

## یادداشت پژوهشی

## چکیده

امروزه گسترش ساخت وسازها و امنیت آنها در مقابل زمین لرزه به خصوص در شهرهایی که در مجاورت گسل های فعال قرار دارند مورد توجه است. اخیراً محققین شاهد اثرات متفاوت زمین لرزه های دور و نزدیک از گسل بر سازه ها بوده اند. این موضوع در آئین نامه های سازه ای ایران به خوبی مورد توجه قرار نگرفته است. با توجه به اهمیت موضوع، در این مقاله تحقیقاتی در این زمینه و صرفاً بر مبنای داده های شتاب نگاشتی به ثبت رسیده از زمین لرزه های ایران انجام شده است. ابتدا ۴۵۰ شتاب نگاشت از زمین لرزه های ایران که تا سال ۱۳۹۳ توسط مرکز تحقیقات ثبت شده، جمع آوری گردید. نگاشت های نزدیک به گسل با توجه به جهت داری پیش رونده و پالس گونه بودن از سایر نگاشت ها مجزا گردیدند و تعداد نگاشت های مورد استفاده به ۶۳ عدد تقلیل یافتند. با به کار گیری سه روش مختلف، نسبت مؤلفه طیف نگاشت های پالس گونه به طیف نگاشت های غیر پالس گونه تعیین شد. به دلیل کمبود شتاب نگاشت های ثبت شده، اطلاعات به دست آمده بر روی خاک های نوع ۱ و ۲ به عنوان ساختگاه های سنگی و خاک های نوع ۳ و ۴ به عنوان ساختگاه های خاک مورد استفاده قرار گرفتند. میزان اختلافات هر کدام از طیف های پالس گونه به دست آمده از روش های مختلف با طیف های پالس گونه واقعی تعیین شده و مدل سازی های ریاضی مرتبط با نتایج به دست آمده ارائه شد. مدل های به دست آمده از این مطالعات با مدل ارائه شده در آیین نامه ۲۸۰۰ ایران مقایسه و پیشنهاد شد که نتایج این بررسی توسط کمیته بررسی کننده آیین نامه ۲۸۰۰ ایران مد نظر قرار گیرد.

**واژگان کلیدی:** نگاشت پالسی شکل، زلزله نزدیک گسل، مؤلفه عمود بر امتداد گسل، ضریب اصلاح طیف آیین نامه ۲۸۰۰، جهت داری پیش رونده.

## ارائه مدل ریاضی جهت در نظر گرفتن تأثیر زلزله های پالس گونه در طیف های طراحی لرزه ای با توجه به داده های شتاب نگاشتی ایران

میلاد محمدیان

کارشناس ارشد مهندسی زلزله، دانشگاه شهید بهشتی

عباس مهدویان (نویسنده مسئول)

دانشیار دانشکده مهندسی عمران- آب و محیط زیست دانشگاه

شهید بهشتی

a\_mahdavian@sbu.ir

نعمت حسنی

استادیار دانشکده مهندسی عمران- آب و محیط زیست

دانشگاه شهید بهشتی

## ۱- مقدمه

نگاشت های ثبت شده از زمین لرزه های اخیر نشان می دهد که زلزله های حوزه نزدیک دارای ویژگی های متفاوتی نسبت به زلزله های حوزه دور بوده و دارای ماهیت پالس گونه است. در مجموع بیشتر این ویژگی ها، در اثر پدیده مهم جهت پذیری پیش رونده<sup>۱</sup> در زلزله های حوزه نزدیک است. این پدیده باعث می شود که مؤلفه عمود بر گسل نگاشت های ثبت شده در میدان نزدیک، دارای پالس هایی با پیوند بلند باشند که در نگاشت سرعت و جابه جایی به خوبی خود را نشان می دهد. در این نگاشت ها، تقریباً بخش عمده انرژی زلزله، در یک یا دو پالس

جمع می شود. ورود یک باره این انرژی به ساختگاه، تغییر شکل های بزرگی در سازه ایجاد می نماید [۱].

بعد از زلزله پارکفیلد کالیفرنیا (۱۹۶۶) و زلزله پاکویما سانفرانندو (۱۹۷۱)، عبارت نزدیک گسل توسط بولت عنوان شد [۲]، اما اهمیت این موضوع در طراحی سازه های مهندسی به خوبی درک نشده بود تا زمانی که زلزله های 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<sup>۳</sup> 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، مدت زمان 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<sup>۴</sup> 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.

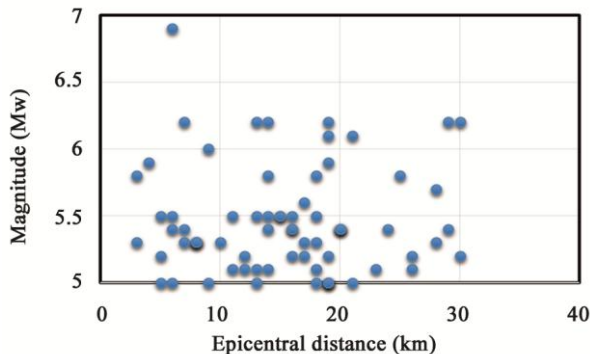
حسن خانی و زعفرانی [۱۱] نیز با استفاده از مدلی حاصل از روش تعینی به تولید پالس بلند سرعت در زلزله‌های نزدیک گسل دارای جهت‌پذیری پیش‌رونده پرداخته‌اند. زعفرانی و همکاران [۱۲-۱۳] و زعفرانی و سقراط [۱۴] مدل‌های متعدد دیگری را نیز در سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۲ جهت شبیه‌سازی حرکات گسل‌های ایران ارائه نموده‌اند.

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<sup>۵</sup> 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 داده‌گزینش 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 داده‌گزینش 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 (۰/۲-۲۵ Hz) مورد پردازش قرار گرفته است. این گونه‌نگاشت‌ها 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 به‌کار 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 به‌کار 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<sup>۷</sup> 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 (1g) 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

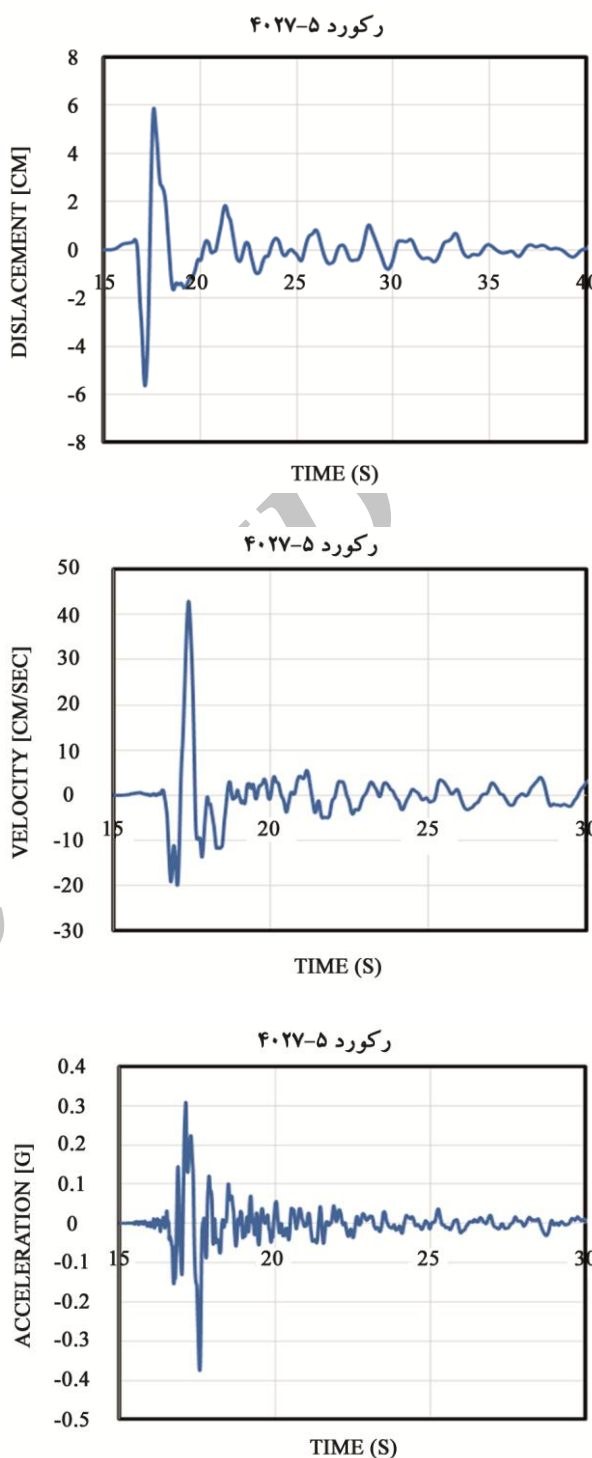
در این روش طیف نرمال شده شتاب مؤلفه افقی عمود بر امتداد گسل هر نگاشت پالس گونه (مؤلفه پالس گونه) بر دومین مؤلفه افقی طیف نرمال شده شتاب ثبت شده در همان ایستگاه (مؤلفه غیر پالس گونه) تقسیم شده است. این عمل برای کل داده‌های منتخب صورت گرفته است. سپس با میانگین‌گیری از این نسبت‌ها برای کل داده‌ها (تراز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

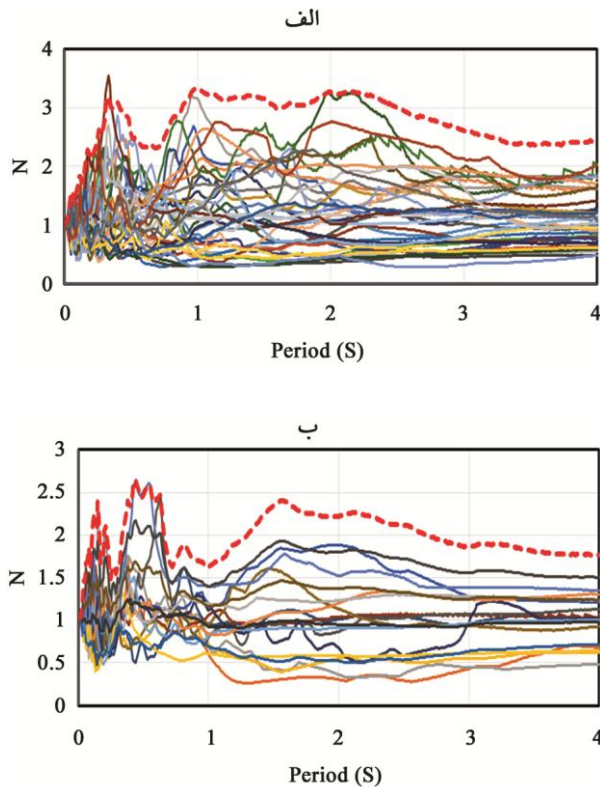


شکل (۲): تاریخچه زمانی شتاب، سرعت و تغییر مکان مؤلفه عمود بر امتداد گسل نگاشت ثبت شده ایستگاه چالان چولان.

### 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 آیین‌نامه 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 آیین‌نامه پیشنهادی آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران انجام گرفته و سپس پیشنهادهای لازم در قسمت نتایج ارائه شده است.

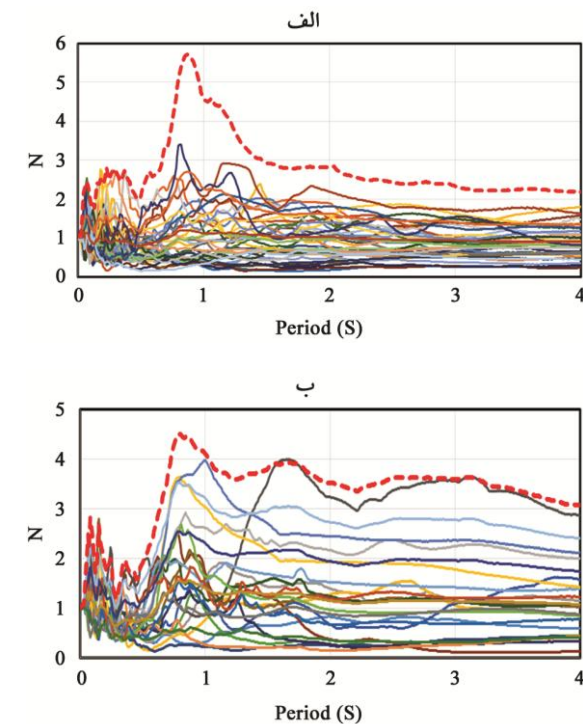
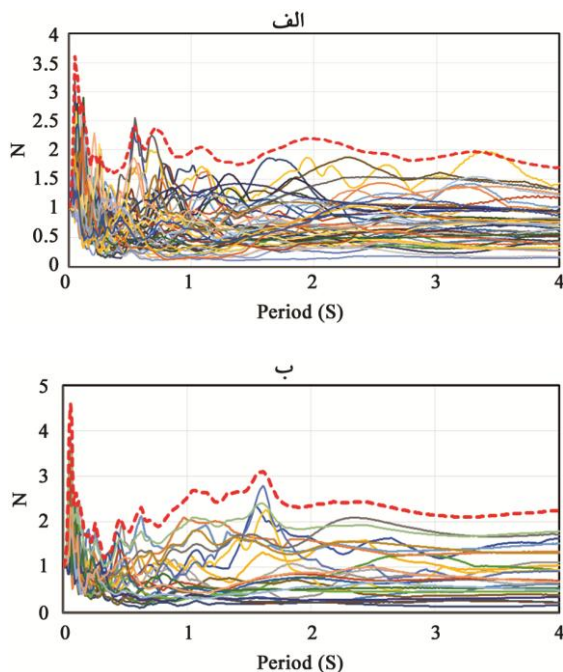
در این پژوهش جهت حذف داده‌های نامناسب (خیلی بزرگ یا خیلی کوچک) از نتایج انحراف معیار مجموعه مورد بررسی استفاده شده است. با جمع و تفریق سه برابر مقدار انحراف معیار با میانگین داده‌های به دست آمده، بازه‌ای تعیین شده و داده‌هایی که خارج از این محدوده قرار گرفته بودند از مجموع داده‌ها حذف شده‌اند.

### 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.

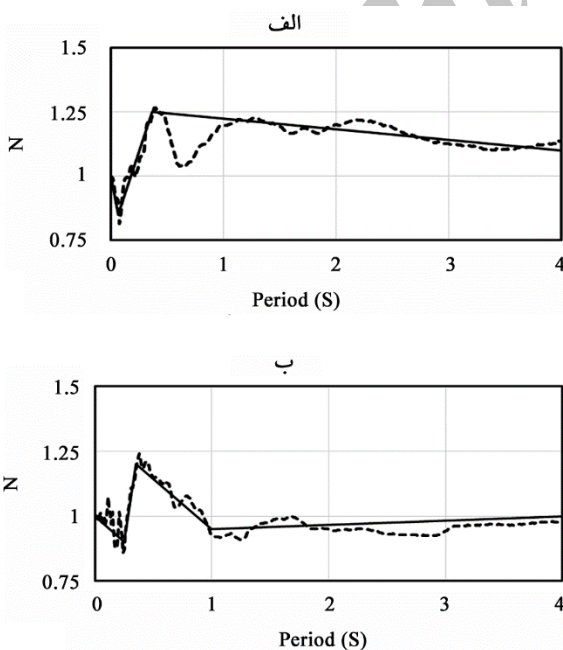
در هر سه روش ضرایب طیفی برای هر نگاشت نزدیک گسل در بازه‌ی زمانی ۰ الی ۴ ثانیه محاسبه شده است. نمودار

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.

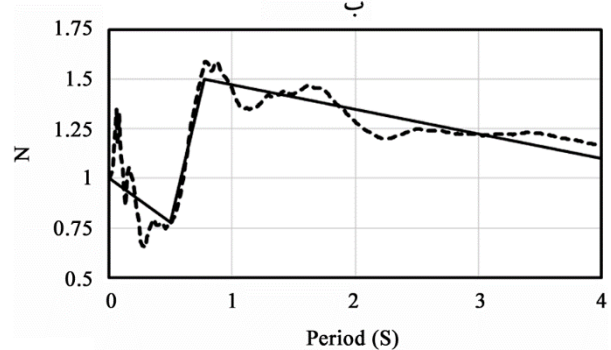
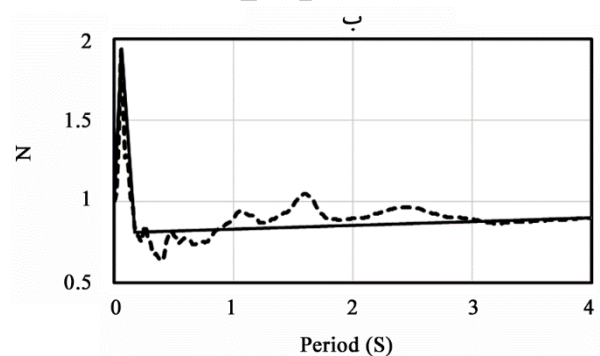
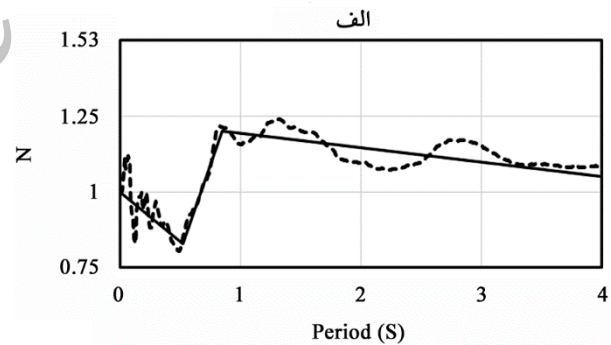
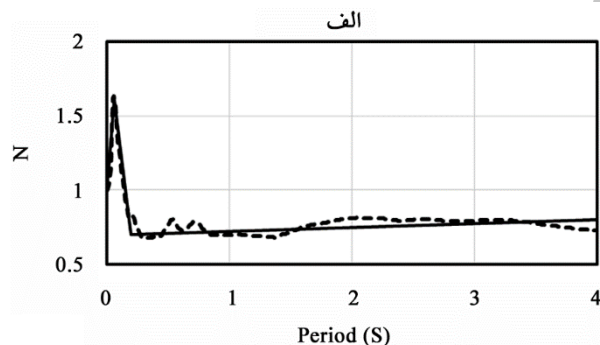
مدل پیشنهادی خاک - روش اول		مدل پیشنهادی سنگ - روش اول	
ضریب همبستگی	0.903682	ضریب همبستگی	0.750196
$N = -0.44T + 1$	$T \leq 0.25$	$N = -2.1429T + 1$	$T \leq 0.07$
$N = 3T + 0.15$	$0.25 < T \leq 0.35$	$N = 1.3333T + 0.7567$	$0.07 < T \leq 0.37$
$N = -0.3846T + 1.3346$	$0.35 < T \leq 2$	$N = -0.0331T + 1.2622$	$0.37 < T \leq 4$
$N = 0.0167T + 0.9333$	$2 < T \leq 4$		

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
$N = 15.667T + 1$	$T \leq 0.06$	$N = 10.167T + 1$	$T \leq 0.06$
$N = -10.273T + 2.5564$	$0.06 < T \leq 0.17$	$N = -6.5T + 2$	$0.06 < T \leq 0.2$
$N = 0.0235T + 0.806$	$0.17 < T \leq 4$	$N = 0.0263T + 0.6947$	$0.2 < T \leq 4$

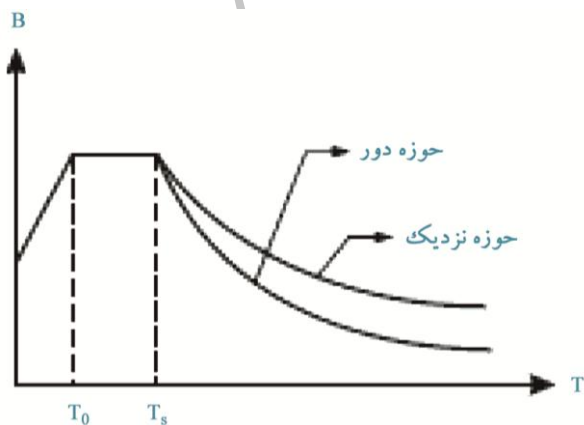


شکل (۸): مقایسه ضریب اصلاح طیفی حاصل از داده‌ها با مدل پیشنهادی در روش سوم برای الف) سنگ ب) خاک.

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 آیین نامه ۲۸۰۰، از ضریب آیین نامه 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 آیین نامه 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 آیین نامه و این پژوهش است. خطوط مشکی و قرمز رنگ به ترتیب مربوط به مدل پیشنهادی و ضریب آیین نامه ۲۸۰۰ است. در این شکل‌ها حرف  $N$  به معنای ضریب اصلاح طیف آیین نامه برای خاک‌های مختلف است. اعداد داخل پرانتز بیانگر نوع خاک محل ساختگاه بر طبق دسته‌بندی آیین نامه 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 آیین نامه 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 آیین نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) مقایسه شده است.

ضریب طیف طراحی (بازتاب ساختمان) پیشنهادی در آیین نامه 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:

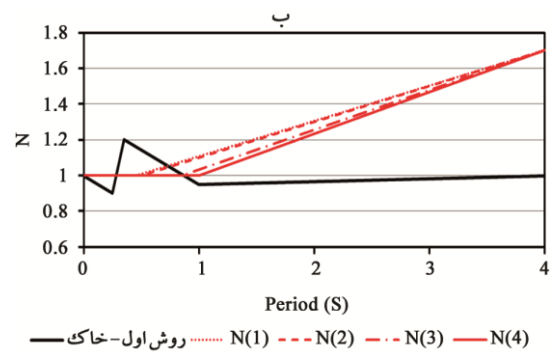
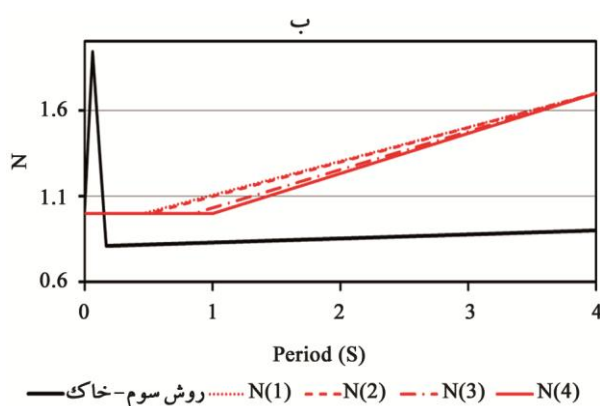
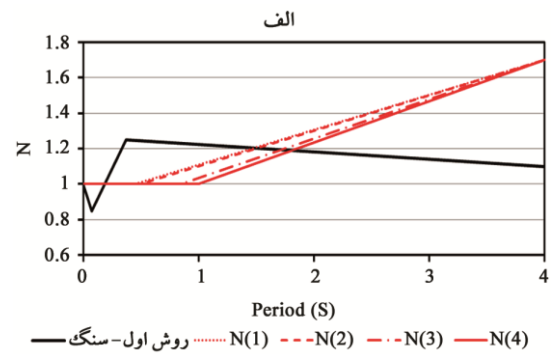
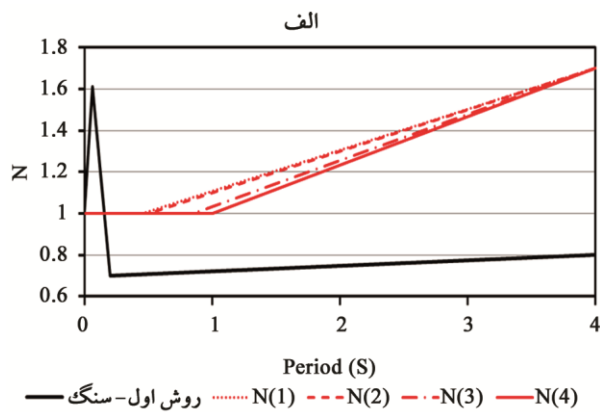
الف) برای پهنه‌های با خطر نسبی خیلی زیاد و زیاد:

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

ب) برای پهنه‌های با خطر نسبی متوسط و کم:

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



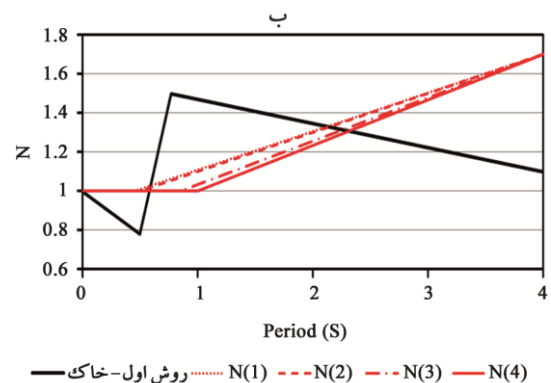
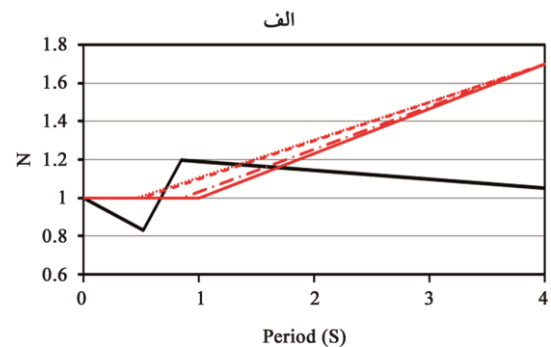


شکل (۱۰): مقایسه ضریب پیشنهادی اصلاح طیف در روش اول با ضریب اصلاح آیین‌نامه ۲۸۰۰ برای الف) سنگ ب) خاک.

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

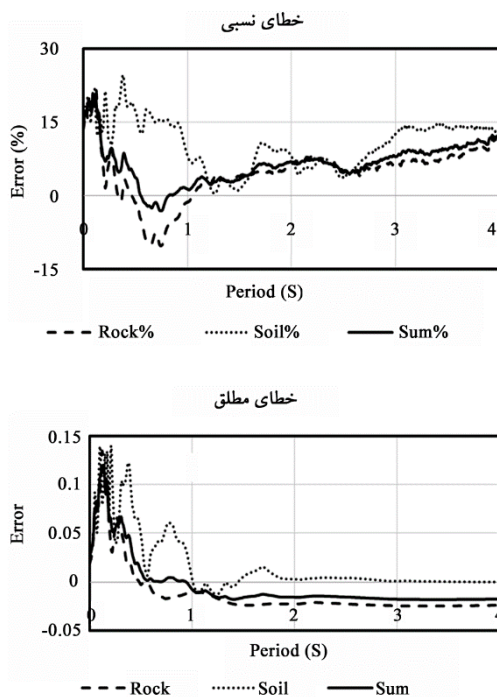
در این پژوهش با استفاده از سه روش مختلف سعی در تشخیص اثرات حوزه نزدیک بر طیف شده است. با تعیین رابطه‌ای ریاضی سعی در برقراری منطقی‌ترین روش ممکن شده تا بتوان اختلاف مابین رویدادهای غیر پالس‌گونه با رویدادهای پالس‌گونه مشخص شود. اختلاف‌های ضرایب پیشنهادی در هر یک از روش‌ها و برای هر یک از دسته‌بندی‌ها 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 ۱/۵ الی ۰/۲ ثانیه و مدل پیشنهادی خاک در پریود ۰/۸ الی ۰/۳ ثانیه در مقایسه با ضریب آیین‌نامه بالاتر از مقدار ضریب N آیین‌نامه است.

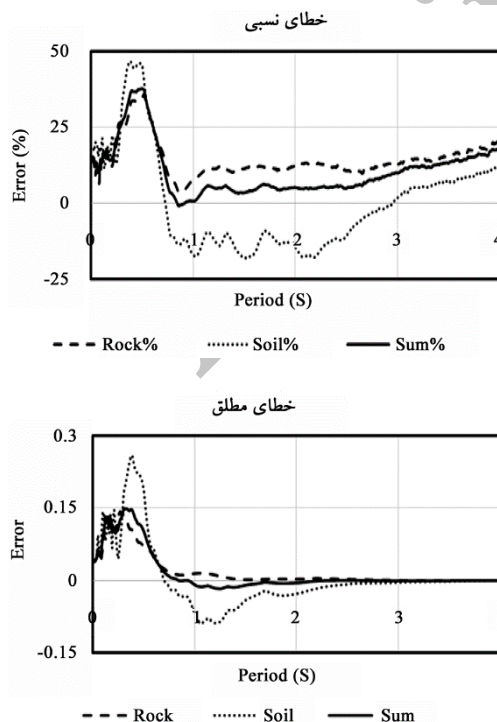


شکل (۱۱): مقایسه ضریب پیشنهادی اصلاح طیف در روش دوم با ضریب اصلاح آیین‌نامه ۲۸۰۰ برای الف) سنگ ب) خاک.

$X_j$  = 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

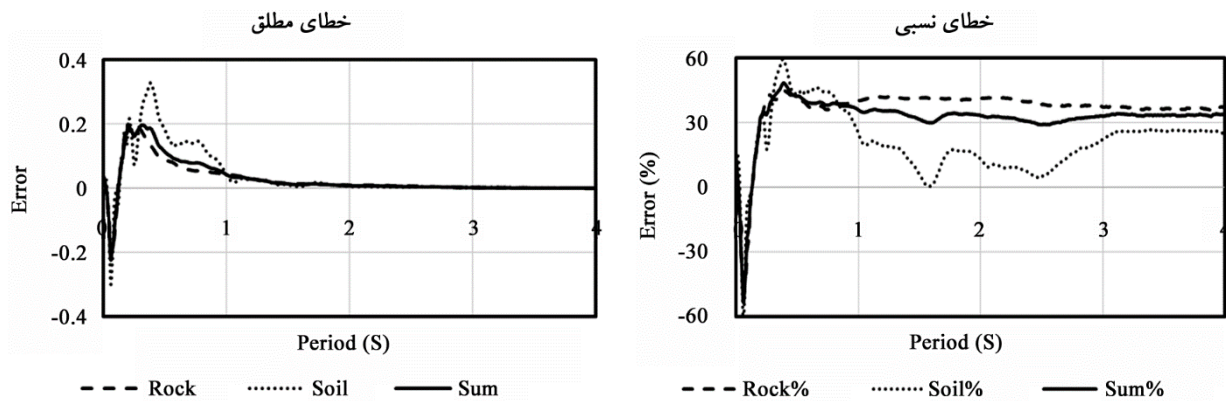
به منظور بررسی مقدار خطای روش‌های ارائه شده، میانگین مقدار اختلاف طیف‌های مدل شده پالس گونه با نگاشت‌های پالس گونه واقعی برای دسته‌بندی‌های سنگ و خاک و برای کل داده‌ها در سه روش محاسبه شده به دست آمد. در این محاسبات مقدار خطای مطلق و خطای نسبی، مطابق فرمول‌ها ارائه شده در جدول (۴) اقدام شده است. با اعمال ضرب ضرایب ارائه شده (مدل‌ها) در هر یک از سه روش پیشنهادی در این پژوهش در پریودهای مختلف در دامنه طیف نگاشت غیر پالسی گونه و سپس به دست آوردن اختلاف دامنه‌های آن در هر پریود از دامنه‌های طیف نگاشت پالس گونه 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 به کار 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:

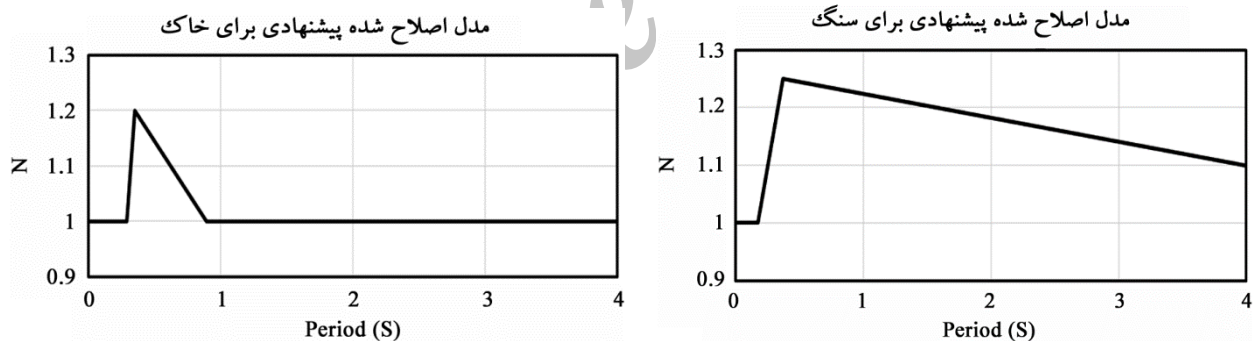
$N$  = ضریب اصلاح پیشنهادی طیف برای روش اول، دوم و سوم در دسته‌بندی خاک یا سنگ



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.

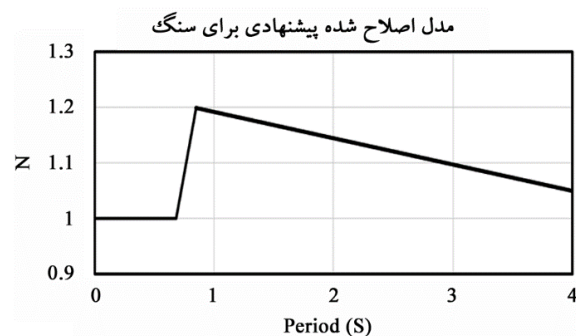
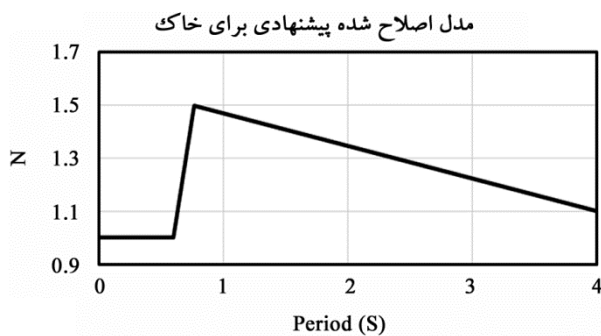
بیشینه مقدار خطای مطلق و نسبی، در روش اول در پریود ۰/۱۵ ثانیه به ترتیب برابر ۰/۱۲ و ۲۰٪ و این مقدار برای روش دوم در پریود ۰/۴ ثانیه برابر ۰/۱۵ و ۳۵٪ است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که روش سوم دارای بیشترین خطا بوده و نمی‌توان آن را توصیه نمود.



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	$0.9 < T \leq 4$		



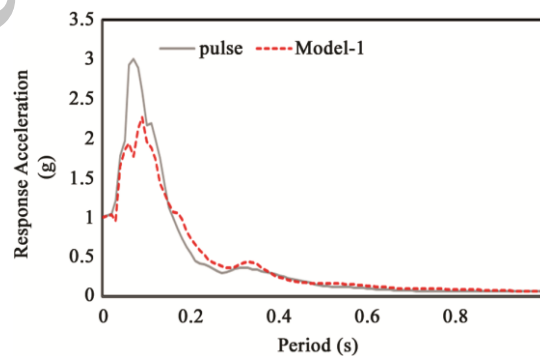
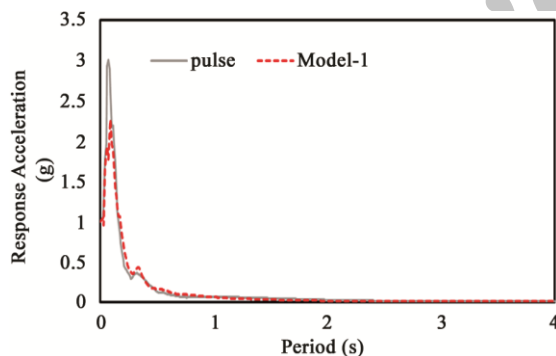
شکل (۱۷): مدل پیشنهادی سنگ و خاک در روش دوم با اصلاح ضرایب کمتر از یک.

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

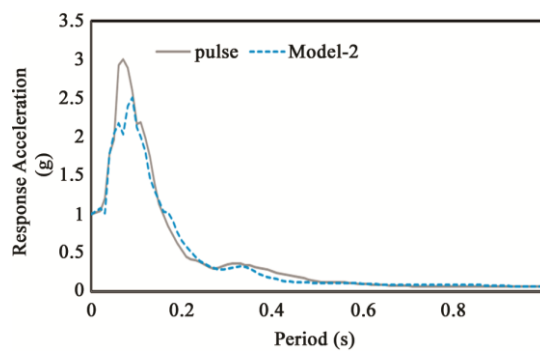
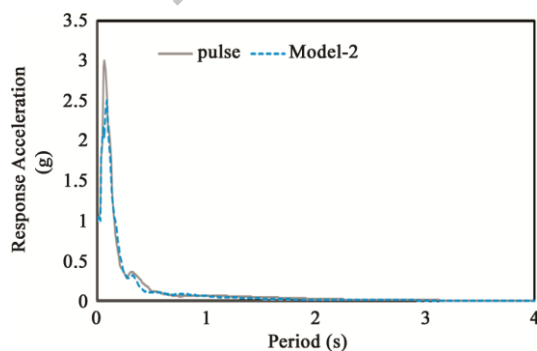
مدل پیشنهادی اصلاح شده خاک در روش دوم		مدل پیشنهادی اصلاح شده سنگ در روش دوم	
$N=1$	$T \leq 0.6$	$N=1$	$T \leq 0.68$
$N=2.6667T-0.5533$	$0.6 < T \leq 0.77$	$N=1.2727T+0.168$	$0.68 < T \leq 0.85$
$N=-0.1238T+1.5954$	$0.77 < T \leq 4$	$N=-0.0476T+1.2905$	$0.85 < T \leq 4$

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 نمونه ای از نتایج طیف های 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

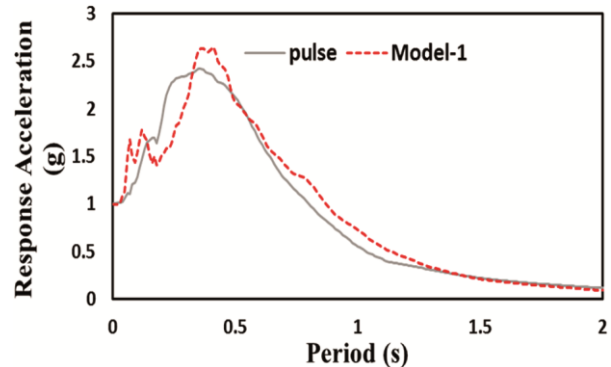
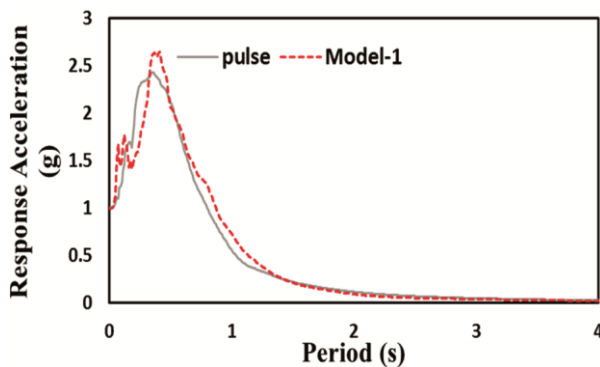


(الف)

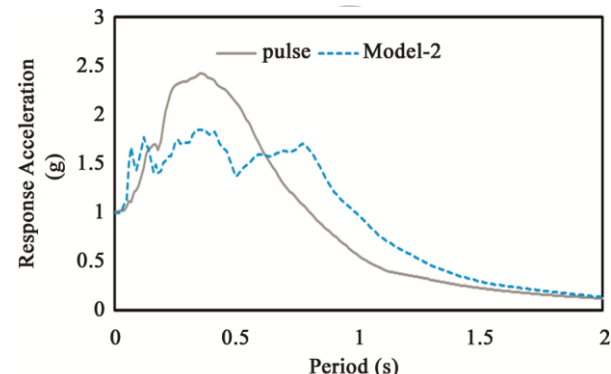
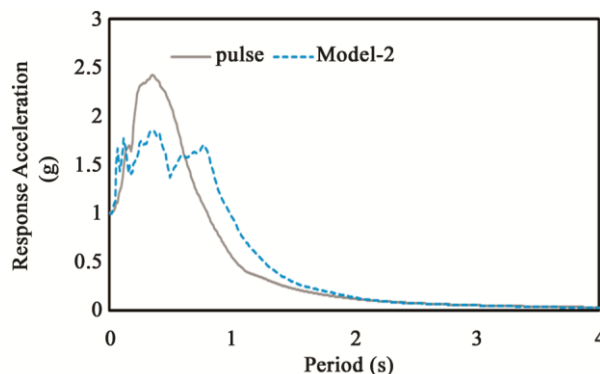


(ب)

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 می یابد و بعد از آن این مقدار به صورت ثابت باقی می ماند 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 توجه پذیری روش های صورت گرفته را تأیید می نماید.

۵- در روش اول و دوم غالباً قسمت پایانی نمودار همواره به صورت نزولی بوده و مقدار خطا در نمودارهای تهیه شده در این قسمت ها همواره در حال کاهش است؛ به طوری که طیف های مدل شده با ضرایب پیشنهادی (N) با طیف نگاشت پالس گونه از همخوانی خوبی برخوردار است. با توجه به مقایسه صورت گرفته در شکل های (۱۰) تا (۱۲) این موضوع در ارتباط با قسمت میانی و صعودی (پریود ۰/۵ تا ۴ ثانیه) با نمودار آیین نامه 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 می توان کمبود اطلاعات و داده های موجود در این دسته بندی ها 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 داده ها 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 مدل های 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 قابل قیاسی نسبت به روش سوم و همچنین در مقایسه با ضریب آیین نامه ۲۸۰۰ برخوردار است.

۱۰- به عنوان یکی از مهم ترین نتایج این فعالیت پژوهشی می توان

به خصوص در ساختگاه های گروه ۳ و ۴، خروجی های این دو گروه با هم ترکیب شده و به عنوان نماینده گروه خاک معرفی شده و خروجی های ثبت شده در ساختگاه های گروه ۱ و ۲ نیز با هم ترکیب شده و به عنوان نماینده گروه سنگ معرفی شده است. سپس مقایسه ای بین ضرایب اصلاح طیف های حاصل شده، با ضریب N معرفی شده در آیین نامه استاندارد ۲۸۰۰ ساختمان های ایران انجام شده است. خطاهای هر روش تعیین و مدل های ریاضی متناسب برای تراز ۰/۵٪ در روش های سه گانه ارائه شده است. سپس ضرایب به دست آمده از سه روش بر طیف های غیرپالس گونه اعمال و با طیف های پالس گونه رکورد شده مقایسه شده اند. نتایج زیر از این مطالعات به دست آمده است:

۱- مدل های ریاضی پیشنهادی برای اصلاح طیف طراحی در هر کدام از روش ها از صحت و دقت نسبتاً بالایی برخوردار بوده و مورد اطمینان است اما این روش ها در مقایسه با آیین نامه ۲۸۰۰ دارای اختلافات قابل توجهی است.

۲- در ویرایش چهارم آیین نامه ۲۸۰۰ ایران بحثی از حوزه نزدیک نشده است و هیچ گونه 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 می توان گفت اثرات حوزه نزدیک اعمال شده است. پیشنهاد این است که این موضوع اصلاح شود.

۳- با توجه به مقایسه های صورت گرفته در شکل های (۱۰) تا (۱۲) و این موضوع که غالباً پریود طبیعی سازه های طراحی شده توسط آیین نامه (سازه های ساختمانی کوتاه و متوسط مرتبه) کمتر از ۲ ثانیه است، در این بازه زمانی ضریب پیشنهادی آیین نامه و مدل های 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 شکل های (۱۰) تا (۱۲) می توان دریافت که ضریب N آیین نامه 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 7<sup>th</sup> 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 12<sup>th</sup> 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 <sub>L</sub>	M <sub>w</sub>	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
آقی‌قلا ۱	3556/01	80	19		6.2	341
بم	3168/02	989	6		6.9	499
تربت حیدریه	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
چای کندی ۱	5597/43	357	5		5.5	نوع 3*
چای کندی 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*
سوزه	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 <sub>L</sub>	M <sub>W</sub>	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 خم لو	5609/11	308	13		5.5	نوع 3*
شیخ خم لو	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*
فیروز آباد ۱	1493/02	288	14		5.1	921
فیروز آباد 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*
محمد آباد مسکون	3555/01	119	14	5.7	5.1	507
مصبری	5154/02	81	20	5.8	5.4	1262
مهنرلو 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
نهاوند	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