2
Chapter

فصل ۲:

کاوش های زیرسطحی

جزوه درس مهندسی پی (کارشناسی عمران)

استاد: عبدالمتین ستایش

@ME2CH

WWW.ME2CH.ROZBLOG.COM

۲-۱ مقدمه

یک پروژه ژئوتکنیکی معمول با بررسی نیاز های پروژه با هدف تعیین خصوصیات مصالح مورد نیاز شروع می شود. در مرحله بعد بررسی های محلی انجام می پذیرد که شامل بررسی ویژگی های خاک، سنگ، گسل ها و سنگ بستر می شود. به طور خلاصه می توان گفت که مطالعات محلی در مهندسی ژئوتکنیک فرآیندی است که طی آن اطلاعات زمین شناسی، ژئوتکنیکی و دیگر اطلاعاتی که ممکن است بر احداث یک سازه یا عملکرد یک ساختمان اثر بگذارد بدست می آید. هدف از بررسی های محلی شناخت ناحیه ای است که سازه مهندسی در داخل یا روی آن احداث خواهد شد. شناسایی ها می تواند شامل ارزیابی خطرات محتمل برای انسان، خطرات طبیعی همانند زلزله ها، زمین لغزه ها، فرونشست ها، روانگرایی، جریان آوار و سنگ لغزه ها باشد.

خاک وسنگ توسط فرآیندهای متعددی و توسط طیف وسیعی از مصالح تولید می شوند. خاک ها وسنگ ها به طور ذاتی بسیار متغییرند و بعضی مواقع خصوصیاتی دارند که از دیدگاه مهندسی جهت احداث سازه نامطلوب تلقی می شود. متاسفانه تصمیم جهت احداث سازه در یک محل خاص اغلب نمی تواند بر پایه تطابق کامل خصوصیات مهندسی آن محل با رفتار سازه اتخاذ شود بنابراین در چنین شرایطی مسائل ژئوتکنیکی مطرح می شوند و نیاز خواهد بود که پارامترهای ژئوتکنیکی محل مورد نظر جهت حل مشکل مذکور بدست بیایند.

بررسی های ژئوتکنیکی را می توان به دو دسته شناسایی های سطحی و شناسایی های زیرسطحی تقسیم نمود. بعضی مواقع از روش های ژئوفیزیکی نیز برای بدست آورن اطلاعات محلی استفاده می شود. شناسایی های زیرسطحی معمولاً شامل نمونه برداری از خاک و آزمون های آزمایشگاهی بر روی نمونه های بدست آمده از خاک می شود. تعیین شرایط زیرسطحی خاک، تهیه نمونه و تعیین خصوصیات فیزیکی خاک و سنگ شامل حفر گودال های آزمایشی، ترانشه ها (به ویژه برای تعیین موقیت گسل ها و صفحات لغزش)، گمانه زنی و آزمایش های درجا می شود.

برای انجام یک کاوش زیرسطحی مفید، مهندس پروژه باید با با ابزار و روش های کاوش آشنا بوده و با درک اثر حفاری و نمونه برداری بر آزمون های آزمایشگاهی وصحرایی، عدم قطعیت های ذاتی موجود در تشخیص شرایط زیرسطحی را در نظر بگیرد. در نقاط دور دست تمام اطلاعات مورد نیاز را می توان از طریق انجام عملیات اکتشافی جدید بدست آورد. در نواحی توسعه یافته، میزان و گستره اکتشاف خاک را می توان با توجه به اطلاعات بدست آمده از سایت های اطراف کاهش داد. نوع عملیات اکتشافی همچنین به میزان زیادی بستگی به نوع و تغییرات خاک دارد.

۲-۲ تعداد و فواصل گمانه ها و عمق مطالعات زیرسطحی

گستره و نوع شناسایی بستگی به پروژه مورد مطالعه دارد. به طور مثال طرح یک جاده روستایی ممکن است نیاز به حفاری تا عمق ۶ متر داشته باشد در حالی که طرح فونداسیون یک ساختمان بلند ممکن است نیاز به شناخت خصوصیات خاک تا عمق ۱۰۰ متر داشته باشد. باید این نکته را یادآور شد که توصیه و فرمول دقیق و عمومی جهت تعیین تعداد و عمق گمانه ها ارائه نشده است و این موارد تابع شرایط و پیچیدگی های خاک محل، نوع پروژه، تجهیزات موجود و در دسترس، تجربیات قبلی و مشابه و در نهایت قضاوت مهندسی می باشد. به طور کلی گمانه ها باید به تعداد و عمقی باشد که پروفیل دقیق و مناسبی از زمین در محدوده اثرگذاری روسازه ارائه دهد. در مطالعات ابتدایی و اولیه، تعداد چاه ها و گمانه ها کم و فواصلشان زیاد است ولی در مطالعات نهایی این تعداد و عمق افزایش خواهد یافت. هرچه فشار وارد از طرف سازه بیشتر باشد (مثلاً افزایش تعداد طبقات ساختمان) فواصل چاه ها و گمانه ها کمتر و عمق آنها افزایش خواهد یافت.

در سازه های خطی مثلاً جاده ها با شرایط یکنواخت زمین، گمانه ها به فواصل ۵۰۰ متر تا ۱۰۰۰ متر برای شرایط طبیعی و هموار کافی است. در سازه هایی چون نیروگاه ها و سدها فواصل ۲۰ تا ۱۰۰ متر متداول می باشد. تعداد بیشتر گمانه ها وقتی لازم است که تغییرات زمین در جهت افقی بیشتر از تغییرات در جهت قائم باشد. حتی در پروژه های کوچک هم یک گمانه کافی نیست حتی اگر پروژه نوع خاصی از سازه عمودی چون برج یا آنتن باشد. حداقل تعداد گمانه ها ۳ مورد بوده و اگر شرایط خاک یکسان ارزیابی شود ممکن است به ۲ مورد نیز کاهش یابد. در یک پروژه ساختمانی ایده آل متمرکز، ۵ گمانه لازم بوده که معمولاً چهار مورد در گوشه ها و یکی در مرکز حفاری می گردد.

طبق توصیه **CFEM, 1992**، در ساختمان های با پلان بزرگتر از $250m^2$ و کمتر از $1000m^2$ ، حداقل ۴ گمانه یا چاه لازم است که اگر زمین مسطح و شرایط خاک عادی باشد و دو گمانه اول شرایط عادی را نشان دهند، ممکن است به سه مورد نیز اکتفا نمود. در ساختمان های با پلان کمتر از $250m^2$ معمولاً سه چاه یا گمانه لازم می باشد.

برای برخی پروژه ها با دانستن موقعیت بارهای متمرکز می توان به یک چاه یا گمانه در زیر فونداسیون مربوط اکتفا نمود. وقتی که اطلاعات کافی از پروفیل زمین اطراف موجود است، استفاده از یک چاه یا گمانه حتی برای پروژه های کوچک نیز به هیچ وجه توصیه نمی شود مگر در مواردی که ستون یا پی منفردی صرفاً برای روسازه خاصی، مثل پایه یک قطعه صنعتی و یا تجهیزات خاص مطرح باشد. در پاره ای موارد، حفاری در یک چاه و یا گمانه ممکن است گمراه کننده بوده مثلاً یک تخته سنگ در مسیر حفاری می تواند به عنوان سنگ بستر تلقی گردد. مضافاً به اینکه وقتی امکانات و تجهیزات حفاری به سایت برده شد تفاوت چندانی در هزینه های دو یا سه مورد گمانه و چاه اضافی مطرح نمی باشد.

توصیه های حداقل قبلی جهت ارائه الگو برای تعداد گمانه ها و چاه ها صرفاً برای مواردی از قبلی سازه های کوچک و یا وقتی که عملکرد مجموعه فونداسیون ها و زمین در پروژه ها بحرانی نیست، می تواند به کار آید. حفاری برای مقادیر کمتر از حداقل توصیه های قبلی باید توام با مبانی تکنیکی قوی، تجارب کارآمد و اطلاعات تخصصی مناسب باشد. تعیین تعداد چاه ها و یا گمانه ها و نیز فواصل آنها برای پروژه های بزرگتر و مهم با پیچیدگی بیشتری توام بوده و بخش عمده ای از وظایف و فرآیند طراحی ژئوتکنیکی پروژه را در بر دارد و نمی توان آن را با یک قاعده ساده پوشش داده و به کل کشور یا منطقه تعمیم داد. بنیان و سیمای بررسی های ژئوتکنیکی و ارائه خدمات مشاوره متعاقب آن متضمن ارائه از طریق مهندس یا مهندسان با تجربه ژئوتکنیک است.

عمق بررسی ها

بررسی های ژئوتکنیکی باید در محدوده ای از عمق انجام گیرد که خاک و یا سنگ آن ناحیه توسط روسازه و یا فرآیند ساخت و ساز تحت تاثیر قرار گیرد. توصیه های ذیل می تواند جهت الگو و راهنما به کار گرفته شوند:

- به عنوان یک قاعده معمول، حداقل عمق چاه و یا گمانه مطالعاتی، عمقی است که افزایش تنش خالص حاصل از بار روسازه در خاک به کمتر از یکی از دو معیار ۱۰٪ مقدار تنش تماسی وارده از کف پی به زمین و یا ۵٪ میزان تنش موثر در خاک، در آن عمق برسد. کاهش در عمق شناسایی حاصل از معیارهای فوق وقتی که به سنگ بستر و یا خاک متراکم و سخت مواجه شویم می تواند مورد ملاحظه قرار گیرد. اگر خاک بستر از نوع رس تحکیم یافته عادی و نشست پذیر باشد ممکن است تغییر حفاری ها و بررسی های عمیق تر بیش از قواعد مربوط به تقلیل تنش تحمیلی به ۱۰٪ و یا برابری آن با ۵٪ تنش موثر مدنظر قرار گیرد. افزایش تنش خالص خاک در عمق باید به ملاحظات خاکریزی و یا خاکبرداری به کار گرفته شده جهت تسطیح در سایت همراه باشد. افزایش تنش در خاک باید با ملاحظه تنش های حاصل از پی های مجاور باشد که ممکن است موجب افزایش تنش در عمق و متعاقباً افزایش عمق حداقل گردند.
- چاه ها و گمانه ها باید تا اعماق پایین تر از نهشته هایی که نامناسب جهت اهداف پی سازی هستند مثل خاکریزها و لایه های ضعیف تراکم پذیر، ادامه یابند.
- حداقل عمق چاه و یا گمانه در پایین ترین قسمت مربوط به سطح پی سازی نباید کمتر از ۶ متر باشد مگر اینکه به سنگ بستر و یا زمین متراکم در اعماق سطحی تر برخورد شود. اگر به سنگ بستر برخورد شود بیش از یک چاه و یا گمانه باید حداقل ۳ متر در آن نفوذ نموده تا اطمینان حاصل شود که سنگ حاصل از نوع تخته سنگ و یا پاره سنگ نیست.
- اگر قرار باشد پی های عمیق از نوع متکی به سنگ بستر باشند، گمانه ها را باید به گونه ای در سنگ عمیق تر ادامه داد تا از امکان وجود لایه ضعیف در زیر لایه سنگی که عملکرد شمع ها را تحت تاثیر قرار می دهد اطمینان حاصل گردد. همچنین اگر به سنگ هوازده برخورد شود، گمانه ها باید تا رسیدن به سنگ غیر هوازده ادامه یابد.
- از آنجا که نوع و طراحی پی ها در شروع عملیات ژئوتکنیک نهایی نشده است، ضروری است که عمق چاه ها و یا گمانه ها بیش از موارد تخمین اولیه در نظر گرفته شده تا بر اثر تغییرات آتی در طراحی های نهایی و یا ساخت و سازها مشکلی بروز نکند.
- همه چاه ها و یا گمانه ها ضرورت ندارد تا یک عمق معینی حفر شوند. چاه ها و گمانه های با عمق متوسط و سطحی تر، معمولاً اطلاعات مناسبی را برای اکثر فونداسیون ها با بارگذاری سبک تا متوسط فراهم نمایند، مضافاً به اینکه رقوم انجام شدن آزمایش های درجا و نمونه گیری ممکن است از گمانه ای به گمانه دیگر متناسب با نیازهای طرح متفاوت باشند.
- پی های گسترده متکی بر شمع ها در رس ها صرفاً جهت کاهش نشست استفاده می شوند. یک روش تقریبی برای تخمین نشست در چنین مواردی استفاده از پی گسترده فرضی در 2/3 ارتفاع شمع هاست که بارها را به صورت بلوکی به عمق منتقل می نماید. بنابراین محدوده افزایش تنش را از عمق فوق به پایین باید در نظر گرفت. در عمل، قاعده فوق ممکن است منجر به اعماق حفاری بزرگ گردد که در این خصوص مهندس مسئول بررسی ها در سایت، می تواند بررسی ها را به عمقی که نشست پذیری تا آن عمق محتمل است محدود نماید.
- اگر سازه هایی در سایت بر اثر فرونشینی به سبب وجود معادن و یا دیگر عوامل احتمالاً تحت تاثیر قرار گیرند، اعماق بیشتر از موارد فوق در بررسی ها ممکن است لازم باشد.
- در مجموع به عنوان یک معیار حداقل و برای پروژه های معمول، مثل ساختمان ها و تانکها و مخازن می توان از اطلاعات جدول ۲-۱ جهت الگوبرداری استفاده نمود.

جدول ۲–۱ دستورالعمل کلی جهت تعیین تعداد و عمق گمانه برای ساختمان ها (Coduto, 2003)

شرایط زیرسطحی	سطح زیر پی جهت حفر یک گمانه (m^2)	عمق حداقل حفاری
ضعیف	100 - 300	$6S^{0.7} + D_f$
متوسط	200 – 400	$5S^{0.7} + D_f$
مناسب و خوب	300 - 1000	$3S^{0.7} + D_f$

S = تعداد طبقات ساختمان و D_f = عمق پیش بینی شده استقرار پی

۲–۳ انواع دکل های حفاری:

برای طرح و اجرای یک برنامه مطالعاتی از زیر سطح زمین نیاز به دانش جامعی از ابزار و روش های حفاری داریم. اکثر اکتشافات زیرسطحی با استفاده از دکل های حفاری با انواع و اندازه های مختلف انجام می شوند. دکل های حفاری را می توان به چهار دسته زیر طبقه بندی نمود:

۱. جاده ای
۲. صحرایی
۳. آبی
۴. سبک قابل حمل

دکل های حفاری جاده ای:

دکل های حفاری جاده ای که رایج ترین نوع دکل می باشند در روی کامیون نصب شده و این کار باعث قابلیت جابجایی بالا و حداقل زمان برپا سازی آن می شود. از دکل های حفاری برای سایت هایی استفاده می شود که نسبتاً مسطح بوده و دسترسی به آن ها راحت است (شکل ۲-۱).

دکل های حفاری صحرایی:

از دکل های حفاری صحرایی زمانی استفاده می شود که دسترسی به محل به طور غیر معمولی دشوار است. معمولاً این دکل های حفاری بر روی کامیون های چرخ لاستیکی یا چرخ زنجیری نصب می شوند. اگر دکل حفاری صحرایی نتواند مستقیماً به سایت دسترسی پیدا کند، ممکن است لازم شود که آنرا با استفاده از هلیکوپتر به محل حمل نمود (شکل ۲-۲).

دکل های حفاری آبی:

برای اکتشاف خاک در زیر آب باید از دکل های حفاری آبی استفاده نمود. بعضی از دکل های حفاری بر روی کرجی هایی مخصوص نصب می شوند به طوری دکل حفاری در مرکز قرار گرفته و گمانه زنی از طریق حفره ای در عرشه انجام می شود (شکل ۲-۳).

دکل های حفاری سبک قابل حمل:

دکل های حفاری قابل حمل را می توان بر روی ماشین نصب نموده و یا به صورت دستی مورد استفاده قرار داد. بسته به شرایط زیرسطحی، این دکل ها معمولاً دارای محدوده عمق ۷ متر بوده و زمانی از آن ها استفاده می شود که دسترسی به محل توسط دکل های صحرایی غیر ممکن بوده و هزینه استفاده از هلیکوپتر دارای توجیه نمی باشد (شکل ۲-۴).

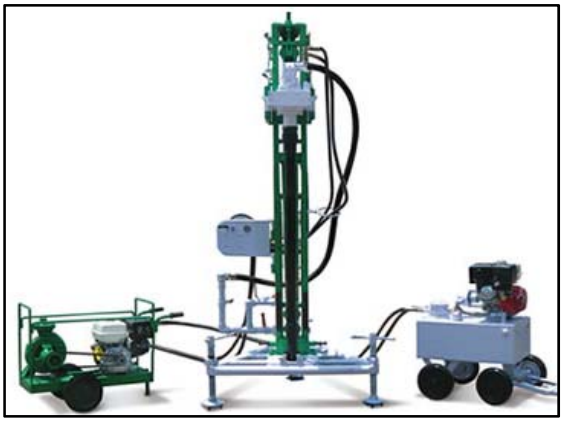
نکته:

- در هر برنامه حفاری، اولین گام، کنترل تمام تجهیزات و موانع زیرزمینی و دریافت مجوز از حفاری از مراجع قانونی می باشد. بدون داشتن مجوز هیچگونه حفاری در هیچ جایی نیابد انجام پذیرد.
- پس از اینکه دکل در روی موقعیت محل گمانه قرار داده شد، دیرک حفار دستگاه برافراشته شده و پس از مهار، دکل حفاری تراز می شود. در صورتی که دکل تراز نشده باشد، گمانه زاویه دار شده و باعث ایجاد مشکلات بسیار در حفاری و نمونه برداری می گردد علاوه بر اینکه باعث بدست آمدن نیمرخ غیر دقیقی از خاک می شود.

شکل ۲–۱ دکل حفاری جاده ای

شکل ۲–۲ دکل صحرایی صحرایی

شکل ۲–۳ دکل حفاری آبی



شکل ۲–۴ دکل حفاری سبک قابل حمل

۲–۴ انواع روش های حفاری و گمانه زنی:

روش های گمانه زنی بسیاری توسعه پیدا نموده اند اما مهمترین آنها که در اینجا مورد بحث قرار می گیرد عبارتند از:

۱. حفاری با مته حلزونی پیوسته تو پر
۲. حفاری با مته حلزونی پیوسته تو خالی
۳. حفاری دورانی با آب یا آبشویی
۴. حفاری به روش مغزه گیری
۵. حفاری با اوگر باکت (جام حفار)
۶. حفاری پرکاشن
۷. حفاری های دستی، ترانشه ها و چاه ها

هدف اصلی در تمام روش های گمانه زنی، بدست آوردن نمونه های شاهد از لایه های زیرسطحی در اعماق مختلف است. هر یک از این روش های حفاری برای شرایط مختلفی از خاک و سنگ مناسب هستند و بنابراین در هر پروژه بیش از یک روش ممکن است مورد نیاز باشد.

حفاری با مته حلزونی پیوسته توپر

حفاری با مته حلزونی توپر، ساده ترین روش گمانه زنی است که تنها دارای دو مولفه پایه است: **سرمته حفار** و **مته حلزونی** (شکل ۲-۵-الف). سرمته در نوک ساقه مته حفار قرار گرفته که خود ساقه از حلزونی های مجزایی تشکیل شده که به یکدیگر متصل شده اند. هنگام دوران، سرمته خاک را شل نموده و بریده و حلزونی ها خاک را به بالای گمانه منتقل می نمایند. حلزونی ها معولاً ۱/۵ متر طول داشته و قطر خارجی آن ها از ۱۰سانتی متر تا ۳۵ سانتی متر متغییر است (شکل ۲-۵-ب). سرمته ها، حلزونی ها و قسمت سر مته از اتصالات نری و مادگی استفاده شده و توسط پین به یکدیگر مهار می شوند.

(الف) مته حلزونی و سرمته

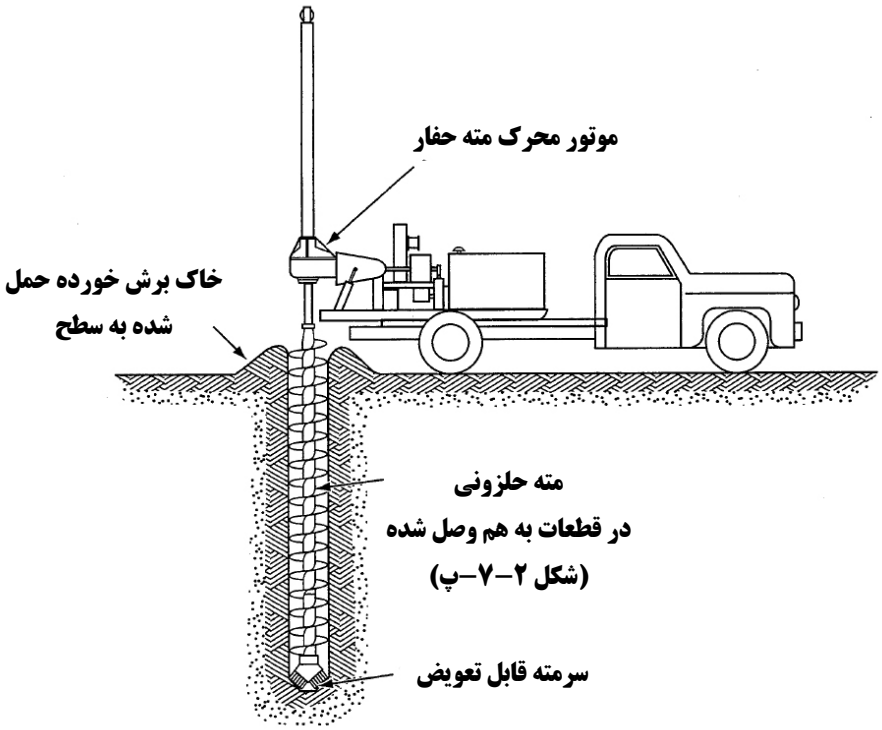
(ب) مته حلزونی در قطرهای مختلف

شکل ۲–۵ مته حلزونی پیوسته تو پر

پیشروی مته در داخل گمانه توسط نیروی هیدرولیکی همزمان با دوران مته و سرمته در داخل خاک انجام می گیرد (شکل ۲-۶). در صورت نیاز حلزونی ها به سیستم اضافه می شوند. با رسیدن به عمق نمونه برداری گمانه از قطعات خرد شده خاک تمیز شده و اوگر و سرمته توسط کابل بیرون آورده می شوند. سپس وسیله نمونه برداری به داخل حفره گمانه فرستاده می شود تا از کف گمانه نمونه گیری نماید. پس از اتمام نمونه برداری، سرمته و حلزونی های اوگر به داخل گمانه رانده شده و پس از اتصال به سرصفحه، حفاری از سر گرفته می شود.

حفاری با مته حلزونی پیوسته توخالی

حفاری با مته مارپیچی توخالی همانند حفاری با مته توپر است زیرا در هر دو مورد پیشروی در خاک توسط مارپیچ های مته انجام شده و خاک توسط آنها به بیرون رانده می شود. تفاوت اصلی همانطور که در شکل سمت راست ۲-۷-الف نشان داده شده است این است که مارپیچ ها توخالی هستند. این کار اجازه می دهد که با فرستادن نمونه گیر از داخل ساقه مته به پایین نمونه گیری انجام شده و نیازی به خارج کردن اوگر از داخل گمانه نباشد. در شکل ۲-۷-ب تجهیزات پایه اوگر توخالی نشان داده شده است. سرمته داخلی به میله های حفار متصل شده که این میله ها در داخل ساقه توخالی قرار گرفته اند و سرمته دیگر به انتهای اوگر اصلی متصل می شود. هنگام حفاری سرمته های داخلی و خارجی به همراه یکدیگر چرخیده و خاک را در کف گمانه برش داده و سست می نمایند. خاک های برش خرده توسط مارپیچ ها به بالای گمانه منتقل می شوند.



شکل ۲–۶ مکانیزم حفاری با مته مارپیچ (توخالی و توپر)

(الف) مقایسه مته حلزونی توپر و توخالی

(ب)

(پ) اتصال مته های حلزوتی توپر جهت افزایش طول

(ت) حفاری با مته های حلزونی حین اجرا

شکل ۲–۷ مته حلزونی پیوسته توخالی

برای نمونه گیری، اتصالات میله حفار برداشته شده و میله های حفار مرکزی از داخل گمانه بیرون کشیده می شوند. سپس نمونه گیر به انتهای میله حفار متصل شده و برای نمونه گیری به کف گمانه فرستاده می شود. پس از نمونه گیری سرمته مرکزی بار دیگر به میله های حفار متصل شده و با فرستادن آن به داخل گمانه، حفاری از سر گرفته می شود.

مزیت اصلی اوگرهای توخالی نسبت به توپر این است که میله های حفار مرکزی را می توان در هر زمانی جهت انجام نمونه گیری دست خورده، دست نخورده یا مغزه گیری از داخل گمانه خارج نمود. همچنین گمانه توسط مارپیچ های اوگر حفاظت شده و احتمال فروریزش حفره گمانه از بین می رود. این مسئله حفاری با اوگرهای توخالی در ماسه های قرار گرفته در زیر تراز آب را نیز ممکن می سازد.

حفاری دورانی با آب یا آبشویی

حفاری آبشویی دورانی یا حفاری دورانی با گل با روش های حفاری پیوسته با مته های مارپیچ کاملاً متفاوت است. اصل بنیادی در این نوع حفاری این است که گل حفاری که مخلوطی از آب و بنتونیت است با گردش در داخل گمانه قطعات خرد شده خاک را به سطح منتقل نموده و در عین حال جداره های گمانه را محافظت می نماید. برای حفاری، سرمته به یک سری میله حفار که به سرصفحه حفار متصل شده وصل می گردد. میله های حفاری که دارای قطر خارجی ۵/۱۶ ۱ اینچ تا ۳/۵ اینچ است توسط یک سری اتصالات به یکدیگر متصل می شوند. تعدادی ازسرمته های رایج در حفاری دوارنی در شکل ۲-۸ نشان داده شده اند.

شکل ۲-۸

شکل ۲-۹

یکی از مهمترین تفاوت ها در سرمته ها این است که آیا آنها دارای تخلیه رویی یا جانبی هستند. سرمته های با تخلیه رویی، گل حفاری را مستقیماً از طریق سرمته حفاری به کف گمانه تخلیه می نمایند. این تخلیه با فشار می تواند باعث بهم خوردن یا فرسایش خاک در کف گمانه شود. سرمته های با تخلیه جانبی، که گل حفاری را از طریق جداره ها تخلیه می نمایند معمولاً ترجیح داده می شوند زیرا خاک کف گمانه را کمتر دستخورده می نمایند. گل حفاری ترکیبی از آب و بنتونیت است که باعث ایجاد دوغابی با چگالی اندکی بیشتر از آب می شود. این چگالی بیشتر، از ته نشینی قطعات خرد شده خاک در کف گمانه جلوگیری نموده و به حذف راحت آن ها کمک می نماید. بسیار مهم است که دوغاب غلظت مناسبی داشته باشد زیرا اگر بسیار غلیظ باشد باعث انسداد لوله پمپ شده و در صورتی که کم مایه باشد باعث برجا ماندن قطعات خرد شده خاک در کف گمانه خواهد شد. گل حفاری همچنین جداره گمانه را محافظت نموده و بنابراین گمانه بدون غلاف در ماسه قرار گرفته در زیر تراز آب نیز می تواند پایدار بماند.

مولفه های متعددی در سیستم گردش گل حفاری وجود دارد (شکل ۲-۹). گل توسط یک پمپ مکیده شده و سپس با فشار از داخل لوله حفاری به سمت پایین رانده می شود. پس از تخلیه از طریق سرمته، گل حفاری قطعات خرد شده خاک را با خود از حد فاصل جداره گمانه و میله حفاری به سمت بالا حمل می نماید. در بالای گمانه گل حفاری پس از عبور از یک سرند به داخل مخزن گل یا حوضچه آرامش ریخته می شود.

مخزن گل دارای اجزایی متعددی است که به قطعات خرد شده خاک اجازه ته نشین شدن را می دهد. در انتهای دیگر مخزن ، پمپ بار دیگر گلی که اکنون عاری از قطعات خرد شده خاک است را برای استفاده مجدد به جریان می اندازد. گل حفاری همچنین با خنک کردن سرمته از سایش بیش از حد آن جلوگیری می کند. بررسی و ثبت هرگونه تغییرات در رنگ و غلظت خاک هایی که همراه با گل به داخل مخزن وارد می شوند بسیار مفید است. چنین تغییراتی در گل حفاری می تواند نشان دهنده تغییرات در لایه بندی خاک باشد. اپراتورهای دستگاه همچنین می توانند تغییر در لایه بندی خاک را با مشاهده تغییرات در تلاش دستگاه برای نفوذ در خاک تشخیص دهند.

افت ناگهانی در گل حفاری می تواند نشان دهنده وقوع شکست هیدرولیکی یا برخورد با یک لایه درشت دانه با زهکشی آزاد باشد. این نوع اطلاعات می تواند مکمل نمونه های مجزای بدست آمده شده و به تفسیر لایه بنده زیرسطحی کمک نماید. هنگام حفاری به روش دورانی با گل حفاری در خاک های بدون چسبندگی یا خاک های با قابلیت فرسایش زیاد، از یک غلاف بیرونی برای ایجاد یک سیستم گردشی بسته استفاده می شود. غلاف همزمان با حفاری تا رسیدن به یک خاک متراکم غیر فرسایشی یا سنگ به داخل رانده می شود تا یک سیستم چرخشی بسته ایجاد نماید.

نکته:

به طور کلی حفاری دورانی با گل حفاری از روش های دیگر سریع تر بوده و معمولاً منجر به دستخوردگی کمتری در نمونه های بدست آمده می شود اما این روش سختی هایی در لایه های شن و قلوه سنگ دارد زیرا سیال حفاری ممکن است به صورت آزاد در داخل این لایه ها زهکش شده و یا اینکه فرآیند حفاری ممکن است نتواند ذرات درشت را خرد نموده و آن ها را از داخل گمانه بیرون آورد. در حالت دوم سرمته و ساقه ممکن است در داخل گمانه گیر نماید. با وجود این مشکلات، حفاری آبشویی دورانی معمولاً عملکرد بهتری در نهشته های شنی نسبت به حفاری با اوگر توپر یا توخالی دارد.

حفاری به روش مغزه گیری

مغزه گیری از سنگ یا خاک های خیلی سخت مشابه حفاری دورانی آبشویی است با این تفاوت که نمونه گیری و حفاری می توانند همزمان انجام شوند. برای انجام حفاری و نمونه برداری به طور همزمان، یک کور بارل یا مغزه گیر (شکل ۲-۱۰) در انتهای میله حفار با سرمته دورانی جایگزین می شوند.

همزمان با چرخش مغزه گیر و حرکت آن به سمت پایین، سرمته یک مقطع حلقه ای از خاک یا سنگ را برش می دهد. این مقطع که مغزه نام دارد (شکل ۲-۱۱) به داخل محفظه داخلی حرکت نموده و توسط گردش سیال در برابر فرسایش احتمالی محافظت می شود. هنگامی که محفظه مغزه گیر پر شد، حفاری متوقف شده و محفظه مغزه گیر از داخل گمانه بیرون آورده می شود.

با باز نمودن محفظه مغزه گیر یک نمونه پیوسته از خاک یا سنگ بدست می آید. این نمونه اندازه گیری و شناسایی شده و در جعبه های مخصوص نگهداری می شود (شکل ۲-۱۲). پس از مونتاژ مجدد، مغزه گیر به داخل گمانه فرستاده شده و حفاری و نمونه بردار بار دیگر از سر گرفته می شود.

سرمته های مغزه گیر دارای سه نوع اصلی هستند: این سرمته ها به ترتیب از چپ به راست (شکل ۲-۱۳) عبارتند از الماسی، کاربیدی و اره ای. سرمته های الماسی متنوع ترین هستند زیرا قادر به تهیه مغزه های با کیفیت از مصالح مختلف از خاک سخت یا بسیارمتراکم تا سنگ سخت تهیه نمایند. سرمته ها در شکل ها و اندازه های متنوعی عرضه می شوند و هریک مناسب شرایط خاصی هستند.

نکته:

مغزه های بدست آمده از سنگ می توانند به طور قابل توجهی در اثر فرآیند مغزه گیری شکسته شده و آسیب ببینند. عدم توانایی در تشخیص شکستگی های طبیعی و شکستگی های ایجاد شده در اثر حفاری در گزارش حفاری می تواند منجر به تفسیر کاملاً اشتباهی از خصوصیات توده سنگ شود. تغییر در تجهیزات و روش های حفاری به طور چشمگیری می تواند در بسیاری شرایط باعث بهبود کیفیت مغزه استخراجی و درصد مغزه سالم شود و این تغییرات باید در گزارش حفاری ثبت شود.

شکل ۲–۱۰ کور بارل مغزه گیر

شکل ۲–۱۱ مغزه گیری از سنگ

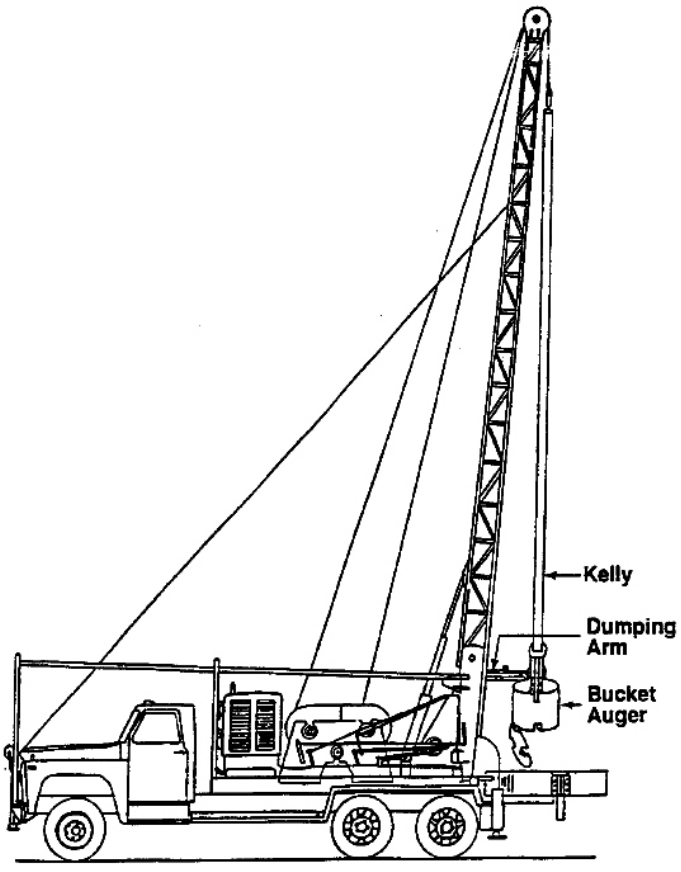
شکل ۲–۱۲ جعبه نگهداری مغزه های سنگی

شکل ۲–۱۳ سرمته های مغزه گیر

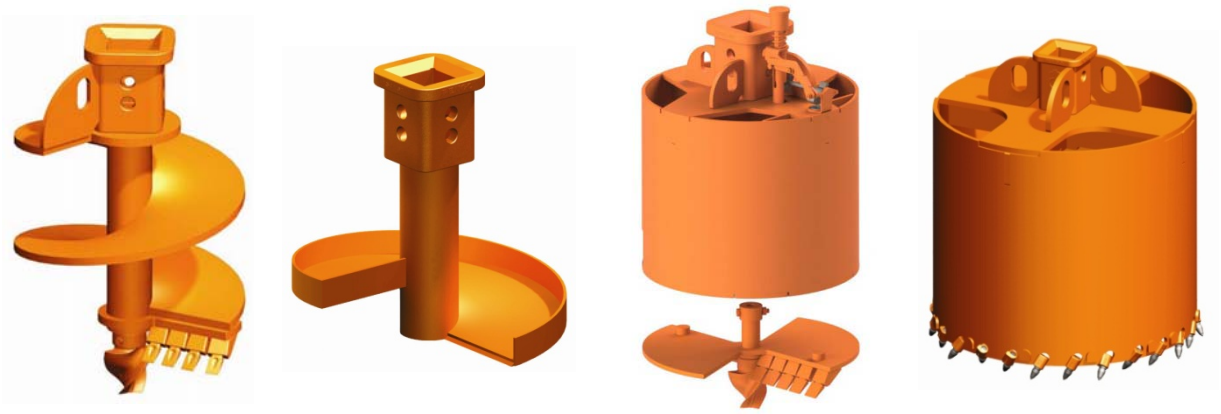
حفاری با اوگر باکت (جام حفار)

از جام های حفار زمانی استفاده می شود که بخواهیم حجم زیادی از خاک های دستخورده به عنوان نمونه تهیه نموده و یا بخواهیم برای انجام مشاهدات و اندازه گیری ها وارد گمانه شویم. به طور مثال پروژه هایی که مسائل پایداری شیروانی دارای اهمیت است. در چنین شرایطی معمولاً بوسیله جام هایی به قطر **600mm** تا **1200mm** بسته به شرایط، محورهایی در داخل خاک حفر می شود. در شکل ۲-۱۵-ب یک جام اوگر متداول نشان داده شده است. طول جام معمولاً بین ۶۰۰ تا ۹۰۰ میلیمتر بوده و در واقع استوانه ای است که بالای آن باز بوده و در قاعده آن یک یا چندین شکاف قرار دارد چنانکه همزمان با چرخش جام، خاک را به داخل آن می راند. در محل شکاف ها در قاعده جام، دندانه های تیز با لبه های برنده ای وجود دارد که مصالح در حال حفاری را همزمان با چرخش خرد می نماید.

با چرخش جام حفار و دندانه های برنده آن در کف جام حفاری به پیش می رود. همانطور که در شکل ۲-۱۴ نشان داده شده است، جام حفار به انتهای شفت دکل حفار متصل شده است. این شفت اساساً تشکیل شده است از دو تا چهار لوله فولادی که به صورت تلسکوپی در داخل یکدیگر قرار گرفته اند. پس از حفر خاک، جام از داخل گمانه خارج شده و مصالح داخل آن در نزدیکی دکل حفار تخلیه می شود. جام های حفر معمولاً سوار بر کامیون یا چرخ زنجیری هستند. در بعضی شرایط خاص همچون حفاری در روی شیب های تند یا در فضای کم، می توان مدل های سوار بر شاسی هم استفاده نمود. بسته به اندازه دکل و شرایط زیرسطحی، از جام های حفار معمولاً برای حفاری تا عمق ۳۰ متر یا کمتر استفاده می شود. هرچند دکل های بزرگ با قابلیت حفر تا عمق ۶۰ متر یا بیشتر هم موجود هستند.



شکل ۲–۱۴ حفاری با جام حفار (اوگر باکت)



(الف) جام اوگر مغزه گیر (کربارل) (ب) جام اوگر ترکیبی (پ) اوگر الحاقی پره ای (ت) اوگر مخصوص سنگ نرم

شکل ۲–۱۵ انواع جام و اوگر های ویژه الحاقی

به جز ماسه های ریزشی، از جام های حفار می توان در اکثر خاک ها و سنگ بستر نرم تا سخت استفاده نمود. در زیر تراز آب هم در صورتی که مصالح سخت بوده و مستعد ریزش و یا نفوذ آب نباشند می توان حفاری نمود. در این حالت ها حفاری را می توان با پرکردن آب یا گل حفاری ادامه داد. این گل حفاری یا آب با ایجاد هد مثبت باعث کاهش تمایل دیواره ها به فروریزش و ناپایداری می شود.

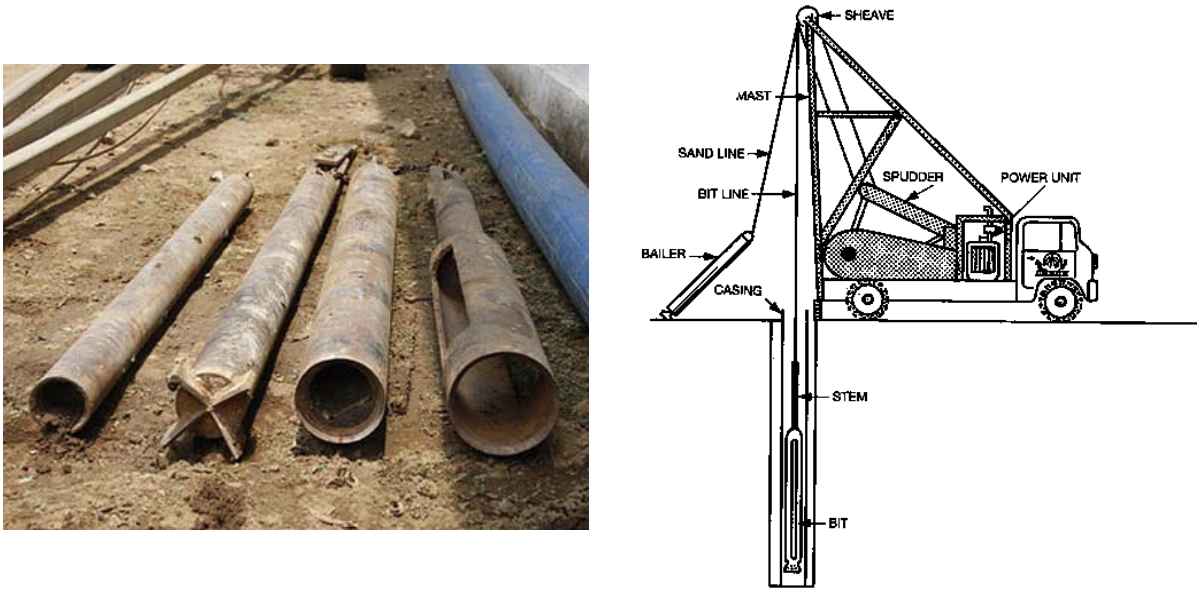
حفاری با جام اوگر مخصوصاً برای حفاری در مصالح حاوی شن و قلوه سنگ مناسب است زیرا جام حفار اغلب در هنگام دوران باعث از جا در آمدن قلوه سنگ ها می شود. همچنین از آنجایی که پس از هر نفوذ ۳۰ تا ۶۰ سانتی متری، جام خالی می شود، تهیه نمونه های با حجم زیاد برای بعضی مطالعات زیرسطحی خاص همانند مطالعه کیفیت مصالح بسیار مفید است.

در مصالح سخت (مصالح سمنته شده یا سنگ های که از حجم جام بزرگتر بوده و وارد آن نمی شوند) از جام های خاص یا تجهیزات الحاقی ویژه جهت حفاری استفاده می شود. به طور مثال:

- جام های مغزه گیر که اساساً لوله های فولادی بازی هستند که دارای دندانه های کاربیدی برنده در طول لبه لوله هستند. از این جام ها جهت مغزه گیری در مصالح سخت استفاده می شود (شکل ۲-۱۵-الف).
- جام های سنگی که دارای دندانه های سخت بزرگ و بازشدگی های عریض جهت جمع آوری مصالح خورد شده هستند.
- لوله های تک ساقه خورد کننده که به انتهای شفت دوار وصل شده و با سقوط از ارتفاع باعث خورد شدن سنگ می شوند.
- کلم شل (جام های صدفی) که از آنها برای جمع آوری قلوه سنگ ها و قطعات خورد شده از ته گمانه استفاده می شود.

- **حفاری به روش پرکاشن**

گمانه زنی پرکاشن روش دیگری برای حفاری گمانه ها، به خصوص در لایه های سنگی و یا خاک سخت است. در این روش با بلند و رها کردن یک سرمته سنگین، ته گمانه خرد شده و محصولات حفاری با تزریق آب به سطح زمین آورده می شود. در این روش هم گاهی استفاده از غلاف لازم است. اجزاء تشکیل دهنده این روش در شکل ۲-۱۶-الف و تعدادی از سرمته های مورد استفاده در این روش در شکل ۲-۱۶-ب نشان داده شده است.



(ب) **(الف)**

شکل ۲–۱۶ حفاری به روش پرکاشن

۲–۵ انواع روش های نمونه برداری:

با نمونه برداری از خاک می توان خصوصیات خاک در نقاط مختلف را ارزیابی نمود. انتخاب نوع روش نمونه برداری بستگی به استفاده مورد نظر از نمونه های خاک دارد. اندازه گیری خصوصیات مهندسی همانند مقاومت، سختی، تراکم پذیری یا نفوذپذیری می تواند به میزان زیادی بر دستخوردگی نمونه تاثیر بگذارد ولی زمان و هزینه با کاهش دستخوردگی نمونه به سرعت افزایش می یابند بنابراین در بعضی مواقع ترجیح داده می شود که برای انجام عملیات اکتشافی اولیه، نمونه های با کیفیت و هزینه کمتر اخذ گردد. بر مبنای اطلاعات بدست آمده از چنین نمونه هایی با کیفیت پایین، لزوم انجام نمونه گیری های دقیق تر را می توان بررسی نمود.

در هنگام انجام اکتشافات زیرسطحی دو نوع نمونه خاک می توان اخذ نمود: نمونه های دستخورده و دست نخورده. **یک نمونه دستخورده حاوی مصالح درجا با نسبت های مناسب است اما آنقدر دستخورده است که آزمون های آزمایشگاهی انجام یافته برای بدست آوردن خصوصیات مهندسی نمی تواند نشان دهنده شرایط درجای خاک باشد.**

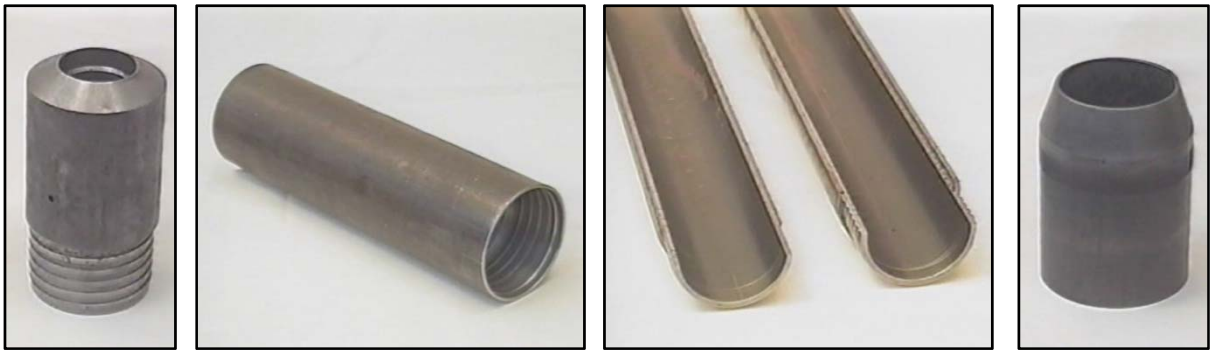
از نمونه های دستخورده می توان برای انجام آزمایش های آزمایشگاهی زیر استفاده نمود:

۱. آزمایش دانه بندی
۲. تعیین حدود روانی و خمیری و درصد رطوبت
۳. چگالی دانه ها
۴. تعیین میزان مواد آلی
۵. طبقه بندی خاک

از نمونه های دستخورده نمی توان برای انجام آزمایش های تحکیم یا مقاومت برشی استفاده کرد. برای چنین آزمایش هایی باید نمونه دست نخورده اخذ شود.

نمونه گیری با استفاده از نمونه گیر قاشقی

نمونه گیر قاشقی دو نیمه که به آن نمونه گیری لوله ای دو نیمه یا نمونه گیر محفظه ای دو نیمه نیز می گویند رایج ترین وسیله نمونه گیری از خاک است. نمونه گیری قاشقی دو تکه یک نمونه گیر جدار ضخیم است که تنها نمونه های دست خورده بدست می دهد. نمونه گیر قاشقی تشکیل شده است از یک کفشک، غلاف فولادی دو تکه، یک غلاف صلب رزوه دار و کلاهک نمونه گیر (شکل ۲-۱۷). هنگامی که کفشک فولادی نوک تیز و غلاف فولادی صلب باز می شوند، دو نیمه نمونه گیر قاشقی را می توان از هم جدا نموده و نمونه را به راحتی بیرون آورد.



(الف) (ب) (پ) (ت)

شکل ۲-۱۷ اجزاء نمونه گیری قاشقی (الف) کفشک (ب) غلاف دو تکه (پ) غلاف صلب (ت) کلاهک نمونه گیر

معمولاً نمونه گیرهای قاشقی دونیمه با قطرهای داخلی متغییر از ۳/۵ سانتی متر تا ۱۱/۵ سانتی متر و طول های استاندارد از ۴۵ تا ۷۵ سانتی متر موجود هستند (شکل ۲-۱۸). در عمل نمونه گیر قاشقی دو تکه با قطر خارجی ۵ سانتی متر و قطر داخلی ۳/۵ سانتی متر و طول ۶۰ سانتی متر رایج ترین نمونه گیر است.

برای نمونه گیری، نمونه گیر قاشقی به یک سری میله متصل شده و به ته گمانه فرستاده می شود. میله حفار فوقانی به یک چکش که نمونه گیر را به داخل خاک می راند متصل می شود. از بین انواع مختلف چکش ها رایج ترین انواع چکش های پتکی هستند که خود دارای انواع دستی و مکانیکی می باشد. حفار، چکش پتکی را با کشیدن طنابی که دور یک استوانه فلزی یا لنگربند حلقه شده بلند می کند. با کشیدن طناب، اپراتور دستگاه با استفاده از اصطکاک بین طناب و لنگربند، چکش را به بالا می کشد. با رها کردن طناب، چکش به پایین سقوط کرده و بنابراین اصطکاک بین طناب و لنگربند را کاهش می دهد. چکش مکانیکی نیز همین عملکرد را به صورت مکانیکی انجام می دهد.

پس از اینکه نمونه گیر از داخل گمانه بیرون کشیده شد، مهندس نمونه گیر قاشقی را باز نموده و خاک را بررسی و طبقه بندی می نماید. نمونه سپس در محفظه هایی مثل شیشه های سرگشاد عایق ذخیره شده و جهت انجام آزمایش به آزمایشگاه فرستاده می شود (شکل ۲-۱۹). اگر نمونه گیر قاشقی حاوی دو یا چندین نوع خاک مختلف باشد، هر نوع خاک باید به صورت مجزا ذخیره شود در غیر اینصورت ممکن است با یکدیگر ادغام شده و منجر به وقوع اشتباه در آزمایشگاه شود. اگر هرگونه مشکلی در اخذ یک نمونه کامل وجود داشته باشد، می توان یک مغزه قاپ پلاستیکی یا سیمی به نمونه گیر قاشقی متصل نمود. برای حفظ بهتر نمونه ها می توان آسترهایی از جنس برنج، فولاد ضد زنگ یا پلاستیک در داخل بعضی از نمونه گیرهای قاشقی تعبیه نمود.

شکل ۲–۱۸

شکل ۲–۱۹

نمونه گیری با استفاده از نمونه گیر جدار نازک شلبی

نمونه گیرهای جدار نازک شلبی معمولاً برای بدست آورده نمونه های با کیفیت یا نسبتاً دستنخورده استفاده می شوند. نمونه دستنخورده نمونه ای است که با روش های نمونه گیری طراحی شده جهت حفظ ساختار طبیعی مصالح بدست می آیند.

این نمونه ها جهت انجام آزمایش های برش، تحکیم و نفوذپذیری و همچنین تمام آزمایش هایی که روی نمونه های دستخورده انجام می شوند مناسب هستند. گرچه بدون توجه به روش نمونه گیری مورد استفاده مقداری دستخوردگی در نمونه اجتناب ناپذیر است و بنابراین واژه دستنخورده تنها اصطلاحی نسبی است.

لوله های جدارنازک شلبی در قطرهای ۲ تا ۳ اینچ و طول معمول ۳۰ اینچ موجود بوده و از فولاد گالوانیزه، فولاد ضد زنگ یا فولاد با پوشش اپوکسی ساخته می شوند (شکل ۲-۲۰). لوله های با قطر بسیار بزرگتر ممکن است مشکل استخراج نموده داشته باشند.

شکل ۲–۲۰ نمونه گیر شلبی در قطرهای مختلف

شکل ۲–۲۱ آب بند کردن نمونه های دستنخورده شلبی

انتهای تحتانی لوله جدار نازک با ایجاد یک سطح اریب، نوک تیز شده و قطر نمونه گیر را به مقدار ناچیزی کاهش داده است. انتهای فوقانی توسط چهار پیچ هشت وجهی و یک واسط به میله حفاری متصل شود. برای نمونه گیری، لوله شلبی به انتهای میله حفاری متصل شده و به داخل گمانه فرستاده میشود. نمونه گیر پس از قرار گرفتن در کف گمانه با فشار به اندازه ۵ اینچ کمتر از طول لوله شلبی به داخل خاک رانده می شود.

برای به حداقل رساندن دستخوردگی نمونه، نمونه گیر با یک سرعت ثابت بالا به داخل خاک فشار داده می شود. برای اینکار از چکش نباید استفاده کرد زیرا باعث افزایش دستخوردگی نمونه می شود. پس از اینکه نمونه گیر به داخل خاک نفوذ کرد، با چرخش میله های حفار، انتهای نمونه برش داده شده و نمونه گیر بیرون آورده می شود. خاک اضافی در انتهای لوله نمونه به دقت تمیز شده و دیسک های فلزی جهت محافظت از رویه نمونه خاک بر روی آن ها قرار داده می شوند.

معمولاً برای آب بند کردن بر روی حلقه های فلزی روغن میکروفاین ریخته می شود (شکل ۲-۲۱). یا به عنوان یک گزینه دیگر می توان پکرهای حلقوی مخصوص را در دو انتهای لوله قرار داده و آن ها را منبسط نمود تا تشکیل آب بند بدهند. لوله ها سپس جهت انتقال به آزمایشگاه به صورت قائم در داخل یک جعبه بالشتک دار قرار داده می شوند.

نمونه گیری با استفاده از نمونه گیر پیستونی

هنگامی که خاک درجا با فشار وارد لوله نمونه گیر می شود، مقداری دستخوردگی در آن ایجاد می گردد. هنگامی که نمونه گیر خالی به سمت پایین حرکت می نماید، چسبندگی و اصطکاک در بیرون لوله ممکن است باعث شود که خاک داخل لوله سریع تر از سرعت نزولی لوله در داخل آن بالا بیاید. از طرف دیگر، پس از اینکه لوله به صورت جزئی پر شد، چسبندگی و اصطکاک بین لوله و نمونه با حرکت رو به بالای نمونه مخالفت می نماید. در شرایط حاد بخش ابتدایی نمونه ممکن است به صورت یک درپوش عمل نموده و با جابجایی درزه ها یا لایه های رسی نرم از ورود آن ها با داخل نمونه گیر جلوگیری نماید.

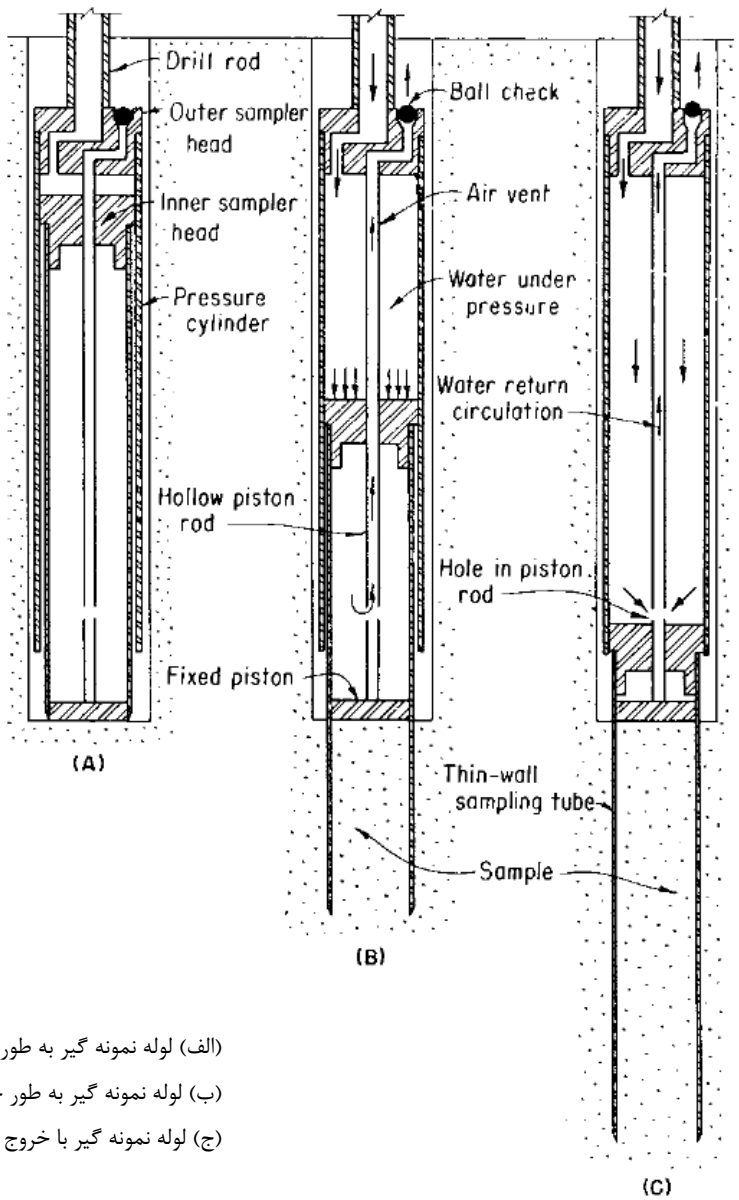
این شرایط را می توان به میزان زیادی با استفاده از یک پیستون با بستن انتهای تحتانی لوله تا زمانی که نمونه گیر به طور محکم در روی خاک دستنخورده در کف گمانه قرار گرفته بهبود بخشید. سپس پیستون در این تراز در تماس با خاک نگه داشته می شوند در حالیکه لوله حول پیستون به داخل خاک نفوذ می نماید.

در ابتدا وجود پیستون از ورود خاک به داخل لوله با سرعت بیش از آهنگ نفوذ لوله جلوگیری می نماید. سپس خلائی که بین پیستون و بالای نمونه تشکیل می شود در مقابل حرکت رو به پایین نمونه خاک مقاومت می نماید. پس از اینکه لوله نمونه گیری پیشروی نمود، پیستون در موقعیت جدیدش نسبت به لوله ثابت می شود. هر دو المان چرخش می نمایند تا نمونه را از خاک زیرین جدا نموده و پیستون و لوله از گمانه بیرون کشیده می شوند (شکل ۲-۲۲).

نمونه گیرهای پیستونی با نسبت سطح کوچک قادر به تهیه نمونه های بسیار خوبی از خاک های چسبنده حتی بسیار نرم و حساس هستند. با استفاده از یک مکانیزم عملکردی هیدرولیکی همانند نمونه گیر پیستونی استربرگ، دیگر نیازی به استفاده از یک میله پیستون جداگانه که از داخل میله های حفار تا سطح زمین امتداد می یابد نخواهد بود.

نمونه گیری با استفاده نمونه گیر پیچر

از لوله های جدار نازک به طور کلی نمی توان در خاک های بسیار سفت یا متراکم بدون آسیب وارد شدن به لبه لوله یا کمانش آن استفاده نمود. حتی اگر لوله قادر به نفوذ در چنین خاک هایی باشد، میزان دستخوردگی بیش از حد خواهد بود. تحت این شرایط، استفاده از نمونه گیر پیچر که در آن از تکنیک های مغزه گیری سنگ ها جهت نمونه گیری لوله ای استفاده شده، می تواند نمونه های بهتری بدست دهد (شکل ۲-۲۳).

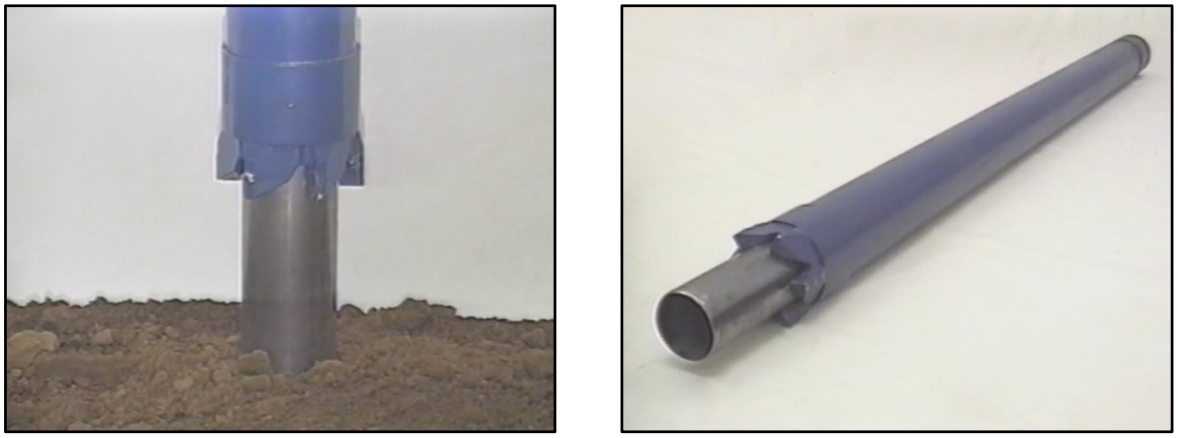


(الف) لوله نمونه گیر به طور کامل جمع شده

(ب) لوله نمونه گیر به طور جزئی خارج شده

(ج) لوله نمونه گیر با خروج کامل

شکل ۲–۲۲ نمونه گیر پیستونی



(ب) **(الف)**

شکل ۲–۲۳ نمونه گیر پیچر

در حالی که نمونه گیری پیچر به داخل گمانه فرستاده می شود، لوله جدار نازک از محفظه برنده معلق شده و سیال حفاری از داخل لوله به سمت پایین حرکت نموده و قطعات خرد شده را از کف گمانه با خود حمل می نماید. هنگامی که لوله به کف گمانه می رسد، به سمت بالا و به داخل محفظه برنده رانده می شود در حالی که سیال حفاری به سمت خارج لوله به فضای حلقوی بین لوله و محفظه برنده دوار منحرف می شود.

اگر خاک نرم باشد، فنر در راس لوله لوله، لبه برنده لوله را پایین تر از محفظه برنده نگه داشته و لوله همانند نمونه گیرهای لوله ای معمولی به داخل خاک رانده می شود. اگر خاک سخت باشد، فنر فشرده می شود تا زمانی که لبه برنده لوله از کف محفظه برنده فراتر می رود. همزمان با گردش، محفظه برنده یک حلقه از خاک را برش داده و یک استوانه خاک که لوله نمونه گیر در روی آن می لغزد بر جا می ماند. بنابراین لوله از نمونه در برابر فرسایش با گردش سیال محافظت می نماید. با استفاده از این روش، نمونه گیر پیچر خود را با سفتی خاک منطبق می نماید.

۲-۶ آزمایش های صحرایی (آزمون های درجا):

هدف آزمایش های درجای خاک این است که خصوصیات مهندسی خاک را در حالت طبیعی و درجا ارزیابی نماییم و نه در محیط آزمایشگاهی. در طی ۱۰ تا ۱۵ سال گذشته فن آوری های جدیدی در حوزه مهندسی ژئوتکنیک توسعه یافته اند که به میزان زیادی باعث تسهیل آزمایش های درجای خاک شده اند. آزمایش های درجا به طور کلی شامل دو دسته عمده می شوند:

۱. شناسایی های ژئوتکنیکی
۲. شناسایی های ژئوفیزیکی

فهرست تعدادی از آزمایش های درجای ژئوتکنیکی در جدول ۲-۲ ارائه شده است. از جمله آزمایش های ژئوفیزیکی می توان به ثبت انکسار امواج لرزه ای، اندازه گیری سرعت موج برشی و اندازه گیری مقاومت را نام برد. در این فصل تنها تعدادی از مهمترین آزمایش های ژئوتکنیکی را مورد بررسی قرار می دهیم.

مهمترین مزیت آزمایش های درجا این است که پارامترهای مهندسی خاک بر خلاف آزمون های آزمایشگاهی تحت تاثیر دستخوردگی و افت کیفیت خاک قرار نمی گیرند. بنابراین خصوصیات خاک ها نماینده واقعی تری بر مقاومت و سختی درجای خاک بوده و در نتیجه منجر به طراحی های فونداسیون اقتصادی تری می شود زیرا آزمون های متداول آزمایشگاهی ممکن است مقاومت های پایین تری نسبت به آزمون های درجا بدست دهند. بدیهی است که ظرفیت باربری بالاتر باعث صرفه جویی اقتصادی بیشتری به نفع مالک و یا کارفرما می شود.

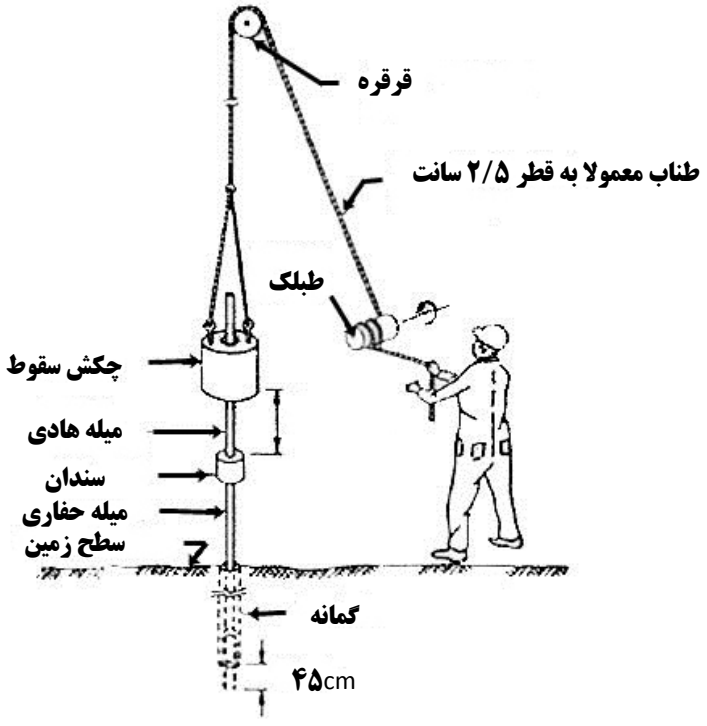
آزمایش های درجا همچنین از نظر ارزیابی سایت و سازه در مقابل زلزله حائز اهمیت می باشد. امروزه کارایی آزمون های درجا مخصوصاً آزمایش نفوذ مخروط و آزمایش سرعت موج برشی به عنوان روشی موثر جهت ارزیابی پتانسیل آسیب های ناشی از تکان های لرزه ای به اثبات رسیده است. از نتایج همبستگی سرعت موج برشی و شتاب مورد نیاز زمین جهت ایجاد روانگرایی در طی ۵ تا ۱۰ سال گذشته به طور وسیعی جهت طراحی فونداسیون ها استفاده شده است. از نتایج آزمایش نفوذ مخروط همچنین می توان برای ارزیابی پتانسیل نشست در اثر حرکات زلزله استفاده نمود. امروزه آزمون های درجا تبدیل به بخش مهمی از مهندسی ژئوتکنیک شده و استفاده از آن ها به دلیل طراحی های بهینه و اقتصادی و ارزیابی های حرکات زمین دراثر زلزله به طور روز افزون در حال افزایش است.

جدول ۲-۲ انواع آزمایش های صحرایی

نماد	آزمایش	مبنای اندازه گیری
SPT	آزمایش نفوذ استاندارد	تعداد ضربات در هر ۳۰۰ میلی متر
CPT_u	آزمایش نفوذ مخروط به همراه اندازه گیری فشار منفذی	مقاومت مخروط q_c، نسبت اصطکاک (%)، فشار منفذی kPa، زمان محو فشار منفذی Sec
CPT	آزمایش نفوذ مخروط	مقاومت مخروط q_c، نسبت اصطکاک (%)
VST	آزمایش برش پره	Nm, kPa
PLT	آزمایش بارگذاری صفحه	بار (kN)، تغییر شکل (mm)
DCP	نفوذسنج مخروطی دینامیکی	تعداد ضربات در هر ۱۰۰ میلی متر
DMT	آزمایش دیلاتومتری	فشار خروج و اتساع (kPa)
PP	آزمایش پنترومتر جیبی	kPa
PT	آزمایش پرسیومتری	فشار حدی (kPa)، تغییرات حجمی (cm^3)
WPT	آزمایش فشار آب (پکر)	لوژان

- **آزمایش نفوذ استاندارد**

یک روش نسبتاً ساده و استاندارد برای تخمین تراکم یا سفتی خاک های درجا آزمایش نفوذ استاندارد یا **SPT** است. در این روش تعداد ضربات چکش جهت نفوذ نمونه گیر قاشقی تا یک عمق مشخص به داخل زمین شمرده می شود. ویژگی اساسی آزمایش **SPT** عبارت است از یک چکش با وزن ۶۴ کیلوگرم (۱۴۰ پوند) که از ارتفاع ۷۵ سانتی متر (۳۰ اینچ) بر روی سندانی در بالای میله های حفار سقوط می کند و یک نمونه گیر قاشقی دوتکه با قطر خارجی ۵ سانتی متر (۲ اینچ) و قطر داخلی ۳/۵ سانتی متر و طولی بین ۴۵ تا ۷۵ سانتی متر (۱۸ تا ۳۰ اینچ) (شکل ۲-۲۴).



شکل ۲-۲۴ روش انجام آزمایش SPT

پس از اینکه نمونه گیر در کف گمانه قرار داده شد، تعداد ضربات چکش مورد نیاز برای ۳ نفوذ متوالی هر یک به طول ۱۵ سانتی متر (۶ اینچ) شمارش می شود. تعداد ضربات برای دومین و سومین نفوذ ۱۵ سانتی با یکدیگر جمع می شوند تا مقاومت نفوذ استاندارد یا **عدد N** بدست آید. تعداد ضربات برای اولین 15cm در **عدد N** در نظر گرفته نمی شود زیرا این مقدار ممکن است تحت تاثیر خاک دست خورده در کف گمانه قرار گیرد. اما همچنان ثبت می شود زیرا می تواند کنترل کننده خوبی برای تغییرات نهشته خاک و یکپارچگی نتایج کلی باشد.

علاوه بر اخذ نمونه، آزمایش نفوذ استاندارد معیار خوبی برای تخمین خواص مقاومتی خاک ها می باشد. برای مثال سفتی خاک های رسی را می توان به عدد نفوذ استاندارد ربط داد. این رابطه در جدول ۲-۳ نشان داده شده است. در جدول ۲-۴ یک ارتباط تقریبی بین عدد نفوذ استاندارد و تراکم نسبی ماسه ارائه شده است. باید تاکید شود که در خاک های درشت دانه شنی و خاک های رسی، همبستگی نتایج **SPT** با تراکم نسبی و قوام خاک به طور کلی غیر قابل اطمینان بوده و تنها باید به عنوان یک تخمین اولیه مورد استفاده قرار گیرد.

جدول ۲–۳ ارتباط بین سفتی خاک های رسی و عدد نفوذ استاندارد

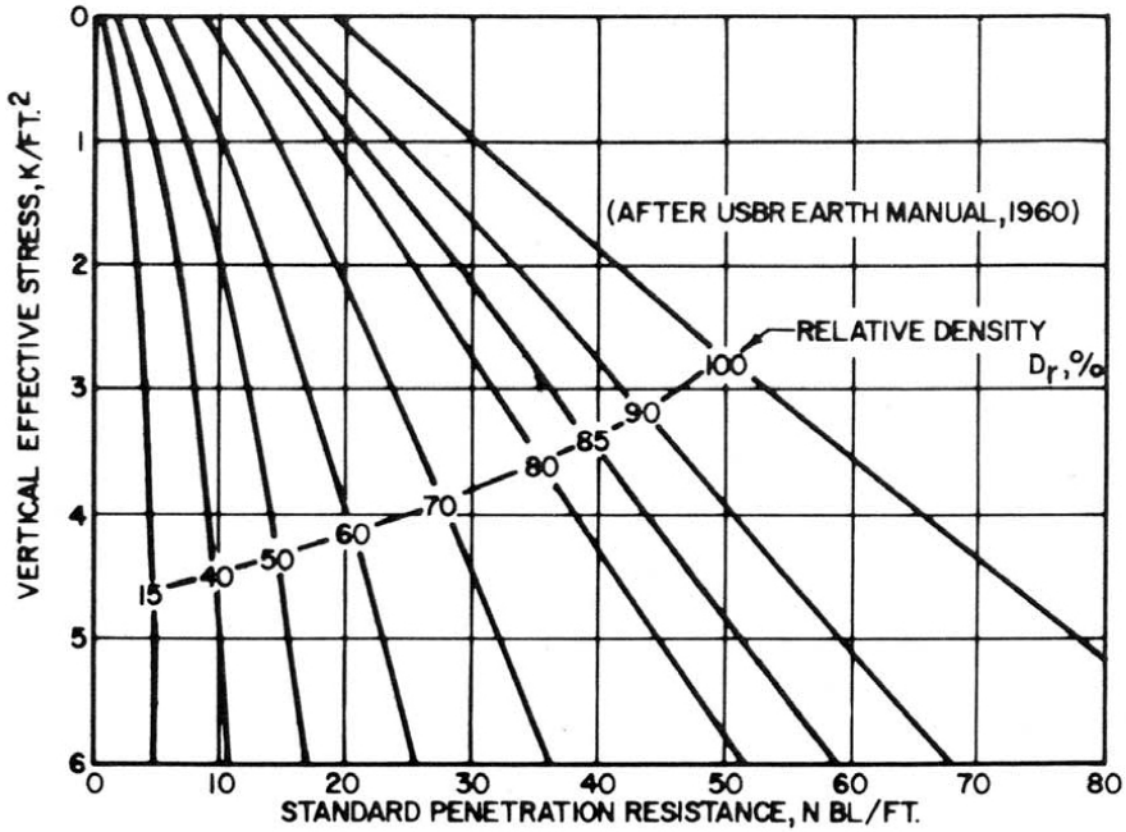
مقاومت فشار محدود نشده $q_c(kN/m^2)$	سفتی	عدد نفوذ استاندارد، **N**
0 – 25	خیلی نرم	0 - 2
25 – 50	نرم	2 – 5
50 - 100	متوسط	5 – 10
100 - 200	سفت	10 – 20
200 - 400	خیلی سفت	20 – 30
>400	سخت	>30

جدول ۲–۴ ارتباط بین مقدار N و تراکم نسبی و زاویه اصطکاک ماسه

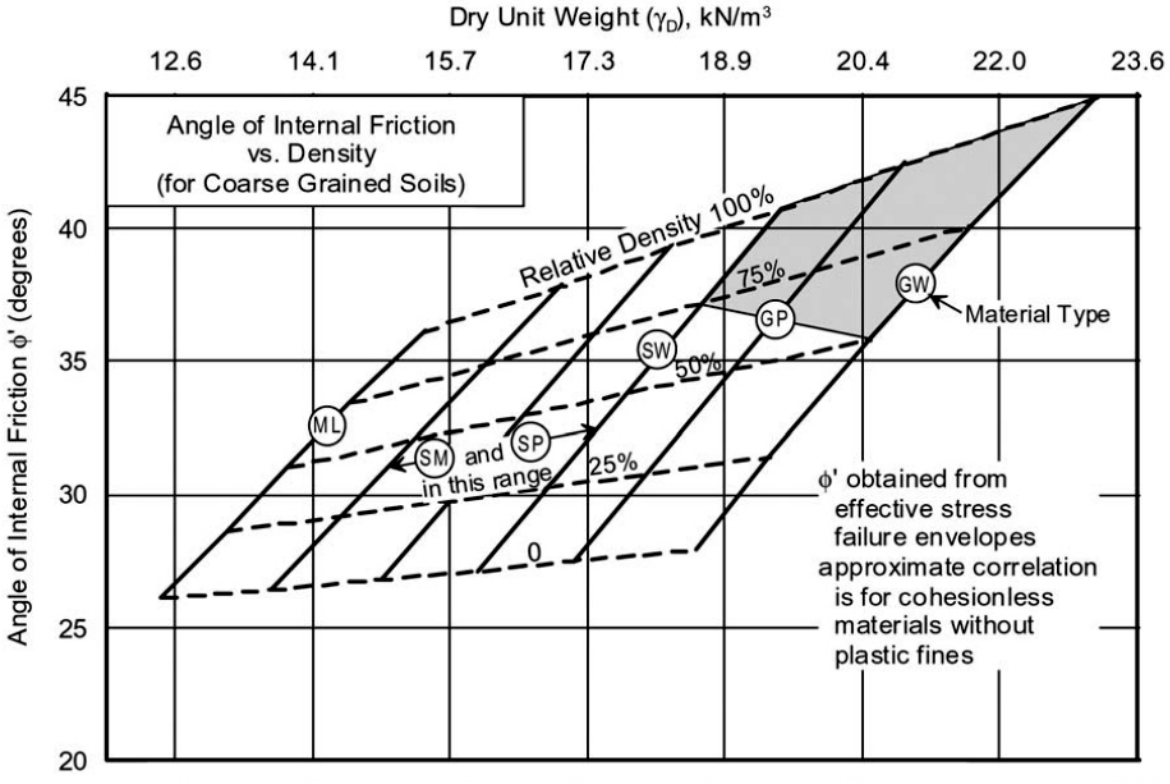
زاویه اصطکاک تقریبی خاک، ϕ	تراکم نسبی تقریبی $D_r(\%)$	عدد نفوذ استاندارد، N
26 - 30	0 - 5	0 - 5
28 - 35	5 - 30	5 - 10
35 - 42	30 - 60	10 - 30
38 - 46	60 - 95	30 - 50

از مقادیر عدد **N** اغلب برای تخمین مقاومت و تراکم پذیری خاک های دانه ای مخصوصاً ماسه ها استفاده می شود. از همبستگی های نشان داده شده در شکل های ۲-۲۵ و ۲-۲۶ می توان برای تخمین زاویه اصطکاک خاک های دانه ای و سپس محاسبه ظرفیت باربری استفاده نمود. توجه شود که شکل ۲-۲۵ تابعی از مقدار **N** و تنش موثر سربار σ'_v می باشد بنابراین مقدار **N** مورد استفاده نباید برای اثر سربار تصحیح شود.

عوامل متعددی وجود دارند که می توانند به میزان زیادی بر عدد **N** تاثیر گذاشته و بنابراین مهندس موجود در محل باید به دقت به روش انجام آزمایش **SPT** توجه نماید. بعضی از این عوامل را در اینجا به اختصار مورد بحث قرار می دهیم.



شکل ۲–۲۵ ارتباط بین عدد نفوذ استاندارد و تراکم نسبی خاک های دانه ای



شکل ۲–۲۶ ارتباط بین زاویه اصطکاک داخلی و تراکم خاک های دانه ای

حفاری به روش دوارنی آبشویی به حفاری با اوگر با ساقه توخالی ترجیح داده می شود. در صورتی که از اوگر توخالی استفاده شود، ساقه توخالی اوگر باید به طور پیوسته با آب یا سیال حفاری تا ارتفاعی بالاتر از تراز آب اطراف پر شود در غیر اینصورت تراوش رو به داخل آب در کف گمانه می تواند خاک را شل نموده و باعث شود که مقادیر **N** بدست آمده به طور غیر معقولی کمتر از مقادیر واقعی باشد.

این تراوش درونی همچنین می تواند باعث فرسایش خاک به داخل ساقه اوگر شده و در صورتی که این خاک شسته با کف گمانه اشتباه گرفته شود می تواند منجر به بدست آمدن مقادیر **N** بالایی شود. توصیه می شود که قطر گمانه ۴ تا ۵ اینچ باشد. با کاهش قطر گمانه، احتمال افزایش مقاومت نفوذ وجود خواهد داشت. هنگام استفاده از حفاری دورانی، باید از سرمته های با تخلیه جانبی استفاده شود زیرا تخلیه با فشار در سرمته های با تخلیه رویه باعث دستخورده شدن خاک در کف گمانه می شود.

نمونه گیر قاشقی باید دارای قطر خارجی ۲ اینچ و قطر داخلی ثابت 1 3/8 اینچ باشد. از آسترها تنها در نمونه گیرهای قاشقی اصلاح شده ای که قطر داخل آستر آنها اندازه ثابت 1 3/8 اینچ است استفاده میشود. اگر از یک نمونه گیر قاشقی اصلاح شده که دارای فضای موجود برای آستر است بدون آستر استفاده شود، مقادیر **N** معمولاً ۱۰ تا ۲۰ درصد کوچکتر خواهند بود.

میزان انرژی وارده بر نمونه گیر به ازاء هر سقوط چکش باید ۲۵۲۰ اینچ-پوند باشد که ۶۰ درصد مقدار حداکثر نظری است. میزان انرژی وارده به متغییرهایی از جمله نوع و وزن چکش، فاصله سقوط آزاد چکش، اندازه و طول میله های حفار، سفتی اتصالات، آب و هوا و اپراتور بستگی دارد.

اگر از لنگربند و طناب استفاده شود، انرژی همچنین بستگی خواهد داشت به شرایط و نوع طناب و تعداد دورهای پیچیده شدن طناب دور لنگربند. در صورت استفاده از چکش دستی، انرژی همچنین بستگی خواهد داشت به شرایط و نوع چکش. میزان انرژی وارده می تواند از ۳۰٪ تا ۹۵٪ مقدار حداکثر نظری متغییر باشد.

از آنجایی که مقادیر **N** نسبت عکس با انرژی وارده دارد، نسبت های انرژی ۳۰٪ تا ۹۵٪ می توانند باعث شوند که مقادیر **N** با یک ضریب ۳ یا بیشتر تغییر نمایند. چکش مکانیکی می تواند مقدار انرژی وارده یکنواخت تری را وارد نماید زیرا انرژی وارده از چکش ها می توانند در اثر خستگی فیزیکی حفار و کاهش ارتفاع سقوط، تعداد سقوط در هر دقیقه و دیگر متغییر ها تغییر نمایند.

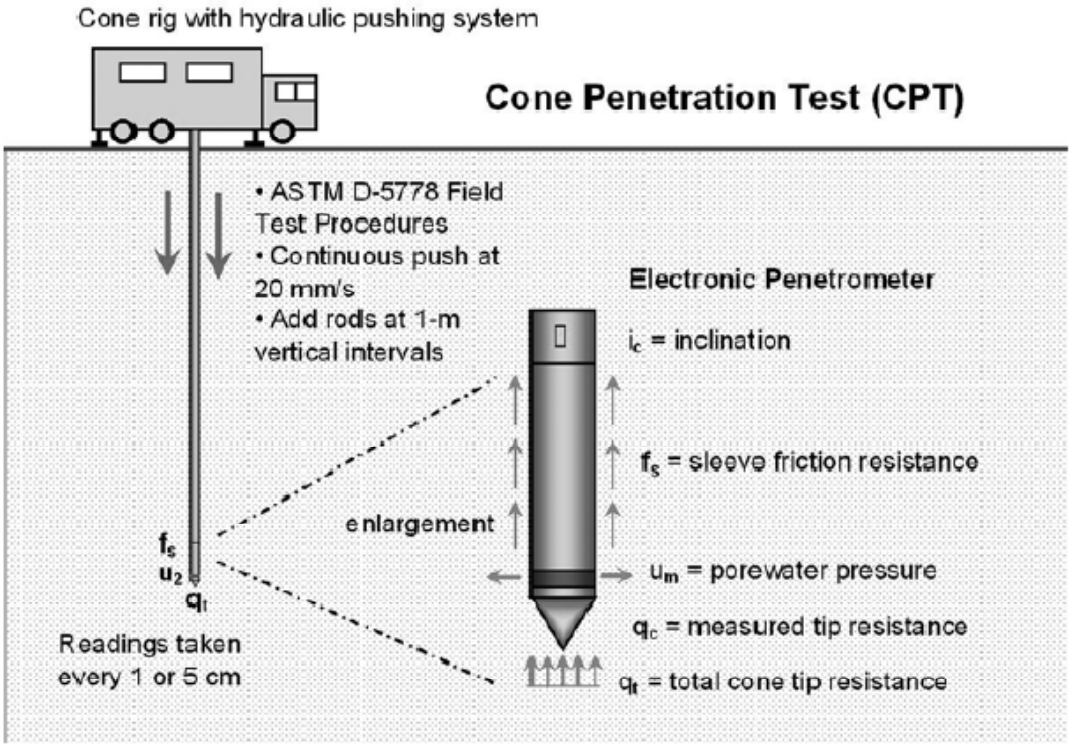
بنابراین توصیه می شود که انرژی وارده توسط یک دکل حفاری مشخص، در پروژه های مهم کالیبره شود. آهنگ تعداد سقوط یا تعداد دفعاتی که چکش به ازاء هر دقیقه سقوط می نماید می تواند بر مقدار **N** تاثیر بگذارد. در حین نفوذ نمونه گیر، احتمال ایجاد فشار منفذی منفی یا مثبت در خاک وجود دارد. آهنگ ضربات کند به فشار منفذی اضافی اجازه خواهد داد که در حد فاصل ضربات محو شوند. نتیجه کار اثر متفاوت تنش و در نتیجه مقادیر متفاوتی از **N** خواهد بود.

آهنگ سقوط ۳۰ تا ۴۰ ضربه در هر دقیقه توصیه می شود. حتی اگر این توصیه های اضافی نیز در آزمایش نفوذ استاندارد لحاظ شوند، نتایج بدست آمده تنها معیار و شاخص غیر مستقیمی از تراکم یا سختی خاک خواهند بود بنابراین مهندس باید در انجام آزمایش و تحلیل نتایج محتاط باشد.

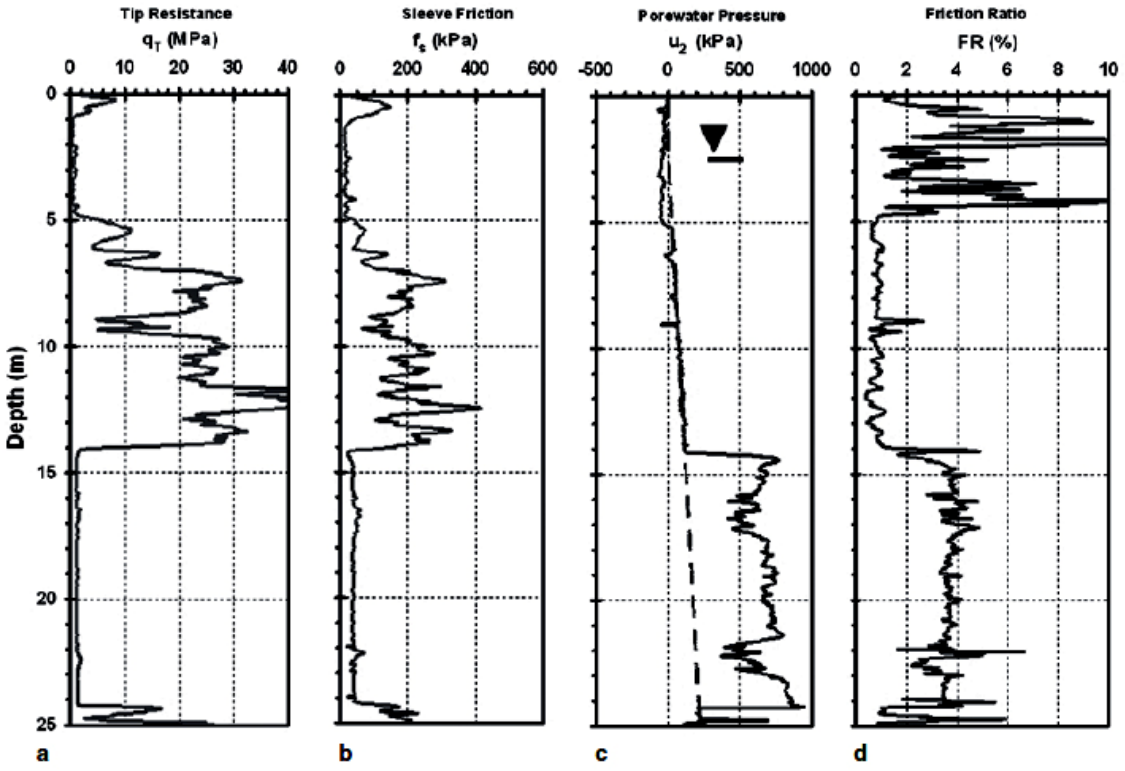
- **آزمایش نفوذ مخروط، CPTu**

اساس کار تست نفوذ مخروط (پنترومتر) این است که یک مخروط با قاعده انتهایی به مساحت $10cm^2$ و زاویه راس 60° با سرعت یکنواخت $2cm/s$ در خاک فرو برده می شود. در حین فرو رفتن مخروط مقاومت نوک مخروط (q_c) و اصطکاک جدار غلاف (f_s) در هر $2.5cm$ اندازه گیری می شود. در نوع پیزوپنترومتر (CPTu) فشار آب منفذی اضافی حین فرورفتن نیز اندازه گیری می شود.

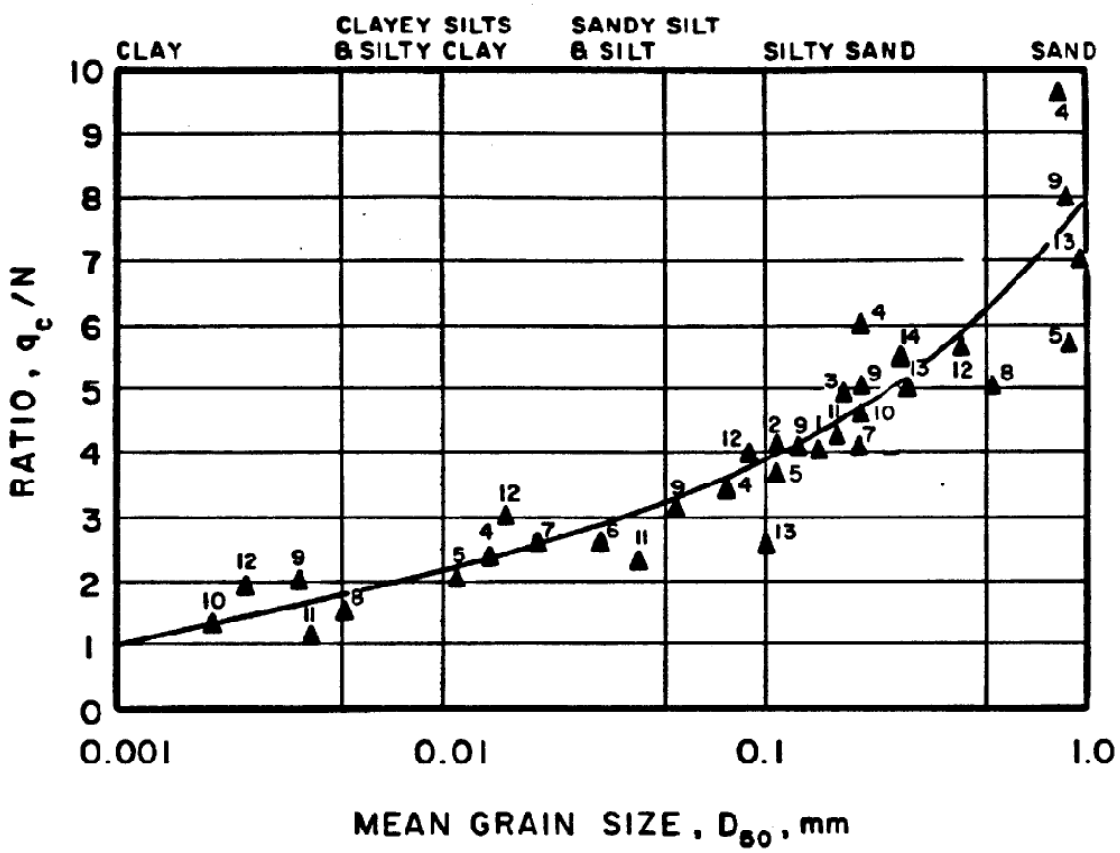
بر اساس تجهیزات متداول دو نوع CPT متداول است: مکانیکی و الکتریکی. پنترومتر مکانیکی به صورت تلسکوپی انجام شده و از دو غلاف میله ای تشکیل شده است. از مزایای این نوع، قیمت ارزان اولیه لوازم، تجهیزات و سادگی عملکرد آن است. از معایب آن سرعت اجرای کم بوده و در خاک های نرم کارایی لازم را ندارد و داده ها معمولاً در هر $20cm^2$ اندازه گیری می شود. در پنترومتر الکتریکی بخش سنجش مقاومت کف و اصطکاک جدار در یک غلاف واقع شده اند. در مقایسه با نوع مکانیکی، این روش سرعت بیشتری دارد و رکورد پیوسته ای را بر حسب عمق تهیه می نماید. دقت و صحت بالای نتایج این روش و نیز تکرار پذیری آن از مزایای مهم دیگر CPT های الکتریکی هستند. علاوه بر مزایای فوق به قسمت انتهای پنترومتر الکتریکی می توان سنسورهای دیگری مثل پیزومترهای سنجش فشار حفره ای، مقاومت الکتریکی، سنجش دما و امتداد یاب قائم متصل نمود. از معایب این نوع دستگاه قیمت بالای لوازم اولیه و نیز احتیاج به اپراتورهای مجرب و دارای مهارت الکترونیکی می باشد. شکل ۲-۲۷ تجهیزات مکانیکی و الکترونیکی و نیز نحوه اجرای CPT و شکل ۲-۲۸، یک نمونه نتایج حاصل از آن را نشان می دهد. هرچند CPT دارای دقت و پیوستگی بیشتری از SPT است ولی با توجه به سادگی و رواج SPT در سراسر جهان، محققان را بر آن داشت که رابطه ای بین نتایج این دو آزمایش برقرار نموده که در طراحی های ژئوتکنیکی استفاده شود. رابطه CPT و SPT بیشتر با نسبت q_c / N مشخص شده است. شکل ۲-۲۹ ارتباط بین داده CPT و SPT را نشان می دهد.



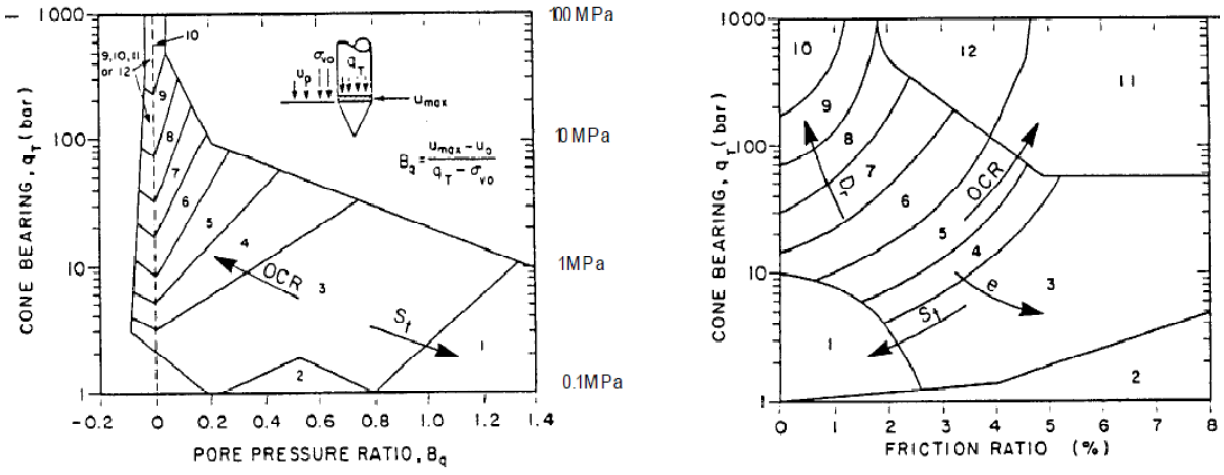
شکل ۲–۲۷ تجهیزات و روش انجام آزمایش CPT



شکل ۲–۲۸ نمونه ای از نتایج آزمایش CPTu



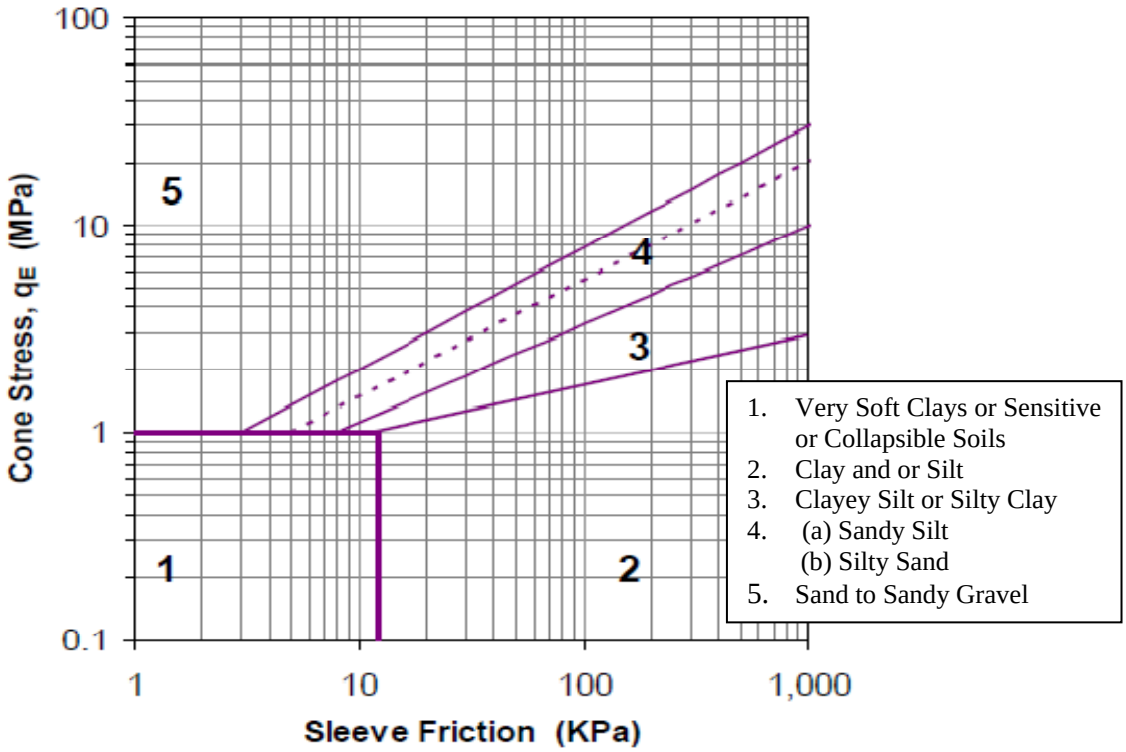
شکل ۲–۲۹ ارتباط بین نتایج SPT و CPT



(ب) (الف)

1. Sensitive fine-grained soil
2. Organic Soil
3. Clay
4. Silty Clay or Clay
5. Clayey Silt to Silty Clay
6. Sandy Silt to Clayey Silt
7. Silty Sand to Sandy Silt
8. Sand to Silty Sand
9. Sand
10. Sand to Gravelley Sand
11. Very Stiff tine-grained Soil
12. Overconsolidated or Cemented Sand to Clayey sand

شکل ۲–۳۰ طبقه بندی خاک با استفاده از نتایج آزمایش CPTu (Campanella et al., 1983)



شکل ۲–۳۱ طبقه بندی خاک با استفاده از نتایج آزمایش CPTu به روش اسلامی و فلینیوس (۱۹۹۷)

از کاربردهای آزمایش CPT در مهندسی ژئوتکنیک می توان به تعیین پارامترهای مقاومت برشی و سختی خاک، طبقه بندی خاکها بر اساس رفتار، تعیین توان باربری پی های سطحی و عمیق و نیز ارزیابی در مقابل روانگرایی را نام برد. استفاده از داده های بدست آمده توسط آزمایش CPTu و CPT به علت پیوستگی و حجم زیاد رکوردها و داده ها مورد توجه محققان واقع شده و نمودارهای مختلفی جهت طبقه بندی رفتاری خاکها ارائه شده که ۲۰ روش توسط **Eslami and Fellenius (2004)** بررسی شده و در شکل های ۲-۳۰ و ۲-۳۱ دو مورد طبقه بندی و تفسیر خاک ها بر مبنای نتایج CPT ارائه شده است. همچنین برای اندازه گیری S_u از q_c و f_s ، روابط متعددی پیشنهاد شده است که دو نمونه از آن را در زیر داریم:

$$S_u = (q_c - \sigma_v) / N_k$$

که q_c مقاومت نوک حاصل از CPT ، σ_v تنش قائم و N_k ضریب تجربی بقرار ۵ تا ۱۲ برای رس های عادی تحکیم و ۱۵ تا ۲۵ برای رس های پیش تحکیم است.

$$S_u = F_k f_s$$

f_s اصطکاک جداری حاصل از CPT و F_k ضریب تجربی بقرار ۰/۸ تا ۱ است.

- **آزمایش برش پره ای یا برش وین VST**

در این آزمایش، یک تیغه برش چهار پره با هندسه ای مشخص و استاندارد در خاک مورد نظر با اعمال یک لنگر چرخشی فرو برده می شود. با اندازه گیری لنگر پیچشی جهت برش و گسیختگی خاک و همچنین هندسه پره می توان مقاومت برشی خاک رسی را اندازه گیری نمود (شکل ۲-۳۲). این آزمایش هم به صورت صحرایی و هم به صورت آزمایشگاهی انجام می شود. این آزمایش به طور عمده در خاک های رسی استفاده می گردد و در خاک های دانه ای و متراکم کاربردی ندارد. از آنجا که انجام شدن آزمایش سریع بوده (حدود یک دقیقه تا وقوع گسیختگی) بنابراین جهت اندازه گیری مقاومت برشی زهکش نشده کاربرد دارد. بر اساس روابط تعادلی بین لنگر اعمال شده و مقاومت برشی خاک در اطراف، پره پس از گسیختگی مقاومت برشی زهکش نشده خاک، S_u به صورت زیر به دست می آید:

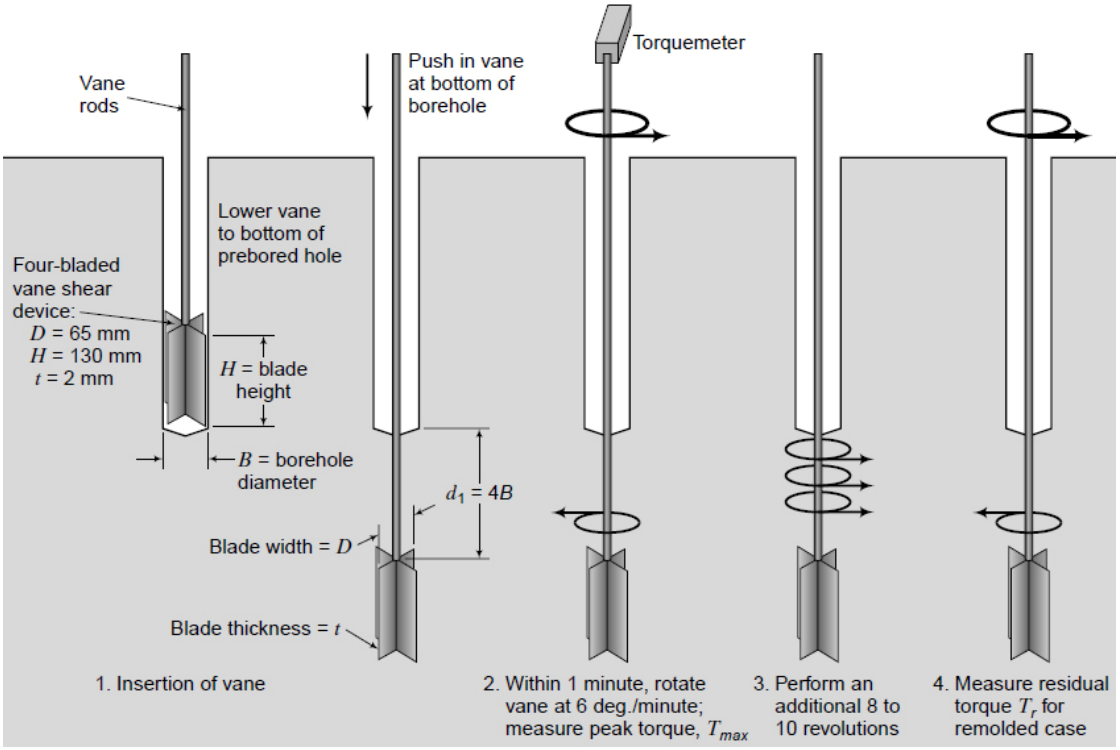
$$S_u = \frac{2T}{\pi D^3\left(\frac{H}{D}+\frac{\alpha}{2}\right)}$$

S_u = مقاومت برشی زهکش نشده
T = حداکثر لنگر اعمال شده جهت گسیختگی خاک
H = ارتفاع پره
D = قطر پره
α = ضریبی که به توزیع مقاومت برشی وابسته و بر حسب عمق از ۰/۵ تا ۰/۶۶ متغییر است.

برای سیستم های معمول وین معمولاً نسبت ارتفاع به قطر ۲ بوده و توزیع مقاومت برشی نیز با عمق یکنواخت در نظر گرفته شده و بنابراین:

$$S_u = T / 3.66D^3$$

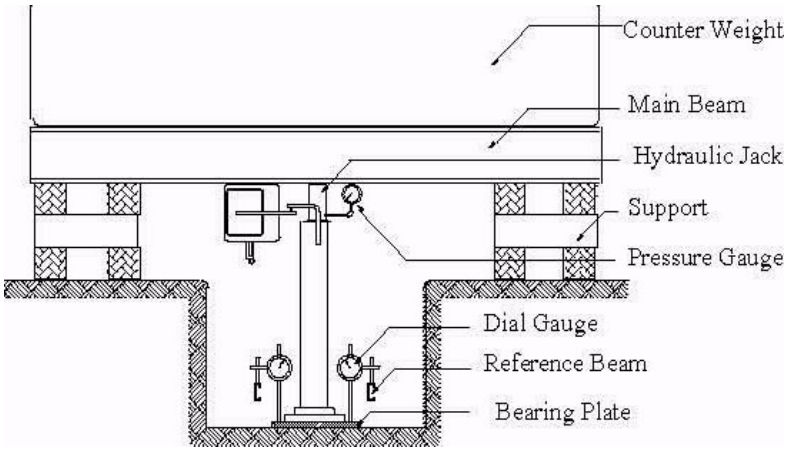
در عمل تجربه شده است که مقادیر S_u به دست آمده توسط آزمایش برش پره دست بالا بوده و ضریب اصلاح کاهش به S_u اعمال شده که این ضریب به PI بستگی داشته و برای تغییرات PI در محدوده ۱۰ تا ۱۰۰ درصد مقادیر ضریب اصلاح به قرار ۱ تا ۰/۶ می باشد.



شکل ۲–۳۲ آزمایش برش پره

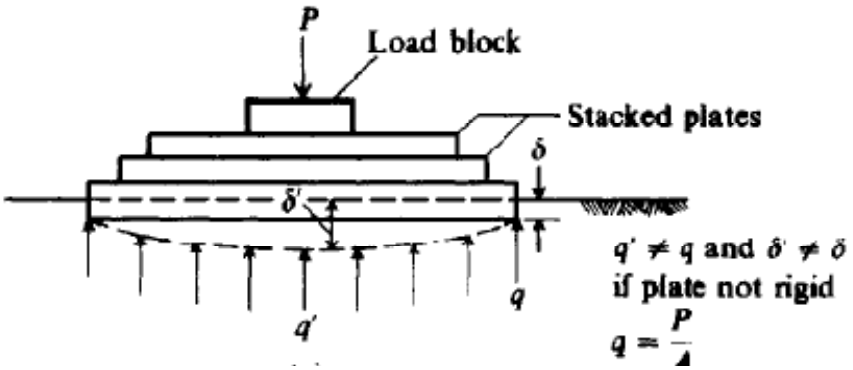
- **آزمایش بارگذاری صفحه**

با استفاده از آزمایش بارگذاری صفحه می توان به نحو موثری ظرفیت باربری نهایی و ظرفیت باربری مجاز بر مبنای ملاحظات نشست را تعیین کرد. برای انجام آزمایش بارگذاری صفحه، گودالی به قطر حداقل $4B$ ($B =$ قطر صفحه آزمایش) تا عمق D_f ($D_f =$ عمق مورد نظر برای شالوده) حفر شده و صفحه در مرکز سوراخ قرار داده می شود. سپس بار توسط جک با افزایش پله ای بر صفحه اعمال می گردد. گام بارگذاری مساوی یک چهارم تا یک پنجم بار نهایی تخمین زده می شود. در شکل ۲-۳۳ طرح شماتیک تمهیدات لازم برای آزمایش ارائه شده است. در هر گام بارگذاری، نشست شالوده توسط گیج اندازه گیری می شود. بار هر گام حداقل به مقدار ۱ ساعت حفظ می گردد. آزمایش بارگذاری صفحه تا لحظه گسیختگی و یا وقوع نشست ۲۵ میلیمتر ادامه پیدا می کند.



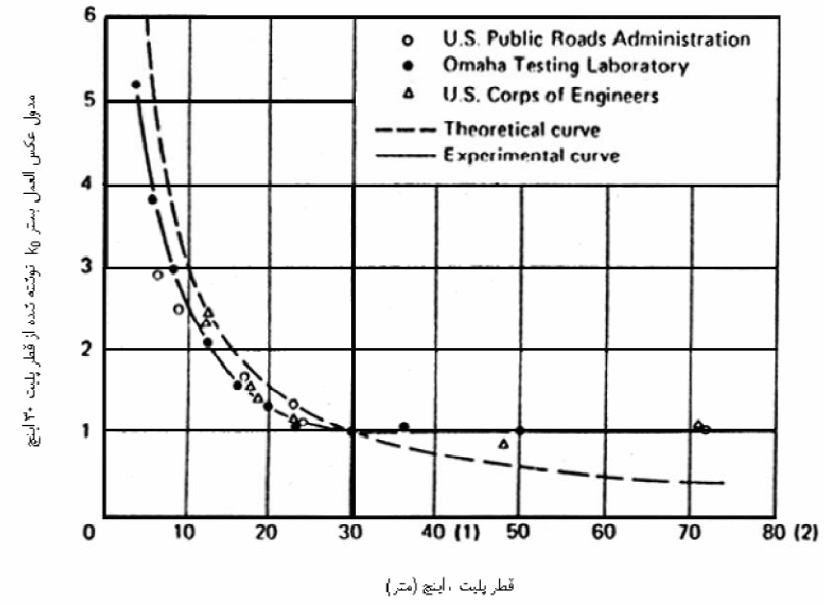
شکل ۲–۳۲ تجهیزات مورد نیاز آزمایش بارگذاری صفحه

ترجیحاً در مورد طراحی پی، این آزمایش در عمقی مساوی عمق استقرار پی انجام می پذیرد. در حقیقت در این آزمایش، صفحه بارگذاری شده مدل و نمونه ای از فونداسیون واقعی می باشد. این آزمایش هم در سطح زمین و هم در عمق خاک (مثلاً در چاهک آزمایشی) انجام می پذیرد. در آزمایش بارگذاری صفحه، نحوه آزمایش و ابعاد صفحه بکار رفته در تعیین مقدار k_s تاثیر بسزایی دارد. آزمایش های صحرایی جهت تعیین ضریب عکس العمل بستر عموما با صفحات نسبتا صلبی که دارای قطری در محدوده ۱۲ تا ۳۰ اینچ (۳/. تا ۸/. متر) هستند انجام می شود. انجام آزمایش بارگذاری با صفحات بزرگتر کار ساده ای نیست. حتی اگر صفحات کوچکی به قطر ۴۵۰، ۶۰۰ یا ۷۵۰ میلیمتر مورد استفاده قرار بگیرند، نشست یکنواخت در تمام بخشهای صفحه و تعیین مقدار آن بستگی به صلبیت کافی صفحه خواهد داشت که با بزرگتر شدن ابعاد صفحه، رسیدن به صلبیت کافی، بعلت لزوم افزایش ضخامت صفحه بارگذاری، مشکل تر خواهد شد. در چنین حالاتی برای تامین صلبیت معمولاً از چند صفحه هم مرکز که قطر آنها از پائین به بالا کاهش می یابد استفاده می شود (شکل ۲-۳۳).



شکل ۲–۳۳ آزمایش بارگذاری صفحه (Bowles,1996**)**

مشکل دیگری که در مورد صفحات بزرگ وجود دارد این است که در این مورد تامین بار مورد نیاز برای ایجاد تنش ها و نشست های کافی، کار بسیار مشکل و پر هزینه ای خواهد بود. البته Scott (1980) می گوید: براساس تجربیات قبلی، استفاده از صفحاتی با قطر بیش از ۳۰ اینچ (۸/. متر)، برای خاک های یکنواخت، تغییرات کمی در مقدار k_s نشان می دهد شکل(۲-۳۴).

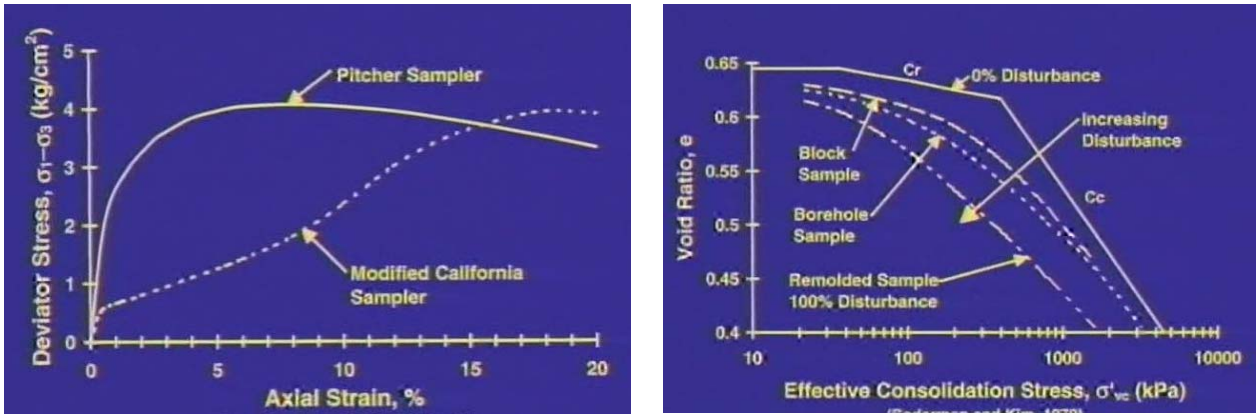


شکل (۲–۳۴) تغییرات ضریب عکس العمل بستر خاک نسبت به قطر صفحه (Scott,1980**)**

از آنجا که ضریب عکس العمل بستر تابع ابعاد ناحیه بارگذاری شده است، بنابراین جهت تخمین مقدار ضریب عکس العمل بستر براساس نتایج تست بارگذاری صفحه، لازم است که مقدار این ضریب برای یک صفحه مربع ای یا دایره ای به قطر ۱ فوت (۰/۳متر) تعیین شود. سپس با استفاده از روابط مقایسی، نتایج برای پی های با اندازه واقعی تعمیم داده شود (Terzaghi,1955).

۲-۷ تاثیر دستخوردگی نمونه ها:

با توجه به توصیف هر یک از روش های نمونه گیری، واضح است که تمام نمونه ها متحمل دستخوردگی می شوند. شکل ۲-۳۵-الف نتایج سه آزمون تحکیم در روی رس با درجه پیش تحکیمی بالا را نشان می دهد. یک نمونه استخراج شده از بلوک، یک نمونه بدست آمده از گمانه و یک نمونه بازسازی شده. در این شکل همچنین منحنی ایده آل درجا یا منحنی دستخوردگی صفر که با استفاده از روش اشمرتمان تصحیح شده نیز نشان داده شده است. مطابق این شکل، افزایش میزان دستخوردگی نمونه، به طور فزاینده ای تخمین قابلیت فشردگی خاک های رسی را دشوار می سازد. شکل ۲-۳۵-ب رفتار تنش کرنش دو نمونه یکسان از رس بسیار سفت اوکلند کالیفرنیا را نشان می دهد. یکی با استفاده از نمونه گیر پیچر و دیگری با استفاده از نمونه گیر قاشقی اصلاح شده کالیفرنیا بدست آمده است. دستخوردگی شدید ایجاد شده توسط نمونه گیر قاشقی توسط رفتار تنش کرنش نرم شده و به میزان زیادی تغییر شکل یافته در مقابل رفتار طبیعی تر نمونه بدست آمده از نمونه گیر پیچر نمایش داده شده است. مهمتر از آن باید آگاه بود که نمونه گیر پیچر هم باعث دستخوردگی در نمونه شده و سختی آن احتمالاً به میزان قابل ملاحظه ای کمتر از سختی درجای خاک است.



(ب) (الف)

شکل ۲-۳۵ تاثیر دستخوردگی نمونه ها بر نتایج آزمایشگاهی

دستخوردگی در خاک تنها در حین فرآیند نمونه برداری رخ نمی دهد. دستخوردگی بیشتر در اثر تغییرات اجتناب ناپذیر در تنش های محصور کننده خاک، در حین انتقال نمونه ها به آزمایشگاه یا در حین نگهداری در آزمایشگاه مخصوصاً اگر تغییرات درصد رطوبت و حرارت قابل توجه بوده و یا زنگزدگی لوله آزمایش به وقوع می پیوندد. در حین خارج کردن نمونه از داخل لوله قبل از آزمایش و حین جابجایی و قراردادن نمونه در داخل دستگاه جهت آزمایش. به طور کلی هرچه کیفیت نمونه بهتر باشد هزینه و زمان مورد نیاز جهت استخراج نمونه بیشتر خواهد بود. در بعضی مقاصد همانند طراحی فونداسیون یک سازه سبک در رس سخت، هزینه تهیه نمونه با کیفیت ممکن است توجیهی نداشته باشد. از طرف دیگر هنگامی که جهت تخمین نشست یا پایداری یک سازه خاکریز، نیاز به تراکم پذیری یا مقاومت برشی رس نرم داشته باشیم، حتی بهترین نمونه ها هم کافی نخواهند بود. بنابراین لازم است که کیفیت نمونه ها مخصوصاً در رس ها و سیلت های نرم به صورت کمی تعیین شوند.

منابع

۱. مهندسی پی، طراحی و اجرا.، تالیف: دکتر ابوالفضل اسلامی.، نشریه شماره ک-۴۳۷ چاپ اول.، ۱۳۸۵.

۲. اصول مهندسی ژئوتکنیک، جلد دوم.، تالیف: براجا ام. داس.، ترجمه شاپور طاحونی.، چاپ هفتم بهار ۱۳۸۲.

۳. بررسی اثر ابعاد پی بر تعیین ضریب عکس العمل بستر، صدرالله تورانی سماء، پایان نامه کارشناسی ارشد.، دانشگاه گیلان ۱۳۸۸.

4. DeJong, J.T. and Boulanger, R.W. (2000) "Introduction to Drilling and Sampling in Geotechnical Practice", Educational Video, 2nd Edition, Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis, 35 min.
5. Geotechnical and foundation Engineering, Module 1,Subsurface investigation., US Federal Highway., Publication No. FHWA HI-97-021., November 1997.
6. Look, Burt., “Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables”., 2007.
7. Spang, W., “In Situ Testing Technology For Foundation And Earthquake Engineering”., AGRA Earth & Environmental, Inc.

www.ams.ir

نکات و یادداشت ها