

رده‌بندی نوع زمین با استفاده از سرعت موج برشی در گستره شهر شیراز بر اساس آیین‌نامه‌های ساختمانی

سعید هاشمی طباطبایی^۱، امیرسعید سلامت^۱ و اشکان محمدی^۱

^۱ مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۲/۱۳

چکیده

مطالعات ویژگی‌های لرزه‌ای ساختمان‌ها، در مناطق مستعد زلزله انجام می‌شود. در این مطالعات، پارامترهای طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها بر اساس ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک تعیین می‌گردد. در این راستا بخشی از آیین‌نامه‌های ساختمانی به رده‌بندی ساختمان اختصاص دارد. به منظور رده‌بندی زمین، آیین‌نامه‌ها روش‌های متنوعی همانند میانگین سرعت موج برشی تا ژرفای ۳۰ متر را ارائه می‌نمایند. این مقاله، بخشی از مطالعات ریزپهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای شهر شیراز برای تعیین نوع زمین در قالب مطالعات لرزه‌ای شکست مرزی را ارائه می‌دهد. روش مورد نظر، زمان سیر امواج الاستیک چندگانه را در طول سطح مشترک لایه‌هایی که سرعت‌های متفاوت دارند اندازه‌گیری می‌کند. در این مطالعات از لرزه نگار ۲۴ ژئوفونی با فواصل ۳/۷۵ متری استفاده شد. سرعت موج برشی برای سه لایه مختلف لرزه‌ای برآورد شد. سنگ بستر لرزه‌ای به لایه‌ای اطلاق می‌شود که در آن سرعت موج برشی به بیش از ۷۵۰ متر بر ثانیه می‌رسد. ژرفای سنگ بستر لرزه‌ای در شهر شیراز از حدود ۱ تا ۲۹ متر اندازه‌گیری شد. میانگین سرعت موج برشی تا ژرفای ۳۰ متر بین ۳۷۵ تا ۱۲۵۳ متر بر ثانیه متغیر است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، نوع زمین در شهر شیراز بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ و آیین‌نامه اروپا رده‌بندی و با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج نشان می‌دهد که گستره شهر شیراز با توجه به آیین‌نامه ۲۸۰۰ در گروه I و بر اساس آیین‌نامه اروپا، به طور عمده در گروه B و E و در برخی مناطق در گروه A رده‌بندی می‌شود. مقایسه نتایج نشان داد که رده‌بندی خاک در استاندارد ۲۸۰۰ نیاز به اصلاح دارد.

کلیدواژه‌ها: ریزپهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای، سرعت موج برشی، نوع زمین، آیین‌نامه ساختمانی، طیف طراحی

*نویسنده مسئول: سعید هاشمی طباطبایی

E-mail: htatabataei@bhrc.ac.ir

۱- مقدمه

یکی از ارکان مهم مطالعات ژئوتکنیک لرزه‌ای، شناسایی ویژگی‌های رفتاری و خواص دینامیکی خاک، با استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی است (Luna & Jadi, 2000). نتایج حاصل از این مطالعات در رده‌بندی ساختمان‌ها با استفاده از آیین‌نامه‌های ساختمانی نیز کاربرد گسترده‌ای دارد. روش‌های ژئوفیزیکی، اطلاعاتی را در مورد خواص فیزیکی لایه‌های سطح زمین ارائه می‌دهد (U.S. EPA, 1997). به منظور شناخت و ارزیابی اثرات ساختمان‌ها، لازم است پارامترها و داده‌های لازم تعیین شوند. یکی از این داده‌ها برای مشخص کردن اثرات زمین‌لرزه بر روی ساختمان‌ها، سرعت موج و پارامترهای وابسته به آن در لایه‌های سطحی است (Anbazhagan and Sitharam, 2008). در این خصوص می‌توان از آزمایش‌های انتشار امواج لرزه‌ای شامل آزمایش لرزه‌ای شکست مرزی، آزمایش بین گمانه‌ای، آزمایش درون گمانه‌ای و آزمایش‌های تجزیه و تحلیل طیفی امواج زیر سطحی (MASW) استفاده کرد (Boominathan, 2004). در مطالعات ژئوتکنیک لرزه‌ای، روش لرزه‌ای شکست مرزی کم‌ژرفا، روشی قابل قبول است (Walker et al., 1991). با استفاده از این روش، خواص مهندسی لرزه‌ای خاک تعیین می‌شود. اصلی‌ترین پارامتر اندازه‌گیری شده در این روش، تعیین سرعت موج برشی و ستبرای لایه‌های مختلف خاک می‌باشد. اندازه‌گیری سرعت موج برشی از اهمیت خاصی برخوردار است، زیرا در آن، جهت ارتعاش ذره عمود بر جهت انتشار موج برشی است و این امر باعث می‌شود که تنها خواص برشی اسکلت خاک مشخص شود و نه سیال‌های موجود در بین ذرات خاک که خاصیت برش ندارند (Luna & Jadi, 2000). از دیگر نتایج این مطالعات می‌توان به تعیین میانگین سرعت موج برشی و ژرفای سنگ بستر لرزه‌ای اشاره کرد. میانگین سرعت موج برشی در رده‌بندی نوع زمین بر اساس آیین‌نامه‌های ساختمانی نقش مهمی دارند. تعیین ژرفای سنگ بستر لرزه‌ای در مطالعات تحلیل پاسخ زمین نیز یکی از عوامل ضروری است که می‌توان این ژرفا را از روش لرزه‌ای شکست مرزی تعیین نمود (Boominathan, 2004). افزون بر این، تعیین ژرفای سنگ بستر لرزه‌ای در رده‌بندی نوع زمین در استاندارد ۲۸۰۰ (کمیته

دائمی بازنگری آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، ۱۳۸۴)، لازم است. در این مقاله، بخشی از مطالعات ریزپهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای شهر شیراز در قالب مطالعات ژئوسایزمیکی به روش لرزه‌ای شکست مرزی ارائه می‌شود. در این مطالعات، ۴۰۴ پروفیل لرزه‌ای طولی و عرضی مکان‌یابی و مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعات در رده‌بندی زمین برای ارزیابی اثر ساختمان‌ها بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ و آیین‌نامه اروپا (Eurocode8) (CEN, 2004) مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعات پراکندگی ستبرای و سرعت موج برشی لایه‌ها و میانگین سرعت موج برشی تا ژرفای ۳۰ متر ارزیابی و به نقشه درآمده است (طباطبایی و همکاران، ۱۳۸۸).

۲- ویژگی‌های جغرافیایی و زمین‌شناسی عمومی محدوده مورد مطالعه

شهر شیراز مرکز استان فارس، در جنوب باختری ایران قرار دارد و سومین شهر بزرگ ایران از نظر وسعت است. شهر شیراز بر اساس آخرین تقسیمات اداری به ۹ منطقه مستقل شهری تقسیم شده و مساحتی حدود ۱۷۸/۸۹۱ کیلومتر مربع دارد. برپایه آخرین سرشماری مرکز آمار ایران در سال ۱۳۸۵ خورشیدی، این شهر ۱۰۲۱۴۰۸۰۸ نفر جمعیت را در خود جای داده است. این شهر در ارتفاع ۱۴۸۶ متری از سطح دریا و در منطقه کوهستانی زاگرس واقع شده و آب و هوای معتدل دارد. این شهر از سمت باختر به کوه دراک، از سمت شمال به کوه‌های بمو، سبزپوشان، چهل مقام و باباکوهی محدود شده است (وب‌گاه ویکی‌پدیا، بازدید در پاییز ۱۳۸۹).

به طور کلی محدوده شهرستان شیراز از نظر زمین‌شناسی، بخشی از پهنه چین‌خورده- رانده زاگرس را در کمربند کوهزایی آلپ- هیمالیا در بر می‌گیرد. از جلوه‌های زمین‌شناسی آن، وجود ساختارهای تاقدیسی پهن و منفرد و ناودیس‌هایی با راستای محوری از خاوری-باختری (در بخش‌هایی از تاقدیس کوه احمدی) تا نزدیک به ۳۰ درجه شمال باختری (در بخش‌هایی از تاقدیس کوه میان جنگل) متغیر است. این چنین ساختارهایی با بی‌هنجاری و به هم ریختگی‌های ساختاری همراه بوده

پروفیل برای موج طولی، طراحی و ثبت شد (شکل ۱). افزون بر این، تعداد ۲۰۵ گمانه ژئوتکنیکی موجود در گستره شهر شیراز گردآوری گردید. در این میان گمانه‌های قابل اعتماد از حفاری‌های شرکت مترو که ژرفای مناسبی داشتند، انتخاب شدند. این گمانه‌ها در دو بخش مرکزی (۱۰ گمانه) و جنوبی (۱۵ گمانه) قرار دارند. موقعیت گمانه‌های یاد شده در شکل ۱ نشان داده شده است.

۴- تحلیل داده‌ها و نتایج

به منظور آگاهی از شرایط خاک زیر سطحی شهر شیراز و مشخص نمودن انواع مصالح با توجه به رفتار دینامیکی موثر، در هر محل، دو نوع ژئوفون به صورت هم‌ردیف استفاده شد. در اولین مرحله از کسب اطلاعات، ژئوفون‌های نوع P به دستگاه متصل شدند و تعداد ۵ ضربه با کمک چکش بر روی صفحه وارد آمد. ضربه‌ها شامل یک ضربه نزدیک، سه ضربه با فواصل ۱/۴، ۱/۲ و ۳/۴ از طول آرایه و یک ضربه معکوس است. به منظور کسب امواج برشی، ژئوفون‌های نوع S به دستگاه متصل شدند. تعداد ۶ ضربه با کمک چکش به هر دو لبه الواری که نسبت به جهت گیرنده به طور قائم قرار گرفته بود، وارد شد. این ضربه‌ها شامل ضربه نزدیک، ضربه متوسط و ضربه معکوس بوده و به دلیل آنکه ضربات بر روی هر دو سطح الوار وارد شده بود، قطبیت (پلاریته) معکوس دارند.

توزیع سرعت موج برشی و سبترای لایه‌های مختلف و توزیع سرعت موج برشی در سنگ بستر لرزه‌ای و نیز ژرفای آن، به صورت نقشه تهیه شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، ساختگاه شهر شیراز به سه لایه مجزا از نظر سرعت و سبترای تفکیک گردیده است.

۴-۱. سرعت موج برشی و سبترای لایه اول

سرعت امواج برشی در شکل ۲ ارائه شده است. دامنه سرعت موج برشی برای لایه اول، از ۱۸۰ تا ۸۰۰ متر بر ثانیه متغیر است. همان گونه که ملاحظه می‌شود سرعت موج برشی در بیشتر نواحی مرکز و جنوب شهر بین ۱۸۰ تا ۳۵۰ متر بر ثانیه متغیر بوده که مقادیر کمی دارند. سرعت موج برشی در بیشتر نواحی شمال شهر، حدود ۳۵۰ تا ۶۵۰ متر بر ثانیه است که در برخی نقاط تا ۸۰۰ متر بر ثانیه افزایش می‌یابد. بنابراین سرعت موج برشی برای لایه اول در سراسر شهر شیراز، تقریباً به سه ناحیه اصلی کم سرعت، سرعت متوسط و پر سرعت تقسیم‌بندی شده است.

توزیع سبترای لایه اول از ۰/۷ تا ۱۸ متر متغیر است. سبترای لایه اول در بیشتر نواحی بین ۳ تا ۷ متر است. در بخشی از مرکز شهر شیراز و برخی نقاط دیگر، سبترای لایه اول بین ۷ تا ۹ بوده که سبترای متوسطی را نشان می‌دهد. همچنین در مناطق محدودی از شهر سبترای این لایه تا ۱۸ متر افزایش می‌یابد (شکل ۳).

۴-۲. سرعت موج برشی و سبترای لایه دوم

شکل ۴ توزیع پربندی مقدار سرعت امواج برشی برای لایه دوم را نشان می‌دهد. در لایه دوم سرعت موج برشی از ۴۰۵ تا ۱۵۳۴ متر بر ثانیه متغیر است. نواحی کم‌سرعت که مرکز و بخشی از شمال را در بر گرفته، سرعتی بین ۴۰۵ تا ۷۰۰ متر بر ثانیه را نشان می‌دهد. در بیشتر مناطق سرعت موج برشی از ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ متر بر ثانیه متغیر بوده که نشان‌دهنده سرعت متوسط در این لایه است. در برخی مناطق نیز سرعت موج برشی به ۱۵۳۴ متر بر ثانیه می‌رسد. توزیع مقادیر سرعت موج برشی برای لایه دوم تقریباً به سه ناحیه اصلی کم‌سرعت، سرعت متوسط و پر سرعت تقسیم‌بندی می‌شود و می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر توزیع سرعت برشی در مرکز و بخش‌هایی از شمال منطقه مورد مطالعه، مقدار کمتری نسبت به بخش‌های دیگر دارد.

شکل ۵ توزیع پربندی مقدار سبترای لایه دوم را نشان می‌دهد. در این نقشه توزیع سبترای از ۵/۳ تا ۲۴/۳ متر متغیر است. بیشتر مناطق سبترایی بین ۱۳ تا ۱۷ متر دارند که سبترای متوسطی را نشان می‌دهند. در شمال باختر و مرکز این نقشه، مقادیر با سبترای زیاد در حدود ۱۷ تا ۲۴/۳ متر ملاحظه می‌شود. در برخی نواحی که به صورت

که حاصل اثر سازوکار گسیختگی‌ها و گسل‌های اصلی است. این اثرات سبب بروز تغییرات محلی مانند بروز گسیختگی‌های دامنه‌ای، تغییر سبترای واحدها، کج‌شدگی بخشی یا تمامی یک واحد، واژگونی لایه‌ها، تغییر در آهنگ گسترش لایه‌ها در سطح، انحراف محور ساختمان‌های تاق‌دیس-ناودیس، چین‌خوردگی دوباره و بروز تغییر در رخساره و ایجاد ساختارهای رسوبی به ویژه در نهشته‌های جوان حوضه‌های رسوبی کواترنری می‌شود. با توجه به اطلاعات، داده‌های نقشه مغناطیس‌هوایی شیراز، کمترین سبترای توالی رسوبی در منطقه شیراز، در دریاچه مهارلو با سبترایی نزدیک به ۸۰۰۰ متر است و بیشترین پوشش رسوبی در کوه‌های دشت ارژن و با سبترایی حدود ۱۴۰۰۰ متر می‌باشد. زمان زمین‌شناسی برون‌زدهای سنگی آن که بخش‌های کوهستانی منطقه را در برمی‌گیرد، از پرکامبرین تا پلیستوسن پیشین است، در مناطق پست (دشت‌ها) این واحدهای سنگی توسط رسوبات پلیستوسن بالایی و هولوسن پوشیده شده‌اند. این رسوبات جوان و کم‌سبترای توسط فرسایش و تخریب مناطق کوهستانی و حمل آنها به مناطق کم‌ارتفاع به وجود می‌آیند که از عمده‌ترین عامل تخریب و حمل این رسوبات، فرسایش حاصل از آب و حمل آنها توسط آبراهه‌ها و رودخانه‌ها است. دشت‌های منطقه مورد بررسی، جایگاه رسوبات جوان با واحد زمانی کواترنری را در برمی‌گیرد. خاستگاه این رسوبات از تخریب، فرسایش و حمل واحدهای قدیمی (کهن‌تر از کواترنری) متمرکز شده در بخش کوهستانی منطقه ایجاد شده‌اند. در بخش‌های پست و دشت‌های محدوده مورد بررسی، رودخانه‌های مهم و پرآبی جریان دارند که طی شکل‌گیری دشت‌های منطقه، بارها طغیان کرده و سطح دشت‌های هموار را با رسوبات خود پوشانیده‌اند. به گونه‌ای که بیشتر رسوبات عهد حاضر دشت‌ها را، رسوبات سیلابی تشکیل می‌دهند. یکی از عوامل گسترده‌ی رسوبگذاری در این دشت‌ها، قدرت جابه‌جایی رودخانه‌های منطقه، و عامل دیگر هموار بودن دشت‌ها است که باعث می‌شود هنگام طغیان رودخانه‌ها، وسعت زیادی از دشت‌ها را آب فرا گیرد. کوه‌های منطقه، هم‌سرمناخ رودخانه‌ها هستند و هم بر اثر فرسایش، تأمین‌کننده مواد رسوبی دشت‌ها و مواد آبرفتی رودخانه‌ها هستند. لازم به ذکر است زمین ساخت، جنس سازندهای مختلف، مقاومت سنگ‌ها، رودخانه‌ها، فرسایش و بسیاری موارد دیگر از پدیده‌های زمین‌شناسی، از عواملی هستند که سبب گسترش رسوبات کواترنری شده‌اند. بخش‌های مرتفع و کوهستانی منطقه شامل تاق‌دیس‌ها- ناودیس‌هایی با روند شمال باختر- جنوب خاور از رشته کوه زاگرس است که از سازندهای زمین‌شناسی قدیمی‌تر از کواترنری تشکیل شده‌اند (وب‌گاه رسمی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، بازدید در پاییز ۱۳۸۹).

۳- شناسایی شرایط لایه‌های سطحی ساختگاه با استفاده از روش لرزه‌ای شکست مرزی

روش لرزه‌ای شکست مرزی برای بررسی‌های کلی ساختگاهی و با هدف تعیین خواص دینامیکی و لرزه‌ای لایه‌های سطحی زمین، روش مناسبی است. روش مورد نظر به منظور تعیین سرعت‌های موج الاستیکی پروفیل خاک، اطلاعات لازم را فراهم می‌آورد. با استفاده از روش لرزه‌ای شکست مرزی، می‌توان شرایط زمین‌شناسی لایه‌های سطحی ساختگاه اعم از ژرفای سنگ بستر طبیعی یا لرزه‌ای، سطح ایستایی، چینه‌شناسی، سنگ‌شناسی، ساختمان‌های زمین‌شناسی و مناطق شکستگی را بررسی کرد (ASTM D5777, 1996). بر اساس این قابلیت در این مطالعات، سعی گردید با به کارگیری این روش داده‌هایی همچون سبترای و دیگر پارامترهای لایه‌های زیرسطحی به دست آید. برای کسب داده‌های انکساری از دستگاه TERRALOC MK6 با ۲۴ ژئوفون و فواصل ۳/۷۵ متر استفاده شد. دو نوع ژئوفون با بسامد طبیعی ۱۰ هرتز و آهنگ نمونه‌برداری ۲۵۰ میکروثانیه برای هر مکان استفاده گردید. شبکه پروفیل‌های لرزه‌ای به گونه‌ای طراحی شدند که تمامی محدوده مورد مطالعه را پوشش دهند. بدین ترتیب تعداد ۲۰۲ پروفیل برای موج عرضی و ۲۰۲

ژرفای سنگ بستر لرزه‌ای در شهر شیراز کمتر از ۳۰ متر است. میانگین سرعت موج برشی از ۳۷۵ تا ۱۲۵۳ متر بر ثانیه متغیر می‌باشد. از این رو شهر شیراز بر اساس استاندارد ۲۸۰۰، در گروه I قرار می‌گیرد. بر اساس آیین‌نامه اروپا، بیشتر محدوده شهر شیراز در گروه B، E و در برخی نقاط در گروه A رده‌بندی می‌شود. محدوده نسبتاً گسترده‌ای از مرکز، جنوب و شمال باختری شهر شیراز در گروه E رده‌بندی می‌گردد (شکل ۱۰). تفاوت به‌دست‌آمده در رده‌بندی نوع زمین در پهنه شیراز با استفاده از دو آیین‌نامه یاد شده، مرتبط با ژرفای سنگ بستر لرزه‌ای بیان شده در استاندارد ۲۸۰۰ و وجود زمین نوع E در آیین‌نامه اروپاست.

۷- مقایسه نتایج میانگین سرعت موج برشی و اطلاعات گمانه‌های موجود

به منظور ارزیابی مطالعات، نتایج سرعت امواج برشی با توزیع جنس و توالی لایه‌ها و آزمایش نفوذ استاندارد (SPT)، حاصل از گمانه‌های ژئوتکنیکی موجود (شکل ۱)، در دو مقطع عرضی واقع در بخش مرکزی و جنوبی، مورد مقایسه قرار گرفتند. شکل‌های ۱۱ و ۱۲ به ترتیب مقطع عرض مرکزی و جنوبی را نشان می‌دهند. جدول ۳ سرعت موج برشی، جنس لایه‌ها و اعداد SPT در گمانه‌های BH1، BH2 و BH3 را نشان می‌دهد. از آنجا که انجام آزمایش SPT در خاک ریز دانه مجاز نیست، بنابراین، از این نتایج تنها به عنوان شاخص سختی مصالح استفاده شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، سرعت امواج برشی در خاک درشت‌دانه (GM) بیشتر از سرعت امواج برشی خاک ریزدانه (CL) می‌باشد. تعداد ضربات SPT در ۳ گمانه مورد مطالعه، نسبت به ژرفای بالاتر از ۵۰ است که تطابق مناسبی با افزایش سرعت موج برشی نسبت به ژرفا دارد.

۸. بحث

پروفیل‌های خاک بر اساس آیین‌نامه اروپا در ۷ گروه و بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ در ۴ گروه تقسیم می‌شوند. گروه A در آیین‌نامه اروپا معادل گروه I در استاندارد ۲۸۰۰ بوده و گروه B در آیین‌نامه اروپا بسته به ژرفای سنگ بستر لرزه‌ای می‌تواند معادل گروه‌های I و II در استاندارد ۲۸۰۰ باشد. در آیین‌نامه اروپا یک گروه به نام نوع E تعریف شده است. زمین نوع E، زمینی است که در آن یک آبرفت سست بر روی یک لایه سخت استقرار یافته است. در این نوع زمین با وجود آنکه ممکن است میانگین سرعت موج برشی نمایانگر زمین نوع A یا B باشد، اما با توجه به ستبرای سرعت لایه‌ها، زمین در نوع E گروه‌بندی می‌شود. اهمیت شناخت زمین نوع E ناشی از افزایش قابل توجه میزان شتاب طیفی در مقابل ثابت ماندن زمان تناوب محدوده شتاب ثابت طیف طرح نسبت به طیف طرح زمین‌های نوع A و B است. شکل ۱۳ طیف‌های طراحی در آیین‌نامه اروپا را نشان می‌دهد. در این شکل، افزایش شتاب طیفی در زمین نوع E نسبت به زمین‌های نوع A و B به خوبی قابل ملاحظه است. این مناطق مستعد تشدید دامنه امواج در حین رخداد زمین‌لرزه هستند و باعث افزایش شتاب طیفی و به دنبال آن نیروی بیشتری به سازه‌ها وارد می‌شود. در استاندارد ۲۸۰۰، زمین نوع E لحاظ نگردیده است. بنابراین، ضروری است به منظور کاهش خسارات مالی و جانی ناشی از زمین لرزه‌های آتی، تمهیدات مناسبی در استاندارد ۲۸۰۰ مورد توجه قرار گیرد.

۹- نتیجه‌گیری

به منظور ارزیابی شرایط زیر سطحی ساختگاه در شهر شیراز، سرعت موج برشی و دیگر پارامترها به کمک آزمایش لرزه‌ای شکست مرزی کسب و محاسبه شد. این بررسی‌ها در ۴۰۴ پروفیل لرزه‌ای طولی و عرضی انجام شد. با استفاده از پروفیل‌های سرعت موج برشی ویژگی‌های لایه‌های زمین تهیه گردید. مقادیر سرعت موج برشی

پراکنده دیده می‌شوند، ستبرای بین ۵/۳ تا ۱۳ متر متغیر و معرف نواحی کم‌ستبراست. توزیع مقادیر ستبرای برای لایه دوم در شهر شیراز تقریباً به سه ناحیه با ستبرای کم، متوسط و زیاد تقسیم‌بندی شده است. مقادیر توزیع ستبرای لایه دوم در بخش‌هایی از شمال و جنوب منطقه مورد مطالعه مقدار کمتری نسبت به باختر و مرکز آن دارد.

۴-۳. سرعت موج برشی لایه سوم

شکل ۶ توزیع پربندی مقدار سرعت امواج برشی برای لایه سوم را نشان می‌دهد. در این نقشه مقدار سرعت موج برشی از ۸۳۵ تا ۱۹۵۰ متر بر ثانیه متغیر است. در بیشتر مناطق سرعت موج برشی از ۱۱۵۰ تا ۱۶۰۰ متر بر ثانیه متغیر بوده و معرف ناحیه با سرعت بالاست. در شمال باختر و مرکز شهر، سرعتی بین ۸۳۵ تا ۱۱۵۰ متر بر ثانیه مشاهده می‌گردد. نواحی کمی نیز به صورت پراکنده با سرعتی معادل ۱۶۰۰ تا ۱۹۵۹ متر بر ثانیه دیده می‌شود. توزیع مقادیر سرعت موج برشی برای لایه سوم نشان می‌دهد که سنگ بستر لرزه‌ای در کلیه نقاط شهر به‌دست آمده است.

۴-۴. سرعت موج برشی و ژرفای سنگ بستر لرزه‌ای

شکل ۷، توزیع سرعت موج برشی برای سنگ بستر لرزه‌ای را نشان می‌دهد. بر اساس استاندارد ۲۸۰۰، مصالح با سرعت بیشتر از ۷۵۰ متر بر ثانیه، سنگ بستر لرزه‌ای به شمار می‌رود. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، بیشتر مناطق سرعتی بین ۸۰۰ تا ۱۴۰۰ متر بر ثانیه دارند که در برخی مناطق سرعت موج برشی تا ۱۸۶۴ متر بر ثانیه افزایش می‌یابد. شکل ۸ توزیع پربندی ژرفای سنگ بستر لرزه‌ای حاصل از اندازه‌گیری امواج برشی را نشان می‌دهد. در این نقشه، ژرفای سنگ بستر لرزه‌ای از ۰/۸ تا ۲۹/۷ متر متغیر است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود در شمال باختر و جنوب منطقه مورد مطالعه، ژرفای سنگ بستر لرزه‌ای نسبت به نواحی دیگر کمتر است. در بخش‌های مرکزی ژرفای سنگ بستر ۲۰ تا ۳۰ متر می‌باشد. توزیع مقادیر ژرفا برای سنگ بستر لرزه‌ای در سراسر شهر شیراز، تقریباً به سه ناحیه اصلی کم، متوسط و زیاد تقسیم‌بندی شده است. به عبارتی، می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر توزیع ژرفای سنگ بستر لرزه‌ای در شمال باختر و جنوب منطقه مورد مطالعه از مقدار کمتری نسبت به مرکز آن برخوردار است.

۵- توزیع میانگین سرعت موج برشی در شهر شیراز

یکی از روش‌های رده‌بندی نوع زمین در آیین‌نامه‌های ساختمانی، استفاده از میانگین سرعت موج برشی از سطح تا ژرفای ۳۰ در پروفیل خاک مورد نظر است. در کلیه آیین‌نامه‌های ساختمانی، میانگین سرعت موج برشی از سطح تا ژرفای ۳۰ متر، با فرمول زیر محاسبه می‌شود. در این رابطه، $\bar{V}_s$ معرف میانگین سرعت موج برشی از سطح تا ژرفای ۳۰ متر بوده و d_i و V_{si} به ترتیب ستبرای و سرعت موج برشی در هر لایه هستند.

$$\bar{V}_s = \frac{\sum d_i}{\sum (d_i / V_{si})}$$

بر اساس نتایج حاصل از مطالعات، میانگین سرعت موج برشی تا ژرفای ۳۰ متر در شهر شیراز تعیین گردید. شکل ۹ توزیع سرعتی میانگین موج برشی را نشان می‌دهد. در این نقشه توزیع سرعت از ۳۷۵ تا ۱۲۵۳ متر بر ثانیه متغیر بوده و بیشتر مناطق سرعتی بین ۳۷۵ تا ۷۵۰ متر بر ثانیه دارند.

۶- رده‌بندی نوع زمین بر اساس سرعت موج برشی میانگین در شهر شیراز

در این مطالعات، پروفیل‌های خاک بر مبنای استاندارد ۲۸۰۰ (جدول ۱) و آیین‌نامه اروپا (جدول ۲) رده‌بندی شدند. در این آیین‌نامه‌ها، رده‌بندی زمین، بر اساس توصیف لایه‌بندی خاک و میانگین سرعت موج برشی از سطح تا ژرفای ۳۰ متری زمین صورت می‌گیرد. افزون بر این، در آیین‌نامه اروپا، رده‌بندی زمین بر اساس میانگین عدد نفوذ استاندارد و مقاومت برشی زهکشی نشده از سطح تا ژرفای ۳۰ متری زمین نیز صورت می‌گیرد.

برای لایه‌های مختلف ژئوفیزیکی و میانگین سرعت موج برشی تا ژرفای ۳۰ متر تعیین شد.

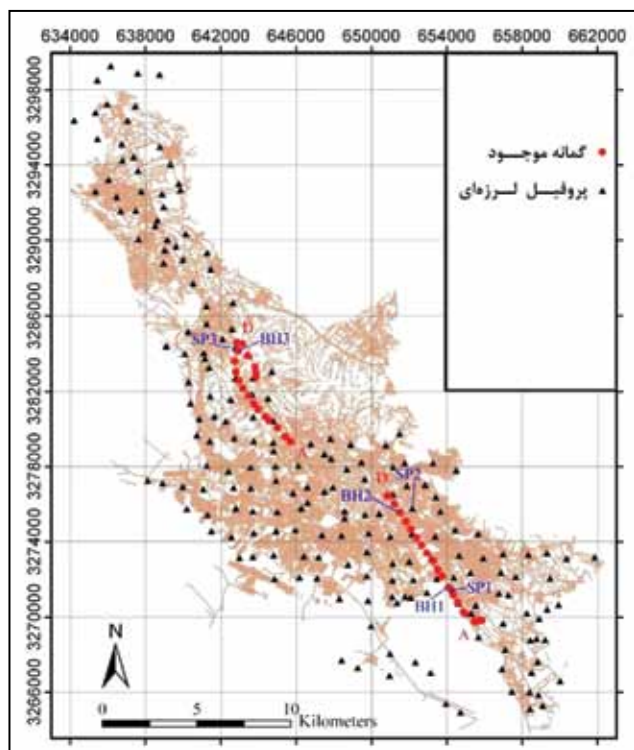
بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، شهر شیراز به سه لایه مجزا از نظر سرعت و ستبرای تفکیک شده است. توزیع سرعت موج برشی و ستبرای برای لایه اول به ترتیب از ۱۸۰ تا ۸۰۰ متر بر ثانیه و از ۰/۷ تا ۱۸ متر متغیر است. میزان سرعت موج برشی و ستبرای برای لایه دوم به ترتیب از ۴۰۵ تا ۱۵۳۴ متر بر ثانیه و از ۵/۳ تا ۲۴/۲ متر می‌باشد. سرعت موج برشی در لایه سوم از ۸۲۵ تا ۱۹۵۰ متر بر ثانیه متغیر است. ژرفای سنگ بستر لرزه‌ای در گستره شهر شیراز کمتر از ۳۰ متر می‌باشد.

نتایج سرعت امواج برشی با اطلاعات به‌دست‌آمده از گمانه‌های ژئوتکنیکی موجود، در دو بخش مرکزی و جنوبی مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش ژرفا، مقادیر عدد SPT و سرعت موج برشی افزایش می‌یابد.

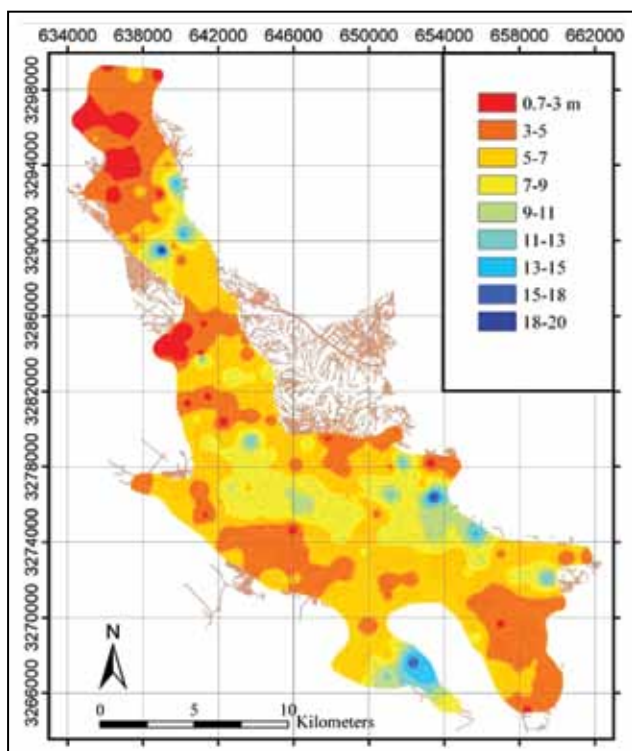
میانگین سرعت موج برشی بین ۳۷۵ تا ۱۲۵۳ متر بر ثانیه متغیر است. ژرفای سنگ بستر لرزه‌ای کمتر از ۳۰ متر می‌باشد، از این رو بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ شهر شیراز در گروه I قرار می‌گیرد. بر اساس آیین‌نامه اروپا، بیشتر محدوده شهر شیراز در گروه E، B و در برخی مناطق در گروه A رده‌بندی می‌شود. محدوده نسبتاً گسترده‌ای از مرکز، جنوب و شمال باختری شهر شیراز در گروه E رده‌بندی می‌گردد که در استاندارد ۲۸۰۰ به ویژگی‌های این خاک اشاره نشده است. ویژگی‌های این خاک نشان می‌دهد که این مناطق در هنگام رخداد زمین‌لرزه به دلیل بزرگ‌نمایی بیشتر، دچار آسیب بیشتری می‌شوند. بنابراین، ضروری است به منظور کاهش خسارات مالی و جانی ناشی از زلزله‌های آتی، تمهیدات مناسبی در استاندارد ۲۸۰۰ مورد توجه قرار گیرد.

سپاسگزاری

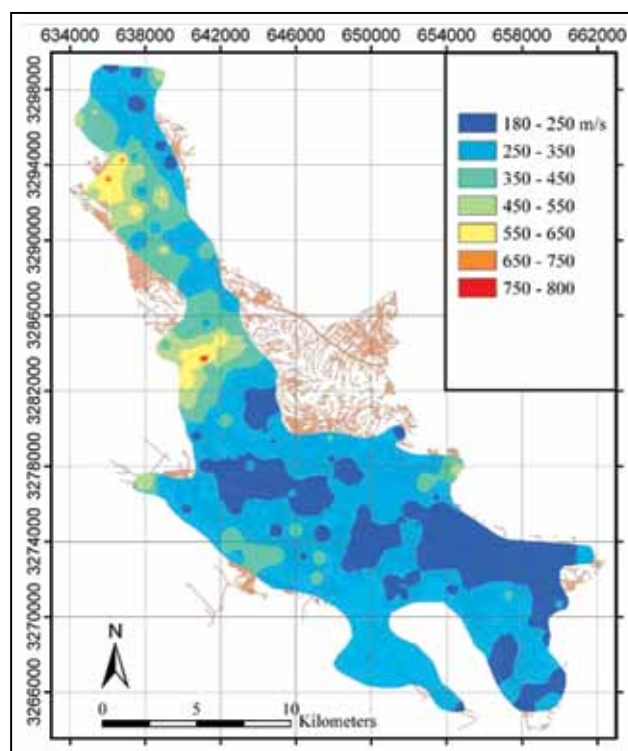
نویسندگان این مقاله از سازمان مسکن و شهرسازی استان فارس به لحاظ تأمین اعتبار مطالعات تشکر و قدردانی می‌نمایند.



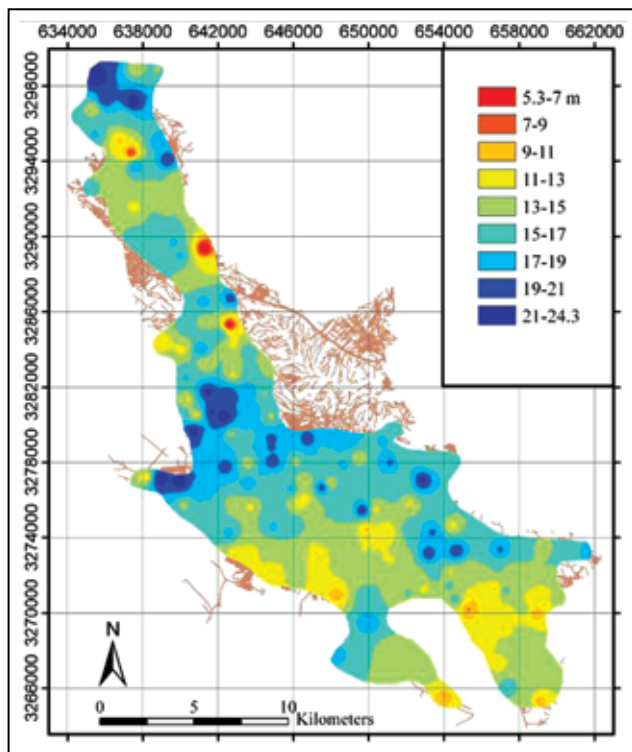
شکل ۱- موقعیت گمانه‌های ژئوتکنیکی موجود و پروفیل‌های لرزه‌ای در گستره شهر شیراز



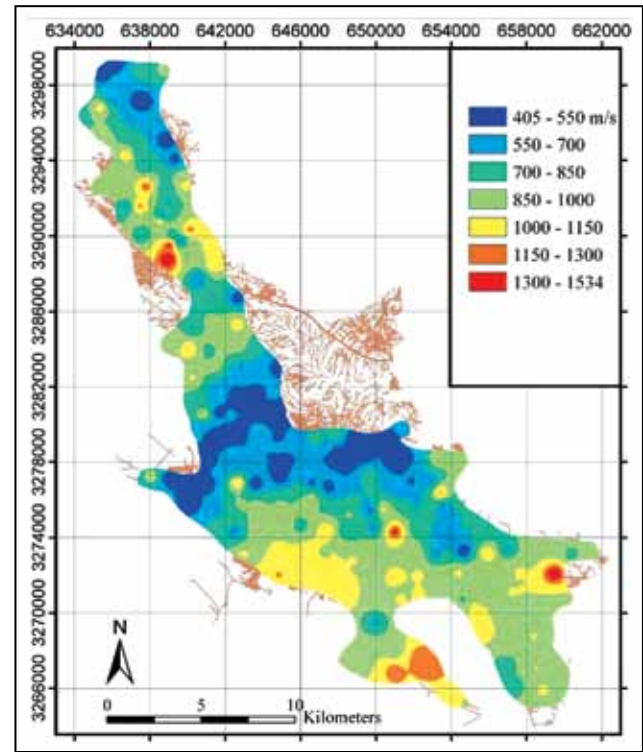
شکل ۳- ستبرای لایه اول در گستره شهر شیراز



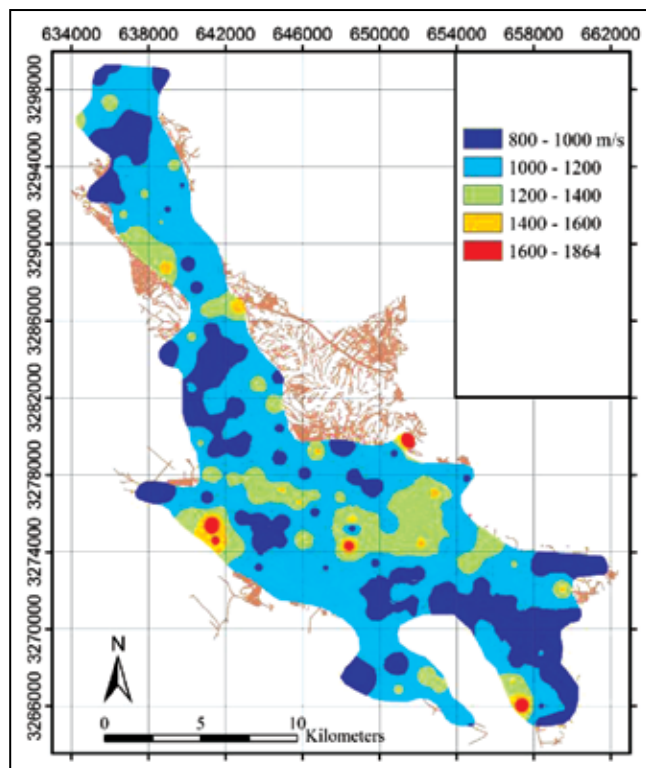
شکل ۲- سرعت موج برشی در لایه اول در گستره شهر شیراز



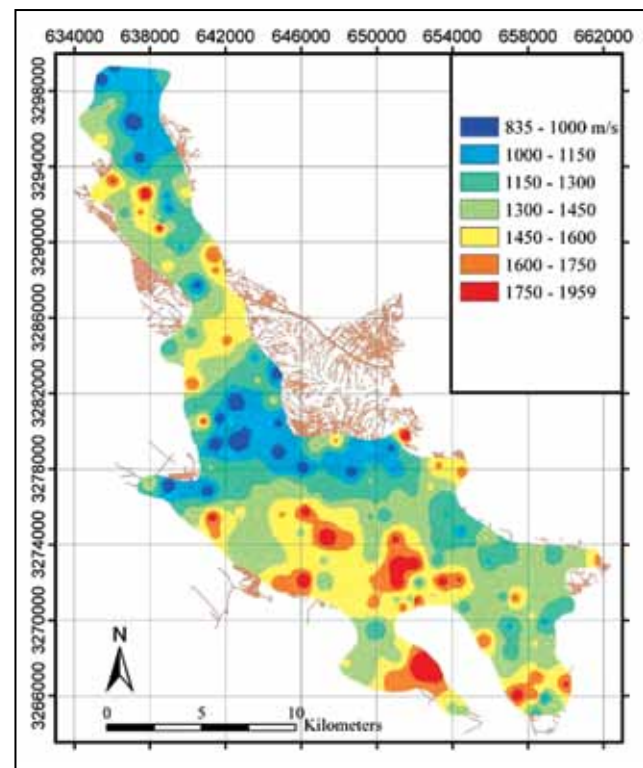
شکل ۵- ستبرای لایه دوم در گستره شهر شیراز



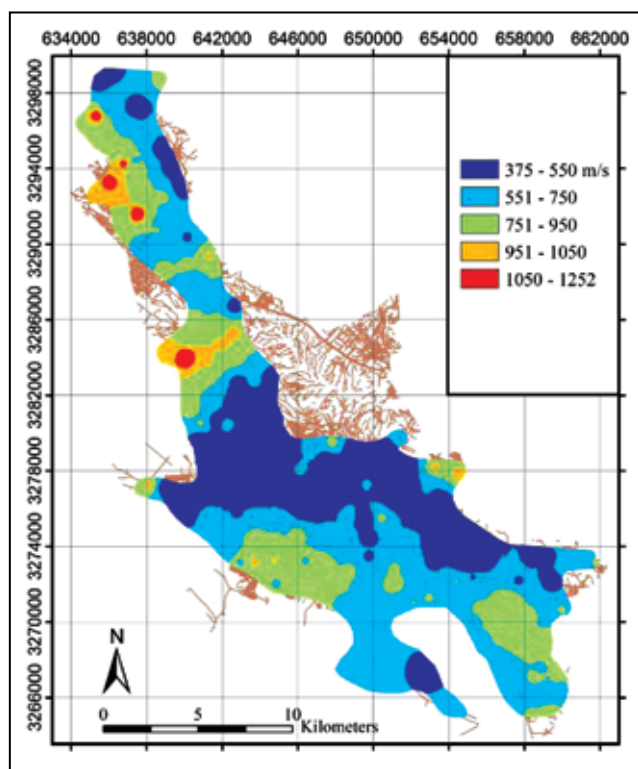
شکل ۴- سرعت موج برشی در لایه دوم در گستره شهر شیراز



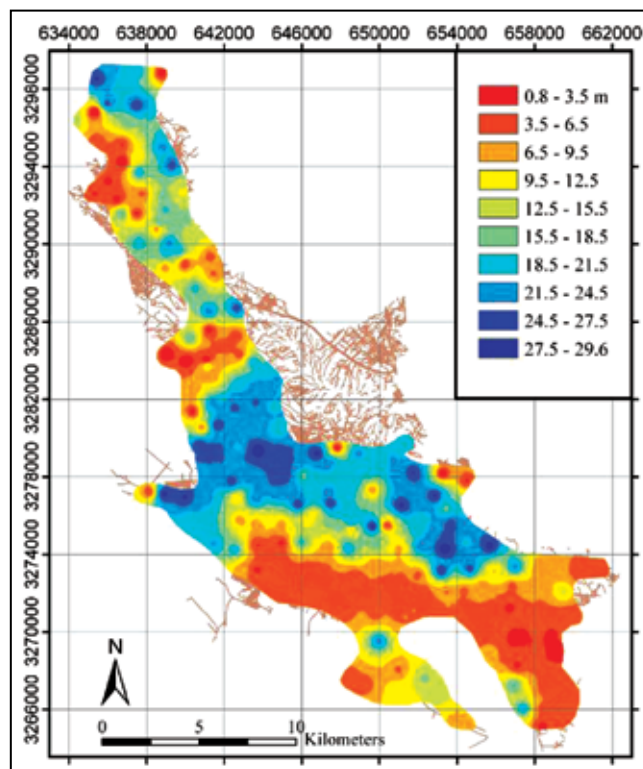
شکل ۷- سرعت موج برشی در سنگ بستر لرزه‌ای در گستره شهر شیراز



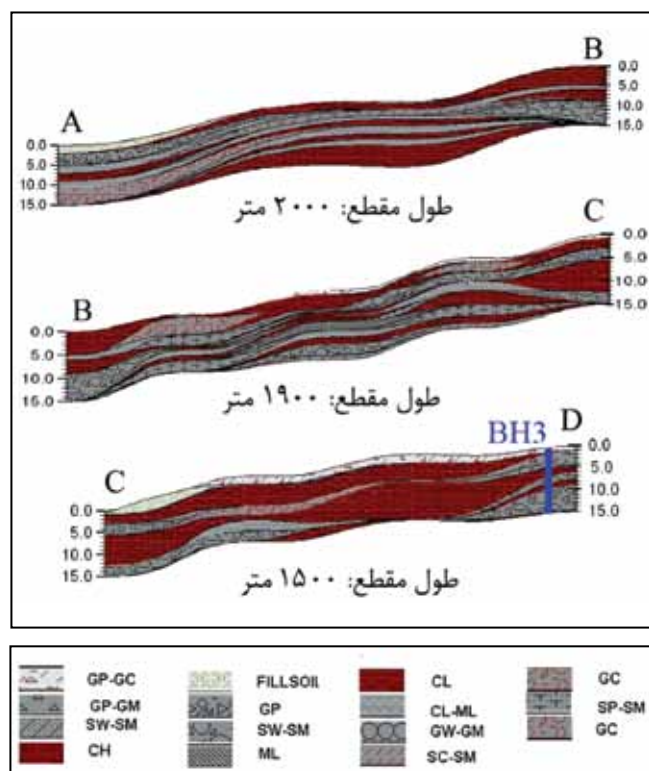
شکل ۶- سرعت موج برشی در لایه سوم در گستره شهر شیراز



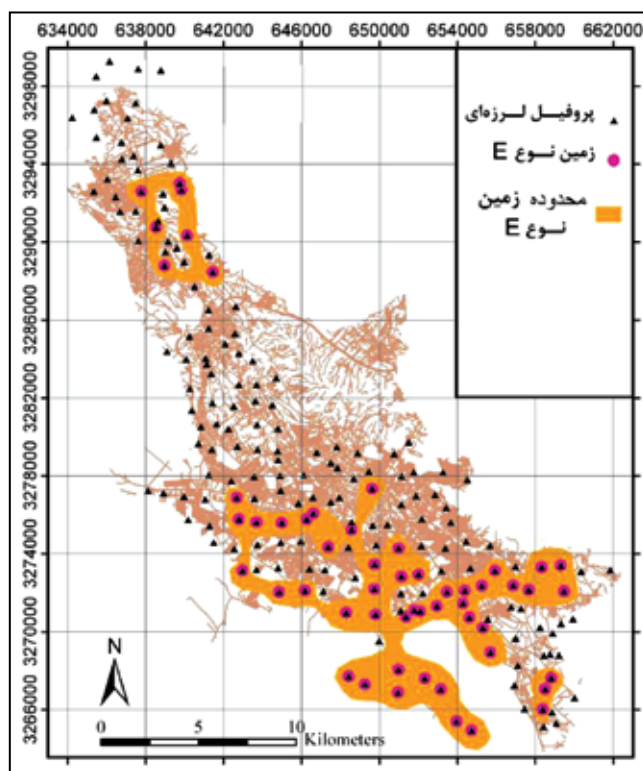
شکل ۹- میانگین سرعت موج برشی تا ژرفای ۳۰ متر در گستره شهر شیراز



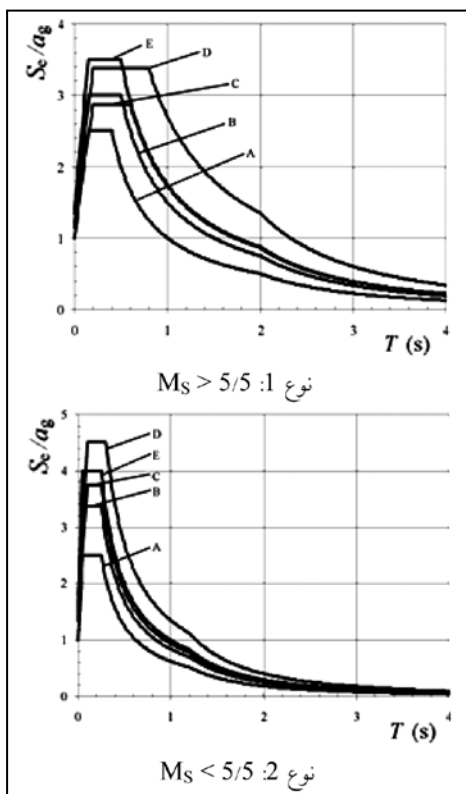
شکل ۸- ژرفای سنگ بستر لرزه‌ای در گستره شهر شیراز



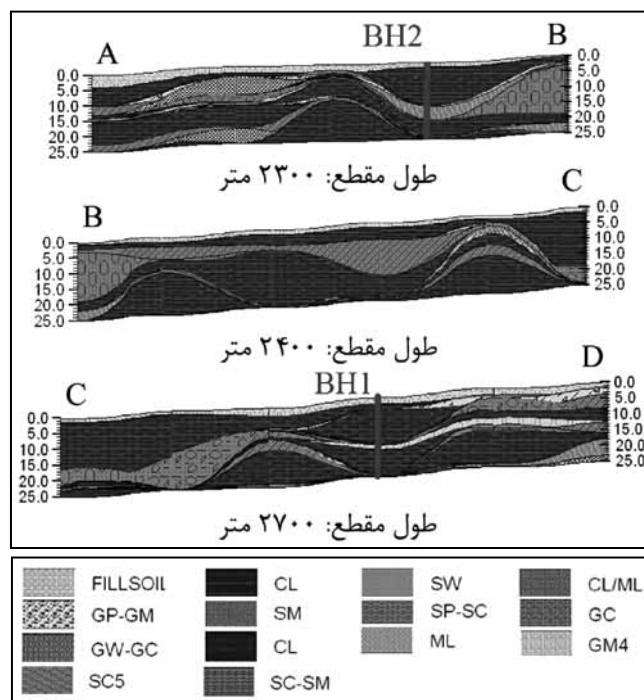
شکل ۱۱- جنس و توالی لایه‌های حاصل از گمانه‌های ژئوتکنیکی موجود در قسمت مرکزی گستره شهر شیراز



شکل ۱۰- محدوده زمین نوع E، بر اساس آیین‌نامه اروپا در گستره شهر شیراز



شکل ۱۳- طیف‌های طراحی برای زمین‌های نوع A تا E در آیین‌نامه اروپا (CEN, 2004)



شکل ۱۲- جنس و توالی لایه‌های حاصل از گمانه‌های ژئوتکنیکی موجود در قسمت جنوبی گستره شهر شیراز

جدول ۱- رده‌بندی زمین بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ (کمیته دائمی بازنگری آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، ۱۳۸۴)

جدول ۲- رده‌بندی زمین بر اساس آیین‌نامه اروپا (CEN, 2004)

رده ساختگاه	شرح لایه‌های خاک	پارامترها		
		سرعت موج برشی، $\bar{V}_s$ m/s	عدد نفوذ استاندارد، $\bar{N}$ (blows/30cm)	مقاومت برشی زهکشی نشده، C_u (kPa)
A	سنگ یا دیگر سازندهای زمین‌شناسی شبه سنگ و شامل حداکثر ۵ متر مصالح ضعیف‌تر در سطح	> 800	-----	-----
B	نهشته‌های ماسه‌ای بسیار متراکم و شن یا رس خیلی سخت با ستبرای دست کم چند ده متر که با افزایش ژرفای خواص مکانیکی آن افزایش می‌یابد	$360-800$	> 50	> 250
C	نهشته‌های ژرف ماسه متراکم، یا نیمه متراکم، شن یا رس سخت با ستبرای چند ده متر تا صدها متر	$360-180$	$15-50$	$70-250$
D	نهشته‌های سست تا متوسط خاک‌های غیرچسبنده (یا بدون برخی لایه‌های چسبنده) یا خاک‌های نرم تا سخت با چسبندگی غالب	< 180	< 15	< 70

نوع زمین	مواد متشکله ساختگاه	حدود تقریبی $\bar{V}_s$ (متر بر ثانیه)
I	الف) سنگ‌های آذرین (دارای بافت درشت و ریزدانه)، سنگ‌های رسوبی سخت و بسیار مقاوم و سنگ‌های دگرگونی توده‌ای (گنایس-سنگ‌های متبلور سیلیکاتی) لایه‌های کنگلومرایی ب) خاک‌های سخت (شن و ماسه متراکم، رس بسیار سخت) با ستبرای کمتر از ۳۰ متر از روی بستر سنگی	$375 \leq \bar{V}_s \leq 750$ بیشتر از ۷۵۰
II	الف) سنگ‌های آذرین سست (مانند توف)، سنگ‌های سست رسوبی، سنگ‌های دگرگونی متورق و به طور کلی سنگ‌هایی که بر اثر هوازدگی (تجزیه و تخریب) سست شده‌اند. ب) خاک‌های سخت (شن و ماسه متراکم، رس بسیار سخت) با ستبرای بیشتر از ۳۰ متر	$375 \leq \bar{V}_s \leq 750$
III	الف) سنگ‌های متلاشی شده بر اثر هوازدگی ب) خاک‌های با تراکم متوسط، لایه‌های شن و ماسه با پیوند متوسط بین دانه‌ای و رس با سختی متوسط	$175 \leq \bar{V}_s \leq 375$
IV	الف) نهشته‌های نرم با رطوبت زیاد بر اثر بالابودن سطح آب زیرزمینی ب) هرگونه پروفیل خاک که شامل دست کم عمتر خاک رس با شاخص خمیری بیشتر از ۲۰ و درصد رطوبت بیشتر از ۴۰ باشد.	کمتر از ۱۷۵

رده ساختمان	شرح لایه های خاک	پارامترها	
		سرعت موج برشی، m/s	عدد نفوذ استاندارد، (blows/30cm)
E	یروفل خاک با لایه سطحی دارای سرعت موج برشی رده‌های C یا D و ستبرای بین ۵ و ۲۰ متر که روی لایه سخت‌تری با $\bar{V}_s > 800$ m/s قرار گرفته است.		
S ₁	نهشته‌های متشکل و یا شامل یک لایه خاک با حداقل ۱۰ متر ستبرای از رس / سیلت نرم با $PI > 40$ و درصد رطوبت بالا	< 100	---
S ₂	نهشته‌های با قابلیت روانگرایی، رس‌های حساس و یا هر نوع خاکی که در گروه‌های قبلی A-E و S ₁ دسته بندی نشوند		

جدول ۳- مقایسه نتایج حاصل از داده‌های ژئوتکنیک و ژئوسیسیمیک

ژئوتکنیک				ژئوسایزیمیک							
شناسه	عمق (m)	جنس	SPT	شناسه	V_{s1} (m/s)	V_{s2} (m/s)	V_{s3} (m/s)	Z_1 (m)	Z_2 (m)	Z_3 (m)	V_{save} (m/s)
BH1	۲	CL	> 50	SP1	۲۴۰	۹۷۰	۱۵۹۵	۵/۷	۱۵/۳	۹	۶۶۴
	۶	CL	> 50								
	۱۴/۵	CL	> 50								
	۱۹	ML	> 50								
	۲۵	CL	> 50								
BH2	۲	CL	> 50	SP2	۲۱۵	۶۸۰	۱۳۷۰	۷/۱	۱۲/۶	۱۰/۳	۵۰۸
	۷	CL	> 50								
	۱۵	CL	> 50								
	۲۰	CL	> 50								
	۲۵	CL	> 50								
BH3	۴/۵	CL	۲۶	SP3	۴۸۰	۹۴۵	۱۳۸۵	۵/۱	۱۲/۳	۱۲/۶	۹۱۶
	۶	GM	> 50								
	۷/۵	CL	> 50								
	۹	GM	> 50								
	۱۲	GM	> 50								
	۱۵	GM	> 50								

کتابنگاری

کمیته دائمی بازنگری آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، ۱۳۸۴ - آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰ ایران)، ویرایش سوم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

وب‌گاه رسمی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۹ - <http://www.gsi.ir>.

وب‌گاه ویکی‌پدیا، دانشنامه آزاد، ۱۳۸۹ - <http://fa.wikipedia.org>.

هاشمی طباطبایی، س.، فاطمی عقد، م.، بیت‌الهی، ع.، سعید، ن.، محمدی، ا.، سلامت، ا.، ۱۳۸۸ - راهنمای تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی مهندسی برای ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای در مناطق شهری، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

References

- Anbazhagan, P. and Sitharam, T.G., 2008- Site characterization studies of Bangalore using a geophysical method, The 3rd international conference on site characterization. Taipei international convention center (TICC) Taipei, Taiwan.
- ASTM, 1996- D5777: Standard guide for using the seismic refraction method for subsurface investigation, in American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Construction, Vol. 4.08 Soil and Rock (I): D420-D4914 ASTM, West Conshohocken, Pa, p, 556-568.
- Boominathan, A., 2004- Seismic site characterization for nuclear structures and power plants, Indian Academy of Sciences, Journal of Current Science, Vol 87-10, pages 1388-1397.
- CEN, 2004- BS EN, 1998 -1: 2004: Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, European Committee for Standardization. ISBN: 0580458725.
- Luna, R. and Jadi, H., 2000- Determination of dynamic soil properties using geophysical methods Proc. 1st Int. Conf. on the Application of Geophysical and NDT Methodologies to Transportation Facilities and Infrastructure Geophysics, (Federal Highway Administration, Saint Louis, MO) vol 3 pp 1-15.
- U.S. EPA., 1997- Chapter III: Surface Geophysical Methods. In: Expedited Site Assessment Tools for Underground Storage Tanks: A Guide for Regulators, EPA 510-B-970001, Office of Underground Storage Tanks, United States Environmental Protection Agency.
- Walker, C., Leung, T.M., Win, M.A. and Whiteley, R.J., 1991- Engineering Seismic Refraction: An Improved Field Practice and a New Interpretation Program, Exploration Geophysics, Volume Vol. 22, pages 423-428.