Archive of SID

جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، شماره ۲۶، بهار ۱۳۹۷
وصول مقاله : ۱۳۹۶/۳/۱۷
تأیید نهایی : ۱۳۹۶/۹/۱۵
صفحات : ۱۲۲ - ۱۰۷

پهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای گسترهٔ شهر سمنان براساس نتایج آزمایش‌های ژئوفیزیکی

دکتر حامد جاودانیان[۱]، دکتر عبدالحسین حداد[۲] ، علیرضا میرنژاد [۳]

چکیده

پهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای به‌عنوان یکی از فاکتورهای لازم درجهتِ آمایش و توسعهٔ مناطق، قادر به ارائهٔ اطلاعات ارزشمندی از نواحی شهری مورد مطالعه است. در این پژوهش، براساس مجموعهٔ وسیعی از نتایج آزمایش‌های ژئوفیزیکی شهر سمنان، نقشه‌های هم‌سرعت موج برشی و همچنین نقشه‌های هم‌عمق برای سرعت موج برشی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS ارائه شده است. با استفاده از نقشه‌های هم‌سرعت موج برشی، عمق سنگ بستر لرزه‌ای با سه معیار متفاوت برای گسترهٔ شهر سمنان تعیین شد. ژرفای سنگ‌بستر لرزه‌ای در این گستره براساس استاندارد ۲۸۰۰، از حدود ۵ تا ۳۰ متر اندازه‌گیری شده است. با استفاده از این پهنه‌بندی‌ها مشخص شده است که مناطق جنوب شرقی شهر سمنان بنابر ماهیت و نوع آبرفت آن منطقه دارای بیشترین ژرفا و مناطق شمال شرقی دارای کمترین ژرفای سنگ‌بستر لرزه‌ای است. میانگین سرعت موج برشی تا ژرفای ۳۰ متر، بین ۴۲۷ تا ۸۰۴ متر بر ثانیه متغیّر است. به‌طورِ کلی با پیشروی از مناطق شمالی به‌سمتِ مناطق جنوبی شهر، میانگین سرعت موج برشی کاسته شده و عمق سنگ‌بستر لرزه‌ای نیز افزایش می‌یابد. در ادامه با استفاده از نتایج حاصل از این پژوهش و براساس استاندارد ۲۸۰۰ و همچنین آیین نامهٔ اروپا به رده‌بندی زمین پرداخته شد. نتایج نشان می‌دهد که گسترهٔ شهر سمنان با توجه به استاندارد ۲۸۰۰ غالباً در گروه II و براساس آیین‌نامهٔ اروپا، به‌طورِ عمده در گروه B رده‌بندی می‌شود.

کلید واژگان: هنه‌بندی، ژئوتکنیک لرزه‌ای، آزمایش ژئوفیزیکی، ArcGIS، سمنان.

۱- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهرکرد (نویسنده مسؤول) javdanian@eng.sku.ac.ir
۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان ahadad@semnan.ac.ir
۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی ژئوتکنیک، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان alirezamirnezhad@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

با توسعه و گسترش روزافزون شهرها در مناطق لرزه‌خیز از جهات جمعیتی، اقتصادی، سیاسی و اجتماعی، آسیب‌پذیری این شهرها درمقابل زمین‌لرزه‌های مخرّب روبه‌افزایش است. صدمات جانی و مالی گسترده‌ای که در اثر وقوع زلزله در این مناطق متوجه ساختار اجتماعی و اقتصادی کشور می‌شود، ضرورت تلاش همه‌جانبه را برای کاهش این خطر ایجاب می‌کند. یکی از عمده‌ترین فعالیت‌ها درجهتِ کاهش خطرات ناشی از زلزله و افزایش ایمنی عمومی که خود از اساسی‌ترین نشانه‌های موفقیت‌آمیزبودن اجرای ضوابط آمایش سرزمین به‌شمار می‌آیند، مطالعات پهنه‌بندی (کوکبی و قدیری معصوم، ۱۳۹۱: ۳۵؛ میمندی پاریزی و کاظمی‌نیا، ۱۳۹۴: ۱۲۹) لرزه‌ای براساس شرایط زیرسطحی زمین‌شناسی در مناطق شهری است (مشکسار و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۸۰) که بایستی در مقیاس مناسب و مطلوب صورت پذیرد. اولین گام در شناخت پدیده‌های محیط اطراف جمع‌آوری داده‌های مرتبط با آن پدیده است و در گام‌های بعدی می‌توان با پردازش داده‌ها، میزان آگاهی از پدیده‌ها را گسترش داد (هاشمی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱). پهنه‌بندی لرزه‌ای در تعیین کاربری شهری، جایابی سازه‌های مهم و تأسیسات و شریان‌های حیاتی شهری، طراحی و اجرای سازه‌ها، مدیریت بحران در حین وقوع زلزله و نظایر آن مورد استفاده قرار می‌گیرد (قائدرحمتی، قانعی بافقی، ۱۳۹۱: ۲۸). با توجه به اینکه خرابی‌ها و صدمات وارده به ساختمان‌ها و تأسیسات در زمین‌لرزه‌های مخرب عمدتاً تابع شرایط زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی بستر است، محور اصلی پروژه‌های پهنه‌بندی لرزه‌ای مطالعات ژئوتکنیکی و زمین‌شناسی است (Eker, et al; 2012: 67). تعیین ویژگی‌های زمین‌شناسی ساختگاه، علاوه‌بر ارائهٔ دید کلی‌ازوضعیت‌ژئوتکنیکی‌منطقهٔ‌موردمطالعه،ابزارمناسبی رابرای‌مطالعات‌اولیه‌پروژه‌های‌عمرانی‌فراهم‌می‌کند.

به‌دلیلِ وجود صنایع و اهمیت ژئوپلیتیکی، شهر سمنان به‌عنوان یکی از شهرهای مهم کشور محسوب می‌شود. با وجود گسل‌های فراوان در منطقهٔ سمنان (Haddad et al., 2017: 33) و احتمال بروز مخاطرات طبیعی، شناخت هرچه بیشتر عوامل درگیر با این پدیده ضرورت پیدا می‌کند. در این مطالعه براساس نتایج حاصل از گمانه‌های مطالعاتی در گسترهٔ شهر سمنان و آنالیز آماری مقادیر سرعت موج برشی به پهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای این منطقه پرداخته شد. نقشه‌های هم‌سرعت موج برشی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS ایجاد شد. در ادامه نیز رده‌بندی زمین در گسترهٔ مورد مطالعه انجام شد. نتایج حاصل می‌تواند نقش بسزایی در تصمیم‌گیری دربارهٔ محل و چگونگی اجرا و همچنین طراحی پروژه‌های عمرانی در منطقهٔ مورد نظر ایفا کند.

منطقهٔ مورد مطالعه

محدودهٔ مورد مطالعهٔ شهر سمنان و در طول جغرافیایی ۵۳ درجه و ۲۳ دقیقه، عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه و ارتفاع ۱۱۳۲ متر از سطح دریاست. منطقهٔ مورد مطالعه در این پژوهش در بیضی‌وار مبنای WGS۸۴ و در سیستم مختصات جغرافیایی UTM در قسمت ۳۹ شمالی، در محدوده‌ای با طول شرقی ۷۱۳۰۰۰ تا ۷۲۱۰۰۰ و عرض شمالی ۳۹۳۷۰۰۰ تا ۳۹۴۳۰۰۰ قرار گرفته است (Javdanian et al., 2017:75).

مطالعات زمین‌شناسی محدودهٔ سمنان نشان می‌دهد که قدیمی‌ترین تشکیلات از سنگ‌های پالئوزوئیک تا آبرفت‌های کوارترنری در این منطقه وجود دارد. رسوبات دورهٔ ترشیاری از سمنان تا آهوان و طبقات گچ‌دار در شمال سمنان دیده می‌شوند. سنگ‌های دوران کواترنری نیز از کوه‌های شمالی تا دشت کویر دیده می‌شوند. شهر سمنان در دامنه‌های جنوبی رشته‌کوه البرز و در حاشیهٔ شمالی کویر بزرگ قرار داشته، لذا از نگاه زمین‌شناسی به دو پهنهٔ ساختاری البرز (مرکزی) و ایران مرکزی تعلق دارد. در شمال سمنان گسل سمنان به‌عنوان مرز جداکنندهٔ البرز از ایران مرکزی شناخته شده است. درحالی‌که در ۳۰

www.SID.ir

Archive of SID

کیلومتری شرق سمنان، گسل عطاری، مرز دو پهنهٔ ساختاری رسوبی ایران مرکزی معرفی شده است. گسل‌های سمنان و عطاری دو عامل تکتونیکی عمده بوده که درجهتِ تقریبی شمال خاوری، جنوب باختری از بخش‌های شمالی شهر سمنان عبور می‌کنند (آقانباتی، ۱۳۸۵: ۳۳۴). داده‌های منطقه‌ای و به‌ویژه مقایسهٔ زمین‌شناسی نواحی واقع در شمال (البرز) و جنوب (ایران مرکزی) گسل‌های سمنان و عطاری نشان می‌دهد که تفاوت‌های زمین‌شناسی چندان آشکاری بین بخش شمالی شهر سمنان (البرز) و بخش جنوبی آن (ایران مرکزی) وجود ندارد. به‌عبارت‌دیگر، بخش البرز شهر سمنان درواقع چین‌های حاشیه‌ای ایران مرکزی هستند و تکتونیک بلوکی و حوضه‌های رسوبی محدود به قسمت‌های گسلی سبب شده تا در لیتولوژی و ضخامت واحدهای سنگ‌چینه‌ای هم‌سن و هم‌زمان تفاوت‌هایی ایجاد شود. بخش جنوبی شهر سمنان به‌صورت یک حوضهٔ فروافتادهٔ جوان است که با توالی نسبتاً ضخیمی از مارن، سنگ ماسه و کنگلومرا حاوی گچ و یا نمک فراوان پوشیده شده است. این گستره همچنین حاوی پوسته‌های نمکی یا محلول‌های حاوی املاح معدنی سولفات و سدیم و پتاسیم است که گاهی ارزش اقتصادی درخور توجه دارند (درویش‌زاده، ۱۳۹۲: ۴۳۴).

براساس راهنمای پهنه‌بندی لرزه‌ای، گسترهٔ شهر سمنان به پهنه‌های مربع‌شکل به ابعاد ۱×۱ کیلومتر تقسیم‌بندی شد. برای تعیین پروفیل خاک هر واحد، از اطلاعات حفاری گمانه‌های موجود استفاده شد. در این پژوهش، از اطلاعات ۳۵ گمانه ژئوفیزیکی که توسط مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی انجام شده است، استفاده شد. جانمایی گمانه‌ها در شکل (۱) آمده است.

متدولوژی پژوهش

در این پژوهش از از نرم‌افزار ArcGIS 10.2 (ESRI, 2013:1) استفاده شده است. نرم‌افزار ArcGIS (ثنایی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۰۲؛ شجاعیان و علیزاده، ۱۳۹۳: ۱۲۹) این امکان را می‌دهد که داده‌ها، نقشه‌ها، خصوصیات و غیره، به‌صورت لایه‌ای روی هم قرار گیرند. سپس با توجه به نیاز کاربر، پروسهٔ بعدی روی داده‌ها انجام شود. مهم‌ترین ویژگی داده‌هایی که در نرم‌افزار ArcGIS ذخیره می‌شوند، مختصات‌دار بودن آنهاست؛ یعنی هر عارضه خواه یک نقطه یا یک خط یا یک سطح، برای قرارگیری در سیستم اطلاعات جغرافیایی بایستی دارای مختصات جغرافیایی باشد. سیستم‌های مختصاتی مختلفی وجود دارند، که هریک با هدف‌های خاص طراحی شده‌اند. در مطالعهٔ پیشِ‌رو از سیستم مختصاتی UTM استفاده شده است. مقادیر سرعت موج برشی (V_s) از گزارش آزمایش‌های ژئوفیزیک (مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۲: ۱) استخراج شد. براساس استاندارد ۲۸۰۰ (کمیتهٔ دائمی بازنگری آیین‌نامهٔ طراحی ساختمان‌ها دربرابر زلزله، ۱۳۸۴) و آیین‌نامهٔ اروپا (CEN, 2004:1) میانگین سرعت موج برشی هریک از پروفیل‌ها محاسبه شد. در بعضی نقاط و عمق‌ها به‌دلیل نداشتن اطلاعات ژئوتکنیکی درجهتِ برآورد سرعت موج برشی، از روابط تجربی استفاده شده است (Fabbrocino et al., 2015:86). یکی از روش‌های برآورد سرعت موج برشی براساس نتایج آزمایش نفوذ استاندارد (SPT) است (Anbazhagan et al, 2012:55). برای بررسی همبستگی بین دو پارامتر سرعت موج برشی و عدد نفوذ استاندارد (N_{spt})، به ایجاد لایهٔ TIN برای پارامتر V_s، در شش عمق ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ متری اقدام شد و با استفاده از شبکه‌های نامنظم مثلثی ایجادشده، مقادیر V_s متناظر با نتایج آزمایش نفوذ استاندارد، استخراج شد.

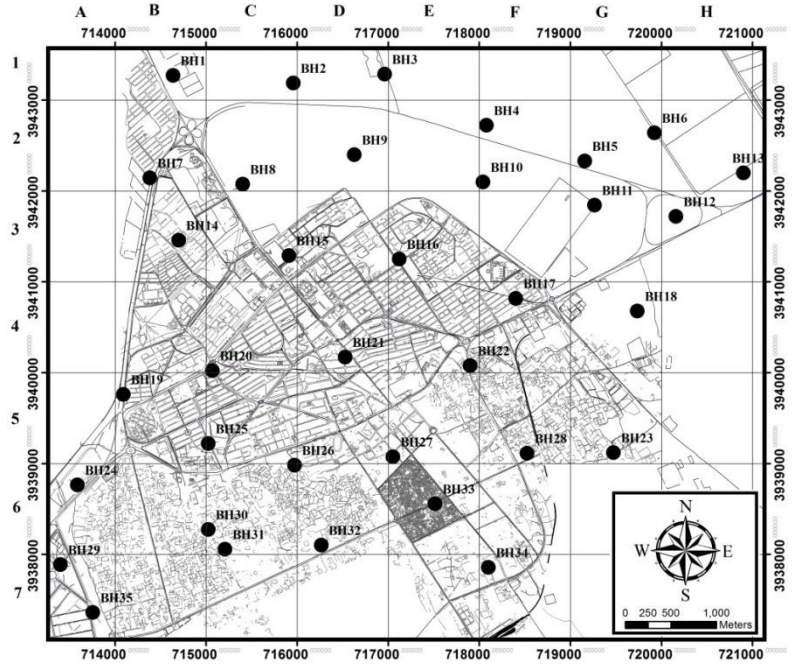
سنگ‌بستر لرزه‌ای

براساس راهنمای خطرات ژئوتکنیک لرزه‌ای، معمولاً لایه‌ای که سرعت موج برشی در آن بیش از ۶۰۰ m/s است، سنگ‌بستر نامیده می‌شود و توصیه می‌کند که اگر در محل مربوط سازه‌های عظیم ایجاد می‌شود، لایه‌ای که سرعت موج برشی در آن بیش از m/s

www.SID.ir

Archive of SID

۳۰۰۰ است، به‌عنوان سنگ‌بستر درنظر گرفته شود (Shima, 1977:436). آیین‌نامهٔ UBC سنگ‌بستر لرزه‌ای را محیطی تعریف کرده است که سرعت موج برشی آن بیش از ۷۶۰ m/s باشد. توصیهٔ Ishihara & Ansal (1982:1) دربارهٔ ریزپهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای منطقهٔ بالکان بدین صورت است که محیطی به‌عنوان سنگ‌بستر لرزه‌ای انتخاب شود که سرعت موج برشی آن بین ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ m/s باشد.



شکل ۱. موقعیت گمانه‌های ژئوفیزیکی در گسترهٔ شهر سمنان

(منبع: مطالعات ژئوفیزیکی گسترهٔ سمنان و ترسیم نویسندگان، ۱۳۹۵)

بومیناتان (Boominathan, 2004:1396) روش لرزه‌ای شکست مرزی را برای تعیین ژرفای سنگ‌بستر لرزه‌ای در مطالعات تحلیل پاسخ زمین پیشنهاد می‌کند. لازم به ذکر است که تعیین ژرفای سنگ‌بستر لرزه‌ای در رده‌بندی نوع زمین ضروری است (هاشمی طباطبایی، ۱۳۹۲: ۱). در این مطالعه، معیار سنگ‌بستر لرزه‌ای معادل سرعت موج برشی برابربا ۹۰۰ m/s درنظر گرفته شد. چنین محیطی توسط اکثر صاحب‌نظران شرایط ساختگاهی به‌عنوان سنگ‌بستر لرزه‌ای شناخته می‌شود (جعفری و همکاران، ۱۳۸۱: ۴). ژرفای سنگ‌بستر لرزه‌ای برای سه سرعت موج برشی ۶۰۰، ۷۵۰ و ۹۰۰ m/s و همچنین سرعت‌های موج برشی برای چهار عمق ۱، ۳، ۵ و ۱۰ متری، از داده‌های لرزه‌نگاری (مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۲: ۱) استخراج شد. برای ایجاد سطوح درون‌یابی‌شدهٔ داده‌ها از ابزار تحلیلگر زمین‌آماری و روش درون‌یابی آماری کریجینگ استفاده شده است. برای ژرفای سنگ‌بستر لرزه‌ای از درون‌یابی هندسی TIN نیز بهره گرفته شده است. نقشه‌های پهنه‌بندی توسط دو روش مذکور برای سرعت‌های موج برشی برای عمق‌های مختلف و همچنین عمق‌های هم‌سرعت موج برشی ایجاد و نتایج مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفتند. از نقشه‌های هم‌سرعت موج برشی و نقشه‌های هم‌عمق برای سرعت‌های موج برشی، می‌توان برای طبقه‌بندی ساختگاه و نیز تحلیل پاسخ لرزه‌ای گسترهٔ سمنان استفاده کرد. در مرحلهٔ بعد لایهٔ نقطه‌ای متوسط موج برشی برای مشخص‌کردن ردهٔ زمین ایجاد شد. نقشهٔ پهنه‌بندی متوسط سرعت موج برشی تا عمق ۳۰ متر توسط دو روش درون‌یابی کریجینگ و شبکهٔ نامنظم مثلثی ایجاد شد و با استفاده از آنها رده‌بندی زمین براساس آیین‌نامهٔ اروپا (CEN, 2004:1) و استاندارد ۲۸۰۰ (کمیتهٔ دائمی بازنگری

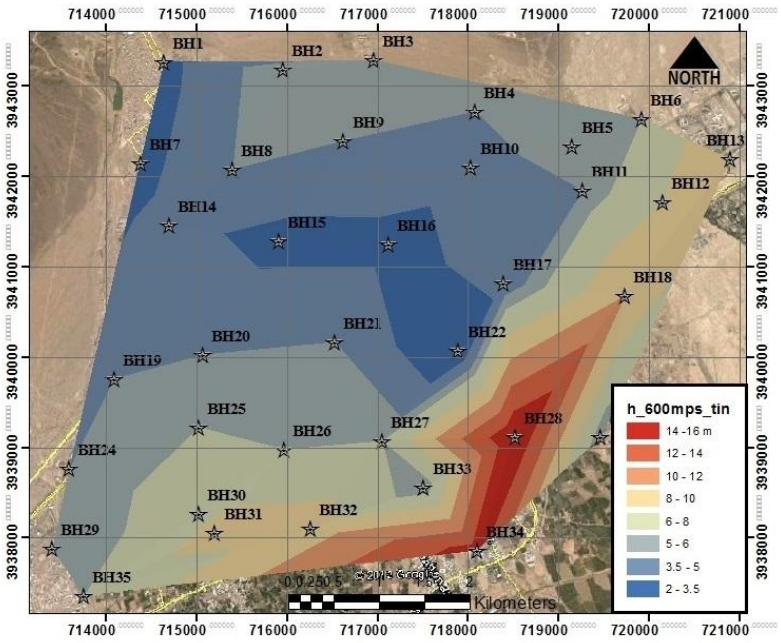
www.SID.ir

Archive of SID

آیین نامه طراحی ساختمان‌ها دربرابر زلزله، ۱۳۸۴)، برای گسترهٔ سمنان انجام شد.

نتایج پهنه‌بندی لرزه‌ای

نقشه‌های پهنه‌بندی برای ژرفای هم‌سرعت ۶۰۰، ۷۵۰ و ۹۰۰m/s که توسط روش‌های کریجینگ و TIN درون‌یابی شده‌اند، در شکل‌های (۳ تا ۸) ارائه شده است. شکل (۲) پهنه‌بندی ژرفای سنگ‌بستر لرزه‌ای معادل سرعت موج برشی ۶۰۰m/s (براساس راهنمای پهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای) به روش درون‌یابی TIN را نشان می‌دهد.



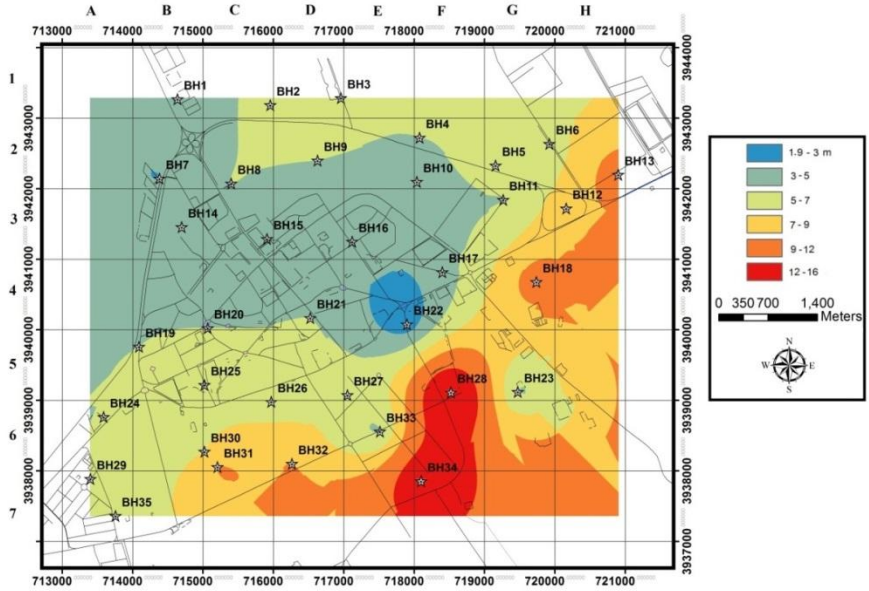
شکل ۲. ژرفای سنگ‌بستر لرزه‌ای معادل سرعت موج برشی ۶۰۰ متر بر ثانیه به روش TIN

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

همانطور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، بیشترین عمق مربوط به نواحی جنوبی و جنوب شرقی و محل نقطه‌های BH۲۸ و BH۳۴ است. سنگ‌بستر لرزه‌ای در این مناطق در پهنهٔ ۱۴ تا ۱۶ متری قرار دارد. کمترین عمق نیز مربوط به نواحی مرکزی است. سنگ‌بستر لرزه‌ای معادل سرعت موج برشی برابربا ۶۰۰ m/s، برای این مناطق در پهنهٔ ۲ تا ۳/۵ متری واقع شده است. نواحی مرکزی و شمال غربی نیز در پهنهٔ ۳ تا ۵ متر قرار دارند. در شکل (۳)، نقشهٔ پهنه‌بندی ژرفای سنگ‌بستر لرزه‌ای به روش کریجینگ نشان داده شده است. نواحی مرکزی و شمال غربی عمق سنگ‌بستر لرزه‌ای کمتر از ۵ متر است. براساس درون‌یابی به روش کریجینگ کمترین عمق سنگ بستر مربوط به ناحیه 4E و مناطق اطراف است. بیشترین عمق سنگ‌بستر نیز مربوط به نواحی جنوب و جنوب‌شرق است.

www.SID.ir

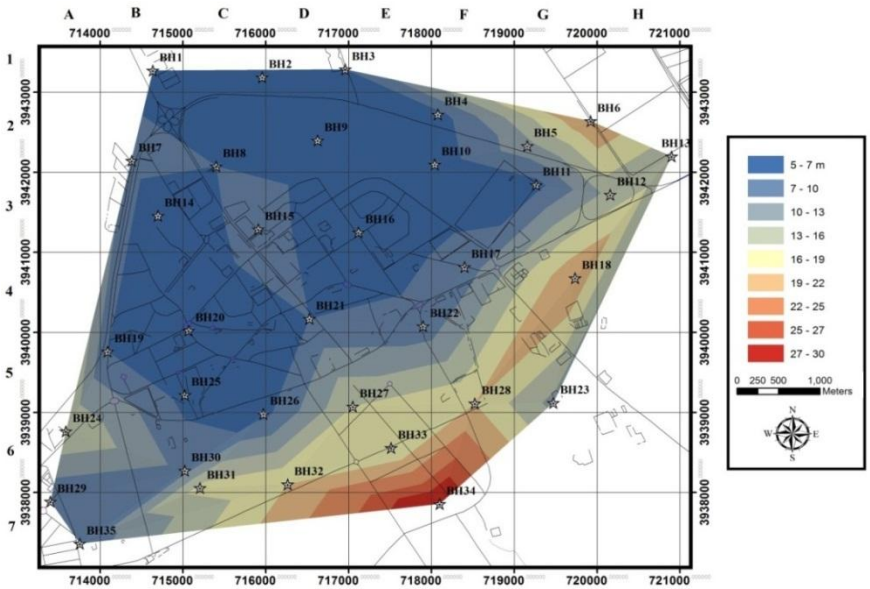
Archive of SID



شکل ۳. پهنه‌بندی ژرفای سرعت موج برشی ۶۰۰ متر بر ثانیه به روش کریجینگ

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

پهنه‌بندی ژرفای سنگ‌بستر لرزه‌ای معادل سرعت موج برشی برابربا V_S=۷۵۰m/s (مطابق با آیین‌نامهٔ ۲۸۰۰ زلزله)، به روش‌های شبکهٔ نامنظم مثلثی و کریجینگ به‌ترتیب در شکل‌های (۴) و (۵) ارائه شده است. در مناطق شمالی و شمال غربی و مرکز شهر سمنان، ژرفای سنگ‌بستر لرزه‌ای کم و درحدود ۵ تا ۸ متری سطح زمین قرار دارد. از سمت شمال غربی و شمال شهر به‌سمت جنوب و جنوب شرقی، عمق سنگ‌بستر لرزه‌ای افزایش می‌یابد. بیشترین عمق سنگ‌بستر لرزه‌ای نیز مربوط به گمانهٔ BH۳۴ و برابربا ۳۰ متر است. از مرکز شهر به‌سمت نواحی شرقی عمق سنگ‌بستر به‌تدریج تا ۱۵ متر افزایش یافته و در نواحی جنوب غربی عمق آن حداکثر ۱۱ متر است. براساس درون‌یابی انجام شده، عمق سنگ‌بستر لرزه‌ای در بیشتر مناطق بین ۵ تا ۱۰ متر است و در مناطق جنوبی و شرقی این عمق افزایش می‌یابد. مناطق شرق و جنوب‌شرق شهر سمنان، دارای بیشترین عمق سنگ‌بستر لرزه‌ای می‌باشند.

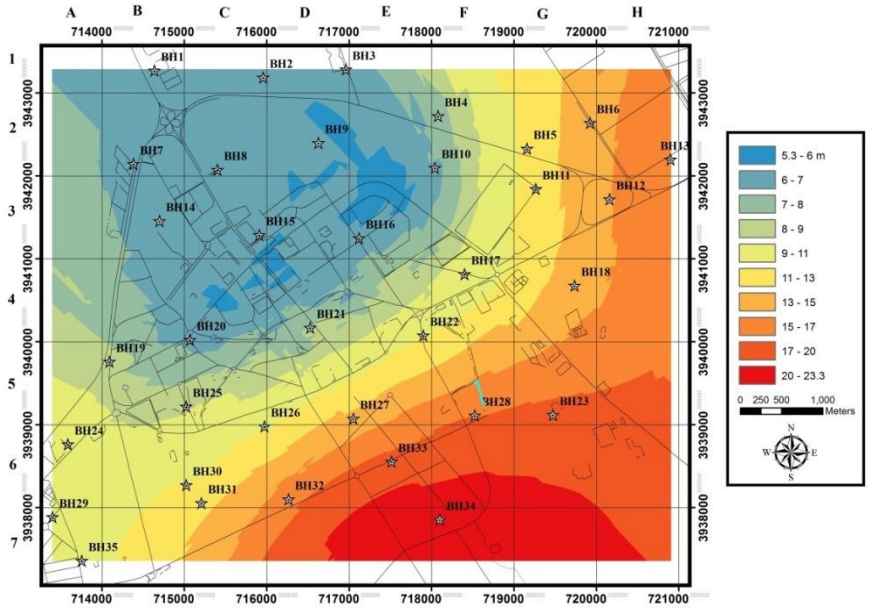


شکل ۴. ژرفای سنگ‌بستر لرزه‌ای معادل سرعت موج برشی ۷۵۰ متر بر ثانیه به روش TIN

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۵. نقشهٔ پهنه‌بندی ژرفای سرعت موج برشی ۷۵۰ متر بر ثانیه به روش کریجینگ

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

در مطالعات خواری و بازیار (۱۳۸۷: ۵) بر روی گسترهٔ سمنان، حداکثر عمق سنگ‌بستر لرزه‌ای برابربا ۲۰ متر تعیین شده، اما براساس نتایج لرزه‌نگاری حاضر و پهنه‌بندی ژرفای سنگ‌بستر مشخص‌شده که در مناطق جنوب و جنوب شرقی با مصالح عمدتاً ریزدانه، ژرفای سنگ‌بستر لرزه‌ای از ۲۰ تا ۳۰ متر متغیّر است. شکل (۶) نشانگر توزیع ژرفای سنگ‌بستر لرزه‌ای معادل V_s=۹۰۰m/s به روش درون‌یابی TIN است. براساس این شکل، ژرفای سنگ‌بستر لرزه‌ای از ۶ تا ۲۹/۷ متر متغیّر است.

ژرفای سنگ‌بستر لرزه‌ای در شمال و مرکز نسبت‌به نواحی دیگر کمتر بوده و در جنوب شرق، ژرفای آن بین۲۰ تا ۳۰ متر است (شکل ۶). توزیع ژرفای سنگ‌بستر لرزه‌ای در سراسر گستره، تقریباً به سه ناحیهٔ کم، متوسط و زیاد تقسیم‌بندی شده است. مقادیر ژرفای سنگ‌بستر لرزه‌ای در شمال و مرکز منطقهٔ مورد مطالعه از مقدار کمتری نسبت‌به جنوب و شرق آن برخوردار است. شکل (۷) نشانگر ژرفای هم‌سرعت موج برشی برای V_s=۹۰۰m/s به روش کریجینگ است.

بیشترین عمق برابربا ۳۰ متر و متعلق به گمانهٔ BH۳۴ و کمترین عمق برابربا ۶ متر در واحد ۲F است. واحدهای ۱C، ۱D، ۱E، ۲D و ۲E و بخش‌هایی از واحدهای ۳D و ۳E در پهنهٔ ۸ تا ۱۰ متر قرار دارند (شکل ۷). از سمت مناطق شمالی به نواحی شرقی و جنوب شرقی ژرفای سنگ‌بستر لرزه‌ای به‌تدریج افزایش می‌یابد. مناطق غربی در پهنهٔ ۱۳ تا ۱۶ متر، ولی مناطق شرقی در پهنهٔ ۲۰ تا ۲۴ متر قرار دارند.

توزیع میانگین سرعت موج برشی

یکی از روش‌های رده‌بندی نوع زمین در آیین‌نامه‌های ساختمانی، استفاده از میانگین سرعت موج برشی از سطح تا ژرفای ۳۰ متری است. در این آیین‌نامه‌ها، میانگین سرعت موج برشی از سطح تا ژرفای ۳۰ متر به‌صورت زیر محاسبه می‌شود (هاشمی‌طباطبایی و همکاران، ۱۳۹۰: ۲۱۷).

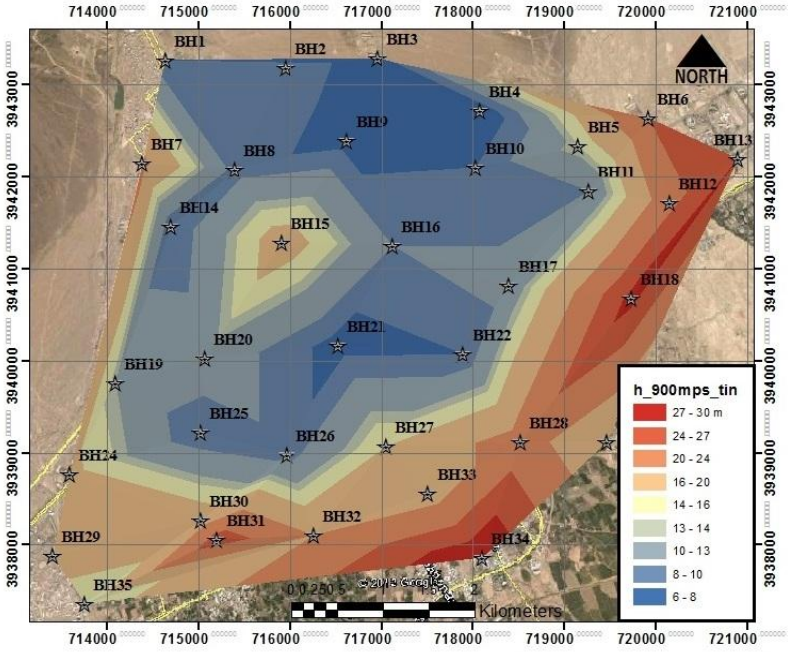
رابطهٔ (۱): $\bar{V}$

در این رابطه، $\overline{V_s}$ میانگین سرعت موج برشی از سطح تا ژرفای ۳۰ متر، و d_i و V_{si} به‌ترتیب ضخامت و سرعت موج برشی در هر لایه هستند. براساس نتایج حاصل از مطالعات لرزه‌نگاری، میانگین سرعت موج

www.SID.ir

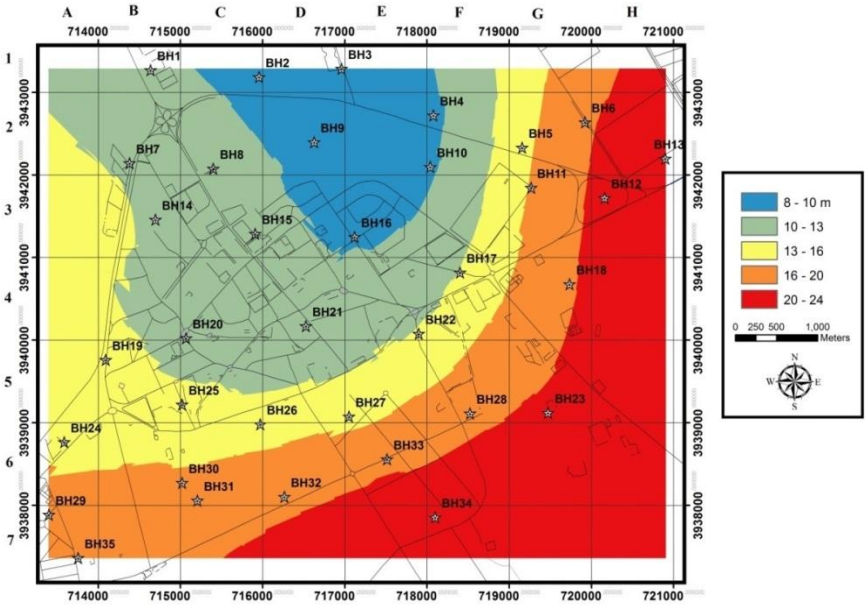
Archive of SID

برشی تا ژرفای ۳۰ متر در شهر سمنان تعیین شد. شکل (۸) پهنه‌بندی توزیع سرعت میانگین موج برشی به روش TIN را نشان می‌دهد. در این شکل، توزیع سرعت از ۴۲۷ تا ۸۰۴ m/s متغیّر است. بیشترین و کمترین مقدار به‌ترتیب مربوط‌به واحد 3E و 4G است. پهنه‌بندی میانگین سرعت موج برشی به روش کریجینگ در شکل (۹) آمده است. همان‌طور که در این شکل آمده، نواحی مرکزی و شمالی دارای میانگین سرعت موج برشی بیشتری نسبت‌به نواحی جنوبی، شرقی و غربی هستند.



شکل ۶. ژرفای سنگ‌بستر لرزه‌ای معادل سرعت موج برشی ۹۰۰ متر بر ثانیه به روش TIN

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

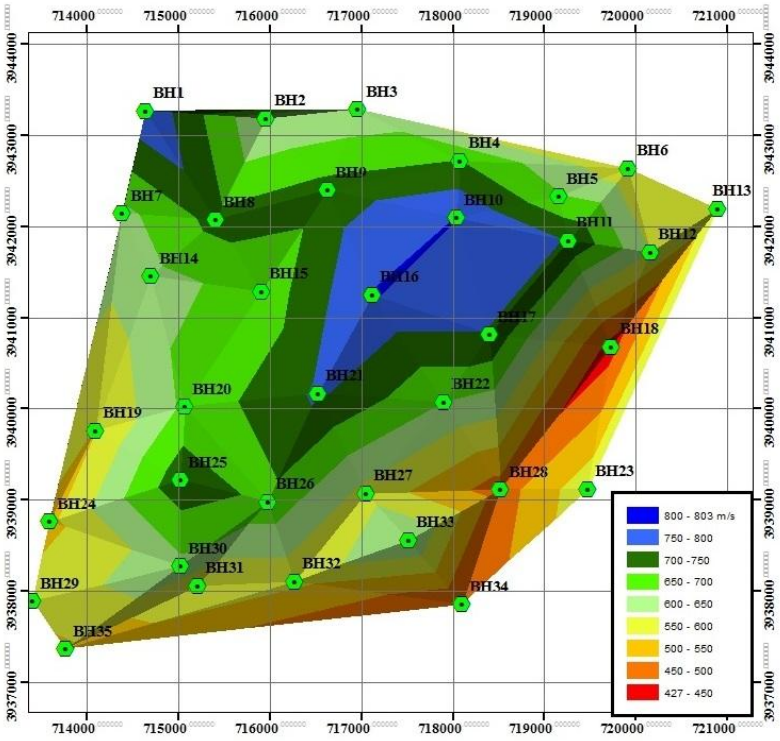


شکل ۷. نقشهٔ پهنه‌بندی ژرفای سرعت موج برشی ۹۰۰ متر بر ثانیه به روش کریجینگ

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

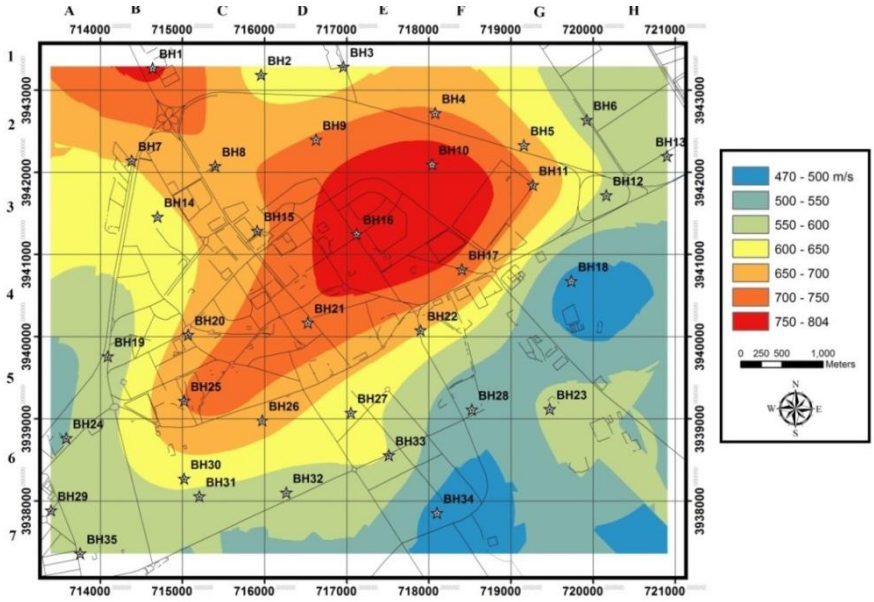
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸. پهنه‌بندی متوسط سرعت موج برشی برای ژرفای ۳۰ متر از سطح زمین به روش TIN

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)



شکل ۹. پهنه‌بندی میانگین سرعت موج برشی تا ژرفای ۳۰ متر به روش کریجینگ

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

رده‌بندی زمین براساس سرعت موج برشی متوسط

طبقه‌بندی زمین مبتنی‌بر اطلاعات گمانه‌ها و داده‌های ژئوتکنیکی نسبت‌به داده‌های زمین‌شناسی سطحی که در روش‌های درجه یک استفاده شده است، شاخص بهتری برای تأثیر شرایط محل است. ازآنجاکه آزمایش‌های مربوط به گمانه‌ها، معمولاً برای ساخت‌وسازهای شهری انجام‌گرفته و اطلاعات آن در دسترس است، این روش طبقه‌بندی درجهتِ ارزیابی اثرات محل بسیار مفید بوده و در ضرایب زلزله معمول شده است (ISSMGE, 1999:1).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. رده‌بندی زمین براساس استاندارد ۲۸۰۰

نوع زمین	مواد تشکیل‌دهندهٔ ساختگاه	حدود تقریبی V_s (m/s)
I	الف) سنگ‌های آذرین (دارای بافت درشت و ریزدانه)، سنگ‌های رسوبی سخت و بسیار مقاوم و سنگ‌های دگرگونی توده‌ای (گنایس‌ها و سنگ‌های متبلور سیلیکاتی) لایه‌های کنگلومرایی ب) خاک‌های سخت (شن و ماسهٔ متراکم، رس بسیارسخت) با ضخامت کمتر از ۳۰ متر از روی بستر سنگی	بیشتر از ۷۵۰ $۳۷۵ \leq V_s \leq ۷۵۰$
II	الف) سنگ‌های آذرین سست (مانند توف)، سنگ‌های سست رسوبی، سنگ‌های دگرگونی متورق و به‌طورِ کلی سنگ‌هایی که بر اثر هوازدگی (تجزیه و تخریب) سست شده‌اند. ب) خاک‌های سخت (شن و ماسهٔ متراکم، رس بسیارسخت) با ضخامت بیشتر از ۳۰ متر	$۳۷۵ \leq V_s \leq ۷۵۰$
III	الف) سنگ‌های متلاشی‌شده بر اثر هوازدگی ب) خاک‌های با تراکم متوسط، لایه‌های شن و ماسه با پیوند متوسط بین دانه‌ای و رس با سختی متوسط	$۱۷۵ \leq V_s \leq ۳۷۵$
IV	الف) نهشته‌های نرم با رطوبت زیاد بر اثر بالابودن سطح آب زیرزمینی ب) هرگونه پروفیل خاک که شامل دست کم ۶ متر خاک رس با شاخص خمیری بیشتر از ۲۰ و درصد رطوبت بیشتر از ۴۰ باشد.	کمتر از ۱۷۵

(منبع: کمیتهٔ دائمی بازنگری آیین‌نامهٔ طراحی ساختمان‌ها دربرابر زلزله، ۱۳۸۴)

جدول ۲. رده‌بندی زمین براساس آیین‌نامهٔ اروپا

رده ساختگاه	شرایط لایه‌های خاک	پارامترها		
		سرعت موج برشی (m/s)	عدد نفوذ استاندارد	مقاومت برشی زهکشی‌نشده (kPa)
A	سنگ یا دیگر سازندهای زمین‌شناسی شبه‌سنگ و شامل حداکثر ۵ متر مصالح ضعیف‌تر در سطح	>۸۰۰	-	-
B	نهشته‌های ماسه‌ای بسیار متراکم و شن یا رس خیلی‌سخت با ضخامت دست کم چند ده متر که با افزایش ژرفای خواص مکانیکی آن افزایش می‌یابد.	۳۶۰-۸۰۰	>۵۰	>۲۵۰
C	نهشته‌های ژرف ماسه متراکم، یا نیمه‌متراکم، شن یا رس سخت با ضخامت چند ده متر تا صدها متر	۱۸۰-۳۶۰	۱۵-۵۰	۷۰-۲۵۰
D	نهشته‌های سست تا متوسط خاک‌های غیرچسبنده (با یا بدون برخی لایه‌های چسبنده) یا خاک‌های نرم تا سخت با چسبندگی غالب	<۱۸۰	<۱۵	<۷۰
E	پروفیل خاک با لایهٔ سطحی دارای سرعت موج برشی رده‌های C یا D بین ۵ و ۲۰ متر که روی لایهٔ سخت‌تری با V_s >۸۰۰ m/s قرار گرفته است.	-	-	-
S_1	نهشته‌های متشکل و یا شامل یک لایهٔ خاک با حداقل ۱۰ متر ضخامت از رس یا سیلت نرم با PI>۴۰ و درصد رطوبت بالا	< ۱۰۰	-	۱۰-۲۰
S_2	نهشته‌های با قابلیت روانگرایی، رس‌های حساس و یا هر نوع خاکی که در گروه‌های قبلی دسته‌بندی نشوند.	-	-	-

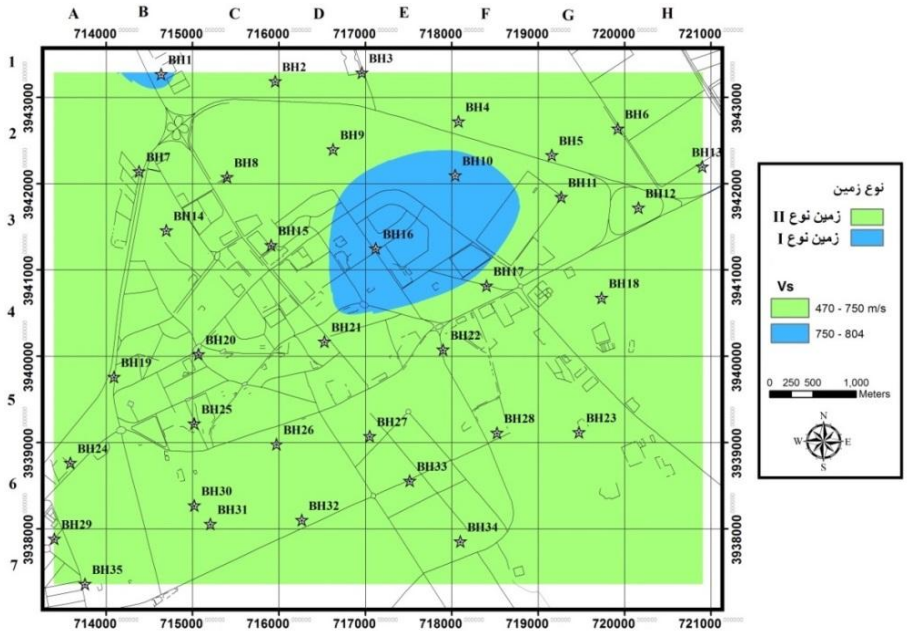
(منبع: CEN, 2004)

www.SID.ir

Archive of SID

پروفیل‌های خاک براساس استاندارد ۲۸۰۰ در ۴ گروه (جدول ۱) و براساس آیین‌نامهٔ اروپا در ۷ گروه (جدول ۲) رده‌بندی می‌شوند. در این آیین‌نامه‌ها، رده‌بندی زمین براساس توصیف لایه‌بندی خاک و میانگین سرعت موج برشی از سطح تا ژرفای ۳۰ متر صورت می‌گیرد. گروه A در آیین‌نامهٔ اروپا معادل گروه I در استاندارد ۲۸۰۰ بوده و گروه B در آیین‌نامهٔ اروپا بسته به ژرفای سنگ‌بستر لرزه‌ای می‌تواند معادل گروه‌های Iو II در استاندارد ۲۸۰۰ باشد. در آیین‌نامهٔ اروپا یک گروه به‌نامِ نوع E تعریف شده که در آن یک آبرفت سست بر روی یک لایهٔ سخت قرار گرفته است. در این نوع زمین با آنکه ممکن است میانگین سرعت موج برشی بیانگر زمین نوع A یا B باشد، اما با توجه به ضخامت و سرعت لایه‌ها، زمین از نوع E گروه‌بندی شود. اهمیت شناخت زمین نوع E ناشی از افزایش قابل توجه میزان شتاب طیفی درمقابل ثابت‌ماندن زمان تناوب محدودهٔ شتاب ثابت طیف طرح نسبت‌به طیف طرح زمین‌های نوع A و B است. این مناطق مستعد تشدید دامنهٔ امواج در حین رخداد زمین‌لرزه هستند و باعث افزایش شتاب طیفی شده و به‌دنبال آن نیروی بیشتری به سازه‌ها وارد می‌شود.

در این پژوهش، پروفیل‌های خاک برمبنای استاندارد ۲۸۰۰ و آیین‌نامهٔ اروپا رده‌بندی شدند. ژرفای سنگ‌بستر لرزه‌ای در شهر سمنان کمتر از ۳۰ متر است. میانگین سرعت موج برشی از ۴۲۷ تا m/s ۸۰۳ متغیّر است؛ بنابراین شهر سمنان براساس استاندارد۲۸۰۰، در گروه II قرار می‌گیرد. با توجه به شکل (۱۰)، تنها در محدودهٔ واحد ۳E به‌طور کامل و مناطق مجاور آن و قسمتی از واحد ۱B، سرعت متوسط موج برشی از ۷۵۰ متر بر ثانیه فراتر رفته و خاک این واحد براساس آیین‌نامهٔ ۲۸۰۰ در ردهٔ I طبقه‌بندی می‌شود. شکل (۱۱) نشانگر پهنه‌بندی زمین در گسترهٔ شهر سمنان براساس آیین‌نامهٔ اروپا است. براساس آیین‌نامهٔ اروپا، محدودهٔ وسیعی از شهر سمنان در گروه B و ناحیهٔ بسیار کوچکی در گروه A رده‌بندی می‌شود.



شکل ۱۰. پهنه‌بندی نوع زمین براساس استاندارد ۲۸۰۰

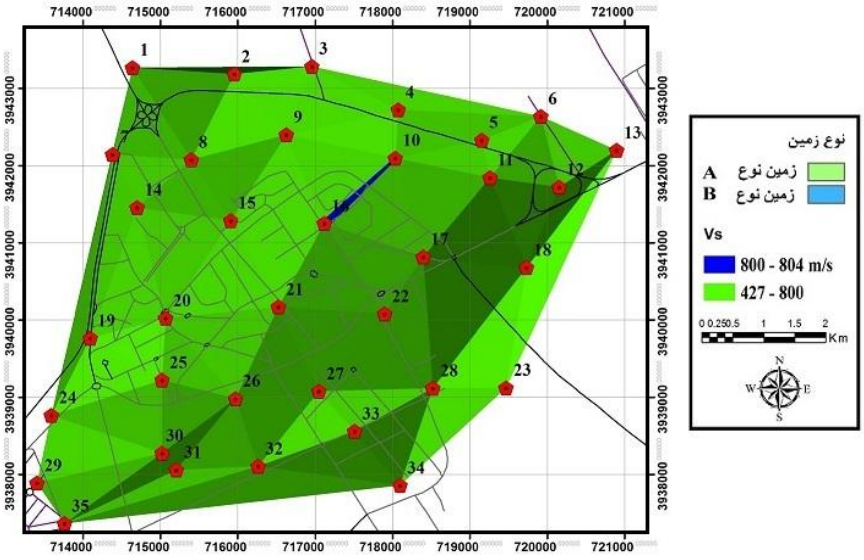
(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

www.SID.ir

Archive of SID

سرعت موج برشی هم‌عمق مصالح

در این بخش نقشه‌های هم‌عمق سرعت موج برشی، برای چهار عمق ۱، ۳، ۵ و ۱۰ متر برای گسترهٔ شهر سمنان با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ در شکل‌های (۱۲) تا (۱۵) ارائه شده است. شکل (۱۲) نشانگر پهنه‌بندی سرعت موج برشی در عمق یک متری است. بیشترین سرعت موج برشی مربوطبه مناطق شمال و شمال غربی است. کمترین میزان سرعت موج برشی نیز مربوطبه مناطق جنوب شرقی است که مصالح این مناطق نیز ریزدانه است (شکل ۱۲). آنگونه که در نقشهٔ پهنه‌بندی مشخص است، نواحی شمالی شهر از سرعت موج برشی بالاتری نسبت‌به مناطق جنوبی برخوردارند.



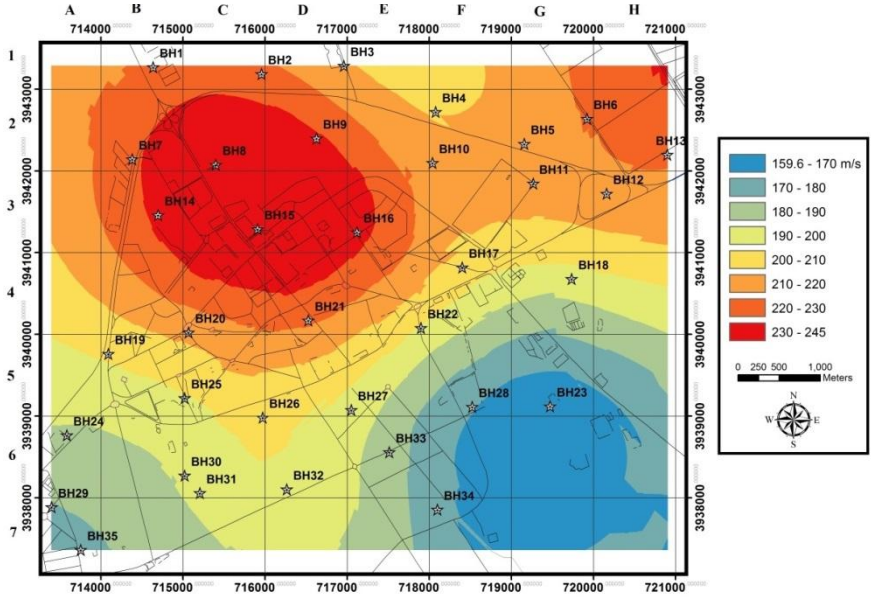
شکل ۱۱. پهنه‌بندی نوع زمین براساس آیین‌نامهٔ اروپا

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

از سمت شمال به جنوب همواره از میزان سرعت موج برشی کاسته می‌شود. در شکل (۱۳) پهنه‌بندی سرعت موج برشی در عمق سه متری با استفاده از روش کریجینگ نشان داده شده است. بیشترین سرعت موج برشی مربوط به مناطق شمال و شمال غربی است. کمترین میزان سرعت موج برشی نیز به مناطق شرقی، جنوبی و جنوب شرقی شهر، مشخصاً نقاط BH۱۸، BH۳۲ و BH۳۴ است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، نواحی شمالی شهر از سرعت موج برشی بالاتری نسبت‌به مناطق جنوبی برخوردارند.

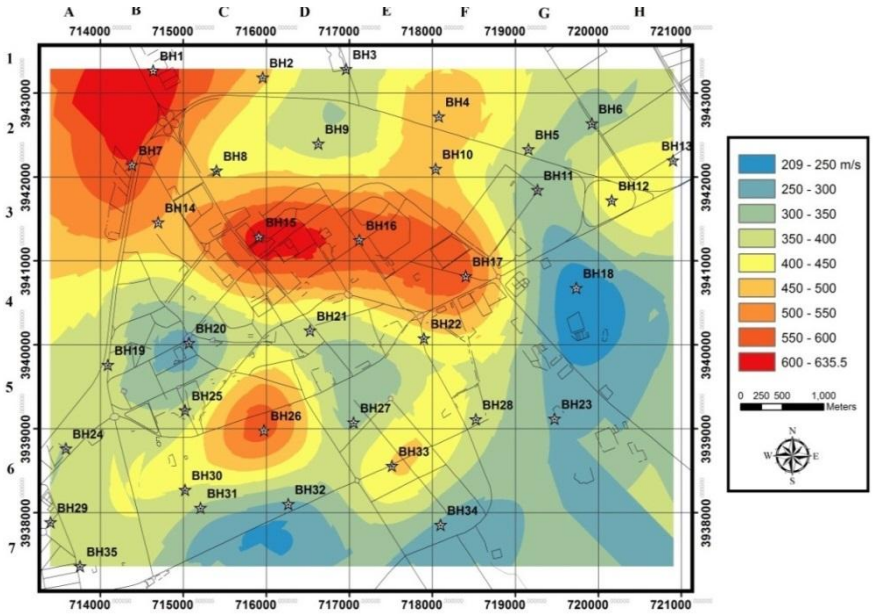
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۲. پهنه‌بندی سرعت موج برشی در ژرفای یک متر به روش کریجینگ

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)



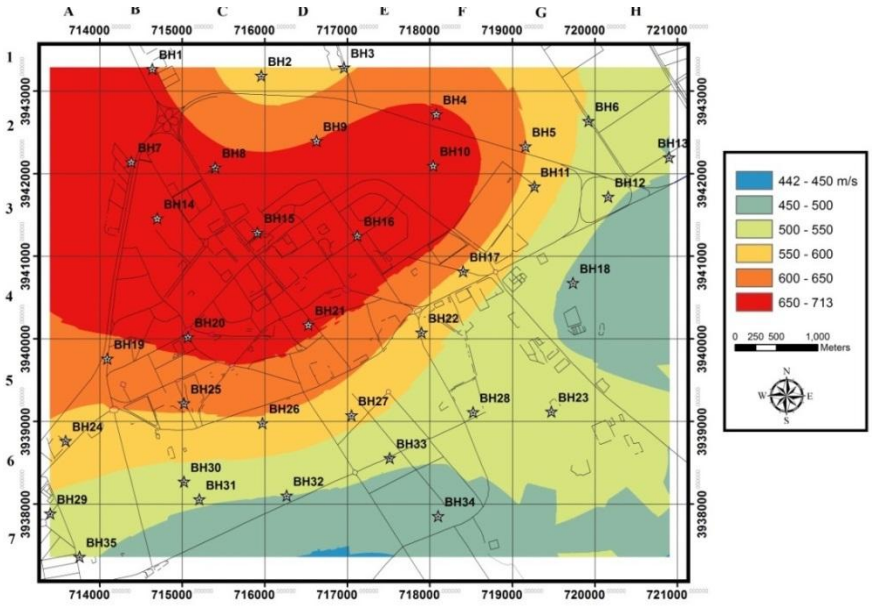
شکل ۱۳. پهنه‌بندی سرعت موج برشی در ژرفای ۳ متر به روش کریجینگ

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

در شکل (۱۴) پهنه‌بندی سرعت موج برشی در عمق ۵ متری به روش کریجینگ نشان داده شده است. بیشترین V_s مربوط به مناطق مرکزی، شمالی و شمال غربی شهر است. این مناطق اکثراً در پهنهٔ ۶۵۰ تا ۷۱۳ m/s قرار دارند. نواحی غربی نیز نسبت‌به مناطق شرقی شهر از V_s بیشتری در عمق ۵ متر برخوردارند. کمترین میزان V_s به مناطق شرقی و جنوب شهر اختصاص دارد. شکل (۱۵) نشانگر پهنه‌بندی V_s مصالح در عمق ۱۰ متری است. بیشترین V_s در عمق ۱۰ متری، در نواحی شمالی منطقه است. از شمال به سمت جنوب و جنوب شرقی از مقدار V_s کاسته شده و به کمترین مقدار خود در نواحی جنوب شرقی شهر و محل گمانه BH۳۴ می‌رسد.

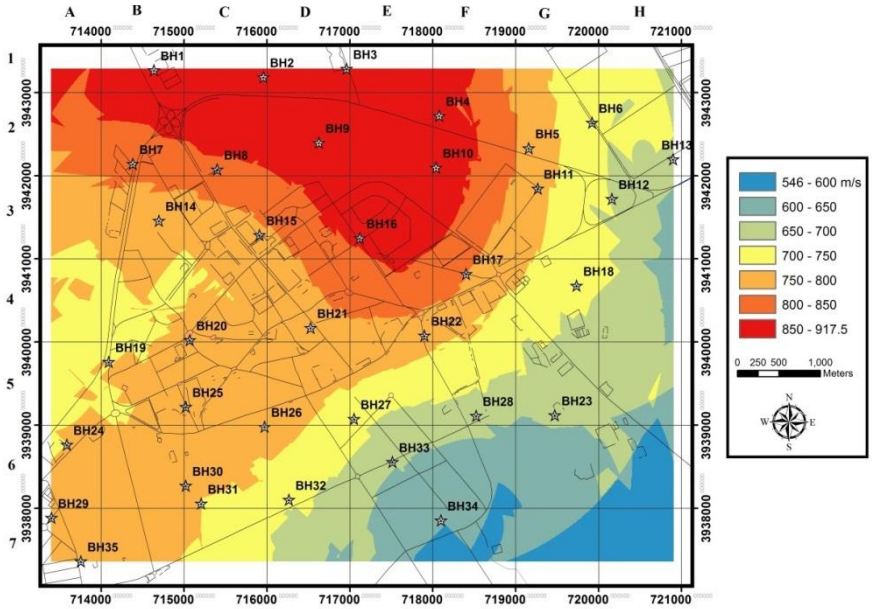
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۴. پهنه‌بندی سرعت موج برشی در ژرفای ۵ متر به روش کریجینگ

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)



شکل ۱۵. پهنه‌بندی سرعت موج برشی در ژرفای۱۰ متر به روش کریجینگ

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۵)

خلاصه و نتیجه‌گیری

در گسترهٔ شهر سمنان اطلاعات ژئوتکنیک لرزه‌ای بسیاری به‌واسطهٔ ساخت‌وسازهای فراوان در این شهر حاصل شده است. در این مطالعه سعی‌شده تا اطلاعات وسیعی گردآوری شده و سپس براساس این بانک اطلاعات و به کمک به‌روزترین سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی، نقشه‌ها و نتایج ارزشمندی از وضعیت گسترهٔ مورد مطالعه ارائه شود. نتایج آزمایش‌های ژئوفیزیک در ۳۵ گمانه در شهر سمنان گردآوری و با استفاده از سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی، اقدام به ذخیره‌سازی و تجزیه‌وتحلیل آنها و تولید سطوح رستری با استفاده از مقادیر پارامترهای موجود شد. نقشه‌های پهنه‌بندی‌شده برای سرعت موج برشی (V_s) ارائه شد.

نقشه‌های هم‌سرعت موج برشی و هم‌عمق برای سرعت‌های موج برشی مختلف آبرفت‌های گسترهٔ

www.SID.ir

Archive of SID

سمنان تهیه و ارائه شده است. از این نقشه‌ها می‌توان برای طبقه‌بندی ساختگاه و نیز تحلیل پاسخ لرزه‌ای آبرفت در گسترهٔ سمنان با توجه به دقت لازم در مطالعات ریزپهنه‌بندی استفاده کرد. ژرفای سنگ‌بستر لرزه‌ای براساس سرعت‌های موج برشی برابربا ۶۰۰، ۷۵۰ و ۹۰۰ m/s، برای گسترهٔ شهر سمنان محاسبه شد و نقشه‌های پهنه‌بندی ژرفای سنگ‌بستر لرزه‌ای براساس روش‌های درون‌یابی کریجینگ و تین ایجاد شد. براساس نتایج حاصل از مدل‌های درون‌یابی هندسی و آماری، سنگ‌بستر لرزه‌ای در نواحی جنوب و جنوب غربی در اعماق حدود ۳۰ متری قرار دارد، که بیشترین عمق برای گسترهٔ شهر سمنان است. با حرکت به‌سمت مناطق مرکزی و شمالی عمق سنگ‌بستر لرزه‌ای کاهش می‌یابد. در نواحی مرکزی، شمالی و شمال غربی شهر سنگ‌بستر لرزه‌ای در اعماق ۵ تا ۸ متری سطح زمین قرار دارد که بیانگر تراکم و دانسیته بالاتر مصالح نسبت‌به مناطق جنوب و جنوب شرقی شهر سمنان است؛ ازاین‌رو سرعت سیر امواج برشی در این لایه‌ها بیشتر است.

یکی از پارامترهای اساسی درجهتِ تعیین طیف پاسخ طراحی، رده‌بندی نوع زمین است. در اغلب آیین‌نامه‌های طراحی لرزه‌ای ازجمله استاندارد ۲۸۰۰ و همچنین آیین‌نامهٔ UBC، سرعت موج برشی متوسط لایه‌های خاک مبنای رده‌بندی نوع زمین قرار می‌گیرد. با استفاده از میانگین سرعت امواج برشی تا عمق ۳۰ متر رده‌بندی جدیدی برای خاک سمنان براساس استاندارد ۲۸۰۰ و آیین‌نامهٔ اروپا پیشنهاد شده است. میانگین سرعت موج برشی تا ژرفای ۳۰ متر، بین ۴۲۷ تا ۸۰۴ متر بر ثانیه متغیر است. نتایج نشان می‌دهد که گسترهٔ شهر سمنان با توجه به استاندارد ۲۸۰۰ غالباً در گروه II و در ناحیه‌ای به مساحت تقریبی ۲/۵ کیلومترمربع در گروه I رده‌بندی می‌شود و براساس آیین‌نامهٔ اروپا، به‌طورِ عمده در گروه B رده‌بندی می‌شود. نواحی شمالی و شمال شرقی نسبت‌به دیگر مناطق از شرایط مناسب‌تری برای توسعهٔ شهری برخوردارند؛ ازاین‌رو لازم است تا در تصمیم‌گیری‌های کلان توسعهٔ شهری، نواحی مذکور مورد توجه قرار گیرند. ازطرفی لازم است تا نسبت‌به مناطق جنوبی و جنوب شرقی شهر که لایه‌های بستر از مقاومت کمتری برخوردارند، به‌سبب احتمال بروز مخاطرات ژئوتکنیکی اقدامات مناسب به‌منظورِ ایمنی شهروندان و حفظ منابع ملی، انجام پذیرد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از همکاری مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی در گردآوری نتایج مطالعات ژئوفیزیکی شهر سمنان تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

آقانباتی، سید علی. (۱۳۸۵). زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.

ثنایی مبین، نرگس و همکاران (۱۳۹۲). بررسی قابلیت‌های محیطی حوضه‌های آبی دامنهٔ جنوبی توچال برای تبدیل به ژئوپارک. جغرافیا و آمایش شهری-منطقه‌ای، سال ۳، شمارهٔ ۹، صص ۱۱۰-۹۷.

جعفری، محمدکاظم و همکاران (۱۳۸۱) گزارش ریز پهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای جنوب شرقی تهران از دیدگاه تأثیرات ساختگاهی. پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله (۱۳۸۱).

خواری، مهدی؛ بازیار، محمدحسن. (۱۳۸۷). «پهنه‌بندی ژئوتکنیک شهر سمنان». چهاردهمین کنفرانس دانشجویان مهندسی عمران سراسر کشور، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

درویش‌زاده، علی. (۱۳۹۲). زمین‌شناسی ایران. تهران: انتشارات امیرکبیر.

شجاعیان، علی؛ علیزاده، هادی. (۱۳۹۳). مکان‌یابی فضاهای چندمنظوره با هدف مدیریت بحران بعد از زلزله (موردشناسی: بافت فرسودهٔ شهر شوشتر). جغرافیا و آمایش شهری-منطقه‌ای، سال ۴، شمارهٔ ۱۱، صص ۱۴۰-۱۲۷.

قائدرحمتی، صفر و همکاران. (۱۳۹۱). ارزیابی حریم امن شهری در ارتباط با آسیب‌پذیری لرزه‌ای (موردشناسی: شهرهای استان یزد). جغرافیا و آمایش شهری-منطقه‌ای، دورهٔ ۲، شمارهٔ ۴، صص ۴۰-۲۷.

کمیتهٔ دائمی بازنگری آیین‌نامهٔ طراحی ساختمان‌ها دربرابر زلزله (۱۳۸۴). آئین‌نامهٔ طراحی ساختمان‌ها دربرابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰ ایران). ویرایش سوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

www.SID.ir

Archive of SID

کوکبی، لیلا؛ قدیری‌معصوم، مجتبی. (۱۳۹۱). دستیابی به توسعهٔ پایدار به کمک مکان‌یابی بهینهٔ تأسیسات براساس پهنه‌بندی در مقیاس منظر (مورد مطالعه: نواحی خشک ایران- شیراز). آمایش سرزمین، دورهٔ ۴، شمارهٔ ۶، صص ۴۵-۳۵.

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی. (۱۳۹۲). گزارش مطالعات ژئوتکنیک لرزه‌ای.

مشک‌سار، پریسا و همکاران. (۱۳۹۴). مدل‌سازی آسیب‌پذیری فیزیکی بافت‌های شهری دربرابر زلزله در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (موردشناسی: منطقهٔ ۳ شهرداری شیراز) جغرافیا و آمایش شهری-منطقه‌ای، دورهٔ ۵، شمارهٔ ۱۴، صص ۱۹۴-۱۷۷.

میمندی‌پاریزی، صدیقه؛ کاظمی‌نیا، عبدالرضا. (۱۳۹۴). پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهر کرمان براساس اصول پدافند غیرعامل.آمایش سرزمین، دورهٔ ۷، شمارهٔ ۱، صص ۱۴۴-۱۱۹.

هاشمی‌طباطبایی، سعید. (۱۳۹۲). راهنمای تهیهٔ نقشه‌های زمین‌شناسی مهندسی برای ریزپهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای در مناطق شهری. انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ایران.

هاشمی‌طباطبایی، سعید و همکاران. (۱۳۹۰). رده‌بندی نوع زمین با استفاده از سرعت موج برشی در گسترهٔ شهر شیراز براساس آیین‌نامه‌های ساختمانی، مجلهٔ علوم زمین، دورهٔ ۲۱، شمارهٔ ۸۲، صص ۲۲۲-۲۱۵.

هاشمی، سیامک و همکاران (۱۳۸۹). «استفاده از تحلیل آماری و محیط سامانه‌ای اطلاعات جغرافیایی (GIS) در ریزپهنه‌بندی ژئوتکنیکی جنوب تهران». چهارمین همایش بین‌المللی مهندسی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران، تهران.

Anbazhagan, P; Parihar, A; Rashmi, HN. (2012). Review of correlations between SPT N and shear modulus: A new correlation applicable to any region. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 36, pp. 52-69.

Boominathan. A (2004). Seismic site characterization for nuclear structures and power plants, Journal of Current Science, Vol. 87, pp. 1388-1397.

CEN, BS, (2004). EN: Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, European Committee for Standardization, ISBN: 0580458725.

Eker, AM; Akgun, H; Kockar, MK. (2012). Local site characterization and seismic zonation study by utilizing active and passive surface wave methods: A case study for the northern side of Ankara, Turkey, Engineering geology, Vol. 151, pp. 64-81.

ESRI. (2013). ArcGIS 10.2 Software (1985-2013).

Fabbrocino, S; Lanzano, G; Forte, G; de Magistris, FS; Fabbrocino, G. (2015). SPT blow count vs. shear wave velocity relationship in the structurally complex formations of the Molise Region (Italy), Engineering Geology, Vol. 187, pp. 84-97.

Haddad. A, Javdanian. H and Ebrhimpour. F (2017). Identification and Stabilization of Dispersive Soils: Case Study of Water Transfer Canal of Simindasht-Garmsar. Journal of Engineering Geology, Vol. 11, No. 1, pp. 29-50.

Ishihara. K and Ansal. AM (1982). Dynamic behavior of soil, soil amplification and soil–structure interaction", Final Report for Working Group D, UNDP/UNESCO Project on Earthquake Risk Reduction in the Balkan Region.

ISSMGE (1999). The technical committee for earthquake geotechnical engineering, TC4, Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards (Revised Version), Japanese Geotechnical Society.

Javdanian H, Haddad A and Mirnezhad A (2017). Evaluating properties of soil deposits for transportation infrastructures based on geotechnical boreholes (Case Study: Semnan City). Transportation Infrastructure Engineering, Vol. 2, No. 4, pp. 73-93.

Shima. E. (1977). On the Base Rock of Tokyo Metropolis, Proceedings of the 6th World Conference on Earthquake Engineering, Vol. 2, pp. 433-443.

www.SID.ir