



## تخمین احتمالاتی رده ساختگاه برای ایستگاه‌های شبکه شتابنگاری کشوری با استفاده از نسبت مولفه افقی به قائم بیشینه جنبش زمین و طیف شبه شتاب

محمد رضا نجف تومرایی<sup>۱</sup>، حبیب رحیمی<sup>۲\*</sup> و محمد شاهوار<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری؛ موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران

۲- دانشیار؛ موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران

۳- استادیار، مرکز تحقیقات راه مسکن و شهرسازی

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۲/۱۶؛ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۲۲

\* نویسنده مسئول مکاتبات: rahimih@ut.ac.ir

واژگان کلیدی	چکیده
<p>کلاس بندی بیشینه جنبش زمین طیف شبه شتاب تابع چگالی احتمال تابع چگالی تجمعی ایران شبکه شتابنگاری</p>	<p>هدف از این مطالعه، تخمین رده ساختگاه، برای ایستگاه‌های شبکه شتابنگاری ایران، با استفاده از یک روش آماری است. برای بدست آوردن ویژگی‌های خاک و به منظور رده‌بندی آن، متوسط سرعت موج برشی تا عمق ۳۰ متر (<math>V_{S30}</math>)، پارامتر مهم و بنیادی می‌باشد. <math>V_{S30}</math> به طور وسیعی در مسائل ژئوتکنیکی و لرزه‌ای متنوعی مانند رده‌بندی ساختگاه، تحلیل خطر لرزه‌ای، تخمین میزان تخریب، مطالعات بیشترین میزان آسیب<sup>۱</sup> (PML) و نیز در بدست آوردن روابط کاهندگی<sup>۲</sup> (GMPE) به عنوان بخش اثر ساختگاه در این روابط مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدین منظور، از داده‌های شتابنگاری ثبت شده در مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی (BHRC) بین سال‌های ۱۹۷۵ و ۲۰۱۸ با بزرگای بزرگتر از ۳ و فاصله رومرکزی کمتر از ۳۰۰ کیلومتر با عرض جغرافیایی در محدوده ۲۵-۴۱ درجه و طول جغرافیایی در محدوده ۴۳-۶۴ درجه استفاده شده است. پس از اعمال قیدها و فیلترها، از تمام داده‌های موجود، ۳۸۲۸ نگاشت حاصل از ۱۶۳۶ زلزله که در ۸۹۳ ایستگاه مستقل ثبت شده بود؛ برای بدست آوردن رده ساختگاه استفاده شد. برای رسیدن به این هدف، توزیع نرمال لگاریتم طبیعی نسبت مولفه افقی به قائم (H/V) مربوط به PGA و PSA ها (در ۲۴ پریود) و همچنین PDF<sup>۳</sup> و CDF<sup>۴</sup> آنها برای ۳۸۸ ایستگاه با <math>V_{S30}</math> مشخص بدست آمد؛ که از آنها برای رده‌بندی ساختگاه مربوط به مابقی ۵۰۵ ایستگاه‌ها با <math>V_{S30}</math> نامشخص استفاده شد. ۳۴ سایت در کلاس A، ۴۰۶ سایت در کلاس B، ۴۸ سایت در کلاس C و ۱۶ سایت در کلاس D قرار گرفتند.</p>

1 Maximum Probable Loss

2 Ground Motion Prediction Equation

3 Probabilty Density Function

4 Cumulative Density Function

های ظاهری زمین‌شناسی مانند شیب، ساختار سطحی و ارتفاع از سطح دریا و ... مورد استفاده قرار گرفته است (Yong et al., 2012 and 2013). یکی از روش‌های معروف برای یافتن اثر سایت، استفاده از نسبت طیفی مولفه افقی به عمودی (H/V) دامنه‌های میکروترومورهاست (Lermo and Chavez, 1994). از طرف دیگر برای مواردی که پروفیل سرعت موج برشی به ۳۰ متر نمی‌رسد، روش‌های مختلفی برای برون‌یابی به منظور دستیابی به  $V_{S30}$  مورد استفاده قرار گرفته است (Boore, 2004; Wang, 2017). کاستارو و مولگاری (Castellaro and Mulgari, 2009)، روشی برای محاسبه  $V_{S30}$  بر اساس  $HVSR^5$  میکروترومورهای ثبت شده در ایستگاه‌های واحد پیشنهاد داده‌اند. زارع و همکاران (Zare et al., 1999)، ۲۶ ایستگاه شبکه شتابنگاری ایران را برای تخمین  $V_p$  و  $V_s$  سطحی با استفاده از روش‌های شکست استفاده کردند. قائم مقامیان و نوجوان (Ghayamghamian and Nojavan, 2008)، سایت‌های ایستگاه‌های شتابنگاری ایران را با استفاده از پرپود غالب سایت و استفاده از داده‌های زمین‌شناسی و با توجه به کدبندی ژاپنی ( $IBC^1$ ) طبقه‌بندی کردند. شفیع و همکاران (shafiee et al., 2015)، یک روش انتخاب مدل با دقت بالا برای دستیابی به بهترین مدل تخمین  $V_{S30}$  از روی  $VSZ$  را بر اساس ۲۵۷ پروفیل سرعت در ایران پیشنهاد دادند. برای اجتناب از حفر گمانه و نیز اجتناب از مسائل ومشکلات ایجاد شده در نمونه‌برداری خاک، روشی دیگری برای تخمین کلاس سایت در این مطالعه پیشنهاد شده، که مبتنی بر پیش‌بینی احتمالاتی است.

## ۲- داده‌ها

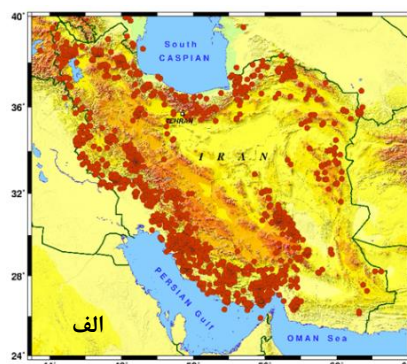
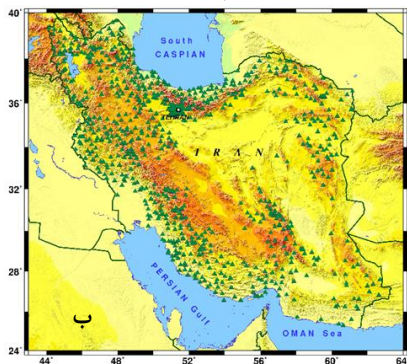
در این مطالعه، از داده‌های شتابنگاری ثبت شده در مرکز توسعه راه، مسکن و شهرسازی (BHRC) بین سال‌های ۱۹۷۵ و ۲۰۱۸ با بزرگای بزرگتر از ۳ و فاصله رومرکزی کمتر از ۳۰۰ کیلومتر با عرض جغرافیایی در محدوده ۴۱-۲۵ و طول جغرافیایی در محدوده ۴۴-۴۳ استفاده شده است. پس از حذف داده‌های با کیفیت پایین، نهایتاً ۲۸۲۸ رکورد مربوط به ۱۶۳۶ زمین‌لرزه که در ۸۹۳ ایستگاه مستقل مجهز به دستگاه‌های SMA1، SSA2 و Guralp با نرخ نمونه‌برداری ۲۰۰ نمونه بر ثانیه، ثبت شده بودند؛ انتخاب شدند و در نتیجه تمام داده‌های باقیمانده دارای اطلاعات قابل اطمینانی در میان بانک داده‌های اصلی بودند. مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های شتابنگاری در جدول ۱ پیوست ۱ آمده است. شکل‌های ۱-الف و ۱-ب موقعیت زلزله‌های انتخابی و موقعیت ایستگاه‌ها را نشان می‌دهند. شکل ۲-الف توزیع  $V_{S30}$  ایستگاه‌های دارای  $V_{S30}$ ، شکل ۲-ب تعداد ایستگاه‌ها در برابر تعداد رکوردها، شکل ۲-پ توزیع بزرگای رکوردهای مورد استفاده و شکل ۲-ت پراکندگی  $V_{S30}$  برحسب بزرگای را نشان می‌دهند. با این وصف، از درون تمام داده‌ها، داده‌های بدون مولفه قائم نیز حذف شده‌اند؛ چرا که در این مطالعه باید محاسبه نسبت مولفه افقی به قائم  $PGA^y$  و  $PSA^A$  انجام شود. لازم به ذکر است که از ۳۸۲۸ رکورد، ۱۴۶۹ رکورد  $V_{S30}$  نداشتند؛ که شامل ۵۰۵ ایستگاه است.

فلات ایران به عنوان یکی از مناطق فعال جهان از لحاظ لرزه‌خیزی مورد توجه قرار دارد. این فلات در کمربند کوهزایی آلپ-هیمالیا واقع شده؛ به غیر از منطقه فرورانشی مکران در جنوب‌شرق فلات ایران؛ یعنی گستره‌ای که لیتوسفر اقیانوسی در حال فرورفتن به زیر جنوب‌شرق ایران است (Nilforoushan et al., 2003). همگرایی قاره‌ای فلات عربی-اوراسیایی سبب می‌شود تا تکتونیک کنونی ایران (Jackson et al., 1984) پیچیده و دارای ساختارهای مختلفی از لحاظ چگالی، سرعت و ... باشد. شبکه شتابنگاری ایران فعالیت خود را در سال ۱۹۷۳ در مرکز توسعه راه، مسکن و شهرسازی آغاز کرد و در حال حاضر دارای ۱۱۱۲ ایستگاه دیجیتال شتابنگاری جنبش نیرومند است. بیشتر واحدهای شتابنگاری در مناطقی با لرزه‌خیزی بالا و یا پرجمعیت و صنعتی تمرکز یافته‌اند. از زمان نصب اولین ایستگاه، شبکه شتابنگاری بیش از ۱۳۰۰۰ شتابنگار سه-مولفه‌ای به ثبت رسیده است. برای برخی ایستگاه‌ها  $V_{S30}$  اندازه‌گیری شده است. با این حال به دلیل امکانات محدود از نظر زمان، هزینه و وسایل اندازه‌گیری، سرعت موج برشی در ایستگاه‌های متعددی اندازه‌گیری نشده است و در نتیجه کلاس‌بندی سایت برای این ایستگاه‌ها (حدود ۶۰ درصد ایستگاه‌ها) نامعلوم است. بنابراین استفاده از روش‌های غیر مستقیم کلاس‌بندی برای این ایستگاه‌ها ضروری می‌نماید.

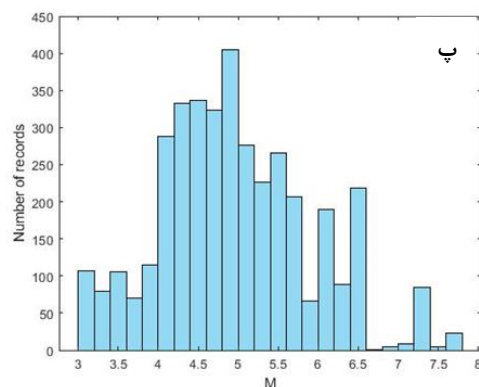
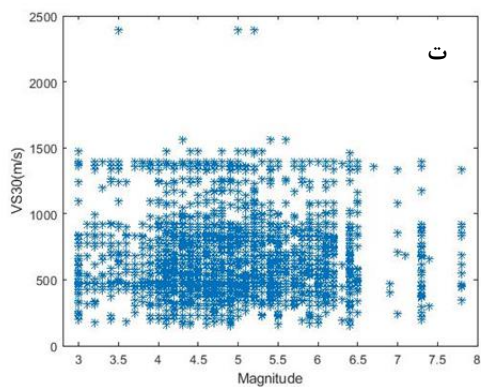
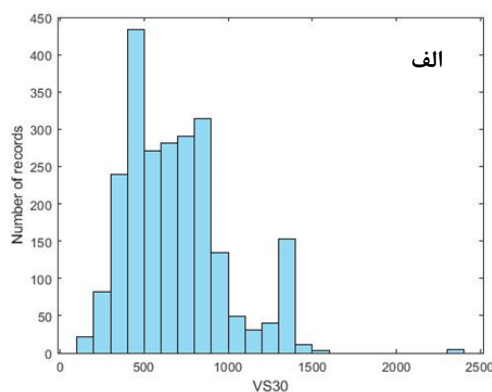
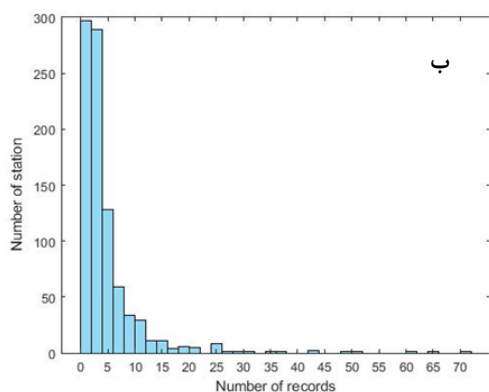
برای بدست آوردن ویژگی‌های خاک و به منظور کلاس‌بندی آن، متوسط سرعت موج برشی تا عمق ۳۰ متر ( $V_{S30}$ )، پارامتر مهم و بنیادی می‌باشد.  $V_{S30}$  به طور وسیعی در مسائل ژئوتکنیکی و لرزه‌ای متنوعی مانند رده‌بندی ساختگاه و تحلیل خطر لرزه‌ای، تخمین میزان تخریب، مطالعات بیشترین میزان آسیب (PML) و نیز در بدست آوردن روابط کاهندگی (GMPE)، به عنوان بخش اثر ساختگاه در این روابط مورد استفاده قرار می‌گیرد (kale et al., 2015, Yamamoto and Baker, 2013). بدست آوردن روابط کاهندگی مورد استفاده در محاسبات تحلیل خطر لرزه‌ای چه به روش قطعی و چه احتمالاتی نیازمند در دست داشتن بانک داده‌ای است، که حاوی اطلاعاتی شامل اثر مسیر و سایت باشد (Nowroozi, 2005)، به علاوه برای بدست آوردن اثر مسیر و چشمه با استفاده از داده‌های جنبش نیرومند زمین که با انجام واهمامیخت اثر سایت از داده‌ها امکان پذیر است،  $V_{S30}$  یک پارامتر ضروری است.

$V_{S30}$  می‌تواند با روش‌های مستقیم متعددی همچون لرزه‌شناسی اکتشافی و گمانه‌زنی بدست آید. هر چند این روش‌ها مطمئن تر و دقیق تر هستند؛ ولی هزینه‌بر بوده و به محیط زیست آسیب می‌رسانند. در نتیجه، مطالعات مختلفی سعی در جایگزین کردن روش‌های دیگر با روش‌های مستقیم داشته‌اند؛ تا با استفاده از آنها بتوان رده‌بندی ساختگاه را انجام داد. در برخی از این روش‌ها برای تخمین  $V_{S30}$  سایت‌های دارای  $V_{S30}$  نامعلوم، ویژگی-

- 1 Horizontal to Vertical Spectral Ratio
- 2 International Building Code
- 3 Peak Ground Aceleration
- 4 Psedu Spectral Acceleration



شکل ۱ توپوگرافی و موقعیت الف) زلزله های انتخاب شده و رومرکز آنها ب) ایستگاه‌های انتخاب شده BHRC



شکل ۲. توزیع داده‌های شتاب BHRC. الف)  $V_{S30}$  ب) تعداد ایستگاه‌ها بر حسب رکوردهای ثبت شده آن پ) توزیع بزرگا  
ت)  $V_{S30}$  بر حسب بزرگا

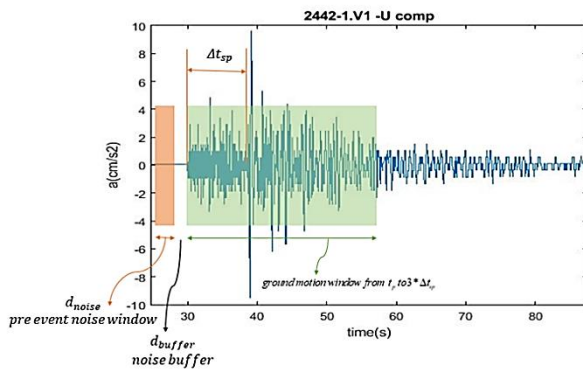
افزایش می‌دهد؛ که می‌تواند موجب خسارات فراوانی شود. مطالعات قبلی وجود همبستگی بین PGA و PSA در پریودهای مختلف و نوع خاک را تایید کرده‌اند (Nakamura, 1989). هدف از این مطالعه بدست آوردن چنین ارتباطی با استفاده از توزیع‌ها و پارامترهای آماری است؛ که نهایتاً منجر به تخمین کلاس سایت خواهد شد. با توجه به روش ناکامورا (Nakamura, 1989)، HVSR مربوط به زلزله‌ها، وابسته به

### ۳- روش‌شناسی

نوع خاک در سایت به شدت جنبش زمین را متأثر می‌کند و متعاقباً بیشینه شتاب زمین (PGA) و طیف شبه شتاب (PSA) در پریودهای مختلف متأثر از آن می‌شوند. این مساله یک حقیقت شناخته شده است که در بخش محیطی منطقه مورد مطالعه، خاک نرم‌تر نسبت به سنگ و نهشته‌های چگال‌تر، دامنه جنبش زمین را به دلیل ویژگی‌های الاستیکی مواد زمین

تخمین زده شدند. یک تیپر Hann با ۵ درصد در هر انتهای پنجره جنبش زمین و سپس یک فیلتر پهن گذر باتروروس مرتبه ۴ (-0.4Hz) بر روی داده‌ها اعمال شد (شکل ۳). همچنین برای حذف داده‌های با کیفیت پایین نسبت سیگنال به نوفه، (رابطه ۱)، برای داده‌ها محاسبه و داده‌های با نسبت سیگنال به نوفه کمتر از ۳ حذف گردید.

$$SNR = \frac{RMS\ of\ Signal}{RMS\ of\ Noise} = \frac{\sqrt{\sum Y_i^2}}{\sqrt{\sum N_i^2}} \quad (1)$$



شکل ۳. شکل موج یک شتاب نگاشت و پنجره زمانی انتخاب شده برای

جنبش زمین و نوفه، طول بافر و  $\Delta t_{sp}$

به دلیل داشتن رکوردهایی بدون پس‌حادثه، یا پیش‌حادثه و حتی رکوردهای بریده‌ای که دارای موج P نیستند و به منظور استفاده بهینه از همه رکوردها و کمینه کردن حذف رکوردها در مطالعه، الگوریتم نشان داده شده در شکل ۴ مورد استفاده قرار گرفت. توضیحات جزئی‌تر این الگوریتم در جدول ۱ آمده است. رکوردهای بریده بدون S به کلی حذف شدند؛ چرا که برای یافتن PGA و PSA ها مناسب نیستند. پیرودهایی که در آن PSA محاسبه شده در جدول ۲ لیست شده‌اند.

#### ۴-۲- طبقه‌بندی سایت

اثرات تقویتی دامنه جنبش زمین توسط خاک نرم در طول یک زلزله می‌تواند با طبقه‌بندی سایت تعیین شود. طبقه‌بندی سایت معمولاً از طریق متوسط سرعت موج برشی تا عمق ۳۰ متر بدست می‌آید.

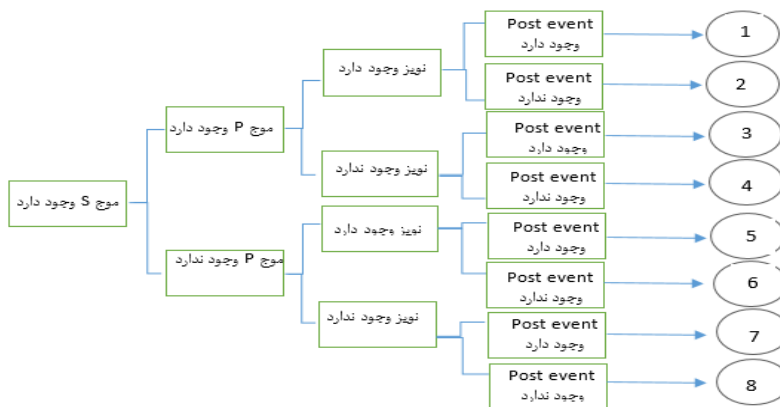
شرایط خاک است. HVSR در تخمین ویژگی تقویتی سایت با استفاده از لرزه‌نگارهای سطحی مورد استفاده واقع شده است (Castro et al., 1997, Field et al., 1995, Lermo et al., 1993, Tsuboi et al., 2001) این رو در این مطالعه، لگاریتم طبیعی نسبت مولفه افقی به قائم PGA و PSA ها در چندین پیروید مورد استفاده قرار گرفت و فرض بر این شد که این پارامتر یک متغیر تصادفی با توزیع نرمال است و درستی این فرضیه آزموده شد. پس از طبقه‌بندی سایت‌های دارای  $V_{S30}$  معین، با توجه به داشتن مقادیر  $V_{S30}$  برای آنها، توزیع لاگ‌نرمال PGA و PSA ها، تابع چگالی احتمال (PDF) و تابع چگالی تجمعی (CDF) های مربوطه در هر کلاس و برای هر پیروید بدست آمد. بر اساس اطلاعات بدست آمده، کلاس سایت تخمین زده شد. جزئیات بیشتر در بخش‌های بعدی بحث شده است.

#### ۴- بحث و نتایج

برای تخمین کلاس ایستگاه‌های شتابنگاری با  $V_{S30}$  نامشخص، در مرحله اول، داده‌های جمع‌آوری شده با توجه به الگوریتم ذیل پردازش شدند. PGA و PSA ها در ۲۴ پیروید (0s-2s) برای هر سه مولفه بدست آمد و نسبت H/V و همچنین Ln(H/V) آنها بدست آمد. برای رکوردهای با  $V_{S30}$  مشخص، مقادیر Ln(H/V) در هر پیروید با توجه به طبقه‌بندی NEHRP در پنج دسته (A, B, C, D, E) کلاس‌بندی شدند. برای تمام پیرودها و کلاس‌ها، میانگین و انحراف معیار آن مقادیر محاسبه شد؛ که بر اساس آن تابع چگالی احتمال (PDF) و تابع چگالی تجمعی (CDF) لگاریتم نسبت مولفه افقی به قائم ((Ln(H/V)) محاسبه شد و با استفاده از آنها احتمال حضور هر Ln(H/V) در هر کلاس بدست آمد. برای طبقه‌بندی سایت‌های با  $V_{S30}$  نامشخص، تمامی رکوردهای یک ایستگاه مد نظر قرار گرفت و احتمال حضور هر Ln(H/V) در هر کلاس و هر پیروید به واسطه مقدار Ln(H/V) و از روی CDF های مربوط به ایستگاه‌های با  $V_{S30}$  مشخص، تخمین زده شد. سپس بیشینه مقدار احتمال حضور برای Ln(H/V) برای هر رکورد استخراج و متعاقباً بیشترین تکرار بیشینه احتمال به عنوان کلاس سایت مورد نظر در نظر گرفته شد.

#### ۴-۱- بدست آوردن PGA و PSA ها

پس از پردازش سیگنال باید PGA و PSA ها در سه مولفه بدست آیند. برای این منظور، پس از انتخاب زمان رسید موج P و S، مدت زمان پنجره جنبش زمین برای هر رکورد در هر سه مولفه محاسبه شد؛ به طوری که طول این پنجره سه برابر اختلاف زمان رسید موج P و S است. ابتدا تصحیح خط مبنا روی داده‌ها انجام شد و سپس داده‌ها چرخانده شدند. نهایتاً پنجره جنبش زمین، پنجره نوفه پیش حادثه، و پنجره زمانی تیپر<sup>۱</sup>



شکل ۴. الگوریتم مورد استفاده در بدست آوردن PGA. شماره ۱ تا ۸ در جدول ۱ توضیح داده شده است. جمله "پس زلزله موجود نیست" یعنی داده برای  $t < t_p - 10 - 1$  مقدار دارد. جمله "نوفه موجود است" یعنی داده برای  $t > t_p + 3 * \Delta t_{sp}$  مقدار ندارد و  $t > t_p + 3 * \Delta t_{sp}$  مقدار ندارد.

جدول ۱. توضیحات مربوط به مراحل ۱ تا ۸ شکل ۱

شماره مرحله	توضیح مرحله مربوطه
۴، ۳، ۲، ۱ ( $t_p$ و $t_s$ هر دو موجود است؛ ولی Post event موجود نیست)	$\Delta t_{sp} = t_p - t_s$ با محاسبه $\rightarrow$ Ground Motion window duration = $3 * \Delta t_{sp}$ (from $t_p$ to $t_p + 3 * \Delta t_{sp}$ )
۸، ۶، ۴، ۲ Post event موجود نیست	برای این موارد که Post event موجود نیست، (رکورد برای $t > t_p + 3 * \Delta t_{sp}$ مقدار ندارد) مراحل زیر مورد استفاده قرار گرفت: الف) اگر انتهای رکورد در $2\Delta t_{sp} < t < 3\Delta t_{sp}$ باشد، انتهای پنجره جنبش زمین می‌تواند همان انتهای داده باشد ب) اگر انتهای رکورد در $t < 2\Delta t_{sp}$ باشد، رکورد حذف می‌شود؛ چرا که ممکن است PGA خارج از این بازه باشد
۲ و ۱ نوفه موجود است	S/N قابل اندازه گیری است و در نتیجه داده هایی که دارای $SNR > 3$ باشد، انتخاب و مابقی حذف شدند طول زمانی پنجره نوفه: min 10s-max 30s : (با توجه به طول (pre- event) که باید انتهای آن در tp-1s باشد
۸، ۷، ۴، ۳ نوفه موجود نیست	قابل اندازه گیری نیست. در نتیجه برای این رکوردها کیفیت سنجی چشمی صورت گرفت و داده‌هایی که دارای کیفیت مناسب بودند؛ انتخاب شدند طول زمانی پنجره نوفه قابل انتخاب نیست
۵، ۶، ۷، ۸ $t_p$ موجود نیست	$t_p$ موجود نیست؛ ولی $t_s$ وجود دارد. در نتیجه برای محاسبه $\Delta t_{sp}$ از رابطه $\Delta t_{sp} = 0.4 \frac{R_{hyp}}{V_s}$ استفاده می‌شود؛ که در آن مقدار Vs متوسط برای ایران قرار داده شد.

جدول ۲. پریودهای مورد استفاده برای محاسبه PSA ها

۰،۰۱	۰،۰۱۳	۰،۰۱۶	۰،۰۲	۰،۰۲۵	۰،۰۳	۰،۰۴	۰،۰۵	۰،۰۶۵	۰،۰۸	۰،۱	۰،۱۳	پریودهایی (s) که در آنها PSAها محاسبه شدند
۰،۱۶	۰،۲	۰،۲۵	۰،۳	۰،۴	۰،۵	۰،۶۵	۰،۸	۱	۱،۳	۱،۶	۲	

کلاس سایت، تا حدودی می‌تواند پتانسیل شدت لرزش را حین زلزله در یک محدوده خاص اندازه‌گیری کند. روش‌های متعددی برای طبقه‌بندی خاک براساس ویژگی‌های تقویتی دامنه وابسته به سایت پیشنهاد شده است (Borcherdt, 1994). به منظور دستیابی به تحقیقات خطر زلزله، با توجه به دستورالعمل NEHRP، سرعت موج برشی زیرسطح تا عمق ۳۰ متر باید اندازه‌گیری شود. این اندازه‌گیری مطابق رابطه ۲ قابل اجراست.

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d}{V_{si}}} \quad (2)$$

که در آن  $V_{si}$  سرعت موج برشی تعریف شده در NEHRP است و سرعت موج برشی هر لایه بر حسب  $m/s$  و  $d_i$  ضخامت هر لایه است (بین ۰ و ۳۰ متر).

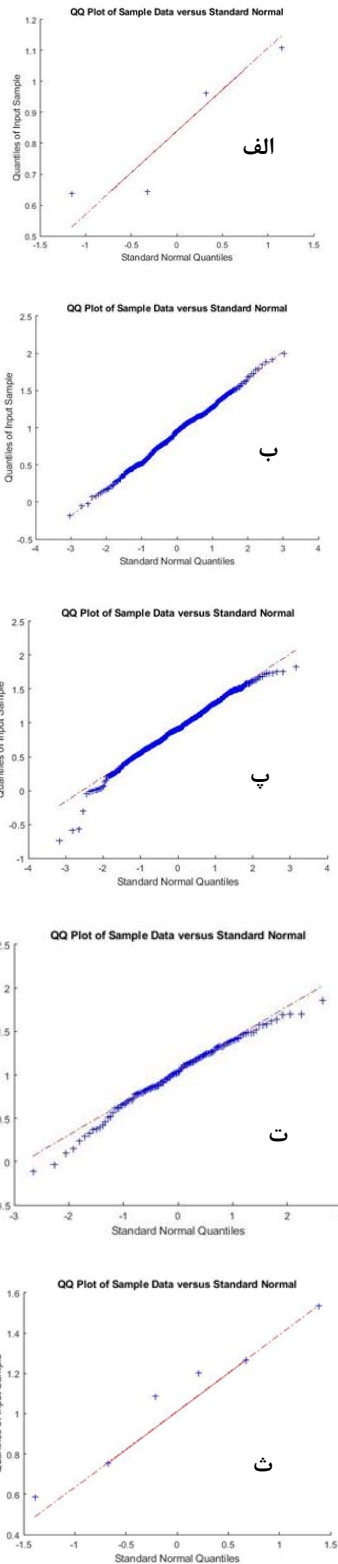
در تحقیق حاضر ایستگاه‌های با  $V_{S30}$  مشخص با توجه به دستورالعمل NEHRP طبقه‌بندی شدند. NEHRP، یک آژانس بین‌المللی در ایالات متحده آمریکاست؛ که آیین‌نامه‌های لرزه‌ای را برای ساختمان‌های جدید و سایر ساختارها فراهم می‌کند. جدول ۳ نشان دهنده تعداد ایستگاه‌ها و رکوردهای هر کلاس است. همان‌طور که مشخص است، طبقه غالب کلاس B است.

#### ۳-۴- توزیع نرمال PGA و PSA ها

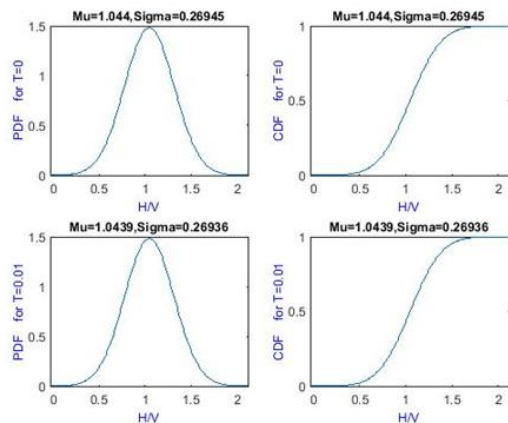
PGA و PSA ها، برای هر رکورد طبق جدول ۳ طبقه‌بندی شد؛ سپس در هر کلاس برای PGA و PSA ها در هر پرپود لگاریتم طبیعی نسبت مولفه افقی به قائم محاسبه شد  $(\ln(H/V))$ . PGA و PSA های افقی طبق رابطه زیر از میانگین هندسی مولفه‌های افقی در راستای در راستای شمالی-جنوبی و شرقی-غربی بدست آمد.

$$Horizontal\ component = \sqrt{H_1^2 + H_2^2} \quad (3)$$

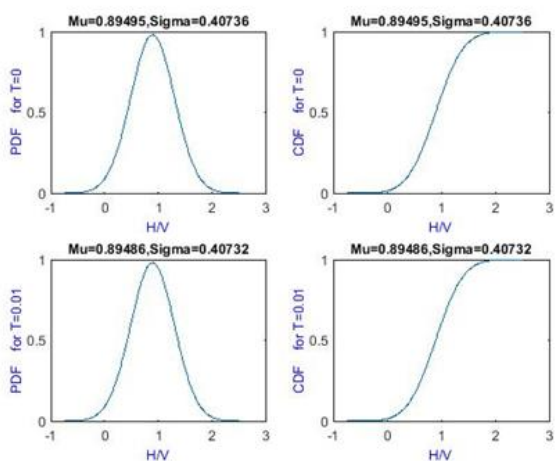
که در آن  $H_1$  و  $H_2$  به ترتیب مولفه‌های افقی در راستای شمالی-جنوبی و شرقی-غربی است. برای نشان دادن این مطلب که  $(\ln(H/V))$  دارای توزیع نرمال است، نمودار  $Q-Q^1$  برای PGA و PSA ها در تمام کلاس‌ها رسم شد؛ که در شکل ۵ نشان داده شده است. نمودارها، موید فرض نرمال بودن توزیع مورد نظر هستند. میانگین ( $\mu$ ) و انحراف معیار (SIGMA)، برای  $(\ln(H/V))$  در تمام کلاس‌ها بدست آمد (جدول ۴ مربوط به کلاس A می‌باشد). از این پارامترها استفاده شد و تابع چگالی احتمال (PDF) و تابع چگالی تجمعی (CDF) محاسبه شد. شکل ۶، PDF و CDF را در تمام کلاس‌ها نشان می‌دهد. کار مشابهی برای PSA ها در پرپودهای مذکور انجام شد (جدول ۲). لازم به یادآوری است که برای بدست آوردن این مقادیر بازه  $[\mu-4\sigma, \mu+4\sigma]$  در نظر گرفته شد.



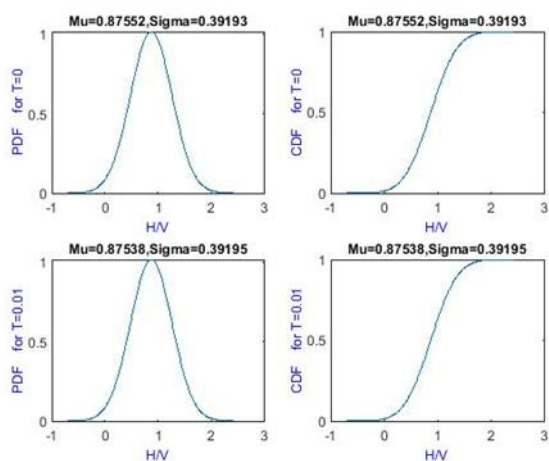
شکل ۵. نمودار Q-Q مربوط به  $\ln(H/V)$  نمونه برحسب استاندارد نرمال آن برای کلاس الف (A، ب، B، پ، C، ت، D و E)



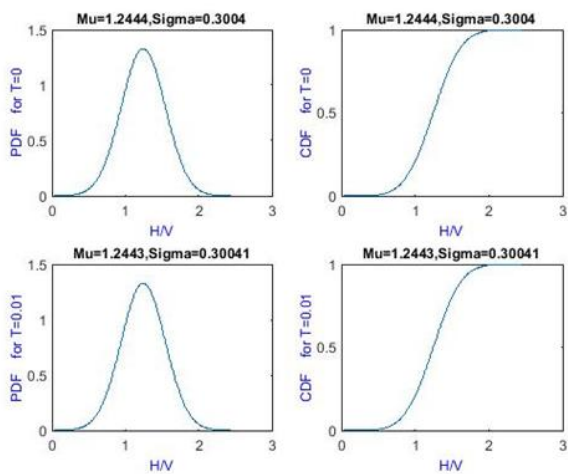
الف



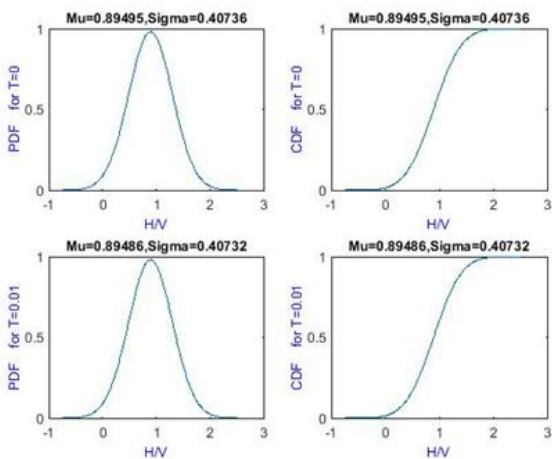
ب



ج



د



ه

شکل ۶. CDF و PDF مربوط به PGA ها برای کلاس الف (A، ب (B، پ (C، ت (D و ث (E)

جدول ۳. تعداد ایستگاه‌ها و رکوردها در هر کلاس

کلاس	VS30 interval	توضیحات	تعداد رکوردها	تعداد ایستگاه‌ها
A	$VS30 \geq 1500 \text{ m/s}$	سنگ سخت	۸	۲
B	$760 \leq VS30 < 1500 \text{ m/s}$	سنگ	۸۶۲	۱۱۶
C	$360 \leq VS30 < 760 \text{ m/s}$	خاک پر چگالی و خاک نرم	۱۲۳۸	۲۱۳
D	$180 \leq VS30 < 360 \text{ m/s}$	خاک سفت	۲۳۷	۵۲
E	$VS30 < 180 \text{ m/s}$	خاک و یا هرگونه پروفیلی با بیشتر از ۳متر گل نرم	۱۴	۵

جدول ۴. میانگین و انحراف معیار  $\ln(H/V)$  برای PGA و PSA در

کلاس A

Period(s)	Standard Deviation	mean
PGA	۰.۲۷	۱.۰۴
PSA@0.01	۰.۲۷	۱.۰۴
PSA@0.013	۰.۲۸	۱.۰۵
PSA@0.016	۰.۲۷	۱.۰۴
PSA@0.02	۰.۲۷	۱.۰۴
PSA@0.025	۰.۲۷	۱.۰۳
PSA@0.03	۰.۲۶	۱.۰۲
PSA@0.04	۰.۲۶	۱.۰۱
PSA@0.05	۰.۲۱	۰.۹
PSA@0.065	۰.۲۱	۰.۸
PSA@0.08	۰.۲۴	۰.۷۱
PSA@0.1	۰.۲۴	۰.۷۲
PSA@0.13	۰.۱۸	۰.۸۴
PSA@0.16	۰.۲۸	۱.۰۲
PSA@0.2	۰.۳۳	۱.۱۱
PSA@0.25	۰.۴	۱.۰۳
PSA@0.3	۰.۳۳	۱.۰۷
PSA@0.4	۰.۴۹	۱.۱۴
PSA@0.5	۰.۲۹	۱.۱
PSA@0.65	۰.۲۸	۱.۰۱
PSA@0.8	۰.۴۶	۰.۹۴
PSA@1	۰.۵۴	۰.۹۶
PSA@1.3	۰.۵۳	۰.۹۵
PSA@1.6	۰.۴۹	۰.۹۱
PSA@2	۰.۶۹	۰.۹

Class A,  
( $\ln(H/V)$ )

تمام مقادیر بدست آمده (فونت قرمز رنگ در جدول ۵، این نوع کلاس بندی، طبقه بندی تیپ ۲ یا CT2 نامیده شد). برای اکثر ایستگاه‌ها نتیجه حاصل از این دو نوع طبقه بندی یکسان بود، با این حال برای برای آن دسته از ایستگاه‌ها با نتیجه متفاوت حاصل از این دو نوع طبقه بندی، طبقه بندی تیپ ۱ معیار کلاس بندی در نظر گرفته شد و بدین صورت برای تمامی ایستگاه‌های با  $V_{S30}$  نامشخص، کلاس بندی انجام شد. نتایج نهایی حاصل از این دو نوع کلاس بندی در جدول ۲ پیوست قابل مشاهده است.

جدول ۵. احتمال  $\ln(H/V)$  برای ایستگاه Abad با  $V_{S30}$  نامشخص

Periods	احتمال در:					بیشترین احتمال
	ClassB	ClassC	ClassD	ClassE	ClassA	
۰	۰.۵۲۴	۰.۵	۰.۴۳۲	۰.۱۲۹	۰.۳۰۲	B
۰.۰۱	۰.۵۲۳	۰.۴۹۹	۰.۴۳۱	۰.۱۲۹	۰.۳۰۲	B
۰.۰۱	۰.۵۵۶	۰.۵۳۲	۰.۴۶	۰.۱۵۸	۰.۳۵۴	B
۰.۰۲	۰.۵۲۸	۰.۵۰۴	۰.۴۳۸	۰.۱۳۴	۰.۳۱۸	B
۰.۰۲	۰.۵۲۳	۰.۵	۰.۴۳۲	۰.۱۲۹	۰.۳۰۲	B
۰.۰۳	۰.۵۲	۰.۴۹۷	۰.۴۲۷	۰.۱۲۴	۰.۳۰۱	B
۰.۰۳	۰.۵۳۹	۰.۵۱۷	۰.۴۴۲	۰.۱۳۴	۰.۳۲	B
۰.۰۴	۰.۵۷۱	۰.۵۳۷	۰.۴۵۹	۰.۱۴۵	۰.۳۲۲	B
۰.۰۵	۰.۶۵۸	۰.۶۱۴	۰.۵۲۱	۰.۲۰۳	۰.۵۵۱	B
۰.۰۷	۰.۵۰۳	۰.۴۵۱	۰.۳۷۹	۰.۰۷۵	۰.۲۴۹	B
۰.۰۸	۰.۸۰۶	۰.۷۳۴	۰.۶۴۷	۰.۴۱۸	۰.۸۸	A
۰.۱	۰.۸۲۵	۰.۷۷۸	۰.۷۰۸	۰.۵۰۵	۰.۹۰۸	A
۰.۱۳	۰.۳۲۹	۰.۳۸۷	۰.۳۷۸	۰.۲۹۴	۰.۰۳۵	C
۰.۱۶	۰.۲۸۶	۰.۳۹۲	۰.۳۴۵	۰.۲۶۸	۰.۰۴۸	C
۰.۲	۰.۱۵۸	۰.۲۴	۰.۲۳۲	۰.۱۱۱	۰.۰۲۴	C
۰.۲۵	۰.۳۴	۰.۳۷۱	۰.۳۶۸	۰.۳۵	۰.۲۸۹	C
۰.۳	۰.۴۵۲	۰.۴۳	۰.۴۴۵	۰.۳۵۷	۰.۳۹۸	B
۰.۴	۰.۸۰۹	۰.۷۶۵	۰.۷۴	۰.۷۱۶	۰.۸۰۱	B
۰.۵	۰.۲۵۴	۰.۲۰۳	۰.۲۰۵	۰.۰۵۵	۰.۱۶۷	B
۰.۶۵	۰.۴۹۱	۰.۳۶۶	۰.۳۱۱	۰.۱۳۴	۰.۶۱۳	A
۰.۸	۰.۵۸۴	۰.۴۵۴	۰.۳۳۸	۰.۰۹۵	۰.۷۰۷	A
۱	۰.۵۳۱	۰.۳۹۸	۰.۲۸۷	۰.۰۴۶	۰.۵۶۹	A
۱.۳	۰.۵۷۳	۰.۴۶۵	۰.۳۲۸	۰.۲۵۶	۰.۵۹	A
۱.۶	۰.۷۳۶	۰.۶۳۴	۰.۵۱۹	۰.۴۲۵	۰.۷۷۳	A
۲	۰.۶۷۸	۰.۵۷۷	۰.۴۷۶	۰.۴۵۹	۰.۶۴۲	B

max iterated class is: Class B (CT1)

maximum of all periods is in: Class A(CT2) that is: 0.908

۴-۴- احتمال حضور در کلاس

در این مرحله، میانگین احتمال حضور با استفاده از CDF ها برای  $\ln(H/V)$  مربوط به ایستگاه‌های با  $V_{S30}$  نامشخص در هر کلاس و هر پریود محاسبه شد. به عنوان نمونه نتایج مربوط به ایستگاه Abad در جدول ۵ آمده است. نتایج مشابهی برای سایر ایستگاه‌های با  $V_{S30}$  نامشخص بدست آمده است. برای هر ایستگاه ابتدا کلاسی که احتمال حضور  $\ln(H/V)$  بیشترین مقدار در تمام پریودها بود (سطر ماکسیمم احتمال در جدول ۵) تعیین شد و سپس کلاسی که با بیشترین تعداد تکرار در پریودها را دارا بود بدست آمد (به این نوع کلاس بندی نام طبقه بندی تیپ ۱ یا CT1 داده شد) و همچنین بیشترین مقدار احتمال حضور در بین



## ۵- نتایج

در این مطالعه کلاس‌بندی سایت برای ایستگاه‌های شبکه شتابنگاری ایران بر اساس یک روش احتمالاتی انجام شد؛ چرا که روش‌های احتمالاتی می‌توانند پیش‌بینی‌های نسبتاً خوبی داشته باشند و در مقایسه با سایر روش‌ها کم‌هزینه‌ترند. می‌توان از این مطالعه نتیجه گرفت از ۵۰۵ ایستگاه با  $V_{S30}$  نامشخص که در ۴ گروه کلاس‌بندی شدند، ۳۴ سایت در کلاس A، که مربوط به خاک‌های با متوسط  $V_{S30}$  بالاتر از ۱۵۰۰ متر بر ثانیه است؛ ۴۰۶ ایستگاه در کلاس B که مربوط به خاک‌های با متوسط  $V_{S30}$  در محدوده بین ۷۵۰ تا ۱۵۰۰ متر بر ثانیه است؛ ۴۸ ایستگاه در کلاس C که مربوط به خاک‌های با متوسط  $V_{S30}$  در محدوده بین ۳۶۰ تا ۷۵۰ متر بر ثانیه است و ۱۶ سایت در کلاس D که مربوط به خاک‌های با متوسط  $V_{S30}$  در محدوده بین ۱۸۰ تا ۳۶۰ متر بر ثانیه است، قرار گرفتند. بنابراین اغلب ایستگاه‌ها در کلاس B جای گرفتند.

## ۶- منابع

- Boore, D. 2004, Estimating  $V_s$  (30) (or NEHRP Site Classes) from Shallow Velocity Models (Depths < 30 m). Bulletin- Seismological Society of America. 94. 591-597, 10.1785/0120030105.
- Borcherdt, R. D. 1994, Estimates of Site-Dependent Response Spectra for Design (Methodology and Justification), Earthquake Spectra, Vol 10, No 4, 617-653, 10.1193/1.1585791
- Building Seismic Safety Council (BSSC). 2009, National Earthquake Hazards Reduction Program Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures, Part 1: Provisions, Federal Emergency Management Agency (FEMA P-750), Washington, D.C., 338 pp.
- Castellaro, S. and F. Mulargi. 2009,  $V_{S30}$  Estimates Using Constrained H/V Measurements. Bulletin- Seismological Society of America. 99. 761-773, 10.1785/0120080179.
- Castro, R., M. Mucciarelli, F. Pacor and C. Petrangaro. 1997, S-wave site-response estimates using horizontal-to-vertical spectral ratio. Bulletin- Seismological Society of America. 87. 256-260.
- Field, E.H. and K.H. Jacob. 1995, A comparison and test of various site-response estimation techniques, including three that are not reference-site dependent. Bulletin- Seismological Society of America. 85. 1127-1143.
- Ghayamghamian, M. and R. Nojavan, A. 2008, A New Site Classification System Based on Strong Motion Analysis in Iran. Geotechnical Special Publication. 1-12, 10.1061/40975(318)32.
- Jackson, J. and D. McKenzie. 1984, Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between western Turkey and

Pakistan, Geophysical Journal International, Vol 77, Issue 1, PP 185-264, 10.1111/j.1365-246X.1984.tb01931.x

- Ji, K., Y. Ren and R. Wen. 2017, Site classification for National Strong Motion Observation Network System (NSMONS) stations in China using an empirical H/V spectral ratio method, Journal of Asian Earth Sciences, Vol 147, 79-94, ISSN, 1367-9120, 10.1016/j.jseaes.2017.07.032.
- Kale, Ö. and S. Akkar, Anooshiravan Ansari, Hossein Hamzehloo; A Ground-Motion Predictive Model for Iran and Turkey for Horizontal PGA, PGV, and 5% Damped Response Spectrum: Investigation of Possible Regional Effects. Bulletin- Seismological Society of America. 105 (2A): 963-980, 10.1785/0120140134
- Lermo, J and F. J. Chávez-García. 1994, Site effect evaluation at Mexico City: Dominant period and relative amplification from strong motion and microtremor records, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol 3, Issue 6, Pages 413-423, ISSN 0267-7261
- Lermo, J. and F.J. Chavez-Garcia. 1993, Site Effect Evaluation Using Spectral Ratio with Only One Station", Bulletin- Seismological Society of America, 83, 1574-1594.
- Nakamura Y. 1989, A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Quart. Rep. Railway Tech. Res. Inst. (RTRI), 30, 25-33.
- Nilforoushan, F., F. Masson and P. Vernant, et al. 2003, GPS network monitors the Arabia-Eurasia collision deformation in Iran. Journal of Geodesy 77: 411, 10.1007/s00190-003-0326-5.
- Nowroozi, A. 2005, Attenuation relations for peak horizontal and vertical accelerations of earthquake ground motion in Iran: A preliminary analysis. J. seism. Earth. Eng. 7.
- Shafiee, A., Zafarani, H., and Jahanandish, M. 2015, Model Selection for Correlating  $V_{S30}$  with Average Shear Wave Velocities at Lower Depths Based on the Iranian Data. Bulletin- Seismological Society of America. 106 (1), 10.1785/0120150257
- Tsuboi, S., Saito, M., and Ishihara, Y. 2001, Verification of Horizontal-to-Vertical Spectral-Ratio Technique for Estimation of Site Response Using Borehole Seismographs, Bulletin- Seismological Society of America. 91 (3), 499-510.
- Wang, S., H. Wang and L. Qiang Li. 2017, An alternative method for estimating  $V_s$  (30) from a shallow shear-wave velocity profile (depth <30m), Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol 99, 68-73, ISSN 0267-7261, 10.1016/j.soildyn.2017.05.002.
- Yamamoto, Y. and J. Baker. 2013, Stochastic Model for Earthquake Ground Motion Using Wavelet Packets. Bulletin- Seismological Society of America. 103. 3044-3056, 10.1785/0120120312.

Yong, A., A. Martin, K. Stokoe, and J. Diehl. 2013, ARRA-funded VS30 measurements using multi-technique approach at California and central-eastern United States strong motion stations, U.S. Geol. Surv. Open-File Rept. 2013-1102, 59 pp.

implications for the contiguous United States, Bulletin-Seismological Society of America. 102, 114-128.

Yong, A., S. E. Hough, J. Iwahashi, and A. Braverman. 2012, A terrainbased site-conditions map of California with

Zare, M., P.Y. Bard, M. Ghafory-Ashtiany, (1999). Site characterizations for the Iranian strong motion network, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol 18, Issue 2, 101-123, ISSN 0267-7261, 10.1016/S0267-7261(98)00040-2.

۷- پیوست

جدول پیوست ۱. مختصات ایستگاه‌ها

ارتفاع (م)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	نام ایستگاه	ارتفاع (م)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	نام ایستگاه	ارتفاع (م)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	نام ایستگاه
725	53.031	28.484	'Qir1'	1075	50.287	33.46	'Golpayegan'	620	48.95	36.92	'Ab-bar'
994	50.895	34.65	'Qom2'	61	54.077	37.069	'Gomishan'	75	51.256	29.022	'Abad'
1375	45.04	37.99	'Qooschi'	1814	58.68	34.37	'Gonabad'	897	47.415	32.996	'Abadanan'
1264	54.03	35.96	'Qoosheh'	-21	48.75	34.68	'Gonbad'	1598	57.94	29.35	'Abaragh'
1087	47.81	35.16	'Qorveh'	1073	55.164	37.242	'Gonbad-e-Kavoos'	1788	54.919	36.581	'Abarsej'
839	58.477	28.88	'Qotb Abad'	2048	60.859	36.387	'Gonbadli'	854	56.389	36.527	'Abas Abad'
1917	44.41	38.48	'Qotoor'	4	45.85	34.22	'Goorsefid'	54	51.773	28.073	'Abdan'
1212	59.013	36.799	'Radekan'	451	52.4	29.83	'Gooyom'	897	47.42	33	'Abdanan'
1520	55.991	30.413	'Rafsanjan'	663	54.385	36.839	'Gorgan1'	1503	49.28	35.76	'Abgarm'
92	49.596	31.274	'Ramhormoz'	1800	61.96	27.79	'GoshtGOS'	1499	49.22	36.15	'Abhar'
9	50.66	36.91	'Ramsar'	110	49.28	37.19	'GoshtGSH'	1221	50.52	36.02	'Abyek'
230	55.139	37.019	'Ramyan'	78	61.523	26.629	'Govarnagan'	424	59.74	33.53	'Afjin'
1332	45.3	37.32	'Rashakan'	214	45.66	38.84	'Hadi Shahr'	7	54.46	37.003	'Agh Ghala1'
39	49.64	37.19	'Rasht 3'	1079	49.53	31.44	'Haftgel'	124	49.829	30.699	'Aghajari'
50	49.66	37.18	'Rasht 4'	792	54.42	28.35	'Haji Abad'	1360	47.06	38.47	'Ahar'
385	61.394	26.241	'Rask'	224	54.42	28.35	'Haji Abad1'	0	56.665	27.938	'Ahmadi'
1359	46.652	34.652	'Ravansar'	1057	50.16	35.52	'Hajib'	56	51.287	28.887	'Ahram'
1242	56.79	31.26	'Ravar'	1057	48.07	36.3	'Halab'	1680	52.835	36.069	'Alasht'
1600	50.4	34.25	'Raveh'	1591	48.52	34.78	'Hamedan 2'	1255	48.254	33.86	'Aleshtar'
2221	57.431	29.607	'Rayen'	1475	48.53	34.87	'Hamedan5'	130	54.847	36.902	'Ali Abad'
2190	57.44	29.59	'RayensMA'	0	51.729	31.192	'Hana'	39	51.241	28.758	'Ali Hoseini'
1312	57.102	37.938	'Raz'	1800	47.12	38.25	'Haris'	10	53.07	36.61	'Alivak'
1861	49.03	35.39	'Razan'	2295	51.15	36.5	'Hasan Keyf'	1790	50.029	36.421	'Alulak'
1900	49.95	35.33	'Razeghan'	1922	56.862	27.386	'Hasan Langi'	1495	46.156	38.231	'Amand'
1391	48.09	38.63	'RazIRZY'	1170	55.756	28.182	'Hashem Abad'	198	52.347	36.458	'Amol'
1886	50.18	36.35	'Razjerd'	8	50.68	35.96	'Hashtgerd'	1423	55.271	30.866	'Anar'
587	52.033	36.379	'Reiskola'	716	47.05	37.475	'Hashtrood'	1649	47.987	36.805	'Andabad'
725	59.012	28.654	'Reygan'	1265	51.25	35.37	'Hassan Abad'	160	48.35	32.474	'Andimeshk'
235	56.08	27.56	'Rezvan'	949	48.89	38.15	'Havigh'	851	57.752	30.231	'Andoojherd'
5	49.137	37.549	'Rezvanshahr'	1288	48.42	37.94	'Helabad'	1760	49.73	34.1	'AraK'
1675	52.18	29.5	'Richi'	8	49.71	30.23	'Hendijan'	1440	47.553	34.243	'Aran'
1640	58.47	35.48	'Rivash'	1762	52.598	28.364	'Hengam'	800	50.66	32.003	'Ardal'
345	52.07	28.05	'Riz'	3	62.11	27	'Hidoor'	1867	48.28	38.23	'Ardebil 1'
1682	57.7	37.9	'Robat'	1532	57.29	30.53	'Hineman'	1375	48.26	38.22	'Ardebil 2'
1235	55.558	33.011	'Robateposhtebadam'	1171	48.49	38.08	'Hir'	1335	48.33	38.22	'Ardebil 3'
1369	52.162	29.371	'Romghan'	2069	57.005	30.76	'Hojdak'	1299	52.51	35.81	'Arjomand'
174	57.188	27.445	'Roodan'	1543	46.77	33.94	'Homali'	2122	46.606	33.388	'Arkvaz-e-Malek Shahi'
213	49.414	36.806	'RoodbarRDB'	2079	47.37	38.86	'Hoorand'	1337	48.371	36.976	'Armagan Khaneh'
561	58.003	28.026	'RoodbarRDO'	1291	57.15	30.67	'Horjand'	1956	47.35	34.61	'Armanjan'
1837	51.908	35.736	'Roodehen'	1113	57.155	30.67	'Horjand1'	1381	45.797	35.93	'Armordeh'
2	50.28	37.14	'Roodsar'	2320	56.119	30.769	'Hosn'	1645	53.31	29.91	'Arsanjan'
1011	50.9	35.443	'Roodshour'	2320	57.74	28.46	'Hossein Abad'	1608	50.702	30.588	'Aru'
1140	59.62	34.97	'Roshthkhar'	1694	48.25	32.68	'Hosseiniyeh Olya'	676	48.13	34.79	'Asad-Abad'
1316	55.07	28.446	'Rostagh'	613	56.788	30.848	'Hotkan'	1647	60.024	32.914	'Asadiyeh'
93	53.862	26.893	'RostaghROT'	402	52.977	35.476	'Idje'	1449	56.92	37.56	'Ashkhaneh'
1500	49.85	35.67	'Rostam Abad'	2340	46.428	33.645	'Ilam1'	743	50.01	34.52	'Ashtiyan'
8	51.083	28.568	'Rostami'	1653	54.724	37.456	'Incheh Borun'	2082	49.94	37.26	'Astaneh Ashrafyeh'
1737	53.13	30.08	'Saadat-shahr'	1428	49.86	31.818	'Izeh'	-34	48.87	38.42	'Astara'
1800	48.707	34.21	'Saaman'	10	49.86	31.82	'Izeh1'	-19	44.16	39.33	'Avagiq'
1305	61.456	28.343	'Sabz Gaz'	897	52.33	27.82	'Jaam'	1967	49.22	35.58	'Avaj'
33	51.116	29.379	'Saed Abad'	897	53.554	28.503	'Jahrom'	1904	50.95	31.895	'Avargan'
1144	51.19	35.67	'Saeid Abad'	606	62.71	27.6	'Jaleq'	2415	47.8	37.73	'Avin'
1876	47.96	36.46	'Saein'	1084	53.9	35.78	'Jam'	2026	58.069	35.153	'Azim Abad'
1643	49.073	36.312	'Saein Ghale'	849	59.22	34.7	'Jangal'	1320	49.392	33.827	'Azodiye'
1260	57.926	36.694	'Safi Abad'	1765	51.67	35.22	'Javad Abad'	2200	53.22	28.98	'Bab Anar'
1365	47.68	34.48	'Sahne'	836	46.489	34.809	'Javanrood'	1302	50.82	30.11	'Baba Kalan'
1390	47.68	34.47	'Sahneh'	836	49.79	36.7	'Jirandeh'	493	51.208	30.072	'Baba Monir'
1411	50.465	34.475	'Salafchegan'	1340	57.74	28.67	'Jiroft'	1034	52.68	36.54	'Babol'
1240	46.07	34.46	'Salas-e-Babajani'	1196	49.75	34.84	'Joftan'	25	52.656	36.698	'Babolsar'
1248	46.16	34.74	'Salasebabajani'	1176	45.631	38.939	'Jolfa'	2	47.038	33.307	'Badreh'
685	61.091	35.687	'Saleh AbadSAL'	1540	57.06	36.63	'Joqata'	1053	56.6	29.23	'Baft'



نجف توماری و همکاران، تخمین احتمالاتی رده ساختگاه برای ایستگاه‌های شبکه ساینگاری ...، صفحات ۱۳-۲۸.

1295	47.6	34.78	'Sonqor'	0	47.83	38.5	'Lahrood'	1538	50.045	32.204	'Chaman Goli'
1447	45.98	38.28	'Soofiyari'	12	59.499	37.127	'Laiéen no'	1538	48.96	35.77	'Changoureh'
303	45.64	33.88	'Soomar'	1305	56.812	29.524	'Laleh Zar'	1547	48.963	35.777	'Changoureh1'
1153	53.2	35.47	'Sorkheh'	882	49.091	32.333	'Lali'	1871	56.911	30.605	'Chatrood'
1677	51.26	35.82	'Souleghan'	450	53.177	27.331	'Lamerd'	1877	46.701	38.375	'Chaykandi'
9	49.738	30.574	'Soveyreh'	781	50.418	30.978	'Landeh'	1841	51.65	35.54	'Chehel Ghez'
-20	56.07	26.78	'Suza'	780	54.29	27.652	'Lar'	1859	50.856	29.488	'Chehel Zaree'
1500	57.38	36.41	'Tabas'	790	54.34	27.68	'Lar2SMA'	1134	58.91	35.28	'Chenar'
691	56.92	33.58	'TabasSMA'	1692	51.63	35.82	'Lavasani'	38	59.13	36.65	'Chenaran'
191	55.72	26.76	'Tabl'	1132	51.635	35.82	'Lavasani1'	1402	56.42	29.47	'Cheshmeh sabz'
1427	46.298	38.078	'Tabriz 4'	1790	47.28	34.87	'Lenj Ab'	1181	49.42	37.09	'Choober'
1803	46.33	38.1	'Tabriz 5'	1790	47.277	34.871	'Lenjab'	2581	52.305	28.489	'Dahram'
1607	46.392	38.022	'Tabriz 6'	2240	46.432	37.833	'Liqvan'	70	51.288	29.428	'Dalaki'
1474	46.323	38.06	'Tabriz7'	781	46.815	33.569	'Loomar'	407	52.122	30.06	'Dalin'
1982	50.04	34.68	'Tafresh'	1609	50.83	31.515	'Lordegan'	97	60.82	27.41	'Daman'
1777	47.1	36.41	'Takab'	349	49.525	36.62	'Loshan'	1971	52.062	35.717	'Damavand'
1216	49.7	36.07	'Takestan'	1173	50.968	35.67	'MALARD'	757	52.063	35.717	'Damavand1'
17	56.64	27.5	'Takht'	1333	47.67	36.74	'Mah-Neshan'	1980	47.37	38.12	'Damirchi'
1317	48.21	38.4	'Taleb-e-Qeshlaqi'	1805	50.459	33.9	'Mahalat'	1980	48.981	31.903	'Dar khazineh'
1824	50.76	36.18	'Taleqan'	1864	57.289	30.065	'Mahani'	1972	48.78	37.02	'Dararam'
50	48.9	37.8	'Talesh'	1489	52.821	29.352	'Maharlool'	96	48.81	33.704	'Darbastaneh'
776	50.74	30.751	'Talgerd'	0	46.801	34.268	'Mahidasht'	497	57.33	29.237	'Darbehesht'
848	51.526	29.154	'Tange Eram'	65	52.252	36.631	'Mahmood Abad'	1488	47.38	33.14	'Dareh Shahr'
1820	56.5	31.4	'Tarz'	1280	59.015	32.579	'Majan'	2620	52.48	27.941	'Darolmizan'
436	50.201	30.829	'Tashan'	1329	44.44	39.29	'Makoo'	712	57.42	35.17	'Daroonah'
1392	45.361	38.314	'Tasoqi'	1776	48.8	34.309	'Malayer'	318	49.06	33.45	'Darreh-Asbar'
1941	54.475	36.399	'Tazareh'	1270	50.51	35.3	'Mamooneiyeh'	841	49.24	36.02	'Darsejin'
2000	54.46	36.39	'TazarehSMA'	2264	51.81	30.64	'Mansorkhani'	1670	51.8	28.32	'Darvishi'
1248	46.154	34.738	'Tazeh Abad'	1630	59.427	32.921	'Marak'	1659	47.83	32.41	'Dasht-e-Abbas'
776	47.744	39.046	'Tazeh Kandi'	1326	45.774	38.445	'Marand'	58	56.56	31.07	'Dasht-e-Khak'
1428	44.696	38.175	'Tazeh-Shahr'	218	55.96	37.9	'Maraveh Tappeh'	160	56.19	30.58	'Davaran'
1086	51.43	35.59	'Tehran1'	207	55.95	37.9	'Maraveh TappehSMA'	2226	56.88	36.35	'Davarzan'
1410	51.41	35.76	'Tehran10'	1144	50.85	35.73	'Mard Abad'	1860	46.447	35.226	'Degaga'
1504	51.41	35.76	'Tehran11'	2226	51.08	30.99	'Margoun'	975	56.02	31.44	'Deh Ali'
1551	51.47	35.83	'Tehran12'	1340	46.183	35.518	'Marivan'	1295	48.929	33.611	'Deh Azna'
1134	51.4	35.65	'Tehran13'	900	60.526	36.153	'Marvdaran'	1252	47.415	35.275	'Deh Golan'
0	51.4	35.73	'Tehran14'	70	49.13	37.37	'Masal'	1474	48.701	36.318	'Deh Jalal'
0	51.4	35.73	'Tehran15'	992	59.56	36.31	'Mashhad1'	1837	59.25	28.66	'Deh Reza'
0	51.4	35.73	'Tehran16'	1184	59.53	36.31	'Mashhad3'	2014	50.288	31.707	'Deh-dez'
1220	51.51	35.67	'Tehran17'	1184	59.5	36.28	'Mashhad4'	539	59.52	32.19	'Dehak'
1405	51.37	35.74	'Tehran18'	1175	59.47	36.309	'Mashhad5'	156	50.563	30.791	'Dehdasht'
0	51.4	35.73	'Tehran2'	1009	59.562	36.31	'Mashhad6'	1880	50.07	37.38	'Dehka'
1371	51.38	35.74	'Tehran22'	1009	59.616	36.28	'Mashhad8'	821	48.094	33.15	'Dehlij Abesard'
1395	51.36	35.74	'Tehran23'	877	51.27	34.18	'Maskat'	-52	47.26	32.69	'Dehloran'
0	51.15	35.75	'Tehran24'	894	51.519	30.246	'Masiri'	1416	51.07	28.764	'Delvar'
1174	51.351	35.7	'Tehran26'	356	49.247	31.983	'Masjed Soleyman'	290	61.1	35.75	'Derakht Toot'
1174	51.35	35.7	'Tehran26old'	472	49.397	32.024	'Masjed Soleyman1'	11	57.5	33.29	'Deyhook'
1737	51.66	35.74	'Tehran27'	333	49.372	32.051	'Masjed Soleyman2'	632	49.9	36.88	'Deylaman'
1161	51.42	35.68	'Tehran29'	968	48.991	37.154	'Masooleh'	1450	47.964	35.063	'Dezaj'
2554	51.34	35.88	'Tehran3'	1599	52.751	28.868	'MaymandMYN'	334	48.392	32.389	'Dezfool'
1812	51.47	35.83	'Tehran30'	178	46.167	33.123	'Mehran'	1524	54.231	36.429	'Dibaj'
1450	51.41	35.76	'Tehran32'	1842	46.711	38.471	'Mehtar1ol'	155	47.446	34.583	'Dinevari'
1560	51.39	35.79	'Tehran33'	1842	46.711	38.47	'Mehtar2ol'	1804	47.015	35.92	'Divandarreh'
1212	51.41	35.7	'Tehran35'	1420	47.67	38.39	'Meshkin Shahr'	1388	55	36.35	'Dizaj'
1450	51.41	35.76	'Tehran36'	1724	49.14	36.13	'Meymoon Darreh'	1860	53.046	36.02	'Do Ab'
1208	51.49	35.59	'Tehran38'	9	57.07	27.14	'Minab'	1262	52.97	29.54	'Dodaj'
1431	51.41	35.76	'Tehran4'	31	55.365	37.229	'Minoodasht'	817	50.791	30.354	'Dogonbadan'
1180	51.331	35.69	'Tehran47'	1512	46.062	36.146	'Mirdah'	1573	54.182	28.411	'Doobaran1'
1490	51.58	35.74	'Tehran52'	835	61.45	29.02	'Mirjaveh'	750	54.183	28.41	'Doobaran2'
1024	51.37	35.5	'Tehran53'	1137	47.705	37.431	'Miyaneh'	1146	51.188	31.623	'Dorahan'
1315	51.5	35.74	'Tehran54'	904	54.567	35.218	'Moaleman'	1146	49.059	33.489	'Dorood'
1283	51.27	35.72	'Tehran56'	1517	50.47	36.45	'Moalem Kelayeh'	2043	55.42	27.86	'Dorzo sayban'
1048	51.36	35.56	'Tehran58'	715	53.268	36.172	'Mohammad Abad'	1683	46.229	38.861	'Douzal'
1490	51.43	35.79	'Tehran59'	1961	57.888	28.908	'Mohammad Abad-e-Maskoon'	756	53.86	27.45	'Emadeh Deh'
1479	51.43	35.79	'Tehran60'	435	52.87	27.55	'Mohr'	625	59.44	35.96	'Emam Taghi'
1479	51.43	35.79	'Tehran61'	2039	54.654	36.477	'Mojen'	691	51.132	35.432	'Emam khomani'
0	51.43	35.79	'Tehran62'	1346	55.934	32.015	'Molla Esmaeil'	1398	49.348	34.622	'Esfandan'
0	51.43	35.79	'Tehran63'	1897	49.52	33.59	'Momen Abad'	1021	57.5	37.06	'Esfarayan'
444	51.37	35.5	'Tehran64'	1823	59.521	32.706	'Mood'	1750	53.611	27.223	'Eshkanan'
1283	51.27	35.72	'Tehran67'	155	47.38	32.52	'Moosiyani'	1230	56.727	30.738	'Eslam Abad'
1283	51.27	35.72	'Tehran68'	2208	52.049	35.756	'Moshai'	410	47.708	39.583	'Eslam-AbadELQ'
1134	51.399	35.64	'Tehran69'	2208	52.049	35.75	'Moshah'	1862	47.944	38.126	'Eslam-AbadESA'
1490	51.575	35.73	'Tehran70'	1216	47.68	36.95	'Moshampa'	93	52.343	29.416	'Eslam-AbadESL'
1651	51.395	35.8	'Tehran71'	762	47.67	32.73	'Murmuri'	2074	46.529	34.11	'Eslamabadqarb'
0	51.491	35.77	'Tehran72'	1096	54.62	36.25	'Naeim Abad'	1756	53.48	36.46	'Estalkh Posht'
1258	51.38	35.71	'Tehran73'	1650	46.469	38.249	'Nahand'	1342	54.005	27.759	'Evaz'
1480	51.41	35.76	'Tehran74'	1691	48.378	34.186	'Nahavand'	593	46.312	33.823	'Eyyan'
0	51.366	35.54	'Tehran75'	2395	51.612	36.155	'Nahiyyeh'	986	52.07	35.34	'Eyyanak1'
0	51.392	35.76	'Tehran76'	1091	45.492	36.262	'Nalas'	1168	45.843	34.832	'Ezgeleh'
1760	51.386	35.73	'Tehran78'	1427	48.48	38.42	'Namin'	1003	58.88	28.95	'Fahraj'

نشریه پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۷، شماره ۱، ۱۴۰۰.

1086	51.427	35.59	'Tehran79'	1327	45.37	36.96	'Naqadeh'	710	50.98	35.73	'Fardis'
1760	51.503	35.74	'Tehran80'	1956	50.724	31.929	'Naqan'	772	56.256	28.008	'Fareghan'
1161	51.41	35.68	'Tehran81'	1922	50.84	34.01	'Naragh'	1259	59.844	35.695	'Fariman'
1405	51.363	35.74	'Tehran82'	858	51.891	29.447	'Narges Zar'	1154	59.714	36.444	'Farmad'
0	51.283	35.75	'Tehran84'	1093	51.17	35.56	'Nasim Shahr'	1404	49.68	34.5	'Farmahin'
0	51.244	35.72	'Tehran85'	1095	60.313	35.418	'Nasr Abad'	1055	58.226	37.228	'Farooj'
0	51.261	35.67	'Tehran86'	1110	57.421	37.674	'Naveh'	1785	52.09	28.86	'Farrashband'
1164	51.467	35.65	'Tehran88'	1190	60.04	31.54	'Nehbandan'	1172	59.53	33.83	'Farrokhi'
1164	51.393	35.7	'Tehran89'	73	53.28	36.63	'Neka'	811	55.42	36.94	'Farsian'
1437	51.37	35.74	'Tehran9'	1213	58.819	36.206	'Neyshaboor'	1140	57.23	28.1	'FaryabFRI'
1405	51.363	35.74	'Tehran90'	1524	49.55	36.28	'Nikooyeh'	737	51.462	28.902	'FaryabFVB'
1405	51.363	35.74	'Tehran91'	449	60.23	26.24	'Nikshahr'	642	51.53	35.93	'Fasham'
1261	51.41	35.68	'Tehran92'	1641	47.99	38.029	'Nir'	452	51.53	35.93	'Fasham1'
1181	51.181	35.7	'Tehran93'	1367	48.627	38.264	'Niyaraq'	1378	58.39	34.12	'Fath Abad'
1831	46.953	37.731	'Tikmedash'	1658	49.7	35.12	'Nobaran'	1378	53.57	27.59	'Fedaq'
1923	58.95	33.56	'Tiqdar'	1641	60.76	28.53	'Nook Abad'	1815	55.809	30.823	'Ferdowsyeh'
0	55.863	26.766	'Tomban'	8	52.01	36.57	'Noor'	540	52.52	36.68	'Fereydoonkenar'
55	50.884	36.808	'Tonekabon'	1756	47.97	34.07	'Noor Abad'	1373	53.23	36.16	'Fereym Sagra'
1827	48.568	33.773	'Tooshk-e-Ab-e-Sard'	940	51.521	30.116	'Noor Abad Mamasan'	-25	58.78	35.01	'Fez Abad'
1350	59.221	35.274	'Torbat-e Heydaryeh 1'	48	51.495	36.652	'Noshahr'	737	55.9	27.63	'Fin1'
881	60.625	35.232	'Torbat-e Jam'	1288	46.203	35.161	'Nosood'	951	52.57	28.84	'Firooz Abad1'
1616	47.391	37.579	'Torkmanchay'	1051	59.983	29.857	'Nosrat Abad'	296	52.571	28.84	'Firooz Abad2'
1302	59.381	36.309	'Torqabe'	26	53.25	36.8	'Nozar Abad'	1325	51.366	36.359	'Firooz AbadFIR'
1850	48.442	34.552	'Toyserkan'	219	48.158	39.302	'Odloo'	1325	52.56	28.83	'Firooz AbadSMA'
1850	48.44	34.55	'Toyserkan'	19	49.699	30.755	'Omidiyeh'	1587	48.235	37.588	'FiroozabadFER'
1117	51.02	35.61	'Vahidiyeh'	1370	45.063	37.544	'Orumiyeh 1'	1325	48.115	34.36	'Firoozan'
1037	51.17	35.44	'Vahn Abad'	1120	56.362	28.452	'Orzooyeh'	1120	52.767	35.759	'Firoozkoo1'
1605	52.89	29.92	'Vali Asr'	1454	45.099	37.042	'Oshnaviyeh'	1542	52.76	35.75	'Firoozkoo2'
1329	52.267	35.924	'Vana'	715	46.88	33.01	'Pahle'	1909	58.59	36.29	'Firozeh'
0	51.17	35.83	'Varish'	976	51.69	35.49	'Pak Dasht'	1909	49.318	37.232	'Fooman'
1687	46.461	38.507	'Varzaqan'	1250	46.605	35.067	'Palangan'	1196	54.31	35.92	'Forat'
2024	50.99	34.25	'Veshnaveh'	1428	50.62	34.08	'Panzdahe khordad'	34	55.22	28.28	'Fork'
1126	51.09	35.6	'Vireh'	1120	50.97	35.47	'Parand'	1120	56.762	36.502	'Foroomad'
1402	53.812	36.569	'Yaneh Sar'	40	47.91	39.65	'Pars Abad'	898	51.62	35.51	'Foroon Abad'
1849	51.58	30.682	'Yasooj'	96	47.92	39.65	'Parsabad'	1027	46.418	34.345	'Gahvare'
1347	45.403	38.672	'Yekan Kahriz'	43	53.04	27.21	'Parsian'	1011	51.154	31.861	'Gandoman'
32	58.076	25.711	'Yekdar'	1462	51.26	30.95	'Pataveh'	450	44.67	37.76	'Gangechin'
1803	48.71	33.5	'Zagheh'	1567	46.356	35.043	'Paveh'	2257	59.7	33.88	'GarmabGRM'
1369	60.88	29.49	'Zahedan1'	1103	60.12	26.63	'Pip'	1532	51.63	35.99	'Garmabdar'
1193	53.81	28.74	'Zahedshahr'	1466	45.14	36.71	'Piranshahr'	1148	51.07	35.75	'Garmdarreh'
1933	45.57	36.33	'Zamziran'	635	47.71	33.15	'Pol Dokhtar'	1850	57.486	37.514	'Garmkhan'
1606	48.5	36.66	'Zanjan1'	550	53.054	36.119	'Pol Sefid'	1299	52.332	35.226	'Garmsar'
1629	48.491	36.682	'Zanjan2'	0	61.1	25.596	'Polan'	947	52.331	35.22	'Garmsar1'
1606	48.502	36.701	'Zanjan3'	1028	58.38	29.122	'Posht Rood'	855	52.332	35.22	'Garmsar2'
1690	52.62	29.07	'Zanjiran'	1409	51.59	36.4	'Poul'	855	52.218	35.903	'Gazanak'
1263	45.366	38.456	'Zanjireh'	1296	59.06	36.11	'Qadamgah'	855	50.51	34.78	'Gazoran'
6	59.4	25.6	'Zar Abad'	8	52.875	36.479	'Qaem Shahr'	1592	56.294	27.451	'Geno'
1546	48.825	33.804	'Zaram'	1428	59.19	33.73	'Qaen 2'	975	48.06	39.05	'Germi'
1678	56.58	30.81	'Zarand'	1665	49	34.86	'Qahavand'	120	51.59	29.846	'Ghaemiyeh'
1548	52.7	29.78	'Zarghan'	1872	48.06	35.47	'Qahrvard'	764	57.88	27.52	'Ghale Ganj'
1508	52.85	29.09	'Zarrat'	1276	50.442	31.192	'Qaleh Raeisi'	886	54.909	36.347	'Ghale Shokat'
1726	48.274	36.427	'Zarrin Abad'	827	51.786	35.2	'Qalehboland'	442	55.074	36.633	'Ghalehno Kharagan'
1087	59.93	36.75	'Zavin Sofla'	1060	51.52	35.56	'Qani Abad'	1218	51.52	35.51	'Ghaleno'
372	58.59	27.79	'Zeh Kelot'	250	55.675	37.621	'Qapan-e-Olya'	1334	57.487	37.894	'Gifan'
1715	45.834	38.585	'Zenooz'	1917	46.981	37.131	'Qareh Aghaj'	950	45.94	34.14	'Gilanqarb'
1295	50.18	36.22	'Zibashahr'	1301	44.954	38.207	'Qareh Qeshlaq'	1354	45.925	34.14	'Gilanqarb1'
532	47.65	39.11	'Ziveh'	1102	45.02	38.888	'Qarezaoddin'	830	49.132	36.781	'Gilvan'
455	57.23	27.75	'Ziyarat Ali'	758	59.86	34.35	'Qasem Abad'	830	56.591	30.884	'Gisk'
540	50.23	36.88	'Ziyaz'	476	60.74	26.234	'Qasr-e-Qand'	366	48.344	37.686	'Givi'
1729	59.81	33.42	'Zohan'	395	45.591	34.5	'Qasr-e-Shirin1'	1904	48.242	34.172	'Giyani'
1321	49.45	36	'Zya Abad'	395	45.59	34.51	'Qasreshirin'	1291	57.9	26.58	'Goharan'
2499	51.272	31.099	'meymandMMD'	1257	50	36.26	'Qazvin 1'	1617	48.2	35.22	'Gol Tappeh'
1520	52.75	28.87	'meymandMNSMA'	1257	50	36.26	'Qazvin 1SMA'	869	57.72	29.88	'Golbaf1'
34	50.988	29.47	'shabankareh1'	1226	50.05	36.24	'Qazvin 2'	2125	57.72	29.88	'GolbafSMA'

جدول پیوست ۲. نتایج دو نوع کلاس‌بندی (CT1 و CT2) برای ایستگاه‌های مورد مطالعه

CT2	CT1	نام ایستگاه	CT2	CT1	نام ایستگاه	CT2	CT1	نام ایستگاه	CT2	CT1	نام ایستگاه
B	B	'Sarvestan'	A	B	'Loomar'	A	B	'Eslamabadqarb'	A	B	'Abadanan'
A	B	'Sarzeh'	A	B	'Lordegan'	C	B	'Eyvanaki1'	C	B	'Abarsej'
A	B	'Saveh'	A	B	'Loshan'	A	B	'Ezgeleh'	A	B	'Abas Abad'
A	B	'Sepidan'	A	B	'MALARD'	A	B	'Fardis'	B	C	'Abdan'
A	A	'Seyedkola'	A	B	'Mahalat'	C	B	'Fareghan'	A	B	'Abyek'
B	B	'ShafaRood'	A	B	'MahmoodAbad'	C	B	'Fariman'	A	B	'Ahar'
A	B	'ShahQasem'	A	B	'Majan'	B	C	'Farmad'	A	B	'Alasht'
A	B	'ShahZeyd'	A	C	'Malayer'	A	B	'Farooj'	A	B	'AliAbad'
C	B	'ShahAbbasPoorDa'	A	D	'Mamooniyeh'	A	B	'Fasham'	A	B	'AliHoseini'

نصف تومرایی و همکاران، تخمین احتمالاتی رده ساختگاه برای ایستگاههای شبکه ساینکاری ... صفحات ۱۳-۲۸.

A	A	'ShahidRajaei'	C	D	'Mansorkhani'	A	B	'Fasham1'	A	C	'Amol'
C	B	'ShahidYaqoobi'	E	B	'Marak'	A	B	'Ferdowsyeh'	A	B	'Anar'
A	B	'ShahinDej'	A	B	'MaravehTappeshSMA'	A	A	'Fereydoonkenar'	A	B	'Andabad'
B	B	'Shahriyar'	A	B	'Margoun'	A	B	'FereymSahra'	B	B	'Andimeshk'
A	B	'Shahrood'	A	B	'Marivan'	A	B	'FiroozAbad2'	A	B	'Aran'
A	C	'Shahrreza'	E	B	'Marzadaran'	A	B	'FiroozAbadFIR'	B	B	'Ardal'
E	B	'Shalamzar'	A	B	'Masal'	A	B	'FiroozAbadSMA'	A	B	'Ardebil1'
A	B	'Shazand'	A	B	'Mashhad4'	A	B	'FiroozabadFER'	A	B	'Ardebil2'
A	B	'SheykhMalu'	C	B	'Mashhad5'	A	B	'Firoozkooh1'	A	B	'Arjomand'
A	B	'Shiraz2'	A	B	'Mashhad6'	C	B	'Firoozkooh2'	A	B	'Arkvaz-e-MalekShahi'
A	B	'Shiraz3'	B	C	'Mashhad8'	A	B	'Foومان'	B	D	'ArmaganKhaneh'
B	B	'Shiraz4'	A	B	'Mashkat'	C	B	'Foroomad'	E	B	'Armordeh'
A	B	'Shirvan'	A	B	'MasjedSoleyman1'	A	B	'FooroonAbad'	A	A	'Arsanjan'
B	B	'Shoeshseh'	C	B	'MasjedSoleyman2'	C	B	'Gahvare'	C	B	'Aru'
A	B	'Showgan'	A	B	'Masooleh'	A	B	'Gandoman'	A	B	'Ashkhaneh'
B	C	'SibSooran'	A	B	'MaymandMYN'	A	B	'Garmabdar'	A	B	'Ashtiyān'
B	B	'SirchSMA'	A	B	'Mehran'	A	B	'Garmdarreh'	A	B	'AstanehAshrafyeh'
A	C	'Sirkan'	A	B	'Mehtar101'	B	B	'Garmkhan'	A	B	'Astara'
B	B	'Sisakht'	A	B	'Mehtar102'	A	A	'Garmsar'	A	B	'Avargan'
A	B	'Soghan'	B	B	'MeshkinShahr'	A	B	'Garmsar1'	E	B	'Avin'
E	B	'SoltanAbadSTD'	E	B	'MeymoonDarreh'	A	B	'Garmsar2'	A	B	'Azodiyeh'
A	B	'Souleghan'	A	A	'Mirdeh'	A	B	'Gazanak'	C	B	'BabaKalan'
B	B	'Soveyreh'	A	D	'Mirjaveh'	A	B	'Gazoran'	A	B	'Badreh'
A	B	'Tabriz4'	A	D	'Miyaneh'	A	A	'Geno'	B	B	'Baf'
A	A	'Tabriz5'	A	C	'Moaleman'	B	B	'GhaleShokat'	A	B	'Baftan'
C	B	'Tabriz6'	B	B	'MohammadAbad'	A	B	'GhalehnoKharagan'	A	A	'BagchehJalil'
B	B	'Tabriz7'	A	B	'MollaEsmaeil'	A	B	'Ghaleno'	A	B	'BahaAbad'
E	C	'Tafresh'	A	A	'Mood'	A	B	'Gifan'	E	B	'Bahadoran'
A	B	'Talgerd'	A	B	'Moshah1'	C	B	'Gilanqarb1'	A	B	'Bahmaei'
A	B	'Tazareh'	B	B	'Moshah2'	A	B	'Gilvan'	A	B	'Bajestan'
A	D	'TazarehSMA'	A	B	'Nahand'	C	B	'Gisk'	A	B	'Baladeh'
A	B	'TazehAbad'	A	A	'Nahiyeh'	A	A	'Givi'	A	B	'Bam1'
A	B	'Tehran1'	A	C	'Naragh'	B	B	'Golestan'	A	D	'BanMazaran'
A	C	'Tehran10'	A	B	'NasimShahr'	B	C	'Golpayegan'	A	B	'Band'
E	B	'Tehran11'	B	B	'NasrAbad'	A	B	'Gomishan'	E	B	'Bandar-e-Abbas4'
B	C	'Tehran12'	C	B	'Naveh'	C	C	'Gonbad'	C	B	'Bandar-e-Asaluyeh1'
A	B	'Tehran13'	A	B	'Neyshaboor'	A	B	'Gonbad-e-Kavoos'	A	B	'Bandar-e-Dayyer1'
A	D	'Tehran14'	A	B	'Nikshahr'	E	B	'Gonbadli'	A	B	'Bandar-e-Gaz'
A	D	'Tehran15'	A	B	'Niyaraq'	B	B	'Gorgani1'	A	A	'Bandar-e-Kyashahr'
B	C	'Tehran16'	A	B	'Nobaran'	B	B	'GoshtGOS'	A	B	'Bandar-e-Lengeh'
B	D	'Tehran2'	A	C	'NookAbad'	A	A	'GoshtGSH'	A	B	'Bandar-e-Taheri1'
A	B	'Tehran22'	A	B	'NoorAbadMamasani'	A	B	'Govarnagan'	B	B	'Baneh1'
B	C	'Tehran23'	A	B	'Nosood'	A	B	'HadiShahr'	A	B	'Baragan'
B	B	'Tehran26'	A	B	'NosratAbad'	C	B	'Hajib'	A	B	'Basht'
A	B	'Tehran26old'	A	B	'Omidiyeh'	A	B	'Hamedan2'	A	B	'Bayaz'
A	B	'Tehran29'	A	B	'Orumiyeh1'	A	B	'Hana'	E	B	'Bazman'
B	C	'Tehran3'	B	C	'Orzooyeh'	C	B	'HashemAbad'	A	B	'Behbahan1'
B	B	'Tehran32'	C	B	'Palangan'	A	B	'Havigh'	A	B	'Behshahr'
A	C	'Tehran33'	A	B	'Panzdahekhordad'	A	D	'Hidooj'	A	B	'Bistoon'
A	B	'Tehran35'	A	B	'Parand'	A	B	'Hojdak'	C	B	'BoeinSofla'
B	C	'Tehran36'	A	B	'ParsAbad'	A	B	'Hoorand'	A	B	'Bojnoord'
A	B	'Tehran38'	A	B	'Parsabad'	B	C	'Horjand1'	C	C	'Bojnoord1(Universi)'
A	B	'Tehran4'	A	B	'Pataveh'	A	C	'Hosn'	C	B	'BojnoordSMA'
D	C	'Tehran47'	A	B	'Paveh'	A	B	'Idje'	B	B	'Boldaji'
A	B	'Tehran53'	A	B	'Pip'	B	B	'Ilam1'	A	C	'Bookan'
B	B	'Tehran54'	A	B	'PolSefid'	A	B	'InchehBorun'	A	B	'Booshehr1'
B	B	'Tehran58'	A	B	'Polan'	B	C	'Izeh'	A	A	'Booshehr5'
C	B	'Tehran59'	C	B	'Poul'	A	B	'Jahrom'	A	A	'Booshehr3'
A	B	'Tehran60'	B	B	'QaemShahr'	E	B	'Jaleq'	A	B	'Boran-e-olya'
C	B	'Tehran61'	A	B	'QalehRaeisi'	A	B	'JavadAbad'	A	B	'Boroijen'
A	C	'Tehran62'	A	B	'Qalehboland'	A	B	'Javanrood'	A	C	'Borojerd'
B	D	'Tehran63'	A	B	'QaniAbad'	A	B	'Jirandeh'	A	B	'BostanAbad'
A	B	'Tehran69'	A	B	'QarehAghaj'	E	B	'Joftan'	C	C	'Bugar'
A	B	'Tehran70'	A	B	'Qasr-e-Qand'	A	B	'Jolfa'	A	D	'Chabahar'
C	B	'Tehran71'	A	B	'Qasr-e-Shirin1'	E	B	'JoshaghanAstarak'	A	A	'Chaboksar'
A	B	'Tehran72'	A	C	'Qom2'	E	B	'Jovakan'	E	B	'ChahMalek'
C	B	'Tehran73'	A	B	'Qorveh'	E	B	'Kamyaran'	A	B	'Chahardangeh2'
B	B	'Tehran74'	A	B	'QostinLar'	A	A	'Kangavar'	A	B	'ChamanBid'
B	C	'Tehran75'	C	B	'Radekan'	B	B	'Kangaver'	B	C	'ChamanGoli'
B	B	'Tehran76'	A	A	'Rafsanjan'	A	B	'KaniSoor'	B	B	'Changoureh'
C	B	'Tehran78'	A	B	'Ramhormoz'	C	C	'Karaj'	E	B	'Chaykandi'
A	B	'Tehran79'	A	A	'Ramsar'	E	B	'Karaj1'	C	B	'ChehelGhez'
A	B	'Tehran80'	A	B	'Rasht3'	A	B	'Karvandar'	A	B	'ChehelZaree'
E	B	'Tehran81'	A	A	'Rasht4'	A	A	'Kashkooyeh'	A	A	'Chooabar'
A	B	'Tehran82'	A	A	'Rask'	B	B	'Katookan'	A	B	'Dahram'
B	B	'Tehran84'	B	B	'Ravansar'	A	B	'Kazeroon'	A	B	'Daman'
A	B	'Tehran85'	E	B	'Raveh'	A	B	'Kerman1'	A	B	'Damavand'
B	B	'Tehran86'	B	B	'Rayen'	A	B	'Kerman4'	A	B	'Damavand1'
A	B	'Tehran88'	B	D	'RayenSMA'	B	B	'Kermanshah1'	A	B	'Darkhazineh'
B	B	'Tehran89'	A	C	'Raz'	A	B	'Kermanshah2'	B	B	'Daraam'

نشریه پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۷، شماره ۱، ۱۴۰۰.

B	B	'Tehran9'	A	B	'Razeghan'	E	B	'Keshit'	A	B	'Darolmizan'
A	B	'Tehran90'	A	B	'Rezvanshahr'	A	B	'KhafSMA'	A	B	'Darvishi'
B	B	'Tehran91'	A	B	'Richi'	C	C	'Khafri'	A	B	'Dasht-e-Khak'
B	C	'Tehran92'	B	B	'Robot'	A	B	'KhajeAsgar'	B	B	'Degaga'
B	B	'Tehran93'	A	B	'RoodbarRDO'	A	B	'Kharvanagh'	C	B	'DehAli'
A	B	'Torqabe'	A	B	'Roodehen'	A	B	'Khash'	A	B	'DehAzna'
A	B	'Toyrserkan'	A	B	'Roodshour'	A	B	'KhodaBandeh'	B	B	'DehGolan'
A	B	'Toyserkan'	A	B	'RostamAbad'	A	B	'KhoramAbad1'	A	B	'DehReza'
A	B	'VahnAbad'	A	B	'Saadat-shahr'	A	A	'Kia-sar'	C	B	'Deh-dez'
A	B	'ValiAsr'	E	B	'Saaman'	B	B	'Kish'	A	B	'Dehdasht'
A	A	'Vana'	A	B	'SabzGaz'	A	B	'Kiyanshahr'	A	A	'Dehka'
A	B	'Varish'	B	B	'SaeidAbad'	A	B	'KohnehJolgeh'	A	B	'DehlijAbesard'
A	B	'Veshnaveh'	B	C	'SafiAbad'	A	B	'Kohrooyeh'	A	B	'DerakhtToot'
A	B	'Vireh'	A	B	'Sahne'	A	B	'Koloor'	A	B	'Deylaman'
A	B	'YanehSar'	A	B	'Sahneh'	C	B	'Komeh'	B	B	'Dezaj'
C	B	'Yasooj'	A	B	'Salafchegan'	A	B	'Konarak'	A	B	'Dezfool'
A	A	'Yekdar'	A	B	'Salas-e-Babajani'	A	B	'Kondar'	A	B	'Dibaj'
A	D	'Zahedan1'	E	B	'SalehAbadSAL'	A	A	'Kuhrang'	A	B	'Divandarreh'
A	B	'Zanjan1'	B	C	'Sanandaj1'	A	B	'Lahijan'	A	B	'Dizaj'
A	B	'Zanjan2'	B	D	'Sanandaj2'	A	C	'Laeenno'	A	B	'DoAb'
A	B	'Zanjan3'	A	A	'Sanandaj3'	A	B	'LalehZar'	A	B	'Dogonbadan'
A	B	'ZarAbad'	A	B	'Saqez'	A	B	'Landeh'	A	B	'Doobaran2'
A	B	'Zarghan'	B	B	'SarabDoreh'	A	B	'Lar'	A	B	'Dorahan'
B	B	'ZehKelot'	A	C	'Sarableh'	A	B	'Lar2SMA'	C	B	'Douzal'
A	B	'Zenooz'	A	B	'Saravan'	C	B	'Lavasani'	E	A	'Emamkhomaini'
A	B	'Zibashahr'	B	B	'Sarbaz'	A	B	'Lavasani1'	A	B	'Esfandan'
A	C	'Ziyaz'	B	B	'Sarpolezahab'	A	B	'LenjAb'	A	B	'Esfarayan'
A	B	'meymandMMD'	B	B	'Sarpolezahab1'	A	B	'Lenjab'	C	B	'EslamAbad'
B	B	'shabankareh1'	C	B	'SarvAbad'	A	B	'Liqvan'	A	B	'Eslam-AbadELQ'



## Probabilistic estimation of site class for strong motion network stations of Iran using horizontal to vertical ratio of PGA and PSAs

Mohammadreza Najaftomaraei<sup>1</sup>, Habib Rahimi<sup>2\*</sup> and Mohammad Shahvar<sup>3</sup>

1- PhD student, Institute of geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

2- Associate Professor, Institute of geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

3- Assistant Professor, Road, Housing and Urban Development Center (BHRC), Tehran, Iran

Received: 3 November 2019; Accepted: 5 January 2020

Corresponding author: rahimih@ut.ac.ir

### Keywords

#### Classification

Peak ground motion

Pseudo spectral acceleration

Probability density function

Cumulative density function

Iran

Strong motion network

### Extended Abstract

#### Summary

This study is planned to estimate site class of strong motion network stations in Iran. Site classes can be used in different seismic issues such as ground-motion prediction equations. This is carried out using a statistical method. To achieve this goal, after applying our constraints and filters for the entire database (1975-2018) of strong-motion of the Road, Housing and Urban Development Center (BHRC), 3828 records from 1636 events, recorded in 893 unique stations, were handled to determine site class of stations. To that end, for those stations with determined  $V_s$  (30) (388

stations), normal distribution, probability density function (PDF) and cumulative density function (CDF) of natural logarithm of horizontal-to-vertical ratio (H/V) of PGA and PSAs at 24 periods were acquired, which fulfilled as the foundation of the classification of the rest 505 stations.

### Introduction

Site class can be a basic and major parameter in assessing the dynamic characteristics of soils and is widely manipulated in different seismic and geotechnical matters. The Iranian plateau is noticed as one of the very seismically active areas of the world that is located on the Alpine-Himalayan orogenic belt, and is tectonically complex with structures that are different in density, velocity, etc. To circumvent the trouble of soil sampling problems and avert the requirement of boreholes, here in this research, further procedure of estimating site class is suggested that is built on probabilistic prediction.

### Methodology and Approaches

HVSR (horizontal to vertical spectral ratio) of earthquake motions is related to soil status. The natural logarithm of horizontal-to-vertical ratio of PGAs and PSAs at several periods that is supposed to be a random variable and normally scattered, was used in this study. The correctness of this presumption was also examined. After classification of sites with known  $V_s$  (30), in accordance with existing  $V_s$  (30), a lognormal distribution of PGA and PSAs, their probability density functions (PDFs) and cumulative density functions (CDFs) were acquired in each class and period. Using this information, the classification was carried out for those sites with unspecified  $V_s$  (30).

### Results and Conclusions

Based on a probabilistic procedure, site classification of Iranian strong ground motion stations was made. As a conclusion, 505 sites with unknown  $V_s$  (30) considered in this study were grouped in four classes: 34 sites were placed into class A, 406 sites into class B, 48 sites into class C and 16 sites were placed into class D. Estimated  $V_s$  (30) range of these 505 stations was from 258 m/s to 2142 m/s.