



بررسی تغییرات Vs^{30} و رده بندی لرزه‌ای خاک در شمال شهر مشهد

محمدغفوری^۱، غلامرضا لشکری پور^۱، ناصر حافظی مقدس^۲، روزبه یزدانفر^۱، مجید اکبری^۱

(۱) گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

(۲) گروه زمین شناسی دانشگاه صنعتی شاهرود

چکیده:

خطرات لرزه ای معمولا تحت تاثیر نوع خاک قرار می گیرد. چرا که خاک ها بنا به ویژگیهایشان قادرند جنبش های نیرومند زمین را میرا با تقویت نمایند. بنابراین سطح لرزش زمین در یک ساختمان بسته به نوع خاک در طی یک زمین لرزه فرضی متغیر خواهد بود. مقادیر سرعت متوسط موج برشی در سی متر اول (Vs^{30}) به عنوان یک عامل نشان دهند توانایی بالقوه ساختمان در تقویت یا عدم تقویت امواج لرزه ای پذیرفته شده است و اکثر آیین نامه های ساختمانی در سرتاسر دنیا طبقه بندی ساختمان را بر مبنای این فاکتور بنا نهاده اند. بر این اساس با استفاده از داده های N-SPT از گمانه های موجود در شمال شهر مشهد ابتدا رابطه ای بین عدد SPT و سرعت موج برشی بدست آمد، گمانه های بیش از ۲۸/۵ متر عمق داشتند انتخاب گردیدند. برای گمانه های انتخابی سرعت موج برشی برای اعماق مختلف بدست آمد و با استفاده از رابطه $vs^{30} = ndi/ndi/vi$ مقدار Vs^{30} برای هر گمانه محاسبه شد. خاک های منطقه بر مبنای استاندارد ۲۸۰۰ ایران رده بندی گردیدند که سه رده خاک در این گستره شناسایی گشت. ولی غالب منطقه را خاک های رده II با ۸۸ درصد گستردگی تشکیل می دادند. نقشه پهنه بندی Vs^{30} رسم و تغییرات آن در طول سه مسیر انتخابی بررسی گردید.

کلمات کلیدی: سرعت موج برشی، Vs^{30} ، عدد SPT، رده بندی خاک

Vs^{30} investigation and Soil Seismic Classification in the North of Mashhad

Soil Type strongly affects earthquake hazards, soils may amplify or de-amplify ground motions. Therefore, the actual level of ground shaking experienced at a given site from a given earthquake varies with Soil Type. The average of shear wave velocity in the first 30 m was accepted as a factor which identifies the sites potential in amplifying or de-amplifying of the seismic waves. The major building codes in throughout the world classify the sites on the basis of this factor. Therefore in the north of Mashhad by using available boreholes with more than 28.5 depth N-SPT data first a relation was established between SPT value and shear wave velocity, then from available boreholes in the area those which had more than 28.5 depth were selected for this study. For selected boreholes shear wave velocity was calculated in different depths and Vs^{30} values were obtained by using of $vs^{30} = ndi/ndi/vi$ formula for every borehole. Soils in this area were classified according to Iranian Code of Practice for Seismic Resistance Design for Buildings: Standard No: 2800-5. Therefore three types of soil were identified in the study area. The most parts of this area are covered by type II soils with 88 percent extent. Vs^{30} zonation map was plotted and its variation is considered along three selected scan lines.

Keywords: shear wave velocity, Vs^{30} , N-SPT, soil classification



مقدمه:

ساخت و ساز در شهرها بایستی روی خاک‌های مناسب انجام گیرد و از این رو تحقیقات و مطالعات زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیکی بایستی قبل از آماده نمودن طرح ساخت نواحی شهری برای ساخت و ساز امن و مناسب انجام پذیرد. بخش قابل توجهی از خرابی‌های مشاهده شده در زمین لرزه‌های مخرب سراسر دنیا ناشی از تقویت امواج لرزه‌ای در نتیجه اثرات محلی ساختگاه می‌باشد.

وجود نهشته‌های رسوبی تحکیم نیافته در بخش کم عمق ساختار زمین‌شناسی ممکن است باعث افزایش خطر لرزه‌ای شود که علت آن احتمالاً تقویت امواج لرزه‌ای در برخی باندهای فرکانسی به دلیل تفاوت سرعت امواج در مصالح سخت و نرم می‌باشد. برای ساختگاه‌های واقع بر روی این نهشته‌ها، دامنه و دوام جنبش زمین در برخی باندهای فرکانسی ممکن است چندین برابر ساختگاه‌های واقع بر روی سنگ باشد (میر حسینی و عارف پور، ۱۳۸۳). چرا که نهشته‌های نرم قادرند به طور قابل توجهی محتوی دامنه، پیروید و دوام جنبش زمین را متأثر سازند.

در مناطق با نرخ لرزه‌خیزی کم، که خطر لرزه‌ای بالایی دارند، تعیین ویژگی‌های لرزه‌ای بسیار حائز اهمیت است. این امر بویژه در مناطق شهری که بر روی خاک نرم، بنا شده‌اند و قابلیت تقویت حرکات زمین را دارا هستند قابل توجه است. تمامی این موارد اهمیت تعیین ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی خاک‌ها را که روی ورودی‌های لرزه‌ای اثر گذاشته و خروجی‌هایی متأثر از ویژگی‌های خود و مؤثر در میزان تقویت حرکات زمین ارائه می‌کنند را نشان می‌دهد.

تئوری پیشرفت موج پیشنهاد می‌کند که دامنه جنبش نیرومند زمین به دانسیته و سرعت موج برشی مصالح نزدیک سطح زمین بستگی دارد. دانسیته همراه با عمق تغییرات جزیی را از خود نشان می‌دهد در حالیکه سرعت موج برشی تغییرات واضح‌تری را نشان داده و از این رو انتخاب منطقی - تری برای نشان دادن شرایط ساختگاه می‌باشد (Inzaki, 2005). مقادیر سرعت موج برشی لایه‌های خاک متغیرهای مهمی برای تعیین اثرات خاک بر روی ویژگی‌های امواج لرزه‌ای هستند. (Avdan et al., 2006). شرایط محلی خاک ویژگی‌های لرزه‌ای خاک را تغییر داده به طوریکه در طی یک زمین‌لرزه فرضی اگر خاک سرعت موج برشی و تحکیم یافتگی پائینی داشته باشد و به علاوه نزدیک سطح زمین واقع شده باشد (کمتر از ۵۰ متر) تغییر شکل خاک به علت تغییر شکل زیاد امواج S در خاک، قابل توجه خواهد بود. پارامتر VS^{30} به عنوان نسبت ۳۰ متر به زمان مورد نیاز برای پیشرفت امواج برشی قائم در کل مسیر ۳۰ متری از پایین تا سطح زمین در نظر گرفته می‌شود. بر اساس مطالعات تجربی بورچردت و گلاسمویر (۱۹۹۴)، بورچردت (۱۹۹۴) VS^{30} را به عنوان ابزاری جهت طبقه بندی ساختگاه به منظور استفاده در آیین‌نامه‌های ساختمانی پیشنهاد نمود. (Mucciarelli and Gallipoli, 2006).

در این مقاله ویژگی‌های خاکهای مشهد بر اساس داده‌های ژئوتکنیکی موجود مورد بررسی قرار گرفته و از روی مقادیر عدد SPT، سرعت موج برشی متوسط در هر پروفیل خاک به دست آمده است. در نهایت خاک‌ها بر اساس سرعت موج برشی متوسط در ۳۰ متری (VS^{30}) رده‌بندی گردیده‌اند.

منطقه مورد مطالعه و معرفی آن

منطقه مورد مطالعه در شمال شهر مشهد واقع گردیده است. این شهر بر روی دشتی پوشیده از نهشته های آبرفتی کواترنری بین ارتفاعات کپه داغ (در شمال) و بینالود (در جنوب) قرار گرفته است. مهمترین عارضه فیزیوگرافی دشت مشهد رودخانه کشف رود است که مسیر غربی - شرقی را در طول دشت طی نموده و نهشته های آبرفتی این دشت حاصل فعالیت این رودخانه و سیلاب های فصلی سرشاخه های حوزه آبریز این رودخانه می باشند.

بیشترین ضخامت رسوبات نهشته شده در این دشت حدود ۲۵۰ متر بوده که بر اساس سن می توان آنها را به سه گروه سازند آبرفتی هزار دره، آبرفت های جوان دشت مشهد و آبرفت های عهد حاضر یا هولوسن تقسیم نمود (بربریان و همکاران، ۱۳۷۸). نهشته های قدیمی تر در پای کوه ها برونزد داشته و به سمت پایین ارتفاعات محو گشته و رسوبات جوانتر کواترنری قابل مشاهده می باشند بر اساس مطالعه عکسهای هوایی و بررسیهای ژئوتکنیکی انجام شده که بافت خاک شهر مشهد از جنوب به طرف شمال و از شرق به طرف غرب ریز دانه می شود.

ویژگی های زمین شناسی مهندسی خاک ها

ویژگی های الاستیک مواد نزدیک سطح و اثرات آنها روی پیشرفت موج لرزه ای در مهندسی زلزله و مطالعات علوم زمین بسیار حائز است. افزایش دامنه در رسوبات نرم یکی از مهمترین عوامل مسئول تقویت حرکات زمین لرزه است (Kanl et al., 2006). تقویت متناسب است با:

$$\frac{1}{\sqrt{v_s * p}} \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه V_s سرعت موج برشی و P دانسیته خاک مورد بررسی است. از آنجا که تغییرات دانسیته با عمق نسبتاً ثابت است، مقدار V_s می تواند برای نشان دادن شرایط ساختگاه مفید باشد.

سرعت موج برشی عامل مؤثری در رفتار دینامیکی خاک در بخش های کم عمق محسوب می گردد. از این رو یکی از روش های تعیین ویژگی ساختگاه در محاسبات خطر لرزه ای معمولاً بر اساس مقادیر سرعت موج برشی نزدیک سطحی استوار است. سرعت برشی لایه های سطحی به صورت متداول از پی جویی های لرزه ای در گمانه ها مانند روش بین چاهی و درون چاهی برآورد می شود. یک کمیت بسیار مهم برای مطالعات خطر لرزه ای و پهنه بندی آن، متوسط سرعت موج برشی در ۳۰ متر بالایی نهشته هاست، که به V_s^{30} معروف بوده و نشانگر تقویت جنبش نیرومند زمین و خطر بالقوه در حوزه های پر شده است (Scott et al., 2006).

V_s^{30} در بسیاری از آیین نامه های ساختمانی مانند استاندارد ۲۸۰۰ ایران، NEHRP، UBC97، Euro code 8 و IBC2003 برای طبقه بندی لرزه ای ساختگاه بکار گرفته شده است. فرض پایه بر این است که ساختگاه های دارای یک نوع پروفیل خاک، رفتار مشابهی در طی یک زمین لرزه خواهند داشت.



اولین سری از آزمایش‌های برجای ژئوتکنیکی که معمولاً جهت شناسایی لایه‌بندی و ویژگی‌های زمین شناسی مهندسی خاک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، آزمون‌های نفوذ استاندارد می‌باشند.

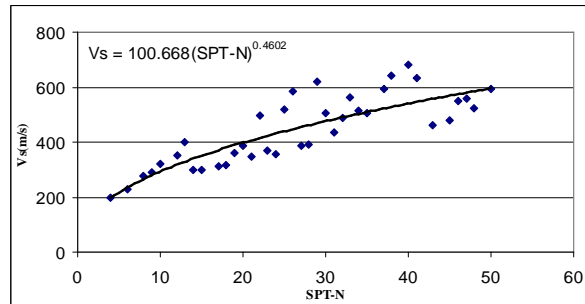
تعیین Vs^{30} از روی ویژگی‌های زمین شناسی مهندسی

جهت بررسی ویژگی‌های مهندسی خاکهای بستر شهر مشهد در ناحیه مورد بررسی داده‌های موجود در این محدوده که برای ارزیابی جنبه‌های ژئوتکنیکی موجود بودند، مورد بررسی قرار گرفتند. داده‌های ژئوتکنیکی و SPT مربوط به گمانه‌هایی است که برای کارهای عمرانی در سطح شهر مشهد قبلاً توسط شرکت‌های مختلف حفر شده‌اند.

گمانه‌های مورد بررسی از آنجا که برای اهداف مختلف حفاری شده بودند دارای توزیع مکانی پراکنده‌ای بوده و نظم خاصی نداشتند. عمق گمانه‌ها از ۶ تا ۴۳ متر متغیر بوده و از لحاظ جنس نیز تنوعی از خاک‌ها در گمانه‌های مختلف و در اعماق مختلف قابل مشاهده است.

N-SPT نشانه‌ای از میزان تراکم، دانسیته نسبی، چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی خاک‌های محل می‌باشد (معماربان، ۱۳۷۴). کاربرد SPT در مسائل ژئوتکنیک لرزه‌ای عمدتاً جهت در نظر گرفتن آن به عنوان پارامتری برای برآورد سرعت موج برشی در آن پروفیل خاک است. در مناطق مختلف دنیا روابط زیادی راجع به ارتباط N-SPT و سرعت موج برشی ارائه شده است. که این روابط بیشتر به صورت محلی قابل استناد بوده و برای خاک هر محل بهتر است تا رابطه‌ای بین این دو مقدار بر اساس داده‌های موجود بدست آید. بدین منظور از ۲۱ گمانه‌ای که در راستای طرح ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای شهر مشهد در نقاط مختلف شهر تعریف و اجرا شده بودند، استفاده گردید (حافظی مقدس و همکاران، ۱۳۸۶).

این گمانه‌ها در نقاط مختلف شهر حتی در خارج از محدوده مورد مطالعه نیز وجود داشته و دارای اطلاعات بیشتری نسبت به سایر گمانه‌ها بودند. در این گمانه‌ها N-SPT برای اعماق مختلف و برای خاک‌های با جنس و دانسیته متفاوت موجود می‌باشد. همچنین در این گمانه‌ها آزمون ژئوفیزیکی درون چاهی برای برآورد سرعت موج برشی در اعماق مختلف آنها انجام گردید. از روی داده‌های SPT و سرعت موج برشی ۲۱ گمانه رابطه‌ای بین N-SPT و سرعت موج برشی توسط حافظی مقدس و همکاران بدست آمد. نمودار نشان دهنده رابطه این دو کمیت در شکل ۱ نشان داده شده است. این رابطه جهت برآورد سرعت موج برشی برای سایر گمانه‌ها استفاده گردید. و سرانجام سرعت متوسط موج برشی در گمانه‌های مختلف تا عمقی که حفاری شده بودند از رابطه ۲ بدست آمد (Pérez Marcial و Kayen, 2005).



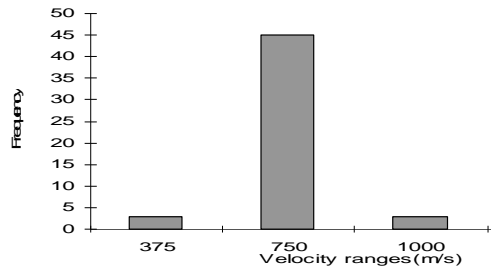
برای تمام انواع خاکها در مشهد (حافظی مقدس و همکاران، ۱۳۸۶) V_s^{30} و N-SPT رابطه بین

$$\bar{V}_s^{30} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{v_i}} \quad \text{رابطه ۲}$$

که در این رابطه \bar{V}_s^{30} سرعت موج برشی متوسط تا عمق ۳۰ متر، d_i میزان ضخامت در i امین لایه و v_i سرعت موج برشی در i امین لایه می‌باشند.

در این مطالعه تعداد ۱۷۵ گمانه مورد بررسی قرار گرفت، که از این میان ۵۱ گمانه با عمق بیش از ۲۸/۵ متر، انتخاب گردیدند و برای آنها سرعت متوسط موج برشی در عمق ۳۰ متری بر اساس رابطه فوق بدست آمد که حداقل و حداکثر سرعت موجی برشی به ترتیب ۳۱۷ و ۹۶۳ متر بر ثانیه می‌باشند. در استاندارد ۲۸۰۰ ایران ساختگاه‌ها بر اساس سرعت متوسط موج برشی در سی متری (\bar{V}_s^{30}) به ۴ گروه تقسیم شده و بر همین اساس ساختگاه‌های خاکی و سنگی نیز از یکدیگر قابل تفکیک می‌باشند، که اگر با توجه به این تقسیم بندی، سه رده خاک قابل تقسیم بندی گردیده می‌باشد که عبارتند از:

- خاکهای رده I با \bar{V}_s^{30} بیشتر از ۷۵۰ متر بر ثانیه.
 - خاکهای رده II با \bar{V}_s^{30} کمتر از ۷۵۰ و بیشتر از ۳۷۵ متر بر ثانیه.
 - خاکهای رده III با \bar{V}_s^{30} کمتر از ۳۷۵ متر بر ثانیه.
- نمودار فراوانی داده‌های سرعت با بازه‌های ذکر شده برای رده بندی بالا گویای این مطلب است که قسمت عمده خاک‌های منطقه (حدود ۸۸ درصد) در رده II قرار می‌گیرند و حدود ۱۲ درصد باقیمانده را خاکهای رده‌های I و III با توزیع برابر تشکیل می‌دهند.

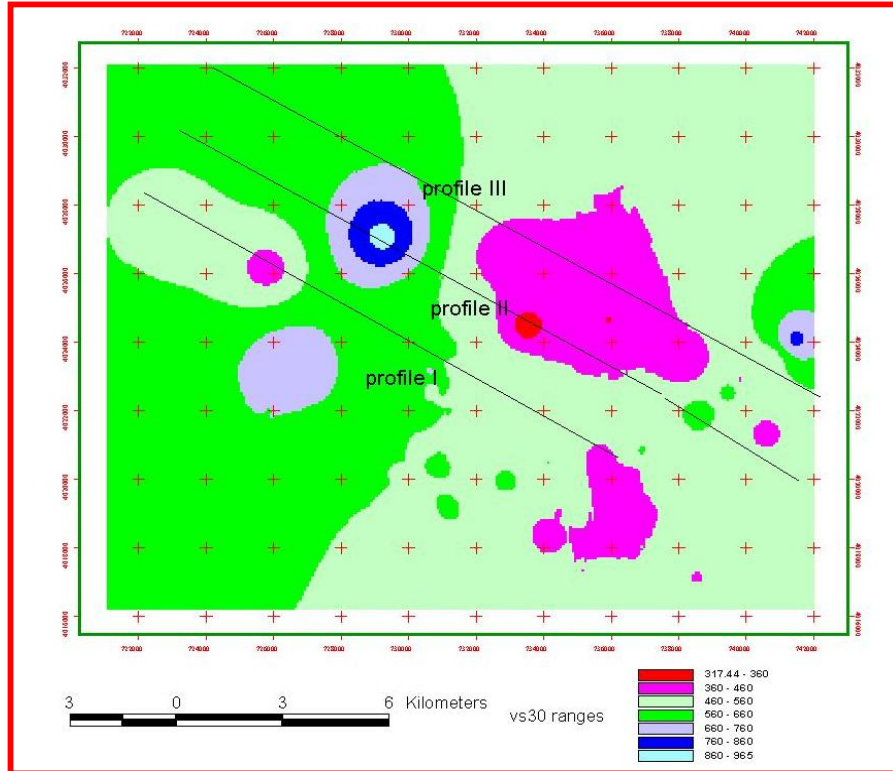


شکل ۲- نمودار فراوانی رده های Vs^{30} در گستره مورد مطالعه

بنابر استاندارد ۲۸۰۰ ایران خاکهای رده II شامل خاکهای سخت (شن و ماسه متراکم، رس بسیار سخت) با ضخامت بیش از ۳۰ متر می باشند (استاندارد ۲۸۰۰) و ویژگی خاکهای این رده عیناً مطابق دستورالعمل NEHRP می باشد.

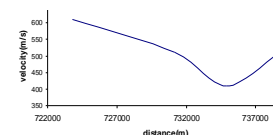
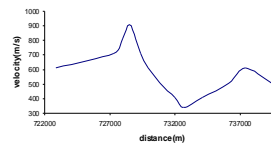
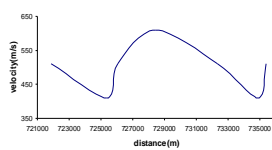
برای نشان دادن توزیع مقادیر سرعت در سطح منطقه با استفاده از داده های موجود نقشه تغییرات سرعت تهیه گردید. که در روی این نقشه، جهت نمایش جزئی تر و دقیق تر تغییرات سرعت در گستره مورد مطالعه، تقسیم بندی مقادیر سرعت با بازهای ۱۰۰ تایی، انجام پذیرفت. در همین راستا جهت پی جویی تغییرات Vs^{30} در گستره مورد بررسی سه مسیر در نظر گرفته شد که در طول این سه مسیر، سه پروفیل برای نشان دادن نحوه تغییرات Vs^{30} نیز رسم گردید. در شکل ۳ نقشه و مسیرهای مورد بررسی و تغییرات سرعت نمایش داده شده است.

همانطور که در این شکل مشاهده می شود نقشه پهنه بندی بر می آید تغییرات Vs^{30} روند منظمی را نشان نمی دهد که دلیل این امر تاریخچه زمین شناسی نهشته های آبرفتی موجود، شدت و ضعف سیلاب ها و عوامل موثر در تحکیم یا تراکم که از زمان تشکیل این نهشته ها تا به امروز آنها را متاثر نموده اند، می باشد.



شکل ۳- نقشه توزیع سرعت در گستره مورد بررسی با باز های ۱۰۰ تایی به همراه نمایش مسیرهای پروفیل های در نظر گرفته شده

تغییرات سرعت موج برشی متوسط در طول هر کدام از مسیر های مورد بررسی به صورت پروفیل ۱، ۲ و ۳ در شکل ۴ نشان داده شده است.



الف) پروفیل ۱

ب) پروفیل ۲

ج) پروفیل ۳

شکل ۴- پروفیل های نشان دهنده تغییرات vs^{30}



این سه پروفیل از آن جهت انتخاب گشته اند که در گستره مورد بحث تغییرات Vs^{30} در جهت طولی مشخص تر است. همانطور که در پروفیل‌ها مشاهده می‌شود که روند تغییرات Vs^{30} منظم نبوده و دایما در طول مسیر تغییر می‌کند. از آنجا که Vs^{30} تابعی از ویژگی‌های ژنتیکی خاک (جنس، اندازه و دانسیته ذرات تشکیل دهنده، و محیط رسوبگذاری) و عوامل تاثیر گذار بعدی (میزان تحکیم و تراکم) است، تغییرات آن در یک مسیر کوتاه می‌تواند مؤثر این مطلب باشد که ویژگی‌های خاک حتی در یک فاصله خیلی کم می‌تواند به شدت متغیر و غیر قابل پیش بینی باشد. این پیچیدگی عامل متغیر بودن رفتار دینامیکی خاک در فواصل نزدیک می‌باشد که میتواند باعث تقویت یا میرایی انرژی لرزه ای گردد. تمام این موارد گواه این هستند که بررسی رفتار دینامیکی ساختمانها در نواحی شهری باید با وسواس و دقت بیشتری انجام گیرد که این امر لزوم اجرای ریز پهنه بندی لرزه ای جهت شناخت بیشتر پارامترهای دینامیکی و استاتیکی ساختمانها در مقیاس کوچکتر و فواصل کوتاهتر در نواحی شهری را توجیه می‌نماید.

نتیجه گیری:

رده بندی خاک ها در منطقه مورد مطالعه بر مبنای استاندارد ۲۸۰۰ ایران نشان می‌دهد که بخش اعظم منطقه را خاک های رده II، خاکهای با vs^{30} بین ۳۶۰ تا ۷۶۰ متر بر ثانیه تشکیل می‌دهند. تقسیم بندی vs^{30} با بازه های ۱۰۰ تایی نشان دهنده نامنظم بودن روند تغییرات و عدم پیروی از جهت گیری خاصی است که حاکی از پیچیدگی نسبی محیط زمین شناسی در گستره مورد بررسی می‌باشد.

منابع:

- آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰-۸۴، ویرایش سوم، انتشارات مرکز تحقیقات مسکن، شماره نشریه: ض-۲۵۳، ۱۳۵ صفحه.
- حافظی مقدس، ناصر، ۱۳۸۶، بررسی رابطه تجربی بین سرعت موج برشی و عدد نفوذ استاندارد در گستره شهر مشهد بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- معماریان، حسین، ۱۳۷۴، زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک، انتشارات دانشگاه تهران، ۸۵۰ صفحه.
- میر حسینی، م. عارف پور، ۱۳۸۳، مهندسی ژئوتکنیک لرزه ای، انتشارات پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۸۵۰ صفحه.
- Avdan,U;Tün,M;Pekkan,E;Altan,M.,2006," Analysis of Urbanization Change According to NEHRP Soil Classification Map", Poster presented at the 9th AGILE Conference on Geographic Information Science, Visegrád, Hungary.
- Pérez Marcial,E.J.2005., "Ground Response Spectra At Surface For Mayagüez Considering In-Situ Soil Dynamic Properties", Thesis, Master In Science,Civil Engineering,University Of Puerto Rico,Mayagüez Campus.
- Inazaki,T., " Relationship Between S-Wave Velocities And Geotechnical Properties Of Alluvial Sediments".
- Ismet Kanl,A;Tildy,P;Prónay,Z;Pinar;A; Hermann,L.,2006." VS30 mapping and soil classification for seismic site effect evaluation in Dinar region, SW Turke", *Geophys J Int*,165, 223-235, doi: 10.1111/j.1365-246X.2006.02882.x.



- J.B. Scott;M. Clark;C. Lopez; A. Pancha;T. Rasmussen;S.B. Smith;W. Thelen;J.N.Louie4," Three Urban Transects Of Shallow Shear-Velocity Using The refraction Microtremor Method.
- Kayen,R;Carkin,B;Minasian,D;Tinsley,J.2005., "Shear Wave Velocity Of The Ground Near Southern California TRINET Sites Using The Spectral Analysis Of Surface Waves Method (SASW) And Parallel-Arrayed Harmonic-Wave Sources", U.S. Geological Survey, Menlo Park, Ca 94025, Open-File Report 2005-1365.
- Mucciarelli,M Gallipoli,M.R.2006., " Comparison Between Vs30 And Other Estimates Of Site Amplification In Italy", First European Conference On Earthquake Engineering And Seismology, Paper Number: 270.