

# تعیین طیف طراحی سرعت برای خاک‌های نوع I و II ایران

عباس مهدویان<sup>۱\*</sup> و میثم حسنی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>استادیار، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران  
<sup>۲</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۳/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۸/۰۴

## چکیده

در زمین‌لرزه‌های مخرب، همواره خرابی‌های بسیاری در سازه‌هایی مانند شریان‌های حیاتی و لوله‌های مدفون همگام با تخریب ساختمان‌های با جرم زیاد مشاهده شده است. این تخریب‌ها گاه آسیب‌هایی به مراتب جدی‌تر را به وجود آورده است. میزان نیروی جذب شده و خرابی‌های ناشی از زمین‌لرزه در سازه‌های روزمینی، متناسب با اینرسی و جرم آنهاست. به گونه‌ای که با افزایش شتاب، میزان نیروهای وارده نیز بیشتر می‌شود. این در حالی است که در سازه‌های مدفون رفتار سازه تحت تأثیر رفتار خاک پیرامونی بوده و جرم سازه در مقایسه با خاک محیطی خود بسیار ناچیز و قابل اغماض است. بنابراین استفاده از روش‌های مبتنی بر متغیر شتاب زمین‌لرزه در طراحی چنین سازه‌هایی نمی‌تواند به تنهایی کافی باشد و وجود طیف طراحی سرعت در کنار طیف شتاب موجود در آیین‌نامه ۲۸۰۰ ساختمانها ضروری به نظر می‌رسد. زیرا طراحی لرزه‌ای چنین سازه‌هایی بر پایه روش پاسخ تغییر مکان است. به این صورت که ابتدا جابه‌جایی زمین در محل سازه مدفون با استفاده از طیف پاسخ سرعت محاسبه و برهم‌کنش میان زمین و سازه زیرزمینی با روش شبه‌استاتیکی تحلیل می‌شود. طیف پاسخ سرعت برای طراحی لرزه‌ای سازه‌های مدفون بر پایه پیشینه پاسخ لایه سطحی زمین در اثر ورود شتاب مورد نظر به لایه زیرین در یک مدل تحلیلی پروفیل خاک به دست می‌آید. در این پژوهش سعی شده است تا با توجه به اطلاعات شتاب‌نگاشتی که از زمین‌لرزه‌های مختلف در ایران به دست آمده است، به تعیین منحنی ضریب طیفی سرعت برای خاک‌های نوع I و II پرداخته شود. برای این منظور، از میان اطلاعات شتاب‌نگاشتی دریافتی از مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۳۰۶ شتاب‌نگاشت افقی خاک نوع I و ۳۲۳ شتاب‌نگاشت افقی خاک نوع II انتخاب شد. طیف بهنجار شده سرعت هر شتاب‌نگاشت بر مبنای پیشینه مقادیر دامنه سرعت و شتاب به صورت جداگانه به دست آمد. بر این اساس برای هر یک از این دو نوع خاک، دو مجموعه طیف پاسخ سرعت بهنجار شده به دست آمد. سپس برای هر مجموعه، طیف طراحی میانه و ۸۴٪ تعیین شد. در پایان مدل ریاضی منحنی‌های ضریب طیفی سرعت تعیین و در قالب فرمول برای شرایط خاک نوع I و II در ایران ارائه شده است.

**کلیدواژه‌ها:** طیف پاسخ، طیف طراحی سرعت، شریان‌های حیاتی، خاک نوع I و II.

\*نویسنده مسئول: عباس مهدویان

E-mail: a\_mahdavian@sbu.ac.ir

## ۱- پیش‌نوشتار

طیف طراحی هر منطقه باید بر پایه اطلاعات شتاب‌نگاشتی مختص آن منطقه تعریف و تعیین شود. تا کنون با وجود پژوهش‌هایی که کم و بیش برای تعیین دقیق طیف شتاب برای خاک‌های مختلف ایران انجام شده، همچنان آیین‌نامه زلزله ایران (۲۸۰۰) برای طراحی سازه‌ها، از طیفی استفاده می‌کند که از آیین‌نامه دیگر کشورها به دست آمده است و نیاز به اصلاح بر پایه شتاب‌نگاشت‌های ثبت شده در سال‌های اخیر دارد. گذشته از آن، طیف موجود در آیین‌نامه مربوط به شتاب بوده و نمی‌تواند به طور مستقیم برای طراحی سازه‌هایی که روش محاسبه آنها بر پایه روش پاسخ تغییر مکان است - همچون شریان‌های حیاتی - مورد استفاده قرار گیرد.

در روش‌های معمول استاتیکی نیروی زمین‌لرزه به صورت ضریبی از وزن سازه به آن وارد می‌شود که این ضریب به صورت خطی بوده و وابسته به شتاب طراحی در آن منطقه مشخص است ( $V=CW$ ,  $C=AB/R$ ). در روش دینامیکی طیفی به طور مستقیم از طیف طراحی شتاب استفاده می‌شود. این رویکرد در سازه‌هایی با جرم قابل توجه کاملاً منطقی و قابل توجیه است. ولی در سازه‌هایی با جرم کم، همچون سازه‌های خطی و شبکه‌ای که به طور عمده مدفون نیز هستند از پاسخ سرعت زمین به زمین‌لرزه تأثیرپذیری بیشتری دارند. طراحی لرزه‌ای این گونه سازه‌ها بر پایه روش پاسخ تغییر مکان صورت می‌پذیرد. این تغییر مکان در محل سازه مدفون با استفاده از طیف پاسخ سرعت محاسبه و برهم‌کنش میان زمین و سازه زیرزمینی با روش شبه‌استاتیکی تحلیل می‌شود. بنابراین برای طرح لرزه‌ای سازه‌های مدفون مانند خطوط لوله، تونل‌ها و مخازن مدفون که عملکرد آنها توسط رفتار لرزه‌ای زمین مجاورشان کنترل می‌شود نیاز به وجود طیف سرعت در آیین‌نامه‌های طراحی احساس می‌شود. آیین‌نامه کشورهای پیشرو در زمین‌لرزه مانند آمریکا، ژاپن و ایران از جمله این آیین‌نامه‌ها هستند که اصول مشابهی را در استخراج و استفاده از طیف‌های

طراحی سرعت در نظر گرفته‌اند. برای نمونه در تحلیل‌های دینامیکی که برای طراحی و بارگذاری لرزه‌ای شریان‌های حیاتی انجام می‌شود، میزان تغییر مکان با در نظر گرفتن مود اول ارتعاش برشی خاک و بر پایه سطوح خطر زمین‌لرزه ارائه می‌شود. طیف سرعت مورد استفاده در آیین‌نامه یادشده مطابق شکل‌های ۱ و ۲ است (نشریه ۶۰۰، ۱۳۹۱).

## ۲- اطلاعات شتاب‌نگاشتی مورد استفاده

در این پژوهش با استفاده از داده‌های شتاب‌نگاری به دست آمده در ایستگاه‌های شبکه شتاب‌نگاری مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (۱۳۹۰) مربوط به خاک‌های نوع I و II ایران طیف پاسخ و در پایان طیف طراحی تهیه شد. در این راستا از میان اطلاعات دریافتی از مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۵۳ شتاب‌نگاشت افقی خاک نوع I و ۱۶۲ شتاب‌نگاشت افقی خاک نوع II، هر کدام شامل ۲ مؤلفه L و T (در مجموع ۳۰۶ شتاب‌نگاشت افقی خاک نوع I و ۳۲۳ شتاب‌نگاشت افقی خاک نوع II) که تا سال ۲۰۰۹ ثبت شده بودند انتخاب و بر پایه پیشینه شتاب گرانش زمین به مقیاس در آمدند (آزاد، ۱۳۹۰).

همه سری‌های زمانی شتاب اصلاح (تصحیح خط مبنا و فیلتر) شدند. برای اصلاح از روش قدرتی امیری و همکاران (۱۳۸۳)، (Mahdavian (2004 & 2006) و زارع و همکاران (۱۳۷۸) استفاده شد. در بیشتر موارد امواج بسامدهای زیر ۰/۱۵ و بالای ۲۵ هرگز حذف شدند. به طور کلی مقادیر بسامد تصحیح  $F_L$  و  $F_H$  بر پایه نوع دستگاه ثبت کننده به صورت جدول ۱ به کار گرفته شد.

پس از حذف داده‌های شتاب‌نگاشتی غیر قابل قبول و یا ناقص از مجموعه داده‌ها، ۲۶۷ شتاب‌نگاشت از خاک نوع I و ۳۱۶ شتاب‌نگاشت از خاک نوع II باقی ماند

ریاضی ساده به دست آورد تا در مقاصد طراحی قابلیت استفاده بهتری داشته باشند. در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ سعی شده است تا بهترین منحنی ریاضی از طیف‌های ۵۰٪ و ۸۴٪ خاک نوع I برازش شود. همین کار برای خاک نوع II در شکل‌های ۱۶ و ۱۷ انجام شده و روابط آنها در ادامه بیان شده است.

با استفاده از روابط زیر می‌توان به منحنی برازش شده طیف ۵۰٪ و ۸۴٪ درصد خاک نوع I (بهنجار شده با PGV) رسید:  
 - طیف ۸۴٪ خاک نوع I:

$$\begin{aligned} V &= 10T + 0.6 & T &\leq 0.2 \\ V &= 2.6 & 0.2 &\leq T \leq 0.9 \\ V &= 2.5T^{-0.33} & 0.9 &\leq T \end{aligned}$$

- طیف ۵۰٪ خاک نوع I:

$$\begin{aligned} V &= 8.75T + 0.025 & T &\leq 0.22 \\ V &= 1.95 & 0.22 &\leq T \leq 0.8 \\ V &= 1.85T^{-25} & 0.8 &\leq T \end{aligned}$$

با استفاده از روابط زیر می‌توان به منحنی برازش شده طیف ۵۰٪ و ۸۴٪ درصد خاک نوع II (بهنجار شده با PGV) رسید:  
 - طیف ۸۴٪ خاک نوع II:

$$\begin{aligned} V &= 13T + 0.05 & T &\leq 0.28 \\ V &= 3.7 & 0.28 &\leq T \leq 0.5 \\ V &= 3.1T - 0.25 & 0.5 &\leq T \end{aligned}$$

- طیف ۵۰٪ خاک نوع II:

$$\begin{aligned} V &= 7.5T + 0.05 & T &\leq 0.22 \\ V &= 2 & 0.22 &\leq T \leq 0.6 \\ V &= 1.81T - 0.2 & 0.6 &\leq T \end{aligned}$$

در شکل‌های ۱۸ و ۱۹ سعی شده تا بهترین منحنی ریاضی از طیف‌های ۵۰٪ و ۸۴٪ خاک نوع I که با استفاده از طیف‌های بهنجار شده با PGA به دست آمده است برازش شود. همین کار برای خاک نوع II در شکل‌های ۲۰ و ۲۱ انجام شده و روابط آنها در ادامه بیان شده است.

با استفاده از روابط زیر می‌توان به منحنی برازش شده طیف ۵۰٪ و ۸۴٪ درصد خاک نوع I (بهنجار شده با PGA) رسید:  
 - طیف ۸۴٪ خاک نوع I:

$$\begin{aligned} V &= 190T^{-0.4+5} & 1.32 &\leq T \\ V &= 175 & 0.62 &\leq T \leq 1.32 \\ V &= 170T + 69 & 0.2 &\leq T \leq 0.62 \\ V &= 530T - 3 & T &\leq 0.2 \end{aligned}$$

- طیف ۵۰٪ خاک نوع I:

$$\begin{aligned} V &= 400T - 5 & T &\leq 0.2 \\ V &= 150T + 45 & 0.2 &\leq T \leq 0.4 \\ V &= 105 & 0.4 &\leq T \leq 1.22 \\ V &= 100T^{-0.45+14} & 1.22 &\leq T \end{aligned}$$

با استفاده از روابط زیر می‌توان به منحنی برازش شده طیف ۵۰٪ و ۸۴٪ درصد خاک نوع II (بهنجار شده با PGA) رسید:  
 - طیف ۸۴٪ خاک نوع II:

$$\begin{aligned} V &= 750T - 25 & T &\leq 0.2 \\ V &= 450T + 35 & 0.2 &\leq T \leq 0.4 \\ V &= 215 & 0.4 &\leq T \leq 2 \\ V &= 235T - 0.15 + 3 & 2 &\leq T \end{aligned}$$

(جدول‌های ۲ و ۳). ویژگی‌های زمین‌لرزه‌ها از کتاب معین فر و همکاران (۱۳۷۳) و شبکه‌های جهانی استخراج شده است. شتاب‌نگاشت‌هایی انتخاب شد که همگی در فاصله کمتر از ۱۰۰ کیلومتر ثبت شده و دارای بزرگای بیش از ۴/۵ است. پراکندگی شتاب‌نگاشت‌ها از دید فاصله و بزرگای در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود داده‌های شتاب‌نگاشتی، از پراکندگی به نسبت خوبی برخوردار و شامل زمین‌لرزه‌های حوزه دور، متوسط و نزدیک هستند که لازمه به دست آوردن یک طیف برای همه کشور است.

### ۳- تهیه طیف پاسخ و طیف بهنجار شده

طیف پاسخ برای سامانه یک درجه آزادی خطی با میرایی مشخص ۵٪ برای همه شتاب‌نگاشت‌های اصلاح شده محاسبه شد. طیف پاسخ محاسبه شده را نمی‌توان به‌طور مطلق میانگین‌گیری کرد و طیف‌ها نیاز به بهنجار شدن دارند. برای بهنجار کردن طیف‌ها از روش‌های گوناگونی استفاده می‌شود که متداول‌ترین آنها بهنجار کردن بر حسب اوج تکان زمین است. بنابراین برای هر یک از شتاب‌نگاشت‌ها مقدار طیف پاسخ بهنجار شده بر پایه بیشینه شتاب و بیشینه مقدار سرعت محاسبه شد و برای هر کدام از خاک‌ها دو مجموعه طیف پاسخ سرعت بهنجار شده به دست آمد. با به کارگیری روش‌های آماری برای هر گروه از اطلاعات طیف طراحی میانه ۵۰٪ و ۸۴٪ به دست آمد.

برای روشن‌تر شدن بحث، در شکل ۷ درصد پراکندگی بیشینه سرعت شتاب‌نگاشت‌های بهنجار نشده خاک نوع II آورده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود شتاب‌نگاشت‌های بهنجار نشده دارای بیشینه سرعت کمتر از ۱۰ سانتی‌متر بر ثانیه تا حدود ۱۰۰ سانتی‌متر بر ثانیه هستند و این امر لزوم بهنجار کردن آنها پیش از میانگین‌گیری را به خوبی نشان می‌دهد. از این دید خاک نوع I نیز شرایط به نسبت مشابهی دارد که با تقسیم مقادیر تاریخچه زمانی شتاب بر بیشینه سرعت هر شتاب‌نگاشت، طیف‌های حاصل همپایه خواهند بود و سبب مقایسه بهتری می‌شوند. در شکل ۸ نیز به عنوان نمونه پراکندگی بیشینه شتاب هر کدام از شتاب‌نگاشت‌های بهنجار نشده خاک نوع II آورده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود تنها درصد کمی از آنها دارای شتاب بیشتر از ۰/۱ g هستند. از این دید خاک نوع I نیز شرایط به نسبت مشابهی دارد که با تقسیم مقادیر تاریخچه زمانی شتاب بر بیشینه شتاب هر شتاب‌نگاشت، طیف‌های حاصل همپایه شده و امکان مقایسه بهتری را فراهم می‌کنند. طیف پنجاه درصد (میانه) (50th Percentile) این مجموعه به عنوان ضریب طیف میانه و طیف هشتاد و چهار درصد (طیف میانه به علاوه یک خطای استاندارد) (84th Percentile (50th spectra plus one standard deviation)) به عنوان ضریب طیف مورد نظر برای سطح ۸۴٪ در نظر گرفته می‌شود. به گونه‌ای که با ضرب مقادیر دامنه ضریب طیف میانه در بیشینه شتاب، نتایج حاصل نشانه یک طیف واقعی عادی و با ضرب مقادیر دامنه در ضریب طیف هشتاد و چهارمین درصد، نتایج حاصل نشانه طیف رویدادی با احتمال رویداد کمتر است. با افزودن انحراف از معیار به طیف میانه، طیف ۸۴٪ به دست آمده است. مراحل انجام شده برای تعیین طیف طراحی به صورت خلاصه در شکل ۹ دیده می‌شود.

### ۳-۱. طیف پاسخ میانه و ۸۴٪ بهنجار شده با PGV و PGA

اگر همه مراحل مطرح شده در بخش پیش برای همه رکوردها تکرار شود، در پایان طیف‌های شکل‌های ۱۰ و ۱۱ به دست می‌آید. همان‌گونه که اشاره شد این مراحل برای رکوردهای همپایه شده با بیشینه شتاب هم انجام گرفته که نتایج آن در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ آورده شده است.

### ۳-۲. طیف هموار شده طراحی برای طیف‌های بهنجار شده با PGV و PGA

با استفاده از طیف‌های به دست آمده از بخش پیش (بهنجار شده با PGV) می‌توان به طیفی هموار برای هر خاک رسید؛ طیف‌هایی که بتوان آنها را به وسیله چند رابطه

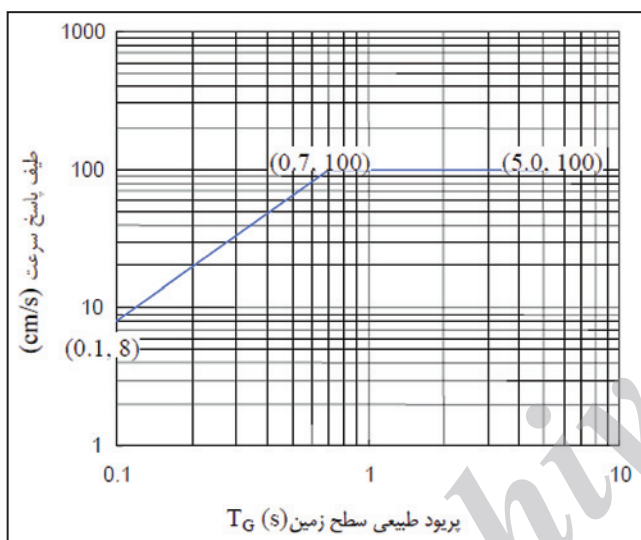
خاک نوع II انتخاب شد. طیف بهنجار شده سرعت هر شتاب‌نگاشت بر پایه بیشینه مقادیر دامنه سرعت و شتاب به صورت جداگانه پیشنهاد و سپس برای هر مجموعه، طیف طراحی میانه و ۸۴٪ تعیین شد. در پایان مدل ریاضی منحنی‌های ضریب طیفی تعیین شده در قالب فرمول برای شرایط خاک نوع I و II در ایران ارائه شد. برای مقایسه منحنی‌های به دست آمده خاک‌های نوع I و II، در شکل‌های ۱۹ و ۲۰ طیف‌های برآزش شده در سطوح ۵۰٪ و ۸۴٪ خاک نوع I و II آورده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود، بیشینه مقدار طیف میانه (۵۰٪) برای خاک نوع I عدد ۱۰۵، و برای خاک نوع II عدد ۱۱۵ به دست آمده است. همچنین بیشینه مقدار طیف میانه به علاوه یک انحراف از معیار برای خاک نوع I عدد ۱۷۵ و برای خاک نوع II عدد ۲۱۵ به دست آمد. توصیه می‌شود که همواره از منحنی ضریب طیفی ۸۴٪ برای خاک‌های نوع I و II استفاده و از کاربرد منحنی ضریب طیفی میانه دوری شود.

- طیف ۵۰٪ خاک نوع I:

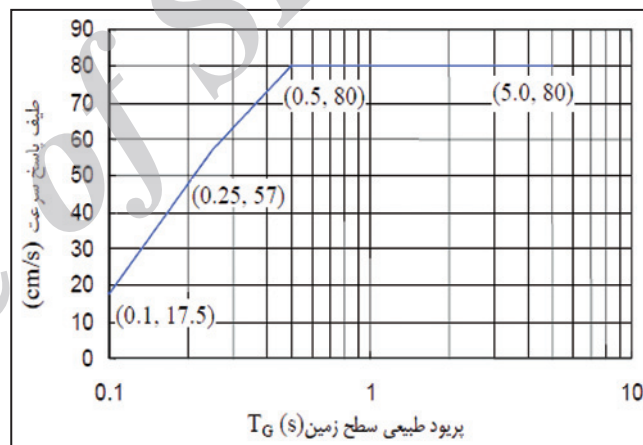
$$\begin{aligned} V &= 500T - 20 & T &\leq 0.2 \\ V &= 175T + 45 & 0.2 \leq T &\leq 0.4 \\ V &= 115 & 0.4 \leq T &\leq 1.4 \\ V &= 116T^{-0.15} + 5 & 1.4 \leq T & \end{aligned}$$

#### ۴- نتیجه‌گیری

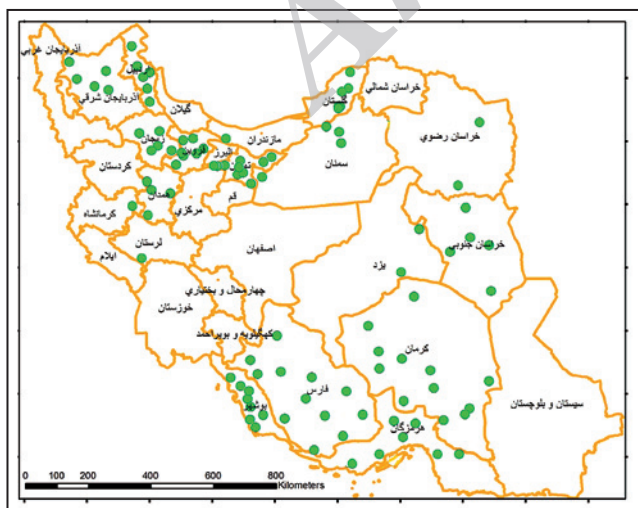
در پژوهش حاضر با توجه به اطلاعات شتاب‌نگاشتی زمین لرزه‌های مختلف ایران، منحنی ضریب طیفی سرعت برای خاک‌های نوع I و II (مطابق دسته‌بندی آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران) تعیین شد و از میان اطلاعات شتاب‌نگاشتی دریافتی از مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۳۰۶ شتاب‌نگاشت افقی خاک نوع I و ۳۲۳ شتاب‌نگاشت افقی



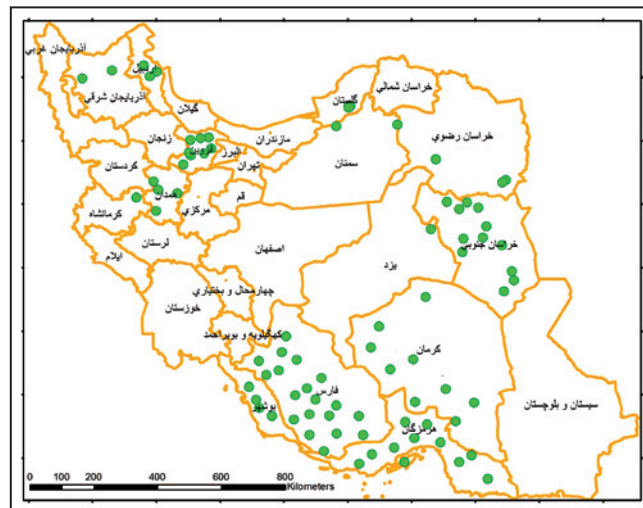
شکل ۲- طیف پاسخ سرعت برای سطح خطر ۲-



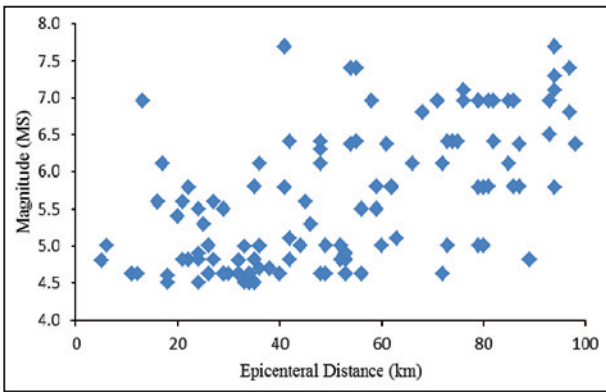
شکل ۱- طیف پاسخ سرعت برای سطح خطر ۱-



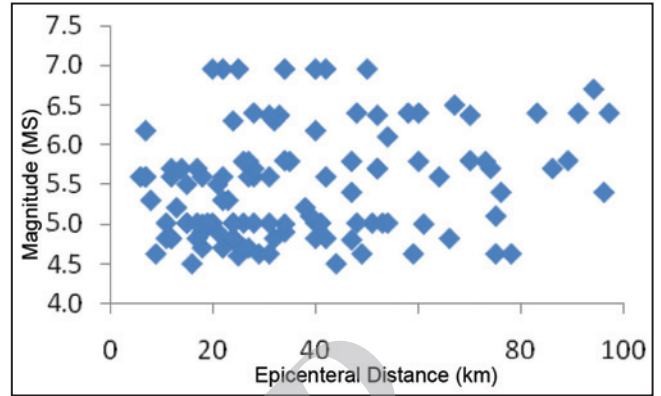
شکل ۴- ایستگاه‌های شتاب‌نگاری مورد استفاده برای خاک نوع II.



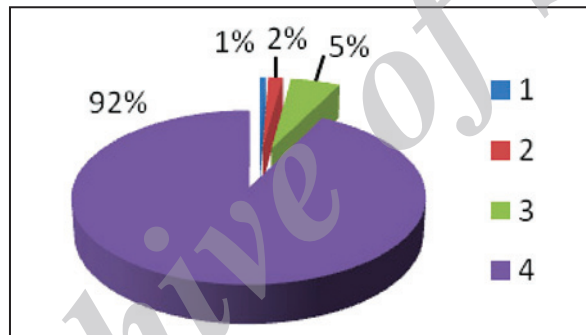
شکل ۳- ایستگاه‌های شتاب‌نگاری مورد استفاده برای خاک نوع I.



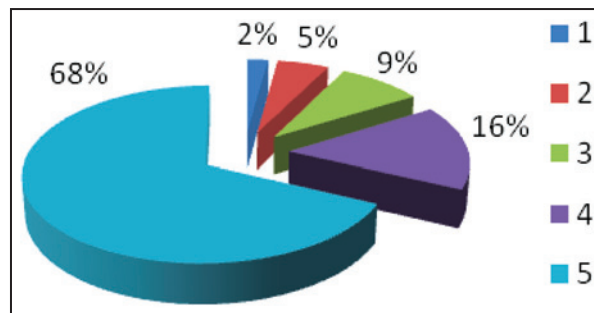
شکل ۶- پراکندگی فاصله و بزرگای شتاب‌نگاشت‌های خاک نوع II.



شکل ۵- پراکندگی فاصله و بزرگای شتاب‌نگاشت‌های خاک نوع I.



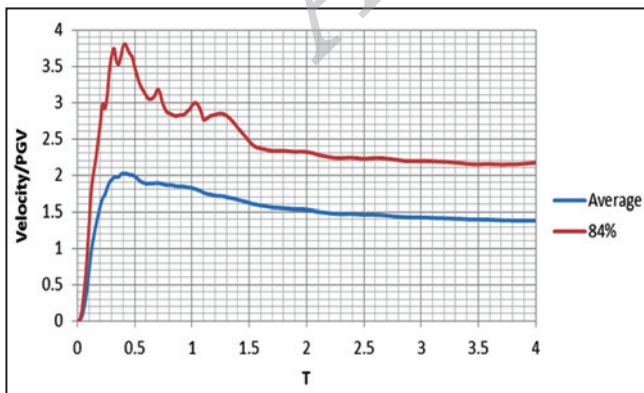
شکل ۷- درصد پراکندگی بیشینه سرعت بهنجار نشده خاک نوع II.  
 1-  $50 < PGV < 100$  2-  $20 < PGV < 50$  3-  $10 < PGV < 20$  4-  $PGV < 10$



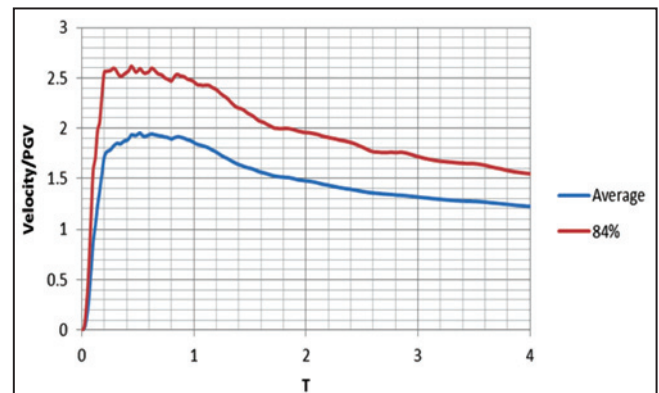
شکل ۸- درصد پراکندگی بیشینه سرعت بهنجار نشده خاک نوع II.  
 1-  $0.5g < PGA < 1g$  2-  $0.2g < PGA < 0.5g$  3-  $0.1g < PGA < 0.2g$  4-  $0.05g < PGA < 0.1g$  5-  $PGA < 0.05g$



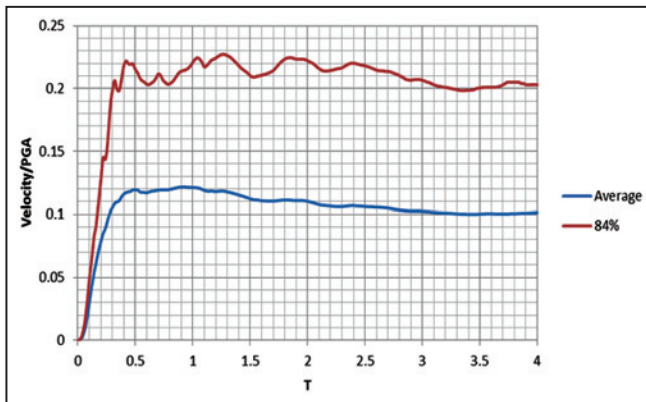
شکل ۹- فلوچارت استخراج طیف سرعت.



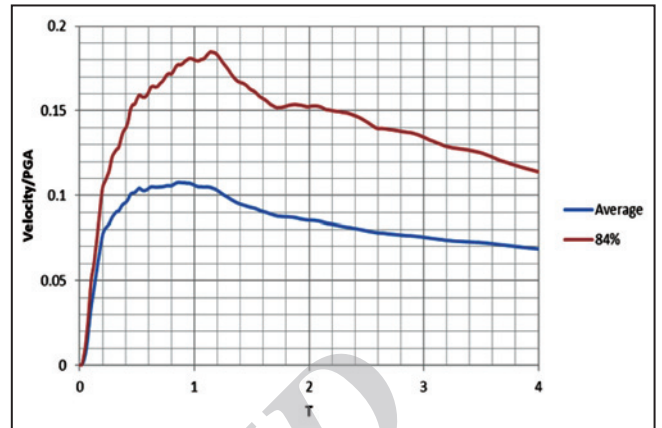
شکل ۱۱- طیف پاسخ میانه و ۸۴٪ بهنجار شده با PGV خاک نوع II.



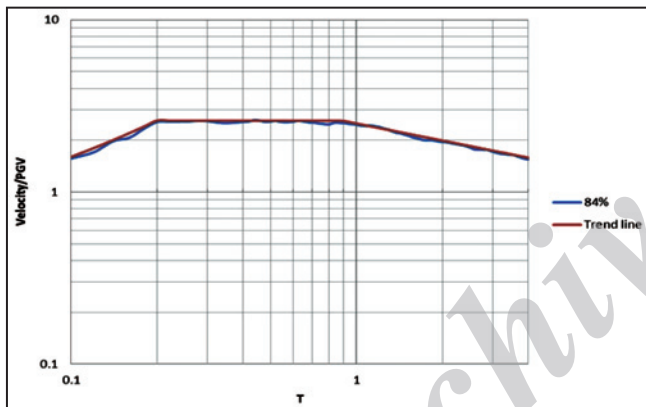
شکل ۱۰- طیف پاسخ میانه و ۸۴٪ بهنجار شده با PGV خاک نوع I.



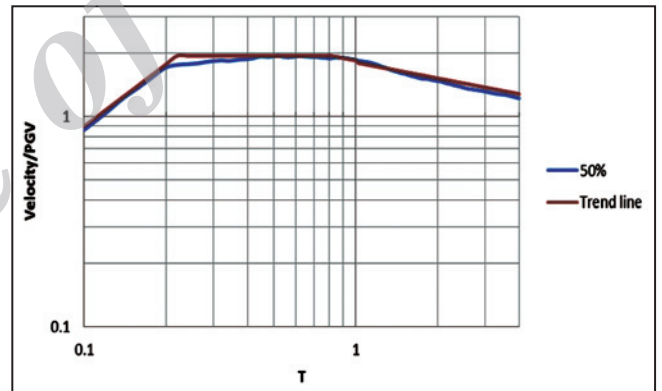
شکل ۱۳- طیف پاسخ میانه و ۸۴٪ بهنجار شده با خاک نوع II.



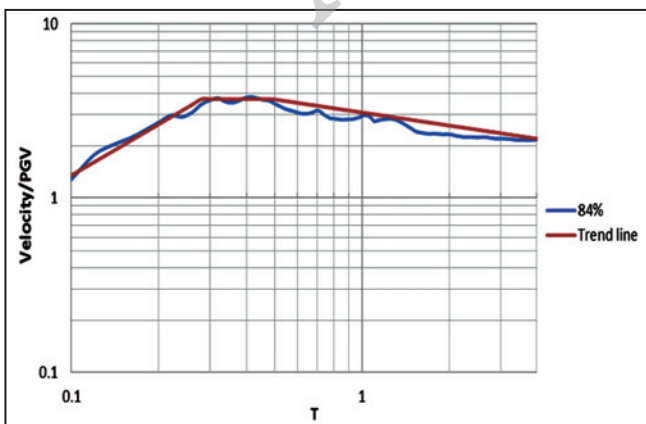
شکل ۱۲- طیف پاسخ میانه و ۸۴٪ بهنجار شده با خاک نوع I.



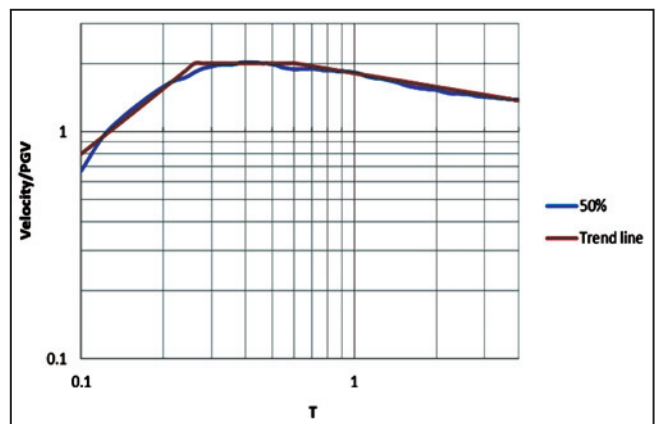
شکل ۱۵- طیف ۸۴٪ خاک نوع I و منحنی برازش شده از آن.



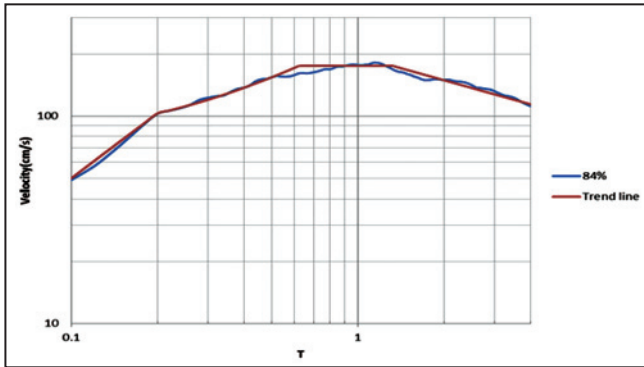
شکل ۱۴- طیف ۵۰٪ خاک نوع I و منحنی برازش شده از آن.



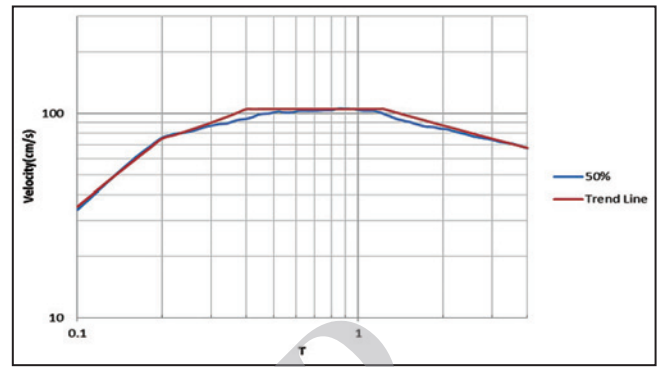
شکل ۱۷- طیف ۸۴٪ خاک نوع II و منحنی برازش شده از آن.



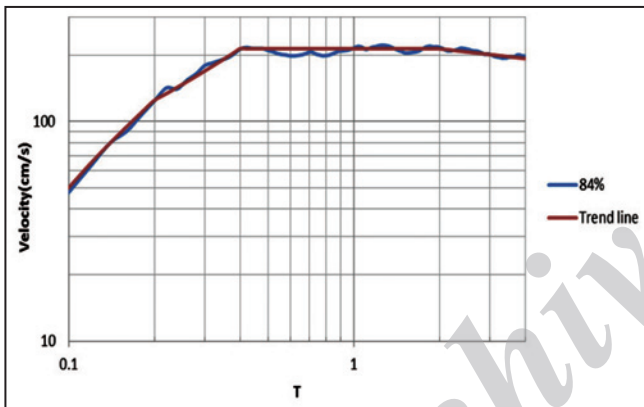
شکل ۱۶- طیف ۵۰٪ خاک نوع II و منحنی برازش شده از آن.



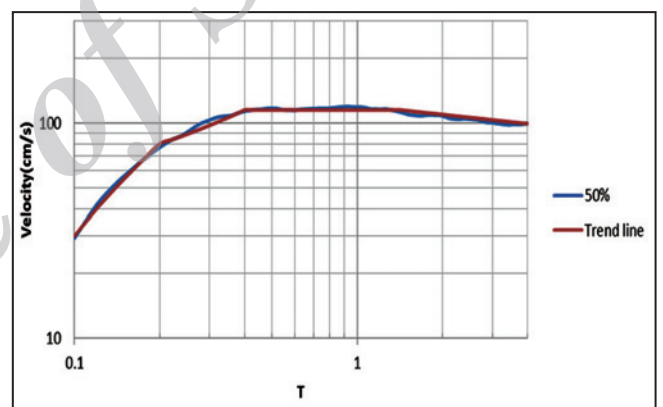
شکل ۱۹- طیف ۸۴٪ خاک نوع I و منحنی برازش شده از آن.



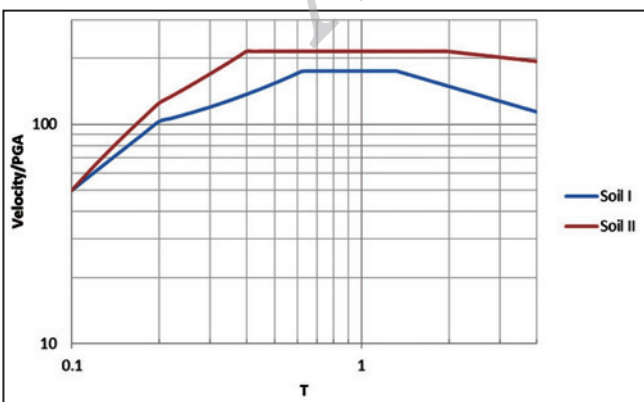
شکل ۱۸- طیف ۵۰٪ خاک نوع I و منحنی برازش شده از آن.



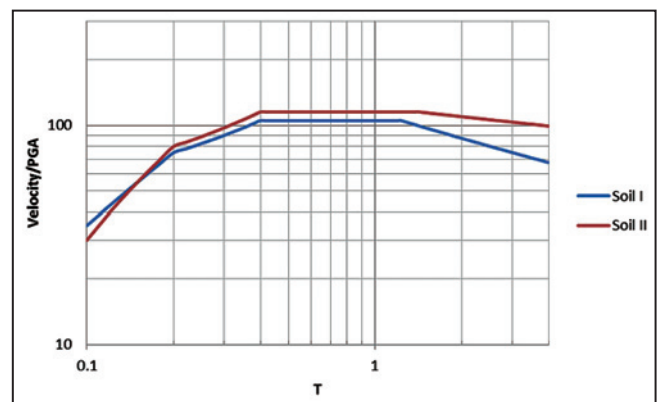
شکل ۲۱- طیف ۸۴٪ خاک نوع II و منحنی برازش شده از آن.



شکل ۲۰- طیف ۵۰٪ خاک نوع II و منحنی برازش شده از آن.



شکل ۲۳- طیف لگاریتمی ۸۴٪ پیشنهادی برای خاک نوع I و II.



شکل ۲۲- طیف لگاریتمی ۵۰٪ پیشنهادی برای خاک نوع I و II.

جدول ۱- مقادیر بسامد تصحیح  $F_H$  و  $F_L$ 

نوع دستگاه	محدوده $F_H$ استفاده شده	محدوده $F_L$ استفاده شده
SMA1	22~20	0.25~0.2
SSA2	30~25	0.2~0.1

جدول ۲- فهرست شتاب‌نگاشت‌های به کار گرفته شده برای خاک نوع I.

سرعت موج برشی	MS	ژرفای کانونی	رویداد	استان	نام	سرعت موج برشی	MS	ژرفای کانونی	استان	نام
1564	6.5	33	3/4/1999	کرمان	کهنوج	1180	6.4	0	خراسان جنوبی	سده*
940	6.5	33	3/4/1999	کرمان	کوشک علیا	889	6.4	0	خراسان جنوبی	قائن*
915	6.5	33	3/4/1999	کرمان	ارزویه	1195	0	64	هرمزگان	تخت*
773	6.3	33	5/6/1999	فارس	خان زینان	1195	0	44	هرمزگان	تخت*
1380	6.3	33	5/6/1999	فارس	بالاده	843	7.4	34	یزد	دیپوک*
832	6.3	33	5/6/1999	فارس	بابامیر	1180	6.8	0	خراسان جنوبی	سده*
753	6.3	33	5/6/1999	فارس	کوار	1961	6.8	0	خراسان رضوی	کاخک*
773	0	33	5/6/1999	فارس	خان زینان	843	4.9	0	یزد	دیپوک*
1380	0	33	5/6/1999	فارس	بالاده	843	5.5	23	یزد	دیپوک*
1172	6.3	33	5/7/1999	بوشهر	بوشکان	1180	6.7	3	خراسان جنوبی	سده*
988	4.4	33	9/24/1999	بوشهر	اهرم	889	6.7	3	خراسان جنوبی	قائن*
919	4.4	33	9/24/1999	بوشهر	خورموج	1961	7.1	0	خراسان رضوی	کاخک*
827	4.4	33	9/24/1999	بوشهر	فاریاب	1180	7.1	0	خراسان جنوبی	سده*
1362	4.9	33	10/31/1999	فارس	رمقان	889	7.1	0	خراسان جنوبی	قائن*
1380	4.9	33	10/31/1999	فارس	بالاده	1195	5.7	42	هرمزگان	تخت*
832	4.9	33	10/31/1999	فارس	بابامیر	1099	5.3	44	فارس	قیر*
827	5.1	32	11/19/1999	گلستان	رامیان	887	3.9	35	فارس	نورآبادممسنی*
827	4.8	33	11/26/1999	گلستان	رامیان	887	4.1	30	فارس	نورآبادممسنی*
1035	5.3	33	2/2/2000	خراسان رضوی	بردسکن	887	4.9	32	فارس	نورآبادممسنی*
1099	4.7	33	3/1/2000	فارس	قیر	787	4.7	28	خراسان جنوبی	بیرجند*
892	4.7	33	3/1/2000	فارس	هنگام	887	5.9	36	فارس	نورآبادممسنی*
1079	5.3	33	3/5/2000	هرمزگان	فارغان	887	5.6	17	فارس	نورآبادممسنی*
1111	4.2	59	3/21/2000	اردبیل	اسلام‌آباد قدیم	1247	5.7	18	کرمان	شهداد*
1262	4.5	33	6/23/2000	فارس	مصیری	894	6	12	فارس	فیروزآباد*
832	4.5	33	6/23/2000	فارس	بابامیر	894	0	53	فارس	فیروزآباد*
1341	5	33	10/23/2000	خراسان جنوبی	نهندان	894	4.8	22	فارس	فیروزآباد*
832	4.7	33	3/28/2001	فارس	بابامیر	881	0	11	فارس	میمند*
1396	5	33	2/17/2002	بوشهر	شنه	894	0	11	فارس	فیروزآباد
1195	4.9	33	4/17/2002	هرمزگان	تخت	936	0	11	فارس	زنجیران
1007	0	33	4/19/2002	قزوین	نیکویه	881	5.7	8	فارس	میمند*
815	0	33	4/19/2002	قزوین	ضیاآباد	753	5.7	8	فارس	کوار
1458	0	33	4/19/2002	قزوین	آلولک	894	5.7	8	فارس	فیروزآباد
898	0	33	4/19/2002	قزوین	رزجرد	885	5.7	8	فارس	باب انار
1477	0	33	4/24/2002	کرمانشاه	سنقر	936	5.7	8	فارس	زنجیران
814	6.4	10	6/22/2002	قزوین	آوج	1099	5.7	8	فارس	قیر
913	6.4	10	6/22/2002	همدان	بهار	753	0	33	فارس	کوار



نام	استان	ترویداد	ژرفای کانونی	MS	سرعت موج برشی	نام	استان	رویداد	ژرفای کانونی	MS	سرعت موج برشی
جووکان	فارس	12/8/1994	33	0	1021	ضیاآباد	قزوین	6/22/2002	10	6.4	815
سیف آباد	فارس	5/31/1995	24	4	1783	نهادند	قزوین	6/22/2002	10	6.4	769
زیارت علی	هرمزگان	11/6/1995	33	4.6	1334	گل تپه	همدان	6/22/2002	10	6.4	1077
زیارت علی	هرمزگان	10/18/1996	33	4.9	1334	شیرین سو	همدان	6/22/2002	10	6.4	813
خان زینان	فارس	11/18/1996	33	5	773	نیکویه	قزوین	6/22/2002	10	6.4	1007
نیارق	اردبیل	2/28/1997	10	6.1	1512	قهاوند	همدان	6/22/2002	10	6.4	1098
نمین	اردبیل	2/28/1997	10	6.1	1236	آوج	قزوین	9/2/2002	10	0	814
نمین	اردبیل	3/2/1997	10	4.6	1236	رودان	هرمزگان	2/14/2003	0	5.4	869
رضوان	هرمزگان	4/19/1997	27	5.4	752	جویم	فارس	7/10/2003	10	5.5	1244
زیارت علی	هرمزگان	4/19/1997	27	5.4	1334	جویم	فارس	7/10/2003	10	5.5	1244
لامرد	فارس	5/5/1997	33	0	881	جویم	فارس	10/24/2003	33	0	1244
اشکنان	فارس	5/5/1997	33	0	1066	جویم	فارس	11/28/2003	10	0	1244
سنگان	خراسان رضوی	5/10/1997	10	7.3	941	دیوبران	فارس	11/28/2003	10	0	1363
بسک آباد	خراسان جنوبی	6/25/1997	10	5.8	901	دیوبران	فارس	12/15/2003	10	0	1363
قائن ۲	خراسان جنوبی	6/25/1997	10	5.8	928	ابارق	کرمان	12/26/2003	10	0	1160
سده*	خراسان جنوبی	6/25/1997	10	5.8	1180	گوهران	هرمزگان	1/28/2004	25	0	756
سنگان	خراسان رضوی	6/25/1997	10	5.8	941	ابارق	کرمان	10/6/2004	72	0	1160
میمند	فارس	8/24/1997	33	4.1	881	رامیان	گلستان	10/7/2004	34	0	827
فیروزآباد	فارس	8/24/1997	33	4.1	894	مجن	سمنان	10/7/2004	34	0	876
لار	فارس	10/3/1997	33	4.8	1179	چترود	کرمان	5/14/2005	10	0	852
ابارق	کرمان	3/14/1998	9	6.9	1160	اسلام آباد	کرمان	5/14/2005	10	0	807
اسدیه	خراسان جنوبی	4/10/1998	33	5.7	866	حتکن	کرمان	5/14/2005	10	0	837
مود	خراسان جنوبی	4/10/1998	33	5.7	961	خانوک	کرمان	5/14/2005	10	0	1083
بیرجند	خراسان جنوبی	4/10/1998	33	5.7	787	راور	کرمان	5/14/2005	10	0	853
مرک	خراسان جنوبی	4/10/1998	33	5.7	872	گیسک	کرمان	5/14/2005	10	0	809
نمین	اردبیل	7/9/1998	26	0	1236	حرجند	کرمان	5/14/2005	10	0	999
نیارق	اردبیل	7/9/1998	26	0	1512	قشم	هرمزگان	11/27/2005	0	0	757
زنجیره	آذربایجان شرقی	9/2/2008	35	0	919	کهورستان	هرمزگان	11/27/2005	0	0	807
طبل	هرمزگان	9/10/2008	7	0	931	سوزا	هرمزگان	11/27/2005	0	0	1334
کهورستان	هرمزگان	9/10/2008	7	0	807	سوزا	هرمزگان	11/27/2005	15	0	1334
سوزا	هرمزگان	9/10/2008	7	0	1334	زیارت علی	هرمزگان	2/28/2006	33	0	1334
تمبان	هرمزگان	9/10/2008	7	0	778	قشم	هرمزگان	6/3/2006	2	0	757
طبل	هرمزگان	9/11/2008	10	0	931	تمبان	هرمزگان	6/3/2006	2	0	778
سوزا	هرمزگان	9/11/2008	10	0	1334	سوزا	هرمزگان	6/3/2006	2	0	1334
تمبان	هرمزگان	9/11/2008	10	0	778	جویم	فارس	6/23/2006	14	0	1244
قشم	هرمزگان	9/17/2008	10	0	757	قشم	هرمزگان	6/28/2006	10	0	757
سوزا	هرمزگان	9/17/2008	10	0	1334	تمبان	هرمزگان	6/28/2006	10	0	778
تمبان	هرمزگان	9/17/2008	10	0	778	شبستر	آذربایجان شرقی	9/2/2008	35	0	922
تخت	هرمزگان	9/26/2008	20	0	1195	سوزا	هرمزگان	12/8/2008	6	0	1334
سوزا	هرمزگان	12/7/2008	15	0	1334	طبل	هرمزگان	12/8/2008	6	0	931
قشم	هرمزگان	12/7/2008	15	0	757	تمبان	هرمزگان	12/8/2008	6	0	778
طبل	هرمزگان	12/7/2008	15	0	931	تمبان	هرمزگان	12/9/2008	14	0	778
تمبان	هرمزگان	12/7/2008	15	0	778	درزوسایان	فارس	2/23/2009	10	0	1250
قشم	هرمزگان	12/8/2008	6	0	757	طبل	هرمزگان	7/22/2009	10	0	931
تمبان	هرمزگان	7/22/2009	10	0	778	قشم	هرمزگان	11/3/2009	14	0	757

جدول ۳- فهرست شتاب‌نگاشت‌های به کار گرفته شده برای خاک نوع II.

نام	استان	تاریخ رویداد	ژرفای کانونی	MS	سرعت موج برشی	نام	استان	تاریخ رویداد	ژرفای کانونی	MS	سرعت موج برشی
* میناب	هرمزگان	3/7/1975	0	6.1	453	بوشهر ۱	بوشهر	9/24/1999	33	4.4	511
* خضری	خراسان جنوبی	11/7/1976	0	6.4	701	قائمیه	فارس	10/31/1999	33	4.9	617
* وندبک	خراسان جنوبی	11/9/1976	29	0	652	علی آباد	گلستان	11/19/1999	32	5.1	562
* میناب	هرمزگان	3/21/1977	0	6.9	453	قلعه نو خرافان	سمنان	11/19/1999	32	5.1	381
* فراشبند	فارس	3/31/1977	41	0	630	آق بند	گلستان	11/19/1999	32	5.1	402
* بشرویه	خراسان جنوبی	9/16/1978	34	7.4	564	کلاله	گلستان	11/19/1999	32	5.1	375
* طبس	یزد	9/16/1978	34	7.4	645	علی آباد	گلستان	11/26/1999	33	4.8	562
* فردوس	خراسان جنوبی	9/16/1978	34	7.4	491	گنبد کاووس	گلستان	11/26/1999	33	4.8	402
* خضری	خراسان جنوبی	1/16/1979	0	6.8	701	سیاهو	هرمزگان	3/5/2000	33	5.3	627
* گناباد	خراسان رضوی	1/16/1979	0	6.8	529	بندرریگ	بوشهر	5/3/2000	33	4.5	480
* طبس	یزد	1/17/1979	0	4.9	645	بندرگناوه	بوشهر	5/3/2000	33	4.5	508
* طبس	یزد	2/13/1979	23	5.4	645	شول	بوشهر	5/3/2000	33	4.5	479
* خضری	خراسان جنوبی	11/27/1979	0	7.1	701	قائمیه	فارس	6/23/2000	33	4.5	617
* گناباد	خراسان رضوی	11/27/1979	0	7.1	529	دیباچ	سمنان	8/16/2000	33	4.5	526
* فردوس	خراسان جنوبی	1/12/1980	14	5.8	491	بندرریر	بوشهر	9/13/2000	33	4.5	508
* بشرویه	خراسان جنوبی	1/12/1980	14	5.8	564	قائمیه	فارس	3/28/2001	33	4.7	617
* طبس	یزد	1/12/1980	0	5.8	645	کنار تخته	فارس	3/28/2001	33	4.7	450
* کوهبنان	کرمان	4/11/1987	2	4.8	469	حاجی آباد	فارس	4/13/2001	33	4.1	561
* فراشبند	فارس	9/29/1987	39	0	630	بردخون	بوشهر	2/17/2002	33	5	401
* ایوانکی	سمنان	8/22/1988	18	5	722	بندرریر	بوشهر	2/17/2002	33	5	508
* ایوانکی	سمنان	8/23/1988	35	4.8	722	کاکي	بوشهر	2/17/2002	33	5	470
* قزوین	قزوین	6/20/1990	0	7.7	456	بهباد	یزد	4/5/2002	33	0	458
* آب بر	زنجان	6/20/1990	18	7.7	691	معلم کلایه	قزوین	4/19/2002	33	0	490
* قزوین	قزوین	6/21/1990	0	5.3	456	درسجین	زنجان	4/19/2002	33	0	636
* آب بر	زنجان	6/21/1990	15	5.3	691	آقا بابا	قزوین	4/19/2002	33	0	617
* آب بر	زنجان	6/21/1990	10	4.2	691	زوارک	قزوین	4/19/2002	33	0	489
* منجیل	گیلان	6/24/1990	10	4.7	580	ارمنجان	کرمانشاه	4/24/2002	33	0	390
* آب بر	زنجان	6/24/1990	10	4.7	691	آجین	همدان	4/24/2002	33	0	589
* منجیل	گیلان	7/6/1990	51	4.5	580	فیروزان	همدان	4/24/2002	33	0	401
* آب بر	زنجان	7/6/1990	51	4.5	691	دانسفهان	قزوین	6/22/2002	10	6.4	478
* آب بر	زنجان	12/28/1990	10	4.4	691	کبودر آهنگ	همدان	6/22/2002	10	6.4	613
* منجیل	گیلان	12/28/1990	10	4.4	580	سلطانیه	زنجان	6/22/2002	10	6.4	466
* فورک	فارس	5/19/1992	33	5	652	ده جلال	زنجان	6/22/2002	10	6.4	748
* فراشبند	فارس	9/8/1992	17	4.7	630	درسجین	زنجان	6/22/2002	10	6.4	636
* فورک	فارس	7/9/1993	23	4.8	652	صایین قلعه	زنجان	6/22/2002	10	6.4	642
ذرات	فارس	3/30/1994	53	0	720	قهورد	همدان	6/22/2002	10	6.4	414
ذرات	فارس	4/3/1994	22	4.8	720	تاکستان	قزوین	6/22/2002	10	6.4	474
ذرات	فارس	6/18/1994	11	0	720	درسجین	زنجان	9/2/2002	10	0	636
ذرات	فارس	6/20/1994	8	5.7	720	کنار تخته	فارس	1/11/2003	33	5	450
سروستان	فارس	6/20/1994	8	5.7	464	سرگر-احمدی	هرمزگان	2/14/2003	0	5.4	528
فراشبند	فارس	6/20/1994	8	5.7	630	کنار تخته	فارس	5/27/2003	0	0	450
قائمیه	فارس	9/5/1994	0	0	617	حاجی آباد	فارس	7/10/2003	10	5.5	561
نیر	اردبیل	11/2/1994	10	0	589	زاهدشهر	فارس	7/10/2003	10	5.5	390
ذرات	فارس	12/8/1994	33	0	720	حاجی آباد	فارس	7/10/2003	10	5.5	561
اصلاتدوز	اردبیل	4/22/1996	29	0	705	زاهدشهر	فارس	7/10/2003	10	5.5	390

نام	استان	تاریخ رویداد	ژرفای کانونی	MS	سرعت موج برشی	نام	استان	تاریخ رویداد	ژرفای کانونی	MS	سرعت موج برشی
قلعه گنج	کرمان	10/18/1996	33	4.9	683	ریگان	کرمان	8/4/2003	33	5.3	437
هریس	آذربایجان شرقی	2/28/1997	10	6.1	530	ریگان	کرمان	8/21/2003	20	5.8	437
سراب	آذربایجان شرقی	2/28/1997	10	6.1	406	حاجی آباد	فارس	10/24/2003	33	0	561
هل آباد*	اردبیل	2/28/1997	10	6.1	387	نخل ناخدا	هرمزگان	11/5/2003	33	0	678
خلخال	اردبیل	2/28/1997	10	6.1	459	حاجی آباد	فارس	11/28/2003	10	0	561
کریق	اردبیل	2/28/1997	10	6.1	589	حاجی آباد	فارس	12/15/2003	10	0	561
نیر	اردبیل	3/2/1997	10	4.6	589	میناب	هرمزگان	1/28/2004	25	0	453
کریق	اردبیل	3/2/1997	10	4.6	589	قائمیه	فارس	5/8/2004	66	0	617
بیرم	فارس	5/5/1997	33	0	377	تهران ۱۸ (مرکز تحقیقات)	تهران	5/28/2004	40	0	511
خضری	خراسان جنوبی	5/10/1997	10	7.3	701	تهران ۱۵۶ (استادیوم آزادی)	تهران	5/28/2004	40	0	613
قاسم آباد	خراسان رضوی	5/10/1997	10	7.3	737	تهران ۲۴ (شهرک صنعتی شریف)	تهران	5/28/2004	40	0	522
شاهرخت	خراسان جنوبی	6/16/1997	10	0	656	تهران ۳۰ (پارک جمشیدیه)	تهران	5/28/2004	40	0	481
گناباد	خراسان رضوی	6/25/1997	10	5.8	683	تهران ۵۲ (دانشکده آب و برق)	تهران	5/28/2004	40	0	593
خضری	خراسان جنوبی	6/25/1997	10	5.8	701	تهران ۱۷ (ورزشگاه تختی)	تهران	5/28/2004	40	0	693
قاسم آباد	خراسان رضوی	6/25/1997	10	5.8	737	هشتگرد	تهران	5/28/2004	40	0	706
شاهرخت	خراسان جنوبی	6/25/1997	10	5.8	656	طالقان	تهران	5/28/2004	40	0	462
باغین	کرمان	3/14/1998	9	6.9	516	بومهن	تهران	5/28/2004	40	0	696
ریگان	کرمان	6/10/1998	88	0	437	تهران ۲۷ (پارک غزال)	تهران	5/28/2004	40	0	569
نیر	اردبیل	7/9/1998	26	0	589	معلم کلايه	قزوین	5/28/2004	40	0	490
گرمی	اردبیل	7/9/1998	26	0	712	دربهشت	کرمان	10/6/2004	72	0	544
بیرم	فارس	11/13/1998	33	5.1	377	محمدآباد مسکون	کرمان	10/6/2004	72	0	507
بلورد	کرمان	1/14/1999	33	0	518	قطب آباد	کرمان	10/6/2004	72	0	648
چشمه سبز	کرمان	1/14/1999	33	0	678	علی آباد	گلستان	10/7/2004	34	0	562
محمدآباد مسکون	کرمان	3/4/1999	33	6.5	507	گنبد کاووس	گلستان	10/7/2004	34	0	402
قائمیه	فارس	5/6/1999	33	6.3	617	دیباچ	سمنان	10/7/2004	34	0	526
آباد	بوشهر	5/6/1999	33	6.3	482	مینودشت	گلستان	10/7/2004	34	0	449
آباد	بوشهر	9/24/1999	33	4.4	482	قلعه نو خرقان	سمنان	10/7/2004	34	0	381
تسوج	آذربایجان شرقی	9/2/2008	35	0	709	مینودشت*	گلستان	10/7/2004	34	0	449
بندر خمیر	هرمزگان	9/10/2008	7	0	679	قلعه شوکت	سمنان	10/7/2004	34	0	658
چاه مسلم	هرمزگان	10/25/2008	28	0	650	پلدختر	لرستان	11/21/2004	30	0	486
بندر خمیر	هرمزگان	12/7/2008	15	0	679	پلدختر	لرستان	11/22/2004	42	0	486
بندر خمیر	هرمزگان	12/8/2008	6	0	679	چالان چولان	لرستان	5/3/2005	11	0	428
فین ۱	هرمزگان	2/23/2009	10	0	681	بها آباد	کرمان	5/14/2005	10	0	385
بندر خمیر	هرمزگان	7/22/2009	10	0	679	هینمان	کرمان	5/14/2005	10	0	617
سیاهو	هرمزگان	2/20/2007	22	0	627	فین ۱	هرمزگان	11/27/2005	0	0	681
یکان کهریز	آذربایجان شرقی	9/2/2008	35	0	738	سرگز-احمدی	هرمزگان	2/28/2006	33	0	528
مرند	آذربایجان شرقی	9/2/2008	35	0	546	سیاهو	هرمزگان	2/28/2006	33	0	627

### کتابنگاری

- آزاد، م.، ۱۳۹۰- تعیین طیف طراحی سرعت برای خاک‌های نوع I و II ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)، ایران، تهران.
- زارع، م.، ذوالفقاری، ع.، عزیزی، ع.، جامی، م. و سلیمانی، ش.، ۱۳۷۸- طیف طراحی مقاوم در برابر زلزله برای نواحی مختلف ایران، اولین کنفرانس علمی تخصصی انجمن مهندسان راه و ساختمان ایران، تهران.
- قدرتی امیری، غ.، زاهدی، م.، مهدویان، ع. و غلامی، س.، ۱۳۸۳- محدوده فرکانسی مناسب جهت پردازش شتابنگاشت‌های ایران برای انواع شرایط ساختگاهی، نشریه‌ی دانشکده فنی، دانشگاه علم و صنعت، شماره ۲، ص ۲۴۹-۲۳۱.
- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۹۰- داده‌های پایه شتابنگاشت‌های شبکه شتابنگاری کشور تا سال ۲۰۱۰.
- معین‌فر، ع. ا.، مهدویان، ع. و مالکی، ا.، ۱۳۷۳- مجموعه اطلاعات پایه زلزله‌های ایران، مرکز انتشارات مؤسسه نمایشگاه‌های فرهنگی ایران.
- نشریه ۶۰۰، ۱۳۹۱- راهنمای بارگذاری و تحلیل لرزه‌ای شریان‌های حیاتی ایران، معاونت برنامه‌ریزی و معاونت راهبردی ریاست جمهوری.

### References

- Mahdavian, A., 2004- "Accelerograms of Earthquakes Recorded by the Country wide Network" under publication in more than 20 Volumes by BHRC (1998).
- Mahdavian, A., 2006- "Empirical Evaluation of Attenuation of Relations of Peak Ground Acceleration in the ZAGROS and Central ". Geneva, Switzerland, 3-8 September 2006, First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology.

Archive of SID