Archive of SID

فصلنامه علمی علوم و مهندسی زلزله
سال هشتم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۲۶
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۱۴

برخی ملاحظات پیرامون مدل ژئوتکنیک لرزه‌ای شهر اراک

ایمان رئیسی‌زاده
دانشجوی دکتری مهندسی ژئوتکنیک، گروه مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

محسن کمالیان (نویسنده مسئول)
استاد، پژوهشکده مهندسی ژئوتکنیک، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران، Kamalian@iiees.ac.ir

ابراهیم حق‌شناس
استادیار، پژوهشکده مهندسی ژئوتکنیک، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران

سید حمید لاجوردی
استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد اراک، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران

چکیده

با توجه به جمع‌آوری اطلاعات معتبر ژئوتکنیک در شهر اراک، مدل‌سازی آبرفت در این منطقه انجام و مطالعات تحلیل دینامیکی آبرفت به‌صورت یک‌بعدی خطی معادل و دو بعدی با استفاده از روش‌های عددی انجام و نتایج با یکدیگر مقایسه شده است. با توجه به تغییرات فرکانس طبیعی خاک در راستاهای مورد مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که در ایستگاه‌های با فرکانس طبیعی ساختگاه کمتر، ضخامت رسوبات کمی بیشتر و یا نرم بودن رسوبات کمی بیشتر و یا سنگ کف کمی پایین‌تر (در عمق بیشتری) از ایستگاه‌هایی است که دارای فرکانس طبیعی بزرگ‌تری هستند، همچنین با مشاهده نمودارهای حاصل شده در راستای شمال غربی- جنوب شرقی، پریود طبیعی حاصل از تحلیل دینامیکی یک‌بعدی در مقایسه با تحلیل دو بعدی حداکثر ۲۵ درصد اختلاف دارد که اختلاف این موضوع می‌تواند ناشی از تأثیر در نظر گرفتن توپوگرافی در تحلیل دو بعدی باشد. این در حالی است که در راستای شمال شرقی- جنوب غربی، نتایج با یکدیگر نسبتاً تطابق دارد که رفتار یک‌بعدی ساختگاه در این مسیر را نشان می‌دهد. همچنین به لحاظ طبقه‌بندی تیپ خاک بر مبنای سرعت موج برشی ۳۰ متر فوقانی مطابق آیین‌نامه ۲۸۰۰ نوع خاک در شهر اراک گزارش شده است.

واژگان کلیدی: اراک، مطالعات یک‌بعدی اثر ساختگاه، مطالعات دو بعدی اثر ساختگاه، بزرگنمایی.

۱- مقدمه

به هنگام وقوع زلزله امواج ایجاد شده ناشی از فعالیت گسل مربوط در سنگ بستر از اعماق به سمت زمین منتشر می‌گردند. اگر لایه‌های واقع بر سنگ بستر از جنس آبرفت باشند، هنگام عبور امواج از آنها دامنه و شدت امواج تقویت شده و آنچه به سطح زمین می‌رسد با آنچه در سنگ بستر ایجاد شده کاملاً تفاوت خواهد داشت. امواج زمین‌لرزه در حین عبور از سنگ بستر و وارد شدن به محیط دیگر تغییر ماهیت می‌دهند. به عبارتی خصوصیات یک زلزله با توجه به مشخصات فیزیکی و مشخصات دینامیکی ساختگاه، می‌تواند در فرکانس‌های مشخصی تشدید و یا تضعیف شود. میزان و شدت تقویت امواج تابع خصوصیات لایه‌های آبرفت و موج اولیه می‌باشد. با توجه به اینکه سازه‌ها و تأسیسات موجود در زمین متأثر از این امواج هستند، تشدید امواج می‌تواند اثرات بسیار مخربی بر ابنیه و ساختمان‌ها داشته باشد. تعیین میزان تشدید امواج زلزله نیاز به کارهای تحلیلی در یک منطقه، با در دست داشتن خصوصیات لایه‌های خاک و مشخصات زلزله مبنا دارد.

شهر اراک مهد صنعت ایران بوده و بسیاری از صنایع استراتژیک و مهم کشور در این منطقه قرار دارد. به همین دلیل باعث افزایش میزان مهاجرت به این شهر و در نتیجه افزایش جمعیت شهر شده و متناسب با آن سازه‌های بلندمرتبه و مهم نیز در شهر گسترش زیادی یافته‌اند. لذا با عنایت به همه موارد فوق، بررسی و نهایتاً پهنه‌بندی لرزه‌ای، به‌منظور استفاده در طراحی ساختمان‌ها و سازه‌های با اهمیت موجود و از همه مهم‌تر تصمیم‌گیری‌های مهم از قبیل برنامه‌ریزی شهری و تهیه نقشه‌های

www.SID.ir

Archive of SID

جامع و تفصیلی شهرسازی، امری ضروری و حیاتی است. اگرچه اهمیت اثرات توپوگرافی بر پاسخ لرزه‌ای سطح زمین، امروز بر همگان آشکار شده است، اما به جهت عدم انجام مطالعات جامع در این خصوص، اغلب آیین‌نامه‌های طراحی مقاوم در برابر زلزله و نیز اغلب دستورالعمل‌های ریز پهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای، تاکنون از کمی‌سازی این عامل خودداری کرده‌اند.

تاکنون برای مطالعه و حل پاسخ لرزه‌ای عوارض توپوگرافی سطحی روش‌های تحلیلی، تجربی، عددی و مدل‌سازی فیزیکی مورد استفاده قرار گرفته است، حل مسئله پراکنش امواج لرزه‌ای توسط عوارض توپوگرافی با توجه به ماهیت دو بعدی یا سه‌بعدی مسئله، امری پیچیده است. با توجه به پیچیدگی‌های مسئله انتشار امواج، مطالعات تحلیلی انگشت‌شماری به این مسئله پرداخته‌اند که همگی به حالت‌های خاص و بسیار ساده منحصر هستند. مطالعات تجربی انجام شده‌اند و به مطالعات موردی محدود است. اگرچه در همه مطالعات به اهمیت اثرات ساختگاهی چند بعدی و بزرگ‌نمایی حرکت سطحی در مناطق دارای توپوگرافی اشاره شده ولی در هیچ‌یک از آنها راهکار کمی و مشخص برای چگونگی ملحوظ کردن اثرات توپوگرافی در پاسخ لرزه‌ای سطح زمین ارائه نشده است. حل دقیق، کارآمد و توأم با حجم محاسباتی کم، از دغدغه‌های اصلی محققین در تحلیل اثرات ساختگاهی چند بعدی بر رفتار لرزه‌ای بوده است. بنابراین محققین را بر آن داشته است که از روش‌های عددی مناسب برای حل پدیده انتشار امواج و یا به تحلیل دینامیکی عوارض توپوگرافی دو بعدی استفاده کنند. تعداد مطالعات عددی که به‌طور خاص به بررسی رفتار لرزه‌ای غیرخطی عوارض توپوگرافی پرداخته باشند، اندک است. در این پژوهش با استفاده از داده‌های مختلف حاصل از مطالعات زمین‌شناسی، لرزه‌زمین‌ساخت، برآورد خطر زمین‌لرزه، ژئوفیزیک و ژئوتکنیک و با کاربرد آنالیز عددی، گامی در جهت ریزپهنه‌بندی اراک برداشته خواهد شد. در این مطالعه از لوگ‌های ساختگاهی مربوط به شهر اراک و همچنین از زلزله‌های سازگار با پارامترهای مختلف از حرکت نیرومند زمین (شتاب ماکزیمم ماندگار- محتوی فرکانسی- مدت حرکت) جهت بررسی اثرات ساختگاه بر پارامترهای مذکور استفاده شده است.

در سال‌های اخیر مطالعات بررسی تأثیر شرایط ساختگاهی و تشدید حرکات زمین در نقاط مختلف دنیا انجام شده است. به‌طور نمونه حائری و شرفی [۱] شهر قزوین را به هنگام رویداد زلزله مورد بررسی قرار دادند و نقشه‌های ریزپهنه‌بندی آن را تهیه نمودند. ایشان اثر شرایط ساختگاهی در دو محور تأثیر توپوگرافی و شرایط خاک را در هر محل بررسی نمودند. در منطقه مورد مطالعه به دلیل مسطح بودن زمین، توپوگرافی اهمیت چندانی نداشته و بررسی‌ها منحصر به تأثیر شرایط خاک محل می‌باشد.

براوو و سانچزسسما [۲] ازجمله اولین محققانی بودند که یک حل عددی از رفتار لرزه‌ای دو بعدی دره‌های آبرفتی تحت امواج مهاجم (SV, P) و رایلی ارائه کردند. در این مطالعه اثر زاویه ورود موج به محیط بر روی میزان بزرگ‌نمایی افقی و قائم حرکات سطح زمین بررسی شده است. بر اساس نتایج مطالعات سانچزسسما و همکاران [۳]، برای موج(P)که به‌صورت قائم وارد محیط گردد، بزرگ‌نمایی قائم سطح زمین حداکثر می‌شود. برای امواج (SV) که به‌صورت قائم وارد محیط می‌شود، بزرگ‌نمایی افقی سطح زمین ماکزیمم می‌گردد.

همچنین گتمیری و آرسونب [۴] طی یک بررسی پارامتریک شتاب‌های طیفی بر روی دره‌های خالی و آبرفتی با اشکال مختلف را بررسی کرده‌اند. طی این بررسی برای تحریک عوارض توپوگرافی از یک موجک ریکر استفاده شده و طیف پاسخ نقاط مختلف دره مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این بررسی نشانگر آن است که در دره‌های خالی، با حرکت از قعر دره به سمت کناره‌ها شتاب‌های طیفی افزایش می‌یابند؛ همچنین در نقاط قعر و گوشه پایین دره کوچک‌نمایی شتاب‌های طیفی و در نقاط بالاتر از میانه شیب دره بزرگ‌نمایی شتاب‌های طیفی دیده می‌شود. همچنین کمالیان و همکاران [۵] رفتار لرزه‌ای دره‌های آبرفتی را با روش اجزاء محدود طیفی در فضای زمان مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعات پاسخ لرزه‌ای دره‌های آبرفتی مستطیلی شکل با نسبت شکل‌های متفاوت تحت اثر

www.SID.ir

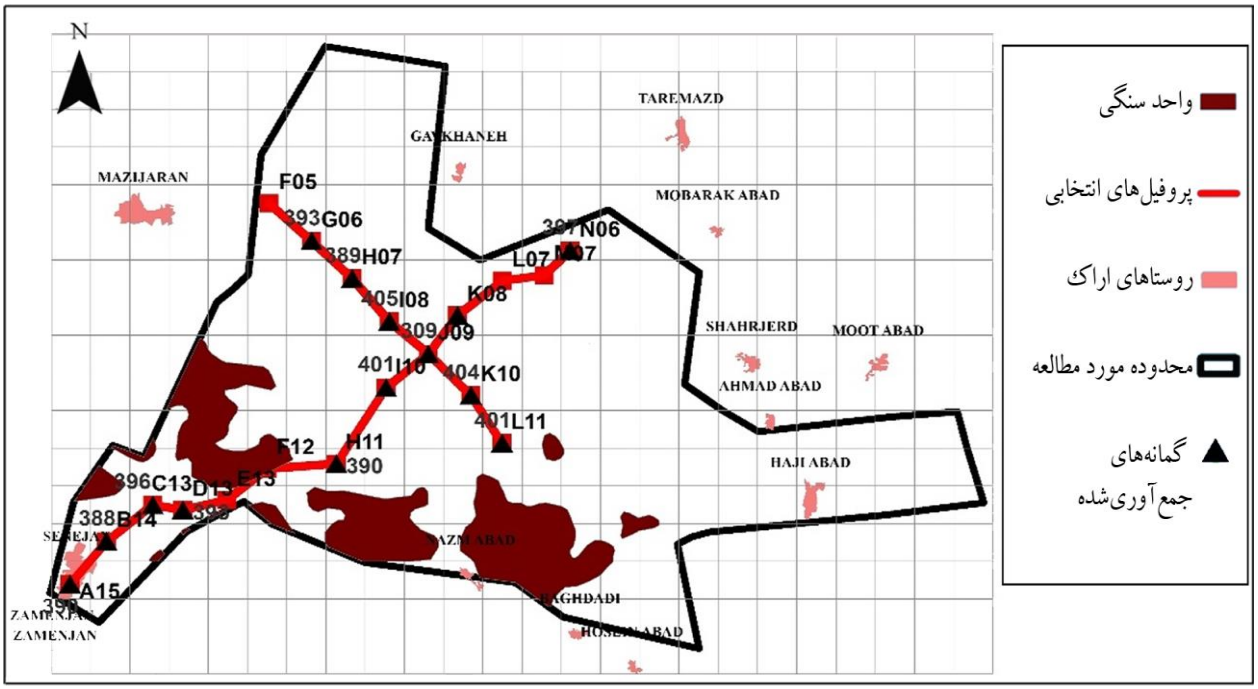
ArcSID

امواج مهاجم برشی داخل صفحه‌ای، مورد بررسی قرار گرفته‌اند تا اثر هندسه دره بر روی پاسخ لرزه‌ای به دست آید. در این مطالعه از روش‌های تحلیل یک‌بعدی، دو بعدی برای مدل کردن رفتار خاک و تعیین پاسخ غیرخطی خاک در منطقه مورد مطالعه استفاده می‌شود. در ادامه می‌توان به مطالعات کمالیان و همکاران [۶] و کمالیان و سهرابی‌فر [۷] اشاره نمود. به‌طور نمونه در یکی از مطالعات خود رفتار لرزه‌ای تپه‌های دو بعدی نیم‌سینوسی منفرد را با روش اجزای مرزی در فضای زمان مورد بررسی قرار دادند. این محققان با بررسی رفتار لرزه‌ای تپه‌های دارای نسبت شکل ۰/۱ تا ۰/۷ نشان دادند که این عوارض می‌توانند با بزرگ‌نمایی دامنه مؤلفه موافق حرکت، ایجاد مؤلفه مخالف حرکت و همچنین ایجاد اختلاف فاز میان حرکت نقاط مجاور، پاسخ لرزه‌ای زمین در برابر امواج مهاجم صفحه‌ای P و SV را به شکل قابل‌توجهی تحت تأثیر قرار دهند. همچنین مطالعات پنجی و همکاران [۸] بر روی تأثیر اثر توپوگرافی بر روی پاسخ امواج لرزه‌ای نشان می‌دهد که افزایش بزرگ‌نمایی پاسخ، هم‌سو با عمیق‌تر شدن دره اتفاق می‌افتد. نتایج ایشان نشان می‌دهد کف دره در پریودهای مختلف همواره کوچک نمایی پاسخ را تجربه کرده و با افزایش طول موج‌های مختلف همواره کوچک‌نمایی پاسخ را تجربه کرده و با افزایش نسبت شکل (نسبت ارتفاع به عرض دره)، ضریب بزرگ‌نمایی ساختگاه به‌طور تقریباً خطی افزایش می‌یابد.

۲- محدوده مورد مطالعه

در مرحله اول مطالعات سعی شده است تا کلیه اطلاعات مرتبط موجود شامل عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی و همچنین گزارش‌های پروژه‌های عمرانی انجام شده قبلی در سرتاسر منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری شود. به‌منظور انجام مطالعات در این پژوهش محدوده مطالعات در پروفیل‌های شمال غربی- جنوب شرقی و شمال شرقی-جنوب غربی مورد توجه قرارگرفته و جمع‌آوری اطلاعات و انجام تحلیل‌ها در این مقاطع انجام گرفته است که در شکل (۱) نشان داده شده‌اند. همچنین در شکل (۲) نقشه زمین‌شناسی مهندسی محدوده شهر اراک نشان داده شده است.

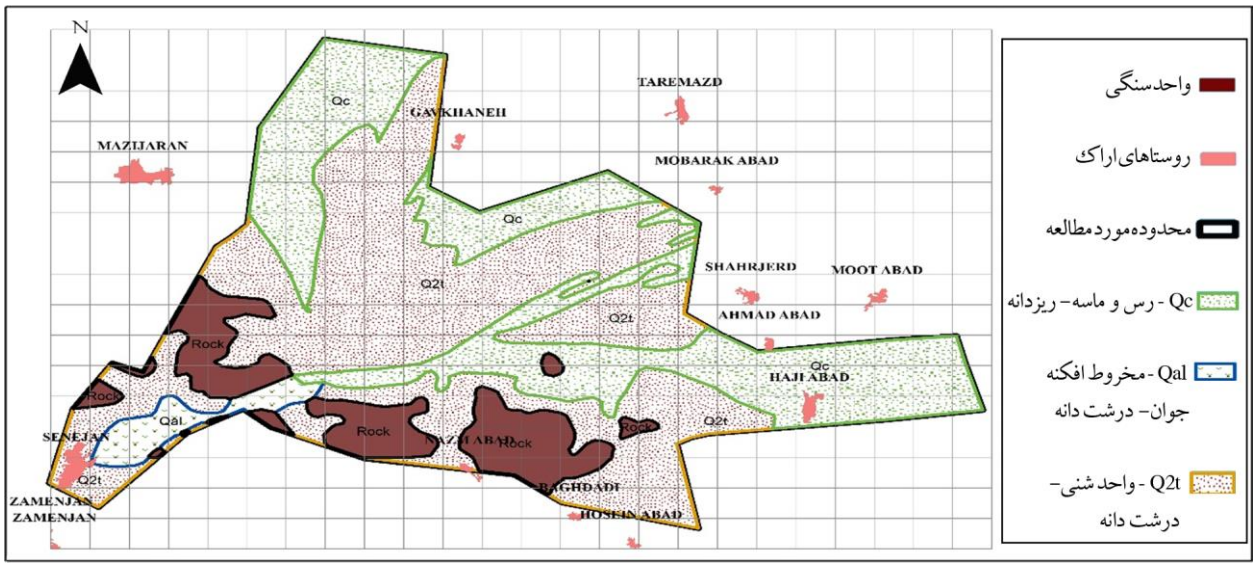
خلاصه اطلاعات گمانه‌های جمع‌آوری شده در نقاط مختلف شهر در جدول‌های (۱) تا (۴) نشان داده شده است.



شکل (۱): نقشه توزیع گمانه‌های جمع‌آوری شده در محدوده مورد مطالعه به همراه سرعت موج برشی برای عمق ۳۰ متر.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۲): نقشه زمین‌شناسی مهندسی محدوده شهر اراک.

جدول (۱): تناوب رسوبات درشت‌دانه و ریزدانه در جنوب غربی شهر اراک.

عمق (متر)		طبقه‌بندی (USGS)	SPT	زاویه اصطکاک داخلی (ϕ)	چسبندگی (کیلونیوتن بر مترمربع)	وزن مخصوص مرطوب (کیلونیوتن بر مترمکعب)	وزن مخصوص خشک (کیلونیوتن بر مترمکعب)	حد روانی بخش ریزدانه (درصد)	درصد رطوبت (درصد)
بالا	پایین								
۰	۲	SP-SC	۳۵	۳۳	۱۰	۱۸/۴	۱۷/۷	۲۷	۴
۲	۴	GW	۴۴	۳۳	۷	۱۹/۴	۱۷/۷	–	۵
۴	۶	GP-GW	۴۶	۳۳	۵	۱۹/۴	۱۸/۴	–	۵
۶	۸	GP	۴۶	۳۳	۴	۱۹/۸	۱۸/۶	–	۶
۸	۱۰	GP	۴۶	۳۳	۷	۱۹/۸	۱۸/۶	–	۷
۱۰	۱۵	GP	۵۰<	۳۳	۲۱	۲۱	۱۹	–	۷

جدول (۲): پروفیل خاک در شمال شرق شهر اراک.

عمق (متر)		طبقه‌بندی (USGS)	SPT	زاویه اصطکاک داخلی (ϕ)	چسبندگی (کیلونیوتن بر مترمربع)	وزن مخصوص خشک (کیلونیوتن بر مترمکعب)	حد روانی بخش ریزدانه (درصد)	درصد رطوبت (درصد)
بالا	پایین							
۰	۲	GC	۵۰<	۳۲	۵	۱۸/۸	۲۶	۱۰
۲	۴	SC	۵۰<	۳۲	۷	۱۷/۴	۲۷	۱۲
۴	۶	SC	۴۸	۲۹	۵	۱۶	۳۹	۱۳
۶	۸	GC	۵۰<	۳۳	۳	۱۶	۲۶	۱۲
۸	۱۰	GC-GP	۵۰<	۳۱	۱۰	۱۷/۸	۳۲	۱۲
۱۰	۱۲	GC-GP	۵۰<	۳۰	۱۰	۱۷/۳	۳۰	۱۳
۱۲	۱۴	SC	۵۰<	۲۹	۵	۱۶/۴	۳۵	۱۳
۱۴	۱۶	GP-GC	۵۰<	۳۲	۳	۱۸	۲۸	۱۴
۱۶	۱۸	GC-GM	۵۰<	۳۴	۱۵	۱۷/۳	۲۴	۱۳
۱۸	۲۰	GC-GM	۵۰<	۳۰	۱۲	۱۹/۳	۳۴	۱۴

www.SID.ir

Arc SID

جدول (۳): پروفیل خاک در گمانه‌های در نهشته‌های ریزدانه واقع در غرب اراک.

عمق (متر)		طبقه‌بندی (USGS)	SPT	زاویه اصطکاک داخلی (ϕ)	چسبندگی (کیلونیوتن بر مترمربع)	وزن مخصوص خشک (کیلونیوتن بر مترمکعب)	حد روانی بخش ریزدانه (درصد)	درصد رطوبت (درصد)
بالا	پایین							
۰	۱۵	CL	۳۶	۳۱	۲۰	۱۹/۶	۴۹/۷	۱۴
۱/۵	۲	ML	۴۱	۳۱	۱	۲۱/۶	۵۳/۴	۱۳
۳	۵	CH	۴۲	۳۵	۱۵	۲۳/۴	۵۱/۷	۱۱
۵	۷/۵	ML-MH	۴۰	۴۰	۴	۲۰/۴۰	۵۰/۹	۱۳
۷/۵	۱۰	ML	۵۰<	۲۹	۳	۱۶/۷	۴۶/۲	۱۴
۱۰	۱۲	SC	۵۰<	۳۸	۵	۱۸/۹	۳۱	۱۱

جدول (۴): پروفیل خاک در گمانه‌های در نهشته‌های ریزدانه واقع در جنوب شهر اراک.

عمق (متر)		طبقه‌بندی (USGS)	SPT	زاویه اصطکاک داخلی (ϕ)	چسبندگی (کیلونیوتن بر مترمربع)	وزن مخصوص مرطوب (کیلونیوتن بر مترمکعب)	وزن مخصوص خشک (کیلونیوتن بر مترمکعب)	حد روانی بخش ریزدانه (درصد)	درصد رطوبت (درصد)
بالا	پایین								
۰	۲	CL	۴۲	۳۲	۲۰	۱۶/۵	۱۵	۳۳	۱۰
۲	۴	SC	۵۰<	۳۲/۷	۱۰	۱۸/۵	۱۷/۳	۳۲	۷
۴	۶	CL	۵۰<	۳۲/۸	۱۷	۱۷/۶	۱۵	۳۰	۱۶
۶	۸	CL	۵۰<	۳۲/۷	۲۰	۱۷/۵	۱۵	۳۰	۱۶
۸	۱۰	SC	۵۰<	۳۲	۵	۱۷/۸	۱۸/۹	۳۱	۱۲
۱۰	۱۲	SM	۴۸	۳۲/۷	۷	۱۸	۱۵/۸	۳۱	۱۴
۱۲	۱۵	SM	۴۸	۳۲	۹	۱۸	۱۵/۸	۳۵	۱۴
۱۵	۱۸	SM	۵۰<	۳۲	۱۰	۲۱	۱۸/۴	۳۵	۱۴

در بررسی اثرات ساختگاهی تنها بخشی از لایه‌های تشکیل‌دهنده‌ی ساختگاه مد نظر است که سبب تقویت (یا تضعیف) جنبش لرزه‌ای زمین ناشی از زلزله شوند. بخش زیرین این لایه‌ها که دارای سختی بالاتر بوده و امواج ناشی از زلزله در آن تقویت نمی‌شوند به سنگ بستر لرزه‌ای معروف است که لزوماً سنگ بستر زمین‌شناسی نیست و لایه‌های آبرفتی با سختی ارتجاعی بالا نیز می‌توانند این نقش را ایفا کنند.

در عمل، سنگ بستر لرزه‌ای بر اساس سرعت امواج برشی تعریف می‌شود. آیین‌نامه‌های شناخته شده‌ای نظیر NEHRP 2003، UBC 1997 و IBC 2003، همگی سنگ بستر لرزه‌ای را محیطی تعریف نموده‌اند که سرعت موج برشی آن بیشتر از ۷۶۰ متر بر ثانیه است. آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران نیز تلویحاً محیطی را به‌عنوان سنگ بستر لرزه‌ای معرفی کرده است که سرعت موج برشی آن بیش از ۷۵۰ متر بر ثانیه باشد.

در بیشتر گستره مورد مطالعه در شهر اراک، نتایج پروفیل‌های ژئوفیزیک انکساری سرعت‌های کمتر از ۵۵۰ متر بر ثانیه را تا عمق حدود ۳۰ متر نشان داده‌اند [۹]. لذا انتظار می‌رود سنگ کف لرزه‌ای در عمق‌های بیشتر قرار داشته باشد که روش ژئوفیزیک انکساری قادر به شناسایی آن نیست. در مناطق جنوبی شهر اراک که ضخامت آبرفت‌ها اندک است، در عمق‌های ۱۰ تا ۱۵ متری سرعت‌های ۷۰۰ تا ۱۲۰۰ متر بر ثانیه با یک کنتراست سرعتی واضح نسبت به لایه فوقانی ثبت شده است که می‌توانند در این منطقه به‌عنوان سنگ کف لرزه‌ای مورد استناد قرار گیرند.

جهت تخمین سرعت موج برشی از نتایج آزمایش‌های درون‌چاهی موجود در گمانه‌های جمع‌آوری شده شهری و نتایج

www.SID.ir

Archive of SID

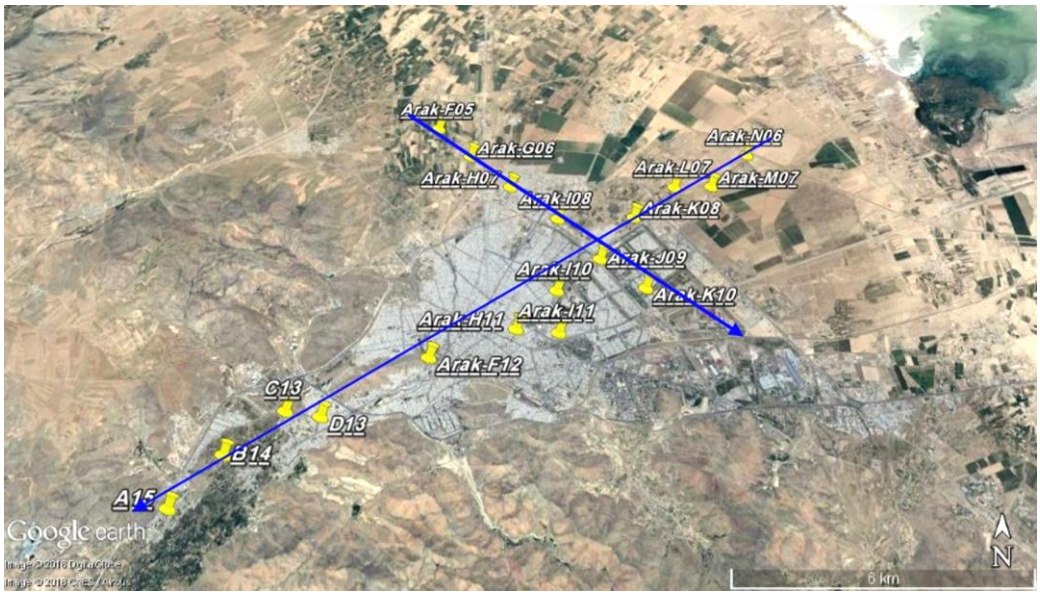
آزمایش‌های میکروترمور تک‌ایستگاهی ارتعاشات محیطی در نقاط مختلف شهر اراک که جهت ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای توسط پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله انجام شده [۹] و همچنین مطالعات تکمیلی مجدد برداشت‌های فوق که توسط رئیسی‌زاده [۱۰] انجام شده، استفاده شده است و در شکل (۳) ایستگاه‌های برداشت شده نشان داده شده است که با توجه به آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران می‌توان سرعت‌های بالای ۷۵۰ متر بر ثانیه را به‌عنوان سنگ بستر برای شهر اراک معرفی کرد. در جدول (۵) توزیع سرعت موج برشی در سنگ بستر ارائه شده است.

۳- تحلیل داده‌ها و بررسی پروفیل ژئوتکنیک لرزه‌ای

جهت ارزیابی پاسخ لرزه‌ای ساختگاه و ارزیابی ضرایب ساختگاه از روش‌های یک‌بعدی و دو بعدی استفاده شد. جهت تحلیل پاسخ لرزه‌ای به‌صورت یک‌بعدی از روش خطی در ۲۰ ایستگاه انتخابی بر روی دو پروفیل شمال شرقی- جنوب غربی و شمال غربی- جنوب شرقی انجام شده است. به‌طورکلی از فرکانس طبیعی که از روش تحلیل یک‌بعدی در ایستگاه‌های انتخابی به دست آمد و همچنین طیف پاسخ حاصل شده می‌توان جهت ارزیابی پاسخ ساختگاه و جهت مقایسه با تحلیل دو بعدی و نتایج عددی استفاده نمود. اثرات محلی ساختگاه شامل اثرات

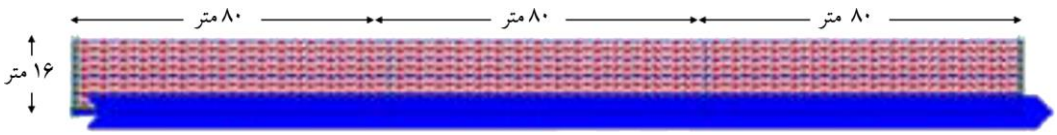
جدول(۵): سرعت موج برشی سنگ بستر بر حسب متر بر ثانیه برای ایستگاه‌های انتخابی شهر اراک.

تعداد ایستگاه‌ها	نام ایستگاه اندازه‌گیری‌شده	عمق سنگ بستر (متر)	سرعت موج برشی بر سنگ بستر (متر بر ثانیه)
۱	F05	۱۰۰	۱۲۸۰
۲	G06	۱۰۰	۱۲۵۰
۳	H07	۹۰	۹۰۰
۴	I08	۱۰۰	۹۰۱
۵	J09	۱۵۰	۱۷۵۰
۶	K10	۷۰	۸۰۰
۷	L11	۵۰	۸۰۰
۸	N06	۲۸۰	۱۴۹۱
۹	M07	۱۵۰	۱۲۵۰
۱۰	L07	۷۰	۸۶۷
۱۱	K08	۱۰۰	۹۱۴
۱۲	J09	۱۵۰	۱۷۵۰
۱۳	I10	۱۳۰	۱۳۷۷
۱۴	H11	۴۵	۹۴۰
۱۵	F12	۱۶	۸۳۴
۱۶	E13	۱۱	۷۹۷
۱۷	D13	۷۰	۹۵۶
۱۸	C13	۲۰	۸۷۲
۱۹	B14	۱۶	۹۸۸
۲۰	A15	۲۶	۸۷۰



شکل (۳): مسیر برداشت اطلاعات خردلرزه شهر اراک.

www.SID.ir



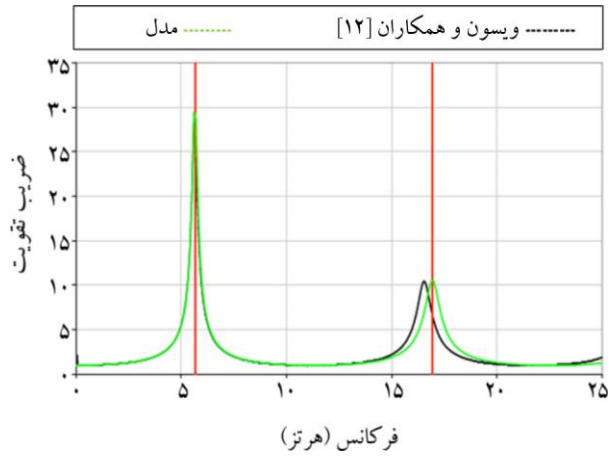
شکل (۴): مدل‌سازی ابعاد در نرم‌افزار Plaxis.

زمین‌شناسی و توپوگرافی سطحی و هندسه حوضه عموماً به اثرات دو بعدی و سه‌بعدی اشاره دارند. اثرات توپوگرافی و حوضه به‌شدت می‌تواند پاسخ‌های سطح زمین را تحت تأثیر قرار دهند، زیرا این اثرات روی حرکات زمین در نواحی که بی‌نظمی‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی وجود دارد می‌تواند قابل توجه باشد. از این‌رو علاوه بر تحلیل‌های یک‌بعدی خطی از تحلیل‌های دو بعدی جهت ارزیابی پاسخ ساختگاه استفاده شده است. تحلیل‌های دو بعدی پاسخ زمین در دو مقطع انجام شد. در این مطالعه جهت انجام تحلیل‌های یک‌بعدی از نرم‌افزار DeepSoil، توسط حشاش و همکاران [۱۱] و برای تحلیل دو بعدی از نرم‌افزار Plaxis استفاده شده است.

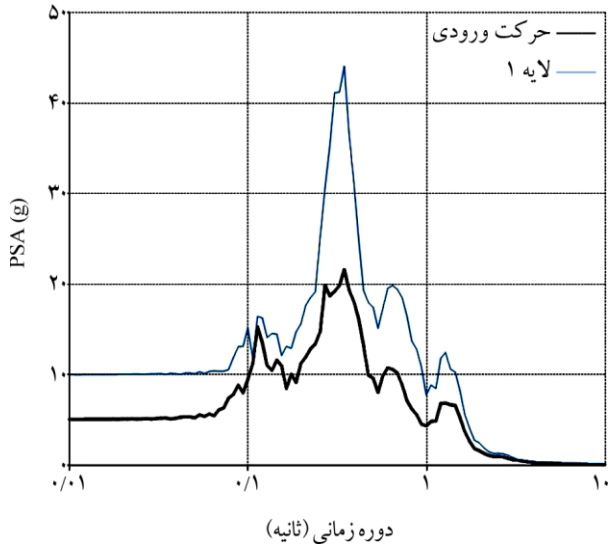
همچنین به‌منظور صحت‌سنجی نتایج حاصله از نرم‌افزار لازم است که صحت نتایج بررسی گردند. در این خصوص مقاله بررسی تأثیر ساختگاه با استفاده از آنالیز دینامیکی ساختگاه که توسط ویسون و همکاران [۱۲] انجام شده مورد بررسی قرار گرفته است. بدین‌منظور ساختگاه مورد نظر با مشخصات ابعادی نشان داده شده در شکل (۴) مدل‌سازی و با استفاده از مدل خطی و تعریف پارامترهای مشابه برای یک لایه خاک مورد بررسی قرار گرفت.

مدل‌سازی انجام شده در این خصوص و تطبیق نتایج گواه صحت مدل و نرم‌افزار می‌باشد که در شکل (۵) نشان داده شده است.

با توجه به تغییر شکل‌های بسیار کوچک ایجاد شده در خاک و با توجه به لرزش‌های ضعیف و ایجاد سطوح کرنش پایین، می‌توان از روش خطی برای ارزیابی پاسخ لرزه‌ای زمین به هنگام وقوع زمین‌لرزه‌های خفیف استفاده کرد. در این نرم‌افزار از پروفیل خاک به‌صورت مجموعه از n لایه افقی مدل می‌شود و هر لایه به‌صورت همگن و ایزوتروپ فرض شده‌اند و مشخصات هندسی و دینامیکی هر لایه با ویژگی‌های نظیر عمق، جرم مخصوص، مدول برشی و ضریب میرایی نشان داده می‌شود. سپس با استفاده از سرعت موج برشی در هر لایه و بر اساس تئوری انتشار امواج، تشدید شتاب در سطح زمین نسبت به سنگ کف برای فرکانس‌های مختلف محاسبه و نمودار تابع انتقال مطابق شکل‌های (۶) و (۷) به‌دست می‌آید.



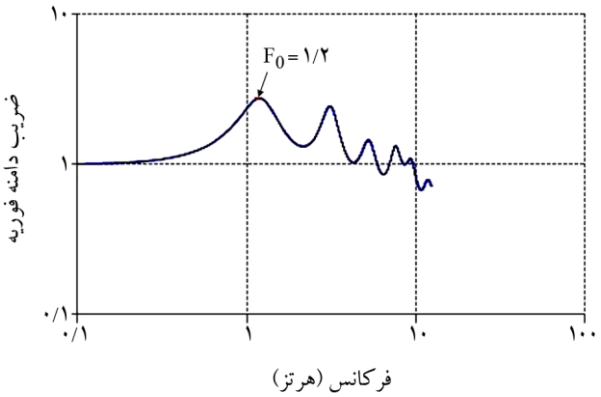
شکل (۵): مقایسه نتایج ویسون و همکاران [۱۲] و مدل.



شکل (۶): مقایسه خروجی طیف پاسخ حرکت ورودی سنگ بستر و سطح زمین برای لایه انتخابی برای ایستگاه F05.

www.SID.ir

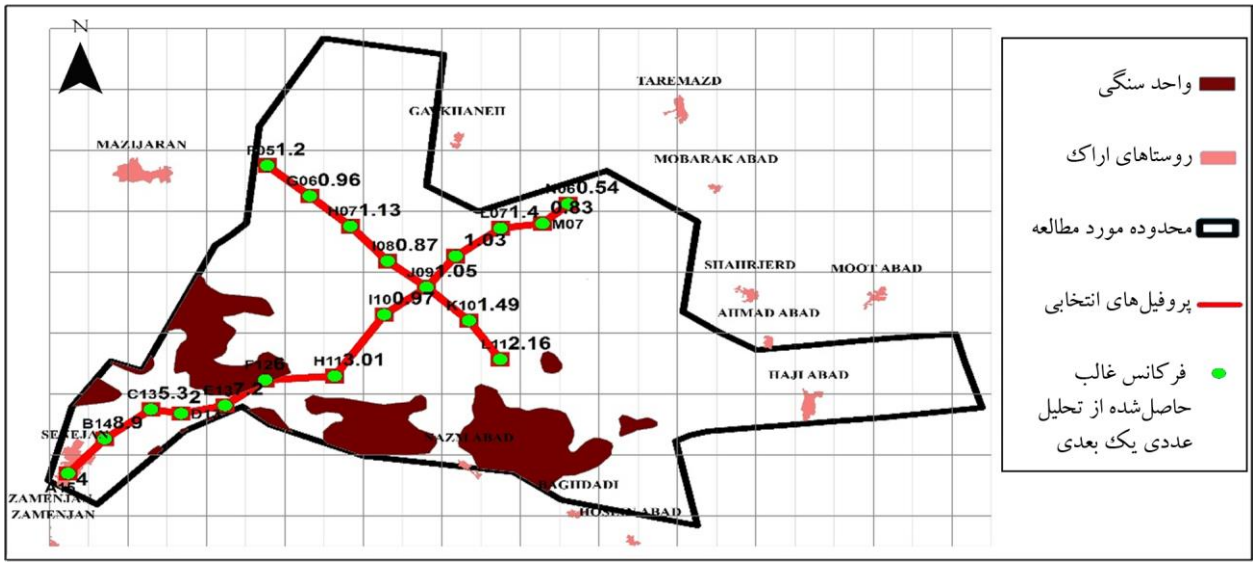
Archive of SID



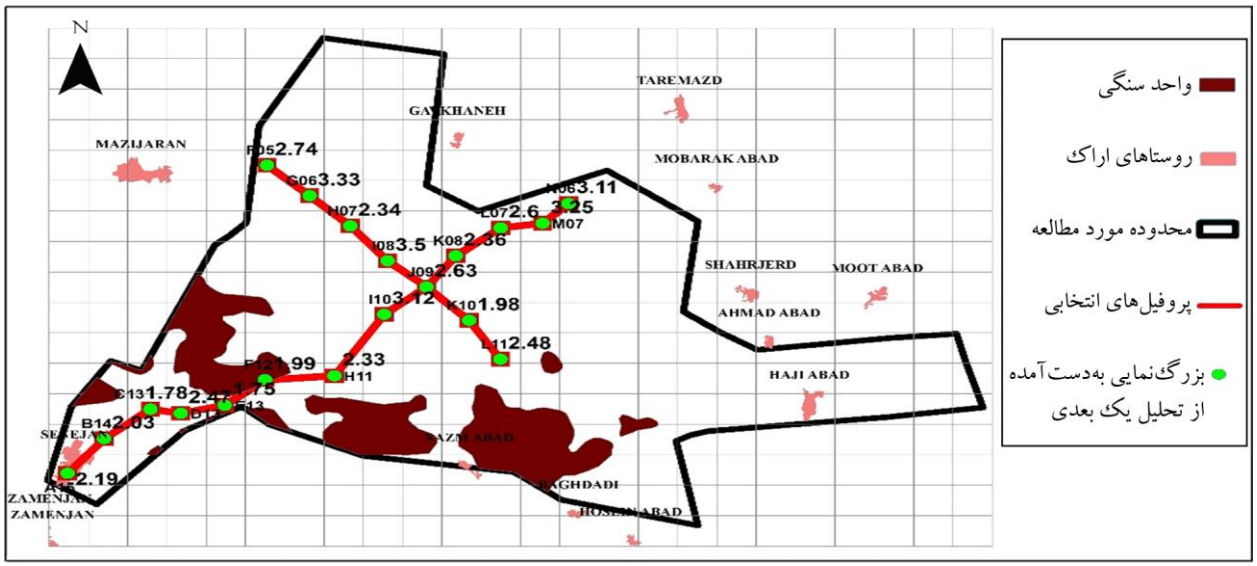
شکل (۷): خروجی ضریب بزرگ‌نمایی (نسبت دامنه فوریه) لایه انتخابی برای ایستگاه F05.

نتایج تحلیل یک‌بعدی توزیع فرکانس و بزرگ‌نمایی برای سایر ایستگاه‌ها در شکل‌های (۸) و (۹) نشان داده شده است.

جهت انجام تحلیل دو بعدی با استفاده از نرم‌افزار Plaxis، دو پروفیل شمال شرقی- جنوب غربی و شمال غربی- جنوب شرقی هرکدام به طول حدوداً ۸ و ۱۸ کیلومتر با توجه به اطلاعاتی که موجود بود مدل‌سازی صورت گرفت. در انتها با توجه به تحلیل دینامیکی که صورت می‌گیرد و با توجه به شتاب‌نگاشت حرکت ورودی که به کف انتخابی وارد می‌شود حرکات شتاب‌نگاشت بر روی سنگ بستر و سطح زمین با توجه به شکل (۱۰) تعیین می‌شود،

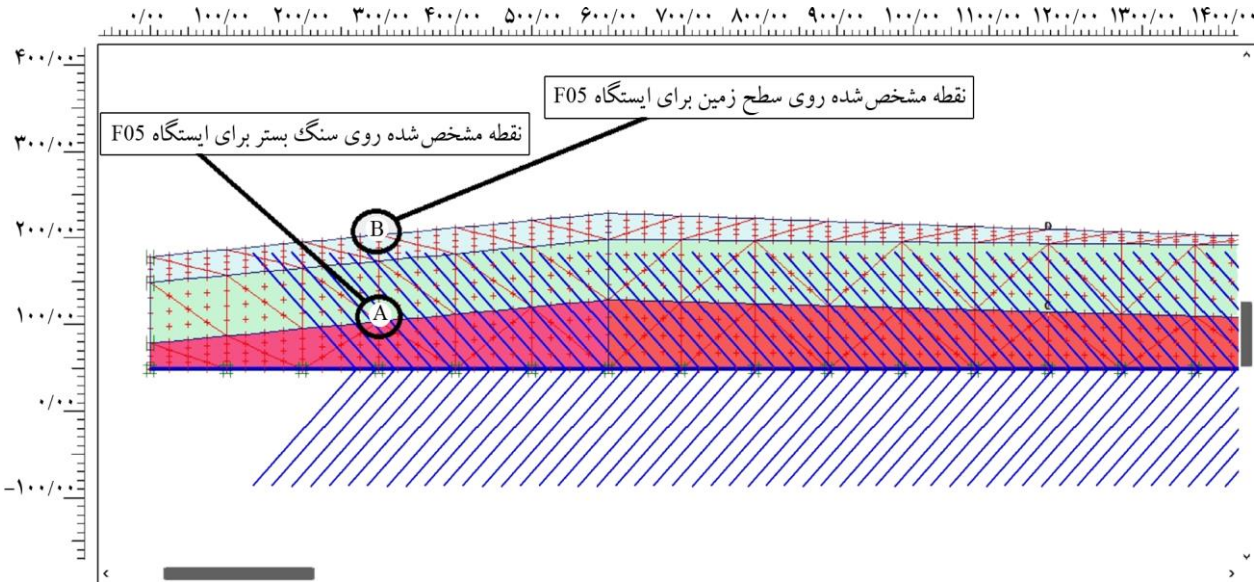


شکل (۸): نقشه توزیع فرکانس طبیعی به‌دست‌آمده از روش تحلیل یک‌بعدی با برنامه DEEPSOIL.

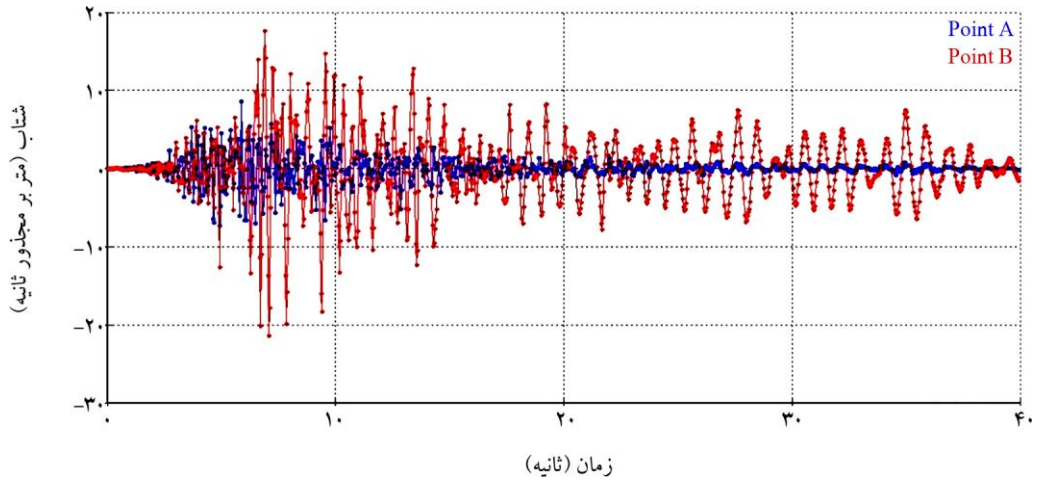


شکل (۹): نقشه توزیع بزرگ‌نمایی به‌دست‌آمده از روش تحلیل یک‌بعدی با برنامه DEEPSOIL.

www.SID.ir



شکل (۱۰): انتخاب نقطه روی سنگ بستر و سطح زمین.



شکل (۱۱): انتخاب نقطه روی سنگ بستر و سطح زمین.

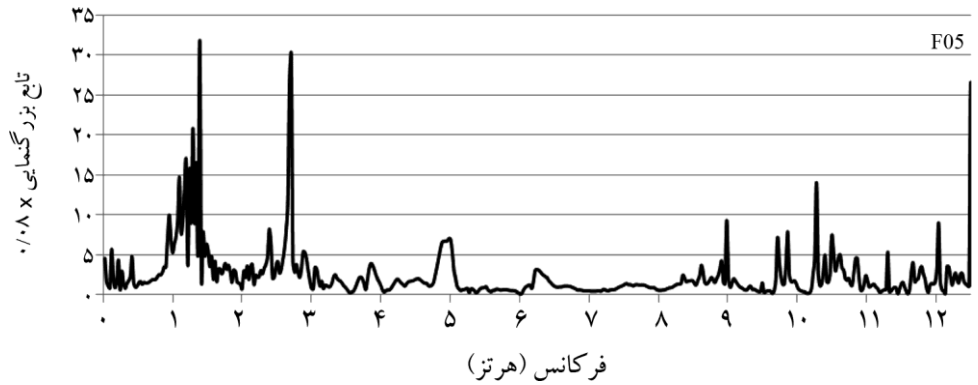
سپس با تقسیم طیف فوریه حرکت بروی سطح زمین به حرکت بر روی سنگ بستر منحنی بزرگ‌نمایی حاصل خواهد شد، پیک منحنی‌های بزرگ‌نمایی برای هر ایستگاه روی پروفیل مورد نظر فرکانس طبیعی خواهد بود.

برای اینکه فرکانس طبیعی در تحلیل به‌دست‌آمده آورده شود باید طیف فوریه نمودار شتاب و زمان سطح زمین و سنگ بستر به‌دست‌آمده آورده شود و سپس بر هم تقسیم شوند. برای این کار از نرم‌افزار seismosignal استفاده شده است. شتاب‌نگاشت حاصل شده برای سنگ بستر و سطح زمین در شکل (۱۱) نشان داده شده است. از حاصل تقسیم طیف فوریه حرکت سطح زمین بر طیف فوریه سنگ بستر لرزه‌ای منحنی بزرگ‌نمایی حاصل خواهد شد که پیک این منحنی فرکانس طبیعی خواهد بود که در شکل (۱۲) نشان داده شده است.

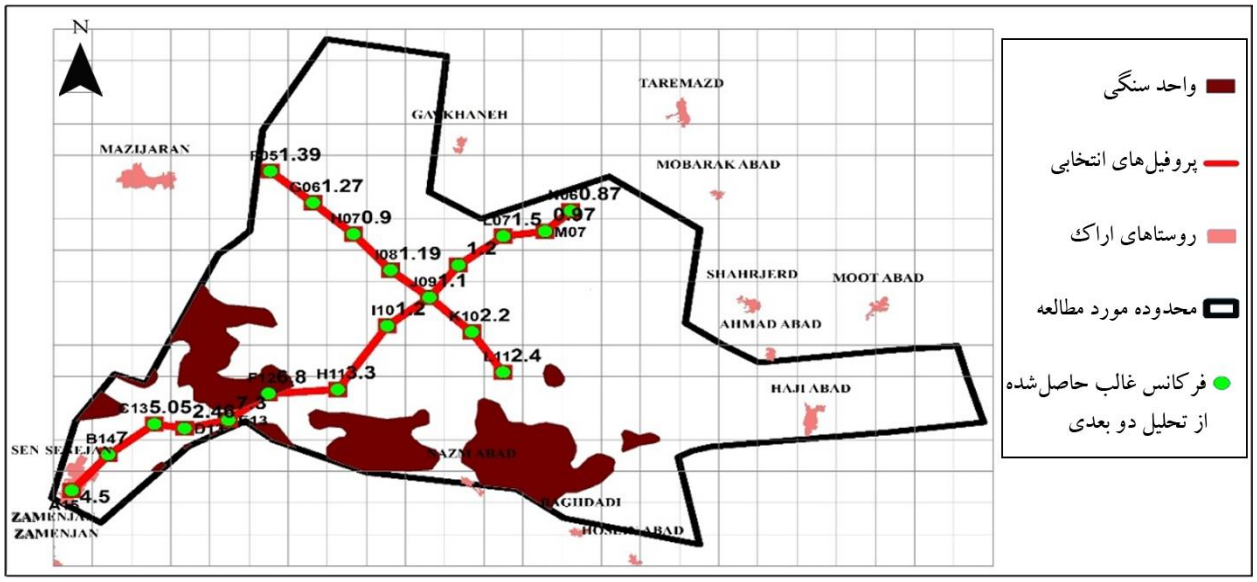
در ادامه فرکانس‌های غالب و پریودهای تشدید و بزرگ‌نمایی‌های حاصل شده از تحلیل دو بعدی بر روی دو پروفیل انتخابی بر روی نقشه محدوده شهر اراک نشان داده شده‌اند که در شکل‌های (۱۳) و (۱۴) ارائه شده است. همچنین در شکل (۱۵) مقادیر پریود طبیعی ساختگاه در محدوده مورد مطالعه را بر اساس نتایج میکروترمور و تطبیق با نتایج تحلیل یک‌بعدی و دو بعدی نشان می‌دهد.

www.SID.ir

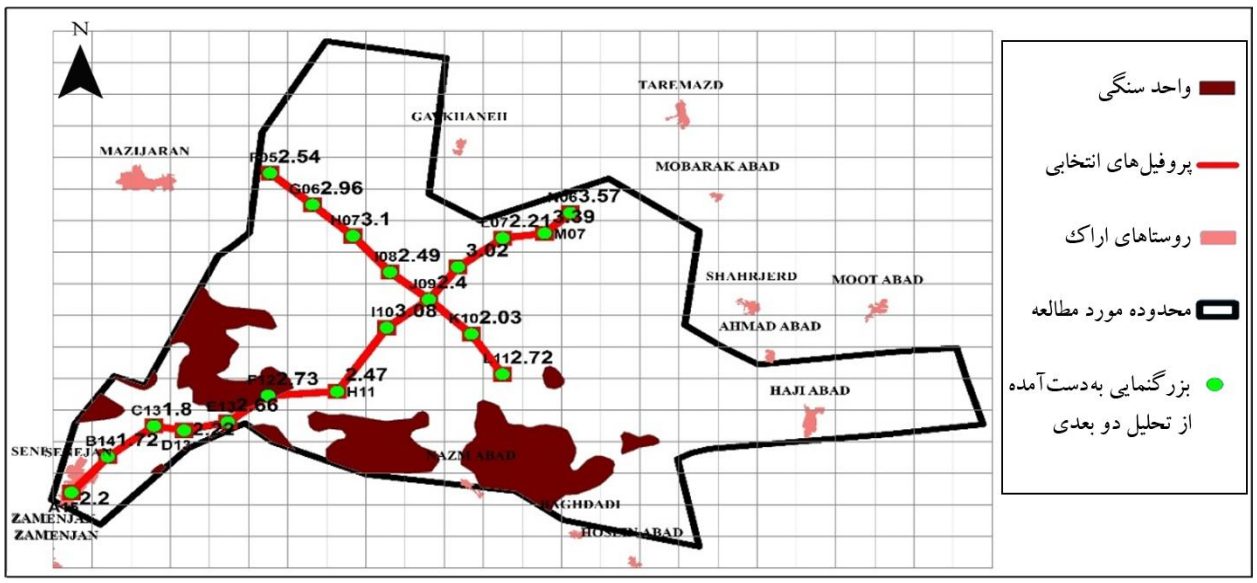
Archive of SID



شکل (۱۲): نسبت طیف فوریه حرکت خروجی (سطح زمین) به حرکت ورودی (بر روی سنگ بستر لرزه‌ای) جهت تعیین فرکانس طبیعی برای ایستگاه F05.

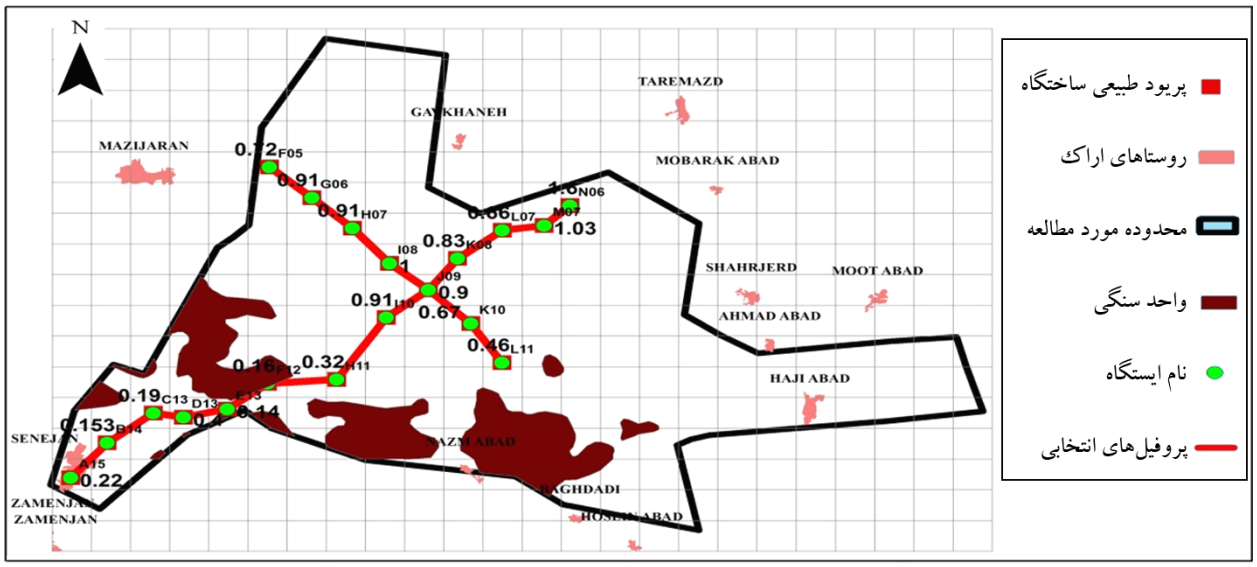


شکل (۱۳): نقشه توزیع فرکانس طبیعی به‌دست‌آمده از روش تحلیل دو بعدی با برنامه PLAXIS.



شکل (۱۴): نقشه توزیع بزرگ‌نمایی به‌دست‌آمده از روش تحلیل دو بعدی با برنامه PLAXIS.

www.SID.ir

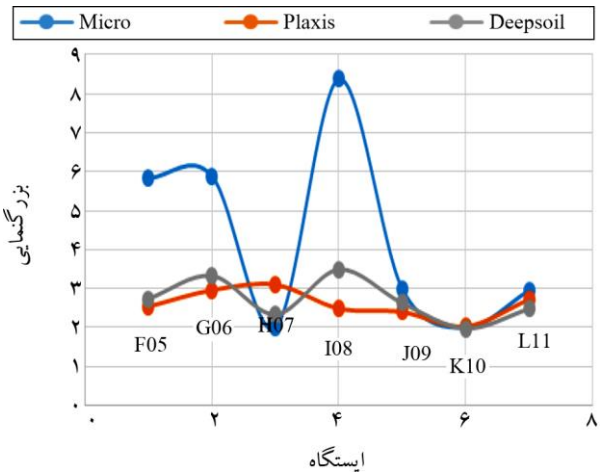


شکل (۱۵): پریود طبیعی ساختگاه شهر اراک در پروفیل شمال غربی- جنوب شرقی و پروفیل شمال شرقی- جنوب غربی بر اساس ترکیب نتایج میکروترمور و در نظر گرفتن نتایج تحلیل‌های یک‌بعدی و دو بعدی.

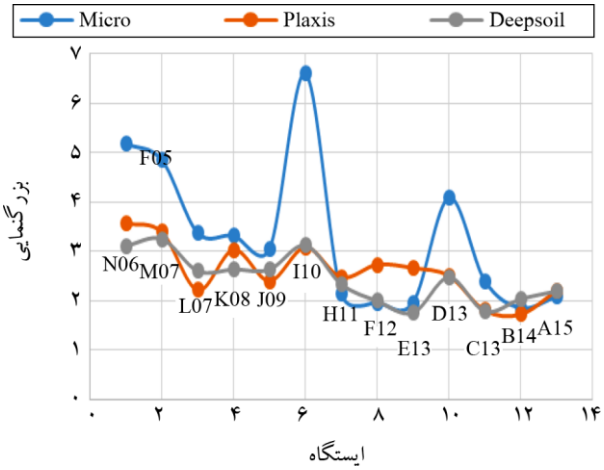
۴- نتیجه‌گیری

همان‌گونه که بیان شد مطالعه حاضر بر روی ساختگاه اراک با در نظر گرفتن دو پروفیل عمود برهم شمال شرقی- جنوب غربی و پروفیل شمال غربی- جنوب شرقی انجام گرفته که نتایج پژوهش را می‌توان به‌صورت زیر دسته‌بندی نمود:

- در شهر اراک با توجه به ایستگاه‌های اندازه‌گیری که مورد بررسی قرارگرفته‌اند، مقادیر حداقل و حداکثر فرکانس طبیعی برابر با ۰/۶۳ تا ۸ هرتز می‌باشد.
- با توجه به تغییرات فرکانس طبیعی خاک در راستاهای مورد مطالعه می‌توان نتیجه گرفت که در ایستگاه‌های با فرکانس طبیعی ساختگاه کمتر، ضخامت رسوبات کمی بیشتر و یا نرم بودن رسوبات کمی بیشتر و یا سنگ کف کمی پایین‌تر(در عمق بیشتری) از ایستگاه‌هایی است که دارای فرکانس طبیعی بزرگ‌تری هستند.
- با مقایسه ضریب بزرگ‌نمایی که در شکل‌های (۱۶) و (۱۷) برای هر دو پروفیل نشان داده شده است، نتایج تحلیل دو بعدی و یک‌بعدی و تحلیل خردلرزه‌ها و با در نظر گرفتن وضعیت زمین‌شناسی متفاوت در نقاط مختلف مسیر، اختلاف دامنه بزرگ‌نمایی می‌تواند ناشی از وجود تباین امپدانسی قوی در عمق



شکل (۱۶): مقایسه ضریب بزرگ‌نمایی در پروفیل شمال غربی- جنوب شرقی.



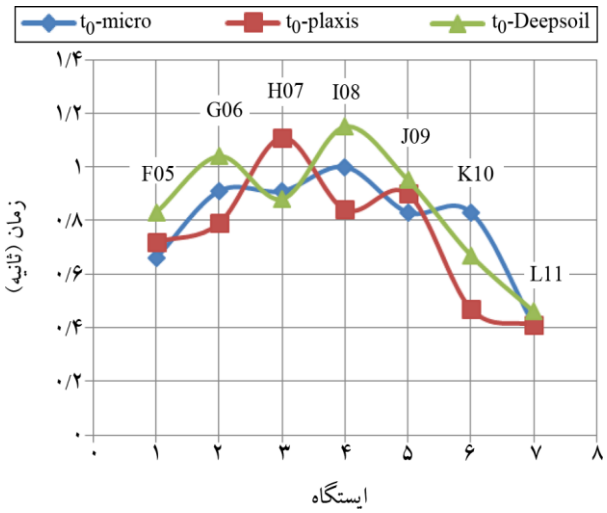
شکل (۱۷): مقایسه ضریب بزرگ‌نمایی در پروفیل شمال شرقی- جنوب غربی.

www.SID.ir

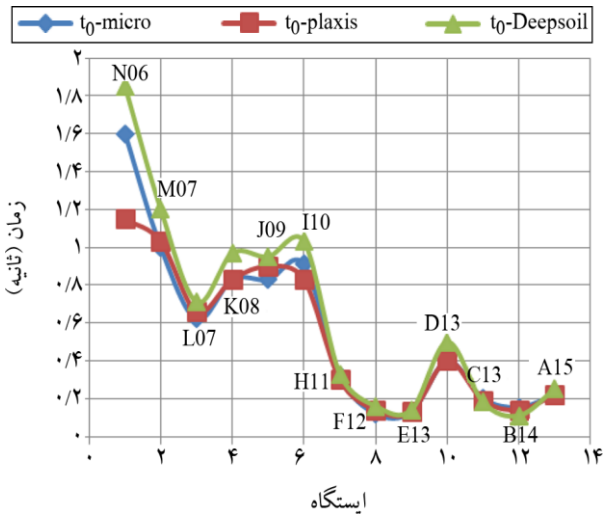
Archive of SID

زیاد یا اثرات دو یا سه‌بعدی ساختگاه به دلیل شرایط هندسه حوضه آبرفتی می‌باشد که در چند شهر دیگر ایران، از جمله تهران توسط جعفری و همکاران [۱۳]، کرج توسط احسانی و همکاران [۱۴] و قم توسط سهرابی بیدار و جاسم‌پور [۱۵] گزارش شده است.

- همان‌طور که در شکل (۱۸) مشاهده می‌شود در راستای شمال غربی- جنوب شرقی، پریود طبیعی حاصل از تحلیل خردلرزه‌ها در مقایسه با تحلیل دینامیکی یک‌بعدی و دو بعدی حداکثر ۲۵ درصد اختلاف دارد که اختلاف این موضوع می‌تواند ناشی از بزرگای امواج لرزه‌ای در تحلیل یک‌بعدی و دو بعدی در این مطالعه باشد. این در حالی است که با توجه به شکل (۱۹) مشاهده می‌شود در راستای شمال شرقی- جنوب غربی، نتایج با یکدیگر نسبتاً تطابق دارد که رفتار یک‌بعدی ساختگاه در این مسیر را نشان می‌دهد. همچنین از دیدگاه دیگر می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که وجود اختلاف در برخی مناطق، این موضوع می‌تواند ناشی از وجود آبرفت‌های متشکل از لایه‌های سختی باشد که در اعماق پایین‌تر بر روی لایه‌های سنگی خیلی سخت‌تر قرار گرفته‌اند. در این موارد، اگرچه شناسایی لایه‌های تحت‌الارضی دارای سرعت موج برشی کمتر از ۷۰۰ الی ۸۰۰ متر بر ثانیه، جهت طراحی لرزه‌ای سازه‌های کوتاه و متوسط کفایت می‌کند، اما در طراحی سازه‌های بلند، توجه به لایه‌های تحت‌الارضی عمیق‌تر، بر حسب ارتفاع سازه، تا محدوده سرعت موج برشی ۲۵۰۰ متر بر ثانیه نیز اهمیت دارد. همچنین به لحاظ طبقه‌بندی تیپ خاک بر مبنای سرعت موج برشی ۳۰ متر فوقانی، مشاهده می‌شود که غالب نوع خاک در شهر اراک نوع II می‌باشد.
- از لحاظ طبقه‌بندی زمین‌شناسی ساختگاه اراک در محدوده مورد مطالعه، پروفیل شمال غربی- جنوب شرقی که از سمت مرزیجران در شمال غرب به سمت بلندی‌های نظم‌آباد در جنوب شرق کشیده شده است پروفیل خاک عموماً از رسوبات ماسه‌ای تشکیل شده که به سمت ارتفاعات به



شکل (۱۸): مقایسه پریود تشدید در پروفیل شمال غربی- جنوب شرقی.



شکل (۱۹): مقایسه پریود تشدید در پروفیل شمال شرقی- جنوب غربی.

رسوبات شنی تغییر می‌یابند. همچنین تمامی ایستگاه‌ها به غیر از ایستگاه E13 و F12 بر روی واحد زمین‌شناسی کواترنر قرار گرفته‌اند و ایستگاه E13 و F12 بر روی واحد سنگی قرار گرفته است، گمانه‌هایی که در شهر اراک حفر گردیده‌اند در راستای پروفیل شمال شرقی- جنوب غربی که از سمت حوضه رسوبی میقان که از جنس مخروط افکنه‌های کم‌ارتفاع جوان بوده آغاز می‌شود، عموماً از رسوبات شنی تشکیل شده است و نهشته‌های درشت‌دانه به سمت غرب تا بخش‌های مرکزی شهر اراک و همچنین به مناطق پیرامونی آن گسترش یافته است.

www.SID.ir

Arc SID

مراجع

1. Haeri, M. and Sharafi, H. (2000) Seismic zonation of the city of Qazvin due to the impact of site conditions. *Geosciences Journal*, Eighth Edition Number 38 (in Persian).
2. Bravo, M.A. and Sanchez-Sesma, F.J. (1990) Seismic Response of Alluvial Valleys for Incident P, Sv and Rayleigh Waves. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **9**(1).
3. Sanchez-Sesma, F.J., Ramos-Martinez, J. and Campill, M. (1993) An indirect boundary element method applied to simulate the seismic response of alluvial valleys for incident p, s and rayleigh waves. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **22**, 279-295.
4. Gatmiri, B. and Arsonb, B.C. (2008) Seismic site effects by an optimized 2d Be/Fe Method Ii. quantification of site effects in two-dimensional sedimentary valleys. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **28**, 646-661 (in Persian).
5. Kamalian, M., Sohrabibidar, A., and Razmkhah, A. (2007) Solving wave propagation problems in two-dimensional linear environments in space using a combination of finite element and boundary component methods, Amirkabir, **64**, 11-1 (in Persian).
6. Kamalian, M., Jafari, M.K., and Three Wonders, A. (2007) Seismic behavior of two-dimensional half-sinus hills against invasive waves of Ghaem. *Esteghlal Magazine*, **1**, 130-109 (in Persian).
7. Kamalian, M. and Sohrabibidar, A. (2008) Seismic behavior of two-dimensional half-sinus hills against SV waves. *Esteghlal Journal*, **36**(1), 109-130 (in Persian).
8. Panji, M., Kamalian, M., Asgarimarnani, J., and Jafari, M.K. (2013) Technical literature review on seismic analysis of topographic complications against SH waves. *JSEE Journal*, **15**(4), 1-15 (in Persian).
9. Haghshenas, E., Hamzeloo, H., and Ghazinezhad, S. (2013) *Arak Seismic Microzonation Report.* IIEES, Tehran, Iran (in Persian).
10. Raeisizadeh, M. (2019) *Evaluation of Seismic Geotechnical Behaviour on Semi of Arak City*. Ph.D. Thesis (in Persian).
11. Hashash, Y.M.A., Groholski, D.R., Phillips, C.A., and Park, D. (2009) *Deepsoil V5, User Manual and Tutorial.* University of Illinois at Urbana-Champaign.
12. Visone, C., Bilotta, E., and Santucci de Magistris, F. (2008) Remarks on site response analysis by using plaxis dynamic module. *Plaxis Bulletin*, **23**, 14-18.
13. Jafari, M.K., Bakhshayesh, M.K., Sohrabi, A., and Razmkhah, A. (2002) Seismic geotechnical properties of south of Tehran alluviums. *Earth Sciences*, **11**(46-45), 92-104.
14. Ehsani, N., Ghaemmaghamian, M., Fazlavi, M., and Haghshenas, E. (2018) Investigation of site effects using empirical method And numerical in Karaj. *Engineering Geology Journal*, **11**(1), Spring 1 (in Persian).
15. Sohrabibidar, A. and Jasempor, L. (2014) Investigating the effect of deep alluvils on one-dimensional seismic response in Qom. *Journal of Physics of Earth and Space*, **39**(3), (in Persian).

www.SID.ir

Archive of SID

Some Considerations about the Seismic Geotechnical Model of Arak City

Iman Raeisizadeh[1], Mohsen Kamalian[2*], Ebrahim Haghshenas[3], and Seyed Hamid Lajevardi[4]

1. Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran
2. Professor, Geotechnical Engineering Research Center, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran, *Corresponding Author, email: Kamalian@iiees.ac.ir
3. Assistant Professor, Geotechnical Engineering Research Center, International Institute of Earthquake Engineering and Seismology (IIEES), Tehran, Iran
4. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran

During an earthquake, the waves created by the fault activity in the bedrock propagate from deep to the ground. If the layers on the bedrock are alluvial, the amplitude and intensity of the waves will increase as the waves pass through them, and what reaches the ground will be completely different from what is created in the bedrock. Earthquake waves change their nature as they pass through the bedrock and enter another environment. In other words, the characteristics of an earthquake, depending on the physical and dynamic characteristics of the site, can be intensified or weakened at certain frequencies. The amount and intensity of the amplification of the waves depends on the characteristics of the alluvial layers and the initial wave. Considering that the structures and facilities on the ground are affected by these waves, the intensification of the waves can have very destructive effects on buildings and structures. Determining the magnitude of earthquake waves requires analytical work in an area, based on the characteristics of soil layers and earthquake characteristics. Arak is the cradle of Iran's industry and many strategic and important industries of the country are located in this region. For this reason, it has increased the rate of migration to this city and, as a result, has increased the population of the city, and in proportion to that, high-rise and important structures have been widely expanded in the city. Therefore, in view of all the above, seismic zoning is considered for use in the design of existing buildings and structures, and most importantly, vital decisions such as urban planning, comprehensive urban planning, and comprehensive urban planning. Although the importance of the effects of topography on the seismic response of the earth's surface has become clear to everyone today, due to the lack of comprehensive studies, most earthquake-resistant design codes as well as most seismic geotechnical microzoning guidelines have been used since then. The agent refused.

So far, analytical, experimental, numerical and physical modeling methods have been used to study and solve the seismic response of surface topographic features. According to the collection of valid geotechnical information in Arak city, alluvium modeling has been done in this region and alluvial dynamic analysis studies have been performed as one-dimensional linear equivalents and two-dimensional ones using numerical methods and the results have been compared with each other.

Considering the changes in the natural frequency of the soil in the studied directions, it can be concluded that in stations with natural frequency of the site less, the thickness of the sediments is slightly higher or the softness of the sediments is slightly higher or the floor rock is slightly lower (at greater depths) than the stations that have a higher natural frequency, Also, by observing the graphs obtained in the northwest-southeast direction, the natural period resulting from one-dimensional dynamic analysis differs by a maximum of 25% compared to two-dimensional analysis, which may be due to the "effect of considering topography in two-dimensional analysis. This is while in the northeast-southwest direction, the results are relatively consistent with each other, which shows the one-dimensional behavior of the site in this direction. Also, in terms of "classification" of soil type based on the shear wave velocity of the upper 30 meters, according to Regulation 2800, soil type has been reported in Arak.

Keyword: Arak, 1D Site Effect, 2D Site Effect, Amplification.

www.SID.ir