جمهوری اسلامی ایران

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

معیارها و ضوابط فنی عملیات اکتشافی ژئوتکنیک سامانه‌های آبیاری و زهکشی

نشریه شماره ۴۹۳

معاونت نظارت راهبردی

دفترنظام فنی اجرایی

http://tec.mporg.ir

وزارت نیرو

دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا

http://seso.moe.org.ir

۱۳۸۸

بسمه تعالی

ریاست جمهوری
معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران	شماره:	۱۰۰/۳۷۴۸۴
	تاریخ:	۱۳۸۸/۴/۲۴

موضوع:
معیارها و ضوابط فنی عملیات اکتشافی ژئوتکنیک سامانه‌های آبیاری و زهکشی

به استناد آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، موضوع ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و در چارچوب نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت۳۳۴۹۷هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیأت محترم وزیران)، به پیوست نشریه شماره ۴۹۳ دفتر نظام فنی اجرایی، در دو جلد با عنوان «**معیارها و ضوابط فنی عملیات اکتشافی ژئوتکنیک سامانه‌های آبیاری و زهکشی**» از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود.

دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور، پیمانکاران و عوامل دیگر می‌توانند از این نشریه به عنوان راهنما استفاده کنند و در صورتی که روش‌ها، دستورالعمل‌ها و راهنمای بهتری در اختیار داشته باشند، رعایت مفاد این بخشنامه الزامی نیست.

عوامل یاد شده باید نسخه‌ای از دستورالعمل‌ها، روش‌ها یا راهنماهای جایگزین را به دفتر نظام فنی اجرایی ارسال کنند.

امیرمنصور برقعی
معاون برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور

۶۱۴۵۲۰

اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این نشریه نموده و آن را برای استفاده به جامعه مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی، فنی، ابهام، ایهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این‌رو، از شما خواننده گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی مراتب را به صورت زیر گزارش فرمایید:

۱- ***شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.***

۲- ***ایراد مورد نظر را به صورت خلاصه بیان دارید.***

۳- ***در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال نمایید.***

٤- ***نشانی خود را برای تماس احتمالی ذکر فرمایید.***

کارشناسان این دفتر نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت.

پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی‌علی‌شاه، مرکز تلفن ۳۳۲۷۱، معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، دفتر نظام فنی اجرایی

Email: tsb.dta@mporg.ir **web: http://tec.mporg.ir/**

بسمه تعالی

پیشگفتار

طبق نظام فنی و اجرایی کشور (مصوبه شماره ۴۲۳۳۹/ت۳۳۴۹۷ هـ مورخ ۱۳۸۵/۴/۲۰ هیات محترم وزیران) استفاده از ضوابط، معیارها و استانداردها در مراحل پیدایش، مطالعات توجیهی، طراحی پایه و تفصیلی، اجرا، راه‌اندازی، تحویل و شروع بهره‌برداری طرح‌ها و پروژه‌های سرمایه‌گذاری به لحاظ رعایت جنبه‌های توجیه فنی و اقتصادی طرح‌ها، تامین کیفیت طراحی و اجرا (عمر مفید) و کاهش هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری از اهمیت ویژه برخوردار می‌باشد.

با توجه به مراتب یاد شده و شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران، امور آب وزارت نیرو (طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور) با همکاری معاونت نظارت راهبردی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی (دفتر نظام فنی اجرایی) به استناد آیین‌نامه اجرایی طرح‌های عمرانی، موضوع ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه اقدام به تهیه استانداردهای مهندسی آب کرده است.

استانداردهای مهندسی آب با در نظر داشتن موارد زیر تهیه و تدوین شده است:

- استفاده از تخصص‌ها و تجربه‌های کارشناسان و صاحبنظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی؛
- استفاده از منابع و ماخذ معتبر و استانداردهای بین‌المللی؛
- بهره‌گیری از تجارب دستگاه‌های اجرایی، سازمان‌ها، نهادها، واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت؛
- پرهیز از دوباره‌کاری‌ها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور؛
- توجه به اصول و موازین مورد عمل موسسه استانداردها و تحقیقات صنعتی ایران و سایر موسسات تهیه‌کننده استاندارد.

ضوابط و معیارهای حاضر با هدف ارائه اطلاعات کلی برای کارشناسان فنی و برنامه ریزان جهت تعیین معیارها و ضوابط فنی عملیات اکتشافی ژئوتکنیک سامانه‌های آبیاری و زهکشی تهیه شده است.

ضمن تشکر از کارشناسان محترم برای بررسی و اظهار نظر در مورد این استاندارد، امید است مجریان و دست‌اندرکاران بخش آب، با به کارگیری استانداردهای یاد شده، برای پیشرفت و خودکفایی این بخش از فعالیت‌های کشور تلاش کرده و صاحبنظران و متخصصان نیز با اظهار نظرهای سازنده در تکامل این استانداردها مشارکت کنند. با همه‌ی تلاش انجام‌شده قطعا هنوز کاستی‌هایی در متن موجود است که ان‌شاءا... کاربرد عملی و در سطح وسیع این نشریه توسط مهندسان موجبات شناسایی و برطرف نمودن آن‌ها را فراهم خواهد کرد.

در پایان، از تلاش و جدیت مدیرکل محترم دفتر نظام فنی اجرایی، سرکار خانم مهندس بهناز پورسید و کارشناسان این دفتر، نماینده مجری محترم طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور وزارت نیرو، جناب آقای مهندس محمد حاج‌رسولیها و متخصصان همکار در امر تهیه و نهایی نمودن این نشریه، تشکر و قدردانی می‌نماید. امید است شاهد توفیق روزافزون همه‌ی این بزرگواران در خدمت به مردم شریف ایران اسلامی باشیم.

معاون نظارت راهبردی

۱۳۸۸

ترکیب اعضای تهیه‌کننده، کمیته و ناظران تخصصی

این ضوابط به ترتیب با مسوولیت و همکاری مهندسان زیر تهیه شده است:

رضا کیانی	شرکت‌های مهندسین مشاور پندام و پراهوم	فوق‌لیسانس مهندسی مکانیک خاک و مهندسی پی
فریدون بهرامی سامانی	شرکت مهندسین مشاور تماوان	فوق‌لیسانس مهندسی زمین‌شناسی

گروه نظارت که مسوولیت نظارت تخصصی بر تدوین این ضوابط را به عهده داشته‌اند به ترتیب حروف الفبا عبارتند از:

فردین جعفرزاده	دانشگاه صنعتی شریف	دکتری مکانیک خاک و مهندسی پی
محمدکاظم سیاهی	شرکت مهندسین مشاور پندام	فوق‌لیسانس مهندسی عمران و فوق‌لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی
انسیه محرابی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور	فوق‌لیسانس مهندسی تاسیسات آبیاری

اعضای کمیته تخصصی آبیاری و زهکشی طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور که بررسی و تایید ضوابط حاضر را به عهده داشته‌اند به ترتیب حروف الفبا عبارتند از:

علیرضا آراستی	شرکت مدیریت منابع آب ایران	لیسانس مهندسی آبیاری
ابراهیم پذیرا	دانشگاه آزاد- واحد علوم و تحقیقات	دکتری مهندسی منابع آب
احمد پورزند	شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس	لیسانس مهندسی آبیاری
محمدصادق جعفری	شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس	فوق‌لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی
سیدمجتبی رضوی نبوی	شرکت مدیریت منابع آب ایران	فوق‌لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی
سیدرحیم سجادی	وزارت جهاد کشاورزی	لیسانس مهندسی آبیاری
محمدکاظم سیاهی	شرکت مهندسین مشاور پندام	فوق‌لیسانس مهندسی عمران و فوق‌لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی
محمدحسن‌عبدالله‌شمشیرساز	شرکت مهندسین مشاور پژوهاب	فوق‌لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی
انسیه محرابی	طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور	فوق‌لیسانس مهندسی تاسیسات آبیاری
محمدجواد منعم	دانشگاه تربیت مدرس	دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی

در خاتمه از جناب آقای مهندس حسین شفیعی‌فر که با بازخوانی و ارائه نظرات مفید خود، در تهیه و تدوین این راهنما همکاری کرده‌اند، قدردانی می‌شود.

کارشناسان معاونت نظارت راهبردی:

آقای علیرضا دولتشاهی	دفتر نظام فنی اجرایی	لیسانس مهندسی کشاورزی
خانم فرزانه آقارمضانعلی	دفتر نظام فنی اجرایی	کارشناس ارشد مهندسی صنایع
خانم شهرزاد روشن خواه	دفتر نظام فنی اجرایی	کارشناس ارشد مهندسی عمران - ژئوتکنیک

بدین وسیله معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور از زحمات تمام کارشناسان و متخصصان یادشده که در تهیه و تدوین این نشریه همکاری داشته‌اند، سپاسگزاری می‌نماید.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	۱
فصل اول- کلیات	**۳**
۱-۱- هدف	۵
۱-۲- دامنه کاربرد	۵
۱-۳- روش انجام کار	۵
فصل دوم- دسته‌بندی سازه‌های مختلف سامانه‌های آبیاری و زهکشی	**۷**
۲-۱- دسته‌بندی از نظر ابعاد و بار وارده به پی	۹
۲-۱-۱- سازه‌های کوچک	۹
۲-۱-۲- سازه‌های متوسط	۹
۲-۱-۳- سازه‌های بزرگ	۹
۲-۲- دسته‌بندی از نظر اثر آب زیرزمینی	۹
فصل سوم- اجزای ژئوتکنیکی مورد استفاده	**۱۱**
۳-۱- انواع حفاری‌های متداول و مشخصات آن‌ها	۱۳
۳-۲- انواع نمونه‌برداری‌ها	۱۳
۳-۲-۱- نمونه‌گیری در گمانه‌های ماشینی	۱۴
۳-۲-۲- نمونه‌گیری از خاک در چاهک‌های دستی	۱۴
۳-۲-۳- نمونه‌گیری از سنگ حاصل از حفاری ماشینی	۱۵
۳-۳- انواع آزمایش‌های آزمایشگاهی متداول	۱۷
۳-۳-۱- آزمایش‌های مورد نیاز برای پی آبرفتی و مصالح قرضه خاکریزی	۱۷
۳-۳-۲- آزمایش‌های مورد نیاز برای بررسی پی سنگی	۱۸
۳-۳-۳- آزمایش‌های مورد نیاز برای پی‌های سنگی ضعیف	۲۰
۳-۳-۴- آزمایش‌های مورد نیاز برای مصالح قرضه درشت‌دانه (شن و ماسه بتن)	۲۰
۳-۳-۵- آزمایش‌های مورد نیاز برای قرضه مصالح سنگی	۲۱
۳-۳-۶- آزمایش‌های شیمیایی آب	۲۱
۳-۴- انواع آزمایش‌های صحرایی متداول	۲۱
۳-۵- آزمایش‌های مورد نیاز برای خاک‌های مساله‌دار	۲۲
۳-۵-۱- خاک‌های متورم شونده	۲۲

عنوان	صفحه
۳-۵-۲- خاک‌های واگرا	۲۳
۳-۵-۳- خاک‌های رمبنده	۲۳
۳-۵-۴- خاک‌های حاوی مواد حل شونده	۲۳
۳-۵-۵- خاک‌های روانگرا	۲۴
فصل چهارم- نوع و میزان حفاری‌های موردنیاز	**۲۵**
۴-۱- فواصل و تعداد حفاری‌ها	۲۷
۴-۲- عمق مورد نیاز برای حفاری	۲۷
۴-۳- حفاری‌های مورد نیاز برای منابع قرضه	۳۰
۴-۳-۱- نمونه‌برداری از منابع قرضه	۳۱
فصل پنجم- نحوه ارایه گزارش‌ها و نظارت	**۳۳**
۵-۱- گزارش‌ها	۳۵
۵-۲- تهیه نمودار حفاری چاهک‌ها و گمانه‌ها	۳۵
۵-۳- ارایه نتایج حفاری‌ها در نقشه‌های اجرایی	۳۵
۵-۴- نمودارهای دانه‌بندی	۳۵
۵-۵- وظایف عوامل نظارت	۳۶
فصل ششم- روش‌های تحلیل و ارایه خدمات مهندسی	**٤١**
۶-۱- کلیات	۴۳
۶-۲- ارایه نتایج مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی	۴۳
۶-۳- نتیجه‌گیری و ارایه پارامترهای ژئوتکنیکی	۴۳
۶-۴- ارایه مقاومت مجاز خاک و نشست پی	۴۳
۶-۵- تحلیل پایداری شیروانی	۴۴
۶-۶- تحلیل نتایج آزمایش‌های شیمیایی	۴۴
۶-۷- تحلیل مسایل خاص	۴۴
۶-۸- کیفیت مصالح خاکریزها	۴۴
فصل هفتم- آزمایشگاه محلی کنترل عملیات خاکی و بتنی	**٤٥**
۷-۱- کلیات	۴۷
۷-۲- کنترل عملیات خاکی	۴۷
۷-۳- کنترل عملیات بتنی	۴۸

عنوان	صفحه
فصل هشتم- طبقه‌بندی خاک‌ها	**٤٩**
۸-۱- کلیات	۵۱
۸-۲- طبقه‌بندی خاک‌ها در صحرا	۵۱
۸-۳- طبقه‌بندی آزمایشگاهی	۵۲
منابع و مراجع	۵۵

مقدمه

با توجه به اینکه انجام مطالعات ژئوتکنیک در طراحی بهینه و ساخت پروژه‌های آبیاری و زهکشی ضروری می‌باشد و عدم انجام این مطالعات در برخی از پروژه‌ها، موجب تغییرات اساسی در عملیات اجرایی شده است، تدوین معیارهای کاوش‌های ژئوتکنیکی در دستور کار طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور قرار گرفت.

واژه کاوش‌های زیر سطحی که در این نشریه مورد استفاده قرار گرفته است در برگیرنده تمام حالت‌ها و انواع حفاری‌های مرتبط با تعیین گسترش و ماهیت (کیفیت، کمیت، خواص شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی) خاک و توده سنگ زیرسطح طبیعی زمین در محل طرح و یا مجاورت آن می‌باشد.

مطالعات ژئوتکنیک در طول کانال‌ها، زهکش‌ها و جاده های دسترسی و سرویس سازه‌های مربوط به آنها و تاسیسات آبگیری و انحراف آب به منظور شناسایی موارد زیر انجام می‌شود:

۱- شناسایی مشخصات مصالحی که باید حفاری شود؛

۲- شناسایی مصالح و تعیین مشخصات آنها برای ساخت خاک‌ریز کانال و زهکش و دایک‌های حفاظتی؛

۳- تعیین ظرفیت باربری پی برای ساخت سازه‌ها؛

۴- تعیین نیاز یا عدم نیاز به پوشش[1] کانال از نظر ژئوتکنیکی؛

۵- تعیین نیاز و مشخصات و ضخامت زهکش زیر پوشش بتنی کانال‌ها و موقعیت استقرار لایه‌های زهکش در مقطع کانال؛

۶- تعیین شیب جانبی مقطع کانال و زهکش و شیب خاک‌ریزها و خاک‌برداری‌ها؛

۷- تعیین پتانسیل فرسایش‌پذیری مقاطع کانال‌ها و زهکش‌ها و دایک‌های حفاظتی؛

۸- تعیین مشخصات سیمان مصرفی؛

۹- تعیین میزان یون‌های سولفات و کلرور در آب و خاک؛

۱۰- تعیین مقدار کل املاح محلول و مقدار گچ خاک؛

۱۱- تعیین مقدار مواد آلی خاک؛

۱۲- کنترل شرایط خاص نظیر روان‌گرایی، رمبندگی، واگرایی و تورم خاک؛

۱۳- در نظر گرفتن تمهیدات اجرایی لازم، با توجه به وضعیت سطح آب زیرزمینی.

دامنه و گسترش اکتشافات ژئوتکنیکی باید با توجه به شرایط زمین محل و ابعاد کانال‌ها، زهکش‌ها و سازه‌های مربوط به آن‌ها تعیین گردد. اصولا این اکتشافات باید مرحله به مرحله صورت گیرد و جزییات هر مرحله با توجه به اطلاعات حاصل از مرحله قبل مشخص گردد. با توجه به ضرورت انجام مطالعات ژئوتکنیک، مشاور باید این مطالعات را در برنامه زمانی پیشنهادی مطالعات پروژه گنجانده و پیش‌بینی‌های لازم را انجام دهد.

خاک‌هایی که برای خاک‌ریز کانال‌های پوشش شده استفاده می‌شوند نباید تورم‌زا یا واگرا باشند. همچنین برای خاک‌ریزهای حفاظتی یا خاک‌ریز زهکش‌ها و کانال‌های خاکی، خاک‌ها نباید واگرا باشند. خاک‌های مصرفی در خاک‌ریزها و بدنه کانال‌های خاکی باید دارای مقاومت برشی کافی باشند. در کانال‌های خاکی پوشش نشده ضروری است مصالح خاک‌ریزی دارای نفوذپذیری کمی

1 - Lining

باشند. این خاک‌ها باید فاقد یا دارای املاح محلول و مواد آلی در حد مجاز باشند. در مواردی که خاک‌های مسیر ساخت کانال فاقد ویژگی‌های مطلوب باشند، باید برای مصالح خاک‌ریز و خاک‌ریزی مجدد پشت ابنیه فنی، منابع قرضه مناسب شناسایی شده و ویژگی‌های ژئوتکنیکی منابع قرضه نیز مطالعه گردد یا روش‌های اصلاح خاک محل مورد بررسی قرار گیرد.

باید توجه کرد که در صورت وجود خاک‌های مساله‌دار (غیرمتعارف) نظیر خاک‌های متورم شونده، واگرا، رمبنده، روان‌گرا و خاک‌های گچ‌دار مطالعات ژئوتکنیک باید با دقت و حساسیت بیش‌تری انجام شود.

فصل ۱

کلیات

۱-۱- هدف

این نشریه با هدف انتخاب دامنه و نوع مطالعات ژئوتکنیک و کاوش‌های زیرسطحی در رابطه با طرح‌های آبیاری و زهکشی تدوین شده است.

۱-۲- دامنه کاربرد

این نشریه برای سامانه‌های آبیاری و زهکشی و سازه‌های آن قابل‌استفاده می‌باشد.

۱-۳- روش انجام کار

باتوجه به اینکه سامانه‌های آبیاری و زهکشی معمولا دارای گستره زیادی بوده و جانمایی اجزای طرح در مراحل مختلف مطالعات مشخص و تدقیق می‌گردد، بنابراین لازم است مهندس ژئوتکنیک در مراحل مختلف مطالعات، برنامه مطالعات ژئوتکنیک را براساس دقت جانمایی اجزای طرح در همان مرحله تنظیم کند، در نتیجه مطالعات ژئوتکنیک باید متناسب با هر مرحله از مطالعات سامانه‌های آبیاری و زهکشی انجام شود.

الف – مطالعات مرحله شناسایی (شناخت)

مطالعات ژئوتکنیک مرحله شناخت باید بتواند مشکلات و مسایل و نیز مزایای نسبی هریک از گزینه‌ها را در موارد مرتبط با ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک مسیر کانال‌ها و زهکش‌ها و بستر سازه‌های شبکه با دقت موردانتظار در این مرحله بیان کند. معمولا نیازهای مطالعات مرحله شناخت با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی محدوده موردنظر، اطلاعات ژئوتکنیکی نواحی مشابه هم‌جوار، عکس‌های هوایی و بازدیدهای میدانی انجام شده و اقدام به حفاری‌های ژئوتکنیک نمی‌گردد به جز در موارد خاص که سازه‌های متمرکز مهم و حساس با مسایل ویژه ژئوتکنیکی مطرح باشد که بتواند ماهیت طرح را دچار تغییرات اساسی کند یا امکان اجرای آن را منتفی سازد، بدیهی است در چنین حالتی مشاور باید با ارایه راهکارهای مناسب به کارفرما و تغییر چارچوب‌های زمانی و خدمات مهندسی فیمابین پیشنهادهای لازم را در حد مقیاس و دقت مرحله شناخت به کارفرما ارایه نماید.

ب – مطالعات مرحله اول

در مطالعات مرحله اول که باتوجه به دقت مطالعات و مقیاس نقشه‌ها، هدف مقایسه گزینه‌های قابل بررسی طرح توسعه از نظر فنی و اقتصادی و انتخاب گزینه برتر و به‌گزینی در بین زیرگزینه‌ها است، نیاز به اطلاعات ژئوتکنیکی از جمله شیب‌های خاک‌برداری، خاکریزی و اصلاحات احتمالی موردنیاز، مسایل خاک‌های مسیر و تمهیدات لازم برای آن‌ها، ظرفیت باربری پی‌ها و... می‌باشد. از آنجایی که در مطالعات مرحله اول جانمایی اجزا و ارکان شبکه درگزینه منتخب بیش‌تر در مراحل نهایی مطالعات مشخص می‌شود، برای اجتناب از طولانی شدن زمان مطالعات عملیات حفاری ژئوتکنیکی و انجام دادن آزمایش‌های صحرایی و آزمایشگاهی مربوط را باید به‌گونه‌ای براساس جانمایی اولیه شبکه آبیاری و زهکشی برنامه‌ریزی کرد که بتوان به شناخت کلی از

وضعیت ژئوتکنیکی در محدوده سامانه آبیاری و زهکشی با تمرکز بر مسیرهای احتمالی کانال‌ها و زهکش‌ها و موقعیت تقریبی سازه‌های مهم دست یافت.

درمواردی که جانمایی اولیه طرح (احتمالا به‌دلیل نزدیک بودن گزینه‌های با پیچیدگی طرح) مشخص نباشد یا آنکه برای مقایسه گزینه‌ها اطلاعات ژئوتکنیکی در سراسر محدوده موردنیاز باشد، استفاده از آرایش شبکه‌ای چاهک‌ها و گمانه‌ها به‌نحوی که مرزهای محدوده سامانه آبیاری و زهکشی و قسمت‌های میانی آن را با تاکید بر نقاط اضافی در موقعیت‌های حساس مورد کاوش قرار دهد راه حل مناسبی خواهد بود، منوط به آن‌که در تجزیه و تحلیل نتایج از تکنیک‌های آماری و قضاوت‌های مهندسی استفاده لازم و کافی به عمل آید. به منظور شناسایی مناسب‌تر در سطح می‌توان بر تعداد چال‌ها و چاهک‌ها افزود و از تعداد گمانه‌ها کاست یا آن‌ها را در محل‌هایی با حساسیت بیش‌تر حفر کرد و در صورت امکان گمانه‌ها را در انتهای مطالعات ژئوتکنیک حفاری نمود. در حین انجام دادن مطالعات ژئوتکنیک با استفاده از چنین روشی برای انجام کاوش‌ها، چنانچه جانمایی برخی از اجزا مهم شبکه تدقیق شد یا آن‌که بررسی نتایج حفاری‌های پیشین نشان داد که با جابه‌جا کردن محل برخی از چاهک‌ها و گمانه‌ها می‌تواند به تدقیق نتایج کمک کند، در آن صورت لازم است نسبت به تغییر موقعیت با عمق عملیات اکتشافی اقدام کرد. این کار ممکن است تا حدودی به تغییر مقادیر و هزینه‌های حفاری‌های ژئوتکنیک بیانجامد که در برآورد حجم عملیات ژئوتکنیک باید از قبل پیش‌بینی‌های لازم به عمل آید.

ج - مطالعات مرحله دوم

در مطالعات مرحله دوم با درنظر گرفتن محل گمانه‌ها و چال‌های حفاری شده در مطالعات پیشین و نتایج آزمایش‌ها، نسبت به ارایه برنامه عملیات حفاری تکمیلی در مسیر کانال‌ها، زهکش‌ها و محل سازه‌های مهم به نحوی اقدام شود که نتایج حاصل بتواند تمامی اطلاعات مورد نیاز طراحی این مرحله را به‌گونه‌ای فراهم آورد که اسناد مناقصه کارهای اجرایی با حداقل تغییر ممکن در احجام، مقادیر و قیمت‌های جدید گردد.

در مطالعات این مرحله با توجه به تغییر مقیاس نقشه‌ها درصورتی که طرح دستخوش بازنگری مطالعات مرحله اول شود، تهیه و تکمیل طرح جدید مدتی به‌طول خواهد انجامید و باید مطالعات و حفاری‌های تکمیلی مرحله دوم طرح تا زمان قطعی شدن آرایش سامانه آبیاری و زهکشی و جانمایی اجزا طرح به‌تعویق افتد.

د – مرحله اجرا

نظر به این‌که در مراحل قبلی کاوش‌های زیرسطحی ژئوتکنیکی در مسیر کانال‌ها و زهکش‌ها با فاصله قابل ملاحظه‌ای انجام شده، ممکن است در فاصله بین چاهک‌ها و گمانه‌ها تغییرات ژئوتکنیکی قابل ملاحظه‌ای مشاهده شود که مشکلات و محدودیت‌هایی را به برخی بازه‌های کانال‌ها و زهکش‌ها تحمیل کند، در این‌گونه موارد لازم است با خاک‌برداری و بازشدن مسیر، در صورت مشاهده تغییرات مشکل‌زا یا بروز مسایلی که مستلزم تجدیدنظر در برخی اجزا طرح است، با نظر کارشناس ژئوتکنیک پروژه نمونه‌های تکمیلی تهیه و آزمایش‌های لازم بر روی آن‌ها انجام شود.

فصل ۲

دسته‌بندی سازه‌های مختلف

سامانه‌های آبیاری و زهکشی

۲-۱- دسته‌بندی از نظر ابعاد و بار وارده به پی

۲-۱-۱- سازه‌های کوچک

ارتفاع این سازه‌ها کم‌تر از ۳ متر بوده و تنش‌های کمی (کم‌تر از ۵۰ کیلوپاسکال) به خاک وارد می‌کنند. به عنوان یک معیار دیگر برای دسته‌بندی این سازه‌ها، می‌توان کانال‌ها و زهکش‌های دارای ظرفیت کم‌تر از ۳ مترمکعب برثانیه و سازه‌های مربوط به آن را در این دسته قرار داد. برای مطالعات این نوع سازه‌ها در شرایط خاک‌های متعارف نیاز به آزمایش‌های مقاومتی آزمایشگاهی، نظیر برش‌مستقیم و سه‌محوری نمی‌باشد و می‌توان از نتایج آزمایش‌های صحرایی نظیر SPT و آزمایش‌های آزمایشگاهی نظیر دانه‌بندی، حدود اتربرگ، تراکم، طبقه‌بندی، نفوذپذیری و آزمایش‌های شیمیایی برای برآورد پارامترها و تمهیدات مورد نیاز استفاده کرد. معمولا حفاری‌های دستی نیز برای شناسایی صحرایی کافی می‌باشد.

۲-۱-۲- سازه‌های متوسط

این سازه‌ها دارای ارتفاع بین ۳ تا ۶ متر بوده و تنش‌های قابل ملاحظه‌ای (بین ۵۰ تا ۱۵۰ کیلوپاسکال) را به خاک پی وارد می‌کنند. برای این نوع سازه‌ها معمولا تعیین پارامترهای مقاومتی خاک به همراه نشست پی مهم می‌باشد. برآورد پارامترهای مقاومتی و نشست‌پذیری خاک با استفاده از آزمایش‌های صحرایی و تعداد محدودی آزمایش‌های آزمایشگاهی مقاومتی نظیر سه‌محوری، برش مستقیم و تحکیم برای این نوع سازه‌ها مورد نیاز است.

۲-۱-۳- سازه‌های بزرگ

ارتفاع این سازه‌ها بیش از ۶ متر بوده یا تنش‌های وارده به خاک بیش از ۱۵۰ کیلوپاسکال می‌باشد. برای این نوع سازه‌ها همانند سازه‌های متوسط نیاز به برآورد پارامترهای خاک بوده و لازم است نیازهای طراحی به‌کمک مهندس طراح سازه و مهندس ژئوتکنیک با دقت بیش‌تر و با انجام دادن آزمایش‌های بیش‌تر تعیین گردد.

۲-۲- دسته‌بندی از نظر اثر آب زیرزمینی

در دسته‌بندی سازه‌ها علاوه بر موارد بند ۲-۱ باید به اثر آب زیرزمینی بر سازه توجه داشت. براین اساس سازه‌ها را می‌توان به دسته‌های زیر نیز طبقه‌بندی کرد.

الف- فاصله تراز آب زیرزمینی از تراز کف سازه بیش از عرض پی می‌باشد. در این صورت به غیر از شرایط خاص نظیر وجود خاک‌های روانگرا یا خاک‌های ریزدانه نشست‌پذیر، آب زیرزمینی بر سازه اثر چندانی نخواهد داشت.

ب- تراز آب زیرزمینی در حدفاصل تراز کف سازه و عمق معادل عرض پی از کف قرار دارد. در این صورت آب زیرزمینی بر مقاومت خاک پی و نشست‌پذیری پی اثر داشته و باید به دقت اثرهای آن بر پی مورد بررسی قرار گیرد.

ج- تراز آب زیرزمینی از تراز کف سازه بالاتر می‌باشد. در این صورت با توجه به بار ناشی از آب بر سازه و سایر عوامل هیدرولیکی ناشی از وجود آب نظیر گرادیان حاصل از تراوش و زیرفشار[1]، بررسی اثرهای آب بر روی سازه نیاز به دقت زیادی خواهد داشت.

1-Uplift

فصل ۳

اجزای ژئوتکنیکی مورد استفاده

۳-۱- انواع حفاری‌های متداول و مشخصات آن‌ها

انواع حفاری به دو دسته کلی (دستی با استفاده از مقنی و حفر چاهک) و با استفاده از دستگاه‌های ماشینی تقسیم می‌شود. علاوه بر این دو دسته حفاری در بعضی موارد حفاری ترانشه با ماشین (بولدوزر، بیل مکانیکی و ...) نیز جهت بررسی چشمی لایه‌های خاک در حجم زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرد. در جدول۳-۱ مزایا و معایب حفاری دستی و ترانشه‌ها و در جدول ۳-۲ نیز انواع حفاری‌های متداول ماشینی در خاک و سنگ و کاربرد، مزایا و محدودیت‌های آن‌ها به صورت خلاصه ارایه شده است. تعدادی از حفاری‌های متداول ماشینی و کاربرد آن‌ها در ادامه به صورت مختصر توضیح داده شده است.

- حفاری با اوگر: با استفاده از حفاری با اوگر نمونه‌های دست‌خورده به‌دست می‌آید که برای تعیین نوع خاک، حدود اتربرگ و سایر مشخصات شاخص خاک مناسب است. اما اغلب، اطلاعات محدودی در خصوص لایه‌بندی زیرسطحی، پیوستگی و حساسیت خاک به‌دست می‌دهد. حفاری با اوگر بیش‌تر برای مطالعات اولیه در خصوص نوع خاک، حفر گمانه برای تهیه نمونه دست‌نخورده با استفاده از نمونه‌گیر و تعیین عمق بستر سنگی پی مناسب است. تهیه نمونه با اوگر در زیر تراز آب زیرزمینی مشکل می‌باشد به جز مواردی که زمین از جنس مواد ریزدانه چسبنده باشد.
- حفاری دورانی: در این روش پیش‌روی مته بر اثر دوران مداوم سرمته انجام می‌شود. بعضی از سرمته‌ها در حفاری دورانی سنگ‌ها را خرد می‌کنند. در صورتی که برخی دیگر که به مته نمونه‌گیر (مغزه‌گیر) موسوم هستند استوانه‌هایی از سنگ را حفر می‌کنند. در مورد حفاری در خاک، خاک حفر شده به صورت مغزه در داخل مغزه‌گیر قرار می‌گیرد که با خارج کردن مغزه‌گیر از گمانه، مغزه‌های خاک را می‌توان بررسی نموده و یا نمونه برای آزمایشگاه تهیه کرد.
- هدف عمده از مطالعات زیرسطحی به‌دست آوردن مشخصات ژئوتکنیکی خاک شامل: لایه‌بندی، دانه‌بندی، پارامترهای شیمیایی، نفوذپذیری، تراکم‌پذیری، مقاومت برشی هر لایه از خاک یا سنگ در محدوده و عمق مورد مطالعه براساس اندازه سازه می‌باشد. روش حفاری دورانی با مغزه‌گیری مداوم، در مقایسه با سایر روش‌های حفاری که در بالا به آن‌ها اشاره گردید، برای اکتشافات ژئوتکنیکی مناسب‌تر می‌باشد که به‌وسیله آن می‌توان به لایه‌بندی و تغییرات در لایه‌های خاک با دقت مناسبی دست یافت و نیز همراه با حفر گمانه، نسبت به تهیه نمونه‌های دست‌نخورده اقدام کرد. در زمین‌های نرم درصورتی‌که عمق حفاری‌ها کم بوده و نمونه دست‌نخورده مورد نیاز نباشد، حفاری با اوگر روشی سریع و اقتصادی می‌باشد.

۳-۲- انواع نمونه‌برداری‌ها

در نمونه‌برداری از خاک و سنگ طی عملیات اکتشافات ژئوتکنیکی باید بیش‌ترین دقت به‌عمل آید و باید توجه داشت که نحوه مناسب نمونه‌گیری بر نتایج به‌دست آمده از این عملیات تاثیر بسزایی خواهد داشت. به منظور تعیین مشخصات لایه‌های خاک و سنگ لازم است که در فواصل ۱ تا ۲متر و یا در هر تغییر لایه نمونه تهیه شده و برای انجام دادن آزمایش‌های آزمایشگاهی به آزمایشگاه ارسال گردد. معمولا بر روی این نمونه‌ها دست‌کم آزمایش‌های تعیین رطوبت طبیعی، دانه‌بندی و حدود اتربرگ جهت تعیین طبقه‌بندی خاک انجام می‌شود. انواع نمونه‌ها بر مبنای نحوه تهیه و ساختار آن‌ها نسبت به ساختار طبیعی را می‌توان به گروه‌های زیر تقسیم‌بندی کرد:

الف- نمونه‌های کاملا به‌هم خورده یا کاملا دست‌خورده که ساخت و بافت آن‌ها کاملا بر هم خورده است، مثل نمونه‌های شسته شده و نمونه‌هایی که با اوگر گرفته می‌شود و یا تراشه ناشی از حفاری دورانی در سنگ. از این نمونه‌ها برای شناسایی کلی استفاده می‌شود.

ب- نمونه‌های دست‌خورده و یا بارز[1] که بافت خاک و مشخصات مهندسی مانند مقاومت، قابلیت تراکم و نفوذپذیری آن نسبت به وضعیت طبیعی تغییر یافته است. البته ممکن است در بعضی از مواقع بافت خاک با وجود دست خوردگی قابل مشاهده باشد. این نمونه‌ها با نمونه‌گیر محفظه دو کفه‌ای (نمونه حاصل از آزمایش SPT) و یا مغزه‌گیر در هنگام حفاری دورانی به‌دست می‌آید و برای انجام "آزمایش‌های شاخص" به‌کار می‌رود.

ج- نمونه‌های دست‌نخورده که ممکن است تنها تغییر شکل و به‌هم‌خوردگی کمی در سطوح جانبی آن دیده شود ولی مشخصات مهندسی در اغلب قسمت‌های آن بدون تغییر مانده است. این نوع نمونه توسط محفظه‌های نمونه‌گیری یا "نمونه‌گیری قطعه‌ای" حاصل می‌شود. از این نمونه می‌توان برای تعیین مشخصات مهندسی (مقاومت و تراکم پذیری) استفاده کرد.

باید حداکثر دقت به‌عمل آید تا نمونه تهیه شده وضعیت طبیعی خود را از لحاظ رطوبت و تراکم حفظ کند. نمونه‌ها پس از تهیه باید بلافاصله بسته‌بندی و در مورد نمونه‌های دست‌نخورده موم‌اندود شده و با روش‌های مناسب لفاف پیچی شده در شرایط حفاظت شده و در محل سرپوشیده نگهداری شوند و در نوبت‌های مناسب جهت انجام دادن آزمایش‌ها توسط مهندس مشاور به آزمایشگاه ارسال گردند. داخل بسته‌بندی هر نمونه باید شماره نمونه، شماره گمانه (چاهک)، عمق و تاریخ نمونه‌برداری و نام پروژه ذکر شده و در محل فهرستی از کلیه نمونه‌های ارسالی شامل اطلاعات فوق تهیه شود.

۳-۲-۱- نمونه‌گیری در گمانه‌های ماشینی

انواع روش‌های نمونه‌گیری متداول در خاک و سنگ در جدول ۳-۳ ارایه شده است. از این روش‌ها، نمونه‌های اوگری، مغزه‌های حفاری، محفظه دوکفه‌ای (SPT)، یوفر، (شلبی) پیستون ثابت، دنیسون، پیچر، مغزه‌گیر تک جداره در خاک و مغزه‌گیر دو جداره در سنگ در ایران متداول‌تر از سایر نمونه‌برداری‌ها در ایران می‌باشند.

۳-۲-۲- نمونه‌گیری از خاک در چاهک‌های دستی

از چاهک‌های دستی دو نوع نمونه دست‌خورده و دست‌نخورده قابل تهیه است. برای تهیه نمونه دست‌خورده مصالح حاصل از هر متر حفر چاه در کنار چاه دپو شده و یک نمونه معرف از کوارتر[2] نمودن این مصالح تهیه می‌گردد. برای کوارتر نمودن ابتدا مصالح مربوط به صورت یک کپه مخروطی ریخته شده سپس به‌وسیله راه رفتن بر روی این مخروط و پخش مصالح با بیل، یک دایره به ضخامت یکنواخت از مصالح تشکیل داده می‌شود. سپس مصالح پخش شده به چهار قسمت مساوی تقسیم شده و دو قسمت روبه‌روی هم کنار گذاشته و مصالح باقیمانده با بیل با هم مخلوط شده و سپس عمل کوارتر نمودن (کپه‌کردن، پخش، ...) تکرار می‌گردد تا وزن نمونه به وزن مورد نیاز برسد.

1 - Disturbed or Representative Sample
2 - Quartering

برای مصالح درشت‌دانه وزن نمونه معرف حدود ۱۰۰ کیلوگرم بوده و برای مصالح ریزدانه این وزن ۲۵ تا۵۰ کیلوگرم می‌باشد. درصورتی‌که هدف از حفر چاه دستی تامین منابع قرضه درشت‌دانه باشد باید یک نمونه مخلوط نیز تهیه گردد. به این منظور مصالح باقیمانده هر متر چاه پس از تهیه نمونه از هر متر با هم مخلوط شده و از کوارتر نمودن این مصالح یک نمونه مخلوط به وزن حدود ۲۰۰ کیلوگرم تهیه می‌گردد. در مصالح درشت‌دانه ابتدا باید برای قسمت درشت‌دانه بزرگ‌تر از ۳ اینچ، دانه‌بندی صحرایی انجام شود (الک‌های۳، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲و ۱۵ اینچ) و فقط مصالح کوچک‌تر از ۳ اینچ به آزمایشگاه ارسال گردد. همچنین درصورتی‌که هدف تامین منابع قرضه ریزدانه باشد، نمونه مخلوط از یک شیار که در دیوار چاهک حفاری می‌شود به وزن حدود ۵۰ کیلوگرم تهیه می‌شود.

نمونه دست‌نخورده در چاهک‌های دستی در خاک‌های ریزدانه قابل تهیه می‌باشد. برای این منظور از نمونه‌گیر کرکاتر[1] و چکش و یا نمونه‌گیری مونولیت به ابعاد حدود ۳۰×۳۰×۳۰ سانتی‌متر استفاده می‌شود.

۳-۲-۳- نمونه‌گیری از سنگ حاصل از حفاری ماشینی

نمونه‌گیری از مغزه‌های سنگی باید بلافاصله پس از خروج مغزه از مغزه‌گیر صورت پذیرد. نمونه انتخاب شده توسط کاغذ آلومینیومی و پارچه مخصوص لفاف‌بندی شده و سپس با موم و یا پارافین اندود می‌گردد تا در معرض هوا قرار نگیرد. سپس نمونه موم گرفته شده درون یک قطعه لوله پی وی سی قرار خواهد گرفت تا در حمل و نقل آسیب نبیند. طول مغزه انتخاب شده برای نمونه نباید از ۳۰ سانتی‌متر کم‌تر باشد.

1 - Core Cutter

جدول۳-۱- انواع روش‌های حفاری ماشینی[۵]

ماشین	کاربرد	روش حفاری	مزایا	محدودیت‌ها
حفاری دورانی[1]	همه نمونه‌های خاک و سنگ از این روش به‌دست می‌آید. گمانه‌ای برای انجام انواع آزمایش‌های برجا ایجاد می‌کند. حفر گمانه غیر قائم برای زهکشی افقی یا ایجاد مهار	پیش‌روی توسط سرمته برنده که در انتهای لوله حفاری قرار دارد و تحت فشار هیدرولیکی است انجام می‌شود. دیواره چاه معمولا در خاک و سنگ‌های خرد شده با لوله‌جدار یا گل حفاری محافظت می‌شود.	روشی نسبتا سریع است. می‌تواند در همه نوع مواد نفوذ کند. برای همه نوع نمونه‌گیری مناسب است.	جابه‌جا کردن وسایل در زمین‌های ناهموار و باتلاقی مشکل و احتیاج به راه مناسب دارد. همچنین احتیاج به سکوی تسطیح شده دارد. کارآیی حفاری با توجه به اندازه دستگاه متغیر است.
اوگر مارپیچی ممتد[2]	گمانه‌هایی به قطر کوچک (۵۰ میلی‌متر) تا متوسط (۱۰۰ میلی‌متر) حفر می‌کند و به‌طور پیوسته نمونه‌های دست‌خورده می‌گیرد. معمولا در خاک‌هایی که چاه بدون لوله‌جدار ریزش نمی‌کند، انجام می‌شود.	پیش‌روی توسط فشار و چرخاندن قطعه حلزونی (مارپیچی) انجام می‌شود. بررسی نمونه‌های خاک مستلزم خارج کردن مارپیچ می‌باشد.	روشی سریع در خاک‌های نرم تا متوسط ریزدانه و ماسه‌ای است. پس از خروج اوگر، اگر چاه باز باقی بماند امکان انجام آزمایش SPT وجود دارد.	پس از خروج اوگر در مواد با چسبندگی کم یا دانه‌ای و بدون چسبندگی، چاه ریزش می‌کند و در این خاک‌ها انجام آزمایش صحرایی امکان‌پذیر نمی‌باشد. روش‌های نمونه‌گیری محدود و نمونه‌های به دست آمده دست‌خورده می‌باشد.
اوگر میان تهی[3]	گمانه‌هایی با قطر کوچک تا متوسط که برای نمونه‌گیری از خاک حفر می‌شود.	مشابه حالت قبل است با این تفاوت که ساقه مجوف به داخل زمین پیچانده می‌شود تا نقش یک لوله جدار را بازی کند.	روش سریع در خاک‌های ضعیف تا نسبتا مقاوم است. انجام آزمایش SPT و تهیه نمونه دست‌نخورده امکان پذیر است.	در خاک‌های مقاوم حاوی لایه‌های شنی، نفوذ به اعماق زیاد مشکل و به داخل سنگ غیرممکن است. دست‌خوردگی قابل ملاحظه‌ای ممکن است بر اثر مته اوگر در خاک به وجود آید.
اوگرهای با قطر زیاد[4] (محفظه‌ای، صفحه‌ای، مارپیچی)	حفر گمانه‌های با قطر خیلی زیاد برای کسب نمونه‌های دست‌خورده و بررسی لایه‌ها در خاک‌های دارای چسبندگی که گمانه نیاز به حایل ندارد.	با چرخاندن اوگر دارای قطر زیاد، خاک بریده شده و گمانه حفر می‌شود.	روشی سریع بوده و بررسی شرایط خاک را در زیر زمین از نزدیک امکان پذیر می‌کند.	عمق حفاری تا برخورد به سنگ محدود می‌شود. ماشین‌های بزرگ‌تر محتاج به راه دسترسی هستند. برای خاک‌های بدون چسبندگی، رس‌های لاغر و خاک‌های آلی مناسب نیست. نمونه‌ها دست‌خورده است.

جدول ۳-۲- استفاده‌ها، ظرفیت‌ها، و محدودیت‌های چاهک‌ها و ترانشه‌ها[۵]

روش حفاری	موارد استفاده کلی	ظرفیت ها	محدودیت‌ها
چاهک‌های دستی	تهیه نمونه حجیم، تهیه نمونه دست‌نخورده، آزمایش‌های درجا، مشاهده‌های چشمی	تهیه اطلاعات در محل‌های بدون دسترسی، دست‌خوردگی کم زمین‌های اطراف	زمان‌بر، عمق کم، محدود بودن عمق تا سطح آب زیرزمینی و رسیدن به سنگ بستر
چاهک‌ها و ترانشه‌های حفاری شده با بیل مکانیکی و کج‌بیل[5]	تهیه نمونه حجیم، آزمایش‌های درجا، مشاهده‌های چشمی، برآورد سرعت حفاری، عمق سنگ بستر و آب زیرزمینی	سریع، اقتصادی، معمولا برای عمق کم‌تر از ۴/۵ متر که می‌تواند تا عمق ۹ متر نیز حفاری شود.	دسترسی تجهیزات، محدودیت کم‌تر نسبت به چاهک‌های دستی در برخورد با سطح آب زیرزمینی، محدودیت تا بستر سنگی و در تهیه نمونه دست‌نخورده.
حفاری با بلدوزر	بررسی ویژگی‌های سنگ‌بستر، تعیین عمق سنگ بستر و سطح آب زیرزمینی، حفاری‌پذیری سنگ، افزایش عمق قابل حفاری با بیل و کج بیل، ایجاد سطح صاف برای سایر تجهیزات حفاری	نسبتا کم هزینه، رخنمون برای تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی، بررسی قابلیت حفاری در سنگ‌های نرم	محدودیت عمق تا سطح آب زیرزمینی و سنگ بستر

1 - Rotary Drill
2 - Continuous Flight Auger
3 - Hollow-Stem Auger
4 - Large Diameter Auger
5 - Backhoe

۳-۳- انواع آزمایش‌های آزمایشگاهی متداول

انواع آزمایش‌های متداول آزمایشگاهی بر روی مصالح خاکی و سنگی به شرح زیر می‌باشد که براساس اهمیت سازه و موارد ذکر شده در بند ۴ تمامی و یا برخی از آن‌ها لازم است انجام شود.

۳-۳-۱- آزمایش‌های مورد نیاز برای پی آبرفتی و مصالح قرضه خاکریزی

رطوبت طبیعی	ASTMD -2216-۹۸ س م ب
حدود اتربرگ	ASTHD 4318 – 00
حد انقباض	ASTMD 427-98
دانه‌بندی با الک و هیدرومتری	ASTM D 422-02
طبقه‌بندی خاک	ASTM D 2487-00
نفوذپذیری به روش ارتفاع ثابت	ASTM D 2434-00
نفوذپذیری به روش افتان	ASTM D 5084-00
تراکم استاندارد	ASTM D 698 -00
تک محوری	ASTM D 2166-00
سه محوری تحکیم نشده و زهکشی نشده	ASTM D 2850-03
سه محوری تحکیم یافته و زهکشی نشده	ASTM D 4767-02
سه محوری تحکیم یافته و زهکشی شده[۱]	ASTM D 4767-02
برش مستقیم	ASTM D 3080-03
تعیین مواد آلی موجود در خاک	ASTM D 2974-00
تحکیم روی مصالح ریزدانه	ASTM D 2435-03
کل املاح محلول (TDS)[۲]	BS 1377
تعیین رمبندگی خاک	ASTM D 5333 -03
PH خاک	ASTM D 4972-01
گچ خاک	BS 1377
تورم	ASTM D 4546-03
تعیین چگالی ویژه	ASTM D854-02
سوراخ سوزنی[۳]	ASTM D 4647-93
کرامپ	BS 1377
هیدرومتری مضاعف	ASTM D 4221-99
تعیین سولفات، کلرور و کاتیون‌های اصلی در عصاره اشباع خاک	

۱- روش آزمایش براساس ASTM D4767-02 می‌باشد، با این تفاوت که شیر سیستم اندازه‌گیری فشار آب حفره‌ای در هنگام برش باز می‌باشد.

2 - Total Dissolved Salts

3 - Pin Hole

تعیین مقدار یون‌های سولفات و کلرور در صورت قرار گرفتن بتن در مجاورت خاک مورد نیاز می‌باشد. لازم به ذکر است که آزمایش‌های مقاومتی نظیر برش مستقیم، سه‌محوری و تحکیم برای بررسی ویژگی‌های درجای پی آبرفتی باید بر روی نمونه‌های دست‌نخورده انجام شود و استفاده از نمونه‌های بازسازی شده جز در موارد خیلی خاص مجاز نمی‌باشد. همچنین برای انجام دادن این آزمایش‌ها و آزمایش نفوذپذیری برای بررسی منابع قرضه لازم است نمونه متراکم شده با تراکم مورد نظر برای خاکریزی، از این مصالح تهیه گردد.

۳-۳-۲- آزمایش‌های مورد نیاز برای بررسی پی سنگی

درصورتی‌که سازه‌های مورد مطالعه بزرگ باشند انجام آزمایش‌های زیر برای بررسی پی سنگی مورد نیاز می‌باشد:

۱- وزن مخصوص ظاهری و حقیقی در حالت خشک و اشباع؛
۲- تخلخل و جذب آب سنگ؛
۳- تعیین شاخص دوام ماده سنگ؛
۴- مقاومت فشاری نامحصور در حالت‌های خشک و اشباع؛
۵- آزمایش ایندکس مقاومت سنگ با فشار نقطه‌ای؛
۶- آزمایش برش مستقیم در امتداد صفحات ضعیف سنگ؛
۷- آزمایش تعیین ضریب ارتجاعی استاتیکی و ضرایب پواسون؛
۸- اندازه‌گیری سرعت امواج فشاری و برشی؛
۹- آزمایش سه محوری در حالت‌های خشک و اشباع در موارد خاص.

تمام آزمایش‌های فوق طبق روش‌های پیشنهادی ISRM انجام می‌شود.

جدول۳-۳- روش‌های نمونه‌گیری از سنگ و خاک و شرایط استفاده از آن‌ها[۵]

نوع نمونه‌گیری	نوع نمونه و شرایط مناسب استفاده از آن	نمونه دست‌خورده بالای سطح آب زیرزمینی	نمونه‌های دست‌خورده		نمونه‌های دست‌نخورده (UD)					مغزه‌گیری از سنگ			
			خاک‌های نرم ریزدانه	خاک‌های درشت‌دانه و ریزدانه	رس‌های نرم تا محکم و لای‌ها	خاک‌های چسبنده به جز انواع سخت	خاک‌های سخت	تناوب خاک سفت و نرم	سنگ دارای کیفیت خوب و مقاوم	سنگ دارای کیفیت خوب تا متوسط	سنگ دارای کیفیت متوسط	حفاری‌های عمیق	برای جهت‌یابی معزه حفاری
نمونه‌گیری در خاک	نمونه شسته[۱]	×											
	نمونه اوگری	×											
	محفظه دو کفه‌ای[۲]		×	×									
	یوفر/ شلبی[۳]					×							
	پیستون ثابت[۴]				×								
	پیستون اوستربرگ[۵]				×	×							
	نمونه‌گیری فویل سوئدی[۶]				×								
	نمونه‌گیر دنیسون[۷]					×	×						
	نمونه‌گیر پیچر[۸]					×	×	×					
	مغزه گیر تک جداره		×	×									
نمونه‌گیری در سنگ	مغزه‌گیر تک جداره[۹]								×				
	مغزه‌گیر دو جداره[۱۰]									×			
	مغزه‌گیر دوجداره مفصل‌دار										×		
	مغزه‌گیر سیم بکسلی[۱۱] (سه جداره)											×	
	مغزه‌گیری یکپارچه[۱۲]										×		×

1 - Wash Sample
2 - Split Sample(SPT)
3 - U4/Shelby Tube
4 - Stationary Piston
5 - Osterberg Piston
6 - Swedish Poil Sampler
7 - Denison Sampler
8 - Pitcher Sampler
9 - Single Tube Core Barrel
10 - Double Tube Core Barrel
11 - Wire-Line Core Barrel
12 - Integral Coring

۳-۳-۳- آزمایش‌های مورد نیاز برای پی‌های سنگی ضعیف

علاوه بر آزمایش‌های بند ۳-۳-۲، نیاز به آزمایش‌های تکمیلی زیر برای سنگ‌های ضعیف مانند ماسه‌سنگ و گل‌سنگ می‌باشد:

۱- تورم روی سنگ‌های حاوی رس	ASTM D4546-03
۲- رطوبت طبیعی	ASTM D2216-98
۳- حدود اتربرگ	ASTM D4318-00
۴- دانه‌بندی با الک و هیدرومتری	ASTM D422-02
۵- تعیین درصد آهک	ASTM C 99
۶- تعیین نوع و نسبت کانی‌های رسی با آزمایش پرتو X(XRD)	
۸- تحلیل ترمودینامیکی[1]	ASTMD4452-02
۱۲- رطوبت اشباع	

۳-۳-٤- آزمایش‌های مورد نیاز برای مصالح قرضه درشت‌دانه (شن و ماسه بتن)

۱- آزمایش وزن مخصوص ظاهری و حقیقی	آبا: دت ۲۱۰
۲- تخلخل و جذب آب سنگ‌دانه‌ها	آبا: دت ۲۱۰
۳- دانه‌بندی با الک و هیدرومتری	ASTM D 422
۴- مقاومت در مقابل سایش (لس آنجلس)	آبا: دت ۲۱۵
۵- واکنش قلیایی به روش شیمیایی	آبا: دت ۲۲۷- ASTM
۶- واکنش قلیایی به روش فیزیکی	ASTM C1260
۷- سنگ‌نگاری سنگ‌دانه‌ها	ASTM C295
۸- تشریح نظری اجزای تشکیل دهنده سنگدانه	ASTM C294
۹- هم ارز ماسه‌ای (SE)	ASTM D 2419
۱۰- تعیین درصد دانه‌های مسطح، طویل و سوزنی (ضریب شکل)	ASTM D4791
۱۱- تعیین درصد مواد مضر (کلوخه‌های رسی، گچ، شیل و....)	آبا: دت ۲۲۱
۱۲- دوام در مقابل یخ‌زدگی و ذوب	CAS:A23/2-24A
۱۳- دوام در مقابل سولفات سدیم	آبا: دت ۲۱۲
۱۴- تعیین درصد کل سولفات، درصد کلرور، درصد مواد آلی، درصد	

1 - Differential Thermo Analysis

۳-۳-۵- آزمایش‌های مورد نیاز برای قرضه مصالح سنگی [1]

۱- آزمایش وزن مخصوص ظاهری و حقیقی	آبا: دت ۲۱۰
۲- تخلخل و جذب آب سنگ‌دانه‌ها	آبا: دت ۲۱۰
۳- آزمایش مقاومت در مقابل سایش (لس آنجلس)	آبا: دت ۲۱۰
۴- دوام در مقابل یخزدگی و ذوب	CAS:A23/2-24A
۵- دوام در مقابل سولفات سدیم یا منیزیم	آبا: دت ۲۱۲
۶- مقاومت فشاری نامحصور در حالت‌های خشک و اشباع	ISRM

۳-۳-٦- آزمایش‌های شیمیایی آب

۱- تعیین pH؛
۲- تعیین هدایت الکتریکی؛
۳- تعیین سولفات و کلر؛
۴- تعیین مقدار مواد معلق؛
۵- تعیین کل املاح محلول و سختی دائم و موقت.

۳-٤- انواع آزمایش‌های صحرایی متداول

با توجه به مشکل تهیه نمونه‌های دست‌نخورده (به‌خصوص در خاک‌های درشت‌دانه که جز با استفاده از روش‌های خاص نظیر انجماد، تهیه نمونه دست‌نخورده غیرممکن می‌باشد) لازم است جهت تعیین ویژگی‌های خاک درجا آزمایش‌های صحرایی انجام شود. از جمله آزمایش‌های صحرایی مهم آزمایش نفوذ استاندارد[2] (SPT)، آزمایش نفوذ مخروط هلندی[3] (CPT) و آزمایش نفوذپذیری می‌باشد.

آزمایش نفوذ استاندارد تعداد ضربات مورد نیاز برای فرو بردن نمونه‌گیر SPT به اندازه ۳۰ سانتی‌متر در اثر سقوط آزاد یک وزنه ۶۳/۵ کیلوگرمی از ارتفاع ۷۶ سانتی‌متر در خاک می‌باشد. برای انجام این آزمایش در خاک‌های درشت‌دانه به جای نمونه‌گیر دو کفه‌ای از یک نوک مخروطی استفاده می‌شود.

- آزمایش نفوذ مخروط هلندی (CPT) یا داچ کن یک روش آزمایش در محل برای ارزیابی لایه‌بندی خاک و برآورد پارامترهای ژئوتکنیکی خاک‌های ریزدانه و ماسه‌ای بوده و از مزایای آن امکان بررسی رسوبات نسبتا ضخیم از خاک‌های نرم تا متوسط با هزینه کم می‌باشد. این آزمایش با راندن نوک مخصوص به قطر ۳/۶ سانتی‌متر در خاک به‌عمل می‌آید و طی آن مقاومت نوک و مقاومت جدار اندازه‌گیری می‌شود.

1 - Rip Rap
2 - Standard Penetration Test
3 - Cone Penetration Test

- آزمایش برش پره‌ای[1] در خاک‌های چسبنده وسیله آزمایش که به صورت دو پره عمود برهم می‌باشد چرخانده شده و نیروی لازم برای چرخش پره‌ها اندازه‌گیری می‌شود. براساس نیروی اندازه‌گیری شده و سطح برش، چسبندگی خاک در حالت تحکیم نیافته و زهکشی نشده (UU) برآورد می‌گردد.
- آزمایش نفوذپذیری در آبرفت[2] (لفران) به دو روش بار ثابت و بار متغیر (بار افتان یا بارخیزان) انجام می‌شود. این آزمایش به‌خصوص در زیر سدهای انحرافی و در محل‌هایی که گرادیان هیدرولیکی و تراوش وجود دارد باید انجام شود.
- آزمایش نفوذپذیری در سنگ به روش لوژان[3] که در شبکه‌های آبیاری و زهکشی به‌جز در موارد خاص مانند پی سدهای انحرافی با ارتفاع بیش‌تر از ۵ متر از بستر رودخانه و یا در موارد خاص مورد نیاز نخواهد بود.
- تعیین تراز سطح آب زیرزمینی در ابتدا و انتهای هر روز، قبل و بعد از انجام آزمایش نفوذپذیری و ۲۴ ساعت پس از خاتمه حفاری

آزمایش‌های متداول صحرایی و تواتر پیشنهاد شده برای انجام آن‌ها به شرح زیر می‌باشد:

۱- آزمایش نفوذ استاندارد (SPT) در فواصل حدود ۱/۵ تا ۲ متری؛
۲- آزمایش نفوذپذیری در آبرفت (لوفران) در فواصل حدود ۲ تا ۳ متری؛
۳- آزمایش نفوذپذیری در سنگ (لوژان) در فواصل حدود ۵ متری؛
۴- آزمایش برش پره‌ای در فواصل حدود ۱ تا ۳ متری؛
۵- آزمایش چگالی صحرایی در فواصل ۱ تا ۳ متری در چال‌های دستی؛
۶- آزمایش بارگذاری صفحه در سطح زمین پس از خاک‌برداری و رسیدن به تراز پی؛
۷- آزمایش نفوذسنج دستی بر روی سر و ته نمونه دست نخورده ریزدانه؛
۸- آزمایش نفوذسنج مخروطی، این آزمایش به صورت ممتد از سطح زمین تا عمق مورد نیاز انجام می‌شود.

۳-۵- آزمایش‌های مورد نیاز برای خاک‌های مساله‌دار

۳-۵-۱- خاک‌های متورم شونده[4]

برای شناسایی این نوع خاک‌ها که بیش‌تر از رس‌های چاق حاوی کانی مونتموریلونیت تشکیل شده‌اند، آزمایش‌های تورم تک‌محوری، حد انقباض، دانه‌بندی با هیدرومتری برای تعیین درصد ذرات کلوییدی (ذرات کوچک‌تر از ۰/۰۰۱ میلی‌متر) لازم است. برای مقابله با تورم در این نوع خاک‌ها روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از: کوبیدن این نوع خاک‌ها با تراکم کم‌تر (۹۰ درصد پراکتور استاندارد) و رطوبت بیش‌تر از بهینه (۲+٪)، ایجاد فشار کافی و بیش‌تر از فشار تورم با ساخت سازه بر روی این نوع خاک‌ها و اضافه کردن سیمان یا آهک به خاک و تغییر ترکیب شیمیایی خاک برای کنترل تورم. درصورتی‌که این روش‌ها امکان‌پذیر و یا اقتصادی نباشد باید نسبت به تعویض این نوع خاک‌ها اقدام کرد. موارد بسیاری از شکست پوشش بتنی

1 - Shear Vane Test
2 - Lefrance
3 - Lugeon
4 - Expansive Soil

کانال‌های ساخته شده بر روی این نوع خاک‌ها گزارش شده است که نشان دهنده اهمیت توجه به مسایل و مشکلات ناشی از این نوع خاک‌ها می‌باشد.

برای بررسی این نوع خاک‌ها باید به فشار تورم ناشی از این خاک‌ها و سربار مورد نیاز برای مقابله با فشار تورمی توجه داشت. برای خاک‌هایی که دارای تورم پذیری زیادی باشند عمق حفاری بیش‌تری مورد نیاز می‌باشد. برای خاک‌های با تورم‌پذیری متوسط عمق حفاری از پی حدود ۵ تا ۷ متر و برای خاک‌های با تورم‌پذیری زیاد این عمق باید بیش از ۱۰متر باشد.

۳-۵-۲- خاک‌های واگرا[1]

خاک‌های واگرا، خاک‌های فرسایشی هستند که در اثر جریان آرام و حتی بطیی آب، دانه‌های منفرد ذرات رس در آب معلق شده و سپس با جریان آب جابه‌جا می‌شوند. برای شروع فرسایش خاک‌های واگرا مجرای نشت متمرکز (ترک) لازم می‌باشد. لازم به ذکر است که این پدیده یک پدیده شیمیایی فیزیکی بوده و با پدیده رگاب[2] که یک پدیده صرفا فیزیکی می‌باشد تفاوت دارد. برای شناسایی این نوع خاک‌ها آزمایش‌های هیدرومتری مضاعف، تعیین کاتیون‌های اصلی در عصاره اشباع، کرامپ و پین‌هول مورد استفاده قرار می‌گیرند. در برآورد عمق مورد نیاز برای بررسی این نوع خاک‌ها باید به عمق قابل نفوذ آب توجه داشت و به‌طورکلی می‌توان حداقل عمق ۵ متر در زیر کانال‌ها و زهکش‌ها را به عنوان یک قاعده کلی مدنظر قرار داد. برای مقابله با این نوع خاک‌ها استفاده از آهک، سیمان پرتلند، گچ (ژیپس)، تعبیه فیلترهای مناسب در مسیر جریان و استفاده از سولفات آلومینیوم،... پیشنهاد شده است.

۳-۵-۳- خاک‌های رمبنده[3]

خاک‌های رمبنده (فروریزشی) به خاک‌هایی گفته می‌شود که هنگام مرطوب شدن کاهش حجم ناگهانی و زیاد در آن‌ها رخ می‌دهد. این نوع خاک‌ها بیش‌تر دارای وزن مخصوص و رطوبت طبیعی کم می‌باشند. این نوع خاک‌ها می‌توانند در حالت خشک فشار قائم بالایی را با نشست کم تحمل کند، اما وقتی مرطوب شوند دچار نشست زیاد می‌شوند. برای تشخیص این نوع خاک از آزمایش تعیین خاک‌های رمبنده با استفاده از دستگاه اودومتر استفاده می‌شود. برای مقابله با خاک‌های رمبنده در ابتدا باید با استفاده از نتایج به‌دست آمده از آزمایش تعیین قابلیت رمبندگی، درصد رمبندگی خاک تعیین شده و سپس نسبت به تعیین نشست ناشی از آن اقدام شود. درصورتی‌که این نشست برای سازه یا خاکریز مورد نظر قابل تحمل نباشد می‌توان نسبت به برداشتن این نوع خاک از شالوده یا اشباع و تراکم خاک قبل از ساخت سازه اقدام کرد. عمق مورد نیاز برای بررسی این نوع خاک‌ها با توجه به اهمیت نشست‌پذیری خاک تا محدوده اضافه تنش کم‌تر از ۱۰ درصد (حدودا تا عمق ۲/۵ تا ۳ برابر عرض پی) می‌باشد.

۳-۵-٤- خاک‌های حاوی مواد حل شونده

بعضی از خاک‌ها به‌ویژه در مناطق خشک می‌توانند حاوی املاح قابل حل در آب نظیر هالیت (نمک) و گچ باشند. برای برآورد مقدار این املاح از آزمایش‌های تعیین کل املاح محلول (TDS) و اندازه‌گیری گچ خاک استفاده می‌شود.

---

1 - Dispersive Soil
2 - Piping
3 - Collapsible Soil

این املاح محلول دارای تراکم کافی بوده و به اندازه کافی سخت می‌باشند تا فشار روبار را تحمل کند. اما درصورتی‌که این نوع خاک در معرض جریان آب قرار گیرد، می‌تواند دو پدیده که منتهی به نشست می‌شوند ایجاد کند:

۱- فروپاشی ساختار خاک در اثر ضعیف شدن سیمان ناشی از نمک‌ها؛

۲- حل شدن نمک‌ها در آب و خارج شدن آن از بافت خاک که تخلخل ناشی از آن می‌تواند منجر به نشست شود.

برای بررسی این خاک‌ها باید به عمق قابل نفوذ آب توجه داشت و به طور کلی می‌توان حداقل عمق ۵ متر در زیر کانال‌ها و زهکش‌ها را به عنوان یک قاعده کلی مدنظر قرار داد.

به عنوان یک پیشنهاد کلی می‌توان گفت خاک‌های دارای املاح محلول بیش از حدود ۶ درصد نباید در خاکریزی‌ها استفاده شود و خاک‌های دارای ۲ تا ۶ درصد از این املاح را می‌توان پس از مخلوط شدن با خاک‌های فاقد این املاح استفاده کرد. برای خاک‌های حاوی تا ۲ درصد از این املاح استفاده از آن‌ها مشکلی ایجاد نخواهد کرد. مقدار املاح محلول ۲ تا ۶ درصد ذکر شده در فوق براساس مراجع مختلف، متفاوت بوده و در صورت برخورد به خاک‌های دارای املاح محلول بیش از ۲ درصد باید نسبت به بررسی‌های کامل اقدام شود و بسته به نوع سازه خاکی نسبت به تعیین درصد مجاز املاح قابل حل اقدام کرد. از جمله روش‌های مقابله با مواد حل شونده در صورت بالا بودن آن، می‌توان جایگزینی قسمتی از این خاک با خاک مناسب نفوذناپذیر و یا جلوگیری از نفوذ آب به این خاک‌ها با استفاده از غشای نفوذناپذیر را نام برد.

۳-۵-۵- خاک‌های روانگرا[1]

خاک‌های روانگرا به‌طور عمده از مصالح ماسه‌ای با تراکم کم و یا خاک‌های ریزدانه غیرپلاستیک (لای)تشکیل شده‌اند. این خاک‌ها در حالت اشباع ممکن است در اثر بارهای دینامیکی ناشی از زلزله به صورت سیال لزج[2] دارای مقاومت برشی خیلی کم درآیند. این پدیده هنگام تراکم ماسه در اثر اعمال بار دینامیکی و عدم امکان زهکشی سریع آب موجود در این مصالح به‌وجود خواهد آمد. برای بررسی این مصالح تعیین تراکم خاک در محل مورد نیاز می‌باشد، که استفاده از آزمایش‌های SPT و CPT با توجه به روابط تجربی موجود، مفید می‌باشد. عمق مورد نیاز برای بررسی این پدیده تا محدوده اضافه تنش کم‌تر از ۱۰ درصد (حدودا تا عمق ۲/۵ تا ۳ برابر عرض پی) می‌باشد.

برای مقابله با این پدیده می‌توان به متراکم کردن خاک به روش دینامیکی، تراکم خاک با روش ارتعاشی همراه با غوطه‌ور کردن مصالح[3]، کاهش سطح آب زیرزمینی و ساخت چاه‌های سنگی زهکشی[4] اشاره کرد. البته باید توجه داشت که روش‌های فوق پرهزینه بوده و بیش‌تر برای سازه‌های متمرکز اقتصادی می‌باشند و برای سازه‌های خطی ممکن است روان‌گرایی در خاک در هنگام زلزله در صورت عدم ایجاد خسارات مالی زیاد و یا ایجاد خسارات جانی پذیرفته شود. به‌هرحال درصورتی‌که به خاک‌های با پتانسیل بالا برخورد شود باید مطالعات مبسوط‌تری از نظر ژئوتکنیکی انجام شود و با توجه به جنبه‌های اقتصادی و اجتماعی راهکارهای پایداری نسبی سازه ارایه گردد.

1 - Liquefiable Soil
2 - Viscous Liquid
3 - Vibrofloatation
4 - Stone Column

فصل ۴

نوع و میزان حفاری‌های موردنیاز

٤-١- فواصل و تعداد حفاری‌ها

نیازهای اکتشافی به منظور تعیین مشخصات زیرسطحی کانال‌ها، زهکش‌ها و سازه‌های مرتبط به اندازه و اهمیت آن‌ها و همچنین مشخصات کلی زمین مورد مطالعه بستگی دارد. تعداد، نوع، ابعاد و عمق شناسایی‌ها به نوع و ابعاد پروژه و درجه پیچیدگی و بحرانی بودن شرایط زیرسطحی بستگی دارد. به عنوان یک قاعده کلی هزینه اکتشافات زیرسطحی معمولا بین ۱ تا ۲ درصد هزینه ساخت پروژه می‌باشد. حد پایین مربوط به پروژه‌های بزرگ و زمین‌های با شرایط عادی و حد بالا مرتبط به پروژه‌های کوچک یا زمین‌های دارای شرایط نامناسب از نظر زمین‌شناسی می‌باشد.

فاصله گمانه‌های اکتشافی در زمین‌های نسبتا مسطح با خاک‌هایی که یکنواخت به‌نظر می‌رسند مانند دشت‌ها، دشت‌های مرتفع و سواحل، نسبتا زیاد بوده و تعداد کمی گمانه برای کاوش‌های ژئوتکنیکی کفایت می‌کند. فاصله گمانه‌های کانال‌ها و زهکش‌ها معمولا در مطالعات مرحله توجیهی باید حدود ۱/۰ کیلومتر و در مطالعات تکمیلی در مرحله دوم حدود ۵۰۰ متر باشد. برای خاک‌های دارای بافت متغیر باید بر حسب مورد از فواصل کم‌تری برای گمانه‌ها استفاده کرد. درصورتی‌که در مطالعات مرحله توجیهی جانمایی مسیر کانال‌ها و زهکش‌ها مشخص نباشد استفاده از شبکه شطرنجی در سطح سامانه به فواصل ۱ تا ۲ کیلومتر با تمرکز بیش‌تر بر مسیرهای کانال‌ها و زهکش‌ها براساس جانمایی اولیه پیشنهاد می‌شود.

درصورتی‌که عمق مورد نیاز برای اکتشافات کم باشد (حدود ۵ متر) می‌توان به جای حفر گمانه‌های ماشینی از چاهک‌های دستی و یا اوگر دستی استفاده کرد. باید توجه نمود معمولا عمق این چاهک‌ها به عمق سطح آب زیرزمینی و یا عمق لایه‌های ریزشی و عمق سنگ‌بستر محدود می‌باشد و درصورتی‌که عمق مورد مطالعه بیش از این موارد باشد باید از گمانه‌های ماشینی استفاده کرد. البته در بعضی از خاک‌های چسبنده ریزدانه حفاری در زیر تراز آب زیرزمینی نیز امکان‌پذیر است که عمق آن در این شرایط نیز محدود می‌باشد. حفاری دستی با استفاده از مقنی در زمین‌های غیر ریزشی و در شرایط عدم حضور آب زیرزمینی تا عمق بیش از ۲۰ متر نیز انجام می‌شود.

برای ساختمان‌های اداری و بهره‌برداری، حفر ۳ تا ۴ گمانه غیر هم‌راستا مورد نیاز می‌باشد و در صورتی که وسعت آن‌ها محدود باشد عملیات اکتشافی شامل حفر حداقل یک تا دو گمانه می‌باشد. برای سازه‌های نقطه‌ای در مسیر کانال و زهکش درصورتی‌که ابعاد آن‌ها در رده کوچک و متوسط ذکر شده در بند ۴ باشد، می‌توان به حفاری‌های انجام شده برای مسیر کانال اکتفا کرد و در صورت بزرگ بودن این سازه‌ها حفر حداقل یک گمانه در محل این سازه‌ها ضروری می‌باشد.

٤-٢- عمق مورد نیاز برای حفاری

اصولا عمق مورد نیاز برای حفاری ژئوتکنیکی وابسته به ابعاد سازه‌ها، کانال‌ها و زهکش‌ها و شرایط ژئوتکنیکی محل می‌باشد. برای تعیین نشست پی لازم است عمق حفاری به اندازه محدوده عمق اضافه تنش قابل توجه در پی ناشی از ساخت سازه (حدودا ۲/۵ برابر عرض پی) باشد. همچنین درصورتی‌که شرایط ژئوتکنیکی نشان دهد که نشست پی قابل توجه نخواهد بود (مانند رسوبات درشت‌دانه آبرفتی) آنگاه می‌توان اکتشافات اصلی را جهت برآورد پارامترهای مقاومتی خاک یا سنگ پی انجام داد. در این صورت عمق مورد نیاز برای حفاری معادل ۱/۵ برابر عرض پی و یا عمق تا بستر سنگی خواهد بود. باید توجه داشت که در شرایط خاص ژئوتکنیکی و خاک‌های مساله‌دار عمق‌های حفاری می‌تواند از موارد فوق بسیار متفاوت باشد و باید عمق‌های حفاری به‌کمک مهندس ژئوتکنیک و پس از بررسی‌های جامع تعیین گردد.

جدول ٤-١- راهنمای کلی عمق حفاری‌ها[۳]

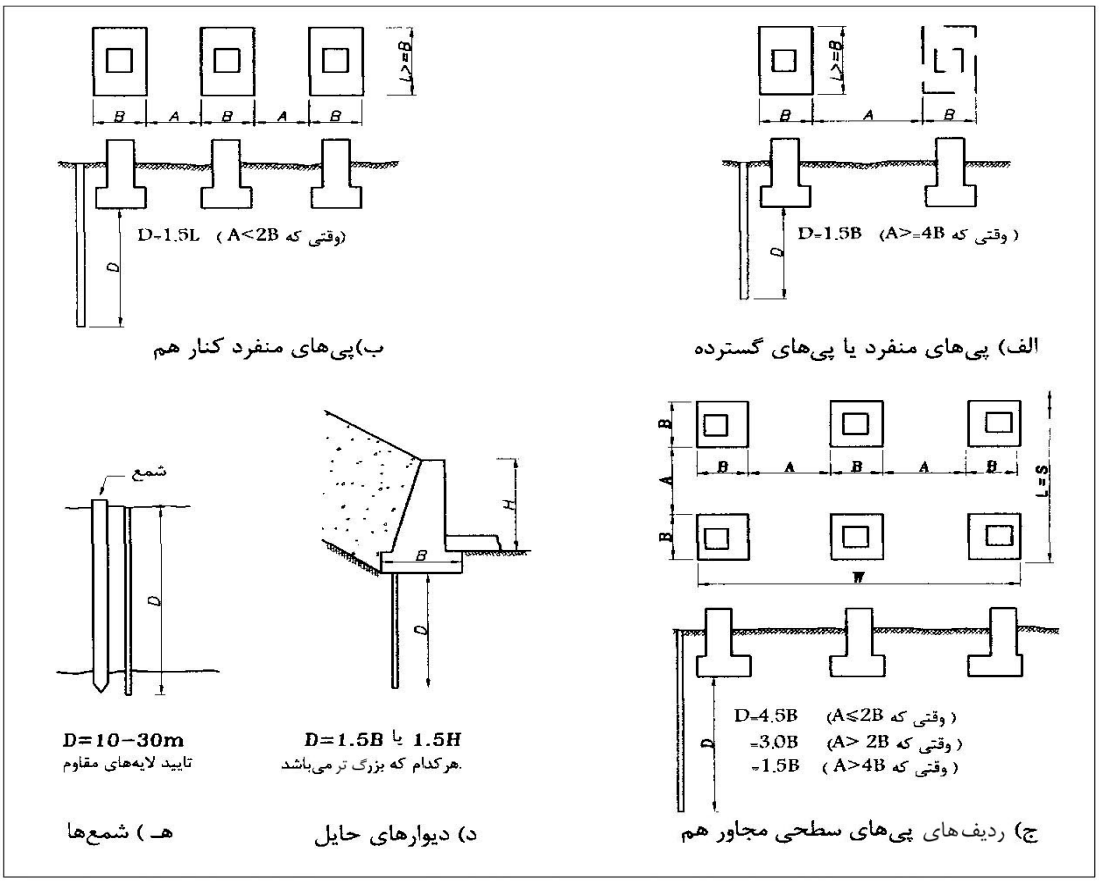
شرح سازه	عمق مورد نیاز برای حفاری
ساختمان‌های بزرگ با پی‌های منفرد نزدیک به هم	عمق شناسایی باید تا جایی که افزایش تنش قائم معادل ۱۰ درصد تنش موثر روبار باشد، ادامه یابد. به‌طور کلی تمامی گمانه‌ها باید تا عمق حداقل ۹ متری زیر پایین‌ترین قسمت پی، جز در مواردی که در اعماق کم‌تر به سنگ بستر برخورد شود، ادامه یابد.
پایداری شیروانی‌ها	تا عمق سطح شکست احتمالی و یا لایه سخت.
خاک‌برداری‌های عمیق	تا عمق ۰/۷۵ تا ۱ برابر عرض ترانشه‌های کم عرض. وقتی خاک‌برداری در بالای سطح آب زیرزمینی و خاک پایدار باشد، حفاری تا عمق ۲ تا ۴ متر از کف ترانشه کافی است. درصورتی‌که کف ترانشه در زیر تراز آب زیرزمینی باشد، باید بررسی تا تعیین عمق لایه نفوذپذیر در زیر کف ادامه یابد.
خاکریزهای بلند	تا عمق ۰/۵ تا ۱/۲۵ برابر عرض پی(عرض خاکریز در محل زمین طبیعی) در پی‌های نسبتا همگن.
سدها و خاکریزهای نگهدارنده آب	تا عمق ۰/۵ برابر عرض پی سد یا ۱ تا ۱/۵ برابر ارتفاع سدهای بتنی کوتاه در پی‌های نسبتا همگن، در صورت آب‌بند بودن سنگ بستر عمق حفاری می‌تواند پس از نفوذ ۳ تا ۶ متر در سنگ‌بستر متوقف شود.
حداقل عمق حفاری	حفاری‌ها همیشه باید تا عبور از عمق مصالح نامناسب پی، نظیر خاکریزهای متراکم نشده، تورب[1]، رس‌های نرم و خاک‌های آلی، ماسه‌های نرم و رسیدن به خاک‌های متراکم و یا سنگ‌های سخت ادامه یابد.

فاصله و عمق حفاری‌های اکتشافی برای سازه‌ها، کانال‌ها، زهکش‌ها و یا سایر سازه‌های مهم سامانه‌های آبیاری و زهکشی نظیر سدهای انحرافی و پل‌ها در نشریه شماره ۱۸۰ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور (راهنمای مطالعات پایه زمین‌شناسی مهندسی در پروژه‌های مهندسی آب) ارایه شده است. در جدول ۴-۱ عمق کلی حفاری‌های مورد نیاز در سازه‌های مختلف به صورت توصیفی و در جدول ۴-۲ عمق و تعداد حفاری‌های مورد نیاز در سازه‌های اصلی در تکمیل مطالب ارایه شده در نشریه فوق ارایه شده است. در شکل ۴-۱ نیز عمق حفاری‌های مورد نیاز برای سازه‌های مختلف ارایه شده است.

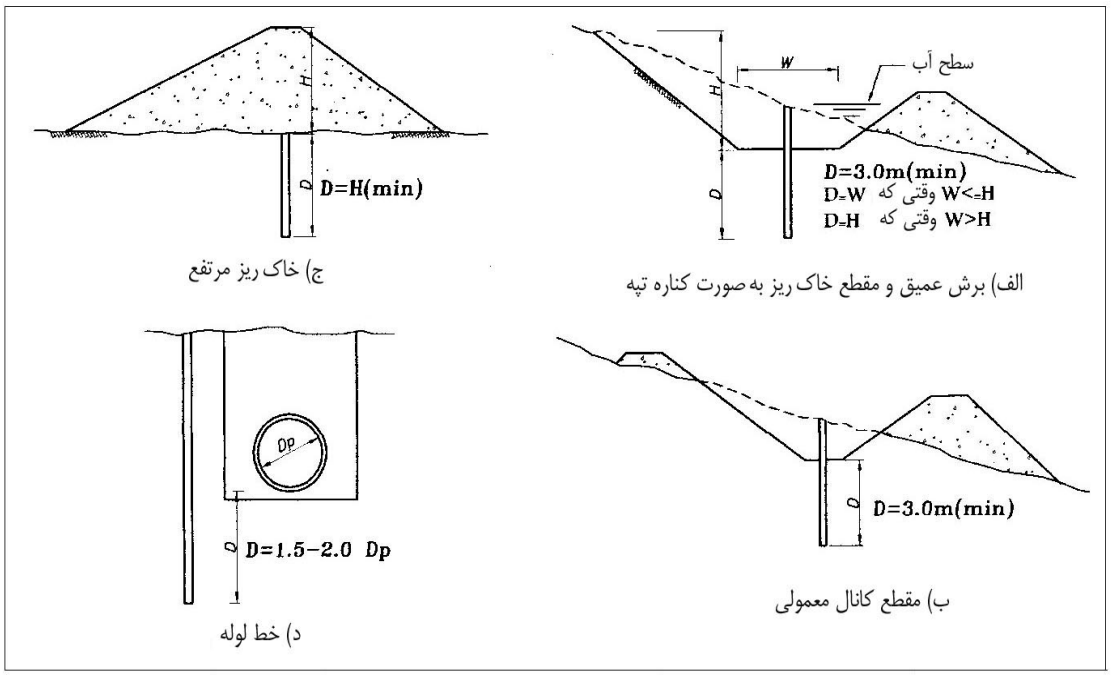
جدول ٤-۲- راهنمای عمق و تعداد حفاری‌ها در سازه‌های اصلی[۳]

نوع سازه	عمق از پی	تعداد	ملاحظات (حداکثر عمق)
سدهای انحرافی	۱/۰ تا ۱/۵ برابر عرض پی و رسیدن به لایه نفوذناپذیر	حداقل دو گمانه در محور سد و یک گمانه در امتداد رودخانه در بالادست یا پایین دست محور سد- حداکثر فاصله گمانه‌ها در امتداد محور ۳۰ تا ۵۰ متر	حداکثر عمق تا ۲/۵متر در سنگ سالم، یک گمانه تا رسیدن به بستر سنگی با عمق حداکثر سه برابر عرض پی ادامه یابد.
ایستگاه‌های پمپاژ	۱/۵ برابر عرض پی و رسیدن به لایه مقاوم	حداقل یک گمانه برای ایستگاه‌های کوچک و سه گمانه برای ایستگاه‌های بزرگ	حداکثر عمق تا ۲/۵ متر در سنگ سالم
پل‌های بزرگ	۱/۵ برابر عرض پی، حداقل ۱۰متر	حداقل دو گمانه با فاصله حداکثر ۵۰ متر	حداکثر عمق تا ۲/۵ متر در سنگ سالم
دهانه‌های آبگیر	۱/۰ تا ۱/۵ برابر عرض پی	حداقل یک گمانه	حداکثر عمق تا ۱/۵ متر در سنگ سالم
ساختمان‌ها[2]	۱/۵ برابر عرض پی و رسیدن به لایه مقاوم	یک تا دو گمانه	حداکثر عمق تا ۱/۵ متر در سنگ سالم
شمع‌ها	۱۰ تا ۳۰ متر	فواصل ۲۰ تا ۳۰ متر حداقل دو گمانه	تا تعیین عمق لایه‌های مقاوم (حداقل معادل طول شمع به اضافه ۱/۵ برابر قطر آن)
سیفون‌ها و آبگذرهای برزگ زیر جاده	عرض پی	یک تا سه گمانه بسته به طول سازه (فواصل حدود ۳۰ متر)	حداکثر عمق تا ۱/۰ متر در سنگ سالم

1-Peat
2-Bulding



شکل ٤-١- عمق پیشنهادی گمانه‌ها برای پی‌های نقطه‌ای [١]



شکل ٤-٢- عمق پیشنهادی گمانه‌ها برای سازه‌های نواری[١]

٤-۳- حفاری‌های مورد نیاز برای منابع قرضه

هدف از حفاری برای منابع قرضه تعیین مشخصات نوع خاصی با مقدار محدود (مورد نیاز) از مصالح در دسته‌های زیر می‌باشد.

- سنگ‌دانه‌های بتن؛
- مصالح فیلتر و زهکش؛
- مصالح پوشش[1] نفوذناپذیر کانال‌ها یا مخازن؛
- مصالح سنگی برای سنگ‌چین حفاظتی[2]؛
- مصالح مورد نیاز برای اصلاح یا تثبیت خاک‌ها؛
- مصالح زیراساس، اساس و روسازی؛
- مصالح خاکریزی بدنه کانال‌ها یا خاکریزهای حفاظتی در صورت نامناسب یا ناکافی بودن خاک مسیر کانال یا زهکش.

برای مطالعات منابع قرضه ابتدا باید نقشه زمین‌شناسی منطقه برای تعیین طبیعت و مقدار نهشته‌ها تهیه شود و پس از بازدید صحرایی نسبت به حفر گمانه ماشینی یا چاهک دستی در محل‌هایی که بیش‌ترین احتمال وجود مصالح مناسب در آن باشد اقدام گردد. هنگامی‌که موقعیت یک منبع مناسب به این صورت مشخص گردید، نسبت به حفاری‌های اضافی در آن محدوده برای تعیین مقدار مصالح موجود انجام می‌شود. این حفاری‌ها شامل حفر حداقل یک چاهک دستی می‌باشد. به‌هرحال درصورتی‌که منبع قرضه مورد نیاز بزرگ باشد باید نسبت به حفر چاهک‌ها یا گمانه‌ها در فواصل حدود ۲۰۰ تا ۵۰۰ متر اقدام نمود. هدف از این اکتشافات تعیین حجم کل و محدوده کل مصالح مناسب منبع قرضه نبوده و فقط باید نسبت به تعیین حجم مصالح مناسب مورد نیاز اکتفا نمود. به‌هرحال باید به حجم اضافی مورد نیاز برای انقباض، تورم، دورریز (پرت) و سایر شرایط پیش‌بینی نشده در برآورد مقدار مصالح مورد نیاز توجه داشت. با توجه به حجم مصالح مورد نیاز و هزینه حمل در انتخاب محل قرضه لازم است در ابتدا محدوده‌های مجاور و داخل محدوده طرح (سامانه آبیاری و زهکشی مورد مطالعه)، مورد بررسی و ارزیابی فنی و اقتصادی قرارگیرد.

چاهک‌های اضافی و بیش‌تری ممکن است در زمان ساخت مورد نیاز باشد. قبل از حفاری ممکن است که در لبه محدوده مورد برداشت و یا در مناطقی که نوع مصالح تغییر می‌کند به حفر چاهک‌ها در فواصل کم (درمواردی در فواصل ۱۵ تا ۳۰ متر) مورد نیاز باشد. در ساخت کانال عموما مصالح از مجاورت کانال برداشت می‌شود و درصورتی‌که گمانه‌ها و یا چاهک‌های اکتشافی مسیر کانال به اندازه‌ای باشد که بتوان مصالح مناسب مورد نیاز را براساس آن‌ها تعیین نمود، نیازی به حفاری‌های اکتشافی اضافی جهت منابع قرضه نخواهد بود.

در هنگام ارزیابی منابع قرضه علاوه بر ارزیابی از نظر مشخصات ژئوتکنیکی، لازم است نحوه دسترسی به محل قرضه و ضرورت ساخت راه‌های دسترسی مناسب برای حمل مصالح نیز مورد بررسی قرارگیرد.

1-Blanket
2-Rip Rap

٤-۳-۱- نمونه‌برداری از منابع قرضه

آزمایش‌های صحرایی و آزمایشگاهی برای تعیین مشخصات مهندسی خاک‌های منبع قرضه بر روی نمونه‌های دست‌خورده انجام می‌گردد. تعیین مشخصات باید با استفاده از نمونه‌های نقطه‌ای و متوسط انجام شود. برای صرفه‌جویی در هزینه‌ها در مرحله اول نمونه‌ها باید از طریق بازبینی چشمی از خاک‌های دارای ویژگی‌های مختلف تهیه گردد. سپس باید نسبت به انجام آزمایش‌های شاخص نظیر دانه‌بندی و حدود اتربرگ اقدام نمود. آزمایش‌های تکمیلی باید براساس نتایج آزمایش‌های شاخص انجام شود. برای تهیه نمونه باید به نکات زیر توجه کرد:

- نمونه‌ها باید در عمق مورد نمونه‌برداری یکنواخت باشند (مگر در مورد نمونه‌های میانگین)
- در صورت تغییر جنس لایه‌ها، به ازای هر تغییر لایه، نمونه جداگانه‌ای تهیه شود.
- نمونه‌های تهیه شده باید نماینده مصالح مورد بررسی در گمانه یا چاهک باشند.
- نمونه‌های تهیه شده باید نشان دهنده تغییرات ویژگی‌های ژئوتکنیکی در عمق گمانه یا چاهک باشند.

فصل ۵

نحوه ارایه گزارش‌ها و نظارت

۵-۱- گزارش‌ها

اطلاعات جمع‌آوری شده حاصل از اکتشافات باید به شکل مناسبی خلاصه شده و ثبت گردد به روشی که برای استفاده از آن‌ها هیچ مشکلی وجود نداشته و برای بررسی‌های سریع آماده باشد. محل‌ها، مقاطع و نقاطی که در آن‌ها اکتشافات انجام شده است باید به صورت کاملا مشخص بر روی نقشه‌ها نشان داده شده و مشخصات کلی آن‌ها مانند عمق چاهک‌ها، گمانه‌ها و عمق آبرفت، سنگ و سطح آب زیرزمینی بر روی آن‌ها درج گردند.

۵-۲- تهیه نمودار حفاری چاهک‌ها و گمانه‌ها

در نمودار (لوگ) حفاری باید اطلاعات عمومی شامل تاریخ حفاری، مختصات محل حفر، تراز دهانه گمانه یا چاهک، عمق کل گمانه یا چاهک، زاویه تمایل گمانه، تراز برخورد به آب زیرزمینی درج گردد. نمودارهای حفاری باید شامل حداکثر اطلاعات ممکن از جمله لایه‌بندی خاک و سنگ به صورت گرافیکی و عددی باشد. نمونه‌های تهیه شده، نوع نمونه‌ها، آزمایش‌های انجام شده و نتایج آن‌ها باید در نمودارهای حفاری درج گردد. یک نمونه نمودار حفاری گمانه‌های ماشینی و چاهک دستی در جداول ۵-۱ تا ۵-۳ ارایه شده است.

۵-۳- ارایه نتایج حفاری‌ها در نقشه‌های اجرایی

در ارایه نقشه‌های اجرایی سازه‌های متمرکز نظیر سدهای انحرافی، تاسیسات آبگیری و ایستگاه‌های پمپاژ باید محل حفاری‌ها، لوگ گمانه‌ها و چاهک‌ها و نتایج آزمایش‌های مهم در قالب برگ‌های مجزا ارایه شود. همچنین برای سازه‌های نواری نظیر کانال و یا زهکش، باید لوگ گمانه‌های ماشینی و چاهک‌های دستی و نتایج آزمایش‌های صحرایی نظیر نفوذ استاندارد، نفوذپذیری و آزمایش‌های خاص بر روی پروفیل مسیر سازه ارایه شده و محل گمانه‌ها و چاهک‌ها نیز بر روی پلان مسیر مشخص گردد.

۵-٤- نمودارهای دانه‌بندی

جهت راحتی در استفاده از نمودار دانه‌بندی خاک، برگه حاوی این نمودار علاوه بر منحنی دانه‌بندی باید شامل اطلاعات زیر باشد:

۱- محل و عمق تهیه نمونه؛
۲- اندازه‌های D100,D60,D50,D30,D10؛
۳- ضرایب یکنواختی و خمیدگی (Cu, Cc در مورد خاک‌های درشت‌دانه)؛
۴- درصد مصالح شن، ماسه و ریزدانه (عبوری الک نمره ۲۰۰، نمره ۴ و ۳ اینچ)، در خاک‌های ریزدانه درصد عبوری برای اندازه ۲ میکرون و برای آزمایش هیدرومتری مضاعف درصد عبوری برای اندازه ۵ میکرون؛
۵- درصد رطوبت، حدود اتربرگ؛
۶- طبقه‌بندی به روش یونیفاید؛
۷- جدول دانه‌بندی مصالح (درصد عبوری از الک‌های استاندارد).

برای خاک‌های درشت‌دانه که بر روی آن‌ها دانه‌بندی صحرایی انجام شده و سپس دانه‌بندی آزمایشگاهی براساس مصالح عبوری از الک ۳ اینچ انجام شده است، علاوه بر منحنی دانه‌بندی آزمایشگاهی، لازم است منحنی دانه‌بندی کل (تلفیق دانه‌بندی صحرایی و آزمایشگاهی) که معرف دانه‌بندی واقعی مصالح می‌باشد نیز ارایه گردد.

۵-۵- وظایف عوامل نظارت

در طول اجرای یک برنامه حفاری باید نظارت کارگاهی دقیق اعمال شود تا نسبت به اجرای صحیح موارد درخواست شده و به نتایج به‌دست آمده اطمینان لازم حاصل شود. وظایف عوامل نظارت را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱- تهیه دستورالعمل‌های اجرایی برای روش انجام عملیات حفاری، نمونه‌برداری و آزمایش؛

۲- بررسی نوع دستگاه‌ها و وسایل حفاری و قابلیت آن‌ها براساس مشخصات فنی؛

۳- نظارت،کنترل و تطبیق نحوه انجام دادن حفاری‌ها، نمونه‌برداری‌ها، آزمایش‌های صحرایی و نگهداری و حمل نمونه‌ها براساس مشخصات فنی؛

۴- تهیه و تنظیم صورتجلسه‌های مربوط به حفاری‌ها و آزمایش‌های صحرایی؛

۵- هماهنگی با طراح پروژه جهت تغییر در برنامه حفاری در محل‌های لازم براساس شرایط حفاری و مسایلی که در هنگام حفاری به آن برخورد می‌شود (مثل حذف نمودن یا افزودن نقاط حفاری، تغییر نوع، عمق یا فاصله گمانه‌ها، نوع نمونه‌گیری و مانند آن)؛

۶- اطمینان از کسب اطلاعات کامل و مطمئن از گمانه‌ها (گزارش صحیح عمق و استفاده صحیح از تکنیک‌های حفاری و نمونه‌گیری)؛

۷- تهیه نمودار[1] صحرایی گمانه‌ها و چاهک‌های دستی؛

۸- ثبت دقیق وضعیت ژئوتکنیکی در طول گمانه و تهیه و تکمیل گزارش‌های صحرایی.

1-Log

نمودار ۵-۱- نمونه نمودار حفاری گمانه ماشینی همراه با درج نتایج آزمایش‌های آزمایشگاهی

BOREHOLE NO :	PROJECT:	LOCATION OF BOREHOLE :	
DATE : FROM TO	CONTRACTOR :	GROUND WATER LEVEL	DATE
ELEVATION :	SUPERVISOR :	TYPE OF DRILLING :	SHEET OF
DEPTH (m):	CONTROLED BY:	REMARKS:	

DEPTH (m)	SAMPLE Sample type	SAMPLE DEPTH (m)	SPT or CSPT	LITOLOGICAL DESCRIPTION	GRAPH	USCS OR RQD	P# 200 %	CR %	γ_t t/m³	MC W%	LL %	PI %	C' Kg/cm2	Φ deg	other test
1															
2															
3															
4															
5															
6															
7															
8															
9															
10															

UDS : Undisturbed sample
DS : Disturbed sample
C: Core disturbed sample
SPT: Spt disturbed sample

U: Uncofiend comp. test
CD: Triaxial cd comp. test
CU: Triaxial cu comp. test
UU: Triaxial uu comp. test

PSD: Particle size distribution
S: Shear box test
CON: Consolidation test
COM: Compaction test

نمودار ۵-۲- نمونه نمودار حفاری گمانه ماشینی براساس نتایج حفاری‌ها و آزمایش‌های صحرایی

BOREHOLE NO :		PROJECT:	LOCATION OF BOREHOLE :		
DATE : FROM	TO	CONTRACTOR :	GROUND WATER LEVEL		DATE
ELEVATION :		SUPERVISOR :	TYPE OF DRILLING :	SHEET	OF
DEPTH (m)		CONTROLED BY:	REMARKS:		

SAMPLE			DEPTH	GRAPH	LITOLOGICAL DESCRIPTION	JOINT/FRACTURE	CORE RECOVERY	RQD	PERMEABILITY TEST	HOLE SIZE (mm)	CASING: SIZE& DEPTH	REMARKS
SPT or CSPT	TYPE	DEPTH & No	(m)									
			1									
			2									
			3									
			4									
			5									
			6									
			7									
			8									
			9									
			10									

SAMPEL : UDS : UNDISTURBED SAMPLE DS : DISTURED SAMPLE C: CORE

نمودار ۵-۳- نمونه نمودار حفاری چاهک دستی

TEST PIT NO :		CONTRACTOR :	PROJECT:	
DATE : FROM	TO	SUPERVISOR :	SHEET OF	TESTPIT DIAMETER:
FINAL DEPTH (m)		CONTROLED BY:	LOCATION OF BOREHOLE :	

DAILY PROGRESS AND WEATHER	SAMPLE			DEPTH (m)	GRAPH	SOIL DESCRIPTION
	SPT or CSPT	TYPE	DEPTH & No			
				1		
				2		
				3		
				4		
				5		
				6		
				7		
				8		
				9		
				10		

KEY TO SAMPLE TYPE
CC: CORE CUTTER D: DISTURBED
B: BLOCK W: WATER

REMARKS:

فصل ۶

روش‌های تحلیل و ارایه خدمات مهندسی

٦-١- کلیات

با توجه به اینکه تحلیل‌های ژئوتکنیکی به صورت خدمات مهندسی بیش‌تر توسط مشاوران ژئوتکنیک انجام می‌شود، در این قسمت نحوه تحلیل نتایج و ارایه خدمات به شکلی که در مطالعات سامانه‌های آبیاری و زهکشی مفید باشد، ارایه می‌گردد. لازم به ذکر است که این تحلیل‌ها باید در قالب خدمات مهندسی مقطعی با هماهنگی کامل مشاور طراح در کلیه مراحل مطالعات ژئوتکنیک نظیر حفاری و انجام آزمایش‌های صحرایی و آزمایشگاهی انجام می‌شود.

٦-٢- ارایه نتایج مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی

نتایج مطالعات باید به‌نحوی دسته‌بندی و ارایه گردد که که به‌راحتی قابل استفاده باشد، بدین منظور ارایه مطالب در قالب جداول زیر ضروری می‌باشد:

۱- لوگ گمانه‌های ماشینی و چاهک‌های دستی؛
۲- جدول خلاصه نتایج آزمایش‌های دانه‌بندی و هیدرومتری شامل عمق تهیه نمونه، نام خاک براساس طبقه‌بندی یونیفاید، اندازه‌های D100،D60, D30, D10 و درصد قلوه سنگ، شن، ماسه و رس و لای؛
۳- جدول نتایج آزمایش‌های حدود اتربرگ حاوی حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف از معیار نتایج و ترسیم نمودار خمیری (نمودار جدول ۹-۱) برای نمونه‌ها؛
۴- جدول نتایج آزمایش‌های شیمیایی؛
۵- جدول نتایج آزمایش‌های SPT و ارایه نمودار تغییرات آن با عمق؛
۶- جدول نتایج آزمایش‌های سه محوری، تک محوری، برش مستقیم، و تراکم؛
۷- جدول نتایج آزمایش‌های تحکیم، نفوذپذیری آزمایشگاهی و صحرایی و...؛
۸- ارایه نمودار تغییرات نفوذپذیر با عمق و سطح؛
۹- ارایه جداول مربوط به پتانسیل تورم، واگرایی و سایر مسایل خاص خاک‌ها؛
۱۰- ارایه جداول مربوط به مشخصات قرضه و مصالح آن شامل نوع مصالح، حجم مصالح در دسترس، حجم مصالح مورد نیاز.

٦-٣- نتیجه‌گیری و ارایه پارامترهای ژئوتکنیکی

براساس نتایج آزمایش‌های صحرایی و آزمایشگاهی باید پارامترهای ژئوتکنیکی لایه‌های مختلف خاک با توجه به نیازهای پروژه و طرح شامل: وزن مخصوص، زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی در حالت تنش موثر و تنش کل، ضرایب تحکیم خاک‌های ریزدانه، مدول الاستیسیته و نفوذپذیری افقی و قائم خاک‌ها ارایه گردد.

٦-٤- ارایه مقاومت مجاز خاک و نشست پی

مقاومت مجاز خاک باید بر مبنای دو معیار گسیختگی و نشست مجاز به صورت نمودار و یا جدول برای ابعاد متفاوت پی‌های طرح ارایه گردد. روش محاسبه و معیارهای مورد استفاده باید به تایید مشاور طراح رسانده شود. همچنین با توجه به

نوع سازه‌های طرح، نوع پی مناسب و عمق استقرار آن برای سازه‌های مختلف طرح پیشنهاد گردد و نشست مورد انتظار ناشی از احداث سازه ارایه گردد.

٦-٥- تحلیل پایداری شیروانی

تحلیل پایداری شیروانی باید به یکی از روش‌های تحلیل حدی انجام شود. در این تحلیل‌ها باید شرایط مختلف بارگذاری نظیر بارگذاری در حالت خاتمه ساخت، تراوش پایدار و افت سریع تراز سطح آب در پشت خاکریزها مد نظر قرار گیرد. همچنین برای شرایط غیر عادی نظیر وقوع زلزله محتمل نیز باید تحلیل‌های مناسب انجام داد. لازم است نتایج این تحلیل‌ها به صورت شکل همراه با ترسیم سطح شکست بحرانی ارایه گردد و ارایه تنها یک شیب پایدار برای خاک‌برداری‌ها و خاکریزی‌ها و یا ارایه ضریب اطمینان در برابر لغزش کافی نمی‌باشد.

٦-٦- تحلیل نتایج آزمایش‌های شیمیایی

بر مبنای نتایج آزمایش‌های شیمیایی باید شرایط پی از نظر پارامترهای مختلف شیمیایی نظیر گچ، سولفات، کلر، PH و ... بررسی شده و با ذکر موارد مساله‌دار، پیشنهادهای مناسب برای این موارد ارایه گردد. همچنین باید براساس این نتایج در مورد خاک‌های مساله‌دار روش اصلاحی ارایه شده یا تمهیدات مورد نیاز پیش‌بینی و در این خصوص به‌طور کامل توضیح داده شود.

٦-٧- تحلیل مسایل خاص

مسایل خاص نظیر روانگرایی، واگرایی، رمبندگی، تورم و ... باید براساس نتایج حاصل از آزمایش‌های صحرایی و آزمایشگاهی بررسی شده و راهکارهای مناسب برای مقابله و روش استفاده از آن‌ها پیشنهاد گردد.

٦-٨- کیفیت مصالح خاکریزها

با توجه به اینکه در عمل عمدتا از خاک‌های محلی برای خاکریزی کانال‌ها و زهکش‌ها استفاده می‌شود، باید کیفیت این مصالح به منظور مصرف در خاکریزها مورد بررسی قرار گرفته و در صورت نامناسب بودن آن در شرایط خاک‌های نامتعارف (مساله‌دار) یشنهادهای لازم ارایه گردد.

فصل ۷

آزمایشگاه محلی کنترل عملیات خاکی و بتنی

۷-۱- کلیات

برای کنترل عملیات اجرایی در پروژه‌های در دست ساخت باید یک آزمایشگاه محلی به صورت آزمایشگاه مستقر در کارگاه هماهنگ با دستگاه نظارت عملیات اجرایی، عهده‌دار انجام آزمایش‌های کنترل کیفیت براساس استانداردها و مشخصات فنی طرح می‌باشد، ایجاد شود. درصورتی‌که پروژه‌ای کوچک بوده و در مجاورت عملیات اجرایی یک واحد آزمایشگاهی مجهز به امکانات برای انجام آزمایش‌های مورد نظر موجود باشد (چنانچه ساخت آزمایشگاه محلی از نظر اقتصادی به تشخیص دستگاه نظارت و تایید کارفرما قابل توجیه نباشد)، می‌توان از ساخت آزمایشگاه محلی صرف‌نظر کرد و از آزمایشگاه‌های نزدیک به محل اجرای پروژه استفاده کرد. به‌هرحال با توجه به این‌که آزمایش‌های کنترل کیفیت باید به‌طور مستمر همراه با انجام دادن عملیات اجرایی صورت پذیرد، تا حد ممکن باید نسبت به تجهیز آزمایشگاه محلی در محل اجرای پروژه اقدام کرد. آزمایشگاه‌های محلی باید دارای حداقل امکانات برای انجام دادن آزمایش‌های زیر باشند.

۷-۲- کنترل عملیات خاکی

کنترل عملیات خاکی شامل بازرسی مصالح مصرفی، کنترل یکنواختی و مقدار رطوبت، تعیین ضخامت لایه، کنترل تراکم خاک و کنترل ترک‌های عمقی حاصل از انقباض خاک‌های ریزدانه یا نشست پی می‌باشد. جهت این کنترل‌ها انجام دادن آزمایش‌های تعیین درصد رطوبت، آزمایش دانه‌بندی به روش مکانیکی و هیدرومتری، تعیین حدود اتربرگ، تعیین چگالی در محل (با روش مخروط ماسه)، آزمایش تراکم به روش پراکتور استاندارد و اصلاح شده و بازرسی چشمی مورد نیاز می‌باشد. یکی از نکات اصلی که در انجام دادن این آزمایش‌ها بسیار مهم است در دسترس بودن آزمایشگاه برای انجام دادن آزمایش در زمان‌های مورد نیاز برای کنترل کیفیت می‌باشد. به‌طور مثال تعیین رطوبت خاک باید بلافاصله پس از خاکریزی و کوبیدن انجام شود تا درصد رطوبت خاکریزی با درصد رطوبت بهینه مقایسه گردد و در صورت لزوم نسبت به تغییر رطوبت خاکریزی‌ها اقدام شود. علاوه بر آزمایش‌های بالا برای مصالح فیلتر به آزمایش هم‌ارز ماسه‌ای نیز مورد نیاز می‌باشد.

تعداد و نوع آزمایش‌های مورد نیاز برای کانال‌ها و زهکش‌ها بستگی به سطح و حجم کار داشته و نمی‌توان مقدار آن‌ها را به صورت قطعی تعیین نمود. حداقل آزمایش چگالی مورد نیاز برای کنترل خاکریزی‌ها به شرح زیر می‌باشد:

الف- برای هر نوع خاکریزی یک آزمایش برای هر نوبت کاری؛

ب- برای خاکریزی بدنه کانال‌ها به‌ازای هر ۱۵۰۰ مترمکعب خاکریزی؛

ج- برای خاکریزی کانال‌ها با پوشش خاکی هر ۷۵۰ مترمکعب خاکریزی؛

د- برای خاکریزی پشت سازه و یا خاکریزی زیر سازه:

- تراکم با وسایل دستی: هر ۱۵۰ مترمکعب خاکریزی؛
- تراکم با وسایل ماشینی: هر ۷۵۰ مترمکعب خاکریزی.

به ازای هر ۱۰ آزمایش چگالی یک آزمایش کامل نفوذپذیری و نشست برای کانال‌های با خاک نفوذناپذیز بدون پوشش ساخته شده، انجام شود. علاوه بر موارد بالا، آزمایش چگالی باید در برخورد به خاکریزی‌های مشکوک به تراکم و کیفیت نامناسب انجام گردد.

برای بازرسی و کنترل صحرایی خاکریزی‌های انجام شده‌ای که آزمایش‌های بالا در مورد آن‌ها انجام شده، لازم است کنترل‌های چشمی و نظری از جمله وارسی عمق، عرض و میزان گسترش ترک‌ها خصوصا در خاکریزهای بلندی که در دوره بهره‌برداری در تماس با آب و در معرض بار آبی قابل ملاحظه قرار می‌گیرند، انجام داد. بدیهی است در صورت مشاهده درز و ترک‌های مساله‌ساز، لازم است تمهیدات اصلاحی و تعمیرات و حتی در صورت لزوم اجرای مجدد خاکریزی قبل از بهره‌برداری در برنامه کار رفع نقص قبل از تحویل موقت قرارگیرد.

۷-۳- کنترل عملیات بتنی

کنترل عملیات بتنی یکی از کارهای مهم در بیش‌تر کارگاه‌های ساخت سامانه‌های آبیاری و زهکشی می‌باشد. با توجه به این‌که نوع آزمایش‌ها و تعداد آن‌ها به‌طور کامل در آیین‌نامه بتن ایران (آبا) و مشخصات فنی عمومی آمده است، در اینجا فقط به تعدادی از آزمایش‌های مورد نیاز اشاره می‌شود. آزمایش‌های مربوط به کنترل عملیات بتنی شامل: تعیین درصد رطوبت سنگ‌دانه‌ها، آزمایش دانه‌بندی به روش مکانیکی، تعیین هم‌ارز ماسه‌ای (SE)، تعیین دما و روانی[1] بتن، تعیین وزن مخصوص بتن تازه و سخت شده، نمونه‌برداری و قالب‌گیری از بتن تازه به صورت استوانه‌ای یا مکعبی، نگهداری و تعیین مقاومت فشاری نمونه‌های بتن در مقاطع زمانی ۷، ۱۱،۲۸، ۴۲ یا ۹۰ روزه بسته به نوع سیمان مصرفی می‌باشد.

1-Slump

فصل ۸

طبقه‌بندی خاک‌ها

۸-۱- کلیات

در مطالعات ژئوتکنیک یکی از نتایج بسیار مهم، طبقه‌بندی خاک‌ها در گمانه‌های ماشینی و چال‌های دستی به‌خصوص در صحرا (با توجه به تشخیص ظاهری خاک توسط کارشناس) می‌باشد. در ادامه با توجه به اهمیت طبقه‌بندی خاک و روش انجام دادن آن در صحرا و در آزمایشگاه ارایه می‌شود.

۸-۲- طبقه‌بندی خاک‌ها در صحرا

یک نمونه معرف از خاک (با جدا نمودن ذرات بزرگ‌تر از ۳ اینچ) به صورت درشت‌دانه یا ریزدانه طبقه‌بندی می‌گردد. این طبقه‌بندی براساس برآورد درصد وزنی ذرات مجزای قابل تشخیص با چشمان غیر مسلح انجام می‌شود. درصورتی‌که این درصد وزنی بزرگ‌تر از ۵۰ درصد باشد خاک درشت‌دانه و در غیر این صورت خاک ریزدانه می‌باشد. اندازه تقریبی ذراتی که با چشم غیر مسلح می‌توان تشخیص داد اندازه الک نمره ۲۰۰ (۰/۰۷۵ میلی‌متر) می‌باشد. درصورتی‌که خاک درشت‌دانه تشخیص داده شود خاک براساس درصد وزنی دانه‌های بزرگ‌تر از الک نمره ۴ (۴/۷۵ میلی‌متر) از نوع شن (بیش از ۵۰ درصد) یا از نوع ماسه (کم‌تر از ۵۰ درصد) طبقه‌بندی می‌گردد.

خاک شنی در دو رده شن تمیز (دارای ریزدانه خیلی کم یا فاقد ریزدانه) و شن خاک‌دار (شامل مقدار قابل توجه ریزدانه) طبقه‌بندی می‌گردد. برای شن‌های تمیز طبقه‌بندی نهایی براساس نوع دانه‌بندی شامل شن خوب دانه‌بندی شده (GW) و شن بد دانه‌بندی شده (GP) انجام می‌شود.

برای شن‌های خاک‌دار درصورتی‌که قسمت ریزدانه غیرپلاستیک (لای) باشد خاک از نوع شن لای‌دار (GM) و درصورتی‌که قسمت ریزدانه از نوع خمیری (رس) باشد خاک از نوع شن رسی (GC) خواهد بود. برای ماسه نیز همانند شن طبقه‌بندی‌های مختلف براساس مقدار و نوع ریزدانه آن شامل SM, SP, SW و SC انجام داده می‌شود.

اگر مقدار مصالح ریزدانه بیش‌تر از ۵۰ درصد وزنی باشد، خاک در شش گروه (OL, OH, CL, ML, CH , MH) قرار می‌گیرد. طبقه‌بندی این نوع خاک‌ها براساس خمیری بودن و تشخیص آلی و یا غیرآلی بودن خاک انجام می‌شود. در صحرا برای تشخیص خمیری یا غیرخمیری بودن خاک‌ها از دو آزمایش اتساع (انبساط در اثر لرزش[1]) و مقاومت حالت خشک و سفتی[2] (نیروی لازم برای تغییرشکل در محدوده حد خمیری) استفاده می‌شود.

علاوه بر رده‌بندی‌های بالا برای بعضی از خاک‌ها لازم است از طبقه‌بندی دوگانه با توجه به شرایط مرزی خاک در رده‌بندی‌های مختلف بالا استفاده گردد. در این نوع طبقه‌بندی‌ها می‌توان به دسته‌های SM-SC, SW-SP, GW-GM, GM-GC GW-GP و SW-SM اشاره کرد. برای طبقه‌بندی‌های دوگانه نمونه‌های حاوی خاک‌های ریزدانه و درشت‌دانه مناسب‌تر است که ابتدا قسمت درشت‌دانه و سپس قسمت ریزدانه ذکر گردد (نظیر SM-ML یا SC-CL).

1-Dilatancy
2-Toughness

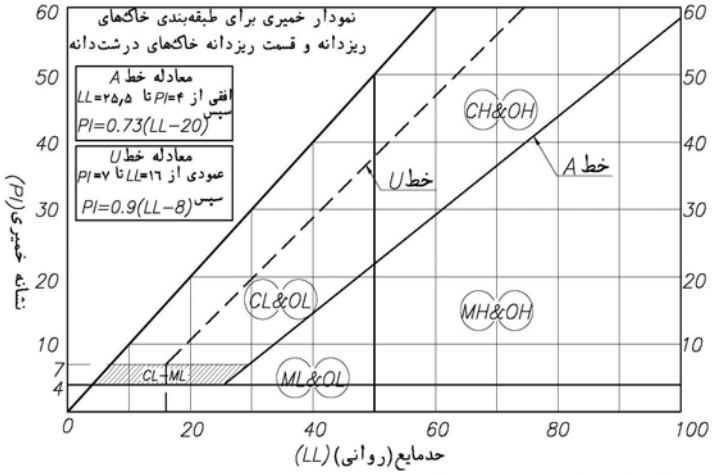
لازم به یادآوری است که که از این روش صرفا در هنگام مطالعات صحرایی و به هنگام تشریح نظری خاک استفاده می‌شود. برای کسب نتایج دقیق باید بر روی نمونه‌های منتخب آزمایش‌های آزمایشگاهی دانه‌بندی و حدود اتربرگ انجام شده و طبقه‌بندی براساس آن‌ها انجام داد.

۸-۳- طبقه‌بندی آزمایشگاهی

یکی از طبقه‌بندی‌های متداول آزمایشگاهی خاک‌ها، طبقه‌بندی به روش یونیفاید[1] می‌باشد که چگونگی انجام آن در شکل ۹-۱ ارایه شده است.

1- Unified Soil Classification System (USCS)

معیارهای طبقه‌بندی				اسامی تیپ	علامت گروه	گروه اصلی		
بین ۱ تا ۳ $C_C=\frac{(D_{30})^2}{D_{10}\times D_{60}}$ بزرگتر از ۴ $C_U=D_{60}/D_{10}$		طبقه‌بندی مرزی که احتیاج به علامت مضاعف دارد.	طبقه‌بندی بر پایه درصد ریزدانه‌ها	شن و مخلوط شن و ماسه خوب دانه‌بندی شده بدون ریزدانه و یا ریزدانه کم	GW	شن تمیز	شن مساوی و یا بزرگتر از ۵۰ درصد قسمت درشت‌دانه بالای الک نمره ۴ می‌ماند.	خاک‌های درشت‌دانه بیش‌تر از ۵۰ درصد مصالح روی الک نمره ۲۰۰ می‌ماند.*
با هر دو معیار GW منطبق نیستند				شن و مخلوط شن و ماسه بد دانه‌بندی شده بدون ریزدانه و یا ریزدانه کم	GP			
حدود اتربرگ در ناحیه هاشور خورده قرارمی‌گیرند و طبقه‌بندی مرزی با استفاده از علامت مضاعف لازم است.	حدود اتربرگ زیر خط A قرار می‌گیرند. یا نشانه خمیری کم‌تر از ۴ است	GM,GC,SM,SC	عبوری از الک نمره ۲۰۰ بین ۵ تا ۱۲ درصد است.	شن لای‌دار، مخلوط شن، ماسه و لای	GM	شن همراه با ریزدانه		
	حدود اتربرگ بالای خط A قرار می‌گیرند. یا نشانه خمیری بزرگتر از ۷ است			شن رس‌دار، مخلوط شن، ماسه و رس	GC			
بین ۱ تا ۳ $C_C=\frac{(D_{30})}{D_{10}\times D_{60}}$ بزرگتر از ۶ $C_U=D_{60}/D_{10}$		GW,GP,SW,SP	بیش‌تر از ۱۲ درصد از الک نمره ۲۰۰ عبور می‌کند.	ماسه و ماسه شن‌دار خوب دانه‌بندی شده بدون ریزدانه و یا ریزدانه کم	SW	ماسه تمیز	ماسه بزرگتر از ۵۰ درصد قسمت درشت‌دانه از الک نمره ۴ عبور می‌کند.	
با هر دو معیار SW منطبق نیستند				ماسه و ماسه شن‌دار بد دانه‌بندی شده بدون ریز دانه و یا ریز دانه کم	SP			
حدود اتربرگ در ناحیه هاشور خورده قرار می‌گیرند و طبقه‌بندی مرزی با استفاده از علامت مضاعف لازم است	حدود اتربرگ زیر خط A قرار می‌گیرند. یا نشانه خمیری کم‌تر از ۴ است			ماسه لای‌دار، مخلوط ماسه و لای	SM	ماسه همراه با ریزدانه		
	حدود اتربرگ بالای خط A قرار می‌گیرند. یا نشانه خمیری بزرگتر از ۷ است			ماسه رس‌دار و مخلوط ماسه و رس	SC			
نمودار خمیری برای طبقه‌بندی خاک‌های ریزدانه و قسمت ریزدانه خاک‌های درشت‌دانه				لای غیرآلی، ماسه خیلی ریز، پودر سنگ، ماسه‌های ریز لای‌دار و رس‌دار	ML	لای و رس حد مایع (روانی) ۵۰ درصد یا کم‌تر		خاک‌های ریزدانه مساوی ویا بیش‌تر از ۵۰ درصد مصالح از الک نمره ۲۰۰ عبور می‌کند.
معادله خط A افقی از $PI=4$ تا $LL=25.5$ سپس $PI=0.73(LL-20)$				رس غیرآلی با خاصیت خمیری کم، رس شن‌دار، رس ماسه دار،رس لای دار،رس لاغر	CL			
معادله خط U عمودی از $LL=16$ تا $PI=7$ سپس $PI=0.9(LL-8)$				لای آلی و رس لای‌دار آلی با خاصیت خمیری کم	OL			
				لای غیرآلی،ماسه ریز با لای میکادار، لای الاستیک	MH	لای و رس حد مایع (روانی) بیش‌تر از ۵۰ درصد		
				رس غیرآلی با درجه خمیری زیاد، رس چاق	CH			
				رس آلی با درجه خمیری متوسط تا زیاد	OH			
				تورب(پیت)،ماک و سایر خاک‌های خیلی آلی	PT	خاک‌های آلی		



وقتی‌که حدود اتربرگ در ناحیه هاشور خورده قرار می‌گیرد، به طبقه‌بندی مرزی با استفاده از علامت مضاعف مورد نیاز است.

*بر پایه مصالح عبوری از الک ۳ اینچ(۷۵ میلی‌متر)

منابع و مراجع

۱- زمین‌شناسی برای مهندسین، ۱۳۷۲، حسین معماریان، دانشگاه تهران

۲- تورم و واگرایی خاک‌ها از دید مهندس ژئوتکنیک، ۱۳۷۲، فرج‌اله عسکری-علی فاخر، جهاد دانشگاهی

۳- آیین‌نامه اجرای کاوش‌های زیر سطحی برای سدهای خاکی و سنگریزه‌ای (ترجمه آیین‌نامه کشور هندوستان)، ۱۳۶۷، نشریه شماره ۷، استاندارد صنعت آب

1- Earth Manual, third edition, 1998, USBR
2- Geotechnical Investigation, 2001, USACE
3- Geotechnical Engineer’s Portable Handbook, 2000, McGraw-Hill by Robert W. Day
4- Foundation and Earth Material Investigation, Design Standard No 13 (Embankment dams), 1989, USBR

خواننده گرامی

دفتر نظام فنی اجرایی معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور، با گذشت بیش از سی سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر چهارصد عنوان نشریه تخصصی- فنی، در قالب آیین‌نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. نشریه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت‌های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال‌های اخیر در سایت اینترنتی **http://tec.mporg.ir** قابل دستیابی می‌باشد.

دفتر نظام فنی اجرایی

Islamic Republic of Iran
Vice presidency for Strategic Planning and Supervision

Criteria for Geotechnical Investigations of Irrigation & Drainage Systems

No. 493

Office of Deputy for Strategic Supervision | **Ministry of Energy**

Bureau of Technical Execution System | **Bureau of Engineering Affairs and Technical Standard for Water and Wastewater**

http://tec.mporg.ir | **http://seso.moe.org.ir**

2009

این نشریه

با عنوان «معیارها و ضوابط فنی عملیات اکتشافی ژئوتکنیک سامانه‌های آبیاری و زهکشی مقدار و روش انجام کاوش‌های ژئوتکنیکی در سامانه‌های آبیاری و زهکشی» را که یکی از ضرورت‌های مطالعات این سامانه‌ها می‌باشد را ارایه می‌نماید. سامانه‌های آبیاری و زهکشی مورد بحث در این نشریه شامل کانال‌ها، زهکش‌ها، خطوط لوله، و سازه‌های مرتبط شامل ایستگاه‌های پمپاژ، بندهای انحرافی، آبگیرها و... می‌باشد. حداقل عملیات ژئوتکنیک موردنیاز بسته به ابعاد و اندازه پروژه و شرایط ژئوتکنیکی محل، شامل حفر چاهک‌های دستی، گمانه‌های ماشینی و انجام آزمایش‌های صحرایی و آزمایشگاهی در این نشریه ارایه شده است.