۳-۲-۴- حفر چاه با استفاده از جت آب (حفر آبی)[1]

در مناطق کم‌عمق، چاه‌هایی با قطر کوچک قابلیت نصب در سازندهای تحکیم‌نیافته را دارند که از برای این منظور از روشی به نام حفرآبی استفاده می‌کنند. چاه حفر شده به روش حفرآبی شبیه پروب آب‌های زیرزمینی می‌باشد که در شکل ٤-۲ نشان داده شده است، که دارای توری مشبک کوتاهی است که در پشت نوک پیکانی قرار دارد. در روش حفرآبی، آب به سمت مرکز میله‌ها پمپاژ شده و توسط تورسیمی و گاهی اوقات نوک پیکانی، از آن خارج می‌شود. جریان آب به آرامی رسوبات را نرم کرده و سبب ایجاد چاه می‌شوند.

به طور ویژه روش حفرآبی برای شن نرم، سیلت و رس بسیار موثر است. این روش برای شن‌های درشت و متراکم و قلوه‌سنگ‌ها مناسب نمی‌باشد. روش جفر آبی معمولاً برای اعماق کمتر از ۱۰ متر مناسب است. زمانی که روش حفرآبی در خاک‌های رس چسبنده اجرا می‌شود، فشار آب از دو طرف از طریق نوک پیکانی زیر تور سیمی، خاک را برش داده و همانند مته مسیر جریان را به چرخش درآورده و با حرکت پیوسته خود به سمت بالا و پایین، ایجاد حفره در خاک می‌کند.

روش حفرآبی اجازه نمونه‌برداری را نمی‌دهد، امّا روشی سریع برای نصب چاه در اعماق کم می‌باشد. این روش حفاری اغلب پس از اینکه شناسایی محل توسط حفاری‌های و بررسی بر روی نمونه‌های گرفته شده انجام شده، جهت نصب ملزومات چاه‌های خشک‌اندازی[2] (چاه‌هایی که جهت ایجاد افت در تراز سطح آب زیرزمینی برای انجام ساخت و ساز حفاری می‌شوند) مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل ٤-٤ نحوه حفر یک چاه خشک‌اندازی را به روش حفرآبی نشان می‌دهد. سیستم‌های خشک‌اندازی کم‌عمق اغلب شامل ردیفی از چاه‌های نقطه‌ای حفرشده به روش حفر آبی می‌باشند که به شبکه لوله‌کشی متصل می‌شوند. با استفاده از پمپ خلاء، فشار در شبکه لوله‌کشی کاهش می‌یابد. بر این اساس می‌توان به طور کامل و تنها با استفاده از یک پمپ اقدام به برداشت آب از چاه‌ها نمود.

۴-۲-۴- حفاری[3]

گمانه‌هایی با عمق صدها یا هزارها فوت می‌توانند توسط روش‌های حفاری ایجاد شوند. حفاری می‌تواند گمانه‌هایی را در مواد تحکیم‌نیافته و یا سنگ بستر ایجاد کند. از طریق گمانه‌ها می‌توان نمونه‌های نسبتاً دست‌نخورده را جمع‌آوری نمود. همچنین چاه‌ها، پیزومترها و ابزارهای دیگر را نیز

---

[1] Jetted Wells
[2] Dewatering wells
[3] Drilling

می‌توانند در گمانه‌های حفاری شده، ایجاد نمود. قطر گمانه‌های حفر شده از چند سانتیمتر برای اکتشافات با عمق کم تا چند متر و بیشتر جهت استحصال آب جهت تأمین نیاز آبی متغییر می‌باشد. روش‌های حفاری دارای تنوع بسیار زیاد و هزینه نسبتاً بالا بوده و به طور گسترده‌ای جهت تحقیقات آب زیرزمینی کاربرد دارند. رایج‌ترین روش‌های حفاری جهت تحقیقات آب زیرزمینی عبارتند از:

۱- روش مته حلزونی[1]

۲- روش دورانی[2]

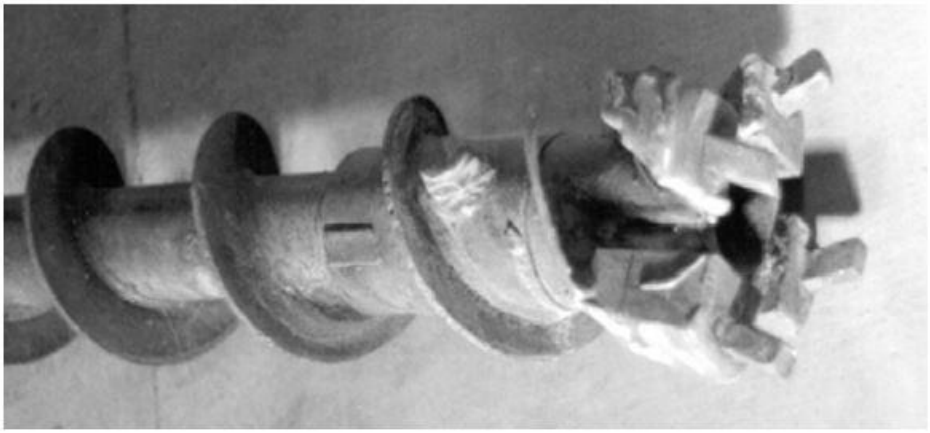
۳- روش کابلی

شکل ٤-٤- نصب دستی چاه خشک‌اندازی به روش حفرآبی. در سمت راست این چاه، چند چاه نصب شده قابل مشاهده است.

[1] Hollow-stem auger

[2] Rotary

مته حلزونی که در شکل ٤-٥ نمایش داده شده، به طور گسترده جهت تحقیقات زیست محیطی و ژئوتکنیکی در اعماق کم کاربرد دارد. مته حفاری درحین چرخش و حرکت دورانی سریع خود سبب خرد و شکسته شدن رسوبات تحکیم‌نیافته می شود و در اثر وزن ابزار حفاری سبب فرو رفتن به درون زمین می شود و سبب اعمال فشار رو به پایین خواهد شد. ابزارهای نمونه‌برداری و مته‌های (تیغه) حفاری مختلفی با قطر کوچک‌تر از لوله حفاری ممکن است در داخل مته حلزونی قرار گیرند. قطر داخلی مته حلزونی معمولاً ٤ اینچ (۱۰/۲ سانتیمتر) می‌باشد. زمانی که چاه ایجاد شده عمیق‌تر شد، جهت جلوگیری از ورود خاک حاصل از حفاری به داخل محور اصلی توخالی مته، درپوش انتهایی مته پایین آورده می‌شود. جهت گرفتن نمونه، لوله حفاری به همراه درپوش مته در حالی که مته در جای خود مستقر است، به سمت سطح زمین بالا کشیده می‌شود. با باز شدن درپوش مته، نمونه خاک خارج شده و سپس از داخل محور اصلی توخالی مته به سمت خاک انتهای مته هدایت می‌شود. این فرآیند (عمل خارج‌سازی خاک حاصل از حفاری) معمولاً به ازای هر ۵ فوت یا ۲ متر حفاری تکرار می‌شود.



شکل ٤-٥- محور مته حلزونی با ابزار خردکننده[1] (تیغه) در انتهای آن

مته‌های حلزونی به حفاری در رسوبات تحکیم‌نیافته محدود می‌شوند و در بالای سطح ایستابی در رسوبات نرم بهترین عملکرد را دارند. در زیر سطح ایستابی، به خصوص در ماسه و سیلت‌های یکنواخت، خاک‌ها انتهای حفره می‌توانند به صورت مایع درآمده و به داخل محور اصلی توخالی

[1] Cutting bit

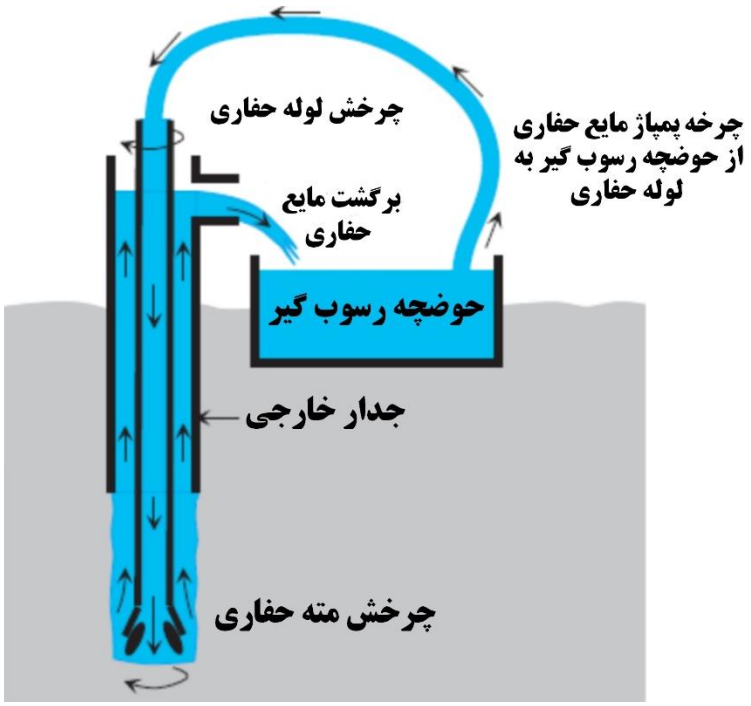
مته جهت استخراج جریان می‌یابند (در بخش ٦-٤، این نوع از ناپایداری‌ها به طور کامل تشریح شده است). یکی از معایب مته‌های حلزونی این است که خاک اطراف محل حفاری در اثر چرخش مته پخش شده و به صورت غیریکنواخت در می‌آید. این امر ممکن بر روی آزمایشات هیدرولیکی که بعداً انجام می‌شود، تأثیرگذار باشد و یا اینکه آب‌بندی گمانه را در برابر حرکت آلاینده‌ها با دشواری مواجه نماید.

دو مورد از رایج‌ترین روش‌های نمونه‌برداری مواد در رسوبات تحکیم‌نیافته، استفاده از نمونه‌بردار دوکفه‌ای[1] و لوله جدار نازک[2] می‌باشد. هر دو روش دارای استوانه‌های فولادی می‌باشند که معمولاً طول آن ٢٤ اینچ است و به میله‌های حفاری متصل بوده و جهت نمونه‌برداری به داخل خاک دست‌نخورده واقع در بخش پایینی چاه گمانه هدایت می‌شوند. اندازه قطر داخلی و خارجی نمونه-بردار دوکفه‌ای به ترتیب برابر با ۳۵ میلیمتر (۱/۳۷۵ اینچ) و ۵۱ میلیمتر (۲ اینچ) می‌باشد. لوله حفاری جهت بازرسی و برداشتن نمونه به دو قسمت تقسیم می‌شود. رایج‌ترین لوله جدار نازک با قطر خارجی ٧٦ میلیمتر (۳ اینچ) و ضخامت دیواره ۳ میلیمتر (۰/۱۲۵ اینچ) می‌باشد. لوله جدار نازک نسبت به نمونه‌بردار دوکفه‌ای، مواد دست‌نخورده بهتری را نمونه‌برداری می‌کند و نتایج آن نیز جهت اندازه‌گیری خواص فیزیکی مثل تخلخل و مقاومت برشی مفیدتر می‌باشد. لوله جدار نازک تنها می‌تواند در خاک‌های نرم، ریزدانه و مواد با اندازه کوچکتر از شن، نمونه‌برداری نماید.

در حفاری دورانی، از طریق چرخشِ مته حفاری که به انتهای لوله مارپیچ حفاری متصل است، چاه توسعه می‌یابد. مایعی که شامل آب، گِل و یا هوا می‌باشد به درون لوله حفاری به گردش درمی‌آید و سپس از مته حفاری خارج می‌شود و در فضای میان خارج لوله حفاری به سطح زمین برگشت داده می‌شود (شکل ٤-٦).

در جهت عکس حفاری دورانی، مایع در جهت مخالف حرکت می‌کند. در فضای میان خارج لوله حفاری پایین رفته و دوباره به درون لوله حفاری برگشت داده می‌شود. مواد نرم شده توسط مته حفاری به حوضچه رسوب‌گیر از طریق جریان مایع حفاری منتقل می‌شوند. این حوضچه به مواد جامد معلق این امکان را می‌دهد تا قبل از پمپاژ دوباره مایع حفاری به درون لوله حفاری به طور کامل ته‌نشین شوند.

[1] Split-Spoon Sampler
[2] Thin-Walled Tube



شکل ٤-٦- سطح مقطع عمودی از حفاری دورانی. مایع حفاری به درون لوله حفاری به گردش درمی‌آید و سپس از مته حفاری خارج شده و به حوضچه رسوب‌گیر برگشت داده می‌شود.

در سازندهای تحکیم‌نیافته، برای عدم ریزش چاه در هنگام حفاری، لوله جدار را در پشت لوله حفاری قرار می‌دهند. معمولاً روش‌های حفاری دورانی برای چاه‌های بدون لوله جدار[1] مانند تخته سنگ (به جز سنگ‌های به شدت شکاف‌دار[2] و تغییرشکل یافته[3]) کاربرد دارند.

استفاده از آب و یا گِل به عنوان مایع حفاری سبب نگهداری فشار مایع در چاه‌های گمانه می‌شود، به همین دلیل امکان حفاری توسط این روش در سازندهای تحکیم‌نیافته بدون استفاده از لوله جدار وجود دارد. گِل حفاری[4] شامل دوغابی از آب و خاک رس معلق با سایر مواد افزودنی‌ها همراه می‌باشد. گِل، چگال‌تر و دارای لزجت بیشتری نسبت به آب می‌باشد، به همین دلیل مقاومت بیشتری در برابر آب شستگی فراهم می‌کند و جهت حمل مواد حفاری شده و انتقال آن‌ها به سطح زمین، بسیار کارآمدتر خواهد بود.

[1] Uncased Hole
[2] Fractured
[3] Deformable
[4] Drilling mud

حفاری صوتی[1]، حفاری دورانی به علاوه ارتعاشات با فرکانس بالا می‌باشد که به لوله حفاری و سپس به تیغه آن منتقل می‌شود. این ارتعاشات می‌تواند سبب کاهش اصطکاک لوله حفاری و افزایش سرعت پیشروی مته حفاری شود. دکل حفاری می‌تواند فرکانس ارتعاشات (معمولاً نزدیک ۱۰۰ هرتز) را با تشدید کردن (پیچاندن) سیم حفاری و تشکیلات وابسته به آن در جهت دستیابی به عملکرد بهینه، تنظیم نماید.

مته‌هایی که معمولاً برای حفاری دورانی در تخته سنگ‌ها کاربرد دارند شامل مته‌های غلطکی سه مخروطی[2] و مته‌های مغزه‌گیر[3] می‌باشند که در شکل ٤-٧ نشان داده شده است. مته غلطکی تخته سنگ‌ها را شکسته و نمونه‌ها از طریق تراشه‌های معلق در گِل حفاری نمونه‌برداری می‌شود. از سوی دیگر، مته‌های مغزه‌گیر یک چاه استوانه‌ای شکل با هسته جامد مرکزی ایجاد می‌کنند. هر دو مته، معمولاً با استفاده از الماس یا کاربید جهت تراشیدن و خرد نمودن تخته سنگ‌ها جهت انجام عملیات حفاری می‌پردازند.

در حفاری کابلی، مته حفاری و نمونه‌ها با استفاده از کابل به سمت سطح زمین بالا کشیده شده و سپس به ته چاه رها می‌شود. در این نوع از حفاری، مته (میله ای فولادی سخت و نوک تیز و البته سنگین) توسط کابل در چاه آویزان شده و به طور مداوم و پیوسته به ته چاه ضربه می‌زند و به این ترتیب سنگ‌ها خرد می‌شوند. انتقال ذرات حفاری شده از ته چاه به بیرون از آن به صورت متناوب انجام می‌شود. این عمل به کمک گل‌کش[4] هر چند وقت یکبار انجام می گیرد، بدین منظر از لوله‌ای خاص که مجهز به گل‌کش یا جمع‌کننده ذرات است، استفاده می‌شود. در ته این گل کش دریچه‌ی مخصوص نصب شده که باز و بسته شدن آن وابسته به ضربه‌هایی است که لوله هر بار به ته چاه در مواقع بالا و پایین آمدن گل‌کش وارد می‌کند. برخلاف حفاری چرخشی که در هر بار لازم است یک سری از لوله حفاری جدا و سرهم شوند، در روش حفاری کابلی می‌توان به سرعت مته‌ها و نمونه‌ها را جابجا و تعویض نمود.

---

[1] Sonic drilling
[2] Three-cone roller
[3] Coring bits
[4] Bailer

شکل ٤-٧- مته غلطکی سه مخروطی (سمت چپ). مته مغزه‌گیر سنگ و رسوبات مغزه سنگ (سمت راست)

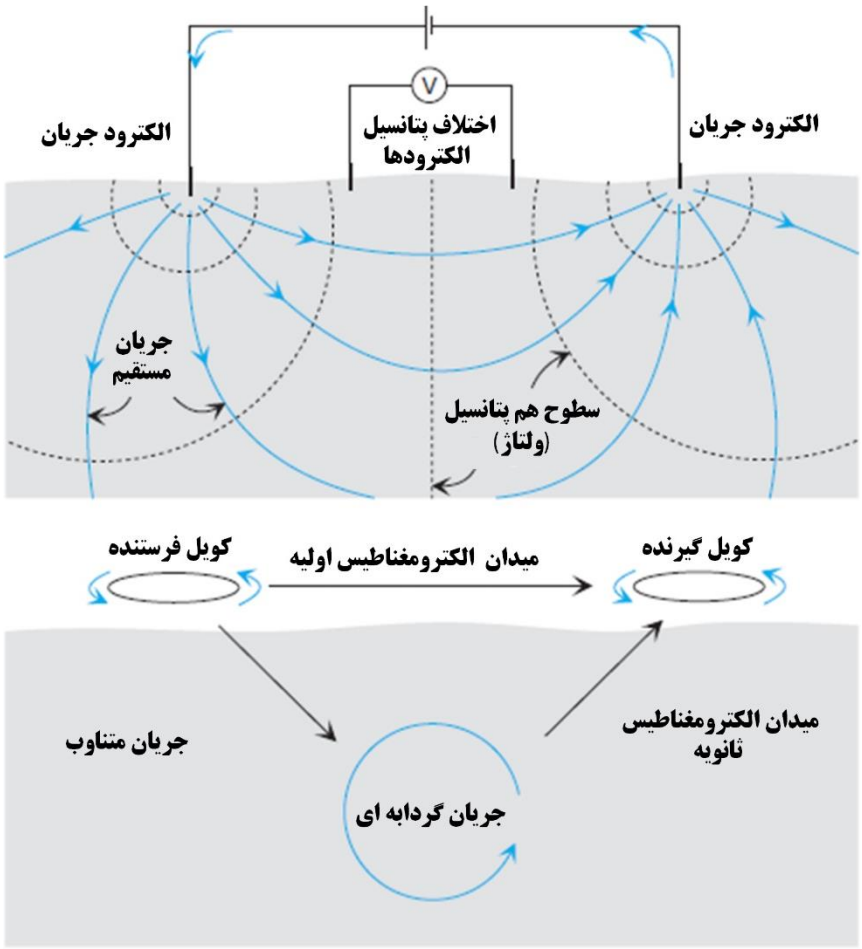
۵-۲-۴- بررسی مقاومت ویژه، الکترو مغناطیس و رادار[1]

طیف گسترده‌ای از روش‌های ژئوفیزیکی برای مسائل سطحی زمینه‌های محیط‌زیست و مهندسی کاربرد دارند که در کتاب‌های Sharma (1997)، Kearey and Brooks (1991) و National Research Council (2000) خلاصه شده است. در این بخش به طور خلاصه سه روش کاربردی در مطالعات آب‌های زیرزمینی کم‌عمق اشاره خواهد شد که عبارتند از: مقاومت ویژه، الکترومغناطیسی (EM)[2] و رادار نفوذی به زمین (GPR)[3]. این روش‌ها، روش‌های کارآمدی بوده و به عنوان روش‌های غیرتهاجمی جهت تهیه نقشه‌های توزیع زیرسطحی سازندها، آب و یا آلودگی مطرح می‌باشد.

در بررسی‌های معمول مقاومت ویژه، یک میدان الکتریکی زیرسطحی پایدار با وارد نمودن جریان مستقیم توسط دو الکترود نصب شده در سطح زمین یا در پایین گمانه ایجاد می‌شود (شکل٤-٨). اختلاف پتانسیل (ولتاژ) توسط دو الکترود دیگری که میان دو الکترود فعلی (دو الکترودی که جریان را وارد زیرسطح زمین می نمایند) قرار دارند، اندازه‌گیری می‌شود. با استفاده از یک مدل ریاضی

[1] Resistivity, Electromagnetic, and Radar Surveys
[2] ElectroMagnetic
[3] Ground-Penetrating Radar

می‌توان اختلاف پتانسیل مشاهداتی و جریان را شبیه‌سازی کرده و در نتیجه مقاومت الکتریکی (هدایت الکتریکی) مواد زیرسطحی را اندازه‌گیری نمود. در صورت ثابت بودن تمامی عوامل در نظرگرفته شود، کاهش ولتاژ بین الکترودهای بالقوه متناسب با مقاوت ویژه زیرسطحی خواهد بود. جالب توجه است که جریان الکتریکی در حالت پایدار مشابه جریان آب زیرزمینی در حالت پایدار می‌باشد؛ مدل‌های ریاضی هر دو فرآیند مبتنی بر بر معادلات یکسان می‌باشند. در ساده‌ترین مدل‌های مقاومت، توزیع همگنی از مقاومت فرض می‌شود و در مدل‌های پیچیده آن یک توزیع ناهمگن همانند وجود یک سری از لایه‌های زیرسطحی در نظر گرفته می‌شود.



شکل ٤-٨- سطح مقطع عمودی نشان‌دهنده اصول روش‌های مقاوت ویژه (شکل بالا) و روش-های الکترومغناطیس (شکل پایین). جریان مستقیم با فلش‌های آبی رنگ نشان داده شده است.