

تعیین پارامترهای خاک با استفاده از آزمایش نفوذسنجی دینامیکی

علی سلیقه زاده ، سید کیان آل محمد

۱_ کارشناس ارشد مکانیک خاک و پی ، شوشتر- دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر

۲_ دانشجوی کارشناسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر، شوشتر- دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر

Kian571@yahoo.com

خلاصه

شناسایی ویژگی های خاک از نظر باربری و تغییر شکل برای اغلب سازه ها ضروری است و تعیین این ویژگی ها معمولاً از طریق آزمایشاتی صورت می گیرد که بسیار پر هزینه هستند . به همین دلیل اغلب اتفاق می افتد که این آزمایشات حذف یا کم می شوند و در نهایت همواره مشکلاتی را برای پروژه ها به همراه دارد . یکی از روش های موجود که کمتر در کشور مورد توجه بوده است روش نفوذسنج دینامیکی (ابزار مکینتاش) است که می تواند پارامترهای مورد نیاز را با هزینه کمتر و سادگی اجرا در اختیار قرار دهد . در این مقاله سعی شده است به تاریخچه و معرفی این روش ، استانداردهای مربوطه ، بیان مزایا و مقایسه ی آن با روش های معمول پرداخته شود . در پایان نیز نمونه ای از پروژه های صورت گرفته با این روش آورده شده است . در نهایت امید می رود این مقاله در ایجاد انگیزه استفاده از این روش در پروژه های مختلف ، موثر باشد .

کلمات کلیدی : نفوذسنجی دینامیکی، ابزار مکینتاش، آزمون برجا ژئوتکنیک

مقدمه

در پروژه های عمرانی انجام مطالعات خاک و ژئوتکنیک امری ضروری است و این مطالعات با هدف تعیین وضعیت لایه بندی خاک و مشخص نمودن پارامترهای مختلف فیزیکی ، مکانیکی انجام می گیرد. عملیات ژئوتکنیک معمولاً از طریق حفر گمانه ، نمونه گیری از خاک و انجام پاره ای آزمایش های صحرایی و آزمایشگاهی انجام می گردد تا مشخصات ژئوتکنیکی خاک نظیر دانه بندی ، خاصیت خمیری ، مقاومت برشی و ... تعیین گردد .

روش های متداول جهت انجام عملیات ژئوتکنیک در پروژه های مختلف ، علاوه بر داشتن هزینه قابل توجه ، نیازمند زمان نسبتاً طولانی جهت ارائه نتایج نیز می باشد . به واسطه ی این دو عامل امکان حفر گمانه ها و انجام آزمایشات در فواصل نزدیک به هم وجود نداشته و همواره عدم قطعیت هایی در زمینه تعیین پارامترهای مکانیکی خاک و شناسایی لتهای ضعیف وجود دارد . با توجه به نکات ذکر شده در صورت استفاده از برخی روشها می توان تا حدود زیادی بر معایب فوق غلبه کرد . یکی از این روشها نفوذسنج دینامیکی است.

نفوذسنج دینامیکی یکی از انواع مهم آزمایش های در محل است . در این آزمایش جسمی شبیه یک مخروط در اثر ضربه در داخل خاک نفوذ می کند و مقاومت آن در مقابل نفوذ به مشخصات خاک ارتباط داده می شود . مانند هر ابزار نفوذ دینامیکی، نفوذسنج های دینامیکی از سه قسمت اصلی چکش ، مخروط نفوذ و میله های رابط تشکیل شده اند . انرژی لازم برای نفوذ در خاک از طریق ضربه و این ضربه از سقوط وزنه ای معین از ارتفاعی مشخص تامین می شود . با توجه به اندازه و ارتفاع سقوط وزنه ، انرژی ممکن است به صورت دستی یا موتوری تامین شود . نتیجه ی آزمایش عددی است که از تعداد ضربه لازم جهت نفوذ در عمق مشخصی حاصل می شود .

۱- عضو هیات علمی گروه عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر

۲- عضو شورای مرکزی سازمان علمی و پژوهشی دانشجویان عمران سراسر کشور

تاریخچه

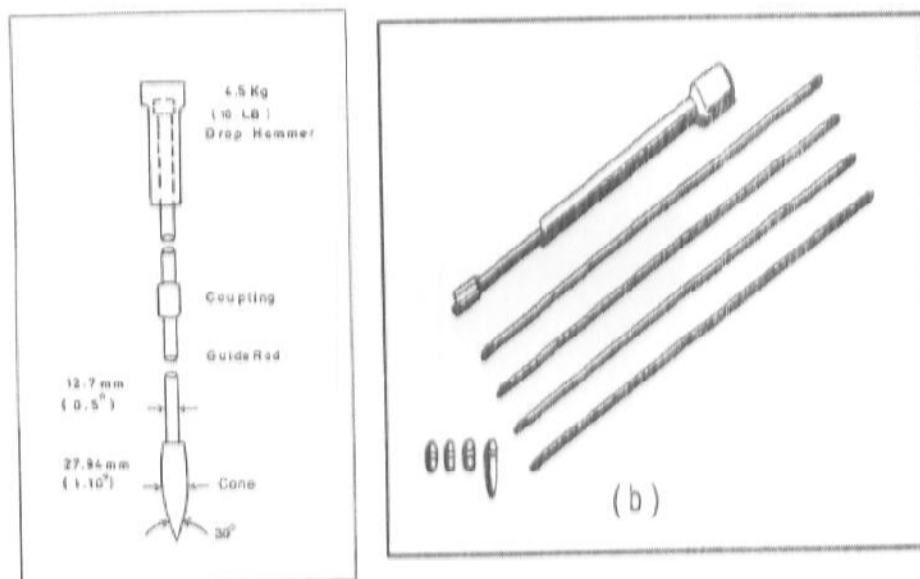
آزمایش نفوذ خاک مانند آزمایش DCP دارای تاریخچه ی طولانی است. این آزمایش در اواخر قرن ۱۷ توسط آقای Goldman ارائه شد. سپس این دستگاه در سال ۱۹۳۶ توسط Kunzel توسعه داده شده و با نام پروف استپ (Prufstab) شناخته شد. در سال ۱۹۶۴ به عنوان نفوذسنج سبک در آلمان دارای استاندارد DIN۴۰۹۴ شد. سپس در مناطق مختلف مانند آفریقای جنوبی، استرالیا، کانادا، آمریکا و ... مورد استفاده قرار گرفت. روش نفوذسنج دینامیکی به طور گسترده در دهه ی اخیر برای ارزیابی مقاومت لایه های اساس دانه ای و خاک بستر به کار می رود. در سال ۱۹۹۲ بر روی ۱۲۵ نمونه ی آزمایشگاهی و کارگاهی، اثر سربار بر نتایج DCP بررسی شد که نتایج حاصله نشان داد در خاک های رسی لایه ی سربار هیچگونه تاثیری بر نتایج DCP ندارد ولی در مصالح دانه ای اثرات لایه ی سربار باعث کاهش مقدار DCP می گردد. استفاده از نفوذ سنج های دینامیکی سال هاست که در بسیاری از کشورهای جهان آغاز شده و در برخی کشورها مانند آلمان و ژاپن توسعه ی خوبی یافته است اما در کشور ما به ندرت مورد استفاده قرار گرفته است. تاکنون نفوذسنج های دینامیکی در اندازه های مختلف ساخته شده اند که تعدادی از آن ها تحت استاندارد DIN و BS در آمده اند. مهم ترین آن ها براساس استاندارد DIN۴۰۹۴ در جدول ۱ آورده شده است.

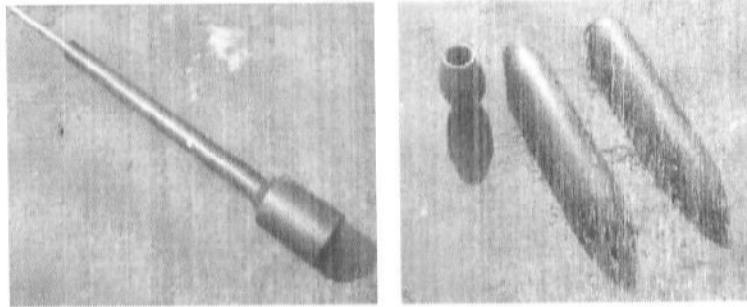
جدول (۱) مشخصات کاوشگرهای دینامیکی متعارف براساس استاندارد DIN

نوع	Light DPL	Medium DPM	Heavy DPH	Super Heavy DPSH	SPT
وزن چکش (برحسب کیلوگرم)	۱۰±۰/۱	۳۰±۰/۳	۶۲/۵±۰/۵	۶۳/۵±۰/۵	۶۳/۵±۰/۵
ارتفاع سقوط چکش (بر حسب متر)	۰/۵±۰/۰۱	۰/۵±۰/۰۱	۰/۷۵±۰/۰۲	۰/۷۶±۰/۰۳	۰/۷۶±۰/۰۳
قطر مخروط (بر حسب میلیمتر)	۳۵/۷±۰/۳	۳۵/۷±۰/۳	۴۳/۷±۰/۳	۵۰/۵±۰/۵	۵۰/۵±۰/۵
سطح مخروط (بر حسب سانتیمتر مربع)	۱۰	۱۰	۱۵	۲۰	۲۰
قطر راد (بر حسب میلیمتر)	۲۲±۰/۲	۳۲±۰/۲	۳۲±۰/۲	۳۲±۰/۲	۴۰/۵-۵۰-۶۰
ضخامت راد (بر حسب میلیمتر)	۶±۰/۲	۹±۰/۲	۹±۰/۲	-	-

مشخصات، ویژگیها و نحوه استفاده از ابزار مکینتاش

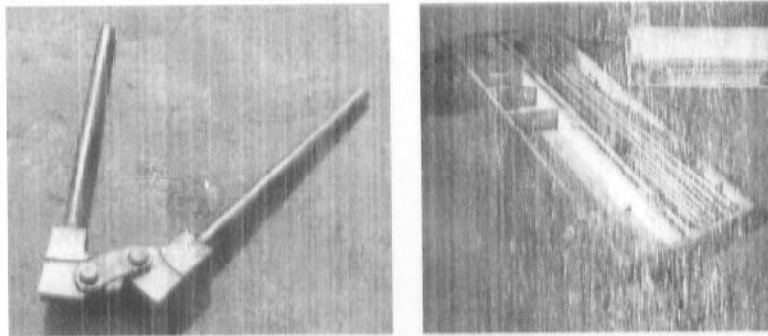
ابزار مکینتاش، یکی از ابزارهای نفوذ دینامیکی سبک (DPL) بوده و بعضاً آن را نوع کوچک ابزار نفوذ مخروط دینامیکی می دانند. این ابزار، یک ابزار سبک، دستی و قابل حمل بوده و آئین نامه BS انگلستان بخش مربوط به شناسایی های صحرایی BS۵۹۳۰ آن را به عنوان یک ابزار انجام آزمون برجا، به رسمیت می شناسد. در شکل (۱) اجزاء تشکیل دهنده این ابزار نشان داده شده است.





شکل (۱) اجزا تشکیل دهنده ابزار مکینناش

همانطور که در شکل (۲) دیده میشود وقتی ابزار جمع شده و در جعبه چوبی قرار داده میشود بسادگی مشابه یک کیف دستی توسط یک نفر قابل حمل میباشد



شکل (۲)

در قسمت انتهایی این وسیله، مخروط نفوذ برار دارد. زاویه نوک این مخروط ۳۰ درجه و قطر آن ۱/۱ اینچ معادل ۲۷/۹۴ میلیمتر می باشد، همچنین سطح مقطع آن حدود ۶/۱ سانتیمترمربع است. این مخروط که دارای ارتفاعی معادل ۱۵ سانتیمتر است به سر میله های رابط پیچ می شود. این میله ها دارای قطری به اندازه ۰/۵ اینچ معادل ۱۲/۷۰ میلیمتر و طول ۱/۵ متر هستند. در حین آزمایش بر حسب مقدار نفوذ مخروط، تعدادی از میله ها به یکدیگر متصل می شوند. اتصال میله ها به یکدیگر توسط قطعاتی انجام می شود که دارای قطری بزرگتر از قطر میله ها هستند. این امر باعث می شود از تماس میله ها با جداره خاک جلوگیری به عمل آمده و عملاً خاک تنها در نقاط محدودی با وسیله تماس پیدا نماید و در نتیجه باعث کاهش اصطکاک جانبی و واقعی تر شدن نتایج گردد.

در قسمت بالای فوقانی ترین میله، چکش قرار می گیرد که وزن آن ۱۰ پوند معادل ۴/۵ کیلوگرم است و از ارتفاع ۳۰ سانتیمتری سقوط کرده و باعث ضربه می گردد. این وسیله دارای اجزای مخصوصی میباشد که برای بیرون کشیدن آن از درون خاک پس از اتمام آزمایش مورد استفاده قرار می گیرد. وسیله مزبور دارای یک نمونه گیر کوچک نیز میباشد که در صورت لزوم می توان از اعماق مختلف خاک، بوسیله آن نمونه گیری کرد. برای این منظور باید مخروط نفوذ از خاک بیرون کشیده شود و به جای آن نمونه گیر بسته شده و نسبت به نمونه گیری از عمق دلخواه اقدام گردد. جهت انجام آزمایش می بایست به صورت زیر عمل نمود.

پس از تعیین نقطه مورد نظر - مخروط نفوذ را به سر یکی از میله ها بسته و چکش در انتهای دیگر آن پیچ می شود. سپس از نوک مخروط در هر ۱۰ سانتیمتر علاماتی روی میله مشخص گردند. و نوک مخروط به گونه ای روی زمین قرار داده می شود که میله به صورت کاملاً قائم در آید. برای انجام آزمایش، وزنه چکش را تا حداکثر ارتفاع ممکن (همان ۳۰ cm) بالا برده و رها می کنیم. مجدداً این کار را تکرار کرده و تعداد ضرباتی که باعث نفوذ ۱۰ cm می شود را یادداشت می کنیم که این همان نتیجه آزمایش در اعماق مختلف است که با حرف M نشان داده می شود. اینکار تا عمق مورد نظر ادامه یافته و بدین ترتیب نموداری پیوسته از تغییرات M در عمق قابل حصول خواهد بود. در این خصوص لازم به ذکر است هنگامی که یک میله به طور کامل در خاک نفوذ کرد، چکش را باز کرده و به جای آن به وسیله قطعات اتصال یک میله دیگر بسته می شود و چکش مجدداً روی میله فوقانی نصب می گردد و این عمل تا عمق مورد نظر ادامه می یابد.

لازم به ذکر است که برخی از محققین معتقدند که در خاکهای نرم با استفاده از کاوشگرهای دینامیکی سنگین و به خصوص SPT نمی توان برآورد صحیح و دقیقی از پارامترهای مقاومتی خاک داشت و در این گونه موارد کاوشگرهای نوع سبک نتایج مناسبتری داده و با آن با دقت بیشتری می توان مقاومت خاک را تعیین نمود (Butcher et al. 1996)

از این ابزار هم در خاکهای چسبنده و هم در خاکهای غیرچسبنده استفاده می شود. نتایج تحقیقات آقایان فاخر و خداپرست (Fakher and Khodaparast 2004) نشان می دهد که این ابزار در مواردی که خاک نرم یا شل بوده و نیز تا عمق های متوسط، نتایج خوبی از خود نشان داده است.

مهمترین کاربردها و مزایای روش

از مهم ترین کاربردهای روش نفوذسنجی دینامیکی می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- 1- تعیین پروفیل زمین و مقاومت خاک
- 2- تعیین موقعیت و عمق لایه های خاک،
- 3- درونپایی اطلاعات مابین گمانه ها
- 4- کنترل عملیات تراکم و همچنین کنترل بهسازی خاک

انجام بررسی ها و مطالعات محلی با استفاده از ابزار مکینتاش و بطور کلی کاوشگرهای دینامیکی دارای مزایا و امتیاز های ویژه ای می باشد که در ذیل به آنها اشاره می شود:

- 1- سرعت بالا در استفاده از این ابزار
 - 2- انعطاف پذیری و سهولت استفاده از این ابزار در مناطق با دسترسی دشوار
 - 3- کم هزینه بودن این ابزار هم در ساخت هم در استفاده از آن
 - 4- پیوسته بودن نتایج آن و امکان شناسایی لایه های ضعیف با ضخامت کم
 - 5- امکان کاهش قابل توجه در تعداد گمانه ها در صورت استفاده از این ابزار
 - 6- کاهش نیروی انسانی وعدم نیاز به افراد با تخصص بالا
 - 7- امکان نمونه گیری از خاک
- در مجموع با توجه به موارد فوق می توان مهمترین مزیت این ابزار را اقتصادی بودن و سرعت آن بر شمرد.

نمونه ای از آزمایشات انجام شده در ایران

از این ابزار برای اولین بار در پروژه هایی در جنوب ایران مثل بندر ماهشهر، بندرامامیه در نزدیکی هندیجان و بندر خمیر در سالهای ۱۳۷۸ و ۱۳۷۹ استفاده شد و بعد ها در پروژه های دیگری نیز بکار رفته است.

نمونه ای از استفاده از ابزار مکینتاش در بندر امام خمینی (ره) در پروژه ساخت مخازن یوتیلیتی (Utility Plant) در محلی موسوم به پتروشیمی فجر (Fajr) است. خاک محل فوق تا عمق ۱۸ متر شامل رس نرم اشباع از نوع CL می باشد. به منظور بهسازی زمین و تسریع در تحکیم این لایه در محل ساخت سه مخزن با قطر ۷۰ متر، روشی بیش بارگذاری به همراه استفاده از زهکشهای ژئوسنتتیک به کار گرفته شده است.

برای این منظور در محل هر مخزن خاکریزی به ارتفاع ۹ متر برای یک دوره انتظار ۶ ماهه اجرا شد. پس از اتمام عملیات خاکبرداری مخازن و تسطیح سطح زمین، به منظور آگاهی از تأثیر روش پیش بارگذاری و اطمینان از حصول افزایش مقاومت کافی در خاک عملیات ژئوتکنیک به اجرا در آمده است. در این عملیات در محل هر یک از مخازن ۵ گمانه (یک گمانه در وسط و ۴ گمانه در پیرامون) تا عمق ۲۰ متر حفاری شده و در هر کدام نیز آزمایش نفوذ استاندارد SPT و همچنین سایر آزمایشهای صحرایی نظیر برش پره ای و آزمایشگاهی مانند سه محوری UU انجام شده است. علاوه بر آن در هر مخزن ۳ آزمایش نفوذسنجی دینامیکی نیز در مجاورت ۳ گمانه تقریباً تا عمق ۱۰ متر با استفاده از ابزار مکینتاش به انجام رسیده است. با استفاده از نتایج این روش مشابه آزمایش امکان ثبت تغییرات پیوسته مقاومت خاک (CPT) در عمق اما با هزینه ای بسیار کمتر وجود دارد. لذا مهمترین مزیت این شیوه اقتصادی بودن و سرعت آن است.

با بهره گیری از نتایج این آزمایش میتوان با دقت قابل قبول و خوبی نسبت به تعیین مقاومت زهکشی نشده خاک در عمق اقدام نمود. برای کاهش هزینه های ژئوتکنیکی و منطقی کردن آن ها می توان از روش های شناسایی ارزان ژئوتکنیکی مثل به کارگیری ابزار مکینتاش استفاده کرد.

یکی دیگر از پروژه‌هایی که در آن از روش نفوذسنجی دینامیکی استفاده شده است مربوط به احداث یکی از بزرگراه‌های تهران است. در این پروژه بر روی ۳ نمونه خاک بستر در آزمایشگاه و ۱ نمونه در کارگاه آزمایشات مخروط ماسه، نفوذسنجی دینامیکی و چگالی سنجی هسته‌ای صورت گرفت. خاک‌های مورد آزمایش عبارتند از ماسه بدانه بندی شده، خاک رس لای دار، خاک ماسه لای دار و خاک شن رس دار که از هر کدام طبق ASTM D75 استاندارد نمونه برداری شده است. مقایسه‌ی نتایج حاصل از انجام ۳ آزمایش نشان دهنده‌ی این است که وزن مخصوص خشک و درصد رطوبت به دست آمده از روش چگالی سنج هسته‌ای دارای ارتباط خوبی با نتایج متناظر از روش مخروط ماسه‌ای است. همچنین نتایج نفوذسنجی دینامیکی دارای ارتباط خوبی با وزن مخصوص خشک به دست آمده از روش چگالی سنجی هسته‌ای است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

استفاده از روش نفوذسنجی دینامیکی و ابزار مکینتاش به عنوان یکی از انواع کاوشگرهای دینامیکی، یک روش بسیار کارآمد و موثر می‌باشد. همچنین می‌توان از روش نفوذسنجی دینامیکی می‌توان جهت بهینه‌سازی ابنیه‌ی کوچک و کاهش هزینه‌های مربوط به شناسایی‌های ژئوتکنیکی و از طریق آن ترغیب مجریان ابنیه‌ی کوچک به انجام مطالعات ژئوتکنیکی استفاده کرد. در انتها پیشنهاد می‌شود مانند بسیاری از کشورهای دیگر دنیا مانند آلمان و رابن درکنار سایر روشهای متداول، این روش در مطالعات ژئوتکنیک و همچنین کنترل پروژه‌های بهسازی و اصلاح خاک مورد استفاده قرار گیرد تا بتوان با هزینه کمتر، مطالعات کاملتر و دقیقتری را انجام داد.

مراجع

۱. خداپرست، مهدی (۱۳۸۰). "استفاده از نفوذسنج‌های دینامیکی در پروژه‌های بهسازی زمین" نخستین کنفرانس بهسازی زمین تهران
۲. حبیبی، مهدی (۱۳۸۵). "استفاده از شناسایی‌های ساده ژئوتکنیکی برای بهسازی ابنیه کوچک" دهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران
۳. طباطبایی، نادر. "تخمین مدول ارتجاعی لایه‌های روسازی با استفاده از نتایج آزمایش نفوذسنج دینامیکی"
۴. BS 5930 (1981), Code of Practice for Site Investigation, British Standard Institution, pp. 147.
۵. طباطبایی، نادر. "مقایسه‌ی روش‌های چگالی سنج هسته‌ای، مخروط نفوذسنج دینامیکی و روش مخروط ماسه"
۶. FAKHER, A. and KHODAPARAST, M. and PAHLAVAN, B. (2001) "Coastal Soft Clay Improvements Using Preloading - a Case Study", Proceeding of 3rd International Conference on Soft Soil Engineering
۷. Euro Code 7 (ENV 1997-3: 2000), "Geotechnical design- Part 3: Design assisted by field testing".
۸. BUTCHER, A. P., MCELMEEL, K. and POWEL, J. J. M. (1996) "Dynamic probing and its use in clay soils", Advance in Site Investigation Practice, Thomas Telford (ed.), London.