

## کاربرد نتایج آزمایش نفوذسنج دینامیکی در پهنه‌بندی نوع زمین شهر قم

علی محمد رجبی<sup>۱</sup>، مهدی خداپرست<sup>۲\*</sup>، مجتبی علیزاده<sup>۲</sup>

۱- گروه زمین‌شناسی مهندسی، دانشکده علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۹/۲۴

تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۸/۲/۱۷

### چکیده

امروزه استفاده از نقشه‌های پهنه‌بندی به‌عنوان سند اصلی هدایت و کنترل تحولات کالبدی و نظارت بر ساخت و ساز در عرصه‌های شهری مورد توجه قرار گرفته است. کاربرد این نقشه‌ها به‌منظور جلوگیری از تداخل غیرضروری و نامناسب کاربری‌ها و ارتقاء کیفیت و کارایی محیط شهری اهمیت زیادی دارد. کوشش‌های فراوانی به منظور تدوین نقشه‌های پهنه‌بندی و تعیین محدوده‌های وقوع پدیده‌های مخاطره‌آمیز ناشی از زلزله با میزان احتمالات مختلف مانند نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش‌های ناشی از زلزله و خطر روانگرایی و نقشه‌های پهنه‌بندی پارامترهای مختلف ژئوتکنیکی انجام شده است. با استفاده از این نقشه‌ها، با توجه به نوع و اهدافشان بر مبنای استانداردهای موجود و بانک‌های اطلاعاتی گسترده، می‌توان هزینه‌ها را کاهش و سرعت تصمیم‌گیری در قضاوت‌های مهندسی را افزایش داد. شهر قم به‌عنوان یک از شهرهای پرجمعیت کشور، به دلیل توسعه و گسترش روز افزون و افزایش فعالیت‌های عمرانی از یک طرف و وجود منابع خطر از جمله گسل‌های خضر و قیزقلعه، بی‌شک در معرض مخاطرات زمین‌شناسی نظیر زلزله است. در این تحقیق با استفاده از اطلاعات ژئوتکنیکی به دست آمده و داده‌های مربوط به تعداد ۳۵۰۰ آزمایش نفوذ سنجی دینامیکی حاصل از بررسی ۶۵۰ گمانه در ۲۵۰ محل مختلف شهر قم و همچنین با بهره‌گیری از رابطه مربوط به محاسبه سرعت موج برشی از نتایج آزمایش نفوذ سنجی دینامیکی، نقشه پهنه‌بندی تیپ زمین بر مبنای ویرایش چهارم استاندارد ۲۸۰۰ ایران، در گستره آبرفت‌های شهر قم تهیه شده است.

**واژه‌های کلیدی:** پهنه‌بندی، سرعت موج برشی، آبرفت، نفوذسنج دینامیکی، نوع زمین.

## مقدمه

اثرهای حوزه نزدیک گسل در طراحی و برنامه ریزی‌های شهری در نزدیکی این گسل‌ها بیش از پیش تبیین می‌نماید. ایشان با بهره‌گیری از نتایج کاوش‌های صحرایی، مطالعات ژئوتکنیک و ژئوفیزیک نقشه‌های پهنه‌بندی گستره قم را با تکیه بر اطلاعات ثبت مایکروتروموری تولید نموده‌اند. در مطالعات ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای، برآورد سرعت گذر امواج لرزه‌ای در لایه‌های خاک از اهمیت زیادی برخوردار است. سرعت عبور امواج در لایه‌های زیر سطحی به عواملی چون تراکم یا سفتی، تنش مؤثر و درجه اشباع خاک وابسته است و برخی از خصوصیات دینامیکی خاک مانند مدول برشی را می‌توان با استفاده از سرعت عبور امواج ارزیابی کرد (جعفری و همکاران، ۲۰۰۲). 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 درون گمانه‌ای مرسوم‌اند. از جمله روش‌های سطحی می‌توان به روش‌های انعکاسی و انکساری اشاره کرد و روش‌های درون-چاهی شامل روش‌های سطح به گمانه<sup>۱</sup>، گمانه به سطح<sup>۲</sup> و گمانه به گمانه<sup>۳</sup> است. 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 (SPT) و نفوذسنجی دینامیکی<sup>۴</sup> اشاره نمود. آزمایش نفوذسنجی 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 (Butcher et al, 1995). در سال‌های اخیر در

امروزه با توجه به توسعه و گسترش روزافزون شهرهای بزرگ در مناطق لرزه‌خیز، آسیب‌پذیری آنها در برابر زلزله‌های مخرب رو به افزایش است. یکی از عمده‌ترین فعالیت‌ها در راستای کاهش مخاطرات ناشی از زلزله و افزایش ایمنی عمومی، مطالعات پهنه‌بندی لرزه‌ای مناطق شهری است که بایستی در مقیاس مناسب و مطلوب صورت پذیرد. پهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای شهرهای بزرگ و مهمی که از خطر لرزه‌خیزی بالایی برخوردار هستند اطلاعات مفید و ارزشمندی را در اختیار سازمان‌ها و پژوهشگران قرار خواهد داد. مطالعات ریزپهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای در طول سال‌های گذشته در شهرهای مختلف و توسط محققان مختلفی انجام شده است که از جمله می‌توان به مطالعات جعفری و همکاران (۱۳۷۶ و ۱۳۸۰)، قلندرزاده و همکاران (۱۳۸۲)، کمالیان و همکاران (۱۳۸۴)، شرفی و همکاران (۱۳۸۵)، هاشمی طباطبایی و همکاران (۱۳۹۱)، دهقانی و مهرنهاد (۱۳۹۲)، زهانی قائینی و همکاران (۱۳۹۴)، کشتکاری و همکاران (۱۳۹۴)، Fathani Wilopo and (۲۰۱۷) اشاره کرد. رمزی (۱۳۸۱)، به منظور پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای قم، حداکثر شتاب افقی زمین را برای بسترسنگی، 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 فعال و بالقوه فعال شهر قم به‌عنوان گسل لرزه‌زا معرفی و در تحلیل‌ها وارد شدند. کمالیان و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که شهر قم سه گسل فعال و بالقوه فعال کواترنری با جابه‌جایی‌های واضح سطحی دارد. این مطالعات ضرورت بررسی خطر گسلش سطحی را مانند سایر

مناطق شهر از نتایج آزمایش‌های کاوشگر دینامیکی مورد استفاده قرار گرفته و سپس با انتخاب پروفیل‌های تغییر سرعت موج برشی در اعماق تا ۳۰ متر، تولید و تدوین نقشه پهنه‌بندی نوع زمین در گستره شهر قم براساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران (کمیته دائمی بازنگری آئین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله؛ ۱۳۹۲)، مدنظر قرار گرفته است.

### منطقه مورد مطالعه

#### مشخصات ژئوتکنیکی شهر قم

با توجه به بررسی ویژگی‌های ژئوتکنیکی، تفکیک و بررسی لایه‌های زمین و برآورد ضخامت لایه‌ها، لایه‌های آبرفتی این شهر، عموماً به چهار لایه مجزا قابل تفکیک و تشخیص است. لایه اول شامل خاک‌های دستی و آبرفت‌های سطحی ریز تا دانه متوسط و عموماً دارای ضخامت کمتر از ۱۵ متر است. لایه دوم شامل آبرفت‌های دانه‌متوسط تا دانه‌درشت مرطوب تا خشک می‌باشد که ضخامت متغیر از ۵ تا ۵۲ متر در محدوده شهر قم دارد. لایه سوم شامل یک لایه ضخیم آبدار است که از آبرفت‌های دانه‌ریز تا دانه متوسط تشکیل شده است. بیشترین ضخامت این لایه با ضخامت ۹۵ متر دیده می‌شود. آخرین لایه تفکیک شده، سنگ کف را مشخص می‌سازد که از سنگ‌های مارنی و مارن آهکی تشکیل شده است (سهرابی بیدار و جاسم پور، ۱۳۹۲).

### مواد و روش‌ها

#### معرفی دستگاه و شیوه انجام آزمایش نفوذسنجی دینامیکی

کاوشگرهای دینامیکی از سه قسمت اصلی چکش، مخروط نفوذ و میله‌های رابط تشکیل شده‌اند و

ایران نیز این آزمایش به جای آزمایش نفوذ استاندارد کاربرد گسترده‌ای پیدا کرده و توسط سازمان ملی استاندارد ایران تدوین شده است (استاندارد ۲-۱۲۳۰۵، ۱۳۹۲). 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، انعطاف-پذیری و هزینه انجام اشاره نمود (خداپرست، ۱۳۸۴؛ خداپرست و فاخر، ۱۳۹۰؛ Khodaparast et al, 2015). 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 (Butcher et al, 1995; Langten, 2002; Armor et al., 1999; Leach Row, 1995; Khodaparast et al, 2015; lee et al, 2014; Rahim and George, 2004; sykora and koester, 1998؛ خداپرست و همکاران، ۱۳۹۴). خداپرست و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از نتایج حاصل از آزمون نفوذسنجی دینامیکی در ۵۰۰ گمانه و ۱۰ آزمایش لرزه‌ای درون چاهی در محدوده شهر قم، رابطه‌ای تجربی بین نتایج آزمایش نفوذسنجی دینامیکی و سرعت موج برشی ارائه نمودند. تهیه و به روز رسانی نقشه‌های پهنه‌بندی براساس آیین‌نامه‌های معتبر و لزوم توجه به استفاده از تجهیزات مناسب و استاندارد در تدوین این‌گونه نقشه‌ها، به‌منظور کاهش هزینه‌ها و افزایش سرعت تصمیم‌گیری در قضاوت‌های مهندسی ضرورت دارد. از آنجایی‌که تاکنون از رابطه بین سرعت موج برشی و نتایج آزمایش نفوذسنجی دینامیکی برای تدوین نقشه‌های پهنه‌بندی استفاده نشده است لذا در این تحقیق، برای برآورد سرعت امواج لایه‌های خاک در برخی

دستی نوع سبک، که مشخصات آن در استاندارد ISO22476-2 آورده شده است، وزن چکش ۱۰ کیلوگرم و امکان استفاده از آن در خاک‌های نرم تا متوسط فراهم است (شکل ۱ الف). با افزایش سختی خاک ممکن است نتیجه آزمایش (تعداد ضربات برای نفوذ) با نوع سبک از مقدار استاندارد ۵۰ 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 ۱ 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 ۱ ب). لازم به ذکر است که مقدار انرژی اعمالی در هر ضربه در آزمایش SPT در مقایسه با کاوشگرهای دینامیکی دستی ۲۳۴ کیلو ژول بر متر مربع است.

برخلاف آزمایش نفوذ استاندارد معمولاً نیاز به حفر گمانه نمی‌باشد. در این آزمایش یک قطعه مخروطی شکل با هندسه مشخص به‌عنوان مخروط نفوذ بر اثر سقوط وزنه‌ای معین (چکش) از ارتفاع مشخص بر روی میله‌های رابط بین آنها، در نقطه-ای از خاک نفوذ می‌کند و تعداد ضربات لازم برای مقدار نفوذی مشخص که معمولاً بین ۱۰ تا ۲۰ سانتیمتر است، به‌عنوان 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 کاوشگر-های 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 ۱ 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



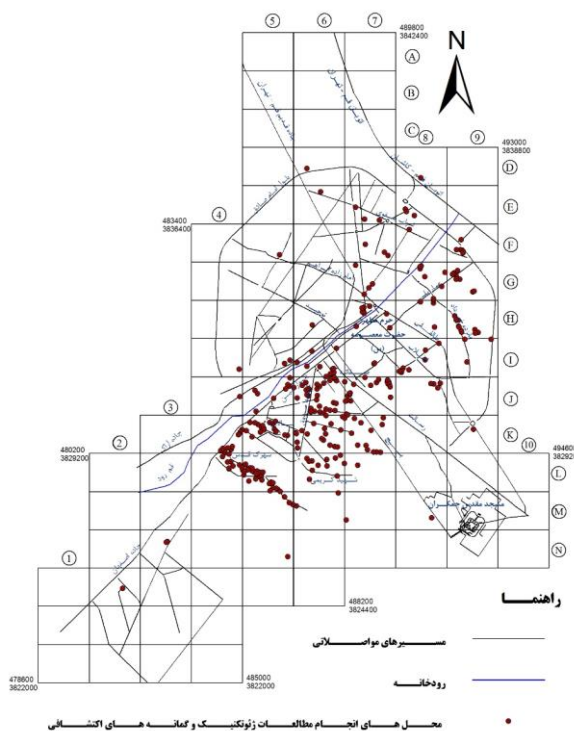
شکل ۱: ابزار کاوشگر دینامیکی دستی سبک الف) و متوسط ب) (۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب معرف مخروط نفوذ، چکش، سندان و میله نفوذ).

محاسبه شده و براساس آن نقشه پهنه‌بندی نوع زمین براساس آئین‌نامه ۲۸۰۰ ایران (ویرایش چهارم) برای آبرفت‌های گستره شهر قم تهیه شده

در این تحقیق پس از جمع‌آوری و تفسیر داده‌های حاصل از مطالعات ژئوتکنیکی، مقدار متوسط سرعت موج برشی تا عمق ۳۰ متر در نقاط مختلف

است. برای تهیه و جمع‌آوری داده‌ها، از نتایج دینامیکی در ۶۵۰ گمانه بررسی شده در محدوده به‌دست آمده از تعداد ۳۵۰۰ آزمایش نفوذسنجی شهر قم استفاده شده است. جدول ۱: مشخصات کاوشگرهای دینامیکی دستی مورد استفاده در این تحقیق (ISO 22476-2).

نوع	نوع سبک (DPL)	نوع متوسط (DPM)
وزن چکش (کیلوگرم)	۱۰ ± ۰/۱	۳۰ ± ۰/۳
ارتفاع سقوط چکش (متر)	۰/۵ ± ۰/۰۱	۰/۵ ± ۰/۰۱
قطر مخروط (میلیمتر)	۳۵/۷ ± ۰/۳	۳۵/۷ ± ۰/۳
سطح مقطع مخروط (سانتیمتر مربع)	۱۰	۱۰
قطر میله‌های رابط (میلیمتر)	۲۲ ± ۰/۲	۳۲ ± ۰/۲
ضخامت میله‌های رابط (میلیمتر)	۶ ± ۰/۲	۹ ± ۰/۲
محدوده استاندارد نتایج	۳-۵۰ (برای ۱۰ سانتیمتر نفوذ)	۳-۵۰ (برای ۱۰ سانتیمتر نفوذ)
انرژی اعمالی در هر ضربه (کیلو ژول بر متر مربع)	۴۹	۹۸



شکل ۲: موقعیت چاه‌های اکتشافی در محدوده مورد مطالعه.

شکل ۲ موقعیت گمانه‌های اکتشافی را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که توزیع بیشتر گمانه‌های اکتشافی در ناحیه میانی محدوده مورد مطالعه و عمدتاً در آبرفت‌های ریزدانه قرار دارد. با توجه به پرهزینه بودن روش‌های آزمایشگاهی و صحرایی جهت اندازه‌گیری سرعت موج برشی، محققان

## محاسبه سرعت موج برشی

یکی از کاربردهای آزمایش نفوذسنجی دینامیکی، تعیین سرعت موج برشی می‌باشد. خدایپرست و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از اطلاعات ژئوتکنیکی و داده‌های مربوط به آزمایش نفوذسنجی دینامیکی حاصل از بررسی گمانه‌های مختلف در گستره شهر قم و نتایج مربوط به آزمایش‌های تعیین سرعت موج برشی، رابطه ۱ را بین داده‌های آزمایش نفوذسنجی دینامیکی و سرعت موج برشی پیشنهاد نمودند (خدایپرست و همکاران؛ ۱۳۹۴).

$$V_s = 0.014q_d^{1.14} \quad R^2 = 0.72 \quad (۱)$$

در رابطه ۱،  $V_s$  سرعت موج برشی و  $q_d$  مقاومت دینامیکی مخروط حاصل از آزمایش نفوذسنجی دینامیکی است که براساس روابط ۲ و ۳ محاسبه می‌شود (Butcher et al, 1995).

$$q_d = \frac{m}{m+m'} r_d \quad (۲)$$

در این رابطه،  $m$  جرم چکش برحسب کیلوگرم،  $m'$  جرم میله‌ها و مخروط نفوذ، سندان و میله راهنمای چکش برحسب کیلوگرم و  $r_d$  کار انجام شده برای کوبش مخروط نفوذ در زمین است و مطابق رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$r_d = \frac{mgh}{A_e} \quad (۳)$$

در رابطه ۳،  $g$  شتاب جاذبه برحسب متر بر مجذور ثانیه،  $h$  ارتفاع سقوط چکش برحسب متر،  $A$  سطح مقطع مخروط نوک برحسب مترمربع و  $e$  متوسط نفوذ در هر ضربه برحسب متر است. خاک‌های مورد مطالعه تحقیق ایشان، شامل انواع خاک‌های درشت‌دانه و ریزدانه بوده که حدود ۸۵ درصد از این خاک‌ها، ریزدانه و عمدتاً سیلتی و سطح تراز آب زیرزمینی پایین‌تر از عمق ۳۰ متر است. با استفاده از این رابطه و با در اختیار داشتن تعداد ضربات نفوذ برای هر نوع نفوذسنج

همواره به دنبال روش‌هایی بوده‌اند تا بتوانند سرعت موج برشی را به صورت غیرمستقیم به دست آورند. روابط تجربی گوناگونی بین عدد نفوذ استاندارد ( $N$ ) و سرعت موج برشی ( $V_s$ ) پیشنهاد شده است. با توجه به قابلیت‌های برتر نفوذسنج دینامیکی نسبت به SPT (که یک نوع نفوذسنج دینامیکی سنگین است) (خدایپرست؛ ۱۳۸۴)، از جمله سرعت زیاد و سهولت استفاده از آن در مناطق با دسترسی دشوار، سهولت کاربرد آن نسبت به آزمایش نفوذ استاندارد از جمله وزن کم، قابلیت حمل آسان و عدم نیاز به حفر گمانه، انعطاف‌پذیری و اقتصادی بودن آن از نظر ساخت اولیه و مهم‌تر این که، محاسبه پارامتر مقاومت دینامیکی مخروط ( $q_d$ ) از نتایج کاوشگر دینامیکی این امکان را فراهم می‌کند که نتایج انواع مختلف کاوشگر دینامیکی با یکدیگر مقایسه شوند. بدین معنی که 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 (خدایپرست و فاخر؛ ۱۳۹۰)، از این رو استفاده از رابطه بین سرعت موج برشی و نتایج حاصل از انواع نفوذسنج‌های دینامیکی به‌عنوان یک راهکار جایگزین و مناسب توصیه می‌گردد.

## نتایج

در این قسمت مبانی و جزئیات تعیین تیپ زمین در هر محل، شامل نحوه تعیین سرعت موج برشی در ترازهای مختلف و محاسبه متوسط آن تا عمق ۳۰ متر و جزئیات نحوه تعیین تیپ زمین براساس نسخه چهارم آئین‌نامه ۲۸۰۰ بیان می‌شود و در نهایت با مشخص شدن نوع زمین در نقاط مختلف نقشه پهنه‌بندی آن ارائه می‌گردد.



$$\bar{V}_S = \frac{\sum d_i}{\sum (v_{si}^{d_i})} \quad \text{رابطه ۴}$$

در رابطه فوق  $\bar{V}_S$ ؛ سرعت موج برشی متوسط با در نظر گرفتن اثر ضخامت لایه‌ها در فاصله ۳۰ متری از سطح زمین،  $V_{si}$  سرعت موج برشی تا عمق ۳۰ متر از تراز پایه و  $d_i$ ؛ ضخامت هر لایه می‌باشد. در جدول ۲ یک نمونه از مقادیر سرعت موج برشی حاصل از مقدار مقاومت دینامیکی مخروط ( $Q_d$ ) (از نتایج آزمایش نفوذسنج دینامیکی) در یک گمانه و مقدار سرعت موج برشی متوسط آمده است.

دینامیکی و محاسبه مقاومت دینامیکی مخروط نظیر (با استفاده از روابط ۲ و ۳)، سرعت موج برشی برای لایه‌های مختلف خاک قابل ارزیابی است.

**تهیه پروفیل‌های تغییرات سرعت موج برشی با عمق**

پس از تعیین سرعت موج برشی در اعماق مختلف یک گمانه، مطابق آئین نامه ۲۸۰۰ ایران، برای تعیین سرعت موج برشی متوسط، رابطه ۴ پیشنهاد شده است:

جدول ۲: یک نمونه از مقادیر سرعت موج برشی حاصل از مقدار مقاومت دینامیکی مخروط ( $Q_d$ ) (از نتایج آزمایش نفوذسنجی دینامیکی) در یک گمانه.

ردیف	عمق خاک (متر)	نوع خاک	عدد آزمایش نفوذسنجی دینامیکی	$\Gamma_d$ (کیلو پاسکال) ( $\times 1000$ )	$Q_d$ (کیلو پاسکال)	$V_s$ (متر بر ثانیه)
۱	۹	CL-ML	۲۱	۱۰/۵	۶۰۰۰	۲۸۵
۲	۱۶	CL	۳۰	۱۵	۸۵۷۰	۴۲۶
۳	۱۷	CL	۳۰	۱۵	۸۵۷۰	۴۲۶
۴	۲۱	GM	۲۷	۱۳/۵	۷۷۱۴	۳۷۸
۵	۲۹	ML	۳۲	۱۶	۹۱۴۳	۴۵۹
۶	۳۱	SP	۳۳	۱۶/۵	۹۴۲۹	۴۷۵
۷	متوسط سرعت موج برشی مطابق رابطه (۴) (متر بر ثانیه)					۴۲۱

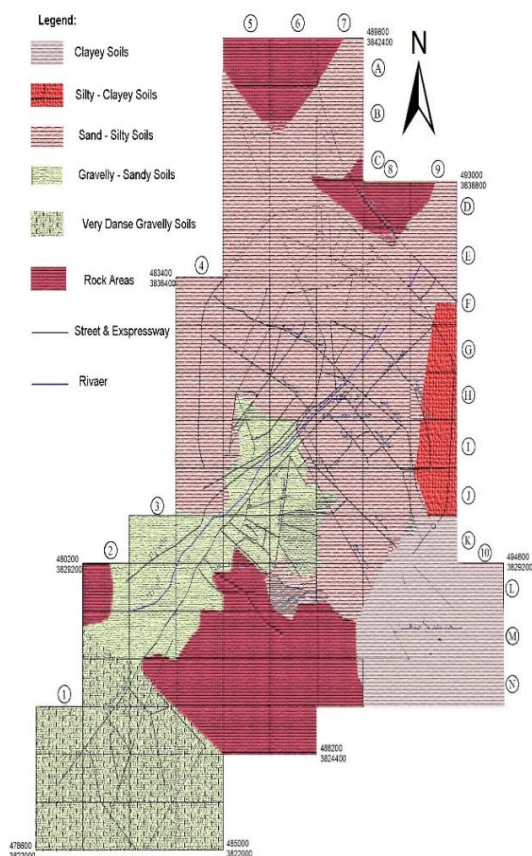
های چسبنده از مقاومت برشی زهکشی نشده استفاده نمود. در این مطالعه در هر محل جهت تعیین تیپ زمین، ضمن محاسبه سرعت موج برشی و مقایسه با مقادیر جدول ۳، در صورت وجود از اطلاعات متوسط عدد نفوذ استاندارد و مقدار مقاومت برشی زهکشی نشده خاک‌های ریزدانه نیز در تعیین نوع زمین بهره گرفته شده است.

**تعیین نوع زمین براساس آئین نامه ۲۸۰۰ ایران (ویرایش چهارم)**

مطابق آئین نامه ۲۸۰۰ ایران، تعیین نوع زمین از نظر نوع سنگ و خاک به شرح جدول ۳ انجام می‌شود. براساس این آئین نامه تعیین طبقه‌بندی نوع زمین باید براساس مقدار سرعت موج برشی صورت گیرد، لیکن در صورت دسترسی نداشتن به آن می‌توان در خاک‌های دانه‌ای با اندازه کوچک‌تر از شن، از متوسط تعداد ضربات نفوذ استاندارد و در خاک-

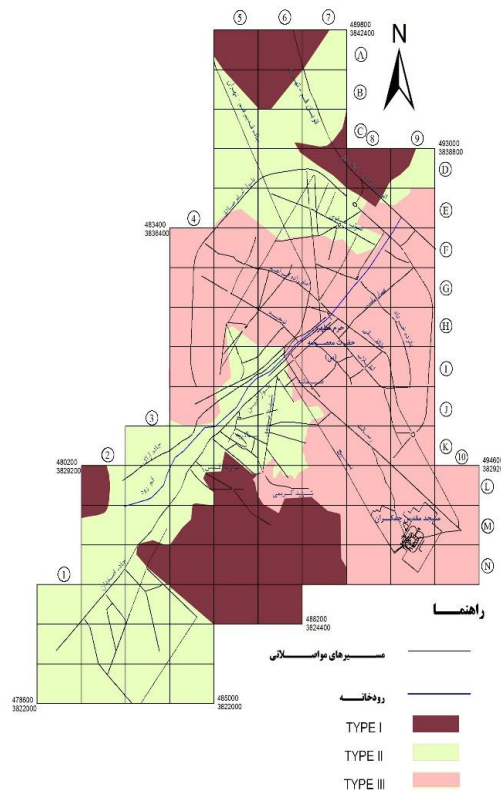
جدول ۳: طبقه‌بندی تیپ زمین براساس ویرایش چهارم آئین نامه ۲۸۰۰ (استاندارد ۲۸۰۰، ۱۳۹۲).

پارامترها			توصیف لایه‌بندی زمین	تیپ زمین
$\overline{C_u}$	$\overline{N1_{60}}$	$\overline{V_s}$		
-	-	$>75.0$	سنگ و شبه سنگ شامل سنگ‌های آذرین، دگرگونی و رسوبی و خاک‌های سیمانته بسیار محکم با حداکثر ۵ متر مصالح ضعیف‌تر تا سطح زمین	I
$>25.0$	$>5.0$	$-75.0$ $37.5$	خاک خیلی متراکم یا سنگ سست، شامل شن و ماسه خیلی متراکم، رس بسیار سخت یا ضخامت بیشتر از ۳۰ متر که مشخصات مکانیکی آن با افزایش عمق به تدریج بهبود یابد. سنگ‌های آذرین و رسوبی سست، مانند توف و یا سنگ متورق و یا کاملاً هوازده	II
$-25.0$ $7.0$	$-5.0$ $15$	$-37.5$ $17.5$	خاک متراکم تا متوسط، شامل شن و ماسه متراکم تا متوسط یا رس‌های سخت با ضخامت بیش‌تر از ۳۰ متر	III
$<7.0$	$<15$	$<17.5$	خاک متوسط تا نرم، لایه‌های خاک غیر چسبنده یا با کمی خاک چسبنده با تراکم متوسط تا کم، لایه‌های خاک کاملاً چسبنده نرم تا محکم	IV



شکل ۳: نقشه جنس خاک‌ها در محدوده مورد مطالعه.





شکل ۴: پهنه‌بندی نوع زمین مطابق با ویرایش چهارم آیین نامه ۲۸۰۰ ایران در محدوده شهر قم.

### پهنه‌بندی

در این مطالعه پس از تعیین نوع زمین در محل هر یک از گمانه‌ها، نقشه پهنه‌بندی توزیع نوع خاک و تیپ زمین برای محدوده شهر قم با استفاده از نرم‌افزار ARCGIS 10.0 تهیه گردید (شکل‌های ۳ و ۴). لازم به ذکر است که جهت تکمیل و تدقیق این نقشه، علاوه بر بررسی‌های صحرائی و داده‌های ژئوتکنیکی گمانه‌ها، از تفسیر و انطباق با توصیف هر نوع خاک مطابق آیین نامه ۲۸۰۰ ایران نیز استفاده شده است. براساس آیین نامه ۲۸۰۰ ایران، نوع یک شامل سنگ و شبه سنگ است و کوه‌های ناحیه جنوب، غرب و شمال قم را تشکیل می‌دهند. در این نواحی عملاً رخنمون سنگی است و خاک سست و آبرفت وجود ندارد. در قسمت جنوب غربی محدوده شهر قم و در نزدیکی نقاط سنگی

لایه‌هایی با ضخامت حداکثر ۵ متر و عمدتاً از نوع GP و GW پراکنده شده‌اند و در طبقه‌بندی نوع یک زمین جای دارند. خاطر نشان می‌شود که استفاده از نفوذسنج دینامیکی در سنگ، مشابه نفوذ استاندارد عملاً غیرممکن است بر این اساس در نقاطی که در عمق کمتر از ۳۰ متر با سطح سنگ‌بستر برخورد شده است، عدد ۷۵۰ متر بر ثانیه به‌عنوان سرعت موج برشی در آن لایه تا عمق ۳۰ متر در نظر گرفته شده است. اشکال ۳ و ۴ نشان می‌دهد که با فاصله گرفتن از بخش سنگی به تدریج عمق لایه‌های آبرفت با مصالح درشت‌دانه افزایش یافته که این قسمت با سرعت موج برشی متوسط ۳۷۵-۵۵۰ متر بر ثانیه در طبقه‌بندی نوع ۲ قرار می‌گیرند. بخش عمده آبرفت‌های محدوده شهر قم را تا عمق ۳۰ متر، عموماً خاک‌های ریزدانه

های تغییرات سرعت موج برشی در اعماق تا ۳۰ متر، نقشه پهنه‌بندی نوع زمین در گستره شهر قم براساس استاندارد ۲۸۰۰ ایران تهیه شده است. به عبارت دیگر با توجه به این که در آئین‌نامه ۲۸۰۰ ایران در شرایطی که دسترسی به نتایج آزمایش‌های تعیین سرعت موج برشی نظیر آزمون‌های لرزه‌ای امکان‌پذیر نباشد، استفاده از روش‌های غیرمستقیم نظیر نتایج نفوذسنج استاندارد (SPT) توصیه شده است، بر این اساس در این مطالعه با تکیه بر نتایج آزمایش نفوذسنجی دینامیکی، سرعت موج برشی در اعماق مختلف تعیین شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که عمده خاک‌های سطح شهر قم تا عمق ۳۰ متر، ریزدانه سیلتی است و به جز در بخشی از نواحی شمالی و جنوبی محدوده مورد مطالعه، نوع خاک تیپ ۳ با سرعت متوسط موج برشی ۳۷۵-۵۰۰ متر بر ثانیه است. نقشه پهنه‌بندی تهیه شده با دقت قابل قبول و در جهت کاهش هزینه‌ها و افزایش سرعت تصمیم‌گیری در قضاوت‌های مهندسی برای طبقه‌بندی ساختمان‌ها، تحلیل و طراحی لرزه‌ای سازه‌های با درجه اهمیت متوسط در محدوده آبرفت‌های گستره شهر قم قابل استفاده است. لازم به ذکر است که برای ساختمان‌های با اهمیت زیاد و حساس نظیر بیمارستان‌ها و مراکز درمانی و موارد ذکر شده در بند ۲-۴-۵ آئین‌نامه ۲۸۰۰ ایران ویرایش چهارم، بایستی مطالعات ویژه ساختگاه به صورت جداگانه انجام شود.

#### سپاس‌گزاری

نویسندگان نهایت تشکر و قدردانی خود را از آقایان مهندس مصطفی محمدی، علی عدالت و رامین صمدی به سبب کمک در تهیه نقشه‌ها ابراز می‌کنند.

سیلتی تشکیل می‌دهد و در طبقه نوع ۳ جای دارند که این نوع خاک‌ها تقریباً بخش میانی شهر از شرق به غرب و قسمت جنوب شرقی قم را تشکیل می‌دهد و بازه سرعت موج برشی متوسط در این نواحی، بین ۱۷۵ تا ۳۷۵ متر بر ثانیه است. نقشه پهنه‌بندی تیپ زمین تهیه شده در این مطالعه را می‌توان با دقت قابل قبول برای طبقه‌بندی ساختمان‌ها، تحلیل و طراحی لرزه‌ای سازه‌ها در محدوده آبرفت‌های گستره شهر قم استفاده نمود. این نقشه با نقشه‌های پهنه‌بندی انجام شده توسط پژوهشگاه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله در سال ۸۴ که بیشتر با تکیه بر نتایج ثبت امواج مایکروتروموری تولید شده‌اند انطباق مناسبی دارد. ضمن آنکه با توجه به بانک اطلاعاتی قوی‌تر، تراکم بالا و با مقیاس بزرگ‌تر، سعی شده است در مناطقی نظیر قسمت میانی و مرز جدایی انواع خاک‌ها نقشه با دقت بالاتری تهیه گردد.

#### نتیجه‌گیری

تهیه و به روز رسانی نقشه‌های پهنه‌بندی براساس آیین‌نامه‌های معتبر و لزوم توجه به استفاده از تجهیزات مناسب و استاندارد در تدوین نقشه‌های پهنه‌بندی امری ضروری در جهت کاهش هزینه‌ها و افزایش سرعت تصمیم‌گیری در قضاوت‌های مهندسی است. با توجه به برتری‌های کاوشگر دینامیکی نسبت به آزمایش نفوذسنج استاندارد، از جمله سرعت زیاد، سهولت استفاده از آن در مناطق با دسترسی دشوار، سهولت کاربرد آن و انعطاف‌پذیری و کم هزینه بودن، استفاده از نتایج حاصل از انواع نفوذسنج‌های دینامیکی به‌عنوان یک راهکار جایگزین و مناسب توصیه می‌گردد. در این تحقیق با استفاده از نتایج آزمایش‌های نفوذسنجی دینامیکی و سپس با انتخاب پروفیل-

## پانوش

1-Down hole  
2-Up-hole

3-Cross hole  
4-Dynamic penetration test

## منابع

- رضی، ح.ر.، ۱۳۸۱. لرزه زمین ساخت، لرزه خیزی و برآورد خطر نسبی زمین لرزه استان قم، سازمان مسکن و شهرسازی استان قم.
- زهانی قائینی، م.، حافظی مقدس، ن. و غفوری، م.، ۱۳۹۴. تعیین گسل جنوب مشهد با استفاده از میکروترمورها، مجله انجمن زمین شناسی مهندسی ایران، پاییز و زمستان ۱۳۹۴، دوره ۸، شماره ۳ و ۴، ص ۱۷-۳۰.
- سهرابی بیدار، ع. و جاسم پور، ل.، ۱۳۹۲. بررسی اثر آبرفت های عمیق بر پاسخ لرزه ای یک یعدی در شهر قم، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۹، شماره ۳، ص ۱۵-۳۱.
- شرفی، ح.، حائری، س.م. و راد ملک شاهی، م.، ۱۳۸۵. ریز پهنه بندی مناطق شهری با استفاده از اندازه گیری میکروترمورها، مطالعه موردی: شهر کرمانشاه، مجموعه مقالات هفتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، شماره F1496، تهران، دانشگاه تربیت مدرس.
- قلندر زاده، ع.، معتمد، ر. و سدید خوی، ا.، ۱۳۸۲. ریز پهنه بندی لرزه ای شهر ارومیه با استفاده از اندازه گیری میکروترمورها، چکیده مقالات چهارمین کنفرانس بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
- کشتکاری، ا. و بازیار، م.ح.، ۱۳۹۴. پهنه بندی سرعت موج برشی یاسوج، دومین کنفرانس ملی مکانیک خاک و مهندسی پی.
- جعفری، م.ک. و همکاران، ۱۳۸۰. مطالعات تکمیلی ریز پهنه بندی لرزه ای جنوب تهران (گزارش طرح پژوهشی، برنامه ملی تحقیقات)، تهران: پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
- جعفری، م.ک.، اصغری، ا. و رحمانی، ا.، ۱۳۷۶. رابطه تجربی بین سرعت موج برشی و تعداد ضربات آزمایش نفوذ استاندارد برای خاک های جنوب تهران " مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس ملی عمران، دانشگاه صنعتی شریف، تهران.
- خداپرست، م.، ۱۳۸۴. توسعه تکنیک های شناسایی خاک با استفاده از کاوشگرهای دینامیکی، رساله دکتری، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی دانشگاه تهران.
- خداپرست، م. و فاخر، ع.، ۱۳۹۰. استفاده از نتایج کاوشگرهای دینامیکی در مطالعه خاک های ریزدانه و برآورد پارامتر چسبندگی، مجله علمی پژوهشی عمران مدرس، دوره ۱۱، شماره ۲، ص ۱۰۱-۱۱۰.
- خداپرست، م.، رجیبی، ع.م. و علیزاده، م.، ۱۳۹۴. رابط تجربی بین سرعت موج برشی (Vs) و نتایج آزمون کاوشگر دینامیکی (DP) در آبرفت های گستره شهر قم، مجله علمی پژوهشی علوم و مهندسی زلزله، سال اول، شماره ۱، ص ۳۱-۴۰.
- دهقانی، ز. و مهرنهاد، ح.، ۱۳۹۲. ریز پهنه بندی شهر اردکان مبتنی بر اثر ساختگاه، نشریه زمین شناسی مهندسی، دوره ۷، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۲، ص ۱۶۲۳-۱۶۳۸.

- استاندارد ملی ایران، ۱۳۹۲. بررسی و آزمون ژئوتکنیکی-آزمون صحرایی قسمت ۲: آزمون کاوشگر دینامیکی، شماره ۲-۱۲۳۰۵.
- 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.
- Butcher, A.P., Mcelmeel, K. and Powl, J.J.M., 1995. "Dynamic Probing and its use in Clay Soils", Advance in Site Investigation Practice, Thomas Telford, London, p. 383-395.
- Jafari, M.K., Shafiee, A. and Razmkhah, A., 2002. "Dynamic Properties of Fine Grained Soils in South of Tehran", JSEE: Spring, v. 4(1), p. 25-35.
- International Council of Building Officials, 2003. "International Building Code".
- ISO 22476-2., 2005. Geotechnical investigation and testing, Field testing, Part 2: Dynamic probing, Case postale 56, CH-1211 Geneva 20.
- Kamalian, M., Jafari, M.K., Ghayamghamian, M.R., Shafiei, A., Hamzeloo, H., Haghshenas, E. and Sohrabi-Bidar, A., 2008. "Site Effect Microzonation of Qom, Iran", Engineering Geology, v. 97, p. 63-79
- Khodaparast, M., Rajabi, A.M. and Mohammadi, M., 2015. "The new empirical formula based on dynamic probing test results in fine cohesive soils", IJCE, v. 13(2), p. 105-113.
- 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.
- Leach, G. and Row, S.A., 1995. "The Role of Dynamic Probing in Geotechnical Invetigations on Pipelines", Probing and Penetration Testing", Meeting of East Midlands Geotechnical Group of the Geological Society, Loughborough.
- Lee, C., Kim, K.S., Woo, W. and Lee, W., 2014. "Soil stiffness gauge (SSG) and dynamic cone penetrometer (DCP) tests for estimating engineering properties of weathered sandy soils in Korea", Journal of Engineering Geology, v. 169, p. 91-99.
- Rahim, A.M. and George, K.P., 2004. "Dynamic cone penetrometer to estimate subgrade resilient modulus for low volume roads design", Proceedings of the 2nd International Conference Geotechnical and Geophysical Site Characterization, Porto, p. 367-371.
- 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.
- Teuku Faisal Fathani and Wahyu Wilopo, 2017. " Seismic microzonation studies considering local site effects fo Yogyakarta city, Indonesia", International Journal of GEOMATE, April, 2017, v. 12(32), p. 152-160.
- زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله،