جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه ـ وزارت نیرو

دستورالعمل تعیین هدایت هیدرولیک خاک

معاونت امور فنی
دفتر تحقیقات و معیارهای فنی

نشریه شماره ۱۵۵

جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه – وزارت نیرو

دستورالعمل تعیین هدایت هیدرولیک خاک

نشریه شماره ۱۵۵

معاونت امور فنی
دفتر تحقیقات و معیارهای فنی

انتشارات سازمان برنامه و بودجه ۸۱/۰۰/ ۷۵

۱۳۷۵

فهرست برگه

سازمان برنامه و بودجه . دفتر تحقیقات و معیارهای فنی
دستورالعمل تعیین هدایت هیدرولیک خاک/ معاونت امور فنی، دفتر تحقیقات و معیارهای فنی؛ وزارت نیرو، [امور آب].- تهران: سازمان برنامه و بودجه، مرکز مدارک اقتصادی – اجتماعی و انتشارات ۱۳۷۵.
۵۱ ص.: مصور.- (سازمان برنامه و بودجه. دفتر تحقیقات و معیارهای فنی؛ نشریه شماره ۱۵۵)(انتشارات سازمان برنامه و بودجه؛ ۷۵/۰۰/۸۱)
مربوط به دستورالعمل شماره: ۱۳۹۱-٦٦٥٤/٥٦-۱۰۲ مورخ ۱۳۷۵/۱۰/۸
کتابنامه: ص. ۵۱
۱. خاک- هیدرو دینامیک ۲. آبهای زیرزمینی- حفاری و استخراج. ۳- زهکشی- استانداردها ٤. خاکشناسی. الف۰ ایران. وزارت نیرو. امور آب. ب. سازمان برنامه و بودجه. مرکز مدارک اقتصادی- اجتماعی و انتشارات. ج. عنوان. د. فروست.

ش. ۱۵۵ ۲ س / ۳٦۸ TA

دستورالعمل تعیین هدایت هیدرولیک خاک
تهیه کننده: دفتر تحقیقات و معیارهای فنی
ناشر: سازمان برنامه و بودجه. مرکز مدارک اقتصادی- اجتماعی و انتشارات
چاپ اول: ۵۰۰ نسخه، ۱۳۷۵
قیمت: ۳۵۰۰ ریال
چاپ و صحافی: مؤسسه زحل چاپ
همهٔ حقوق برای ناشر محفوظ است.

بسمه تعالی

به : تمامی دستگاههای اجرایی و مهندسان مشاور	دستورالعمل شماره : ۱۳۹۱_۵۶/۶۶۵۴_۱۰۲ مورخ : ۷۵/۱۰/۸

موضوع : دستورالعمل تعیین هدایت هیدرولیک خاک

به استناد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه کشور و آئین‌نامه استانداردهای اجرائی طرحهای عمرانی به پیوست نشریه شماره ۱۵۵ دفتر تحقیقات و معیارهای فنی این سازمان با عنوان " دستورالعمل تعیین هدایت هیدرولیک خاک " از گروه دوم ابلاغ می‌گردد.

تاریخ اجرای این دستورالعمل ۱۳۷۶/۱/۱ می‌باشد.

شایسته است دستگاههای اجرائی و مهندسان مشاور مفاد نشریه یاد شده و ضرایط معیارهای مندرج در آن را ضمن تطبیق با شرایط کار خود در طرحهای عمرانی مورد استفاده قرار دهند.

حمید میرزاده

معاون رئیس جمهور و رئیس سازمان برنامه و بودجه

بسمه تعالی

پیشگفتار

استفاده از ضوابط، معیارها و استانداردها در مراحل تهیه (مطالعات امکان سنجی)، مطالعه و طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرحهای عمرانی بلحاظ توجیه فنی و اقتصادی طرحها، کیفیت طراحی و اجرا (عمر مفید) و هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد.

نظام جدید فنی و اجرائی طرحهای عمرانی کشور (مصوب جلسه مورخ ۱۳۷۵/۳/۲۳ هیأت محترم وزیران) بکاریگری معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در قیمت تمام شده طرحها را مورد تأکید جدی قرار داده است.

با توجه به مراتب فوق و شرایط اقلیمی و محدودیت منابع آب در ایران امور آب وزارت نیرو (طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور) با همکاری معاونت امور فنی سازمان برنامه و بودجه (دفتر تحقیقات و معیارهای فنی) بر اساس ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه اقدام به تهیه استانداردهای مهندسی آب نموده است.

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

- **استفاده از تخصص‌ها و تجربه‌های کارشناسان صاحبنظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی.**
- **استفاده از منابع و مأخذ معتبر و استانداردهای بین‌المللی.**
- **بهره‌گیری از تجارب دستگاههای اجرایی، سازمانها، نهادها، واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت.**
- **ایجاد هماهنگی در مراحل تهیه، اجرا، بهره‌برداری و ارزشیابی طرحها.**
- **پرهیز از دوباره‌کاریها و اتلاف منابع مالی و غیر مالی کشور.**
- **توجه به اصول و موازین مورد عمل مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و سایر مؤسسات معتبر تهیه کنندهٔ استاندارد.**

ضمن تشکر از بخش عمران آب مهندسین مشاوره شهر، برای بررسی و اظهار نظر در مورد این استاندارد، امید است مجریان و دست اندرکاران بخش آب، با به کارگیری استانداردهای یاد شده، برای پیشرفت و خودکفایی این بخش از فعالیتهای کشور تلاش نموده و صاحبنظران و متخصصان نیز با اظهار نظرهای سازنده، در تکامل این استانداردها مشارکت کنند.

طرح تهیه استانداردهای آب کشور **دفتر تحقیقات و معیارهای فنی**

زمستان ۱۳۷۵

ترکیب اعضای کمیته

اسامی اعضای کمیته فنی شماره ۳-۲ (زهکشی) که در تهیه پیش‌نویس استاندارد حاضر مشارکت کرده‌اند، به شرح زیر است:

آقای مجتبی اکرم	**بانک کشاورزی**	**فوق‌لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی**
خانم بنفشه بهنام	**طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور**	**فوق‌لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی**
آقای احمد لطفی	**مهندسین مشاور پندام**	**فوق‌لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی**

همچنین آقایان دکتر ابراهیم شاه قاسمی و دکتر اسدالله روحی در مدت زمان تهیه این دستورالعمل در چندین جلسه شرکت نمودند و با نظریات خویش کمیته را یاری دادند .

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه ۱
۱- هدف و دامنه کاربرد ۲
۲- کلیات و مبانی نظری ۲
۳- لوازم و پرسنل مورد نیاز ۹
۳-۱ لوازم و تجهیزات ۹
۳-۱-۱ آگر ۹
۳-۱-۲ خراش دهنده ۹
۳-۱-۳ آبکش ۹
۳-۱-٤ لوازم اندازه‌گیری تغییرات سطح آب ۱۰
۳-۱-۵ سایر لوازم مورد نیاز ۱۰
۳-۲ پرسنل مورد نیاز ۱۴
۴- روش کار ۱۴
۴-۱ انتخاب موقعیت نقاط ۱۴
۴-۲ پیاده کردن نقاط بر روی زمین ۱۵
۴-۳ لایه‌بندی خاک و تنظیم برنامه آزمایش ۱۶
٤-۳-۱ انتخاب عمق چاهک ۱۷
٤-۳-۱-۱ محدودیتهای مربوط به نمیرخ خاک ۱۸
٤-۳-۱-۲ محدودیتهای مربوط به روش اندازه‌گیری ۱۸
٤-۳-۲ انتخاب لایه‌های اندازه‌گیری ۱۹
۴-۴ حفر چاهک آزمایش ۲۰
۴-۵ خراشیدن دیواره چاهک ۲۳
۴-۶ شستشوی چاهک ۲۳
۴-۷ نصب لوله مشبک جدار ۲۴
۴-۸ اندازه‌گیری ۲۵
٤-۸-۱ تخلیه آب از چاهک ۲۵
٤-۸-۲ استقرار شناور در چاهک ۲۷
٤-۸-۳ ثبت تغییرات سطح آب ۲۷
٤-۸-٤ تهیه جدول و ترسیم منحنی سرعت خیز سطح آب ۲۹
۵- مثال ۳۴

۶- محاسبات ۳۸
۶-۱ محاسبه هدایت هیدرولیک ۳۸
۶-۲ محاسبه هدایت هیدرولیک در خاک دو و یا چند لایه ۳۹
۶-۳ خطاهای محتمل در اندازه‌گیریها و محاسبات ۴۳
۷- منابع و مآخذ ۴۴

مقدمه

هدایت هیدرولیک[1] یکی از مهمترین مشخصه‌های هیدرودینامیک خاک است که در محاسبه فواصل زهکشهای زیرزمینی مورد نیاز است و در مطالعات زهکشی مورد توجه قرار می‌گیرد. روشهای متعددی برای اندازه‌گیری صحرایی هدایت هیدرولیک خاک و جود 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 (شرایط اشباع) و یا در بالای سطح ایستابی (شرایط غیراشباع) صورت گیرد، روشهای تعیین هدایت هیدرولیک نیز متفاوت است.

وقتی اندازه‌گیری در شرایط اشباع صورت گیرد، دو روش متداول و معمول است که یکی به نام روش چاهک[2] و دیگری به نام روش حفره زیر لوله یا روش پیزومتری[3] موسوم است. وقتی اندازه‌گیری در شرایط غیراشباع باشد، روشهای پورشه[4]، (SWPT) [5] و اخیراً روش موسوم به گلف[6] به کار برده می‌شود.

هر چند مبانی علمی و روشهای فنی اندازه‌گیری هیدایت هیدرولیک در حدود متعارف خود شناخته شده و در مأخذ مختلف توضیحات کلی در مورد آن داده شده، ولی تجربه نشان داده است که افراد مختلف متناسب با برداشتها و استنباط‌هایی که از این مأخذ به دست می‌آورند، روشهایی را به کار می‌برند که بالقوه ممکن است به نتایج متفاوتی از همدیگر برسند. چنین وضعیتی عملاً می‌تواند قضاوت در نتایج حاصل از اندازه‌گیریها را با اشکال روبرو سازد. از این جهت یک دستورالعمل هماهنگ برای کلیه این روشها ضروری تشخیص داده شده و در دستور کار کمیته زهکش طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب قرار گرفته است.

هدف اصلی از تهیه دستورالعمل تعیین هدایت هیدرولیک خاک، ایجاد یکنواختی لازم در روشهایی است که عملاً در مطالعات صحرایی زهکشی به کار گرفته می‌شود. علاوه بر این با تشریح جزییاتی که معمولاً در مأخذ موجود کمتر مورد بحث قرار می‌گیرد، سعی خواهد شد که اطلاعات کافی در اختیار متخصصان ذیربط قرار داده شود تا از ایجاد استنباطهای متفاوت از اصول علمی و فنی کار – که معمولاً عامل اساسی چندگانگی روشها است – جلوگیری شود.

قابل ذکر است که کمیته زهکشی طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب مصمم است تا دستورالعمل‌های تعیین هدایت هیدرولیک خاک را برای کلیه روشهای متداول تهیه و منتشر نماید. در ابتدای کار، دستورالعمل

1- Hydraulic conducivity
2- Auger hole method
3- Pipe cavity test method or piezometer method
4- Porchet method
5- Shallow well pump – in test method
6- Guelph permeameter method

اندازه‌گیری با روش چاهک (دستورالعمل حاضر) تهیه شده است و امید می‌رود که در آینده نزدیک دستورالعمل‌های مشابه برای سایر روشها نیز تهیه و به آن ضمیمه شود.

۱- هدف و دامنه کاربرد

هدف از انجام آزمایش تعیین هدایت هیدرولیک به روش چاهک، به دست آوردن هدایت هیدرولیک خاک در زیر سطح ایستابی[1] در محل[2] است. این روش، متداولترین روش اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک به شمار می‌رود و در مناطقی که سطح آب بالا و در زمان مطالعه دارای مشکل زهکشی باشد، با اطمینان کافی قابلیت کاربرد دارد.

۲- کلیات و مبانی نظری

به حجم آبی که در واحد زمان از خاکی با سطح مقطع واحد عبور کند، به شرطی که شیب هیدرولیک در آن برابر واحد باشد، هدایت هیدرولیک گفته می‌شود. به عبارت دیگر، هدایت هیدرولیک به وسیله قانون دارسی (معادله ۱) تعریف می‌گردد:

$$Q = -kiA \qquad (۱)$$

که در آن :

Q = دبی عبور یافته از نمونه $[L^3.T^{-1}]$

K = هدایت هیدرولیک $[L.T^{-1}]$

I = شیب هیدرولیک

A = سطح مقطع نمونه $[L^2]$

هدایت هیدرولیک می‌تواند در آزمایشگاه و یا در محل تعیین شود. روشهای آزمایشگاهی به دلیل کوچکی نمونه و این واقعیت که به هر حال نمونه کاملاً دست نخورد باقی نخواهد ماند، به منظور طراحی زهکشی دارای اعتبار چندانی نیستند. روشهای اندازه‌گیری در محل، به دو دسته بالای سطح و زیر سطح ایستابی تقسیم می‌شوند. روش چاهک، مشهورترین و متداولترین روش اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک در زیر سطح ایستابی است.

محققان متعدد تا کنون، چندین رابطه برای مرتبط ساختن سرعت خیز سطح آب به هدایت هیدرولیک پیشنهاد نموده‌اند. برخی از این روابط، بر اساس حل دقیق معادله لاپلاس نتیجه‌گیری شده و برخی دیگر با استفاده از راه‌حلهای تقریبی به دست آمده‌اند.

1- water table
2- In - situ

روش چاهک در سال ۱۹۳٤ به وسیله دیزرنس[1] ابداع گردید. وی رابطه زیر را برای به دست آوردن هدایت هیدرولیک ارائه نمود :

$$K = \frac{۲۳۳}{H.t} \log \frac{y_{\circ}}{y_t} \qquad (۲)$$

که در آن :

k = هدایت هیدرولیک بر حسب متر بر روز

t = زمان بر حسب دقیقه

H = فاصله بین سطح ایستابی متعادل و کف چاهک بر حسب متر

$y_{\circ}$ = فاصله بین سطح ایستابی متعادل و سطح آب در چاهک در لحظه شروع اندازه‌گیری بر حسب متر

y_t = فاصله بین سطح ایستابی متعادل و سطح آب در چاهک پس از t دقیقه

در این معادله، اثر شعاع چاهک و فاصله کف آن تا لایه محدود کننده منظور نگردیده است.

هوخهات[2] در سال ۱۹۳٦ با اصلاحاتی بر روی رابطه «۲»، رابطه زیر را برای شرایطی که کف چاهک بالاتر از لایه محدودکننده (شکل ۱) قرار گیرد، معرفی کرد:

$$K = \frac{۲.۳ra}{(۲H + r)} LOG(\frac{y_۱}{y_۲}) \qquad s > ۰ \qquad (۳)$$

که در آن :

K= هدایت هیدرولیک بر حسب متر بر ثانیه

r = شعاع چاهک بر حسب متر

a = ضریب شکل[3] بر حسب متر

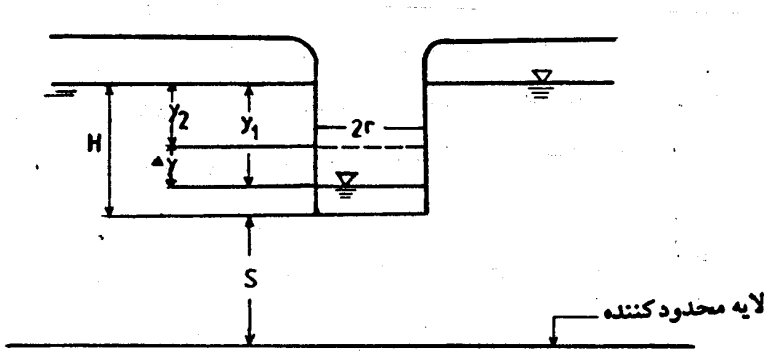
H = عمق آب در چاهک یا فاصله سطح ایستابی متعادل تا کف چاهک بر حسب متر

t = زمان اندازه گیری بر حسب ثانیه

$y_۱$ و $y_۲$ = فاصله سطح ایستابی در لحظات $t_۱$ و $t_۲$ تا سطح ایستابی متعادل بر حسب متر

s = فاصله کف چاهک تا لایه محدود کننده بر حسب متر

1- Diserens
2- Hooghoudt
3- Shape factor



شکل ۱- پارامترهای آزمایش هدایت هیدرولیک به روش چاهک

رابطه «۳» با در نظر گرفتن فرضیات زیر به دست آمده است :

- **همگن[1] و ایزوتروپیک[2] بودن خاک**
- **ثابت بودن سطح ایستابی علی‌رغم برداشت آب از چاهک**
- **جریان افقی آب به داخل چاهک از جداره‌ها**
- **جریان قائم آب به داخل چاهک از کف**

معمولاً همه فرضیات فوق در شرایط واقعی تحقق نمی‌یابند، از جمله ناهمگن بودن خاک، یکسان نبودن هدایت هیدرولیک در جهات مختلف، فرو افتادن سطح آب در مجاورت چاهک پس از برداشت آب و غیره. با وجود این، اعتقاد بر این است که چنانچه شرایط لازم برای انجام دادن آزمایش رعایت شود، این فرمول می‌تواند هدایت هیدرولیک با خطای ۱۰ تا ۲۰ درصد به دست دهد.

در رابطه «۳» پارامتر فاصله کف چاهک تا لایه محدودکننده (s) منظور نگردیده است. هنگامی که کف چاهک روی لایه محدودکننده قرار گیرد، رابطه «۳» به صورت زیر درمی‌آید :

$$K = \frac{2.3ra}{2Ht}\log(y_1 / y_2) \qquad s = 0 \qquad (4)$$

مقدار «a» در روابط «۳» و «٤» از رابطه تقریبی زیر به دست می‌آید :

$$a = \frac{rH}{0/19} \qquad (5)$$

1- Homogeneous
2- Isotropic

ضریب $\frac{۱}{۰/۱۹}$ در عبارت فوق از طریق آزمایشهایی که به وسیله هوخهات در یک تانک حاوی شن به انجام رسیده، به دست آمده است. با توجه به محدودیت عمق تانک شن، مقدار «a» به درستی قابل تعمیم به کار صحرایی نیست. علی رغم این محدودیت، هوخهات خود اعتقاد داشت که خطای ضریب فوق فقط تا ۲۷ درصد مقدار واقعی است و این مقدار دقت برای کار صحرایی کافی است. در اینجا ذکر این نکته لازم است که روابط «۳» و «٤» با در نظر گرفتن فرضیاتی که قبلا بیان شد، دارای اثبات دقیق ریاضی است و فقط مقدار «a» دارای ضریب تقریب است.

با جایگزینی رابطه «۵» در روابط «۳» و «٤» و تبدیل واحد K بر حسب متر در روز می‌توان روابط ساده شده زیر را به دست آورد :

- برای حالتی که کف چاهک بالاتر از لایه محدودکننده قرار گیرد:

$$K = ۵۲۳۰۰\cdot r^{۲}\frac{H}{H+۰.۵r}\tan\alpha \qquad s>۰ \qquad (٦)$$

- برای حالتی که کف چاهک روی لایه غیر قابل نفوذ قرار گیرد :

$$K = ۵۲۳۰۰\, r^{۲}\tan\alpha \qquad s=۰ \qquad (۷)$$

در این روابط :

k = هدایت هیدرولیک برحسب متر بر روز

H = عمق آب در چاهک یا فاصله سطح ایستابی تا کف چاهک بر حسب متر

r = شعاع چاهک بر حسب متر

در رابطه فوق $\tan\alpha$ عبارت است از شیب بهترین خط برازش داده شده بین $\log(\frac{y_۰}{y_t})$ در محور عرضها و t در محور طولها و از فرمول $\tan\alpha = \frac{۱}{t}\log(\frac{y_۰}{y_t})$ به دست می‌آید.

کرکهام[1] و فن باول[2] در سال ۱۹٤۹ با فرض همگنی خاک و ماندگار[3] بودن جریان، معادله لاپلاس را برای حالتی که کف چاهک روی لایه محدودکننده قرار گیرد، به طور دقیق حل کردند. فرض ماندگار بودن جریان به این معنی بود که در خلال آزمایش، سطح آب ثابت مانده و پایین نمی‌افتد. بعدها در سال ۱۹۵۷، کرکهام معادله لاپلاس را برای حالتی که لایه محدودکننده پایین‌تر از کف چاهک قرار داشته باشد نیز حل کرد. روش کرکهام و فن باول گرچه بسیار دقیق است، اما به علت پیچیدگی و طولانی بودن فرمها، عملاً مورد استفاده قرار نمی‌گیرد.

1- Kirkham
2- Van Bavel
3- Steady state

ارنست[1] در سال ۱۹۵۰ با فرض همگنی خاک و با کمک راه حلهای عددی، فرمولهایی را به طور تجربی ابداع نمود. روابط «٦» و «۷» گرچه به طور دقیق از راههای ریاضی اثبات نشده‌اند، اما چنانچه شرایط زیر برقرار باشد، دارای خطایی تا حدود ۲۰ ± درصد هستند :

- شعاع چاهک بین ۳ تا ۷ سانتیمتر $(۷ > r > ۳)$
- فاصله کف چاهک تا سطح ایستابی متعادل بین ۲۰ تا ۲۰۰ سانتیمتر $(۲۰۰ > H > ۲۰)$
- داده‌های آزمایش تا هنگامی معتبر شناخته شود که بیش از $\frac{۱}{۴}$ آب پمپ شده از چاهک به داخل آن بازنگشته باشد. $(\Delta y < ۰.۲۵ y_{۰})$
- عمق آب برداشت شده از چاهک از ۲۰ درصد عمق آب داخل چاهک بیشتر باشد $(y > ۰.۲H)$.

روابط ارنست که امروزه متداولترین شیوه برای محاسبه هدایت هیدرولیک به روش چاهک به شمار می‌رود، به شرح زیر هستند :

الف – هنگامی که لایه محدودکننده در فاصله نسبتاً زیادی از کف چاهک قرار داشته باشد :

$$K = \frac{۴۰۰۰۰۰r}{(۲۰+\frac{H}{r})(۲-\frac{y}{H})y}.\frac{\Delta y}{\Delta t} \qquad s > \frac{H}{۲} \qquad (۸)$$

ب – هنگامی که کف چاهک بر روی لایه محدود کننده قرار داشته باشد.

$$K = \frac{۳۶۰۰۰۰r}{(۱۰+\frac{H}{r})(۲-\frac{y}{H})y}.\frac{\Delta y}{\Delta t} \qquad s = ۰ \qquad (۹)$$

که در این روابط :

k = هدایت هیدرولیک بر حسب سانتیمتر بر روز

r = شعاع چاهک بر حسب سانتیمتر

H = فاصله سطح ایستابی متعادل تا کف چاهک یا عمق آب در چاهک بر حسب سانتیمتر

Δy = مقدار خیز سطح آب (بر حسب سانتیمتر) در فاصله زمانی Δt (بر حسب ثانیه)

s = فاصله کف چاهک تا لایه محدود کننده بر حسب سانتیمتر

1- Ernest

y = میانگین فاصله سطح ایستابی متعادل تا سطح آب درون چاهک در فاصله‌ای که داده‌ها دارای اعتبار هستند. $(y = \frac{y_{\circ} + y_n}{۲})$

لازم به تذکر است که در حالتی که $\frac{H}{۲} > s > ۰$ باشد، مقدار **K** با کمک روابط «۸» و «۹» به ترتیب برای حالات $s = \frac{H}{۲}$ و S = ۰ محاسبه و سپس با درونیابی خطی تخمین زده می‌شود.

بوست[1] و کرکهام در سال ۱۹۷۱ با در نظر گرفتن فرضیات زیر :

- ثابت بودن سطح ایستابی علی رغم برداشت آب از چاهک
- عدم وجود جریان در بالای سطح ایستابی
- همگن و ایزوتروپیک بودن خاک

و وارد نمودن پارامتر فاصله کف چاهک تا لایه محدود کننده (s)، راه حل دقیق ریاضی جریان آب به داخل چاهک را بررسی و رابطه زیر را ارائه کردند :

$$K = c(\Delta y / \Delta t) \qquad (۱۰)$$

مقادیر c از جدول شماره ۱ به دست می‌آید. در رابطه «۱۰» چنانچه y و t به ترتیب بر حسب سانتیمتر و ثانیه باشند، هدایت هیدرولیک بر حسب متر بر روز خواهد بود.

از جدول شماره ۱، می‌توان مقدار c را هنگامی که چاهک به مقادیر مختلف تخلیه شده باشد (۰/۵ و ۰/۷۵ و ۱ = $\frac{y}{H}$) و همچنین برای نسبتهای مختلف $\frac{s}{H}$ به دست آورد. مقادیر c بین مقادیر داده شده در جدول را می‌توان به کمک درونیابی لگاریتمی پارامترهای $\frac{s}{H}$ و $\frac{H}{r}$ و $\frac{y}{r}$ با دقت کافی تعیین نمود. مقدار $\frac{y}{r}$ به طور صریح در جدول شماره ۱ وجود ندارد، اما می توان آن را از حاصلضرب $\frac{y}{H}$ و $\frac{H}{r}$ به دست آورد. مقادیر این جدول نشان می‌دهد که چنانچه نسبت $\frac{s}{H}$ کم باشد، فاصله کف چاهک تا لایه محدودکننده، بیشترین تاثیر را بر c می‌گذارد. چنانچه نسبت $\frac{H}{r} \geq ۱۰$ و $s > \frac{H}{۲}$ باشد، لایه محدود کننده را می‌توان در عمق بی‌نهایت فرض کرد.

1- Boast

جدول شماره ۱- ضریب c در فرمولهای بوست – کرکهام [5]

H/r	y/H	s/H								
		0	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۵۰	۱	۲	۵	∞
۱	۱	٤٤٧	٤٢٣	٤٠٤	۳۷٥	۳۲۳	۲۸٦	۲٦٤	۲٥٥	۲٥٤
	۰/۷٥	٤٦۹	٤٥۰	٤۳٤	٤۰۸	۳٦۰	۳۲٤	۳۰۳	۲۹۲	۲۹۱
	۰/٥	٥٥٥	٥۳۷	٥۲۲	٤۹۷	٤٤۹	٤۱۱	۳۸٦	۳۸۰	۳۷۹
۲	۱	۱۱٦	۱۷٦	۱٦۷	۱٥٤	۱۳٤	۱۲۳	۱۱۸	۱۱٥	۱۱٦
	۰/۷٥	۱۳۱	۱۸۷	۱۸۰	۱٦۸	۱٤۹	۱۳۸	۱۳۳	۱۳۱	۱۳۱
	۰/٥	۱٦۷	۲۲٥	۲۱۸	۲۰۷	۱۳۸	۱۷٥	۱٦۷	۱٦۷	۱٦۷
٥	۱	٥۱/۹	٤۸/٦	٤٦/۲	٤۲/۸	۳۸/۷	۳٦/۹	۳٦/۱		۳٥/۸
	۰/۷٥	٥٤/۸	٥۲	٤۹/۹	٤٦/۸		٤۱	٤۰/۲		٤۰
	۰/٥	٦٦/۱	٦۳/٤	٦۱/۳	٥۸/۱	٥۳/۹	٥۱/۹	٥۱		٥۰/۷
۱۰	۱	۱۸/۱	۱٦/۹	۱٦/۱	۱٥/۱	۱٤/۱	۱۳/٦	۱۳/٤		۱۳/٤
	۰/۷٥	۱۹/۱	۱۸/۱	۱۷/٤	۱٦/٥	۱٥/٥	۱٥	۱٤/۸		۱٤/۸
	۰/٥	۲۳/۳	۲۲/۳	۲۱/٥	۲۰/٦	۱۹/٥	۱۹	۱۸/۸		۱۸/۷
۲۰	۱	٥/۹۱	٥/٥۳	٥/۳۰	٥/۰٦	٤/۸۱	٤/۷۰	٤/٦٦		٤/٦٤
	۰/۷٥	٦/۲۷	٥/۹۱	٥/۷۳	٥/٥۰	٥/۲٥	٥/۱٥	٥/۱۰		٥/۰۸
	۰/٥	۷/٦۷	۷/۳٤	۷/۱۲	٦/۸۸	٦/٦۰	٦/٤۸	٦/٤۳		٦/٤۱
٥۰	۱	۱/۲٥	۱/۱۸	۱/۱٤	۱/۱۱	۱/۰۷	۱/۰٥			۱/۰٤
	۰/۷٥	۱/۳۳	۱/۲۷	۱/۲۳	۱/۲۰	۱/۱٦	۱/۱٤			۱/۱۳
	۰/٥	۱/٦٤	۱/٥۷	۱/٥٤	۱/٥۰	۱/٤٦	۱/٤٤			۱/٤۳
۱۰۰	۱	۰/۳۷	۰/۳٥	۰/۳٤	۰/۳٤	۰/۳۳	۰/۳۲			۰/۳۲
	۰/۷٥	۰/٤۰	۰/۳۸	۰/۳۷	۰/۳٦	۰/۳٥	۰/۳٥			۰/۳٥
	۰/٥	۰/٤۹	۰/٤۷	۰/٤٦	۰/٤٥	۰/٤٤	۰/٤٤			۰/٤٤

۳- لوازم و پرسنل مورد نیاز

۳-۱ لوازم و تجهیزات

۳-۱-۱ آگر[1]

بر حسب شرایط رطوبتی خاک، می‌توان از انواع آگرهای مناسب موجود (نک. پیش‌نویس استاندارد ۱۰۸-الف) استفاده نمود. در هر حال بایستی توجه داشت، از آگرهایی استفاده شود که حداقل اختلال را در شرایط طبیعی دیواره‌های چاهک به وجد آورد. در آزمایش تعیین هدایت هیدرولیک به روش چاهک معمولا از مته‌هایی به قطر حدود ۸ تا ۱۰ سانتیمتر استفاده می‌گردد. توصیه می‌شود برای حفر چاهک اندازه‌گیری به ویژه در زیر سطح آب از دو آگر با قطرهای کمی متفاوت استفاده گردد. مثلاً ابتدا چاهک با مته ۸ سانتیمتری حفر و سپس با متهٔ ۱۰ سانتیمتری قطر آن زیاد شود. برای آگرهای حفاری باید به تعداد کافی میله تهیه شود تا بتوان حفاری چاهک را تا عمق مورد نظر ادامه داد.

۳-۱-۲ خراش دهنده[2]

استوانه‌ای به ارتفاع بین ۱۰ تا ۲۰ سانتیمتر است که معمولا از چوب ساخته شده و به وسیله مهره‌ای که بر روی آن تعبیه شده به دسته های آگر متصل می‌گردد. این استوانه مجهز به میخهای متعددی است که در سرتاسر سطح جانبی آن پراکنده‌اند. پس از حفر چاهک و به منظور حذف گل و لای چسبیده شده به جدار و یا پاک کردن قشر خاکی که در اثر حفاری بر روی جدار چاهک باقی مانده است، از خراشدهنده استفاده می‌شود. قطر خراشدهنده (نسبت به نوک میخها از دو طرف استوانه) بایستی حدود ۱ سانتیمتر از قطر چاهک کوچکتر باشد. همچنین تعداد میخها بر روی استوانه نباید آن چنان زیاد باشد که پاک کردن گل و لای را از بین آنها مشکل سازد. فواصل میخها از یکدیگر حدود ۱/۵ تا ۲ سانتیمتر است. (شکل شماره ۲).

۳-۱-۳ آبکش[3]

لوله‌ای فلزی یا پلاستیکی است که معمولا از انواع فولادهای ضدزنگ و یا PVC سخت ساخته می‌شود و در کف به دریچه یکطرفه و در بالا به یک دسته مجهز است که به وسیله آن به لوله‌های حفاری و یا طناب متصل می‌شود. دریچه یکطرفه تحتانی آبکش بایستی تا حد ممکن آب‌بندی شده باشد. این موضوع به ویژه برای

1- Auger
2- Scratcher
3- Bailer

آبکشهایی که به منظور تخلیه آب هنگام آزمایش استفاده می‌شوند از اهمیت بیشتری برخوردار است (شکل شماره ۳).
آبکشهایی که دریچه آنها بزرگتر باشد برای تخلیه لجن و گل و لای و آبکشهایی که مجهز به دریچه‌های یکطرفه کوچکتر باشند برای تخلیه آب از چاهک مناسبترند.

برای بیرون کشیدن آب از چاهک می‌توان از تلمبه‌های دستی (و یا موتوری) نیز استفاده نمود.
برای شرایطی که تخلیه مقدار کمی آب از چاهک مورد نظر باشد تلمبه‌های دستی مناسب است. در شرایط عملی استفاده از آبکش در عین سادگی، کارآیی خوبی دارد و متداولتر است.

۳-۱-٤ لوازم اندازه‌گیری تغییرات سطح آب

ابزار و لوازم متفاوتی برای اندازه‌گیری و ثبت تغییرات آب در چاهک در حین آزمایش متداول است. وقتی عمق سطح ایستابی در چاهک نسبتاً کم (حدود ۱ متر) باشد، می‌توان از ابزار نسبتاً ساده‌ای که در شکل شماره ٤ نمایش داده شده است استفاده نمود و نتایج اندازه‌گیری را در جدول مناسب ثبت کرد.

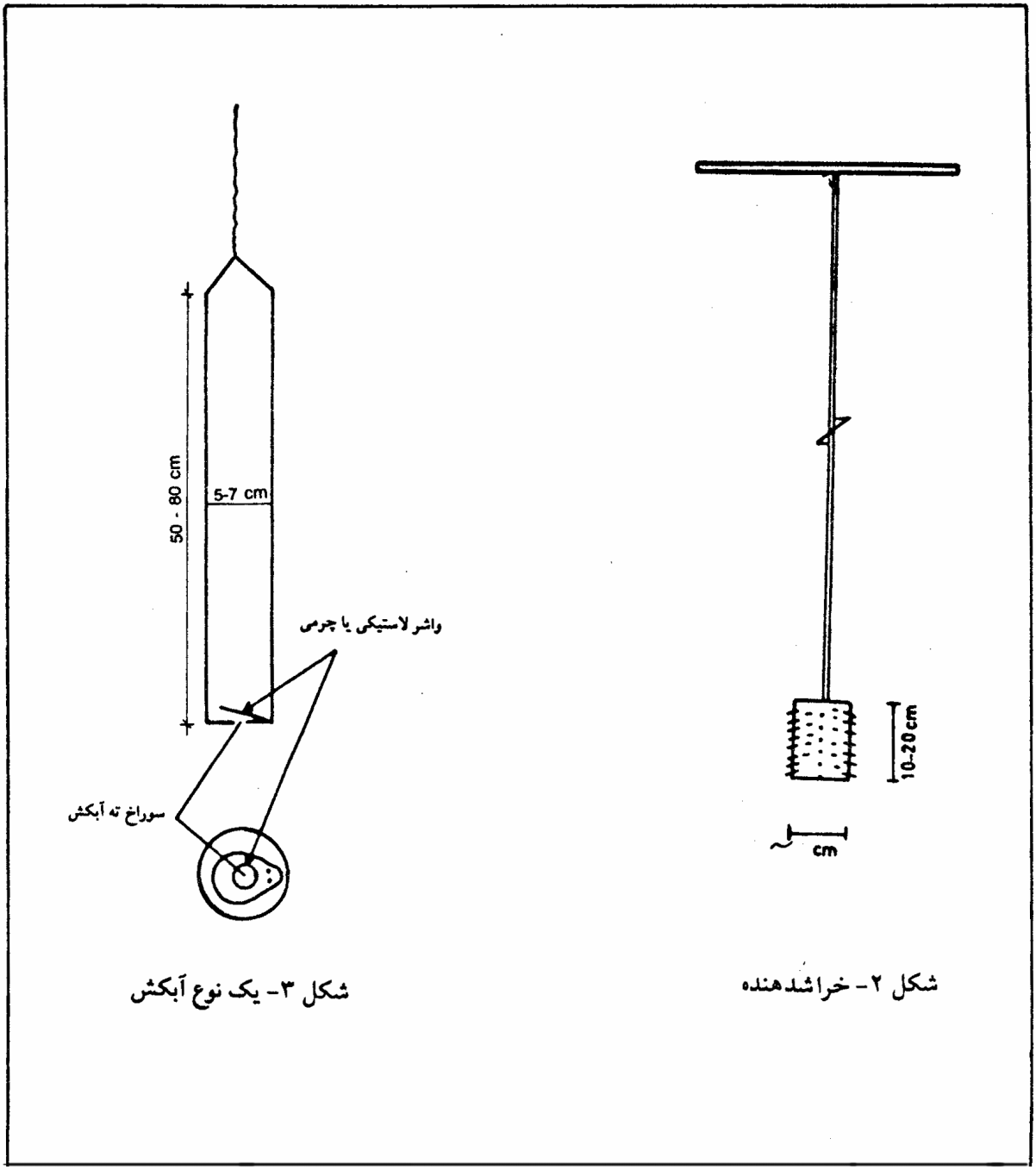
مجموعه ابزاری که هم اکنون برای اندازه‌گیری به کار برده می‌شود و در ضمن ساده بودن، روی هم رفته کارایی بهتر و مطمئن‌تری دارد، متشکل از تخته و سه پایه است (شکل شماره ۵). بر روی تخته یک نوار کاغذ میلیمتری نصب می‌شود و یک نخ محکم (مثل نخ ماهیگیری) که در یک انتها به شناور و در انتهای دیگر به یک وزنه متعادل کننده متصل است، به کمک دو قرقره که در دو طرف تخته تعبیه شده است بر روی آن حرکت می‌کند. با نصب یک نشانه بر روی نخ (مثل عقربک) می‌توان تغییرات سطح آب را که به وسیله شناور به نخ منتقل می‌شود ملاحظه و بر روی کاغذ میلیمتری ثبت نمود. تخته کار و کلیه ابزار و ملحقات آن بر روی یک سه پایه مشابه سه پایه نقشه‌برداری نصب می‌گردد.

برای اندازه‌گیری تغییرات سطح آب می‌توان از تجهیزات الکترونیکی، عمق یاب الکتریکی و دیگر لوازم مناسب نیز استفاده نمود.

۳-۱-۵ سایر لوازم مورد نیاز

- کرنومتر یا ساعت مچی دیجیتال یا دقت اندازه‌گیری ۱ ثانیه
- آیینه و یا چراغ قوه برای مشاهده وضعیت درون چاهک
- گونی، توری یا متقال برای نصب در ته چاهک و برای حفاظت چاهک در مقابل ورود لجن
- لوله مشبک
- تشت یا سطل ترجیحاً با دهانه بزرگ و ظرفیت حدود ۵ لیتر

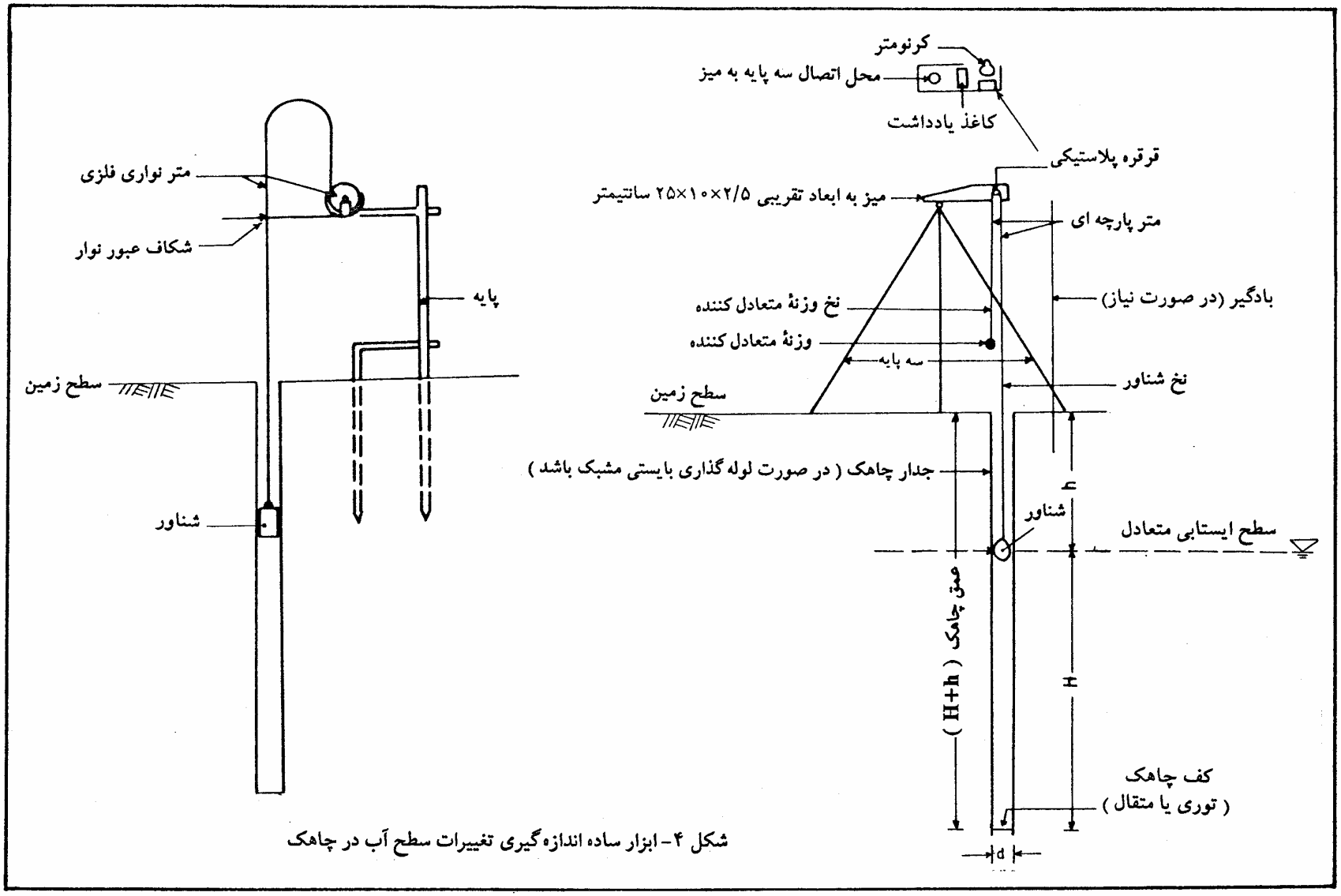
- استوانه مدرج یا هر وسیله مناسب برای اندازه‌گیری حجم آب با دقت حداقل ۵۰ سانتیمتر مکعب
- بادگیر یا صفحه‌ای برای حفاظت و مستقیم نگاه داشتن نخهای متصل به شناور در مقابل وزش باد
- قطرسنج[1] برای کنترل داخلی چاهک



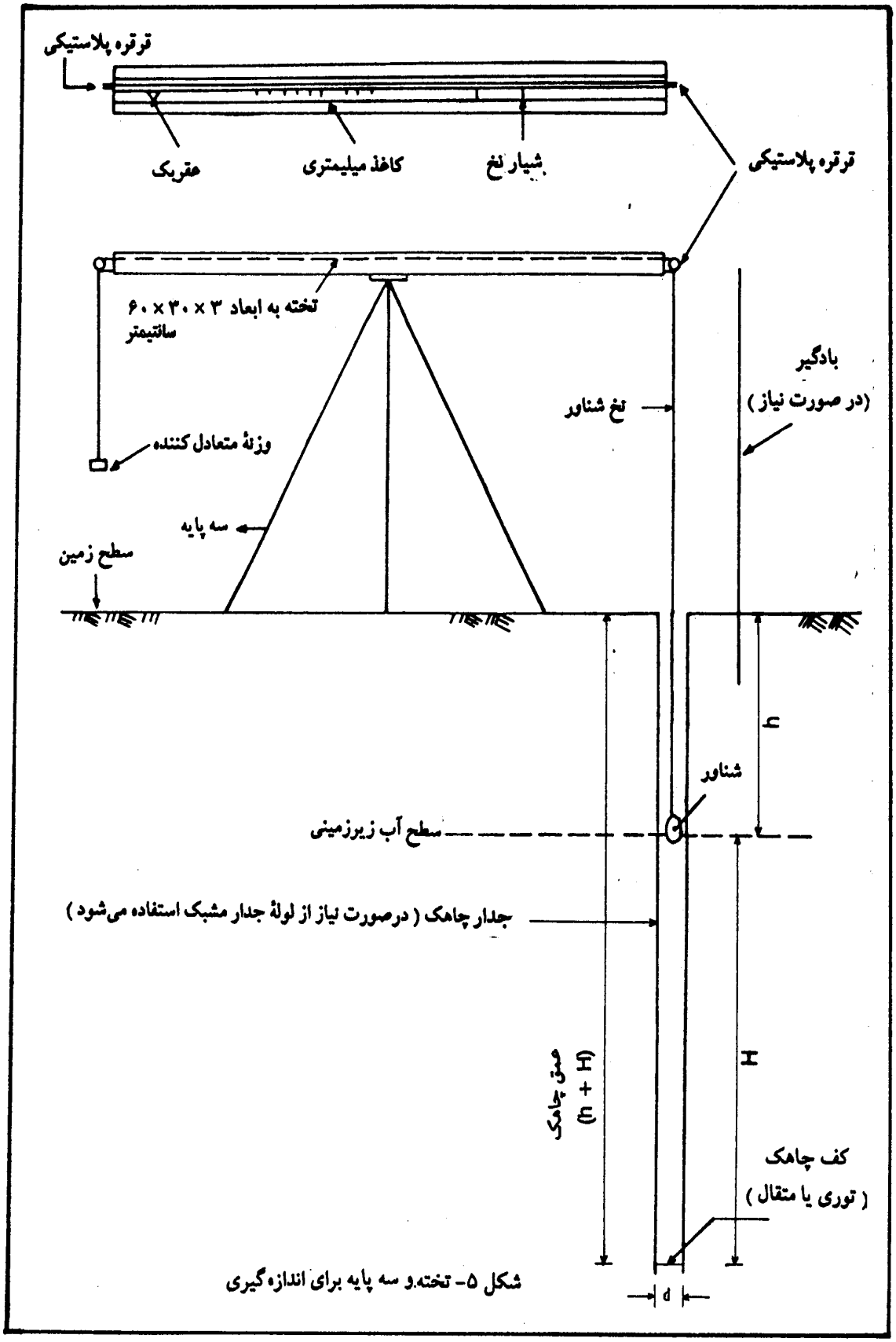
شکل ۳- یک نوع آبکش

شکل ۲- خراشدهنده

1- Caliper



شکل ۴- ابزار ساده اندازه‌گیری تغییرات سطح آب در چاهک



شکل ۵- تخته و سه پایه برای اندازه گیری

۳-۲ پرسنل مورد نیاز

برای حفاری چاهک اندازه‌گیری معمولا به ۲ نفر کارگر احتیاج است که با سرپرستی یک تکنیسین عملیات حفاری و کنترل لایه‌بندی را به انجام می‌رسانند. این نیروی کار همچنین می‌تواند عملیات خراش جدار چاهک، نصب لوله مشبک جدار و لایروبی و تمیز کردن چاهک را نیز انجام دهد.

در مرحله اندازه‌گیری که شامل عملیات نصب ابزار اندازه گیری، آبشکی و غیره است. نیز حداقل یک نفر کارگر (و ترجیحاً ۲ نفر) بایستی با تکنیسین همکاری نمایند. بدین ترتیب یک تیم سه نفره می‌تواند مجموعه عملیات حفاری و تجهیز و اندازه‌گیری را به انجام برساند.

٤- روش کار

مراحل مختلف کار عبارت است از انتخاب موقعیت نقاط اندازه‌گیری، پیاده کردن نقاط بر روی زمین، حفر و آماده‌سازی چاهک و نهایتاً اندازه‌گیری و محاسبه هدایت هیدرولیک.

٤-۱ انتخاب موقعیت نقاط

توصیه می‌شود که اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک خاک در مجاورت نقاطی صورت گیرد که قبلا برای تشخیص لایه‌بندی خاک در آن نقاط چاهک حفر شده است. از این روی تعداد نقاط اندازه‌گیری معمولا برابر با تعداد نقاط مشاهده‌ای مربوط به لایه بندی است، مگر اینکه به دلایل مشخص، تراکم نقاط اندازه‌گیری لزوماً کمتر یا بیشتر انتخاب شود.

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

آرایش نقاط مشاهده‌ای و اندازه‌گیری معمولا به صورت شبکه چهارگوش منظم (مربع یا مربع مستطیل) است. نحوه استقرار شبکه می‌تواند بر حسب شکل و خصوصیات هندسی محدوده مورد مطالعه متفاوت باشد. چنانچه دلیل معینی برای انتخاب یک طریقه ویژه برای استقرار شبکه وجود نداشته باشد، توصیه می‌شود که یک ضلع شبکه در جهت عمومی جریان آب زیرزمینی قرار گیرد.
معمولا حداکثر ابعاد شبکه نقاط مشاهده‌ای و اندازه‌گیری در مطالعات شناسایی ۲×۲ کیلومتر (حداقل یک نقطه برای هر ٤۰۰ هکتار)، در مطالعات مرحله یک ۱×۱ کیلومتر (حداقل یک نقطه برای هر ۱۰۰ هکتار) و در

مطالعات مرحله دو ۰/۵×۰/۵ کیلومتر (حداقل یک نقطه برای هر ۲۵ هکتار) در نظر گرفته می‌شود. توصیه می‌شود که در هر مرحله از مطالعات، محل نقاط جدید در نصف فاصله بین نقاط بررسی شده در مرحله قبل قرار گیرد.

همان طور که قبلا توضیح داده شد، معیار اصلی در انتخاب تراکم نقاط مشاهده‌ای یا اندازه‌گیری در یک منطقه خاص، به دست آوردن اطلاعات کافی برای تشخیص چگونگی ارتباط بین خصوصیات خاکهای آن منطقه است. بدین جهت در مناطقی که دارای خاکهای آبرفتی نامتجانس است و الگوی رسوبگذاری آبرفت در هم و پیچیده باشد، فواصل نقاط مشاهده‌ای کمتر انتخاب می‌شود، به طوری که در بررسیهای نهایی گاهی ممکن است مطالعه تا حد تراکم یک نقطه برای چهار هکتار نیز ضرورت پیدا نماید. بر عکس در مناطقی که خاکها متجانس بوده و یا روند رسوبگذاری منظم باشد میتوان فواصل نقاط را بیشتر انتخاب نمود.

برای انجام دادن کار در مرحله دو می‌توان پس از بررسی نتایج حاصل از مطالعات مرحله اول و ارزیابی ارتباطهای موجود بین خصوصیات هیدرودینامیک خاکها، بخشهایی از منطقه را که در آن چنین ارتباطی ضعیف باشد و یا اصولاً فاقد ارتباط است، مشخص نمود و سپس مشاهدات تکمیلی را فقط در همین قسمتها گسترش داد. لازمه اتخاذ چنین روشی بررسی همه جانبه و حصول اطمینان از صحت و قابلیت تعمیم اطلاعاتی است که به دست می‌آید؛ در غیر این صورت کاهش تراکم نقاط مطالعاتی قابل توصیه نخواهد بود.

۲-٤ پیاده کردن نقاط بر روی زمین

توصیه می‌شود محل انجام دادن آزمایش پیشاپیش به وسیله شخص مجربی جدا از گروه اندازه‌گیری بر روی زمین مشخص شود. بدین ترتیب در وقت گروه اندازه‌گیری و در نتیجه در هزینه‌های کار صرفه‌جویی خواهد شد.

نقشه‌های توپوگرافی و یا مسطحاتی که در آن عوارض سطحی زمین با جزییات کافی نشان داده شده باشد و یا عکسهای هوایی با مقیاس مناسب می‌توانند کمکهای بسیار موثری برای پیاده کردن نقاط اندازه‌گیری بر روی زمین باشند. بدیهی است که بر حسب مرحله و دقت مطالعات، بایستی از نقشه‌ها و یا عکسهای هوایی مناسب استفاده نمود. در بعضی شرایط، به ویژه در مناطقی که عوارض سطحی کافی نیست و یا نقشه‌های مناسب وجود نداشته باشد، استفاده از وسال نقشه‌برداری برای مشخص کردن نقاط ضروری می‌گردد. در هر حال چنانچه استفاده از عکسهای هوایی میسر باشد، برای تسریع در کار و صرفه‌جویی در هزینه توصیه می‌شود که مشخص کردن نقاط با استفاده از آن انجام گیرد. اگر استفاده از عکسهای هوایی را شخص مجربی انجام دهد، معمولا از دقت کافی برای این گونه مطالعات برخوردار خواهد بود.

محل آزمایش بر روی زمین آن چنان انتخاب می‌شود که حداقل از نظر فیزیوگرافی، بیشترین انطباق را با زمنیهای اطراف خود داشته باشد و نتیجه حاصله 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، یا یک مسیل، یا در یک برجستگی و یا فرورفتگی موضعی قرار گرفت، بایستی نقطه اندازه‌گیری را در فاصله مناسب از آن و در جایی که موقعیت عادی داشته و کمتر تحت تاثیر عوارض موضعی قرار داشته باشد انتخاب نمود. بدیهی است در صورتی که نقطه انتخاب شده بر روی زمین نسب به موضع اولیه آن روی نقشه، جابجایی داشته باشد، بایستی متناسباً اصلاحات لازم بر روی نقشه به عمل آید، به طوری که نهایتاً نقشه شبکه نقاط اندازه‌گیری تا حد کافی با محل واقعی نقاط آزمایش شده تطبیق نماید.

٤-٣ لایه‌بندی خاک و تنظیم برنامه آزمایش

در هر نقطه مطالعاتی، ابتدا بررسیهای تشخیص لایه‌های خاک انجام میشود و پس از آن برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک اقدام می‌گردد. در این صورت این امکان وجود خواهد داشت که با در دست داشتن اطلاعات پایه از وضعیت لایه‌بندی خاک و عمق آب زیرزمینی و با توجه خاص به تغییرات سطح آب زیرزمینی در حین حفاری، نسبت به تعیین مشخصات چاهک اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک و از جمله عمق چاهک و یا لایه‌هایی از خاک که باید هدایت هیدرولیک آنها اندازه‌گیری شود بررسی و برنامه‌ریزی کرد. چنانچه اطلاعات لایه‌بندی از قبل وجود نداشته باشد، لازم خواهد بود که قبل از برنامه‌ریزی برای آزمایش، چاهکی تا عمق مناسب (حدود ٥-٦ متر) حفر و لایه‌های خاک، عمق آب زیرزمینی و احیاناً عمق برخورد با لایه محدودکننده را مشخص نمود.[1]

با در دست داشتن اطلاعات اولیه فوق و با حصول اطمینان از اینکه آب زیرزمینی تحت فشار نیست، برنامه آزمایش با روش چاهک تدوین می‌گردد. طی این مرحله، تعداد و موقعیت لایه‌هایی که اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک در آنها باید صورت گیرد و در نتیجه عمق چاهک و یا چاهکها مشخص خواهد شد. همچنین با استفاده از همین اطلاعات، می‌توان مشکلات احتمالی را که در حین اجرای عملیات ممکن است با آنها برخورد شود (مثل ریزشی بودن دیواره چاهک) پیش بینی و توجه گروه اندازه‌گیری را به آنها جلب نمود.

به طور کلی سفره آب زیرزمینی در شرایطی به صورت تحت فشار خواهد بود که در زیر لایه‌ای کم تراوا یا تقریباً ناتراوا محبوس شده باشد. در چنین حالتی اگر ضمن حفاری با گذر از یک لایه کم تراوا، عمق آب زیرزمینی در چاهک نسبت به عمق اولیه برخورد با آن سریعاً و یا به طور قابل ملاحظه ای بالا بیاید، بایستی نسبت به وجود فشار در سفره مظنون بوده و در صورت نیاز با تحقیقات بیشتر و نصب پیزومترهای مرکب

---

١ - به نشریه شماره ١٠٨-الف طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور تحت عنوان "دستورالعمل انجام لایه‌بندی خاک" رجوع شود.

نسبت به مشخص کردن وضعیت سفره اقدام نمود. به همین دلیل در مشاهدات صحرایی تشخیص عمق برخورد با آب زیرزمینی از اهیمت ویژه یا برخوردار است و بایستی با دقت و ظرافت کافی نسبت به آن توجه کرد.

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

الف – هر گاه سطح سفره آب زیرزمینی در یک لایه سنگین با آبگذاری نستباً کم قرار داشته باشد، ضمن حفاری ممکن است با رسیدن به سطح سفره و علی‌رغم اینکه نمونه‌های خاک حفاری شده رطوبت اشباع را نشان دهد، به علت آبگذاری 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 تا ۲۰ سانتیمتر و گاهی حتی تا ۰/۵ متر) که احتمالاً 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 پایین تر از عمق اولیه برخورد به آب گزارش خواهد شد. طبیعتاً در چنین شرایطی، پس از مشاهده رطوبت اشباع سفره معلق، بایستی یک لایه کم تراوا در زیر آن 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 تقریباً برابر عمق اولیه برخورد به آب زیرزمینی در سفره معلق باشد. در این صورت چنانچه ضمن حفاری به تغییرات رطوبت خاک توجه کافی مبذول نشود، وجود فشار در سفره زیرین تشخیص داده نخواهد شد. بدیهی است اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک در درون لایه تراوا و یا زیر آن ضروری نخواهد بود.

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

٤-٣-١ انتخاب عمق چاهک

به طور کلی عمق چاهک به گونه‌ای انتخاب می‌شود که اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک را در بیشترین ضخامت نیمرخ حتی‌الامکان تا عمق لایه محدود کننده، امکان‌پذیر سازد. اگر لایه محدودکننده تا عمق حدود ۵ تا ٦ متر وجود نداشته باشد، حداکثر عمق اندازه‌گیری با این روش با توجه به دیگر پارامترها، نظیر: ارتفاع ستون آب،

تا این عمق محدود می‌گردد. عوامل متعددی در انتخاب عمق چاهک بایستی مورد توجه قرار گیرد که بعضی از آنها به خصوصیات پروفیل خاک و بعضی دیگر به محدودیتهای روش اندازه‌گیری مربوط می‌شود.

٤-٣-١-١ محدودیتهای مربوط به نمیرخ خاک

- **عمق لایه محدودکننده** : در بررسیهای زهکشی فقط آبگذری لایه‌های خاک بالای لایه محدودکننده مورد نظر قرار می‌گیرد. بنابراین در صورت برخورد با چنین لایه‌ای، حداکثر عمق چاهک طوری انتخاب می‌شود که کف آن بر سطح این لایه مستقر شود. در مواردی که کف چاهک در لایه محدودکننده فرو رفته باشد (حداکثر تا ۲۰ سانتیمتر)، در محاسبات بایستی کف چاهک را منطبق بر سطح لایه محدودکننده فرض نمود.

- **لایه‌بندی نمیرخ خاک** : در خاکهایی که پروفیل از لایه‌هایی با خصوصیات آبگذری متفاوت تشکیل شده باشد، ممکن است ضرورت ایجاب نماید که هدایت هیدرولیک هر یک از لایه‌ها به صورت جداگانه اندازه‌گیری و مشخص شود. در این صورت عمق چاهکهای اندازه‌گیری تابعی از ضخامت و موقعیت لایه‌های خاک خواهد بود.

٤-٣-١-٢ محدودیتهای مربوط به روش اندازه‌گیری

- **عمق آب زیرزمینی**: در روش مورد بحث این دستورالعمل، وجود آب زیرزمینی آزاد در چاهک الزامی است. بنابراین یکی از عوامل موثر در انتخاب عمق چاهک اندازه‌گیری، عمق آب زیرزمینی خواهد بود. عمق چاهک طوری انتخاب می‌شود که ارتفاع ستون آب درون آن امکان برداشت و تخلیه آب را به مقدار لازم میسر سازد.

در شرایطی که عمق برخورد با آب زیرزمینی زیاد و بیش از حدود ٤ متر باشد، هر چند اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک این روش کماکان امکانپذیر است، ولی عملاً با محدودیتهایی روبه رو خواهد بود. در این گونه چاهکها در موقع آزمایش، زمان مورد نیاز برای برداشت و تخلیه آب و سپس مستقر کردن شناور نسبتاً طولانی خواهد بود و ایجاب می‌نماید که مجموعه عملیات فوق با سرعت بیشتری انجام گیرد. در غیر این صورت ممکن است قبل از اینکه قرائتهای لازم به عمل آید، زمان آزمایش از حدود مجاز خود بگذرد. وقوع این وضعیت، به ویژه در خاکهایی که آبگذاری زیادی دارند بسیار محتمل است. در این شرایط بایستی به ترتیبی عمل نمود که زمان تلف شده، بین برداشت و تخلیه آب تا شروع اندازه‌گیریها به حداقل ممکن کاهش یابد. در دسترس بودن تجهیزاتی که به کمک آنها بتوان بدون خارج ساختن شناور از چاهک، از آن برداشت نمود این

اشکالات را تا حدود زیادی مرتفع خواهد ساخت. بدیهی است که اندازه گیری هدایت هیدرولیک در لایه‌های خشک بالایی باید به روشهای دیگر صورت گیرد.

- **ارتفاع ستون آب درون 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 ۰/٦ 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 بعلت وسیع بودن سطح تراوش، سرعت برگشت آب نسبتاً زیاد است (بویژه اگر آبگذاری خاک نیز زیاد باشد) و ایجاب می‌نماید که مراحل مختلف اندازه‌گیری – از شروع تخلیه آب تا پایان اندازه‌گیریها – با سرعت زیادی صورت گیرد. در غیر این صورت احتمال زیادی وجود دارد که انجام اندازه‌گیریها در محدوده زمانی مجاز خود میسر نگردیده و دقت اندازه‌گیری کاهش یابد.

٤-۳-۲ انتخاب لایه‌های اندازه‌گیری

در خاکهایی با پروفیل منطبق، گاه ضرورت ایجاب می‌نماید که هدایت هیدرولیک لایه‌های مختلف را اندازه‌گیری نمود. اجرای این کار می‌تواند با روش چاهک به صورت اندازه‌گیریهای متوالی هدایت هیدرولیک لایه‌های مرکب و محاسبه و تعیین هدایت هیدرولیک هر یک از لایه‌ها انجام گیرد. توضیحات بیشتر در بند ٦-۲ ارائه می‌شود. در عمل، لازمه اندازه‌گیری و محاسبه هدایت هدرولیک لایه‌های مختلف در این روش این است که اولاً لایه‌های مورد نظر به لحاظ خصوصیات موثر در هدایت هیدرولیک متفاوت است و ثانیاً از ضخامت مناسب برخوردار باشند.

در مطالعات صحرایی طرحهای زهکشی، اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک لایه‌های مختلف در یک پروفیل خاک زمانی قابل توصیه است که این لایه‌ها به نحو مشخص و بارزی با یکدیگر تفاوت داشته باشند. وقتی تفاوت در مشخصات لایه‌های خاک ناچیز، یا در حدی است که انتظار نمی‌رود اختلاف در مقادیر اندازه‌گیری شده هدایت هیدرولیک آنها از حدود خطاهای معمول در اندازه‌گیری تجاوز نماید، تلاش برای هدایت هیدرولیک هر یک از آنها نیز قابل توصیه نخواهد بود. به طور مثال؛ در یک پروفیل خاک با دو لایه نسبتاًسنگین، یکی با بافت CL و ساختمان فشرده و دیگری با بافت Si CL و ساختمان فشرده، اگر از نظر سایر خصوصیات نیز بتواند مشابه تلقی گردد، می‌توان به یک اندازه‌گیری در یکی از لایه‌ها و یا ترجیحاً در هر دو لایه اکتفا نمود.

قبلاً توضیح داده شد که در اندازه‌گیری به روش چاهک، ضخامت اولیه لایه پروفیل در زیر سطح آب زیرزمینی نباید از حدود ۰/۵ تا ۰/٦ متر کمتر باشد. برای ضخامت لایه‌های زیرین به طور نظری هیچ محدودیتی وجود ندارد، لیکن توجه به فرمول محاسبه هدایت هیدرولیک در لایه‌های مرکب (رابطه شماره ١٤) مشخص می‌سازد که هر چه ضخامت لایه زیرین نسبت به لایه فوقانی آن کمتر باشد، احتمال خطا در محاسبه هدایت هیدرولیک آن لایه بیشتر خواهد بود. زیرا اگر بپذیریم که در هر اندازه‌گیری به طور معمول و به دلایل عموماً غیرقابل اجتناب خطاهایی، هر چند کوچک وجود دارد، تقسیم این خطاها به یک عدد می‌تواند منجر به یک خطای بزرگ و قابل ملاحظه گردد. با این استدلال چنانچه فرض بر این باشد که هدایت هیدرولیک لایه زیرین هم با دقتی همسنگ با لایه بالایی محاسبه گردد، به طور نظری بایستی لایه زیرین تقریباً برابر با لایه فوقانی آن باشد. در شرایط عملی نیز چنانچه ضخامت لایه زیرین کمتر از حدود ۰/۵ تا ۰/٦ متر باشد، نتایج اندازه‌گیریها و محاسبات را بایستی با احتیاط مورد استفاده قرار داد.

چنانچه در پروفیل خاک، لایه‌های مشخص با ضخامت کم وجود داشته باشد که تعیین مقادیر هدایت هیدرولیک آنها مورد نظر باشد، بایستی از سایر روشهای اندازه‌گیری مناسب مانند روش پیزومتری استفاده نمود.

٤-٤ حفر چاهک آزمایش

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

٤-٤-١ چاهک بایستی به گونه‌ای حفر شود که حتی‌الامکان حداقل بهم 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 دارد از اهمیت بیشتری برخوردار است.

٤-٤-٢ بایستی 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 روبه رو خواهد شد.

٤-٤-٣ در موقع حفر چاهک آزمایش، لایه‌بندی خاک در زیر سطح ایستابی بایستی مجدداً 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 حاصل شود. در دشتهای آبرفتی و به ویژه در دشتهای سیلابی، تغییر لایه‌بندی خاک – حتی در فواصل کم – غیر محتمل نیست.

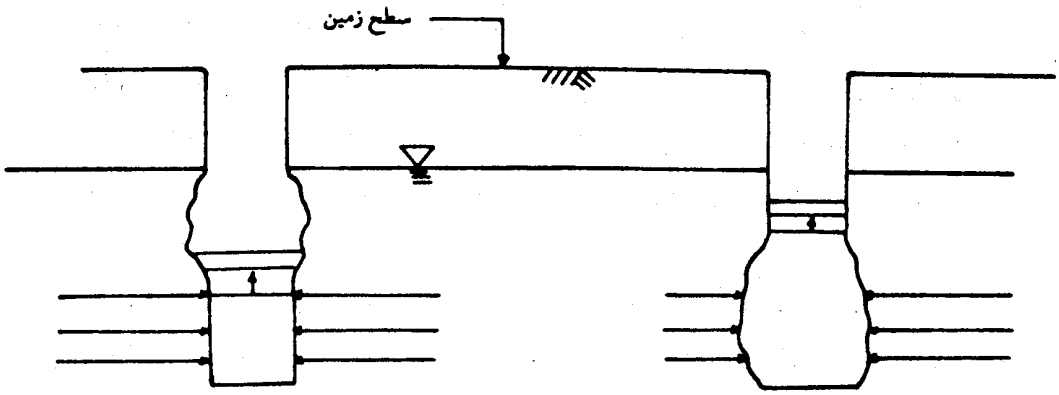
٤-٤-٤ توصیه می‌شود در خاکهایی که درصد رس آنها زیاد است و یا متراکم هستند حفاری چاهک در دو مرحله صورت گیرد. در مرحله اول، با مته‌ای کمی باریکتر از قطر انتخاب شده، چاهک را تا عمق مناسب حفر می‌کنند و سپس آن را تا قطر مورد نظر به وسیله مته مناسب برقو می‌زنند. در این صورت فشردگی جداره چاهک بسیار کمتر شده و نتیجه بهتری از آزمایش حاصل خواهد شد. رعایت این

نکته بدون اینکه کار اضافی قابل ملاحظه‌ای را به تیم آزمایش کننده تحمیل کند، متضمن دقت بیشتر آزمایش خواهد شد.

٤-٤-٥ توصیه می‌شود در موقع حفر چاهک، مخزن آگر بیش از اندازه پر نشود و به آرامی به 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 آن خلاء نسبی به وجود آید. این امر علاوه بر اینکه کار فیزیکی بالا کشیدن آگر را مشکلتر می‌سازد، باعث ریزش لایه‌های مستعد نیز خواهد شد. همچنین با بالا کشیدن ناگهانی آگر، ممکن است مقداری از آب چاهک که در بالای مته قرار گرفته نیز به بالا کشیده شود که در این صورت موجب ایجاد گرادیان شدید هیدرولیک در داخل چاهک گردیده و به ریزش بدنه چاهک کمک می‌نماید.

٤-٤-٦ ریزش جدار چاهک در زیر سطح آب که باعث افزایش قطر چاهک می‌گردد، خصوصیات هیدرولیک آن را دگرگون می‌سازد و متناسباً نتیجه آزمایش را تحت تاثیر قرار می‌دهد. این تغییر قطر به ویژه اگر در قسمت بالای نیمرخ و در مجاورت سطح آب باشد (جایی که تغییرات سطح آب در آن اندازه‌گیری می‌شود)، به شدت نتایج آزمایش را تغییر می‌دهد و از دقت و اعتبار آن می‌کاهد.

معمولاً گشاد شدن قسمتهای تحتانی جداره چاهک باعث می‌شود که سطح نفوذ آب افزایش پیدا کند و جریان بیشتری وارد چاهک شود. در این صورت سطح آب درون چاهک، در مرحله برگشت، با سرعت بیشتری بالا می‌آید (شکل ٦- الف). برعکس گشاد شدن جدار چاهک در مجاورت سطح آب باعث می‌شود که سرعت خیزش سطح آب کمتر اندازه‌گیری شود (شکل ٦-ب). علاوه بر این، افزایش قطر چاهک در قسمت اخیر باعث می‌شود که عمق افت اولیه سطح آب در حین تخلیه کمتر از حدودی باشد که از تقسیم حجم آب تخلیه شده بر سطح مقطع چاهک به دست 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 موکداً توصیه می‌شود که هنگام آزمایش، 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 می‌گردد 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 ٦- تغییرات قطر چاهک به سبب ریزش جدار

٤-٤-٧ در خاکهایی که در حین حفاری و آزمایش از پایداری کافی برخوردار باشند و ریزش نکنند، می‌توان چاهک را بدون پوشش جدار حفاری نمود. لیکن اگر احتمال ریزش جدار وجود داشته باشد، پوشش جدار چاهک که به وسیله لوله مشبک ضروری خواهد بود. در بعضی شرایط، نصب لوله جدار پس از حفاری و قبل از شستشو کفایت می‌کند. این حالت مواردی را در برمی‌گیرد که جدار چاهک برای حفاری از پایداری کافی برخوردار است، ولی در اثر جریان آب به درون چاهک یا صرفاً به مرور زمان (به علت ناپایداری) ریزش می‌کند.

در شرایطی دیگر، خاک حتی برای حفاری نیز پایدرا نیست و ریزش می‌کند. در این موارد حتماً باید حفاری همزمان با لوله‌گذاری صورت گیرد. برای این منظور لوله مشبک جدار طوری انتخاب می‌شود که قطرش برابر و یا فقط کمی بیشتر از مته باشد، به طوری که مته بتوانند به آسانی در آن حرکت کند. با هر بار حفاری مته و تخلیه خاکهای حفاری شده، لوله جدار با فشار در چاهک فرو برده می‌شود.

٤-٥ خراشیدن دیواره چاهک

در حین حفاری، در اثر عملکرد مته و یا در نتیجه چسبیدن گل به دیواره چاهک، به ویژه در خاکهای سنگین و با چسبندگی زیاد، قشر صاف و فشرده شده‌ای در سطح آن به وجود می‌آید که معمولاً باعث بسته شده منافذ و مجاری عبور آب می‌گردد. همچنین وقتی که مخزن مته بیش از اندازه از گل پر گردد، باعث می‌شود که جدار چاهک با قشری از گل حفاری شده اندود شود. برای برطرف کردن این مشکل باید سعی شود که با رعایت نکات اشاره شده در مبحث حفر چاهک آزمایش (بند ٤-٤) عوامل ایجاد کننده آن را کاهش داد. علاوه بر آن باید بعد از حفاری با استفاده از خراشدهنده این قشر گل اندود فشرده شده را شکست و منافذ عبور آب در دیواره چاهک را بازگشایی نمود. برای این منظور بایستی خراشدهنده با فشار ملایم و به آهستگی بر روی دیواره چاهک و در سرتاسر عمق آن در زیر سطح آب کشیده شود. در اجرای این کار توجه به نکات زیر توصیه می‌شود :

٤-٥-١ در موقع کار دقت شود حداقل تلاطم در آب درون چاهک به وجود آید. بی‌دقتی در موقع استفاده از خراشدهنده ممکن است باعث ریزش جداره چاهک گردد.

٤-٥-٢ خراش بیش از اندازه دیواره چاهک و یا وارد آن فشار نامتناسب به دیواره آن ممکن است باعث افزایش قطر چاهک گردد و در نتیجه دقت آزمایش را کاهش دهد.

٤-٥-٣ خراشدهنده در موقع استفاده تمیز باشد. در غیر این صورت گلهای چسبیده به آن نه تنها مانع از عمل میخها می‌شود، بلکه ممکن است این گلها خود نیز دیواره چاهک را اندود نماید.

٤-٥-٤ 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. در غیر این صورت علاوه بر صعوبت کار، ممکن است فشار منفی‌ای که در درون چاهک در زیر خراشدهنده ایجاد می‌شود مشکلات بیشتری را به وجود آورد.

٤-٦ 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 فرخ دیواره چاهک صورت می‌گیرد. این کار معمولا با چند مرتبه آبکشی توسط آبکش انجام می‌پذیرد. در اجرای این قسمت از کار توجه به نکات زیر توصیه است :

٤-٦-١ آبکش مورد استفاده بایستی 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 و زوائد حفاری که معمولاً 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.

٤-٦-٢ چنانچه چاهک فاقد لوله مشبک جدار باشد، عملیات آبکشی برای شستشوی آن بایستی با احتیاط و به آرامی صورت پذیرد. در غیر این صورت خطر ریزش دیواره چاهک وجود خواهد داشت.

٤-٦-٣ چنانچه قبل از شروع عملیات شستشو، چاهک به لوله مشبک جدار مجهز شود و خطر ریزش دیواره برطرف شده باشد، بهتر است عملیات آبکشی با ایجاد تلاطم در آب درون چاهک و به صورت سریع انجام پذیرد تا شستشو به نحو مطلوبتری صورت گیرد. بیرون کشیدن سریع آبکش از چاهک باعث ایجاد مکش و گرادیان ناگهانی و سبب تسریع در کنده شدن ذرات چسبیده به دیواره چاهک می‌شود.

٤-٦-٤ عملیات شستشو تا زمانی ادامه می‌یابد که آب بیرون کشیده شده از چاهک، تا حد امکان صاف و عاری از گل و لای باشد.

٤-٧ نصب لوله مشبک جدار

ضرورت نصب لوله جدار، به خصوصیات خاک و مشخصات چاهک آزمایش بستگی دارد. همان طور که قبلاً اشاره شد اگر از پایداری خاک اطمینان کامل داشته باشیم و شرایط چاهک طوری باشد که دیواره آن در طی مراحل حفاری و آزمایش استوار باقی بماند، نیازی به نصب لوله محافظ جدار وجود ندارد. معمولا در خاکهایی با بافت نسبتاً سنگین که هدایت هیدرولیک متوسط تا سریع دارند و انجام دادن مراحل مختلف آزمایش در زمان نسبتاً کوتاه میسر است، ممکن است بتوان از نصب لوله جدار چشمپوشی نمود. در شرایط زیر استفاده از لوله جدار در حین حفاری یا بلافاصله پس از پایان آن ضروری است.

- **خاکهایی که بافت سبک و یا متوسط دارند.**
- **خاکهایی که دارای درصد بالایی از سیلت هستند.**
- **خاکهایی با هدایت هیدرولیک کم که برای تسهیل جریان به درون چاهک ضرورتاً بایستی گرادیان زیاد در آن به وجود آید.**
- **چاهکهایی که انجام دادن مراحل مختلف حفر و آزمایش تا چند روز به طول می‌انجامد.**
- **خاکهایی که به علت قلیاییت شدید و یا دلایل دیگر ناپایدار هستند.**

لوله جدار را میتوان از مصالح فلزی یا پلاستیکی ساخت. مصالح فلزی به سبب نازکتر بودن ضخامت و امکان ایجاد منافذ ریزتر در آن، ارجح است. مواد پلاستیکی سخت را نیز برای این منظور می‌تون به کار برد. لوله‌های PVC جدار نازک برای این منظور است. این لوله‌ها نسبتاً ارزان و مشبک کردن آنها نیز به سادگی میسر است. لوله مشبک از هر نوع که باشد، باید در عین حال که مانع حرکت ذرات خاک به درون چاهک می‌گردد، امکان عبور آب از آن به سهولت وجود داشته باشد. برای این منظور لازم است منافذ لوله جدار تا حد امکان ریز باشد. معمولا سوراخهایی با قطر ۱ تا ۲ میلیمتر مناسب است، ولی منافذی با قطر ۱ ملیمتر در جلوگیری از عبور ذرات ریزتر موثرتر و از این نظر استفاده از آن اطمینان بخش‌تر است.

تعداد منافذ لوله جدار بایستی به اندازه‌ای باشد که افت هیدرولیک زیادی برای عبور آب به وجود نیاورد. در شرایط عملی می‌توان با ایجاد منافذی به قطر ۱ تا ۲ میلیمتر در فواصل حدود ۱/۵ تا ۲ سانتیمتر بر روی لوله‌هایی به قطر ۸ تا ۱۰ سانتیمتر، لوله‌های جدار مناسبی را تدارک دید.

٤-٨ اندازه‌گیری

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

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 افتد و در نتیجه گرادیان هیدرولیکی‌ای که برای سطح آب زیرزمینی و سطح آب چاهک به وجود می‌آید، جریان آب به سمت چاهک برقرار می‌گردد. 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 فرمولهای موجود، مقدار آن را محاسبه نمود.

مجموعه عملیاتی که در مرحله اندازه‌گیری صورت می‌گیرد، نسبتاً ظریف و حساس است، و اجرای آن بایستی 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 و یا هر وسیله دیگری که برای تعیین سرعت برگشت آب به کار می‌رود.
- ثبت تغییرات سرعت برگشت آب

٤-٨-١ تخلیه آب از چاهک

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

برای تخلیه آب چاهک میتوان از تمبله و یا آبکش استفاده نمود. استفاده از تمبله مناسب می‌تواند در اجرای کار سهولت و دقت بیشتری را به وجود آورد و بنابراین استفاده از آن برای این منظور ترجیح داده می‌شود. توصیه می‌شود که در اجرای این مرحله از کار به نکات زیر توجه گردد:

٤-٨-١-١ حتی‌الامکان کوشش شود تا مقدار آبی که بایستی 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 کم و هدایت هیدرولیک خاک نیز کم باشد. در غیر این صورت اجرای چنین روشی باعث می‌شود که سطح آب زیرزمینی در پیرامون چاهک نوسانات زیاد، غیرقابل کنترل و نامشخص داشته باشد و علاوه بر اینکه خطر ریزش جدار را افزایش می‌دهد، ممکن است موجب بروز خطا در نتیجه آزمایش نیز گردد. در اختیار داشتن چند آبکش با ظرفیتهای مختلف و استفاده از آبکش مناسب می‌تواند امکان تخلیه یکباره آب را از چاهک به وجود آورد.

٤-٨-١-٢ حتی‌الامکان سعی شود که آبکش به آرامی و ترجیحاً در اثر وزن خود در آب چاهک فرو برده شود. اعمال فشار اضافی در فرو بردن آبکش در چاهک سبب می‌شود که آب درون چاهک نسبت به سطح تعادلی خود بالاتر آید و در بخش غیراشباع در بالای این سطح نفوذ کند و گرادیان مصنوعی به وجود آورد. وقتی بافت خاک در بالای سطح ایستابی سبک، یا دارای درز و ترک باشد، رعایت این نکته از حساسیت بیشتری برخوردار خواهد بود.

٤-٨-١-٣ بیرون کشیدن آبکش باید با هماهنگی با سرپرست گروه و به دستور و اشاره وی صورت گیرد و همزمان با بیرون کشیدن آبکش، کرنومتر نیز باید به کار انداخته شود و اندازه‌گیری زمان آغاز گردد.

٤-٨-١-٤ از آنجا که جریان به طرف چاهک از لحظه‌ای که آبکش از آب درون چاهک بیرون کشیده می‌شود برقرار می‌گردد، سرعت عمل در بیرون کشیدن آبکش باعث کاهش وقت تلف شده (از شروع برقراری جریان تا شروع اندازه‌گیری) خواهد شد.

٤-٨-١-٥ توصیه می‌شود مقدار آبی که از چاهک برداشت می‌شود به روش حجمی اندازه‌گیری شود و مقدار آن در فرم صحرایی (فرم شماره ١) ثبت گردد. انجام دادن این کار امکان محاسبه و تعیین دقیقتر عمق ستون آب تخلیه شده $(y_{\circ})$ را به دست می‌دهد که یکی از عوامل موثر و مورد نیاز در اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک است. علاوه بر آن، داشتن حجم آب تخلیه شده، امکان کنترل تغییرات احتمالی در قطر چاهک را نیز فراهم می‌آورد.

٤-٨-١-٦ درصورتی که از تملبه مناسب برای تخلیه آب استفاده شود، بیشتر مسائل فوق الذکر برطرف می‌گردد. در این روش عموماً می‌توان لوله مکش یا شلنگ تلمبه و شناور را 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. همچنین با تنظیم عمق استقرار دهانه شلنگ تلمبه، عمق تخلیه آب $(y_{\circ})$ قابل تشخیص و اندازه‌گیری است. بدیهی است با شروع برگشت آب و آغاز اندازه‌گیری، بایستی شلنگ تلمبه از چاهک بیرون کشیده شود.

٤-٨-٢ استقرار شناور در چاهک

بلافاصله پس از تخلیه آب به مقدار لازم، جسم شناور به درون چاهک انداخته می‌شود و متعاقباً با مستقر شدن شناور بر سطح آب ، اندازه‌گیری سرعت بالا آمدن سطح آب آغاز می‌گردد. فاصله زمانی بین تخلیه آب و استقرار شناور بایستی حتی‌الامکان کوتاه باشد. طولانی شدن عملیات در این مرحله سبب خواهد شد که آب درون چاهک بیشتر از اندازه مجاز و توصیه شده خود برگشت یابد و سبب شود که در نتیجه اندازه‌گیری تاثیر گذارد، و یا حداقل، فرصت موجود برای انجام دادن اندازه‌گیریها را کاهش دهد.

٤-٨-٣ 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 متعاقباً در فواصل زمانی مناسب قرائتهای بعدی صورت می‌پذیرد. بدین ترتیب مجموعه اطلاعاتی از خیز سطح آب درون چاهک بر حسب زمان به دست می‌آید که در محاسبات بعدی برای تعیین مقدار هدایت هیدرولیک به کار برده می‌شود.

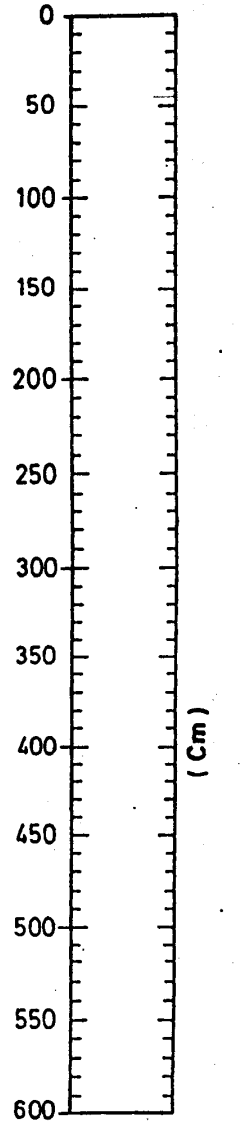
فرم ۱ - اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک به روش چاهک

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

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

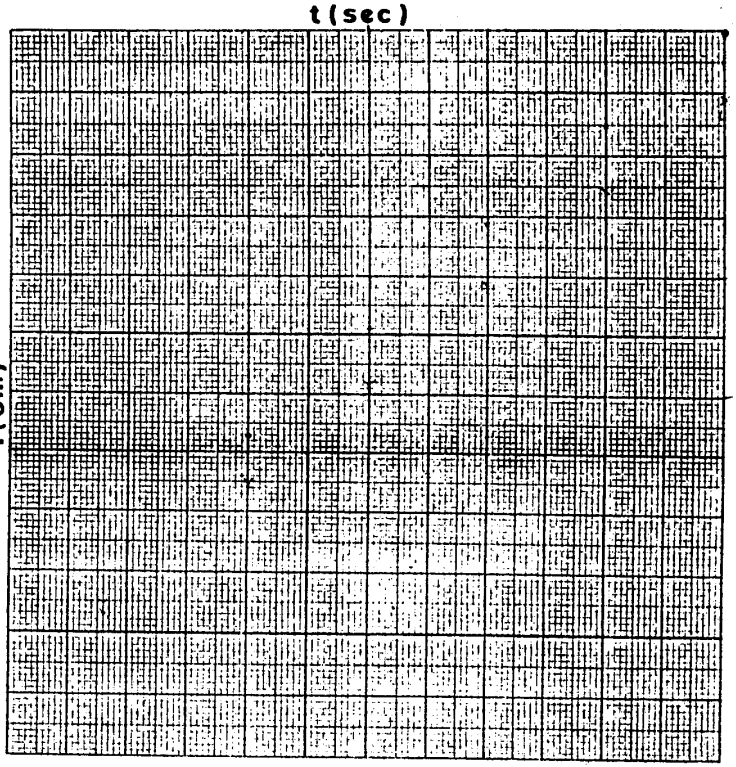
الف : اندازه‌گیریها

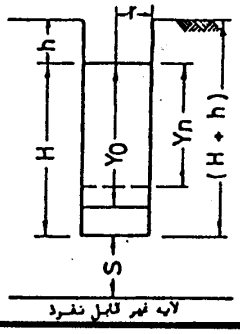
نیمرخ خاک



تکرار اول			تکرار دوم			تکرار سوم		
No.	t(sec)	y(cm)	No.	t(sec)	y(cm)	No.	t(sec)	y(cm)
1			1			1		
2			2			2		
3			3			3		
4			4			4		
5			5			5		
6			6			6		
7			7			7		
8			8			8		

t(sec)





تکرار اول	تکرار دوم	تکرار سوم

ب : محاسبات

Y : حجم آب تخلیه شده توسط پمپاژ — Cm^3

Y_0 : عمق پائین افتادن سطح ایستابی پس از پمپاژ — Cm

$R = \sqrt{V/\pi Y_0}$: شعاع چاهک — "

$\bar{Y} = \frac{Y_0 + Y_n}{2}$ با در نظر گرفتن قطر آگر r — "

H : حجم آب پمپاژ شده — Cm^3

S : Cm

C :

$K = C\frac{\Delta Y}{\Delta t}$ — m/day

$\frac{\Delta Y}{\Delta t}$

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

قرائت تغییرات سطح آب بر حسب زمان تا موقعی ادامه پیدا می‌کند که یا سطح آب به حدود مجاز توصیه شده خود $\frac{۱}{۴}(y_{\circ})$ رسیده باشد و یا در این محدوده، تعداد کافی قرائت (معمولا ۵ قرائت) صورت گرفته باشد. در خاکهائی که ضریب ذخیره زیادی دارند (خاکهای سبک) و به منظور ایجاد فرصت زمانی برای ثبت مشاهدات بیشتر حد مجاز بالا آمدن سطح آب برای تکمیل قرائتها می‌تواند تا حدود $\frac{۱}{۳}y_{\circ}$ نیز افزایش یابد.

٤-٨-٤ 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 با جدول مندرج در فرم شماره ۱ منتقل می‌گردد. در این جدول مقادیر y در مقابل مقادیر t نشان داده می‌شود. همان طور که توضیح داده شد، مبدا زمان و یا به عبارت دیگر $t_{\circ}$، لحظه‌ای است که آبکش از آب درون چاهک بیرون کشیده می‌شود.

ترسیم اطلاعات مندرج در جدول فوق به صورت منحنی تغییرات t و y سیمای روشنتری از روند خیز سطح آب به دست می‌دهد. ترسیم این منحنی که حتی در صحرا و در فاصله زمانی بین تکرارهای آزمایش نیز امکانپذیر است می‌تواند به سهولت، صحت نسبی نتایج 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 ذکر است که در زمان ثبت اطلاعات صحرایی، در مقابل $t_{\circ}$ ، مقدار عددی $\mathbf{y}_{\circ}$ مشخص نیست. این مقدار می‌تواند به دو روشی که در زیر توضیح داده می‌شود تعیین گردد :

۱- یکی از راههای تعیین مقدار $\mathbf{y}_{\circ}$، استفاده از حجم آب تخلیه شده از چاهک است. از تقسیم حجم آب (بر حسب سانتیمتر مکعب) بر سطح مقطع چاهک (بر حسب سانتیمتر مربع)، مقدار $\mathbf{y}_{\circ}$ بر حسب سانتیمتر به دست می‌آید.

۲- راه دیگر برای تعیین $y_{\circ}$، امتداد دادن خط $y = at + b$ به سمت محور yها است. محل تلاقی این خط با محور yها (b)، مقدار $y_{\circ}$ را برای زمان $\mathbf{t}_{\circ}$ مشخص می‌سازد.

عمق دریاچک
900
متوسط عرض دریاچک
175
متوسط عمق آب
190
متوسط عمق آب تبادل
184
شوری
8.6
متوسط حجم آب تبخیر شده به m³
R 35
T1 = 2820
T2 = 2890
T3 = 2910
سطح متوسط آب دریاچک
0
30
40

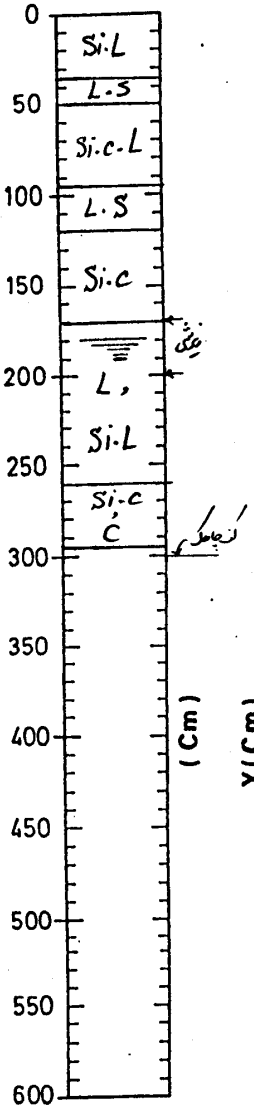
فرم ۲- اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک به روش چاهک

نام پروژه : شماره چاهک R'35 عمق چاهک 300 سانتیمتر ، عمق برخورد به آب 195 سانتیمتر

عمق سطح ایستابی متعادل 184 سانتیمتر ، قطر آگر 8.6 نام آزمایش کننده : سهیل تاریخ : ۶۸.۱۱.۰۱

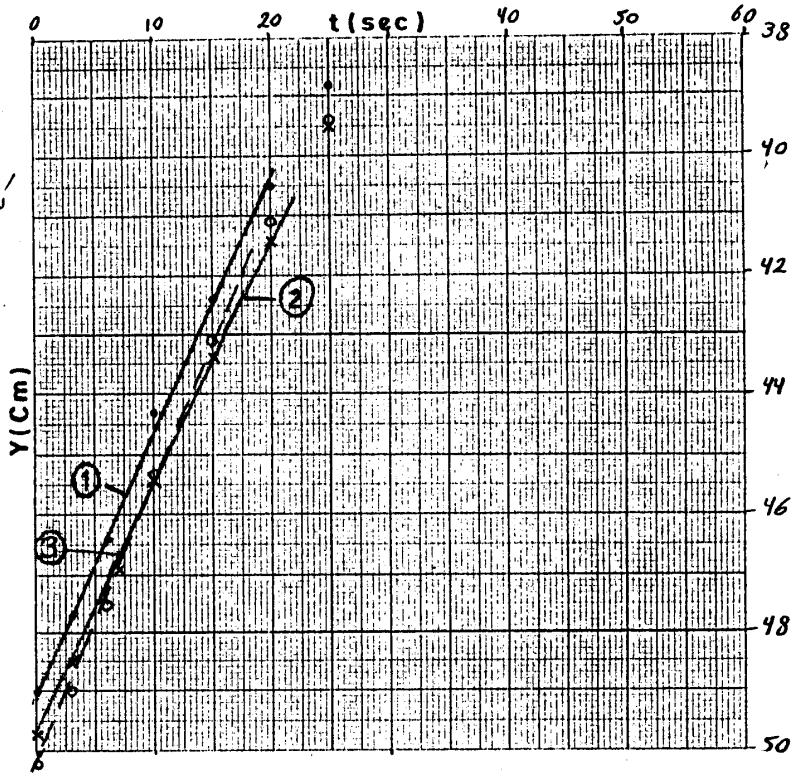
الف : اندازه‌گیریها

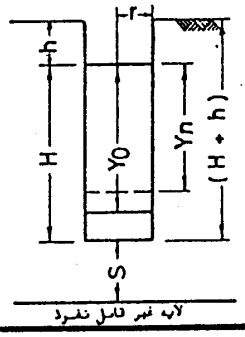
نیمرخ خاک



تکرار اول •			تکرار دوم x			تکرار سوم o		
No.	t(sec)	y(cm)	No.	t(sec)	y(cm)	No.	t(sec)	y(cm)
1	0	*49.0	1	0	*49.7	1	0	*50.2
2	3	47.7	2	3	48.5	2	3	49.0
3	6	46.4	3	7	46.9	3	6	47.5
4	10	44.3	4	10	45.4	4	10	45.3
5	15	42.4	5	15	43.4	5	15	43.1
6	20	40.5	6	20	41.4	6	20	41.1
7	25	38.8	7	25	39.5	7	25	39.4
8	35	35.6	8	35	36.3	8	35	36.1

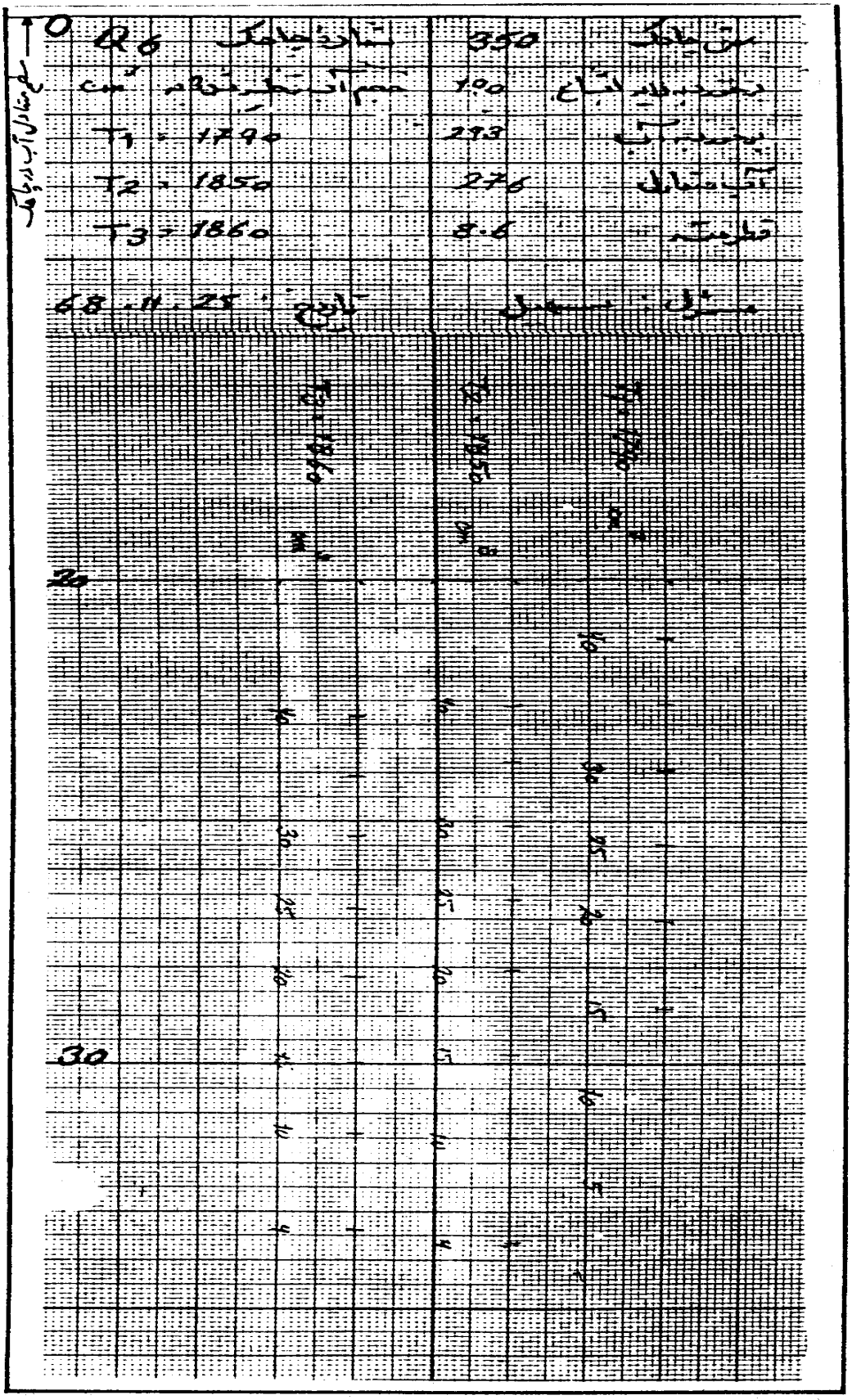
* $y_n \pm 0.8\%$





تکرار اول	تکرار دوم	تکرار سوم		
2820	2890	2910	Y : حجم آب تخلیه شده توسط پمپاژ	cm^3
49.0	49.7	50.2	Y_0 : عمق پائین افتادن سطح ایستابی پس از پمپاژ	cm
4.3	4.3	4.3	$\frac{\Delta Y}{\Delta t}$	cm/sec
0.425	0.415	0.455	$\bar{Y} : \frac{Y_0 + Y_n}{2}$	cm
44.8	45.6	45.7	H :	cm
76	76	76	S :	
$< H/2$	$< H/2$	$< H/2$	C :	
890	876	875	$K : C \frac{\Delta Y}{\Delta t}$	m/day
3.76	3.64	3.98		

ب : محاسبات



فرم ۳- اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک به روش چاهک

نام پروژه : شماره چاهک Q6 عمق چاهک 350 سانتیمتر ، عمق برخورد به آب 293 سانتیمتر

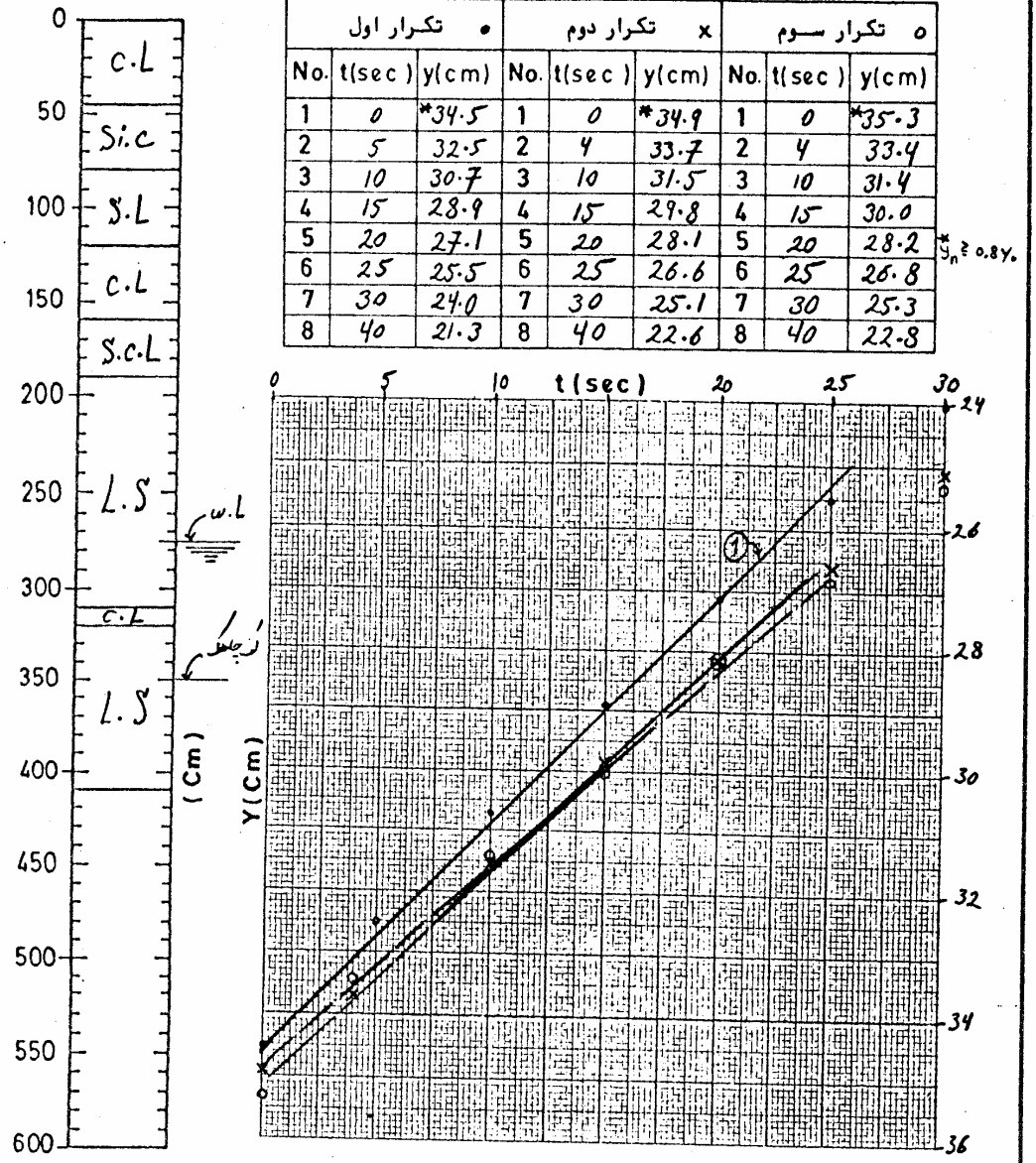
عمق سطح ایستابی متعادل 276 سانتیمتر ، قطر آگر 8.6cm نام آزمایش کننده : [illegible] تاریخ : 68.11.25

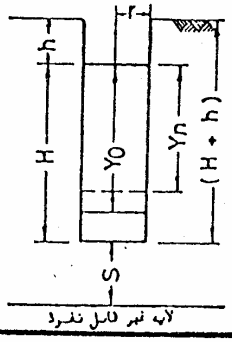
الف : اندازه‌گیریها

نیمرخ خاک

تکرار اول ●			تکرار دوم x			تکرار سوم o		
No.	t(sec)	y(cm)	No.	t(sec)	y(cm)	No.	t(sec)	y(cm)
1	0	*34.5	1	0	*34.9	1	0	*35.3
2	5	32.5	2	4	33.7	2	4	33.4
3	10	30.7	3	10	31.5	3	10	31.4
4	15	28.9	4	15	29.8	4	15	30.0
5	20	27.1	5	20	28.1	5	20	28.2
6	25	25.5	6	25	26.6	6	25	26.8
7	30	24.0	7	30	25.1	7	30	25.3
8	40	21.3	8	40	22.6	8	40	22.8

* $y_n \geq 0.8 y_0$





تکرار اول	تکرار دوم	تکرار سوم		
1790	1850	1860	Y : حجم آب تخلیه شده توسط پیزومتر	cm^3
34.5	34.9	35.3	Y_0 : عمق پائین افتادن سطح ایستابی پس از پمپاژ	cm
4.1	4.1	4.1	$\frac{\Delta Y}{\Delta t}$	Cm/Sec
0.35	0.33	0.33	$\bar{Y} : \frac{Y_0 + Y_n}{2}$	Cm
30.8	31.5	31.8	H :	Cm^2
74	74	74	S :	
> H/2	> H/2	> H/2	C :	
100	97	97		
3.5	3.2	3.2	$K : C \frac{\Delta Y}{\Delta t}$	m/day

ب : محاسبات

چنانچه مراحل مختلف عملیات، به ویژه حفاری چاهک و اندازه‌گیریهای خیز سطح آب با دقت کافی صورت گیرد و اطلاعات به دست آمده از صحت لازم برخوردار باشد، $y_{\circ}$ به دست آمده با هر یک از دو روش فوق 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 چنانچه در اندازه‌گیریها خطایی رخ نداده باشد، عامل اختلاف را باید در تغییر قطر چاهک جستجو نمود. هر قدر این اختلاف بیشتر باشد، نشانه‌ای بر بیشتر بودن میزان تغییر قطر چاهک است و متناسباً خطای نتیجه‌گیری را افزایش می‌دهد. وجود اختلافی در حدود ۱ سانتیمتر بین قطر واقعی چاهک و آن چه 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 معمولا اولین قرائت از زمان (t) و عمق (y) ، گاهی می‌تواند با خطاهایی توام باشد که عموماً ناشی از شتابی است که تکنیسین برای انطباق و هماهنگی خود با شرایط و ابزار اندازه‌گیری دارد. این خطا به ویژه در نقاطی که دارای هدایت هیدرولیک سریع است بیشتر محتمل است. بنابراین انحراف نسبی این نقطه از روند عمومی خیز سطح آب می‌تواند قابل انتظار باشد. در این شرایط در صورتی که تعداد نقاط باقیمانده کافی باشد، می‌توان از این نقطه صرفنظر نمود.

برای آشنایی با سه حالت ممکن (قابل قبول، غیرقابل قبول و قابل اغماض) در اندازه‌گیریها، سه مثال در بند ۵ ارائه می‌شود:

۵- مثال

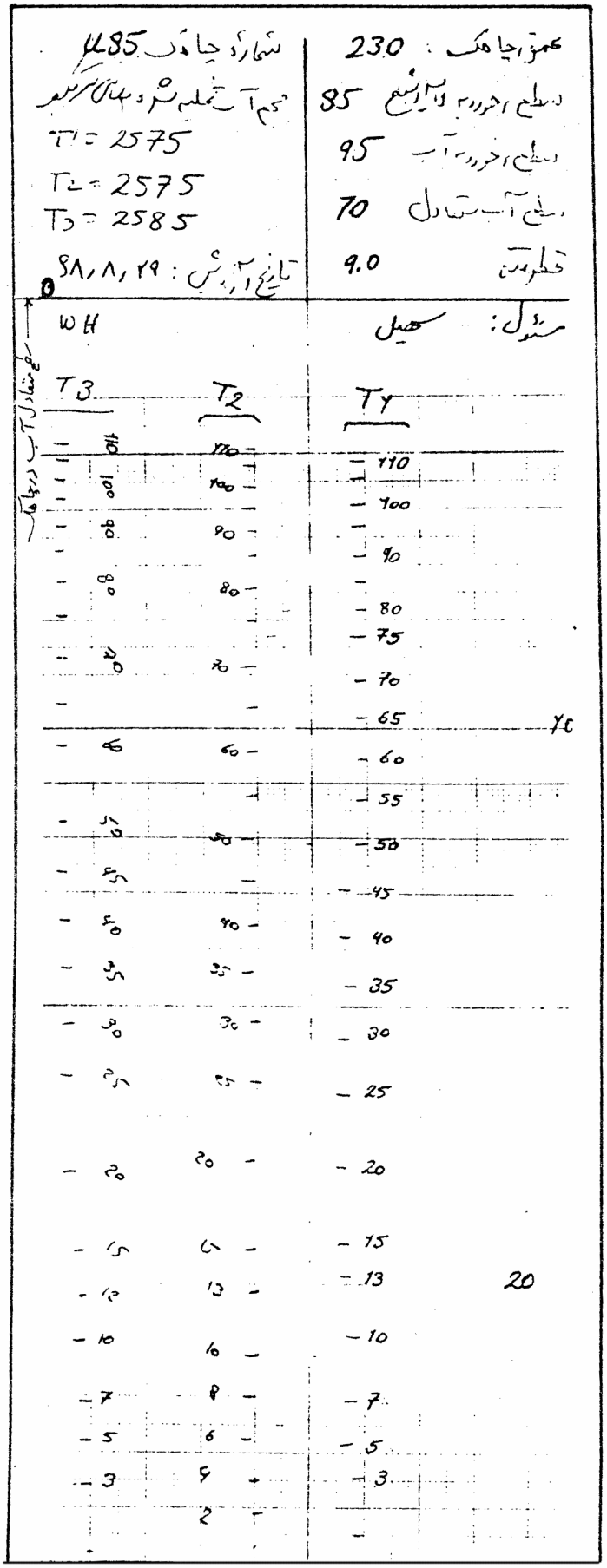
۱- نتایج اندازه‌گیری در یک چاهک (مشتمل بر برگ ثبت صحرایی اندازه‌گیری برگشت آب و نیز فرم محاسباتی) به شرح فرم شماره ۲ به دست آمده است. انتقال این نتایج به جدول و ترسیم منحنی تغییرات آن، به خوبی نشان می‌دهد که کلیه مراحل اندازه‌گیری با دقت و به شکل مطلوب صورت گرفته و هیچگونه اشکالی در نتایج به دست آمده به چشم نمی‌خورد. مقدار $\mathbf{y}_{\circ}$ به دست آمده از طریق محاسبه حجم آب بیرون کشیده شده از چاهک (بر مبنای شعاع اسمی $r = ٤/٣$ سانتیمتر) ، به اندازه کافی با مقدار نظیرش که از امتداد خط به دست می‌آید تطبیق دارد. این امر نشان می‌دهد که قطر تعیین شده برای چاهک با قطر اسمی آن تقریباً برابر است و میتوان در محاسبات از همین قطر استفاده نمود.

۲- نتایج اندازه‌گیری در یک چاهک به شرح فرم شماره ۳ به دست آمده است. انتقال این نتایج به جدول و ترسیم منحنی تغییرات آن نشان می‌دهد که مقادیر اندازه‌گیری شده (y,t) به خوبی امتدد یک خط راست را بدست می‌دهد. لیکن مقدار r که از طریق تقسیم حجم آب تخلیه شده بر $\mathbf{y}_{\circ}$ (حاصل از امتداد خطوط) به دست می‌آید با مقدار اسمی آن اختلاف دارد $(٤/١ \neq ٤/٣)$. مقدار این اختلاف ناچیز است و می‌توان از

آن صرفنظر نمود و محاسبات با فرض r =٤/١ سانتیمتر انجام می‌شود. انتظار می‌رود خطای اندازه‌گیری k از حدود ١٠ درصد تجاوز ننماید.

٣- نتایج اندازه‌گیری در یک چاهک به شرح فرم شماره ٤ به دست آمده است. انتقال این نتایج به جدول و ترسیم منحنی تغییرات آن ناهماهنگی ویژه‌ای را نشان نمی‌دهد. لیکن مقدار r که از طریق تقسیم حجم آب تخلیه شده بر $y_{\circ}$ (بدست آمده از امتداد خطوط) حاصل می‌شود با مقدار اسمی آن بیش از ١٣ میلیمتر اختلاف دارد. این اختلاف می‌تواند خطایی در حدود ٣٠ درصد برای محاسبه k در بر داشته باشد. از آنجا که نمی‌توان قطر چاهک به دست آمده از طریق محاسبات را با اطمینان به سرتاسر عمق چاهک تعمیم داد (زیرا به احتمال زیاد ریزش چاهک موضعی است) لذا ترجیح داده می‌شود که از نتایج به دست آمده صرفنظر کرد و آزمایش را تکرار نمود.

لازم به توضیح است که در مثالهای فوق فقط اندازه‌گیری حجم آب (V) و کنترل $y_{\circ}$ امکان اشتباه‌یابی را به وجود آورده است.


شماره چاه: 485
حجم آب تخلیه شده: 4 لیتر بر ثانیه
T1 = 2575
T2 = 2575
T3 = 2585
تاریخ آزمایش: ۹۸،۸،۲۹
عمق چاه: 230
سطح ایستابی: 85
سطح آب: 95
سطح آب استاتیک: 70
قطر لوله: 9.0
متر
سطح استاتیک آب در چاه
WH
T3
T2
T1
110
100
90
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
13
10
7
5
3
2
0
Yc
20

فرم ۴- اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک به روش چاهک

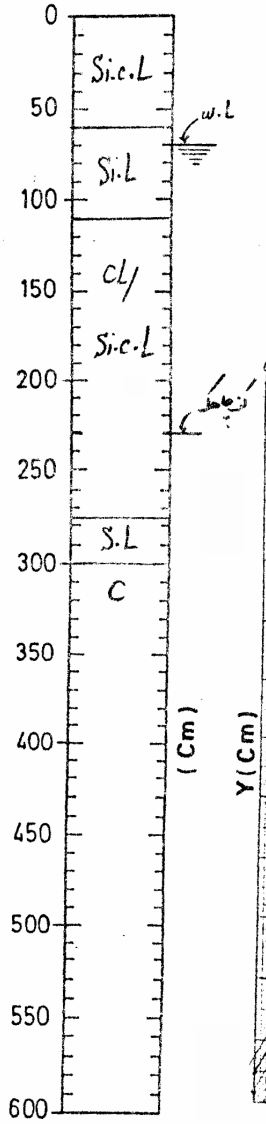
نام پروژه : شماره چاهک U 85 عمق چاهک 230 سانتیمتر ، عمق برخورد به آب 95 سانتیمتر

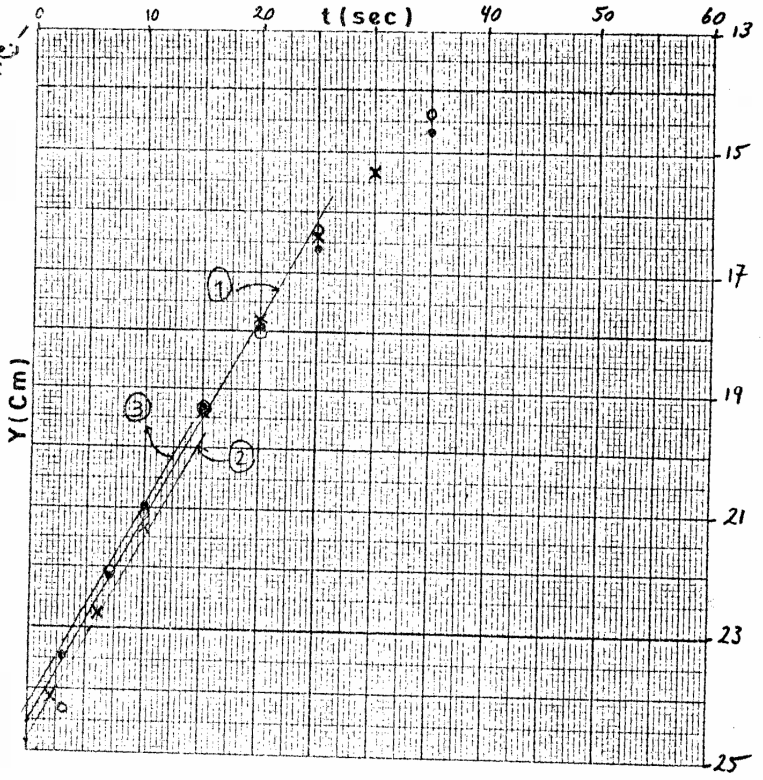
عمق سطح ایستابی متعادل 70 سانتیمتر ، قطر آگر 9 cm نام آزمایش کننده : تاریخ : 68.8.29

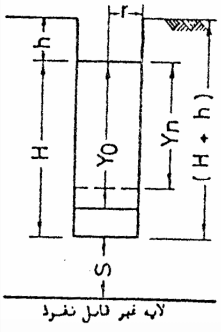
الف : اندازه‌گیریها

نیمرخ خاک

تکرار اول •			تکرار دوم ×			تکرار سوم ○			
No.	t(sec)	y(cm)	No.	t(sec)	y(cm)	No.	t(sec)	y(cm)	
1	0		1	0		1	0		
2	3	23.45	2	2	24.10	2	3	23.30	
3	7	22.15	3	6	22.75	3	7	22.10	
4	10	20.95	4	10	21.30	4	10	21.05	
5	15	19.30	5	15	19.40	5	15	19.40	$\geq 0.8Y_0$
6	20	17.90	6	20	17.80	6	20	18.00	
7	25	16.60	7	25	16.40	7	25	16.30	
8	35	14.65	8	30	15.30	8	35	14.35	







تکرار اول	تکرار دوم	تکرار سوم
2575	2575	2585
24.5	24.8	24.3
5.78	5.75	5.82
0.35	0.35	0.33
22.7	23.1	22.7
160	160	160
$< H/2$	$< H/2$	$< H/2$
75	75	75
2.6	2.6	2.6

ب : محاسبات

Y : حجم آب تخلیه شده توسط پیلنر — cm^3

Y_0 : عمق پائین افتادن سطح ایستابی پس از پمپاژ — cm

$\frac{\Delta Y}{\Delta t}$ — cm/sec

$\bar{Y} : \frac{Y_0 + Y_n}{2}$ — cm

H : — cm

S :

C :

$K : C\frac{\Delta Y}{\Delta t}$ — m/day

٦- محاسبات

٦-١ محاسبه هدایت هیدرولیک

برای محاسبه هدایت هیدرولیک از فرمول زیر استفاده می‌شود (شکل ۱) :

$$K = c\frac{\Delta y}{\Delta t} \qquad (۱۰)$$

در فرمول فوق:

$\frac{\Delta y}{\Delta t}$ = سرعت متوسط خیز سطح آب در چاهک (سانتیمتر بر ثانیه) که با استفاده از اطلاعات به دست آمده از اندازه‌گیری مشخص میشود و مقدار آن برابر است با شیب خط تغییرات y,t در محدوده $y \le \frac{۱}{۴} y_{۰}$

K = هدایت هیدرولیک بر حسب سانتیمتر بر روز

c = ضریبی که تابع مقادیر s,r,H,y است و مقدار آن در روش ارنست برای دو حالت ویژه به شرح زیر تعیین شده است:

$$c = \frac{۴۰۰۰۰۰}{(H/r+۲۰)(۲-y/H)y} \qquad s \ge \frac{H}{۲} \qquad (۱۱)$$

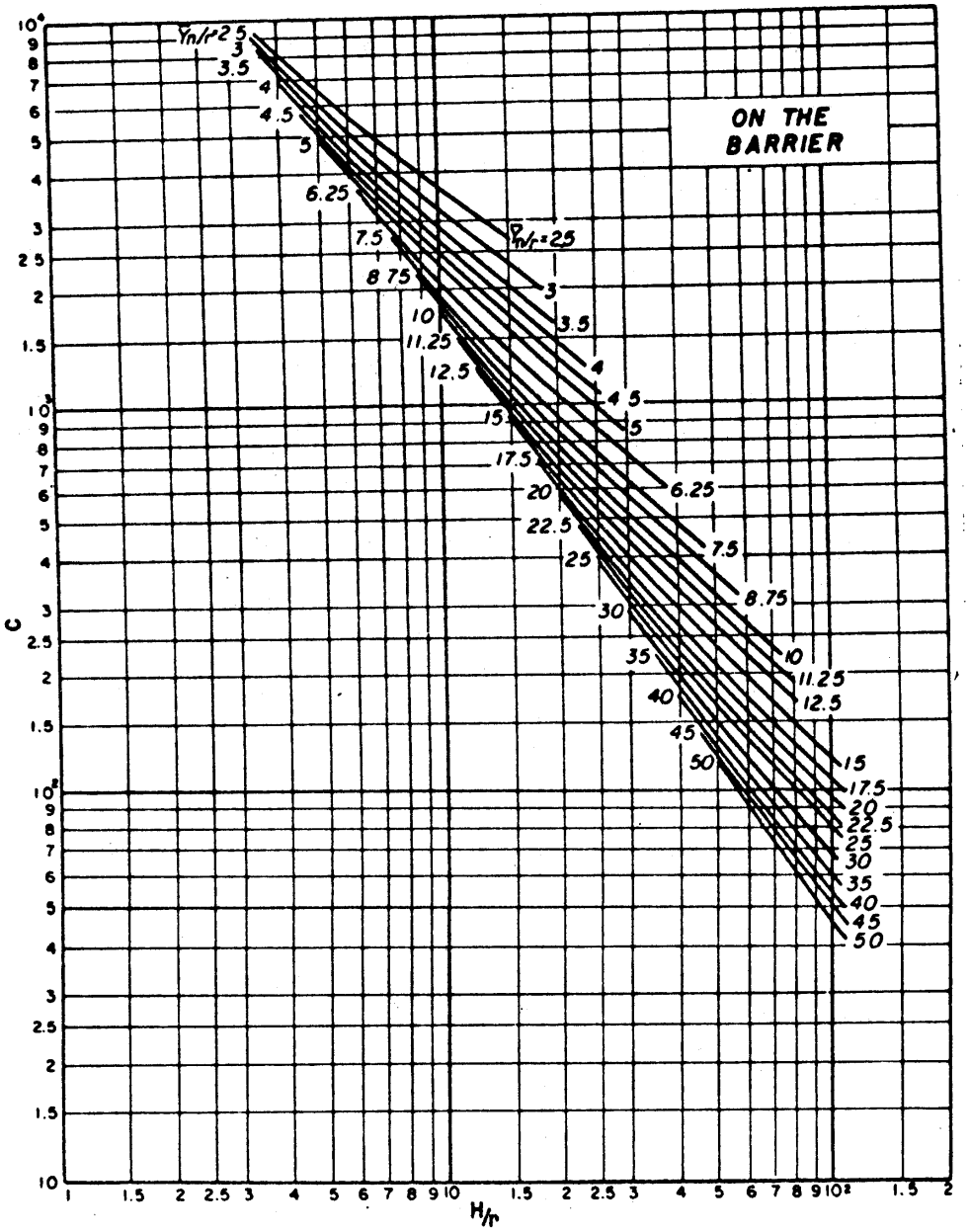
$$c = \frac{۳۶۰۰۰۰r}{(H/r+۱۰)(۲-y/H)y} \qquad (۱۲)$$

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 $s \ge H/۲$ در نظر گرفت. از آن جا که فقط ضخامت محدودی از لایه‌های زیرین چاهک (در حدود ۱۰ تا ۱۵ سانتیمتر) در جریان آب به آن موثر است، عموماً می‌توان از رابطه نظیر $s \ge H/۲$ استفاده نمود. در هر حال تفاوت مقادیر c به دست آمده برای دو حالت s=0 و $s \ge H/۲$، با افزایش H، کمتر خواهد بود.

برای تعیین مقدار C می‌توان از نمودارهای ارائه شده در شکلهای شماره ۷ و ۸ نیز استفاده نمود.

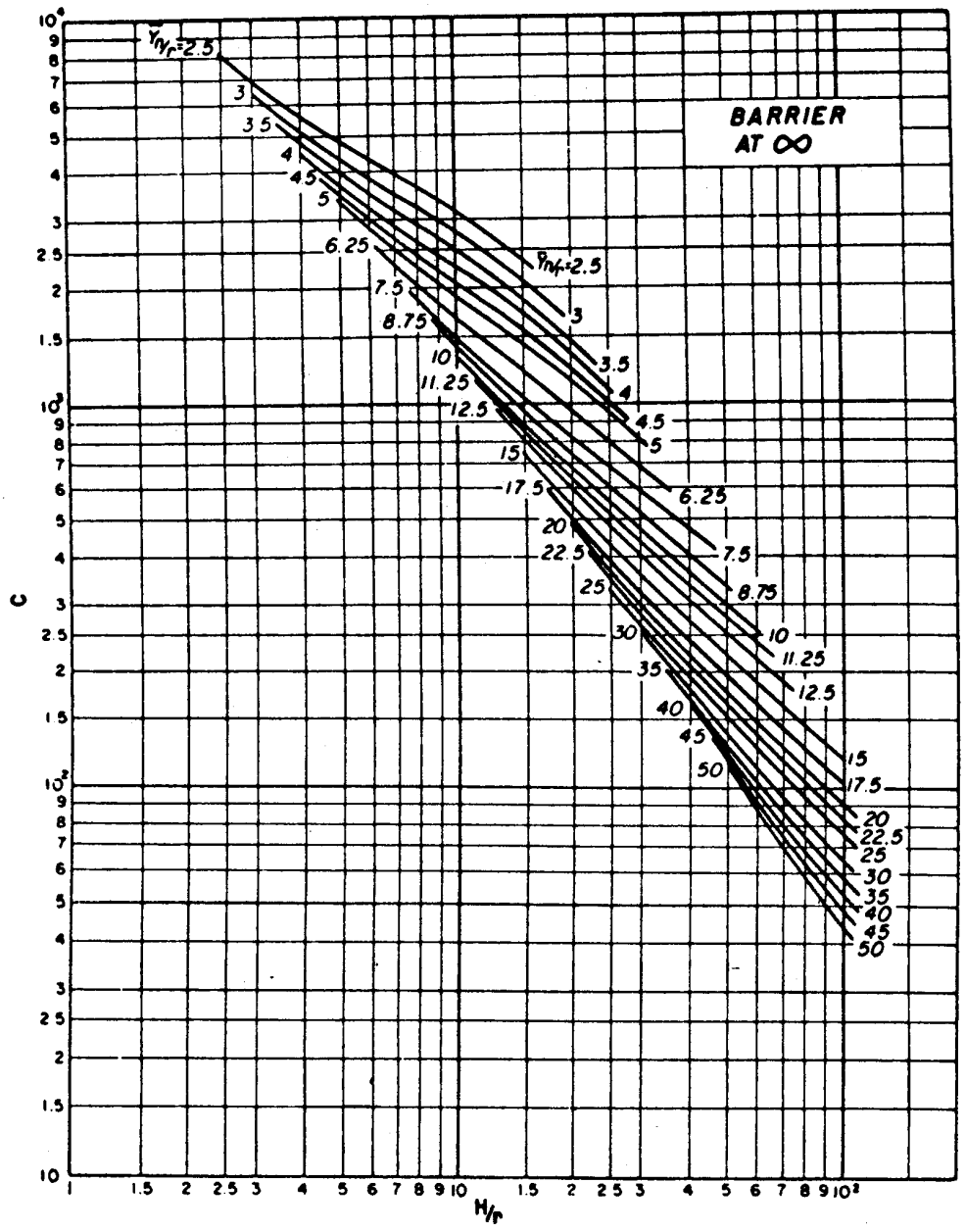
٦-٢ محاسبه هدایت هیدرولیک در خاک دو و یا چند لایه

وقتی پروفیل خاک محل اندازه‌گیری از دو لایه با آبگذاری متفاوت تشکیل شده 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 رابطه زیر مقادیر K_2 را به دست آورد.



شکل ۷- مقادیر C وقتی انتهای چاهک روی لایه محدودکننده باشد.

(برمبنای روش ارنست)



شکل ۸- مقادیر C وقتی انتهای چاهک در فاصله زیادتری بالاتر از لایه محدودکننده قرار گیرد .

(برمبنای روش ارنست)

$$K_2 = \frac{KD - K_1 D_1}{D_2} \qquad (۱۳)$$

در رابطه فوق :

D_1 = ضخامت لایه اول (سانتیمتر)

K_1 = هدایت هیدرولیک اندازه‌گیری شده برای لایه اول (متر بر روز)

K =هدایت هیدرولیک اندازه‌گیری شده در آزمایش دوم (مجموع لایه‌های اول و دوم) (متر بر روز)

D =ضخامت لایه اندازه‌گیری شده در آزمایش دوم $(D = D_1 + D_2)$ (سانتیمتر)

D_2 = ضخامت لایه دوم پروفیل (لایه زیرین) (سانتیمتر)

K_2 = هدایت هیدرولیک لایه دوم (متر بر روز

وقتی پروفیل خاک از چند لایه تشکیل شده باشد، با استفاده از روش فوق می‌توان مقادیر K را برای هر یک از لایه‌های دیگر نیز محاسبه نمود (شکل ۹). برای این کار لازم است برای هر یک از لایه‌های مورد نظر، اندازه‌گیریهای صحرایی صورت گیرد و نتایج آن به دست آید. فرمول عمومی محاسبه K_n به شرح زیر است:

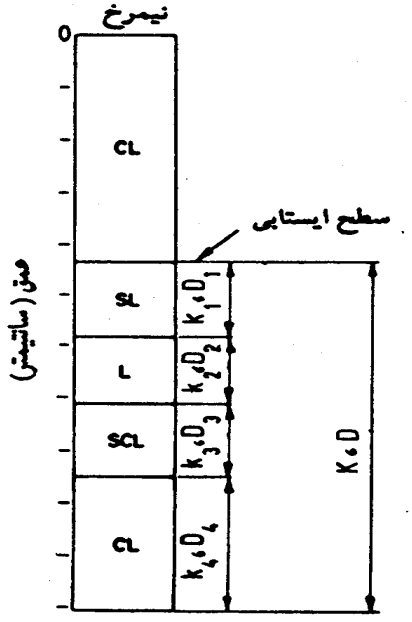
$$K_n = \frac{KD - (K_{n-1} D_{n-1})}{D_n} \qquad (۱٤)$$

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

D_{n-1} = ضخامت لایه از سطح ایستابی تا ابتدای لایه آخر (سانتیمتر)

D_n = ضخامت لایه آخر (سانتیمتر)

K_n = هدایت هیدرولیک لایه آخر (متر بر روز)



شکل ۹- نیمرخ یک خاک چند لایه

قابل ذکر است که محاسبه هدایت هیدرولیک لایه‌های مختلف یک پروفیل خاک با این روش عموماً و به ویژه وقتی ضخامت لایه‌ها نسبتاً کم باشد، از دقت مطلوبی برخوردار نخواهد بود و در صورت نیاز به دانستن هدایت هیدرولیک در هر یک از لایه‌ها، ترجیحاً بایستی از روش پیزومتری استفاده نمود.

٦-٣ خطاهای محتمل در اندازه‌گیریها و محاسبات

۱- حداکثر خطاهای محتمل در استفاده از گراف (برای تعیین c) حدود ۵ درصد است.

۲- در صورتی که درتعیین H و y خطایی صورت گرفته باشد، متناسباً در مقادیر K تاثیر می‌گذارد. به طور مثال یک درصد خطا در اندازه‌گیری H، همین میزان خطا در تعیین K را در بر دارد.

۳- ۰/۵ سانتیمتر خطا در تعیین شعاع چاهک (r)، حدود ۲۰ درصد خطا در تعیین K را در پی خواهد داشت.

۷- منابع و مآخذ

1) **ASuger Hole Method , Van Beer , W.F.J., ILRI, Netherlands,1985.**
2) **Drainage Manual, United States Bureau of Reclamation, Washington 1993.**
3) **Drainage of Agricultural Land, United States Department of Agricuture, Soil conservation Service, Washington, 1971.**
4) **Drainage of Agricultural Lands, ASA, Nomograph No. 11.**
5) **Drainage Principles & Applications, ILRI, Wageningen, 1979.**

٦- اندازه‌گیری ضریب آبگذاری خاک در زیر سطح ایستابی به روش چاهک در مزرعه، محمدرضا شهریاری، اداره کل مهندسی زراعی، وزارت کشاورزی، تیر ماه ۱۳۵۰.

۷- راهنمای آزمایشات زهکشی، مجتبی اکرم، پلی کپی درسی دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، ۱۳٦۳.

۸- راهنما و دستورالعمل اندازه‌گیری ضریب آبگذری برای مطالعات زهکشی، شرکت مهندسی مشاور مهاب قدس، ۱۳٦٦.

۹- روش چاهک آزمایشی برای اندازه‌گیری تراوش هیدرولیک خاک، ترجمه مهندس آذرنیا، بنگاه مستقل آبیاری.

In the Name of God
Islamic Republic of Iran
Ministry of Energy
Iran Water Resources Management CO.
Deputy of Research
Office of Standard and Technical Criteria

Manual of Soil Hydraulic Conductivity Measurement

Publication No. 155