ISIRI

14420

1St .Revision

جمهوری اسلامی ایران

Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Institute of Standards and Industrial Research of Iran

استاندارد ملی ایران

۱۴۴۲۰

چاپ اول

خاک-تعیین هدایت هیدرولیک خاک- روش آزمون

Soil–Determination of Soil Hydraulic Conductivity -Test Method

ICS:93.020

به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب بند یک مادهٔ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسهٔ استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

نام موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران به موجب یکصد و پنجاه و دومین جلسه شورای عالی اداری مورخ ۹۰/۶/۲۹ به سازمان ملی استاندارد ایران تغییر و طی نامه شماره ۲۰۶/۳۵۸۳۸ مورخ ۹۰/۷/۲۴ جهت اجرا ابلاغ شده است .

تدوین استاندارد در حوزه های مختلف در کمیسیون های فنی مرکب از کارشناسان سازمان ، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می شود وکوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانهٔ صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و وارد کنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان های دولتی و غیر دولتی حاصل می شود .پیش نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی نفع و اعضای کمیسیون های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادها در کمیتهٔ ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می شود.

پیش نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان های علاقه مند و ذی صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می کنند درکمیتهٔ ملی طرح و بررسی و درصورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می شود .بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می شوند که بر اساس مفاد نوشته شده در استاندارد ملی ایران شمارهٔ ۵ تدوین و در کمیتهٔ ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین المللی استاندارد (ISO)[1] ،کمیسیون بین المللی الکتروتکنیک (IEC)[2] و سازمان بین المللی اندازه شناسی قانونی (OIML)[3] است و به عنوان تنها رابط[4] کمیسیون کدکس غذایی (CAC)[5] در کشور فعالیت می کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی های خاص کشور ، از آخرین پیشرفت های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود .

سازمان ملی استاندارد ایران می تواند با رعایت موازین پیش بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می تواند به منظور حفظ بازارهای بین المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری نماید. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده کنندگان از خدمات سازمان ها و مؤسسات فعال در زمینهٔ مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدورگواهی سیستم های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست‌محیطی، آزمایشگاه ها و مراکز کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامهٔ تأیید صلاحیت به آن ها اعطا و بر عملکرد آن ها نظارت می کند. ترویج دستگاه بین المللی یکاها، کالیبراسیون (واسنجی) وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization
2 - International Electrotechnical Commission
3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)
4 - Contact point
5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«خاک - تعیین هدایت هیدرولیک خاک - روش آزمون»

رئیس:	**سمت و / یا نمایندگی**
اکرم، مجتبی (کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی)	شرکت‌مهندسین‌مشاور کاماب پارس
دبیر:	
محرابی، انسیه (کارشناسی ارشد مهندسی تاسیسات آبیاری)	وزارت نیرو - طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور
اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)	
انتصاری، محمدرضا (کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی)	کارشناس آزاد
پذیرا، ابراهیم (دکترای مهندسی منابع آب)	دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات و فناوری
جباری، اسماعیل (کارشناسی ارشد مهندسی هیدرولیک)	شرکت مدیریت منابع آب ایران
خیاط خلقی، مجید (دکترای مهندسی منابع آب)	دانشگاه تهران
رضوی نبوی، سیدمجتبی (کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی)	شرکت مدیریت منابع آب ایران
سجادی، سیدرحیم (کارشناس مهندسی آبیاری و زهکشی)	معاونت آب و خاک و صنایع وزارت جهاد کشاورزی
سیاهی، محمدکاظم (کارشناسی ارشد عمران و مهندسی آبیاری و زهکشی)	شرکت مهندسین مشاور پندام
شرقی، عبدالعلی (دکترای مهندسی عمران - هیدرولیک)	عضو هیئت علمی دانشگاه شهید بهشتی
شهریاری، محمدرضا (کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی)	کارشناس آزاد
شیروی، محمدحسین	کارشناس آزاد

(کارشناس فیزیک)

عبدالله شمشیرساز، محمدحسن — شرکت مهندسین مشاور پژوهاب
(کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی)

لطفی، احمد — شرکت مهندسین مشاور پندام
(کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و آبادانی)

منعم، محمدجواد — دانشگاه تربیت مدرس
(دکترای مهندسی منابع آب)

نحوی، محمدباقر — شرکت مهندسین مشاور آب کاوش سرزمین
(کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی)

فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

آشنایی با مؤسسهٔ استاندارد ج
کمیسیون فنی تدوین استاندارد د
پیش‌گفتار ح
۱ هدف و دامنه کاربرد ۱
۲ تعاریف و اصطلاحات ۱
۲-۱ هدایت هیدرولیک اشباع خاک ۱
۲-۲ هدایت هیدرولیک اشباع افقی خاک ۱
۲-۳ هدایت هیدرولیک اشباع قائم خاک ۱
۲-۴ روش آزمایشی بار ثابت ۱
۲-۵ روش آزمایشی بار افتان ۲
۲-۶ جریان ماندگار ۲
۲-۷ محیط متخلخل صلب ۲
۲-۸ خاک همگن ۲
۲-۹ خاک هم روند ۲
۲-۱۰ لایه‌بندی نیمرخ خاک ۲
۲-۱۱ لایه محدود کننده ۲
۳ کلیات ۳
۳-۱ کلیاتی در مورد انتخاب روش مناسب آزمون ۳
۳-۲ هدایت هیدرولیک اشباع خاک ۴
۳-۳ مبانی نظری ۴
۳-۳-۱ بار ثابت در جریان یک بعدی ۴
۳-۳-۲ بار افتان در جریان یک بعدی ۵
۳-۳-۳ بار افتان در شرایط واقعی ۶
۳-۳-۴ حل پورشه (راه حل ثقلی) ۸
۳-۳-۵ حل گلوور (راه حل فشاری) ۹
۳-۳-۶ محدودیت‌های نظری ۱۱
۳-۴ انتخاب موقعیت و تراکم نقاط ۱۲
۳-۵ پیاده کردن نقاط روی زمین ۱۴
۳-۶ لایه‌بندی خاک و تنظیم برنامه آزمون ۱۴
۳-۶-۱ انتخاب عمق چاهک ۱۵

ادامه فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

۳-۶-۲ انتخاب لایه اندازه‌گیری ۱۶
۳-۶-۳ حفر چاهک آزمون ۱۶
۳-۶-۴ خراشیدن دیواره چاهک ۱۸
۳-۶-۵ نصب لوله مشبک جدار ۱۸
۳-۷ کیفیت آب ۱۹
۳-۸ دمای آب ۲۰
۳-۹ هدایت هیدرولیک در خاک دو و یا چند لایه ۲۰
۴ لوازم و امکانات آزمون ۲۳
۴-۱ کلیات ۲۳
۴-۲ لوازم و تجهیزات ۲۳
۴-۲-۱ آگر ۲۳
۴-۲-۲ لوازم اندازه‌گیری سطح آب ۲۳
۴-۲-۳ خراش‌دهنده ۲۵
۴-۲-۴ آبکش ۲۵
۴-۲-۵ لوله مشبک ۲۷
۴-۲-۶ سایر وسایل و لوازم عمومی ۲۷
۴-۲-۷ وسایل و لوازم اختصاصی ۲۷
۵ روش چاهک ۳۷
۵-۱ کلیات ۳۷
۵-۲ روش کار ۳۷
۵-۲-۱ وضعیت سفره آب زیرزمینی ۳۷
۵-۲-۲ وضعیت عمق آب زیرزمینی ۳۸
۵-۲-۳ ارتفاع ستون آب در چاهک ۳۸
۵-۲-۴ شستشوی چاهک ۳۹
۵-۳ وسایل اندازه‌گیری ۳۹
۵-۴ اندازه‌گیری ۳۹
۵-۴-۱ تخلیه آب از چاهک ۴۲
۵-۴-۲ استقرار شناور در چاهک ۴۳
۵-۴-۳ ثبت تغییرات سطح آب ۴۳
۵-۴-۴ تهیه جدول و ترسیم منحنی سرعت خیز سطح آب ۴۴
۵-۵ محاسبات ۵۲

ادامه فهرست مندرجات

عنوان **صفحه**

۵-۵-۱ محاسبه هدایت هیدرولیک ۵۲
۵-۵-۲ خطاهای محتمل در اندازه‌گیری‌ها و محاسبات ۵۲
۶ روش چاهک معکوس ۵۵
۶-۱ کلیات ۵۵
۶-۲ روش کار ۵۵
۶-۲-۱ انتخاب موقعیت نقاط ۵۵
۶-۲-۲ شناسایی لایه‌های خاک و تنظیم برنامه آزمون ۵۶
۶-۲-۳ حفر و تجهیز چاهک آزمون ۵۷
۶-۲-۴ خراشیدن دیواره چاهک ۵۷
۶-۲-۵ نصب لوله جدار ۵۸
۶-۲-۶ آب اندازی و انجام آزمون ۵۸
۶-۳ معادله مورد استفاده ۶۲
۶-۴ مثال ۶۳
۶-۵ موارد خطا و تقریب در آزمون چاهک معکوس ۶۴
۶-۵-۱ تقریب های ذاتی ۶۴
۶-۵-۲ خطاهای اندازه‌گیری ۶۵
۷ روش تزریق به چاهک سطحی ۶۷
۷-۱ کلیات ۶۷
۷-۲ روش انجام کار ۶۷
۷-۲-۱ اندازه‌گیری برای آزمون ۶۷
۷-۲-۲ حجم آب مورد نیاز ۶۸
۷-۳ معادله‌های مورد استفاده ۶۸
۷-۴ ثبت اطلاعات ۷۳
۷-۵ مثال ۷۳
۸ روش نفوذ سنج گلف ۷۵
۸-۱ کلیات ۷۵
۸-۲ روش انجام کار ۷۵
۸-۳ اندازه‌گیری برای آزمون ۷۵
۸-۴ ثبت اطلاعات ۷۶
۸-۵ مثال ۷۶
۹ روش پیزومتری ۸۱

ادامه فهرست مندرجات

عنوان	صفحه
۹-۱ کلیات	۸۱
۹-۲ پایه‌های نظری روش	۸۱
۹-۳ ایجاد حفره در زیر لوله پیزومتر	۸۷
۹-۴ اندازه‌گیری	۸۷
۹-۴-۱ قرار گرفتن لوازم روی چاهک	۸۷
۹-۴-۲ آبکشی از چاهک	۸۷
۹-۴-۳ قراردادن شناور	۸۸
۹-۴-۴ ثبت تغییرات سطح آب	۸۸
۹-۵ معادله‌های مورد استفاده	۹۰
۹-۵-۱ محاسبه هدایت هیدرولیک در سفره آزاد	۹۰
۹-۵-۲ محاسبه هدایت هیدرولیک در سفره تحت فشار	۹۰
۹-۶ محدودیت‌ها و موارد خطا	۹۱
۹-۶-۱ محدودیت‌ها	۹۱
۹-۶-۲ منابع خطا	۹۱
۹-۷ مثال	۹۱
۱۰ هدایت هیدرولیک اشباع قائم خاک	۹۳
۱۰-۱ کلیات	۹۳
۱۰-۲ روش‌های اندازه‌گیری	۹۳
۱۰-۲-۱ روش‌های آزمایشگاهی	۹۳
۱۰-۲-۲ روش‌های صحرایی	۹۳
پیوست الف (اطلاعاتی) مثال‌هایی برای آشنایی با سه حالت ممکن در اندازه‌گیری‌ها	۱۰۱
پیوست ب (اطلاعاتی) مثال‌هایی برای تعیین هدایت هیدرولیک خاک	۱۰۲
پیوست پ (اطلاعاتی) کتابنامه	۱۰۶

پیش‌گفتار

استاندارد «خاک- تعیین هدایت هیدرولیک خاک- روش آزمون» که پیش‌نویس آن در کمیته تخصصی آبیاری و زهکشی طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور - وزارت نیرو و تحت نظارت معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور تهیه و تدوین شده و در سیصد و چهل و ششمین اجلاس کمیته ملی مهندسی ساختمان، مصالح و فرآورده‌های ساختمانی مورخ ۹۰/۸/۱۵ مورد تصویب قرار گرفت. اینک به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاحی قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوّب بهمن ماه ۱۳۷۱، به عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحوّلات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدید نظر خواهد شد و هر گونه پیشنهادی که برای اصلاح و تکمیل این استانداردها ارائه شود، هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدید نظر استانداردهای ملی استفاده کرد.

منبع و مأخذی که برای تدوین این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته به شرح زیر است:

دستورالعمل تعیین هدایت هیدرولیک خاک به روش‌های مختلف، نشریه شماره ۳۲۲ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور- وزارت نیرو، ۱۳۸۴ (بخشنامه شماره ۱۰۱/۱۳۲۳۸۴ مورخ ۱۳۸۴/۷/۳۰)

مقدمه

هدایت هیدرولیک افقی[1]، یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های هیدرودینامیکی خاک است که در محاسبه فاصله‌های زهکشی زیرزمینی مورد نیاز بوده و در مطالعات زهکشی مورد توجه قرار می‌گیرد. روش‌های متعددی برای اندازه‌گیری صحرایی هدایت هیدرولیک اشباع خاک وجود دارد که اساس کلیه آن‌ها بر اندازه‌گیری سرعت جریان افقی آب در خاک استوار است. بر حسب اینکه اندازه‌گیری سرعت جریان آب در خاک در زیر سطح ایستابی یا در بالای سطح ایستابی صورت گیرد، روش‌های تعیین هدایت هیدرولیک نیز متفاوت خواهد بود. برای اندازه‌گیری در شرایط زیر سطح ایستابی، دو روش، بیش از سایر روش‌ها متداول و معمول است که یکی به روش چاهک[2] و دیگری به روش حفره زیر لوله یا روش پیزومتری[3] موسوم است. وقتی آب در محیط اندازه‌گیری نباشد، روش‌های چاهک معکوس یا پورشه[4]، تزریق چاهک[5] و روش موسوم به نفوذسنج گلف[6] به‌کار برده می‌شود.

هدایت هیدرولیک قائم[7] نیز در زهکشی اهمیت داشته و برای اندازه‌گیری آن، از روش تیوب[8] یا روش استوانه[9] استفاده می‌شود.

هرچند مبانی علمی و روش‌های فنی اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی در حدود متعارف خود شناخته شده و در مآخذ مختلف توضیحاتی کلی در مورد آن داده شده است، ولی تجربه نشان داده که افراد مختلف متناسب با برداشت‌ها و استنباط‌هایی که از این مآخذ به دست می‌آورند، روش‌هایی را به کار می‌برندکه بالقوه می‌تواند به نتیجه‌های متفاوتی از یکدیگر منجر شود. در چنین شرایطی، در عمل، داوری درباره نتیجه‌های به‌دست آمده از اندازه‌گیری، اشکال به‌وجود خواهد آورد. از این رو، تهیه یک دستوالعمل هماهنگ برای همه این روش‌ها ضروری تشخیص داده شده و در دستور کار کارگروه آبیاری زهکشی طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور قرار گرفت. بدین ترتیب هدف اصلی از تهیه دستورالعمل تعیین هدایت هیدرولیک اشباع خاک، ایجاد یکنواختی در روش‌هایی است که در عمل، در مطالعات صحرایی زهکشی به‌کار گرفته می‌شود. علاوه بر این با تشریح جزییات بیشتری از روش‌های اجرا، که اغلب در مآخذ موجود کمتر مورد بحث قرار می‌گیرد، سعی خواهد شد که اطلاعات کافی در اختیار کارشناسان مربوط قرار داده شود تا از ایجاد استنباط‌های متفاوت از اصول علمی و فنی کار که به‌طور معمول عامل اساسی چندگانگی روش‌هاست، جلوگیری شود.

در این دستورالعمل، همه نشریاتی که پیش از این در مورد تعیین هدایت هیدرولیک اشباع خاک نوشته شده، تلفیق و به صورت یک دستورالعمل کلی ارائه می‌گردد.

1 - Horizontal Hydraulic Conductivity
2 - Auger Hole Method
3 - Pipe Cavity Test Method (Piezometer Method)
4 - Inversed Auger Hole Method (Porchet Method)
5 - Shallow Well Pump in Test Method
6 - Guelph Permeameter Method
7 - Vertical Hydraulic Conductivity
8 - Tube Method
9 - Ring Method

خاک-تعیین هدایت هیدرولیک خاک- روش آزمون

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد تعیین هدایت هیدرولیک اشباع خاک در محل (کارگاهی) به روش‌های مختلف می‌باشد.

کاربرد این استاندارد محدود به اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک اشباع خاک در محل (نه در آزمایشگاه) است. در اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک افقی خاک، روش‌های چاهک و پیزومتری برای زیر سطح ایستابی و چاهک معکوس یا پروشه، تزریق به چاهک و نفوذسنج گلف برای بالای سطح ایستابی مورد توجه قرار گرفته‌اند. در اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک قائم خاک نیز روش تیوپ و استوانه مورد بحث واقع شده‌اند.

۲ تعاریف و اصطلاحات

در این استاندارد اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود:

۱-۲
هدایت هیدرولیک اشباع خاک

به حجم آبی که در واحد زمان از خاکی با سطح مقطع واحد و با شیب هیدرولیک واحد عبور کند، هدایت هیدرولیک اشباع خاک گفته می‌شود.

۲-۲
هدایت هیدرولیک اشباع افقی خاک

به حجم آبی که در واحد زمان از خاکی با سطح مقطع واحد و با شیب هیدرولیک واحد تنها در جهت افقی خاک عبور کند، هدایت هیدرولیک اشباع افقی خاک گفته می‌شود.

۳-۲
هدایت هیدرولیک اشباع قائم خاک

هدایت هیدرولیک اشباع قائم خاک، به حجم آبی که فقط به صورت قائم در واحد زمان از خاکی به سطح مقطع واحد عبور کند (به شرطی که شیب هیدرولیک در آن برابر واحد باشد)، گفته می‌شود. بنابراین تفاوت اساسی آن با هدایت هیدرولیک افقی خاک فقط در جهت حرکت آب است. تفاوت اساسی هدایت هیدرولیک اشباع قائم با نفوذپذیری در این است که در اولی، آب در داخل خاک و در دومی از فصل مشترک آب و خاک سطح زمین جریان می‌یابد.

۴-۲
روش آزمایشی بار ثابت

به روشی گفته می‌شود که در آن، بار آبی روی نمونه خاک در طول آزمایش ثابت باقی بماند.

۵-۲
روش آزمایشی بار افتان

به روشی گفته می‌شود که در آن، بار آبی روی نمونه خاک در طول آزمایش متغیر و کم شونده باشد.

۶-۲
جریان ماندگار

جریانی که ویژگی‌های هیدرولیکی آن ، مانند دبی و سرعت، در هر مکان نسبت به زمان ثابت باشد.

۷-۲
محیط متخلخل صلب

محیطی که دارای خلل و فرج بوده و در طول آزمایش، تخلخل آن تغییر نیابد.

۸-۲
خاک همگن

به خاکی گفته می شود که در هر نقطه، هدایت هیدرولیک افقی و قائم آن مساوی باشد.

۹-۲
خاک هم روند

به خاکی گفته می شود که در نقاط مختلف، هدایت هیدرولیک افقی و قائم آن تغییر نکند هر چند این دو با یکدیگرمساوی نباشند.

۱۰-۲
لایه‌بندی نیمرخ خاک

شناخت لایه‌های نه چندان عمیق خاک(به طور معمول ۵ متر تا ۶ متر) از دیدگاه بافت، رنگ، وجود ریشه، وجود گچ، آهک، لجن، رنگدانه، گلی، و...و نیز سایر عوامل فیزیکی و شیمیایی موثر بر هدایت هیدرولیک خاک.

۱۱-۲
لایه محدود کننده

لایه محدود کننده یا لایه غیر قابل نفوذ به لایه ای گفته می شود که هدایت هیدرولیک آن نسبت به لایه‌های بالاتر آن بسیار کم باشد. به طور معمول، حد ۱۰ درصد تا ۲۰ درصد میانگین هدایت هیدرولیک لایه‌های بالاتر معیار شناخت لایه محدود کننده است.

۳ کلیات

۳-۱ کلیاتی در مورد انتخاب روش مناسب آزمون

آزمون‌های تعیین هدایت هیدرولیک اشباع خاک را می‌توان در محیط‌های زیر انجام داد:

- آزمایشگاه،
- در محل[1]، زیر سطح ایستابی،
- در محل، بالای سطح ایستابی.

در روش‌های آزمایشگاهی، به‌طور معمول حجم نمونه‌ها به نسبت کوچک است، بنابراین وجود ناهمگونی مختصری در نمونه موجب تغییراتی شدید در نتیجه می‌شود. به عنوان مثال، وجود یک سنگ درشت یا وجود یک کرم راهه، تغییر قابل توجهی را در نتیجه کار ایجاد می‌کند. علاوه بر این، برداشتن نمونه‌دست نخورده[2] واقعی بسیار دشوار است؛ به ویژه این‌که در زهکشی، از آن‌جا که هدایت هیدرولیک اشباع افقی خاک اهمیت بیشتری دارد، بهتر است نمونه دست نخورده به طور افقی برداشته شود. این موضوع خود به دشواری کار می‌افزاید.

در روش‌های صحرایی یا در محل، موقعیت سطح ایستابی و عمق مورد نظر برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک اشباع خاک عامل مهمی در تعیین روش آزمون به شمار می‌رود. چنان‌چه سطح ایستابی بالا باشد و در حقیقت در هنگام مطالعه مشکل زهکشی وجود داشته باشد روش‌های تعیین هدایت هیدرولیک اشباع خاک در زیر سطح ایستابی مورد توجه قرار می‌گیرند. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش‌چاهک[3] و روش پیزومتر[4] اشاره کرد.

در برخی مناطق ممکن است در حال حاضر مشکلاتی از نظر زهکشی وجود نداشته باشد، اما انتظار رود که پس از گذشت مدتی این مشکلات بروز نماید. به عبارت دیگر ممکن است ابتدا سطح ایستابی یا لایه محدود کننده خاک در عمق قابل ملاحظه‌ای از سطح زمین واقع شده و قبل از اجرای عملیات آبیاری، هیچ‌گونه عامل محدودکننده‌ای برای رشد گیاه به شمار نرود؛ اما پس از آبیاری و به‌خصوص چنان‌چه در اثر پایین بودن راندمان آبیاری و یا آبشویی نمک، آب اضافی به زمین داده شود، سطح ایستابی به‌تدریج بالا آمده و پس از مدتی به منطقه ریشه برسد. باید دانست که رسیدن سطح ایستابی به منطقه ریشه، ممکن است به چند سال وقت احتیاج داشته باشد.

در بیشتر موارد به علت لزوم در نظر گرفتن زمان طولانی برای مطالعات، تأمین اعتبار و شناخت پتانسیل‌های زهکشی در زمان بروز مشکل زه آب، به صلاح است که از ابتدا پارامترهای تعیین فاصله‌های زهکشی از جمله هدایت هیدرولیک خاک مشخص شود. در این حالت‌ها، روش‌های بالای سطح ایستابی مورد توجه قرار می‌گیرند. از جمله این روش‌ها، می‌توان به روش چاهک معکوس یا پورشه، روش تزریق به چاهک و روش نفوذسنج گلف اشاره کرد.

1- In - Situ
2- Undisturbed Sample
3- Auger Hole Method
4- Pipe Cavity Test Method (Piezometer Method)

۳-۲ هدایت هیدرولیک اشباع خاک

به حجم آبی که در واحد زمان از خاکی با سطح مقطع واحد و با شیب هیدرولیک واحد عبور کند، هدایت هیدرولیک اشباع خاک گفته می‌شود. به عبارت دیگر، هدایت هیدرولیک به وسیله قانون دارسی به شرح زیر تعریف می‌شود:

$$Q = -KiA \qquad (۱)$$

که در آن:

Q بده عبور یافته از نمونه برحسب مترمکعب بر ثانیه؛

K هدایت هیدرولیک برحسب متر بر ثانیه؛

i شیب هیدرولیک؛

A سطح مقطع نمونه برحسب مترمربع.

آزمون‌های هدایت هیدرولیک اشباع خاک‌ها، به‌طور کلی در محیط اشباع صورت می‌گیرد و فرآیند حرکت آب در خاک تابع این است که باسر آبی روی نمونه خاک موردنظر در هنگام آزمون ثابت باشد و یا این‌که همواره و به‌تدریج تغییر کند. در حالت اول، از بار ثابت[1] سخن به میان می‌آید، در حالی که در حالت دوم بار آبی به‌طور دائم کم می‌شود که به آن بار افتان[2] می‌گویند. در عمل برخی از روش‌های اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک اشباع خاک‌ها، ازروش اول یعنی بار ثابت پیروی می‌کنند. روش آزمایشگاهی بار ثابت، روش چاهک، روش پیزومتر و روش تزریق به چاهک سطحی از این جمله به شمار می‌روند. برخی دیگر از روش‌های اندازه‌گیری، از روش‌دوم یعنی بار افتان پیروی می‌کنند. روش آزمایشگاهی بار افتان، روش چاهک معکوس (روش پورشه) و روش گلف از جمله این روش‌ها هستند.

۳-۳ مبانی نظری

۳-۳-۱ بار ثابت در جریان یک بعدی

در روش بار ثابت یا بار پایا، همان‌طور که از نام آن بر می‌آید، ارتفاع آب روی نمونه خاک ثابت باقی می‌ماند. هدایت هیدرولیک اشباع خاک از قانون دارسی به دست می‌آید:

$$Q = K.A.\frac{H}{L} \qquad (۲)$$

که در آن:

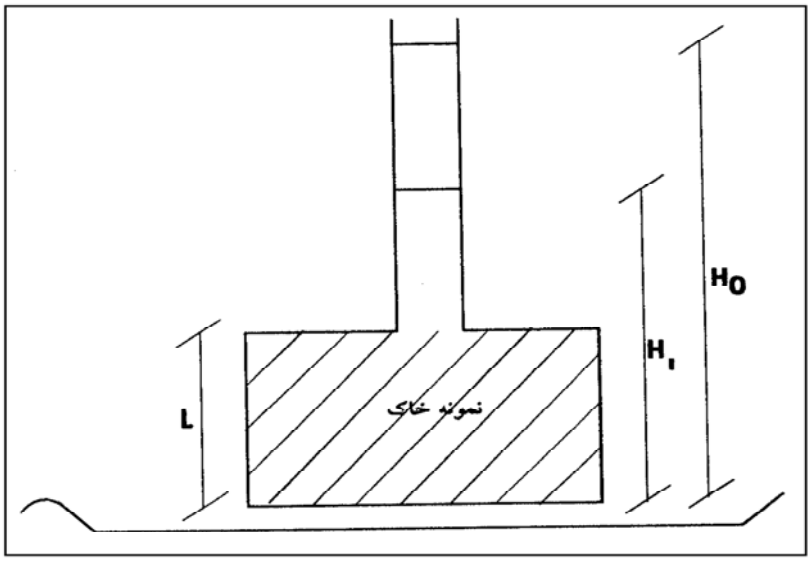
L طول نمونه برحسب متر؛

H بار آبی یا فاصله ارتفاعی بین دو سطح ثابت آب در بالاو پایین نمونه برحسب متر.

1- Constant Head
2- Falling Head

۲-۳-۳ بار افتان در جریان یک بعدی

در این روش، بار آبی به تدریج کاهش می‌یابد. در روش بار افتان نیز همانند روش بار ثابت، قانون دارسی حکمفرماست.



شکل ۱- پارامترهای بار افتان

بنابراین از طرفی داریم:

$$Q = K\frac{H}{L}.A_1 \qquad (۳)$$

و از طرف دیگر:

$$Q = \frac{dH}{dt}.A_2 \qquad (۴)$$

که در آن‌ها:

A_1 سطح مقطع نمونه خاک برحسب مترمربع؛

A_2 سطح مقطع استوانه‌ای که آب در درون آن از H_0 به H_1 افت می‌کند برحسب مترمربع.

از تساوی دو معادله بالا داریم:

$$K\frac{H}{L}A_1 = \frac{dH}{dt}A_2 \qquad (۵)$$

و یا:

$$\frac{dH}{H} = \frac{KA_1}{LA_2}.dt \qquad (۶)$$

اگر در لحظه t_0، بار آبی H_0 و در لحظه t_1، بار آبی H_1 فرض شود، داریم:

$$\int_{H_0}^{H_1}\frac{dH}{H}=\frac{KA_1}{LA_2}\int_{t_0}^{t_1}dt \qquad (۷)$$

و یا:

$$K=\frac{LA_2}{A_1(t_1-t_0)}\ln\frac{H_0}{H_1} \qquad (۸)$$

مشخص است که اگر سطح مقطع نمونه خاک و لوله آب برابر باشند، معادله بالا به معادله ساده زیر تبدیل می‌شود:

$$K=\frac{L}{t_1-t_0}\ln\frac{H_0}{H_1} \qquad (۹)$$

۳-۳-۳ بار افتان در شرایط واقعی

آن‌چه تاکنون گفته شد، مربوط به جریان یک بعدی حرکت آب از نمونه خاک است که در آن، آب تحت تأثیر نیروی ثقل به پایین حرکت می‌کند. در شرایط واقعی، آب نه تنها تحت اثر نیروی ثقل است، بلکه تحت اثر نیروی فشاری یا مکشی به اطراف نیز پراکنده شده و انتقال می‌یابد. بنابراین مسئله را باید در شرایط مشکل‌تری حل کرد.

جریان خروجی از یک چاهک سطحی را می‌توان حاصل دو نیروی فشار و ثقل دانست که بر جدار و کف چاهک وارد می‌شود (شکل ۲). نیروی فشار در دو جهت اعمال می‌شود. فشار در جهت شعاعی (Vrp) بر جدار چاهک و فشار در جهت قائم (Vzp) بر کف چاهک. علاوه بر این، نیروی ثقل نیز فشاری به کف چاهک وارد می‌آورد (Vg).

برای حل مسئله فرض می‌شود که:

- جریان ماندگار[1] است،
- محیط متخلخل صلب، همگن[2] و هم روند[3] است، و
- جریان نیمه محدود است. به عبارت دیگر جریان از طرف چاهک محدود و از سوی دیگر تا بی‌نهایت ادامه دارد. به این ترتیب می‌توان مولفه‌های فشار در جهت‌های شعاعی (Vrp) یا قائم (Vzp) و همچنین مولفه نیروی ثقل (Vg) را به‌صورت زیر نوشت:

$$\overline{V}_{rp}=-K_{fs}\frac{\delta\psi_p}{\delta_r}|_{r=a}^{\hat{r}} \qquad (۱۰)$$

$$\overline{V}_{zp}=-K_{fs}\frac{\delta\psi_p}{\delta_z}|_{z=\circ}^{\hat{k}} \qquad (۱۱)$$

1- Steady
2- Homogeneous
3- Isotrope

$$\overline{V}g = -K_{fs}\frac{\delta\psi_z}{\delta_z}|_{z=\circ}^{\hat{k}} \qquad (۱۲)$$

در این معادلات، r و z مطابق شکل ۲ و $\hat{r}$ و $\hat{k}$ به ترتیب بردارهای واحد در جهت‌های مثبت r وz هستند. ψ_p بار فشاری آب موجود در خلل و فرج خاک و ψ_z بار ثقلی آب نسبت به کف چاهک و K_{fs} هدایت هیدرولیک اشباع خاک در شرایط مزرعه است.

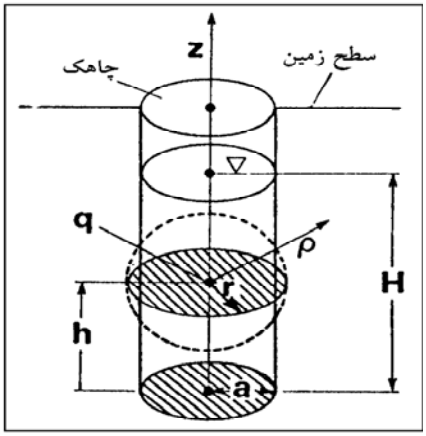
جریان خروجی از چاهک عبارت است از:

$$Q_t = \int_{A_w} \overline{V}_{rp}.dA_w + \int_{A_b} \overline{V}_{zp}.d\overline{A}_b + \int_{A_b} \overline{V}_g.d\overline{A}_b \qquad (۱۳)$$

که در آن:

$d\overline{A}_w$ مساحت جزیی دیواره چاهک؛

$d\overline{A}_b$ مساحت جزیی کف چاهک است.



شکل ۲- جریان خروجی از یک چاهک بالای سطح ایستابی در حالت ماندگار

این مقادیر عبارتند از:

$$d\overline{A}_w = 2\pi a d_z(\hat{r}) \qquad (۱۴)$$

$$d\overline{A}_b = 2\pi r d_r(-\hat{k}) \qquad (۱۵)$$

که در آن:

a شعاع چاهک است.

با قرار دادن معادلات ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۴ و ۱۵ در معادله ۱۳ داریم:

$$Q_t = \pi K_{fs}\left[-2a\int_{\circ}^{H}\frac{\delta\psi_p}{\delta r}|_{r=a}\,dz + 2\int_{\circ}^{a}\frac{\delta\psi_p}{\delta z}|_{z=\circ}\,rdr + a^2\right] \qquad (۱۶)$$

که در آن:

H ارتفاع ثابت آب در چاهک است (شکل ۱).

برای حل معادله ۱۶ می‌توان از متغیرهای بدون بعد زیر استفاده کرد:

$$r^* = \frac{r}{a};\ z^* = \frac{z}{H};\ \psi_p^* = \frac{\psi_p}{H} \qquad (۱۷)$$

و معادله ۱۷ را برای K_{fs} حل کرد. در این صورت:

$$K_{fs} = \frac{-Q_t}{2\pi H^2\left[-\int_\circ^1 \frac{\delta\psi_p^*}{\delta^* r}|_{r^*=1}\, dz^* + (\frac{a}{H})^2 \int_\circ^1 \frac{\delta\psi_p^*}{\delta^* z}|_{z^*=\circ}\, r^* dr^* + \frac{1}{2}(\frac{a}{H})^2\right]} \qquad (۱۸)$$

انتگرال مخرج کسر معادله ۱۰ به آسانی قابل حل نیست. این معادله را می‌توان با تغییر متغیر معادله ۱۹ به‌فرم ساده‌تر معادله ۲۰ در آورد.

$$C = \frac{1}{\left[-\int_\circ^1 \frac{\delta\psi_p^*}{\delta^* r}|_{r^*=1}\, dz^* + (\frac{a}{H})^2 \int_\circ^1 \frac{\delta\psi_p^*}{\delta^* z}|_{z^*=\circ}\, r^*.dr^*\right]} \qquad (۱۹)$$

$$K_{fs} = \frac{CQ_t}{2\pi H^2\left[1+\frac{c}{2}(\frac{a}{H})^2\right]} \qquad (۲۰)$$

می‌توان مقادیر C را برای نسبت‌های H/a که اغلب در صحرا به کار می‌رود، به‌صورت جدول و یا نمودار درآورد.

در شرایطی که جریان ثقلی در مقایسه با جریان فشاری، کوچک و قابل چشم‌پوشی باشد، معادله ۲۰ به‌صورت ساده شده زیر در می‌آید:

$$K_{fs} = \frac{CQ_t}{2\pi H^2} \qquad (۲۱)$$

حل تحلیلی و کامل معادله ۱۸ تا کنون عرضه نشده ولی دو راه حل تقریبی برای تعیین آن به شرح زیر ارائه می‌شود:

هر دو این راه حل‌ها بر مبنای فرضیات ماندگار بودن جریان و وجود محیط متخلخل صلب همگن و هم‌روند استوار بوده و جریان نیز در آن‌ها نیمه محدود در نظر گرفته شده است.

۳-۳-۴ حل پورشه (راه حل ثقلی)

پورشه بر مبنای فرضیات معادله ۱۷ راه حلی تحلیلی ولی تقریبی ارائه کرده است. وی در معادله ۱۸ گرادیان‌ها را به صورت تابع فرض نکرده و آن‌ها را برابر واحد قرار می‌دهد. یعنی:

$$\frac{\delta\psi_p^*}{\delta r^*}=1 \quad ; \quad \frac{\delta\psi_p^*}{\delta z^*}=1 \qquad (۲۲)$$

در نتیجه، معادله ۲۰ به صورت زیر درمی‌آید:

$$C=\frac{1}{\left[(\frac{a}{H})+\frac{1}{2}(\frac{a}{H})^2\right]} \qquad (۲۳)$$

فرضیات معادله ۲۲ مانند آن است که گفته شود جریان‌های شعاعی و قائم از چاهک، تحت تأثیر نیروی ثقل صورت می‌گیرد، با قرار دادن معادله ۲۳ در معادله ۲۱ داریم:

$$K_{fs}=\frac{Q_t}{2\pi aH+\pi a^2} \qquad (۲۴)$$

در حقیقت، پورشه جریان خروجی را ثابت و به‌طور تقریب برابر با جریان آب از جداره‌ها و کف چاهک بدون این‌که چاهک از آب پر شده باشد، می‌داند و از بار فشاری ناشی از وجود آب در چاهک صرف‌نظر می‌کند.

۳-۳-۵ حل گلوور[1] (راه حل فشاری)

این راه حل نیز برمبنای فرضیات معادله ۱۷ راه حلی تحلیلی ولی تقریبی است. وی با استفاده از معادله کلی لاپلاس در مختصات کروی و با فرض خروج آب از چاهک به درون محیطی متخلخل، یکنواخت و هم‌روند در یک جریان ماندگار به حل مسئله می‌پردازد. معادله لاپلاس به شکل زیر است:

$$\nabla^2\psi_p=\frac{1}{\rho^2}\left[\frac{d(\rho^2\psi'_\rho)}{d\rho}\right] \qquad (۲۵)$$

که در آن:

ρ شعاع از مبدأ؛

$\psi'_\rho=\frac{d\psi_p}{d_\rho}$ است.

معادله لاپلاس (۲۵)، با استفاده از شرایط مرزی زیر قابل حل است:

$\psi_\rho \to 0$ داریم $P=\infty$ و در $\psi_p^t=\psi\rho_a$ داریم $P=a$ در (۲۶)

در نتیجه

$$\psi_\rho=\frac{q}{4\pi k_{fs}\rho} \qquad (۲۷)$$

1- Glover

که در آن:

q توان منبع تک نقطه‌ای جریان فشاری[1] است.

معادله ۲۷ توزیع بار فشاری را در یک محدوده با مختصات کروی در اطراف منبع تک نقطه‌ای نشان می‌دهد. با تبدیل آن به مختصات استوانه‌ای، ضمن در نظر داشتن تغییر متغیر $\rho=\sqrt{r^2+(z-h)^2}$ خواهیم داشت:

$$\psi_\rho=\frac{q}{A\pi k_{fs}}.\frac{1}{\sqrt{r^2+(z-h)^2}} \qquad (۲۸)$$

$$h^*=\frac{h}{H};\ b^*=\frac{b}{H};\ d^*=\frac{d}{H};\ f^*=\frac{f}{H} \qquad (۲۹)$$

از حل دیفرانسیلی معادله ۲۷ و قرار دادن آن در معادله ۱۸ خواهیم داشت:

$$C=\frac{(1-b^*)\left[\sinh^{-1}(\frac{H(1-f^*)}{a})-\sinh^{-1}(\frac{H_d^*}{a})-\sqrt{(\frac{a}{H})^2(1-f^*)^2}+\sqrt{(\frac{a}{H})^2+(d^*)^2}\right]}{2(1-b^*)[(1-b^*)-d^*]-2(1-b^*)(1-f^*)+(1-f^*)^2+(d^*)^2} \qquad (۳۰)$$

که در آن:

d، b و f موقعیت نقاط تغذیه کننده و تغذیه شونده براساس شکل ۳ است. b و f از سطح آب به‌سمت پایین و d از کف چاهک به سمت بالا اندازه‌گیری می‌شوند.

گلوور با فرض $b^*=d^*=f^*=0$ و با استفاده از معادله ۳۰ و یا به‌طور مستقیم از حل معادله لاپلاس معادله ۲۵، مقدار C را به دست آورد:

$$C=\sinh^{-1}(\frac{H}{a})-\sqrt{(\frac{a}{H})^2+1}+\frac{a}{H} \qquad (۳۱)$$

اگر H>>a و یا a/H بسیار کوچک فرض شود، معادله ۳۱ را می‌توان به شکل ساده زیر خلاصه کرد:

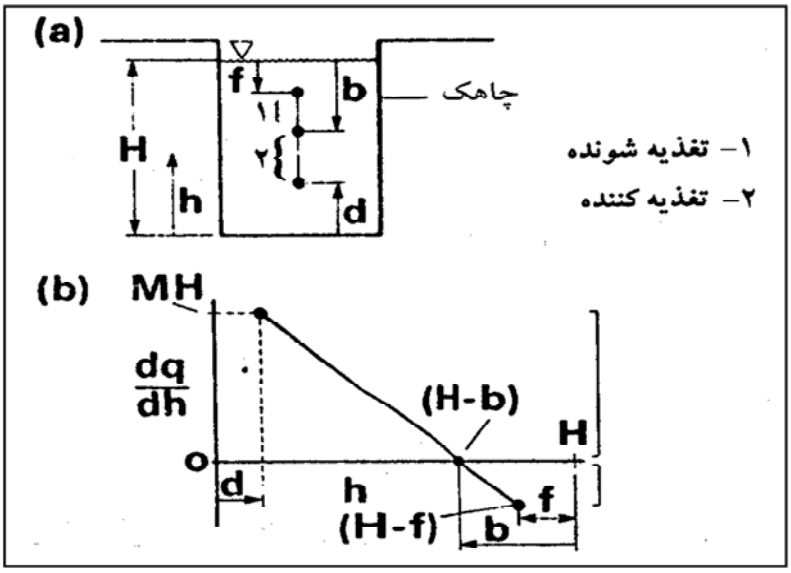
$$C=\sinh^{-1}(\frac{H}{a})-1 \qquad (۳۲)$$

با جاگذاری مقدار $\sinh^{-1}(\frac{H}{a})$ و قرار دادن آن در معادله ۲۰ خواهیم داشت:

$$K_{fs}=\frac{\ln\left[(\frac{h}{a})+\sqrt{(\frac{h}{a})^2+1}\right]-1}{2\pi h^2}.Q \qquad (۳۳)$$

معادله ۳۳، معادله معروف «روش تزریق به چاهک» است.

1- Strength of Point Source of Pressure Flow



شکل ۳- تخمین جریان ثابت خروجی‌از چاهک

جونز (۱۹۵۱) جریان فشاری را برای حالت خاصی که در آن لایه محدود کننده در عمق کمی زیر کف چاهک واقع شده باشد حل کرد. وی مقدار C را به شکل زیر ارائه داد:

$$C=\frac{6\ln(\frac{H}{a})}{3+2(\frac{s}{H})} \qquad (۳۴)$$

که در آن:

S فاصله کف چاهک تا لایه محدود کننده است. این معادله تا هنگامی اعتبار دارد که $0\le S\le 2H$ باشد. معادله ۳۳ در حالتی معتبر است که $S>2h$ باشد.

اگر $S+H=T_u$ فرض شود، با استفاده از معادله ۲۱ داریم:

$$K_{fs}=\frac{3\ln(\frac{H}{a})}{H(H+2T_u)}Q \qquad (۳۵)$$

که محدوده اعتبار آن $3h>Tu>h$ است.

۳-۳-۶ محدودیت‌های نظری

همان‌طور که گفته شد، تاکنون راه حل تحلیلی وکامل معادله ۱۸ ارائه نشده است. برای حل این معادله، گلوور فرضیات چندی به‌شرح زیر صورت داده که ضروری است همواره مورد توجه قرار گیرد:

- جریان ماندگار است،
- محیط خاک متخلخل و صلب است و در هنگام آزمون تغییر شکل نمی‌دهد،
- خاک همگن است،

- خاک هم روند است،
- ارتفاع آب در چاهک مقداری ثابت است،
- جریان ثقلی نسبت به جریان فشاری کوچک و قابل چشم‌پوشی است ،
- f,d,b (شکل ۳) نسبت به H بیش از حد کوچکند $(b^* = d^* = f^* = 0)$ ، و
- H نسبت به a بسیار بزرگ است.

به این ترتیب مشاهده می‌شود که به‌طور کلی محدودیت‌های نظری زیادی وجود دارد. بنابراین باید انتظار داشت که با انحراف شرایط واقعی از مفروضات بالا، نتیجه‌های به‌دست آمده تفاوت داشته باشد.

شکل ۴ معادله بین C و H/a را نشان می‌دهد. به‌طوری که مشاهده می‌شود، نتیجه‌های به‌دست آمده بسیار متفاوت است. این تفاوت به‌طور کلی از فرضیاتی برای حل معادلات به دو روش انجام گرفته، ناشی شده است. در روش پورشه، فرض شده که گرادیان فشار برابر واحد بوده و جریان خروجی فقط از فشار ثقل پدید می‌آید، در حالی‌که در روش گلوور، جریان خروجی در اثر فشار به‌وجود می‌آید.

جدول ۱- مقادیر C برای نسبت‌های مختلف H/a به روش‌های پورشه و گلوور

H/a	پورشه (معادله ۲۴)	گلوور (معادله ۳۱)	گلوور (معادله ۳۲)
۱۰	۹٫۵۲۴	۲٫۰۹۳	۱٫۹۹۸
۵	۴٫۵۴۶	۱٫۴۹۳	۱٫۳۱۲

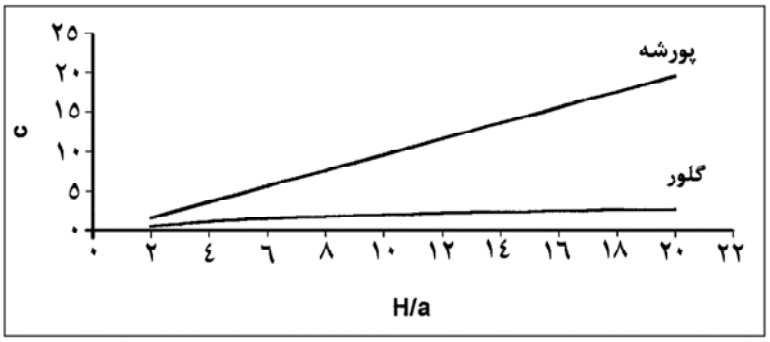
به این ترتیب، انتظار می‌رود که هدایت هیدرولیک محاسبه شده با استفاده از روش پورشه در $H/a = 10$ حدود (۴٫۵ تا ۴٫۸) برابر روش تزریق به چاهک، و در $H/a = 5$ حدود (۳٫۰ تا ۳٫۵) برابر نتیجه به‌دست آمده از روش اخیر باشد. این موضوع، چالش بزرگی را در استفاده از روش‌های مختلف برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک پدید آورده است. این در حالی است که حتی در روش پورشه نیز فرض شده که جریان‌های‌شعاعی و قائم فقط تحت تأثیر نیروی ثقل عمل می‌کنند و از فشار وارد آمده به جدار چاهک صرف‌نظر شده‌است. بنابراین باید انتظار داشت که حتی این روش نیز مقدار هدایت هیدرولیک را کمتر از مقدار واقعی‌آن برآورد کند.

۳-۴ انتخاب موقعیت و تراکم نقاط

به‌طور کلی پیشنهاد می‌شود که اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک اشباع خاک در مجاورت نقاطی صورت گیرد که از قبل برای تشخیص لایه‌بندی خاک در آن نقاط، چاهک حفر شده است. از این رو، تعداد نقاط اندازه‌گیری اغلب برابر با تعداد نقاط مشاهده‌ای مربوط به لایه‌بندی است، مگر این‌که به دلایل مشخص، تراکم نقاط اندازه‌گیری کمتر یا بیشتر انتخاب شود.

تراکم و آرایش نقاط مشاهده‌ای و اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک خاک بر حسب شرایط و خصوصیات خاک‌های منطقه و روند رسوب‌گذاری آن متفاوت بوده و در هر حال به‌گونه‌ای انتخاب می‌شود که با استفاده از نتیجه‌های به‌دست آمده بتوان ارتباط قابل قبولی بین خصوصیات لایه‌ها و مشخصات هیدرودینامیک خاک به دست آورد.

H/a	پورشه (۲۳)	گلوور (۳۱)	گلوور (۳۲)
۲	۱٫۶۰	۰٫۱۲	۰٫۴۴
۳	۲٫۵۷	۰٫۶۲	۰٫۸۲
۴	۳٫۵۶	۰٫۹۵	۱٫۰۹
۵	۴٫۵۵	۱٫۲۰	۱٫۳۱
۶	۵٫۵۴	۱٫۴۰	۱٫۴۹
۷	۶٫۵۳	۱٫۵۷	۱٫۶۴
۸	۷٫۵۳	۱٫۷۱	۱٫۷۸
۹	۸٫۵۳	۱٫۸۳	۱٫۸۹
۱۰	۹٫۵۲	۱٫۹۴	۲٫۰۰
۱۱	۱۰٫۵۲	۲٫۰۴	۲٫۰۹
۱۲	۱۱٫۵۲	۲٫۱۴	۲٫۱۸
۱۳	۱۲٫۵۲	۲٫۲۲	۲٫۲۶
۱۴	۱۳٫۵۲	۲٫۳۰	۲٫۳۳
۱۵	۱۴٫۵۲	۲٫۳۷	۲٫۴۰
۱۶	۱۵٫۵۲	۲٫۴۳	۲٫۴۷
۱۷	۱۶٫۵۱	۲٫۵۰	۲٫۵۳
۱۸	۱۷٫۵۱	۲٫۵۶	۲٫۵۸
۱۹	۱۸٫۵۱	۲٫۶۱	۲٫۶۴
۲۰	۱۹٫۵۱	۲٫۶۶	۲٫۶۹



شکل ۴- معادله بین C و H/a

آرایش نقاط مشاهده‌ای و اندازه‌گیری اغلب به صورت شبکه‌ای چهارگوش منظم (مربع یا مربع مستطیل) است. چگونگی استقرار شبکه می‌تواند بر حسب شکل و خصوصیات هندسی محدوده مورد مطالعه متفاوت باشد.

به‌طور معمول، در طرح‌های بزرگ و نسبتاً بزرگ شبکه زهکشی، بیشترین ابعاد شبکه نقاط مشاهده‌ای و اندازه‌گیری در مطالعات شناسایی ۲ کیلومتر ×۲ کیلومتر (دست کم یک نقطه برای هر ۴۰۰ هکتار)، در مطالعات مرحله اول ۱ کیلومتر ×۱ کیلومتر (دست کم یک نقطه برای ۱۰۰ هکتار) و در مطالعات مرحله دوم ۰٫۵ کیلومتر × ۰٫۵ کیلومتر (دست کم یک نقطه برای هر ۲۵ هکتار) در نظر گرفته و پیشنهاد می‌شود که در هر مرحله از مطالعات محل نقاط جدید در نصف فاصله بین نقاط بررسی شده در مرحله قبل قرار گیرد.

همان‌گونه که پیش‌تر توضیح داده شد، معیار اصلی در انتخاب تراکم نقاط مشاهده‌ای یا اندازه‌گیری در یک منطقه خاص، به‌دست آوردن اطلاعات کافی برای تشخیص چگونگی ارتباط میان خصوصیات خاک‌های آن منطقه است. بدین منظور در مناطقی که دارای خاک‌های آبرفتی نامتجانس بوده و الگوی رسوب‌گذاری آبرفت در هم و پیچیده باشد، فاصله‌های نقاط مشاهده‌ای کمتر انتخاب می‌شود، به طوری که در بررسی‌های نهایی گاهی ممکن است مطالعه تا حد تراکم یک نقطه برای هر چهار هکتار نیز ضرورت پیدا کند. برعکس در مناطقی که خاک‌ها متجانس بوده یا روند رسوب‌گذاری منظم باشد، می‌توان فاصله‌های نقاط را بیشتر انتخاب کرد.

برای اجرای کار در مرحله دوم می‌توان پس از بررسی نتیجه‌های به‌دست آمده از مطالعات مرحله اول و ارزیابی ارتباط‌های موجود بین خصوصیات هیدرودینامیک خاک‌ها، بخش‌هایی از منطقه را که در آن چنین ارتباطی ضعیف است و یا به‌طور اصولی بدون ارتباط است، مشخص نمود و سپس مشاهدات تکمیلی را فقط در همین قسمت‌ها گسترش داد. لازمه انتخاب چنین روشی، بررسی همه جانبه و مطمئن شدن از درستی و قابلیت تعمیم اطلاعاتی است که به دست می‌آید؛ در غیر این صورت، کاهش تراکم نقاط مطالعاتی قابل پیشنهاد نخواهد بود. اگر به هر دلیل در نظر باشد که روش‌های آزمایشگاهی به کار بسته شود، تعداد آزمون‌ها را در هر مرحله باید به مراتب افزایش داد.

۳-۵ پیاده کردن نقاط روی زمین

پیشنهاد می‌شود که محل اجرای آزمون، از قبل به وسیله شخص مجربی روی زمین مشخص شود. بدین ترتیب در وقت گروه اندازه‌گیری و در نتیجه در هزینه کار صرفه‌جویی خواهد شد.

استفاده از مکان‌یاب[1] دستی برای پیاده کردن نقاط روی زمین می‌تواند به‌خوبی پاسخگو باشد و استفاده از این وسیله با تأکید پیشنهاد می‌شود. علاوه بر این، نقشه‌های توپوگرافی یا مسطحاتی که در آن‌ها عوارض سطحی زمین با جزییات کافی نشان داده شده باشد و یا عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای با مقیاس مناسب، می‌توانند کمک بسیار مؤثری برای پیاده کردن نقاط اندازه‌گیری روی زمین باشند. مشخص است که بر حسب مرحله و دقت مطالعات باید از نقشه‌ها یا عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای مناسب نیز استفاده نمود. در بعضی شرایط، به ویژه در مناطقی که عوارض سطحی کافی نیست یا نقشه‌های مناسب وجود ندارد، استفاده از وسایل نقشه‌برداری برای مشخص کردن نقاط، ضروری خواهد بود. در هر حال چنان‌چه استفاده از عکس‌های هوایی امکان‌پذیر باشد، برای سرعت بخشیدن در کار و صرفه‌جویی در هزینه، پیشنهاد می‌شود که مشخص کردن نقاط با استفاده از آن انجام گیرد. اگر استفاده از عکس‌های هوایی یا ماهواره‌ای را شخص مجربی انجام دهد، اغلب برای این‌گونه مطالعات از دقت کافی برخوردار خواهد بود.

محل آزمون روی زمین، باید به گونه ای انتخاب شود که دست کم از نظر فیزیوگرافی، بیشترین انطباق را با زمین‌های اطراف خود داشته باشد و نتیجه به‌دست آمده بتواند به عنوان نماینده هدایت هیدرولیک آن زمین‌ها مورد استفاده قرار گیرد. به عنوان مثال، چنان‌چه در ضمن مشخص کردن شبکه نقاط، نقطه‌ای در مجاورت یک نهر، یک مسیل، یک برجستگی و یا فرورفتگی موضعی قرار گرفت، باید نقطه اندازه‌گیری را در فاصله مناسبی از آن و در جایی که موقعیت عادی داشته باشد انتخاب نمود. بدیهی است در صورتی‌که نقطه انتخاب شده روی زمین نسبت به موضع اولیه آن روی نقشه جابه‌جایی داشته باشد، باید متناسب با آن، اصلاحات لازم روی نقشه به عمل آید، به طوری که سرانجام نقشه شبکه نقاط اندازه‌گیری تا حد کافی با محل واقعی نقاط آزمون شده تطبیق نماید.

۳-۶ لایه‌بندی خاک و تنظیم برنامه آزمون

در هر نقطه مطالعاتی، ابتدا بررسی‌های تشخیص لایه‌های خاک انجام می‌شود و پس از آن برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک، اقدامات لازم به عمل خواهد آمد. در این صورت، این امکان وجود خواهد داشت که با در

1- G.P.S

دست داشتن اطلاعات پایه از وضعیت لایه‌بندی خاک و عمق آب زیرزمینی، می‌توان نسبت به تعیین مشخصات چاهک اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک و از جمله عمق چاهک و لایه‌هایی از خاک که باید هدایت هیدرولیک آن‌ها اندازه‌گیری شود، بررسی و برنامه‌ریزی کرد. چنان‌چه اطلاعات لایه‌بندی از قبل وجود نداشته باشد، باید قبل از برنامه‌ریزی اجرای آزمون، چاهکی تا عمق مناسب (حدود ۵ تا ۶) متر حفر و لایه‌بندی خاک، عمق آب زیرزمینی و نیز در صورت نیاز عمق برخورد با لایه محدود کننده را مشخص نمود.

با در دست داشتن اطلاعات اولیه بالا، برنامه آزمون صحرایی تدوین می‌گردد. در نتیجه عمق چاهک مشخص خواهد شد. همچنین با استفاده از همین اطلاعات می‌توان مشکلات احتمالی را که ممکن است در هنگام اجرای عملیات با آن‌ها برخورد شود (مثل ریزشی بودن دیواره چاهک) پیش‌بینی و توجه گروه اندازه‌گیری را به آن‌ها جلب نمود. آن‌چه در زیر بیان می‌شود، ضوابط عمومی مربوط به اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک اشباع خاک است. بدیهی است که در هر نوع آزمون، باید ضوابط اختصاصی مربوط به هر روش نیز مورد توجه قرار گیرد. این ضوابط در فصل‌های مربوط به هر روش اندازه‌گیری یادآوری شده است.

۳-۶-۱ انتخاب عمق چاهک

به طور کلی عمق چاهک به‌گونه‌ای انتخاب می‌شود که اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک را در بیشترین ضخامت نیمرخ (تا حد امکان تا عمق لایه محدود کننده) امکان‌پذیر سازد. اگر لایه محدود کننده تا عمق حدود (۵ تا ۶) متر وجود نداشته باشد، بیشترین عمق اندازه‌گیری با این روش با توجه به دیگر پارامترها (مانند: ارتفاع ستون آب) تا این عمق محدود می‌شود.

در انتخاب عمق چاهک باید عوامل متعددی مورد توجه قرار گیرد که بعضی از آن‌ها به خصوصیات نیمرخ خاک و بعضی دیگر به محدودیت‌های روش اندازه‌گیری مربوط می‌شود.

۳-۶-۱-۱ محدودیت‌های مربوط به نیمرخ خاک

- عمق لایه محدودکننده: در بررسی‌های زهکشی، فقط هدایت هیدرولیک اشباع خاک بالای لایه محدودکننده موردنظر قرار می‌گیرد. در مواردی که کف چاهک در لایه محدود کننده فرو رفته باشد (حداکثر تا ۲۰ سانتی‌متر) بهتر است در محاسبات، کف چاهک را بر سطح لایه محدود کننده منطبق فرض نمود.
- لایه‌بندی نیمرخ خاک: در خاک‌هایی که نیمرخ خاک آن‌ها از لایه‌هایی با خصوصیات آب‌گذری متفاوت تشکیل شده باشد، ممکن است ضرورت ایجاب نماید که هدایت هیدرولیک هر یک از لایه‌ها اندازه‌گیری شود. در این صورت عمق چاهک‌های اندازه‌گیری تابعی از ضخامت و موقعیت لایه‌های خاک خواهد بود. در این حالت می‌توان یا اندازه‌گیری را در چاهک‌های مجاور ولی با عمق مختلف انجام داد و یا از روش‌هایی که برای این منظور مناسب‌تر است مانند روش پیزومتری در زیر سطح ایستائی استفاده کرد.

۳-۶-۱-۲ محدودیت‌های مربوط به روش اندازه گیری

- ارتفاع ستون آب درون چاهک

از آن‌جا که در زهکشی، نقش هدایت هیدرولیک اشباع افقی خاک بیشتر است، باید نسبت عمق آب در چاهک به شعاع آن به اندازه کافی بزرگ باشد؛ در غیر این‌صورت سهم آب‌گذری قائم خاک از کف افزایش می‌یابد و ممکن است مقدار اندازه‌گیری شده را نتوان هدایت هیدرولیک اشباع افقی خاک به‌حساب آورد.

۳-۶-۲ انتخاب لایه اندازه‌گیری

در خاک‌هایی با نیمرخ مطبق، گاه ضرورت ایجاب می‌نماید که هدایت هیدرولیک اشباع لایه‌های مختلف را اندازه‌گیری نمود. در مطالعات صحرایی، طرح‌های زهکشی، اندازه‌گیری‌های هدایت هیدرولیک اشباع لایه‌های مختلف نیمرخ خاک، زمانی قابل پیشنهاد است که این لایه‌ها به شکل مشخص و بارزی با یکدیگر تفاوت داشته باشند. وقتی تفاوت در مشخصات، در لایه‌های خاک ناچیز یا در حدی است که انتظار نمی‌رود اختلاف در مقادیر اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیک آن‌ها از حدود خطاهای معمول دراندازه‌گیری تجاوز نماید، تلاش برای تعیین هدایت هیدرولیک، هریک از آن‌ها نیز قابل پیشنهاد نخواهد بود. با توجه به مطالب گفته شده، عمق چاهک اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک اغلب تا ۳ متر از سطح زمین انتخاب می‌شود. در صورتی‌که در نظر باشد هدایت هیدرولیک اشباع لایه‌های خاک در عمق‌های بیشتر اندازه‌گیری شود، پیش‌بینی امکانات ویژه به‌خصوص تأمین آب کافی را در روش‌های بالای سطح ایستابی باید فراهم نمود.

۳-۶-۳ حفر چاهک آزمون

یکی از حساس‌ترین مراحل کار، حفر چاهک آزمون و آماده کردن آن برای اندازه‌گیری است. در این معادله، توجه به نکات زیر ضروری است:

چاهک باید به‌گونه‌ای حفر شود که تا حد ممکن، حداقل به هم خوردگی در جدار آن به وجود آید. این امر در خاک‌هایی که به هر دلیل ناپایدار باشد و به ویژه به علت کمی چسبندگی بین ذرات، احتمال ریزش جداره در آن‌ها وجود داشته باشد، از اهمیت بیشتری برخوردار است.

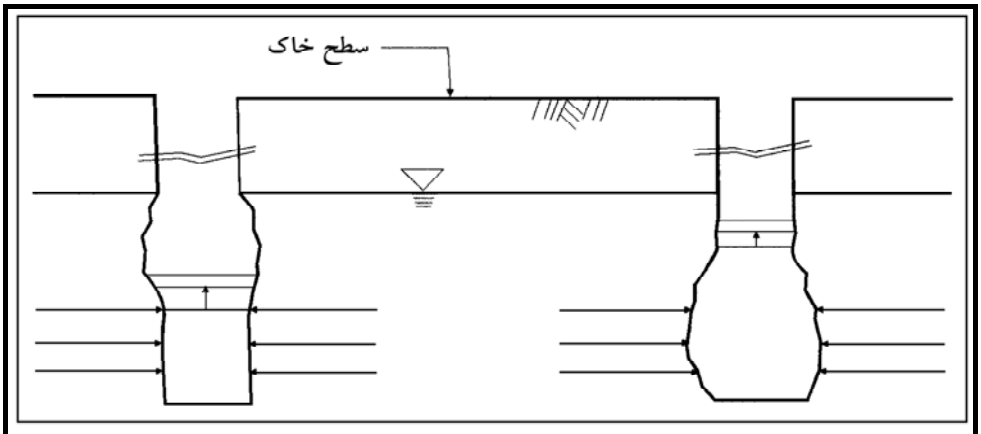
باید دقت نمود که چاهک به صورت قائم حفر شود. در چاهک‌هایی که انحراف دارند، به علت تماس شناور با بدنه چاهک و چسبیدن به آن، اندازه‌گیری با اشکال رو به رو خواهد شد.

در هنگام حفر چاهک آزمون، لایه‌بندی خاک باید دوباره کنترل و وارسی شود تا از انطباق لایه‌بندی خاک چاهک با آن‌چه از بررسی‌های لایه‌بندی به دست آمده و مبنای برنامه‌ریزی قرار گرفته است، اطمینان به‌دست آید. لازم به یادآوری است که در دشت‌های آبرفتی و به ویژه در دشت‌های سیلابی، تغییر لایه‌بندی خاک، حتی در فاصله‌های کم، غیر محتمل نیست .

پیشنهاد می‌شود که هنگام حفر چاهک، مخزن آگر بیش از اندازه پر نشده و به آرامی بالا کشیده شود. پر شدن بیش از اندازه مخزن و بالا کشیدن سریع آگر، به ویژه اگر خاک چسبنده باشد، باعث می‌شود که در زمان بالا کشیدن آگر، در فضای زیرین مخزن خلا نسبی به وجود آید. این مورد علاوه بر این‌که کار فیزیکی بالا کشیدن آگر را مشکل می‌سازد، باعث ریزش لایه‌های مستعد نیز خواهد شد. همچنین با بالاکشیدن ناگهانی آگر، ممکن است مقداری از آب چاهک که در بالای مته قرار گرفته نیز به بالا کشیده شود که در این‌صورت موجب ایجاد گرادیان شدید هیدرولیک در داخل چاهک شده و به ریزش بدنه چاهک کمک می‌نماید.

ریزش جدار چاهک در زیر سطح آب که باعث افزایش قطر چاهک می‌گردد، خصوصیات هیدرولیک آن را دگرگون می‌سازد و متناسب با آن، نتیجه آزمون را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این تغییر قطر، به‌ویژه اگر در قسمت بالای نیمرخ و در مجاورت سطح آب باشد (جایی که تغییرات سطح آب در آن‌جا اندازه‌گیری می‌شود) به شدت نتیجه‌های آزمون را تغییر می‌دهد و از دقت و اعتبار آن می‌کاهد.

به‌طور معمول، گشاد شدن قسمت‌های تحتانی جدار چاهک باعث می‌شود که سطح نفوذ آب افزایش پیدا کرده و جریان بیشتری وارد چاهک شده یا از آن خارج شود. در این صورت، به عنوان مثال در روش‌های زیر سطح ایستابی، سطح آب درون چاهک در مرحله برگشت، با سرعت بیشتری بالا می‌آید (شکل ۵ - الف). بر عکس، گشاد شدن جدار چاهک در مجاورت سطح آب، باعث می‌شود که سرعت خیزش سطح آب کمتر اندازه‌گیری شود (شکل ۵- ب). علاوه بر این، افزایش قطر چاهک در قسمت اخیر، باعث می‌شود که عمق افت اولیه سطح آب در هنگام تخلیه، کمتر از حدودی باشد که از تقسیم حجم آب تخلیه شده بر سطح مقطع چاهک به‌دست می‌آید. وقوع چنین پدیده‌ای، این تصور غلط را به وجود خواهد آورد که آب چاهک در فاصله بین بیرون کشیدن آب و شروع اندازه‌گیری، برگشت سریع داشته است. به این دلیل با جدیت پیشنهاد می‌شود که هنگام آزمون، مقدار آب تخلیه شده از چاهک به صورت حجمی اندازه‌گیری شود و با افت اولیه سطح آب در درون چاهک مقایسه گردد.



الف- سطح نفوذ بیشتر می‌شود جریان بیشتری وارد چاهک شده و سرعت خیز آب بیش از چاهکی است که در آن ریزش صورت نگرفته است.

ب- سرعت خیز آب کمتر اندازه‌گیری می‌شود و عمق افت سطح آب کمتر از چاهکی است که در آن ریزش صورت نگرفته باشد.

شکل ۵- تغییرات قطر چاهک به سبب ریزش جدار در آزمون‌های زیر سطح ایستابی

پیشنهاد می‌شود در خاک‌هایی که درصد رس آن‌ها زیاد است یا متراکم هستند، حفاری چاهک در دو مرحله صورت گیرد. در مرحله اول، با مته‌ای کمی باریک‌تر از قطر انتخاب شده، چاهک را تا عمق مناسب حفر کرده و سپس آن را تا قطر مورد نظر به وسیله مته مناسب گشاد می‌کنند. در این صورت، فشردگی جداره چاهک بسیار کمتر شده و نتیجه بهتری از آزمون به‌دست خواهد آمد. رعایت این نکته بدون این‌که کار اضافی قابل ملاحظه‌ای را به تیم آزمون کننده تحمیل کند، ضامن دقت بیشتر آزمون‌خواهد بود.

در خاک‌هایی که هنگام حفاری و آزمون از پایداری کافی برخوردار باشند و ریزش نکنند، می‌توان چاهک را بدون پوشش جداری حفاری کرد. البته اگر احتمال ریزش جدار وجود داشته باشد پوشش جدار چاهک به وسیله لوله مشبک ضروری خواهد بود. در بعضی شرایط، نصب لوله جدار پس از حفاری کافی است؛ این

حالت مواردی را در بر می‌گیرد که جدار چاهک برای حفاری از پایداری کافی برخوردار باشد ولی در اثر جریان آب یا فقط به مرور زمان (به علت ناپایداری) ریزش کند.
در شرایطی دیگر که خاک حتی برای حفاری نیز پایدار نیست و ریزش می‌کند، باید حفاری هم‌زمان با لوله‌گذاری صورت گیرد. برای این منظور، لوله مشبک جدار طوری انتخاب می‌شود که قطر آن برابر یا فقط کمی بیشتر از مته باشد به طوری که مته بتواند در آن حرکت کند. با هر بار حفاری توسط مته و تخلیه خاک‌های حفاری شده، لوله جدار با فشار در چاهک فرو برده می‌شود.

۳-۶-۴ خراشیدن دیواره چاهک

هنگام حفاری، در اثر عملکرد مته به ویژه در خاک‌های سنگین و با چسبندگی زیاد، قشر صاف و فشرده شده‌ای در سطح آن به وجود می‌آید که اغلب باعث بسته شدن منفذها و مجاری عبور آب خواهد شد. همچنین وقتی که مته بیش از اندازه پر گردد، باعث اندود شدن جدار چاهک با قشری از مواد حفاری شده خواهد شد. برای برطرف کردن این مشکل، باید سعی کرد که با رعایت نکات اشاره شده در بحث حفر چاهک آزمون (بند ۶-۲-۳)، عوامل ایجادکننده آن را کاهش داد. علاوه بر آن باید بعد از حفاری، با استفاده از خراش‌دهنده، این قشر فشرده شده را شکست و منفذهای عبور آب را در دیواره چاهک بازگشایی نمود. برای این منظور باید خراش‌دهنده با فشار ملایم و به آهستگی روی دیواره چاهک و در سراسر عمق آن در زیر سطح آب کشیده شود. در اجرای این کار، توجه به نکات زیر پیشنهاد می‌شود:

- خراش بیش از اندازه دیواره چاهک یا وارد آوردن فشار نامتناسب به دیواره آن، ممکن است باعث افزایش قطر چاهک گردد و در نتیجه دقت آزمون را کاهش دهد.
- خراش‌دهنده در هنگام استفاده تمیز باشد. در غیر این‌صورت، مواد چسبنده به آن ممکن است مانع از عمل میخ‌ها شود.
- قطر خراش‌دهنده، به اندازه کافی کوچک‌تر از قطر چاهک باشد، تا ضمن کار به آسانی مورد استفاده قرار گیرد و ضرورتی به اعمال فشار زیاد برای بالا و پایین بردن آن در درون چاهک پیش نیاید.
- هنگام کار در زیر سطح ایستابی سعی شود که کمترین تلاطم در آب درون چاهک به وجود آید. بی‌دقتی در هنگام استفاده از خراش‌دهنده ممکن است باعث ریزش جدار چاهک شود.

۳-۶-۵ نصب لوله مشبک جدار

ضرورت نصب لوله مشبک جدار به خصوصیات خاک و مشخصات چاهک آزمون بستگی دارد. همان‌طور که پیش از این اشاره شد، اگر از پایداری خاک اطمینان به‌دست آید و شرایط چاهک طوری باشد که دیواره آن طی مراحل حفاری و آزمون استوار بماند، نیازی به نصب لوله محافظ جدار وجود ندارد. در روش‌های بالای سطح ایستابی به‌علت طولانی بودن زمان آزمون، استفاده از لوله جدار پیشنهاد می‌شود ولی در شرایط زیر، استفاده از لوله جدار در هنگام حفاری یا به سرعت پس از پایان آن ضروری است:

- خاک‌هایی که بافت سبک و یا متوسط دارند،
- خاک‌هایی که دارای درصد بالایی سیلت هستند،
- چاهک‌هایی که انجام دادن مراحل مختلف حفر و آزمون در آن تا چند روز به طول می‌انجامد،

- خاک‌هایی که به علت سدیمی بودن شدید و یا دلایل دیگر نا پایدار هستند، و
- در روش‌های بالای سطح ایستابی، در خاک‌هایی که هدایت هیدرولیک کم دارند و به ناچار باید برای تسهیل جریان به داخل چاهک شیب هیدرولیکی زیادی را در آن‌ها به‌وجود آورد.

لوله جدار را می‌توان از مصالح فلزی یا پلاستیکی ساخت. مصالح فلزی به دلیل نازک‌تر بودن ضخامت و امکان ایجاد منفذهای ریزتر در آن ترجیح داده می‌شود. مواد پلاستیک سخت را نیز برای این منظور می‌توان به کاربرد. لوله‌های پی‌وی‌سی[1] جدارنازک برای این منظور مناسب است. این لوله‌ها نسبتاً ارزان و مشبک کردن آن‌ها نیز به سادگی میسر است.

لوله مشبک از هر نوع که باشد، باید بتواند به آسانی آب را از خود عبور داده و با این حال مانع حرکت ذرات خاک درون چاهک شود. برای این منظور منفذهای لوله جدار تا حد امکان باید ریز باشد. به‌طور معمول سوراخ‌ها یا شکاف‌هایی به قطر ۱ میلی‌متر تا ۲ میلی‌متر مناسب است ولی منفذهایی با قطر یا عرض ۱ میلی‌متر در جلوگیری از عبور ذرات ریزتر موثرتر و از این نظر استفاده از آن اطمینان بخش‌تر است .

تعداد منفذهای لوله جدار باید به اندازه‌ای باشد که افت هیدرولیک زیادی برای عبور آب به وجود نیاورد. در شرایط عملی می‌توان با ایجاد منفذها یا شکاف‌هایی به قطر ۱ میلی‌متر تا ۲ میلی‌متر در فاصله‌های حدود ۱٫۵ سانتی‌متر تا ۲سانتی‌متر روی لوله‌هایی به قطر ۸ سانتی‌متر تا ۱۰ سانتی‌متر، لوله‌های جدار مناسبی را تدارک دید.

۳-۷ کیفیت آب

کیفیت آب نقش بسیار مهمی در اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک اشباع خاک دارد. اثر کیفیت آب بر هدایت هیدرولیک اشباع خاک به علت تغییراتی است که نمک‌ها در ساختمان خاک می‌دهند.

در آزمون‌های زیر سطح ایستابی، کیفیت آب را نمی‌توان به دلخواه تغییر داد. بنابراین آزمون را باید با آب موجود در خاک انجام داد و به خاطر داشت که در آینده به علت تغییر کیفیت آب زیر زمینی سفره اول، ممکن است هدایت هیدرولیک اشباع خاک تغییر کند. بنابراین باید با پیش‌بینی تغییرات بعدی، مقادیر هدایت هیدرولیک اندازه‌گیری شده را تعدیل کرد.

در روش‌های بالای سطح ایستابی، ترکیب شیمیایی آبی که به‌کار می‌رود باید تا جای ممکن به ترکیب شیمیایی آب درون خاک نزدیک باشد. شاید یکی از راه‌های ممکن، برداشت آب از چاهک‌های مناطق مجاور باشد. به هیچ وجه استفاده از آب مقطر یا آب یونیزه شده پیشنهاد نمی‌گردد. چنان‌چه بتوان با افزایش‌مواد شیمیایی، آبی با کیفیت مشابه آب خاک ساخت، اشکالی به وجود نمی‌آید ولی این کار دشوار است. Dirksen Klute در سال ۱۹۸۶ پیشنهاد کرده که در این مواقع از آب حاوی گچ ۰٫۰۰۵ مول که با محلول متوقف کننده فعالیت بیولوژیکی (مانند Thymol یا Phenol) آمیخته شده باشد، استفاده شود ولی از آن‌جا که فعالیت بیولوژیکی نیز در روند حرکت آب در خاک نقش دارد، شاید این اقدام کار درستی به‌حساب نیاید.

در هر حال کیفیت آب نقش به سزایی در اندازه‌گیری داشته و باید از آبی استفاده کرد که کیفیت آن به آب درون خاک تا حد ممکن نزدیک‌تر باشد. در مناطق زهدار ایران مانند خوزستان که کیفیت آب آبیاری و آب درون خاک به شدت تفاوت دارد، از آب آبیاری نیز نمی‌توان استفاده کرد. در این مناطق شاید ترکیبی از آب آبیاری و آب چاه‌های

1- P.V.C

نیمه‌عمیق یا سطحی بتواند تا حدی پاسخگوی نیاز باشد. آب مورد استفاده باید بدون هرگونه آلودگی فیزیکی مانند خاشاک و رسوب باشد. ذرات رس و سیلت نتیجه‌های اندازه‌گیری را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند.

۳-۸ دمای آب

دمای آب مورد استفاده نیز نقش مهمی در نتیجه آزمون دارد. با بالا رفتن دما، از لزوجت[1] آب کاسته می‌شود و حرکت آب در درون خاک آسان می‌شود. Young در سال ۱۹۹۱ نشان داد که بالا رفتن دما به ازای هر ۱ درجه سلسیوس، هدایت هیدرولیک خاک را به میزان ۳ درصد افزایش می‌دهد.

بهترین هنگام اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک اشباع خاک زمانی است که دما به تقریب، برابر دمای متوسط سالانه باشد، اما تشخیص و انجام این کار آسان نیست زیرا از طرفی دمای هوا مورد نظر نیست بلکه دمای خاک در اعماق ۲ تا چند متری مورد توجه است و از طرف دیگر انجام اندازه‌گیری‌ها در زمان خاص کار را مشکل کرده و به درازا می‌کشد. در هر حال پیشنهاد می‌شود که اندازه‌گیری‌ها در دماهای خیلی کم و درجه حرارت‌های خیلی زیاد انجام نشود. برای تعدیل هدایت هیدرولیک از یک دما به دمای دیگر از معادله زیر استفاده می‌شود.

$$K_1\mu_1 = K_2\mu_2 \qquad (۳۶)$$

که در آن:

K_1 و μ_1 به ترتیب هدایت هیدرولیک و لزوجت آب در درجه حرارت t_1؛

K_2 و μ_2 همین پارامترها در دمای t_2 هستند.

به منظور انجام تعدیل در هدایت هیدرولیک اشباع خاک، به طور معمول دمای ۲۰ درجه سلسیوس که در آن ضریب لزوجت حدودا برابر ۱ سانتی پواز است استفاده می‌شود ولی بهتر است که دمای مرجع، درجه حرارت متوسط سالانه خاک در عمق حدود ۲ متری باشد. جدول ۲، ضریب لزوجت آب را در دماهای مختلف نشان می‌دهد.

۳-۹ هدایت هیدرولیک در خاک دو و یا چند لایه

وقتی نیمرخ خاک محل اندازه‌گیری از دو لایه با آب‌گذری متفاوت تشکیل شده و اندازه‌گیری‌ها نیز برای تعیین مقادیر هدایت هیدرولیک در دو لایه صورت گرفته باشد می‌توان با در دست داشتن K در مجموع دو لایه و K_1 در لایه اول، با استفاده از معادله زیر مقادیر K_2 را به دست آورد:

$$K_2 = \frac{KD - K_1D_1}{D_2} \qquad (۳۷)$$

که در آن:

D_1 ضخامت لایه اول برحسب سانتی‌متر؛

K_1 هدایت هیدرولیک اندازه‌گیری شده برای لایه اول برحسب متر بر روز؛

1- Viscosity

K هدایت هیدرولیک اندازه‌گیری شده در آزمون دوم (مجموع لایه‌های اول و دوم) برحسب متر بر روز؛

D ضخامت لایه اندازه‌گیری شده در آزمون دوم ($D = D_1 + D_2$) برحسب سانتی‌متر؛

D_2: ضخامت لایه دوم نیمرخ (لایه زیرین) برحسب سانتی‌متر؛

K_2: هدایت هیدرولیک لایه دوم برحسب متر بر روز.

جدول ۲- لزوجت آب در درجه حرارت‌های مختلف

°C	۰	۰/۱	۰/۲	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۶	۰/۷	۰/۸	۰/۹
۱۰	۱/۳۰۱۲	۱/۲۹۷۶	۱/۲۹۴۰	۱/۲۹۰۳	۱/۲۸۶۷	۱/۲۸۳۱	۱/۲۷۹۵	۱/۲۷۵۹	۱/۲۷۲۲	۱/۲۶۸۶
۱۱	۱/۲۶۵۰	۱/۲۶۱۵	۱/۲۵۸۰	۱/۲۵۴۵	۱/۲۵۱۰	۱/۲۴۷۶	۱/۲۴۷۶	۱/۲۴۰۶	۱/۲۳۷۱	۱/۲۳۳۶
۱۲	۱/۲۳۰۱	۱/۲۲۶۸	۱/۲۲۳۴	۱/۲۲۰۱	۱/۲۱۶۸	۱/۲۱۳۵	۱/۲۱۰۱	۱/۲۰۶۸	۱/۲۰۳۵	۱/۲۰۰۱
۱۳	۱/۱۹۶۸	۱/۱۹۳۸	۱/۱۹۰۵	۱/۱۸۷۳	۱/۱۸۴۱	۱/۱۸۱۰	۱/۱۷۷۷	۱/۱۷۴۶	۱/۱۷۱۴	۱/۱۶۸۳
۱۴	۱/۱۶۵۱	۱/۱۸۲۱	۱/۱۵۹۰	۱/۱۵۶۰	۱/۱۵۲۹	۱/۱۴۹۹	۱/۱۴۶۹	۱/۱۴۳۸	۱/۱۴۰۸	۱/۱۳۷۷
۱۵	۱/۱۳۴۷	۱/۱۳۱۸	۱/۱۲۸۹	۱/۱۲۶۰	۱/۱۲۳۱	۱/۱۲۰۲	۱/۱۱۷۲	۱/۱۱۴۳	۱/۱۱۱۴	۱/۱۰۸۵
۱۶	۱/۱۰۵۶	۱/۱۰۲۸	۱/۰۹۹۹	۱/۰۹۷۱	۱/۰۹۴۳	۱/۰۹۱۵	۱/۰۸۸۷	۱/۰۸۵۹	۱/۰۸۰۳	۱/۰۸۰۲
۱۷	۱/۰۷۷۴	۱/۰۷۴۷	۱/۰۷۲۰	۱/۰۶۹۳	۱/۰۶۶۷	۱/۰۶۴۰	۱/۰۶۱۳	۱/۰۵۸۶	۱/۰۵۶۰	۱/۰۵۳۳
۱۸	۱/۰۵۰۷	۱/۰۴۸۰	۱/۰۴۵۴	۱/۰۴۲۹	۱/۰۴۰۳	۱/۰۳۷۷	۱/۰۳۵۱	۱/۰۳۲۵	۱/۰۳۰۰	۱/۰۲۷۴
۱۹	۱/۰۲۴۸	۱/۰۲۲۳	۱/۰۱۹۸	۱/۰۱۷۴	۱/۰۱۴۹	۱/۰۱۲۴	۱/۰۰۹۹	۱/۰۰۷۴	۱/۰۰۵۰	۱/۰۰۲۵
۲۰	۱/۰۰۰۰	۰/۹۹۷۶	۰/۹۹۵۲	۰/۹۹۲۸	۰/۹۹۰۴	۰/۹۸۸۱	۰/۹۸۵۷	۰/۹۸۳۳	۰/۹۸۰۹	۰/۹۷۸۵
۲۱	۰/۹۷۶۱	۰/۹۷۳۸	۰/۹۷۱۵	۰/۹۶۹۲	۰/۹۶۶۹	۰/۹۶۴۶	۰/۹۶۲۳	۰/۹۶۰۰	۰/۹۵۷۷	۰/۹۵۵۴
۲۲	۰/۹۵۳۱	۰/۹۵۰۹	۰/۹۴۸۷	۰/۹۴۶۵	۰/۹۴۴۳	۰/۹۴۲۱	۰/۹۳۹۹	۰/۹۳۷۷	۰/۹۳۵۵	۰/۹۳۳۳
۲۳	۰/۹۳۱۱	۰/۹۲۹۰	۰/۹۲۶۸	۰/۹۲۴۷	۰/۹۲۲۵	۰/۹۲۰۴	۰/۹۱۸۳	۰/۹۱۶۱	۰/۹۱۴۰	۰/۹۱۱۸
۲۴	۰/۹۰۹۷	۰/۹۰۷۷	۰/۹۰۵۶	۰/۹۰۳۶	۰/۹۰۱۵	۰/۸۹۹۵	۰/۸۹۷۵	۰/۸۹۵۴	۰/۸۹۳۴	۰/۸۹۱۳
۲۵	۰/۸۸۹۳	۰/۸۸۷۳	۰/۸۸۵۳	۰/۸۸۳۳	۰/۸۸۱۳	۰/۸۷۹۴	۰/۸۷۷۴	۰/۸۷۵۴	۰/۸۷۳۴	۰/۸۷۱۴
۲۶	۰/۸۶۹۴	۰/۸۶۷۵	۰/۸۶۵۶	۰/۸۶۳۶	۰/۸۶۱۷	۰/۸۵۹۸	۰/۸۵۷۹	۰/۸۵۶۰	۰/۸۵۴۰	۰/۸۵۲۱
۲۷	۰/۸۵۰۲	۰/۸۴۸۴	۰/۸۴۶۵	۰/۸۴۴۷	۰/۸۴۲۶	۰/۸۴۱۰	۰/۸۳۹۲	۰/۸۳۷۳	۰/۸۳۵۵	۰/۸۳۳۶
۲۸	۰/۸۳۱۸	۰/۸۳۰۰	۰/۸۲۸۲	۰/۸۲۶۴	۰/۸۲۴۶	۰/۸۲۲۹	۰/۸۲۱۱	۰/۸۱۹۳	۰/۸۱۷۵	۰/۸۱۵۷
۲۹	۰/۸۱۳۹	۰/۸۱۲۲	۰/۸۱۰۵	۰/۸۰۸۷	۰/۸۰۷۰	۰/۸۰۵۳	۰/۸۰۳۶	۰/۸۰۱۹	۰/۸۰۰۱	۰/۷۹۸۴
۳۰	۰/۷۹۶۷	۰/۷۹۵۰	۰/۷۹۳۴	۰/۷۹۱۷	۰/۷۹۰۱	۰/۷۸۸۴	۰/۷۸۶۷	۰/۷۸۵۱	۰/۷۸۳۴	۰/۷۸۱۸
۳۱	۰/۷۸۰۱	۰/۷۷۸۵	۰/۷۷۶۹	۰/۷۷۵۳	۰/۷۷۳۷	۰/۷۷۲۱	۰/۷۷۰۵	۰/۷۶۸۹	۰/۷۶۷۳	۰/۷۶۵۷
۳۲	۰/۷۶۴۱	۰/۷۶۲۶	۰/۷۶۱۰	۰/۷۵۹۵	۰/۷۵۷۹	۰/۷۵۶۴	۰/۷۵۴۸	۰/۷۵۳۳	۰/۷۵۱۷	۰/۷۵۰۲
۳۳	۰/۷۴۸۶	۰/۷۴۷۱	۰/۷۴۵۶	۰/۷۴۴۰	۰/۷۴۲۵	۰/۷۴۱۰	۰/۷۳۹۵	۰/۷۳۸۰	۰/۷۳۶۴	۰/۷۳۴۹
۳۴	۰/۷۳۳۴	۰/۷۳۲۰	۰/۷۳۰۵	۰/۷۲۹۱	۰/۷۲۷۶	۰/۷۲۶۲	۰/۷۲۴۷	۰/۷۲۳۳	۰/۷۲۱۸	۰/۷۲۰۴
۳۵	۰/۷۱۸۹	۰/۷۱۷۵	۰/۷۱۶۱	۰/۷۱۴۷	۰/۷۱۳۳	۰/۷۱۲۰	۰/۷۱۰۶	۰/۷۰۹۲	۰/۷۰۷۸	۰/۷۰۶۴

مثال- ضریب لزوجت آب در دمای ۱۰ درجه سلسیوس ۱/۳۰۱۲ سانتی‌پواز و در ۱۰/۵ درجه سلسیوس ۱/۲۸۳۱ سانتی‌پواز است.

لازم به یادآوری است که محاسبه هدایت هیدرولیک لایه‌های مختلف یک نیمرخ خاک با این روش به‌طور عمده و به ویژه وقتی ضخامت لایه‌ها نسبتاً کم است، از دقت مطلوبی برخوردار نخواهد بود و در صورت نیاز به دانستن هدایت هیدرولیک هر یک از لایه‌ها، ترجیح داده می‌شود از روش پیزومتری استفاده گردد.

وقتی پروفیل خاک از چند لایه تشکیل شده باشد، با استفاده از روش بالا می‌توان مقـادیر K را بـرای هریـک از لایه‌های دیگر نیز محاسبه نمود (شکل ۶). برای این کار، برای هریک از لایه‌های موردنظر، باید اندازه‌گیری‌هـای صحرایی صورت گرفته و نتیجه‌های آن را به‌دست آورد. معادله عمومی محاسبه K_n به شرح زیر است:

$$K_n = \frac{KD - (K_{n-1}.D_{n-1})}{D_n} = \frac{KD - \sum_{i=1}^{n-1} K_i D_i}{D_n} \qquad (۳۸)$$

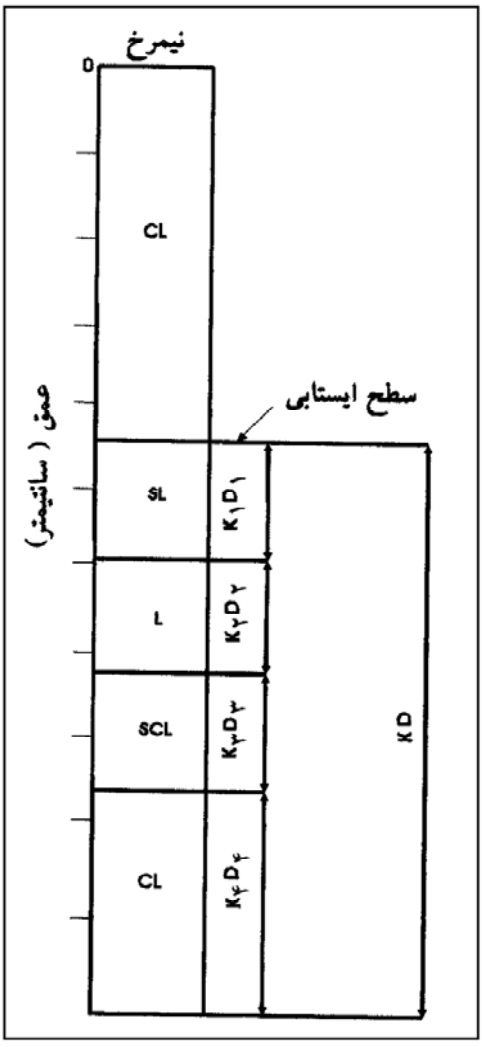
که در آن:

K_{n-1} هدایت هیدرولیک لایه‌های مختلف خاک از سطح ایستابی تا ابتدای لایه آخر برحسب متر بر روز؛

D_{n-1} ضخامت لایه از سطح ایستابی تا ابتدای لایه آخر برحسب سانتی‌متر؛

D_n ضخامت لایه آخر برحسب سانتی‌متر؛

K_n هدایت هیدرولیک لایه آخر برحسب متر بر روز.



شکل ۶- نیمرخ یک خاک چند لایه

۴ لوازم و امکانات آزمون

۴-۱ کلیات

امکانات لازم برای آزمون‌های صحرایی تعیین هدایت هیدرولیک اشباع خاک را می‌توان به دو بخش لوازم و تجهیزات و نیروی انسانی تقسیم کرد. بسیاری از تجهیزات موردنیاز می‌تواند در روش‌های مختلف به کاربرده شوند ولی برخی از آن‌ها فقط در یک یا دو نوع از روش‌های خاص کاربرد دارند. در این فصل سعی می‌شود که ابتدا تجهیزات عمومی‌تر و سپس لوازم و تجهیزات اختصاصی مورد بحث قرار گیرند.

۴-۲ لوازم و تجهیزات

۴-۲-۱ آگر[1]

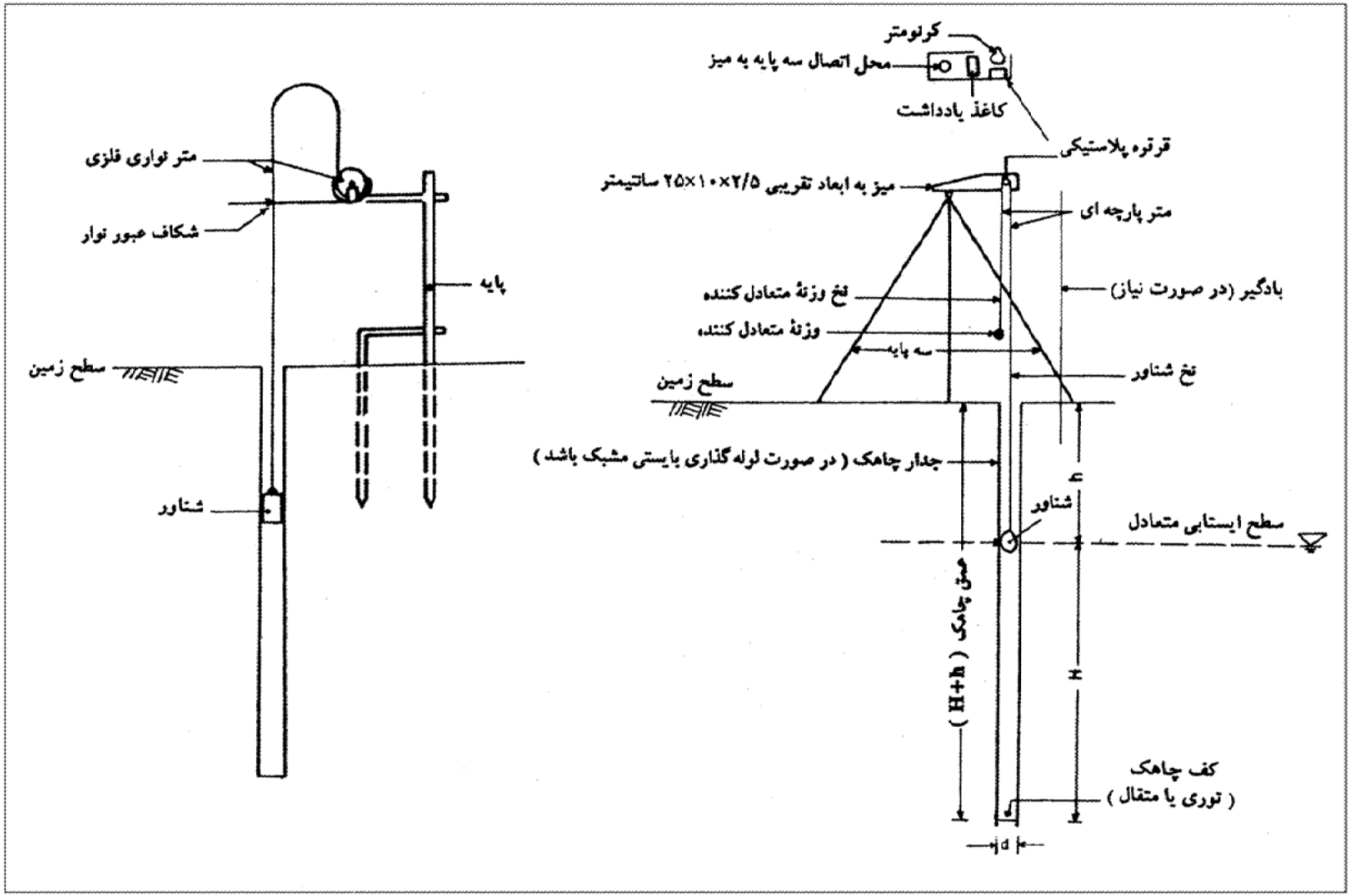
برحسب شرایط رطوبتی و بافت خاک، می‌توان از انواع آگرهای مناسب استفاده کرد. مشخص است که تا حد امکان باید از آگرهایی استفاده شود که حداقل اختلال و به‌هم‌خوردگی را در دیواره چاهک‌ها به‌وجود آورد. آگرهای مشهور به آگر آمریکایی برای خاک‌های خشک مناسب‌تر است. برای آزمون‌های هدایت هیدرولیک اشباع خاک، اغلب از آگرهایی به قطر (۷ تا۱۰) سانتی‌متر استفاده می‌شود. در برخی از خاک‌ها به ویژه خاک‌های خشک و سخت، استفاده از چنین آگرهایی به‌طور کلی دشوار بوده و فشردگی قابل ملاحظه‌ای در دیواره چاهک به‌وجود می‌آورد. بنابراین پیشنهاد می‌شود که حفاری ابتدا با آگری با قطر کمتر انجام شود و سپس چاهک با مته مناسب فراخ گردد.

در روش پیزومتر یا حفره زیر لوله که در آن قطر پیزومتر به‌طور عمومی حدود (۲۵ تا ۵۰) میلی‌متر است، باید از آگرهای ویژه‌ای استفاده شود که قطر آن به تقریب معادل قطر داخلی لوله پیزومتر باشد. اغلب برای این کار از آگر مارپیچی کاملاً تیز استفاده می‌شود. به‌طور کلی در صحرا باید انواع آگرها، میله‌های اضافی و انواع آچارهای لوله‌گیر در دسترس باشد.

۴-۲-۲ لوازم اندازه‌گیری سطح آب

ابزار و لوازم مختلفی برای اندازه‌گیری تغییرات سطح آب وجود دارد. شکل ۷ نمونه‌هایی از این وسایل را نشان می‌دهد. یکی از بهترین ابزارهایی که به ظاهر توسط NRCS[2] ابداع شده و به نسبت زیادی مورد استفاده قرار می‌گیرد، از یک سه پایه و میز (که روی میز یک کاغذ میلی‌متری پهن شده) و شاخصی که نشان دهنده موقعیت سطح ایستابی است، تشکیل شده که در زمان‌های مختلف محل سطح‌ایستابی را مشخص می‌کند. از مزایای این ابزار می‌توان به فراهم بودن امکان مراجعه بعدی برای کنترل مشاهدات صحرایی اشاره کرد.

1- Auger
2- Natural Resource Conservation Service



شکل ۷- چند نمونه از وسایل اندازه‌گیری سطح آب

این ابزار از یک تخته و سه پایه نقشه‌برداری تشکیل شده است. روی تخته یک نوار کاغذ میلی‌متری چسبانده می‌شود. عرض این نوار به‌طور معمول حدود ۱۵ سانتی‌متر است به شکلی که بتوان سه سری از داده‌های سه تکرار مختلف آزمون را روی آن ثبت کرد. یک نخ محکم مانند نخ ماهیگیری روی نوار میلی‌متری به شکلی قرار می‌گیرد که یک سر آن به شناور و سر دیگر آن به وزنه تعادل متصل باشد. طول نخ طوری تنظیم می‌شود که وزنه تعادل با بیشترین نوسان سطح ایستابی در طول آزمون به زمین یا میز برخورد نکند. در دو سوی وسط تخته دو قرقره پلاستیکی و یا بلبرینگ قرار داده می‌شود که نخ، روی آن قرار گیرد. سعی می‌شود که اصطکاک قرقره‌ها در کمترین مقدار ممکن باشد تا تغییرات سطح آب به خوبی به عقربک منتقل شود. عقربک اغلب یک تکه چوب نوک تیز باریک (مانند چوب کبریت) است که با چسب به نخ محکم می‌شود.

شناور به‌طور معمول از یک تکه چوب یا یک استوانه پلاستیکی به ارتفاع حدود ۵ سانتی‌متر تشکیل می‌شود. برای کاهش اصطکاک شناور با دیواره چاهک، پیشنهاد می‌شود که شناور دوکی شکل باشد.

وزن وزنه تعادل با توجه به وزن شناور و اصطکاک نخ طوری تنظیم می‌شود که در مقابل کوچک‌ترین حرکت شناور واکنش نشان دهد.

همه این وسایل روی یک سه‌پایه نقشه‌برداری نصب می‌شود. اگر آزمون در منطقه‌ای انجام شود که در آن جریان باد برقرار باشد، بهتر است در نزدیکی محل چاهک از یک صفحه پلاستیکی یا بادگیر استفاده شود.

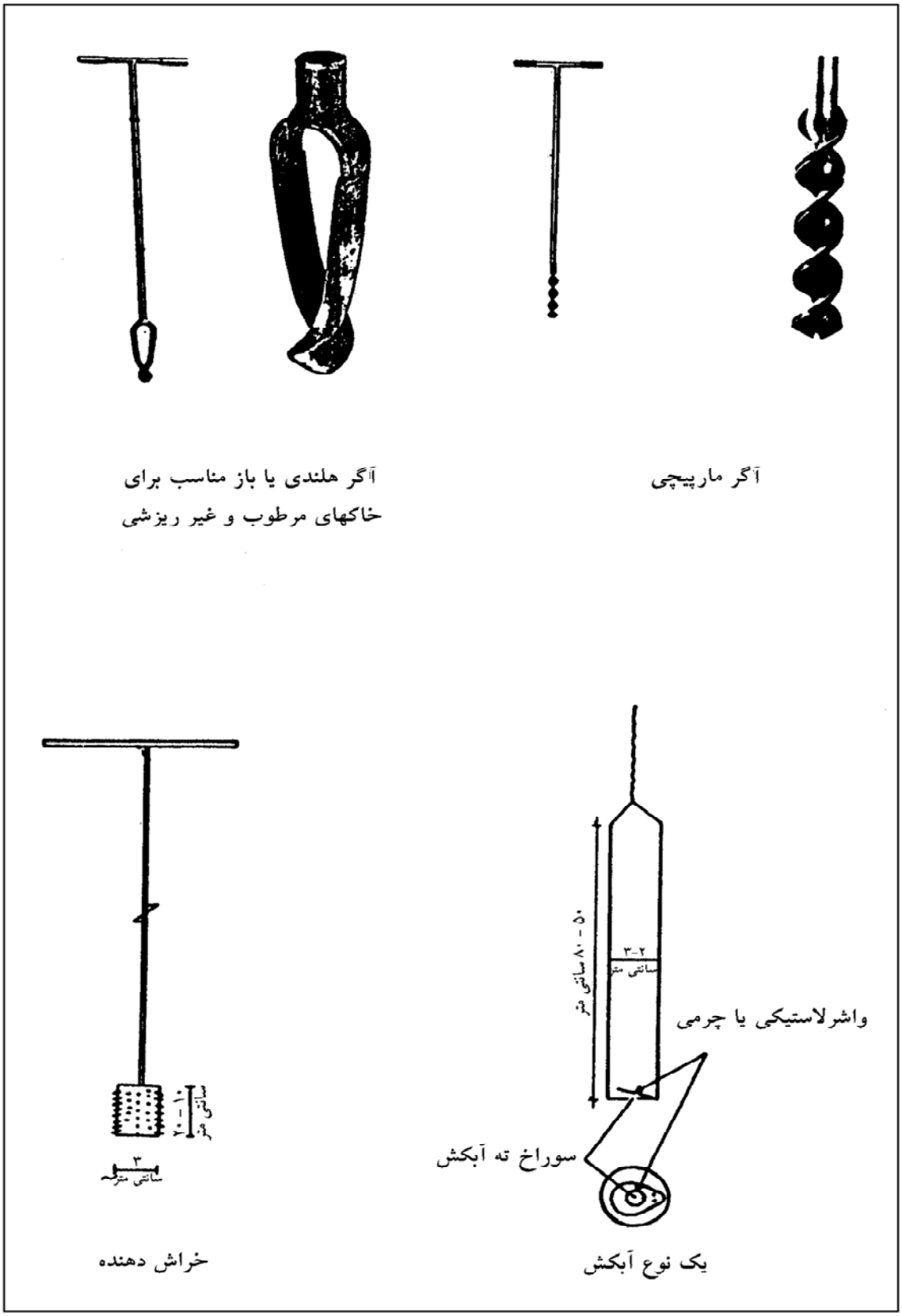
۴-۲-۳ خراش‌دهنده

خراش‌دهنده[1]، استوانه‌ای است به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر تا ۲۰ سانتی‌متر که اغلب از چوب ساخته شده و به وسیله مهره‌ای که روی آن تعبیه شده، به دسته‌های آگر متصل می‌گردد. این استوانه به میخ‌های متعددی مجهز است که در سرتاسر سطح جانبی آن پراکنده شده‌اند. پس از حفر چاهک، به منظور حذف گل و لای چسبیده شده به جدار یا برای پاک کردن قشر خاکی که در اثر حفاری به شکل متراکم روی جدار چاهک باقی‌مانده است، از خراش‌دهنده استفاده می‌شود. قطر خراش‌دهنده (نسبت به نوک میخ‌ها از دو طرف استوانه) باید حدود ۱ سانتی‌متر از قطر چاهک کوچک‌تر باشد. تعداد میخ‌های روی استوانه نباید آن‌قدر زیاد باشد که پاک کردن گل و لای از بین آن‌ها مشکل‌ساز شود. فاصله میخ‌ها از یکدیگر حدود ۱/۵ سانتی‌متر تا ۲ سانتی‌متر است (طبق شکل ۸).

۴-۲-۴ آبکش

آبکش[2]، لوله‌ای فلزی یا پلاستیکی است که اغلب از انواع فولادهای ضدزنگ یا پی‌وی‌سی سخت ساخته می‌شود. آبکش در کف به دریچه یک‌طرفه و در بالادست به یک دسته مجهز است که به‌وسیله آن به لوله‌های حفاری یا طناب متصل می‌شود. دریچه یک‌طرفه تحتانی آبکش باید تا حد ممکن آب‌بندی شده باشد (طبق شکل ۸). آبکش‌هایی که دریچه آن‌ها بزرگ‌تر است، برای تخلیه لجن و گل و لای و آن‌هایی که مجهز به دریچه‌های یک‌طرفه کوچک‌تر باشند، برای تخلیه آب مناسب‌تر هستند.

1- Scratcher
2- Bailer



شکل ۸- برخی وسایل و تجهیزات آزمون‌های صحرایی

۴-۲-۵ لوله مشبک

لوله مشبک[1] برای حفاظت جدار چاهک بوده و می‌تواند از فلز یا پلاستیک ساخته شود. نوع فلزی به‌سبب نازک‌تر بودن و امکان ایجاد منفذهای ریزتر در آن بهتر است. لوله‌های پلاستیکی سخت نیز برای این‌منظور به کار برده می‌شود. لوله‌های پی‌وی‌سی جدار نازک برای این منظور مناسب است. این لوله‌ها نسبتاً ارزان بوده و مشبک کردن آن‌ها نیز به‌سادگی میسر است. لوله مشبک از هر نوع که باشد، علاوه بر این که باید امکان خروج آب از چاهک و نفوذ آن به درون خاک را فراهم آورد، از حرکت ذرات خاک و ورود آن به داخل لوله نیز جلوگیری کند. برای این منظور پیشنهاد می‌شود که منفذهای لوله تاحد امکان ریز ولی به تعداد زیاد باشد. به‌طور معمول، سوراخ‌هایی با قطر ۱ میلی‌متر تا ۲ میلی‌متر مناسب است. تعداد منفذ لوله باید به اندازه‌ای باشد که برای عبور آب، افت هیدرولیک زیاد به وجود نیاورد (حدود ۱۰ درصد سطح جانبی لوله). در عمل می‌توان با ایجاد منفذهای ۱ میلی‌متر تا ۲ میلی‌متری در فاصله‌های حدود ۱ سانتی‌متر تا ۱٫۵ سانتی‌متر و یا شکاف‌هایی به عرض‌حدود ۱ میلی‌متر تا ۲ میلی‌متر و به طول حدود ۱۰ سانتی‌متر به فاصله ۲٫۵ سانتی‌متر تا ۳ سانتی‌متر از یکدیگر، لوله جدار مناسبی را تهیه نمود. بدیهی است که هرچه تعداد منفذها بیشتر و اندازه آن‌ها کوچک‌تر باشد، از کارآیی و دقت بیشتری برخوردارند.

۴-۲-۶ سایر وسایل و لوازم عمومی

سایر وسایلی که به‌طور عمومی در همه روش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد عبارتند از:

- کرونومتر یا ساعت مچی رقومی[2] با دقت اندازه‌گیری یک ثانیه،
- متقال یا توری فلزی برای نصب در کف چاهک به‌منظورکاهش خطر به‌هم‌خوردگی کف،
- آینه برای مشاهده وضعیت درون چاهک که شامل وضعیت بدنه، کف و موقعیت سطح ایستابی است، و
- آچارهای لوله گیر دسته بلند.

۴-۲-۷ وسایل و لوازم اختصاصی

همان‌طور که گفته شد، ممکن است در هر یک از آزمون‌ها، از ابزار و لوازم مخصوصی استفاده شود که در سایر روش‌ها کاربرد نداشته باشد. در زیر توضیحاتی در مورد لوازم اختصاصی هریک از روش‌ها ارائه می‌شود:

۴-۲-۷-۱ روش آزمایشگاهی بار ثابت

شکل ۹ وسایل اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک به روش آزمایشگاهی بار ثابت را نشان می‌دهد. این وسیله از اجزای زیر تشکیل شده‌اند:

۴-۲-۷-۱-۱ بطری ماریوت

این بطری به‌طور معمول حجمی بین ۳ لیتر تا ۱۰ لیتر دارد. لوله هوادهی از میان درپوش لاستیکی آن عبور می‌کند. ارتفاع این لوله شیشه‌ای قابل تنظیم است و در حقیقت بار آبی به‌وسیله آن تنظیم می‌شود.

۴-۲-۷-۱-۲ ظرف نمونه

ظرف نمونه از یک استوانه تشکیل شده است. قسمت پایین آن با شبکه ریز فلزی یا پلاستیکی پوشیده شده، به شکلی که آب از آن عبور کند. صفحه مشبک به‌یک قیف منتهی می‌شود.

1- Casing
2- Digital

۴-۲-۷-۱-۳ ظرف جمع‌آوری آب

این ظرف در زیر قیف قرار می‌گیرد. حجم آن به آب‌گذری خاک بستگی دارد. در هر حال باید دهانه ظرف باریک باشد تا تبخیر قابل ملاحظه‌ای از آن صورت نگیرد.

۴-۲-۷-۱-۴ ظرف جلوگیری کننده از ضربات موجی آب

به منظور حفظ تداوم و آرامش جریان، به‌طور معمول، ظرف دیگری بین بطری ماریوت و نمونه خاک قرار داده می‌شود.

۴-۲-۷-۱-۵ چهارپایه

وسایل کار به‌طور معمول روی دو چهار پایه با ارتفاع مناسب قرار داده می‌شود.

۴-۲-۷-۲ روش آزمایشگاهی بار افتان

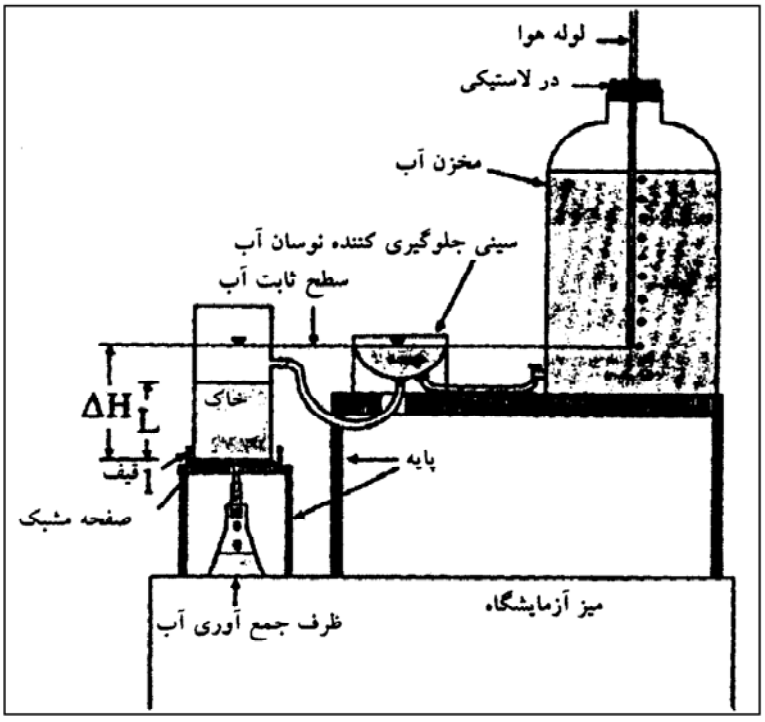
شکل ۱۰ وسایل اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک اشباع خاک به روش آزمایشگاهی بار افتان را نشان می‌دهد. این وسایل از اجزای زیر تشکیل شده است:

۴-۲-۷-۲-۱ بورت

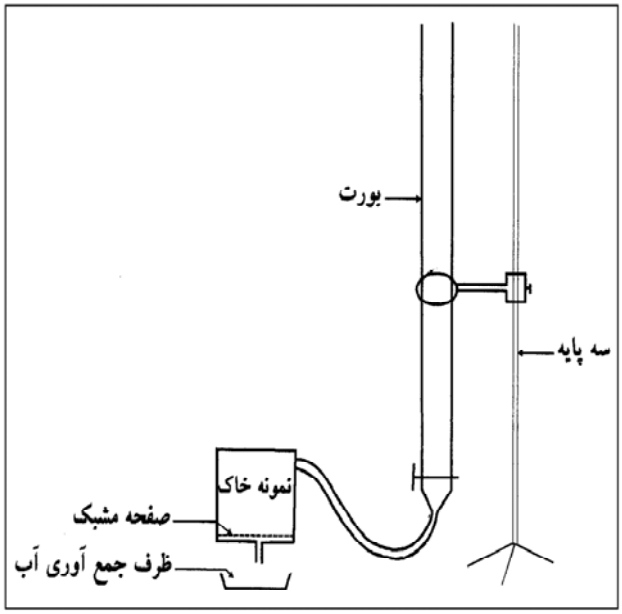
برای انجام آزمون اغلب از بورت استفاده می‌شود. سطح مقطع بورت حدود ۱ سانتی‌متر مربع است که باید قبل از انجام آزمون با اندازه‌گیری به‌طوردقیق مشخص شود.

۴-۲-۷-۲-۲ سه‌پایه

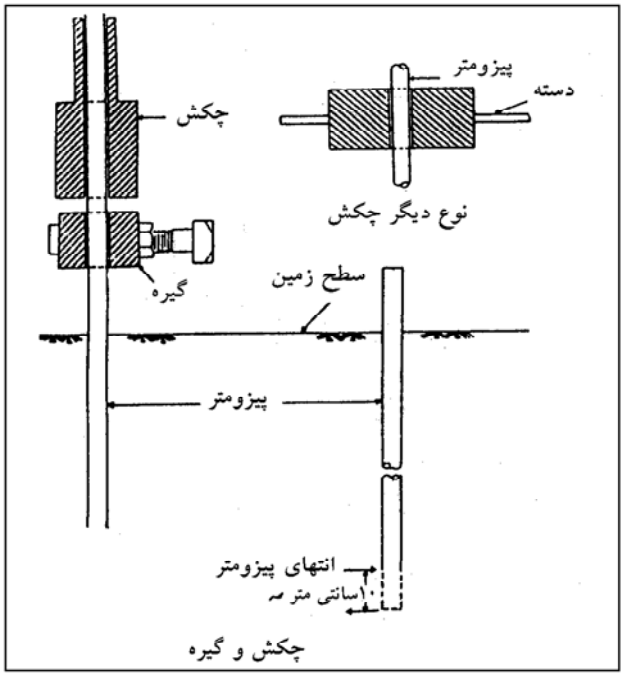
بورت به‌وسیلهٔ یک سه پایه متداول در آزمایشگاه‌های شیمی محکم می‌شود.



شکل ۹- وسایل اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک به روش بارثابت



شکل ۱۰- وسایل اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک به روش بارافتان



شکل ۱۱- چکش و گیره

۴-۲-۷-۲-۳ ظرف نمونه خاک

این ظرف مانند ظرف مورد استفاده در روش بار ثابت است.

۴-۲-۷-۲-۴ ظرف جمع‌آوری آب

از حجم آب خروجی اندازه‌گیری به‌عمل نمی‌آید. بنابراین از این ظرف فقط برای تمیز نگه‌داشتن محیط استفاده می‌شود.

۴-۲-۷-۳ روش پیزومتری

۴-۲-۷-۳-۱ چکش و گیره

به‌منظور راندن لوله به درون خاک، از چکشی به وزن حدود ۱۵ کیلوگرم (طبق شکل ۱۱) استفاده می‌شود. چکش‌هایی که درون آن‌ها از سرب پر شده باشد، وزنی حدود ۱۵ کیلوگرم خواهند داشت. بالا بردن و رها کردن چکش، ضرباتی را از طریق گیره به لوله پیزومتر وارد می‌کند و موجب رانده‌شدن آن به درون خاک می‌شود. گیره تشکیل شده است از یک استوانه یا مکعب مستطیل محکم که محل اتصال آن به لوله پیزومتر دندانه‌دار شده تا گیرایی گیره به لوله افزایش یابد.

۴-۲-۷-۳-۲ لوله فولادی

برای انجام آزمون پیزومتری از لوله فولادی با ضخامت زیاد استفاده می‌شود، به شکلی که فشار ناشی از گیره، مقطع لوله را از حالت دایره‌ای خارج نکند. قطر لوله بسته به نظر کارشناس متفاوت است و اغلب قطر داخلی آن بین ۲۵ میلی‌متر تا ۵۰ میلی‌متر انتخاب می‌شود.

۴-۲-۷-۳-۳ جک

برای ایجاد حفره با ابعاد مشخص در زیر لوله به طور معمول لوله پیزومتر برای آزمون تا انتهای عمق موردنظر رانده شده و سپس با کمک جکی که به گیره متصل است به مقدار مورد نظر بالاکشیده می‌شود. به این ترتیب می‌توان اطمینان بیشتری به اندازه طول حفره در زیر لوله داشت.

۴-۲-۷-۳-۴ توری

به منظور حفاظت حفره زیر لوله در مقابل ریزش، به ویژه در خاک‌هایی که از پایداری کافی برخوردار نیست، از یک توری فلزی استفاده می‌شود. توری، از جنس فلزی نسبتاً محکمی انتخاب می‌شود. طول آن اغلب کمی بیش از طول حفره مورد نظر است به طوری که قسمت بالایی آن در داخل لوله پیزومتر باقی بماند و به آن استحکام بیشتری بدهد. قطر توری، درست برابر قطر داخل لوله است. در دورتا دور انتهای توری، زائده‌ای به‌سمت داخل به عرض حدود ۵ میلی‌متر نصب می‌شود تا بتوان به کمک میله‌ای، توری را در داخل پیزومتر هدایت کرد و آن را در محل مناسب قرارداد.

۴-۲-۷-۴ روش چاهک معکوس یا پورشه

۴-۲-۷-۴-۱ وسایل اشباع کردن خاک

به منظور اشباع کردن خاک قبل از انجام آزمون پورشه از وسایلی استفاده می‌شود که در روش تزریق به چاهک سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شرح این وسایل با جزییات کافی در روش گفته شده، به‌طور کامل بیان شده است. این وسیله از یک مخزن حجیم، چند شیر قطع و وصل آب، یک شیر خودکار، فیلتر و... تشکیل شده است. شکل۱۲ وسایل و ابزار انجام این آزمون را نشان می‌دهد.

۴-۲-۷-۵ روش تزریق به‌چاهک سطحی

۴-۲-۷-۵-۱ منبع آب و وسایل کنترل سطح آب درون چاهک

وسایل اصلی آزمون در شکل ۱۲ نشان داده شده است. برای ثابت نگه‌داشتن سطح آب می‌توان از وسایل مختلف مانند کاربراتور اتومبیل یا سامانه‌ای شبیه شناور کولر آبی استفاده کرد. این شناور به شیر خودکار که

در داخل جعبه محافظ نصب شده، متصل بوده و جریان را از مخزن مدرج به درون چاهک کنترل می‌کند. لازم به یادآوری است که شیر کنترل جریان آب باید به اندازه‌ای بزرگ باشد که بتواند آب مورد نیاز را طوری تأمین نماید که سطح آب در داخل چاهک همواره در حد تقریباً ثابت باقی بماند (با تغییرات حداکثر ۱٫۵ سانتی‌متر کمتر یا بیشتر از حد ثابت). وسایل مورد نیاز برای آزمون به‌شرح زیراست:

- مخزن مدرج به ارتفاع حدود ۱٫۵ متر و قطر حدود ۳۰ سانتی‌متر تا ۴۵ سانتی‌متر که از ورق آهنی به ضخامت حدود ۱ میلی‌متر ساخته شده است،
- مخزن آب اضافی به ظرفیت حداقل ۱ مترمکعب،
- سکوی چوبی برای دور نگه‌داشتن مخزن مدرج از زمین و جلوگیری از زنگ‌زدگی آن،
- شناور از جنس چوب یا یونولیت، همراه بامیله اتصال (برنجی یا آلومینیومی) به شیر خودکار،
- شیر خودکار به منظور کنترل جریان ورودی به داخل چاهک،
- فیلتر که می‌تواند ازمواد مختلفی انتخاب شود. استفاده از اسفنج ظرفشویی نیز کار آیی لازم را دارد. فیلتر می‌تواند در داخل یک سه‌راهی چدنی که به یک درپوش برای تعویض فیلتر مجهز است قرارگیرد،
- درپوش به‌منظور جلوگیری از ورود حیوانات کوچک و ذرات خارجی به داخل چاهک. این درپوش همچنین برای قائم نگه‌داشتن میله شناور و تنظیم کار شناور موثر است. ابعاد درپوش می‌تواند در حدود ۳۰ سانتی‌متر ×۳۰ سانتی‌متر و با ضخامت حدود ۳ میلی‌متر باشد که یک سوراخ در مرکز (برای عبور میله شناور) و دو سوراخ دیگر در کنار آن (یکی برای عبور لوله لاستیکی و دیگری برای اندازه‌گیری سطح آب و درجه حرارت آب در چاهک)، تعبیه شده است،
- لوله لاستیکی قابل‌انعطاف به قطر داخلی حدود ۱ سانتی‌متر تا ۱٫۵ سانتی‌متر برای اتصال مخزن به شیر اتوماتیک و همچنین ریزش آب به داخل چاهک،
- جعبه محافظ که می‌تواند به‌ابعاد ۱۵ سانتی‌متر×۱۵ سانتی‌متر×۱۰۰ سانتی‌متر از جنس ورق آهن ساخته شود که سه راهی چدنی و شیر اتوماتیک نیز در داخل آن قرار می‌گیرد. به هر حال این قسمت نقشی در انجام آزمون ندارد ولی انجام آن را آسان می‌کند،
- شیر فلکه برای قطع و وصل جریان از تانک مدرج،
- نوار فلزی (۳متری)،
- دماسنجی که بتوان آن را در داخل چاهک به‌پایین فرستاده و درجه حرارت آب داخل چاهک را اندازه‌گیری نمود، و
- لوله مشبک.

۶-۷-۲-۴ روش گلف

نفوذسنج گلف دستگاهی است که قبل از این توسط کارخانه سازنده با مشخصات معین ساخته شده و توسط کاربران مورد استفاده قرار می‌گیرد.

دو نوع نفوذسنج تجارتی گلف وجود دارد: نوع اول برای خاک‌های با آب‌گذری بالا طراحی شده و نوع دوم برای خاک‌های با هدایت هیدرولیک کم. ابعاد تقریبی اجزای مختلف هر دونوع در جدول ۳ آورده شده است. شکل‌های شماره ۱۳ و ۱۴ اجزای مربوط به هر دو نوع را نشان می‌دهد. براساس شکل‌های گفته شده، این دستگاه شامل قسمت‌هایی است به این قرار:

۴-۲-۷-۶-۱ لوله ورود هوا[1]

این لوله باریک شیشه‌ای از بالایی‌ترین قسمت دستگاه (در پوش پلاستیکی فوقانی) تا پایانی‌ترین قسمت آن (ورودی کلاهک مشبک ناحیه خروج آب از دستگاه) امتداد یافته است. لوله هوا به‌علت طول زیاد، دو تکه و یا بیشتر در نظر گرفته می‌شود. این قسمت‌ها توسط یک قطعه شلنگ پلاستیکی به یکدیگر متصل می‌شوند. این لوله عامل رساندن هوا از خارج دستگاه به قسمت پایین لوله تخلیه آب دستگاه[2] می‌باشد. در این صورت با ورود هوا به قسمت بالای مخزن آب دستگاه[3]، امکان تخلیه آب از انتهای دستگاه به داخل چاهک فراهم خواهد شد.
برای آب‌بندی دستگاه و جلوگیری از ورود هوا از حد فاصل لوله هوا و درپوش مخزن[4]، از حلقه‌های O شکل[5] استفاده شده است. بدین ترتیب می‌توان به راحتی لوله هوا را بالا و پایین برده تا امکان تغییر سطح آب در چاهک (H) و تنظیم عمق آب مورد نظر فراهم گردد.

۴-۲-۷-۶-۲ درپوش قابل برداشت فوقانی

با برداشت این درپوش، امکان پرکردن مخزن دستگاه از آب فراهم می‌شود. در برخی از انواع نفوذسنج‌های گلف، روی این درپوش، روزنه مناسبی تعبیه شده که توسط یک پیچ پلاستیکی، قابل باز و بسته شدن است. با استفاده از این روزنه و کاربرد یک قیف کوچک، می‌توان مخزن دستگاه را از آب پرکرد.

۴-۲-۷-۶-۳ مخزن آب

در هر دو نوع دستگاه نفوذسنج گلف دو شرط اصلی باید رعایت شود. از سویی حجم مخزن باید به‌اندازه کافی زیاد باشد تا قبل از خالی شدن آب آن، بتوان به بده ثابت (Q) دست یافت و بدین ترتیب بتوان در فاصله‌های زمانی مشخص روند افت سطح آب را ملاحظه و یادداشت کرد؛ از سوی دیگر، قطر مخزن نباید به اندازه‌ای بزرگ باشد که دقت لازم در هنگام قرائت میزان افت سطح آب مخزن و همچنین محاسبه Q تأمین نگردد.

۴-۲-۷-۶-۴ قسمت مدرج[6]

مخزن دستگاه مدرج شده است، به‌طوری که افت سطح آب داخل مخزن در هنگام آزمون قابل خوانش باشد.

۴-۲-۷-۶-۵ لوله تخلیه[7]

این لوله که از میان آن لوله هوا عبور کرده است، رابط بین مخزن آب و قسمت تخلیه[8] دستگاه می‌باشد.

۴-۲-۷-۶-۶ سه پایه[9]

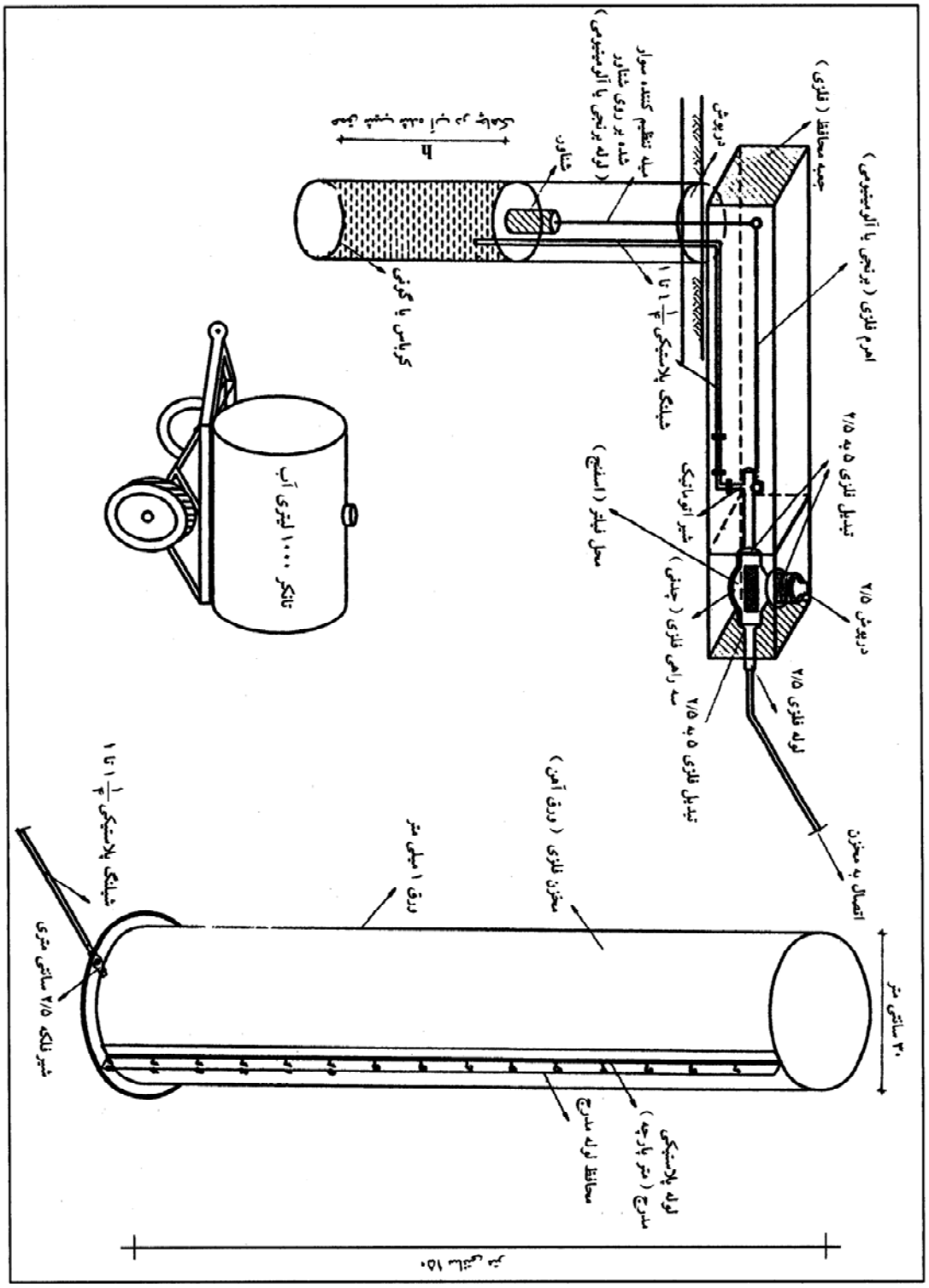
کل دستگاه توسط سه‌پایه‌ای به صورت قائم روی چاهک قرار می‌گیرد. در صورتی‌که عمق چاهک بیش از نصف طول نفوذسنج گلف باشد (در مواردی‌که اندازه‌گیری در اعماق زیاد موردنظر باشد)، دیگر وجود این سه‌پایه لزومی نداشته و می‌توان دستگاه را به‌طور مستقیم به شکل مناسبی روی چاهک ثابت نمود.

---

1 - Air Inlet Tube
2 - Outlet Tube
3 - Reservoir Tube
4 - Remouable Cap
5 - O - Ring
6 - Measuring Scale
7 - Outlet Tube
8 - Outlet Port
9 - Tripod Assembly

۴-۲-۷-۶-۷ قسمت مشبک[1]

این قسمت در واقع خروجی دستگاه به شمار رفته و آب از روزنه‌هایی که به همین منظور در نظرگرفته شـده از دستگاه خارج و وارد چاهک می‌شود.

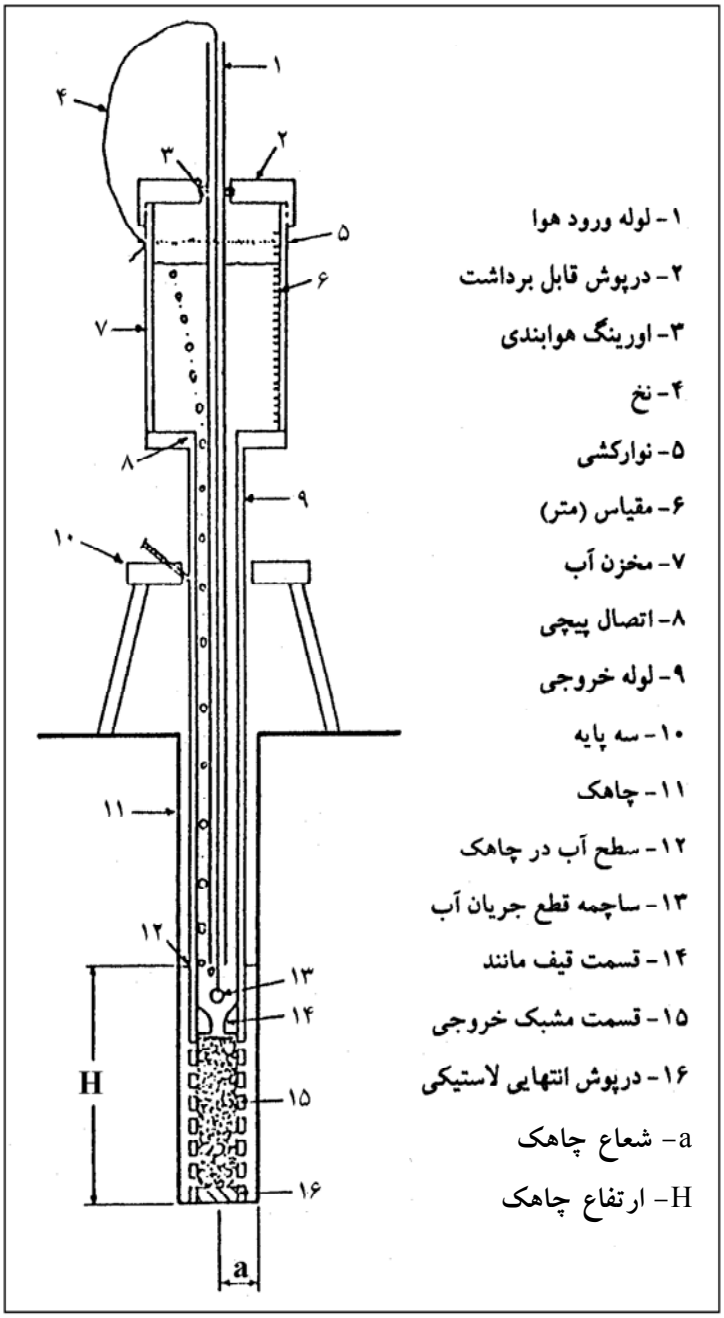


شکل ۱۲– وسایل مورد نیاز برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک خاک به روش تزریق به چاهک

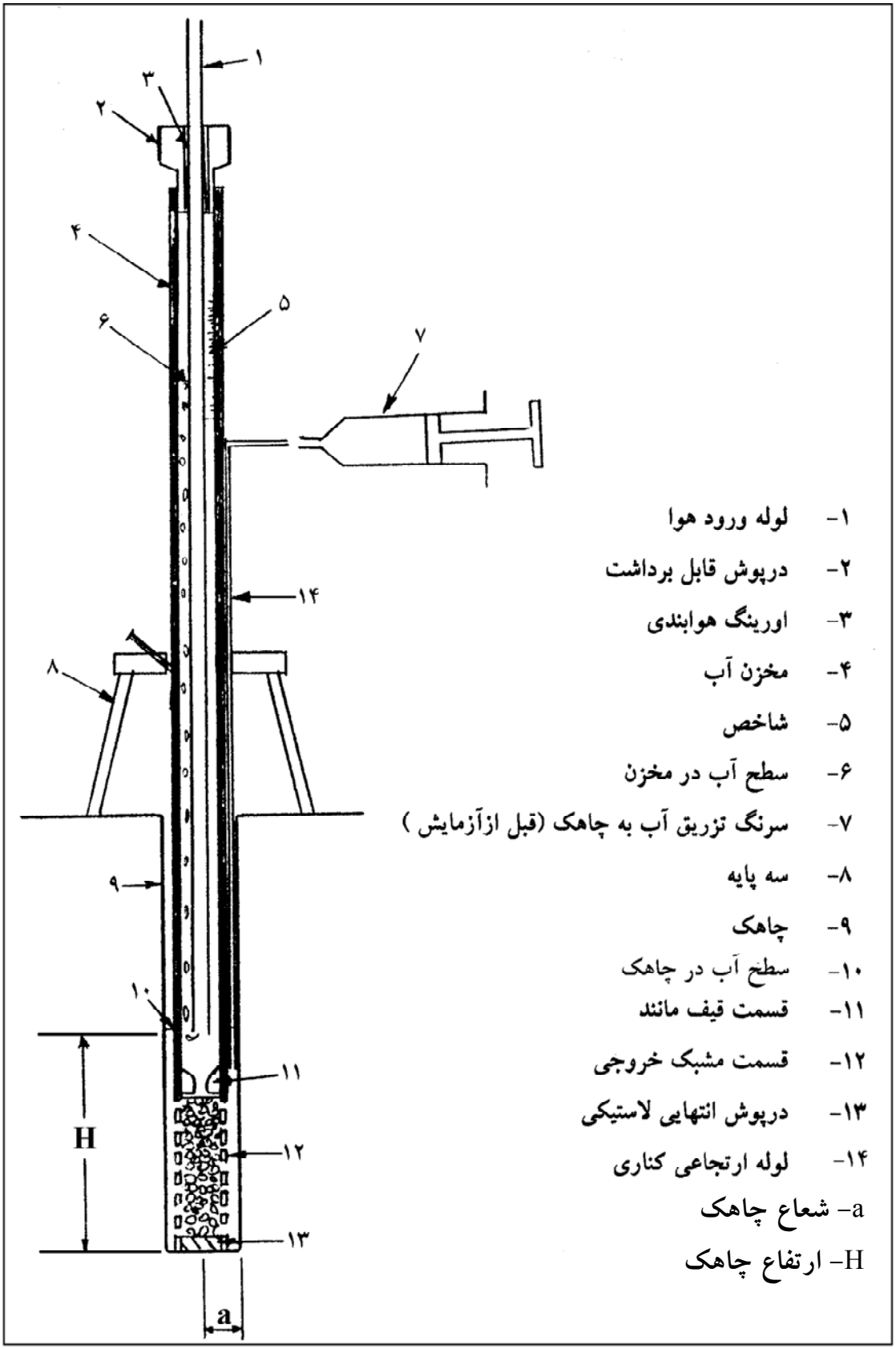
1 - Permeameter Tip

جدول ۳- ابعاد تقریبی اجزای مختلف نفوذسنج گلف

اجزای دستگاه	نوع اول			نوع دوم		
	قطر داخلی (cm)	ضخامت دیواره (cm)	طول (cm)	قطر داخلی (cm)	ضخامت دیواره (cm)	طول (cm)
لوله ورود هوا	۰٫۶۴	۰٫۱۶	۱۸۰ -۱۹۰	۰٫۳۲	۰٫۳۲	۱۸۵
لوله مخزن	۵٫۷۲-۱۰٫۸۰	۰٫۳۲	۴۰-۷۰	-	-	-
لوله خروجی	۲٫۷۰	۰٫۳۲	۱۰۰-۱۴۰	۱٫۹۱	۰٫۳۲	۱۷۵
لوله جانبی	-	-	-	۰٫۳۲	۰٫۱۶	۱۷۵
قسمت خروجی مشبک نفوذسنج	قطر منفذهای خروجی ۰٫۳۲ سانتی‌متر – طول ۲ سانتی‌متر-۶ سانتی‌متر حجم سرنگ ۲۰۰ سانتی‌متر مکعب					



شکل ۱۳- نفوذسنج بار ثابت نوع اول (CHWP)



شکل ۱۴- نفوذسنج بار ثابت نوع دوم (CHWP)

۵ روش چاهک

۵-۱ کلیات

هدف از انجام این آزمون، تعیین هدایت هیدرولیک به روش چاهک و به‌دست آوردن هدایت هیدرولیک اشباع خاک در زیر سطح ایستابی در محل است. این روش متداول‌ترین شیوه اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک اشباع خاک به شمار رفته و در مناطقی که سطح آب بالا و در زمان مطالعه دارای مشکل زهکشی است، با اطمینان کافی قابلیت کاربرد داشته و در این حالت قابل اعتمادترین روش اندازه‌گیری به شمار می‌رود.

۵-۲ روش کار

برنامه‌ریزی اولیه برای انجام آزمون به شیوه‌ای است که در بخش سوم به آن اشاره شد. با این حال باید به موارد زیر نیز توجه شود:

۵-۲-۱ وضعیت سفره آب زیرزمینی

آزمون چاهک در صورتی اعتبار دارد که سفره آب زیرزمینی به‌صورت آزاد باشد. به‌طور کلی سفره زیرزمینی در شرایطی تحت فشار است که در زیر لایه‌ای کم تراوا یا به نسبت ناتراوا محبوس شده باشد. در چنین شرایطی اگر ضمن حفاری، با گذر از یک لایه کم تراوا، عمق آب زیرزمینی در چاهک نسبت به عمق اولیه برخورد با آن به سرعت و یا به‌طور قابل ملاحظه‌ای بالا بیاید، باید نسبت به‌وجود فشار در سفره مظنون بوده و در صورت نیاز با تحقیقات بیشتر و نصب پیزومترهای مرکب نسبت به مشخص‌کردن وضعیت سفره اقدام نمود. به‌همین دلیل در مشاهدات صحرایی، تشخیص عمق برخورد با آب زیرزمینی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و باید با دقت و ظرافت کافی نسبت به آن توجه کرد.

در بررسی و تجزیه و تحلیل وضعیت آب زیرزمینی، حالت‌های زیر را می‌توان مدنظر قرار داد:

الف - هرگاه سطح سفره آب زیرزمینی در یک لایه سنگین با آب‌گذری نسبتاً کم قرار داشته باشد، ضمن حفاری ممکن است با رسیدن به سطح سفره و با وجود این‌که نمونه‌های خاک حفاری شده رطوبت اشباع را نشان دهد، به علت آب‌گذری کم لایه، آب آزاد در کف چاهک مشاهده نشود و با پیشروی حفاری، آب زیرزمینی در عمق پایین‌تری ظاهر گردد. در چنین شرایطی، سطح نهایی و متعادل شده آب در چاهک بالاتر از سطح برخورد به آب گزارش خواهد شد (به طور معمول ۱۰ سانتی‌متر تا ۲۰ سانتی‌متر و گاهی حتی تا ۰/۵ متر) که ممکن است به معنای وجود فشار در سفره تفسیر گردد، در حالی که اساساً فشاری در آن وجود ندارد.

ب- ممکن است ضمن حفاری به فاصله کمی قبل از رسیدن به سفره آبدار اصلی ، به یک سفره معلق و محدود برخورد شده باشد که در این حالت عمق نهایی و متعادل شده آب در چاهک پایین‌تر از عمق اولیه برخورد به آب گزارش خواهد شد. طبیعی است که در چنین شرایطی پس از مشاهده رطوبت اشباع سفره معلق باید در زیر آن یک لایه کم تراوا وجود داشته باشد. در این شرایط، اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک در زیر یا در درون لایه کم تراوا ضروری نخواهد بود.

ج- در یک حالت پیچیده‌تر ولی محتمل، ممکن است در زیر یک سفره معلق یک سفره تحت فشار وجود داشته باشد به طوری که عمق نهایی و متعادل شده آب زیرزمینی تا حدودی برابر عمق اولیه برخورد به آب زیرزمینی در سفره معلق باشد. در این صورت اگر ضمن حفاری به تغییرات رطوبت خاک توجه کافی نشود، وجود فشار در سفره زیرین تشخیص داده نخواهد شد. بدیهی است اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک در درون لایه کم تراوا یا زیر آن، ضروری نخواهد بود.

همه نکات بالا ضرورت توجه و اهمیت دقت در بررسی‌های لایه‌بندی و تغییرات رطوبت خاک را به عنوان راهنمایی برای تفسیر خصوصیات هیدرولوژیک خاک و چگونگی وضعیت سفره آب زیرزمینی مشخص می‌سازد.

۵-۲-۲ وضعیت عمق آب زیرزمینی

یکی از عوامل موثر در انتخاب عمق چاهک اندازه‌گیری، عمق آب زیرزمینی است. عمق چاهک طوری انتخاب می‌شود که ارتفاع ستون آب درون آن، امکان برداشت و تخلیه آب را به‌مقدار لازم میسر سازد.

در شرایطی که عمق برخورد با آب زیرزمینی زیاد و بیش از حدود ۴ متر باشد، هر چند اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک با این روش همچنان امکان‌پذیر است، ولی در عمل با محدودیت‌هایی روبه‌رو خواهد بود. در این‌گونه چاهک‌ها، در موقع آزمون، زمان مورد نیاز برای برداشت و تخلیه آب و سپس مستقر کردن شناور نسبتاً طولانی است و ایجاب می‌نماید که مجموعه عملیات بالا با سرعت بیشتری انجام گیرد؛ در غیر این صورت ممکن است قبل از این‌که قرائت‌های لازم به عمل آید، زمان آزمون از حدود مجاز خود بگذرد. وقوع این وضعیت به ویژه در خاک‌هایی که آب‌گذری زیادی دارند بسیار محتمل است. در این شرایط باید به‌ترتیبی عمل کرد که زمان تلف شده بین برداشت و تخلیه آب تا شروع اندازه‌گیری‌ها به‌حداقل ممکن کاهش یابد. در دسترس بودن تجهیزاتی که به کمک آن‌ها بتوان بدون خارج ساختن شناور از چاهک، از آن آب برداشت کرد، این اشکالات را تا حدود زیادی مرتفع خواهد ساخت. بدیهی است که اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک در لایه‌های خشک بالایی باید به روش‌های دیگر صورت گیرد.

۵-۲-۳ ارتفاع ستون آب در چاهک

همان‌طور که اشاره شد، حداقل ارتفاع آب درون چاهک باید طوری باشد که برداشت آب را در حد لازم و کافی امکان‌پذیر سازد. این مقدار در خاک‌های سنگین با آب‌گذری کم، بیشتر و در خاک‌های سبک با آب‌گذری زیاد، کمتر است. در شرایط متعارف، حداقل ارتفاع ستون آب در درون چاهک حدود ۰٫۶ متر است.

از طرف دیگر، وقتی عمق چاهک اندازه‌گیری در زیر سطح آب زیرزمینی زیاد باشد، اندازه‌گیری با محدودیت‌هایی روبرو می‌شود. بدین معنی که به ضرورت حفظ تناسب بین عمق آب درون چاهک و مقدار آب تخلیه شده باید حجم بیشتری از آب را تخلیه نمود که خود مستلزم در دست داشتن آبکش‌های بزرگ‌تر و یا استفاده از تلمبه است. در چنین مواردی به‌علت وسیع بودن سطح تراوش، سرعت برگشت آب نسبتاً زیاد است (به‌ویژه اگر آب‌گذری خاک نیز زیاد باشد) و ایجاب می‌نماید که مراحل مختلف اندازه‌گیری ـ از شروع تخلیه آب تا پایان اندازه‌گیری‌ها ـ با سرعت زیادی صورت گیرد.

در غیر این صورت احتمال زیادی وجود دارد که انجام اندازه‌گیری‌ها در محدوده زمانی مجاز خود میسر نشده و دقت اندازه‌گیری کاهش یابد.

۵-۲-۴ شستشوی چاهک

بعد از پایان عملیات حفر چاهک و خراشیدن دیواره آن در صورت ضرورت، شستشوی آن به منظور تخلیه باقی‌مانده‌ها و زواید حفاری و بازگشودن خلل و فرج دیواره چاهک صورت می‌گیرد. این کار به‌طور معمول با چند مرتبه آبکشی توسط آبکش انجام می‌پذیرد. در اجرای این قسمت از کار، توجه به نکات زیر قابل پیشنهاد است:

۵-۲-۴-۱- آبکش مورد استفاده باید از نوعی باشد که آب و گل بتواند به آسانی از ته آن وارد مخزن آبکش شود. در غیر این صورت شستشوی کف چاهک و تخلیه زواید حفاری که اغلب در ته آن جمع می‌شود میسر نخواهد بود. برای زدودن گل از ته چاهک باید آبکش توسط دسته آگر با فشار ملایم به ته چاهک فرو برده شود. استفاده از ریسمان به جای دسته آگر، کارآیی آبکش را برای بیرون کشیدن گل کاهش می‌دهد.

۵-۲-۴-۲- اگر چاهک بدون لوله مشبک جدار باشد، عملیات آبکشی برای شستشوی آن باید با احتیاط و به آرامی صورت پذیرد. در غیر این صورت، خطر ریزش دیواره چاهک وجود خواهد داشت.

۵-۲-۴-۳- چنان‌چه قبل از شروع عملیات شستشو، چاهک به لوله مشبک جدار مجهز شود و خطر ریزش‌دیواره برطرف شده باشد، بهتر است عملیات آبکشی با ایجاد تلاطم در آب درون چاهک و به صورت سریع انجام پذیرد تا شستشو به شکل بهتری صورت گیرد. بیرون‌کشیدن سریع آبکش از چاهک باعث ایجاد مکش و گرادیان ناگهانی و سبب کنده شدن سریع ذرات چسبیده به دیواره چاهک می‌شود.

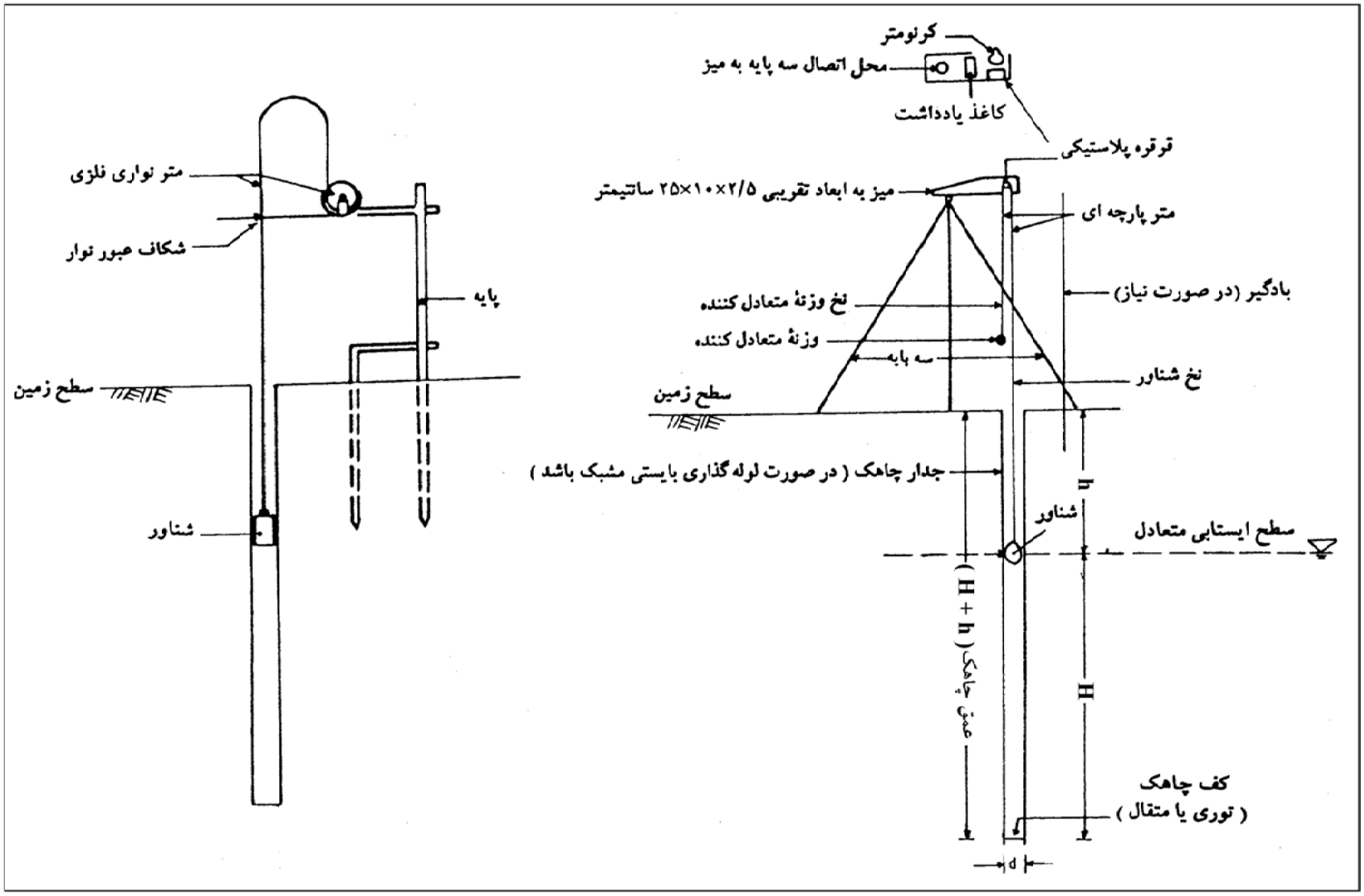
۵-۲-۴-۴- عملیات شستشو تا زمانی ادامه می‌یابد که آب بیرون کشیده شده از چاهک تا حد امکان صاف و بدون گل و لای باشد.

۵-۳ وسایل اندازه‌گیری

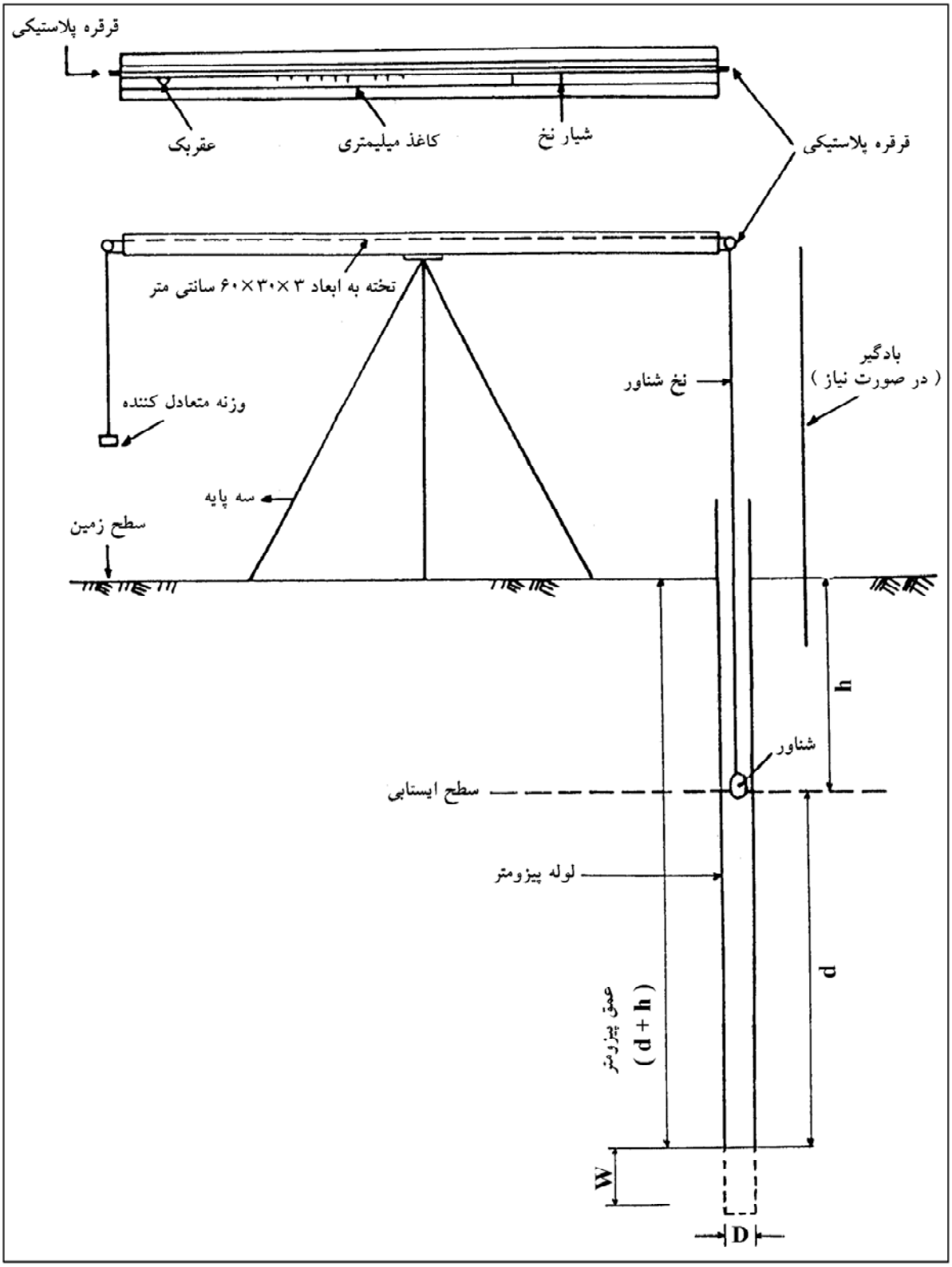
وسایل اندازه‌گیری این روش در بخش ۴-۲-۷-۴ بیان شده است. در شکل ۱۵ دو مجموعه از وسایل اندازه‌گیری نشان داده شده است. در ایران اغلب روشی استفاده می‌شود که از سال‌ها پیش توسط سازمان سابق حفاظت خاک آمریکا (SCS) مورد استفاده می‌باشد. شکل ۱۶ این وسایل را که اندک تغییراتی نسبت به روش SCS دارد نشان می‌دهد. از ویژگی‌های مهم استفاده از این ابزار، امکان دسترسی دوباره به ملاحظاتی است که در هنگام آزمون ثبت شده است.

۵-۴ اندازه‌گیری

پس از حفر و آماده‌سازی چاهک، زمانی که سطح آب زیرزمینی در آن به وضعیت تعادلی خود رسید می‌توان اندازه‌گیری را آغاز کرد.



شکل ۱۵- ابزار ساده اندازه‌گیری تغییرات سطح آب در چاهک



شکل ۱۶- تخته و سه پایه برای اندازه‌گیری

در این مرحله، اساس کار مبتنی بر تعیین سرعت ورود جریان آب به چاهک، در شرایطی است که گرادیان هیدرولیک برابر با واحد باشد. برای این منظور، مقداری از آب درون چاهک تخلیه می‌شود تا سطح آب پایین

افتاده و در نتیجهٔ گرادیان هیدرولیکی که بین سطح آب زیرزمینی و سطح آب چاهک به‌وجود می‌آید، جریان آب به سمت چاهک برقرار شود. هدایت هیدرولیک با شدت جریان ورودی به چاهک (که با سرعت بالا آمدن آب در آن مشخص می‌شود) مرتبط است و با در نظر گرفتن مشخصات چاهک می‌توان به کمک معادله‌های موجود، مقدار آن را محاسبه کرد.

مجموعه عملیاتی که در مرحله اندازه‌گیری صورت می‌گیرد نسبتاً ظریف و حساس است و اجرای آن باید از دقت و سرعت کافی برخوردار باشد. این عملیات خود مشتمل بر سه مرحله است که عبارتند از:

- بیرون کشیدن آب از چاهک،
- استقرار شناور یا هر وسیله دیگری که برای تعیین سرعت برگشت آب به کار می‌رود، و
- ثبت تغییرات سرعت برگشت آب.

۵-۴-۱ تخلیه آب از چاهک

قبل از اقدام به تخلیه آب، ابتدا باید ابزار و لوازمی را که برای اندازه‌گیری سرعت برگشت آب به کار برده می‌شود، روی چاهک نصب و برای انجام دادن کار، تنظیم و آماده نمود؛ به طوری که بتوان به سرعت پس از تخلیه آب، اندازه‌گیری را شروع کرد. یکی از اقدامات اساسی در این مرحله، ثبت یا علامت‌گذاری عمق سطح اولیه آب زیرزمینی (سطح تعادلی) است.

برای تخلیه آب چاهک می‌توان از تلمبه یا آبکش استفاده کرد. استفاده از تلمبه مناسب می‌تواند در اجرای کار، راحتی و دقت بیشتر را به وجود آورد و بنابراین استفاده از آن برای این منظور ترجیح داده می‌شود. پیشنهاد می‌شود که در اجرای این مرحله از کار، به نکات زیر توجه گردد:

۵-۴-۱-۱- تا حد امکان باید کوشش کرد تا مقدار آبی که باید از چاهک تخلیه شود یک‌باره برداشت گردد. در بعضی مآخذ، برداشت دو یا سه آبکش آب از چاهک مطرح شده است. این روش وقتی قابل تجویز است که عمق سطح ایستابی و هدایت هیدرولیک اشباع خاک کم باشند. در غیر این صورت، اجرای چنین روشی باعث می‌شود که سطح آب زیرزمینی در پیرامون چاهک نوسانات زیاد، غیر قابل کنترل و نامشخص داشته باشد و علاوه بر این‌که خطر ریزش جدار را افزایش می‌دهد، ممکن است موجب بروز خطا در نتیجه آزمون نیز گردد. در اختیار داشتن چند آبکش با ظرفیت‌های مختلف و استفاده از آبکش مناسب می‌تواند امکان تخلیه یک‌باره آب را ازچاهک فراهم آورد.

۵-۴-۱-۲- تا حد امکان سعی شود که آبکش به‌آرامی (بهتر است در اثر وزن خود) در آب چاهک فرو برده شود. اعمال فشار اضافی در فروبردن آبکش در چاهک، سبب می‌شود که آب درون چاهک نسبت به‌سطح تعادلی خود بالاتر آمده و در بخش غیر اشباع در بالای این سطح نفوذ کند و گرادیان مصنوعی به‌وجود آورد. وقتی بافت خاک در بالای سطح ایستابی سبک یا دارای درز و ترک باشد، رعایت این نکته از حساسیت بیشتری برخوردار خواهد بود.

۵-۴-۱-۳- بیرون کشیدن آبکش باید با هماهنگی سرپرست گروه و به دستور و اشاره وی صورت گیرد و هم زمان با بیرون کشیدن آبکش، کرنومتر نیز باید به کار انداخته شود و اندازه‌گیری زمان آغاز گردد.

۵-۴-۱-۴- از آن‌جا که جریان به طرف چاهک از لحظه‌ای که آبکش از آب درون چاهک بیرون‌کشیده می‌شود برقرار می‌گردد، سرعت عمل در بیرون کشیدن آبکش، باعث کاهش وقت تلف شده (از شروع برقراری جریان تا شروع اندازه‌گیری) خواهد شد.

۵-۴-۱-۵- پیشنهاد می‌شود که مقدار آب برداشتی از چاهک، به روش حجمی اندازه‌گیری شده و مقدار آن در فرم صحرایی (برگه ۱) ثبت گردد. انجام این کار، امکان محاسبه و تعیین دقیق‌تر عمق ستون آب تخلیه شده (y_o) را که یکی از عوامل موثر و مورد نیاز در اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک است به‌دست می‌دهد. علاوه بر این، داشتن حجم آب تخلیه شده، امکان کنترل تغییرات احتمالی در قطر چاهک را نیز فراهم می‌آورد.

۵-۴-۱-۶- اگر برای تخلیه آب از تلمبه مناسب استفاده شود، بیشتر مسائل گفته شده در بالا برطرف می‌گردد. در این روش به‌طور عمومی می‌توان لوله‌مکش یا شلنگ تلمبه و شناور را هم زمان در چاهک قرارداد به طوری که با تخلیه آب به وسیله تلمبه، شناور خود به خود با آب چاهک پایین رفته و در موقعیت مناسب قرار گیرد. همچنین با تنظیم عمق استقرار دهانه شلنگ تلمبه، عمق تخلیه آب قابل تشخیص و اندازه‌گیری است. بدیهی است با شروع برگشت آب و آغاز اندازه‌گیری، شلنگ تلمبه باید از چاهک بیرون کشیده شود.

۵-۴-۲ استقرار شناور در چاهک

بلافاصله پس از تخلیه آب به مقدار لازم، جسم شناور باید به درون چاهک انداخته شود و در پی آن با مستقر شدن شناور بر سطح آب، اندازه‌گیری سرعت بالا آمدن سطح آب آغاز گردد. فاصله زمانی بین تخلیه آب و استقرار شناور باید تا حد امکان کوتاه باشد. طولانی شدن عملیات در این مرحله، سبب برگشت آب درون چاهک بیش از اندازه مجاز و پیشنهادی و در نتیجه باعث تأثیر مستقیم در نتیجه اندازه‌گیری شده و یا این‌که موجب کاهش فرصت موجود برای انجام دادن اندازه‌گیری‌ها می‌گردد.

۵-۴-۳ ثبت تغییرات سطح آب

با مستقر شدن شناور بر سطح آب، اولین قرائت از وضعیت سطح آب درون چاهک و نیز زمان مربوط به آن امکان‌پذیر می‌گردد و به دنبال آن در فاصله‌های زمانی مناسب، قرائت‌های بعدی صورت می‌پذیرد. بدین ترتیب مجموعه اطلاعاتی از خیز سطح آب درون چاهک برحسب زمان به دست می‌آید که در محاسبات بعدی برای تعیین مقدار هدایت هیدرولیک اشباع خاک به کار برده می‌شود.

در بعضی موارد، کاردان‌ها بدون توجه به‌فاصله زمانی از دست رفته از شروع برگشت آب، زمان‌گیری عملیات را از لحظه ثبت اولین خوانش سطح آب شروع می‌کنند. اگر زمان تلف شده آن‌چنان کم و یا فرصت موجود برای اندازه‌گیری آنچنان زیاد باشد که اندازه‌گیری‌های بعدی بتواند همچنان در محدوده مجاز خود انجام گیرد، این کار، مشکل اساسی پیش نخواهد آورد؛ ولی اگر زمان تلف شده زیاد یا فرصت موجود برای اندازه‌گیری کم باشد، این روش می‌تواند خطاهای قابل ملاحظه‌ای را به دنبال داشته باشد. در هر حال، زمان‌گیری باید برای شروع عملیات از لحظه‌ای آغاز گردد که آبکش از آب بیرون کشیده می‌شود.

خوانش تغییرات سطح آب بر حسب زمان تا هنگامی ادامه پیدا می‌کند که یا سطح آب به حدود مجاز پیشنهادی خود ($y_o \frac{1}{4}$) رسیده باشد و یا در این محدوده، تعداد کافی قرائت (به‌طور معمول ۵ قرائت) صورت

گرفته باشد. در خاک‌هایی که ضریب ذخیره زیادی دارند (خاک‌های سبک)، به منظور ایجاد فرصت زمانی برای ثبت مشاهدات بیشتر، حد مجاز بالا آمدن سطح آب برای تکمیل قرائت‌ها می‌تواند تا حدود ($y_o \frac{1}{3}$) نیز افزایش یابد.

۴-۴-۵ تهیه جدول و ترسیم منحنی سرعت خیز سطح آب

مجموعه اطلاعات به دست آمده از ثبت مشاهدات خیز سطح آب در چاهک به جدولی مشابه جدول مندرج در برگه ۱ منتقل می‌گردد. در این جدول مقادیر y در مقابل مقادیر t نشان داده می‌شود. همانطور که توضیح داده شد، مبدا زمان یا به عبارت دیگر، t_o، لحظه‌ای است که آبکش از آب درون چاهک بیرون کشیده می‌شود.

ترسیم اطلاعات مندرج در این جدول به صورت منحنی تغییرات t وy سیمای روشن‌تری از روند خیز سطح آب به دست می‌دهد. ترسیم این منحنی که حتی در صحرا و در فاصله زمانی بین تکرارهای آزمون نیز امکان‌پذیر است، می‌تواند به راحتی، درستی نسبی نتیجه‌های به دست آمده را نشان دهد. تغییرات t و y در محدوده مجاز برای اندازه‌گیری‌ها روندی بسیار نزدیک به خط راست دارد ولی در بیرون از این محدوده با کاهش تدریجی ضریب زاویه، خط به منحنی تبدیل می‌شود.

قابل یادآوری است که در زمان ثبت اطلاعات صحرایی، در مقابل t_o، مقدار عددی y_o مشخص نیست. این مقدار می‌تواند به دو روش که در زیر توضیح داده می‌شود تعیین گردد:

۱- استفاده از حجم آب تخلیه شده از چاهک؛ از تقسیم حجم آب (برحسب سانتی‌متر مکعب) بر سطح مقطع چاهک (برحسب سانتی‌مترمربع) ، مقدار y_o بر حسب سانتی‌متر به دست می‌آید. لازمه درستی این روش، اطمینان از مقدار شعاع چاهک است.

۲- امتداد دادن خط $y = at + b$ به سمت محور y ها؛ محل تلاقی این خط با محور yها (b) ، مقدار y_o را برای زمان t_o مشخص می‌سازد.

چنان‌چه مرحله‌های مختلف عملیات، به ویژه حفاری چاهک و اندازه‌گیری‌های خیز سطح آب با دقت‌کافی صورت گیرد و اطلاعات به دست آمده از درستی لازم برخوردار باشد، y_o به دست آمده با هریک از دو روش بالا به اندازه کافی به هم نزدیک است و خط $y = at + b$ (که از روش امتداد نقاط به دست می‌آید) از نقطه‌ای با مختصات $t = 0 , y = b$ (که به روش حجمی به دست می‌آید) خواهد گذشت. در شرایط عملی ممکن است این انطباق به طور کامل اتفاق نیفتد. در این صورت اگر در اندازه‌گیری‌ها خطایی رخ نداده باشد، عامل اختلاف را باید در تغییر قطر چاهک جستجو نمود. هرچه این اختلاف بیشتر باشد، نشانه‌ای بر بیشتر بودن میزان تغییر قطر چاهک است و متناسب با آن، خطای نتیجه‌گیری را افزایش‌می‌دهد. وجود اختلافی در حدود ۱ سانتی‌متر بین قطر واقعی چاهک و آن‌چه در محاسبات به کار برده می‌شود، می‌تواند حدود ۲۰ درصد اختلاف در محاسبه هدایت هیدرولیک به همراه داشته باشد. نکته قابل توجه این است که اغلب اولین قرائت از زمان (t) و عمق (y)، گاهی می‌تواند با خطاهایی همراه باشد که به‌طور عمومی ناشی از شتابی است که تکنسین برای انطباق و هماهنگی خود با شرایط و ابزار اندازه‌گیری دارد. این خطا به ویژه در نقاط دارای هدایت هیدرولیک سریع، بیشتر محتمل است، بنابراین انحراف نسبی این نقطه از روند عمومی خیز سطح آب می‌تواند قابل انتظار باشد. در این شرایط اگر تعداد نقاط باقی‌مانده کافی باشد، می‌توان از این نقطه صرف‌نظر نمود.

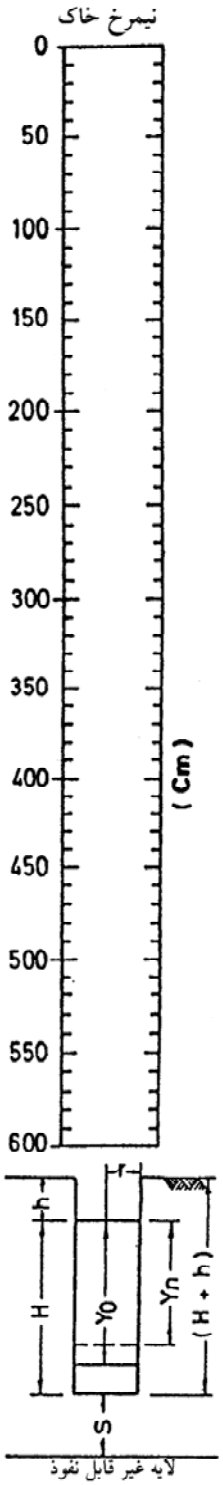
برگه ۱- اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک به روش چاهک

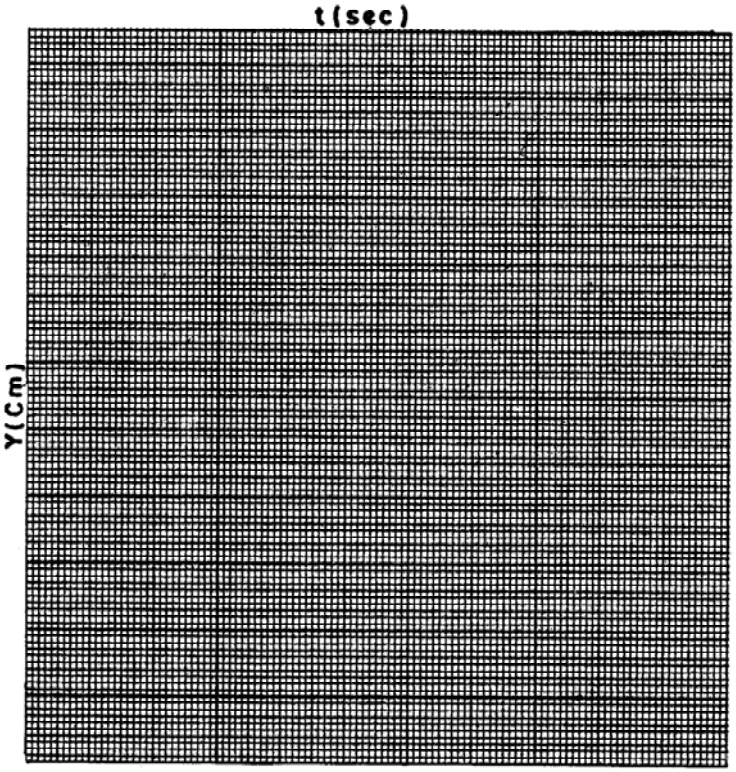
نام پروژه : شماره چاهک عمق چاهک سانتی متر عمق برخوردبه آب سانتی متر

عمق سطح ایستابی متعادل سانتی متر : قطر آکر نام آزمایش کننده : تاریخ :

الف : اندازه‌گیری‌ها

تکرار اول			تکراردوم			تکرارسوم		
No.	t(sec)	y(cm)	No.	t(sec)	y(cm)	No.	t(sec)	y(cm)

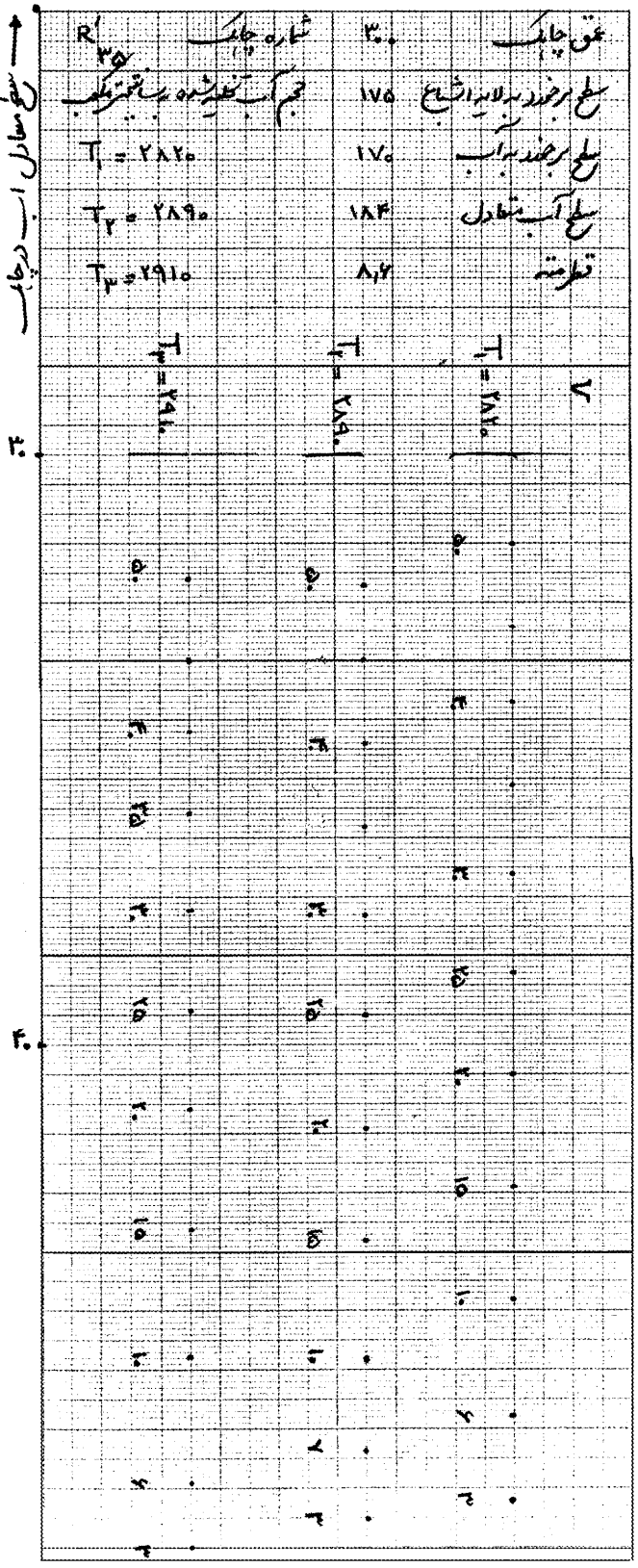




ب: محاسبات

تکرار اول	تکرار دوم	تکرار سوم	
			V حجم آب تخلیه شده توسط بیلر (سانتی متر مکعب)
			y_0 عمق پایین افتادن سطح ایستابی پس از پمپاژ (سانتی متر)
			$\sqrt{V/\pi y_0}$ = شعاع چاهک (سانتی متر)
			شعاع چاهک با در نظر گرفتن قطر اگر (سانتی متر)
			r شعاع چاهک انتخابی (سانتی متر)
			$\Delta y/\Delta t$ شیب بهترین خط (سانتی متر بر ثانیه)
			$\bar{y} = (y_0 + y_n)/2$ سانتی متر
			H فاصله سطح ایستابی متعادل تا کف چاهک(سانتی متر)
			S فاصله کف چاهک تا لایه محدود کننده (سانتی متر)
			C فاصله ضریبی که از معادله (۴۰) یا (۴۱) محاسبه می‌شود
			$K = C(\Delta y/\Delta t)$ (سانتی متر بر روز)

برای آشنایی با سه حالت ممکن (قابل قبول، غیر قابل قبول و قابل اغماض) در اندازه‌گیری‌ها، سه مثال در پیوست (الف) ارائه شده است.



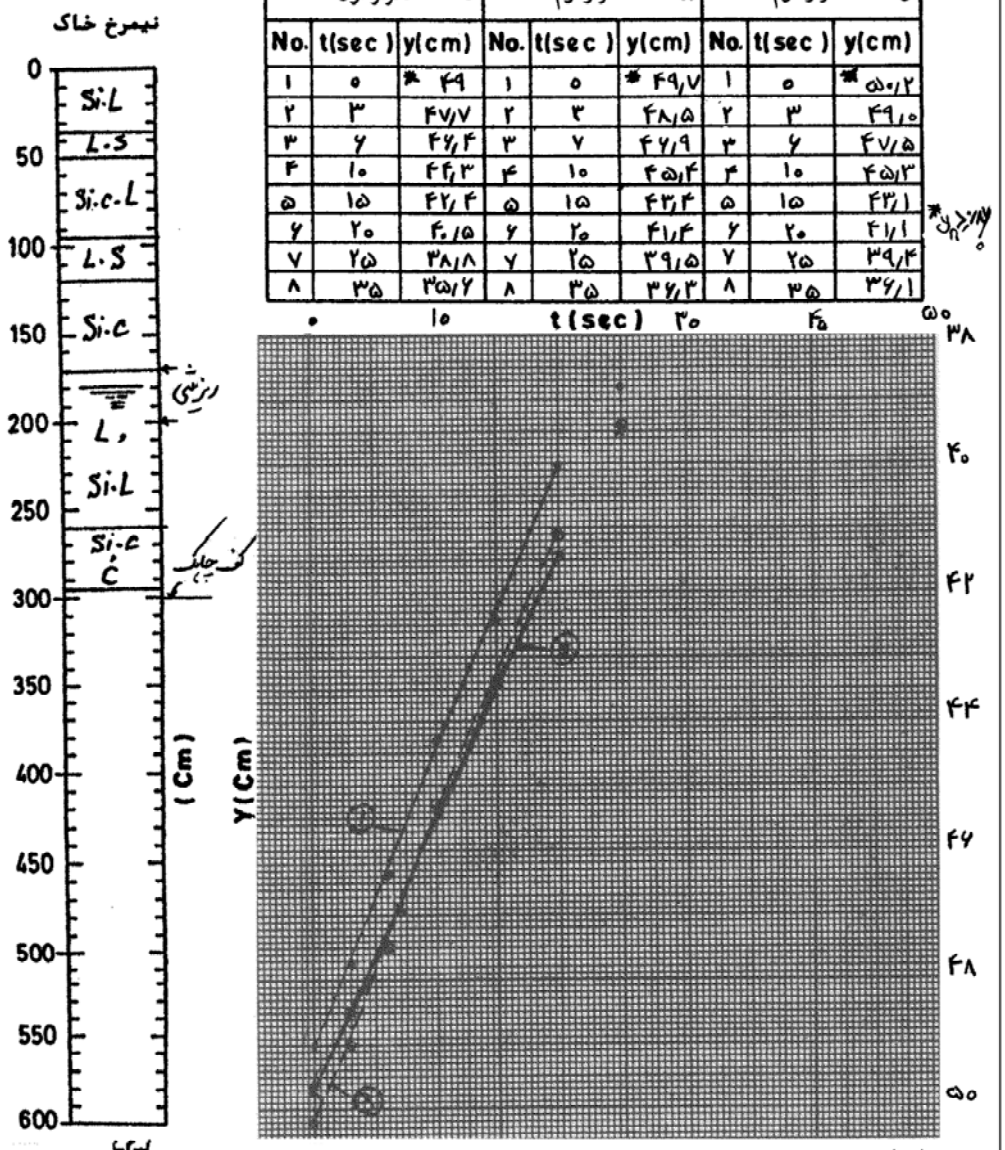
برگه ۲- اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک به روش چاهک

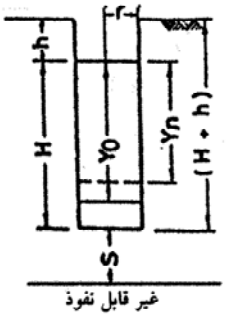
نام پروژه : شماره چاهک $R'_{۳۵}$ عمق چاهک ۳،۰ سانتی متر عمق برخوردبه آب ۱۹۵ سانتی متر

عمق سطح ایستابی متعادل ۱۸۴ سانتی متر قطر آکر ۸/۶ نام آزمایش کننده : سهیل تاریخ : ۶۸/۱۱/۱۱

الف : اندازه گیریها

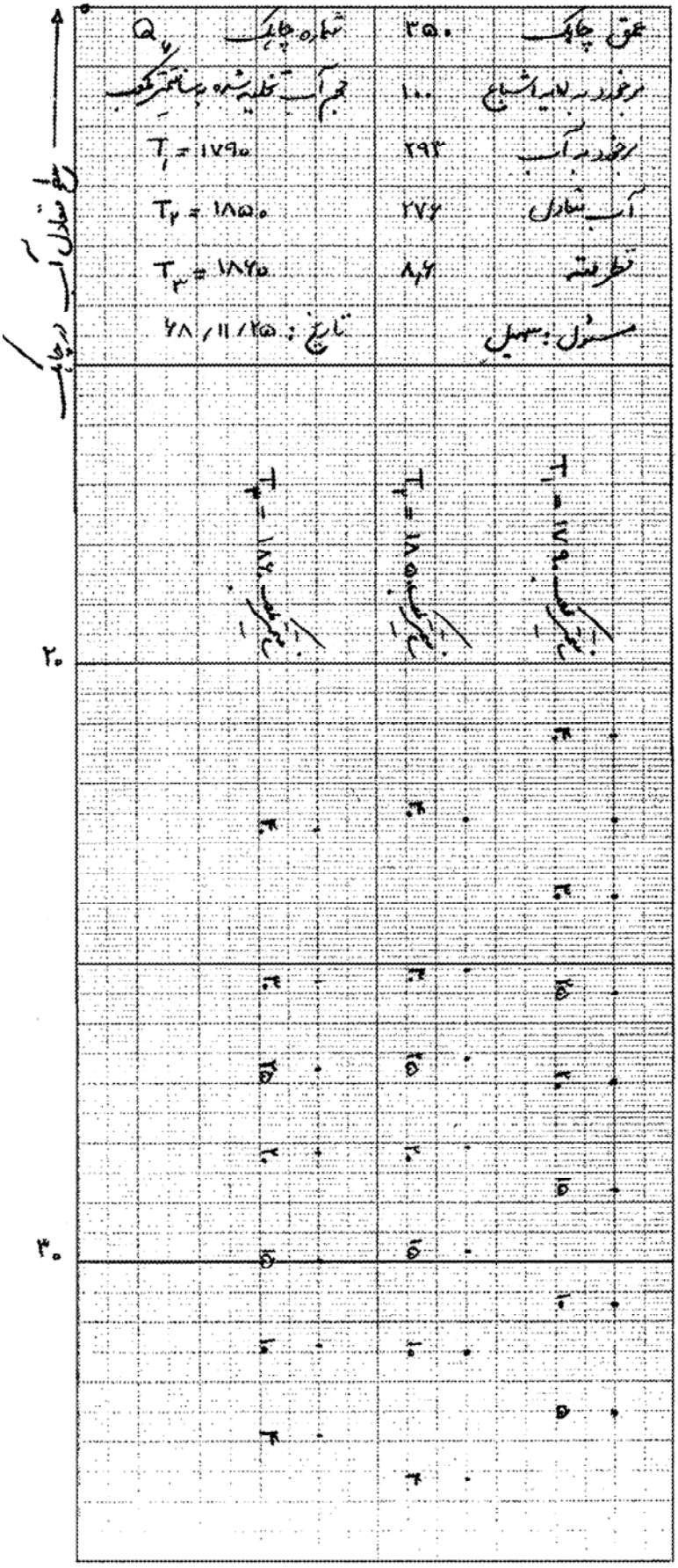
تکرار اول ●			تکراردوم x			تکرارسوم ○		
No.	t(sec)	y(cm)	No.	t(sec)	y(cm)	No.	t(sec)	y(cm)
۱	۰	۴۹	۱	۰	۴۹/۷	۱	۰	۵۰/۲
۲	۳	۴۷/۷	۲	۳	۴۸/۵	۲	۳	۴۹/۰
۳	۶	۴۶/۴	۳	۷	۴۷/۹	۳	۶	۴۷/۵
۴	۱۰	۴۴/۳	۴	۱۰	۴۵/۴	۴	۱۰	۴۵/۳
۵	۱۵	۴۲/۴	۵	۱۵	۴۳/۴	۵	۱۵	۴۳/۱
۶	۲۰	۴۰/۵	۶	۲۰	۴۱/۴	۶	۲۰	۴۱/۱
۷	۲۵	۳۸/۸	۷	۲۵	۳۹/۵	۷	۲۵	۳۹/۴
۸	۳۵	۳۵/۲	۸	۳۵	۳۶/۳	۸	۳۵	۳۶/۱





ب: محاسبات

		تکرار اول	تکراردوم	تکرارسوم
حجم آب تخلیه شده توسط بیلر (سانتی متر مکعب)	V	۲۸۲۰	۲۸۹۰	۲۹۱۰
عمق پایین افتادن سطح ایستابی پس از پمپاژ (سانتی متر)	y_o	۴۹/۰	۴۹/۷	۵۰/۲
شعاع چاهک انتخابی (سانتی متر)	r	۴/۳	۴/۳	۴/۳
شیب بهترین خط (سانتی متر بر ثانیه)	$\Delta y/\Delta t$	۰/۴۲۵	۰/۴۱۵	۰/۴۵۵
سانتی متر	$\bar{y} = (y_o + y_n)/۲$	۴۴/۸	۴۵/۶	۴۵/۷
فاصله سطح ایستابی متعادل تا کف چاهک(سانتی متر)	H	۷۶	۷۶	۷۶
فاصله کف چاهک تا لایه محدود کننده (سانتی متر)	S	< H/۲	< H/۲	< H/۲
فاصله ضریبی که از معادله (۴۰) یا (۴۱) محاسبه می‌شود	C	۸۹۰	۸۷۶	۸۷۵
(سانتی متر بر روز)	$K = C(\Delta y/\Delta t)$	۳/۷۶	۳/۶۴	۳/۹۸


عمق چاهک ۳۵۰
برخورد به لایه اشباع ۱۰۰
برخورد به آب ۲۹۲
آب بتادل ۲۷۶
نظر فقته ۸,۶
مسئول: سهیلی
شماره چاهک Q۶
حجم آب تخلیه شده با فنجان کیلو
T۱ = ۱۷۹۰
T۲ = ۱۸۵۰
T۳ = ۱۸۲۵
تاریخ: ۷۸/۱۱/۲۵
سطح متعادل آب در چاهک
۲۰
۳۰

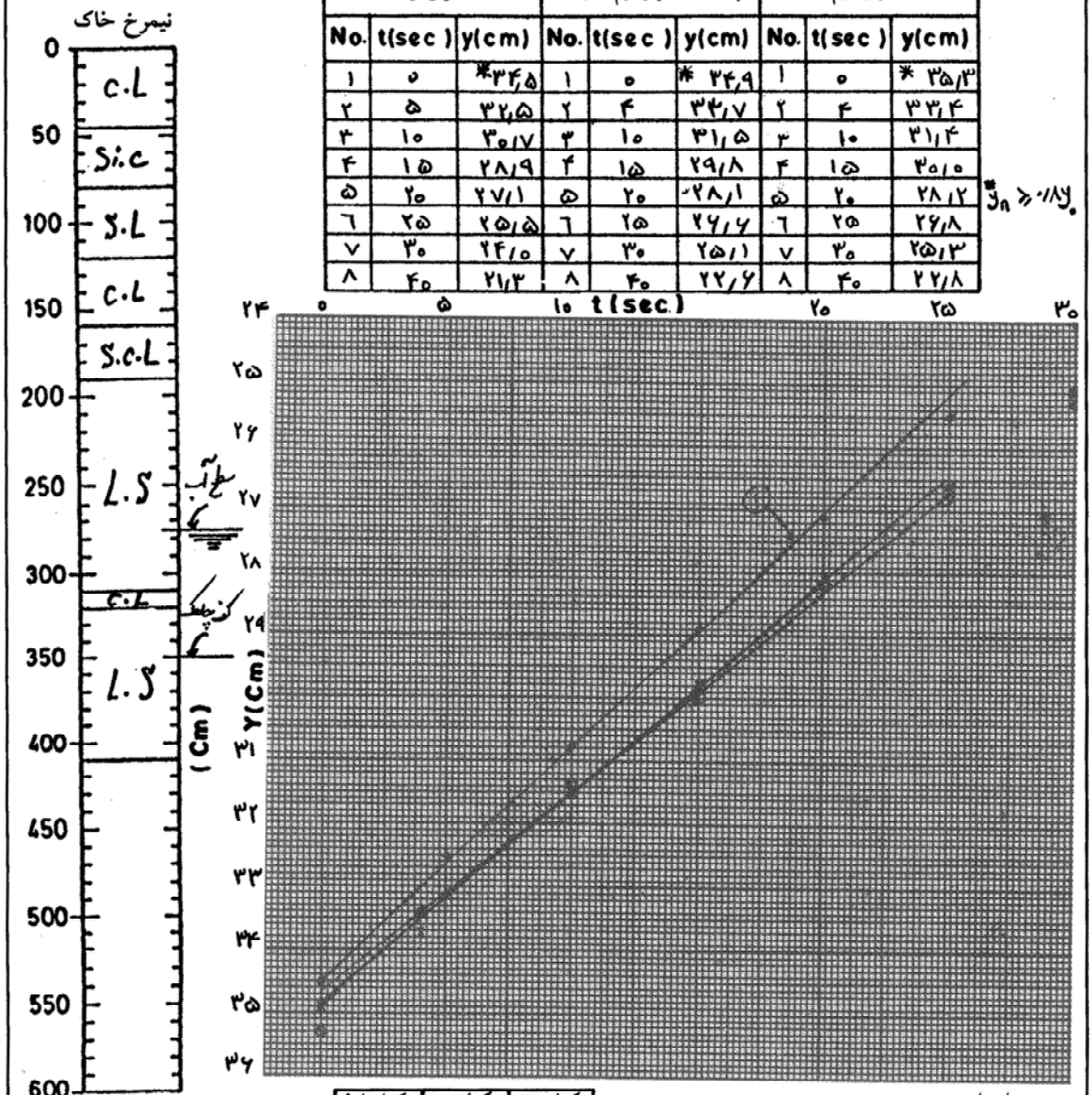
نام پروژه : شماره چاهک Q_y عمق چاهک ۳۵۰ سانتی متر عمق برخوردبه آب ۲۹۳ سانتی متر

عمق سطح ایستابی متعادل ۲۷۶ سانتی متر : قطر آکر ۸٫۶ نام آزمایش کننده : سهیل تاریخ : ۶۸/۱۱/۲۵

الف : اندازه گیریها

تکرار اول ●			تکراردوم x			تکرارسوم ○		
No.	t(sec)	y(cm)	No.	t(sec)	y(cm)	No.	t(sec)	y(cm)
۱	۰	*۳۴٫۵	۱	۰	* ۳۴٫۹	۱	۰	* ۳۵٫۳
۲	۵	۳۲٫۵	۲	۴	۳۳٫۷	۲	۴	۳۳٫۴
۳	۱۰	۳۰٫۷	۳	۱۰	۳۱٫۵	۳	۱۰	۳۱٫۴
۴	۱۵	۲۸٫۹	۴	۱۵	۲۹٫۸	۴	۱۵	۳۰٫۰
۵	۲۰	۲۷٫۱	۵	۲۰	۲۸٫۱	۵	۲۰	۲۸٫۲
۶	۲۵	۲۵٫۵	۶	۲۵	۲۶٫۶	۶	۲۵	۲۶٫۸
۷	۳۰	۲۴٫۰	۷	۳۰	۲۵٫۱	۷	۳۰	۲۵٫۳
۸	۴۰	۲۱٫۳	۸	۴۰	۲۲٫۶	۸	۴۰	۲۲٫۸

$y_n \geq 0.8 y_0$



تکرار اول	تکراردوم	تکرارسوم	
۱۷۹۰	۱۸۵۰	۱۸۶۰	V
۳۴٫۵	۳۴٫۹	۳۵٫۳	y_0
۴٫۱	۴٫۱	۴٫۱	r
۰٫۳۵	۰٫۳۳	۰٫۳۳	$\Delta y/\Delta t$
۳۰٫۸	۳۱٫۵	۳۱٫۸	$\bar{y} = (y_0 + y_n)/2$
۷۴	۷۴	۷۴	H
> H/۲	> H/۲	> H/۲	S
۱۰۰	۹۷	۹۷	C
۳٫۵	۳٫۲	۳٫۲	$K = C(\Delta y/\Delta t)$

ب: محاسبات

V حجم آب تخلیه شده توسط بیلر (سانتی متر مکعب)

y_0 عمق پایین افتادن سطح ایستابی پس از پمپاژ (سانتی متر)

r شعاع چاهک انتخابی (سانتی متر)

$\Delta y/\Delta t$ شیب بهترین خط (سانتی متر بر ثانیه)

$\bar{y} = (y_0 + y_n)/2$ سانتی متر

H فاصله سطح ایستابی متعادل تا کف چاهک(سانتی متر)

S فاصله کف چاهک تا لایه محدود کننده (سانتی متر)

C فاصله ضریبی که از معادله (۴۰) یا (۴۱) محاسبه می‌شود

$K = C(\Delta y/\Delta t)$ (سانتی متر بر روز)

عمق چاهک : ۲۳۰

سطح مرجع دستگاه ۸۵

سطح مرجع دستگاه آب ۹۵

سطح آب متعادل ۷۰

قطر ۹

مسئول : سهیلی

حجم آب مخلوط شده برابر تقریبی مکعب

$T_1 = ۲۵۷۵$

$T_2 = ۲۵۷۵$

$T_3 = ۲۵۸۵$

تاریخ آزمایش ۷۸/۸/۲۹

۳H

T_1	T_2	T_3
-۱۱۰	-۱۱۰	-۱۱۰
-۱۰۰	-۱۰۰	-۱۰۰
-۹۰	-۹۰	-۹۰
-۸۰	-۸۰	-۸۰
-۷۵		
-۷۰	-۷۰	-۷۰
-۶۵		
-۶۰	-۶۰	-۶۰
-۵۰	-۵۰	-۵۰
-۴۵	-۴۵	-۴۵
-۴۰	-۴۰	-۴۰
-۳۵	-۳۵	-۳۵
-۳۰	-۳۰	-۳۰
-۲۵	-۲۵	-۲۵
-۲۰	-۲۰	-۲۰
-۱۵	-۱۵	-۱۵
-۱۳	-۱۳	-۱۲
-۱۰	-۱۰	-۱۰
-۷	-۸	-۷
-۵	-۴	-۵
-۳	-۲	-۳

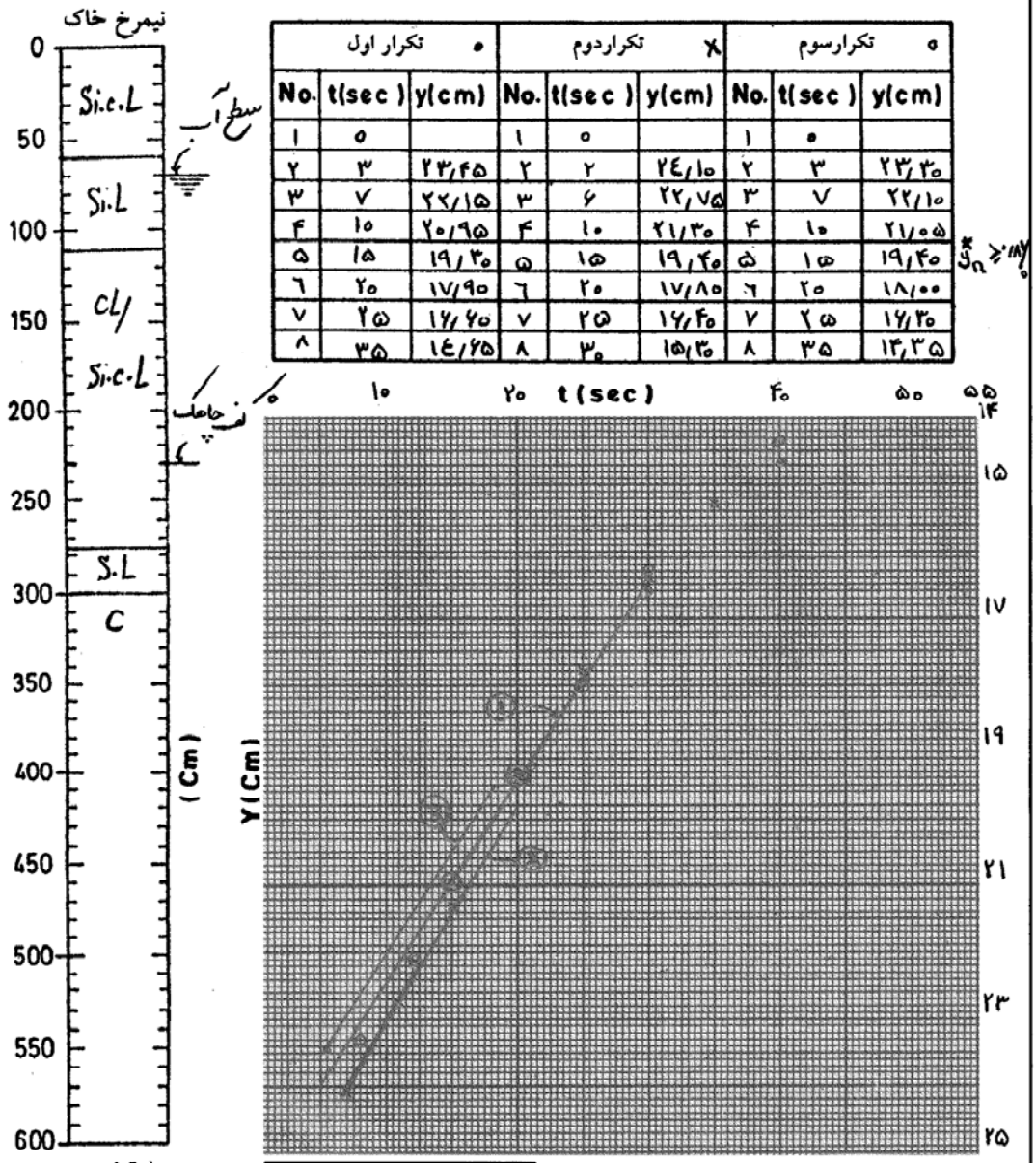
برگه ۴- اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک به روش چاهک

نام پروژه : شماره چاهک $U_{۸۵}$ عمق چاهک ۲۳۰ سانتی متر عمق برخوردبه آب ۹۵ سانتی متر

عمق سطح ایستابی متعادل ۷۰ سانتی متر قطر آکر ۹ نام آزمایش کننده : سهیل تاریخ : ۶۸/۸/۲۹

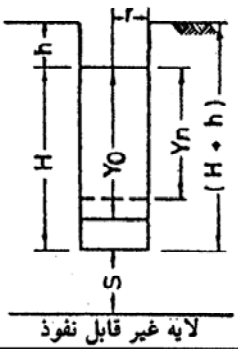
الف : اندازه گیریها

تکرار اول			تکراردوم			تکرارسوم		
No.	t(sec)	y(cm)	No.	t(sec)	y(cm)	No.	t(sec)	y(cm)
۱	۰		۱	۰		۱	۰	
۲	۳	۲۳/۴۵	۲	۲	۲۴/۱۰	۲	۳	۲۳/۳۰
۳	۷	۲۲/۱۵	۳	۶	۲۲/۷۵	۳	۷	۲۲/۱۰
۴	۱۰	۲۰/۶۵	۴	۱۰	۲۱/۳۰	۴	۱۰	۲۱/۰۵
۵	۱۵	۱۹/۴۰	۵	۱۵	۱۹/۴۰	۵	۱۵	۱۹/۴۰
۶	۲۰	۱۷/۹۰	۶	۲۰	۱۷/۸۰	۶	۲۰	۱۸/۰۰
۷	۲۵	۱۶/۶۰	۷	۲۵	۱۶/۴۰	۷	۲۵	۱۶/۳۰
۸	۳۵	۱۴/۶۵	۸	۳۰	۱۵/۳۰	۸	۳۵	۱۳/۳۵



ب: محاسبات

تکرار اول	تکراردوم	تکرارسوم		
۲۵۷۵	۲۵۷۵	۲۵۸۵	V	حجم آب تخلیه شده توسط بیلر (سانتی متر مکعب)
۲۴/۵	۲۴/۸	۲۴/۳	y_o	عمق پایین افتادن سطح ایستابی پس از پمپاژ (سانتی متر)
۵/۷۸	۵/۷۵	۵/۸۲	r	شعاع چاهک انتخابی (سانتی متر)
۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۳	$\Delta y/\Delta t$	شیب بهترین خط (سانتی متر بر ثانیه)
۲۲/۷	۲۳/۱	۲۲/۷	$\bar{y} = (y_o + y_n)/2$	سانتی متر
۱۶۰	۱۶۰	۱۶۰	H	فاصله سطح ایستابی متعادل تا کف چاهک(سانتی متر)
< H/2	< H/2	< H/2	S	فاصله کف چاهک تا لایه محدود کننده (سانتی متر)
۷۵	۷۵	۷۵	C	فاصله ضریبی که از معادله (۴۰) یا (۴۱) محاسبه می‌شود
۲/۶	۲/۶	۲/۶	$K = C(\Delta y/\Delta t)$	(سانتی متربرروز)



۵-۵ محاسبات

۵-۵-۱ محاسبه هدایت هیدرولیک

برای محاسبه هدایت هیدرولیک از معاله ۳۹ استفاده می‌شود (شکل ۱۵):

$$K = C\frac{\Delta y}{\Delta t} \qquad (۳۹)$$

که در آن:

$\frac{\Delta y}{\Delta t}$ سرعت متوسط خیز سطح آب در چاهک بر حسب سانتی‌متر بر ثانیه. که با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده از اندازه‌گیری، مشخص شده و مقدار آن برابر است با شیب خط تغییرات (t و y) در محدوده $y \le \frac{1}{4} y_{\circ}$؛

K هدایت هیدرولیک برحسب سانتی‌متر بر روز؛

C ضریبی که تابع مقادیر s,r,H,y است و مقدار آن در معادله ارنست برای دو حالت ویژه به شرح زیر تعیین می‌شود:

$$C = \frac{400000\,r}{(H/r+20)(2-y/H)y} \quad S \ge \frac{H}{2} \qquad (۴۰)$$

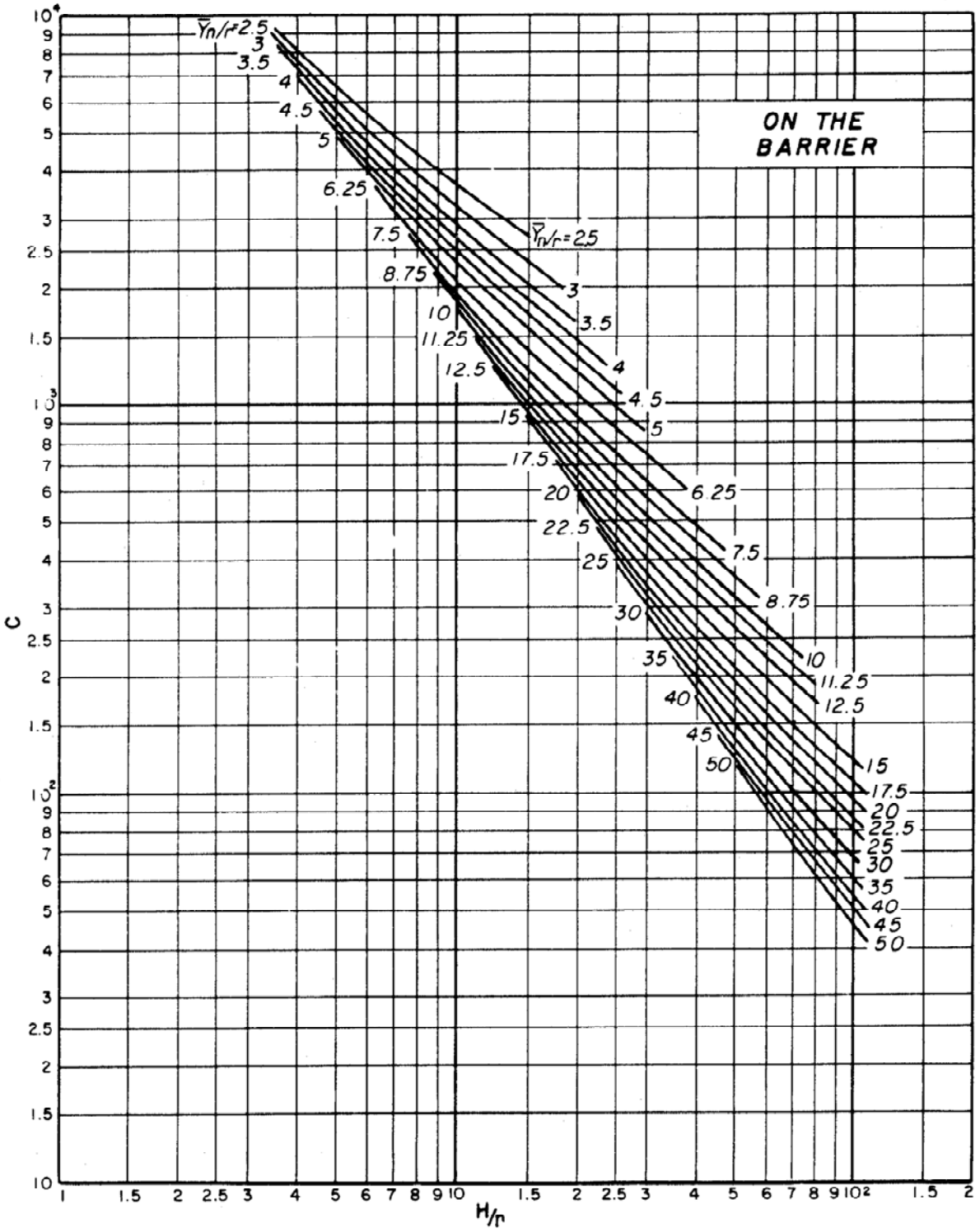
$$C = \frac{360000}{(H/r+10)(2-y/H)y} \quad S = o \qquad (۴۱)$$

برای حالتی که $H/2 > S > 0$ باشد، برای تعیین C فرمول ویژه‌ای معرفی نشده است. بنابراین می‌توان مقدار آن را با روش درون‌یابی بین دو مقدار نظیر $S = 0$ و $S = H/2$ در نظر گرفت. از آن‌جا که فقط ضخامت محدودی از لایه‌های زیرین چاهک (در حدود ۱۰ سانتی‌متر تا ۱۵ سانتی‌متر) در جریان آب به آن موثر است ، به‌طور کلی می‌توان از معادله نظیر $S \ge H/2$ استفاده نمود. در هرحال تفاوت مقادیر C به دست آمده برای دو حالت $S = 0$ و $S > H/2$، با افزایش H کمتر خواهد بود.

برای تعیین مقدار C می‌توان از نمودارهای ارائه شده در شکل‌های ۱۷ و ۱۸ نیز استفاده نمود.

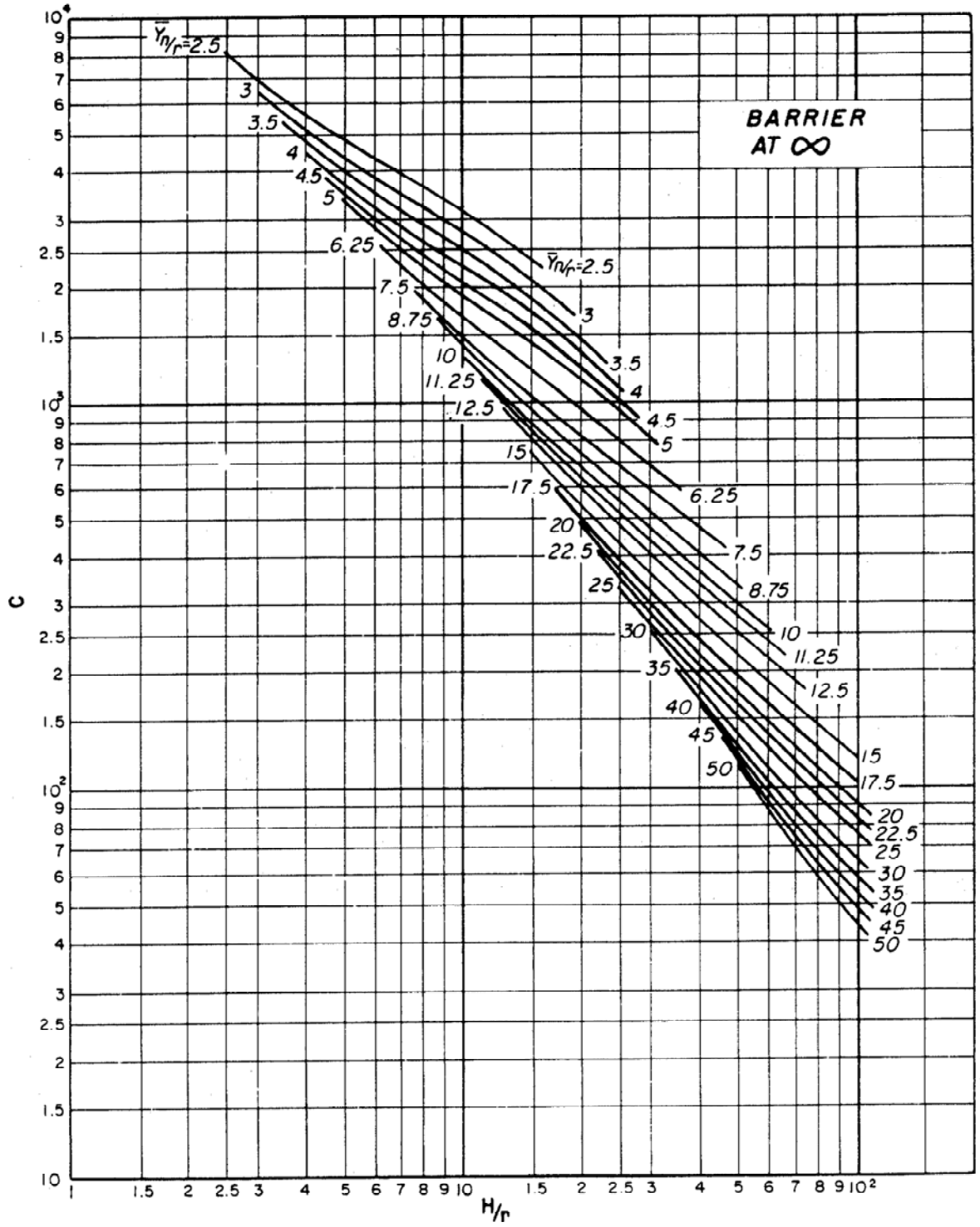
۵-۵-۲ خطاهای محتمل در اندازه‌گیری‌ها و محاسبات

- حداکثر خطاهای محتمل در استفاده از گراف (برای تعیین C) حدود ۵ درصد است.
- اگر در تعیین H و y خطایی صورت گرفته باشد، متناسب با آن‌ها در مقادیر K تأثیر می‌گذارد. به‌طور مثال ۱ درصد خطا در اندازه‌گیری H ، همین میزان خطا در تعیین K را دربر دارد.
- ۰٫۵ سانتی‌متر خطا در تعیین شعاع چاهک (r) ، حدود ۲۰ درصد خطا در تعیین K را در پی خواهد داشت.



شکل ۱۷- مقادیر C، وقتی انتهای چاهک روی لایه محدود کننده باشد

(برمبنای روش ارنست)



شکل ۱۸- مقادیر C، وقتی انتهای چاهک در فاصله زیادتری بالاتر از لایه محدود کننده قرار گیرد (بر مبنای روش ارنست)

۶ روش چاهک معکوس

۶-۱ کلیات

هدف از انجام آزمون تعیین هدایت هیدرولیک به روش چاهک معکوس[1] که در ایران به طور متداول به آن روش پورشه گفته می‌شود، به‌دست آوردن هدایت هیدرولیک اشباع خاک در بالای سطح ایستابی در محل[2] است. این روش در ایران متداول‌ترین شیوه اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک اشباع خاک در شرایط بالای سطح ایستابی به شمار می‌رود.

عقیده بیشتر کارشناسان بر این است که این روش در شرایط بالای سطح ایستابی، نتیجه‌های واقع‌بینانه‌تری را نسبت به روش تزریق به چاهک سطحی[3] به‌دست می‌دهد. این شیوه در مناطقی کاربرد دارد که ممکن است تمام یا قسمتی از اراضی آن در زمان مطالعه دارای مشکل زهکشی نباشد؛ اما انتظار رود که در اثر اعمال آب آبیاری یا آبشویی با این مشکل مواجه شود و به این سبب، طراحی زهکشی زیرزمینی در شرایط حاضر در آن‌ها قابل پیشنهاد است. به عنوان مثال می‌توان از بخش‌هایی از شبکه آبیاری مغان، کشت و صنعت نیشکر هفت‌تپه، کارون و طرح‌های هفتگانه توسعه نیشکر در خوزستان نام برد که در زمان مطالعه، تمام یا بخش‌هایی از آن‌ها با مشکل زهکشی مواجه نبوده ولی انتظار می‌رفته است که در آینده نتوانند بدون انجام زهکشی، کشت و آبیاری شوند. روش تزریق به چاهک نیز روش دیگری است که در شرایط مشابه می‌توان از آن استفاده کرد. این روش در بخش بعد مورد بحث قرار می‌گیرد.

۶-۲ روش کار

مراحل مختلف انجام کار عبارت است از: انتخاب موقعیت نقاط اندازه‌گیری، انتخاب عمق اندازه‌گیری، حفر و آماده‌سازی چاهک، آب اندازی برای اشباع کردن خاک و در نهایت اندازه‌گیری و محاسبه هدایت هیدرولیک می‌باشد.

۶-۲-۱ انتخاب موقعیت نقاط

انتخاب موقعیت نقاطی که در آن اندازه‌گیری به این روش انجام می‌گیرد، در اصل تابع برنامه‌ای است‌که برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک خاک در یک منطقه تنظیم می‌شود. معیار اساسی که باید مدنظر قرار گیرد این است که اطلاعات کافی به گونه‌ای گردآوری شود که با استفاده از آن‌ها بتوان ارتباط مناسبی بین ویژگی لایه‌ها و مشخصات هیدرودینامیکی خاک‌های منطقه به دست آورد. با این حال، رعایت نکات زیر پیشنهاد می‌گردد:

- اندازه‌گیری در مجاورت نقاطی صورت گیرد که در آن نقاط، از قبل، چاهک مشاهده‌ای حفر شده و لایه‌های خاک به دقت شناسایی شده باشد.

1 - Inversed Auger Hole Method
2 - In - Situ
3 - Shallow Well Pump – in Test

- مکان انتخاب شده برای آزمون از نظر ویژگی‌های فیزیوگرافی و توپوگرافی مشابه با اراضی پیرامون خود باشد. به‌طوری‌که نتیجه‌های به‌دست آمده از آزمون، قابلیت تعمیم داشته باشد. به‌طور مثال، انجام آزمون روی یک تپه یا بلندی موضعی یا در بستر یک آبراهه یا گودال موضعی نمی‌تواند معرف وضعیت اطراف باشد.
- در خاک‌های ناهمگن[1]، تراکم اندازه‌گیری‌ها متناسب با آن افزایش داده شود.
- تا حد امکان نقاطی برای آزمون انتخاب شود که در آن لایه‌های خاک ضخیم باشد، به‌طوری‌که نتیجه آزمون را بتوان شاخص هدایت هیدرولیک آن لایه تلقی نمود. معیار تعریف شده‌ای برای حداقل ضخامت لایه برای اندازه‌گیری K با این روش وجود ندارد. برحسب تجربه پیشنهاد می‌شود که این ضخامت کمتر از ۰/۶ متر نباشد.

۶-۲-۲ شناسایی لایه‌های خاک و تنظیم برنامه آزمون

در هر نقطه که برای انجام آزمون انتخاب می‌شود، ابتدا باید بررسی‌های لازم به منظور شناسایی لایه‌های خاک، عمق لایه محدودکننده و یا تراز سطح آب زیرزمینی صورت پذیرد تا براساس آن بتوان برنامه اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک خاک را تنظیم کرد. بدین منظور اغلب، چاهکی تا عمق مناسب (به‌طور معمول ۵ متر تا ۶ متر) حفر و لایه‌های خاک در نیمرخ آن و همچنین وضعیت آب زیرزمینی مشخص می‌گردد. سپس با استفاده از این اطلاعات، عمق مورد نظر برای انجام آزمون هدایت هیدرولیک تعیین می‌شود. در بعضی نقاط، وضعیت آب زیرزمینی به گونه‌ای است که در آن نقاط می‌توان از هر دو روش تعیین هدایت هیدرولیک (بالا و زیر سطح ایستابی) استفاده نمود. بدین معنی که در لایه‌های خاک زیرسطح آب زیرزمینی، هدایت هیدرولیک را با روش اشباع و در بالای آن به روش غیر اشباع اندازه‌گیری کرد. پیشنهاد می‌شود که در این‌گونه نقاط، اندازه‌گیری با دو روش متفاوت انجام و نتیجه مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

در برنامه‌ریزی برای انجام آزمون پورشه در یک نقطه مشخص، رعایت نکات زیر پیشنهاد می‌شود:

- اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک در زیر لایه محدود کننده ضرورتی ندارد و اگر لایه محدود کننده به‌وضوح در نیمرخ خاک شناسایی شود، اندازه‌گیری‌ها باید برای لایه‌های خاکی که در بالای لایه گفته شده قرار دارد، اجرا گردد.
- با توجه به این‌که در نتیجه معادلات این روش، نفوذ آب ازکف چاهک نیز منظور شده است، بهتر است عمق چاهک آزمون به گونه‌ای انتخاب شود که کف چاهک با لایه محدود کننده و یا سطح آب زیرزمینی حداقل ۰/۵ متر فاصله داشته باشد. در فاصله‌های نزدیک‌تر، ممکن است بالا آمدن آب زیرزمینی در اثر نفوذ آب، در نتیجه آزمون اثر بگذارد.

1 - Heterogeneous

- برنامه آزمون طوری تنظیم شود که اندازه‌گیری تا حد امکان در یک لایه مشخص صورت گیرد. انجام آزمون در خاکی که ازچندین لایه تشکیل شده باشد، به ویژه اگر لایه‌ها از نظر آب‌گذری با یکدیگر اختلاف قابل ملاحظه‌ای داشته باشند نتیجه‌گیری را با مشکل روبرو می‌کند. در شرایط متعارف، اگر وضعیت لایه‌های خاک محدودیتی ایجاد نکند، اندازه‌گیری در عمق‌های بین حدود ۱ متری تا ۲٫۵ متری انجام می‌پذیرد.
- برنامه آزمون به گونه‌ای تنظیم شود که عمق ستون آب در چاهک، از حدود ۰٫۶ متر کمتر نباشد.

۶-۲-۳ حفر و تجهیز چاهک آزمون

حفر چاهک برای آزمون چاهک معکوس در خاک غیر اشباع انجام می‌گیرد و بنابراین احتمال روبرو شدن با اشکالاتی مشابه با آن‌چه که در حفاری در زیر سطح آب وجود دارد بسیار کمتر است. با این حال برای حفر چاهک و آماده کردن آن برای آزمون رعایت نکات زیر پیشنهاد می‌شود:

- چاهک باید به گونه‌ای حفر شود که تا حد امکان حداقل به‌هم خوردگی در جدار آن به‌وجود آید. این امر در خاک‌هایی که به هر دلیل، به ویژه به علت چسبندگی کم بین ذرات، ناپایدار بوده و احتمال ریزش جداره چاهک در آن‌ها وجود دارد، از اهمیت بیشتری برخوردار است.
- باید دقت شود که چاهک به صورت قائم حفر شود. در چاهک‌هایی که محور آن انحراف دارد، ممکن است به علت تماس و چسبیدن شناور به بدنه چاهک اندازه‌گیری با اشکال روبرو شود.
- هنگام حفر چاهک، لایه‌های خاک به ویژه در عمق‌های مورد نظر برای آزمون، دوباره وارسی شود تا از انطباق ویژگی‌های خاک با آن‌چه که از بررسی‌های تشخیص لایه‌بندی به دست آمده و مبنای برنامه‌ریزی قرارگرفته اطمینان به‌دست آید. در دشت‌های آبرفتی و به ویژه در دشت‌های سیلابی، احتمال تغییر لایه‌های خاک حتی در فاصله‌های بسیار کم وجود دارد.
- پیشنهاد می‌شود در خاک‌های رسی و سخت، حفاری چاهک در دو مرحله صورت گیرد. در مرحله اول چاهک را با مته‌ای باریک (به قطر حدود ۴ سانتی‌متر) تا عمق مورد نظر حفر نمود و سپس آن را با مته‌ای که برای حفر چاهک آزمون به کار برده می‌شود فراخ کرد. در این صورت، فشردگی جدار چاهک بسیار کمتر شده و نتیجه مطمئن‌تری از آزمون به‌دست خواهد آمد. رعایت این نکته بدون این‌که کار اضافی قابل ملاحظه‌ای را به گروه آزمون کننده تحمیل کند، دقت آزمون را افزایش می‌دهد. براساس تجربه‌های موجود، سادگی انجام آزمون در چاهک‌هایی که قطر ۷ سانتی‌متر تا ۱۰ سانتی‌متر دارند بیشتر است.

۶-۲-۴ خراشیدن دیواره چاهک

در هنگام حفاری چاهک، به‌طور معمول در سطح جدار آن، قشری از خاک به صورت فشرده شده باقی می‌ماند که به‌طور کلی باعث بسته شدن منفذهای خاک می‌گردد. برای حل این مشکل، پیشنهاد می‌شود قبل از این‌که آخرین مته حفاری به کار برده شود (حدود ۱۰ سانتی‌متر مانده به کف چاهک) با استفاده از

خراش‌دهنده، قشر فشرده شده را در هم شکسته و منفذهای خاک را بازگشایی کرد. بدین منظور خراش‌دهنده با فشار ملایم و به آهستگی روی دیواره چاهک کشیده می‌شود و سپس آخرین قسمت حفاری چاهک تکمیل می‌گردد تا ضمن این‌که کف چاهک به عمق مورد نظر برسد، تراشه‌های خاک از بدنه چاهک نیز بیرون آورده شود.

۶-۲-۵ نصب لوله جدار

ضرورت نصب لوله جدار به ویژگی‌های خاک و شرایط حفر چاهک بستگی دارد. اگر از پایداری خاک ضمن انجام آزمون اطمینان به‌دست آید، الزامی به نصب لوله جدار نخواهد بود ولی به‌طور کلی پیشنهاد می‌شود در هر شرایطی پس از پایان عملیات حفاری و قبل از آب‌اندازی چاهک، لوله جدار مشبک در آن کارگذاری شود. انجام این کار بدون این‌که زحمت یا هزینه قابل توجهی را تحمیل نماید، ضامن سلامت کار و درستی آزمون و در نهایت صرفه‌جویی در وقت خواهد بود.

۶-۲-۶ آب اندازی و انجام آزمون

برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک اشباع خاک با روش چاهک معکوس، ابتدا باید خاک بدنه چاهک در عمق مورد نظر برای آزمون به‌طور کامل از آب اشباع شود و سپس اندازه‌گیری انجام گیرد. بدین منظور ضروری است که قبل از اندازه‌گیری، به مدت کافی آب در درون چاهک وجود داشته باشد تا خاک بدنه و کف چاهک سیراب شود.

۶-۲-۶-۱ اشباع کردن خاک جدار و کف چاهک

معادله‌های مورد استفاده در محاسبه مقدار هدایت هیدرولیک برای شرایطی کاربرد دارد که خاک جدار و کف چاهک اشباع باشد ($P = O$). بدین ترتیب در شرایط عملی نیز باید قبل از آغاز اندازه‌گیری، چاهک را چند مرتبه متوالی تا عمق مورد نظر آب اندازی نمود و فرصت داد تا آب در چاهک نفوذ نماید. مقدار آبی که باید برای اشباع کردن خاک بدنه چاهک در آن نفوذ داده شود، به بافت و آب‌گذری خاک و رطوبت اولیه آن بستگی دارد. به‌طور معمول در خاک‌های سبک، حجم آب مورد نیاز برای اشباع کردن بدنه چاهک بیشتر از خاک‌های سنگین است. به همین‌ترتیب اگر رطوبت اولیه خاک قابل ملاحظه باشد، به حجم کمتری آب نیاز خواهد داشت.

روند پایین رفتن آب در چاهک که برای انجام آزمون اندازه‌گیری می‌شود، می‌تواند برای تشخیص اشباع بودن خاک مورد استفاده قرار گیرد. هرگاه نمایش تغییرات $h+\frac{1}{2}r$ (برحسب سانتی‌متر) و t (برحسب ثانیه) روی کاغذ نیمه‌لگاریتمی، امتداد یک خط راست را به دست دهد، می‌توان خاک را اشباع شده دانست ولی اگر نمایش این تغییرات منحنی باشد، خاک اشباع نشده است و باید باز هم به آب‌اندازی چاهک ادامه داد. چنان‌چه در فاصله زمانی مشخص (به عنوان مثال ۱۰ دقیقه)، مقدار آب نفوذ یافته، به حد نسبتاً ثابتی نیز برسد، می‌توان خاک را اشباع شده تلقی کرد.

باید توجه شود که آب اندازی چاهک برای اشباع کردن خاک بدنه آن کار وقت‌گیری است و زمانی طولانی لازم است تا آب کافی در خاک نفوذ کند؛ به همین دلیل می‌توان پیشنهاد کرد که باید مقدماتی تدارک شود تا بدون این‌که وقت پرسنل صحرایی یا کارگر برای نظارت و پیگیری عملیات آب‌اندازی صرف شود، آب به صورت خودکار در چاهک نفوذ نماید. برای این منظور کافی است مخزن‌هایی با گنجایش حدود ۲۰۰ لیتر تهیه و ترتیبی داده شود که آب به شکل کنترل شده از مخزن به چاهک وارد شود. برای کنترل ورود آب به چاهک می‌توان از شیرهای مجهز به شناور (مشابه با شناور کولرهای آبی) استفاده کرد. شناور این شیرها در درون چاهک بر سطح آب (و عمق مورد نظر) تنظیم می‌شود. با پایین رفتن آب، شیر باز می‌شود و هرگاه سطح آب به عمق مورد نظر رسید، شناور به صورت خودکار شیر را می‌بندد. در شکل ۱۹ نمونه‌ای از تجهیزات مناسب برای این منظور نمایش داده شده است.

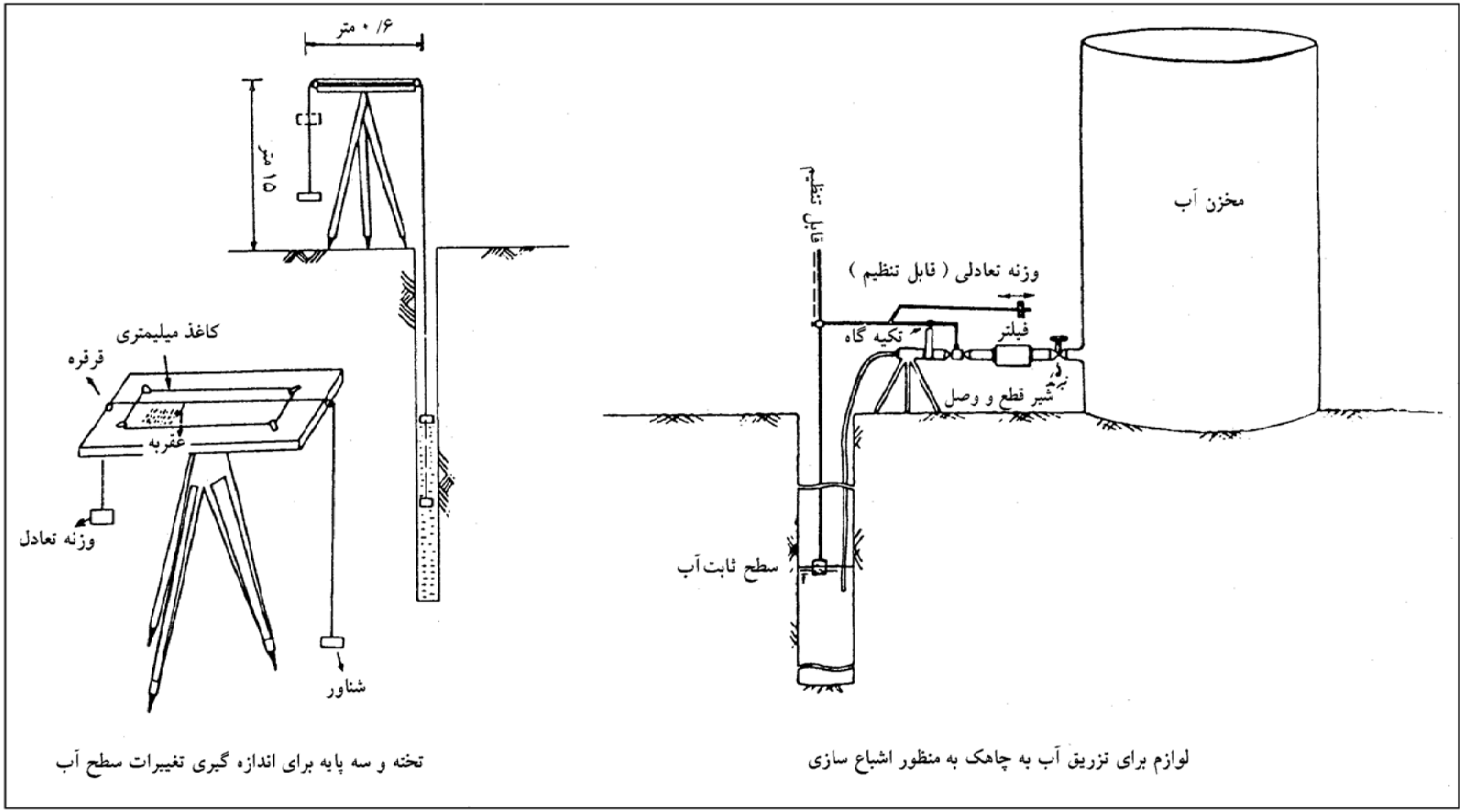
۶-۲-۶-۲ اندازه‌گیری برای آزمون

پس از مطمئن شدن از اشباع شدن خاک مجاور چاهک، اندازه‌گیری انجام می‌گیرد. مراحل مختلف کار به‌شرح زیر است:

۶-۲-۶-۲-۱ استقرار تخته و سه‌پایه روی چاهک تخته و سه‌پایه به گونه‌ای متناسب با قد کاردان مربوط، روی چاهک قرار داده می‌شود تا تخته در ارتفاعی قرار گیرد که وی بتواند به آسانی اندازه‌گیری‌ها را پیگیری کند. در ضمن تخته و سه‌پایه باید به‌شکلی روی چاهک تنظیم شود که شناور دستگاه در محور چاهک قرار گیرد. به دنبال آن، کاغذ میلی‌متری روی تخته نصب و عقربه علامت‌گذاری طوری تنظیم می‌شود که وقتی که چاهک پر آب است (در ابتدای شروع آزمون)، عقربک در یک انتهای کاغذ قرار بگیرد و به‌تدریج که شناور روی سطح آب پایین می‌رود، عقربک نیز به سمت انتهای دیگر کاغذ حرکت کند. این تنظیمات را می‌توان در هنگام آخرین آب‌اندازی چاهک (در مرحله اشباع سازی) به عمل آورد به‌طوری‌که هنگام آزمون نهایی همه چیز برای کار آماده باشد.

۶-۲-۶-۲-۲ آب اندازی چاهک و اندازه‌گیری تغییرات سطح آب پس از آماده شدن وسایل اندازه‌گیری، چاهک تا عمق مورد نظر آب‌اندازی شده و شناور دستگاه روی آن قرار داده می‌شود. به دنبال آن، اولین علامت با درج زمان مربوط به آن روی کاغذ ثبت می‌شود و در فاصله‌های زمانی بعدی، دیگر مشاهدات از تغییرات سطح آب و زمان‌های مربوط نیز روی کاغذ منعکس می‌گردد. بدین ترتیب مجموعه‌ای از اطلاعات از تغییرات h و t به‌دست می‌آید که برای محاسبه مقدار هدایت هیدرولیک به‌کار برده خواهد شد. فاصله‌های زمانی مناسب برای اندازه‌گیری‌ها، بر حسب سرعت پایین رفتن سطح آب تغییر می‌کند. پیشنهاد می‌شود قرائت‌های متوالی از تغییرات سطح به گونه‌ای انجام گیرد که حداقل به ازای هر ۲ سانتی‌متر پایین رفتن سطح آب، یک مشاهده ثبت شود. حداقل مشاهدات برای بررسی روند تغییرات افت سطح آب با زمان، چهار نوبت پیشنهاد می‌شود. همچنین قابل پیشنهاد است که اندازه‌گیری‌ها در سه تکرار جداگانه انجام و نتیجه آن‌ها به‌طور جداگانه ثبت گردد.

پیشنهاد می‌شود که اطلاعات به‌دست آمده به‌سرعت پس از پایان اندازه‌گیری‌ها به صورت جدول برگه ۵ تنظیم شده و نمودار تغییرات h و t آن رسم شود تا در صورتی‌که اشکال پیش‌بینی نشده‌ای در کار رخ داده باشد، بتوان آن را برطرف نمود و در صورت ضرورت آزمون را تکرار کرد.



شکل ۱۹- لوازم و ابزار آزمون چاهک معکوس

برگه ۵- ثبت اطلاعات صحرایی اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک اشباع خاک (روش چاهک معکوس)

نام پروژه :　　نوع استفاده از زمین :　　عمق سطح ایستابی :　　سانتی‌متر

محل آزمون :　　نوع و مرحله رشد گیاه :　　شعاع چاهک (r) :　سانتی‌متر

نام آزمون کننده :　　تاریخ آزمون :　　عمق چاهک :　　سانتی‌متر

تکرار سوم						تکرار دوم						تکرار اول					
ردیف	t ثانیه	D′ cm	H cm	h cm	h+r/۲ cm	ردیف	t ثانیه	D′ cm	H cm	h cm	h+r/۲ cm	ردیف	t ثانیه	D′ cm	H cm	h cm	h+r/۲ cm

* مشاهدات چشمی در هنگام آزمون :

۳-۶ معادله مورد استفاده

معادله‌ای که برای محاسبه هدایت هیدرولیک اشباع خاک به روش چاهک معکوس (طبق شکل ۲۰) بـه کـار می‌رود، به صورت زیراست:

$$K=\frac{1.15r\left[\log(h_{\circ}+\frac{r}{2})-\log(h+\frac{r}{2})\right]}{t-t_{\circ}} \qquad (۴۲)$$

که در آن:

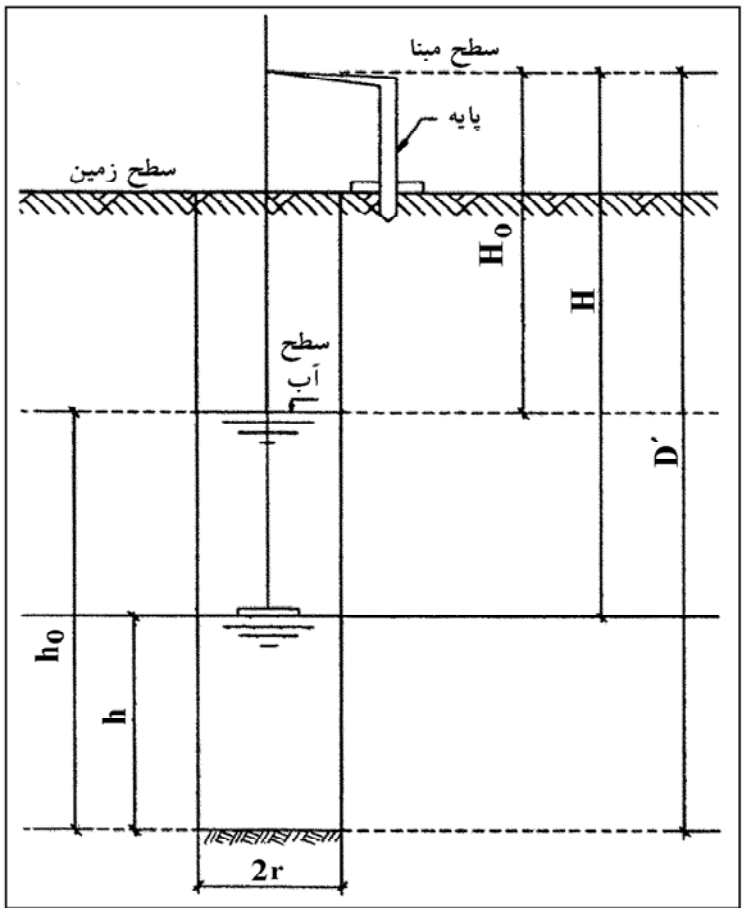
K هدایت هیدرولیک برحسب سانتی‌متر بر ثانیه؛

r شعاع چاهک برحسب سانتی‌متر؛

t زمان از شروع اندازه‌گیری افت سطح آب برحسب ثانیه؛

h_o ارتفاع ستون آب در چاهک در زمان t_o یا شروع اندازه‌گیری برحسب سانتی‌متر؛

h ارتفاع ستون آب در چاهک در زمان t برحسب سانتی‌متر.



شکل ۲۰- پارامترهای مورد استفاده در روش چاهک معکوس

در عمل، مقدار h از معادله زیر به دست می‌آید:

$$h = D' - H \qquad (۴۳)$$

که در آن:

D' عمق چاهک از سطح زمین (یا نسبت به سطح مبنا)؛ و

H عمق آب در لحظه t از سطح زمین (یا سطح مبنا).

وقتی مقادیر H و t در چند نوبت متوالی اندازه‌گیری شود، با استفاده از آن‌ها می‌توان مقدار K را محاسبه نمود. بدین منظور، روی کاغذ نیمه‌لگاریتمی، نقاط نظیر مقادیر $(h+\frac{1}{2}r)$ روی محور قائم لگاریتمی و مقادیر t روی محور افقی غیرلگاریتمی پیاده می‌شود. در شرایطی که خاک اشباع شده باشد، این نقاط امتداد یک خط راست را نشان خواهد داد که شیب آن $(tg\alpha)$ از معادله زیر به دست می‌آید:

$$tg\alpha = \frac{\log(h_{\circ} + \frac{1}{2}r) - \log(h + \frac{1}{2}r)}{t - t_{\circ}} \qquad (۴۴)$$

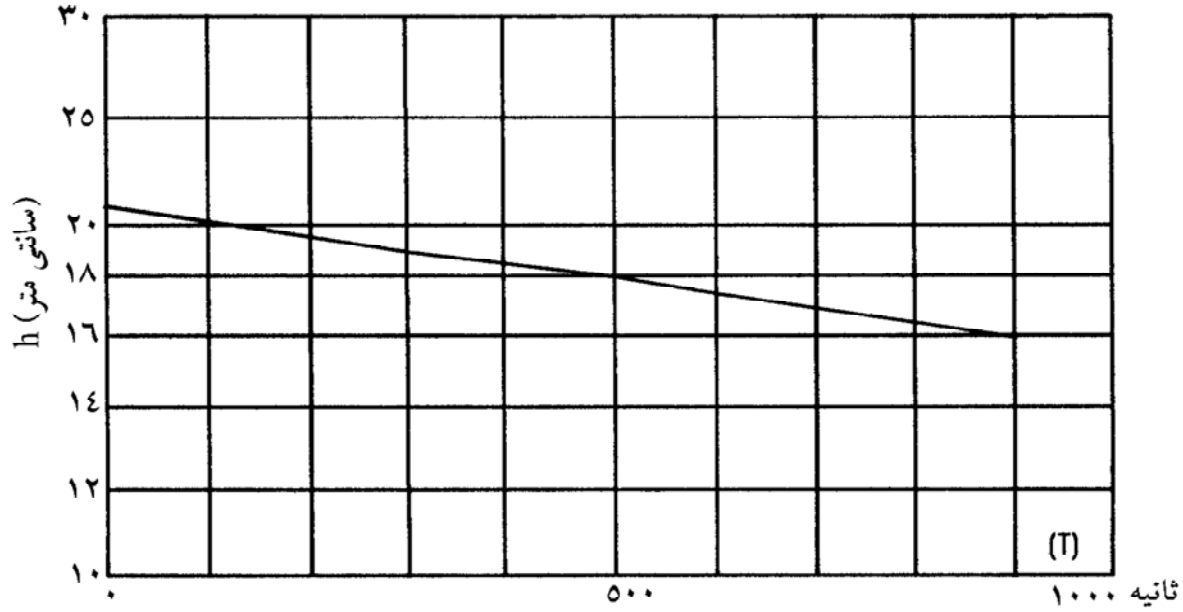
با مقایسه معادلات ۴۲ و ۴۴ می‌توان مقدار K را از معادله زیر نیز به دست آورد که K در معادله ۴۵ برحسب متر بر ثانیه و در معادله ۴۶ بر حسب متر بر روز است.

$$K = 0.0115.r.tga \qquad (۴۵)$$

$$K = 993.6.r.tg\alpha \qquad (۴۶)$$

۴-۶ مثال

در یک آزمون، نتیجه‌های به‌دست آمده از اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک اشباع خاک با بافت SiCL به شرح موارد مندرج در برگه ۵ ارائه شده است. با استفاده از نمودار (طبق شکل ۲۱)، در دو فاصله زمانی ۳۶۰ ثانیه و ۷۲۰ ثانیه، مقادیر نظیر $h+\frac{r}{2}$ به ترتیب برابر ۷۵٫۳ سانتی‌متر و ۶۹٫۴ سانتی‌متر به‌دست می‌آید که با جای‌گزینی این مقادیر در معادله ۴۲، مقدار هدایت هیدرولیک برابر ۰٫۴۴ متر بر روز به‌دست می‌آید. در همین نمودار می‌توان ابتدا مقدار $tg\alpha$ را محاسبه نمود ($tg\alpha = 0.00010$) و سپس با استفاده از معادله ۴۵ یا ۴۶ مقدار هدایت هیدرولیک برابر۰٫۴۴ متر بر روز را به دست آورد (برگه ۶ را ببینند).



شکل ۲۱- نمونه نمودار نمایش تغییرات h نسبت به t اندازه‌گیری شده در روش چاهک معکوس

۶-۵ موارد خطا و تقریب در آزمون چاهک معکوس

روش چاهک معکوس برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک در خاکی که به‌طور کلی غیر اشباع است، می‌تواند بالقوه دربردارنده خطاهایی باشد که بخشی از آن‌ها ناشی از طبیعت روش و بخشی دیگر خطاهای اندازه‌گیری است.

۶-۵-۱ تقریب های ذاتی

موارد مختلف خطا و تقریب که به‌طور ذاتی در این روش وجود دارد، به قرار زیر است:

۶-۵-۱-۱ متغیر بودن سطح آب در هنگام آزمون متغیر بودن سطح آب چاهک، بالقوه می‌تواند در روند انجام و نیز نتیجه‌گیری از آزمون در خاک‌های مطبق اشکالات و خطاهایی را به وجود آورد. در یک خاک مطبق که هدایت هیدرولیک لایه‌های آن تفاوت قابل ملاحظه دارد، پایین رفتن سطح آب از هر لایه باعث می‌شود که سهم آن لایه در جذب آب، حذف شده و در نتیجه روند تغییر سطح آب چاهک دگرگون گردد. در این شرایط ممکن است در امتداد منحنی تغییرات h و t شکستگی ایجاد شود که نتیجه‌گیری را مشکل و نامطمئن می‌سازد. برای کاهش اثرات ناشی از این پدیده پیشنهاد می‌شود اندازه‌گیری در شرایطی صورت گیرد که ستون خاک مورد آزمون یکنواخت و غیرمطبق باشد.

۶-۵-۱-۲ فرض یکسان بودن K در جهت‌های عمودی و افقی در بحث نظری برای استخراج معادلات نفوذ در این روش فرض شده که مقادیر K در دو جهت افقی (از بدنه چاهک) و عمودی (از کف چاهک) یکسان باشد (خاک هم روند باشد)، در حالی‌که به‌طور معمول مقدار K در جهت افقی چند برابر بیشتر از مقدار K در جهت عمودی است.

بدین ترتیب در طول آزمون، هرچه زمان بیشتر بگذرد و سطح آب در چاهک پایین‌تر رود، به‌طور فزاینده‌ای از سهم نفوذ افقی (از بدنه چاهک) در مقایسه با نفوذ عمودی (ازکف چاهک) کاسته می‌شود. با توجه به این‌که هر چه ارتفاع ستون آب درون چاهک بیشتر باشد آثار این پدیده کمتر است، بنابراین پیشنهاد می‌شود برنامه آزمون به گونه‌ای تنظیم و اجرا گردد که قبل از این‌که سطح آب به مقدار قابل ملاحظه‌ای پایین افتاده باشد اندازه‌گیری‌ها به پایان برسد.

۶-۵-۱-۳ نفوذ هوا در توده خاک در زمان اشباع کردن خاک بدنه چاهک، اگر چاهک به صورت متناوب آب‌اندازی شده و پر و خالی گردد، علاوه بر آب، هوا نیز در خاک نفوذ می‌کند و بخشی از خلل و فرج خاک را اشغال می‌کند. این پدیده در کیفیت اشباع محیط خاک اثر گذاشته و در جریان آب اختلال به‌وجود می‌آورد، به‌طوری‌که در نهایت به کاهش مقادیر اندازه‌گیری شده برای هدایت هیدرولیک منجر می‌گردد. پیشنهاد می‌شود برای اشباع کردن چاهک به ویژه در خاک‌های با هدایت هیدرولیک زیاد، از روش تغذیه پیوسته استفاده شود.

۶-۵-۱-۴ تغییرات دمای آب تغییرات دمای آب از طریق تأثیر روی لزوجت آب، باعث تغییر در شدت جریان آب در خاک می‌گردد. هدایت هیدرولیک اندازه‌گیری شده خاک را می‌توان برای دمای مورد نظر تصحیح کرد.

۶-۵-۱-۵ وضعیت لایه محدودکننده و آب زیرزمینی وقتی فاصله لایه محدودکننده نسبت به کف چاهک کم باشد می‌تواند در روند جریان آب در خاک اثر بگذارد. این پدیده در آزمون پورشه مورد توجه قرار نگرفته است.

۶-۵-۱-۶ کیفیت آب مورد استفاده آب مورد استفاده باید کیفیتی مشابه کیفیت آب درون خاک داشته باشد. استفاده از آب با کیفیت بهتر یا حتی استفاده از آب آبیاری می‌تواند موجب تخریب ساختمان خاک شده و هدایت هیدرولیک آن را به‌شدت تحت تأثیر قرار دهد.

۶-۵-۲ خطاهای اندازه‌گیری

در آزمون چاهک معکوس، منابع بالقوه خطا، در اندازه‌گیری یک یا چند مقدار ازمقادیر h، t و r است. چون مقادیر h به صورت $\log\frac{h_\circ+\frac{r}{2}}{h_t+\frac{r}{2}}$ در محاسبه K وارد می‌شود. خطاهای متداول اندازه‌گیری h نمی‌تواند اثر زیاد و چشم‌گیری بر محاسبه K بگذارد. علاوه بر این در اندازه‌گیری‌های متوالی انتظار نمی‌رود اندازه‌گیری مقادیر h خطای بیش از ۱ میلی‌متر تا ۳ میلی‌متر را به همراه داشته باشد.

اشتباه در اندازه‌گیری t متناسب ولی به‌صورت معکوس در محاسبه K اثرمی‌گذارد، به عبارت دیگر ۵ درصد خطا در محاسبه t باعث می‌شود تا به همین مقدار خطا در محاسبه K به وجود آید.

اثر اشتباه در اندازه‌گیری r همانند خطا در اندازه‌گیری h است.

برگه ۶- ثبت اطلاعات صحرایی اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک اشباع خاک (روش چاهک معکوس)

نام پروژه : بهبهان
نوع استفاده از زمین : آیش پس از گندم
عمق سطح ایستابی : ۳۱۰ سانتی‌متر

محل آزمون: D۲
نوع و مرحله رشد گیاه: ـــ
شعاع چاهک (r): ۴٫۴سانتی‌متر

نام آزمون کننده: مرتضوی
تاریخ آزمون: ۷۳/۳/۱۲
عمق چاهک: ۱۷۰ سانتی‌متر

تکرار سوم						تکرار دوم						تکرار اول					
ردیف	t ثانیه	D′ cm	H cm	h cm	h+r/2 cm	ردیف	t ثانیه	D′ cm	H cm	h cm	h+r/2 cm	ردیف	t ثانیه	D′ cm	H cm	h cm	h+r/2 cm
						۱	۰			۸۰	۸۲٫۲	۱	۰			۸۰	۸۲٫۲
						۲	۶۰			۷۸٫۷	۸۰٫۹	۲	۶۰			۷۸٫۹	۸۱٫۱
						۳	۱۲۰			۷۷٫۴	۷۹٫۶	۳	۱۲۰			۷۷٫۸	۸۰٫۰
						۴	۲۴۰			۷۵٫۳	۷۷٫۵	۴	۲۴۰			۷۵٫۶	۷۷٫۸
						۵	۳۶۰			۷۳٫۱	۷۵٫۳	۵	۳۶۰			۷۳٫۴	۷۵٫۶
						۶	۴۸۰			۷۰٫۹	۷۳٫۱	۶	۴۸۰			۷۱٫۴	۷۳٫۶
						۷	۶۰۰			۶۹٫۱	۷۱٫۳	۷	۶۰۰			۶۹٫۴	۷۱٫۶
						۸	۷۲۰			۶۷٫۲	۶۹٫۴	۸	۷۲۰			۶۷٫۵	۶۹٫۷
												۹					
												۱۰					

۷ روش تزریق به چاهک سطحی

۷-۱ کلیات

هدف از انجام آزمون هدایت هیدرولیک با روش تزریق به چاهک سطحی، به دست آوردن هدایت هیدرولیک اشباع خاک در بالای سطح ایستابی در محل است. در برخی از مناطق ممکن است در حال حاضر به‌طور فصلی و یا حتی در طول سال مشکلاتی از نظر زهکشی وجود نداشته باشد اما پس از گذشت مدتی این مشکلات بروز نماید. به عبارت دیگر ممکن است ابتدا سطح ایستابی یا لایه محدود کننده آن در عمق قابل ملاحظه‌ای از سطح زمین واقع شده و قبل از اجرای عملیات آبیاری هیچ‌گونه عامل محدود کننده‌ای برای رشد گیاه به شمار نرود. بنابراین پس از آبیاری و به‌خصوص چنان‌چه آب اضافی به زمین داده شود (در اثر پایین بودن راندمان آبیاری و یا آبشویی نمک)، سطح ایستابی به تدریج بالا آمده و پس از مدتی به منطقه ریشه می‌رسد. باید دانست که رسیدن سطح ایستابی به منطقه ریشه ممکن است به چند سال وقت احتیاج داشته باشد. در بیشتر موارد به علت لزوم زمان طولانی برای مطالعات، تأمین اعتبار و شناخت پتانسیل‌های زهکشی در زمان بروز مشکل زه‌آب، به صلاح است که از ابتدا پارامترهای تعیین فاصله‌های زهکشی از جمله هدایت هیدرولیک اشباع خاک مشخص شود.

۷-۲ روش انجام کار

انتخاب موقعیت و تراکم نقاط، پیاده کردن نقاط روی زمین، لایه‌بندی خاک و تنظیم برنامه آزمون و مسائل مربوط به کیفیت و دمای آب درست براساس مطالبی است که در بند ۴-۲-۷-۵ به آن‌ها اشاره شده است.

۷-۲-۱ اندازه‌گیری برای آزمون

پس از حفر و آماده‌سازی چاهک، مخزن مدرج و همچنین مخزن‌های اضافی از منبع مناسبی که در بند ۴-۲-۷-۵-۱ به آن اشاره شد پر می‌شود. لازم است که آب مورد نیاز برای آزمون تا حد امکان صاف باشد زیرا آب گل‌آلود و لای‌دار باعث گرفتگی دیواره چاهک گردیده و نتیجه‌های آزمون را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. برای رفع این مشکل، در مسیر ورود آب به چاهک از فیلتر استفاده می‌شود. در خاک‌های سدیمی باید آب مورد استفاده دارای (۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰) قسمت در میلیون املاح و ترجیحاً کلسیم باشد در صورتی‌که آب آبیاری بدون مقدار املاح گفته شده باشد، لازم است با استفاده از گچ محلول، میزان املاح خاک را به رقم بالا رساند. در ضمن بهتر است که آب مورد استفاده، از خاک مورد آزمون گرم‌تر باشد. علاوه براین در مناطقی که خطر یخبندان وجود دارد، پیشنهاد می‌شود آزمون در زمان مناسب دیگری انجام گیرد.

پس از نصب دستگاه و اطمینان از این‌که شیر و شناور به‌خوبی کار می‌کنند و همچنین اطمینان از تمیز بودن فیلتر، شیر فلکه مخزن مدرج را باز نموده و آب توسط شلنگ رابط از طریق شیر خودکار وارد چاهک شده و بسته به وضعیت خاک مجاور چاهک، سطح آب پس از مدتی توسط شناور در عمق مورد نظر تثبیت می‌گردد. بهتر است مخزن مدرج به‌طور مستقیم به مخزن آب اضافی متصل و سطح آب تثبیت شده‌ای در مخزن مدرج ایجاد گردد. در هر حال باید این اطمینان به‌دست آید که همیشه جریان آب به داخل چاهک برقرار باشد. یکی از راه حل‌ها تا آغاز اندازه‌گیری، استفاده از مخزن آب با حجم کافی است که به‌طور مستقیم به شلنگ رابط وصل می‌گردد. هر موقع که

حدود $\frac{2}{3}$ آب مخزن مدرج مصرف گردید، دوباره باید از آب پر شود. وقتی این اطمینان به‌دست آمد که همه چیز به‌خوبی کار می‌کند و به علاوه خاک مجاور چاهک نیز به مرحله اشباع نزدیک شده، بده خروجی از مخزن مدرج، درجه حرارت آب و سطح آب داخل چاهک را اندازه‌گیری نموده و هدایت هیدرولیک را به دفعات محاسبه نموده تا حداقل در سه تکرار متوالی، مقدار ثابتی برای هدایت هیدرولیک به‌دست آید. این کار ممکن است بین (۲ تا ۶) روز به طول انجامد (صرف وقت زیاد جهت شروع و تمام کردن آزمون توسط این روش از محدودیت‌های مهم این آزمون است). زمان ثبت خوانش‌ها برحسب وضعیت بافت و ساختمان خاک جداره چاهک تعیین می‌شود و حدود تغییرات آن از ۱۵ دقیقه تا ۲ ساعت است. اگر چه استفاده از ثبت‌کننده‌های خودکار الزامی نیست، ولی استفاده از این ابزار این مزیت را دارد که ثبت کاملی از حجم آب مصرف شده نسبت به زمان به‌دست می‌آید و روند تغییرات را مشخص می‌کند. علاوه بر این امکان مراجعه بعدی برای کنترل داده‌ها را فراهم می‌آورد.

۷-۲-۲ حجم آب مورد نیاز

اندازه‌گیری‌ها باید در شرایطی صورت گیرد که خاک مجاور چاهک به‌طور کامل اشباع شده باشد. برای اشباع کردن خاک مجاور چاهک و انجام آزمون بهتر است حجم آب مورد نیاز از ابتدا تخمین زده شود. میزان آب مورد نیاز به ارتفاع آب داخل چاهک و نیز بافت و ساختمان خاک بستگی دارد. اطلاعات مربوط به بافت و ساختمان خاک، پیش از این در برگه مطالعات لایه‌بندی درج شده است. با استفاده از نمودار ۱ می‌توان مقدار آب مورد نیاز برای آزمون توسط این روش را تخمین زد. این نمودار به‌خصوص در اندازه‌گیری در خاک‌های شنی مفید است زیرا آب در داخل چاهک در زمان بسیار کوتاهی تخلیه خواهد شد.

برای استفاده از این نمودار، باید آبدهی ویژه یا تخلخل مؤثر را از روی میزان هدایت هیدرولیک مورد انتظار، بافت و ساختمان خاک تخمین زد و با دانستن ارتفاع آب و شعاع چاهک، میزان کمترین و بیشترین مقدار آب مورد نیاز را برآورد کرد. به‌طور مثال، برای خاکی با هدایت هیدرولیک تخمینی متوسط (۰٫۵ متر بر روز تا ۱٫۵ متر بر روز) و آبدهی ویژه ۱۰درصد، در صورتی که ارتفاع آب داخل چاهک (h) ۱٫۵ متر و شعاع چاهک ۱۰ سانتی‌متر منظور شود، کمترین و بیشترین مقدار آب مورد نیاز به ترتیب ۰٫۵ متر مکعب تا ۰٫۶ مترمکعب و ۳٫۵ مترمکعب تا ۴ مترمکعب برآورد می‌گردد. در همین شرایط اگر ارتفاع آب داخل چاهک به ۲ متر افزایش یابد، کمترین و بیشترین مقدار آب مورد نیاز به ترتیب ۱ مترمکعب تا ۱٫۵ مترمکعب و ۸ متر مکعب برآورد می‌شود.

۷-۳ معادله‌های مورد استفاده

در این روش، بسته به موقعیت سطح ایستابی یا لایه محدود کننده، از دو معادله به شرح زیر استفاده می‌شود:

$$K=\frac{1440Q}{2\pi h^2}\left[\ln\left(\frac{h}{r}+\sqrt{\left(\frac{h}{r}\right)^2+1}\right)-1\right] \qquad T_u \geq 3h \qquad \text{حالت I} \qquad (۴۷)$$

$$K=1440Q\left[\frac{3\ln\frac{h}{r}}{\pi h(h+2Tu)}\right] \qquad 3h \geq T_u \geq h \qquad \text{حالت II} \qquad (۴۸)$$

که در آن‌ها:

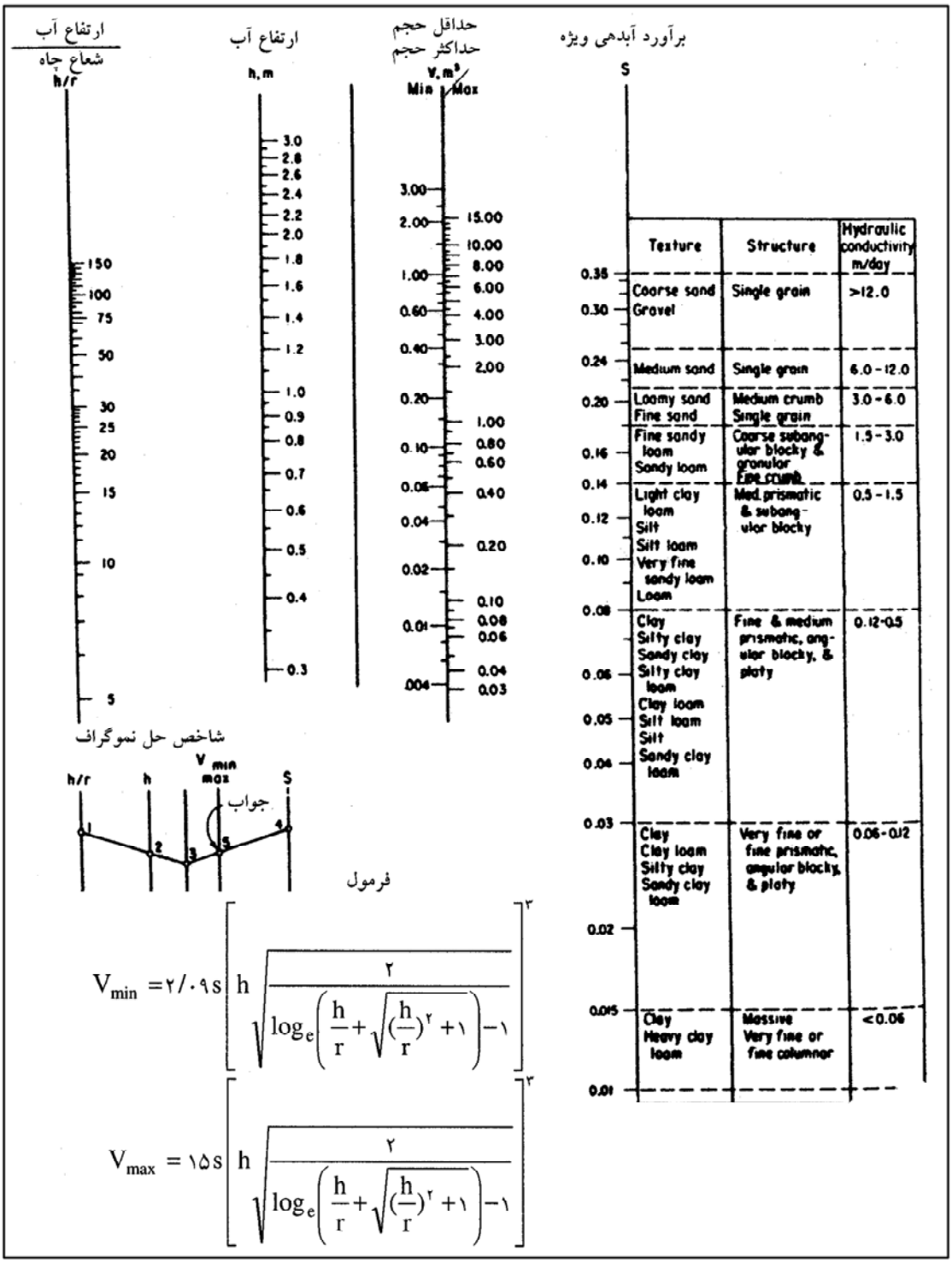
K هدایت هیدرولیک برحسب متر بر روز؛

r شعاع چاهک بر حسب متر؛

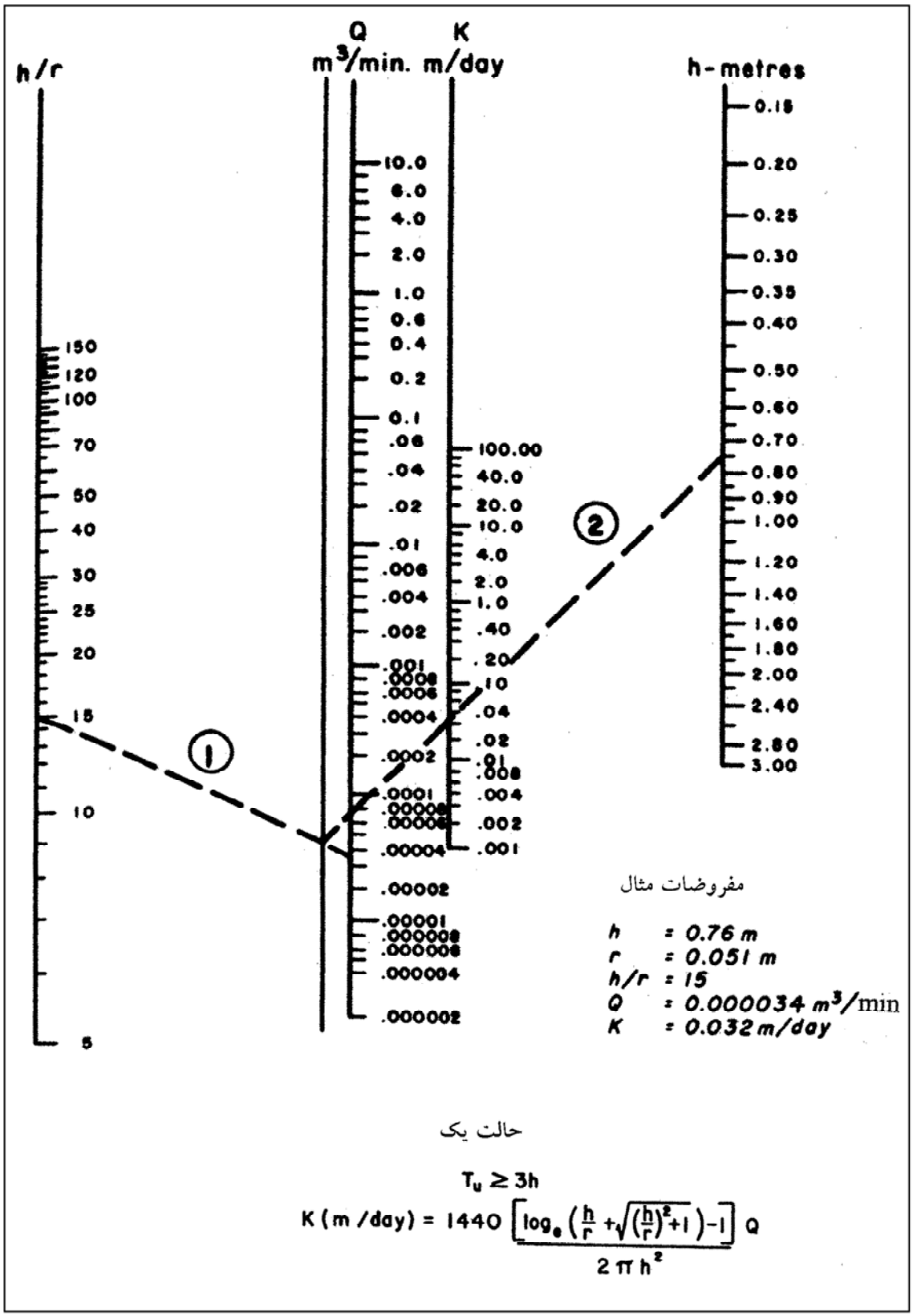
Q بده جریان برحسب متر مکعب بر دقیقه؛

h عمق آب در چاهک برحسب متر؛

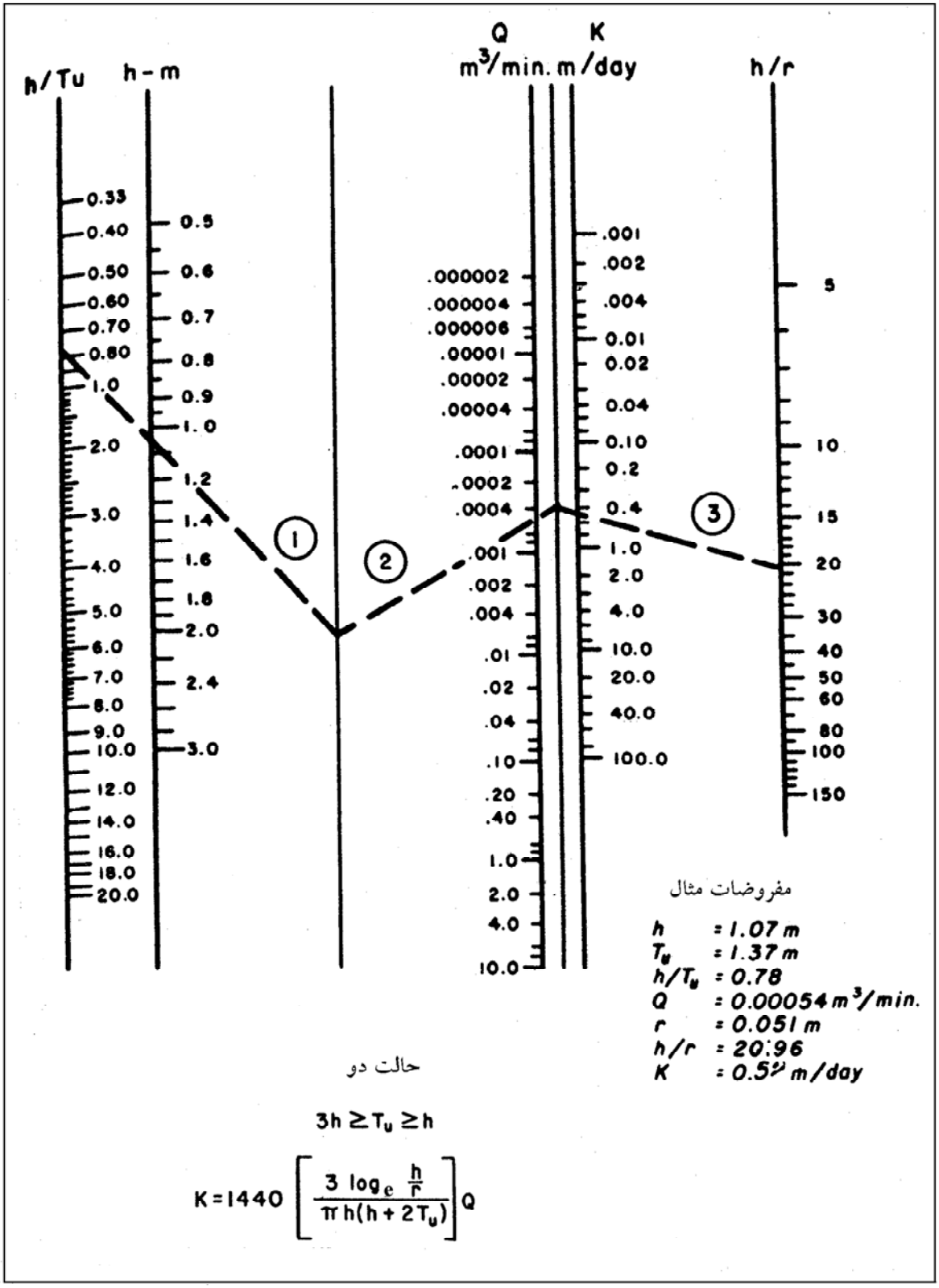
Tu فاصله کف چاهک تا سطح ایستابی یا لایه محدودکننده برحسب متر.



نمودار ۱- تخمین میزان کمترین و بیشترین مقدار آب مورد نیاز برای آزمون تزریق به چاهک



نمودار ۲- چگونگی محاسبه هدایت هیدرولیک اشباع خاک به روش تزریق به چاهک (حالت I)



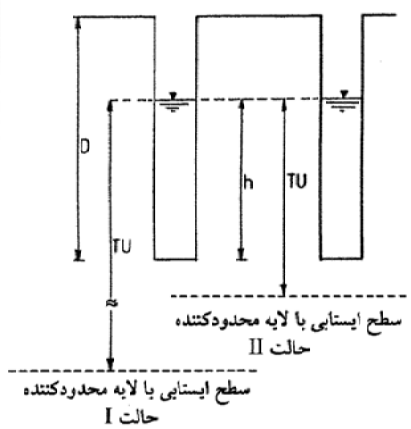
نمودار ۳- چگونگی محاسبه هدایت هیدرولیک اشباع خاک به روش تزریق به چاهک (حالت II)

برگه ۷- چگونگی ثبت اطلاعات محاسبات تعیین هدایت هیدرولیک اشباع خاک به روش تزریق به چاهک

عنوان پروژه :

شماره نقطه :

کلاس رطوبتی	بافت خاک	عمق (cm)	هدایت هیدرولیک K (m/min)	بده اصلاح شده (m³/min)	لزوجت آب سانتی‌پواز	درجه حرارت آب (c)	بده آب مصرف شده (m³/min)	حجم آب مصرفی (m)	قرائت آب مخزن	زمان سپری شده (min)	زمان	
											ساعت	تاریخ
		۰										
		۵۰										
		۱۰۰										
		۱۵۰										
		۲۰۰										
		۲۵۰										
		۳۰۰										
		۳۵۰										
		۴۰۰										
		۴۵۰										
		۵۰۰										
		۵۵۰										
		۶۰۰										



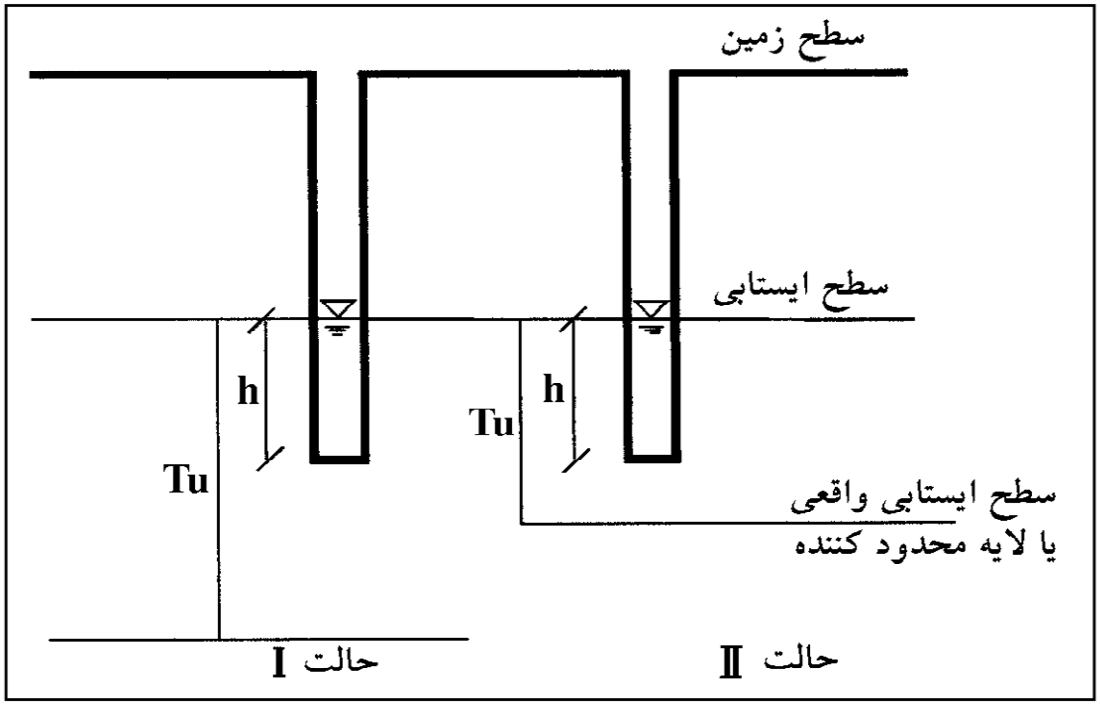
حالت I $Tu \geq 3h$ حالت II $3h \geq Tu \geq h$

حالت I $K = 1440[Ln(h/r+\sqrt{(h/r)^2+1})-1]Q/2\pi h^2$

حالت II $K = 1440\ [(2Ln\ h/r)/\pi h(h+2Tu)]Q$

پارامترهای ثابت معادله تعیین هدایت هیدرولیک		
	TU=	D=
	r=	h=

شکل ۲۲، پارامترهای مورد استفاده در روش تزریق به چاهک سطحی را نشان می‌دهد.



شکل ۲۲- پارامترهای مورد استفاده در روش تزریق به چاهک سطحی

هدایت هیدرولیک اشباع خاک را در این روش می‌توان از نمودارهای ۲ و۳ نیز به‌دست آورد.

۷-۴ ثبت اطلاعات

برگه ۷ برای ثبت اطلاعات صحرایی تنظیم شده است. چنان‌چه مشاهده می‌گردد، در این برگه برای تعیین هدایت هیدرولیک، بسته به وضعیت لایه محدود کننده یا سطح ایستابی، دو حالت I و II مشخص شده است. این اطلاعات از برگه‌های لایه‌بندی که از قبل تهیه شده به‌دست می‌آیند.

۷-۵ مثال

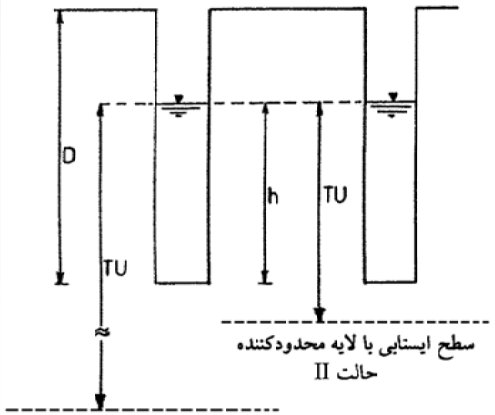
به منظور روشن شدن چگونگی محاسبات، نمونه‌ای از نتیجه‌های اندازه‌گیری‌ها در برگه ۷ نشان داده شده است. به‌طوری که مشاهده می‌شود، برای تعیین هدایت هیدرولیک، باید در هر خوانش، حجم آب خارج شده از مخزن از طریق ارتفاع آب خارج شده از آن در مدت معین با در نظر گرفتن درجه حرارت مبنا که در این مثال $20^{\circ}C$ در نظر گرفته شده است، تعدیل گشته و با توجه به عمق لایه محدودکننده یا سطح ایستابی تا کف چاهک و همچنین ارتفاع آب در چاهک، معادله مورد استفاده در تعیین هدایت هیدرولیک اشباع خاک مشخص گردد و در ضمن با استفاده از معادله مربوط، میزان هدایت هیدرولیک اشباع خاک تعیین شود. ارقامی که در سه تکرار یا بیشتر از سه تکرار متوالی، مقدار تقریباً ثابتی برای هدایت هیدرولیکی را نتیجه دهد، به عنوان هدایت هیدرولیک اشباع خاک منظور می‌گردد. به منظور تعیین هدایت هیدرولیک، به جای استفاده از روابط ارائه شده می‌توان از نمودارهای ۲ و ۳ نیز بهره جست (برگه ۸ را ببینید).

برگه ۸- چگونگی ثبت اطلاعات محاسبات تعیین هدایت هیدرولیک اشباع خاک به روش تزریق به چاهک

عنوان پروژه : نمونه

شماره نقطه : D۴

کلاس رطوبتی	بافت خاک	عمق (cm)
۲	SC CL	۰
۲	CL	۵۰
۲ ۳	SiCL CL	۱۰۰
۳	CL SC	۱۵۰
۳	SC	۲۰۰
۳	SC SiC	۲۵۰
۲	HC	۳۰۰
۳	SC	۳۵۰
۳	SiC	۴۰۰
۳	C	۴۵۰
۳	CL L	۵۰۰
۳	S	۵۵۰
		۶۰۰



I حالت $Tu \geq 3h$ II حالت ۳ $h \geq Tu \geq h$

I حالت $K = 1440[Ln(h/r+\sqrt{(h/r)^2+1})-1]Q/2\pi h^2$

II حالت $K = 1440\ [(3Ln\ h/r)/\pi h(h+2Tu)]Q$

پارامترهای ثابت معادله تعیین هدایت هیدرولیک

متر $D = 1/8$ متر $TU = 1/35$

متر $r = 0/05$ متر $h = 1/05$

هدایت هیدرولیک K (m/min)	بده اصلاح شده (m³/min)	لزوجت آب سانتی‌پواز	درجه حرارت آب (c)	بده آب مصرف شده (m³/min)	حجم آب مصرفی (m)	قرائت آب مخزن	زمان سپری شده (min)	زمان ساعت	زمان تاریخ
								۸	۱۲/۱۵
۱/۱۶	$۱۰/۹۸\times۱۰^{-۴}$	۱/۱۴۰۴	۱۵	$۹/۶۳\times۱۰^{-۴}$	۰/۱۷۳۳		۱۸۰	۱۱	۱۲/۱۵
۱/۱۳	$۱۰/۷۱\times۱۰^{-۴}$	۱/۱۴۰۴	۱۵	$۹/۳۹\times۱۰^{-۴}$	۰/۱۶۹۱		۱۸۰	۱۴	۱۲/۱۵
۰/۸۶	$۸/۰۷\times۱۰^{-۴}$	۱/۱۴۰۴	۱۵	$۷/۰۸\times۱۰^{-۴}$	۰/۱۶۹۹		۲۴۰	۱۸	۱۲/۱۵
۰/۶۱	$۵/۸\times۱۰^{-۴}$	۱/۱۴۰۴	۱۵	$۵/۰۹\times۱۰^{-۴}$	۰/۳۵۱۴		۶۹۰	۵/۳۰	۱۲/۱۶
۰/۶۳	$۵/۹۶\times۱۰^{-۴}$	۱/۱۱۱۱	۱۶	$۵/۳۶\times۱۰^{-۴}$	۰/۱۹۳۱		۳۶۰	۱۱/۳۰	۱۲/۱۶
۰/۶۱	$۵/۷۲\times۱۰^{-۴}$	۱/۰۱۹۹	۱۹	$۵/۵۵\times۱۰^{-۴}$	۰/۲۱۶۶		۳۹۰	۱۸	۱۲/۱۶
۰/۶۴	$۵/۹۸\times۱۰^{-۴}$	۱/۲۰۲۸	۱۳	$۴/۹۷\times۱۰^{-۴}$	۰/۳۴۲۶		۶۹۰	۵/۳۰	۱۲/۱۷
۰/۶۳	$۵/۹۵\times۱۰^{-۴}$	۱/۱۴۰۴	۱۵	$۵/۲۲\times۱۰^{-۴}$	۰/۱۸۷۷		۳۶۰		

* تزریق آب برای اشباع سازی بدنه چاهک از ساعت ۴ بعدازظهر روز قبل شروع شده است.

۸ روش نفوذ سنج گلف

۸-۱ کلیات

هدف از انجام آزمون هدایت هیدرولیک با روش نفوذسنج گلف، به‌دست آوردن هدایت هیدرولیک اشباع خاک در بالای سطح ایستابی در محل است. روش گلف یکی از روش‌های اندازه‌گیری با بار ثابت است که با کمک آن می‌توان هدایت هیدرولیک اشباع خاک را به‌دست آورد. این روش در دانشگاه گلف (Guelph) در انتاریو کانادا ابداع شده و از این روی، به روش گلف شهرت دارد. این روش مانند روش تزریق به چاهک است ولی اشکال اصلی آن را که نیاز به آب زیاد و زمان طولانی است نداشته و به همین سبب در سال‌های اخیر مقبولیت زیادی پیدا کرده است.

۸-۲ روش انجام کار

انتخاب موقعیت و تراکم نقاط، پیاده کردن نقاط روی زمین، لایه‌بندی خاک و تنظیم برنامه آزمون و مسائل مربوط به کیفیت و دمای آب، مانند مطالبی است که در بند ۴-۲-۷-۶ به آن‌ها اشاره شد.

۸-۳ اندازه‌گیری برای آزمون

پس از حفر و آماده‌سازی چاهک و اشباع خاک جداره چاهک (مانند آن‌چه در تعیین هدایت هیدرولیک به روش تزریق به چاهک آورده شد)، دستگاه نفوذسنج گلف را درون چاهک و در عمق مورد نظر قرارداده و در صورت لزوم دستگاه با سه‌پایه مهار می‌گردد. آب مورد استفاده، از منبع مناسبی که در بند ۴-۲-۷-۶-۳ به آن اشاره شد تأمین می‌شود. لازم است آب مورد آزمون صاف باشد، زیرا آب گل آلود و لای‌دار به‌علت گرفتگی منفذهای دستگاه نفوذسنج گلف و همچنین دیواره چاهک در مرحله اشباع کردن چاهک، باعث اختلال در انجام آزمون شده و نتیجه‌های آزمون را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. برای رفع این مشکل در مسیر ورود آب به چاهک در مرحله اشباع‌سازی، از فیلتر استفاده می‌شود. در هرحال، استفاده از آب گل آلود باعث تجمع لای در قسمت خروجی دستگاه نفوذسنج شده و باعث گرفتگی و عدم خروج آب از دستگاه به دیواره چاهک می‌گردد. از آن‌جا که این دستگاه به‌طور عمومی برای شرایطی ساخته شده که در آن عمق اندازه‌گیری ازحدود ۱ متر تجاوز نمی‌کند، ضرورت دارد که قبل از انجام آزمون، طول لوله خروجی به میزان مورد نظر افزایش داده شود تا بتواند هدایت هیدرولیک خاک در عمق‌های مورد نظر را اندازه‌گیری کند. پس از نصب دستگاه نفوذسنج، برای اندازه‌گیری و ثبت اطلاعات، مراحل زیر انجام می‌گیرد:

۱- لوله ورود هوا تا قسمت خروجی دستگاه پایین برده می‌شود. این عمل باعث جلوگیری ازخروج آب هنگام پر کردن مخزن از آب می‌گردد.

۲- در پوش بالای مخزن برداشته شده و به سمت بالای لوله ورود هوا لغزانده می‌شود. حلقه‌های O شکل بین درپوش و لوله هوا، بالای مخزن نگاه‌داشته می‌شود. مخزن دستگاه را می‌توان تا حدود ۳ سانتی‌متری زیر درپوش با آب پر کرد.

۳- درپوش به محل خود در بالای مخزن برگردانیده شده و هوای فشرده بین سطح آب داخل مخزن و درپوش، با باز کردن شیر تخلیه هوا[1] خارج می‌گردد.
۴- درپوش و قسمت‌های مربوط به آن را محکم کرده تا اطمینان به‌دست آید که هوابندی به‌طور کامل انجام شده و با این حال لوله ورود هوا امکان لغزش را دارد.
۵- در نفوذسنج نوع اول با بالا کشیدن لوله ورود هوا از قسمت خروجی دستگاه، جریان آب از داخل دستگاه به چاهک برقرار می‌گردد. باید توجه داشت که لوله ورود هوا را باید به‌آرامی بالا کشید زیرا جریان ناگهانی آب، باعث فرسایش جداره چاهک شده و همچنین باعث محبوس شدن بیش از حد هوا می‌شود. عمق دلخواه آب در چاهک (H) را می‌توان از روی خط‌کش مناسبی که نسبت به لوله هوا واسنجی شده به‌دست آورد. چگونگی به‌دست آوردن H بر حسب تغییرات محل لوله هوا نسبت به جایگاه اولیه، در مبحث ثبت اطلاعات آورده خواهد شد.
۶- در نفوذسنج نوع دوم با استفاده از سرنگ، لوله هوا را از قسمت خروجی جدا کرده و تا عمق دلخواه (H) بالا کشیده می‌شود.
۷- با برقرار شدن جریان آب از مخزن دستگاه به داخل چاهک که با پدیدار شدن حباب‌های هوا در داخل مخزن مشخص می‌گردد، در فاصله‌های زمانی یکسان، افت سطح آب از قسمت مدرج مخزن دستگاه خوانش و ثبت می‌شود. خوانش‌ها تا زمانی ادامه می‌یابد که میزان افت سطح آب (R) در فاصله‌های زمانی یکسان به مقدار نسبتاً ثابتی برسد. به منظور به‌دست آوردن این نتیجه، ممکن است بسته به شرایط، آزمون در چندین تکرار متوالی صورت گیرد. پیشنهاد می‌شود که برای مقایسه ارقام و افزایش دقت آزمون، اندازه‌گیری‌ها حداقل در سه تکرار صورت گرفته و نتیجه‌های به‌دست آمده در فرم‌های ثبت اطلاعات صحرایی آورده شود.

۸-۴ ثبت اطلاعات

برگه ۹ برای ثبت اطلاعات صحرایی تنظیم شده است. در این فرم، اطلاعات مربوط به لایه‌بندی خاک نیز استخراج و ثبت می‌شود.

۸-۵ مثال

با توجه به دستورالعمل انجام آزمون و چگونگی ثبت اطلاعات براساس برگه ۹ تنظیم شده است. برای تعیین هدایت هیدرولیک به روش نفوذسنج گلف، با توجه به توضیحات مربوط به تئوری روش، دو شیوه اندازه‌گیری به روش لاپلاس و ریچاردز مورد استفاده قرار گرفته است. لازم به یادآوری است که در روش ریچاردز، برای به‌دست آوردن پارامترهای یاد شده در هر چاهک، لازم است با ایجاد یک تغییر در عمق آب درون چاهک (H_2, H_1)، دوبار آزمون را انجام داده و مقادیر شاخص افت سطح آب درون منبع، متناظر با زمان یادداشت گردد. ثبت اطلاعات صحرایی در این روش، در برگه ۱۱ ارائه شده است. در زیر به محاسبات مربوط به هر روش اشاره شده است. پیشنهاد می‌شود که آزمون ابتدا با ارتفاع H کمتر و سپس با ارتفاع بزرگ‌تر انجام گیرد.

---

1 - Release Valve

برگه ۹- چگونگی ثبت اطلاعات تعیین هدایت هیدرولیک به روش نفوذ سنج گلف

کلاس رطوبتی	بافت خاک	عمق (cm)

زمان (دقیقه)	تکرار اول		تکرار دوم		تکرار سوم	
	عدد قرائت شده از منبع مدرج (cm)	اختلاف قرائت شاخص	عدد قرائت شده از منبع مدرج (cm)	اختلاف قرائت شاخص	عدد قرائت شده از منبع مدرج (cm)	اختلاف قرائت شاخص

- تعیین هدایت هیدرولیک اشباع خاک به روش محاسباتی لاپلاس

با توجه به روابط ارائه شده و اطلاعات برگه ۱۰ در این روش داریم:

$$K_{fs} = BQ$$

$$Q = AR$$

که درآن‌ها:

A مساحت ستون آب داخل منبع دستگاه؛

R سرعت پایین آمدن سطح آب از منبع:

$$A = 2.545\times10^{-3}\,m^2$$

$$R = 0.3\,cm/min = 5\times10^{-5}\,m/s$$

$$Q = (2.545\times10^{-3}\,m^2)(5\times10^{-5}\,m/s) = 1.27\times10^{-7}\,m^3/sec$$

B پارامتری است که دارای بعد L^{-2} بوده و از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$B = \frac{C}{2\pi H^2\left[1+\frac{C}{2}\left(\frac{\alpha}{H}\right)^2\right]}$$

که در آن:

C یک نسبت ثابت بوده و تغییرات آن تابع کسر $\frac{H}{a}$ (براساس شکل ۴) می‌باشد.

$$C=1.61$$

$$B=\frac{1.61}{\left[2\times3.14\times(0.2)^2\left(1+\frac{1.61}{2}\frac{0.04}{0.2}\right)^2\right]}=6.209\,m^{-2}$$

$$K_{fs1}=(6.209\,m^{-2})(1.27\times10^{-7}\,m^3/sec)=7.88\times10^{-7}\,m/sec\cong0.07\,m/day$$

و به همین ترتیب:

$$K_{fs2}=0.08\,m/day$$
$$K_{fs3}=0.09\,m/day$$

و بنابراین میانگین رقم اندازه‌گیری معادل $0.08\,m/day$ می‌باشد. لازم به یادآوری است که اگر نتیجه‌ها در چندبار آزمون، اختلاف قابل ملاحظه‌ای را نشان دهد، می‌توان میانگین دو رقم بزرگ‌تر را به عنوان نتیجه رقم آزمون پذیرفت.

- تعیین هدایت هیدرولیک اشباع خاک به روش محاسباتی ریچاردز

با توجه به اطلاعات برگه ۱۱ و روابط ارائه شده در این روش داریم:

$$R_1=0.3\,cm/min=5\times10^{-5}\,m/sec \quad و \quad H_1=0.2\,m \quad و \quad a=0.04\,m$$

$$A=2.545\times10^{-3}\,m^2$$

$$Q_1=AR_1=1.3\times10^{-7}\ \ m^3/sec$$

$$R_2=0.25\,cm/min=4.16\times10^{-5}\,m/sec \quad و \quad H_2=0.30\,m \quad و \quad a=0.04\,m$$

$$Q_2=AR_2=1.06\times10^{-7}\,m^3/sec$$

$$A=2.545\times10^{-3}\,m^2 \quad و \quad C_1=1.61 \quad و \quad C_2=2.1$$

(C_1 و C_2 به ترتیب بر حسب مقادیر H_1/a و H_2/a از شکل ۴ به‌دست آمده‌اند)،

و K_{fs} نیز از معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$K_{fs}=G_2Q_2-G_1Q_1$$

که در آن:

ضریب‌های G_1 و G_2 از معادله‌های زیر محاسبه می‌شوند:

$$G_2=\frac{H_1C_2}{\pi[2H_1H_2(H_2-H_1)+a^2(H_1C_2-H_2C_1)]}$$

$$G_1=G_2\left[\frac{H_2C_1}{H_1C_2}\right]$$

$$G_2=11.235\,m^{-2} \quad و \quad G_1=12.92\ \ m^{-2}$$

$$K_{fs} = \left[(11.235)(1.06\times10^{-7})\right] - \left[(12.92)(1.27\times10^{-7})\right]$$

$$K_{fs} = 7.185\times10^{-7}\,\mathrm{m/sec} = 0.039\,\mathrm{m/day}$$

برگه ۱۰- چگونگی ثبت اطلاعات تعیین هدایت هیدرولیک اشباع خاک به روش نفوذسنج گلف (به روش لاپلاس)

کلاس رطوبتی	بافت خاک	عمق (cm)
۱	CL	۲۰
۲	SiC	۳۰
۲	SiCL	۲۰
۲	SiC	۴۰
۲	SC	۴۰
۲	SiC	۱۰۰
۲	SiC	۱۵۰
۳	CL	۲۰۰
۳	SC	۲۵۰
۳	SC	۳۰۰
۳	SiC	۳۵۰
۳	CL	۴۰۰
۳	SiC	۴۵۰
۳	CL	۵۰۰

تکرار سوم		تکرار دوم		تکرار اول		زمان (دقیقه)
اختلاف قرائت شاخص	عدد قرائت شده از منبع مدرج (cm)	اختلاف قرائت شاخص	عدد قرائت شده از منبع مدرج (cm)	اختلاف قرائت شاخص	عدد قرائت شده از منبع مدرج (cm)	
	۵/۴		۶/۷		۵/۲	۰
۱/۸	۷/۲	۱/۴	۸/۱	۰/۷	۵/۹	۲
۰/۸	۸/۰	۱	۹/۱	۰/۶	۶/۵	۴
۰/۹	۸/۹	۰/۸	۹/۹	۰/۶	۷/۱	۶
۰/۹	۹/۸	۰/۷	۱۰/۶	۰/۶	۷/۷	۸
۰/۷	۱۰/۵	۰/۸	۱۱/۴	۰/۶	۸/۳	۱۰
۰/۸	۱۱/۳	۰/۷	۱۲/۱	۰/۷	۹/۰	۱۲
۰/۸	۱۲/۱	۰/۷	۱۲/۸	۰/۶	۹/۶	۱۴
۰/۸	۱۲/۹	۰/۷	۱۳/۵	۰/۵	۱۰/۱	۱۶
۰/۸	۱۳/۷	۰/۷	۱۴/۲	۰/۶	۱۰/۷	۱۸
				۰/۶	۱۱/۳	۲۰
				۰/۶	۱۱/۹	۲۲
				۰/۶	۱۲/۵	۲۴
				۰/۶	۱۳/۱	۲۶

a = 4 cm (شعاع چاهک)

H = 20 cm (عمق آب در چاهک در هر سه تکرار)

برگه ۱۱- چگونگی ثبت اطلاعات تعیین هدایت هیدرولیک اشباع خاک به روش نفوذسنج گلف

(روش محاسباتی ریچاردز)

کلاس رطوبتی	بافت خاک	عمق (cm)

تکرار سوم		تکرار دوم		تکرار اول		زمان (دقیقه)
اختلاف قرائت شاخص	عدد قرائت شده از منبع مدرج (cm)	اختلاف قرائت شاخص	عدد قرائت شده از منبع مدرج (cm)	اختلاف قرائت شاخص	عدد قرائت شده از منبع مدرج (cm)	
			۱۴٫۸		۵٫۲	۰
		۰٫۶		۰٫۷		
			۱۵٫۴		۵٫۹	۲
		۰٫۵		۰٫۶		
			۱۵٫۹		۶٫۵	۴
		۰٫۵		۰٫۶		
			۱۶٫۴		۷٫۱	۶
		۰٫۵		۰٫۶		
			۱۶٫۹		۷٫۷	۸
		۰٫۵		۰٫۶		
			۱۷٫۴		۸٫۳	۱۰
		۰٫۶		۰٫۷		
			۱۸٫۰		۹٫۰	۱۲
		۰٫۶		۰٫۶		
			۱۸٫۶		۹٫۶	۱۴
		۰٫۵		۰٫۵		
			۱۹٫۱		۱۰٫۱	۱۶
		۰٫۵		۰٫۶		
			۱۹٫۶		۱۰٫۷	۱۸
		۰٫۵		۰٫۶		
			۲۰٫۱		۱۱٫۳	۲۰
		۰٫۵		۰٫۶		
			۲۰٫۶		۱۱٫۹	۲۲
		۰٫۵		۰٫۶		
			۲۱٫۱		۱۲٫۵	۲۴
				۰٫۶		
					۱۳٫۱	۲۶

$R_1 = 0.3 cm/min$
$R_2 = 0.25 cm/min$

۹ روش پیزومتری

۹-۱ کلیات

هدف از انجام آزمون تعیین هدایت هیدرولیک اشباع خاک به روش پیزومتری[1]، که به آن روش حفره زیر لوله[2] نیز گفته می‌شود، اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک اشباع خاک در زیر سطح ایستابی در محل است. این روش، متداول‌ترین شیوه اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک اشباع در لایه مشخص خاک به شمار می‌رود و شاید بتوان آن را روشی منحصر به فرد در نوع خود بیان کرد.

این روش فقط در مناطقی که سطح آب زیرزمینی بالاست و در زمان مطالعه دارای مشکلات زهکشی است، به‌شرطی که ضخامت لایه مورد بررسی از حدود ۳۰ سانتی‌متر کمتر نباشد، می‌تواند قابلیت کاربرد داشته باشد. علاوه براین، روش گفته شده اطلاعاتی را به دست می‌دهد که به کمک آن می‌توان لایه محدودکننده[3] را تشخیص داد.

۹-۲ پایه‌های نظری روش

کرکهام[4] در سال ۱۹۵۴ با حل معادله لاپلاس و با پذیرفتن فرضیه‌هایی که برای روش چاهک در نظرگرفته شده، معادله زیر را به منظور به دست آوردن هدایت هیدرولیک اشباع ارائه کرد:

$$K = \frac{864\pi(\frac{D}{2})^2 \ln(\frac{y_1}{y_2})}{A(t_2 - t_1)} \qquad (۴۹)$$

که در آن:

K هدایت هیدرولیک بر حسب متربرروز؛

D قطرحفره زیر لوله بر حسب سانتی‌متر؛

y_1 فاصله بین سطح آب در پیزومتر تا سطح ایستابی متعادل برحسب سانتی‌متر در لحظه t_1 ثانیه؛

y_2 فاصله بین سطح آب در پیزومتر تا سطح ایستابی متعادل بر حسب سانتی‌متردر لحظه t_2 (ثانیه)؛

A ضریب شکل بر حسب سانتی‌متر که به خصوصیات هندسی حفره بستگی دارد و می‌توان آن را از جدول ۴ و یا شکل ۲۳ به دست آورد که در آن‌ها:

r شعاع حفره زیر لوله بر حسب سانتی‌متر؛

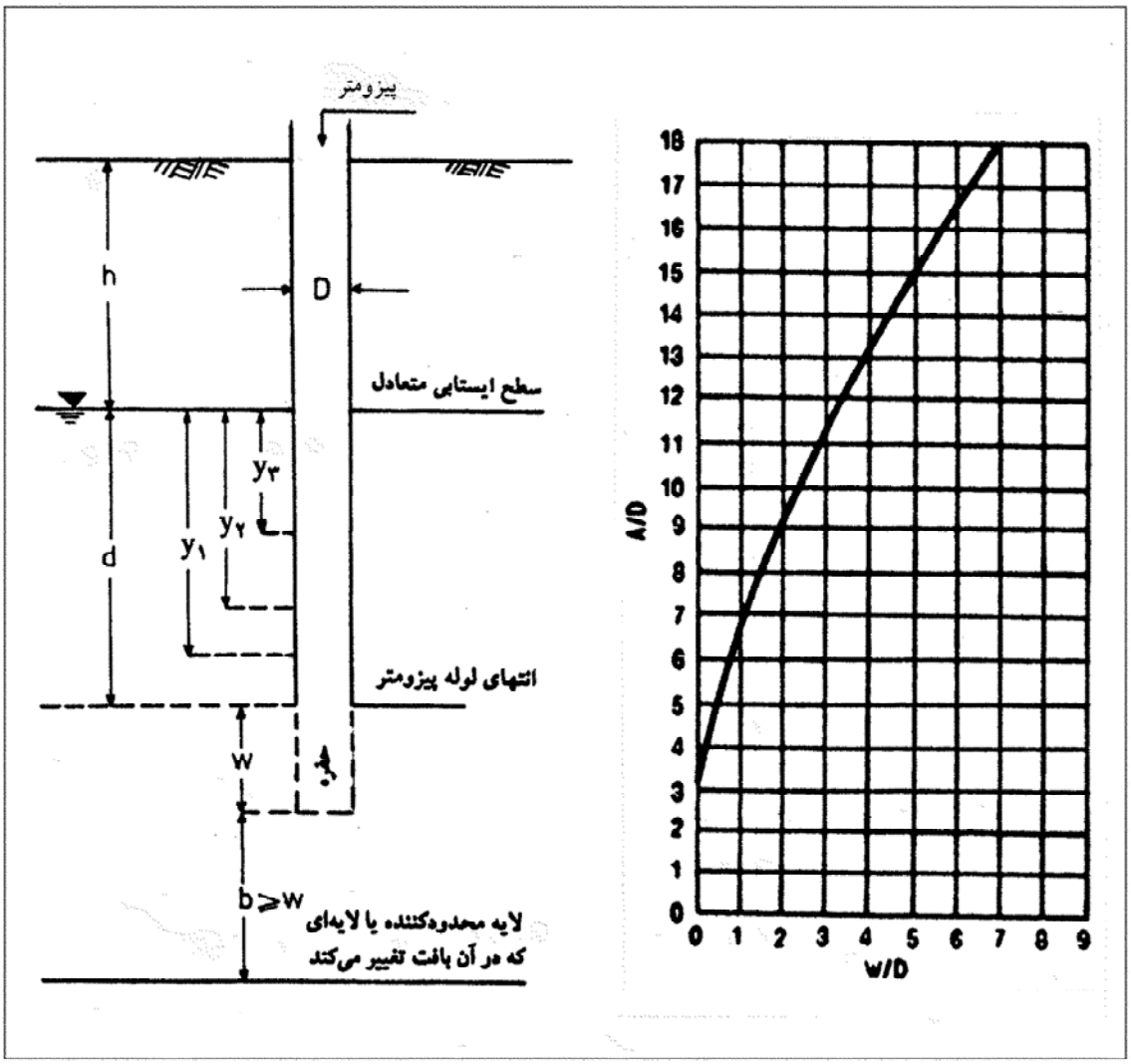
w طول حفره زیر لوله بر حسب سانتی‌متر؛

---

1 - Piezometer Method
2 - Pipe Cavity Test Method
3 - Barrier
4 - Kirkham

b فاصله زیر حفره تا لایه محدود کننده بر حسب سانتی‌متر؛

d فاصله سطح ایستابی متعادل تا انتهای لوله بر حسب سانتی‌متر.



شکل ۲۳- پارامترهای آزمون در روش پیزومتری و ضریب شکل

جدول ۴- مقادیر A/r برای روش پیزومتری با حفره‌استوانه‌ای شکل (Youngs,1968)

W/r	D/r	b/r هنگامی که حفره روی لایه محدوده کننده قرار دارد						b/r برای لایه بسیار نفوذپذیر					
		∞	۸/۰	۴/۰	۲/۰	۱/۰	۰/۵	۰	∞	۸/۰	۴/۰	۲/۰	۱/۰	۰/۵	۰
۰	۲۰	۵/۶	۵/۵	۵/۳	۵/۰	۴/۴	۳/۶	۰	۵/۶	۵/۸	۶/۳	۷/۴	۱۰/۲	∞	
	۱۶	۵/۶	۵/۵	۵/۳	۵/۰	۴/۴	۳/۶	۰	۵/۶	۵/۸	۶/۴	۷/۵	۱۰/۳	∞	
	۱۲	۵/۶	۵/۵	۵/۴	۵/۱	۴/۵	۳/۷	۰	۵/۶	۵/۹	۶/۵	۷/۶	۱۰/۴	∞	
	۸	۵/۷	۵/۶	۵/۵	۵/۲	۴/۶	۳/۸	۰	۵/۷	۵/۹	۶/۶	۷/۷	۱۰/۵	∞	
	۴	۵/۸	۵/۷	۵/۶	۵/۴	۴/۸	۳/۹	۰	۵/۸	۶/۰	۶/۷	۷/۹	۱۰/۷	∞	
۰/۵	۲۰	۸/۷	۸/۶	۸/۳	۷/۷	۷/۰	۶/۲	۴/۸	۸/۷	۸/۹	۹/۴	۱۰/۳	۱۲/۲	۱۵/۲	∞
	۱۶	۸/۸	۸/۷	۸/۴	۷/۸	۷/۰	۶/۲	۴/۸	۸/۸	۹/۰	۹/۴	۱۰/۳	۱۲/۲	۱۵/۲	∞
	۱۲	۸/۹	۸/۸	۸/۵	۸/۰	۷/۱	۶/۳	۴/۸	۸/۹	۹/۱	۹/۵	۱۰/۴	۱۲/۲	۱۵/۳	∞
	۸	۹/۰	۹/۰	۸/۷	۸/۲	۷/۲	۶/۴	۴/۹	۹/۰	۹/۳	۹/۶	۱۰/۵	۱۲/۳	۱۵/۳	∞
	۴	۹/۵	۹/۴	۹/۰	۸/۶	۷/۵	۶/۵	۵/۰	۹/۵	۹/۶	۹/۸	۱۰/۶	۱۲/۴	۱۵/۴	∞
۱/۰	۲۰	۱۰/۶	۱۰/۴	۱۰/۰	۹/۳	۸/۴	۷/۶	۶/۳	۱۰/۶	۱۱/۰	۱۱/۶	۱۲/۸	۱۴/۹	۱۹/۰	∞
	۱۶	۱۰/۷	۱۰/۵	۱۰/۱	۹/۴	۸/۵	۷/۷	۶/۴	۱۰/۷	۱۱/۰	۱۱/۶	۱۲/۸	۱۴/۹	۱۹/۰	∞
	۱۲	۱۰/۸	۱۰/۶	۱۰/۲	۹/۵	۸/۶	۷/۸	۶/۵	۱۰/۸	۱۱/۱	۱۱/۷	۱۲/۸	۱۴/۹	۱۹/۰	∞
	۸	۱۱/۰	۱۰/۹	۱۰/۵	۹/۸	۸/۹	۸/۰	۶/۷	۱۱/۰	۱۱/۲	۱۱/۸	۱۲/۹	۱۴/۹	۱۹/۰	∞
	۴	۱۱/۴	۱۱/۴	۱۱/۲	۱۰/۵	۹/۷	۸/۸	۷/۳	۱۱/۵	۱۱/۶	۱۲/۱	۱۳/۱	۱۵/۰	۱۹/۰	∞
۲/۰	۲۰	۱۳/۸	۱۳/۵	۱۲/۸	۱۱/۹	۱۰/۹	۱۰/۱	۹/۱	۱۳/۸	۱۴/۱	۱۵/۰	۱۶/۵	۱۹/۰	۲۳/۰	∞
	۱۶	۱۳/۹	۱۳/۶	۱۳/۰	۱۲/۱	۱۱/۰	۱۰/۲	۹/۲	۱۳/۹	۱۴/۳	۱۵/۱	۱۶/۶	۱۹/۱	۲۳/۱	∞
	۱۲	۱۴/۰	۱۳/۷	۱۳/۲	۱۲/۳	۱۱/۲	۱۰/۴	۹/۴	۱۴/۰	۱۴/۴	۱۵/۲	۱۶/۷	۱۹/۲	۲۳/۲	∞
	۸	۱۴/۳	۱۴/۱	۱۳/۶	۱۲/۷	۱۱/۵	۱۰/۷	۹/۶	۱۴/۳	۱۴/۸	۱۵/۵	۱۷/۰	۱۹/۴	۲۳/۳	∞
	۴	۱۵/۰	۱۴/۹	۱۴/۵	۱۳/۷	۱۲/۶	۱۱/۷	۱۰/۵	۱۵/۰	۱۵/۴	۱۶/۰	۱۷/۶	۲۰/۱	۲۳/۸	∞
۴/۰	۲۰	۱۸/۶	۱۸/۰	۱۷/۳	۱۶/۳	۱۵/۳	۱۴/۶	۱۳/۶	۱۸/۶	۱۹/۸	۲۰/۸	۲۲/۷	۲۵/۵	۲۹/۹	∞
	۱۶	۱۹/۰	۱۸/۴	۱۷/۶	۱۶/۶	۱۵/۶	۱۴/۸	۱۳/۸	۱۹/۰	۲۰/۰	۲۰/۹	۲۲/۸	۲۵/۶	۲۹/۹	∞
	۱۲	۱۹/۴	۱۸/۸	۱۸/۰	۱۷/۱	۱۶/۰	۱۵/۱	۱۴/۱	۱۹/۴	۲۰/۳	۲۱/۲	۲۳/۰	۲۵/۸	۳۰/۰	∞
	۸	۱۹/۸	۱۹/۴	۱۸/۷	۱۷/۶	۱۶/۴	۱۵/۵	۱۴/۵	۱۹/۸	۲۰/۶	۲۱/۴	۲۳/۳	۲۶/۰	۳۰/۲	∞
	۴	۲۱/۰	۲۰/۵	۲۰/۰	۱۹/۱	۱۷/۸	۱۷/۰	۱۵/۸	۲۱/۰	۲۱/۵	۲۲/۲	۲۴/۱	۲۶/۸	۳۱/۵	∞
۸/۰	۲۰	۲۶/۹	۲۶/۰	۲۵/۵	۲۴/۰	۲۳/۰	۲۲/۲	۲۱/۴	۲۶/۹	۲۹/۶	۳۰/۶	۳۲/۹	۳۶/۱	۴۰/۶	∞
	۱۶	۲۷/۴	۲۶/۳	۲۵/۸	۲۴/۴	۲۳/۴	۲۲/۷	۲۱/۹	۲۷/۴	۲۹/۸	۳۰/۸	۳۳/۱	۳۶/۲	۴۰/۷	∞
	۱۲	۲۸/۳	۲۷/۲	۲۶/۴	۲۵/۱	۲۴/۱	۲۳/۴	۲۲/۶	۲۸/۳	۳۰/۰	۳۱/۰	۳۳/۳	۳۶/۴	۴۰/۸	∞
	۸	۲۹/۱	۲۸/۲	۲۷/۴	۲۶/۱	۲۵/۱	۲۴/۴	۲۳/۴	۲۹/۱	۳۰/۳	۳۱/۲	۳۳/۸	۳۶/۹	۴۱/۰	∞
	۴	۳۰/۸	۳۰/۲	۲۹/۶	۲۸/۰	۲۶/۹	۲۵/۷	۲۴/۵	۳۰/۸	۳۱/۵	۳۲/۸	۳۵/۰	۳۸/۴	۴۳/۰	∞

جدول ۴ و شکل ۲۳ با استفاده از مدل تشابه الکتریکی ارائه شده است. لازم به یادآوری است که برای مقادیر خارج از حدود داده شده، می‌توان با توجه به روند تغییرات، از برون‌یابی استفاده کرد. توجه به نکات زیر، در کاربرد جدول و نمودار یاد شده دارای اهمیت است:

- شکل ۲۳ فقط در موردی کاربرد دارد که فاصله انتهای چاهک تا لایه‌ای که در آن بافت تغییرمی‌کند (b)، مساوی یا بیشتر از طول حفره باشد (b> = w) و همچنین فاصله سطح ایستابی تا انتهای پیزومتر (d) نیز نسبت به طول حفره بسیار زیاد باشد (d>>w).

لوتین[1] و کرکهام نشان داده‌اند که هرگاه $b = 0$ (انتهای حفره روی لایه محدود کننده یا روی لایه تغییر بافت) و با این حال w خیلی بزرگ‌تر از d باشد (به عنوان مثال برای $w = 10\,cm$ و $d = 2.5\,cm$) مقادیر A به دست آمده از منحنی شکل ۲۳ در حدود ۲۵ درصد از مقدار واقعی آن بیشتر است. همچنین نشان داده شده که اگر $d >= w$ و $b \geq 0/5\,w$ باشد، مقادیر A به‌دست آمده از این منحنی حدود ۸ درصد با مقادیر واقعی اختلاف دارد.

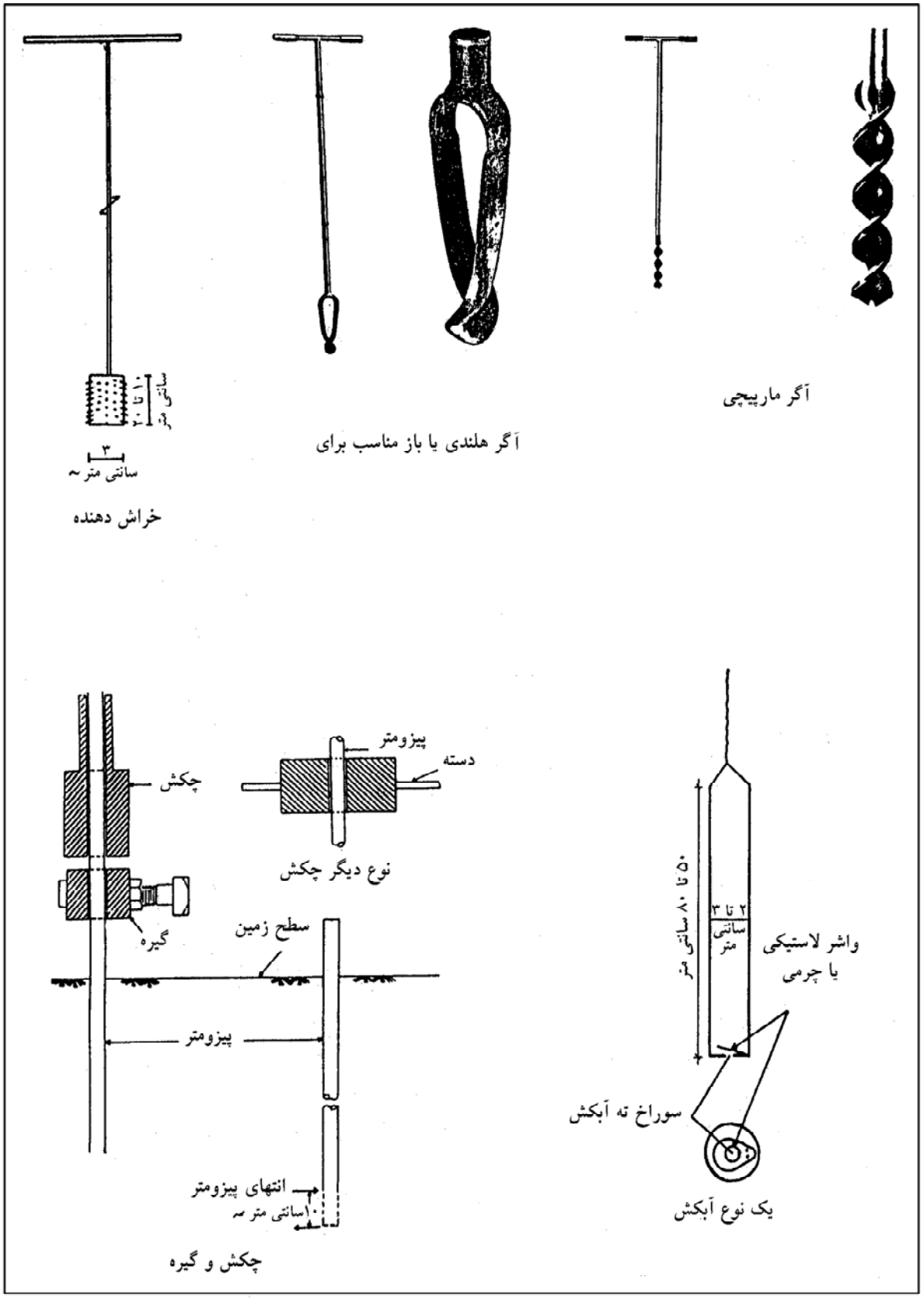
- هنگامی که $w = 0$ باشد یا به عبارت دیگر در شرایطی که حفره‌ای در زیر پیزومتر وجود ندارد، هدایت هیدرولیک اندازه‌گیری شده، نمایانگر هدایت هیدرولیک قائم لایه واقع در زیر پیزومتر است.
- هنگامی که حفره به نسبت طویل باشد (w/r > = ۸)، هدایت هیدرولیک اندازه‌گیری شده، به‌طور عمده نشان‌دهنده هدایت هیدرولیک افقی لایه‌ای است که حفره در آن ایجاد شده است.
- هنگامی که حفره در بین دو حد یاد شده بالا، نه چندان طویل و نه چندان کوتاه باشد، هدایت هیدرولیک اندازه‌گیری شده متناسب با آن مبین ترکیبی از هدایت هیدرولیک افقی و قائم خواهد بود.
- از آن‌جا که به‌طور کلی هدف از این اندازه‌گیری، به دست آوردن هدایت هیدرولیک اشباع افقی خاک است، نسبت w/r باید حداقل برابر ۸ باشد. از طرف دیگر، از آن‌جا که اغلب مقصود از این اندازه‌گیری به دست آوردن هدایت هیدرولیک افقی در لایه‌های نازک خاک است (w کم)، شعاع پیزومتر باید تا حد امکان کوچک انتخاب شود.
- بررسی اعداد جدول نشان می‌دهد که اگر $d/r > ۴$ باشد، اثر d روی A ناچیز است.
- حجم خاکی که در اطراف حفره قرار گرفته است و بر هدایت هیدرولیک اشباع خاک تأثیر می‌گذارد، در حدود ۰٫۰۰۱ مترمکعب است. این حجم به‌طور عمومی کمتر از مقداری است که در روش چاهک به عنوان حجم موثر خاک شناخته می‌شود.

این مورد در اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک اشباع لایه به لایه خاک امتیازی به حساب می‌آید، زیرا اطمینان بیشتری وجود دارد که هدایت هیدرولیک اندازه‌گیری شده، به‌طور مشخص مربوط به لایه مورد نظر باشد و لایه‌های مجاور تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر آن نداشته باشند.

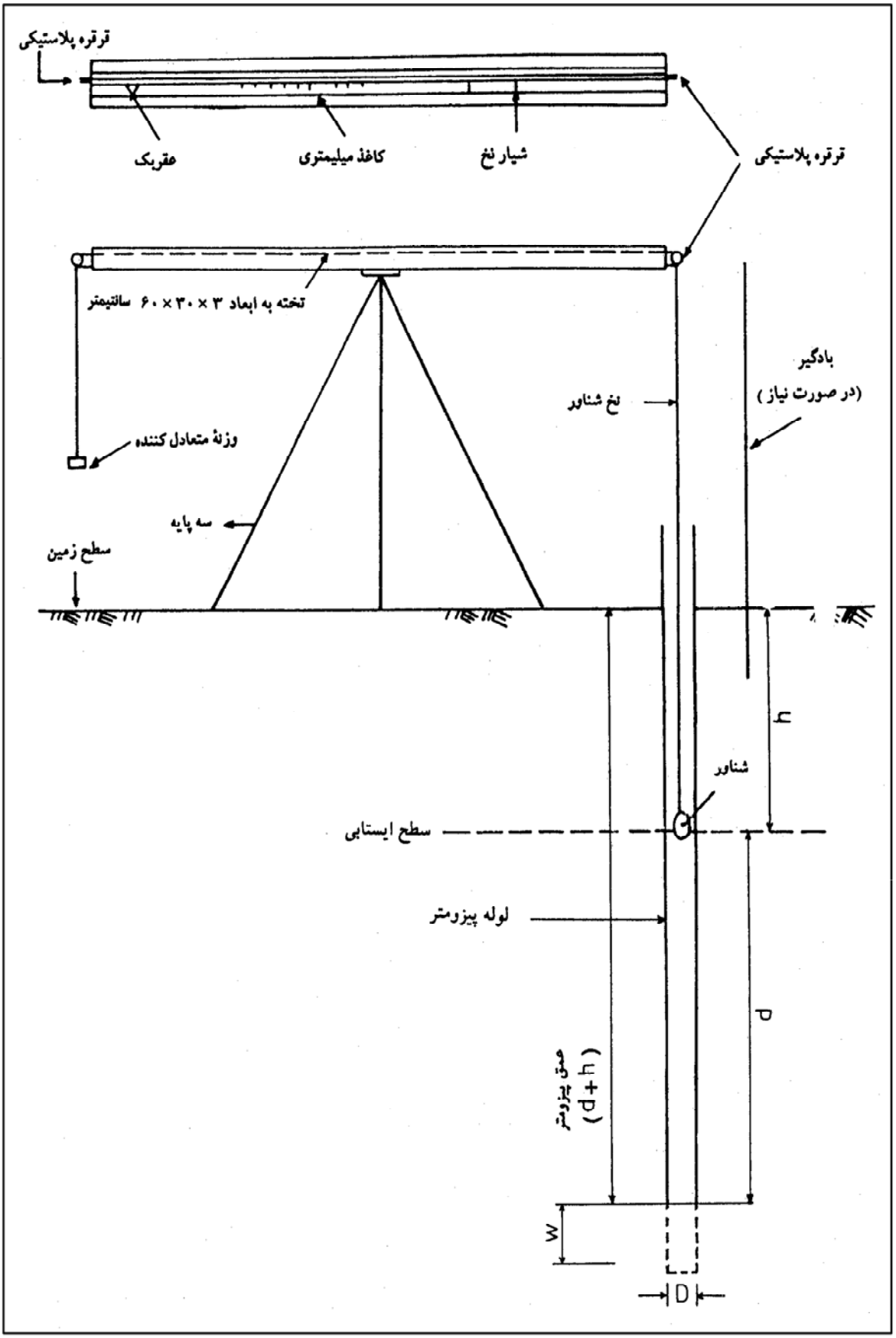
وسایل مورد نیاز برای آزمون پیزومتری و نحوه برقرار کردن آن‌ها در شکل‌های ۲۴ و ۲۵ نشان داده شده است.

---

1 - Luthin



شکل ۲۴- وسایل مورد نیازبرای آزمون پیزومتری



شکل ۲۵- برقرار کردن وسایل برای آزمون به روش پیزومتری (حفره درزیر لوله)

مجموعه ابزار آزمون که با وجود سادگی، از کارآیی مطمئن و مناسبی برخوردار است، متشکل از یک تخته و یک سه‌پایه نقشه‌برداری است (طبق شکل ۲۵). روی تخته یک نوار کاغذ میلی‌متری نصب شده و یک نخ محکم (مانند نخ ماهیگیری) که در یک انتها به شناور و در انتهای دیگر به یک وزنه متعادل‌کننده متصل است، به کمک دو قرقره که در دو طرف تخته تعبیه شده است، روی آن حرکت می‌کند. با نصب علامتی روی این نخ، می‌توان تغییرات سطح آب را که به‌وسیله شناور به نخ متصل می‌گردد، مشاهده و روی کاغذ میلی‌متری ثبت کرد. تخته همراه با کلیه ملحقات آن روی سه‌پایه نقشه‌برداری نصب می‌شود.

۹-۳ ایجاد حفره در زیر لوله پیزومتر

ایجاد حفره در زیر لوله به شکل و اندازه‌ای که از پیش مشخص شده، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. برای داشتن حفره مناسب در زیر لوله، نیاز به یک دستگاه آگر تیز مارپیچی با قطر برشی معادل قطر داخلی پیزومتر با انتهای مسطح است. برای اندازه‌گیری طول حفره، باید دقت خاصی صورت گیرد. به‌این منظور، طول لوله پیزومتر باید از قبل با دقتی در حدود ۱± سانتی‌متر مشخص شود و روی دسته آگر از قبل علامت‌گذاری گردد.

۹-۴ اندازه‌گیری

پس از حفر و آماده‌سازی چاهک، زمانی که سطح آب زیرزمینی به تعادل رسید، می‌توان اندازه‌گیری را آغاز کرد. این عمل شامل چهار مرحله زیر است:

- قرار دادن لوازم روی چاهک،
- تخلیه آب ازچاهک،
- قرار دادن شناور، و
- ثبت تغییرات سرعت برگشت آب.

۹-۴-۱ قرار گرفتن لوازم روی چاهک

قبل از آغاز اندازه‌گیری، لوازم و وسایل اندازه‌گیری تغییرات سطح آب باید روی چاهک نصب شده و محل نشانه که نشان‌دهنده موقعیت سطح ایستابی تعادلی است، روی کاغذ میلی‌متری علامت‌گذاری گردد.

۹-۴-۲ آبکشی از چاهک

برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک اشباع خاک، باید مقداری آب از درون چاهک تخلیه شود تا سطح آب تا حد ممکن پایین افتاده و در نتیجه شیب هیدرولیک که بین سطح آب زیرزمینی و سطح آب داخل چاهک ایجاد می‌شود، جریان آب به‌سمت چاهک برقرار گردد.

برای آبکشی از چاهک می‌توان از تلمبه یا آبکش استفاده کـرد. در ایـن معادلـه رعایـت نکـات زیـر پیشـنهاد می‌شود:

- تا حد امکان کوشش شود تا حجم آب مورد نظر یک‌باره برداشـت گـردد. بـا داشـتن چنـد آبکـش بـا ظرفیت‌های مختلف و انتخاب مناسب‌ترین آن‌ها، می‌توان امکان تخلیـه یـک‌بـاره آب را از چاهـک بـه وجود آورد.
- سعی شود که تا حد امکان، آبکش به‌آرامی و در اثر وزن خود در آب چاهک فروبرده شود. اعمال فشـار اضافی در فروبردن آبکش به داخل چاهک، موجب می‌شود که آب درون چاهـک نسـبت بـه وضـعیت تعادلی خود بالاتر آید و موجب ایجاد شیب هیدرولیک اضافی گردد. گرچه این مورد در خـاک‌هـای بـا هدایت هیدرولیک پایین، اثر چندانی بر نتیجه اندازه‌گیری ندارد، اما در خاک‌های شنی یا خاک‌های بـا درز و ترک، ممکن است موجب خطا در اندازه‌گیری شود.
- بیرون کشیدن آبکش به‌آرامی و با احتیاط صورت گیرد و هم‌زمان یـا پـس از بیـرون کشـیدن آبکـش، اندازه‌گیری زمان و عمق سطح ایستابی آغاز شود.
- از آن‌جا که محدودیتی برای اعتبار داده‌ها نسبت به زمان وجود نـدارد، بـرخلاف انـدازه‌گیـری هـدایت هیدرولیک به روش چاهک، نباید در خارج کردن آبکش از چاهک و آغاز آزمون تعجیل کرد.
- در صورتی که بتوان به جای آبکش، از تلمبه مناسب استفاده کرد، می‌تـوان شـلنگ تلمبـه و شـناور را به‌طور هم‌زمان در چاهک قرار داد، به طوری که با تخلیه آب به وسیله تلمبه، شناور خود به خود با آب چاهک پایین رود و در موقعیت مناسب قرار گیرد. بدیهی است با آغاز برگشت آب و شروع اندازه‌گیری، باید شلنگ تلمبه را از چاهک بیرون کشید.

۹-۴-۳ قراردادن شناور

به‌سرعت پس از عملیات آبکشی، جسم شناور به درون چاهک انداخته می‌شود و به دنبال آن، با قرار شناور بر سطح آب، اندازه‌گیری سرعت بالا آمدن سطح آب آغاز می‌شود. همان‌طور که گفته شد، از آن‌جا که بـرخلاف اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک به روش چاهک در این روش فقط داده‌های اولیه نیسـتند کـه دارای اعتبارنـد، بنابراین لزومی برای عجله‌کردن وجود ندارد.

۹-۴-۴ ثبت تغییرات سطح آب

با قرار شناور بر سطح آب، اولین قرائت از وضعیت سطح آب درون چاهک و نیز زمان مربوط به آن امکان‌پذیر می‌شود. خوانش‌های بعدی، در فاصله‌های زمانی مناسب صورت می‌پذیرد و متناسب با آن، زمـان روی کاغـذ میلی‌متری علامت‌گذاری و یادداشت می‌شود. آزمون تا زمانی که حداقل ۵۰ درصد آب برداشت شده به داخل چاهک برگردد، ادامه می‌یابد. مجموعه اطلاعات به دست آمده از ثبت مشاهدات خیـز سـطح آب در چاهـک، همراه با مشخصات هندسی حفره و چاهک، در جدولی مشابه با برگه ۱۲ ثبت می‌گردد.

برگه ۱۲- ثبت مشخصات حفره و بالا آمدن سطح آب در آزمون پیزومتری

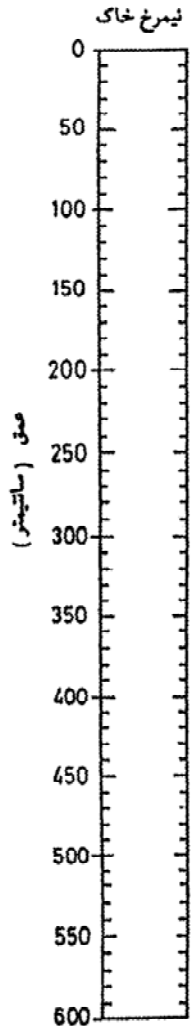
نام پروژه: شماره چاهک: عمق چاهک: سانتی‌متر عمق برخورد به آب: سانتی‌متر

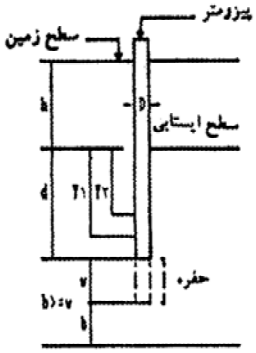
عمق سطح ایستابی متعادل: سانتی‌متر قطر آگر: سانتی‌متر نام آزمایش کننده: تاریخ:

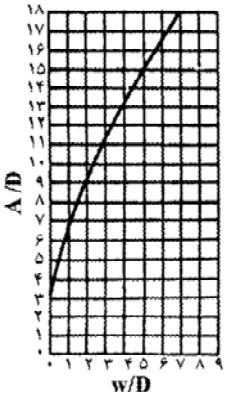
الف: اندازه گیری‌ها

اطلاعات مربوط به خیز سطح آب

ردیف	t sec	y cm	t_2-t_1 sec	y_1/y_2	K m/day
۱					
۲					
۳					
۴					
۵					
۶					
۷					
۸					
۹					
۱۰					
۱۱					
۱۲					
۱۳					
۱۴					
۱۵					







ب: محاسبات

اطلاعات مربوط به چاهک

h - فاصله زمین تا سطح ایستابی	سانتی‌متر
d - فاصله سطح ایستابی تاانتهای پیزومتر	سانتی‌متر
h+d - عمق اندازه‌گیری	سانتی‌متر
w - طول حفره	سانتی‌متر
b - فاصله کف چاهک تالایه بعدی	سانتی‌متر
D - قطر داخلی پیزومتر و حفره	سانتی‌متر
K - هدایت هیدرولیک	متر بر روز
A - ضریب شکل	سانتی‌متر

$$K = \frac{۶۲۵۰(D/۲)^۲ \log (y_1/y_2)}{A(t_2 - t_1)}$$

۹-۵ معادله‌های مورد استفاده

۹-۵-۱ محاسبه هدایت هیدرولیک در سفره آزاد

برای محاسبه هدایت هیدرولیک در سفره آزاد آب زیرزمینی از معادله زیر استفاده می‌شود:

$$K = \frac{864\pi(\frac{D}{2})^2 \ln(\frac{y_1}{y_2})}{A(t_2 - t_1)} \qquad (۵۰)$$

که در آن:

K هدایت هیدرولیک بر حسب متر بر روز؛

D قطر حفره زیر لوله بر حسب سانتی‌متر؛

y_1 فاصله بین سطح آب در پیزومتر تا سطح ایستابی متعادل بر حسب سانتی‌متر در لحظه‌ی t_1 (ثانیه)؛

y_2 فاصله بین سطح آب در پیزومتر تا سطح ایستابی متعادل بر حسب سانتی‌متر در لحظه‌ی t_2 (ثانیه)؛ و

A ضریب شکل بر حسب سانتی‌متر که به خصوصیات هندسی حفره بستگی دارد.

با تغییر دادن لگاریتم طبیعی به لگاریتم در پایه ده، معادله بالا به صورت زیر درمی‌آید:

$$K = \frac{6250(\frac{D}{2})^2 \log(\frac{y_1}{y_2})}{A(t_2 - t_1)} \qquad (۵۱)$$

اغلب، میانگین (۴ یا ۵) اندازه‌گیری آخر به‌عنوان نتیجه نهایی و هدایت هیدرولیک لایه مورد آزمون در نظر گرفته می‌شود.

۹-۵-۲ محاسبه هدایت هیدرولیک در سفره تحت فشار

برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک لایه‌ای که لایه زیرین آن تحت فشار آرتزین قرار دارد، باید دو پیزومتر در دو لایه مجاور نصب کرد. پیزومتر اصلی در محل مناسب لایه زیرین نصب می‌شود و پیزومتر دوم در بالاترین قسمت لایه بالایی در این حالت نیز می‌توان از معادله‌های یاد شده استفاده کرد، با این تفاوت که ضریب شکل (A) از شکل ۲۶ به دست می‌آید. در این نمودار:

H فاصله بین وسط دو حفره بر حسب سانتی‌متر؛

Δ فاصله بین سطح آب دو پیزومتر در حالت تعادل بر حسب سانتی‌متر؛

d فاصله بین مرکزحفره زیرین و حد فاصل بین دو لایه بر حسب سانتی‌متر.

۹-۶ محدودیت‌ها و موارد خطا

۹-۶-۱ محدودیت‌ها

محدودیت‌های عمده آزمون عبارتند از:

- عدم آب‌بندی مناسب بین پیزومتر و خاک مجاور در لایه‌های شنی و ماسه‌ای،
- عدم امکان ایجاد حفره با مشخصات هندسی معین در خاک‌های ناپایدار و به ویژه در لایه‌های شنی و ماسه‌ای،
- عدم امکان عملی آزمون در عمق‌های بیش از ۶ متر،
- عدم امکان آزمون در لایه‌های کم‌ضخامت (کمتر از حدود ۳۰ سانتی‌متر)،
- عدم دسترسی به نتیجه مطلوب هنگامی که لایه با هدایت هیدرولیک کم در بین لایه‌های با آب‌گذری زیاد قرار گیرد و لایه مورد نظر از ضخامت چندانی برخوردار نباشد، و
- بروز مشکلاتی از نظر حرکت شناور در پیزومترهای با قطر کمتر از ۲۵ میلی‌متر و همچنین وجود مشکلاتی در نصب درست پیزومترهای با قطر بیش از ۵۰ میلی‌متر.

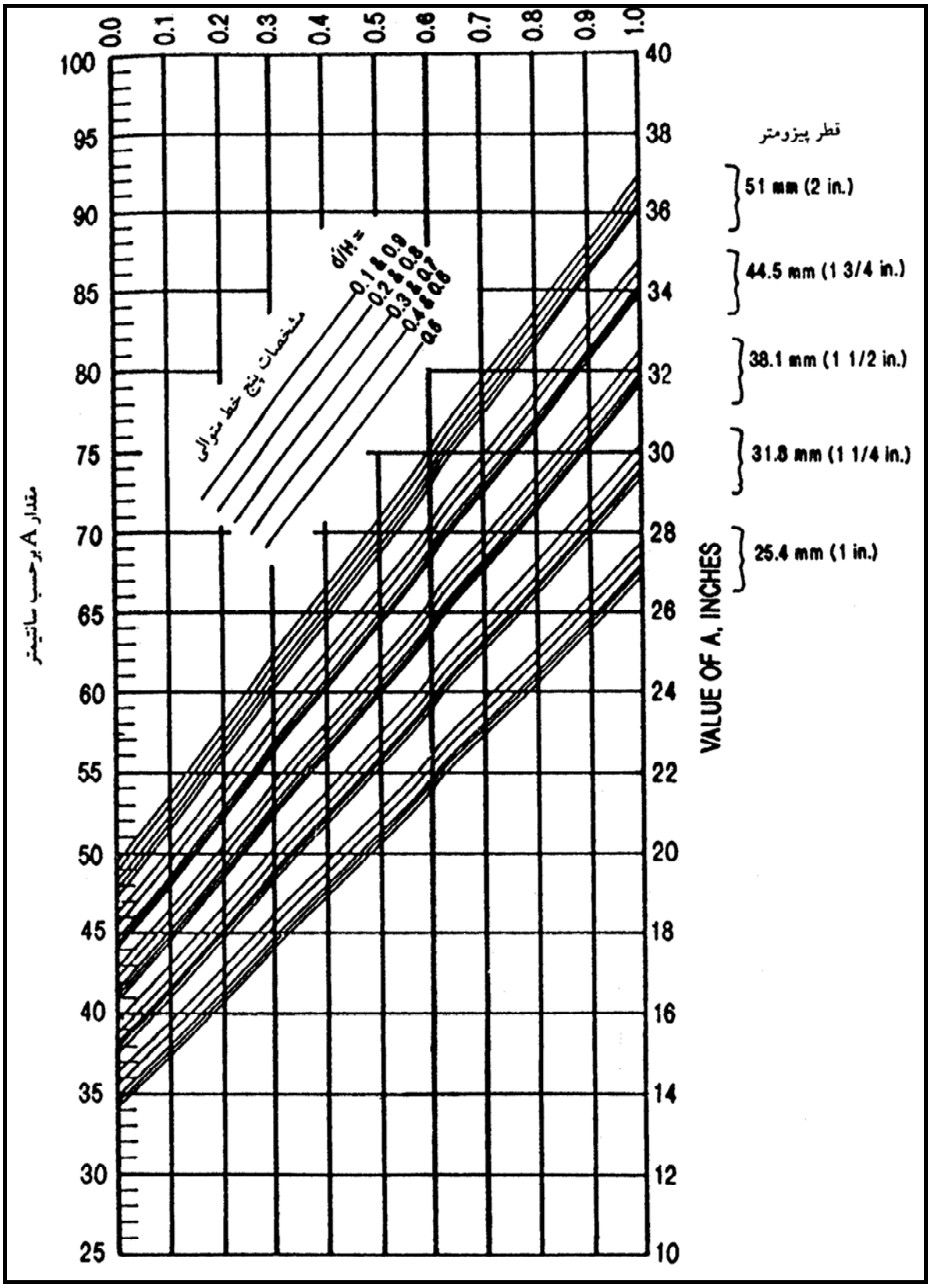
۹-۶-۲ منابع خطا

منابع خطا می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

- بروز اشتباه در خوانش سطح ایستابی و زمان،
- بروز اشتباه در اندازه‌گیری ابعاد حفره،
- تناسب نداشتن طول و قطر حفره به طوری که با کوچک شدن این نسبت، هدایت هیدرولیک اندازه‌گیری شده به‌طور کلی نمایانگر آب‌گذری قائم خاک خواهد بود.
- عدم تشخیص و توجه نداشتن به وجود فشار آرتزین در حالتی که لایه مورد نظر تحت فشار باشد.
- چنان‌چه فاصله انتهای چاهک تا لایه‌ای که در آن بافت خاک تغییر می‌کند، کمتر از طول حفره باشد($b<w$)- (شکل ۲۳ را ببینید)
- چنان‌چه فاصله سطح ایستابی تا انتهای پیزومتر (d) در مقایسه با طول حفره (w) خیلی زیاد نباشد.

۹-۷ مثال

برای روشن شدن مطلب و انجام مراحل کاربردی به سه مثال که در پیوست (ب) ارائه می‌شود مراجعه نمایید. لازم به یادآوری است که با حل تنها یک مثال نمی‌توان به نتیجه کامل دست یافت.



شکل ۲۶- ضریب شکل در آزمون هدایت هیدرولیک به روش پیزومتری در حالت وجود فشار آرتزین

۱۰ هدایت هیدرولیک اشباع قائم خاک

۱۰-۱ کلیات

هدایت هیدرولیک اشباع قائم خاک[1]، به حجم آبی که فقط به صورت قائم در واحد زمان از خاکی به سطح مقطع واحد عبور کند (به شرطی که شیب هیدرولیک در آن برابر واحد باشد)، گفته می‌شود. بنابراین تفاوت اساسی آن با هدایت هیدرولیک افقی خاک فقط در جهت حرکت آب است. در حقیقت هدایت هیدرولیک اشباع قائم خاک نیز توسط قانون دارسی تعریف می‌شود. تفاوت اساسی هدایت هیدرولیک اشباع قائم با نفوذپذیری در این است که در اولی، آب در داخل خاک و در دومی از فصل مشترک آب و خاک سطح زمین جریان می‌یابد. بدیهی است آن‌چه که در این دستورالعمل به آن پرداخته می‌شود، فقط مربوط به حالت اشباع است.

۱۰-۲ روش‌های اندازه‌گیری

به‌طور کلی، اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک اشباع قائم خاک را می‌توان در آزمایشگاه یا در محل انجام داد.

۱۰-۲-۱ روش‌های آزمایشگاهی

روش‌های آزمایشگاهی اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک اشباع قائم خاک، درست مشابه روش‌هایی است که در مورد اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک افقی خاک بیان شد. تنها تفاوت آن در این است که برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک قائم، نمونه‌ها باید از جهت عمود بر سطح خاک برداشت شوند، در صورتی که برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک اشباع افقی خاک، نمونه‌ها از جهت افقی برداشت می‌شوند. در روش‌های آزمایشگاهی، از روش بار ثابت یا بارافتان استفاده می‌شود که در فصل‌های قبل به‌طور کامل بیان شده است.

۱۰-۲-۲ روش‌های صحرایی

از میان روش‌های صحرایی برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک اشباع خاک، به دو روش لوله‌ای[2] و استوانه[3] اشاره می‌شود:

۱۰-۲-۲-۱ روش لوله‌ای

این روش در حقیقت حالتی خاص از روش حفره زیر لوله یا روش پیزومتری است که به‌طور کامل در بخش نهم مورد بحث قرار گرفت. تفاوت روش لوله‌ای با روش پیزومتری در این است که در آن، در زیر لوله هیچ حفره‌ای ایجاد نشده و در حقیقت، آب فقط می‌تواند از کف چاهک به درون لوله نفوذ کند و بنابراین سرعت

1 - Vertical Hydraulic Conductivity
2 - Tube Method
3 - Ring Method

خیزش سطح آب، تنها معلول حرکت قائم آب در خاک است و از این رو، نتیجه به‌دست آمده تنها هدایت هیدرولیک قائم را نشان می‌دهد.

بدیهی است که روش اجرای آزمون در روش لوله‌ای، درست مشابه روش‌پیزومتری است. دراین حالت، شکل ۲۳ یا جدول ۴ برای هنگامی مورد استفاده قرار می‌گیرد که در آن w/D یا w/r برابر صفر باشد.

۱۰-۲-۲-۲ روش استوانه

این روش، دقیق‌ترین راه برای برآورد هدایت هیدرولیک اشباع قائم خاک به شمار می‌رود که براساس قوانین دارسی در محیط اشباع تدوین شده است. بنابراین باید مطمئن شد که قوانین دارسی را می‌توان در آن به‌کار برد. به این منظور، به طور معمول از پیزومتر و تانسیومتر برای اطمینان از برقراری شرایط اشباع آب در خاک استفاده می‌شود.

روش استوانه به طورکلی به دو روش تک استوانه و استوانه مضاعف تقسیم می‌شود. این آزمون‌ها در عمقی از خاک انجام می‌شود که تعیین هدایت هیدرولیک آن موردنظر باشد. بنابراین ابتدا باید با کندن ترانشه‌ای پلکانی براساس شکل ۲۷ به عمق مورد نظر رسید و سپس آزمون را در آن انجام داد. روش‌های تک استوانه و استوانه مضاعف از نظر روش اجرا درست مشابه یکدیگرند، با این تفاوت که در روش استوانه مضاعف، اطمینان بیشتری در مورد عدم جریان آب به صورت جانبی وجود دارد.

۱۰-۲-۲-۲-۱ وسایل آزمون

۱۰-۲-۲-۲-۱-۱ استوانه این استوانه از جنس فولاد با قطر داخلی حدود ۵۰ سانتی‌متر و ارتفاع حدود ۵۰ سانتی‌متر است که به کمک یک تسمه تقویت شده و لبه پایینی آن تیز است (طبق شکل ۲۸)،

۱۰-۲-۲-۲-۱-۲ صفحه درپوش برای راندن استوانه‌ها به داخل خاک به کار می رود و صفحه‌ای است به ضخامت حدود ۱۰ میلی‌متر که قطر آن به‌طور معمول ۵ سانتی‌متر تا ۱۰ سانتی‌متر بیشتر از قطر استوانه است (طبق شکل ۲۸)،

۱۰-۲-۲-۲-۱-۳ چکش برای راندن استوانه فلزی به داخل خاک از چکش سنگین استفاده می شود (طبق شکل ۲۹)،

۱۰-۲-۲-۲-۱-۴ مخزن آب به گنجایش لااقل ۱۰۰ لیتر،

۱۰-۲-۲-۲-۱-۵ وسیله اندازه‌گیری سطح آب در مخزن برای خوانش موقعیت سطح آب در مخزن، به‌طور عمومی از یک متر پارچه‌ای که روی مخزن، در کنار یک شلنگ آب بی رنگ چسبانده شده استفاده می‌شود (طبق شکل ۳۰)،

۱۰-۲-۲-۲-۱-۶ وسیله جلوگیری از تخریب ساختمان خاک به منظور جلوگیری از بهم خوردگی و تخریب سطح خاک در هنگام ریزش آب به داخل استوانه‌ها از تکه‌ای پارچه، مقوا، تخته و یا ترجیحاً از ورقه نایلونی یا وسیله‌ای مشابه آن استفاده می شود. این وسیله پس از پر شدن استوانه از داخل آن خارج می‌گردد،

۱۰-۲-۲-۲-۱-۷ لوله لاستیکی برای متصل کردن مخزن به شناور قطر این لوله حدود ۱ سانتی‌متر است (طبق شکل ۳۰)،

۱۰-۲-۲-۲-۱-۸ دو شناور برای تثبیت سطح ایستابی در داخل استوانه (طبق شکل ۳۰)،

۱۰-۲-۲-۲-۱-۹ دو میله قابل جابه‌جایی برای نگه‌داشتن شناورها در تراز دلخواه و کمربندهای مناسب برای بستن میله‌ها به استوانه،

۱۰-۲-۲-۲-۱-۱۰ دو پیزومتر به قطر داخلی ۱٫۲۵ سانتی‌متر و طول حدود ۵۰ سانتی‌متر از جنس مس سخت و یک چکش متناسب با ابعاد پیزومتر برای فروبردن آن در زمین،

۱۰-۲-۲-۲-۱-۱۱ مته ۱ سانتی‌متری برای تمیزکردن پیزومترها و شن‌هایی که قرار است در حفره انتهایی پیزومترها ریخته شوند،

۱۰-۲-۲-۲-۱-۱۲ بنتونیت[1] برای آب بندی پیزومترها و تانسیومترها،

۱۰-۲-۲-۲-۱-۱۳ دو تانسیومتر (از نوع مانومتریک) جیوه ای و جیوه داخل آن،

۱۰-۲-۲-۲-۱-۱۴ آب مقطر برای پرکردن اولیه تانسیومترها،

۱۰-۲-۲-۲-۱-۱۵ دو سرنگ کوچک برای پر و خالی کردن تانسیومترها از هوا،

۱۰-۲-۲-۲-۱-۱۶ یک مته ۲٫۵ سانتی‌متری برای نصب کردن تانسیومترها،

۱۰-۲-۲-۲-۱-۱۷ دماسنج،

۱۰-۲-۲-۲-۱-۱۸ بیل برای کندن خاک، سطل و طناب برای خالی کردن خاک داخل حفره،

۱۰-۲-۲-۲-۱-۱۹ نردبان به ارتفاع لازم برای آزمون‌ها در عمق زیاد،

۱۰-۲-۲-۲-۱-۲۰ شن تمیز با دانه‌بندی یکنواخت رد شده از الک شماره ۱۴ و مانده روی الک شماره ۲۸،

۱۰-۲-۲-۲-۱-۲۱ درپوش استوانه‌ای که از تبخیر جلوگیری کرده و مانع از ریزش آشغال به داخل استوانه گردد،

۱۰-۲-۲-۲-۱-۲۲ توری برای هر سایت آزمونی، چهار تیر برای کشیدن توری و حدود ۲۵ متر سیم یا طناب برای هر ردیف سیم‌کشی کفایت می‌کند، و

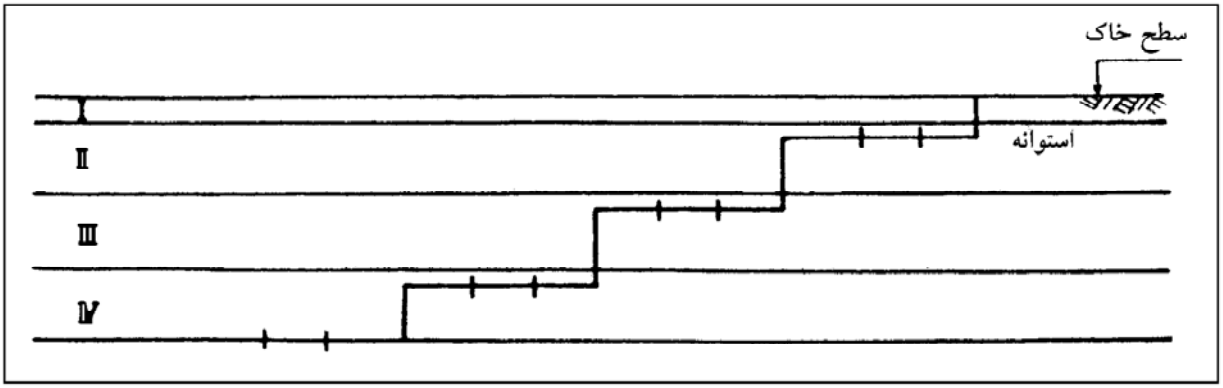
۱۰-۲-۲-۲-۱-۲۳ یک متر فلزی، ماله، تراز نجاری ۶۰ سانتی‌متری، گچ سفید، چکش، دم باریک برای بریدن سیم، زیردستی و برگه‌های محاسباتی.

۱۰-۲-۲-۲-۲ روش انجام آزمون

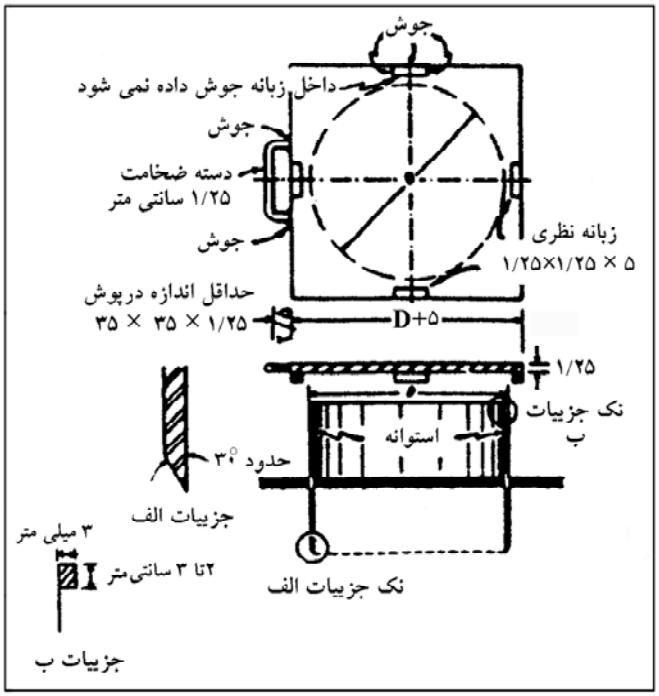
برای انجام این آزمون، گروهی متشکل از دو نفر برای نصب و انجام آزمون کافی است. پس از مشخص شدن محل آزمون، حفره‌ای به قطر حدود ۱ متر و تا عمق حدود ۱۰ سانتی‌متر مانده به لایه مورد آزمون حفر می‌گردد. حدود ۱۰ سانتی‌متر باقی‌مانده، زمانی کنده خواهد شد که وسایل آماده نصب هستند. در این مدت باید مراقب بود که روی محل مورد آزمون رفت و آمد صورت نگیرد. قبل از شروع آزمون باید

1 - Bentonite

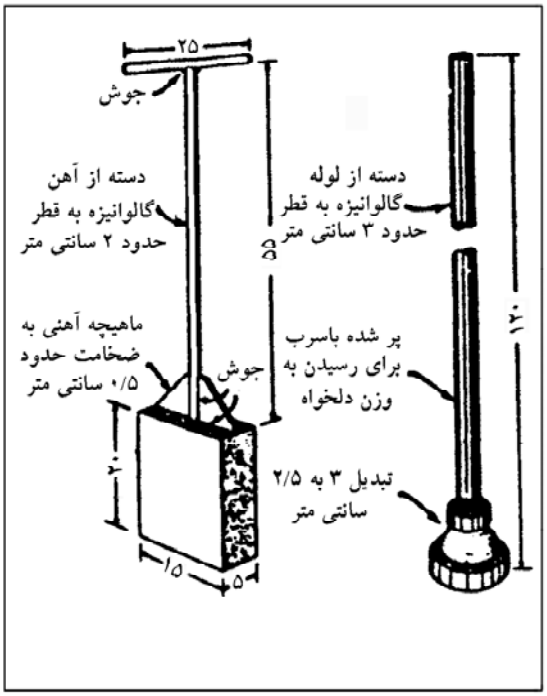
محل موردنظر با تراز نجاری کنترل شود که به‌طور کامل افقی و هم‌سطح باشد. استوانه به اندازه ۱۵ سانتی‌متر از پایین با گچ علامت زده می شود. آنگاه استوانه تا علامت مزبور به کمک چکش در خاک فرو برده می‌شود. استوانه باید در هنگام نصب به‌طور کامل افقی نگه داشته شود و تا جای ممکن، ضربه‌های وارده برای راندن آن در هر طرف، به یک اندازه و قدرتمند باشد. بعد از این‌که استوانه نصب شد، بی‌درنگ باید خاک اطراف دیواره بیرونی استوانه را به آرامی کوبید تا مانع از نشت آب و در نتیجه جابه جایی خاک[1] شود.



شکل ۲۷- محل آزمون هدایت هیدرولیک اشباع قائم خاک در عمق‌های مختلف بالای سطح ایستابی

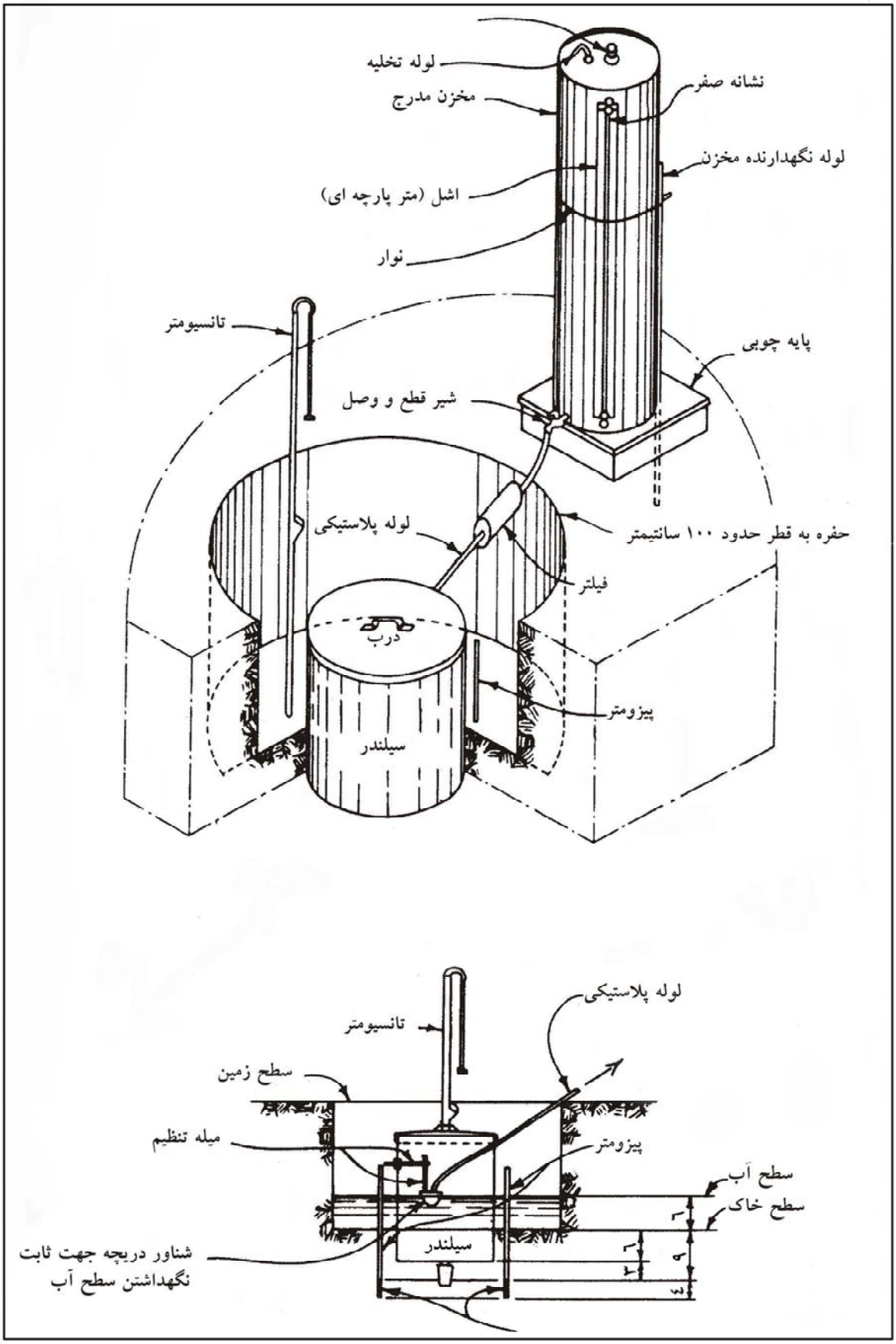


شکل ۲۸- استوانه فلزی و درپوش



شکل ۲۹- دو نوع چکش

1 - Channeling



شکل۳۰- اندازه‌گیری ضریب هدایت هیدرولیک اشباع قائم خاک به روش استوانه

اکنون باید دو پیزومتر را از لبه تیز پایینی به اندازه ۲۲٫۵ سانتی‌متر علامت‌زده و در فاصله ۷ سانتی‌متری تا ۱۵ سانتی‌متری از سیلندر، در دو طرف آن و روبروی هم قرار داد. برای نصب پیزومترها باید درون آن‌ها را هر بار که ۵ سانتی‌متر تا ۸ سانتی‌متر در خاک فرو برده می‌شوند خالی کرد. این کار تا جایی ادامه می‌یابد که علامت ۲۲٫۵ سانتی‌متری در سطح زمین قرار بگیرد. باید مراقب بود که هنگام تخلیه پیزومترها با مته[1]، آن‌ها در جای خود نچرخند و یا با مته بالا نیایند. در مرحله بعد، یک حفره ۱۵ سانتی‌متری در زیر هر پیزومتر حفر شده و با شن ریز تمیز پر می‌شود. به عنوان یک عمل اضافی، برای جلوگیری از نشت از کناره‌های پیزومتر، می‌توان مخلوط یک به یک خاک بنتونیتی را در کنار پیزومترها ریخته و آن را کوبید. لازم به یادآوری است که در استفاده از بنتونیت، همواره باید مراقب بود که از این خاک به هیچ عنوان به داخل پیزومترها یا استوانه مورد آزمون نریزد. حال باید پیزومترها را با آب پر کرد تا عملکرد آن‌ها کنترل شود. اگر سطح آب در پیزومترها پایین بیفتد، یعنی پیزومتر درست نصب شده است. بهتر است روی هر یک از پیزومترها یک قوطی[2] گذاشته شود تا در ادامه نصب وسایل، گرد و خاک یا آب به داخل آن وارد نگردد. اگر سطح آب پایین نیفتد، باید به کمک پمپ و ایجاد جریان سریع تمیز شود در غیر این صورت باید پیزومتر را بار دیگر با مته خالی کرد.

اکنون باید دو تانسیومتر واسنجی و امتحان شده را در فاصله ۷ سانتی‌متری تا ۱۵ سانتی‌متری استوانه و در دو طرف آن روبه‌روی هم طوری قرار داد که نسبت به خط نصب پیزومترها زاویه قائم داشته باشند. واسنجی و آزمون تانسیومتر را باید در آزمایشگاه انجام داد. برای واسنجی و آزمون تانسیومترها می‌توان از دفترچه راهنمای شرکت سازنده استفاده کرد. در هنگام واسنجی باید عدد ۱۰۰ (مربوط به درصد اشباع) مقابل عدد صفر (مقدار مکش) باشد تا فشار ایجاد شده در اثر خیز آب را، در صورتی که تراز آب از مخزن تانسیومتر بالاتر رود بتوان تشخیص داد.

حفره‌های نصب تانسیومتر، با یک مته ۲٫۵ سانتی‌متری تا عمق ۲۲٫۵ سانتی‌متر حفر می‌شوند. مقدار کمی خاک خشک و آب به داخل سوراخ ریخته می‌شود و سپس تانسیومترها به صورتی در سوراخ‌ها جا داده می‌شود که لوله شیشه‌ای آن‌ها رو به آفتاب نباشد. تانسیومتر را پس از جاگذاری، به طرف بالا و پایین حرکت داده تا تماس بین کلاهک متخلخل و گل و خاک دست نخورده افزایش یابد. سپس فضای دایره‌ای اطراف هر تانسیومتر تا حدود ۳ سانتی‌متری سطح زمین با خاک پر شده و کوبیده می‌شود. پس از آن، مخلوط یک به یک خاک بنتونیتی اضافه می‌شود تا از نشت جلوگیری گردد. در این مرحله، جیوه به داخل مخزن تانسیومتر ریخته شده و لوله‌های آن با آب پر می‌گردد. در ضمن برای خارج کردن هوا از تانسیومتر، از یک سرنگ کوچک استفاده می‌شود؛ این کار با گذراندن آب از سامانه صورت می‌گیرد.

شناور وسیله‌ای است که عمق آب را در تراز معینی ثابت نگه‌می‌دارد. شناورها طوری نصب و تنظیم می‌شوند که همواره عمق ۱۵ سانتی‌متر آب را در داخل استوانه ایجاد کنند. شناور با یک لوله لاستیکی

---

1 - Auger
2 - Can

به مخزن آب متصل است. اگر آب، حاوی مواد معلق باشد، باید در مسیر مخزن به شناور و روی لوله لاستیکی فیلتر نصب شود. مخزن آب همیشه باید محکم بوده و اشل آن رو به آفتاب نباشد. در استوانه تا علامت ۱۵ سانتی‌متری آب ریخته می‌شود و پس از برداشتن وسیله‌ای که برای جلوگیری از تخریب ساختمان خاک به کار رفته، شیر مخزن باز گردد. در حفره اطراف استوانه داخلی نیز باید تا عمق ۱۵ سانتی‌متری آب ریخته شود و این ارتفاع آب باید در تمام طول آزمون حفظ گردد. مخزن آب اضافی و شناور اضافی نیز به این منظور به کار برده می‌شود. وقتی تمام وسایل نصب و تانسیومترها از آب پر شد، زمان و مقدار آب مخزن ثبت می‌شود.

مخزن اصلی آب باید (۲ یا ۳)بار در روز، بسته به شدت نفوذ و هدایت هیدرولیک بازدید شود و در صورت لزوم دوباره پر گردد. هر بار که محل آزمون بازدید می‌شود، باید اطلاعات مربوط به ساعت، حجم آب موجود در مخزن، اعداد خوانده شده از تانسیومترها و پیزومترها، دما و هدایت هیدرولیک اشباع خاک ثبت شوند. هنگامی که تانسیومتر حدود عدد ۱۰۰ را نشان بدهد (مکش صفر) و در نتیجه پیزومترها هیچ آبی را نشان ندهند، بار هیدرولیک با شدت ثابت از ۱۵ سانتی‌متر رو به کاهش می‌گذارد. در این حالت، تقریباً شرایط قانون دارسی ایجاد شده و نتیجه‌های به‌دست آمده می‌تواند در محاسبه هدایت هیدرولیک مورد استفاده قرار گیرد. اعدادی که تانسیومتر نشان می‌دهد، در زمانی که خاک نزدیک شرایط اشباع و یا به‌طور کامل اشباع باشد فرق می‌کند و به سختی می‌توان به‌طور مداوم عدد ۱۰۰ را روی تانسیومتر ثابت نگه‌داشت. اگر تانسیومتر اعداد (۱۰۰ تا ۱۰۵) را نشان دهد، به احتمال زیاد، شرایط اشباع در خاک برقرار می‌باشد. همچنین لزومی ندارد که هر دو تانسیومتر یک عدد را نشان دهند؛ کافی است که هریک, اعدادی بین (۱۰۰ تا ۱۰۵) را نشان دهند. اگر قبل از این‌که شرایط قانون دارسی برقرار شده باشد، آب نفوذ یافته از زیر استوانه به لایه‌ای با نفوذپذیری کمتر برسد، توده آبی در زیر ناحیه مورد آزمون جمع می‌شود. هنگامی که این اتفاق بیفتد، گرادیان هیدرولیکی کمتر از واحد شده و سطح پایینی لایه مورد آزمون تحت فشار بیشتر از فشار اتمسفری قرار خواهد گرفت که این شرایط توسط تانسیومترها و پیزومترها همراه با هم نشان داده خواهد شد. وقتی که پیزومترها توده آبی را در زیر استوانه نشان دهند، دیگر نتیجه‌های به‌دست آمده نمی‌تواند در محاسبه هدایت هیدرولیک مورد استفاده قرار گیرد. در این شرایط یا باید آزمون متوقف شود و یا آب جمع شده از زیر استوانه خارج گردد. اگر خاک بین لایه مورد آزمون و این لایه با نفوذپذیری کم از نفوذپذیری متوسطی برخوردار باشد، گاهی می‌توان با حفر چند چاهک در اطراف محوطه آزمون (تا حدودی در فاصله ۲۵ سانتی‌متری استوانه) سطح آب جمع شده را پایین آورد. اگر این چاهک‌ها با شن پر شوند، مانند دیواره‌های زهکش معکوس عمل خواهند کرد و در بیشتر موارد، سطح توده آب را پایین می‌آورند. اگر چاهک‌ها نتوانند زهکشی لازم را انجام دهند، باید وسایل آزمون را تا لایه با نفوذپذیری کم پایین برده و آزمون را دوباره انجام داد.

۱۰-۲-۲-۲-۳ محاسبات

محاسبه هدایت هیدرولیک اشباع با استفاده از روش استوانه به وسیله قانون دارسی و با معادله زیر صورت می‌گیرد:

$$K=\frac{V.L}{t.A.H} \qquad (۵۲)$$

که در آن:

K هدایت هیدرولیک اشباع خاک بر حسب سانتی‌متر بر ساعت.

V حجم آب عبور کرده از خاک بر حسب سانتی‌متر مکعب؛

A سطح مقطع استوانه مورد آزمون بر حسب سانتی‌متر مربع؛

t زمان بر حسب ساعت؛

L طول ستون خاک برحسب سانتی‌متر؛

H ارتفاع آب بالای استوانه بر حسب سانتی‌متر.

در جدول ۵ داده‌های مربوط به یک آزمون نشان داده شده و هدایت هیدرولیک اشباع قائم خاک محاسبه شده است.

یک نمونه از برگه ثبت داده‌ها و محاسبات در مثال حل شده آورده شده است. هنگامی که ت.غییرات دمای آب به $2^{\circ}C$ برسد، باید تصحیح لزجت صورت گیرد. این کار سبب یکسانی نتیجه‌ها خواهد شد. برای تصحیح بده در دماهای مختلف می‌توان از جدول ۵ بهره گرفت.

۱۰-۲-۲-۲-۴ محدودیت‌های انجام آزمون

یکی از بزرگ‌ترین محدودیت‌های این روش آن است که خاک زیر لایه مورد آزمون باید هدایت هیدرولیک بیشتر یا مساوی هدایت هیدرولیک لایه مورد انجام آزمون را داشته باشد. همچنین آب باید از لایه مورد انجام آزمون عبور کرده و به یک عمق مناسب در زیر لایه موردنظر برسد به طوری که یک جریان دائم برای سه دوره خوانش به طور پشت سرهم برقرار شود و قبل از این‌که آب شروع به جمع شدن کند، جریان برای مدت سه بار خوانش شده و آب انباشته شده مشکلی پیش نیاورد.

مشکل دیگر وجود لایه‌های متراکم‌تر در زیر لایه آزمون است. در این شرایط، هیچ‌وقت جریانی دائمی به وجود نمی‌آید و هدایت هیدرولیکی در هنگام آزمون، کمتر از مقدار واقعی آن به دست می‌آید. همچنین زمانی که لایه مورد آزمون درست روی یک لایه خیلی نفوذپذیر با عمق زیاد قرار گرفته باشد، نتیجه‌های غیرواقعی به دست می‌آید. در این شرایط، جریان دائمی برقرار می‌شود اما تانسیومترها هیچ‌گاه مکش صفر را نشان نمی‌دهند. در نتیجه می‌توان گفت که در این حالت، شرایط قانون دارسی ایجاد نشده است. این آزمون در خاک‌های سنگی یا سنگ ریزه‌ای نمی‌تواند انجام شود، زیرا بدون بروز پدیده نشت در امتداد فضای خالی سیلندر، نمی‌توان سیلندر را به درون این‌گونه مواد برد.

جدول ۵- داده‌ها و محاسبات مربوط به هدایت هیدرولیک اشباع قائم خاک به روش استوانه

پیزومترها		تانسیومترها		K $(\frac{cm}{hr})$	بده تصحیح شده $(\frac{cm^3}{hr})$	لزجت آب (Centipois)	درجه (۱) حرارت آب (°C)	Q $(\frac{cm^3}{hr})$	اختلاف (cm)	خوانش‌های مخزن		زمان (ساعت)	نهایی		ابتدایی	
(۲)	(۱)	(۲)	(۱)							نهایی (cm)	ابتدایی (cm)		زمان	تاریخ	زمان	تاریخ
خشک	خشک	۱۵۳	۱۴۵	-	۱۳۷۶٫۵	۱٫۰۸۲۸	۱۷	۱۴۱۲٫۵	۵٫۹	۵٫۹	۰	۴٫۲۰	۱۲:۱۲	۱۰٫۱۳	۸:۰۰	۷۴٫۱۰٫۱۳
خشک	خشک	۱۴۲	۱۳۸	-	۱۲۷۳٫۳	۱٫۰۲۹۹	۱۹	۱۳۷۳٫۲	۵٫۹	۱۱٫۸	۵/۹	۴٫۳۰	۱۶:۳۰	۱۰٫۱۳	۱۲:۱۲	۷۴٫۱۰٫۱۳
خشک	خشک	۱۳۸	۱۳۵	-	۱۲۱۲٫۶	۱٫۲۰۲۸	۱۳	۱۱۱۹٫۲	۱۶٫۷	۲۸٫۵	۱۱٫۸	۱۴٫۹۲	۷:۲۵	۱۰٫۱۳	۱۶:۳۰	۷۴٫۱۰٫۱۳
خشک	خشک	۱۳۳	۱۳۱	-	۱۲۱۲٫۶	۱٫۱۱۱۱	۱۶	۱۱۶۶٫۷	۶٫۱	۳۴٫۶	۲۸٫۵	۵٫۱۷	۱۲:۳۵	۱۰٫۱۴	۷:۲۵	۷۴٫۱۰٫۱۴
خشک	خشک	۱۲۷	۱۲۲	-	۱۲۲۲٫۵	۱٫۰۵۵۹	۱۸	۱۱۷۹٫۹	۴٫۷	۳۹٫۳	۳۴٫۶	۴٫۰۰	۱۶:۳۵	۱۰٫۱۴	۱۲:۳۵	۷۴٫۱۰٫۱۴
خشک	خشک	۱۱۷	۱۱۷	-	۱۰۷۱٫۷	۱٫۱۷۰۹	۱۴	۱۰۱۶	۱۵٫۵	۵۴٫۸	۳۹٫۳	۱۵٫۲۵	۷:۵۰	۱۰٫۱۴	۱۶:۳۵	۷۴٫۱۰٫۱۴
خشک	خشک	۱۱۳	۱۱۱	۱٫۹۷	۱۰۴۲٫۲	۱٫۱۱۱۱	۱۶	۱۰۴۲٫۲	۴٫۶	۴٫۶	۰	۴٫۴۲	۱۲:۱۵	۱۰٫۱۵	۷:۵۰	۷۴٫۱۰٫۱۵
خشک	خشک	۱۰۹	۱۰۸	۱٫۸	۹۴۲٫۲	۱٫۰۲۹۹	۱۹	۱۰۱۶	۵	۹٫۶	۴٫۶	۴٫۹۲	۱۷:۱۰	۱۰٫۱۵	۱۲:۱۵	۷۴ر۱۰٫۱۵
خشک	خشک	۱۰۵	۱۰۳	۱٫۹۷	۱۰۰۹٫۴	۱٫۲۳۶۳	۱۲	۹۰۶٫۲	۱۳٫۱	۲۲٫۷	۹٫۶	۱۴٫۴۲	۷:۳۵	۱۰٫۱۵	۱۷:۱۰	۷۴٫۱۰٫۱۵
خشک	خشک	۱۰۴	۱۰۵	۱٫۹۷	۱۰۲۰٫۹	۱٫۱۴۰۴	۱۵	۹۹۴٫۷	۵	۲۷٫۲	۲۲٫۷	۴٫۵۸	۱۲:۱۰	۱۰٫۱۶	۷:۳۵	۷۴٫۱۰٫۱۶
خشک	خشک	۱۰۲	۱۰۲	۱٫۹۷	۱۰۰۴٫۵	۱٫۰۵۵۹	۱۸	۱۰۵۵٫۳	۴٫۹	۳۲٫۱	۲۷٫۲	۴٫۶۷	۱۶:۵۰	۱۰٫۱۶	۱۲:۱۰	۷۴٫۱۰٫۱۶
خشک	خشک	۱۰۲	۱۰۴	۱٫۹۷	۹۹۳٫۰۵	۱٫۲۰۲۸	۱۳	۹۱۷٫۷	۱۴٫۳	۴۶٫۴	۳۲٫۱	۱۵٫۵۰	۸:۲۰	۱۰٫۱۶	۱۶:۵۰	۷۴٫۱۰٫۱۶

(۱) درجه حرارت آب موجود در استوانه

(۲) بده تصحیح شده براساس دمای موردنظر، از معادله $K_1\mu_1 = K_2\mu_2$ به دست می‌آید که در آن K_1 و K_2 به ترتیب هدایت هیدرولیک اشباع خاک در دمای t_1، t_2، μ_1 و μ_2 لزوجت آب در همین دماهاست. در این مثال، تصحیح بده برای دمای ۱۶ درجه سلسیوس صورت گرفته است. بنابراین به عنوان مثال، بده تصحیح شده در سطر آخر از معادله $993 = 917/7 \times \frac{1/2028}{1/1111}$ به‌دست آمده است.

پیوست الف

(اطلاعاتی)

مثال‌هایی برای آشنایی با سه حالت ممکن در اندازه‌گیری‌ها

مثال ۱

الف-۱- نتیجه‌های اندازه‌گیری در یک چاهک (شامل برگ ثبت صحرایی اندازه‌گیری برگشت آب و نمودار محاسباتی) به‌شرح برگه۲ به دست آمده است. انتقال این نتیجه‌ها به جدول و ترسیم منحنی تغییرات آن، به خوبی نشان می‌دهد که همه مراحل اندازه‌گیری با دقت و به شکل خوبی صورت گرفته و هیچگونه اشکالی در نتیجه‌های به دست آمده به چشم نمی‌خورد. مقدار y_o به دست آمده از طریق محاسبه حجم آب بیرون کشیده شده از چاهک (برمبنای شعاع اسم r = ۴٫۳ سانتی‌متر)، به اندازه کافی با مقدار نظیرش که از امتداد خط به دست می‌آید تطبیق دارد. این مورد نشان می‌دهد که قطر تعیین شده برای چاهک با قطر اسمی آن تقریباً برابر است و می‌توان در محاسبات از همین قطر استفاده نمود.

مثال ۲

الف-۲- نتیجه‌های اندازه‌گیری در یک چاهک به شرح برگه ۳ به دست آمده است. انتقال این نتیجه‌ها به جدول و ترسیم منحنی تغییرات آن نشان می‌دهد که مقادیر اندازه‌گیری شده (y,t) به خوبی امتداد یک خط را به‌دست می‌دهد. اما مقدار r که از روش تقسیم حجم آب تخلیه شده بر y_o (حاصل از امتداد خطوط) به دست می‌آید، با مقدار اسمی آن اختلاف دارد (۴٫۳≠ ۴٫۱). مقدار این اختلاف، ناچیز است و می‌توان از آن صرفنظر کرده و محاسبات با فرض r = ۴٫۱ سانتی‌متر انجام شود. انتظار می‌رود خطای اندازه‌گیری K از حدود ۱۰ درصد تجاوز نکند.

مثال ۳

الف-۳- نتیجه‌های اندازه‌گیری در یک چاهک، به شرح برگه ۴ به دست آمده است. انتقال این نتیجه‌ها به جدول و ترسیم منحنی تغییرات آن ناهماهنگی ویژه‌ای را نشان نمی‌دهد. اما مقدار r که از روش تقسیم حجم آب تخلیه شده بر y_o (به دست آمده از امتداد خطوط) به‌دست می‌آید، با مقدار اسمی آن بیش از ۱۳ میلی‌متر اختلاف دارد. این اختلاف می‌تواند خطایی در حدود ۳۰ درصد برای محاسبه K در برداشته باشد. از آن‌جا که نمی‌توان قطر چاهک به دست آمده از روش محاسبات را با اطمینان به سرتا سر عمق چاهک تعمیم داد (زیرا به احتمال زیاد، ریزش چاهک موضعی است) بهتر است که از نتیجه‌های به دست آمده صرفنظر کرد و آزمون را تکرار نمود.

لازم به توضیح است که در مثال‌های بالا فقط اندازه‌گیری حجم آب (V) و کنترل y_o امکان اشتباه‌یابی را به وجود آورده است.

پیوست ب

(اطلاعاتی)

مثال‌هایی برای تعیین هدایت هیدرولیک خاک

مثال ۱

ب-۱- در نقطه H13 با توجه به شرایط موجود در هنگام آزمون، تعیین هدایت هیدرولیک به روش‌چاهک در فاصله ۲۱۵ سانتی‌متری تا ۳۰۰ سانتی‌متری ازسطح زمین در بافت SiL، نتیجه ۱٫۷۶ متر بر روز را به‌دست می‌دهد. به منظور بررسی هدایت هیدرولیک لایه زیر آن که دارای بافت SiCL است، آزمون پیزومتری درعمق ۴۵۰ سانتی‌متری انجام شده که براساس جدول ب-۱ نتیجه ۰٫۱ متر برروز را نشان داده و از این‌رو لایه گفته شده که از ۳۴۰ سانتی‌متری سطح خاک آغاز می‌گردد، به عنوان لایه محدود کننده شناخته شده است.

مثال ۲

ب-۲- در نقطه J14 با توجه به شرایط طبیعی در هنگام آزمون، هدایت هیدرولیک به روش چاهک در عمق ۲۰۰ سانتی‌متر تا ۳۰۰ سانتی‌متر، نتیجه ۸٫۰۹ متر بر روز را به‌دست می‌دهد. از آن‌جا که آب‌گذری اندازه‌گیری شده با توجه به بافت خاک بالاست، احتمال این‌که لایه زیرین آن با بافت سنگین SiC بتواند به‌عنوان لایه محدود کننده تلقی شود، مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین آزمون تعیین هدایت هیدرولیک در زمانی دیگر در عمق ۴۸۰ سانتی‌متری تجویز شده که نتیجه‌ای معادل ۲٫۸ متر بر روز را به‌دست داده است. بنابراین لایه گفته شده به‌عنوان لایه محدود کننده تشخیص داده نشده است. جدول ب-۲ داده‌های این آزمون و محاسبات مربوط را نشان می‌دهد.

در همین محل برای بررسی وضعیت آب‌گذری طبقات بالاتر نیز، آزمون چاهک معکوس یا روش پورشه در عمق ۱۰۰ سانتی‌متری تا ۱۷۰ سانتی‌متری انجام گرفته و نتیجه ۴٫۲۰ متر بر روز را به‌دست داده است. بدین‌ترتیب مشاهده می‌شود که بافت SiC در طبقات بالایی، به علت وجود درز، ترک و ریشه، دارای هدایت هیدرولیک بالاتر و در طبقات پایین‌تر به علت تراکم بیشتر دارای آب‌گذری کمتری است.

مثال ۳

ب-۳- به علت وجود فشار پیزومتری در نقطه‌ای، دو پیزومتر در دولایه پشت سرهم نصب شده (لایه بالاییSiC و لایه زیرین مخلوطی از شن و ماسه است) و دو حفره یکسان در زیر آن‌ها ایجاد شده است. مشخصات دو پیزومتر و سطح ایستابی آن‌ها در شکل ب-۱ نشان داده شده است. می‌خواهیم هدایت هیدرولیک لایه SiC را پیدا کنیم. برای این کار ابتدا باید ضریب شکل را با توجه به وجود فشار پیزومتری با استفاده از شکل ۲۶ پیداکرد. قطر هر یک از دو پیزومتر ۱٫۵ اینچ (۳۷٫۵ میلی‌متر) است. پس داریم:

$$H = H_1 - H_2 = 570 - 420 = 150\,\text{cm}$$

$$\Delta = \Delta_1 - \Delta_2 = 180 - 120 = 60\,\text{cm}$$

$$\frac{\Delta}{H} = \frac{60}{150} = 0.4$$

d' فاصله بین سطح خاک تا وسط حفره پیزومتر شماره ۲ منهای فاصله سطح خاک تا بالای لایه SiC:

$$d' = 540 - 510 = 30\,\text{cm}$$

$$\frac{d'}{H} = \frac{30}{150} = 0.2$$

جدول ب-۱- آزمون پیزومتری در نقطه H13

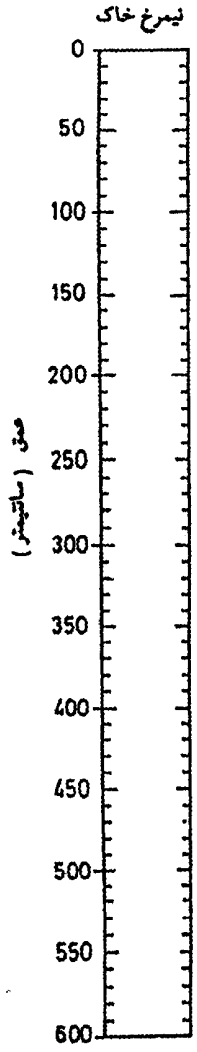
نام پروژه: قره سو - زرنگل شماره چاهک: H_{13} عمق چاهک: ۴۵۰ سانتی‌متر عمق برخورد به آب: ۳۲۰ سانتی‌متر

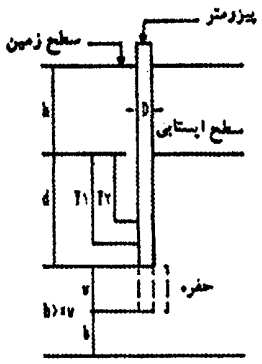
عمق سطح ایستابی متعادل: ۳۱۰ سانتی‌متر قطر آگر: ۴٫۲ سانتی‌متر نام آزمایش کننده: تاریخ: ۷۳/۶/۴

الف: اندازه‌گیری‌ها

اطلاعات مربوط به خیز سطح آب

ردیف	t sec	y cm	t_2-t_1 sec	y_1/y_2	K m/day
۱	۰	۳۵٫۴			
۲	۳۰۰	۲۸٫۱	۳۰۰	۱٫۲۶	۰٫۱۵۱
۳	۶۰۰	۲۲٫۴	۳۰۰	۱٫۲۵	۰٫۱۴۹
۴	۹۰۰	۱۷٫۵	۳۰۰	۱٫۲۸	۰٫۱۶۲
۵	۱۲۰۰	۱۴٫۲	۳۰۰	۱٫۲۳	۰٫۱۳۷
۶	۱۵۰۰	۱۱٫۳	۳۰۰	۱٫۲۶	۰٫۱۵۰
۷	۱۸۰۰	۸٫۹	۳۰۰	۱٫۲۷	۰٫۱۵۶
۸	۲۱۰۰	۷٫۱	۳۰۰	۱٫۲۵	۰٫۱۴۸
۹	۲۴۰۰	۵٫۷	۳۰۰	۱٫۲۵	۰٫۱۴۴
۱۰					
۱۱					
۱۲					
۱۳					
۱۴					
۱۵					





ب: محاسبات

اطلاعات مربوط به چاهک

h - فاصله زمین تا سطح ایستابی ۳۱۰ سانتی‌متر

d - فاصله سطح ایستابی تاانتهای پیزومتر ۱۴۰ سانتی‌متر

h+d - عمق اندازه‌گیری ۴۵۰ سانتی‌متر

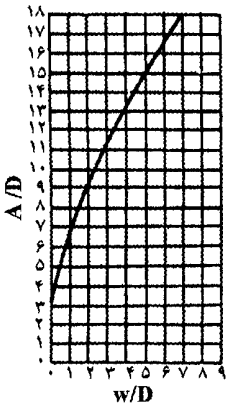
w - طول حفره ۲۰ سانتی‌متر

b - فاصله کف چاهک تالایه بعدی ۴۰ سانتی‌متر

D - قطر داخلی پیزومتر و حفره ۴٫۲ سانتی‌متر

K - هدایت هیدرولیک ۰٫۱۵ متر بر روز

A - ضریب شکل ۶۰٫۹ سانتی‌متر



$$K = \frac{۶۲۵۰(D/۲)^۲ \log (y_1/y_2)}{A(t_2 - t_1)}$$

جدول ب-۲- آزمون پیزومتری در نقطه J14

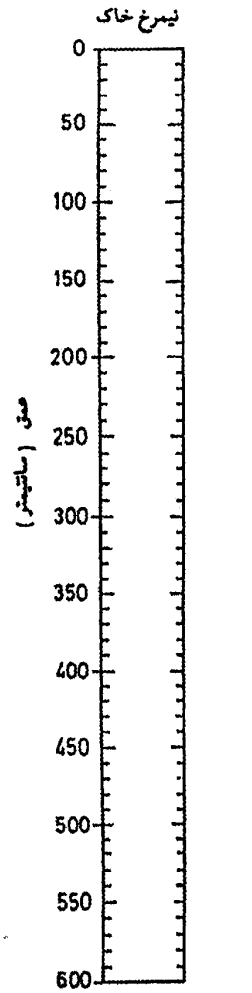
نام پروژه: قزوین-زرنگل شماره چاهک: J۱۴ عمق چاهک: ۴۸۰ سانتی‌متر عمق برخورد به آب: ۳۱۲ سانتی‌متر

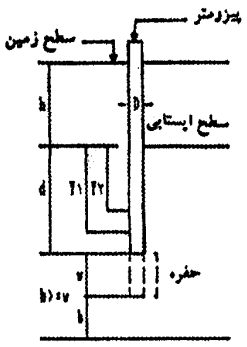
عمق سطح ایستابی متعادل: ۳۱۲ سانتی‌متر قطر آگر: ۴٫۲ سانتی‌متر نام آزمایش کننده: تاریخ: ۷۳/۶/۱۶

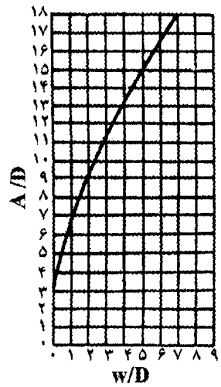
الف: اندازه گیری‌ها

اطلاعات مربوط به خیز سطح آب

ردیف	t sec	y cm	t_2-t_1 sec	y_1/y_2	K m/day
۱	۰	۱۹٫۸			
۲	۵	۱۹٫۱	۵	۱٫۰۳۷	۱٫۴۱
۳	۱۰	۱۸٫۳	۵	۱٫۰۴۴	۱٫۶۵
۴	۱۵	۱۷٫۵	۵	۱٫۰۴۶	۱٫۷۲
۵	۲۰	۱۶٫۸	۵	۱٫۰۴۲	۱٫۵۷
۶	۲۵	۱۶٫۱	۵	۱٫۰۴۳	۱٫۵۴
۷	۳۰	۱۵٫۲	۵	۱٫۰۵۹	۲٫۱۱
۸	۳۵	۱۴٫۴	۵	۱٫۰۵۵	۲٫۰۸
۹	۴۰	۱۳٫۸	۵	۱٫۰۴۳	۱٫۸۴
۱۰	۴۵	۱۳٫۰	۵	۱٫۰۶۱	۲٫۲۹
۱۱	۵۰	۱۲٫۱	۵	۱٫۰۷۴	۲٫۷۶
۱۲	۵۵	۱۱٫۳	۵	۱٫۰۷۱	۲٫۶۳
۱۳	۶۰	۱۰٫۵	۵	۱٫۰۷۶	۲٫۸۳
۱۴	۶۵	۹٫۷	۵	۱٫۰۸۲	۳٫۱۱
۱۵	۷۰				







ب: محاسبات

اطلاعات مربوط به چاهک

h - فاصله زمین تا سطح ایستابی ۳۰۸ سانتی‌متر

d - فاصله سطح ایستابی تاانتهای پیزومتر ۲ سانتی‌متر

h+d - عمق اندازه‌گیری ۳۸۰ سانتی‌متر

w - طول حفره ۲۰ سانتی‌متر

b - فاصله کف چاهک تالایه بعدی ۳۰ سانتی‌متر

D - قطر داخلی پیزومتر و حفره ۴/۲ سانتی‌متر

K - هدایت هیدرولیک ۲/۷۵ متر بر روز

A - ضریب شکل ۶۰/۹ سانتی‌متر

$$K = \frac{۶۲۵۰(D/۲)^۲ \log (y_۱/y_۲)}{A(t_۲ - t_۱)}$$

با مراجعه به شکل ۲۶ داریم:

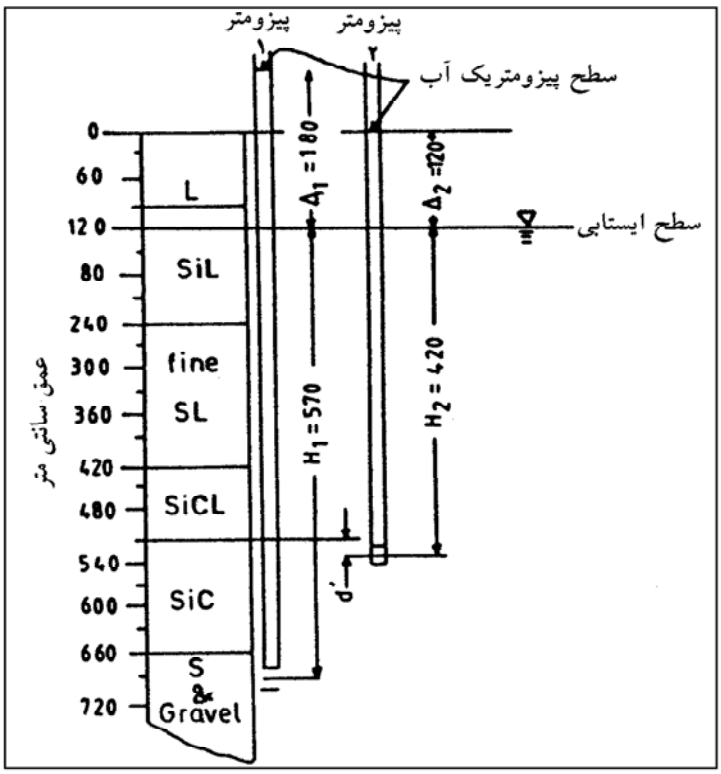
A = 57.4 cm

وضعیت خیز سطح آب نسبت به زمان در پیزومتر اصلی (زیرین)، در جـدول ب-۳ و شـکل ب-۱ نشـان داده شده است.

با استفاده از ۵ داده آخر: $K = 0.64$ (بر حسب متر بر روز) نتیجه‌گیری شده است.

جدول ب-۳- داده‌های خیز سطح آب در آزمون ۳ در پیزومتر شماره ۲

ردیف	T_1 sec	T_2 sec	y_1 cm	y_2 cm	K day/m
۱	۰	۱۵	۱۸/۶۰	۱۸/۱۰	۰/۳۰
۲	۱۵	۳۰	۱۸/۱۰	۱۷/۴۰	۰/۴۴
۳	۳۰	۴۵	۱۷/۴۰	۱۶/۸۰	۰/۳۹
۴	۴۵	۶۰	۱۶/۸۰	۱۶/۰۰	۰/۵۴
۵	۶۰	۷۵	۱۶/۰۰	۱۵/۴۰	۰/۴۲
۶	۷۵	۹۰	۱۵/۴۰	۱۴/۷۰	۰/۵۲
۷	۹۰	۱۰۵	۱۴/۷۰	۱۴/۰۰	۰/۵۴
۸	۱۰۵	۱۲۰	۱۴/۰۰	۱۳/۳۰	۰/۵۷
۹	۱۲۰	۱۳۵	۱۳/۳۰	۱۲/۷۰	۰/۵۱
۱۰	۱۳۵	۱۵۰	۱۲/۷۰	۱۲/۰۰	۰/۶۳
۱۱	۱۵۰	۱۶۵	۱۲/۰۰	۱۱/۴۰	۰/۵۷
۱۲	۱۶۵	۱۸۰	۱۱/۴۰	۱۰/۸۰	۰/۶۰
۱۳	۱۸۰	۱۹۵	۱۰/۸۰	۱۰/۱۰	۰/۷۴
۱۴	۱۹۵	۲۱۰	۱۰/۱۰	۹/۵۰	۰/۶۸



شکل ب-۱- تعیین‌هدایت هیدرولیک اشباع لایه، هنگامی که زیر فشار پیزومتری لایه زیرین خود قرار دارد

پیوست پ
(اطلاعاتی)
کتابنامه

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات، جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می‌شود.
درصورتی‌که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی آن‌ها مورد نظر است.
استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

[۱] علیزاده، امین. زهکشی اراضی، مشهد، دانشگاه فردوسی، ۱۳۶۶.
[۲] بازاری، محمدابراهیم؛ علیزاده، امین؛ نی‌ریزی، سعید. مهندسی زهکشی، مشهد، دانشگاه فردوسی، ۱۳۶۷.
[۳] بای‌بوردی، محمد. اصول مهندسی زهکشی و بهسازی خاک، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۶۰.
[۴] فرداد، حسین. اصول زهشی و کاربرد آن، جلد سوم با تجدید نظر، تهران انتشارات دانش و فن، ۱۳۶۵.
[۵] اسمیدما، لامیرت؛ رای کرافت، دیوید؛ ترجمه امین علیزاده. زهکشی اراضی، مشهد، انتشارات دانشگاه فردوسی، ۱۳۷۰.
[۶] معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور، دستورالعمل تعیین هدایت هیدرولیک خاک، ۱- روش چاهک، ۱۳۷۳.
[۷] شهریاری، محمدرضا. اندازه‌گیری ضریب آب‌گذری خاک در زیر سطح ایستابی به روش چاهک در مزرعه، اداره کل مهندسی زراعی، وزارت کشاورزی، تیرماه ۱۳۵۰.
[۸] اکرم، مجتبی. راهنمای آزمایشات زهکشی، پلی‌کپی درسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، ۱۳۶۳.
[۹] شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس، راهنما و دستورالعمل اندازه‌گیری ضریب آب‌گذری برای مطالعات زهکشی، ۱۳۶۶.
[۱۰] آذرنیا، اصغر. روش چاهک آزمونی برای اندازه‌گیری تراوش هیدرولیک خاک، بنگاه مستقل آبیاری، ۱۳۴۱.
[۱۱] سازمان برنامه و بودجه، دستورالعمل لایه‌بندی خاک در مطالعات زهکشی اراضی، ۱۳۷۵.
[12] USDA, SCS, Drainage of Agricultural Land, 1972.
[13] Bureau of Reclamation, Drainage Manual, 1993.
[14] ILRI, Drainage Principle & Applications, Weganingen, The Netherlands, 1979.
[15] American Society of Agronomy, Drainage for Agriculture, Monograph 17, 1974.
[16] Van Beer, W.F.J., Auger Hole Method, ILRI, The Netherlands, 1985.
[17] United States Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Drainage of Agricultural Land, Washington, 1971.
[18] American Society of Agronomy, Drainage of Agricultural Lands, Monograph No. 17,1977.