تعیین طیف طراحی سرعت برای خاک‌های نوع I و II ایران

عباس مهدویان [1*] و میثم حسنی [2]

[1] استادیار، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

[2] 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 آسیب‌های به مراتب جدی را به‌وجود آورده است. میزان نیروی جذب شده و خرابی‌های ناشی از زمین‌لرزه در سازه‌های روزمینی، متناسب با اینرسی و جرم آنهاست. به‌گونه‌ای 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 آیین نامه 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 بیشینه 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 زمین لرزه‌های 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 بیشینه مقادیر دامنه سرعت و شتاب به‌صورت 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، شریان های 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 به‌طور 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 به‌صورت ضریبی از وزن سازه به آن وارد می‌شود که این ضریب به‌صورت خطی بوده و وابسته به شتاب طراحی در آن منطقه مشخص است (V=CW, C=ABI/R). در روش دینامیکی طیفی به‌طور 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 به‌طور 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 می پذیرد. این تغییر مکان در محل سازه مدفون با استفاده از طیف پاسخ سرعت محاسبه و برهم کنش میان زمین و سازه زیرزمینی با روش شبه استاتیکی 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 زمین 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 بیشینه 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 با بسامدهای زیر ۰/۱۵ و بالای ۲۵ هرتز حذف شدند. به‌طور کلی مقادیر بسامد تصحیح F_H و F_L بر پایه نوع دستگاه ثبت کننده به‌صورت 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

(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 بزرگا 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 کار گیری 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 وامکان 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 به‌علاوه یک خطای استاندارد) ((84th Percentile (50th spectra plus one standard deviation) به‌عنوان ضریب طیف مورد نظر برای سطح ۸۴٪ در نظر گرفته می‌شود. به‌گونه‌ای 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 به‌صورت 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 ریاضی ساده به دست آورد تا در مقاصد طراحی قابلیت استفاده بهتری داشته باشند. در شکل‌های ۱۴و ۱۵سعی 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:

$V=10T+0.6$ $\quad T \le 0.2$

$V= 2.6$ $\quad 0.2 \le T \le 0.9$

$V=2.5T^{-0.33}$ $\quad 0.9 \le T$

- طیف ۵۰٪ خاک نوع I:

$V=8.75T+0.025$ $\quad T \le 0.22$

$V= 1.95$ $\quad 0.22 \le T \le 0.8$

$V=1.85T^{-.25}$ $\quad 0.8 \le T$

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:

$V=13T+0.05$ $\quad T \le 0.28$

$V= 3.7$ $\quad 0.28 \le T \le 0.5$

$V=3.1T-0.25$ $\quad 0.5 \le T$

- طیف ۵۰٪ خاک نوع II:

$V=7.5T+0.05$ $\quad T \le 0.22$

$V= 2$ $\quad 0.22 \le T \le 0.6$

$V=1.81T-0.2$ $\quad 0.6 \le T$

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:

$V=190T^{-0.4}+5$ $\quad 1.32 \le T$

$V=175$ $\quad 0.62 \le T \le 1.32$

$V= 170T + 69$ $\quad 0.2 \le T \le 0.62$

$V= 530T - 3$ $\quad T \le 0.2$

- طیف ۵۰٪ خاک نوع I:

$V= 400T - 5$ $\quad T \le 0.2$

$V= 150T + 45$ $\quad 0.2 \le T \le 0.4$

$V=105$ $\quad 0.4 \le T \le 1.22$

$V=100T^{-0.45}+14$ $\quad 1.22 \le T$

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

- طیف ۸۴٪ خاک نوع I:

$V= 750T - 25$ $\quad T \le 0.2$

$V= 450T + 35$ $\quad 0.2 \le T \le 0.4$

$V=215$ $\quad 0.4 \le T \le 2$

$V=235T -0.15+3$ $\quad 2 \le T$

- طیف ۵۰٪ خاک نوع I:

$V = 500T - 20$ $\quad T \le 0.2$

$V = 175T + 45$ $\quad 0.2 \le T \le 0.4$

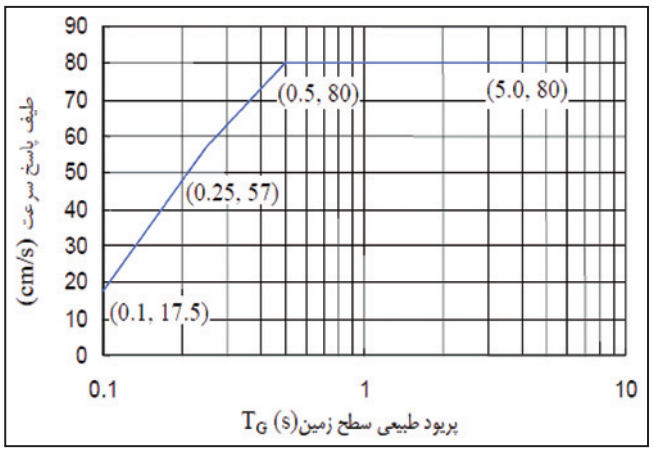
$V = 115$ $\quad 0.4 \le T \le 1.4$

$V = 116T^{-0.15} + 5$ $\quad 1.4 \le T$

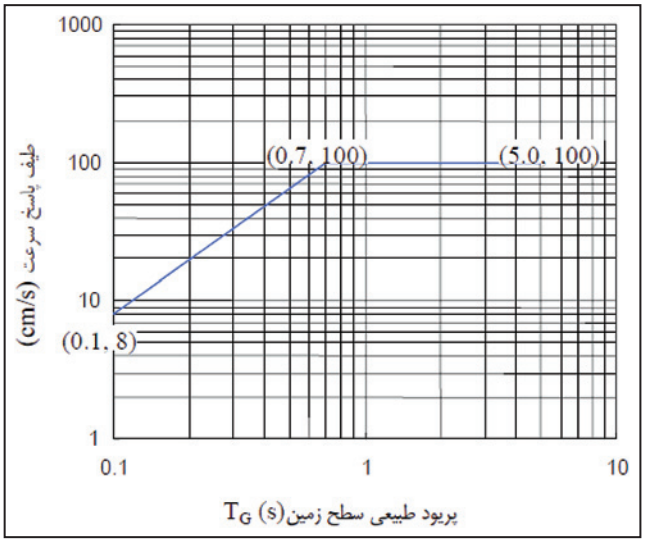
۴- نتیجه‌گیری

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 خاک نوع II انتخاب شد. طیف بهنجار شده سرعت هر شتاب‌نگاشت بر پایه بیشینه مقادیر دامنه سرعت و شتاب به‌صورت 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.

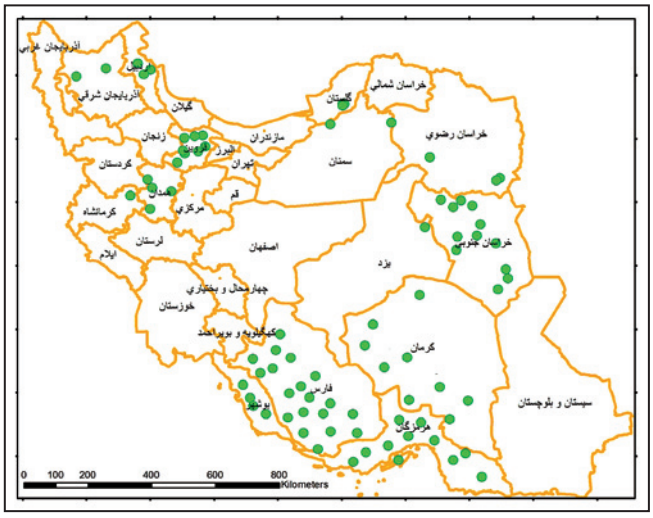
برای مقایسه منحنی‌های به دست آمده خاک‌های نوع I و II، در شکل‌های ۱۹ و ۲۰ طیف‌های برازش شده در سطوح ۵۰٪ و ۸۴٪ خاک نوع I و II آورده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود، بیشینه مقدار طیف میانه (۵۰٪) برای خاک نوع I عدد ۱۰۵، و برای خاک نوع II عدد ۱۱۵ به دست آمده است. همچنین بیشینه مقدار طیف میانه به‌علاوه یک 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 II و I استفاده و از کاربرد منحنی ضریب طیفی میانه دوری شود.



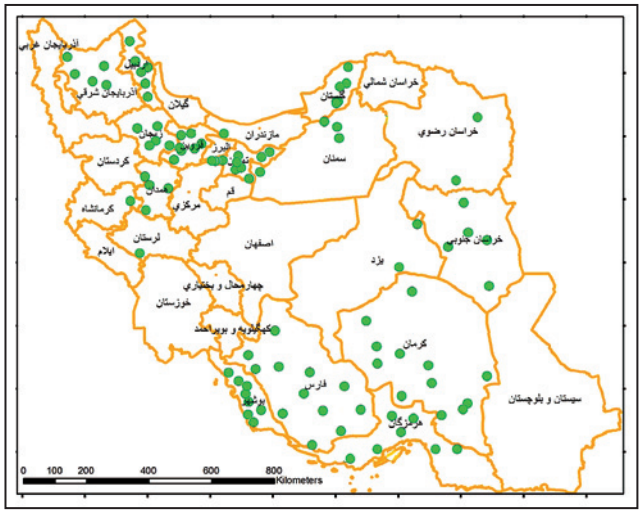
شکل ۱- طیف پاسخ سرعت برای سطح خطر -۱.



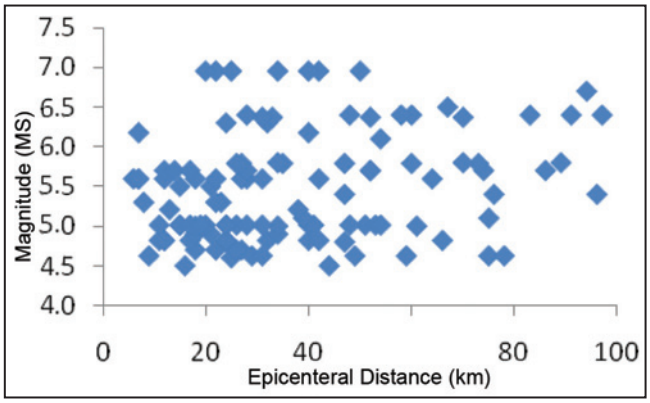
شکل ۲- طیف پاسخ سرعت برای سطح خطر -۲.



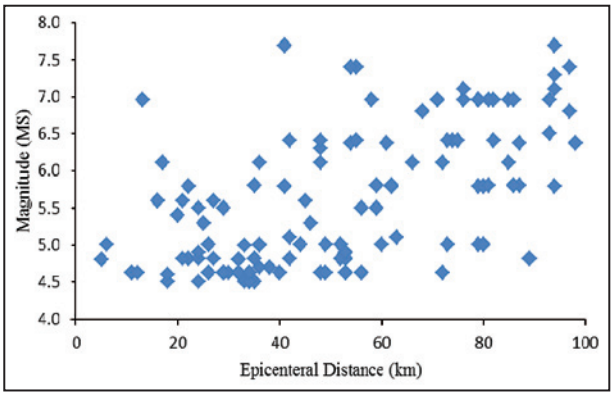
شکل ۳- ایستگاه‌های شتابنگاری مورد استفاده برای خاک نوع I.



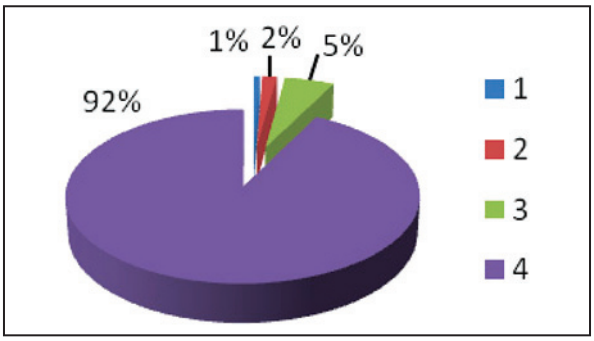
شکل ۴- ایستگاه‌های شتابنگاری مورد استفاده برای خاک نوع II.



شکل۵- پراکندگی فاصله و بزرگای شتاب‌نگاشت‌های خاک نوع I.

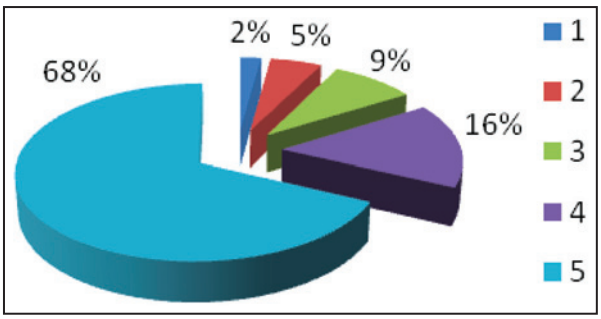


شکل ۶- پراکندگی فاصله و بزرگای شتاب‌نگاشت‌های خاک نوع II.



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.

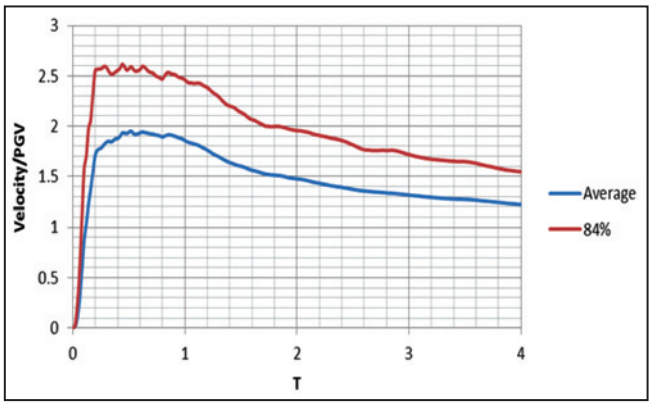


شکل ۸- درصد پراکندگی بیشینه سرعت بهنجار نشده خاک نوع II.

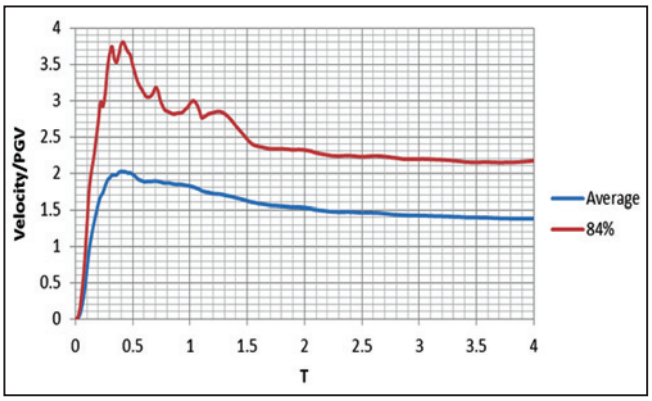
1- 0.5g<PGA<1g؛ 2- 0.2g<PGA<0.5g؛ 3- 0.1g<PGA<0.2g؛

4- 0.05g<PGA<0.1g؛ 5- PGA<0.05g.

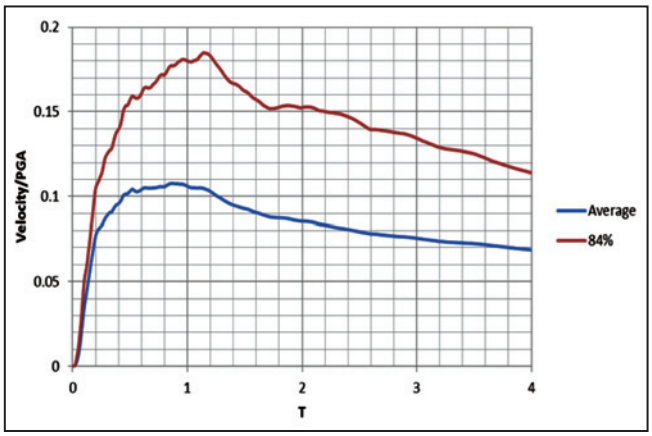
شکل ۹- فلوچارت استخراج طیف سرعت.



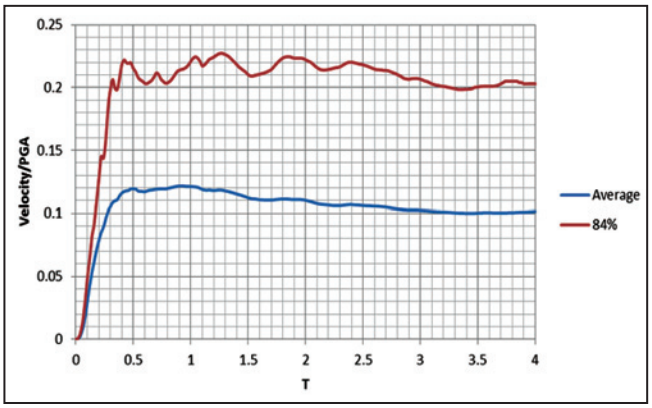
شکل ۱۰- طیف پاسخ میانه و ۸۴٪ بهنجار شده با PGV خاک نوع I.



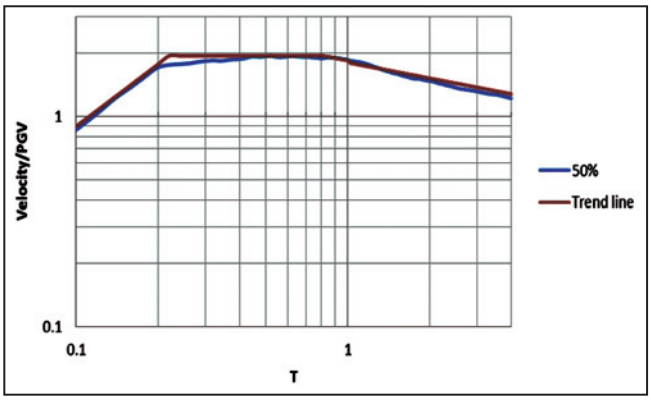
شکل ۱۱- طیف پاسخ میانه و ۸۴٪ بهنجار شده با PGV خاک نوع II.



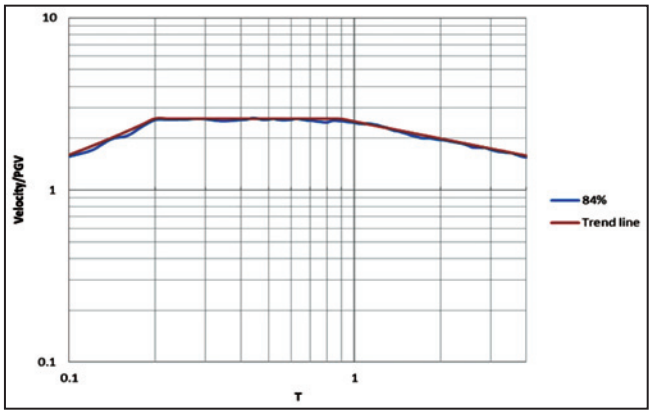
شکل ۱۲- طیف پاسخ میانه و ۸۴٪ بهنجار شده با PGA خاک نوع I.



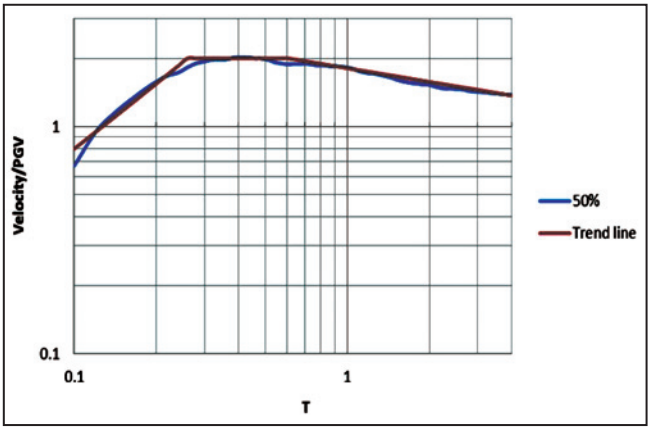
شکل ۱۳- طیف پاسخ میانه و ۸۴٪ بهنجار شده با PGA خاک نوع II.



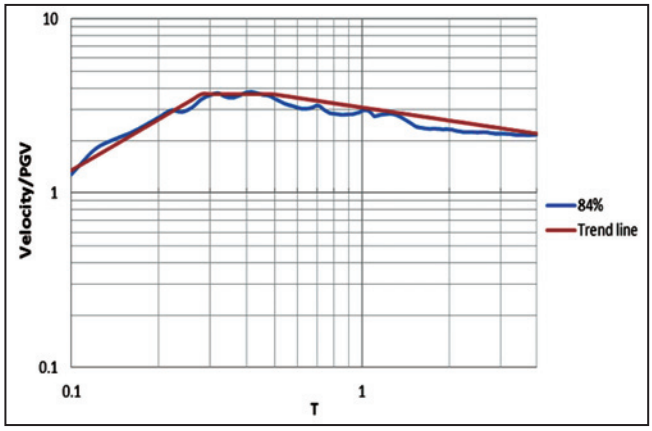
شکل ۱۴- طیف ۵۰٪ خاک نوع I و منحنی برازش شده از آن.



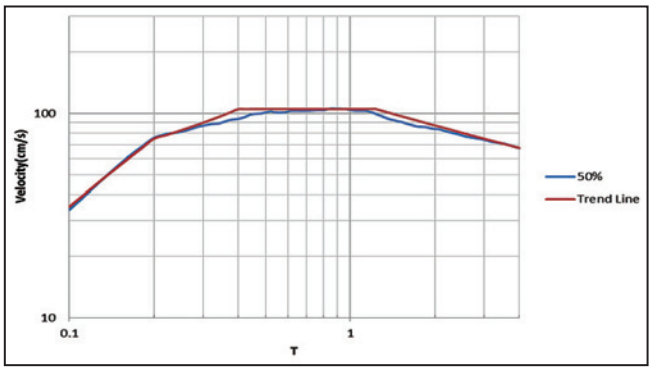
شکل ۱۵- طیف ۸۴٪ خاک نوع I و منحنی برازش شده از آن.



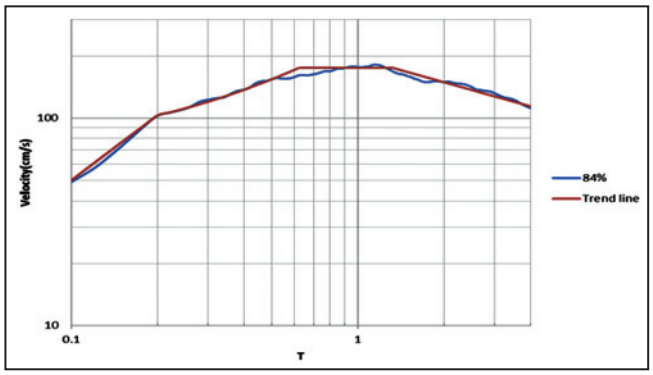
شکل ۱۶- طیف ۵۰٪ خاک نوع II و منحنی برازش شده از آن.



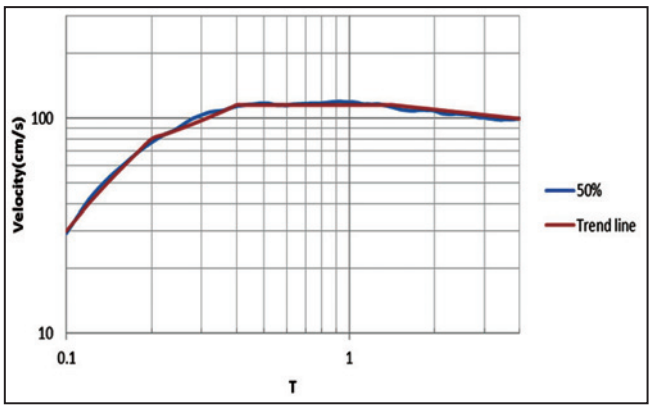
شکل ۱۷- طیف ۸۴٪ خاک نوعII و منحنی برازش شده از آن.



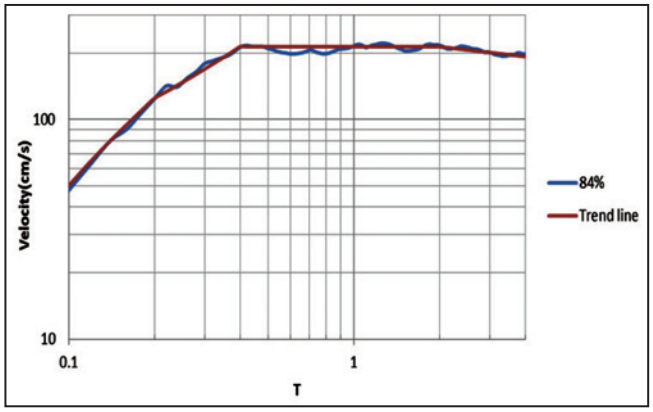
شکل ۱۸- طیف ۵۰٪ خاک نوع I و منحنی برازش شده از آن.



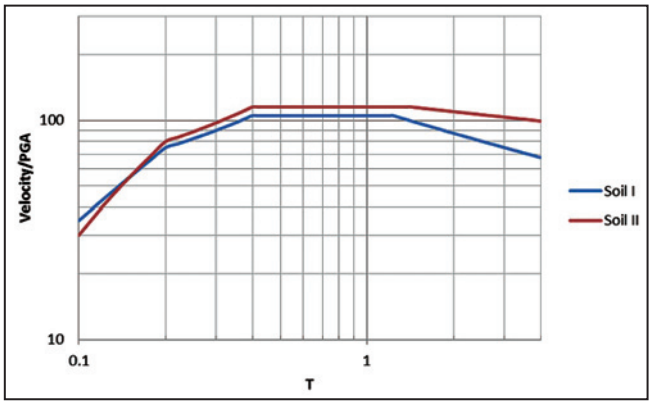
شکل ۱۹- طیف ۸۴٪ خاک نوع I و منحنی برازش شده از آن.



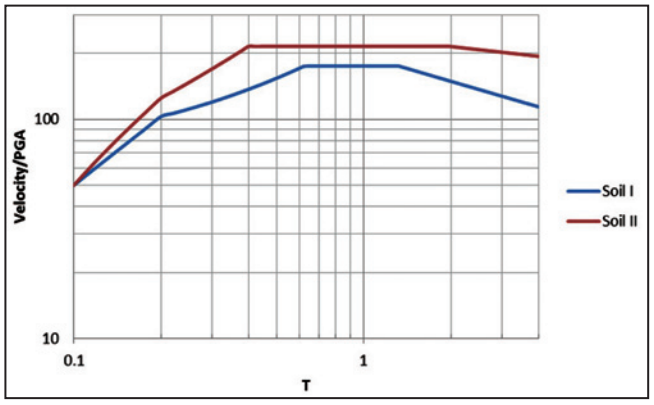
شکل ۲۰- طیف ۵۰٪ خاک نوعII و منحنی برازش شده از آن.



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



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



شکل ۲۳- طیف لگاریتمی ۸۴٪ 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	ترویداد	استان	نام
1564	6.5	33	3/4/1999	کرمان	کهنوج	1180	6.4	0	11/7/1976	خراسان جنوبی	سده*
940	6.5	33	3/4/1999	کرمان	کوشک علیا	889	6.4	0	11/7/1976	خراسان جنوبی	قائن*
915	6.5	33	3/4/1999	کرمان	ارزوییه	1195	0	64	12/1/1977	هرمزگان	تخت*
773	6.3	33	5/6/1999	فارس	خان زینان	1195	0	44	12/10/1977	هرمزگان	تخت*
1380	6.3	33	5/6/1999	فارس	بالاده	843	7.4	34	9/16/1978	یزد	دیهوک*
832	6.3	33	5/6/1999	فارس	بابامنیر	1180	6.8	0	1/16/1979	خراسان جنوبی	سده*
753	6.3	33	5/6/1999	فارس	کوار	1961	6.8	0	1/16/1979	خراسان رضوی	کاخک*
773	0	33	5/6/1999	فارس	خان زینان	843	4.9	0	1/17/1979	یزد	دیهوک*
1380	0	33	5/6/1999	فارس	بالاده	843	5.5	23	2/13/1979	یزد	دیهوک*
1172	6.3	33	5/7/1999	بوشهر	بوشکان	1180	6.7	3	11/14/1979	خراسان جنوبی	سده*
988	4.4	33	9/24/1999	بوشهر	اهرم	889	6.7	3	11/14/1979	خراسان جنوبی	قائن*
919	4.4	33	9/24/1999	بوشهر	خورموج	1961	7.1	0	11/27/1979	خراسان رضوی	کاخک*
827	4.4	33	9/24/1999	بوشهر	فاریاب	1180	7.1	0	11/27/1979	خراسان جنوبی	سده*
1362	4.9	33	10/31/1999	فارس	رمقان	889	7.1	0	11/27/1979	خراسان جنوبی	قائن*
1380	4.9	33	10/31/1999	فارس	بالاده	1195	5.7	42	7/12/1983	هرمزگان	تخت*
832	4.9	33	10/31/1999	فارس	بابامنیر	1099	5.3	44	2/2/1985	فارس	قیر*
827	5.1	32	11/19/1999	گلستان	رامیان	887	3.9	35	10/18/1986	فارس	نورآبادممسنی*
827	4.8	33	11/26/1999	گلستان	رامیان	887	4.1	30	11/20/1986	فارس	نورآبادممسنی*
1035	5.3	33	2/2/2000	خراسان رضوی	بردسکن	887	4.9	32	12/20/1986	فارس	نورآبادممسنی*
1099	4.7	33	3/1/2000	فارس	قیر	787	4.7	28	11/24/1987	خراسان جنوبی	بیرجند*
892	4.7	33	3/1/2000	فارس	هنگام	887	5.9	36	8/11/1988	فارس	نورآبادممسنی*
1079	5.3	33	3/5/2000	هرمزگان	فارغان	887	5.6	17	12/6/1988	فارس	نورآبادممسنی*
1111	4.2	59	3/21/2000	اردبیل	اسلام‌آباد قدیم	1247	5.7	18	11/20/1989	کرمان	شهداد*
1262	4.5	33	6/23/2000	فارس	مصیری	894	6	12	3/1/1994	فارس	فیروزآباد*
832	4.5	33	6/23/2000	فارس	بابامنیر	894	0	53	3/30/1994	فارس	فیروزآباد*
1341	5	33	10/23/2000	خراسان جنوبی	نهبندان	894	4.8	22	4/3/1994	فارس	فیروزآباد*
832	4.7	33	3/28/2001	فارس	بابامنیر	881	0	11	6/18/1994	فارس	میمند*
1396	5	33	2/17/2002	بوشهر	شنبه	894	0	11	6/18/1994	فارس	فیروزآباد
1195	4.9	33	4/17/2002	هرمزگان	تخت	936	0	11	6/18/1994	فارس	زنجیران
1007	0	33	4/19/2002	قزوین	نیکوییه	881	5.7	8	6/20/1994	فارس	میمند*
815	0	33	4/19/2002	قزوین	ضیاآباد	753	5.7	8	6/20/1994	فارس	کوار
1458	0	33	4/19/2002	قزوین	آلولک	894	5.7	8	6/20/1994	فارس	فیروزآباد
898	0	33	4/19/2002	قزوین	رزجرد	885	5.7	8	6/20/1994	فارس	باب انار
1477	0	33	4/24/2002	کرمانشاه	سنقر	936	5.7	8	6/20/1994	فارس	زنجیران
814	6.4	10	6/22/2002	قزوین	آوج	1099	5.7	8	6/20/1994	فارس	قیر
913	6.4	10	6/22/2002	همدان	بهار	753	0	33	12/8/1994	فارس	کوار

ادامه جدول ۲

سرعت موج برشی	MS	ژرفای کانونی	رویداد	استان	نام	سرعت موج برشی	MS	ژرفای کانونی	تروید‌اد	استان	نام
815	6.4	10	6/22/2002	قزوین	ضیاآباد	1021	0	33	12/8/1994	فارس	جووکان
769	6.4	10	6/22/2002	قزوین	نهاوند	1783	4	24	5/31/1995	فارس	سیف آباد
1077	6.4	10	6/22/2002	همدان	گل تپه	1334	4.6	33	11/6/1995	هرمزگان	زیارت علی
813	6.4	10	6/22/2002	همدان	شیرین سو	1334	4.9	33	10/18/1996	هرمزگان	زیارت علی
1007	6.4	10	6/22/2002	قزوین	نیکوییه	773	5	33	11/18/1996	فارس	خان زینان
1098	6.4	10	6/22/2002	همدان	قهاوند	1512	6.1	10	2/28/1997	اردبیل	نیارق
814	0	10	9/2/2002	قزوین	آوج	1236	6.1	10	2/28/1997	اردبیل	نمین
869	5.4	0	2/14/2003	هرمزگان	رودان	1236	4.6	10	3/2/1997	اردبیل	نمین
1244	5.5	10	7/10/2003	فارس	جویم	752	5.4	27	4/19/1997	هرمزگان	رضوان
1244	5.5	10	7/10/2003	فارس	جویم	1334	5.4	27	4/19/1997	هرمزگان	زیارت علی
1244	0	33	10/24/2003	فارس	جویم	881	0	33	5/5/1997	فارس	لامرد
1244	0	10	11/28/2003	فارس	جویم	1066	0	33	5/5/1997	فارس	اشکنان
1363	0	10	11/28/2003	فارس	دوبران	941	7.3	10	5/10/1997	خراسان رضوی	سنگان
1363	0	10	12/15/2003	فارس	دوبران	901	5.8	10	6/25/1997	خراسان جنوبی	بسک آباد
1160	0	10	12/26/2003	کرمان	ابارق	928	5.8	10	6/25/1997	خراسان جنوبی	قائن۲
756	0	25	1/28/2004	هرمزگان	گوهران	1180	5.8	10	6/25/1997	خراسان جنوبی	سده*
1160	0	72	10/6/2004	کرمان	ابارق	941	5.8	10	6/25/1997	خراسان رضوی	سنگان
827	0	34	10/7/2004	گلستان	رامیان	881	4.1	33	8/24/1997	فارس	میمند
876	0	34	10/7/2004	سمنان	مجن	894	4.1	33	8/24/1997	فارس	فیروزآباد
852	0	10	5/14/2005	کرمان	چترود	1179	4.8	33	10/3/1997	فارس	لار
807	0	10	5/14/2005	کرمان	اسلام‌آباد	1160	6.9	9	3/14/1998	کرمان	ابارق
837	0	10	5/14/2005	کرمان	حتکن	866	5.7	33	4/10/1998	خراسان جنوبی	اسدیه
1083	0	10	5/14/2005	کرمان	خانوک	961	5.7	33	4/10/1998	خراسان جنوبی	مود
853	0	10	5/14/2005	کرمان	راور	787	5.7	33	4/10/1998	خراسان جنوبی	بیرجند
809	0	10	5/14/2005	کرمان	گیسک	872	5.7	33	4/10/1998	خراسان جنوبی	مرک
999	0	10	5/14/2005	کرمان	حرجند	1236	0	26	7/9/1998	اردبیل	نمین
757	0	0	11/27/2005	هرمزگان	قشم	1512	0	26	7/9/1998	اردبیل	نیارق
807	0	0	11/27/2005	هرمزگان	کهورستان	919	0	35	9/2/2008	آذربایجان شرقی	زنجیره
1334	0	0	11/27/2005	هرمزگان	سوزا	931	0	7	9/10/2008	هرمزگان	طبل
1334	0	15	11/27/2005	هرمزگان	سوزا	807	0	7	9/10/2008	هرمزگان	کهورستان
1334	0	33	2/28/2006	هرمزگان	زیارت علی	1334	0	7	9/10/2008	هرمزگان	سوزا
757	0	2	6/3/2006	هرمزگان	قشم	778	0	7	9/10/2008	هرمزگان	تمبان
778	0	2	6/3/2006	هرمزگان	تمبان	931	0	10	9/11/2008	هرمزگان	طبل
1334	0	2	6/3/2006	هرمزگان	سوزا	1334	0	10	9/11/2008	هرمزگان	سوزا
1244	0	14	6/23/2006	فارس	جویم	778	0	10	9/11/2008	هرمزگان	تمبان
757	0	10	6/28/2006	هرمزگان	قشم	757	0	10	9/17/2008	هرمزگان	قشم
778	0	10	6/28/2006	هرمزگان	تمبان	1334	0	10	9/17/2008	هرمزگان	سوزا
922	0	35	9/2/2008	آذربایجان شرقی	شبستر	778	0	10	9/17/2008	هرمزگان	تمبان
1334	0	6	12/8/2008	هرمزگان	سوزا	1195	0	20	9/26/2008	هرمزگان	تخت
931	0	6	12/8/2008	هرمزگان	طبل	1334	0	15	12/7/2008	هرمزگان	سوزا
778	0	6	12/8/2008	هرمزگان	تمبان	757	0	15	12/7/2008	هرمزگان	قشم
778	0	14	12/9/2008	هرمزگان	تمبان	931	0	15	12/7/2008	هرمزگان	طبل
1250	0	10	2/23/2009	فارس	درزوسایبان	778	0	15	12/7/2008	هرمزگان	تمبان
931	0	10	7/22/2009	هرمزگان	طبل	757	0	6	12/8/2008	هرمزگان	قشم
757	0	14	11/3/2009	هرمزگان	قشم	778	0	10	7/22/2009	هرمزگان	تمبان

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

سرعت موج برشی	MS	ژرفای کانونی	تاریخ رویداد	استان	نام	سرعت موج برشی	MS	ژرفای کانونی	تاریخ رویداد	استان	نام
511	4.4	33	9/24/1999	بوشهر	بوشهر۱	453	6.1	0	3/7/1975	هرمزگان	میناب*
617	4.9	33	10/31/1999	فارس	قائمیه	701	6.4	0	11/7/1976	خراسان جنوبی	خضری*
562	5.1	32	11/19/1999	گلستان	علی‌آباد	652	0	29	11/9/1976	خراسان جنوبی	وندیک*
381	5.1	32	11/19/1999	سمنان	قلعه‌نو خراقان	453	6.9	0	3/21/1977	هرمزگان	میناب*
402	5.1	32	11/19/1999	گلستان	آق بند	630	0	41	3/31/1977	فارس	فراشبند*
375	5.1	32	11/19/1999	گلستان	کلاله	564	7.4	34	9/16/1978	خراسان جنوبی	بشرویه*
562	4.8	33	11/26/1999	گلستان	علی‌آباد	645	7.4	34	9/16/1978	یزد	طبس*
402	4.8	33	11/26/1999	گلستان	گنبدکاووس	491	7.4	34	9/16/1978	خراسان جنوبی	فردوس*
627	5.3	33	3/5/2000	هرمزگان	سیاهو	701	6.8	0	1/16/1979	خراسان جنوبی	خضری*
480	4.5	33	5/3/2000	بوشهر	بندرریگ	529	6.8	0	1/16/1979	خراسان رضوی	گناباد*
508	4.5	33	5/3/2000	بوشهر	بندرگناوه	645	4.9	0	1/17/1979	یزد	طبس*
479	4.5	33	5/3/2000	بوشهر	شول	645	5.4	23	2/13/1979	یزد	طبس*
617	4.5	33	6/23/2000	فارس	قائمیه	701	7.1	0	11/27/1979	خراسان جنوبی	خضری*
526	4.5	33	8/16/2000	سمنان	دیباج	529	7.1	0	11/27/1979	خراسان رضوی	گناباد*
508	4.5	33	9/13/2000	بوشهر	بندردیر	491	5.8	14	1/12/1980	خراسان جنوبی	فردوس*
617	4.7	33	3/28/2001	فارس	قائمیه	564	5.8	14	1/12/1980	خراسان جنوبی	بشرویه*
450	4.7	33	3/28/2001	فارس	کنارتخته	645	5.8	0	1/12/1980	یزد	طبس*
561	4.1	33	4/13/2001	فارس	حاجی‌آباد	469	4.8	2	4/11/1987	کرمان	کوهبنان*
401	5	33	2/17/2002	بوشهر	بردخون	630	0	39	9/29/1987	فارس	فراشبند*
508	5	33	2/17/2002	بوشهر	بندردیر	722	5	18	8/22/1988	سمنان	ایوانکی*
470	5	33	2/17/2002	بوشهر	کاکی	722	4.8	35	8/23/1988	سمنان	ایوانکی*
458	0	33	4/5/2002	یزد	بهاباد	456	7.7	0	6/20/1990	قزوین	قزوین*
490	0	33	4/19/2002	قزوین	معلم کلایه	691	7.7	18	6/20/1990	زنجان	آب بر*
636	0	33	4/19/2002	زنجان	درسجین	456	5.3	0	6/21/1990	قزوین	قزوین*
617	0	33	4/19/2002	قزوین	آقا بابا	691	5.3	15	6/21/1990	زنجان	آب بر*
489	0	33	4/19/2002	قزوین	زوارک	691	4.2	10	6/21/1990	زنجان	آب بر*
390	0	33	4/24/2002	کرمانشاه	ارمنیجان	580	4.7	10	6/24/1990	گیلان	منجیل*
589	0	33	4/24/2002	همدان	آجین	691	4.7	10	6/24/1990	زنجان	آب بر*
401	0	33	4/24/2002	همدان	فیروزان	580	4.5	51	7/6/1990	گیلان	منجیل*
478	6.4	10	6/22/2002	قزوین	دانسفهان	691	4.5	51	7/6/1990	زنجان	آب بر*
613	6.4	10	6/22/2002	همدان	کبودر آهنگ	691	4.4	10	12/28/1990	زنجان	آب بر*
466	6.4	10	6/22/2002	زنجان	سلطانیه	580	4.4	10	12/28/1990	گیلان	منجیل*
748	6.4	10	6/22/2002	زنجان	ده جلال	652	5	33	5/19/1992	فارس	فورک*
636	6.4	10	6/22/2002	زنجان	درسجین	630	4.7	17	9/8/1992	فارس	فراشبند*
642	6.4	10	6/22/2002	زنجان	صایین‌قلعه	652	4.8	23	7/9/1993	فارس	فورک*
414	6.4	10	6/22/2002	همدان	قهورد	720	0	53	3/30/1994	فارس	ذرات
474	6.4	10	6/22/2002	قزوین	تاکستان	720	4.8	22	4/3/1994	فارس	ذرات
636	0	10	9/2/2002	زنجان	درسجین	720	0	11	6/18/1994	فارس	ذرات
450	5	33	1/11/2003	فارس	کنارتخته	720	5.7	8	6/20/1994	فارس	ذرات
528	5.4	0	2/14/2003	هرمزگان	سرگز-احمدی	464	5.7	8	6/20/1994	فارس	سروستان
450	0	0	5/27/2003	فارس	کنارتخته	630	5.7	8	6/20/1994	فارس	فراشبند
561	5.5	10	7/10/2003	فارس	حاجی‌آباد	617	0	0	9/5/1994	فارس	قائمیه
390	5.5	10	7/10/2003	فارس	زاهدشهر	589	0	10	11/2/1994	اردبیل	نیر
561	5.5	10	7/10/2003	فارس	حاجی‌آباد	720	0	33	12/8/1994	فارس	ذرات
390	5.5	10	7/10/2003	فارس	زاهدشهر	705	0	29	4/22/1996	اردبیل	اصلاندوز

ادامه جدول ۳

سرعت موج برشی	MS	ژرفای کانونی	تاریخ رویداد	استان	نام	سرعت موج برشی	MS	ژرفای کانونی	تاریخ رویداد	استان	نام
437	5.3	33	8/4/2003	کرمان	ریگان	683	4.9	33	10/18/1996	کرمان	قلعه گنج
437	5.8	20	8/21/2003	کرمان	ریگان	530	6.1	10	2/28/1997	آذربایجان شرقی	هریس
561	0	33	10/24/2003	فارس	حاجی‌آباد	406	6.1	10	2/28/1997	آذربایجان شرقی	سراب
678	0	33	11/5/2003	هرمزگان	نخل ناخدا	387	6.1	10	2/28/1997	اردبیل	هل آباد*
561	0	10	11/28/2003	فارس	حاجی‌آباد	459	6.1	10	2/28/1997	اردبیل	خلخال
561	0	10	12/15/2003	فارس	حاجی‌آباد	589	6.1	10	2/28/1997	اردبیل	کریق
453	0	25	1/28/2004	هرمزگان	میناب	589	4.6	10	3/2/1997	اردبیل	نیر
617	0	66	5/8/2004	فارس	قائمیه	589	4.6	10	3/2/1997	اردبیل	کریق
511	0	40	5/28/2004	تهران	تهران۱۸(مرکز تحقیقات)	377	0	33	5/5/1997	فارس	بیرم
613	0	40	5/28/2004	تهران	تهران۵۶(استادیوم آزادی)	701	7.3	10	5/10/1997	خراسان جنوبی	خضری
522	0	40	5/28/2004	تهران	تهران۲۴ (شهرک صنعتی شریف)	737	7.3	10	5/10/1997	خراسان رضوی	قاسم آباد
481	0	40	5/28/2004	تهران	تهران۳۰ (پارک جمشیدیه)	656	0	10	6/16/1997	خراسان جنوبی	شاهرخت
593	0	40	5/28/2004	تهران	تهران ۵۲(دانشکده آب و برق)	683	5.8	10	6/25/1997	خراسان رضوی	گناباد
693	0	40	5/28/2004	تهران	تهران۱۷ (ورزشگاه تختی)	701	5.8	10	6/25/1997	خراسان جنوبی	خضری
706	0	40	5/28/2004	تهران	هشتگرد	737	5.8	10	6/25/1997	خراسان رضوی	قاسم آباد
462	0	40	5/28/2004	تهران	طالقان	656	5.8	10	6/25/1997	خراسان جنوبی	شاهرخت
696	0	40	5/28/2004	تهران	بومهن	516	6.9	9	3/14/1998	کرمان	باغین
569	0	40	5/28/2004	تهران	تهران۲۷ (پارک غزال)	437	0	88	6/10/1998	کرمان	ریگان
490	0	40	5/28/2004	قزوین	معلم کلایه	589	0	26	7/9/1998	اردبیل	نیر
544	0	72	10/6/2004	کرمان	دربهشت	712	0	26	7/9/1998	اردبیل	گرمی
507	0	72	10/6/2004	کرمان	محمدآباد مسکون	377	5.1	33	11/13/1998	فارس	بیرم
648	0	72	10/6/2004	کرمان	قطب‌آباد	518	0	33	1/14/1999	کرمان	بلورد
562	0	34	10/7/2004	گلستان	علی‌آباد	678	0	33	1/14/1999	کرمان	چشمه سبز
402	0	34	10/7/2004	گلستان	گنبدکاووس	507	6.5	33	3/4/1999	کرمان	محمدآباد مسکون
526	0	34	10/7/2004	سمنان	دیباج	617	6.3	33	5/6/1999	فارس	قائمیه
449	0	34	10/7/2004	گلستان	مینودشت	482	6.3	33	5/6/1999	بوشهر	آباد
381	0	34	10/7/2004	سمنان	قلعه‌نو خراقان	482	4.4	33	9/24/1999	بوشهر	آباد
449	0	34	10/7/2004	گلستان	مینودشت*	709	0	35	9/2/2008	آذربایجان شرقی	تسوج
658	0	34	10/7/2004	سمنان	قلعه شوکت	679	0	7	9/10/2008	هرمزگان	بندرخمیر
486	0	30	11/21/2004	لرستان	پلدختر	650	0	28	10/25/2008	هرمزگان	چاه مسلم
486	0	42	11/22/2004	لرستان	پلدختر	679	0	15	12/7/2008	هرمزگان	بندرخمیر
428	0	11	5/3/2005	لرستان	چالان چولان	679	0	6	12/8/2008	هرمزگان	بندرخمیر
385	0	10	5/14/2005	کرمان	بهاآباد	681	0	10	2/23/2009	هرمزگان	فین۱
617	0	10	5/14/2005	کرمان	هینمان	679	0	10	7/22/2009	هرمزگان	بندرخمیر
681	0	0	11/27/2005	هرمزگان	فین۱	627	0	22	2/20/2007	هرمزگان	سیاهو
528	0	33	2/28/2006	هرمزگان	سرگز-احمدی	738	0	35	9/2/2008	آذربایجان شرقی	یکان کهریز
627	0	33	2/28/2006	هرمزگان	سیاهو	546	0	35	9/2/2008	آذربایجان شرقی	مرند

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 شریان های 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.

Determining the Speed Spectrum for Soils of Type I and II of Iran

A. Mahdavian [1*] & M. Hassani [2]

[1]Assistant Professor, Faculty of Water and Environment Eng., Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

[2] M. Sc. Student, Faculty of Water and Environment Eng., Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Received: 2013 June 16 Accepted: 2013 October 26

Abstract

In destructive earthquakes lots of break down in structures such as vital lifelines and buried pipelines also destruction of massive buildings have always been observed. These destructions can sometimes cause more serious injuries. The absorbed force and destruction caused by the earthquake in surface structures are proportional to their mass and inertia, so that with increasing acceleration, the amount of forces is higher. This is despite the fact that the behavior of buried structures actually influenced by the behavior of the surrounding soil and the mass of structure in comparison with their environmental soil is very small and negligible. Therefore, using the methods based on earthquake acceleration parameter can't be sufficient in designing of such structures and existing of the speed spectrum designing along with the acceleration spectrum available in 2800 building code is also necessary, because the seismic design of such structures is based on the displacement response method. That is, first the displacement of the earth in location of buried structures using velocity response spectrum is calculated and the interaction between earth and underground structure is analyzed with quasi- static method. Velocity response spectrum for seismic designing of buried structures based on the maximum response of the earth surface layer due to the desired acceleration entering the bottom layer is obtained from a soil profile analytical model. In this study, we have tried to determine the curve of the velocity spectrum factor for soil type 1 and 2 according to the accelerograms data obtained from different earthquakes in Iran For this purpose, among the received accelerograms data from the Building and Housing Research Center, we selected 306 horizontal accelerograms of soil type I and 323 horizontal accelerogram of soil type 2.The normalized velocity spectrum of each accelerogram were calculated separately based on the maximum values of the velocity domain and acceleration. Accordingly, for each of these two types of soil we obtained two sets of normalized velocity response spectrum. Then, for each set, mid and 84% - design spectrum were determined. Finally, mathematical model of velocity spectrum factor curves was determined and presented in the formula for soil conditions of types 1 and 2 of Iran.

Keywords: Response Spectrum, Velocity Design Spectrum, Vital Lifelines, Soil Type I and II.

For Persian Version see pages 57 to 68

*Corresponding author: A. Mahdavian; E-mail: A_mahdavian@sbu.ac.ir