

# استفاده از شناسایی های ساده ژئوتکنیکی در بهینه سازی ابنیه کوچک

مهدی حبیبی ( دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک خاک و پی ، دانشکده عمران دانشگاه تهران )

اکبر چشمی ( دانشجوی دکترای زمین شناسی مهندسی ، دانشگاه تربیت مدرس )

علی فاخر ( دکترای ژئوتکنیک ، دانشیار دانشکده عمران دانشگاه تهران )

## چکیده:

شناسایی ویژگی های خاک از نظر باربری برای احداث ساختمانها ضروری است و تعیین متغیرهای مهندسی زمین برای طراحی ، بسیار حساس میباشد. در الگوی رایج ساخت و ساز ابنیه کوچک در ایران ، معمولا طراحی ها بدون انجام عملیات اکتشافی ژئوتکنیکی صورت میگیرد و طراحیها با توجه به وضعیت ساختمانهای مجاور انجام میشود. این الگو دارای معایب متعددی از قبیل غفلت از وجود خاکهای مساله دار، غیر اقتصادی بودن طرح و در نظر نگرفتن شرایط زلزله می باشد. پیشنهادات اصلاحی این رویه که در مقاله حاضر ارائه شده اند، بر دو ایده کلی استفاده از بازدیدهای محلی و داده های زمین شناسی قبلی و انجام مطالعات تفصیلی بکمک آزمونهای برجای ارزان قیمت استوارند. آزمون ارزان قیمت ، آزمونی است که نیاز به ماشین حفاری یا تجهیزات سنگین نداشته و با نیروی انسانی کم و ساده و نیز ابزار ساده بکار میرود . تا کنون تعدادی از آزمایشات برجای ارزان قیمت نفوذی (نظیر آزمایش مکینتاش ، آزمایش کاوش دینامیکی-انواع سبک و متوسط - و آزمایش نفوذ وزنی سوئدی ) در ایران توسعه داده شده اند، که در این مقاله تشریح میشوند.

**واژه های کلیدی:** شناسایی های ژئوتکنیکی، آزمونهای برجای ارزان قیمت، ابزار مکینتاش، کاوشگرهای دینامیکی، آزمون

نفوذ وزنی سوئدی

## ۱- مقدمه

متغیرهای ژئوتکنیکی طراحی، تاثیر مستقیم بر روی ایمنی و هزینه ساختمان دارد. از اینرو شناساییهای ژئوتکنیکی به منظور تعیین دقیق این متغیرها ، نقش مهمی ایفا میکنند. الگوی شناسایی های ژئوتکنیکی معرفی شده در مراجع فنی، به منظور تعیین متغیرهای مهندسی زمین، شامل چهار گام زیر می باشد:

الف) گردآوری اطلاعات موجود در مورد سازه موردنظر

ب) جمع آوری اطلاعات موجود برای شرایط تحت الارضی

ج) بازدید مقدماتی منطقه

د) عملیات شناسایی تفصیلی

در این مقاله سعی شده است ضمن توضیح نقش شناسایی های ژئوتکنیکی در کاهش هزینه ها و افزایش ایمنی ، روشهایی از شناسایی های ژئوتکنیکی ارائه گردد که ساده و ارزان بوده و بتواند برای پروژه های کوچک، استفاده نمود. مثالهایی از بکارگیری این آزمونها در ایران نیز، در این مقاله بیان شده است.

## ۲- نقش شناسایی های ژئوتکنیکی در کاهش هزینه ها و افزایش ایمنی

مهندس طراح پی مسئولیت زیادی دارد، زیرا خواص زمین بسیار متغیر و حتی گمراه کننده (Tricky) است و پیامدهای خرابی آن نیز معمولا شدید و غیرقابل جبران میباشد. و ممکن است بعثت مشکلات ایجاد شده برای خاک و پی، تمامی زحمات طراحی و محاسبه سازه فوقانی (Super structure) بر باد رود. (مگردچیان، ۱۳۶۹)

از اینرو شناخت دقیق خواص زمین ضروری می‌باشد. "از طرفی میدانیم که در پروژه‌های عمرانی بیش از هر چیز محتاج داده‌های کمی از شرایط زمین، ویژگی‌های سنگ و خاک و واکنش زمین و پی در برابر احداث سازه هستیم. از اینروست که در طول اکتشافات ژئوتکنیکی بدنال گونه‌ای از اطلاعات هستیم که ضمن تعیین کارایی محل برای اجرای عملیات مهندسی، طراحی مناسب و اقتصادی سازه را نیز امکان پذیر ساخته علاوه بر آن مجموعه مشکلات ژئوتکنیکی را که در طول و یا پس از احداث سازه بروز خواهد کرد، بشناساند. (معماریان، ۱۳۷۲)"

بنابراین لازمه رعایت توام ایمنی و اقتصاد در یک پروژه عمرانی وجود محاسبات کمی و با دقت مناسب است که خود نیازمند مشخص شدن متغیرهای مهندسی خاک و سنگ با دقت کافی می‌باشد. در صورتی که متغیرهای ورودی کمتر از مقادیر واقعی باشند احتمال وقوع پدیده‌هایی مثل نشست و روانگرایی وجود دارد و باعث کاهش ایمنی ساختمان می‌گردد و در صورتی که متغیرهای ورودی بیشتر از مقادیر واقعی باشند هزینه‌های بالایی را به پروژه تحمیل می‌نماید لذا تعیین دقیق تر متغیرها که براساس شناسایی‌های ژئوتکنیکی صورت می‌گیرد، باعث کاهش هزینه و افزایش ایمنی خواهد شد.

### ۳- الگوی رایج ساخت ابنیه کوچک در ایران از دیدگاه ژئوتکنیک

الگوی ساخت و ساز ابنیه کوچک در ایران متأثر از الگوی کلی حاکم بر ساخت و ساز در ایران می‌باشد. در وضعیتی که کارفرمایان پروژه‌های نسبتاً بزرگ اهمیت کافی برای کاوشهای ژئوتکنیکی قائل نمی‌شوند، وضعیت مذکور برای پروژه‌های کوچک تشدید می‌شود. علاوه عوامل دیگری نیز بر روی کم رنگ کردن نقش اکتشافات ژئوتکنیکی در ساخت ابنیه کوچک موثرند. بعنوان مثال خلاء‌های اجرایی و بعضاً قانونی موجود در زمینه اجرا و نظارت پروژه‌های کوچک یا در اختیار نداشتن بودجه کافی برای اجرای صحیح و بموقع این پروژه‌ها، باعث می‌شود بسیاری از ملاحظات فنی، از جمله شناسایی‌های ژئوتکنیکی، در این پروژه‌ها رعایت نگردند.

در زمینه وجود مقررات کافی در مورد ابنیه کوچک نیز تاکنون اقدام قابل توجهی صورت نگرفته و گزارشات ژئوتکنیکی برای چنین پروژه‌هایی جایگاه مشخصی ندارند. بنابراین میتوان گفت که در الگوی رایج ساخت و ساز ابنیه کوچک در ایران، معمولاً طراحی بدون انجام عملیات اکتشافی ژئوتکنیکی صورت می‌گیرد و شرایط و طراحیها عموماً با توجه به وضعیت ساختمانهای مجاور انجام میشود. برخی معایب این الگوی رایج و بسنده کردن به ملاحظه وضعیت سازه‌های مجاور را میتوان اینگونه برشمرد:

الف) غفلت از خطر وجود خاکهای مسئله دار مثل خاکهای انحلال پذیر یا خاکهای روانگرا، با توجه به تغییرات غیر قابل پیش بینی زمین در فواصل کم

ب) غیراقتصادی بودن طرح بدلیل در نظر گرفتن حاشیه ایمنی بیش از حد لازم

ج) در نظر نگرفتن شرایط بهنگام زلزله و تعمیم نادرست ایمنی پی ساختمانهای مجاور در حالت استاتیکی به حالت دینامیکی اصولاً تغییر زمین در فواصل کم مفهومی است که مهندس عمران کمتر به آن توجه دارد. درحالیکه زمین حتی در فواصل ۱۰ الی ۲۰ متری هم میتواند کاملاً تغییر کند. به قول ترزاچی (Terzaghi) زمین همواره میتواند موجب تعجب شود.

میتوان به روشنی دید که پذیرش الگوی رایج ساخت و ساز در کشور بنوعی پذیرش ریسک و در واقع پذیرش احتمال تحمیل هزینه‌های اضافی به پروژه می‌باشد. "در واقع با انجام کاوشهای ژئوتکنیکی، مهندس طراح، کار و مسئولیت خود را بیمه میکند. آنهم بیمه‌ای که نرخ آن بسیار ارزان است و غفلت از آن موجب پشیمانی خواهد بود. منظور از بیمه، پیش بینی و خرجی است که برای آن می‌پردازیم تا در صورتی که اتفاقات احتمالی بر ضد ما پیش رود، خود را پوشانده باشیم. در اینجا مخارج اینگونه برنامه‌های بررسی در مقابل مخارج کلی پروژه ناچیز است ولی پیامد خرابی آن بسیار شدید خواهد بود. ارزانی و گرانی بیمه هم بر حسب نسبت ریسک به پاداش قابل تجزیه و تحلیل و محاسبه است که در اینجا این نسبت بسیار مناسب است. (مگردچیان، ۱۳۶۹)"

## ۴- اصلاحات پیشنهادی برای برنامه شناسائیهای ژئوتکنیکی ابنیه کوچک در ایران

دلیل اصلی عدم رغبت سازندگان ساختمانهای کوچک به انجام اکتشافات ژئوتکنیکی قبل از ساخت و ساز را میتوان عدم اطلاع کافی آنها از روشهای ساده شناسائی ژئوتکنیکی، متناسب با شرایط پروژه دانست. بعبارت دیگر از آنجا که تلقی عمده کارفرمایان و مجریان این نوع پروژه ها در ایران از کاوشهای ژئوتکنیکی، انواع مرسوم و رایج این آزمونها با ماشین آلات حفر گمانه میباشد و با توجه به اینکه این عملیات مرسوم از قبیل گمانه زنی، نمونه گیری و یا انجام آزمونهای برجا مستلزم صرف هزینه نسبی قابل توجهی در پروژه های کوچک می باشد، عموماً مرحله شناسائیهای تفصیلی ژئوتکنیکی از پروژه حذف میشود. و از آنجا که اکثر داده های کمی و مبانی محاسبات بعدی از این گام بدست می آیند، حذف این گام، عملاً موجب بی اعتبار شدن محاسبات فنی مربوط به پی می شود. بعلاوه نقص ایجاد شده در این برنامه باعث می شود که گامهای دیگر برنامه نیز بخوبی اجرا نگردند. بعنوان مثال گامهای ب و ج تنها به تحقیق در مورد ساختمانهای مجاور محدود شده و بسیاری از داده هایی که میتوانند به سهولت بدست آیند، فراهم نمی گردند.

برای اصلاح این رویه، در این مقاله دو ایده کلی مطرح می گردد:

الف) انجام کامل بازدیدهای محلی با تأکید بر اطلاعات موجود و شرایط خاص ایران

ب) انجام مطالعات تفصیلی بکمک آزمونهای بر جای ارزان قیمت

ایده اول بر این اصل استوار است که " برای عملیات اکتشافی باید حداکثر استفاده از اطلاعات موجود صورت گیرد. مثلاً بررسی نقشه های زمین شناسی و توپوگرافی و همچنین مطالعه گزارش مکانیک خاک ساختمانهای مجاور محل - در صورت وجود - میتوانند کمک موثری به عملیات اکتشافی باشند.

پیشنهادات زیر نیز ارائه می گردد:

- در ساختمانهای کوچک عملیات اکتشافی میتواند به سادگی انجام شود. مثلاً در هر ساختمان معمولاً نیاز به حفر یک یا چند چاه به منظور دفع فاضلاب و .... می باشد. لذا میتوان گمانه ها را بصورت دستی دقیقاً در محل مورد نظر برای چاه فاضلاب حفر کرد.

- وقتی تعداد زیادی ساختمان، در مجاورت زمین مورد نظر وجود دارد، می توان با توجه به ساختمانهای مجاور، در رابطه با باربری زمین طبیعی در محل مورد نظر نتیجه گیری کرد. ولی باید از عدم وجود عوارضی چون قنات یا چاه قدیمی که قبلاً پر شده است و همچنین خاک دستی مطمئن شد. (فاخر، ۱۳۷۴)"

## ۵- آزمونهای بر جای ارزان قیمت

همانگونه که اشاره شد، آزمونهای مرسوم آزمایشگاهی و بر جای ژئوتکنیکی، فرایندهایی نسبتاً پرهزینه در پروژه های کوچک هستند. از اینرو به منظور بدست آوردن داده های کمی از ساختگاه نیازمند روشی جایگزین خواهیم بود. در این مقاله آزمونهای بر جای ارزان قیمت (Low Cost in-situ tests) بعنوان راه حلی جایگزین مطرح می گردند.

آزمون ارزان قیمت را می توان اینگونه تعریف کرد: "آزمون ارزان قیمت، آزمونی است که نیاز به ماشین حفاری یا تجهیزات سنگین نداشته و با نیروی انسانی کم و ساده و نیز ابزار ساده بکار می رود. (حبیبی، ۱۳۸۴)"

ویژگیهای یک آزمون ارزان قیمت را می توان بصورت زیر برشمرد:

الف) قابل حمل بودن

ب) عدم نیاز به سیستم های اندازه گیری الکترونیکی

ج) نیروی انسانی کم و ساده

د) ساده و ارزان بودن ابزار

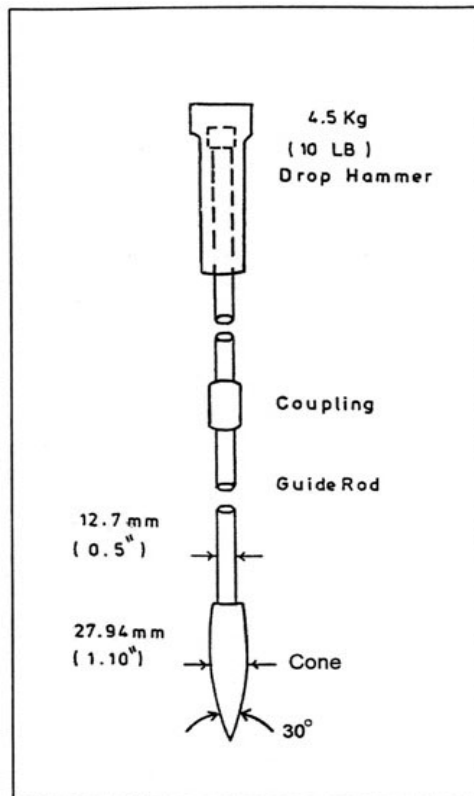
## ۶- سابقه کاربرد در ایران

با توجه به اهمیت آزمونهای برجای ارزان قیمت و نقش آنها در بهینه سازی ابنیه، از سال ۱۳۷۸ برنامه‌های پژوهشی - کاربردی برای ترویج و توسعه توسعه این نوع آزمونها در ایران، در دانشکده عمران دانشگاه تهران به اجرا در آمده است، که در ادامه به آنها اشاره خواهد شد. برنامه فوق‌الذکر در مورد هر یک از این آزمونها شامل گامهای ساخت ابزار در داخل، بررسی امکانپذیری و تکرارپذیری آزمون در خاکهای مختلف، توسعه ابزار و نوآوری در آنها و در نهایت، بکارگیری در پروژه های مختلف عمرانی در داخل کشور، به منظور ترویج آنها بوده است.

## ۶-۱- ابزار مکینتاش

ابزار مکینتاش، یکی از ابزارهای نفوذ دینامیکی بوده و بعضاً آن را نوع کوچک ابزار نفوذ مخروط دینامیکی می‌دانند. این ابزار، یک ابزار سبک، دستی و قابل حمل بوده و آئین‌نامه انگلستان BS 5930 آنرا به عنوان یک ابزار انجام آزمون برجا، به رسمیت می‌شناسد. همانطور که در شکل (۲) دیده میشود، ابزار توسط یک نفر هم قابل استفاده است. وقتی ابزار جمع شده و در جعبه چوبی قرار داده میشود، بسادگی مشابه یک کیف دستی توسط یک نفر قابل حمل میباشد.

مانند هر ابزار نفوذ دینامیکی، این ابزار از سه جزء اصلی چکش، مخروط نفوذ و میله های رابط تشکیل شده است. زاویه نوک مخروط نفوذ  $30^\circ$  و قطر قاعده آن ۲۸mm می‌باشد. یعنی سطح مقطعی معادل  $1/6 \text{ cm}^2$  دارد. ارتفاع این مخروط چیزی در حدود ۱۵cm است. میله‌های ارتباطی دارای قطری معادل ۱۲/۵mm و طولی معادل ۱m می‌باشند. اما در قسمت فوقانی بالاترین میله، چکش ابزار قرار می‌گیرد. وزن چکش ۴/۵kg و ارتفاع سقوط آن ۳۰cm می‌باشد. (شکل ۱).



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۱- ابزار مکینتاش

الف) شمای کلی ابزار. ب) چکش. ج) نوک و مهره اتصال میله های رابط.

برای انجام آزمایش، وزنه چکش را تا حداکثر ارتفاع ممکن (همان ۳۰ cm) بالا برده و رها می‌کنیم. تعداد ضرباتی که باعث ۱۰ cm نفوذ می‌شود را یادداشت می‌کنیم که این همان نتیجه آزمایش در اعماق مختلف (M) است. از این ابزار هم در خاکهای چسبنده و هم در خاکهای غیرچسبنده استفاده می‌شود. اما نتایج تحقیقات (Fakher; Khodaparast 2004) نشان می‌دهد که این ابزار در مواردی که خاک نرم یا شل بوده و نیز تا عمقهای متوسط، نتایج خوبی از خود نشان داده است. بر حسب اطلاع مولفین، از این ابزار اولین بار، در پروژه هائی در جنوب ایران مثل بندر ماهشهر، بندر امامیه در نزدیکی هندیجان و بندر خمیر در سالهای ۱۳۷۸ و ۱۳۷۹ استفاده شد و بعد ها در پروژه های مختلف بکار رفت. (شکل ۲)



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۲- تابزار مکینتاش ساخته شده در ایران

الف) استفاده از ابزار (۱۳۸۴). ب) جعبه چوبی ابزار و میله های رابط. ج) آچار بیرون آورنده لوله ها

## ۲-۶- ابزار نفوذ دینامیکی مخروط (DCP)

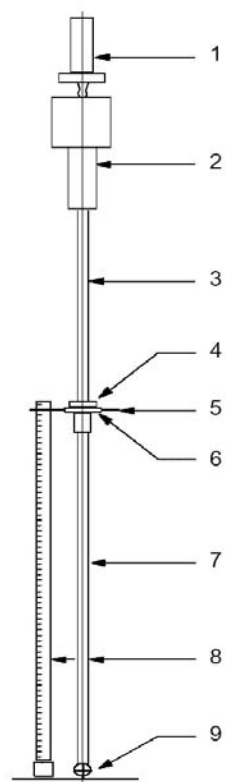
آزمون نفوذ مخروط دینامیکی (DCP) نیز جزء آزمونهای نفوذی دینامیکی بوده و یک آزمون نفوذی ارزان قیمت بشمار می‌آید. این ابزار، سبک، دستی و قابل حمل بوده و روشی بسیار سریع برای اندازه‌گیری و تخمین توالی و ضخامت لایه‌های مختلف و نیز تخمین ظرفیت باربری لایه‌های مختلف می‌باشد

ابداع این وسیله توسط پروفیسور ساورز (Sowers) در سال ۱۹۵۹ صورت پذیرفت. ولی عملاً توسعه دستگاه بصورت امروزی آن و کاربرد آن در اوائل دهه ۱۹۷۰ انجام شد. امروزه این آزمون، یکی از آزمونهای مورد پذیرش ASTM می باشد (ASTM-STP 399).

مانند هر ابزار نفوذ دینامیکی دیگری از سه بخش اصلی چکش، مخروط نفوذ و میله های رابط تشکیل شده است (شکل ۳). در این ابزار از یک چکش ۸ کیلوگرمی استفاده می شود که از ارتفاع ۵۷۵ mm رها می شود. مخروط نفوذ ابزار دارای ارتفاع ۲۰۰mm و حداکثر قطر ۲۰ mm می باشد. زاویه نوک این مخروط  $60^{\circ}$  است و قطر میله های رابط آن ۱۲/۵mm است. جدول ۱ مشخصات ابزارهای مکینتاش و نفوذ دینامیکی مخروط را در مقایسه با یکدیگر نشان میدهد.

ابزار	وزن چکش (Kg)	ارتفاع سقوط چکش (mm)	قطر مخروط (mm)	زاویه نوک مخروط (درجه)	قطر میله های رابط (mm)
مکینتاش (Mackintosh)	4.5	300	27.94	30	12.7
نفوذ دینامیکی مخروط (DCP)	8.0	575	20.0	60	16

جدول ۱- مشخصات اصلی ابزار نفوذ دینامیکی مخروط و ابزار مکینتاش



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۳- الف) شمای کلی ابزار DCP. ب) اجزای ابزار. ج) جعبه ابزار حاوی میله های رابط، چکش و اتصالات.

. این ابزار نیاز به سه اپراتور دارد. یکی برای بلند کردن و رها کردن وزنه ها یکی برای قرائت مقادیر نفوذ و ثبت آن و یکی برای نگه داشتن ابزار. نکته مهم در بکارگیری ابزار، اطمینان از این است که در حین بالا آوردن چکش، ضمن اینکه وزنه تا حداکثر ارتفاع ممکن بلند شده و سپس رها شود، چکش به دستگیره فوقانی برخورد نکند زیرا در اینصورت این ضربه باعث نفوذ معکوس ابزار در خاک و بالا کشیده شدن آن می شود. اپراتور باید اجازه دهد که چکش آزادانه سقوط کند و نباید اجازه دهد که قبل از سقوط آزاد، چکش کمی پائینتر بیاید. در این ابزار پس از هر بار فرود آمدن وزنه، یکبار قرائت انجام می شود. البته اگر نرخ نفوذ کمتر از ۲۰mm به ازای هر ضربه باشد، می توان فرکانس قرائتها را کاهش داد. شکل (۴) بکارگیری ابزار نفوذ دینامیکی مخروط را برای کاوش زمین را نشان میدهد.



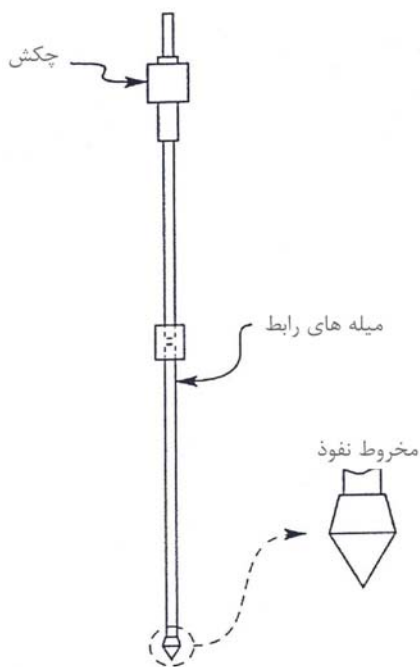
شکل ۴- بکارگیری ابزار نفوذ دینامیکی مخروط برای کاوش زمین

### ۶-۳- کاوشگرهای دینامیکی

این آزمون احتمالاً قدیمی ترین آزمایش نفوذی برای اکتشافات زیرسطحی در پی سازی بوده است. مانند سایر ابزارهای شناسائی دینامیکی از سه قسمت اصلی چکش، مخروط نفوذ و میله های رابط تشکیل شده است (شکل ۵). بخاطر سادگی آزمایش، گونه های متنوعی از آن در ۷۰ سال اخیر در اقصی نقاط جهان مورد استفاده قرار گرفته است. براساس استاندارد DIN ، کاوشگرهای دینامیکی به چهار دسته سبک، متوسط، سنگین و فوق سنگین تقسیم میشوند (جدول ۲).

کاوشگرهای دینامیکی ممکن است بصورت دستی و یا موتوردار ساخته شوند. با توجه به وزن چکش و ارتفاع سقوط چکش در انواع کاوشگرهای دینامیکی، میتوان از کاوشگرهای سبک و متوسط بصورت دستی استفاده کرد. " تحقیقات انجام شده نشان میدهد که میتوان از انواع سبک و متوسط کاوشگرهای دینامیکی بعنوان ابزارهای شناسائی ژئوتکنیکی ارزان قیمت استفاده کرد (خداپرست، ۱۳۸۴)."





(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۵- الف) شمای کلی یک کاوشگر دینامیکی دستی ب) کاوشگر دینامیکی سبک ساخته شده در داخل (خداپرست، ۱۳۸۴) ج) مخروط نوک و نمونه گیر ابداعی برای کاوشگر دینامیکی سبک (خداپرست، ۱۳۸۴)

نوع کاوشگر دینامیکی	سبک (DPL)	متوسط (DPM)	سنگین (DPH)	فوق سنگین (DPSH)
وزن چکش (Kg)	۱۰	۳۰	۵۰	۶۳٫۵
ارتفاع سقوط چکش (mm)	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۷۵۰
قطر مخروط نفوذ (mm)	۳۵٫۷	۳۵٫۷	۴۳٫۷	۵۰٫۵
مساحت قاعده مخروط نفوذ (cm <sup>2</sup> )	۱۰	۱۰	۱۵	۲۰
زاویه نوک مخروط (Degree)	۹۰	۹۰	۹۰	۹۰
قطر میله های رابط (mm)	۲۲	۳۲	۳۲	۳۲

جدول ۲- مشخصات فنی انواع کاوشگرهای دینامیکی

روش انجام آزمایش مانند سایر آزمونهای دینامیکی شامل بالابردن و رهاکردن وزنه بر روی ابزار نفوذ و اندازه گیری تعداد ضربات لازم برای نفوذ به یک اندازه معین می باشد (شکل ۶). براساس استاندارد ارائه شده ، برای سه نوع اول آزمون (سبک، متوسط و سنگین) تعداد ضربه های لازم برای نفوذ ۱۰ سانتی متر و برای نوع فوق سنگین تعداد ضربه های لازم برای نفوذ ۲۰ سانتی متر (M) ، استفاده می شود. در نهایت نموداری پیوسته از تغییرات M در عمق بدست می آید که میتوان بکمک آن مشخصات لایه های خاک را تعیین نمود. سرعت استاندارد اعمال ضربه ها در این آزمون بین ۱۵ تا ۳۰ ضربه در دقیقه می باشد.

"بر اساس تحقیقات انجام شده، این آزمون دارای تکرارپذیری قابل ملاحظه ای می باشد. بدین معنی که اگر این آزمون در دو نقطه با شرایط یکسان انجام شود، نتایج بدست آمده بسیار نزدیک به یکدیگر خواهند بود. (خداپرست، ۱۳۸۴)"



همانطور که در شکل (۶) دیده میشود، استفاده از نوع دستی این ابزار با کمک دو کارگر به سادگی انجام میگردد.

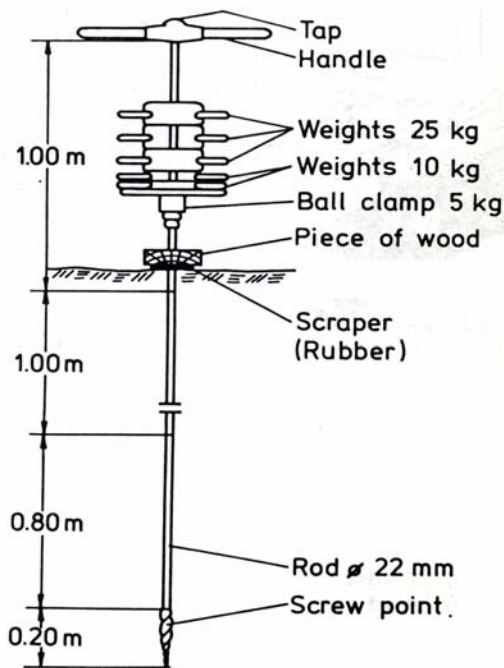


شکل ۶- بکارگیری کاوشگر دینامیکی متوسط در بندر شهید رجایی بندر عباس (۱۳۸۳) (خداپرست، ۱۳۸۴)

#### ۶-۴- ابزار نفوذ وزنی سوئدی (SWST)

آزمون نفوذ وزنی جزء آزمونهای نفوذی استاتیکی است و اساس کار آن بر نفوذ یک میله با سرپیچی که تحت تأثیر وزن قرار میگیرد، استوار است. در حال حاضر آزمون نفوذ وزنی رایجترین آزمون نفوذی در کشورهای اسکاندیناوی می باشد. اولین ابزار مدرن نفوذ وزنی در سال ۱۹۱۵ توسط "ا. اولسن" در کتاب راهنمای منتشر شده توسط راه آهن ایالتی سوئد معرفی شد. این ابزار نفوذ وزنی اولیه در سال ۱۹۱۷ توسط کمیته ژئوتکنیک راه آهن ایالتی سوئد اصلاح شد و تقریباً امروزه از همین ابزار استفاده می شود. اما در سالهای اخیر بیشترین توسعه و کاربرد این ابزار در ژاپن انجام گرفته است. در واقع در دهه اخیر استفاده از این ابزار در ژاپن به شدت افزایش یافته، به گونه ای که "در سال ۲۰۰۱، وزارت زمین، سازه های زیرزمینی و حمل و نقل ژاپن بطور رسمی این روش آزمون را برای تخمین مقاومت برشی مجاز خاکهای زیر سازه های مسکونی توصیه کرده است. (Tsukamoto, 2004)". علاوه بر استفاده های معمول، ژاپنها به وفور از این ابزار برای تخمین پتانسیل روانگرایی استفاده کرده اند.

همانگونه که در شکل (۷) مشهود است این ابزار شامل یک سرته پیچی شکل، تعدادی وزنه (۲ وزنه ۱۰ کیلوگرمی و ۳ وزنه ۲۵ کیلوگرمی) و تعدادی میله رابط به قطر ۲۲mm می باشد. آزمایش نفوذ وزنی در دو گام نفوذ وزنی و نفوذ دورانی انجام می شود. در واقع در صورتی که نفوذ در گام اول صورت نگیرد، نفوذ در گام دوم انجام می شود. در گام نفوذ وزنی، وزنه های روی این ابزار به تدریج از ۵ به ۱۵، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و در نهایت ۱۰۰ kg افزایش می یابند. در واقع در این مرحله از آزمایش به دنبال یافتن وزنه ای هستیم که نرخ نفوذ ثابتی در حدود  $\frac{50}{s}$  ایجاد کند. اما اگر با افزودن وزنه ها تا ۱۰۰kg این میزان نفوذ میسر نشد، شروع به پیچاندن ابزار کرده و تعداد نیم دورهای چرخش لازم برای هر ۲۰ cm نفوذ، یادداشت می شود. در نهایت نتیجه آزمایش در هر عمق یا بصورت وزن لازم برای نفوذ  $W_{WST}$  یا تعداد نیم دورهای لازم برای نفوذ میله  $N_{WST}$  گزارش می شود.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۷- الف) شمای کلی ابزار نفوذ وزنی سوئدی. ب) اجزای ابزار نفوذ وزنی سوئدی ساخته شده در داخل (چشمی، ۱۳۸۴).  
ج) سر پیچی شکل ابزار- ساخته شده در داخل (حبیبی، ۱۳۸۴).



(ب)



(الف)

شکل ۸- الف) مخروط سوئدی ساخته شده در داخل (چشمی، ۱۳۸۴) ب) بکارگیری مخروط سوئدی در بندر شهید رجایی (حبیبی، ۱۳۸۴)

البته لازم به ذکر است، مشخصات فنی ابزار و نیز نحوه ثبت نتایج در آئین نامه های اروپائی و آئین نامه ژاپن کمی با یکدیگر متفاوت است. این تفاوتها در مشخصات ابزار عموماً شامل شکل مخروط نوک و قطر میله های رابط است. "مشخصات فنی نمونه مخروط سوئدی ساخته شده منطبق بر استانداردهای اروپائی (ENV-1997:2000) بوده است. (حبیبی، ۱۳۸۵)"

همانطور که در شکل (۸) دیده میشود، این ابزار با دو نفر نیروی انسانی استفاده میگردد و "استفاده از آن در شرائط بسیار مشکل مثل کف چاهک ها و گالری ها در عمق نیز ممکن است (چشمی، ۱۳۸۵)".

بر حسب اطلاع مؤلفین، این ابزار اولین بار سال ۱۳۸۴، در مطالعات ژئوتکنیکی خطوط سه و هفت متروی تهران، مطالعات نواحی جنوبی تهران و در پروژه توسعه بندر شهید رجائی بکار گرفته شده است. (حبیبی، ۱۳۸۵ و چشمی، ۱۳۸۵)

تحقیقات انجام شده توسط مؤلفین نشان میدهد که "استفاده از این ابزار در انواع خاکهای ماسه ای در شت و ریزتر از آن (حتی ماسه های سیمانی) امکانپذیر بوده و نتایج بدست آمده از آن تکرارپذیری خوبی را نشان میدهند. (حبیبی، ۱۳۸۵)"

## ۷- جایگاه مراجع حقوقی، فنی و آموزشی در بهینه سازی ابنیه کوچک

با توجه به الگوی پیشنهادی برای انجام شناساییهای ژئوتکنیکی ابنیه کوچک، به نظر می رسد مراکز مختلف حقوقی، فنی و آموزشی بتوانند نقش مؤثری را در توسعه فرهنگ استفاده از این الگوها و وضع قوانین مناسب برای جلوگیری از اتلاف منابع ملی، ایفا کنند. وظایف پیشنهادی به شرح ذیل می باشد:

سازمانهای نظام مهندسی: می توانند با ایفای نقش آموزشی- ترویجی خود، فرهنگ استفاده از آزمونهای برجای ارزان قیمت را گسترش داده و به استفاده از این آزمونها عمومیت بخشند.

مراجع قانونگذاری: می توانند با وضع قوانین در زمینه اجباری کردن اکتشافات ژئوتکنیکی برای ابنیه کوچک، به مصرف بهینه منابع و نیروهای انسانی کمک کنند.

مراکز تحقیقاتی و دانشگاهها: می توانند با تعریف پروژههای تحقیقاتی متنوع، زمینه توسعه تئوریک و عملی این آزمونها را فراهم آورند.

## ۸- جمع بندی

- حذف مرحله مطالعات تفصیلی ژئوتکنیکی از پروژه های کوچک، ناشی از عدم اطلاع کافی از روشهای اکتشاف ژئوتکنیکی می باشد. پر واضح است در صورت انتخاب روش مناسب، متناسب با نوع پروژه، امکان کاهش هزینه و اطمینان از ایمنی سازه فراهم میگردد
- برای کاهش هزینه های کاوشهای ژئوتکنیکی و منطقی کردن آنها، می توان از روشهای ارزان شناسایی ژئوتکنیکی مثل بکارگیری ابزار مکنیتاش، نفوذ مخروط دینامیکی و مخروط سوئدی، استفاده کرد.
- هر یک از مجموعه های نظام مهندسی ساختمان، مراجع قانونگذاری و مؤسسات تحقیقاتی، می توانند به بسط و تقویت الگوی پیشنهادی کمک کنند.

## مراجع

- چشمی (1385)، " مطالعه خواص مکانیکی آبرفت تهران براساس آزمونهای متداول و ابزارهای ساده مکانیکی " پایان نامه دکترای زمین شناسی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس، فاخرع (استاد راهنما)، خامه چیان م (مشاور)، در حال انجام- خرداد ۱۳۸۵

- حبیبی م (۱۳۸۳)، "آزمونهای برجای ارزان قیمت"، سمینار کارشناسی ارشد مکانیک خاک و پی دانشکده عمران دانشگاه تهران.
- حبیبی م (۱۳۸۵)، "ساخت، بکارگیری و توسعه ابزار نفوذ وزنی سوئدی برای کاوش زمین"، پایان نامه کارشناسی ارشد مکانیک خاک و پی، دانشکده عمران دانشگاه تهران، فاخرع (استاد راهنما)، در حال انجام- خرداد ۱۳۸۵
- خداپرست م (۱۳۸۴)، "توسعه تکنیکهای شناسائی ژئوتکنیکی خاکها با کاوشگرهای دینامیکی"، پایان نامه دکترای مکانیک خاک و پی، دانشکده عمران دانشگاه تهران، فاخرع (استاد راهنما)
- شکرانی س ح (۱۳۷۹)، "ساخت، بکارگیری و کالیبره نمودن ابزار مکینتاش برای کاوش زمین"، پایان نامه کارشناسی ارشد مکانیک پی، فاخرع (استاد راهنما)، دانشکده عمران دانشگاه تهران
- فاخرع (۱۳۷۴)، "پی سازی"، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران
- معماریان ح (۱۳۷۲)، "زمین شناسی برای مهندسین"، انتشارات دانشگاه تهران.
- مگردچیان آ (۱۳۶۹)، "نقش مهندسی ژئوتکنیک در مهندسی عمران" متن سخنرانی در اولین سمینار بین المللی مکانیک خاک و مهندسی پی ایران.

-Das B M (1990), " Principles of Geotechnical Engineering", PWS-KENT series in engineering.

-Fakher A, Khodaparast M (2004), "The repeatability in results of Mackintosh prob test", ISC-2 on Site Characterisation.

-George KP, Rahim AM (2004), "Dynamic cone penetrometer on estimate subgrade resilient modulus", ISC-2 on Site Characterisation.

-Irvin MC (1983), "In-Situ Testing for Geotechnical Investigations", A.A. Balkema Publishing.

-Ruiter J ED (1988), "Penetration Testing", A.A. Balkema Publishing.

- Sanglerat G (1972), "The Penetrometer and Soil Explorations", Elsevier Scientific publishing.

-Terzaghi K (1978), "Theoretical Soil Mechanics", John Wiley.

-Tsukamoto Y, Ishihara K, Sawada S (2004), "Correlation between penetration resistance of swedish weight sounding test and SPT blow counts in sandy soils", Soils and Foundation Journal Vol. 44, No.3.