومرکز و بیشینه شتاب مربوط به ۷۵ داده گزینش شده را نشان می‌دهد.

با توجه به اینکه هدف پژوهش، تعیین نسبت طیفی V/H بر اساس داده‌های میدان نزدیک ایران است، جهت تعیین این نسبت، طیف شتاب مؤلفه قائم نگاشت پالس گونه بر طیف شتاب مؤلفه عمود بر امتداد گسل همان نگاشت تقسیم شده است. این اقدام برای کل ۷۵ داده صورت گرفته و با میانگین‌گیری از داده‌های خروجی در هر دسته (سنگ یا خاک)، نمودارهای تهیه و برای این نمودارها با استفاده از رگرسیون خطی مدل پیشنهادی معرفی شده است.

مراحل پردازش کل داده‌ها به قرار زیر است:

- ۱) تعیین نگاشت‌های حوزه نزدیک گسل با جهت‌پذیری پیش‌رونده که در برگزیده مشخصات نگاشت پالس گونه پیشنهادی بیکر (۲۰۰۷) به‌صورت مشهود باشند؛
- ۲) تفکیک مؤلفه‌های مختلف یک نگاشت و تعیین مهم‌ترین مؤلفه (مؤلفه پالسی شکل)؛

یافته و در ایستگاه مذکور (علامت مثلث) ثبت شده است.



شکل ۱. اثر جهت‌داری و انتشار گسلش روی پالس‌های سرعت و جابه‌جایی در زلزله ۱۹۹۶ پارک‌فیلد کالیفرنیا (ماورودیس و پاپاجورجیو، ۲۰۰۳)

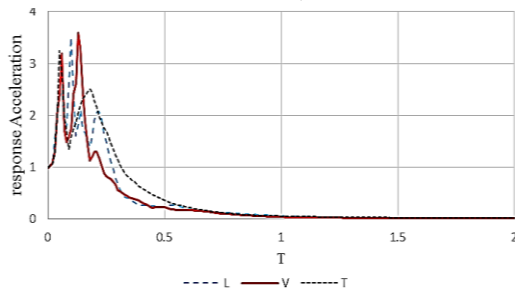
۳ انتخاب و پردازش داده‌ها

در این پژوهش اطلاعات شتاب‌نگاشت‌ها، سرعت موج برشی ایستگاه‌ها و نوع خاک محل ثبت شتاب‌نگاشت از بانک اطلاعاتی مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی (شبکه شتاب‌نگاری زلزله ایران، <http://www.bhrc.ac.ir>) و پایگاه داده (Peer Pacific Earthquake Engineering Research Center, <https://ngawest2.berkeley.edu>) تهیه شده است. مجموعه داده‌های جمع‌آوری شده شامل زلزله‌های ثبت‌شده ایران تا پایان سال ۲۰۱۵ با فاصله رومرکزی کمتر از ۳۰ کیلومتر، بیشینه شتاب ثبت‌شده بیشتر از $0.1g$ و بزرگای ممان زلزله $M_w \geq 5$ است (محمدیان و همکاران، ۱۴۰۱). آیین‌نامه ۲۸۰۰ (کمیته دائمی بازنگری آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، ۱۳۹۳) با توجه به میانگین سرعت موج برشی ۳۰ متر اول لایه خاک از سطح، جنس زمین را به چهار نوع طبقه‌بندی کرده است (جدول ۱). سرعت موج برشی بیشتر ایستگاه‌های شتاب‌نگاری کشور را مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی محاسبه کرده است.

برای پردازش داده‌ها، در ابتدا تعداد ۴۵۱ نگاشت نزدیک گسل انتخاب شد که از این تعداد، ۷۵ نگاشت دارای پالس شدید با جهت‌پذیری پیش‌رونده تشخیص داده شد. با انتخاب نگاشت‌هایی که در جهت انتشار

۴ شتاب طیفی نگاشت پالسی شکل

در این بخش تفاوت‌های شتاب طیفی مؤلفه‌های افقی و قائم یک نگاشت پالس گونه بررسی شده است. شکل ۴ طیف پاسخ نگاشت شماره ۲۰-۲۲۲۰ ایستگاه کره‌بس را نشان می‌دهد. این نگاشت در فاصله ۵ کیلومتری از گسل مسبب آن ثبت شده است و متفاوت بودن طیف شتاب مؤلفه افقی عمود بر امتداد گسل را نسبت به دو مؤلفه دیگر می‌توان تشخیص داد. در این شکل، L ، T و V به ترتیب معرف مؤلفه موازی امتداد گسل، مؤلفه عمود بر امتداد گسل و مؤلفه قائم هستند.



شکل ۴. طیف شتاب مؤلفه‌های سه‌گانه نگاشت ۲۰-۲۲۲۰ ایستگاه کره‌بس

۵ نسبت طیف شتاب مؤلفه قائم بر مؤلفه افقی نگاشت پالس گونه

در این بخش ابتدا مؤلفه‌های افقی نگاشت پالس گونه با ویژگی‌های پالسی، انتخاب و طیف شتاب مربوط به این مؤلفه و مؤلفه قائم حرکت زمین رسم شده سپس طیف نرمال شده شتاب مؤلفه قائم نگاشت پالسی شکل بر طیف نرمال شده شتاب مؤلفه افقی عمود بر امتداد گسل همان نگاشت تقسیم شده است.

این مراحل برای کل داده‌ها اجرا و ضرایب طیفی در دوره تناوب‌های مختلف (۴-۰ ثانیه) تعیین و سپس مدل‌سازی ریاضی ضرایب به دست آمده با استفاده از رگرسیون خطی تعیین شده است.

با محاسبه میانگین مربعات خطا و استفاده از الگوریتم Least square در نرم‌افزار Matlab مدل‌سازی این داده‌ها در دسته‌بندی سنگ و خاک انجام شده و در ادامه،

(۳) تصحیح اولیه داده‌های رقومی با روش تصحیح خط مبنای، اجرای عملیات فیلتر میان‌گذر در حوزه فرکانس با انتخاب تابع تبدیل فیلتر باترورث مرتبه ۴ به‌عنوان فیلتر؛

(۴) محاسبه طیف پاسخ شتاب برای مؤلفه‌های افقی و قائم نگاشت‌های پالس گونه اصلاح شده؛

(۵) نرمال کردن طیف‌های حاصل به بیشینه شتاب حرکت زمین (PGA)؛

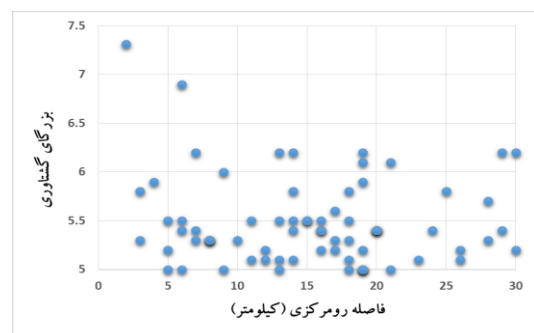
(۶) تعیین نسبت شتاب طیفی V/H هر نگاشت (تقسیم طیف شتاب مؤلفه قائم بر طیف شتاب مؤلفه افقی عمود بر امتداد گسل)؛

(۷) تعیین نسبت طیف پاسخ میانگین کل داده‌ها؛

(۸) ارائه ضریب (مدل) نسبت طیفی پیشنهادی با توجه به نتایج گام قبل.

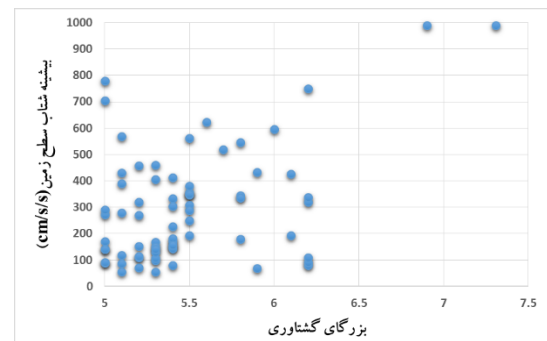
جدول ۱. طبقه‌بندی نوع زمین در آیین‌نامه ۲۸۰۰ (۱۳۹۳)

IV	III	II	I	نوع زمین
$\bar{V}_S \leq 175$	$175 \leq \bar{V}_S \leq 375$	$375 \leq \bar{V}_S \leq 750$	$750 \leq \bar{V}_S$	سرعت موج برشی



شکل ۲. توزیع بزرگای ۷۵ داده انتخاب شده زمین لرزه نسبت به فاصله

رومتری



شکل ۳. توزیع بزرگای ۷۵ داده انتخاب شده زمین لرزه نسبت به بیشینه

شتاب سطح زمین

همکاران، ۲۰۰۲ - شینلی و همکاران، ۲۰۰۷)؛
 (۲) نسبت طیف پاسخ مؤلفه قائم به افقی (Sv/SH) به دوره تناوب سازه و فاصله سازه از صفحه گسلش بستگی دارد. برای دوره تناوب‌های کوتاه، نسبت طیف پاسخ قائم به افقی برای ساختگاه‌های نزدیک گسل بیش از ۰/۶۷ است، درحالی‌که برای دوره تناوب‌های بلند، نسبت ۰/۶۷ بسیار محافظه‌کارانه است (بزرگ‌نیا و کمیل، ۲۰۰۴).

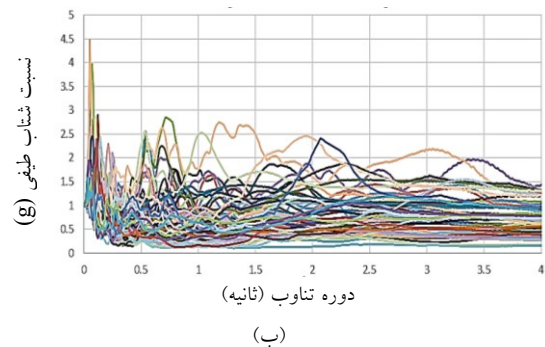
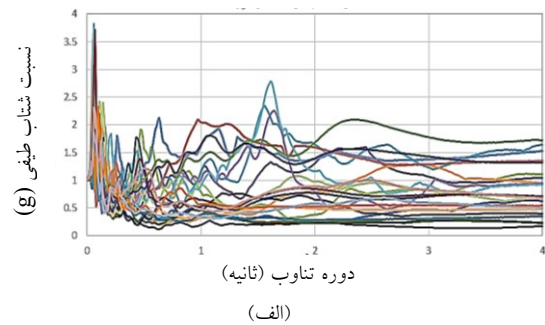
باتوجه به اینکه هدف این پژوهش ارائه ضریب V/H با توجه به داده‌های شتاب‌نگاشت‌های ایران است؛ بنابراین سعی شده است با در نظر گرفتن مهم‌ترین پارامترهای اثرگذار بر این نسبت که شامل نوع گسلش، بزرگ، فاصله از گسل و شرایط محلی ساختگاه است، از مهم‌ترین این پارامترها یعنی فاصله از گسل و شرایط محلی ساختگاه استفاده شود.

داده‌های زلزله‌های نزدیک گسل و همچنین نگاشت‌های پالس‌گونه، از نظر تعداد با محدودیت مواجه هستند. این موضوع زمانی اهمیت می‌یابد که طبقه‌بندی آنها از نظر فاصله از گسل مطرح باشد؛ بنابراین در این پژوهش جهت در نظر گرفتن اثر محلی ساختگاه، مدل‌های پیشنهادی فقط برای دسته‌بندی‌های سنگ و خاک معرفی شده‌اند و از طبقه‌بندی داده‌های مورد استفاده در فواصل مختلف و ارائه معرفی مدل متناسب با پارامتر فاصله (نحوه تغییرات و تأثیر این پارامتر بر نسبت طیفی) صرف نظر شده است.

در ادامه، جهت دستیابی به نتایج نهایی، مراحل زیر اجرا شد:

- ۱) ارائه مدل پیشنهادی (ضریب طیفی) V/H و مقایسه آن با نسبت ضریب طیفی حاصل از میانگین شتاب‌نگاشت‌ها؛
- ۲) ارائه نتایج کلی مراحل پردازش طیف نگاشت‌های زلزله‌های پالسی شکل و تعیین نسبت طیفی برای مجموعه داده‌های منتخب در قالب دو مدل برای دو دسته‌بندی خاک و سنگ (شکل ۶).

ضریب همبستگی در هر روش ارائه شده است تا درک بهتری از دقت مدل پیشنهادی وجود داشته باشد. میزان خطای نسبی و مطلق برای دسته‌بندی سنگ و خاک به صورت مجزا در یک مرحله و همچنین برای کل داده‌ها در مرحله دوم انجام و مقدار خطا ارائه شده است. نمودار کل نسبت‌های V/H برای دسته‌بندی سنگ و خاک به صورت جداگانه در شکل ۵ نشان داده شده است.

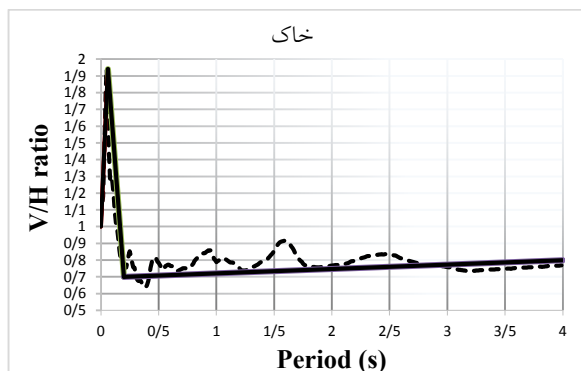


شکل ۵. نسبت شتاب طیفی مؤلفه قائم بر مؤلفه عمود بر امتداد گسل داده‌های پالس‌گونه دسته‌بندی شده در گروه (الف) خاک (ب) سنگ

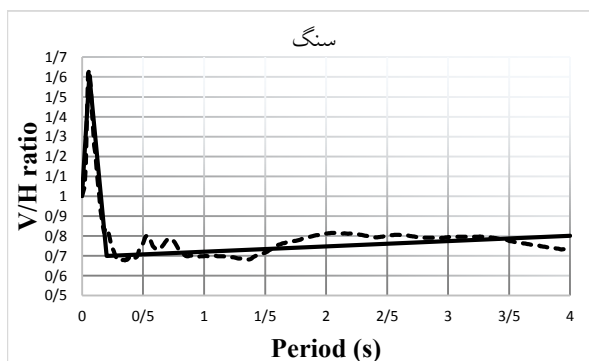
۶ نتایج

مهم‌ترین اثر ویژگی‌های متفاوت مؤلفه قائم در زلزله‌های حوزه نزدیک نسبت به زلزله‌های حوزه دور از دیدگاه بسیاری از پژوهشگران به شرح زیر است:

- ۱) نسبت بیشینه شتاب قائم به بیشینه شتاب افقی (PVA/PHA) در زلزله‌های حوزه نزدیک، بزرگ‌تر از زلزله‌های حوزه دور است. در تعدادی از حالات، این نسبت بیشتر از ۰/۶۷ است که به طور معمول در آیین‌نامه‌ها در نظر گرفته می‌شود. افزایش نسبت مذکور در خاک‌های نرم نسبت به سایر ساختگاه‌ها بیشتر است (وانگ و

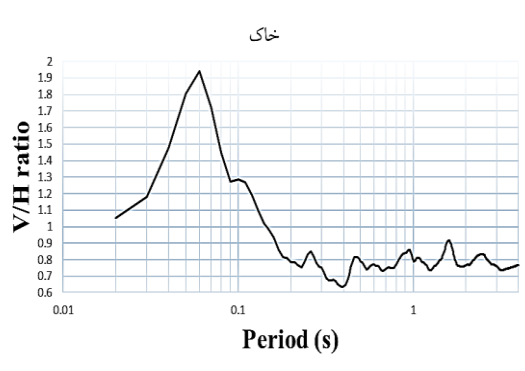


(الف)

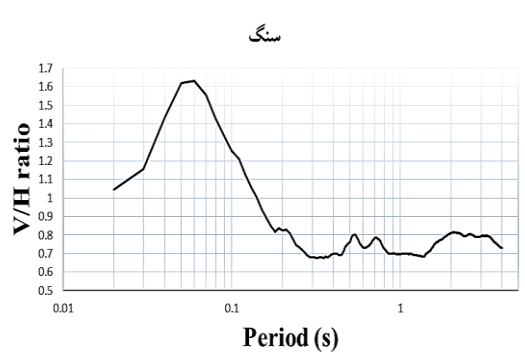


(ب)

شکل ۷. مقایسه میانگین ضرایب نسبی طیفی حاصل از داده‌ها با مدل پیشنهادی برای (الف) خاک (ب) سنگ



(الف)



(ب)

شکل ۶. میانگین ضریب نسبی طیفی حاصل از داده‌ها (محور افقی لگاریتمی) برای گروه (الف) خاک (ب) سنگ

۷ مقایسه ضریب پیشنهادی V/H با ضرایب نسبی طیف حاصل از شتاب‌نگاشت‌ها

برای تعیین بهترین مدل برازش شده خطی با نسبت طیفی V/H به دست آمده در هر یک از دسته‌بندی‌های سنگ و خاک، از الگوریتم Least squares در نرم‌افزار Matlab استفاده و نتایج در شکل‌های ۶ و ۷ ترسیم شده است. جهت درک بهتر مدل‌های معرفی شده، ضریب همبستگی هر مدل ارائه شده است. گفتنی است در شکل‌ها خطوط پیوسته معرف مدل پیشنهادی و خط چین معرف مدل حاصل از میانگین داده‌ها است.

با توجه به ماهیت شتاب‌نگاشت داده‌های ثبت شده روی ساختگاه‌های خاکی که بیشترین دامنه با کشیدگی زیاد و بیشترین نرخ تغییرات در مقادیر دامنه طیفی را در بازه دوره تناوب‌های ابتدایی دارند و میانگین‌گیری از داده‌های

مربوط به این گروه، نمودار شکل ۶-الف حاصل شد. برای دسته‌بندی سنگ نیز این فرایند اعمال شده است. شایان ذکر است جهت جلوگیری از تأثیرپذیری نتایج کلی با نسبت‌ها و داده‌های پرت در بخشی از مراحل انجام شده، انحراف معیار داده‌ها تعیین و داده‌های خارج از این بازه (انحراف از میانگین) حذف شدند که نتایج واقع‌بینانه‌تر باشند.

نظر به اینکه داده‌ها به بیشینه شتاب خود مقیاس شده‌اند و طیف مؤلفه‌های افقی و قائم حاصل به بیشینه شتاب حرکت زمین نرمال شده است، این نسبت در تلاقی با محور قائم با مقدار واحد شروع شده است. محور افقی (T) بیانگر دوره تناوب در بازه ۰ تا ۴ ثانیه و محور قائم (N) ضریب پیشنهادی است.

با طیف واقعی مؤلفه قائم نگاهت‌ها محاسبه و مقدار خطا تعیین شده است. در این محاسبات مقدار خطای مطلق و خطای نسبی، به ترتیب مطابق معادلات (۱) و (۲) تعیین شده است:

$$\text{ERROR} = X_i - N \times X_j \quad (1)$$

$$\text{ERROR} (\%) = \frac{(X_i - N \times X_j)}{X_i} \times 100 \quad (2)$$

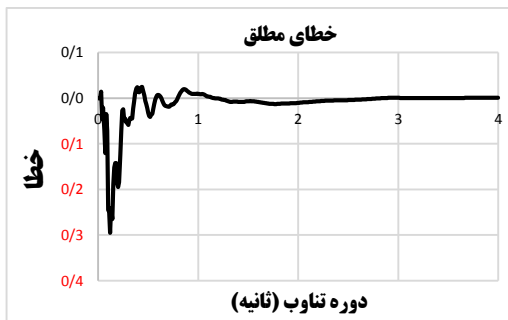
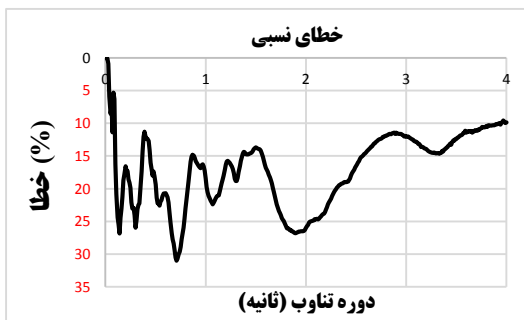
۸ مدل پیشنهادی ضریب نسبی طیف قائم بر افقی مدل‌های پیشنهادی و ضرایب همبستگی مربوط به نمودارهای به‌دست‌آمده در جدول ۲ بیان شده است.

۹ میزان خطای مدل پیشنهادی

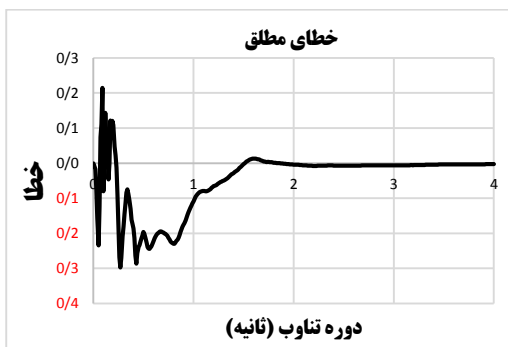
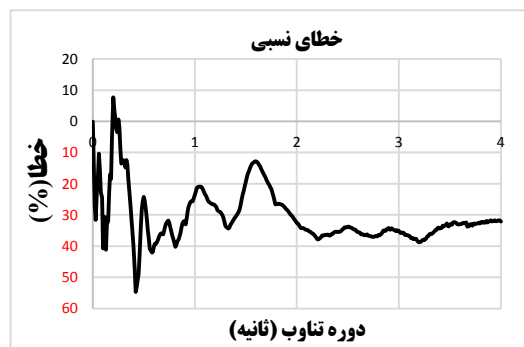
با بررسی مقدار خطای مدل پیشنهادی در دسته‌بندی‌های سنگ و خاک، میانگین اختلاف طیف‌های قائم مدل‌شده

جدول ۲. مدل پیشنهادی طیف مؤلفه قائم بر افقی

سنگ		خاک	
ضریب همبستگی	۰/۹۳	ضریب همبستگی	۰/۸۹
$N = ۱۰/۱۶۷ T + ۱$	$T \leq ۰/۰۶$	$N = ۱۵/۶۶۷ T + ۱$	$T \leq ۰/۰۶$
$N = -۶/۵ T + ۲$	$۰/۰۶ < T \leq ۰/۲$	$N = -۸/۸۵۷ T + ۲/۴۷۱۴$	$۰/۰۶ < T \leq ۰/۲$
$N = ۰/۰۲۶۳ T + ۰/۶۹۴۷$	$۰/۲ < T < ۴$	$N = ۰/۰۲۶۳ T + ۰/۶۹۴۷$	$۰/۲ < T < ۴$



(الف)



(ب)

شکل ۸. میانگین خطای مطلق و نسبی طیف شتاب برای دسته‌بندی (الف) سنگ (ب) خاک

پیشنهادی (مدل‌ها) در دامنه طیف مؤلفه افقی نگاهت در دوره تناوب‌های مختلف و سپس به‌دست‌آوردن اختلاف با دامنه طیف مؤلفه قائم در همان دوره تناوب، مقدار

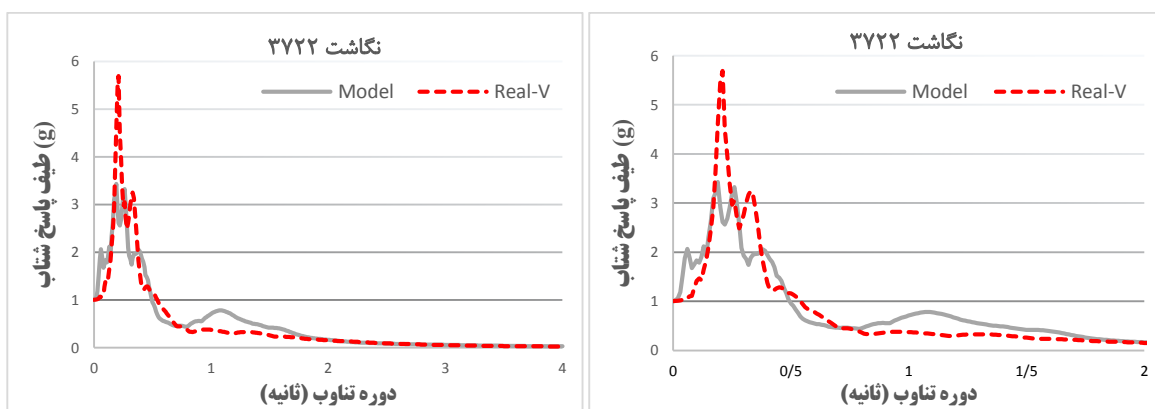
که پارامتر N نسبت طیفی (مدل پیشنهادی) در دسته‌بندی خاک یا سنگ، X_j طیف مؤلفه افقی شتاب‌نگاشت و X_i طیف مؤلفه قائم شتاب‌نگاشت است. با اعمال ضرایب

۱۰ نمونه طیف قائم مدل‌سازی شده با نمونه طیف نگاشت پالس گونه واقعی زمین لرزه

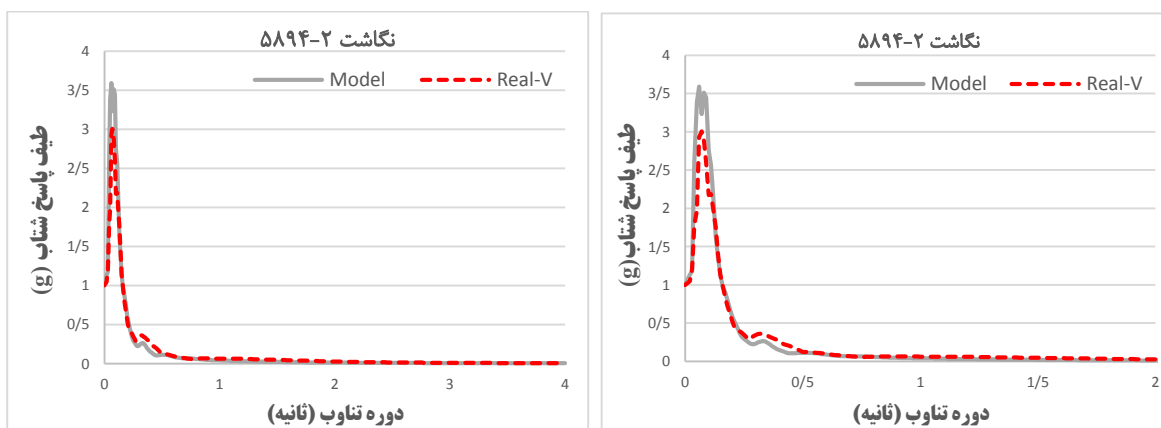
در شکل ۹ با ارائه یک نمونه در دسته‌بندی سنگ و خاک، طیف شتاب مؤلفه قائم مدل‌شده (اعمال ضریب پیشنهادی در طیف مؤلفه افقی) (خطوط خاکستری) با طیف شتاب مؤلفه قائم واقعی نگاشت نزدیک گسل (خطوط قرمز) مربوط به داده‌های شماره ۳۷۲۲ و ۲-۵۸۹۴ ایستگاه‌های سیب سوران و درویشی مقایسه شده است. این ایستگاه‌ها به ترتیب در فاصله ۳۰ و ۶ کیلومتری از گسل مسبب قرار دارند. تفاوت طیف شتاب مدل‌شده با مقدار واقعی را می‌توان در این شکل تشخیص داد.

میانگین خطا در هر دوره تناوب تعیین شده است. حاصل جمع کل این خطاها در دوره تناوب‌های مختلف در شکل ۸ نشان داده شده است. مقادیر منفی در این نمودارها به معنای بیشتر بودن مقدار طیف مؤلفه قائم مدل‌شده در هر دوره تناوب است.

بیشینه مقدار خطای مطلق و نسبی در دوره تناوب‌های مختلف در گروه سنگ به ترتیب برابر ۰/۳ و ۳۰٪ و در گروه خاک برابر ۰/۳ و ۵۵٪ است. دلیل بیشتر بودن میزان خطا در خاک را می‌توان کم بودن اطلاعات و داده‌های موجود در این دسته از داده‌ها دانست؛ بنابراین نتایج نشان می‌دهد باید به طور متوسط درصد خطای نسبی ۲۰٪ و ۳۰٪ را به ترتیب برای سنگ و خاک در کل بازه ۴-۰ ثانیه برای هر یک از مدل‌ها در نظر گرفت.



(الف)



(ب)

شکل ۹. مقایسه طیف قائم مدل‌شده با استفاده از مدل پیشنهادی و نمونه واقعی طیف قائم نگاشت پالس گونه برای (الف) خاک (ب) سنگ

۵) از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر نسبت طیفی V/H می‌توان به بزرگای زمین‌لرزه، فاصله ثبت نگاشت از محل وقوع، شرایط محلی ساختگاهی و نوع گسلش اشاره کرد که پارامتر فاصله و شرایط محلی بیشترین اثرگذاری را بر این نسبت دارند و سایر پارامترها تأثیر کمتری دارند.

۶) با توجه به اینکه نوع گسلش تأثیر زیادی بر نسبت طیفی V/H ندارد، از اعمال این پارامتر بر این نسبت در این پژوهش صرف‌نظر شده است؛

۷) رفتار نسبت طیفی V/H بسیار متأثر از فاصله تا منبع انتشار موج است، اما به دلیل تعداد کم نگاشت‌های ثبت‌شده در فاصله نزدیک به گسل در ایران، از مقایسه و بررسی نسبت V/H و بررسی حساسیت اثر آن به فاصله در این پژوهش صرف‌نظر شده است؛

۸) با توجه به نتایج سایر مطالعات که در بخش مقدمه به آن اشاره شد و همچنین بر اساس یافته‌های این پژوهش، می‌توان گفت اگرچه نسبت طیفی مؤلفه قائم به مؤلفه افقی تحت تأثیر شرایط محلی ساختگاه (نوع خاک) است، اما این وابستگی زیاد نیست؛

۹) روابط پیشنهادی در این پژوهش برای داده‌های واقع در فاصله $30 \leq M_w$ کیلومتری از گسل و با بزرگای $M_w \geq 5$ معتبر است؛

۱۰) در این مطالعه نشان داده شد که نسبت V/H به دوره تناوب طیفی حساس است؛ جهت ارائه مدل پیشنهادی و در نظر گرفتن پارامتر مؤثر بر نسبت طیفی V/H، از طیف‌های شتاب مقیاس‌شده (شتاب 1g) به بیشینه مقدار شتاب سطح زمین در مؤلفه‌های افقی و قائم استفاده شده است؛

۱۱) دلیل بیشتر بودن میزان خطا در مدل پیشنهادی برای خاک را می‌توان کم بودن اطلاعات و داده‌های موجود در این دسته‌بندی دانست؛

۱۲) در مدل‌های پیشنهادی برای دو نوع دسته‌بندی سنگ و خاک (شکل ۷) دیده شد در دوره تناوب‌های ابتدایی

نمودارهای سمت راست، طیف‌ها را تا دوره تناوب دو ثانیه و نمودارهای سمت چپ طیف‌ها را تا دوره تناوب چهار ثانیه نشان می‌دهند.

همان‌طور که از شکل‌ها مشخص است، طیف‌های مدل‌شده با طیف واقعی مؤلفه قائم نگاشت همخوانی بسیار معنادار و درخور توجهی دارند. این مقدار برای دوره تناوب‌های بالا بسیار بیشتر است و مقدار اختلاف دو طیف بسیار کم و دامنه طیف مدل‌شده در این بازه دوره تناوب، بسیار نزدیک به طیف مؤلفه قائم است.

۱۱ بحث و نتیجه‌گیری

مباحث و نتایج حاصل از این پژوهش را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱) پژوهش حاضر به بررسی نسبت طیف پاسخ مؤلفه افقی و قائم در ساختگاه‌های سنگی و خاکی در زلزله‌های حوزه نزدیک گسل دارای پالس ایران پرداخته است؛

۲) یکی از موضوعات مهم در طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها، پل‌ها، سازه‌های با توزیع مکانی و شریان‌های حیاتی، توجه به مؤلفه قائم زلزله است. در آیین‌نامه‌های طراحی، اثر مؤلفه قائم یا به صورت نسبتی از مؤلفه افقی یا به صورت نسبتی از بار مرده وارد بر سازه لحاظ می‌شود؛

۳) با توجه به شواهد موجود، در فواصل نزدیک گسل بین مؤلفه افقی و قائم زمین رابطه‌ای ریاضی وجود دارد و می‌توان از روابط تبدیلی استفاده کرد که نگارندگان این مقاله و سایر پژوهشگران پیشنهاد کرده‌اند.

۴) یکی از راهکارهای متداول در طراحی برای تعیین خصوصیات طیف طرح مؤلفه قائم زلزله استفاده از روابط تجربی نسبت طیفی مؤلفه قائم به افقی (V/H) است. در سازه‌های واقع در حوزه نزدیک گسل، اگر مؤلفه قائم برای کارایی سازه مهم باشد، باید طیف مؤلفه قائم تهیه شود یا با روش‌های معتبری نسبت V/H تعیین و از روی طیف مؤلفه افقی زلزله، طیف مؤلفه قائم تهیه شود.

طراحی و عوامل مؤثر بر آن: کنفرانس بین‌المللی مهندسی و علوم کاربردی، دبی، امارات.

محمدیان، م.، مهدویان، ع.، حسنی، ن.، ۱۳۹۵، بررسی تأثیر زلزله‌های پالس‌گونه بر رفتار دینامیکی خاک‌ها: دومین کنفرانس بین‌المللی یافته‌های نوین پژوهشی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران.

محمدیان، م.، مهدویان، ع.، حسنی، ن.، ۱۳۹۶، ارائه مدل ریاضی جهت در نظر گرفتن تأثیر زلزله‌های پالس‌گونه در طیف‌های طراحی لرزه‌ای با توجه به داده‌های شتاب‌نگاشتی ایران: فصلنامه علوم و مهندسی زلزله، (۴)۴، ۸۹-۱۰۶.

محمدیان، م.، مهدویان، ع.، حسنی، ن.، ۱۴۰۱، بانک داده‌های شتاب‌نگاشت‌های حوزه نزدیک گسل ایران: فصلنامه علوم و مهندسی زلزله، (۳)۹، ۲۳-۳۳.

محمدیان، م.، مهدویان، ع.، رشیدی، س.، ۱۳۹۵، مروری بر بررسی طیف‌های طراحی سازه‌ها: پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، (۴)۱۹، ۱-۱۷.

Abrahamson, N. A., and Silva, W. J., 1997, Empirical response spectral attenuation relations for shallow crustal earthquakes: *Seismological Research Letters*, **68**(1), 94-127.

Alavi, B., and Krawinkler, H., 2001, 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.

Amirbekian, R. V., and Bolt, B. A., 1998, Spectral comparison of vertical and horizontal seismic strong ground motions in alluvial basins: *Earthquake Spectra*, **14**(4), 573-595.

Ansary, M. A., and Yamazaki, F., 1998, Behavior of horizontal and vertical SV at JMA sites, Japan: *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, **124**(7), 606-616.

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.

Beresnev, I. A., Nightengale, A. M., and Silva,

برخلاف دوره تناوب‌های بالاتر در بازه زمانی بسیار کوتاه سرعت تغییرات بسیار شدید است و در بخش دوم مدل سرعت این تغییرات بسیار کاهش میابد و مدل پیشنهادی از ثبات نسبی قابل قبولی برخوردار است.

(۱۳) نسبت V/H مقدار بیشینه مشخصی در محدوده دوره تناوب‌های پائین دارد که مقدار آن در نواحی نزدیک گسل حتی از مقدار متداول دوسوم نیز بیشتر است؛ بنابراین معرفی مقدار $0.67/V$ برای نسبت V/H برای داده‌های ایران در دو دسته‌بندی سنگ و خاک در کل بازه دوره تناوبی محافظه‌کارانه نبوده و مقدار کمتری لحاظ شده است، درحالی‌که این ضریب برای داده‌های ایران، در دو دسته‌بندی مذکور مقداری حدود 0.7 در دوره تناوب پائین و 0.8 در تناوب بالا را نشان می‌دهد؛ (۱۴) در مقایسه با نیروی قائم معرفی شده در آیین‌نامه ۲۸۰۰ جهت در نظر گرفتن اثر مؤلفه قائم زمین‌لرزه در برخی از اعضای سازه، پیشنهاد می‌شود نسبت طیف V/H پیشنهادی در این پژوهش برای کل سازه منظور شود.

(۱۵) توصیه می‌شود در طراحی لرزه‌ای سازه‌های با توزیع گسترده مکانی، پل‌ها و شریان‌های حیاتی در داخل کشور برای تهیه طیف طرح مؤلفه قائم از نسبت طیف V/H پیشنهادی استفاده شود.

منابع

کمیته دائمی بازنگری آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، ۱۳۹۳، آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله - استاندارد ۲۸۰۰ (ویرایش چهارم)، مجموعه استانداردها و آیین‌نامه‌های ساختمانی ایران: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.

محمدیان، م.، ۱۳۹۵، بررسی تأثیر زلزله‌های پالس‌گونه و بدون پالس شدید بر رفتار دینامیکی خاک‌ها: پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

محمدیان، م.، مهدویان، ع.، ۱۳۹۴، بررسی طیف‌های

- attenuation relationships for horizontal and vertical components of peak ground acceleration, peak ground velocity, and pseudo-absolute acceleration response spectra: *Seismological Research Letters*, **71**(3), 352-354.
- Campbell, K. W., 2001, Empirical near-source attenuation relationships for horizontal and vertical components of peak ground acceleration, peak ground velocity, and pseudo-absolute acceleration response spectra: *Seismological Research Letters*, **72**(4), 474-474.
- Campbell, K. W., and Bozorgnia, Y., 2003, Updated near-source ground motion (attenuation) relations for the horizontal and vertical components of peak ground acceleration and acceleration response spectra: *Bulletin of the Seismological Society of America*, **93**(3), 314-331.
- Commission of the European Communities, 1993, Eurocode 8: Earthquake Resistant Design of Structures, CEN/TC250/SC8, Bruxelles.
- FEMA-356, 2000, Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings: Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- Hudson, D. E., and Housner, G. W., 1958, An analysis of strong motion accelerometer data from the San Francisco earthquake of March 22, 1957: *Bulletin of the Seismological Society of America*, **48**(3), 253-268.
- International Code Council, 2000, International building code: Falls Church.
- Mavroeidis, G. P., and Papageorgiou, A. S., 2003, A mathematical representation of near-fault ground motions: *Bulletin of the Seismological Society of America*, **93**(3), 1099-1131.
- Niazi, M., and Bozorgnia, Y., 1992, Behavior of near-source vertical and horizontal response spectra at SMART-1 array, Taiwan: *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **21**(1), 37-50.
- Pacific Earthquake Engineering Strong-Motion Databases: University of California, Berkeley, available at: <https://ngawest2.berkeley.edu/>
- RP 2A-WSD, 1993, Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms - Working Stress Design, 20th ed.: American Petroleum Institute, Washington, DC.
- Sabetta, F., and Pugliese, A., 1996, Estimation of response spectra and simulation of
- W. J., 2002, Properties of vertical ground motions: *Bulletin of the Seismological Society of America*, **92**(8), 3152-3164.
- Bertero, V. V., Mahin, S. A., and Herrera, R. A., 1978, Aseismic design implications of near fault San Fernando earthquake records: *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **6**(1), 31-42.
- Bolt, B. A., 1971, The San Fernando Valley, California, earthquake of February 9, 1971: data on seismic hazards: *Bulletin of the Seismological Society of America*, **61**(2), 501-510.
- Bozorgnia, Y., and Campbell, K. W., 2004, The vertical-to-horizontal response spectral ratio and tentative procedures for developing simplified V/H and vertical design spectra: *Journal of Earthquake Engineering*, **8**(2), 175-207.
- Bozorgnia, Y., and Niazi, M., 1993, Distance scaling of vertical and horizontal response spectra of the Loma Prieta earthquake: *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **22**(8), 695-707.
- Bozorgnia, Y., Niazi, M., and Campbell, K. W., 1995, Characteristics of free-field vertical ground motion during the Northridge Earthquake: *Earthquake Spectra*, **11**(4), 515-525.
- Bozorgnia, Y., Niazi, M., and Campbell, K. W., 1996, Relationship between vertical and horizontal ground motion for the Northridge earthquake: *Proceedings of Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, Acapulco, Mexico*.
- Bureau, G. J., 1981, Near-source peak ground acceleration: *Earthquake Notes*, **52**, 81.
- Campbell, K. W., 1982, A study of the near-source behavior of peak vertical acceleration: *EOS Transactions American Geophysical Union*, **63**, 1037.
- Campbell, K. W., 1985, Strong motion attenuation relations: A ten-year perspective: *Earthquake Spectra*, **1**(4), 759-804.
- Campbell, K. W., 1997, Empirical near-source attenuation relationships for horizontal and vertical components of peak ground acceleration, peak ground velocity, and pseudo-absolute acceleration response spectra: *Seismological Research Letters*, **68**(1), 154-179.
- Campbell, K. W., 2000, Empirical near-source

Fukuzawa, R., 1990, Peak accelerations and response spectra of vertical strong motions from near-field records in USA: Proceeding of 8th Japan Earthquake Engineering Symposium, 1, 301-306.

Xinle, L., Huijuan, D., and Xi, Z., 2007, Engineering characteristics of near-fault vertical ground motions and their effect on the seismic response of bridges: Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 6(4), 345-350.

nonstationary earthquake ground motions: Bulletin of the Seismological Society of America, 86(2), 337-352.

Sadigh, K., Chang, C. Y., Abrahamson, N. A., Chiou, S. J., and Power, M. S., 1993, Specification of long-period ground motions: Updated attenuation relationships for rock site conditions and adjustment factors for near-fault effects: Proceedings of the ATC-17-1 seminar on Seismic Isolation, Passive Energy Dissipation and Active Control, San Francisco, CA.

Silva, W., 1997, Characteristics of vertical strong ground motions for applications to engineering design: Proceedings of the FHWA/NCEER workshop on the national representation of seismic ground motion for new and existing highway facilities, Technical Report NCEER-97-0010.

United States Atomic Energy Commission, 1973, Design response spectra of nuclear power plants, Regulatory guide 1.60: DIRECTORATE OF REGULATORY STANDARDS, Washington, DC.

Uniform Building Code, 1997, (UBC-97), Structural Engineering Design Provisions: International Conference of Building Officials, Whittier, California.

Wang, G. Q., Zhou, X. Y., Zhang, P. Z., and Igel, H., 2002, Characteristics of amplitude and duration for near fault strong ground motion from the 1999 Chi-Chi Taiwan earthquake: Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 22(1), 73-96.

Watabe, M., Tohido, M., Chiba, O., and

پیوست پ

شتاب‌نگاشت‌های استفاده‌شده و مشخصات آنها

در این بخش کلیه اطلاعات داده‌های منتخب (پایگاه داده) ارائه شده است. در تعدادی از ایستگاه‌ها اطلاعات کامل نیست؛ برای مثال نوع خاک محل ثبت نگاشت در برخی ایستگاه‌ها نامعلوم است. سرعت موج برشی در ایستگاه‌هایی که با علامت ستاره (*) مشخص شده‌اند، نامشخص است و با شبکه شتاب‌نگاری تعیین نشده است؛ بنابراین در این ایستگاه‌ها با توجه به شکل طیف، نقشه‌های زمین‌شناسی و نظر کارشناس، نوع خاک طبق طبقه‌بندی چهارگانه آیین‌نامه ۲۸۰۰ مشخص شده است.

جدول پ - ۱. اطلاعات نگاشت‌های نزدیک گسل معرفی شده به‌عنوان پالس‌گونه (پایگاه داده مرکز تحقیقات راه و شهرسازی)

نام ایستگاه (فارسی)	نام ایستگاه (لاتین)	شماره نگاشت	عمق کانونی	محل رخداد	بیشینه شتاب زمین (cm/s/s)	فاصله رومرکز	MW	سرعت موج برشی ایستگاه (m/s)	T5-75	T 5-95	Predominant Period (Tp)
مورموری	Murmuri	۶۲۸۳/۲۱	۱۲	ایلام	۱۸۰	۳	۵/۸	۸۹۸	۲/۲۶۵	۵/۵۲	۰/۱۶۰
تربت‌حیدریه	Torbate Heiydaryeh	۵۰۰۶	۲۰	خراسان رضوی	۴۳۴	۴	۵/۹	۳۰۶	۰/۸۳۵	۴/۴۹	۰/۲۴۰
چالان چولان	Chalan Choolan	۴۰۲۷/۰۵	۹	لرستان	۳۲۰	۵	۵/۲	۴۲۸	۰/۸۰۵	۵/۲۶	۰/۲۲۰
کره بس	KarehBas	۲۲۲۰/۲۰	۸	فارس	۸۹	۵	۵	نوع ۵۱	۱/۳	۷/۸۴	۰/۲۰۰
چای کندی ۱	Chaykandi 1	۵۵۹۷/۴۳	۱۴	آذربایجان شرقی	۳۵۷	۵	۵/۵	نوع ۵۳	۰/۷۴۵	۰/۱۰۷۵	۰/۲۸۰
آباد	Abad	۳۲۳۹/۰۱	۳۰	بوشهر	۴۱۲	۶	۵/۴	۴۸۲	۰/۷۵۵	۵/۵۱	۰/۲۴۰
بم	Bam	۳۱۶۸/۰۲	۷	کرمان	۹۸۹	۶	۶/۹	۴۹۹	۵/۵۳	۷/۹۴۵	۰/۲۰۰
شنبه	Shonbeh	۵۸۰۱/۶۹	۱۰	بوشهر	۵۶۳	۶	۵/۵	۱۳۹۶	۱/۲۸۵	۲/۱۳	۰/۱۲۰
درویشی	Darvishi	۵۸۹۴/۰۲	-	بوشهر	۷۷۹	۶	۵	نوع ۵۱	۰/۶۱۵	۲/۹۶۵	۰/۱۶۰

نام ایستگاه (فارسی)	نام ایستگاه (لاتین)	شماره نگاشت	عمق کانونی	محل رخداد	بیشینه شتاب زمین (cm/s/s)	فاصله رومرکز	MW	سرعت موج برشی ایستگاه (m/s)	T5-75	T 5-95	Predominant Period (Tp)
قره ضیال‌الدین	Qareziaoddin	۳۰۵۵	۱۴	آذربایجان غربی	۱۰۷	۷	۵/۳	۲۹۷	۱/۷۶۵	۴/۴۴۵	۰/۲۸۰
سیرج*	Sirch*	۱۹۱۳/۰۱	۱۰	کرمان	۷۵۰	۷	۶/۲	۳۹۸	۵/۰۴۵	۶/۳۵	۰/۴۴۰
کاشمر	Kashmar	۶۴۸۱	۲۲	خراسان رضوی	۱۵۱	۷	۵/۴	۴۹۴	۱/۴۶	۹/۶۵۵	۰/۱۴۰
بلداجی	Boldaji	۵۷۵۵/۰۳	۹	چهارمحال و بختیاری	۴۵۸	۷	۵/۲	نوع ۱*	۰/۹	۱/۹۱	۰/۰۸۰
چالان چولان	Chalan Choolan	۴۰۲۷/۰۲	۸	لرستان	۱۶۹	۸	۵/۳	۴۲۸	۰/۷۰۵	۵/۴۱۵	۰/۱۸۰
دوبران ۱	Doobaran 1	۴۵۷۳	۱۲	فارس	۱۳۰	۸	۵/۳	۱۳۶۳	۱/۷۴	۷/۵۵	۰/۰۸۰
چای کندی ۱	Chaykandi 1	۵۵۹۷/۷۹	۵	آذربایجان شرقی	۴۰۶	۸	۵/۳	نوع ۳*	۰/۹۵۵	۱/۹۵۵	۰/۱۶۰
میمند	Maymand	۱۸۱۴	۳	فارس	۷۰۴/۲۶	۹	۵	۸۸۱	۱/۹۸	۱۳/۲۶	۰/۲۴۰
رمغان	Romghan	۲۲۷۴/۲۲	۵	فارس	۱۱۸	۹	۵/۳	۱۳۶۲	۵/۴	۸/۸۴	۰/۸۲۰
تنبان	Tomban	۴۶۸۷/۰۳	۶	هرمزگان	۵۹۷	۹	۶	نوع ۲*	۲/۳۸	۶/۷۲۵	۰/۱۶۰
شیخ خم لو	Sheykh-Khomloo	۵۷۱۵/۱۳	۱۴	آذربایجان شرقی	۴۶۰	۱۰	۵/۳	نوع ۳*	۱/۷۴۵	۲/۹۱	۰/۲۶۰
ورزقان	Varzaqan	۵۵۷۹/۰۴	-	آذربایجان شرقی	۵۳۱	۱۱	۶/۲	۴۷۵	۲/۳۶	۵/۹۵	۰/۲۶۰
کریق	Kariq	۱۸۳۳/۰۲	۲۸	اردبیل	۶۱۵	۱۱	۶	۵۸۹	۲/۰۱	۵/۴۶	۰/۱۴۰
سده	Sedeh	۴۵۵۲/۰۳	۷	خراسان جنوبی	۵۶۸/۲۹	۱۱	۵/۱	۸۵۴	۱/۰۱	۱/۳۶	۰/۱۶۰
مهترلو ۱	Mehtarlol	۵۶۱۱/۰۲	۱۴	آذربایجان شرقی	۳۴۷	۱۱	۵/۵	نوع ۲*	۱/۰۰۵	۳/۱۴۵	۰/۱۸۰
زنجران	Zanjiran	۱۵۰۲/۰۹	۸	فارس	۱۰۰۶	۱۲	۶/۰۵	۶۸۰	۲/۶۸۵	۵/۴۶	۰/۱۶۰
شنبه	Shonbeh	۵۸۰۱/۰۷	۱۶	بوشهر	۴۳۱	۱۲	۵/۱	۱۳۹۶	۰/۷۸	۲/۳۷۵	۰/۱۲۰
فرومد	Foroomad	۵۲۷۷/۰۲	۲۲	سمنان	۱۰۹	۱۲	۵/۲	نوع ۱*	۰/۶۲۵	۷/۵۱۵	۰/۱۶۰
درخت توت	Derakht Toot	۲۲۲۴/۰۳	۸	خراسان رضوی	۲۷۲	۱۳	۵	۶۹۹	۰/۸۳۵	۴/۴۵	۰/۰۸۰
قشم	Qeshm	۴۶۸۸/۰۱	-	هرمزگان	۱۵۳	۱۳	۵/۲	۷۵۷	۱/۶۳۵	۵/۵	۰/۱۸۰
اشکانان	Eshkanan	۵۰۱۶/۰۲	۷	فارس	۳۹۴	۱۳	۵/۱	۱۰۶۶	۰/۸۳	۹/۰۷	۰/۰۶۰
صالح آباد	Saleh Abad	۲۲۲۵/۰۲	۱۰	خراسان رضوی	۳۸۹	۱۳	۵/۴۵	۱۴۷۲	۰/۵۵۵	۳/۰۹	۰/۱۲۰
سد ستارخان ۱	Satar Khan Dam 1	۵۵۸۶/۰۴	-	آذربایجان شرقی	۳۱۹	۱۳	۶/۲	نوع ۲*	۲/۸۰۵	۶/۰۴۵	۰/۱۶۰
شیخ خم لو	Sheykh-Khomloo	۵۶۰۹/۱۱	۱۴	آذربایجان شرقی	۳۰۸	۱۳	۵/۵	نوع ۳*	۰/۴۹	۴/۵۲۵	۰/۳۰۰
محمد آباد مسکون	Mohammad Abad-e-Maskoon	۳۵۵۵/۰۱	۱۲	کرمان	۱۱۹	۱۴	۵/۱	۵۰۷	۰/۷۴۵	۳/۳۳۵	۰/۱۸۰
مورموری	Murmuri	۶۳۰۲/۰۱	۱۸	ایلام	۳۴۵	۱۴	۵/۸	۸۹۸	۱/۱۶	۴/۵۱۵	۰/۱۸۰
فیروزآباد ۱	Firooz Abad	۱۴۹۳/۰۲	۸	فارس	۲۸۸	۱۴	۶/۰۵	۹۲۱	۲/۳۲	۹/۲۵	۰/۱۶۰
اهرم	Ahram	۳۲۴۱	۳۰	بوشهر	۱۷۰	۱۴	۵/۴	۹۸۸	۳/۲۱	۵	۰/۰۶۰
میانه	Miyaneh	۳۸۷۹	۱۴	آذربایجان شرقی	۱۱۷	۱۴	۵/۱	نوع ۲*	۰/۷۱۵	۴/۸۶	۰/۱۰۰
سد ستارخان ۲	Satar Khan Dam 2	۵۵۸۷/۰۵	-	آذربایجان شرقی	۳۳۸	۱۴	۶/۲	نوع ۳*	۲/۵۷	۷/۹۱	۰/۲۰۰
سد ستارخان ۱	Satar Khan Dam 1	۵۶۳۶/۰۱	۱۴	آذربایجان شرقی	۱۹۳	۱۵	۵/۵	نوع ۱*	۰/۳۹۵	۱/۲۳	۰/۰۸۰

نام ایستگاه (فارسی)	نام ایستگاه (لاتین)	شماره نگاشت	عمق کانونی	محل رخداد	بیشینه شتاب زمین (cm/s/s)	فاصله رومرکز	MW	سرعت موج برشی ایستگاه (m/s)	TS-75	T 5-95	Predominant Period (Tp)
سد ستارخان ۳	Satarkhan Dam 3	۵۶۳۸/۰۶	۱۴	آذربایجان شرقی	۲۴۹	۱۵	۵/۵	نوع ۳	۰/۸۸	۳/۵	۰/۱۶۰
علی آباد	Ali Abad	۲۲۷۶/۰۲	۱۲	گلستان	۴۵۹	۱۶	۵/۲	۵۶۲	۱/۰۲	۵/۷۲	۰/۱۰۰
حسینیه علیا	Hosseiniye h Olya	۴۹۴۲/۰۱	۱۶	خوزستان	۳۰۵	۱۶	۵/۴	۵۸۲	۰/۳۱	۲/۹۴	۰/۱۲۰
صالح آباد	Saleh Abad	۲۲۲۱/۰۱	۱۴	خراسان رضوی	۳۳۳	۱۶	۵/۴	۱۴۷۲	۲/۸۹	۱۳/۱۹	۰/۱۰۰
سد ستارخان ۲	Satarkhan Dam 2	۵۶۳۷/۰۴	۱۴	آذربایجان شرقی	۳۵۰	۱۶	۵/۵	نوع ۳	۰/۵۲	۲/۶۸	۰/۱۰۰
کوه زر	Kooh-e-Zar	۵۰۳۰/۰۱	۷	سمنان	۶۲۲	۱۷	۵/۶	۷۵۹	۱/۳۷	۳/۰۵	۰/۱۸۰
نهند	Nahand	۵۹۲۲/۰۱	۵	آذربایجان شرقی	۱۴۰/۵۹	۱۷	۵/۳	نوع ۲	۰/۸۴۵	۳/۲۴۵	۰/۲۴۰
نیشابور	Neysaboor	۵۳۸۲	۱۶	خراسان رضوی	۲۷۱	۱۷	۵/۲	نوع ۳	۱/۲۶۵	۱۰/۵۰۵	۰/۱۴۰
ورزقان	Varzaqan	۵۵۸۹/۰۷	۱۴	آذربایجان شرقی	۳۸۱	۱۸	۵/۵	۴۷۵	۰/۳۰۵	۳/۷۷	۰/۲۰۰
قائمیه	Ghaemiyeh	۵۰۶۲	۱۸	فارس	۳۳۴/۸۹	۱۸	۵/۸	۶۱۷	۰/۸۰۵	۴/۰۱	۰/۱۶۰
جووکان	Jovakan	۳۸۵۲/۰۲	۱۴	فارس	۱۷۱	۱۸	۵	۹۳۰	۱/۵۷	۴/۹	۰/۱۲۰
سد نهند ۳	Nahand Dam 3	۵۶۳۵/۰۲	۵	آذربایجان شرقی	۱۵۰/۰۱	۱۸	۵/۳	نوع ۲	۱/۳۵	۶/۰۳۵	۰/۳۰۰
سد نهند ۲	Nahand Dam 2	۵۶۶۶/۰۲	۵	آذربایجان شرقی	۲۳۰	۱۸	۵/۳	نوع ۲	۱/۸۹	۴/۷۶۵	۰/۲۲۰
ورزقان	Varzaqan	۵۵۷۹/۰۱	۱۲	آذربایجان شرقی	۴۲۷	۱۹	۶/۱	۴۷۵	۱/۸۸	۵/۹۶	۰/۱۸۰
فیروزآباد ۱	Firooz Abad	۱۸۴۳/۰۱	۳	فارس	۹۲	۱۹	۵	۹۲۱	۲/۷۶	۶/۴۳	۰/۱۸۰
صالح آباد	Saleh Abad	۲۲۲۵/۱۱	۸	خراسان رضوی	۱۴۰	۱۹	۵	۱۴۷۲	۲/۸۴	۱۳/۷۱	۰/۱۰۰
گندمان	Gandoman	۵۷۴۹	۹	چهارمحال و بختیاری	۷۱	۱۹	۵/۲	نوع ۲	۰/۷۸۵	۳/۵۷۵	۰/۲۴۰
ریش	Rivash	۶۴۸۵	۲۲	خراسان رضوی	۱۸۲	۲۰	۵/۴	۴۲۸	۱/۹۲۵	۵/۷۳	۰/۱۶۰
مصیری	Masiri	۵۱۵۴/۰۲	۱۲	فارس	۸۱	۲۰	۵/۴	۱۲۶۲	۱/۶۵	۴/۵۵	۰/۱۲۰
افین	Afin	۵۶۸۴	۱۸	خراسان جنوبی	۱۴۳	۲۰	۵/۴	۱۳۹۷	۱/۸۷۵	۴/۵۱	۰/۳۴۰
کریق	Kariq	۱۸۳۳/۱۵	۲	اردبیل	۲۹۰	۲۱	۵	۵۸۹	۰/۴۲۵	۲/۲۳۵	۰/۱۲۰
سرزه	Sarzeh	۵۱۷۹/۰۴	۱۲	کرمان	۱۹۲	۲۱	۶/۱	نوع ۳	۳/۷۴	۵/۷۸	۰/۱۸۰
کمه	Komeh	۳۱۲۴/۰۱	۷	اصفهان	۲۹۸	۲۲	۵	نوع ۱	۰/۹۱۵	۵/۳۴	۰/۱۰۰
تمبان	Tomban	۴۸۸۶/۱۹	۱۰	هرمزگان	۲۷۸	۲۳	۵/۱	نوع ۲	۱/۱۶۵	۴/۳	۰/۱۸۰
سیرج	Sirch	۶۵۴۶	۱۰	کرمان	۱۵۷	۲۴	۵/۴	۳۹۸	۱/۴۴	۳/۶۶۵	۰/۳۶۰
لالی	Lali	۳۹۳۸	۶	خوزستان	۲۹۲	۲۵	۵/۲	۴۰۱	۱/۰۵۵	۴/۰۱۵	۰/۲۲۰
موسیان	Moosiyani	۴۶۴۶	۱۰	ایلام	۵۴۶	۲۵	۵/۸	۴۷۲	۱/۱۲۵	۳/۲۲	۰/۲۰۰
دالکی	Dalaki	۴۱۹۰/۰۲	۷	بوشهر	۱۵۳	۲۶	۵/۲	۹۷۱	۰/۴۵	۲/۷۳	۰/۱۰۸۰
تمبان	Tomban	۴۱۴۷/۱۳	۱۰	هرمزگان	۵۱۸	۲۸	۵/۷	نوع ۲	۱/۰۸۵	۴/۸۱	۰/۱۸۰
آوج	Avaj	۲۷۴۹/۰۱	۱۲	قزوین	۴۹۸	۲۹	۶/۴	۸۱۴	۱/۹۳	۶/۸۱	۰/۲۴۰
اهرم	Ahram	۲۲۱۴/۰۱	۱۰	بوشهر	۲۲۶	۲۹	۵/۴	۹۸۸	۰/۹۷۵	۳/۹۷	۰/۱۴۰
گمیشان	Gomishan	۳۵۴۶	۳۴	گلستان	۹۲	۲۹	۶/۲	نوع ۱	۴/۶۴۵	۱۷/۴۳	۰/۱۴۰
فیروزه	Firozeh	۵۳۷۵	۱۶	خراسان رضوی	۱۱۴	۳۰	۵/۲	۷۴۳	۰/۲۵	۴/۴۵۵	۰/۳۶۰

نام ایستگاه (فارسی)	نام ایستگاه (لاتین)	شماره نگاشت	عمق کانونی	محل رخداد	بیشینه شتاب زمین (cm/s/s)	فاصله رومرکز	MW	سرعت موج برشی ایستگاه (m/s)	T5-75	T 5-95	Predominant Period (Tp)
سیب سوران	Sib Sooran	۳۷۲۲	۵۰	سیستان و بلوچستان	۱۱۰	۳۰	۶٫۲	نوع ۲	۲/۲۴	۳/۹	۰/۲۰۰

جدول پ-۲. اطلاعات نگاشت‌های نزدیک گسل معرفی شده به عنوان پالس گونه (پایگاه داده Peer)

Record Seq. #	Tp(s)	D5- 75(s)	D5- 95(s)	شدت آریاس (m/s)	محل وقوع	سال	ایستگاه	بزرگا	سازوکار	Rjb(km)	Rrup(km)	Vs30(m/s)
۱۴۳	۶/۱۸۸	۸/۳	۱۶/۵	۱۱/۸	Tabas, Iran	۱۹۷۸	Tabas	۷/۳۵	معکوس	۱/۷۹	۲/۰۵	۷۶۶/۷۷

The V/H Response Spectral Ratio of Near Fault Pulse-Like Earthquakes According to Iran's Data

Milad mohammadian ^{1*}, Abbas Mahdavian,², Nemat hassani ²

¹ Master's degree, Civil Engineering, Earthquake Orientation, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

² Associate Professor, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran,

(Received: 12 March 2022, Accepted: 27 August 2022)

Summary

In recent years, due to the large earthquakes occurred near important and residential areas of the world and the great financial and human losses left, researchers have investigated the effects of different near fault field earthquakes from earthquakes far from the faults.

Near fault earthquakes have different nature and unique characteristics that may increase the severity of damages and not considering this phenomenon, can increase the damages several times. Therefore, one of the most important and new issues in the seismic design of buildings, bridges, structures with wide spatial distribution and vital arteries, is to pay attention to the vertical component of the earthquakes.

Field observations show that many of the damages at short focal lengths, especially in the vertical members of long spans of bridges and buildings, are due to the strong motion of the vertical component.

This study has been conducted to consider the effects of the vertical component and the ratio of vertical to horizontal components of near fault earthquakes in Iran due to the importance of the issue and also due to the lack of extensive research in this field according to the Iranian data.

In this research, 1 record from the PEER database and 450 records of near fault field in Iran have been prepared from the Road, Housing and Urban Development Research Center of Iran. Then, 75 records that had pulses with forward directivity, and also their horizontal components had a pulse (perpendicular to the rupture direction) were determined. The spectral ratio of the vertical component to the horizontal component is determined using the acceleration response spectrum of these components.

The aim of this study is to determine the V/H spectral ratio based on the Iranian database and to provide the relevant relationships for the two categories of rock and soil. Due to the small number of recorded data from earthquakes near the fault and also for considering the local effects of the site, the recorded data on type 1 and 2 ($V_S \geq 375$ m/s) soils are used as rocky sites and type 3 and 4 ($V_S \leq 375$ m/s) soils are used as soil sites. Although the acceleration response spectrum of the vertical component of an earthquake is proportional to the acceleration response spectrum of its horizontal component, this ratio is not a fixed number and depends on the various parameters such as period, distance from the fault, soil type, earthquake magnitude and fault mechanism.

According to the results, determining the value of 0.67 for the V/H ratio for two categories in the range of 0-4 seconds is not conservative and it is a small value. Based on the seismic data of Iran, this coefficient in two categories of rock and soil is equal to a value of about 0.7 in the low period and 0.8 in the high period.

Therefore, it is recommended to use the V/H spectral ratio proposed in this research in the regulation 2800 (which considers the effects of the vertical component of the earthquake for some structural members), as well as in structures with network distribution and lifelines.

Keywords: Pulse-like record, Near-field ground motion, Velocity pulse, 2800 code, Response spectra ratio.

*Corresponding author:

Milad.Engeneer@gmail.com