

جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه

دستورالعمل هدایت هیدرولیک خاک باروش پیزومتری

معاونت امور فنی
دفتر امور فنی و تدوین معیارها

نشریه شماره ۱۶۴

جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه

دستورالعمل هدایت هیدورلیک خاک باروش پیزومتری

نشریه شماره ۱۶۴

معاونت امور فنی
دفتر امور فنی و تدوین معیارها

۱۳۷۶

انتشارات سازمان برنامه و بودجه ۷۶/۰۰/۳۵

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، ۱۳۷۶.
۳۳ص: مصور، جدول، نمودار. - (سازمان برنامه و بودجه، دفتر امور فنی و تدوین
معیارها؛ نشریه شماره ۱۶۴)

ISBN 964-425-017-6

فهرستتویسی براساس اطلاعات فیبا (فهرستتویسی 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.

۹۲۷/۰۲۸۴

TC ۱۷۷/ص ۲۵۴

م ۷۶-۴۳۶۳

کتابخانه ملی ایران

ISBN 964-425-017-6

شابک ۹۶۴-۴۲۵-۰۱۷-۶

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، ۱۳۷۶
قیمت: ۳۰۰۰ ریال
چاپ و صحافی: مؤسسه زحل چاپ
همه حقوق برای ناشر محفوظ است.



شماره: تاریخ:	به دستگاه‌های اجرایی و مهندسان مشاور
موضوع: دستورالعمل تعیین هدایت هیدرولیک خاک با روش پیزومتری	
<p>ه استناد ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه کشور و آیین نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی به پیوست نشریه شماره ۱۶۴ دفتر امور فنی و تدوین معیارهای این سازمان با عنوان ((دستورالعمل تعیین هدایت هیدرولیک خاک با روش پیزومتر)) ابلاغ می‌گردد.</p> <p>تاریخ اجرای این دستورالعمل ۱۳۷۶/۷/۱ می‌باشد.</p> <p>شایسته است دستگاه‌های اجرایی و مهندسان مشاور مفاد نشریه یاد شده و ضوابط و معیارهای مندرج در آن را ضمن تطبیق با شرایط کار خود در طرح‌های عمرانی مورد استفاده قرار دهند.</p> <p>حمید میرزاده معاون رئیس جمهور و رئیس سازمان برنامه و بودجه</p>	

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، بهره‌برداری 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 استادیار دانشکده مهندسی عمران، دکتر امیر تائبی هرنندی 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.

دفتر امور 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:

فوق لیسانس آبیاری و زهکشی	بانک کشاورزی	آقای مجتبی اکرم
دکترای مهندسی کاربرد آب	موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی	آقای ابراهیم پذیرا
لیسانس مهندسی کارهای آبی	مهندسین مشاور مهتاب قدس	آقای علی حقیقت طلب
فوق لیسانس آبیاری و آبادانی	مهندسین مشاور پندام	آقای احمد لطفی
فوق لیسانس مهندسی هیدرولیک و آبیاری	طرح تهیه استانداردهای مهندسی آب کشور	آقای میراحمد میلانی
فوق لیسانس مهندسی آبیاری و زهکشی	شرکت مهندسی منابع آب و خاک	آقای محمدباقر نحوی

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

فهرست مطالب

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

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

صفحه

عنوان

۲۸

مثال

۸-

۲۸

مثال ۱

۸-۱

۳۰

مثال ۲

۸-۲

۳۰

مثال ۳

۸-۳

۳۳

منابع و مآخذ

هدایت هیدرولیک^۱ یکی از مهمترین مشخصه‌های هیدرودینامیکی خاک است که در محاسبه فواصل زهکشهای زیرزمینی مورد نیاز است و در مطالعات زهکشی مورد توجه قرار می‌گیرد. روشهای متعددی برای اندازه‌گیری صحرائی هدایت هیدرولیک خاک وجود دارد که اساس کلیه آنها بر اندازه‌گیری سرعت جریان افقی آب در خاک استوار است. بر حسب اینکه اندازه‌گیری سرعت جریان آب در خاک در زیر سطح ایستابی (شرایط اشباع) و یا در بالای سطح ایستابی (شرایط غیر اشباع) صورت گیرد، روشهای تعیین هدایت هیدرولیک نیز متفاوت است.

وقتی اندازه‌گیری در شرایط اشباع صورت گیرد، دوش متداول و معمول است که یکی به روش چاهک^۲ و دیگری به نام روش پیزومتری^۳ یا حفرة زیر لوله موسوم است. وقتی اندازه‌گیری در شرایط غیر اشباع باشد، روشهای پورشه^۴، پمپاژ به چاهک سطحی^۵ و اخیراً روش موسوم به گلف^۶ 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 از تهیه دستورالعمل تعیین هدایت هیدرولیک خاک، ایجاد یکنواختی لازم در روشهایی است که عملاً در مطالعات صحرائی زهکشی به کار گرفته می‌شود. علاوه بر این با تشریح جزئیاتی که معمولاً در مآخذ موجود و معتبر کمتر مورد بحث قرار می‌گیرد، سعی خواهد شد که اطلاعات کافی در اختیار متخصصان ذی‌ربط قرار داده شود تا از 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. در ابتدای 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 باروش 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، به دست آوردن هدایت هیدرولیک افقی خاک در محل^۱ در لایه‌ای مشخص واقع در زیر سطح ایستابی^۲ است. این روش متداولترین شیوه اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک در لایه مشخص به شمار می‌رود و تا حدودی می‌توان آن را روش منحصر بفرد در نوع خود بیان کرد.

این روش تنها در مناطقی 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 با سطح مقطع واحد عبور کند، مشروط بر آنکه شیب هیدرولیک در آن برابر واحد باشد، هدایت هیدرولیک گفته می‌شود. به عبارت دیگر، هدایت هیدرولیک به وسیله قانون داریسی به شرح زیر تعریف می‌گردد:

$$Q = -KiA \quad (1)$$

که در آن :

Q - دبی عبوری از نمونه $[L^3.T^{-1}]$

K - هدایت هیدرولیک $[L.T^{-1}]$

i - شیب هیدرولیک

A - سطح مقطع نمونه $[L^2]$

1- In - Situ

2- Water table

3- Barrier

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 نخورده باقی نخواهد ماند، به منظور طراحی زهکشی دارای اعتبار چندانی نیستند. روشهای اندازه‌گیری در محل، به دو دسته بالا و زیر سطح ایستابی تقسیم می‌شوند. روش چاهک، مشهورترین و متداولترین روش اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک در زیر سطح ایستابی است. با انجام دادن آزمایش لایه به لایه در روش چاهک نیز می‌توان هدایت هیدرولیک لایه‌های مختلف خاک را به دست آورد، اما هنگامی که ضخامت لایه‌ها نسبتاً کم باشد، این روش ازدقت مطلوبی برخوردار نخواهد بود. به این دلیل است که روش پیژومتری به عنوان مناسبترین روش اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک لایه به لایه خاک شناخته می‌شود.

۳- پایه‌های نظری روش

کرکهام^۱ در سال ۱۹۵۴ با حل معادله لاپلاس و با پذیرفتن فرضیاتی که برای روش چاهک (نک، نشریه ۱۳۰-الف) در نظر گرفته شده، رابطه زیر را به منظور به دست آوردن هدایت هیدرولیک ارائه کرد:

$$K = \frac{864 \pi (D/2)^2 \text{Ln}(y_1/y_2)}{A(t_2 - t_1)} \quad (2)$$

که در آن:

K - هدایت هیدرولیک (متر بر روز)

D - قطر حفره زیر لوله (سانتیمتر)

y_1 - فاصله بین سطح آب در پیژومتر تا سطح ایستابی متعادل (سانتیمتر) در لحظه t_1 (ثانیه)

y_2 - فاصله بین سطح آب در پیژومتر تا سطح ایستابی متعادل (سانتیمتر) در لحظه t_2 (ثانیه)

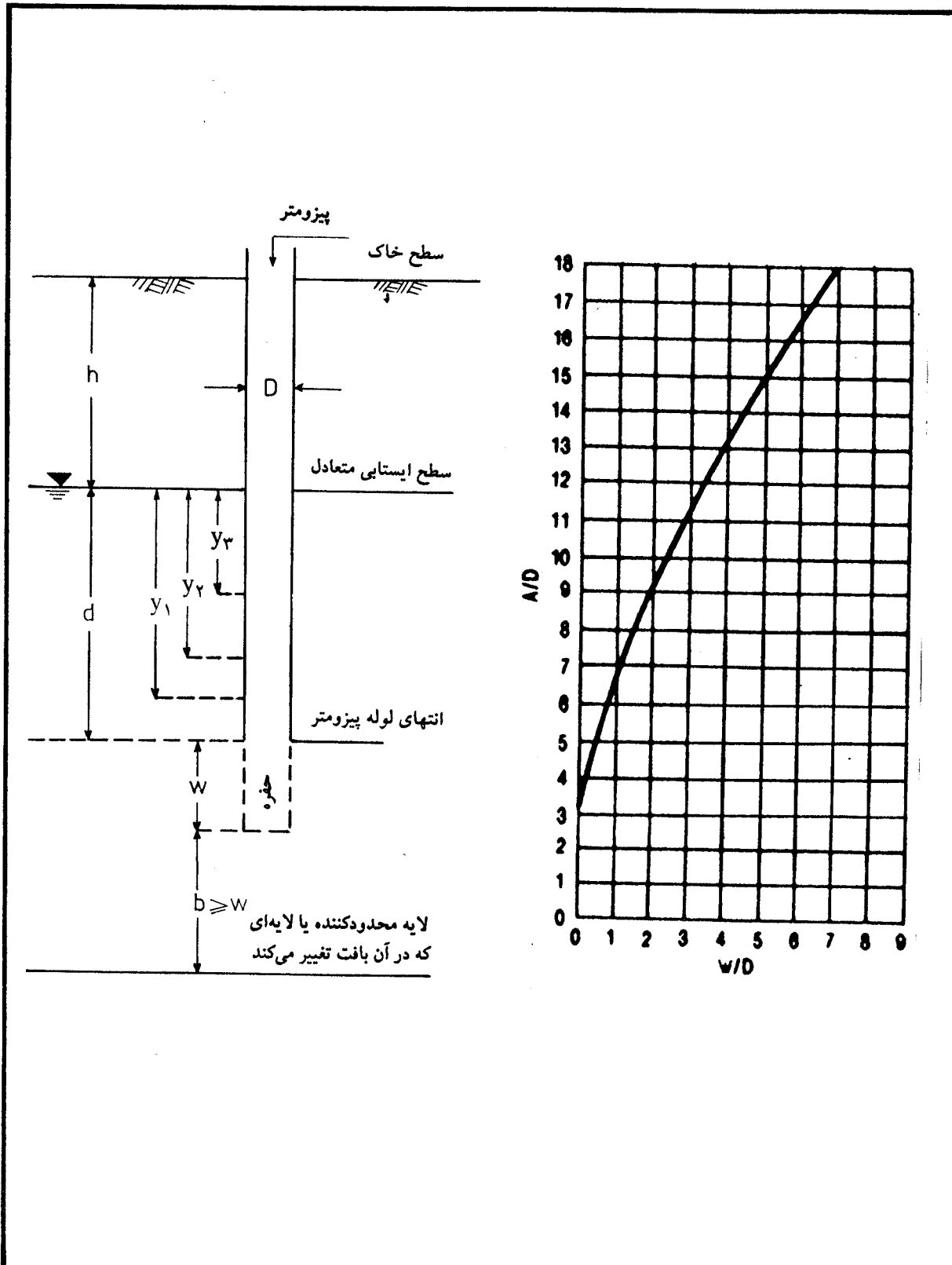
A - ضریب شکل (سانتیمتر) که به خصوصیات هندسی حفره بستگی دارد و می‌توان آن را از جدول ۱ و یا شکل ۱ به دست آورد که در آنها:

r - شعاع حفره زیر لوله (سانتیمتر)

w - طول حفره زیر لوله (سانتیمتر)

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

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



شکل ۱- پارامترهای آزمایش در روش پیزومتری و ضریب شکل

(Youngs, 1968)

جدول
مقادیر
A/r
ای
روش
و
متری
حفره
شکل
سوانه‌ای
حفره‌روی که
محدودکننده قرار دارد

W/r	d/r	هنگامی که حفره‌روی محدودکننده قرار دارد					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	∞
0.5	20	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	∞
	16	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	∞
	12	8.8	8.7	8.4	7.8	7.1	6.3	4.8	8.8	9.0	9.4	10.3	12.2	15.2	∞
	8	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	∞
1.0	20	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	∞
	16	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	∞
	12	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	∞
	8	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	∞
2.0	20	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	∞
	16	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	∞
	12	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	∞
	8	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	∞
4.0	20	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	∞
	16	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	∞
	12	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	∞
	8	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	∞
8.0	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	∞
∞	20	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	∞
	16	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	∞
	12	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	∞
	8	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	∞
∞	20	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	∞
	8	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	∞

۱-۳ ضریب شکل (A)

اساس نظری روش پیزومتری به وسیله کرکهام بیان گردید. او فرض کرد که سطح ایستابی در طول مدت اندازه گیری

ثابت مانده (پایین نمی رود) و همواره به صورت افقی باقی می ماند. شرایط مرزی عبارتند از:

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

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

پ - دیواره حفره، خطوط جریان به حساب می آید.

ت - در فواصل دور از لوله، جریانی وجود ندارد. به عبارتی صحیحتر، بار هیدرولیک در فواصل دور از لوله

متناسب با عکس مجذور فاصله از لوله کاهش می یابد و بنابراین می توان آن را نادیده انگاشت.

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

$$\phi = q + c \quad (3)$$

که در آن q و c مقادیر ثابتی هستند.

اگر ϕ_1 طوری تعریف شود که شرایط پ و ت در آن صدق کند، q و c را می توان به تنهایی با توجه به شرایط الف و ب

فوق ارزیابی کرد.

با توجه به شرط الف، چنانچه ϕ_s و ϕ_{1s} به ترتیب بیانگر ϕ و ϕ_1 در سطح ایستابی باشند، با استفاده از رابطه ۳ داریم.

$$\phi_{1s} = q\phi_s + c \quad (4)$$

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

۳ داریم:

$$\phi_{1w} = q\phi_w + c \quad (5)$$

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

$$y = q(\phi_s - \phi_w) \quad (6)$$

و یا:

$$q = y / (\phi_s - \phi_w) \quad (7)$$

برای به دست آوردن c با توجه به اینکه در معادله ۴، $\phi_{1s} = d$ است، می توان نوشت:

$$c = d - [y / (\phi_s - \phi_w)] \phi_s \quad (8)$$

برای محاسبه مقدار آبی که در واحد زمان به داخل حفره و از آن طریق به داخل لوله نشت می کند (Q)، نیازی به محاسبه c نیست. مقدار Q را می توان از دو طریق محاسبه کرد: راه اول، انتگرال گیری از $K \delta \phi_1 / \delta Z$ به طریقی است که Z محوری قائم و رو به بالا بر روی سطح حفره در انتهای لوله (سطح بالای حفره) است. راه دوم، انتگرال گیری همین مقدار بر روی سطح ایستابی است. از روش دوم به نحوی ساده تر و امکان پذیر تر می توان استفاده کرد، زیرا تمامی خطوط جریانی که به انتهای لوله (بالای حفره) می رسند، از سطح ایستابی منشاء می گیرند. به این ترتیب، با استفاده از رابطه ۳ و فرض اینکه مبدا محور Z در انتهای لوله قرار دارد، داریم:

$$Q = Kq \int_r^\infty \delta \phi / \delta Z|_{Z=d} 2\pi r dr \quad (9)$$

و یا با استفاده از رابطه ۷:

$$Q = \frac{Ky}{(\phi_s - \phi_w)} \int_r^\infty \delta \phi / \delta Z|_{Z=d} 2\pi r dr \quad (10)$$

حاصل ضرب مقدار $[1 / (\phi_s - \phi_w)]$ و انتگرال 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 می نامیم که نشان دهنده این است که A به شعاع (یا قطر) حفره، طول حفره و فاصله سطح ایستابی تا بالای حفره بستگی دارد. به این ترتیب:

$$A(r, w, d) = \frac{1}{\phi_s - \phi_w} \int_r^\infty \delta \phi / \delta Z|_{Z=d} 2\pi r dr \quad (11)$$

به دست آوردن مقدار A بزرگترین مانع و مشکل به شمار می رود. کرکهام در مورد حفره ای کروی به شعاع r_w که در انتهای لوله به وجود آورده شود، معادله زیر را ارائه کرده است:

$$A(r, w, d) = \frac{4\pi [1 + (r/d)^2]^{1/2}}{(1/r_w) - (1/2d)} \quad (12)$$

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

$$A(r_w) = 4 \pi r_w \quad (13)$$

هورسلف^۱ 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^۲ و کرکهام به شرح زیر است:

$$A(r,w,d) = \frac{R}{R_m} \times \frac{I}{\sigma(v_2-v_1)} \quad (14)$$

که در آن R/R_m نسبت تشابه مقاومت الکتریکی بین شرایط مزرعه و مدل آزمایشگاهی، σ هدایت الکتریکی الکترولیت در مدل، I شدت جریان الکتریکی و $v_2 - v_1$ اختلاف پتانسیل (کاهش ولتاژ) بین الکترودهاست. به طور نظری، به علت وجود تقارن محوری، برای بررسی فقط نیاز به یک نیم مخزن وجود دارد. نسبت $(v_2 - v_1)/I$ 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

با استفاده از مدل تشابه الکتریکی، جدول و شکل ۱ ارائه گردیده است. لازم به ذکر است که برای مقادیر خارج از حدود داده شده می‌توان با توجه به روند تغییرات، از برونیابی^۳ 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 ($b \geq w$). همچنین فاصله سطح ایستابی تا انتهای پیزومتر (d) نیز نسبت به طول حفره بسیار زیاد باشد ($d \gg w$).

لوتین^۴ و کرکهام نشان داده‌اند که هرگاه $b = 0$ (انتهای حفره روی لایه محدود کننده یا روی لایه تغییر بافت) و در عین حال d خیلی بزرگتر از w باشد (به عنوان مثال برای $w = 10 \text{ cm}$ و $d = 2/5 \text{ cm}$) مقادیر A به دست آمده از منحنی شکل ۱ حدوداً ۲۵ درصد از مقدار واقعی آن بیشتر است. همچنین نشان داده شده است که چنانچه $d \geq w$ و $b \geq 0.5 w$ 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 $w=0$ باشد، یا به عبارت دیگر در شرایطی که حفره‌ای در زیر پیژومتر وجود ندارد، هدایت هیدرولیک اندازه‌گیری شده، نمایانگر هدایت هیدرولیک قائم لایه واقع در زیر پیژومتر است.
 - هنگامی که حفره به نسبت طویل باشد ($w/t \geq 8$)، هدایت هیدرولیک اندازه‌گیری شده، عمدتاً نشان‌دهنده هدایت هیدرولیک افقی لایه‌ای است که حفره در آن ایجاد گردیده است.
 - هنگامی که حفره در بین دو حد یاد شده فوق‌تر و 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، به‌دست آوردن هدایت هیدرولیک افقی خاک است، نسبت w/t باید حداقل برابر ۸ باشد. از طرف دیگر، از آنجا که معمولاً مقصود از این اندازه‌گیری به‌دست آوردن هدایت هیدرولیک افقی در لایه‌های نازک خاک است (w کم)، شعاع پیژومتر باید تا حد امکان کوچک انتخاب شود.
 - بررسی اعداد جدول نشان می‌دهد، چنانچه $d/t > 4$ باشد، اثر d بر روی A ناچیز است.
 - حجم خاکی که در اطراف حفره قرار گرفته است و بر هدایت هیدرولیک خاک تأثیر می‌گذارد، در حدود 0.01 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 لایه 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

بر حسب شرایط رطوبتی خاک می‌توان از انواع آگرهای^۱ 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 پیژومتری معمولاً از مت‌هایی به قطر ۲۵ تا ۵۰ میلیمتر استفاده می‌شود، به نحوی که قطر آن تقریباً معادل قطر داخلی لوله پیژومتر باشد. برای ایجاد حفره در زیر لوله از یک آگر مارپیچی کاملاً تیز استفاده می‌گردد. برای آگرهای حفاری باید به تعداد کافی میله اضافی تهیه شود تا بتوان حفاری را تا عمق مورد نظر انجام داد.

1- Auger

۴-۱-۲ خراشدهنده^۱

خراشدهنده استوانه‌ای است چوبی و یا فلزی که به وسیله مهره‌ای که بر روی 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 حفر دقیق حفره در زیر لوله استفاده می‌شود، تا گل ولای چسبیده شده به جدار حفره برداشته شود و از فشردگی دیواره حفره که در اثر 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، به نحوی که پاک کردن گل و لای از بین میخها به آسانی امکانپذیر باشد (شکل ۲). از آنجا که برای کاربرد این وسیله در این روش مشکلاتی وجود دارد، باید دقتهای لازم برای کار با آن به عمل آید.

۴-۱-۳ آبکش^۲

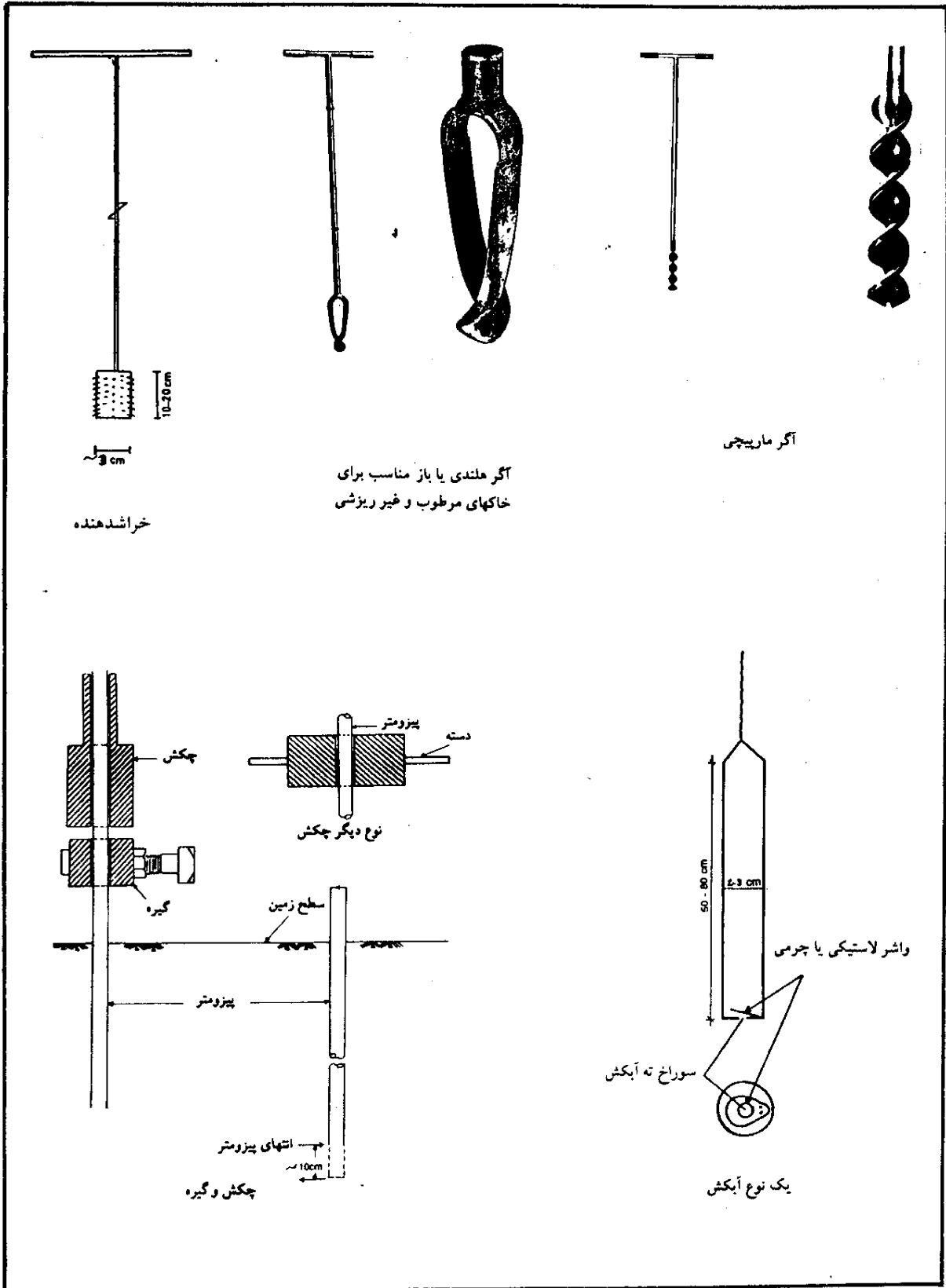
آبکش لوله‌ای فلزی یا پلاستیکی است که معمولاً از انواع فولادهای ضدزنگ و یا PVC سخت ساخته می‌شود و در انتها به دریچه یکطرفه و در بالا به دسته‌ای مجهز است که به وسیله آن به لوله‌های دسته آگرو یا طناب متصل می‌شود. دریچه یکطرفه تحتانی آبکش باید تا حد ممکن آبیندی شده باشد. این موضوع به ویژه برای آبکشهایی که به منظور تخلیه آب، هنگام آزمایش استفاده می‌شوند، از اهمیت بیشتری برخوردار است (شکل ۲). پیشنهاد می‌شود که در این آزمایش به سبب کوچک بودن قطر حفره ایجاد شده، حتی المقدور آبکش فقط در بخشی از پیزومتر که به لوله مجهز شده مورد استفاده قرار گیرد تا دیواره‌های حفره دستخوش تخریب نگردد.

۴-۱-۴ لوازم اندازه‌گیری تغییرات سطح آب

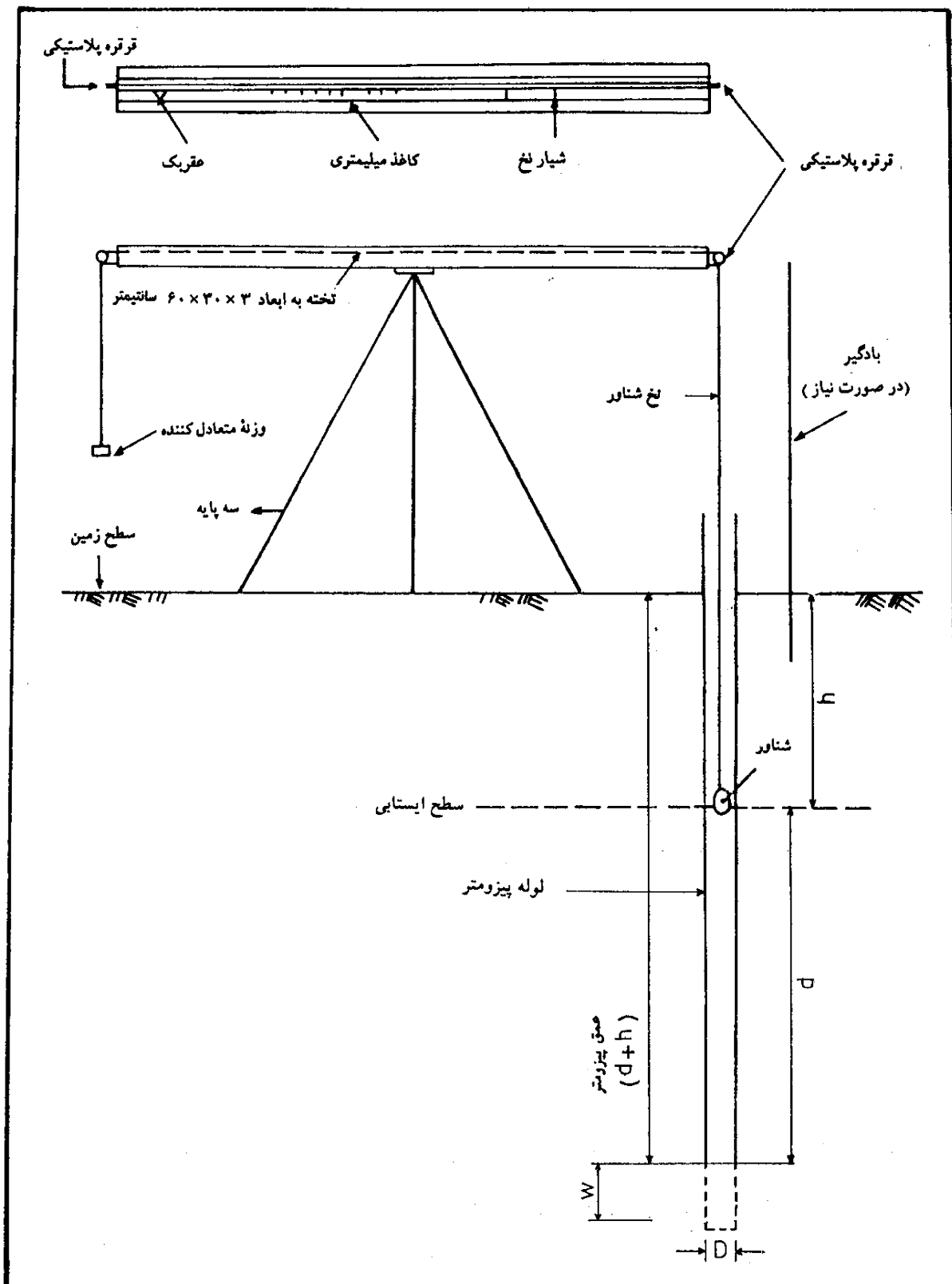
ابزار و لوازم مختلفی برای اندازه‌گیری و ثبت تغییرات سطح آب در چاهک متداول است. از آنجا که در این آزمایش، تغییرات سطح آب نسبتاً کم است و نسبت تغییرات سطح آب (y_1/y_2) در یک فاصله زمانی مورد توجه قرار می‌گیرد، دقت نسبتاً زیادی برای اندازه‌گیری سطح آب مورد نیاز است. از این رو به ویژه برای ثبت اندازه‌گیریها به منظور 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 مورد نیاز برای آزمایش پیرومتری



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 نقشه برداری است (شکل ۳). بر روی تخته، یک نوار 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 بر روی نخ مزبور، می‌توان تغییرات سطح آب راکه به وسیله شناور به نخ متصل می‌گردد، ملاحظه و بر روی کاغذ میلیمتری ثبت کرد. تخته همراه با کلیه ملحقات آن بر روی سه پایه نقشه برداری نصب می‌گردد.

۴-۱-۵ توری

هرگاه 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. در عمل در خاکهایی که از پایداری مناسبی برخوردارند، استفاده از توری ضرورت نخواهد داشت.

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

۴-۱-۷ آینه برای مشاهده وضعیت درون چاهک با استفاده 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 وسایل اندازه‌گیری در مقابل باد

۴-۱-۱۰ چکش

به منظور کوبیدن و راندن لوله به داخل خاک، از چکشی به وزن حدود ۵ کیلوگرم 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 آن دارای قطری کمی کمتر از قطر لوله است. گیره در قسمت فوقانی لوله قرار می‌گیرد و برای راندن لوله به داخل خاک، ضربات چکش را تحمل می‌کند.

۴-۱-۱۲ لوله فولادی

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

۴-۱-۱۳ جک

به منظور 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 مورد نیاز عبارتند از، بوشن فولادی به قطر مناسب، آچار لوله گیر، بتونیت برای آبیندی دیواره لوله در مواردی که اطمینان به آبیندی 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. در هر حال، یک تکنسین مجرب عملیات حفاری را کنترل و عملیات لایه بندی را به دقت انجام می‌دهد. در این 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.

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

۱-۵ 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 اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک بر حسب شرایط و خصوصیات خاکهای هر منطقه متفاوت است و تابع قانونمندی خاصی نیست. در خاکهای نسبتاً متجانس^۱ 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^۲، تراکم آزمایش بیشتر و به عکس در خاکهای غیر مطبق تراکم کمتر است. به ویژه چنانچه تشخیص لایه محدودکننده از طریق لایه بندی مقدور نباشد، انجام دادن این آزمایش اجتناب ناپذیر است.

باید به خاطر 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 در منطقه‌ای دیگر، خاک آنچنان لایه به لایه باشد که در هر نقطه مطالعاتی، بدون انجام دادن چند اندازه‌گیری نتوان به ویژگیهای هیدرودینامیکی خاک دست یافت و یا لایه محدودکننده را تشخیص داد.

۲-۵ 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 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.^۳ 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 بر این، وضعیت ظاهری فشار آب در داخل خاک را بررسی کرد تا از بود یا نبود سفره آب زیرزمینی تحت فشار^۱ اطمینان حاصل شود.

برنامه آزمایش با توجه به مطالعات لایه بندی، در لایه‌های زیر سطح ایستایی 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. در هر حال، انجام دادن این آزمایش زمانی توصیه می‌شود که این لایه‌ها به نحو مشخص و بارزی با یکدیگر تفاوت داشته باشند. هنگامی که تفاوت در مشخصات 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 پیژومترهای مرکب درباره مشخص کردن وضعیت سفره اقدام کرد. به همین دلیل در مشاهدات صحرائی 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 علی‌رغم 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 ۲۰-۱۰ سانتیمتر و گاهی حتی تا ۵/۰ 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 شود که در این حالت عمق نهایی و متعادل شده آب در چاهک پایین‌تر از عمق اولیه برخورد به آب گزارش خواهد شد. طبیعتاً در چنین شرایطی، پس از مشاهده رطوبت اشباع سفره معلق، بایستی یک لایه کم‌تراوا در زیر آن وجود داشته باشد. در این شرایط، اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی در زیر یا در درون لایه کم‌تراوا 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 کم‌تراوا 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 پیژومتری 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.

۳-۵ انتخاب عمق اندازه‌گیری

به طور کلی عمق چاهک به گونه‌ای انتخاب می‌شود که حفره زیر آن درست در وسط لایه ای قرار گیرد که در نظر است 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. در این صورت لزومی ندارد که حفره، درست در وسط لایه ایجاد گردد.

پس از اندازه‌گیری، می‌توان پیژومتر را عمیقتر کرد و آزمایش را برای عمقی دیگر و لایه ای دیگر تکرار نمود. از آنجا که در مطالعات 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.

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

۴-۵ حفر چاهک آزمایش

یکی از حساسترین مراحل کار، حفر چاهک آزمایش، نصب پیژومتر 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 چاهک‌هایی که انحراف دارند، به علت تماس شناور به بدنه چاهک، اندازه‌گیری با اشکال رو به رو خواهد شد.

- در هنگام حفر چاهک، لایه بندی خاک باید مجدداً کنترل (وارسی) شود تا از انطباق آن با آنچه از بررسیهای لایه بندی به دست آمده 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 حد امکان به چاهک لایه بندی نزدیک باشد.
- توصیه می شود که در هنگام حفاری و نصب پیژومتر، مخزن آگریش از اندازه پر نشود و به آرامی به بالا کشیده شود. پر شدن بیش از اندازه و بالا کشیدن سریع آگر، به ویژه در خاکهای چسبنده و در زیر سطح ایستابی، باعث می شود که در فضای زیرین مخزن آگر خلاء نسبی به وجود آید و این امر ضمن اینکه کار بالا کشیدن آگر را مشکلتر می سازد، باعث ریزش لایه های ناپایدار نیز می گردد.
- ریزش جدار چاهک در زیر سطح ایستابی موجب می شود که لوله پیژومتر کاملاً به دیواره چاهک نچسبد و در نتیجه، تنها آب دیواره حفره به درون چاهک تراوش نکند، بلکه آب لایه هایی که در بالای حفره قرار گرفته است نیز مستقیماً، با مقاومتی کمتر، به حفره و لوله پیژومتر راه یابد و نتیجه نادرستی از آزمایش به دست آید.

۵-۵ نصب پیژومتر

نصب پیژومتر به یکی از سه روش زیر صورت می گیرد:

۱-۵-۵ حفاری و کارگذاری همزمان پیژومتر

در این روش، لوله پیژومتر بر روی سطح خاک قرار می گیرد و از داخل آن به کمک آگری که قطر آن کمی از قطر لوله کمتر است، خاکبرداری می گردد. سپس لوله مذکور به کمک چکش و گیره به داخل خاک رانده می شود. این عمل با دقتی خاص ادامه می یابد، 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 لوله های قابل اتصال به یکدیگر استفاده شود، راندن لوله به داخل خاک با توجه به وجود زائده بوشن با دشواری صورت می گیرد. در هر حال، سرعت عمل در این روش زیاد نیست. از مزایای این روش، آبنندی مناسب بین لوله و جدار چاهک است.

۲-۵-۵ حفاری تا حوالی لایه مورد نظر و کارگذاری پیژومتر

در این روش، تا حدود ۵۰ - ۶۰ سانتیمتری لایه مورد نظر با کمک آگری که قطر آن کمی کمتر از قطر لوله است، خاکبرداری می گردد. سپس لوله پیژومتر به کمک چکش و گیره به داخل خاک رانده می شود. باقیمانده حفاری از داخل لوله صورت می گیرد. از مزایای این روش، سرعت عمل و سهولت کار است، لیکن بایستی از آبنندی بین لوله و جدار چاهک اطمینان حاصل نمود.

در هر حال، حتی چنانچه بنا به دلایلی 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.

۳-۵-۵ حفاری به کمک فشار آب

در این 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 انجام می‌شود. از مزایای این روش، سرعت عمل آن است و از معایب عمده این روش، نیاز به وسایل و امکانات اضافی است که انتقال آنها به ویژه در زمینهای مرطوب و آب گرفته با مشکلات متعددی مواجه می‌گردد.

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

۶-۵ 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 اگر تیز ماریچی با قطر برشی معادل قطر داخلی پیزومتر با انتهای مسطح است. برای اندازه‌گیری طول حفره باید دقت خاصی صورت گیرد. به این منظور طول لوله پیزومتر باید از قبل با دقتی در حدود +۱ سانتیمتر مشخص شود و روی دسته اگر قبلاً علامتگذاری گردد.

۷-۵ خراشیدن دیواره چاهک

ممکن است در حین حفاری، قسمتی از گلهای حفاری شده بر روی دیواره حفره باقی بماند. در این صورت، در خاکهای 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 زیر الزامی است:
- خراش بیش از اندازه حفره و یا وارد آوردن نامتناسب فشار به دیواره آن، ممکن است باعث گشاد شدن قطر حفره گردد و از دقت آزمایش بکاهد.
 - خراشدهنده باید در موقع استفاده کاملاً تمیز باشد.
 - قطر خراشدهنده 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.

۸-۵ 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 به سمت داخل است، به نحوی که بتوان با آوردن فشار بر روی زائده، آن را در محل خود در زیر پیژومتر و در انتهای حفره قرارداد. نصب توری مشبک در محل اصلی خود به حوصله و دقت زیادی نیازمند است. معمولاً توری مذکور پس از اتمام آزمایش در محل خود باقی می‌ماند، ولی در برخی مواقع می‌توان آن را به کمک یک قلاب سرکج بالا کشید.

۹-۵ شستشوی چاهک

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

- آبکش فقط می‌تواند در ناحیه لوله پیژومتر رفت و آمد کند. باید از فروردن آن در ناحیه حفره اجتناب کرد.
- عملیات آبکشی باید به آرامی و با احتیاط صورت پذیرد، به نحوی 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 آنجا که به دلیل طول و قطر کم 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 اندازه گیری را آغاز کرد. این عمل شامل چهار مرحله زیر است:

- 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 اندازه گیری، لوازم و وسائل اندازه گیری تغییرات سطح آب (به شرح بند ۴-۱-۴) بر روی چاهک نصب می گردد و محل نشانه که نشان دهنده موقعیت سطح ایستابی تعادلی است، بر روی کاغذ میلیمتری علامتگذاری می شود.

۵-۱۰-۲ آبکشی از چاهک

برای اندازه گیری 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 می شود، جریان آب به سمت چاهک برقرار می گردد.

برای آبکشی از چاهک می توان از تلمبه و یا آبکش استفاده کرد. در این رابطه رعایت نکات زیر توصیه می شود:

- حتی المقدور کوشش شود تا حجم آب مورد نظر یکباره برداشت گردد. داشتن چند آبکش با ظرفیتهای مختلف و انتخاب مناسب ترین آنها می تواند امکان تخلیه یکباره آب را از چاهک به وجود آورد.
- سعی شود که تا حد امکان، آبکش به آرامی و ترجیحاً در اثر وزن خود در آب چاهک فروبرده شود. اعمال فشار اضافی در فروبردن آبکش به داخل چاهک موجب می شود که آب درون چاهک نسبت به وضعیت تعادلی خود بالاتر آید و موجب ایجاد شیب هیدرولیک اضافی گردد. گرچه که این امر در خاکهای با هدایت هیدرولیک پایین، اثر چندانی بر نتیجه اندازه گیری ندارد، اما در خاکهای شنی و یا خاکهای با درز و ترک ممکن است موجب خطا در اندازه گیری شود.
- بیرون کشیدن آبکش به آرامی و با احتیاط صورت گیرد و همزمان یا پس از بیرون کشیدن آبکش، اندازه گیری 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 و آغاز 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 در موقعیت 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 بالآمدن سطح آب آغاز می‌گردد. همان‌طور که گفته شد، از آنجا که چون برخلاف اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک به روش چاهک، در این روش تنها داده‌های اولیه نیستند که دارای اعتبارند، بنابراین لزومی برای تعجیل وجود ندارد.

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 به‌دست آمده 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:

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

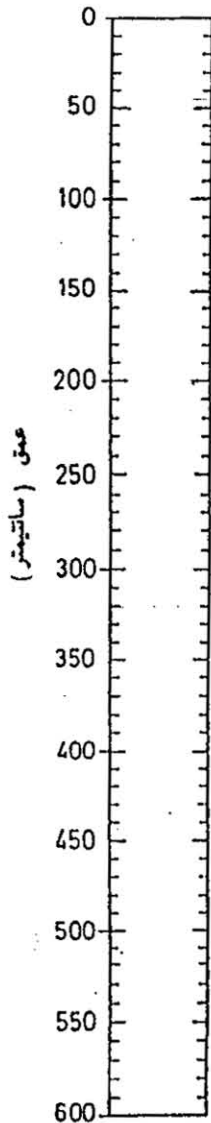
فرم ۱ - ثبت مشخصات حفره و بالآمدن سطح آب در آزمایش پیزومتري

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

نیمرخ خاک

اطلاعات مربوط به خیز سطح آب

الف: اندازه گیریها

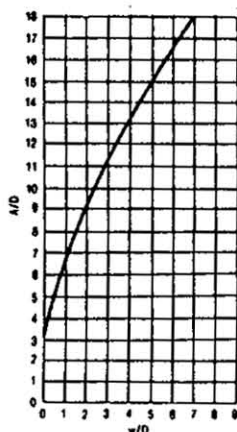


ردیف	t sec	y cm	t ₂ -t ₁ sec	y ₁ /y ₂	K m/day
۱					
۲					
۳					
۴					
۵					
۶					
۷					
۸					
۹					
۱۰					
۱۱					
۱۲					
۱۳					
۱۴					
۱۵					

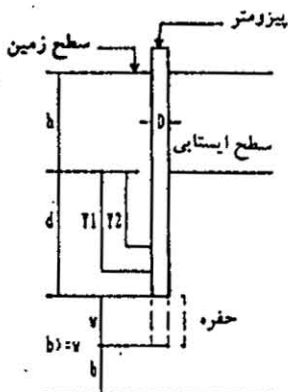
ب: محاسبات

اطلاعات مربوط به چاهک

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



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



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

با تغییر دادن لگاریتم طبیعی به لگاریتم در پایه ده رابطه فوق به صورت زیر در می آید:

$$K = \frac{6250 \cdot (D/2)^2 \log(y_1/y_2)}{A(t_2 - t_1)} \quad (15)$$

معمولاً میانگین ۴ یا ۵ اندازه گیری آخر به عنوان نتیجه نهایی و هدایت هیدرولیک لایه مورد آزمایش در نظر گرفته می شود.

۲-۶ محاسبه هدایت هیدرولیک در سفره تحت فشار

برای اندازه گیری هدایت هیدرولیک لایه ای 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 می شود و پیزومتر دوم در بالاترین قسمت لایه فوقانی نصب می گردد. در این حالت نیز می توان از روابط «۲» و «۱۵» استفاده کرد با این تفاوت که ضریب شکل «A» از نمودار ۱ به دست می آید. در این نمودار:

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

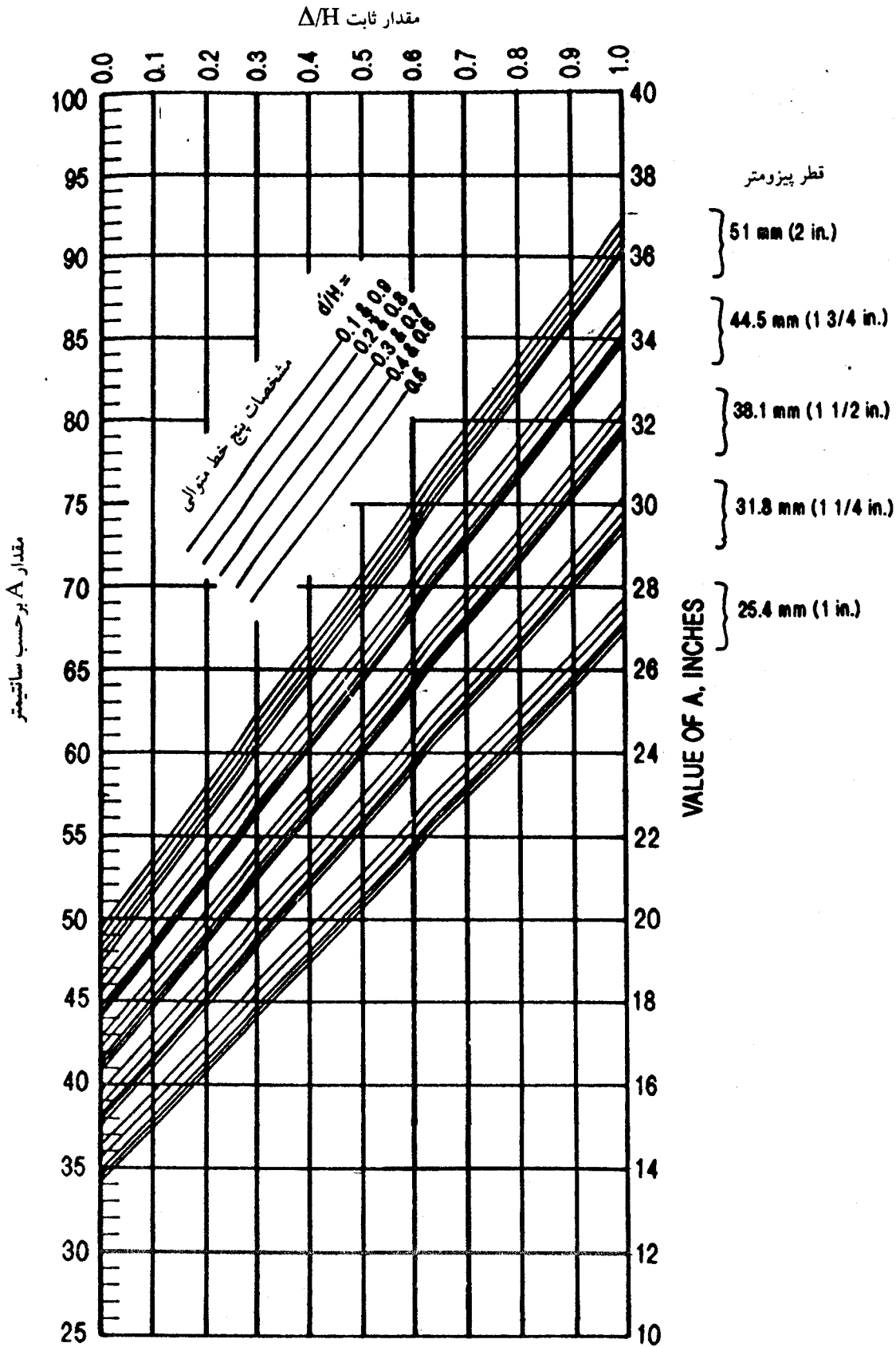
۷- محدودیتهای آزمایش و موارد خطا

۱-۷ محدودیتهای آزمایش

محدودیتهای عمده آزمایش عبارت است از:

- عدم آبنندی مناسب بین پیزومتر و خاک مجاور در لایه های شنی و ماسه ای
- عدم امکان ایجاد حفره با مشخصات هندسی معین در خاکهای ناپایدار و به ویژه در لایه های شنی و ماسه ای
- عدم امکان عملی آزمایش در اعماق بیش از ۶ متر
- عدم امکان آزمایش در لایه های کم ضخامت (کمتر از حدود ۳۰ سانتیمتر)
- عدم دسترسی به نتیجه مطلوب هنگامی که لایه با هدایت هیدرولیک کم در بین لایه های با آبگذری زیاد قرار گیرد و لایه مورد نظر 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 پیرومترهای با قطر بیش از ۵۰ میلیمتر

۲-۷ منابع خطا

- منابع خطای می تواند شامل موارد زیر باشد:
- بروز اشتباه در قرائت سطح ایستابی و زمان
- بروز اشتباه در اندازه گیری ابعاد حفره
- عدم تناسب بین طول و قطر حفره به طوری که با کوچک شدن این نسبت ، هدایت هیدرولیک اندازه گیری شده عمدتاً نمایانگر آبگذری قائم خاک خواهد بود.
- عدم تشخیص و توجه نداشتن به وجود فشار آرتزین در حالتی که لایه مورد نظر تحت فشار باشد.
- چنانچه فاصله انتهای چاهک تا لایه ای که در آن بافت خاک تغییر می کند، کمتر از طول حفره باشد ($b < w$)، نک به شکل (۱).
- چنانچه فاصله سطح ایستابی تا انتهای پیرومتر «d» در مقایسه با طول حفره «w» خیلی زیاد نباشد.

۸-۱ مثال

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

۸-۱-۱ مثال ۱

در نقطه H13 با توجه به شرایط موجود در هنگام آزمایش ، اندازه گیری 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. به منظور بررسی هدایت هیدرولیک لایه زیر آن که دارای بافت SiCL است، آزمایش پیرومتری 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 می گردد، به عنوان لایه محدود کننده شناخته شده است.

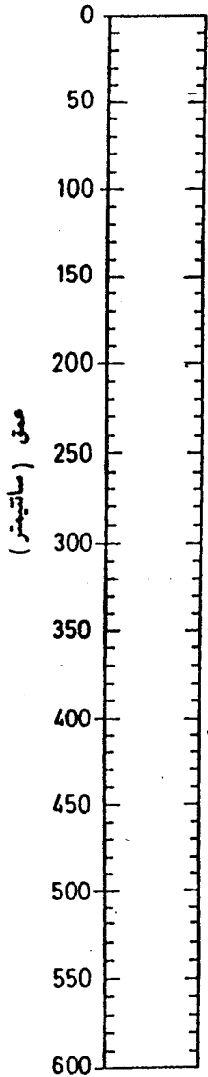
جدول ۲- آزمایش پیزومتری در نقطه H13

نام پروژه: قره سو - زرنقل 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: ۷/۳/۹۳

الف: اندازه گیریها

اطلاعات مربوط به خیز سطح آب

نیمرخ خاک



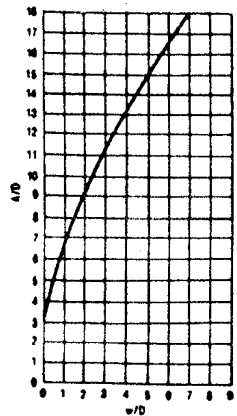
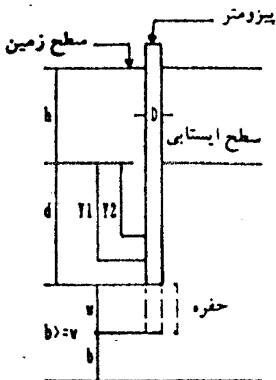
ردیف	t sec	y cm	t ₂ -t ₁ sec	y ₁ /y ₂	K m/day
۱	۰	۳۵٫۴			
۲	۳۰۰	۲۸٫۱	۳۰۰	۱٫۲۹	۰٫۱۵۱
۳	۶۰۰	۲۲٫۴	۳۰۰	۱٫۲۵	۰٫۱۴۹
۴	۹۰۰	۱۷٫۵	۳۰۰	۱٫۲۸	۰٫۱۶۲
۵	۱۲۰۰	۱۴٫۲	۳۰۰	۱٫۲۳	۰٫۱۳۷
۶	۱۵۰۰	۱۱٫۲	۳۰۰	۱٫۲۹	۰٫۱۵۰
۷	۱۸۰۰	۸٫۹	۳۰۰	۱٫۲۷	۰٫۱۵۶
۸	۲۱۰۰	۷٫۱	۳۰۰	۱٫۲۵	۰٫۱۴۸
۹	۲۴۰۰	۵٫۷	۳۰۰	۱٫۲۵	۰٫۱۴۴
۱۰					
۱۱					
۱۲					
۱۳					
۱۴					
۱۵					

ب: محاسبات

اطلاعات مربوط به چاهک

- h - فاصله زمین تا سطح ایستابی ۳۱۰ سانتیمتر
- d - فاصله سطح ایستابی تا انتهای پیزومتر ۱۴ سانتیمتر
- h+d - عمق اندازه گیری ۴۵۰ سانتیمتر
- w - طول حفره ۲۰ سانتیمتر
- b - فاصله کف چاهک تا لایه بعدی ۴ سانتیمتر
- D - قطر داخلی پیزومتر و حفره ۴٫۲ سانتیمتر
- K - هدایت هیدرولیک ۰٫۱۵ متر بر روز
- A - ضریب شکل ۶۰٫۹ سانتیمتر

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



۲-۸ مثال ۲

در نقطه J۱۴ با توجه به شرایط طبیعی در هنگام آزمایش، هدایت هیدرولیک به روش چاهک در عمق ۲۰۰ تا ۳۰۰ سانتیمتر نتیجه ۸/۰۹ متر بر روز را عاید کرده است. با عنایت به اینکه آبگذری اندازه گیری شده با توجه به بافت خاک بالاست، احتمال اینکه لایه زیرین آن با بافت سنگین SiC بتواند به عنوان لایه محدود کننده تلقی شود، مورد توجه قرار گرفته است. از این رو آزمایش تعیین هدایت هیدرولیک در زمانی دیگر در عمق ۴۸۰ سانتیمتری تجویز گردیده که نتیجه ای معادل ۲/۸ متر بر روز را به دست داده است. بنابراین لایه مذکور به عنوان لایه محدود کننده تشخیص داده نشده است. جدول ۳ داده های این آزمایش و محاسبات مربوط را نشان می دهد.

در همین محل، برای بررسی وضعیت آبگذری طبقات بالاتر نیز آزمایش 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 می شود که بافت SiC در طبقات فوقانی به علت وجود درز و ترک و ریشه دارای هدایت هیدرولیک بالاتر و در طبقات پایین تر به علت تراکم بیشتر دارای آبگذری کمتری است.

۳-۸ مثال ۳

به علت وجود فشار پیزومتری در نقطه ای، 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. می خواهیم هدایت هیدرولیک لایه SiC را پیدا کنیم. برای این کار باید ابتدا ضریب شکل را با توجه به وجود فشار پیزومتری با استفاده از نمودار ۱ پیدا کرد. قطر هر یک از دو پیزومتر ۱/۵ اینچ (۳۷/۵ میلیمتر) است. داریم:

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

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

$$\Delta/H = 60/150 = 0.4$$

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

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

$$d'/H = 30/150 = 0.2$$

با مراجعه به نمودار ۱ داریم:

$$A = 57/4 \text{ cm}$$

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 $K = 0.64$ متر بر روز نتیجه گیری شده است.

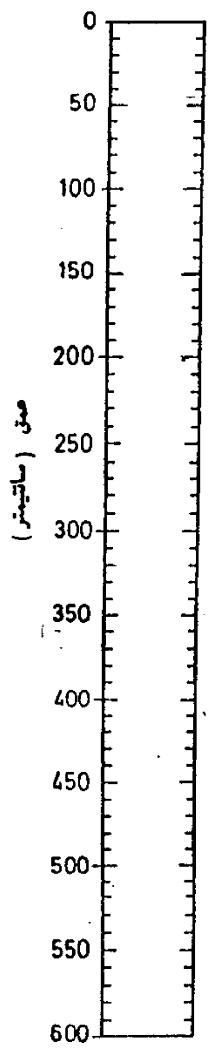
جدول ۳- آزمایش پیزومتری در نقطه J14

نام پروژه: فرس - زرنج - 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: ۱۶/۹/۷۳

نیمرخ خاک

اطلاعات مربوط به خیز سطح آب

الف: اندازه گیریها

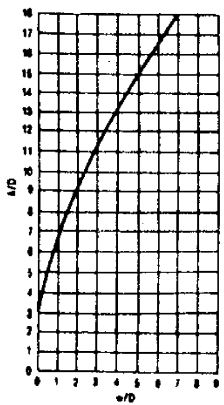
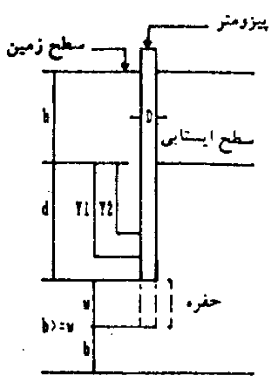


ردیف	t sec	y cm	t ₂ -t ₁ sec	y ₁ /y ₂	K m/day
۱	۰	۱۹,۸			
۲	۵	۱۹,۱	۵	۱,۰۳۷	۱,۴۱
۳	۱۰	۱۸,۳	۵	۱,۰۴۴	۱,۶۵
۴	۱۵	۱۷,۵	۵	۱,۰۴۹	۱,۷۲
۵	۲۰	۱۹,۸	۵	۱,۰۴۲	۱,۵۷
۶	۲۵	۱۹,۱	۵	۱,۰۴۳	۱,۵۴
۷	۳۰	۱۵,۲	۵	۱,۰۵۹	۲,۱۱
۸	۳۵	۱۴,۴	۵	۱,۰۵۵	۲,۰۸
۹	۴۰	۱۳,۸	۵	۱,۰۴۳	۱,۸۴
۱۰	۴۵	۱۳,۰	۵	۱,۰۶۱	۲,۲۹
۱۱	۵۰	۱۲,۱	۵	۱,۰۷۴	۲,۷۶
۱۲	۵۵	۱۱,۳	۵	۱,۰۷۱	۲,۶۳
۱۳	۶۰	۱۰,۵	۵	۱,۰۷۶	۲,۸۳
۱۴	۶۵	۹,۷	۵	۱,۰۸۲	۳,۱۱
۱۵	۷۰				

ب: محاسبات

اطلاعات مربوط به چاهک

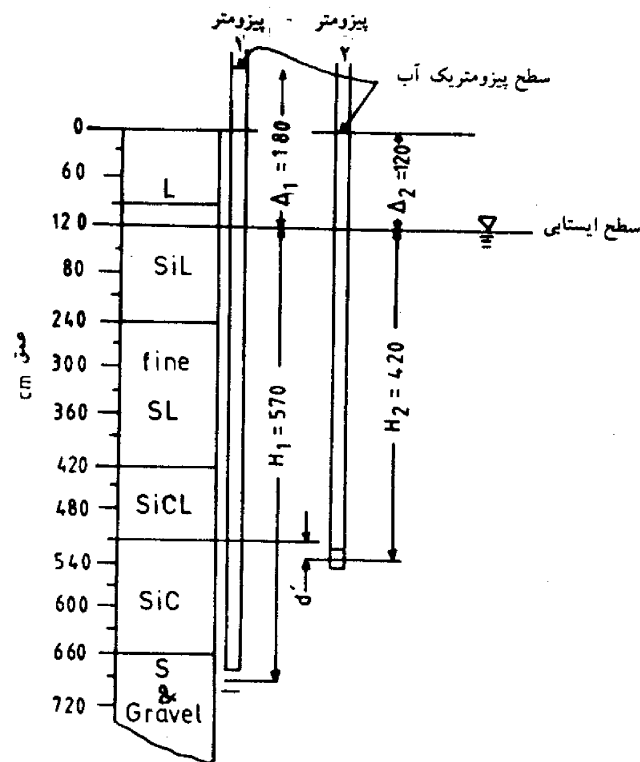
- h - فاصله زمین تا سطح ایستابی ۳۰۸ سانتیمتر
- d - فاصله سطح ایستابی تا انتهای پیزومتر ۱۷ سانتیمتر
- h+d - عمق اندازه گیری ۴۸۰ سانتیمتر
- w - طول حفره ۲۰ سانتیمتر
- b - فاصله کف چاهک تا لایه بعدی ۳۰ سانتیمتر
- D - قطر داخلی پیزومتر و حفره ۴,۲ سانتیمتر
- K - هدایت هیدرولیک ۲,۷۵ متر بر روز
- A - ضریب شکل ۹,۰۱ 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 پیژومتر 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 پیژومتری لایه زیرین خود قرار دارد.

منابع و مأخذ:

- 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 و بهسازی خاک، چاپ سوم با تجدید نظر، محمدبای بوردی، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۶۰.
- اصول زهکشی و کاربرد آن، جلد سوم، مطالعات و بررسی‌ها ، ترجمه حسین فرداد، 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.

این نشریه

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

مرکز مدارک اقتصادی - اجتماعی و انتشارات

ISBN 964-425-017-6



9 789644 250170