

چکیده

امروزه استفاده از نقشه‌های پهنه‌بندی مانند پهنه‌بندی نوع زمین، پارامترهای ژئوتکنیکی، شدت خطرهای لرزه‌ای و زمین‌لغزش، کاربردهای زیادی پیدا کرده است. با تهیه این نقشه‌ها، که با توجه به اهداف مورد نظر و بر اساس بانک‌های اطلاعاتی گسترده و استانداردهای موجود تهیه می‌شوند، می‌توان هزینه‌ها را کاهش و سرعت تصمیم‌گیری در قضاوت‌های مهندسی را افزایش داد. در این مقاله با استفاده از اطلاعات ژئوتکنیکی و داده‌های مربوط به آزمایش کاوشگر دینامیکی حاصل از بررسی 650 گمانه در 250 محل مختلف شهر قم و نتایج مربوط به 10 آزمایش تعیین سرعت موج برشی، رابطه جدیدی بین داده‌های کاوشگر دینامیکی و سرعت موج برشی پیشنهاد شده است.

کلمات کلیدی: پهنه‌بندی، سرعت موج برشی، روش درون‌چاهی، آبرفت، قم، کاوشگر دینامیکی

رابطه تجربی بین سرعت موج برشی (V_s) و نتایج آزمون کاوشگر دینامیکی (DP) در آبرفتهای گسترده شهر قم

مهدی خداپرست (نویسنده مسؤول)

دانشیار دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه قم

khodaparast@qom.ac.ir

علی محمدرجیبی

استادیار دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه قم

مجتبی علی‌زاده

دانشجوی دکتری ژئوتکنیک دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه قم

1- مقدمه

امروزه به منظور کاهش هزینه‌ها، استفاده از روشهای غیرمستقیم ارزیابی سرعت موج برشی، رو به افزایش است. از جمله این روشها می‌توان به برآورد سرعت موج برشی با استفاده از نتایج آزمایشهای نفوذ استاندارد و کاوشگر دینامیکی اشاره نمود. در این تحقیق، به منظور برآورد سرعت امواج لایه‌های خاک به روش مستقیم، از آزمایش تعیین سرعت موج برشی به روش درون‌چاهی استفاده شده و سپس با استفاده از نتایج آزمایشهای کاوشگر دینامیکی رابطه‌ای برای ارزیابی سرعت موج برشی به دست آمده است.

مطالعات ریزپهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای در طول سالهای گذشته در شهرهای مختلف و توسط محققان مختلفی در ایران انجام شده است که از جمله می‌توان به مطالعات جعفری و همکاران (1380)، قلندرزاده و همکاران (1382)، کمالیان و همکاران (1384) و شرفی و همکاران (1385) اشاره کرد [1، 2، 3 و 4]. رمزی (1381)، به منظور پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای قم، شتاب حداکثر افقی زمین را برای بستر سنگی، بدون در نظر گرفتن نوع خاک و بر مبنای شرایط زمین‌ساختی منطقه محاسبه کرد. در این بررسی علاوه بر گسلهای بزرگ بین دو شهر تهران و کاشان، گسلهای کوچکتر، اما

در ارزیابی‌های ژئوتکنیکی در طرحهای عمرانی، مانند بررسی برهمکنش خاک و سازه، تحلیل دینامیکی آبرفتها، بررسی اثرهای ساختگاه، طراحی لرزه‌ای سازه‌ها، تحلیل دینامیکی شالوده ماشین‌آلات مرتعش، مدلسازی سازه‌های مدفون و بسیاری موارد دیگر و برآورد سرعت انتقال امواج لرزه‌ای در لایه‌های خاک از اهمیت زیادی، بویژه در مطالعات ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای، برخوردار است. سرعت عبور امواج در لایه‌های زیر سطحی به عواملی چون تراکم یا سفتی، تنش مؤثر و درجه اشباع وابسته است و برخی از خصوصیات دینامیکی خاک مانند مدول برشی را می‌توان با استفاده از سرعت عبور امواج ارزیابی کرد.

اندازه‌گیری سرعت امواج طولی و عرضی خاک، به روشهای مستقیم و غیرمستقیم قابل ارزیابی است. روشهای مستقیم به دو دسته آزمایشگاهی و صحرایی تقسیم می‌شوند که در روش صحرایی استفاده از آزمونهای سطحی و درون‌چاهی مرسومند. از جمله روشهای سطحی می‌توان به روشهای انعکاسی و انکساری اشاره کرد و روشهای درون‌چاهی شامل روشهای سطح به گمانه، گمانه به سطح و گمانه به گمانه است.

فعال و بالقوه فعال شهر قم به عنوان گسل لرزه‌زا معرفی و در تحلیل‌ها وارد شدند [5].

کمالیان و همکاران (2008) نشان دادند که شهر قم سه گسل فعال و بالقوه فعال کواترنری با جابه‌جایی‌های واضح سطحی دارد [6]. این مطالعات ضرورت بررسی خطر گسلش سطحی را مانند سایر اثر IHD حوزه نزدیک گسل در طراحی و برنامه‌ریزی‌های شهری در نزدیکی این گسلها بیش از پیش تبیین می‌نماید.

در این تحقیق با استفاده از داده‌های ژئوتکنیکی حاصل از بررسی‌های ساختگاهی در گستره شهر قم، رابطه‌ای تجربی بین پارامترهای آزمایش کاوشگر دینامیکی و سرعت موج برشی ارائه شده است.

آزمایش کاوشگر دینامیکی یکی از انواع آزمایشهای صحرایی در مطالعات ژئوتکنیک است. این نوع آزمایش در بسیاری از کشورهای جهان همچون آلمان و ژاپن توسعه خوبی یافته است. در سالهای اخیر در ایران نیز به جای آزمایش نفوذ استاندارد کاربرد گسترده‌ای پیدا کرده و توسط سازمان ملی استاندارد تدوین شده است [7]. از مزایای این آزمایش می‌توان به سرعت زیاد و سهولت استفاده از آن در مناطق با دسترسی دشوار، سهولت کاربرد آن نسبت به آزمایش نفوذ استاندارد، انعطاف‌پذیری و اقتصادی بودن آن از نظر ساخت اولیه اشاره نمود [8]. همچنین محققان بسیاری با استفاده از نتایج این آزمایش، روابط متعددی را برای استخراج مشخصات خاک نظیر پارامترهای مقاومت برشی، وزن مخصوص، نسبت باربری کالیفرنیا و ضریب برجهندگی خاک ارائه نموده‌اند [9، 10، 11، و 12].

2- محدوده جغرافیایی و زمین‌شناسی عمومی شهر قم

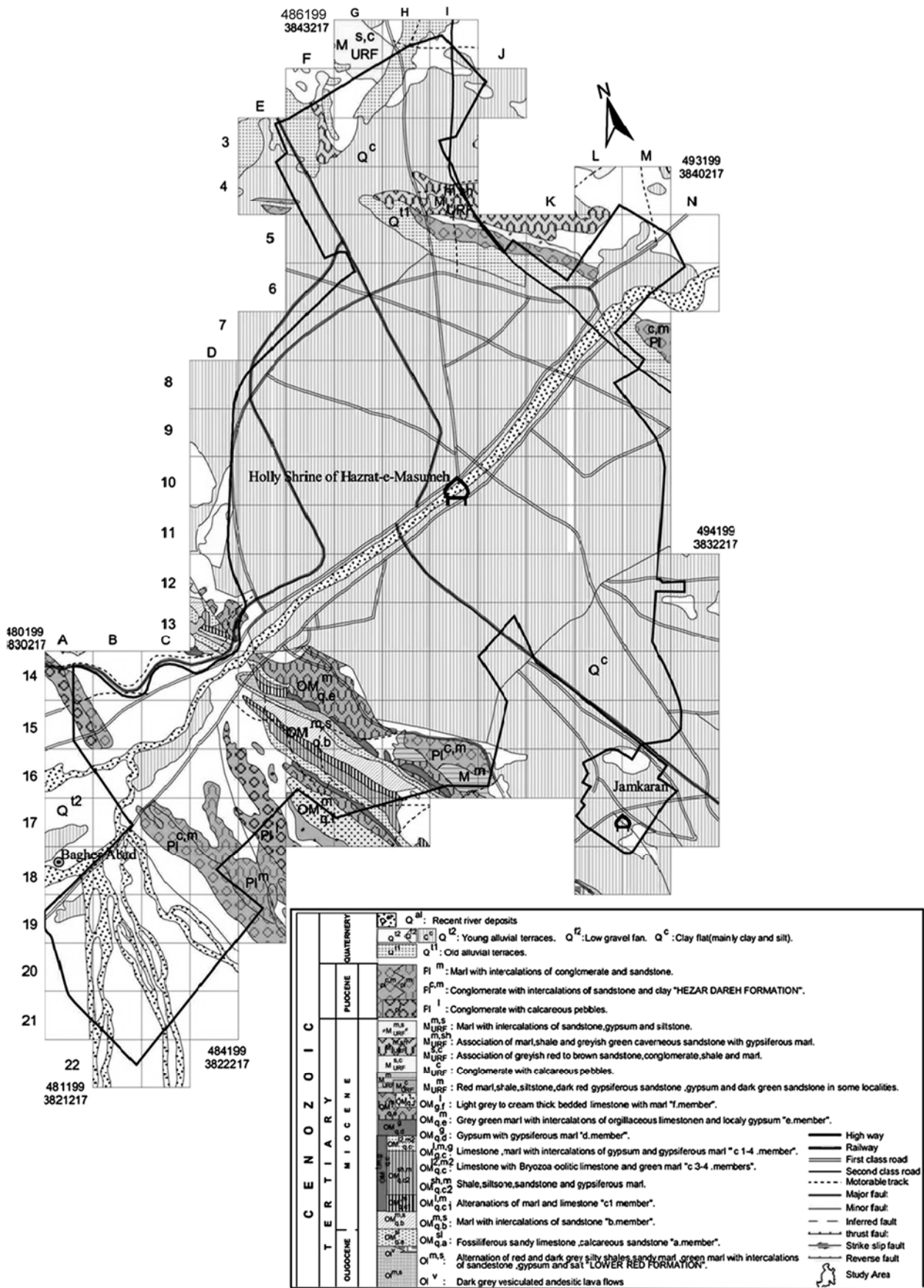
از نظر زمین‌شناسی، استان قم بخشی از قلمرو ساختاری ایران مرکزی است که مورفولوژی حاکم بر آن شامل مجموعه‌ای از رشته‌کوهها و دشتهای نیمه موازی باروند شمال غربی - جنوب شرقی است. در نیمه شمالی محدوده مورد مطالعه، کوههایی با راستای شمال غربی - جنوب شرقی قرار دارند که از سنگهای آتشفشانی بازیک تا حد واسط میوسن زیرین و سنگ آهکهای الیگوسن تشکیل شده‌اند. همچنین کنگلومراهای حاصل از مرحله فرسایش پلیوسن نیز در محدوده مورد مطالعه رخنمون دارند. نیمه جنوبی ناحیه قم از یک

سری ناودیسها و تاقدیسهایی با دامنه شیب ملایم تا تند به وجود آمده و مناطق برجسته سازند قرمز بالایی را در کوه یزدان پدید آورده است و سنگ آهکهای صخره‌ساز سازند قم از نظر ارتفاع، پس از آن به شمار می‌رود. نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه در شکل (1) نشان داده شده است.

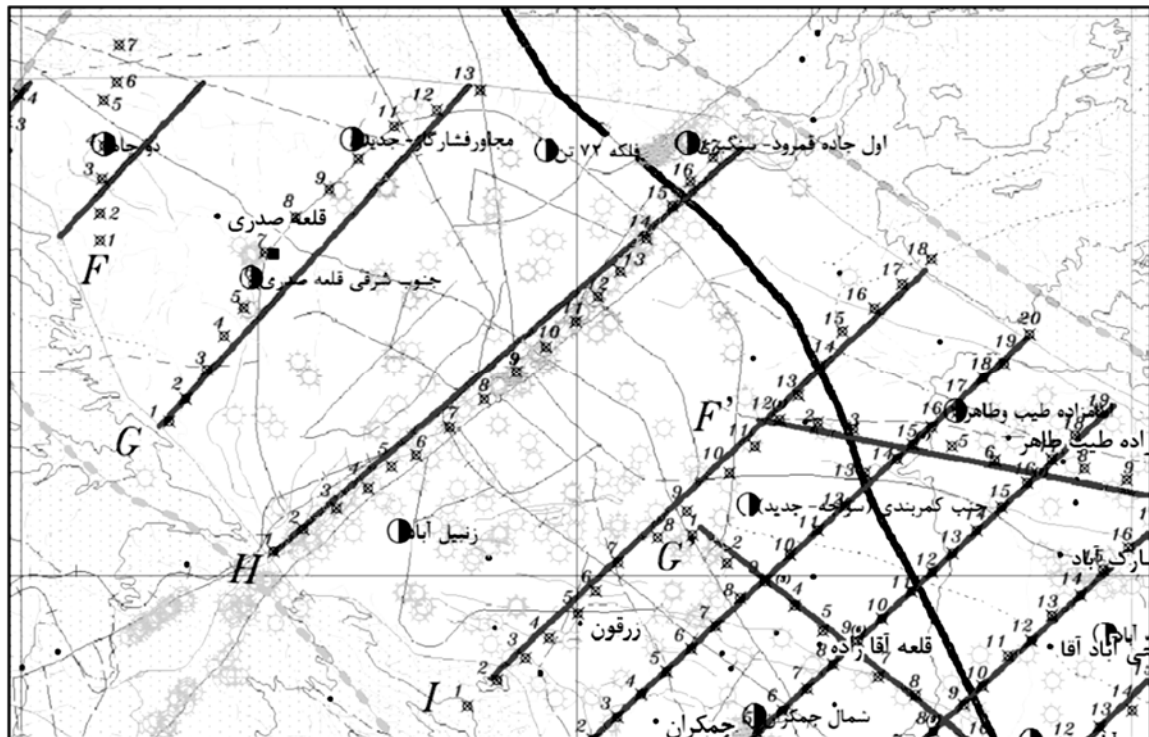
مهمترین گسلهای محدوده قم شامل گسلهای خضر و قیزقلعه است. گسل خضر، گسلی معکوس با حرکتی برشی راستگرد با امتداد 120 درجه با شیب به سمت جنوب است که در طول تاقدیس خضر ادامه دارد و باعث خرد شدن یال شمالی به صورت فلس‌های زمین‌ساختی شده است. گسل قیزقلعه نیز گسلی امتدادلغز راستگرد با راستای تقریبی شرقی - غربی و شیب 67 درجه به سمت جنوب است و چنین می‌نماید که مانند گسل خضر از نوع معکوس با حرکت مایل باشد. در محدوده شهر قم گسلهای فرعی نیز وجود دارد. این گسلها در بیشتر قسمتها از نوع امتدادلغز راستگرد یا چپگرد و به طور معمول عمود تا نزدیک به عمود نسبت به محور چین خوردگی اصلی دیده می‌شود. مطابق اشکال (1 و 2) بیشتر گمانه‌های اکتشافی در ناحیه میانی محدوده مورد مطالعه و به طور عمده از جنس آبرفتهای ریزدانه می‌باشند.

به منظور بررسی ویژگیهای زمین‌شناسی، تفکیک و بررسی لایه‌های زمین و برآورد ضخامت لایه‌ها، شناسایی و تعیین موقعیت ذخایر سفره‌های آب زیرزمینی در محدوده دشت قم، مطالعاتی توسط شرکت زمین‌کاوگستر با استفاده از روش مقاومت‌سنجی الکتریکی انجام شده است. در بین نیمرخهای برداشت شده، سه نیمرخ G ، H و I در محدوده شهر قم قرار دارند که موقعیت آنها در شکل (2) نشان داده شده است. نیمرخ G در بخش شمال غربی شهر قم، نیمرخ H در محدوده مرکزی شهر و در مسیر رودخانه قمرود و نیمرخ I در محدوده جنوب شرقی شهر قم قرار دارد و به دلیل فاصله گرفتن از سازندهای سنگی، بخش مرکزی نیمرخها ضخامت بیشتری نسبت به بخشهای ابتدایی و انتهایی دارند. لایه‌های آبرفتی، عموماً به چهار لایه مجزا قابل تفکیک و تشخیص است:

لایه اول شامل خاکهای دستی و آبرفتهای سطحی ریز تا دانه متوسط عموماً دارای ضخامت کمتر از 15 متر است.



شکل (1): نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه [13]



شکل (2): موقعیت نیمرخهای برداشت شده مقاومت سنجی در محدوده شهر قم [14]

مخروطی شکل با هندسه مشخص به عنوان مخروط نفوذ بر اثر سقوط وزنه‌ای معین (چکش) از ارتفاع مشخص بر روی میله‌های رابط بین آنها، در نقطه‌ای از خاک نفوذ می‌کند و تعداد ضربات لازم برای مقدار نفوذی مشخص که معمولاً بین 10 تا 20 سانتیمتر است، به عنوان نتیجه آزمایش ثبت می‌شود. به بیان دیگر، نتیجه هر آزمایش به صورت عددی بدون بعد ارائه می‌شود که عبارت از تعداد ضربه لازم برای نفوذ مشخصی است.

در کاوشگرهای دینامیکی، بالا بردن چکش با توجه به وزن و ارتفاع سقوط آن ممکن است به صورت دستی و یا به کمک موتور انجام گیرد. اجزای یک کاوشگر دینامیکی دستی در شکل (3) نشان داده شده است.

معمولترین این نوع دستگاه به دو نوع کاوشگر دینامیکی دستی نوع سبک (DPL) و متوسط (DPM) تقسیم می‌شود. در کاوشگر دینامیکی دستی نوع سبک، که مشخصات آن در استاندارد ISO22476-2 [16] آورده شده است، وزن چکش 10 کیلوگرم و امکان استفاده از آن در خاکهای نرم تا متوسط فراهم است (شکل 3، الف). با افزایش سختی خاک ممکن است نتیجه آزمایش

لایه دوم شامل آبرفتهای دانه متوسط تا دانه درشت مرطوب تا خشک است که ضخامت متغیر از 5 تا 52 متر در محدوده شهر قم دارد.

لایه سوم شامل یک لایه ضخیم آبدار است که از آبرفتهای دانه ریز تا دانه متوسط تشکیل شده است. بیشترین ضخامت این لایه در امتداد نیمرخ I با ضخامت 95 متر دیده می‌شود. آخرین لایه تفکیک شده، سنگ کف را مشخص می‌سازد که از سنگهای مارنی و مارن آهکی تشکیل شده است [14 و 15].

3- معرفی دستگاه و ملحقات انجام آزمایش نفوذسنجی دینامیکی

در این بخش مشخصات نوع دستی دستگاه آزمایش نفوذسنجی دینامیکی بررسی شده است. خداپرست (1390) جزئیات انواع مختلف این دستگاه را تشریح کرده است [8].

کاوشگرهای دینامیکی از سه قسمت اصلی چکش، مخروط نفوذ و میله‌های رابط تشکیل شده‌اند و برخلاف آزمایش نفوذ استاندارد معمولاً نیاز به حفر گمانه نمی‌باشد. در این آزمایش یک قطعه

جدول (1): مشخصات کاوشگرهای دینامیکی دستی مورد استفاده در این تحقیق [4]

نوع سبک (DPL)	نوع متوسط (DPM)	نوع
10 ± 0/1	30 ± 0/3	وزن چکش (کیلوگرم)
0/5 ± 0/01	0/5 ± 0/01	ارتفاع سقوط چکش (متر)
35/7 ± 0/3	35/7 ± 0/3	قطر مخروط (میلیمتر)
10	10	سطح مقطع مخروط (سانتیمتر مربع)
22 ± 0/2	32 ± 0/2	قطر میله‌های رابط (میلیمتر)
6 ± 0/2	9 ± 0/2	ضخامت میله‌های رابط (میلیمتر)
3-50	3-50	محدوده استاندارد نتایج
(برای 10 سانتیمتر نفوذ)	(برای 10 سانتیمتر نفوذ)	انرژی اعمالی در هر ضربه
49	98	(کیلو ژول بر متر مربع)

4- روش تحقیق

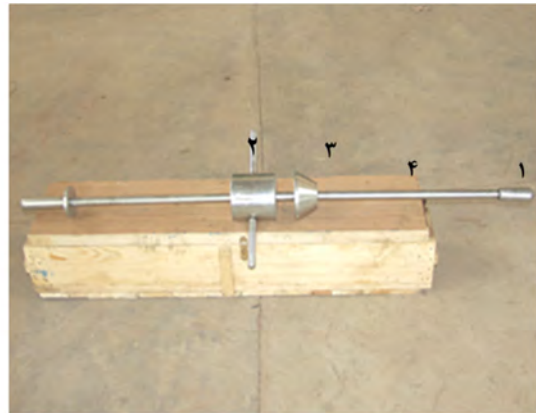
در این تحقیق پس از تهیه و تفسیر داده‌های حاصل از آزمایشهای سرعت موج برشی به روش درون‌چاهی و مطالعات ژئوتکنیکی شامل آزمایشهای کاوشگر دینامیکی در گستره شهر قم، رابطه‌ای جدید بین سرعت موج برشی (V_s) و نتایج حاصل از آزمایشهای کاوشگر دینامیکی (q_{d1}) پیشنهاد شده است. مبنای اصلی رابطه تجربی پیشنهادی نتایج به دست آمده از آزمایش تعیین سرعت موج برشی به روش درون‌چاهی در 10 نقطه در محدوده شهر قم است که بالای تراز آب زیرزمینی قرار دارند. برای تکمیل و تدقیق نقشه‌های هم‌سرعت موج برشی، علاوه بر بررسیهای صحرائی از داده‌های ژئوتکنیکی حدود 650 حلقه گمانه در گستره شهر قم نیز استفاده و موقعیت گمانه‌های اکتشافی در شکل (4) نشان داده شده است.

5- همبستگی بین سرعت موج برشی و نتایج آزمایشهای نفوذسنجی

تاکنون تحقیقات گسترده‌ای به منظور یافتن رابطه‌ای بین سرعت موج برشی و سایر پارامترهای ژئوتکنیکی خاک، انجام شده است [17، 18 و 19]. روابطی که براساس کاوشهای صحرائی برای سرعت موج برشی ارائه شده، به علت پراکندگی نتایج و محدودیت دسترسی به پارامترهای دقیق خاک، تقریبی‌اند. از آنجا که روشهای آزمایشگاهی و صحرائی مبتنی بر اندازه‌گیری سرعت موج برشی

(تعداد ضربات برای نفوذ) با نوع سبک از مقدار استاندارد 50 تجاوز نماید. در این صورت، دیگر ابزار دستی سبک قابل استفاده نیست. از این رو، باید کاوشگر دینامیکی دستی نوع متوسط به کار گرفته شود. مشخصات این دو نوع کاوشگر دینامیکی در جدول (1) آمده است. کار کردن با نوع متوسط نسبت به نوع دستی سبک مشکل‌تر و برای بالا بردن چکش، حداقل وجود دو نیروی انسانی ضروری است (شکل 3، ب).

لازم به ذکر است که مقدار انرژی اعمالی در هر ضربه در آزمایش SPT در مقایسه با کاوشگرهای دینامیکی دستی 234 کیلو ژول بر متر مربع است.



الف: سبک (1، 2، 3 و 4 به ترتیب معرف مخروط نفوذ، چکش، سندان و میله)



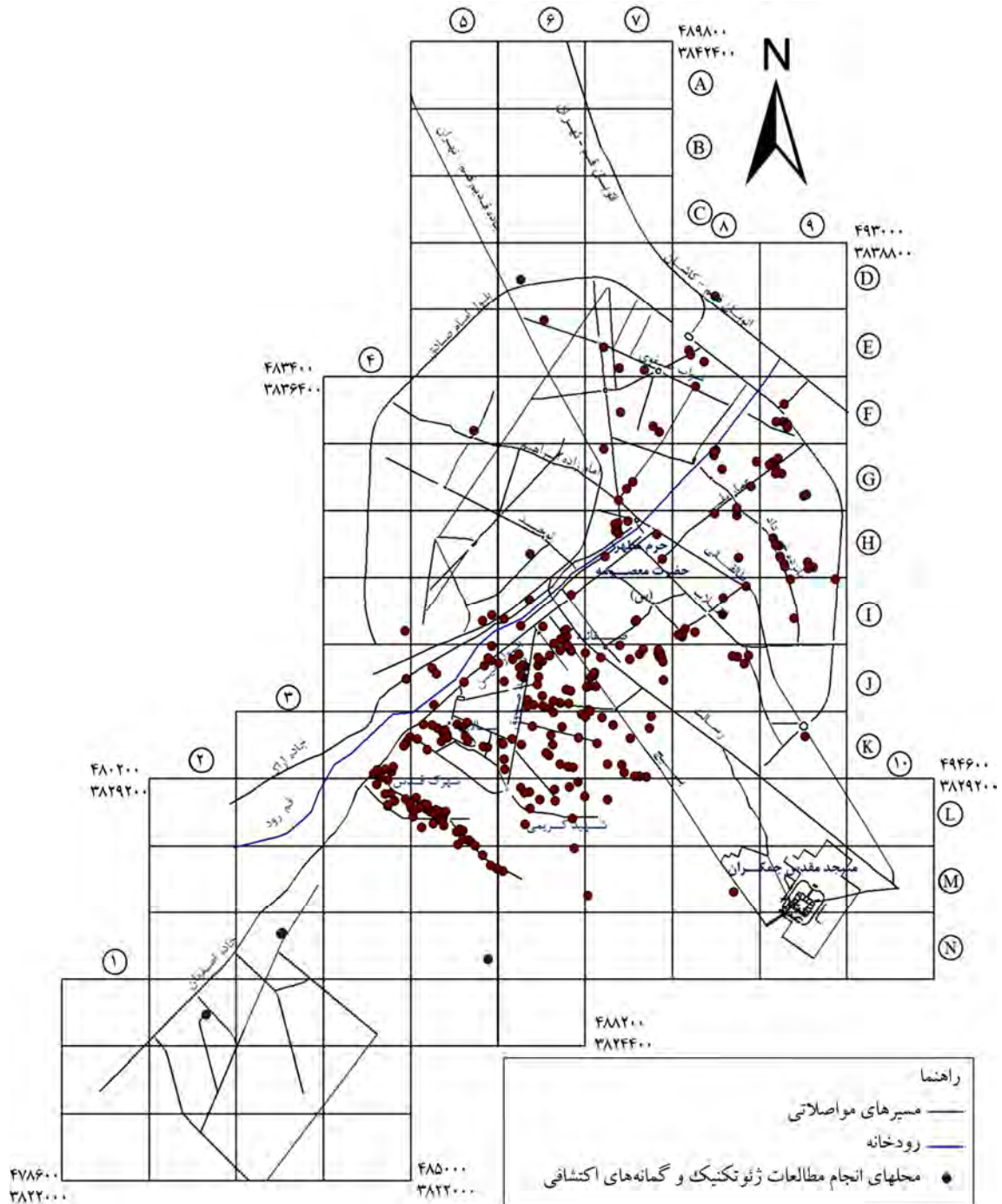
ب: متوسط

شکل (3): ابزار کاوشگر دینامیکی دستی

قرار گرفته است.

فهرستی از روابط بین عدد نفوذ استاندارد و سرعت موج برشی در جدول (2) آورده شده است [20]. در تعیین این روابط همبستگی از تعداد محدودی آزمایش یا به عبارت دیگر، اطلاعات اندکی استفاده شده است. همچنین این روابط برای شرایط محلی خاص و متفاوتی ارائه شده است.

پرهزینه است، محققان همواره به دنبال روشهایی بوده‌اند تا بتوانند سرعت موج برشی را به صورت غیر مستقیم به دست آورند. روابط تجربی گوناگونی بین عدد نفوذ استاندارد (N) و سرعت موج برشی (V_s) پیشنهاد شده است. از آنجایی که SPT یک نوع نفوذسنج دینامیکی خیلی سنگین است، در این تحقیق رابطه بین سرعت موج برشی و نتایج حاصل از انواع نفوذسنج‌های دینامیکی مورد بررسی



شکل (4): موقعیت گمانه‌های اکتشافی در محدوده مورد مطالعه

نشان می‌دهد.

از آنجایی که تاکنون بین نتایج آزمایش نفوذسنج دینامیکی و سرعت موج برشی رابطه‌ای ارائه نشده، در این تحقیق، جستجوی چنین رابطه‌ای در گستره شهر قم مد نظر است.

6- رابطه تجربی بین سرعت موج برشی (VS) و نتایج حاصل از کاوشگر دینامیکی (DP)

به منظور استخراج رابطه‌ای بین سرعت موج برشی و نتایج آزمایش کاوشگر دینامیکی، پس از جمع‌آوری داده‌های حاصل از آزمایش کاوشگر دینامیکی، مقادیر مقاومت دینامیکی نظیر اعداد نفوذ با استفاده از استاندارد 2-12305 مطابق رابطه (1) محاسبه می‌شود [7].

$$q_d = \frac{m}{m+m'} r_d \quad (1)$$

در این رابطه، m جرم چکش بر حسب کیلوگرم، m' جرم میله‌ها و مخروط نفوذ، سندان و میله راهنمای چکش بر حسب کیلوگرم و r_d کار انجام شده برای کوبش مخروط نفوذ در زمین است و مطابق رابطه (2) محاسبه می‌شود:

$$r_d = \frac{mgh}{A_e} \quad (2)$$

در رابطه (2)، g شتاب جاذبه بر حسب متر بر مجذور ثانیه، h ارتفاع سقوط چکش بر حسب متر، A سطح مقطع مخروط نوک بر حسب متر مربع و e متوسط نفوذ در هر ضربه بر حسب متر است.

به دلیل وجود برتری پارامتر مقاومت دینامیکی مخروط (q_d) نسبت به تعداد ضربات نفوذ، در این مطالعه از پارامتر مذکور برای به دست آوردن رابطه بین سرعت موج برشی و نتایج آزمایش کاوشگر دینامیکی استفاده شده است. در این خصوص لازم به ذکر است که پارامتر مقاومت دینامیکی مخروط (q_d) با در نظر گرفتن جرم میله‌ها، چکش، سندان و سایر ملحقات، پارامتر (r_d) را برای انواع کاوشگر دینامیکی اصلاح می‌کند. به این ترتیب، محاسبه پارامتر (q_d) این امکان را فراهم می‌کند که نتایج انواع مختلف کاوشگر دینامیکی با یکدیگر مقایسه شوند. استاندارد ISO 22476-2 نیز تبدیل نتایج هر نوع کاوشگر دینامیکی به پارامتر مقاومت دینامیکی مخروط (q_d) را مورد تأکید قرار داده است [16].

جدول (2): برخی روابط تجربی بین اعداد SPT و سرعت موج برشی (V_s) [17]

ردیف	پیشنهاد دهنده	نوع خاک	رابطه پیشنهادی
1	کانای و همکاران (1966)	All	$V_s = 19N^{0.6}$
2	شیباتا (1990)	Sand	$V_s = 32N^{0.5}$
3	اوهبا و توریوما (1970)	Alluvial	$V_s = 85N^{0.31}$
4	اوهتا و همکاران (1972)	Sand	$V_s = 87N^{0.36}$
5	اوهساکای و ایواساکای (1973)	All	$V_s = 89N^{0.39}$
6	اوهساکای و ایواساکای (1973)	Cohesionless	$V_s = 59N^{0.47}$
7	ایمای و یوشیمورا (1975)	All	$V_s = 92N^{0.329}$
8	ایمای و همکاران (1975)	All	$V_s = 90N^{0.341}$
9	ایمای (1977)	All	$V_s = 91N^{0.337}$
10	اوهتا و گوتو (1978)	All	$V_s = 85N^{0.348}$
11	اوهتا و گوتو (1978)	Sands	$V_s = 88N^{0.34}$
12	اوهتا و گوتو (1978)	Gravels	$V_s = 94N^{0.34}$
13	JRA (1980)	Clays	$V_s = 100N^{1/3}$
14	JRA (1980)	Sands	$V_s = 80N^{1/3}$
15	سید و ادیس (1981)	All	$V_s = 61N^{0.5}$
16	ایمای و تونوچی (1990)	All	$V_s = 97N^{0.314}$
17	سید و همکاران (1983)	Sands	$V_s = 56N^{0.5}$
18	سیکورا و استوکنو (1983)	Granular	$V_s = 100N^{0.29}$
19	اوکاموتا و همکاران (1989)	Alluvial Sands	$V_s = 125N^{0.3}$
20	لی (1990)	Sands	$V_s = 57N^{0.49}$
21	لی (1990)	Clays	$V_s = 1194N^{0.31}$
22	لی (1990)	Silts	$V_s = 106N^{0.32}$
23	ایمای و یوشیمورا (1975)	All	$V_s = 76N^{0.33}$
24	یوکوتا و همکاران (1997)	All	$V_s = 121N^{0.27}$
25	جعفری و همکاران (1997)	All	$V_s = 22N^{0.85}$
26	جعفری و همکاران (2001)	Clays	$V_s = 27N^{0.73}$
27	جعفری و همکاران (2001)	Silts	$V_s = 22N^{0.77}$
28	جعفری و همکاران (2001)	Silts - Clays	$V_s = 19N^{0.85}$

از سوی دیگر، در انجام آزمایش SPT و ارائه نتایج آن استاندارد یکسانی به کار برده نشده و اشکالات معمول در مکانیزم انجام آزمایش SPT، نظیر تفاوت در نحوه استخراج رابطه و تنوع خاک و شرایط متفاوت آب زیرزمینی [18]، باعث شده است که این روابط غالباً اعتبار و دقت یکسان نداشته باشد و در برخی موارد به ازای مقادیر ثابت SPT، سرعت موج برشی نظیر تفاوت زیادی را

جدول (3): برخی مقادیر مقاومت دینامیکی مخروط (q_d) از نتایج آزمایش نفوذسنجی دینامیکی

ردیف	عمق خاک	نوع خاک	V_s (متر بر ثانیه)	نتیجه آزمایش نفوذسنجی دینامیکی	rd ($\times 1000$) (کیلو پاسکال)	q_d (کیلو پاسکال)
1	9	CL-ML	382	21	10/5	6000
2	16	CL	416	30	15	8570
3	17	CL	414	30	15	8570
4	21	GM	465	27	13/5	7714
5	29	ML	418	32	16	9143
6	31	SP	434	33	16/5	9429
7	6	SP-SM	222	20	10	5714
8	8/3	SM	302	21	10/5	6000
9	10	GM	467	40	20	11429
10	16	SM	445	25	12/5	7143
11	18	GP-GM	462	26	13	7429
12	20	ML/SM	495	40	20	11429
13	24	SM	546	40	20	11429
14	3	CL-ML	186	19	9/5	5429
15	13	CL	421	32	16	9143
16	7	ML	459	29	14/5	8286
17	9	SM	440	38	19	10857
18	5	CL	373	28	14	8000
19	7	SM	418	35	17/5	10000
20	11	ML	465	28	14	8000
21	23	ML	452	32	16	9143
22	4	ML	160	17	8/5	4857
23	8	CL	180	17	8/5	4857
24	16	ML	350	25	12/5	7143
25	17	ML	351	31	15/5	8857
26	18	ML	355	25	12/5	7143
27	19	GM	361	30	15	8571
28	4	ML	160	18	9	5143
29	5	ML	167	17	8/5	4857
30	6	SM	201	18	9	5143
31	8	SM	211	17	8/5	4857
32	9	SM	230	23	11/5	6571
33	17	ML	315	18	9	5142
34	17	ML	337	18	9	5142

روابط مختلفی بین سرعت موج برشی و عدد نفوذ استاندارد توسط محققان مختلف پیشنهاد شده است (جدول 1). مقایسه روابط مذکور نشان می‌دهد که به ازای مقدار معینی از q_d مقادیر V_s نظیر

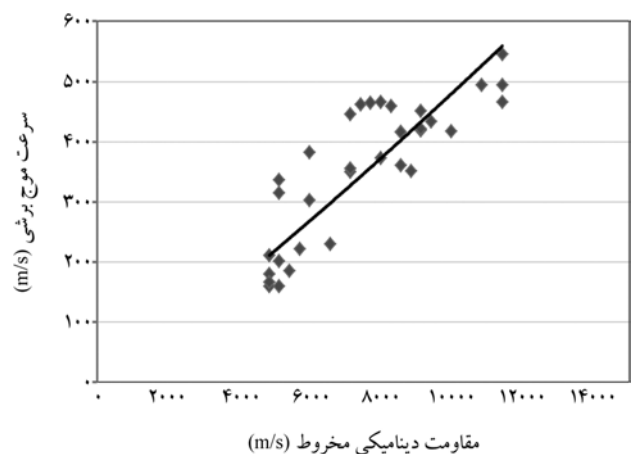
از سوی دیگر، براساس تحقیقات انجام شده در صورت استفاده از هر یک از انواع مختلف کاوشگر دینامیکی در یک خاک مشخص، مقدار پارامتر مقاومت دینامیکی مخروط (q_d) مقدار ثابتی به دست می‌دهد [10]. همچنین روابط تجربی متعددی بین مشخصات خاکها نظیر پارامترهای مقاومت برشی، وزن مخصوص، نسبت باربری کالیفرنیا و مدول بر جهندگی با پارامتر مقاومت دینامیکی مخروط ارائه شده و این روابط در حال توسعه است [8، 9، 10، 11 و 12].

خاکهای مورد مطالعه در این تحقیق شامل انواع خاکهای درشت‌دانه و ریزدانه بوده که حدود 85% از این خاکها، ریزدانه و عمدتاً سیلتی و سطح تراز آب زیرزمینی پایین‌تر از عمق 30 متر است. پس از محاسبه مقادیر مقاومت دینامیکی مخروط (q_d)، از نتایج آزمایش نفوذسنجی دینامیکی، که جزئیات آن در جدول (3) آمده است، رابطه بین سرعت موج برشی و مقاومت دینامیکی مخروط مطابق شکل (5) و به صورت رابطه (3) به دست آمده است:

$$V_s = 0.014q_d^{1.14} \quad R^2 = 0.72 \quad (3)$$

در رابطه (3)، V_s سرعت موج برشی و q_d مقاومت دینامیکی مخروط حاصل از آزمایش نفوذسنجی دینامیکی است که بر اساس روابط (1) و (2) محاسبه می‌شود.

با استفاده از این رابطه و با در اختیار داشتن تعداد ضربات نفوذ برای هر نوع کاوشگر دینامیکی و محاسبه مقاومت مخروط نظیر (با استفاده از روابط 1 و 2)، سرعت موج برشی برای لایه‌های مختلف خاک قابل ارزیابی است.



شکل (5): ارتباط بین سرعت موج برشی (V_s) و مقاومت دینامیکی مخروط (q_d)

7- نتیجه گیری

در این مطالعه با استفاده از داده‌های سرعت موج برشی و نتایج کاوشگر دینامیکی جدید در گستره شهر قم، رابطه‌ای بین q_d و v_s پیشنهاد شده است. با استفاده از این رابطه و با در اختیار داشتن داده‌های آزمایش کاوشگر دینامیکی می‌توان برای آبرفتهای شهر قم به روش غیرمستقیم و فقط با استفاده از نتایج کاوشگر دینامیکی که مزایای خاصی نسبت به سایر آزمایشهای صحرائی نظیر SPT دارد، سرعت موج برشی را در لایه‌های مختلف خاک برآورد نمود. رابطه پیشنهادی در این مطالعه با رابطه جعفری و دیگران (1376) مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد رابطه پیشنهادی در این تحقیق برای یک محدوده مشخص (q_d) تغییرات بیشتری از سرعت موج برشی را نسبت به رابطه جعفری و دیگران (1376) نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که تفاوت سطح کرنش در آزمایش درون چاهی و آزمایش نفوذسنجی دینامیکی نیز باید مورد توجه قرار گیرد. مهمترین ویژگی رابطه پیشنهادی بر اساس مقاومت دینامیکی مخروط (q_d)، قابل استفاده بودن آن برای انواع مختلف کاوشگرهای دینامیکی است.

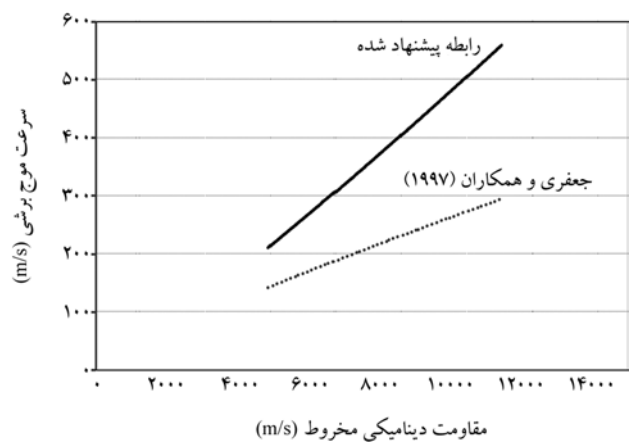
8- سپاسگزاری

نویسندگان نهایت تشکر و قدردانی خود را از آقایان: مهندس مصطفی محمدی و علی عدالت به سبب همکاری در تهیه نقشه‌ها ابراز می‌دارند.

9- مراجع

1. جعفری، محمد کاظم؛ رزم‌خواه، آرش. (1380). مطالعات تکمیلی ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای جنوب تهران [گزارش طرح پژوهشی، برنامه ملی تحقیقات]. تهران: پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
2. قلندرزاده، عباس؛ معتمد، رامین؛ سدید خوی، احمد. (1382). ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای شهر ارومیه با استفاده از اندازه‌گیری میکروترمور. چکیده مقالات چهارمین کنفرانس بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله. تهران: پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

تا بیش از 100% هم اختلاف دارند. از سوی دیگر، اکثر روابط موجود بر اساس داده‌های به دست آمده از انجام آزمایشها مورد نظر بر روی خاکهای محدود به مناطق خاص و در همان کشور مورد مطالعه، انجام شده است که قابل تعمیم به سایر مناطق نیست؛ اما از آنجا که رابطه جعفری و همکاران (1376)، برای خاکهای آبرفتی ریزدانه موجود در شرایط کشور ایران و به طور خاص خاکهای جنوب تهران پیشنهاد شده [20] و نوع تجهیزات مورد استفاده نیز بر اساس شرایط کشور ایران کالیبره شده است و به دلیل تشابه شرایط زمین‌شناسی آبرفتهای گستره شهر قم با آبرفتهای تهران، رابطه پیشنهادی در این مطالعه با رابطه مذکور مقایسه شده است (شکل 6).



شکل (6): مقایسه رابطه پیشنهاد شده و رابطه پیشنهادی جعفری و همکاران [17]

مقادیر q_d مربوط به رابطه جعفری و همکاران (1376) با فرض انجام آزمایش SPT استاندارد، که معادل آزمایش کاوشگر دینامیکی خیلی سنگین از نوع DPSH-B می‌باشد، محاسبه شده است؛ در حالی که رابطه پیشنهادی در این مطالعه بر اساس آزمایشهای کاوشگر دینامیکی، که مکانیسم اجرای آن با آزمایش نفوذ استاندارد متفاوت است، به دست آمده است [12]. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که رابطه پیشنهادی در این تحقیق در مقایسه با رابطه جعفری و همکاران (1376)، برای یک محدوده مشخص، مقاومت دینامیکی مخروط (q_d) تغییرات بیشتری از سرعت موج برشی را نشان می‌دهد (شکل 5) که علت آن کمتر بودن انرژی اعمالی در هر ضربه در آزمایش نفوذسنجی دینامیکی در مقایسه با آزمایش SPT است.

3. کمالیان، محسن؛ جعفری، محمد کاظم؛ قائمقامیان، محمدرضا؛ عسکری، فرج‌الله؛ شفیعی، علی؛ سهرابی، عبدالله؛ مهدوی‌فر، محمدرضا؛ کشاورز بخشایش، محمد؛ آزادی، اصغر. (1384). ریزپهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای شهر قم. پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
4. شرفی، حسن؛ حائری، سید محسن؛ رادملکشاهی، مزدک. (1385). ریزپهنه‌بندی مناطق شهری با استفاده از اندازه‌گیری مایکروتومورها، مطالعه موردی: شهر کرمانشاه، شماره F1496. مجموعه مقالات هفتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران. تهران: دانشگاه تربیت مدرس.
5. رضی، حمیدرضا. (1381). لرزه زمین‌ساخت، لرزه‌خیزی و برآورد خطر نسبی زمین‌لرزه استان قم. قم: سازمان مسکن و شهرسازی استان قم.
6. Kamalian, M., Jafari, M.K., Ghayamghamian, M.R., Shafiee, A., Hamzehloo, H., Haghshenas, E., and Sohrabi Bidar, A. (2008). Site effect microzonation of Qom, Iran. *Engineering Geology*, 97(1-2), p. 63-79.
7. استاندارد ملی ایران. (1392). بررسی و آزمون ژئوتکنیکی - آزمون صحرایی قسمت 2: آزمون کاوشگر دینامیکی، شماره 12305-2.
8. خداپرست، مهدی؛ فاخر، علی. (1390). استفاده از نتایج کاوشگرهای دینامیکی در مطالعه خاکهای ریزدانه و برآورد پارامتر چسبندگی. مجله علمی - پژوهشی عمران مدرس، دوره 11، شماره 2، صفحات 101-110.
9. Butcher, A.P., Mcelmeel, K., and Powl, J.J.M. (1995). *Dynamic probing and its use in clay soils* (383-395). Advance in Site Investigation Practice. London: Thomas Telford.
10. Armor, S.J., Burtwell, M.H., and Turner, A.S. (1999). *Panda Dynamic Cone Penetrometer Assessment*, Transport Research Laboratory, Old Wokingham Road Crowthorne, Bekshire, RG45 6AU.
11. Longton, D.D. (2000). *The Panda Light-Weight Penetrometer for Soil Investigation and Monitoring Material Compaction*. Soil Solution Ltd, 8 Marlowe Court, Macclasfield, Cheshire, SK118AY.
12. Leach, G. and Row, S.A. (1995). *The Role of Dynamic Probing in Geotechnical Investigations on Pipelines*. Probing and Penetration Testing, Meeting of East Midlands Geotechnical Group of the Geological Society, Loughborough.
13. آقائاتی، سیدعلی. (1382). زمین‌شناسی ایران. تهران: سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
14. شرکت زمین کاوگستر. (1387). گزارش ژئوالکتریک دشت قم. قم: شرکت آب منطقه‌ای قم، وزارت نیرو.
15. سهرابی بیدار، عبدالله؛ جاسم‌پور، لیلا. (1392). بررسی اثر آبرفت‌های عمیق بر پاسخ لرزه‌ای یک بعدی در شهر قم. مجله فیزیک زمین و فضا، دوره 39، شماره 3، 15-31.
16. ISO 22476-2. (2005). *Geotechnical investigation and testing, Field testing, Part 2: Dynamic probing*. Case postale 56, CH-1211 Geneva 20.
17. Jafari, M. K., Shafiee, A., and Razmkhah, A. (Spring 2002). Dynamic properties of fine grained soils in south of Tehran. *JSEE*, 4(1), p. 25-35
18. Sykora D.W. and Koester, P.J. (1998). Correlations between dynamic shear resistance and standard penetration resistance in soils. *Earthquake Engineering and Soil Dynamics, II*, p. 389-404.
19. Hardin, B.O. and Richard, F.E. (1963). Elastic wave velocities in granular soils. *Journal of Soil Mechanics and Foundations, ASCE*, 89, SM1, p. 33-65
20. جعفری، محمد کاظم. اصغری، ابراهیم. (1376). رابطه تجربی بین سرعت موج برشی و تعداد ضربات آزمایش نفوذ استاندارد برای خاکهای جنوب تهران. مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس ملی عمران. تهران: دانشگاه صنعتی شریف.

The Empirical Relationship between Shear Wave Velocity (V_s) and Dynamic Probing Test (DP) in the Alluvial Plateau in Qom

Mahdi Khodaparast

Associate Professor, Civil Engineering Department, University of Qom, Qom, Iran, (Corresponding Author)
Email: Khodaparast@qom.ac.ir

Ali Mohammad Rajabi

Assistant Professor, Civil Engineering Department, University of Qom, Qom, Iran

Mojtaba Alizadeh

Phd Student, Civil Engineering Department, University of Qom, Qom, Iran

Nowadays, the use of zonation maps such as ground type zonation, geotechnical parameters, seismic hazard intensity as well as landslides zonation maps have been deployed. These maps are prepared with regard to special purposes and are based on widespread data banks and existing standards. Using these maps, projects costs can be decreased and decision making speed in engineering judgments will increase. In this paper, a new empirical relation is recommended between dynamic probing tests results and shear wave velocity using geotechnical data and dynamic probing tests data related to different sites and the results of down hole tests in 10 different locations in Qom plateau.

Keywords: Zonation, Shear Wave Velocity, Alluvium, Qom, Dynamic Probing