

یادداشت پژوهشی

ارائه مدل ریاضی جهت در نظر گرفتن تأثیر زلزله‌های پالس گونه در طیف‌های طراحی لرزه‌ای با توجه به داده‌های شتاب‌نگاشتی ایران

میلاذ محمدیان

کارشناس ارشد مهندسی زلزله، دانشگاه شهید بهشتی

عباس مهدویان (نویسنده مسئول)

دانشیار دانشکده مهندسی عمران - آب و محیط‌زیست دانشگاه

شهید بهشتی

a_mahdavian@sbu.ir

نعمت حسنی

استادیار دانشکده مهندسی عمران - آب و محیط‌زیست

دانشگاه شهید بهشتی

چکیده

امروزه گسترش ساخت‌وسازها و امنیت آنها در مقابل زمین لرزه به خصوص در شهرهایی که در مجاورت گسل‌های فعال قرار دارند مورد توجه است. اخیراً محققین شاهد اثرات متفاوت زمین لرزه‌های دور و نزدیک از گسل بر سازه‌ها بوده‌اند. این موضوع در آئین‌نامه‌های سازه‌ای ایران به خوبی مورد توجه قرار نگرفته است. با توجه به اهمیت موضوع، در این مقاله تحقیقاتی در این زمینه و صرفاً بر مبنای داده‌های شتاب‌نگاشتی به ثبت رسیده از زمین لرزه‌های ایران انجام شده است. ابتدا ۴۵۰ شتاب‌نگاشت از زمین لرزه‌های ایران که تا سال ۱۳۹۳ توسط مرکز تحقیقات ثبت شده، جمع‌آوری گردید. نگاهت‌های نزدیک به گسل با توجه به جهت‌داری پیش‌رونده و پالس‌گونه بودن از سایر نگاهت‌ها مجزا گردیدند و تعداد نگاهت‌های مورد استفاده به ۶۳ عدد تقلیل یافتند. با به کارگیری سه روش مختلف، نسبت مؤلفه طیف نگاهت‌های پالس‌گونه به طیف نگاهت‌های غیر پالس‌گونه تعیین شد. به دلیل کمبود شتاب‌نگاشت‌های ثبت شده، اطلاعات به دست آمده بر روی خاک‌های نوع ۱ و ۲ به عنوان ساختگاه‌های سنگی و خاک‌های نوع ۳ و ۴ به عنوان ساختگاه‌های خاک مورد استفاده قرار گرفتند. میزان اختلافات هر کدام از طیف‌های پالس‌گونه به دست آمده از روش‌های مختلف با طیف‌های پالس‌گونه واقعی تعیین شده و مدل‌سازی‌های ریاضی مرتبط با نتایج به دست آمده ارائه شد. مدل‌های به دست آمده از این مطالعات با مدل ارائه شده در آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران مقایسه و پیشنهاد شد که نتایج این بررسی توسط کمیته بررسی کننده آئین‌نامه ۲۸۰۰ ایران مد نظر قرار گیرد.

واژگان کلیدی: نگاهت پالسی شکل، زلزله نزدیک گسل، مؤلفه عمود بر امتداد گسل، ضریب اصلاح طیف آیین‌نامه ۲۸۰۰، جهت‌داری پیش‌رونده.

۱- مقدمه

نگاشت‌های ثبت شده از زمین لرزه‌های اخیر نشان می‌دهد که زلزله‌های حوزه نزدیک دارای ویژگی‌های متفاوتی نسبت به زلزله‌های حوزه دور بوده و دارای ماهیت پالس‌گونه است. در مجموع بیشتر این ویژگی‌ها، در اثر پدیده مهم جهت‌پذیری پیش‌رونده^۱ در زلزله‌های حوزه نزدیک است. این پدیده باعث می‌شود که مؤلفه عمود بر گسل نگاهت‌های ثبت شده در میدان نزدیک، دارای پالس‌هایی با پیوند بلند باشند که در نگاهت سرعت و جابه‌جایی به خوبی خود را نشان می‌دهد. در این نگاهت‌ها، تقریباً بخش عمده انرژی زلزله، در یک یا دو پالس

جمع می‌شود. ورود یک باره این انرژی به ساختگاه، تغییر شکل‌های بزرگی در سازه ایجاد می‌نماید [۱].

بعد از زلزله پارکفیلد کالیفرنیا (۱۹۶۶) و زلزله پاکویما سان‌فرانسیسکو (۱۹۷۱)، عبارت نزدیک گسل توسط بولت عنوان شد [۲]، اما اهمیت این موضوع در طراحی سازه‌های مهندسی به خوبی درک نشده بود تا زمانی که زلزله‌های مخربی همچون زلزله لندرز (۱۹۹۲)، زلزله نورث‌ریج (۱۹۹۴)، زلزله کوبه ژاپن (۱۹۹۵) و زلزله چی چی تایوان (۱۹۹۹) به وقوع پیوست [۳]. در این میان محققین بسیاری به دلیل اهمیت موضوع در این زمینه

مطالعه نمودند، از جمله سامرویل و همکاران [۴]، برایا و رودریگز مارک [۵]، و بیکر [۶] که با استفاده از روش‌های کمی به تشخیص و شناسایی پالس سرعت^۳ زلزله‌های میدان نزدیک و باهدف دسته‌بندی این نوع زلزله‌ها پرداختند.

مدل‌های ارائه شده جهت شبیه‌سازی زمین‌لرزه در تحقیقات پژوهشگران به دو دسته مدل‌سازی زمین‌لرزه‌های دور از گسل و یا نزدیک گسل و دارای پالس و غیر پالس گونه تقسیم شده است. پایه و شاخصه اصلی این مدل‌سازی‌ها بر اساس تعداد پالس‌های مهم، دوره تناوب پالس، سرعت حداکثر افقی (PHV)، شتاب طیفی، مدت‌زمان زلزله و تعداد سیکل تنش یکنواخت است.

از اولین اقدامات صورت گرفته در شبیه‌سازی و ارائه مدل پالس سرعت موجود در نگاشت‌های نزدیک گسل می‌توان به اقدامات ماوروتیدیس و پاپاجورجیو [۷] اشاره نمود. این پژوهشگران با ارائه مدلی تحلیلی حاصل از نگاشت‌های ۲۰ رخداد زمین‌لرزه حوزه نزدیک، پالس موجود در تاریخچه زمانی نگاشت سرعت این دسته از زمین‌لرزه‌ها را شبیه‌سازی نمودند. مدل ارائه شده توسط این پژوهشگران یکی از بهترین مدل‌های پیشنهادی است که با توجه به آن می‌توان تاریخچه شتاب و جابه‌جایی را نیز شبیه‌سازی کرد. همچنین منون و فو [۸] در سال ۲۰۰۲ با ارائه مدلی تحلیلی به شبیه‌سازی پالس سرعت حرکات گسل‌های نرمال حوزه نزدیک حاصل از رگرسیون غیرخطی ۵۲ نگاشت پرداخته‌اند.

یوجین و همکاران [۹] نیز با در نظر گرفتن دو اثر مهم، جهت‌پذیری گسلش و جابه‌جایی‌های ماندگار^۴ ۲۸ نگاشت زمین‌لرزه‌های رکورد شده در حوزه نزدیک، به ارائه یک عبارت ساده از تابع پیوسته جهت شبیه‌سازی تاریخچه زمانی معادل پالس سرعت زلزله‌های پالس گونه پرداخته‌اند.

از جدیدترین اقدامات صورت گرفته در این حوزه پژوهش حسینی‌واعظ و همکاران [۱۰] است که با هدف مدل‌سازی پالس غالب سرعت نگاشت‌های نزدیک گسل زلزله‌های طیس و بم،

مدلی ریاضی پیشنهاد داده‌اند.

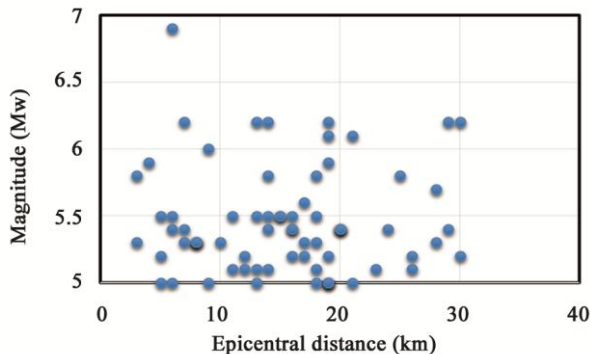
حسن‌خانی و زعفرانی [۱۱] نیز با استفاده از مدلی حاصل از روش تعینی به تولید پالس بلند سرعت در زلزله‌های نزدیک گسل دارای جهت‌پذیری پیش‌رونده پرداخته‌اند. زعفرانی و همکاران [۱۲-۱۳] و زعفرانی و سقراط [۱۴] مدل‌های متعدد دیگری را نیز در سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۲ جهت شبیه‌سازی حرکات گسل‌های ایران ارائه نموده‌اند.

کاوند و همکاران [۱۵] نیز در سال ۱۳۹۵ به منظور بررسی اثرات محلی آبرفت بر خصوصیات مؤلفه قائم زلزله‌های میدان نزدیک، ساختگاه‌هایی آبرفتی متشکل از خاک‌های شنی، ماسه‌ای و رسی انتخاب نموده و آنها را به جای دسته‌بندی‌های کلی در روابط کاهندگی تجربی به صورت دو بعدی مدل‌سازی و تحلیل دینامیکی نمودند.

با توجه به این موضوع که هم‌اکنون تعدادی از شهرهای ایران از جمله شهر تهران در نزدیکی گسل قرار دارند، بررسی اثرات حوزه نزدیک^۵ بر روی رسوبات آبرفتی امری اجتناب‌ناپذیر است. لذا در این پژوهش به بررسی رفتار خاک و دوره تناوب طبیعی دینامیکی آن تحت زلزله‌های میدان نزدیک و سایر زلزله‌ها پرداخته شده است. این موضوع سال‌هاست که در تحلیل تاریخچه زمانی یا طیفی بسیاری از سازه‌های ویژه مانند سدسازی مد نظر قرار می‌گیرد، اما در سازه‌های شهری که بر مبنای آیین‌نامه طراحی می‌شوند از این گونه تحلیل‌ها تقریباً محروم می‌باشند. هدف این پژوهش در نظر گرفتن اثرات حوزه نزدیک در طیف طراحی و در ارتباط با آیین‌نامه ۲۸۰۰ است. بدین لحاظ سعی شده که مدل ریاضی ارائه شود که بتواند ارتباط منطقی بین تفاوت‌های رفتاری زلزله‌های دور و نزدیک از گسل را به خوبی نشان داده و بتواند مورد استفاده در دستورالعمل‌های مربوط به ساخت سازه‌ها قرار گیرد.

در هر صورت حرکات پالس گونه زمین‌لرزه‌های نزدیک به گسل بیشترین تأثیر را در تغییر ویژگی‌های رفتاری سازه‌های بلند دارند. لیکن تأثیر زلزله‌های پالس گونه بر رفتار خاک محل به چه

در این پژوهش ابتدا کل داده‌ها با توجه به دسته‌بندی سرعت موج برشی که در گروه خاک‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ قرار گرفته‌اند از هم جدا شده و کل اقدامات لازم بر روی آنها انجام گرفته است. به دلیل پراکندگی داده‌ها و کمبود آنها به‌خصوص در خاک‌های گروه ۳ و ۴، خروجی‌های این دو گروه باهم ترکیب شده و به‌عنوان نماینده گروه خاک و خروجی‌های ثبت شده در خاک‌های گروه ۱ و ۲ نیز باهم ترکیب شده و به‌عنوان نماینده گروه سنگ معرفی شده است. شکل (۱) توزیع بزرگای زمین‌لرزه نسبت به فاصله رومرکز مربوط به ۶۳ داده گزینش شده را نشان داده است. لازم به ذکر است که زمین‌لرزه‌های نسبتاً بزرگ در این پژوهش مربوط به زمین‌لرزه بم با بزرگای ۶/۹ Mw و زلزله سیرچ با بزرگای ۶/۲ Mw است. کمترین بزرگای زمین‌لرزه‌های منتخب ۵ Mw است. لذا چون اغلب بزرگای داده‌ها در بازه ۵ الی ۶/۲ است، دسته‌بندی بزرگا در محاسبات لحاظ نشده است.



شکل (۱): توزیع بزرگای زمین‌لرزه نسبت به فاصله رومرکز مربوط به ۶۳ داده گزینش شده.

شکل (۲) نمونه اصلاح‌شده‌ای از تاریخچه زمانی مؤلفه عمود بر امتداد گسل شتاب‌نگاشت شماره ۵-۴۰۲۷ متعلق به ایستگاه چالان چولان و دارای مشخصات ۵/۲ Mw و فاصله رومرکز ۵ کیلومتر است که نسبت به تصحیح خط مبنا و تصحیح در محدوده فرکانسی (۲۵-۰/۲ HZ) مورد پردازش قرار گرفته است. این گونه نگاشت‌ها به شتاب ۱ g به مقیاس درآورده شده‌اند و طیف نرمال شده آنها محاسبه شده است.

نحوی است و آیا دارای تأثیراتی شدیدتر نسبت به زمین‌لرزه‌های غیر پالسی است یا خیر؟ ضرورت اصلی این پژوهش بیان شده است. در ویرایش چهارم آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران به پارامتر ضریب طیف (ضریب بازتاب ساختمان) ضریبی با عنوان ضریب اصلاح طیف (N) افزوده شده است. بدین منظور در راستای بررسی دقت و صحت و قابلیت اطمینان این ضریب، پژوهش حاضر صورت گرفته است. در این مطالعات بر روی تأثیرات حوزه نزدیک بر طیف پاسخ مطالعه شده است، سپس روش‌هایی را معرفی نموده که تاکنون به کار گرفته نشده است. در ویرایش ۴ آیین‌نامه ۲۸۰۰ اشاره به ضریب (N) شده است، لیکن مبنای محاسباتی به خصوصی ندارد؛ بنابراین در این پژوهش سعی شده تا نسبت به صحت آن بررسی‌هایی انجام شود. در این ارتباط مشخص گردید که این ضریب دارای ایراداتی است و بر اصلاح آن توصیه شده است. لازم به ذکر است که این موضوع و روش‌های به کار گرفته شده از جنبه‌های نوآوری این پژوهش است.

۲- شتاب‌نگاشت‌های مورد استفاده

آیین‌نامه ۲۸۰۰ ساختمان‌های ایران، با توجه به میانگین سرعت موج برشی ۳۰ متر اول لایه خاک جنس زمین را به چهار نوع خاک طبقه‌بندی نموده است. سرعت موج برشی اکثر ایستگاه‌های شتاب‌نگاری کشور، به‌وسیله مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن محاسبه شده است [۱۶]. در این بررسی از بانک اطلاعاتی این مرکز از اطلاعات شتاب‌نگاشتی، سرعت موج برشی ایستگاه‌ها و نوع خاک محل ثبت شتاب‌نگاشت استفاده شده است. مجموعه داده‌های جمع‌آوری شده شامل زلزله‌های ثبت شده ایران تا پایان سال ۲۰۱۵ و همگی دارای مشخصه فاصله محل وقوع زلزله تا محل ثبت آنها کمتر از ۳۰ کیلومتر با بیشینه شتاب ثبت شده بیشتر از ۰/۱g و بزرگای ممان زلزله $M_w \geq 5$ است. در پایان این مرحله تعداد ۴۵۰ نگاشت نزدیک گسل انتخاب شده که از این تعداد ۶۳ نگاشت دارای پالس^۷ شدید با جهت‌پذیری پیش‌رونده تشخیص داده شده است.

هدف از سه روش مختلف بهره گرفته شده است. در ابتدا با بررسی کل شتاب نگاشت‌های ثبت شده در ایران، مؤلفه افقی نگاشت‌های نزدیک به گسل که ویژگی‌های پالس گونه بودن را دارا هستند انتخاب و پس از اصلاح شتاب نگاشت‌ها بر طبق دستورات آیین نامه ۲۸۰۰ در به مقیاس در آوردن آنها به شتاب ثقل زمین (۱g) طیف نرمال شده شتاب مربوط به این مؤلفه تعیین شده است. طیف نرمال شده در سه روش مندرج در زیر استفاده شده است.

روش اول

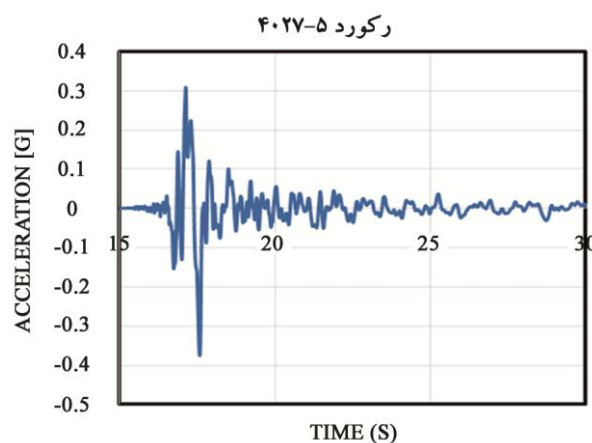
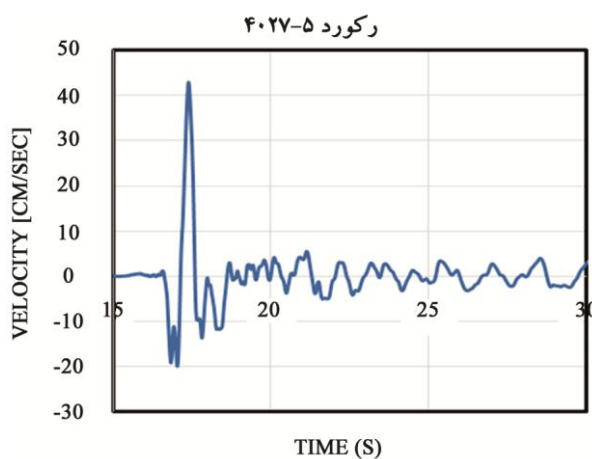
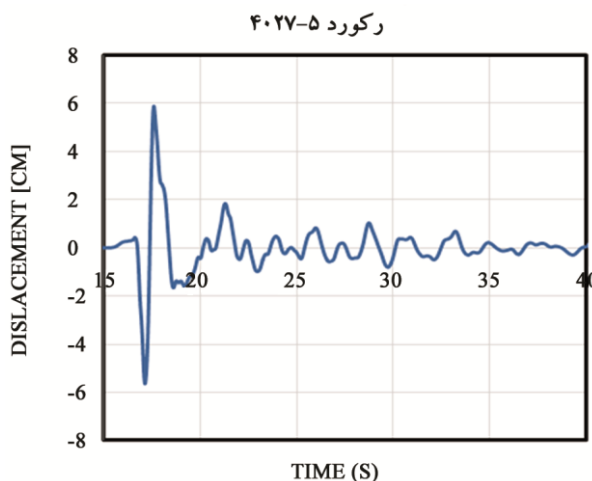
در این روش طیف نرمال شده شتاب مؤلفه افقی عمود بر امتداد گسل هر نگاشت پالس گونه (مؤلفه پالس گونه) بر دومین مؤلفه افقی طیف نرمال شده شتاب ثبت شده در همان ایستگاه (مؤلفه غیر پالس گونه) تقسیم شده است. این عمل برای کل داده‌های منتخب صورت گرفته است. سپس با میانگین‌گیری از این نسبت‌ها برای کل داده‌ها (تراز ۵۰٪) ضریب اصلاح طیف مربوط در پیوندهای مختلف تعیین شده است.

روش دوم

در این روش طیف نرمال شده شتاب مؤلفه افقی عمود بر امتداد گسل نگاشت پالسی شکل ثبت شده از یک زمین‌لرزه در یک ایستگاه بر طیف نرمال شده شتاب مؤلفه افقی عمود بر امتداد گسل نگاشت غیر پالسی شکل ثبت شده از همان زمین‌لرزه در ایستگاهی دیگر، تقسیم شده است. در این ارتباط سعی شده است که تقریباً شرایط یکسان بودن جنس زمین و فاصله رعایت شود. این اقدامات برای کل داده‌ها صورت گرفته و ضرایب طیفی برای پیوندهای مختلف در تراز ۵۰٪ و برای کل داده‌ها تعیین شده است.

روش سوم

در این روش 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 اقدامات برای کل

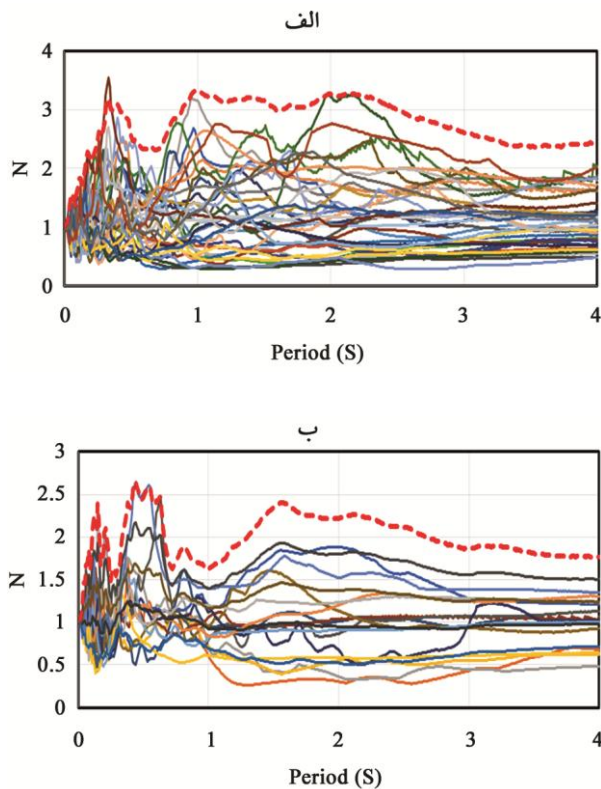


شکل (۲): تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و تغییر مکان مؤلفه عمود بر امتداد گسل نگاشت ثبت شده ایستگاه چالان چولان.

۳- روش تحقیق

هدف این پژوهش تولید طیف شتاب نگاشت پالسی شکل از طیف شتاب مؤلفه افقی نگاشت غیر پالس گونه است. برای این

خط چین موجود در شکل نسبت طیفی تراز ۰/۹۹/۷ (میانگین به اضافه سه برابر انحراف استاندارد) است. در دسته‌بندی داده‌های قرار گرفته در گروه سنگ ۴۴ نگاشت و برای دسته‌بندی داده‌های قرار گرفته در گروه خاک ۱۹ نگاشت به کار گرفته شده است.



شکل (۳): نسبت ضرایب طیفی در روش اول برای داده‌های طبقه‌بندی شده در گروه (الف) سنگ، (ب) خاک.

۳-۲- ضریب طیفی نگاشت‌ها در روش دوم

در این بخش از تقسیم شتاب طیفی نگاشت پالسی شکل (مؤلفه عمود بر امتداد گسل) ثبت شده یک ایستگاه بر شتاب طیفی نگاشت غیر پالسی سایر ایستگاه‌های دیگر که همان زمین‌لرزه را ثبت کرده‌اند و دارای شرایط زمین‌شناسی یکنواختی است و در فاصله تقریباً یکسانی نیز قرار دارند؛ ضریبی برای هر یک از داده‌های ثبت شده به دست آورده شده است. نمودار این نسبت‌ها برای دسته‌بندی سنگ و خاک به صورت مجزا در شکل (۴) نشان داده شده است. نمودار خط چین موجود در شکل نسبت طیف تراز ۰/۹۹/۷ است.

داده‌ها صورت گرفته و ضرایب طیفی در تراز ۰/۵۰ برای آنها در پیوندهای مختلف تعیین شده است.

سپس نسبت به مدل‌سازی ریاضی ضرایب به دست آمده از هر سه روش با استفاده از روش رگرسیون خطی استفاده شده است. این مدل‌سازی از داده‌ها در دسته‌بندی سنگ و خاک، با محاسبه میانگین مربعات خطا از الگوریتم Least Square در نرم‌افزار Matlab استفاده شده است. ضریب همبستگی در هر روش ارائه شده تا درک بهتری از دقت نمودارهای پیشنهادی وجود داشته باشد. میزان خطای نسبی و مطلق در هر روش و برای دسته‌بندی سنگ و خاک که به صورت مجزا در یک مرحله و همچنین برای کل داده‌ها در مرحله دوم انجام و مقدار خطا ارائه شده است. در راستای هدف اصلی پژوهش و اعتبارسنجی ضریب ارائه شده در آیین نامه ۲۸۰۰ (ضریب اصلاح طیف (N)) با نتایج مدل‌های پیشنهادی و به دست آمده در این پژوهش، مقایسه‌ای صورت گرفته است. این مقایسه بین هر سه روش با ضریب آیین نامه پیشنهادی آیین نامه ۲۸۰۰ ایران انجام گرفته و سپس پیشنهادی لازم در قسمت نتایج ارائه شده است.

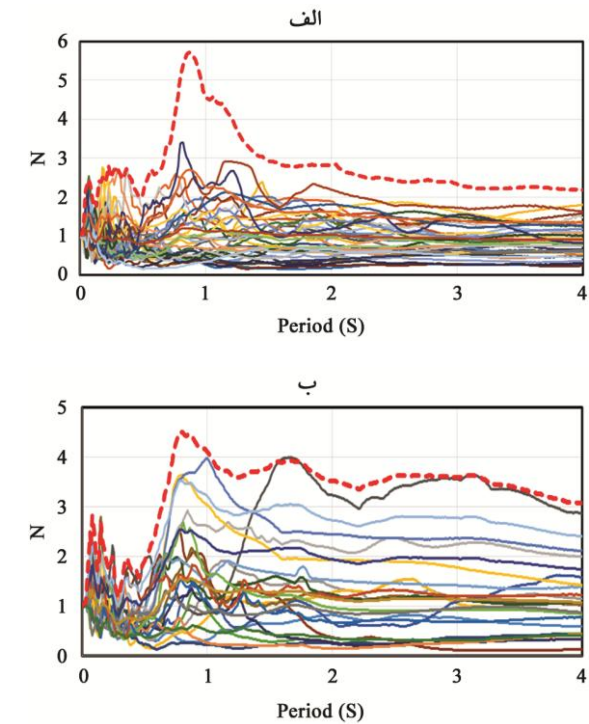
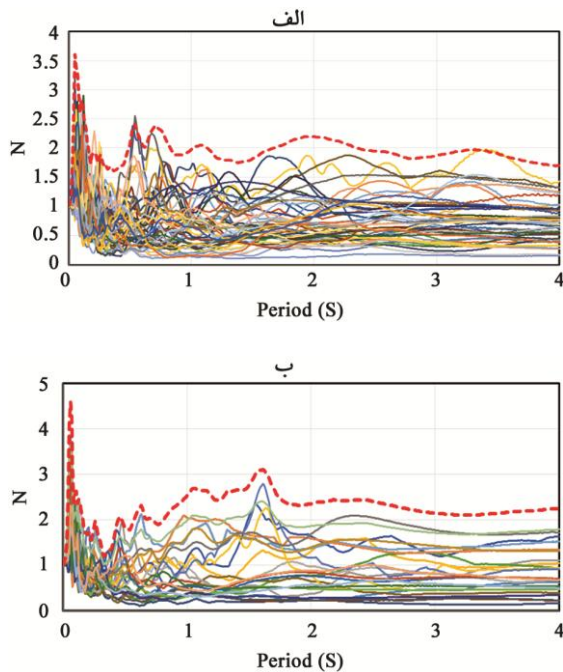
در این پژوهش جهت حذف داده‌های نامناسب (خیلی بزرگ یا خیلی کوچک) از نتایج انحراف معیار مجموعه مورد بررسی استفاده شده است. با جمع و تفریق سه برابر مقدار انحراف معیار با میانگین داده‌های به دست آمده، بازه‌ای تعیین شده و داده‌هایی که خارج از این محدوده قرار گرفته بودند از مجموع داده‌ها حذف شده‌اند.

۳-۱- ضریب طیفی نگاشت‌ها در روش اول

در این بخش نمودارها و نسبت طیف شتاب نرمال شده مؤلفه افقی دارای پالس به طیف شتاب نرمال شده مؤلفه افقی غیر پالسی شکل همان نگاشت محاسبه و ترسیم شده است. شکل (۳) نشان‌دهنده‌ی این نتایج برای تمامی شتاب‌نگاشت‌های مورد استفاده دو گروه سنگ (الف) و خاک (ب) است.

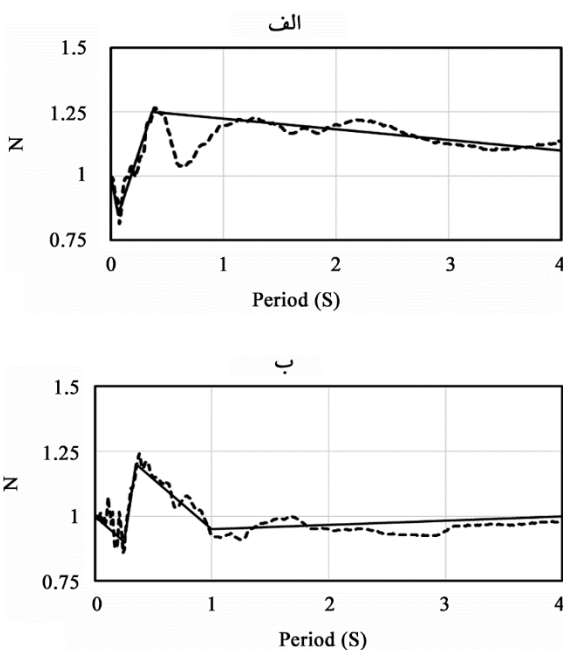
در هر سه روش ضرایب طیفی برای هر نگاشت نزدیک گسل در بازه‌ی زمانی ۰ الی ۴ ثانیه محاسبه شده است. نمودار

پیشنهادی اصلاح طیف معرفی شده در این پژوهش است. خطوط خط چین نتایج محاسبات و خطوط مستقیم مدل پیشنهادی ضریب بازتاب به دست آمده است.



شکل (۴): نسبت ضرایب طیفی در روش دوم برای داده‌های طبقه بندی شده در گروه الف (سنگ، ب) خاک.

شکل (۵): نسبت ضرایب طیفی در روش سوم برای داده‌های طبقه بندی شده در گروه الف (سنگ، ب) خاک.



شکل (۶): مقایسه ضریب اصلاح طیفی حاصل از داده‌ها با مدل پیشنهادی در روش اول برای الف (سنگ ب) خاک.

۳-۳- ضریب طیفی نکاشت‌ها در روش سوم

در این روش نیز به بررسی و مقایسه نحوه تغییرات نسبت طیف شتاب مؤلفه قائم نکاشت پالس گونه بر طیف مؤلفه افقی عمود بر امتداد گسل همان نکاشت محاسبات صورت گرفته است. نمودار کل این نسبت‌ها برای دسته بندی سنگ و خاک به صورت جداگانه در شکل (۵) نشان داده شده است. نمودار خط چین موجود در شکل نیز نسبت طیفی تراز ۹۹/۷٪ است.

۴- مقایسه نتایج و ارائه مدل‌های پیشنهادی ضریب اصلاح طیف در تراز ۵۰٪

میانگین (تراز ۵۰٪) ضرایب طیفی هر یک از روش‌های فوق با به کارگیری الگوریتم Least Square در نرم افزار Matlab مورد پردازش قرار گرفته است و نتایج به دست آمده به صورت نمودارهایی در شکل‌های (۶) تا (۸) و جدول‌های (۱) تا (۳) بیان شده است. در این شکل‌ها و جدول‌ها محور افقی (T) بیانگر دوره تناوب در بازه پریودی ۰ الی ۴ ثانیه و محور قائم (N) ضریب

جدول (۱): مدل پیشنهادی روش اول.

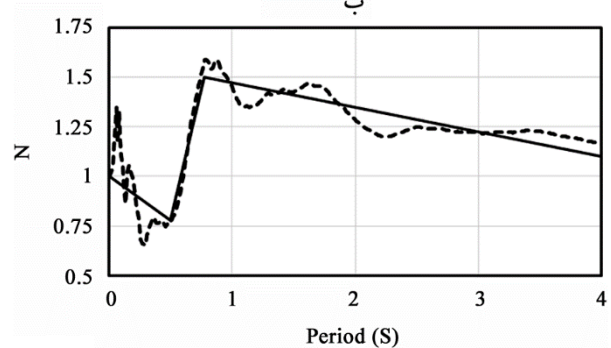
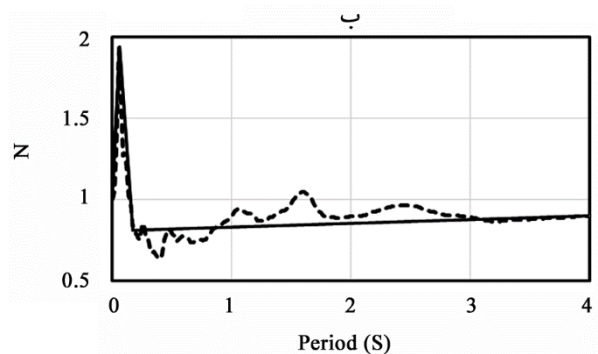
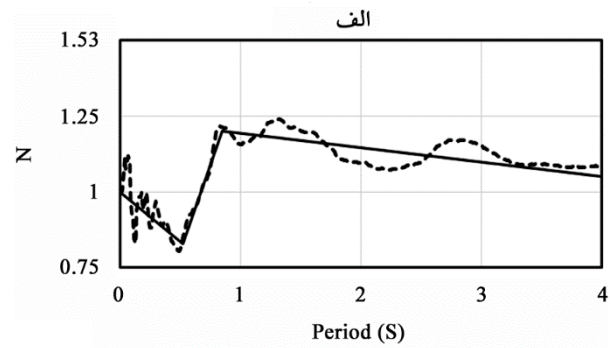
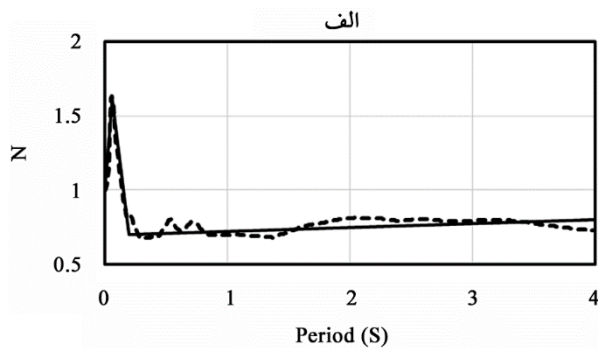
مدل پیشنهادی خاک - روش اول		مدل پیشنهادی سنگ - روش اول	
ضریب همبستگی	0.903682	ضریب همبستگی	0.750196
$N = -0.4T + 1$	$T \leq 0.25$	$N = -2.1429T + 1$	$T \leq 0.07$
$N = 3T + 0.15$	$0.25 < T \leq 0.35$	$N = 1.3333T + 0.7567$	$0.07 < T \leq 0.37$
$N = -0.3846T + 1.3346$	$0.35 < T \leq 2$	$N = -0.0331T + 1.2622$	$0.37 < T \leq 4$
$N = 0.0167T + 0.9333$	$2 < T \leq 4$		

جدول (۲): مدل پیشنهادی روش دوم.

مدل پیشنهادی خاک - روش دوم		مدل پیشنهادی سنگ - روش دوم	
ضریب همبستگی	0.925734	ضریب همبستگی	0.912092
$N = -0.44T + 1$	$T \leq 0.5$	$N = -0.3269T + 1$	$T \leq 0.52$
$N = 2.6667T - 0.5533$	$0.5 < T \leq 0.77$	$N = 1.2727T + 0.1682$	$0.52 < T \leq 0.85$
$N = -0.1238T + 1.5954$	$0.77 < T \leq 4$	$N = -0.0476T + 1.2905$	$0.85 < T \leq 4$

جدول (۳): مدل پیشنهادی روش سوم.

مدل پیشنهادی خاک - روش سوم		مدل پیشنهادی سنگ - روش سوم	
ضریب همبستگی	0.821908	ضریب همبستگی	0.931189
$N = 15.667T + 1$	$T \leq 0.06$	$N = 10.167T + 1$	$T \leq 0.06$
$N = -10.273T + 2.5564$	$0.06 < T \leq 0.17$	$N = -6.5T + 2$	$0.06 < T \leq 0.2$
$N = 0.0235T + 0.806$	$0.17 < T \leq 4$	$N = 0.0263T + 0.6947$	$0.2 < T \leq 4$

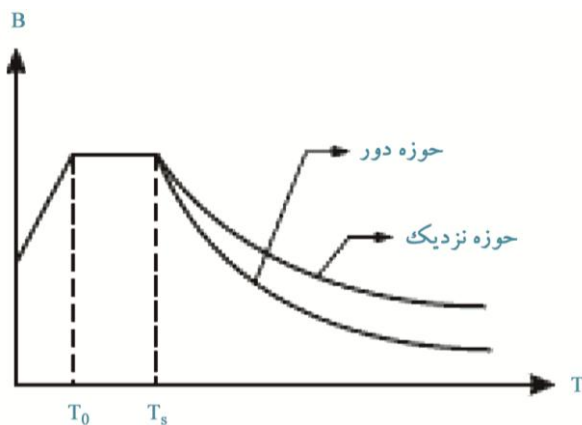


شکل (۸): مقایسه ضریب اصلاح طیفی حاصل از داده‌ها با مدل پیشنهادی در روش سوم برای الف) سنگ ب) خاک.

شکل (۷): مقایسه ضریب اصلاح طیفی حاصل از داده‌ها با مدل پیشنهادی در روش دوم برای الف) سنگ ب) خاک.

در این روابط از پارامترهای زمان تناوب خاک (T_s) و زمان تناوب سازه (T) استفاده می‌شود [۱۷].

با توجه به اینکه در استاندارد ۲۸۰۰ ایران ۸۲/۵ درصد مناطق با لرزه‌خیزی زیاد و خیلی زیاد اعلام شده‌اند که از این میزان ۱۵/۵ درصد شامل مناطق با لرزه‌خیزی خیلی زیاد هستند. در این پژوهش به منظور مقایسه ضرایب پیشنهادی با ضریب آیین‌نامه ۲۸۰۰، از ضریب آیین‌نامه توصیه شده برای خاک نوع ۱، ۲، ۳ و ۴ برای پهنه‌بندی با خطر نسبی خیلی زیاد و زیاد استفاده شده که در شکل‌های (۱۰) تا (۱۲) نشان داده شده است. بر طبق شکل (۹) ضریب استاندارد ۲۸۰۰ تأثیرات اثرات حوزه نزدیک گسل را فقط در قسمت سوم یا پایانی شکل طیف در نظر می‌گیرد ($T_s > T$) در حالی که مدل پیشنهادی در این پژوهش موضوعی غیر از این را اثبات می‌نماید. با توجه به نمودارهایی که در ادامه مشاهده خواهد شد می‌توان دریافت که مدل پیشنهادی در آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران با هیچ‌یک از نتایج این تحقیق همخوانی ندارد. نتایج به دست آمده در شکل‌های (۱۰) تا (۱۲) نشان داده شده است. در این شکل‌ها محور افقی (T) بیانگر دوره تناوب در بازه پریودی ۰ الی ۴ ثانیه و محور قائم (N) بیانگر ضریب پیشنهادی آیین‌نامه و این پژوهش است. خطوط مشکی و قرمز رنگ به ترتیب مربوط به مدل پیشنهادی و ضریب آیین‌نامه ۲۸۰۰ است. در این شکل‌ها حرف N به معنای ضریب اصلاح طیف آیین‌نامه برای خاک‌های مختلف است. اعداد داخل پرانتز بیانگر نوع خاک محل ساختگاه بر طبق دسته‌بندی آیین‌نامه ۲۸۰۰ است.



شکل (۹): تأثیر زلزله حوزه نزدیک بر روی طیف بازتاب [۱۷].

۵- مقایسه‌ی ضرایب اصلاح طیف بازتاب میانگین (تراز ۵۰٪) با ضریب اصلاح طیف بازتاب استاندارد مندرج در آیین‌نامه ۲۸۰۰ ساختمان‌های ایران

جهت مقایسه و اعتبارسنجی اقدامات صورت گرفته در این پژوهش مدل‌های پیشنهادی با مدل ارائه شده در مرجع و منبع قانونی و مرتبط با موضوع یعنی آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) مقایسه شده است.

ضریب طیف طراحی (بازتاب ساختمان) پیشنهادی در آیین‌نامه ۲۸۰۰ (ویرایش ۴) به صورت رابطه (۱) است [۱۷]:

$$B = B_1 N \quad (1)$$

که در آن B_1 ، ضریب شکل طیف و N ، ضریب اصلاح طیف (اثرات حوزه نزدیک گسل) است.

ضریب شکل طیف، B_1 ، با در نظر گرفتن بزرگنمایی خاک در پیوندهای مختلف و میزان لرزه‌خیزی منطقه مشخص شده است. این ضریب با استفاده از معادله (۲) تعیین می‌شود:

$$\begin{cases} B_1 = S_0 + (S - S_0 + 1)(T/T_0) & 0 < T \leq T_0 \\ B_1 = S + 1 & T_0 < T \leq T_s \\ B_1 = (S + 1)(T_s/T) & T > T_s \end{cases} \quad (2)$$

T زمان تناوب اصلی نوسان ساختمان به ثانیه و T_0 ، T_s ، S و S_0 پارامترهایی هستند که به نوع زمین و میزان خطر لرزه‌خیزی منطقه وابسته‌اند.

با توجه به ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰، ضریب اصلاح

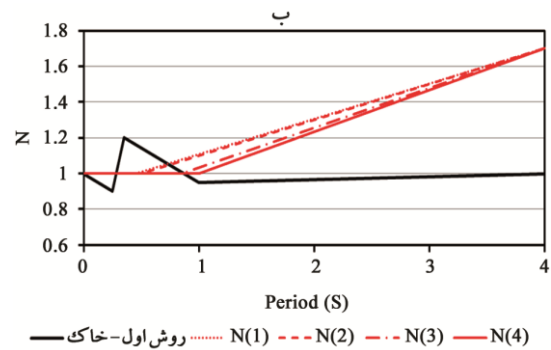
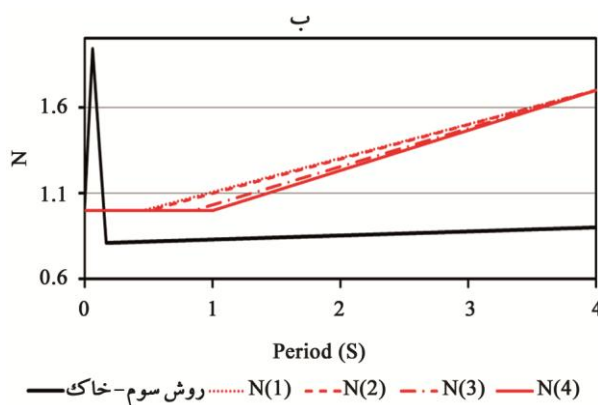
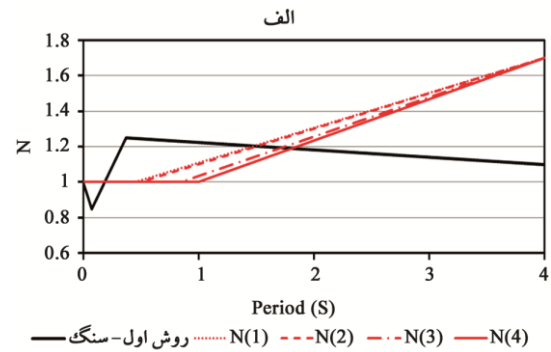
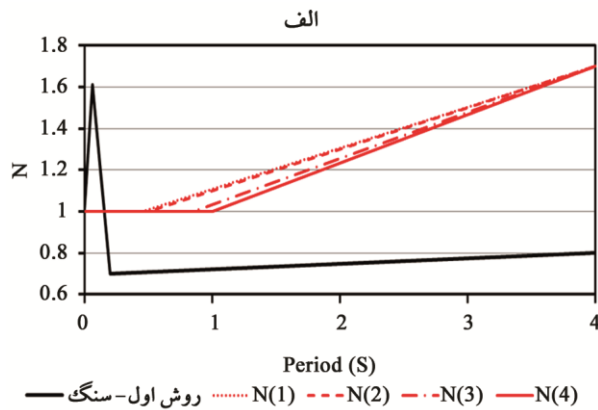
طیف (N) به شرح زیر تعیین می‌شود:

الف) برای پهنه‌های با خطر نسبی خیلی زیاد و زیاد:

$$\begin{cases} N = 1 & T \leq T_s \\ N = \frac{0.7}{(4-T_s)}(T - T_s) + 1 & T \leq T_s \leq 4s \\ N = 1.7 & T \geq 4s \end{cases} \quad (3)$$

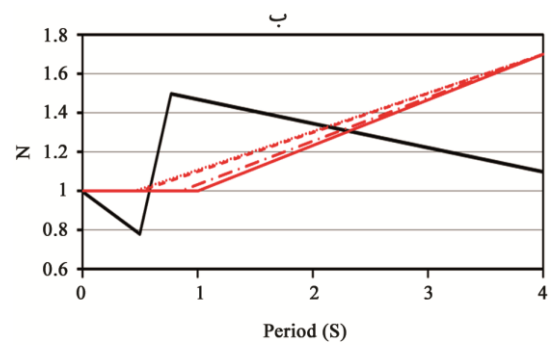
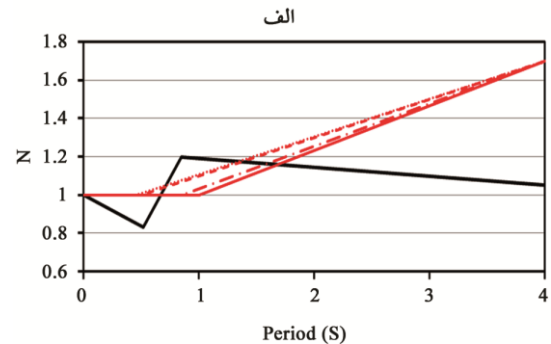
ب) برای پهنه‌های با خطر نسبی متوسط و کم:

$$\begin{cases} N = 1 & T \leq T_s \\ N = \frac{0.4}{(4-T_s)}(T - T_s) + 1 & T \leq T_s \leq 4s \\ N = 1.4 & T \geq 4s \end{cases} \quad (4)$$



شکل (۱۰): مقایسه ضریب پیشنهادی اصلاح طیف در روش اول با ضریب اصلاح آیین‌نامه ۲۸۰۰ برای الف) سنگ ب) خاک.

شکل (۱۲): مقایسه ضریب پیشنهادی اصلاح طیف در روش سوم با ضریب اصلاح آیین‌نامه ۲۸۰۰ برای الف) سنگ ب) خاک.

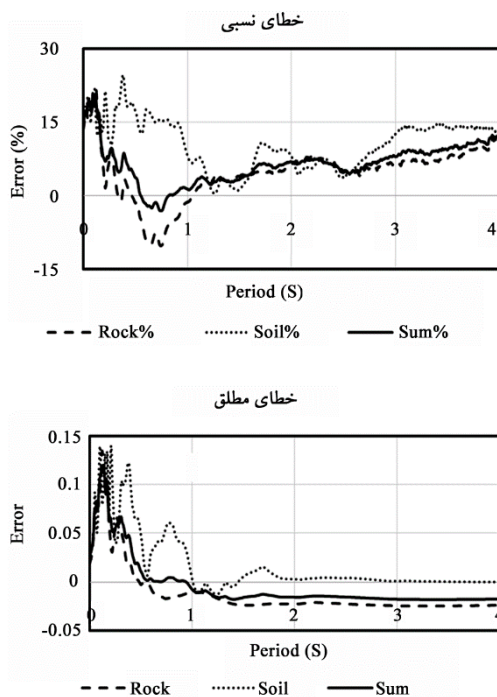


شکل (۱۱): مقایسه ضریب پیشنهادی اصلاح طیف در روش دوم با ضریب اصلاح آیین‌نامه ۲۸۰۰ برای الف) سنگ ب) خاک.

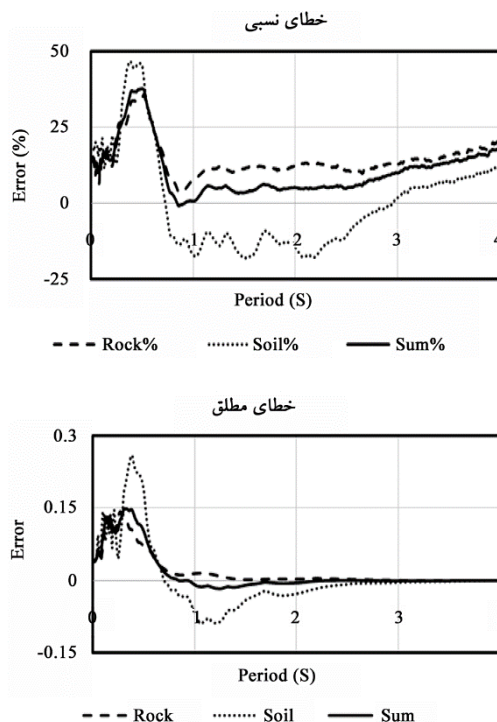
در این پژوهش با استفاده از سه روش مختلف سعی در تشخیص اثرات حوزه نزدیک بر طیف شده است. با تعیین رابطه‌ای ریاضی سعی در برقراری منطقی‌ترین روش ممکن شده تا بتوان اختلاف مابین رویدادهای غیرپالس‌گونه با رویدادهای پالس‌گونه مشخص شود. اختلاف‌های ضرایب پیشنهادی در هر یک از روش‌ها و برای هر یک از دسته‌بندی‌ها امری طبیعی است؛ زیرا ماهیت روش‌های به کار گرفته شده متفاوت است. به دنبال آن سعی شده است در هر روش با محاسبه خطاهای به‌دست آمده، نسبت به قابلیت اطمینان آن روش و ارائه آن به‌عنوان نتیجه نهایی پژوهش اتخاذ تصمیم شود.

در روش اول مدل پیشنهادی سنگ در پریود $1/5$ الی $0/2$ ثانیه و مدل پیشنهادی خاک در پریود $0/8$ الی $0/3$ ثانیه در مقایسه با ضریب آیین‌نامه بالاتر از مقدار ضریب N آیین‌نامه است.

X_j = طیف شتاب نگاشت غیر پالسی شکل
 X_i = طیف شتاب نگاشت پالسی شکل



شکل (۱۳): میانگین خطای مطلق و نسبی طیف شتاب در روش اول برای دسته‌بندی سنگ، خاک و کل داده‌ها.



شکل (۱۴): میانگین خطای مطلق و خطای نسبی طیف شتاب در روش دوم برای دسته‌بندی سنگ، خاک و کل داده‌ها.

در روش دوم مدل پیشنهادی سنگ در پریود ۱/۵ الی ۰/۷ ثانیه و مدل پیشنهادی خاک در پریود ۲ الی ۰/۶ ثانیه در مقایسه با ضریب N آیین‌نامه بالاتر از مقدار آن است. روش سوم اختلاف فراوانی را در کل پریودها نشان داده است.

۶- میزان خطای نتایج مدل‌های به‌دست‌آمده با داده‌های ثبت شده

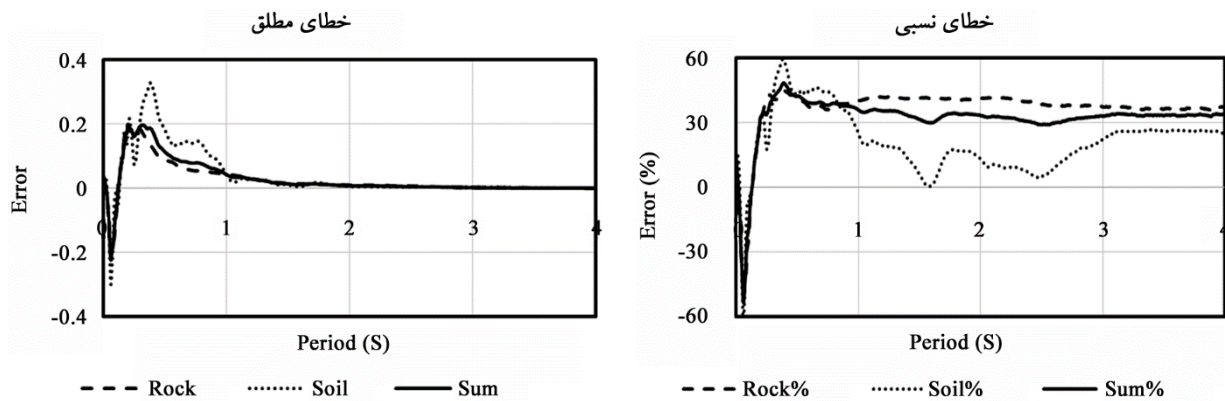
به منظور بررسی مقدار خطای روش‌های ارائه شده، میانگین مقدار اختلاف طیف‌های مدل شده پالس‌گونه با نگاشت‌های پالس‌گونه واقعی برای دسته‌بندی‌های سنگ و خاک و برای کل داده‌ها در سه روش محاسبه شده به دست آمد. در این محاسبات مقدار خطای مطلق و خطای نسبی، مطابق فرمول‌ها ارائه شده در جدول (۴) اقدام شده است. با اعمال ضرب ضرایب ارائه شده (مدل‌ها) در هر یک از سه روش پیشنهادی در این پژوهش در پریودهای مختلف در دامنه طیف نگاشت غیرپالس‌گونه و سپس به دست آوردن اختلاف دامنه‌های آن در هر پریود از دامنه‌های طیف نگاشت پالس‌گونه در پریودهای مشابه، مقدار میانگین خطا برای هر نگاشت (در پریودهای مختلف) تعیین شده است. حاصل جمع کل این خطاها در پریودهای مختلف و در هر سه روش در شکل‌های (۱۳) الی (۱۵) نشان داده شده است. مقادیر مثبت در این نمودارها به معنای بیشتر بودن مقدار طیف نگاشت پالسی شکل رکورد شده از طیف مدل شده پالسی شکل در هر پریود است.

جدول (۴): فرمول‌های به‌کار گرفته شده به منظور تعیین خطای مطلق و خطای نسبی.

$ERROR = X_i - N \times X_j$	شکل کلی فرمول خطای مطلق
$ERROR(\%) = \frac{(X_i - N \times X_j)}{X_i} \times 100$	شکل کلی فرمول خطای نسبی

در این رابطه پارامترهای آن به صورت زیر است:

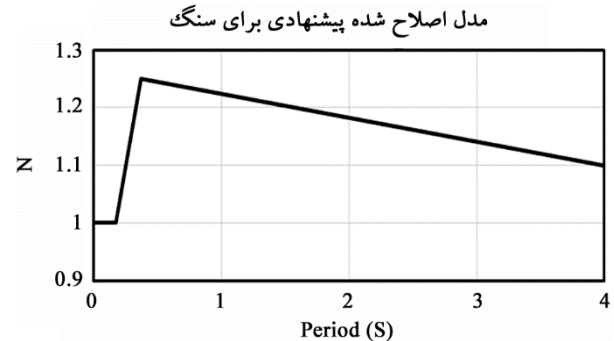
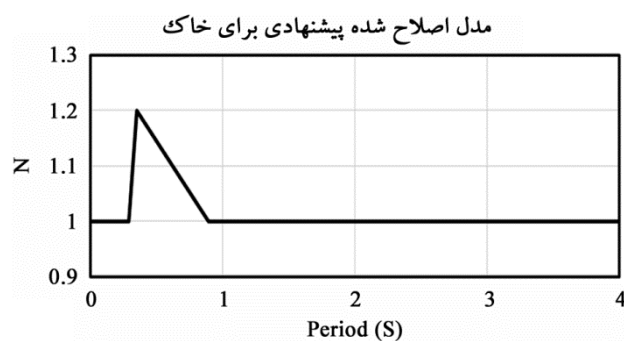
N = ضریب اصلاح پیشنهادی طیف برای روش اول، دوم و سوم در دسته‌بندی خاک یا سنگ



شکل (۱۵): میانگین خطای مطلق و نسبی طیف شتاب در روش سوم برای دسته‌بندی سنگ، خاک و کل داده‌ها.

۷- مدل پیشنهادی برای ضریب اصلاح طیف تراز ۰.۵۰٪
 با توجه به مطالب ذکر شده مدل‌های پیشنهادی در این پژوهش، برای روش‌های اول و دوم و در شرایط خاک و سنگ در شکل‌های (۱۶) و (۱۷) و جدول‌های (۵) و (۶) به صورت زیر ارائه شده است.

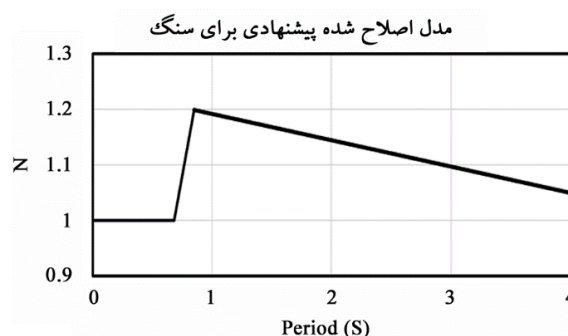
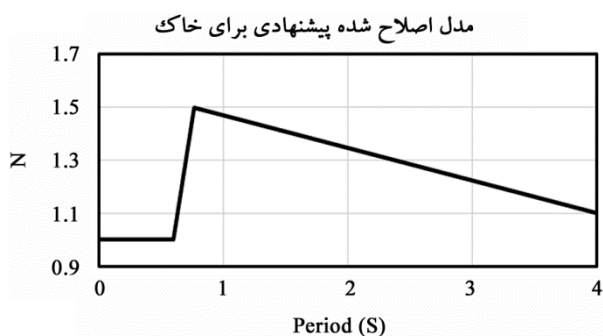
بیشینه مقدار خطای مطلق و نسبی، در روش اول در پریود ۰/۱۵ ثانیه به ترتیب برابر ۰/۱۲ و ۲۰٪ و این مقدار برای روش دوم در پریود ۰/۴ ثانیه برابر ۰/۱۵ و ۳۵٪ است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که روش سوم دارای بیشترین خطا بوده و نمی‌توان آن را توصیه نمود.



شکل (۱۶): مدل پیشنهادی سنگ و خاک در روش اول با اصلاح ضرایب کمتر از یک.

جدول (۵): نتایج مدل ریاضی روش اول با اصلاح ضرایب.

مدل پیشنهادی اصلاح شده خاک در روش اول		مدل پیشنهادی اصلاح شده سنگ در روش اول	
N=1	$T \leq 0.29$	N=1	$T \leq 0.175$
$N=3T+0.15$	$0.29 < T \leq 0.35$	$N=1.3333T+0.7567$	$0.175 < T \leq 0.37$
$N=-0.3846T+1.3346$	$0.35 < T \leq 0.9$	$N=-0.0331T+1.2622$	$0.37 < T \leq 4$
N=1	$0.9 < T \leq 4$		



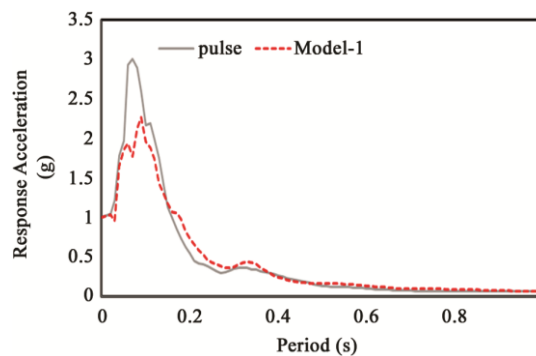
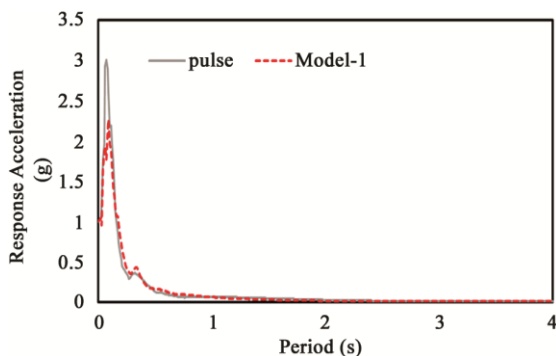
شکل (۱۷): مدل پیشنهادی سنگ و خاک در روش دوم با اصلاح ضرایب کمتر از یک.

جدول (۶): نتایج مدل ریاضی روش دوم با اصلاح ضرایب.

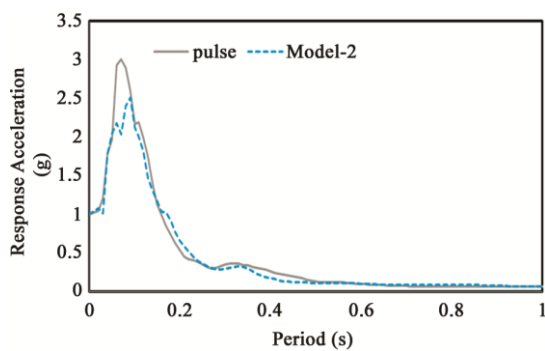
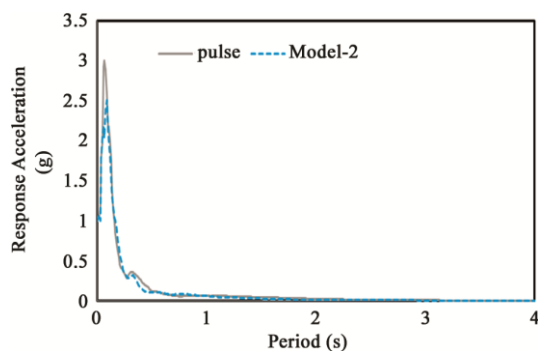
مدل پیشنهادی اصلاح شده خاک در روش دوم		مدل پیشنهادی اصلاح شده سنگ در روش دوم	
$N=1$	$T \leq 0.6$	$N=1$	$T \leq 0.68$
$N=2.6667T-0.5533$	$0.6 < T \leq 0.77$	$N=1.2727T+0.168$	$0.68 < T \leq 0.85$
$N=-0.1238T+1.5954$	$0.77 < T \leq 4$	$N=-0.0476T+1.2905$	$0.85 < T \leq 4$

پیشنهادی در طیف مؤلفه غیرپالس گونه) با استفاده از روش اول دوم را با طیف شتاب مؤلفه پالس گونه واقعی نگاشت نزدیک گسل مربوط به یک زمین لرزه مشخص در شکل های (۱۸) و (۱۹) مقایسه شده است.

۸- ارائه نمونه‌ای از نتایج طیف‌های مدل شده با نمونه طیف نگاشت پالس گونه از یک رخداد زمین لرزه در این بخش با ارائه دو نمونه برای دسته بندی های سنگ و خاک، طیف شتاب پالس گونه مدل شده (اعمال ضریب

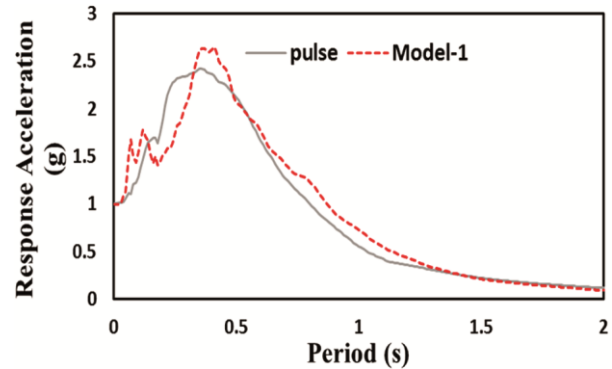
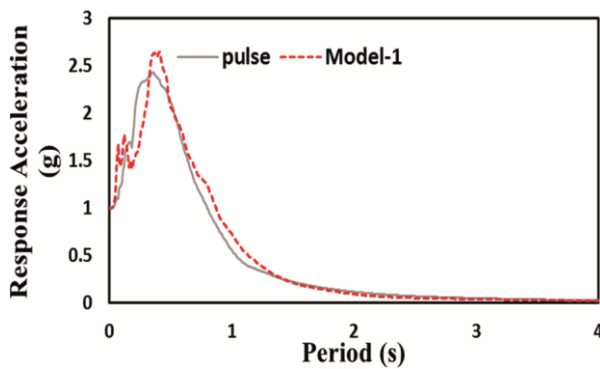


(الف)

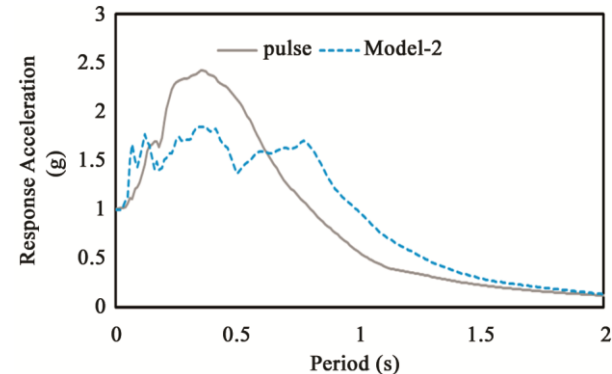
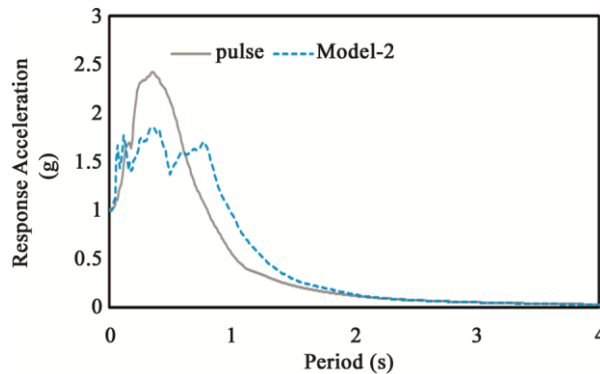


(ب)

شکل (۱۸): مقایسه طیف پالس گونه مدل شده سنگ با استفاده از روش الف) اول (ب) دوم. با نمونه واقعی طیف پالس گونه.



(الف)



(ب)

شکل (۱۹): مقایسه طیف پالس‌گونه مدل شده خاک با استفاده از روش الف) اول (ب) دوم. با نمونه واقعی طیف پالس‌گونه.

محدوده فرکانسی و زمانی بر روی داده‌های شتاب‌نگاشتی اعمال شده و شتاب‌نگاشت‌ها به مقدار $1g$ به مقیاس درآمده‌اند. طیف هر یک از آنها محاسبه و با استفاده از سه روش آماری نسبت به محاسبه و مدل‌سازی ضریب پالس‌گونه بودن آنها اقدام شده است. این سه روش عبارتند از: ۱- ارائه میانگین نسبت طیف شتاب مؤلفه‌های افقی عمود بر امتداد گسل تقسیم بر طیف شتاب مؤلفه‌های افقی غیر پالسی همان نگاشت برای کل داده‌ها از نوع سنگ و خاک به صورت جداگانه. ۲- ارائه میانگین نسبت طیفی شتاب مؤلفه‌های افقی عمود بر امتداد گسل نگاشت پالس‌گونه بر طیف شتاب مؤلفه‌های افقی نگاشت غیر پالسی داده‌ای که در ایستگاه دیگری ثبت شده است و جنس زمین و فاصله ثبت آنها تقریباً یکسان است. ۳- میانگین نسبت طیفی شتاب مؤلفه قائم تقسیم بر طیف شتاب مؤلفه افقی عمود بر امتداد گسل همان نگاشت پالسی شکل. به دلیل پراکندگی داده‌ها و کمبود آنها

خطوط پیوسته خاکستری رنگ، طیف نگاشت پالس‌گونه و خطوط خط‌چین آبی و قرمز رنگ، طیف مدل شده به دست آمده از نگاشت غیر پالس‌گونه است. در این شکل‌ها، نمودار سمت راست طیف‌ها را تا پریود یک یا دو ثانیه و شکل سمت چپ همان نمودار را تا پریود ۴ ثانیه نشان می‌دهند. شکل‌های الف) مربوط به استفاده از روش اول و شکل‌های ب) مربوط به روش دوم است.

۹- نتیجه‌گیری

در این پژوهش تعداد ۶۳ نگاشت از میان ۴۵۰ شتاب‌نگاشت ثبت شده در میدان نزدیک با توجه به معیار نگاشت‌های دارای پالس و نزدیک گسل‌گزینش شده است. تشخیص زمین‌شناسی محل ایستگاه‌ها بر مبنای اطلاعات منتشره توسط مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی انجام شده است. تصحیحات لازم در

ثانیه افزایش می‌یابد و بعد از آن این مقدار به صورت ثابت باقی می‌ماند که این موضوع بسیار محافظه کارانه و غیرمنطقی است. درحالی که در روش اول و دوم که در این پژوهش پیشنهاد شده است، شیب منحنی از محدوده پریودی معینی نزولی است. این بخش نیز توجه‌پذیری روش‌های صورت گرفته را تأیید می‌نماید.

۵- در روش اول و دوم غالباً قسمت پایانی نمودار همواره به صورت نزولی بوده و مقدار خطا در نمودارهای تهیه شده در این قسمت‌ها همواره در حال کاهش است؛ به طوری که طیف‌های مدل شده با ضرایب پیشنهادی (N) با طیف نگاشت پالس گونه از همخوانی خوبی برخوردار است. با توجه به مقایسه صورت گرفته در شکل‌های (۱۰) تا (۱۲) این موضوع در ارتباط با قسمت میانی و صعودی (پریود ۰/۵ تا ۴ ثانیه) با نمودار آیین‌نامه ۲۸۰۰ در تضاد است.

۶- مقادیر خطا برای هر روش به صورت جداگانه ارائه شده است. در مدل ارائه شده برای خاک مقدار خطا نسبت به مدل سنگ کمی بیشتر است و دلیل آن را می‌توان کمبود اطلاعات و داده‌های موجود در این دسته‌بندی‌ها معرفی کرد. برای نادیده گرفتن اثر این موضوع و رفع خطاها، هر دو دسته بندی سنگ و خاک را جمع و به صورت خطای کل داده‌ها در هر روش ارائه شده است.

۷- عمدتاً مقدار خطا در بسیاری از پریودها مثبت بوده که این حالت به معنای کمتر بودن مقدار دامنه مدل‌های پیشنهادی ضریب N است.

۸- مقادیر خطای مطلق و نسبی در روش اول حدود ۰/۰۳ و ۰/۵٪ و برای روش دوم برابر ۰/۰۵ و ۱۵٪ است.

۹- از بین نتایج سه روش صورت گرفته در تراز ۰/۵٪، روش اول و دوم از همخوانی بسیار بهتر و قابل‌قبولتری نسبت به روش سوم و همچنین در مقایسه با ضریب آیین‌نامه ۲۸۰۰ برخوردار است.

۱۰- به عنوان یکی از مهم‌ترین نتایج این فعالیت پژوهشی می‌توان

به خصوص در ساختگاه‌های گروه ۳ و ۴، خروجی‌های این دو گروه با هم ترکیب شده و به عنوان نماینده گروه خاک معرفی شده و خروجی‌های ثبت شده در ساختگاه‌های گروه ۱ و ۲ نیز با هم ترکیب شده و به عنوان نماینده گروه سنگ معرفی شده است. سپس مقایسه‌ای بین ضرایب اصلاح طیف‌های حاصل شده، با ضریب N معرفی شده در آیین‌نامه استاندارد ۲۸۰۰ ساختمان‌های ایران انجام شده است. خطاهای هر روش تعیین و مدل‌های ریاضی متناسب برای تراز ۰/۵٪ در روش‌های سه‌گانه ارائه شده است. سپس ضرایب به دست آمده از سه روش بر طیف‌های غیرپالس گونه اعمال و با طیف‌های پالس گونه رکورد شده مقایسه شده‌اند. نتایج زیر از این مطالعات به دست آمده است:

۱- مدل‌های ریاضی پیشنهادی برای اصلاح طیف طراحی در هر کدام از روش‌ها از صحت و دقت نسبتاً بالایی برخوردار بوده و مورد اطمینان است اما این روش‌ها در مقایسه با آیین‌نامه ۲۸۰۰ دارای اختلافات قابل توجهی است.

۲- در ویرایش چهارم آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران بحثی از حوزه نزدیک نشده است و هیچ‌گونه مبنا و معیاری برای ضریب پیشنهادی N نیز ارائه نشده است. مبنا و معیار به دست آمدن این ضریب نامشخص است درحالی که با اعمال این ضریب می‌توان گفت اثرات حوزه نزدیک اعمال شده است. پیشنهاد این است که این موضوع اصلاح شود.

۳- با توجه به مقایسه‌های صورت گرفته در شکل‌های (۱۰) تا (۱۲) و این موضوع که غالباً پریود طبیعی سازه‌های طراحی شده توسط آیین‌نامه (سازه‌های ساختمانی کوتاه و متوسط مرتبه) کمتر از ۲ ثانیه است، در این بازه زمانی ضریب پیشنهادی آیین‌نامه و مدل‌های ضریب پیشنهادی ارائه شده در این تحقیق دارای بیشترین اختلاف نسبت به یکدیگر است. اگرچه در سایر پریودها این دو ضریب از ماهیتی کاملاً متفاوت نسبت به یکدیگر برخوردارند.

۴- همچنین از مقایسه شکل‌های (۱۰) تا (۱۲) می‌توان دریافت که ضریب N آیین‌نامه بعد از پریود ۰/۵ ثانیه همواره تا ۴

6. 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.
7. 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.
8. Menun, C. and Fu, Q. (2002) An analytical model for near-fault ground motions and the response of SDOF systems. *Proc. of the 7th U.S. National Conf. on Earthquake Engineering*, Boston, MA.
9. Tian Yu-ji, Yang Qing-shan, Lu Ming-qi. (2007) Simulation method of near-fault pulse-type ground motion. *Acta Seismologica Sinica*, **20**(1), 80-87.
10. Hoseini Vaez, S.R., Sharbatdar, M.K., Ghodrati Amiri, G., Naderpour, H., and Kheyroddin, A. (2013) Dominant pulse simulation of near fault ground motions. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, **12**(2), 267-278.
11. Hassan Khani, A., Zafarani, H. (2015) Prediction of near-field directivity pulse characteristics through simulation deterministic approach and its calibration. *Journal of the Earth and Space Physics*, **41**(3), 391-402 (in Persian).
12. Zafarani, H., Noorzad, A., and Bargi, Kh. (2008) Simulated earthquake motions recorded in randomly fault with limited dimensions and a small role in shaping the distribution of damage observed seismic source. *Journal of the College of Engineering*, **41**(8), 752-764 (in Persian).
13. Zafarani, H., Noorzad, A., Ansari, A., and Bargi, Kh. (2009) Stochastic modeling of Iranian earthquakes and estimation of ground motion for future earthquakes in Greater Tehran. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **29**(4), 722-741.
14. Zafarani, H. and Soghrat, M. (2012) Simulation of ground motion in the Zagros region of Iran using the specific barrier model and the stochastic method. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **102**(5), 2031-2045.

اظهار کرد که در نتایج روش سوم ارائه شده در این مطالعات، هیچ ارتباطی منطقی با نگاشت‌های پالس‌گونه وجود ندارد که بتوان از آن برای شناخت ضریب N استفاده نمود.

۱۱- اگرچه معتقد هستیم که با وجود آنکه دو روش دیگر از قابلیت‌های کاربردی بیشتری بهره‌مند بوده و در طراحی‌ها در جهت اصلاح طیف و در نظر گرفتن اثرات حوزه نزدیک گسل می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند اما با توجه به مقایسه‌های صورت گرفته باید بیان کرد که از میان دو روش اول و دوم، نتایج روش اول را قابل استنادتر می‌دانیم. دلیل این موضوع، اختلاف ناچیز مابین طیف پالسی‌شکل مدل‌سازی شده با به کارگیری این ضریب (N) در مدل ارائه‌شده با طیف پالسی شکل رکوردهای واقعی به‌دست آمده از زلزله‌هاست.

مراجع

1. Ambraseys, N.N. and Douglas, J. (2003) Near-Field horizontal and vertical earthquake ground motions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **23**(1), 1-18.
2. Bolt, B.A. (1975) The San Fernando Earthquake, 1971. Magnitudes, Aftershocks, and Fault Dynamics. *Bulletin 196, Calif. Div. of Mines and Geology*, Sacramento, CA, U.S.A, Chapter 21.
3. Galal, K. and Ghojarah, A. (2006) Effect of near-fault earthquakes on North American nuclear design spectra. *Nuclear Engineering and Design*, **236**(18), 1928-1936.
4. Somerville, P., Smith, N.F., Graves, R.W., and Abrahamson, N.A. (1997) Modification of empirical strong ground motion attenuation relations to include the amplitude and duration effects of rupture directivity. *Seismological Research Letters*, **68**(1), 199–222.
5. Braya, J.D., Rodriguez-Marek, A. (2004) Characterization of forward-directivity ground motions in the near-fault region. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **24**(11), 815–828.

15. Kavand, A., Sarkeshik Zadeh Motlagh, A., and Ghalandarzadeh, A. (2017) The vertical component of the seismic response of alluvial deposits from areas near fault. *Bulletin of Earthquake Science and Engineering*, 3(2), 1-20 (in Persian).
16. Iran Strong Motion Network. Road, Housing and Urban Development Research Center. Available: <http://www.bhrc.ac.ir> (in Persian).
17. Earthquake Resistant Design of Buildings code, 2800 (Fourth Edition) (2014) Ministry of Road & Urban Development. Road, Housing and urban Development Research Center (in Persian).
18. Mohammadian, M. (2016) *An Analysis of the Earthquakes with and without Intense Pulses on the Dynamic Effects of Soil*. M.Sc. Thesis, Shahid Beheshti University. Tehran. Iran (in Persian).
19. Stewart, J.P., Chiou, Sh.J. Bray, J.D., Graves, R.W., Somerville, P.G., and Abrahamson, N.A. (2001) *Ground Motion Evaluation Procedures for Performance-Based Design*. A report on research conducted under grant No. EEC-9701568 from the National Science Foundation, PEER, University of California, Berkeley.
20. Somerville, P. (2000) Seismic Hazard Evaluation. *Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand, No. 2833.

واژه‌نامه

Active Faults	۱- گسل‌های فعال
Forward Directivity	۲- جهت‌پذیری پیش‌رونده
Velocity Pulse	۳- پالس سرعت
Permanent Dislocation	۴- جابه‌جایی ماندگار
Near-Field Effect	۵- اثرات نزدیک گسل
Moment Magnitude	۶- بزرگای ممان زلزله
Pulse Like Record	۷- نگاشت دارای پالس

پیوست: لیست شتاب‌نگاشت‌های مورد استفاده همراه با مشخصات آنها

در این بخش اطلاعات کل داده‌های منتخب قرار گرفته است. سرعت موج برشی ایستگاهی داده‌هایی که با * مشخص شده است وجود ندارد و از روی شکل طیف و نقشه‌های زمین‌شناسی با توجه به نظر کارشناسی نوع خاک طبق طبقه‌بندی چهارگانه آیین‌نامه مشخص شده است.

نام ایستگاه	شماره رکورد	بیشینه شتاب زمین (cm/s/s)	فاصله رومرکزی	M _L	M _w	سرعت موج برشی ایستگاه (m/s)
افین	5684	143	20		5.4	1397
اهر	5521/13	56	26		5.1	نوع 2*
اهرم	3241	170	14	5.8	5.4	988
اهرم	2214/01	226	29	5.3	5.4	988
آباد	3239/01	412	6	5.8	5.4	482
آقی‌فلا ۱	3556/01	80	19		6.2	341
بم	3168/02	989	6		6.9	499
تربت‌حیدریه	5006	434	4		5.9	306
تمبان	4147/13	518	28	6.1	5.7	نوع 2*
تمبان	4686/03	597	9	6.1	6	نوع 2*
تمبان	4686/19	278	23	10	5.1	نوع 2*
جوشان	1879/24	97	3	4.7	5.3	776
جووکان	3852/02	171	18		5	930
چالان چولان	4027/02	169	8	5.7	5.3	428
چالان چولان	4027/05	320	5	5.7	5.2	428
چای‌کندی ۱	5597/43	357	5		5.5	نوع 3*
چای‌کندی ۱	5597/79	406	8		5.3	نوع 3*
حسینیه علیا	4942/01	305	16		5.4	582
دالکی	4190/02	153	26	5.7	5.2	971
درخت توت	2224/03	272	13	4.9	5	699
درویشی	5894/02	779	6		5	نوع 1*
دوبران ۱	4573	130	8		5.3	1363
ریوش	6485	182	20		5.4	428
سد ستارخان ۱	5586/04	319	13		6.2	نوع 2*
سد ستارخان ۱	5636/01	193	15		5.5	نوع 1*
سد ستارخان ۱	5636/02	55	28		5.3	نوع 2*
سد ستارخان ۲	5587/05	338	14		6.2	نوع 3*
سد ستارخان ۲	5637/04	350	16		5.5	نوع 3*
سد ستارخان ۳	5638/06	249	15		5.5	نوع 3*
سد شهید یعقوبی ۱	5092	68	19		5.9	نوع 3*
سرزه	5179/04	192	21	6.2	6.1	نوع 3*
سیب سوران	3722	110	30		6.2	نوع 2*

نام ایستگاه	شماره رکورد	بیشینه شتاب زمین (cm/s/s)	فاصله رومرکزی	M _L	M _W	سرعت موج برشی ایستگاه (m/s)
سیرج	6546	157	24		5.4	398
سیرج*	1913/01	750	7		6.2	398
شنبه	5801/07	431	12		5.1	1396
شنبه	5801/69	563	6		5.5	1396
شیخ خم‌لو	5609/11	308	13		5.5	نوع 3*
شیخ خم‌لو	5715/13	460	10		5.3	نوع 3*
صالح آباد	2221/01	333	16	5.4	5.4	1472
صالح آباد	2225/02	389	13		5	1472
صالح آباد	2225/11	140	19	4.9	5	1472
علی آباد	2276/02	459	16	5.2	5.2	562
فرومد	5277/02	109	12		5.2	نوع 1*
فیروزآباد ۱	1493/02	288	14		5.1	921
فیروزآباد ۱	1843/01	92	19		5	921
فیروزه	5375	114	30	5.4	5.2	743
قره ضیاء‌الدین	3055	107	7	5.8	5.3	297
کاشمر	6481	151	7		5.4	494
کره بس	2220/20	89	5	4.3	5	نوع 1*
کریق	1833/15	290	21	5	5	589
کوه زر	5030/01	622	17	5.9	5.6	759
گمیشان	3546	92	29		6.2	نوع 1*
گندمان	5749	71	19		5.2	نوع 2*
محمدآباد مسکون	3555/01	119	14	5.7	5.1	507
مصیری	5154/02	81	20	5.8	5.4	1262
مهرلو ۱	5611/02	347	11		5.5	نوع 2*
مورموری	6283/21	180	3		5.8	898
مورموری	6302/01	345	14		5.8	898
موسیان	4646	546	25		5.8	472
نھاوند	2191/01	86	18	4.9	5.1	894
نیشابور	5382	271	17	5.4	5.2	نوع 3*
ورزقان	5579/01	427	19		6.1	475
ورزقان	5589/07	381	18		5.5	475
سد نهند ۳	5635/02	150.01	18		5.3	
نهند	5922/01	140.59	17		5.3	
میمند	1814	704.26	9		5	881
قائمیه	5062	334.89	18	6.1	5.8	617
سده	4552/03	568.29	11	4.9	5.1	854

A Mathematical Model to Consider the Pulse-Like Earthquake Effects in Seismic Design Spectrums Based on Strong Motions of Iran

Milad Mohammadian¹, Abbas Mahdavian^{2*} and Nemat Hassani³

1. M.Sc. Graduate, Faculty of Civil Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
2. Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
*Corresponding Author, e-mail: a_mahdavian@sbu.ac.ir
3. Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

The purpose of this research is to generate a pulse-like acceleration spectrum from the horizontal component of a non-pulse-like acceleration spectrum. Three different methods have been used for this purpose. Therefore, 63 accelerograms were selected from 450 recorded accelerograms in the near-field and according to the pulse-like and near-fault accelerogram criteria. The geological location of the stations is based on the data published by BHRC (Building and Housing Research Center). Required corrections have been applied in the frequency and time range of the used accelerograms, their values have been scaled to 1 g, and the spectrum of each of the accelerograms is calculated. Computing and modeling of pulse-like coefficients of the accelerograms have been done using three statistical methods as follows:

1) Representing the average for ratios of acceleration spectrum of horizontal components, which are perpendicular along the fault, to the non-pulse-like acceleration spectrum of horizontal components for the same accelerogram, for all of the rock and soil type data, individually. 2) Representing the average for the ratios of acceleration spectrum for horizontal components of non-pulse-like accelerograms, which are perpendicular along the fault, to the acceleration spectrum horizontal components of non-pulse-like accelerogram that is recorded in another station. 3) The average for the ratio of acceleration spectrum for vertical component, to the acceleration spectrum of the horizontal component perpendicular along the fault, for the same pulse-like accelerogram.

Due to the scattering of data and their shortage, especially in sites of groups 3 and 4, the outputs of these two groups are combined and represented as the group of soil, and the outputs recorded in the sites of groups 1 and 2 are also combined and represented as a rock group representative. Then, a comparison was made between the correction coefficients of the obtained spectra and the coefficient N introduced in the 2800 buildings standard in Iran. Errors in each method have been determined and appropriate mathematical models are presented for the 50% balance in each of the three methods. Then, the coefficients obtained from the methods are applied to the non-pulse-like spectrums and are compared with the recorded pulse-like spectrums. The following results have been obtained from these studies:

- The proposed mathematical models for modification of the design spectrum in each of the methods have a fairly high accuracy and reliability; however, these methods have considerable differences compared to the Iran's 2800 standard of buildings.

- The basis and criterion for obtaining the N coefficient in Iran's 2800 standard is not known, whereas by applying this coefficient it can be said that the effects of the near-field have been applied. It is suggested that this issue is addressed in revision of Iran's 2800 standard.

- The natural period of the structures designed by the regulations (short and medium order construction structures) is usually less than 2 seconds. In this interval, the proposed coefficient of the regulations and the proposed coefficient models presented in this study have the largest differences in relation to each other.

- The N coefficient always increases after a period of 0.5 seconds for up to 4 seconds, after which it remains constant, which is very conservative and irrational. While in the first and second methods suggested in this study, the slope of the curve is descending from a certain periodic range. This part confirms the justification of the applied procedures too.

- Error values are presented separately for each method. In the model provided for the soil, the error value is slightly higher than the rock model.

- The magnitude of the error is mostly positive in many periods, which means that the domains of the proposed models of the N coefficient are less.

- The absolute and relative errors in the first method are about 0.33 and 5%, and for the second method, it is equal to 0.05% and 15% respectively.

- Among the results of the three methods carried out at 50% level, the first and second methods have a much better and more reliable consistency than the third method, and also compared to the 2800 standard.

- As one of the most important results of this research, it can be stated that the results of the third method presented in these studies has no logical connection with the pulse-like accelerograms to be used to understand the N coefficient.

- According to the comparisons, from the first and second methods, the results of the first method are found more countable. The reason for this is the insignificant difference between the pulse-like modeled spectrum by the application of this coefficient (N) in the proposed model and the pulse-like spectrum of the real records obtained from the earthquakes.

Keywords: Pulse-Like Record, Near-Field Ground Motion, Forward Directivity, Velocity Pulse, Accelerogram.