مجله علمی- پژوهشی
«عمـران مـــدرس»
دوره یازدهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۰

یادداشت تحقیقاتی:

استفاده از نتایج کاوشگرهای دینامیکی در مطالعه خاک‌های ریزدانه و براورد پارامتر چسبندگی

مهدی خداپرست[1*]، علی فاخر[2]

۱- استادیار و عضو هیأت علمی دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه قم

۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه تهران

khodaparast@qom.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۸٤/۰۱/۲۱ **تاریخ پذیرش:** ۱۳۸۹/۱۰/۰۸

چکیده- کاوشگر دینامیکی نوعی نفوذسنج است و نفوذسنجی نقش مهمی در شناسایی محلی خاک‌ها دارد. شیوه مذکور نسبت به روش‌های گمانه‌زنی و مطالعات معمول ژئوتکنیک، ارزان‌تر و سریع‌تر است و در بسیاری موارد به‌خصوص زمانی که عمق مورد نظر برای مطالعه لایه‌های خاک خیلی زیاد نباشد استفاده می‌شود. در این مقاله ضمن ارائه تجربیات مربوط به ساخت یک نفوذسنج دینامیکی تحقیقاتی، به افزودن نوعی نمونه‌گیر ویژه برای افزایش کارایی نفوذسنج‌های کلاسیک اشاره می‌شود. همچنین ضمن اشاره به تکرارپذیری نتایج این آزمایش سعی می‌شود دقت این آزمایش در مطالعه خاک‌های ریزدانه بررسی و سپس تعدادی رابطه‌ی تجربی برای استفاده در آبرفت‌های ذکر شده در مقاله ارائه می‌شود. در نهایت امید می رود پژوهش تشریح‌شده در این مقاله به ترغیب و توسعه استفاده از این روش در شناسایی محلی خاک‌های ریزدانه منجر شود.

کلیدواژگان: کاوشگر دینامیکی، تکرارپذیری، شناسایی محلی، خاک ریزدانه، مقاومت زهکشی‌نشده

۱- مقدمه

نفوذسنجی[1] یکی از انواع مهم آزمایش‌های محلی است. در این آزمایش‌ها جسمی شبیه یک مخروط یا شکل دیگر در اثر فشار یا ضربه، داخل خاک نفوذ می‌کند و مقاومت آن در مقابل نفوذ، به مشخصات خاک ارتباط داده می‌شود. آزمایش‌های نفوذسنجی به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند. دسته اول از نوع استاتیکی بوده که متداول‌ترین آن‌ها آزمایش «نفوذ مخروط»[2] است و در آن‌ها از فشار استاتیکی استفاده می‌شود. دسته دوم از نوع دینامیکی است که از ضربه برای نفوذ استفاده می‌شود و آزمایش‌های «نفوذ استاندارد[3]» و «کاوشگر دینامیکی[4]» از متداول‌ترین آزمایش‌های این دسته است. البته ابزار آزمایش نفوذ استاندارد با کاوشگر دینامیکی به دلیل شکل و اندازه نوک و روش استفاده تفاوت دارد.

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

1- Penetration Testing
2- CPT
3- SPT
4- Dynamic Probing

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]

برخلاف آزمایش نفوذ استاندارد معمولاً نیاز به حفر گمانه نیست . انرژی لازم برای نفوذ در خاک با ضربه تأمین می‌شود. این ضربه از سقوط وزنه‌ای معین از ارتفاعی مشخص ناشی می‌شود. این کار با توجه به اندازه و ارتفاع سقوط آن ممکن است به‌صورت دستی و یا به کمک موتور انجام شود. در نهایت تعداد ضربه لازم برای مقدار نفوذ مشخص تعیین می‌شود. جزئیات وزنه‌ها و شکل نوک و روش آزمایش با کاوشگرهای دینامیکی و تفاوت آن‌ها با سایر آزمایش‌های نفوذسنجی در قسمت بعدی مقاله بیان می‌شود.

استفاده از کاوشگرهای دینامیکی سال‌هاست که در بسیاری از کشورهای جهان آغاز شده و در برخی کشورها مانند آلمان و ژاپن توسعه خوبی یافته است. اما در کشور ما استفاده از کاوشگرهای دینامیکی توسعه چندانی نیافته و به‌ندرت استفاده می‌شود.

انجام بررسی‌ها و مطالعات محلی با استفاده از کاوشگرهای دینامیکی مزایا و امتیازهای ویژه‌ای دارد که به آن‌ها اشاره می‌شود:

۱- سرعت بالا در استفاده از این ابزار [۱]؛

۲- انعطاف‌پذیری و سهولت استفاده از این ابزار در مناطق با دسترسی دشوار [۲]؛

۳- اقتصادی‌بودن این ابزار از نظر ساخت اولیه و همچنین کاربرد آن [۱] و [۳]؛

٤- پیوسته‌بودن نتایج آن و امکان شناسایی لایه‌های ضعیف با ضخامت کم [٤]و [۳]؛

۵- نیاز نداشتن به حفر گمانه برای انجام آزمایش [۵]؛

٦- امکان کاهش تعداد گمانه‌ها، در صورت جایگزینی گمانه‌زنی با نفوذسنجی به کمک این ابزار [٦]؛

۷- کاهش نیروی انسانی و نیاز نداشتن به افراد با تخصص بالا [۷]؛

۸- امکان نمونه‌گیری از خاک [۸].

۹- امکان براورد پتانسیل روانگرایی [۹]

نکته مهمی که باید به آن توجه کرد این است که زمانی اعتماد به نتایج این ابزار (کاوشگر دینامیکی) به میزان قابل قبولی خواهد رسید که نتایج آن تکرارپذیر[1] باشد [۳]. بنابراین این مقاله به نتایج تحقیق انجام‌شده درباره‌ی تکرارپذیری نتایج نیز می‌پردازد.

در مقاله حاضر ضمن بیان ویژگی‌ها و مشخصات تجهیزات انجام آزمایش نفوذسنجی دینامیکی، با استفاده از نتایج آزمایش‌های انجام‌شده در ٦ سایت مختلف در مناطق مرکزی و جنوبی ایران به مطالعه تکرارپذیری پرداخته شده است و همچنین به میزان دقت روابط تجربی در براورد برخی از مشخصات خاک در آن مناطق اشاره می‌شود.

۲- تجهیزات و روش انجام آزمایش

تاکنون کاوشگرهای دینامیکی در ابعاد و اندازه‌های مختلفی ساخته شده و تعدادی از آن‌ها تحت استانداردهای DIN آلمان و BS انگلستان درآمده‌اند. در جدول ۱ مشخصات مهم‌ترین آن‌ها براساس استاندارد DIN4094 آمده است [۱۰]؛ استاندارد ISO 22476-2 نیز این مشخصات را ارائه کرده است [٤].

۲-۱- کاوشگر دینامیکی موتوردار

با توجه به جدول ۱ می‌بینید که ویژگی‌های ابزار کاوشگرهای دینامیکی مختلف با هم تفاوت دارد. بنابراین در این پژوهش، محقق برای بررسی اثر مشخصات انواع کاوشگرهای دینامیکی نسبت به ساخت یک دستگاه موتوردار اقدام کرد. این دستگاه تحقیقاتی در شکل ۱ نشان داده شده است.

1- Repeatable

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]

این دستگاه مزبور به‌گونه‌ای طراحی و ساخته شده است که امکان تغییر مشخصات اصلی آن مانند وزن چکش، ارتفاع سقوط چکش، قطر میله‌های رابط و همچنین نوع مخروط نفوذ وجود دارد. به این ترتیب با استفاده از این دستگاه و ساخت انواع وزنه‌ها، مخروط نفوذ و میله‌های رابط، امکان انجام آزمایش با هر یک از انواع مختلف سبک، متوسط، سنگین و خیلی سنگین فراهم می‌شود و همه‌ی مشخصات جدول ۱ بجز آزمایش نفوذ استاندارد را پوشش می‌دهد.

شکل (۱) دستگاه کاوشگر دینامیکی موتور دار ساخته شده در این تحقیق و سایر ملحقات آن

مخروط در کاوشگر دینامیکی در واقع یک مخروط کامل و نوک‌تیز است ولی مخروط در آزمایش نفوذ استاندارد یک فضای خالی در نوک برای نمونه‌گیری دارد و به‌همین دلیل همان‌طور که در جدول (۱) ملاحظه می‌شود، نمی‌توان مخروط آزمایش نفوذ استاندارد را در ابعاد کوچک و وزنه‌های سبک به‌کار برد.

در شروع آزمایش، مخروط نفوذ به سر یکی از میله‌ها بسته می‌شود. سپس با فاصله از نوک مخروط در هر فاصله معین (بسته به وزن چکش بین ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر) علامت‌هایی روی میله مشخص می‌شود و نوک مخروط به‌گونه‌ای روی زمین قرار داده می‌شود که میله به صورت کاملاً قائم در آید. سپس وزنه چکش تا بیشترین ارتفاع بالا برده شده و رها می‌شود. مخروط در اثر این ضربه درون خاک نفوذ می‌کند. دوباره این کار تکرار شده و تعداد ضربات نفوذ به مقدار معین، ثبت می‌شود. تعداد ضربه، نتیجه هر آزمایش است و با حرف M نشان داده می‌شود.

این‌کار تا عمق مورد نظر تداوم یافته و در نهایت نموداری پیوسته از تغییرات M در عمق به‌دست می‌آید. پس از به پایان رسیدن آزمایش و رسیدن به عمق مورد نظر، بیرون کشیدن میله‌ها به وسیله‌ی جک مخصوصی که در شکل ۱ نشان داده شده است انجام می‌شود.

جدول (۱) مشخصات انواع متعارف کاوشگرهای دینامیکی و ابزار آزمایش نفوذ استاندارد[۱۰]

نوع	سبک (DPL)	متوسط (DPM)	سنگین (DPH)	خیلی سنگین (DPSH)	نفوذ استاندارد (SPT)
وزن چکش(برحسب کیلوگرم)	۱۰±۰/۱	۳۰±۰/۳	۵۰±۰/۵	۶۳/۵±۰/۵	۶۳/۵±۰/۵
ارتفاع سقوط چکش (برحسب متر)	۰/۵±۰/۰۱	۰/۵±۰/۰۱	۰/۷۵±۰/۰۲	۰/۷۵±۰/۰۲	۰/۷۶±۰/۰۳
قطر مخروط (برحسب میلیمتر)	۳۵/۷±۰/۳	۳۵/۷±۰/۳	۴۳/۷±۰/۳	۵۰/۵±۰/۵	۵۰/۵±۰/۵
سطح مقطع مخروط (برحسب سانتی‌متر مربع)	۱۰	۱۰	۱۵	۲۰	۲۰*
قطر میله های رابط (برحسب میلی‌متر)	۲۲±+۰/۲	۳۲±۰/۲	۳۲±۰/۲	۳۲±۰/۲	۳۲–۴۰/۵–۵۰
ضخامت میله های رابط (برحسب میلی‌متر)	۶±۰/۲	۹±۰/۲	۹±۰/۲	–	–
محدوده استاندارد نتایج	۵۰–۳ (برای نفوذ ۱۰ سانتیمتر)	۵۰–۳ (برای نفوذ ۱۰ سانتیمتر)	۵۰–۳ (برای نفوذ ۱۰ سانتیمتر)	۱۰۰–۵ (برای نفوذ ۲۰سانتیمتر)	حداکثر۵۰ (برای نفوذ۳۰ سانتیمتر)

* شبه مخروط با نوک باز

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]

۲-۲- ساخت نمونه‌گیر

آگاهی از جنس خاک در آزمایش نفوذسنجی بسیار مفید و با ارزش اس؛ ولی در کاوشگرهای دینامیکی متداول با مشخصات ذکرشده در بخش‌های قبل، امکان نمونه‌گیری از خاک نیست. از این نظر، آزمایش نفوذ استاندارد به دلیل اخذ مقداری نمونه دست‌خورده در آزمایش اولویت دارد. بنابراین در این پژوهش طراحی و ساخت یک نمونه‌گیر ویژه برای کاوشگرهای دینامیکی مورد توجه قرار گرفت. در گام اول پژوهش تلاش شد که نمونه‌گیر متداول پنجره‌ای[1] در بخشی از میله‌های دستگاه جایگزین شود. خاک در نمونه‌گیر پنجره‌ای از کنار وارد نمونه‌گیر که بخشی از میله است وارد می‌شود. ولی تجربه کسب شده در این پژوهش نشان داد که با استفاده از نمونه‌گیر پنجره‌ای فقط امکان نمونه‌گیری از اعماق سطحی وجود دارد (شکل ۲)؛ بنابراین ایده دیگری برای ساخت نمونه‌گیر مورد توجه قرار گرفت به‌گونه‌ای که با آن بتوان از هر عمق دلخواه نمونه‌گیری کرد.

شکل (۲) نمونه‌گیر پنجره‌ای

در نهایت، نمونه‌گیر قابل استفاده با کاوشگر دینامیکی با الهام از نمونه‌گیر آزمایش نفوذ استاندارد به‌صورت دوکفه‌ای ساخته شد که در قسمت ابتدایی آن برخلاف نمونه‌گیر آزمایش نفوذ استاندارد، یک مخروط نوک‌تیز قرار دارد. این مخروط به‌وسیله یک میله که از وسط نمونه‌گیر عبور می‌کند از محل خود حرکت کرده و هنگام نمونه‌گیری داخل نمونه‌گیر می‌رود. لذا امکان ورود خاک به داخل نمونه‌گیر فراهم می‌شود (شکل ۳).

الف) نمونه‌گیر و مخروط نوک

ب) نمونه‌گیر در حالت حرکت مخروط نوک به داخل

ج) میله وسط نمونه‌گیر

د) نمونه خاک اخذشده از نمونه‌گیر

ر) نمونه‌گیر در حالت بازشده بدون مخروط نوک

شکل (۳) نمونه‌گیر ویژه دستگاه

تفاوت اصلی نمونه‌گیر پیشنهاد شده در این تحقیق با نمونه‌گیر آزمایش نفوذ استاندارد، وجود مخروط نوک تیز است.

لازم به ذکر است که برای جلوگیری از حرکت مخروط

1- Windows Sampler

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]

نوک نمونه‌گیر به داخل آن تا رسیدن به عمق مورد نظر، سوزن‌هایی داخل سوراخ میانی میله‌های رابط قرار داده شده است (شکل ٤). سوزن‌ها در واقع میله‌های فلزی با قطر کمتر از میله رابط است و در هنگام آزمایش، فضای خالی میله رابط را در تمام طول آن پر کرده‌است. هنگامی که نمونه‌گیر به عمق مطلوب رسید، آخرین سوزن داخل میله‌های رابط برداشته شده و امکان حرکت مخروط نوک نمونه‌گیر به داخل آن و گرفتن نمونه فراهم می‌شود [۸].

شکل (٤) یک میله نفوذ و سوزن آن

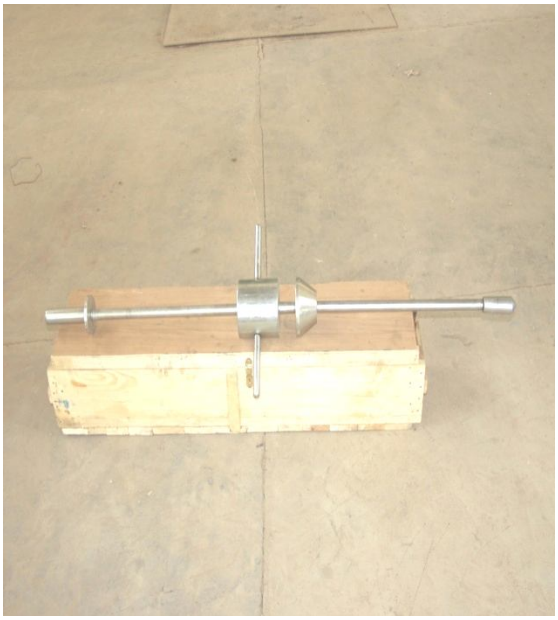
۲-۳- ساخت کاوشگر دینامیکی دستی

علاوه بر دستگاه کاوشگر دینامیکی موتوردار مطابق شکل ۱ که قبلاً تشریح شد، ابزار ساده دستی مطابق شکل ۵ نیز ساخته شد. این ابزار که مشخصات آن زیر عنوان «سبک»[1] در جدول ۱ آمده است، امکان آزمایش در کف چاهک‌های دستی و شرایط دشوار از نظر دسترسی را فراهم می‌آورد. البته نکته مهم در استفاده از ابزارهای دستی، اثر دقت اپراتور به‌خصوص در بالا بردن چکش به مقدار معین، است.

لازم به ذکر است که با توجه به میزان نرمی خاک باید نوعی از کاوشگر دینامیکی انتخاب شود که نتایج آزمایش‌ها در محدوده استاندارد (با توجه به جدول ۱) باشند. اگر نتایج خارج از محدوده استاندارد باشند، قابل اعتماد نیست.

1- DPL

در این شرایط باید دستگاه سبک‌تر یا سنگین‌تر به‌کار برد تا نتایج وارد محدوده استاندارد شوند.



شکل (۵) ابزار کاوشگر دینامیکی دستی سبک

در این تحقیق آزمایش‌های نفوذسنجی در ٦ سایت در مناطق مختلف ایران انجام شده است که در آن‌ها سایر آزمایشهای متداول ژئوتکنیکی نیز به‌دقت انجام شده است[۸].

۳- بررسی تکرارپذیری نتایج

در هر آزمایش ژئوتکنیکی درصورتی می توان به نتایج آن استناد کرد که تکرارپذیر و نسبتاً ثابت در شرایط مشابه باشند. در مورد آزمایش نفوذسنجی دینامیکی نیز زمانی اعتماد به این شیوه به میزان قابل قبولی خواهد رسید که بتوان تکرار پذیری را در نتایج آن به اثبات رساند [۳].

به‌خصوص در رس‌های نرم و حساس، بررسی تکرارپذیری نتایج آزمایش‌های کاوشگر دینامیکی اهمیت زیادی دارد[۸]

انتخاب متغیر مناسب آماری برای مطالعه تکرارپذیری بسیار مهم است. یکی از متغیرهای نشانگر تکرارپذیری، ضریب

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]

تغییرات (C_v) می باشد که بر اساس رابطه ۱ تعریف می‌شود:

$$C_v = \frac{s}{\bar{x}} \quad (۱)$$

در این رابطه، s انحراف معیار و $\bar{x}$ متوسط مقادیر حاصل از نتایج آزمایش‌ها است. متغیر مزبور بی‌بعد بوده و مبین درجه پراکندگی بی‌بعد شده نسبت به میانگین است. برخی محققان نیز در بیشتر آزمایش‌های ژئوتکنیکی برای تعیین خواص خاک، تکرارپذیری نتایج را با استفاده از این متغیر بررسی کرده‌اند. درجدول ۲ برای تعدادی از مشخصات مقاومتی خاک، میزان متداول ضریب تغییرات آمده است[۱۱].

جدول (۲) ضریب تغییرات متداول در تعدادی از آزمایش‌های خاک[۱۱]

آزمایش	میزان بیشتر توصیه‌شده
نفوذ استاندارد	۳۰
باربری کالیفرنیا	۲۵
مقاومت تک محوری در رسها	٤۰
چسبندگی زهکشی نشده رسها در سه محوری	۳۰
زاویه اصطکاک داخلی ماسه ها در برش مستقیم	۱۰

همان‌طور که در جدول ۲ دیده می شود مقدار ضریب تغییرات در آزمایش نفوذ استاندارد که یک نفوذسنج دینامیکی خیلی سنگین می باشد ۳۰ است .

بنابراین با تعیین مقدار ضریب تغییرات نتایج حاصل از آزمایش با کاوشگر دینامیکی، می‌توان قضاوت مناسبی در مورد میزان تکرارپذیری نتایج آن داشت.

برای بررسی تکرارپذیری با استفاده انواع کاوشگرهای دینامیکی و با تغییر در مشخصات اصلی شامل وزن چکش، قطر مخروط و قطر میله های رابط، در محل‌های مختلف دو، سه و یا چهار آزمایش در فواصل نزدیک به‌هم (کمتر از ۰/۵ متر) انجام شده است.

شایان ذکر است که با توجه به آزمایش‌های انجام شده، مقدار ضریب تغییرات نتایج در بیش از ۷۰ درصد موارد کمتر از ۱۰٪ و در بیش از ۹۵ درصد موارد کمتر از ۳۰٪ است [۸].

از آنجا که مقدار پارامتر ضریب تغییرات نتایج در همه انواع کاوشگرهای دینامیکی در بیش از ۹۵ درصد موارد کمتر از ۳۰٪ است با مقایسه با اعداد جدول ۲ می‌توان نتیجه‌گیری کرد که نتایج آزمایش‌های کاوشگر دینامیکی تکرارپذیری قابل قبولی دارد.

۴- روابط تجربی در مورد انواع متداول کاوشگرهای دینامیکی

در این قسمت برخی از مهم‌ترین روابط تجربی موجود بین نتایج انواع کاوشگرهای دینامیکی با مقاومت زهکشی‌نشده خاک‌های ریزدانه و حدود دقت آن‌ها در مناطق مطالعه شده در این پژوهش بررسی می‌شود.

۴-۱- روابط پایه کاوشگرهای دینامیکی

برای آنالیز نتایج ابزار کاوشگر دینامیکی، محققین فرورفت مخروط نفوذ در خاک را به مثابه یک شمع در نظر گرفته‌اند که براساس تعیین مقاومت مخروط در حین فرورفت، میزان مقاومت خاک ارزیابی می‌شود.

با توجه به مطالعات و تحقیقات انجام‌شده در مورد آزمایش نفوذسنجی دینامیکی یکی از روابط پایه و مهم در این خصوص محاسبه مقاومت دینامیکی مخروط (q_d) است که به شکل زیر ارائه گردیده است [١٤]:

$$q_d = \frac{1}{A}\frac{1/2 M_1 V^2}{1+\frac{M_2}{M_1}}\frac{1}{x_{90^o}} \quad (۲)$$

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]

در آن M1 وزن چکش و M2 وزن میله‌ها و مخروط نفوذ بر حسب کیلوگرم ، V سرعت ضربه چکش بر حسب متر بر ثانیه ، A سطح مقطع مخروط بر حسب متر مربع و x_{90^o} مقدار نفوذ به ازای یک ضربه چکش [در حالتی که زاویه نفوذ مخروط نسبت به سطح افق ۹۰ درجه باشد]، است.

بوچر و همکاران [۳] با در نظر گرفتن تعدادی فرضیات ساده‌کننده، رابطه بالا را به شکل ساده‌تر زیر ارائه داده‌اند:

$$q_d = \frac{M_1}{(M_1 + M_2)} r_d \qquad (٤)$$

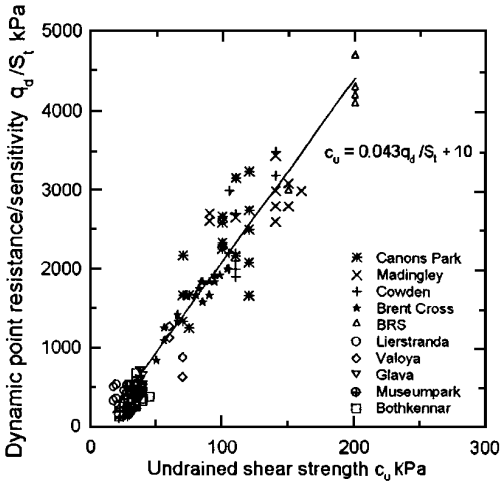
$$r_d = \frac{M_1 g h}{A e} \qquad (٥)$$

در آن g شتاب جاذبه بر حسب متر بر مجذور ثانیه ، h ارتفاع سقوط چکش بر حسب متر و e مقدار نفوذ بر حسب متر بخش بر تعداد ضربات (که مقدار آن برای کاوشگرهای نوع سبک و متوسط و سنگین M10 /0.1 و برای نوع خیلی سنگین M20 /0.2 است) است.

پارامتر r_d بر حسب پاسکال بیانگر کار انجام‌شده برای کوبش مخروط در زمین است و پارامتر مقاومت دینامیکی مخروط (q_d) نیز بر حسب پاسکال با در نظر گرفتن وزن میله‌ها و سایر ملحقات، پارامتر r_d را برای انواع کاوشگرها اصلاح می‌کند. همچنین این محققین دریافتند که مقدار مقاومت دینامیکی مخروط(q_d) برای انواع کاوشگرهای دینامیکی در یک خاک مشخص مقدار ثابتی به‌دست‌می‌آید. محققان براساس تحقیقات خود روی ۱۰ مکان مختلف با بافت خاک ریزدانه با استفاده از انواع نفوذسنج‌های دینامیکی، روابط زیر را برای تعیین مقاومت زهکشی‌نشده (C_u) در خاک‌های رسی نرم و خاک‌های رسی سخت ارائه دادند (شکل ٦):

$$C_u = \frac{q_d}{170} + 20 \qquad (C_u < 50kPa) \qquad (٦)$$

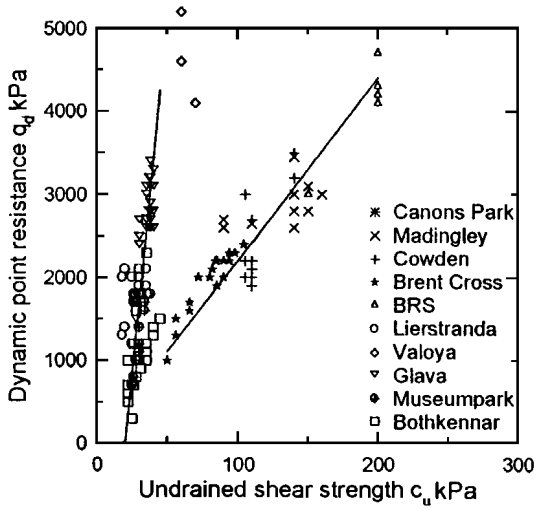
$$C_u = \frac{q_d}{22} \qquad (C_u \geq 50kPa) \qquad (٧)$$



شکل (٦) نمودار ارائه‌شده به‌وسیله‌ی بوچر و همکاران[۳]

همچنین این محققان با وارد کردن پارامتر St (میزان حساسیت خاک) و با توجه به شکل ۷ که در آن تغییرات $\frac{q_d}{S_t}$ بر حسب C_u ترسیم شده است رابطه کلی زیر را برای انواع خاکهای رسی پیشنهاد کرده‌اند:

$$C_u = .045\left(\frac{q_d}{S_t}\right) + 10 \qquad (٨)$$



شکل (۷) تغییرات $\frac{q_d}{S_t}$ بر حسب C_u در تحقیق بوچر و همکاران[۳]

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]

۴-۲- رابطه پیشنهادی برای کاوشگرهای دینـامیکی متداول

در این پژوهش برای تعیین رابطه‌ای بین مقاومت دینـامیکی مخروط و چسبندگی زهکشی‌نشده خاک، در ابتدا سعی شد تابع توزیع فراوانی آنها تعیین شود.

همان‌طـور کـه قـبلاً اشـاره شـد در محـل هـر یـک از پروژه‌هایی که آزمایش نفوذسـنجی دینـامیکی انجـام شـده است، سایر آزمایش‌ها و بررسی‌های متداول ژئوتکنیکی نیز برای براورد پارامترهای خاک انجام شده است. همچنین در این بررسی از نتایج آزمایش‌های بوچر و همکاران اسـتفاده شده است.

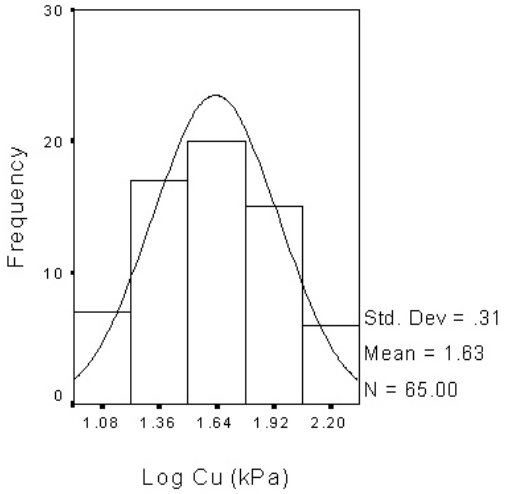
با توجه به شـکل‌هـای ۸ و۹ کـه در آن‌هـا هیسـتوگرام مربوط به لگاریتم مقاومـت دینـامیکی مخـروط و لگـاریتم چسبندگی زهکشی‌نشده خاک مشاهده مـی‌شـود کـه مـدل توزیع فراوانی در هر دو از نوع نرمال است. این به آن معنی است که مدل توزیع فراوانی هر یک از مشخصات مذکور, به‌صورت لوگ نرمال است. به‌این‌ترتیب می‌توان گفت کـه باید رابطه بین مقاومت دینامیکی و چسبندگی زهکشی‌نشده خاک را به شکل لگاریتمی جست‌وجو کرد. با توجه به این مطلب رابطه زیر به‌دست‌می‌اید:

$$Logq_d = 0.69LogC_u + 2.16 \qquad (۹)$$

رابطه بالا را می‌توان به‌شکل زیر بازنویسی کرد:

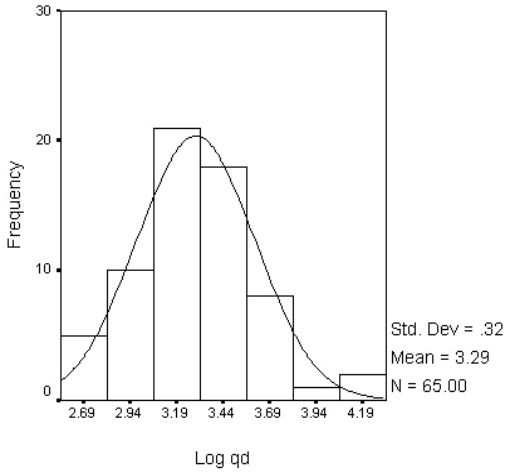
$$C_u = q_d^{1.45}/1385 \qquad (۱۰)$$

در شـکل ۱۰ در مقیـاس معمـولی (غیـر لگـاریتمی) نمودارهای تغییرات مقاومت دینـامیکی مخـروط برحسـب چسبندگی زهکشی‌نشده خاک بر مبنای نتایج آزمایش‌هـای انجام شده در ٤ سایت داخلی و همچنین نتایج آزمایشـهای بوچر و همکاران ترسیم شده است.



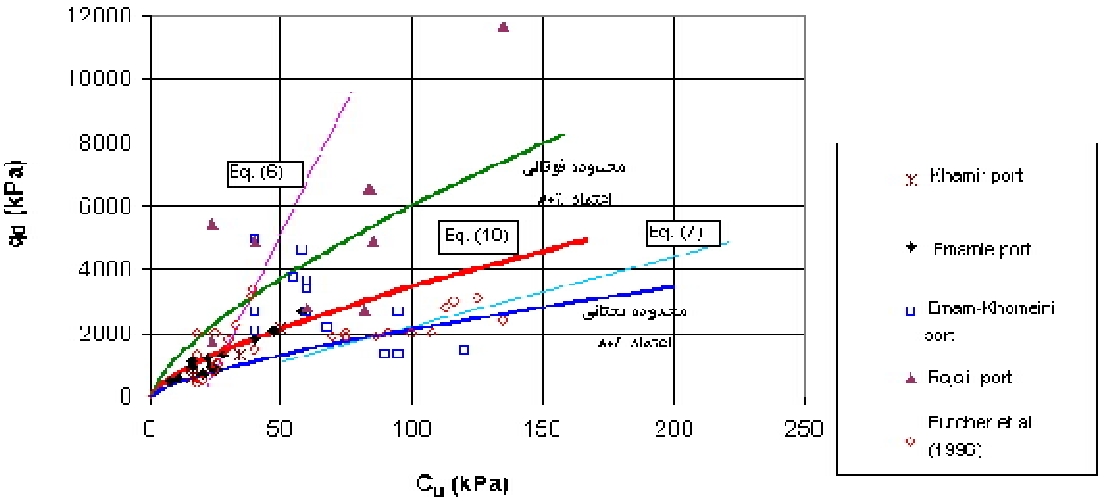
شکل (۸) نمودار تابع توزیع فراوانی $\text{Log } C_u$

همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود روابط ارائـه شده به‌وسیله‌ی بوچر وهمکاران [روابط (٦) و (۷)] قادر به پوشش همه داده‌های ایـن شـکل کـه از انـدازه‌گیـری‌هـای انجام‌شده در این تحقیق بدست آمده نیست. از طرف دیگر بدیهی است نمودار تغییرات چسبندگی زهکشی‌نشده خاک باید برای خاک‌های نرم تا سخت به‌صورت پیوسته باشـد و متناظر با هر مقدار q_d یک مقدار C_u تعیین شود کـه ایـن نکته در روابط ایشان لحاظ نشده است.



شکل (۹) نمودار تابع توزیع فراوانی $\text{Log } q_d$

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]



شکل (۱۰) نمودار تغییرات q_d برحسب C_u

با توجه به شکل (۱۰) و براساس داده‌های این پژوهش منحنی ارائه شده در این پژوهش یعنی رابطه (۱۰) وضع بهتری نسبت به روابط بوچر و همکاران دارد. همچنین با توجه به توزیع فراوانی متغیرهای آن، از مبنای مستدل و منطقی برخوردار است؛ اما همچنان نماینده خیلی خوبی از داده‌ها نیست. به‌خصوص آن‌که ضریب همبستگی آن ۰/۶۷ است. ولی در این پژوهش رابطه توانی (۱۰) در محدوده داده‌های در دسترس ارائه شد تا در آینده با داده‌های بیشتر دقت آن هم افزایش یابد.

بوچر و همکاران نخست دو رابطه مستقل برای رس‌های نرم وسخت پیشنهاد کردند سپس تلاش کردند با وارد کردن حساسیت، رابطه واحدی ارائه کنند. شاید روابط بوچر و همکاران با وارد کردن حساسیت خاک و با استفاده از نسبت $\frac{q_d}{S_t}$ روابط پیشرفته‌تری محسوب شود زیرا نسبت به رابطه (۱۰) یک متغیر بیشتر در خود گنجانده است؛ ولی بررسی‌های این پژوهش و پراکندگی نتایج مطابق شکل (۷) نشان می‌دهد که تمام مسائل تنها در حساسیت خاک ختم نمی‌شود و به‌نظر می‌رسد با وارد کردن متغیرهای دیگر مانند مشخصات خمیری، میزان پیش‌تحکیم‌یافتگی و ... می‌توان به روابط دقیق‌تری دست یافت.

لازم به ذکر است که روابط پیشنهادی در این پژوهش یعنی روابط (۹) و (۱۰) براساس داده‌های این پژوهش به‌دست آمده است. با توجه به محدود بودن تعداد نقاط مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود در هر منطقه جدید با استفاده از اطلاعات دقیق ژئوتکنیکی ضرایب معادله مذکور تعیین شده (معادله مزبور کالیبره شود) و سپس برای آزمایش‌های دیگر از نفوذسنجی دینامیکی استفاده شود. به این ترتیب امکان براورد چسبندگی زهکشی‌نشده خاک از نتایج آزمایش‌های نفوذسنجی دینامیکی با دقت قابل قبولی فراهم خواهد بود. اصلی‌ترین نتیجه‌گیری این پژوهش این است که شکل کلی رابطه (۱۰) که منطبق بر توزیع آماری متغیرها نیز هست، مبنای مناسبی برای کالیبراسیون و تعیین رابطه خاص هر ساختگاه جدید است.

شایان ذکر است که گاهی از اوقات این آزمایش برای کنترل خاک‌های اصلاح‌شده یک منطقه نیز به‌کار برده می‌شود. در این مواقع بررسی میزان افزایش مقاومت خاک از مقایسه نتایج این آزمایش‌ها، قبل و بعد از اصلاح خاک انجام می‌گیرد.

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]

۵- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

۱- نوعی نمونه‌گیر جدید و ابداعی برای استفاده با کاوشگرهای دینامیکی پیشنهاد شد و تجربه موفق آن در عمل ذکر شد.

۲- کاوشگرهای دینامیکی خیلی سبک تا سنگین را می‌توان برای تخمین مقاومت خاک‌های ریزدانه به‌کار برد. برای این کار نیاز به روابط تجربی کالیبره‌شده در مناطق مختلف است. در این مقاله براساس داده‌های حاصل از نقاط مختلف در ایران رابطه (۱۰) برای کاوشگرهای دینامیکی متعارف پیشنهاد شد.

۳- در بیش از ۹۵ درصد آزمایش‌های انجام‌شده به‌وسیله انواع کاوشگرهای دینامیکی، ضریب تغییرات نتایج از مقدار استاندارد آزمایش نفوذ استاندارد کمتر است که در مجموع می‌تواند نشانگر تکرارپذیری خوب نتایج این آزمایش باشد.

٤- اگر در منطقه جدیدی از کاوشگر دینامیکی استفاده شود می‌توان با استفاده از رابطه (۱۰) برای تخمین مقاومت زهکشی نشده با تعدادی اندازه‌گیری مقاومت، اقدام به کالیبره کردن این رابطه کرد یا از آن به تقریب استفاده کرد.

با توجه به نکات بالا و مزایای ویژه این آزمایش‌ها مانند ارزانی و سرعت آن، توسعه کاربرد این روش در مطالعات زمین‌شناسی مهندسی آبرفت‌های ریزدانه پیشنهاد می‌شود.

۶- مراجع

[1] Sabtan, A. A. and Shehata, W.M.; "Mackintosh Probe as an exploration tool "; Bulletin of the International Association of Engineering Geology; Paris; 1995; No. 50; pp. 89-94.

[2] Fakher, A. and Khodaparast, M.; "The repeatability in results of Mackintosh Probe test "; Proc. 2nd Int. Conf. Geotechnical and Geophysical Site Characterization; Porto; 2004; pp 325-330.

[3] Butcher, A. P.; Mcelmeel, K. and Powel, J. J. M.; "Dynamic probing and its use in clay soils"; Advances in Site Investigation Practice; Thomas Telford; London; 1996; pp. 383-395.

[4] Eitner V.; Katzenbach R.; Stolben F.; "International and European Standards on characterization"; Proc. 2nd Int. Conf. Geotechnical and Geophysical Site Characterization; Porto; 2004; pp 307-313.

[۵] خداپرست, مهدی؛ چشمی، اکبر؛ شکرانی, سید حامد؛ و فاخر, علی؛ «استفاده از نفوذسنج‌های دینامیکی در پروژه‌های بهسازی زمین»؛ نخستین کنفرانس بهسازی زمین؛ دانشگاه امیرکبیر تهران؛ ۱۵-۱٤ اسفند ۱۳۸۰؛ صفحات ۳۳۵ الی ۳٤۳.

[6] Fakher, A.; Khodaparast, M. and Pahlvan, B.; "Coastal soft clay improvements using preloading - A case study "; Proceeding of 3rd International Conference Soft Soil Engineering; Hong Kong; 2001; pp. 465-469.

[۷] شکرانی، سید حامد؛ «ساخت، به‌کارگیری و کالیبره نمودن ابزار مکینتاش برای شناسایی زمین»؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی خاک و پی؛ گروه مهندسی عمران دانشکده فنی دانشگاه تهران؛ ۱۳۷۹؛ ۷۷ صفحه.

[۸] خداپرست، مهدی؛ «توسعه تکنیک‌های شناسایی خاک با استفاده از کاوشگرهای دینامیکی»؛ پایان‌نامه دکتری؛ گروه مهندسی عمران دانشکده فنی دانشگاه تهران؛ ۱۳۸٤.

[9] Alam, M. J.; Azad, A. K. and Rahman, Z.; "Prediction of Liquefaction Potential of Dredge Fill Sand by DCP and Dynamic Probing"; Proc. Seismic Engineering Conference; Reggio Calabria; Italy; 2008; pp 413-418.

[10] DIN 4094; "Dynamic and Static penetrometers, Dimensions of apparatus and method of operation"; Deutsches Institut fur Normung e. V. Berlin; 1974.

[11] Lee, I. K.; White W.; Ingles, O. G.; "Geotechnical Engineering", Copp Clark Pitman; Inc.; 1983; pp. 57-89.

[12] Cassan M.; "Les essays in situ en mechanique des sols" realization et interpretation; Vol. 1;Eyrolles; 1988; pp 146-151.

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]

«Research Note»

The Use of Dynamic Probing For Investigation of Fine Soils and Evaluation of Undrained Shear Strength

M. Khodaparast[1*], A. Fakher[2]

1- Assistant Professor, Civil Engineering Department, University of Qom, Iran, Email: khodaparast@ qom.ac.ir
2- Associate Professor, Civil Engineering Department, University of Tehran, Iran, Email: afakher@ut.ac.ir

khodaparast@qom.ac.ir

Abstract:
The Dynamic Probe is an effective and efficient tool used in site investigation. It is more economic than the use of boring equipment particularly when the depth of exploration is moderate. The paper covers the design and development of a dynamic probing rig and a new soil sampler to increase the efficiency of conventional dynamic probes. The repeatability of the results are considered and correlations between dynamic probing results and undrained shear strength identified. A new equation relating dynamic resistance to undrained shear strength is proposed. The paper encourages the wider application of dynamic probing for site investigation in fine soils.

Keywords: Dynamic Probing, Repeatability, Site investigation, Fine soil, Undrained shear strength

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-10-12]