جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه

دستورالعمل هدایت هیدرولیک خاک با روش پیزومتری

معاونت امور فنی
دفتر امور فنی و تدوین معیارها

نشریه شماره ۱۶۴

جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه

دستورالعمل هدایت هیدرولیک خاک با روش پیزومتری

نشریه شماره ۱۶۴

معاونت امور فنی
دفتر امور فنی و تدوین معیارها

انتشارات سازمان برنامه و بودجه ۷۶/۰۰/۳۵

۱۳۷۶

فهرستبرگه

سازمان برنامه و بودجه. دفتر امور فنی و تدوین معیارها

دستورالعمل هدایت هیدرولیک خاک با روش پیزومتری/ معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها؛ [وزارت نیرو، طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور].- تهران: سازمان برنامه و بودجه، مرکز مدارک اقتصادی - اجتماعی و انتشارات، ۱۳۷٦.

۳۳ص.: مصور، جدول، نمودار.- (سازمان برنامه و بودجه، دفتر امور فنی و تدوین معیارها؛ نشریه شماره ۱٦٤)

ISBN 964-425-017-6

فهرستنویسی براساس اطلاعات فیپا (فهرستنویسی پیش از انتشار).

کتابنامه: ص.۳۳.

۱. آب - مهندسی. ۲. پیزومتر. ۳. آبیاری - کانالها و نهرها - استانداردها. الف. ایران. وزارت نیرو. طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور. ب. سازمان برنامه و بودجه. مرکز مدارک اقتصادی - اجتماعی و انتشارات. ج. عنوان.

TC ۱۷۷/ ٥٤د۲س ۶۲۷/۰۲۸٤

کتابخانه ملی ایران ۷٦-٤۳٦۳م

شابک ۶-۰۱۷-۴۲۵-۹۶۴ ISBN 964-425-017-6

دستورالعمل هدایت هیدرولیک خاک با روش پیزومتری

تهیه کننده: معاونت امور فنی، دفتر امور فنی و تدوین معیارها

ناشر: سازمان برنامه و بودجه. مرکز مدارک اقتصادی - اجتماعی و انتشارات

چاپ اول: ۷۰۰ نسخه، ۱۳۷٦

قیمت: ۳۰۰۰ ریال

چاپ و صحافی: مؤسسه زحل چاپ

همه حقوق برای ناشر محفوظ است.

باسمه‌تعالی

جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه

به دستگاههای اجرایی و مهندسان مشاور	شماره : تاریخ :

موضوع : دستورالعمل تعیین هدایت هیدرولیک خاک باروش پیزومتری

به استناد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه کشور و آئین نامه استانداردهای اجرایی طرحهای عمرانی به‌پیوست نشریه شماره ۱۶۴ دفتر امور فنی و تدوین معیارهای این سازمان با عنوان «دستورالعمل تعیین هدایت هیدرولیک خاک باروش پیزومتری» از گروه دوم ابلاغ می گردد.
تاریخ اجرای این دستورالعمل ۱۳۷۶/۷/۱ می باشد.

شایسته است دستگاههای اجرایی ومهندسان مشاور مفاد نشریه یادشده و ضوابط و معیارهای مندرج در آن را ضمن تطبیق با شرایط کار خود در طرحهای عمرانی مورد استفاده قرار دهند.

حمیدمیرزاده
معاون رئیس جمهور و
رئیس سازمان برنامه وبودجه

بسمه تعالی

پیشگفتار

استفاده از ضوابط، معیارها و استانداردها در مراحل تهیه (مطالعات امکان سنجی) مطالعه و طراحی، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری طرحهای عمرانی به لحاظ 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 اجرایی طرح‌های عمرانی کشور (مصوبه جلسه مورخ ۱۳۷۵/۳/۲۳ هیأت محترم وزیران) بکارگیری از معیارها، استانداردها و ضوابط فنی در مراحل تهیه و اجرای طرح و نیز توجه لازم به هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری در قیمت تمام‌شده 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 امور فنی و تدوین معیارها) براساس 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 و صاحبنظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی
- استفاده از منابع و مآخذ معتبر و استانداردهای بین‌المللی
- بهره‌گیری از تجارب دستگاههای اجرایی، سازمانها، نهادها، واحدهای صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت
- ایجاد هماهنگی در مراحل تهیه، اجرا، بهره برداری و ارزشیابی طرحها.
- پرهیز از دوباره‌کاریها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور
- توجه به اصول و موازین مورد عمل مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران و سایر مؤسسات تهیه‌کننده استاندارد

ضمن تشکر از اساتید محترم دانشگاه صنعتی اصفهان، آقایان دکتر محمود وفائیان دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دکتر سید سعیداسلامیان استادیار دانشکده کشاورزی ،دکتر علی روشن ضمیر استادیاردانشکده مهندسی عمران، دکتر امیر تائبی هرندی معاون پژوهشی دانشکده مهندسی عمران، برای بررسی و اظهار نظر در مورد این استاندارد، امید است مجریان و دست‌اندرکاران بخش آب، با بکارگیری 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.

دفترامور فنی و تدوین

معیارها تابستان ۱۳۷۶

ترکیب اعضای کمیته

این استاندارد با مشارکت اعضای کمیته فنی شماره ۳-۲ (زهکشی) تهیه شده که اسامی ایشان به ترتیب حروف الفباء به شرح زیر است :

آقای مجتبی اکرم	**بانک کشاورزی**	**فوق‌لیسانس آبیاری و زهکشی**
آقای ابراهیم پذیرا	**موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی**	**دکترای مهندسی کاربرد آب**
آقای علی حقیقت‌طلب	**مهندسین مشاور مهاب قدس**	**لیسانس مهندسی کارهای آبی**
آقای احمد لطفی	**مهندسین مشاور پندام**	**فوق‌لیسانس آبیاری و آبادانی**
آقای میراحدمیلانی	**طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور**	**فوق‌لیسانس مهندسی هیدرولیک و آبیاری**
آقای محمدباقرنحوی	**شرکت مهندسی منابع آب و خاک**	**فوق‌لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی**

ضمناً در انجام دادن آزمایشهای پیزومتری این دستورالعمل آقای جواد بامدادنیا از مهندسین مشاور یکم نیز مشارکت کرده‌اند.

فهرست مطالب

عنوان		صفحه
مقدمه		۱
۱-	هدف و دامنه کاربرد	۲
۲-	کلیات	۲
۳-	پایه‌های نظری روش	۳
۳-۱	ضریب شکل «A»	۶
۳-۲	نتایج کاربردی بحث نظری	۸
۴-	لوازم و پرسنل موردنیاز	۹
۴-۱	لوازم و تجهیزات	۹
۴-۱-۱	آگر	۹
۴-۱-۲	خراشدهنده	۱۰
۴-۱-۳	آبکش	۱۰
۴-۱-۴	لوازم اندازه‌گیری تغییرات سطح آب	۱۰
۴-۱-۵	توری	۱۳
۴-۱-۶	کرونومتر	۱۳
۴-۱-۷	آینه	۱۳
۴-۱-۸	متقال یا توری برای نصب در انتهای حفره	۱۳
۴-۱-۹	بادگیر	۱۳
۴-۱-۱۰	چکش	۱۳
۴-۱-۱۱	گیره	۱۴
۴-۱-۱۲	لوله فولادی	۱۴
۴-۱-۱۳	جک	۱۴
۴-۱-۱۴	سایر وسایل	۱۴
۴-۲	پرسنل موردنیاز	۱۴

عنوان		صفحه
۵-	روش کار	۱۵
۵-۱	انتخاب موقعیت و تراکم نقاط	۱۵
۵-۲	لایه‌بندی خاک و تنظیم برنامه آزمایش	۱۵
۵-۳	انتخاب عمق اندازه‌گیری	۱۷
۵-۴	حفر چاهک آزمایش	۱۷
۵-۵	نصب پیزومتر	۱۸
۵-۵-۱	حفاری وکارگذاری همزمان پیزومتر	۱۸
۵-۵-۲	حفاری تا حوالی لایه موردنظر وکارگذاری پیزومتر	۱۸
۵-۵-۳	حفاری به کمک فشار آب	۱۹
۵-۶	ایجاد حفره در زیر لوله پیزومتر	۱۹
۵-۷	خراشیدن دیواره چاهک	۱۹
۵-۸	نصب توری مشبک	۲۲
۵-۹	شستشوی چاهک	۲۲
۵-۱۰	اندازه‌گیری	۲۳
۵-۱۰-۱	استقرار لوازم روی چاهک	۲۳
۵-۱۰-۲	آبکشی از چاهک	۲۳
۵-۱۰-۳	استقرار شناور	۲۴
۵-۱۰-۴	ثبت تغییرات سطح آب	۲۴
۶-	محاسبات	۲۴
۶-۱	محاسبات هدایت هیدرولیکی درسفره آزاد	۲۴
۶-۲	محاسبات هدایت هیدرولیکی در سفره تحت فشار	۲۶
۷-	محدودیتهای آزمایش و موارد خطا	۲۶
۷-۱	محدودیتهای آزمایش	۲۶
۷-۲	منابع خطا	۲۸

عنوان		صفحه
۸-	مثال	۲۸
۸-۱	مثال ۱	۲۸
۸-۲	مثال ۲	۳۰
۸-۳	مثال ۳	۳۰
	منابع و مآخذ	۳۳

مقدمه

هدایت هیدرولیک [1] یکی از مهمترین مشخصه‌های هیدرودینامیکی خاک است که درمحاسبه فواصل زهکشهای زیرزمینی موردنیاز است و در مطالعات زهکشی مورد توجه قرار می‌گیرد. روشهای متعددی برای اندازه‌گیری صحرایی هدایت هیدرولیک خاک وجود دارد که اساس کلیه آنها بر اندازه‌گیری سرعت جریان افقی آب در خاک استوار است. برحسب اینکه اندازه‌گیری سرعت جریان آب در خاک در زیر سطح ایستابی (شرایط اشباع) و یا در بالای سطح ایستابی (شرایط غیر اشباع) صورت گیرد، روشهای تعیین هدایت هیدرولیک نیز متفاوت است.

وقتی اندازه گیری در شرایط اشباع صورت گیرد، دو روش متداول و معمول است که یکی به روش چاهک [2] و دیگری به نام روش پیزومتری [3] یا حفره زیرلوله موسوم است. وقتی اندازه‌گیری درشرایط غیر اشباع باشد، روشهای پورشه [4]، پمپاژ به چاهک سطحی [5] و اخیراً روش موسوم به گلف [6] به کار برده می‌شود.

هر چند مبانی علمی و روشهای فنی اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک در حدود متعارف خود شناخته شده و در مآخذ مختلف توضیحات کلی در مورد آن داده شده است، ولی تجربه نشان داده است که افراد مختلف متناسب با برداشتها و استنباطهایی که از این مآخذ به دست می‌آوردند، روشهایی را به کار می‌برند که بالقوه می‌تواند به نتایج متفاوتی از یکدیگر منجر شود. چنین وضعیتی عملاً می‌تواند قضاوت در نتایج حاصل از اندازه‌گیریها را با اشکال رو به رو سازد. از این جهت تهیه یک دستورالعمل هماهنگ برای کلیه این روشها ضروری تشخیص داده شده و در دستورکار کمیته زهکشی طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب قرار گرفته است.

هدف اصلی ازتهیه دستورالعمل تعیین هدایت هیدرولیک خاک، ایجاد یکنواختی لازم در روشهایی است که عملاً درمطالعات صحرایی زهکشی به کار گرفته می‌شود. علاوه براین با تشریح جزییاتی که معمولاً در مآخذ موجود و معتبر کمتر مورد بحث قرار می‌گیرد، سعی خواهد شد که اطلاعات کافی دراختیار متخصصان ذی‌ربط قرار داده شود تااز ایجاد استنباط های متفاوت از اصول علمی و فنی کار- که معمولاً عامل اساسی چندگانگی روشهاست - جلوگیری شود.

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

1- Hydraulic conductivity
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

چاهک تهیه شده است. اینک دستورالعمل اندازه‌گیری با روش پیزومتری (حفره زیرلوله) به آن افزوده می‌شود 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 دادن آزمایش تعیین هدایت هیدرولیک به روش پیزومتری، به‌دست آوردن هدایت هیدرولیک افقی خاک در محل [۱] در لایه‌ای مشخص واقع در زیرسطح ایستابی [۲] است. این روش متداولترین شیوه اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک درلایه مشخص به شمار می‌رود و تا حدودی می‌توان آن را روش منحصر بفرد در نوع خود بیان کرد.

این روش تنها درمناطقی که سطح آب زیرزمینی بالاست و در زمان مطالعه دارای مشکلات زهکشی باشد، به شرطی که ضخامت لایه مورد بررسی از حدود ۳۰ سانتی‌متر کمتر نباشد، می‌تواند قابلیت کاربرد داشته باشد. علاوه بر این، روش مذکور اطلاعاتی را به دست می‌دهد که به کمک آن می‌توان لایه محدودکننده [۳] را تشخیص داد.

۲- کلیات

به حجم آبی که در واحد زمان از خاکی باسطح مقطع واحد عبور کند، مشروط بر آنکه شیب هیدرولیک درآن برابر واحد باشد، هدایت هیدرولیک گفته می‌شود. به عبارت دیگر، هدایت هیدرولیک به وسیله قانون دارسی به شرح زیر تعریف می‌گردد:

$$Q = -KiA \qquad (۱)$$

که درآن :

Q - دبی عبوری از نمونه $[L^{۳}.T^{-۱}]$

K - هدایت هیدرولیک $[L.T^{-۱}]$

i - شیب هیدرولیک

A - سطح مقطع نمونه $[L^{۲}]$

1- In - Situ

2- Water table

3- Barrier

هدایت هیدرولیک می‌تواند در آزمایشگاه و یا درمحل تعیین شود. روشهای آزمایشگاهی به دلیل کوچکی نمونه واین واقعیت که به هر حال نمونه کاملاً دست نخورده باقی نخواهد ماند، به‌منظور طراحی زهکشی دارای اعتبار چندانی نیستند. روشهای اندازه‌گیری درمحل ، به دو دسته بالا و زیرسطح ایستابی تقسیم می‌شوند. روش چاهک، مشهورترین و متداولترین روش اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک در زیر سطح ایستابی است. باانجام دادن آزمایش لایه به لایه در روش چاهک نیز می‌توان هدایت هیدرولیک لایه‌های مختلف خاک را به دست آورد، اماهنگامی که ضخامت لایه‌ها نسبتاً کم باشد، این روش ازدقت مطلوبی برخوردار نخواهد بود. به این دلیل است که روش پیزومتری به عنوان مناسبترین روش اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک لایه به لایه خاک شناخته می‌شود.

۳- پایه‌های نظری روش

کرکهام[1] در سال ۱۹۵۴ با حل معادله لاپلاس و با پذیرفتن فرضیاتی که برای روش چاهک (نک، نشریه ۱۳۰ -الف) درنظر گرفته شده، رابطه زیر را به‌منظور به‌دست‌آوردن هدایت هیدرولیک ارائه کرد:

$$K= \frac{۸۶۴\,\pi(D/2)^{۲}\,Ln(y_۱/y_۲)}{A(t_۲-t_۱)} \qquad (۲)$$

که در آن :

K - هدایت هیدرولیک (متر بر روز)

D - قطر حفره زیرلوله (سانتیمتر)

$y_۱$ - فاصله بین سطح آب در پیزومتر تا سطح ایستابی متعادل (سانتیمتر) در لحظه $t_۱$ (ثانیه)

$y_۲$ - فاصله بین سطح آب در پیزومتر تا سطح ایستابی متعادل (سانتیمتر) در لحظه $t_۲$ (ثانیه)

A - ضریب شکل (سانتیمتر) که به خصوصیات هندسی حفره بستگی دارد و می‌توان آن را از جدول ۱ و یا شکل ۱ به‌دست‌آورد که درآنها:

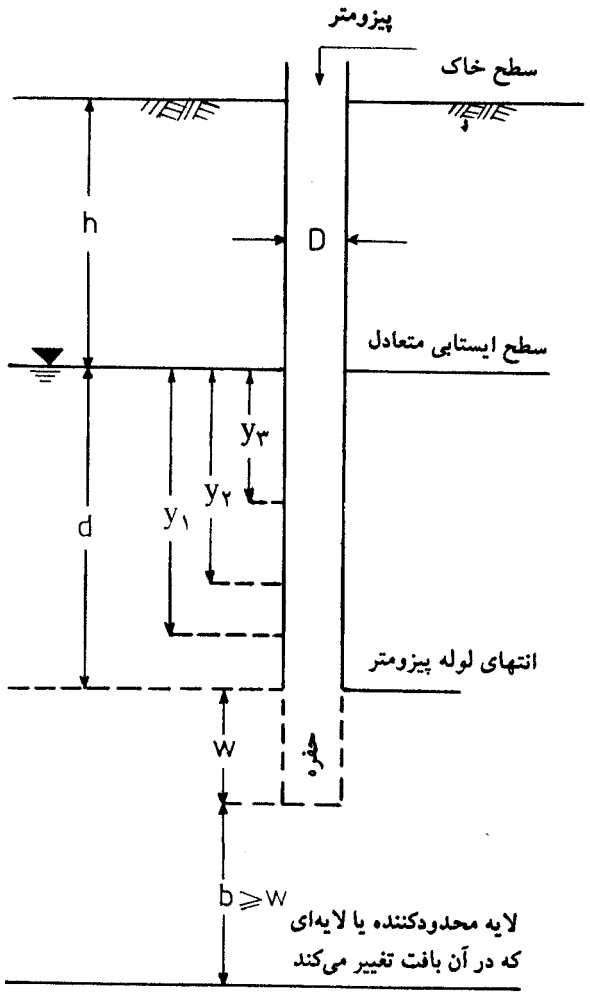
r - شعاع حفره زیر لوله (سانتیمتر)

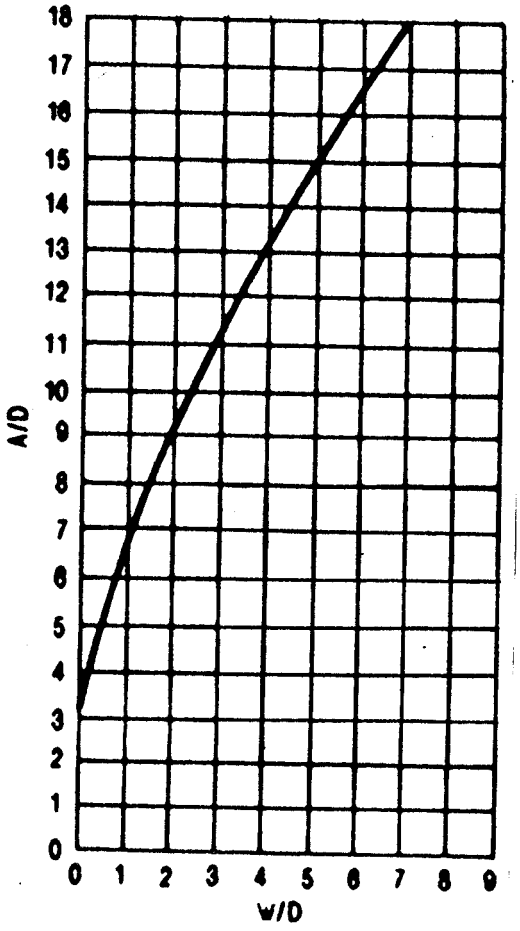
w - طول حفره زیرلوله (سانتیمتر)

b - فاصله زیر حفره تا لایه محدود کننده (سانتیمتر)

d - فاصله سطح ایستابی متعادل تا انتهای لوله (سانتیمتر)

1- Kirkham





شکل ۱- پارامترهای آزمایش در روش پیزومتری و ضریب شکل

جدول ۱- مقادیر A/r برای روش هیدرومتری بخره شکل بیضوی انه‌ای

(Youngs, 1968)

W/r	d/r	b/r هنگامی که حفره‌ی لایه محدودکننده قرار دارد							b/r برای لایه بسیار نفوذپذیر						
		∞	8 0	4.0	2.0	1.0	0.5	0	∞	8.0	4.0	2.0	1.0	0.5	0
0	20	5.6	5.5	5.3	5.0	4.4	3.6	0	5.6	5.6	5.8	6.3	7.4	10.2	∞
	16	5.6	5.5	5.3	5.0	4.4	3.6	0	5.6	5.6	5.8	6.4	7.5	10.3	∞
	12	5.6	5.5	5.4	5.1	4.5	3.7	0	5.6	5.7	5.9	6.5	7.6	10.4	∞
	8	5.7	5.6	5.5	5.2	4.6	3.8	0	5.7	5.7	5.9	6.6	7.7	10.5	∞
	4	5.8	5.7	5.6	5.4	4.8	3.9	0	5.8	5.8	6.0	6.7	7.9	10.7	∞
0.5	20	8.7	8.6	8.3	7.7	7.0	6.2	4.8	8.7	8.9	9.4	10.3	12.2	15.2	∞
	16	8.8	8.7	8.4	7.8	7.0	6.2	4.8	8.8	9.0	9.4	10.3	12.2	15.2	∞
	12	8.9	8.8	8.5	8.0	7.1	6.3	4.8	8.9	9.1	9.5	10.4	12.2	15.3	∞
	8	9.0	9.0	8.7	8.2	7.2	6.4	4.9	9.0	9.3	9.6	10.5	12.3	15.3	∞
	4	9.5	9.4	9.0	8.6	7.5	6.5	5.0	9.5	9.6	9.8	10.6	12.4	15.4	∞
1.0	20	10.6	10.4	10.0	9.3	8.4	7.6	6.3	10.6	11.0	11.6	12.8	14.9	19.0	∞
	16	10.7	10.5	10.1	9.4	8.5	7.7	6.4	10.7	11.0	11.6	12.8	14.9	19.0	∞
	12	10.8	10.6	10.2	9.5	8.6	7.8	6.5	10.8	11.1	11.7	12.8	14.9	19.0	∞
	8	11.0	10.9	10.5	9.8	8.9	8.0	6.7	11.0	11.2	11.8	12.9	14.9	19.0	∞
	4	11.5	11.4	11.2	10.5	9.7	8.8	7.3	11.5	11.6	12.1	13.1	15.0	19.0	∞
2.0	20	13.8	13.5	12.8	11.9	10.9	10.1	9.1	13.8	14.1	15.0	16.5	19.0	23.0	∞
	16	13.9	13.6	13.0	12.1	11.0	10.2	9.2	13.9	14.3	15.1	16.6	19.1	23.1	∞
	12	14.0	13.7	13.2	12.3	11.2	10.4	9.4	14.0	14.4	15.2	16.7	19.2	23.2	∞
	8	14.3	14.1	13.6	12.7	11.5	10.7	9.6	14.3	14.8	15.5	17.0	19.4	23.3	∞
	4	15.0	14.9	14.5	13.7	12.6	11.7	10.5	15.0	15.4	16.0	17.6	20.1	23.8	∞
4.0	20	18.6	18.0	17.3	16.3	15.3	14.6	13.6	18.6	19.8	20.8	22.7	25.5	29.9	∞
	16	19.0	18.4	17.6	16.6	15.6	14.8	13.8	19.0	20.0	20.9	22.8	25.6	29.9	∞
	12	19.4	18.8	18.0	17.1	16.0	15.1	14.1	19.4	20.3	21.2	23.0	25.8	30.0	∞
	8	19.8	19.4	18.7	17.6	16.4	15.5	14.5	19.8	20.6	21.4	23.3	26.0	30.2	∞
	4	21.0	20.5	20.0	19.1	17.8	17.0	15.8	21.0	21.5	22.2	24.1	26.8	31.5	∞
8.0	20	26.9	26.0	25.5	24.0	23.0	22.2	21.4	26.9	29.6	30.6	32.9	36.1	40.6	∞
	16	27.4	26.3	25.8	24.4	23.4	22.7	21.9	27.4	29.8	30.8	33.1	36.2	40.7	∞
	12	28.3	27.2	26.4	25 1	24.1	23.4	22.6	28.3	30.0	31.0	33.3	36.4	40.8	∞
	8	29.1	28.2	27.4	26.1	25.1	24.4	23.4	29.1	30.3	31.2	33.8	36.9	41.0	∞
	4	30.8	30.2	29.6	28.0	26.9	25.7	24.5	30.8	31.5	32.8	35.0	38.4	43.0	∞

۳-۱ ضریب شکل (A)

اساس نظری روش پیزومتری به‌وسیله کرکهام بیان گردید. او فرض کرد که سطح ایستابی در طول مدت اندازه‌گیری ثابت مانده (پایین نمی‌رود) و همواره به صورت افقی باقی می‌ماند. شرایط مرزی عبارتند از :

الف - سطح ایستابی، سطحی است که بار هیدرولیک یکسانی برروی آن قرار دارد.

ب - سطح خاک بالای حفره و انتهای لوله نیز دارای بار هیدرولیک یکسانی است.

پ - دیواره حفره، خطوط جریان به حساب می‌آید.

ت - درفواصلی دور از لوله، جریانی وجود ندارد. به عبارتی صحیحتر ، بار هیدرولیک در فواصلی دور از لوله متناسب باعکس مجذور فاصله از لوله کاهش می‌یابد و بنابراین می‌توان آن را نادیده انگاشت.

بار هیدرولیک در انتهای لوله ϕ با فرض اینکه q و c اعداد ثابتی باشند، می‌تواند به صورت زیر باشد:

$$\phi = q + c \qquad (۳)$$

که در آن q و c مقادیر ثابتی هستند.

اگر ϕ_1طوری تعریف شود که شرایط پ و ت در آن صدق کند، q و c را می‌توان به تنهایی باتوجه به شرایط الف و ب فوق ارزیابی کرد.

باتوجه به شرط الف، چنانچه ϕ_{1s} و ϕ_sبه ترتیب بیانگر ϕ_1و ϕدر سطح ایستابی باشند، بااستفاده از رابطه ۳ داریم.

$$\phi_{1s} = q\phi_s + c \qquad (۴)$$

از طرف دیگر، باتوجه به شرط ب، چنانچه ϕ_{1w}و ϕ_w نمایانگر همین مقادیر در روی حفره باشند، با استفاده از رابطه ۳ داریم:

$$\phi_{1w} = q\phi_w + c \qquad (۵)$$

با تفریق رابطه ۵ از رابطه ۴ و با توجه به شکل ۱ که در آن $y = \phi_{1s} - \phi_{1w}$ است، داریم :

$$y = q\,(\phi_s - \phi_w) \qquad (۶)$$

ویا :

$$q = y/(\phi_s - \phi_w) \qquad (۷)$$

برای به‌دست‌آوردن c با توجه به اینکه در معادله ۴ ، $\phi_{1s} = d$ است ، می‌توان نوشت:

$$c = d - [y/(\phi_s-\phi_w)]\phi_s \qquad (۸)$$

برای محاسبه مقدار آبی که در واحد زمان به داخل حفره و از آن طریق به داخل لوله نشت می‌کند (Q)، نیازی به محاسبه c نیست. مقدار Q رامی‌توان از دو طریق محاسبه کرد: راه اول ، انتگرال‌گیری از $K\delta\phi_1/\delta Z$ به‌طریقی است که Z محوری قائم و رو به بالا برروی سطح حفره در انتهای لوله (سطح بالای حفره) است. راه دوم، انتگرال‌گیری همین مقدار بر روی سطح ایستابی است. از روش دوم به‌نحوی ساده‌تر وامکانپذیرتر می‌توان استفاده کرد، زیرا تمامی خطوط جریانی که به انتهای لوله (بالای حفره) می‌رسند، از سطح ایستابی منشاء می‌گیرند. به این ترتیب، با استفاده از رابطه ۳ و فرض اینکه مبداء محور Z در انتهای لوله قرار دارد، داریم:

$$Q = Kq \int_r^{\infty} \delta\phi/\delta Z]_{z=d}\ ۲\pi r dr \qquad (۹)$$

ویا با استفاده از رابطه ۷:

$$Q = \frac{Ky}{(\phi_s - \phi_w)} \int_r^{\infty} \delta\phi/\delta Z]_{z=d}\ ۲\pi r dr \qquad (۱۰)$$

حاصلضرب مقدار $[1/(\phi_s - \phi_w)]$ وانتگرال معادله (۱۰) مقدار ثابتی خواهد بود که به مقادیر r ، w و d ارتباط دارد. این مقدار ثابت را A (r , w , d) یا ضریب شکل می‌نامیم که نشاندهنده این است که A به شعاع (یاقطر) حفره، طول حفره و فاصله سطح ایستابی تابالای حفره بستگی دارد. به این ترتیب :

$$A(r,w,d) = \frac{۱}{\phi_s - \phi_w} \int_r^{\infty} \delta\phi/\delta Z]_{z=d}\ ۲\pi r dr \qquad (۱۱)$$

به‌دست‌آوردن مقدار A بزرگترین مانع و مشکل به شمار می‌رود. کرکهام درمورد حفره‌ای کروی به شعاع r_w که در انتهای لوله به وجود آورده شود، معادله زیر را ارائه کرده است:

$$A\ (r,w,d) = \frac{۴\pi[\ ۱+(r\ /d)^۲]^{۱/۲}}{(۱/r_w) - (۱/۲\ d)} \qquad (۱۲)$$

که چنانچه d به نسبت r خیلی بزرگ فرض شود، به فرم ساده زیر در می‌آید:

$$A(r_w) = ۴\ \pi r_w \qquad (۱۳)$$

هورسلف[1] در سال ۱۹۵۱ ضرایب شکل (A) دیگری را برای حفره‌هایی که دارای مشخصات هندسی ساده‌تری هستند، به دست آورده است. برای اشکال پیچیده‌تر، نظیر آنچه که در شکل آمده است، به ناچار از شبیه سازی الکتریکی استفاده می‌شود. رابطه پیشنهاد شده به وسیله فرورت[2] و کرکهام به شرح زیراست:

$$A(r,w,d) = \frac{R}{R_m} \times \frac{I}{\sigma(v_۲-v_۱)} \qquad (۱۴)$$

که در آن R/R_m نسبت تشابه مقاومت الکتریکی بین شرایط مزرعه و مدل آزمایشگاهی، σ هدایت الکتریکی الکترولیت درمدل ، I شدت جریان الکتریکی و $v_۲ - v_۱$ اختلاف پتانسیل (کاهش ولتاژ) بین الکترودهاست. به طور نظری، به‌علت وجود تقارن محوری، برای بررسی فقط نیاز به یک نیم مخزن وجود دارد. نسبت $(v_۲-v_۱)/I$ مقاومت کلی مدل الکتریکی را نشان می‌دهد و غالباً اندازه‌گیری آن ساده‌تر از اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل و شدت جریان (I) است.

۲-۳ نتایج کاربردی بحث نظری

بااستفاده از مدل تشابه الکتریکی ، جدول و شکل ۱ ارائه گردیده است. لازم به ذکر است که برای مقادیر خارج از حدود داده شده می‌توان باتوجه به روند تغییرات، از برونیابی[3] استفاده کرد. توجه به نکات زیر در کاربرد جدول و نمودار یادشده، حائز اهمیت است:

- شکل ۱ تنها در موردی صادق است که فاصله انتهای چاهک تا لایه‌ای که در آن بافت تغییر می‌کند (b) ، مساوی و یا بیشتر از طول حفره باشد ($b>= w$) . همچنین فاصله سطح ایستابی تا انتهای پیزومتر (d) نیز نسبت به طول حفره بسیار زیاد باشد ($d>>w$).

لوتین[4] و کرکهام نشان داده‌اند که هر گاه $b= ۰$ (انتهای حفره روی لایه محدود کننده یا روی لایه تغییر بافت) و درعین حال d خیلی بزرگتر از w باشد (به عنوان مثال برای $w = ۱۰$ cm و $d = ۲/۵$ cm) مقادیر A به‌دست‌آمده از منحنی شکل ۱ حدوداً ۲۵ درصد از مقدار واقعی آن بیشتر است . همچنین نشان داده شده است که چنانچه $d>=w$ و $b>= ۰/۵ w$ باشد، مقادیر A حاصل شده از این منحنی حدود ۸ درصد با مقادیر واقعی اختلاف دارد.

1- Hvorslev
2- Frevent
3- Extrapolation
4- Luthin

- هنگامی که w= ۰ 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، عمدتاً نشاندهنده هدایت هیدرولیک افقی لایه‌ای است که حفره درآن ایجاد گردیده است.
- هنگامی که حفره در بین دو حد یاد شده فوق نه چندان طویل و نه چندان کوتاه باشد، هدایت هیدرولیک اندازه‌گیری شده متناسباً مبین ترکیبی از هدایت هیدرولیک افقی و قائم خواهد بود.
- از آنجا که عموماً هدف از این اندازه‌گیری، به‌دست‌آوردن هدایت هیدرولیک افقی خاک است، نسبت w/r باید حداقل برابر ۸ باشد. از طرف دیگر، از آنجا که معمولاً مقصود از این اندازه‌گیری به‌دست‌آوردن هدایت هیدرولیک افقی در لایه‌های نازک خاک است (w کم) ، شعاع پیزومتر باید تاحد امکان کوچک انتخاب شود.
- بررسی اعداد جدول نشان می‌دهد، چنانچه d/r> ۴ باشد، اثر d برروی A ناچیزاست.
- حجم خاکی که در اطراف حفره قرار گرفته‌است و برهدایت هیدرولیک خاک تاثیر می‌گذارد، در حدود ۰/۰۰۱ متر مکعب است. این حجم عموماً کمتر از مقداری است که در روش چاهک به عنوان حجم موثر خاک شناخته می‌شود.

این امر در اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک لایه به لایه خاک امتیازی به حساب می‌آید؛ زیرا اطمینان بیشتری وجود دارد که هدایت هیدرولیک اندازه‌گیری شده، مشخصاً مربوط به لایهٔ موردنظر است و لایه‌های مجاور تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر آن نداشته‌اند.

۴- لوازم و پرسنل مورد نیاز

۴-۱ لوازم و تجهیزات

۴-۱-۱ آگر

برحسب شرایط رطوبتی خاک می‌توان از انواع آگرهای [1] مناسب (نک ، نشریه ۱۰۸ - الف) استفاده نمود . در هر حال باید توجه داشت که از آگرهایی استفاده شود که حداقل اختلال را در شرایط طبیعی دیواره‌های چاهک به وجود آورد. در آزمایش تعیین هدایت هیدرولیک به روش پیزومتری معمولاً از مته‌هایی به قطر ۲۵ تا ۵۰ میلیمتر استفاده می‌شود، به‌نحوی که قطر آن تقریباً معادل قطر داخلی لوله پیزومتر باشد. برای ایجاد حفره در زیر لوله از یک آگرمارپیچی کاملاً تیز استفاده می‌گردد. برای آگرهای حفاری باید به تعدادکافی میله اضافی تهیه شود تا بتوان حفاری را تا عمق مورد نظر انجام داد.

1- Auger

۴-۱-۲ خراشدهنده[1]

خراشدهنده استوانه‌ای است چوبی و یا فلزی که به‌وسیله‌مهره‌ای که برروی آن تعبیه شده به دسته‌های آگر متصل می‌گردد. خراشدهنده‌ای که به این منظور به کار می‌رود، دارای طولی حدود ۱۰ سانتی‌متر است که حدود ۸ سانتی‌متر انتهایی آن مجهز به میخهای زیادی است که در سرتاسر سطح جانبی آن پراکنده شده‌اند. از خراشدهنده،پس از حفر چاهک، نصب لوله پیزومتر و نهایتاً حفردقیق حفره در زیر لوله استفاده می‌شود، تا گل ولای چسبیده شده به جدار حفره برداشته شود و از فشردگی دیواره حفره که دراثر چرخش آگر ایجاد شده، بکاهد. قطر خراشدهنده با در نظر گرفتن طول میخها حدود یک سانتیمتر کمتر از قطر حفره است.

فاصله میخهای نصب شده بر سطح جانبی خراشدهنده حدود یک تا ۱/۵ سانتیمتر است، به‌نحوی که پاک کردن گل و لای از بین میخها به آسانی امکانپذیر باشد (شکل ۲). از آنجاکه برای کاربرد این وسیله در این روش مشکلاتی وجود دارد، باید دقتهای لازم برای کار با آن به‌عمل آید.

۴-۱-۳ آبکش[2]

آبکش لوله‌ای فلزی یا پلاستیکی است که معمولاً از انواع فولادهای ضدزنگ و یا PVC سخت ساخته می‌شود و در انتها به دریچه یکطرفه و در بالا به دسته‌ای مجهزاست که به‌وسیله‌آن به لوله‌های دسته آگرو یا طناب متصل می‌شود. دریچه یکطرفه تحتانی آبکش باید تا حد ممکن آببندی شده باشد. این موضوع به ویژه برای آبکشهایی که به‌منظور تخلیه آب، هنگام آزمایش استفاده می‌شوند، از اهمیت بیشتری برخوردار است (شکل ۲).

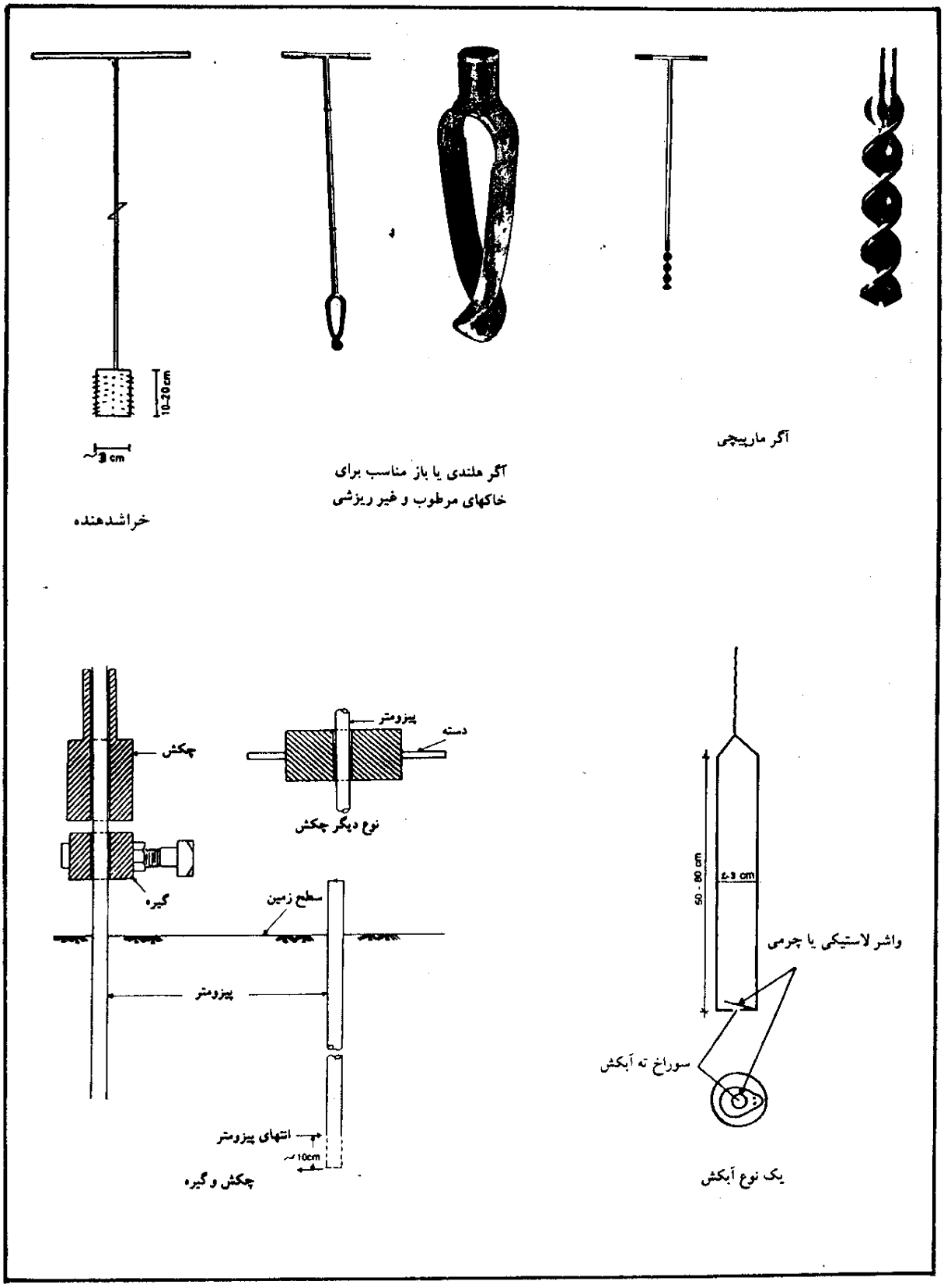
پیشنهاد می‌شودکه دراین آزمایش به سبب کوچک بودن قطر حفره ایجاد شده ، حتی‌المقدور آبکش فقط در بخشی از پیزومترکه به لوله مجهز شده مورد استفاده قرار گیرد تا دیواره‌های حفره دستخوش تخریب نگردد.

۴-۱-۴ لوازم اندازه‌گیری تغییرات سطح آب

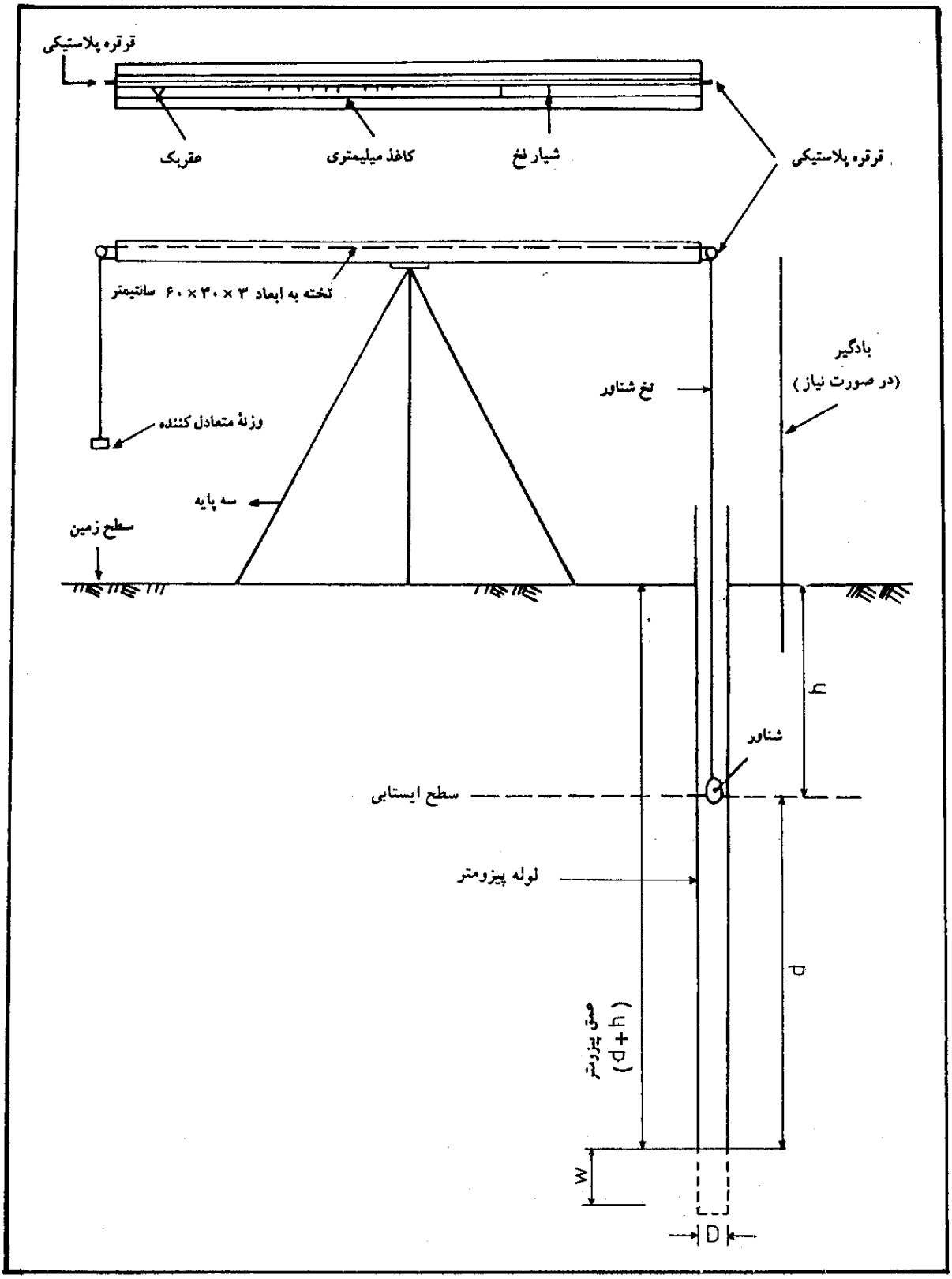
ابزار و لوازم مختلفی برای اندازه‌گیری و ثبت تغییرات سطح آب در چاهک متداول است. از آنجاکه دراین آزمایش ، تغییرات سطح آب نسبتاًکم است و نسبت تغییرات سطح آب (y_1 / y_2) در یک فاصله زمانی مورد توجه قرار می‌گیرد، دقت نسبتاً زیادی برای اندازه‌گیری سطح آب مورد نیاز است. از این رو به ویژه برای ثبت اندازه‌گیریها به‌منظور به وجود آوردن امکانات مراجعه بعدی ، پیشنهاد می‌شود از ابزار نسبتاً ساده‌ای که در شکل ۳ نمایش داده شده است استفاده گردد.

1- Scratcher

2- Bailer



شکل ۲- وسایل موردنیاز برای آزمایش پیزومتری



شکل ۳- برقرار کردن وسایل برای آزمایش به روش پیزومتری (حفره در زیر لوله)

مجموعه این ابزار که در عین سادگی ، از کارآیی مطمئن و مناسبی برخوردار است ، متشکل از یک تخته و یک سه پایه نقشه‌برداری است (شکل ۳). برروی تخته ، یک‌نوار کاغذ میلیمتری نصب می‌شود و یک نخ محکم (مانند 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 علامتی برروی نخ مزبور، می‌توان تغییرات سطح آب را که به‌وسیله‌شناور به نخ متصل می‌گردد، ملاحظه و برروی کاغذ میلیمتری ثبت کرد. تخته همراه با کلیه ملحقات آن برروی سه پایه نقشه برداری نصب می‌گردد.

۴-۱-۵ توری

هر گاه ضرورت داشته باشد که حفره در لایه‌ای که خاک آن از پایداری مناسب برخوردار نیست، حفر شود و احتمال ریزش دیواره‌های آن در خلال آزمایش وجود داشته باشد، باید از توری استفاده شود. توری معمولاً از جنس فلزی نسبتاً مستحکم و به طول کمی بیش از درازای حفره است. قطر توری دقیقاً معادل قطر حفره است. در دور تا دور انتهای توری ، زائده‌ای به سمت داخل به عرض حدود ۵ میلیمتر نصب می‌گردد تا بتوان توری را به کمک میله‌ای در محل مناسب قرارداد.

پس از پایان آزمایش ، معمولاً توری در داخل خاک باقی می‌ماند. درعمل در خاکهایی که از پایداری مناسبی برخوردارند، استفاده از توری ضرورت نخواهد داشت.

۴-۱-۶ کرونومتر یا ساعت مچی دیجیتال با دقت اندازه‌گیری یک ثانیه

۴-۱-۷ آینه برای مشاهده وضعیت درون چاهک بااستفاده از نور آفتاب

۴-۱-۸ متقال یا توری برای نصب در انتهای حفره در صورت نیاز

۴-۱-۹ بادگیر یا صفحه‌ای برای حفاظت وسائل اندازه‌گیری درمقابل باد

۴-۱-۱۰ چکش

به منظور کوبیدن و راندن لوله به داخل خاک، از چکشی به وزن حدود ۵کیلوگرم مطابق شکل ۲ استفاده می‌شود.

۴-۱-۱۱ گیره

گیره استوانه‌ای است فولادی به درازای حدود ۱۵ سانتیمتر که تقریباً ۵ سانتیمتر فوقانی آن دارای قطری حدود دو سانتیمتر بیش از قطر لوله و باقیمانده آن‌دارای قطری کمی کمتر از قطر لوله است. گیره درقسمت فوقانی لوله قرار می‌گیرد و برای راندن لوله به داخل خاک، ضربات چکش را تحمل می‌کند.

۴-۱-۱۲ لوله فولادی

لوله فولادی مقاوم به‌طول حداقل حدود ۲۰ تا ۳۰ سانتیمتر بیش از عمقی که باید حفاری شود.

۴-۱-۱۳ جک

به‌منظور بیرون کشیدن لوله از درون خاک، از یک جک فلزی که متصل به دو دسته به طول حدود ۶۰ سانتیمتر است استفاده می‌شود. جک به نحوی است که می‌تواند به خوبی دور لوله را احاطه کند.

۴-۱-۱۴ سایر وسایل

سایر ابزار موردنیاز عبارتند از ، بوشن فولادی به قطر مناسب ، آچار لوله گیر، بنتونیت برای آببندی دیواره لوله در مواردی که اطمینان به آببندی طبیعی وجود ندارد، بیل ، شناور ،کاغذ میلیمتری ، چسب کاغذی و لوازم التحریر.
شکل ۲ یک سری از ابزار و تجهیزات مورد استفاده را نشان می‌دهد.

۴-۲ پرسنل مورد نیاز

برای حفاری چاهک اندازه‌گیری ، چنانچه عمق چاهک تا حدود سه متر باشد، معمولاً یک نفر کارگر کفایت می‌کند. در صورتی که عمق حفاری بیشتر باشد و یا حفاری در لایه‌های سخت انجام گیرد، وجود یک کارگر دیگر کمک شایانی به انجام دادن حفاری می‌نماید. درهر حال، یک تکنسین مجرب عملیات حفاری را کنترل و عملیات لایه بندی را به دقت انجام‌می‌دهد. دراین آزمایش دقت لایه‌بندی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.
به این ترتیب، یک گروه دو تا سه نفره می‌تواند عملیات حفاری ، تجهیز و اندازه‌گیری را به انجام برساند.

۵- روش کار

مراحل مختلف انجام کارعبارت است از : انتخاب موقعیت نقاط اندازه‌گیری ، انتخاب عمق اندازه‌گیری ، حفر و آماده سازی چاهک و نهایتاً اندازه‌گیری و محاسبه هدایت هیدرولیکی.

۵-۱ انتخاب موقعیت و تراکم نقاط

اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک در مجاورت نقاطی صورت می‌گیرد که قبلاً در آن نقاط چاهک حفر شده و لایه بندی دقیقی در آن انجام شده باشد.

تراکم و آرایش نقاط اندازه گیری هدایت هیدرولیک بر حسب شرایط و خصوصیات خاکهای هر منطقه متفاوت است و تابع قانونمندی خاصی نیست. در خاکهای نسبتاً متجانس[1] که خصوصیات هیدرودینامیکی آن تغییرات قابل ملاحظه‌ای ندارد ، تراکم نقاط کمتر و در خاکهای غیر متجانس تراکم بیشتر است. از طرف دیگر، در خاکهای مطبق[2]، تراکم آزمایش بیشتر و به عکس در خاکهای غیر مطبق تراکم کمتر است. به ویژه چنانچه تشخیص لایه محدود کننده از طریق لایه بندی مقدور نباشد، انجام دادن این آزمایش اجتناب ناپذیر است.

باید به‌خاطر داشت که معیار اصلی در تراکم نقاط اندازه‌گیری ، به دست آوردن اطلاعات کافی برای تشخیص چگونگی ارتباط بین ویژگیهای خاک هر منطقه است. از این رو ، ممکن است که در یک منطقه، خاک از چنان تجانسی برخوردار باشد که اصولاً انجام دادن این آزمایش ضروری تشخیص داده نشود و به عکس د رمنطقه‌ای دیگر، خاک آنچنان لایه به لایه باشد که در هرنقطه مطالعاتی ، بدون انجام دادن چند اندازه‌گیری نتوان به ویژگیهای هیدرودینامیکی خاک دست یافت و یا لایه محدود کننده را تشخیص داد.

۵-۲ لایه بندی خاک و تنظیم برنامه آزمایش

در هر نقطه مطالعاتی، ابتدا بررسیهای تشخیص لایه‌های خاک انجام می‌شود و پس از آن نسبت به اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک اقدام می‌گردد. تنها با انجام دادن لایه‌بندی است که می‌توان به تغییرات ظاهری خصوصیات ه هیدرودینامیکی خاک پی برد و برنامه اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک به روش پیزومتری را تنظیم کرد. بدین منظور لازم است ابتدا چاهکی تا عمق مناسب (عموماً ۵ تا ۶ متر) حفر و لایه‌های خاک، عمق آب زیرزمینی و عمقی را که مشکوک به لایه محدودکننده است، در آن مشخص کرد.[3] همچنین از وجود سفره آب زیرزمینی اطمینان حاصل نمود.

1- Homogeneous 2- Stratified

۳- به نشریه شماره ۱۰۸ – الف طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور تحت عنوان «دستورالعمل انجام لایه‌بندی خاک» مراجعه شود.

علاوه براین، وضعیت ظاهری فشار آب در داخل خاک را بررسی کرد تا از بود یا نبود سفره آب زیرزمینی تحت فشار[1] اطمینان حاصل شود.

برنامه آزمایش با توجه به مطالعات لایه بندی ، در لایه‌های زیر سطح ایستابی و دارای هدایت هیدرولیک متفاوت که ضخامت آنها از ۳۰ سانتی متر کمتر نباشد، تنظیم می‌گردد. با این روش می‌توان هدایت هیدرولیک چند لایه پی در پی را نیز اندازه‌گیری کرد. درهر حال ، انجام دادن این آزمایش زمانی توصیه می‌شود که این لایه‌ها به نحومشخص و بارزی با یکدیگر تفاوت داشته باشند. هنگامی که تفاوت درمشخصات لایه‌های خاک ناچیز و یا در حدی است که

۱- 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 باگذر از یک لایه کم تراوا، عمق آب زیرزمینی در چاهک نسبت به عمق اولیه برخورد با آن سریعاً و یا به طور قابل ملاحظه‌ای بالا بیاید، بایستی نسبت به وجود فشار در سفره مظنون بود و در صورت نیاز با تحقیقات بیشتر و نصب پیزومترهای مرکب درباره مشخص کردن وضعیت سفره اقدام کرد. به‌همین دلیل در مشاهدات صحرایی تشخیص عمق برخورد با آب زیرزمینی از اهمیت ویژه‌ای 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 - 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 علی رغم اینکه نمونه‌های خاک حفاری شده رطوبت اشباع را نشان می‌دهد، 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 (به‌طور معمول ۲۰-۱۰سانتیمتر و گاهی حتی تا ۰/۵متر) 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 شود که در این حالت عمق نهایی و متعادل شده آب در چاهک پایین‌تر از عمق اولیه برخورد به آب گزارش خواهد شد. طبیعتاً درچنین شرایطی، پس از مشاهده رطوبت اشباع سفره معلق، بایستی یک لایه کم‌تراوا در زیر آن وجودداشته‌باشد.دراین شرایط،اندازه‌گیری هدایت‌هیدرولیکی‌در زیر یا در درون لایه کم تراوا ضروری نخواهد بود.

ج - در یک حالت پیچیده‌تر - ولی محتمل - ممکن است در زیر یک سفره معلق، سفره تحت فشاری 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 کم تراوا و یا زیر آن ضروری نخواهد بود.

کلیه نکات فوق ضرورت توجه و اهمیت دقت در بررسیهای لایه‌بندی و تغییرات رطوبت خاک را به عنوان کلیدی برای تشخیص خصوصیات هیدرولوژیکی خاک و سفره آب زیرزمینی مدلل می‌سازد.

انتظار نمی‌رود اختلاف در مقادیر هدایت هیدرولیک آنها از حدود خطاهای معمول و متداول اندازه‌گیری تجاوز کند، تلاش برای تعیین هدایت هیدرولیک هر یک از آنها نیز توصیه نمی‌شود.

به طوری که بعداً گفته خواهد شد، آزمایش پیزومتری را می‌توان در لایه‌های تحت فشار نیز انجام داد. بنابراین ، ضروری است که وجود یا عدم وجود سفره آب تحت فشار نیز محقق گردد و برنامه اندازه‌گیری با توجه به این مسئله تنظیم شود.

در برنامه ریزی اندازه‌گیریها، در هر نقطه مطالعاتی ، تعداد و موقعیت لایه‌هایی که اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک در آنها انجام می‌گیرد، مشخص می‌گردد. معمولاً در لایه‌ای که مشکوک به لایه محدود کننده است، نیز یک آزمایش انجام می‌شود.

۵-۳ انتخاب عمق اندازه‌گیری

به طور کلی عمق چاهک به‌گونه‌ای انتخاب می‌شود که حفره زیرآن درست دروسط لایه ای قرار گیرد که در نظراست هدایت هیدرولیک آن مشخص گردد. چنانچه لایه مورد نظر به اندازه کافی ضخیم باشد، می‌توان حفره را در عمقی ایجاد کرد که لااقل ۱۰ تا ۱۵ سانتیمتر با لایه بالایی یا زیرین آن فاصله داشته باشد. دراین صورت لزومی ندارد که حفره، درست در وسط لایه ایجاد گردد.

پس از اندازه‌گیری ، می‌توان پیزومتر را عمیقتر کرد و آزمایش را برای عمقی دیگر و لایه ای دیگر تکرار نمود.
از آنجا که درمطالعات زهکشی ، تنها اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک لایه‌های بالاتر از لایه محدود کننده مورد نظر است، پس از اطمینان از عبور از این لایه ، ضرورت ندارد که آزمایش برای لایه‌های پایین تر انجام گیرد.

دراین روش ، وجود آب زیرزمینی در پیزومتر الزامی است . بنابراین ، یکی از عوامل موثر در انتخاب عمق اندازه‌گیری ، عمق آب زیرزمینی است، به‌نحوی که ارتفاع ستون آب درون پیزومتر امکان برداشت و تخلیه آب به میزان کافی را میسر سازد.

۵-۴ حفر چاهک آزمایش

یکی از حساسترین مراحل کار، حفر چاهک آزمایش ، نصب پیزومتر و ایجاد حفره در زیر آن است. توجه به نکات زیر در حفر چاهک ضرورت دارد:

- چاهک بایستی تا حد ممکن به صورت قائم حفر شود. در چاهکهائی که انحراف دارند، به علت تماس شناور به بدنه چاهک، اندازه‌گیری با اشکال رو به رو خواهد شد.

- درهنگام حفر چاهک، لایه بندی خاک باید مجداً کنترل (وارسی) شود تا از انطباق آن با آنچه از بررسیهای لایه‌بندی به‌دست‌آمده و مبنای برنامه ریزی قرار گرفته است، اطمینان حاصل شود. در دشتهای آبرفتی و به ویژه در دشتهای سیلابی که تغییر لایه بندی خاک–حتی در فواصل کم – محتمل است، باید چاهک آزمایش تا حدامکان به چاهک لایه بندی نزدیک باشد.
- توصیه می‌شود که در هنگام حفاری و نصب پیزومتر، مخزن آگربیش از اندازه پر نشود و به آرامی به بالاکشیده شود. پرشدن بیش از اندازه و بالاکشیدن سریع آگر، به ویژه در خاکهای چسبنده و در زیر سطح ایستابی، باعث می‌شود که در فضای زیرین مخزن آگر خلاء نسبی به وجود آید و این امر ضمن اینکه کار بالا کشیدن آگر را مشکلتر می‌سازد، باعث ریزش لایه‌های ناپایدار نیز می‌گردد.
- ریزش جدار چاهک در زیر سطح ایستابی موجب می‌شود که لوله پیزومتر کاملاً به دیواره چاهک نچسبد و در نتیجه ، تنها آب دیواره حفره به درون چاهک تراوش نکند، بلکه آب لایه‌هایی که در بالای حفره قرار گرفته است نیز مستقیماً ، با مقاومتی کمتر، به حفره و لوله پیزومتر راه یابد و نتیجه نادرستی از آزمایش به‌دست‌آید.

۵-۵ نصب پیزومتر

نصب پیزومتر به یکی از سه روش زیر صورت می‌گیرد:

۵-۵-۱ حفاری و کارگذاری همزمان پیزومتر

دراین روش ، لوله پیزومتر برروی سطح خاک قرار می‌گیرد و از داخل آن به کمک آگری که قطر آن کمی از قطرلوله کمتر است، خاکبرداری می‌گردد. سپس لوله مذکور به کمک چکش و گیره به داخل خاک رانده می‌شود. این عمل با دقتی خاص ادامه می‌یابد، به نحوی که ضمن قائم باقی ماندن لوله ، تا عمق مورد نظر نیز رانده شود. از مشکلات مهم این روش این است که چنانچه از لوله یک تکه استفاده شود، ارتفاع لوله در ابتدای کار زیاد است و عمل حفاری با کمک آگر آسان نخواهد بود و چنانچه از لوله‌های قابل اتصال به یکدیگر استفاده شود، راندن لوله به داخل خاک با توجه به وجود زائده‌بوشن با دشواری صورت می‌گیرد. در هر حال، سرعت عمل دراین روش زیاد نیست. از مزایای این روش، آببندی مناسب بین لوله و جدار چاهک است.

۵-۵-۲ حفاری تا حوالی لایه موردنظر و کارگذاری پیزومتر

دراین روش ، تا حدود ۵۰ – ۶۰ سانتیمتری لایه موردنظر با کمک آگری که قطرآن کمی‌کمتر از قطر لوله است، خاکبرداری می‌گردد. سپس لوله پیزومتر به کمک چکش و گیره به داخل خاک رانده می‌شود. باقیمانده حفاری از داخل لوله صورت می‌گیرد. از مزایای این روش، سرعت عمل و سهولت کار است، لیکن بایستی از آببندی بین لوله و جدار چاهک اطمینان حاصل نمود.

در هر حال، حتی چنانچه بنابه دلائلی روش اول مورد نظر باشد، پیشنهاد می‌شود که برای سهولت کار، انجام دادن حفاری و نصب پیزومتر در بالای سطح ایستابی به روش دوم انجام شود.

۵-۵-۳ حفاری به کمک فشار آب

دراین روش ، حفاری و لوله‌گذاری تا حوالی ۷۰ تا ۸۰ سانتیمتری لایه مورد نظر با کمک فشار آب صورت می‌گیرد (نک، نشریه استاندارد شماره ۹۶ – الف). باقیمانده عملیات حفاری و خاکبرداری از داخل لوله انجام‌می‌شود. از مزایای این روش، سرعت عمل آن است و از معایب عمده این روش، نیاز به وسائل و امکانات اضافی است که انتقال آنها به ویژه در زمینهای مرطوب و آب گرفته با مشکلات متعددی مواجه می‌گردد.

در شرایط کاربردی ، به‌نظر می‌رسد که با روش دوم به شرط حصول اطمینان از آببندی دیواره جدار چاهک و لوله پیزومتر، به نحوی ساده‌تر می‌توان به اهداف موردنظر دست یافت. شکلهای ۴ تا ۷ نحوه کار را در عمل نشان می‌دهند.

۵-۶ 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 صورت‌گیرد. به این منظور طول لوله پیزومتر باید از قبل با دقتی در حدود ۱+ سانتیمتر مشخص شود و روی دسته آگر قبلاً علامتگذاری گردد.

۵-۷ خراشیدن دیواره چاهک

ممکن است در حین حفاری، قسمتی از گلهای حفاری شده بر روی دیواره حفره باقی بماند. دراین صورت ، درخاکهای با چسبندگی زیاد و سنگین ، قشری صاف و فشرده شده در سطح دیواره حفره پدید می‌آید و موجب بسته شدن نسبی منافذ و مجاری عبور آب می‌گردد. حتی المقدور باید از ایجاد چنین مشکلی پیشاپیش جلوگیری کرد. چنانچه پیش‌بینی شود که با شستشوی چاهک نمی‌توان منافذ دیواره حفره را باز نمود، استفاده از خراشدهنده توصیه می‌گردد.

شکل ۴-کوبیدن لوله پیزومتر به داخل خاک به کمک چکش و گیره

شکل ۵- حفاری داخل لوله پیزومتر با آگر (Auger)

شکل ۶- عملیات شستشوی پیزومتر

شکل ۷- اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی به روش پیزومتری

در هر حال، چنانچه استفاده از خراشدهنده اجتناب ناپذیر باشد، توجه به نکات زیرالزامی است:

- خراش بیش از اندازه حفره و یا وارد آوردن نامتناسب فشار به دیواره آن، ممکن است باعث گشادشدن قطر حفره گردد و از دقت آزمایش بکاهد.
- خراشدهنده باید در موقع استفاده کاملاً تمیز باشد.
- قطرخراشدهنده با در نظر گرفتن میخهای اطراف آن باید به اندازه کافی کوچکتر از قطر حفره باشد تا هیچگونه فشار اضافی به جداره حفره وارد نگردد.

۵-۸ نصب توری مشبک

چنانچه حفره انتهایی درخاکی ناپایدار ایجاد شده باشد، حفاظت از جدار آن الزامی است. به این منظور یک توری استوانه‌ای محکم که طول آن حدود ۲ تا ۳ سانتیمتر بیش از طول حفره و قطر آن حدود ۱ میلیمتر کمتر از قطر داخلی لوله باشد در محل حفره نصب می‌گردد. انتهای توری استوانه‌ای دارای زائده‌هایی به‌سمت داخل است، به‌نحوی که بتوان با آوردن فشار برروی زائده ، آن را درمحل خود در زیر پیزومتر و در انتهای حفره قرارداد. نصب توری مشبک درمحل اصلی خود به حوصله و دقت زیادی نیازمند است. معمولاً توری مذکور پس از اتمام آزمایش درمحل خودباقی می‌ماند، ولی دربرخی مواقع می‌توان آن را به کمک یک قلاب سرکج بالاکشید.

۵-۹ شستشوی چاهک

پس از اتمام عملیات حفاری و نصب پیزومتر ، به‌منظور باز نمودن خلل و فرج دیوار: حفره ، شستشوی چاهک به کمک آبکش انجام می‌گیرد، به‌نحوی که در خاتمه شستشو، آب خارج شده نسبتاً صاف باشد. برای دستیابی به نتیجه بهتر رعایت نکات زیر توصیه می‌گردد:

- آبکش فقط می‌تواند درناحیه لوله پیزومتر رفت و آمد کند. باید از فروبردن آن در ناحیه حفره اجتناب کرد.
- عملیات آبکشی باید به آرامی و با احتیاط صورت پذیرد، به‌نحوی که هیچگونه فشار مثبت یا منفی قابل ملاحظه‌ای در ناحیه حفره ایجاد نگردد. چنانچه دیواره حفره با توری مشبک حفاظت شده باشد، می‌توان تلاطم بیشتری را در آب داخل چاهک ایجاد کرد.
- از آنجاکه به دلیل طول و قطرکم حفره، جمع شدن مجدد آب درون چاهک به زمانی نسبتاً طولانی نیاز دارد، پس از هر بار آبکشی باید مدتی صبر کرد و از آبکشی مکرر که با حجم کم آب خروجی همراه است اجتناب نمود.

۵-۱۰ اندازه گیری

پس از حفر و آماده سازی چاهک، زمانی که سطح آب زیرزمینی به تعادل رسید ، می توان اندازه‌گیری را آغاز کرد. این عمل شامل چهارمرحله زیراست:

- استقرار لوازم روی چاهک
- تخلیه آب از چاهک
- استقرار شناور
- ثبت تغییرات سرعت برگشت آب

۵-۱۰-۱ استقرار لوازم روی چاهک

قبل از آغاز اندازه‌گیری، لوازم و وسائل اندازه‌گیری تغییرات سطح آب (به شرح بند ۴-۱-۴) برروی چاهک نصب می‌گردد و محل نشانه که نشاندهنده موقعیت سطح ایستابی تعادلی است، برروی کاغذ میلیمتری علامتگذاری می‌شود.

۵-۱۰-۲ آبکشی از چاهک

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

برای آبکشی از چاهک می‌توان از تلمبه و یا آبکش استفاده کرد. دراین رابطه رعایت نکات زیرتوصیه می‌شود:

- حتی‌المقدور کوشش شود تا حجم آب موردنظر یکباره برداشت گردد. داشتن چند آبکش با ظرفیتهای مختلف و انتخاب مناسب‌ترین آنها می‌تواند امکان تخلیه یکباره آب را از چاهک به وجود آورد.
- سعی شود که تاحدامکان ، آبکش به آرامی و ترجیحاً دراثر وزن خود در آب چاهک فروبرده شود. اعمال فشار اضافی در فروبردن آبکش به داخل چاهک موجب می‌شود که آب درون چاهک نسبت به وضعیت تعادلی خود بالاتر آید و موجب ایجاد شیب هیدرولیک اضافی گردد. گرچه که این امر درخاکهای با هدایت هیدرولیک پایین، اثر چندانی برنتیجه اندازه‌گیری ندارد، اما در خاکهای شنی و یا خاکهای با درز و ترک ممکن است موجب خطا دراندازه‌گیری شود.
- بیرون کشیدن آبکش به آرامی و با احتیاط صورت گیرد و همزمان یا پس از بیرون کشیدن آبکش، اندازه‌گیری زمان و عمق سطح ایستابی آغاز شود.

- از آنجا که محدودیتی برای اعتبار داده‌ها نسبت به زمان وجود ندارد، برخلاف اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک به روش چاهک، نباید در خارج کردن آبکش از چاهک وآغاز آزمایش تعجیل کرد.
- در صورتی که بتوان به جای آبکش، از تلمبه مناسب استفاده کرد، می‌توان شیلنگ تلمبه و شناور را به‌طور همزمان در چاهک قرارداد، به‌طوری که با تخلیه آب به وسیله تلمبه، شناور خودبه‌خود با آب چاهک پایین رود و درموقعیت مناسب قرار گیرد. بدیهی است با آغاز برگشت آب و شروع اندازه‌گیری باید شیلنگ تلمبه را از چاهک بیرون کشید.

۵-۱۰-۳ استقرار شناور

بلافاصله پس از عملیات آبکشی ، جسم شناور به درون چاهک انداخته می‌شود و متعاقباً با مستقر شدن شناور بر سطح آب، اندازه‌گیری سرعت بالاآمدن سطح آب آغاز می‌گردد. همان‌طور که گفته شد، از آنجا که چون برخلاف اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک به روش چاهک، دراین روش تنها داده‌های اولیه نیستند که دارای اعتبارند، بنابراین لزومی برای تعجیل وجودندارد.

۵-۱۰-۴ 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. قرائتهای بعدی در فواصل زمانی مناسب صورت می‌پذیرد و متناسباً زمان برروی کاغذ میلیمتری علامتگذاری و یادداشت می‌شود. آزمایش تا زمانی که حداقل ۵۰ درصد آب برداشت شده به داخل چاهک برگردد، ادامه می‌یابد. مجموعه اطلاعات به‌دست‌آمده از ثبت مشاهدات خیز سطح آب در چاهک، همراه با مشخصات هندسی حفره و چاهک در جدولی مشابه با فرم شماره ۱ ثبت می‌گردد.

۶- محاسبات

۶-۱ محاسبه هدایت هیدرولیک در سفره آزاد

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

$$K= \frac{۸۶۴\,\pi\,(D/۲)^{۲}\,Ln(y۱/y۲)}{A(t_{۲}-t_{۱})} \qquad (۲)$$

فرم ۱ - ثبت مشخصات حفره و بالاآمدن سطح آب در آزمایش پیزومتری

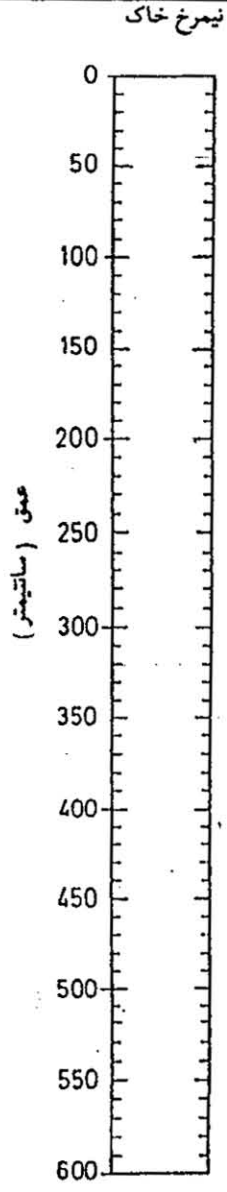
نام پروژه : شماره چاهک : عمق چاهک : سانتیمتر عمق برخورد به آب : سانتیمتر

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

الف : اندازه‌گیریها

اطلاعات مربوط به خیز سطح آب

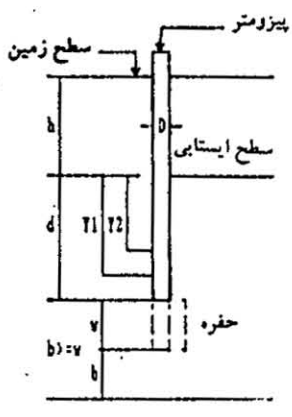
ردیف	t sec	y cm	t_2-t_1 sec	y_1/y_2	K m/day
۱					
۲					
۳					
۴					
۵					
۶					
۷					
۸					
۹					
۱۰					
۱۱					
۱۲					
۱۳					
۱۴					
۱۵					

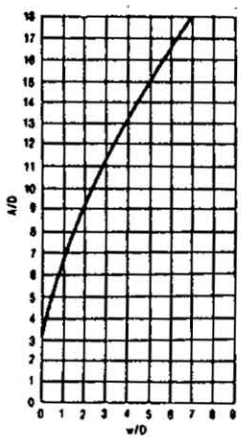


ب : محاسبات

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





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

که پارامترهای مربوط به آن قبلاً در صفحه ۳ تعریف گردیده است.

با تغییردادن لگاریتم طبیعی به لگاریتم در پایه ده رابطه فوق به‌صورت زیر در می‌آید:

$$K = \frac{۶۲۵۰ \ (D/۲)^{۲} \log (y_۱/y_۲)}{A(t_۲ - t_۱)} \qquad (۱۵)$$

معمولاً میانگین ۴ یا ۵ اندازه‌گیری آخر به عنوان نتیجه نهایی و هدایت هیدرولیک لایه مورد آزمایش در نظر گرفته می‌شود.

۶-۲ محاسبه هدایت هیدرولیک در سفره تحت فشار

برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک لایه‌ای که لایه زیرین آن تحت فشار آرتزین قرار دارد، بایستی دو پیزومتر در دو لایه مجاور نصب کرد (مراجعه شود به شکل ۸ - صفحه ۳۲). پیزومتر اصلی در محل مناسب لایه زیرین نصب می‌شود و پیزومتر دوم در بالاترین قسمت لایه فوقانی نصب می‌گردد. دراین حالت نیز می‌توان از روابط «۲» و «۱۵» استفاده کرد بااین تفاوت که ضریب شکل «A» از نمودار ۱ به‌دست‌می‌آید. در این نمودار:

- H - فاصله بین وسط دو حفره برحسب سانتیمتر
- Δ - فاصله بین سطح آب دوپیزومتر در حالت تعادل برحسب سانتیمتر
- d' - فاصله بین مرکز حفره زیرین و حد فاصل بین دو لایه برحسب سانتیمتر

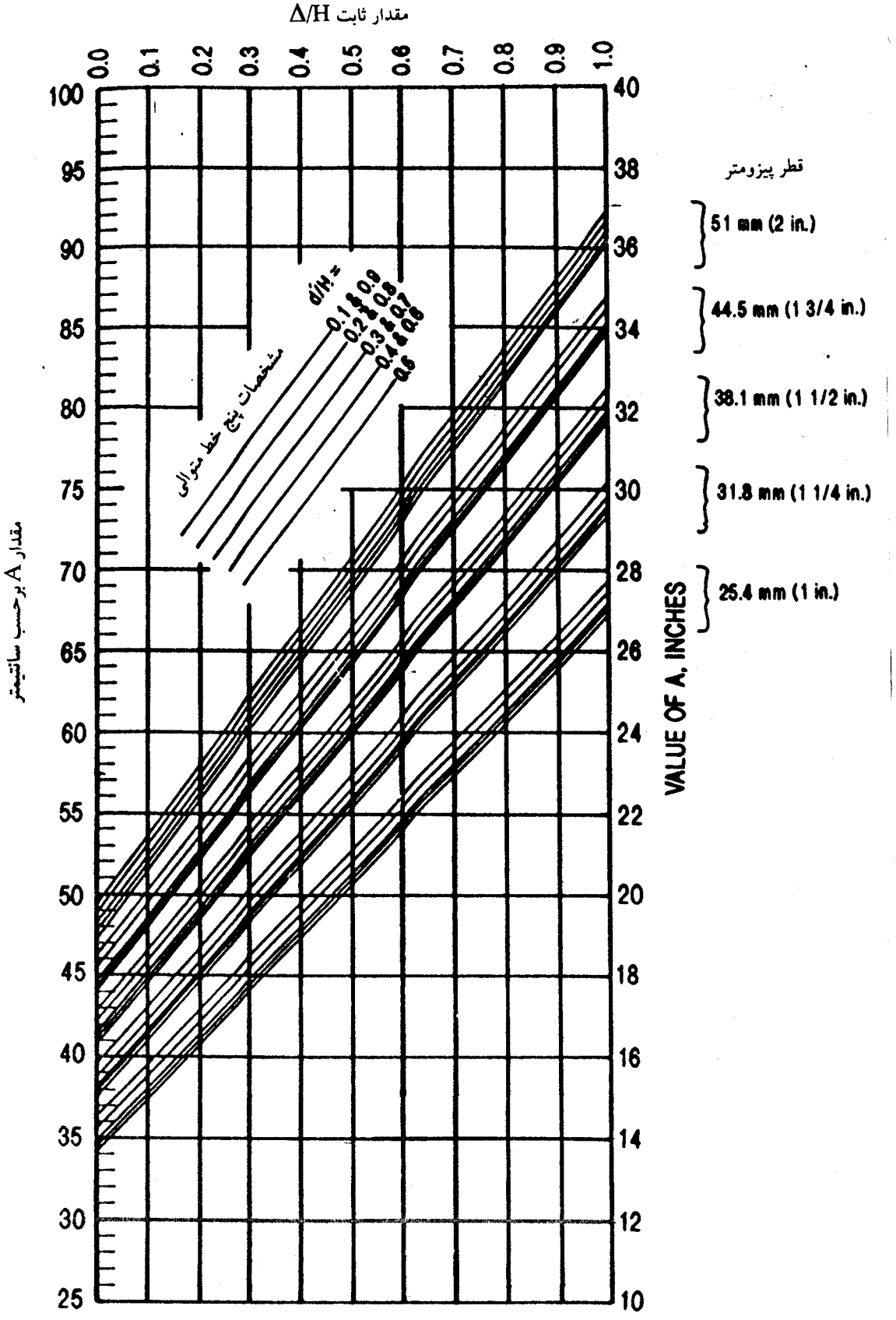
۷- محدودیتهای آزمایش و موارد خطا

۷-۱ محدودیتهای آزمایش

محدودیتهای عمده آزمایش عبارت است 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 آزمایش در اعماق بیش از ۶ متر
- عدم امکان آزمایش در لایه‌های کم ضخامت (کمتر از حدود ۳۰ سانتیمتر)
- عدم دسترسی به نتیجه مطلوب هنگامی که لایهٔ با هدایت هیدرولیک کم دربین لایه‌های با آبگذری زیاد قرار گیرد و لایه موردنظر از ضخامت چندانی برخوردار نباشد.

نمودار ۱- ضریب شکل در آزمایش هدایت هیدرولیکی به روش پیزومتری در حالت وجود فشار آرتزین



- بروز مشکلاتی از نظر حرکت شناور در پیرومترهای با قطر کمتر از ۲۵ میلیمتر و همچنین وجود مشکلاتی در نصب صحیح پیزومترهای با قطر بیش از ۵۰ میلیمتر

۲-۷ منابع خطا

منابع خطا می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

- بروز اشتباه در قرائت سطح ایستابی و زمان
- بروز اشتباه در اندازه‌گیری ابعاد حفره
- عدم تناسب بین طول و قطر حفره به‌طوری که با کوچک شدن این نسبت ، هدایت هیدرولیک اندازه‌گیری شده عمدتاً نمایانگر آبگذری قائم خاک خواهد بود.
- عدم تشخیص و توجه نداشتن به وجود فشار آرتزین درحالتی که لایه مورد نظر تحت فشار باشد.
- چنانچه فاصله انتهای چاهک تا لایه‌ای که در آن بافت خاک تغییرمی‌کند، کمتراز طول حفره باشد (b<w ، نک‌به شکل ۱).
- چنانچه فاصله سطح ایستابی تاانتهای پیزومتر «d» درمقایسه با طول حفره «w» خیلی زیاد نباشد.

۸- مثال

برای روشن شدن مطالب و انجام دادن مراحل کاربردی این دستورالعمل سه مثال زیر بیان می‌گردد. لازم به تذکر است که با حل تنها یک مثال نمی‌توان به نتیجه کامل دست یافت :

۸-۱ مثال ۱

درنقطه H13 باتوجه به شرایط موجود در هنگام آزمایش ، اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک به روش چاهک در فاصله ۲۱۵ تا ۳۰۰ سانتیمتری از سطح زمین در بافت SiL ، نتیجه ۱/۷۶ متر بر روز را عاید کرده است. به‌منظور بررسی هدایت هیدرولیک لایه زیر آن که دارای بافت SiCL است، آزمایش پیزومتری در عمق ۴۵۰ سانتیمتری انجام شده که مطابق جدول ۲ نتیجه ۰/۱۵ متر بر روز را نشان داده است و از این رو لایه مذکور که از ۳۴۰ سانتیمتری سطح خاک آغاز می‌گردد، به‌عنوان لایه محدود کننده شناخته شده است.

جدول ۲- آزمایش پیزومتری در نقطه H13

نام پروژه: قره سو - زرینگل شماره چاهک: H13 عمق چاهک: ۴۵۰ سانتیمتر عمق برخورد به آب: ۳۲۰ سانتیمتر

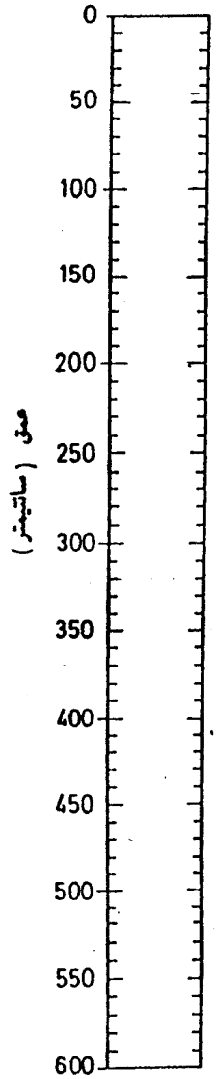
عمق سطح ایستابی متعادل: ۳۱۰ سانتیمتر قطر آگر: ۴/۲ سانتیمتر نام آزمایش کننده: تاریخ: ۷۳/۶/۴

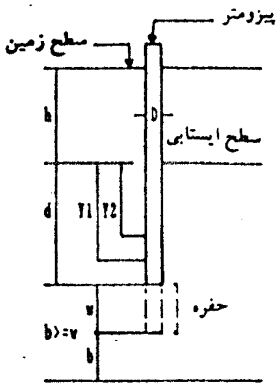
الف: اندازه‌گیریها

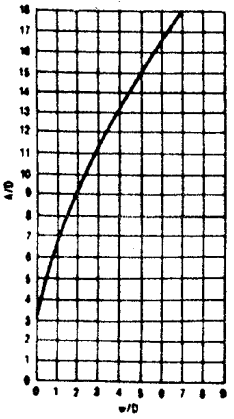
اطلاعات مربوط به خیز سطح آب

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					

نیمرخ خاک







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

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

۸-۲ مثال ۲

درنقطه J۱۴ با توجه به شرایط طبیعی درهنگام آزمایش، هدایت هیدرولیک به روش چاهک درعمق ۲۰۰ تا ۳۰۰ سانتیمتر نتیجه ۸/۰۹ متر بر روز را عاید کرده است. با عنایت به اینکه 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، موردتوجه قرار گرفته است. از این رو آزمایش تعیین هدایت هیدرولیک در زمانی دیگر در عمق ۴۸۰ سانتیمتری تجویز گردیده‌که نتیجه‌ای معادل ۲/۸ متر بر روز را به‌دست‌داده است. بنابراین لایه مذکور به‌عنوان لایه محدود کننده تشخیص داده نشده است. جدول ۳ داده‌های این آزمایش و محاسبات مربوط را نشان می‌دهد.

در همین محل، برای بررسی وضعیت آبگذری طبقات بالاتر نیزآزمایش چاهک معکوس یا روش پورشه در عمق ۱۰۰ تا ۱۷۰ سانتیمتری انجام گردیده و نتیجه ۴/۲۰ متر بر روز را عاید کرده است. بدین ترتیب ملاحظه می‌شود که بافت SiC در طبقات فوقانی به علت وجود درز و ترک و ریشه دارای هدایت هیدرولیک بالاتر و در طبقات پایین‌تر به علت تراکم بیشتر دارای آبگذری کمتری است.

۸-۳ مثال ۳

به علت وجود فشار پیزومتری درنقطه‌ای، دو پیزومتر در دو لایه متوالی نصب شده است . لایه بالایی SiC و لایه زیرین مخلوطی از شن و ماسه است . دو حفره یکسان در زیر آن دو ایجاد شده است. مشخصات دو پیزومتر و سطح ایستابی آنها در شکل ۸ نشان داده شده است. می‌خواهیم هدایت هیدرولیک لایه SiC را پیدا کنیم.برای این کار باید ابتدا ضریب شکل را باتوجه به وجود فشار پیزومتری بااستفاده از نمودار ۱پیدا کرد. قطر هر یک از دو پیزومتر ۱/۵ اینچ (۳۷/۵ میلیمتر) است. داریم:

$H = H۱ - H۲ - ۵۷۰ - ۴۲۰ = ۱۵۰$ cm

$\Delta = \Delta۱ - \Delta۲ = ۱۸۰ - ۱۲۰ = ۶۰$ cm

$\Delta/H = ۶۰/۱۵۰ = ۰/۴$

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

$d' = ۵۴۰ - ۵۱۰ = ۳۰$ cm

$d'/H = ۳۰/۱۵۰ == ۰/۲$

با مراجعه به نمودار ۱ داریم:

$A = ۵۷/۴$ cm

وضعیت خیز سطح آب نسبت به زمان در پیزومتر اصلی (زیرین) در جدول ۴ و شکل شماره ۸ نشان داده شده است. با استفاده از ۵ داده آخر $K = ۰/۶۴$ متر بر روز نتیجه‌گیری شده است.

جدول ۳- آزمایش پیزومتری در نقطه J14

نام پروژه: فرسو - زرینفل شماره چاهک: J14 عمق چاهک: ۴۸۰ سانتیمتر عمق برخورد به آب: ۳۱۲ سانتیمتر

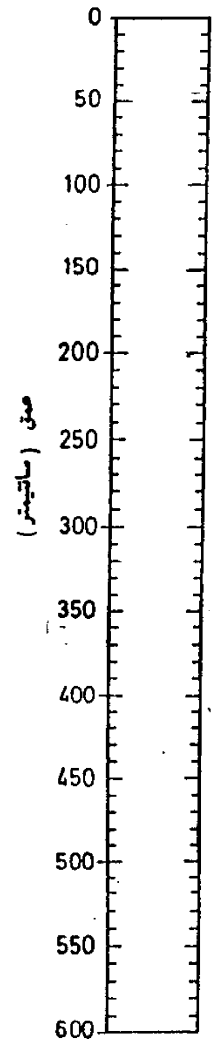
عمق سطح ایستابی متعادل: ۳۱۲ سانتیمتر قطر آگر: ۴٫۲ سانتیمتر نام آزمایش کننده: تاریخ: ۷۳/۶/۱۶

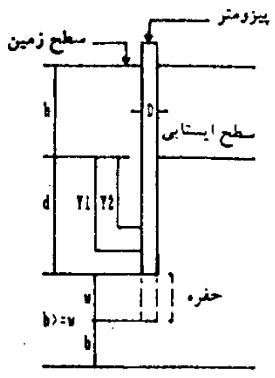
الف: اندازه‌گیریها

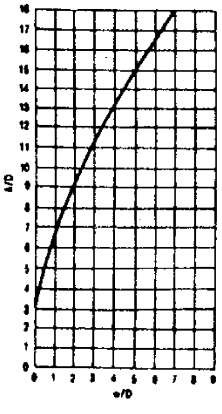
اطلاعات مربوط به خیز سطح آب

ردیف	t sec	y cm	t_2-t_1 sec	y_1/y_2	K m/day
۱	۰	۱۹٫۸			
۲	۰۵	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				

نیمرخ خاک







ب: محاسبات

اطلاعات مربوط به چاهک

h - فاصله زمین تا سطح ایستابی ۳۰۸ سانتیمتر

d - فاصله سطح ایستابی تاانتهای پیزومتر۱۷۲سانتیمتر

h+d - عمق اندازه‌گیری ۴۸۰ سانتیمتر

w - طول حفره ۲۰ سانتیمتر

b - فاصله کف چاهک تالایه بعدی ۳۰ سانتیمتر

D - قطر داخلی پیزومتر و حفره ۴٫۲ سانتیمتر

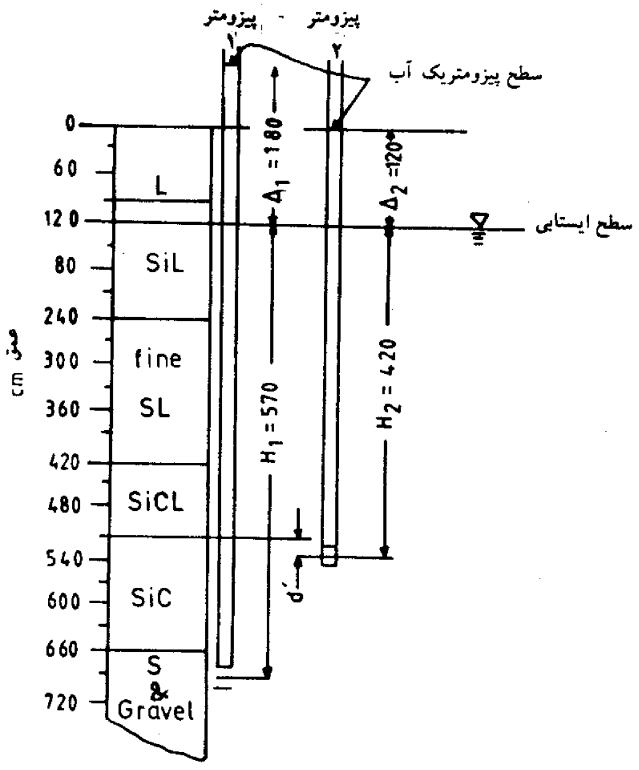
K - هدایت هیدرولیک ۲٫۷۵ متر بر روز

A - ضریب شکل ۶۰٫۹ سانتیمتر

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

جدول ۴- داده‌های خیز سطح آب در آزمایش ۳ در پیزومتر شماره ۲

ردیف	T_1 sec	T_2 sec	y_1 cm	y_2 cm	K m/day
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 ۸- تعیین هدایت هیدرولیک لایه هنگامی که زیر فشار پیزومتری لایه زیرین خود قرار دارد.

منابع و مآخذ:

- زهکشی اراضی ، ترجمه و تدوین امین علیزاده ، انتشارات دانشگاه فردوسی ، ۱۳۶۶.
- مهندسی زه‌کشی، ترجمه محمد ابراهیم بازاری ، امین علیزاده و سعید نی‌ریزی، انتشارات دانشگاه فردوسی ، ۱۳۶۷.
- اصول مهندسی زه‌کشی وبهسازی خاک، چاپ سوم باتجدید نظر، محمدبای بوردی، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۶۰.
- اصول زه‌کشی و کاربرد آن، جلد سوم، مطالعات و بررسی‌ها ، ترجمه حسین‌فرداد، نشر دانش و فن ، ۱۳۶۵.
- دستورالعمل تعیین هدایت هیدرولیک خاک، ۱-روش چاهک، استاندارد مهندسی آب کشور، ۱۳۷۳.

- Drainage for Agricultural Land, ASA, Nomograph 17.
- Drainage Manual, USBR, 1993.

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 (The Piezometer Method)

Publication No. 164

این نشریه
با عنوان دستورالعمل تعیین هدایت هیدرولیک خاک با روش پیزومتری به منظور ایجاد یکنواختی در روش اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک خاک مناطقی که دارای آب زیرزمینی کم‌عمق می‌باشد، تدوین شده است. کاربرد اساسی این نشریه، به منظور انجام دادن مطالعات صحرایی و تهیه طرحهای زهکشی زیرزمینی می‌باشد.
در این نشریه مبانی نظری و اصول عملی روش پیزومتری با استفاده از مآخذ موجود تشریح شده است؛ ولی بیشتر در برگیرنده دستاوردهای تجربی حاصل از مطالعات صحرایی متعدد است.

مرکز مدارک اقتصادی - اجتماعی و انتشارات

ISBN 964-425-017-6

9789644250170